

Alma Mater Studiorum – Università di Bologna

DOTTORATO DI RICERCA IN
INGEGNERIA CIVILE, CHIMICA, AMBIENTALE E DEI MATERIALI

Ciclo XXIX

Settore Concorsuale di afferenza: 08/A3

Settore Scientifico disciplinare: ICAR/05 – TRASPORTI

L'AVVISTAMENTO NOTTURNO DEGLI UTENTI DEBOLI DELLA STRADA

Presentata da: Dott. Ing. Mattia Strangi

Coordinatore Dottorato

Prof. Luca Vittuari

Relatore

Prof. Micucci Alfonso

Esame finale anno 2017

Parole chiave:

Avvistabilità dinamica

Avvistabilità notturna

Automobilisti

Utenti deboli

Pedoni

Ciclisti

Mobile Eye

V – Box

Tempo di percezione

Tempo di reazione

Sommario

INTRODUZIONE	3
GLI AUTOMOBILISTI E GLI UTENTI DEBOLI IN STRADA	6
1.1 Premessa	6
1.2 Dati Statistici	8
1.3 Il pedone in ambito urbano	12
1.3.1 COMPORTAMENTI PERICOLOSI DEI PEDONI	12
1.3.2 FLUSSI PEDONALI	14
1.3.3 ZONA DI COMFORT	15
1.4 Le situazioni critiche nell'interazione auto-bici	21
1.4.1 Le intersezioni tra carreggiata e pista ciclabile	22
1.4.2 La "strada condivisa"	23
1.4.3 Le condizioni di scarsa visibilità	24
1.4.4 L'INTENSITÀ LUMINOSA	27
1.5 Le tipologie di piste ciclabili	29
1.6 L'importanza delle APC	37
1.7 L'intervallo psicotecnico di azione e reazione	39
1.7.1 I concetti di affordance e arousal	51
1.8 Visione centrale e visione periferica	52
1.9 Gli studi precedenti sull'avvistabilità degli utenti deboli	53
L'ASPETTO PSICOLOGICO	61
1.10 Il comportamento dell'automobilista nei confronti del ciclista	62
1.11 Il comportamento del ciclista e la sua percezione di sicurezza rispetto all'automobilista	66
1.12 Il concetto del 'Looked-but-failed-to-see'	83
1.13 L'influenza del carico cognitivo sulla guida	85
LA STRUMENTAZIONE UTILIZZATA	101
1.14 Il Mobile Eye	102
1.14.1 Cenni storici sull'eye tracking	102
1.14.2 Struttura e caratteristiche del Mobile Eye	105

1.14.3	Principio di funzionamento	109
1.14.4	Utilizzo	110
1.15	Il V-Box	120
1.15.1	Componenti e registrazione	120
1.15.2	Elaborazione dei dati	123
REALIZZAZIONE DELLE PROVE		130
1.16	Analisi della fattibilità delle prove e attrezzatura	131
1.17	Realizzazione dei manichini	132
1.18	Area di prova	135
1.18.1	Montaggio, calibrazione e sincronizzazione degli strumenti	136
1.18.2	Guida di prova	139
1.18.3	Posizionamento del manichino e azioni da compiere	139
1.18.4	Test di avvistabilità statica	140
1.19	I partecipanti	140
ANALISI DEI DATI SPERIMENTALI		142
1.20	Elaborazione dei dati	142
1.20.1	Verifica della funzionalità delle riprese	142
1.20.2	Rilevamento e sincronizzazione dei video	144
1.20.3	Determinazione della distanza di avvistamento	147
1.20.4	Determinazione dei tempi di percezione e di reazione	151
1.21	I risultati ottenuti	156
1.21.1	Distanza di avvistamento	156
1.21.2	Tempi di percezione e di reazione	158
1.22	Realizzazione dei grafici	162
1.22.1	Grafici Completi	162
1.22.2	I Grafici Orientativi	186
1.23	Analisi dei risultati	197
CONCLUSIONI		206
BIBLIOGRAFIA		208
SITOGRAFIA		215

INTRODUZIONE

Da quando è stata inventata, l'automobile ha fatto sempre più parte della vita delle persone: essa costituisce il mezzo più utilizzato per spostarsi tra i mezzi di trasporto. Basti pensare che in Italia si possono contare più 6 automobili ogni dieci abitanti (ACI, 2014), e tale numero è in continuo aumento.

L'incremento non solo di autovetture ma di veicoli in generale porta ad un flusso crescente degli stessi nelle strade. Alcune di esse difatti sono state progettate e costruite quando il numero di mezzi di trasporto era di gran lunga inferiore rispetto a quello odierno e da allora sono state modificate poco o nulla.

Inoltre, in molti contesti urbani, mezzi di trasporto quali i velocipedi non hanno corsie proprie, quindi i ciclisti sono costretti a guidare nella carreggiata assieme ai mezzi a motore, oppure devono seguendo una pista ciclabile attraversare una strada o ancora si possono trovare a dover attraversare la carreggiata insieme ai veicoli come ad esempio negli incroci. Queste sono solamente alcune delle situazioni che riguardano l'interazione tra automobilisti e ciclisti, e non solo: anche i pedoni sono spesso soggetti a rischio inseriti in questo contesto.

La presente tesi ha lo scopo di studiare e determinare, per quanto possibile, alcune grandezze riguardanti appunto l'interazione tra i vari utenti della strada dal punto di vista dell'automobilista, ovvero la distanza a cui un conducente di un'autovettura riesce ad avvistare un utente debole della strada ed il tempo di percezione e reazione al pericolo di collisione, intesi rispettivamente come l'intervallo tra la comparsa dell'utente debole pedone/ciclista nel suo campo visivo e l'istante in cui viene osservato ovvero percepito (tempo di sensazione) e l'intervallo compreso tra l'istante in cui avviene la percezione e l'inizio della reazione del conducente allo scopo di evitarne il contatto (tempo tra saccade e reazione). Nello specifico, si tratterà la situazione più critica di interazione tra automobilista ed utente debole: guida in orario notturno in assenza di illuminazione pubblica, con

utente debole vestito con abiti scuri e privo di dispositivi luminosi e catadiottri, autovettura con fari anabbaglianti.

Lo studio partirà dall'analisi dei sinistri stradali che coinvolgono utenti deboli della strada, facendo riferimento anche ai dati statistici di incidentalità degli ultimi anni nell'area metropolitana di Bologna; verranno illustrate le varie tipologie di strada con maggior fattore di rischio e il raffronto con le strade che presentano piste riservate ai soli velocipedi, si analizzeranno le differenze principali riguardanti la guida in ambito urbano a 50 km/h e a 30 km/h; verrà approfondito il concetto di intervallo tempo di percezione e reazione, si esaminerà la differenza tra visione centrale e visione periferica del conducente e si illustreranno i risultati relativi allo studio preliminare effettuato presso l'Università degli Studi di Bologna riguardante la distanza alla quale viene riconosciuto un utente debole in condizioni statiche e di cui la presente tesi si propone come seguito.

Il capitolo successivo si concentrerà sull'aspetto psicologico di automobilisti e ciclisti; in particolare si evidenzieranno le aspettative di degli uni verso gli altri, soprattutto dell'utente forte, e gli atteggiamenti in strada relativi alla loro interazione. Successivamente verrà analizzato il concetto di "looked-but-failed-to-see", ovvero quel fenomeno che si verifica quando qualcosa o qualcuno, pur trovandosi nel campo visivo di una persona, non viene percepito da questa, e si analizzerà l'influenza del carico cognitivo sulle prestazioni di guida.

La tesi proseguirà con una spiegazione dettagliata della strumentazione utilizzata per le prove, in particolare le caratteristiche ed il funzionamento del Mobile Eye XG, uno strumento in grado, grazie a due telecamere di cui una ad infrarossi, di rilevare i movimenti dell'occhio ed indicare, su un video che illustra il campo visivo dell'utente, cosa egli sta osservando in quell'istante, e del V – Box, utilizzato solitamente in ambito sportivo e in grado di dare informazioni riguardanti velocità di avanzamento di un veicolo, accelerazioni longitudinale e trasversale, distanza percorsa dal veicolo stesso e diverse altre grandezze. Inoltre, verrà spiegato come sono stati utilizzati in sincrono i due strumenti allo scopo di ottenere dei valori per le grandezze interessate e come sono stati elaborati i dati.

Il capitolo quattro illustrerà nel dettaglio le modalità con cui sono state effettuate le prove, le condizioni di sicurezza degli operatori e le caratteristiche principali del campione di utenti test, ovvero la loro età, l'anno di conseguimento della patente B ed eventuali altri tipi di patente posseduti ed il numero di incidenti avuti, nonché l'automobile utilizzata da ognuno di loro: i partecipanti sono stati 10, di età compresa tra i 24 ed i 79 anni e tutti alla guida del proprio mezzo.

Il capitolo cinque spiegherà le modalità con le quali una prova viene ritenuta "idonea", verranno esposti i risultati ottenuti per quanto riguarda le distanze di avvistamento ed i tempi di percezione e reazione illustrati graficamente mediante diagrammi cartesiani, di immediata lettura. Successivamente verranno commentati i risultati ottenuti evidenziandone le differenze con le prove relative al caso statico dello studio al quale si è fatto riferimento.

GLI AUTOMOBILISTI E GLI UTENTI DEBOLI IN STRADA

1.1 PREMESSA

Nel corso degli anni si è assistito ad una continua evoluzione del traffico e dei mezzi di trasporto. Basti pensare alle innumerevoli tipologie di automobili e motoveicoli per il trasporto privato ad oggi circolanti, tutti in grado di avere prestazioni che vanno ben oltre i limiti di velocità imposti dal C.d.S. sulle strade pubbliche.

Se l'auto risulta il mezzo ideale per muoversi su strada a grandi distanze, per le brevi distanze all'interno dell'area urbana può risultare più comodo, veloce ed economico spostarsi in bicicletta o a piedi. Per questo per le strade urbane sono presenti numerosi ciclisti e pedoni, oltre ovviamente agli altri utenti della strada come automobilisti, motociclisti e mezzi di trasporto pubblico. Questo però deve portare ad un adeguamento delle strade stesse alla tipologia di traffico attuale, soprattutto per quanto riguarda la sicurezza e l'aspetto economico, dal momento che gli incidenti hanno un impatto notevole anche sui costi sociali.

Dal 2005 al 2014 vi è stata una diminuzione di circa il 23%, come mostrato in Figura 1, questo grazie all'incremento della sicurezza attiva e passiva delle autovetture e alle normative introdotte.

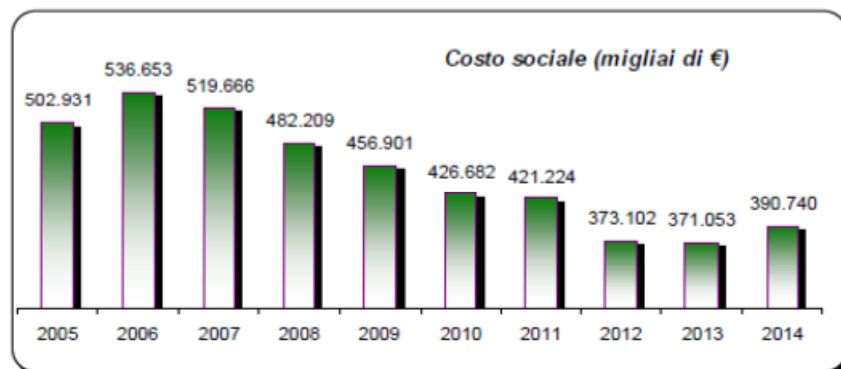


Figura 1. Dati riferiti ai costi sociali imputabili agli incidenti stradali.

Note. Ufficio di statistica, Servizio Studi per la programmazione, 2015, *GLI INCIDENTI STRADALI NELL'AREA METROPOLITANA DI BOLOGNA, ANNO 2014.*

I ciclisti, insieme ai pedoni, sono considerati gli utenti “deboli” della strada, e questi insieme ai motociclisti sono catalogati come utenti vulnerabili: in caso di scontro tra un utente vulnerabile ed un altro mezzo sarà il primo a subire le maggiori conseguenze. Occorre quindi che tali interazioni siano limitate quanto più possibile, in modo da preservare la sicurezza degli utenti più a rischio e da rendere più fluido il traffico, evitando congestioni di veicoli nelle strade dovute ai sinistri seguiti da soccorsi sanitari e rilievi dell’area del sinistro espletati dalle autorità. Inoltre la condivisione del medesimo spazio di transito tra autovetture, biciclette e pedoni rischia di provocare il rallentamento delle vetture stesse ed eventualmente portare ad un intasamento quando, ad esempio in strade strette, un ciclista non può essere agevolmente sorpassato.

Per tale motivo in diverse strade, soprattutto delle grandi città e delle località turistiche, dove il numero di utenti è maggiore, si vedono corsie riservate alle biciclette e/o ai pedoni, mentre nei centri storici si trovano aree pedonali o zone a traffico limitato.

Con le corsie preferenziali, l’interazione tra ciclisti, i pedoni e gli automobilisti in strada diminuisce: gli utenti deboli procedono nella propria corsia e non rallentano le auto creando disagi al traffico. In questo modo si hanno anche evidenti vantaggi sulla sicurezza degli utenti stessi: se ogni categoria di utente si muove nella zona ad esso predisposta nella strada, le probabilità di sinistro sono notevolmente ridotte.

Purtroppo non tutte le città sono sufficientemente provviste di piste ciclabili e di percorsi riservati ai pedoni; inoltre negli incroci gli utenti deboli si trovano a dover attraversare la strada, dovendosi immettere nella carreggiata, percorsa dalle auto: questo, soprattutto in quegli incroci non regolati da semaforo, aumenta le probabilità di interazione tra i vari utenti.

Il problema della sicurezza quindi è tutt’altro che risolto, basti controllare i dati statistici, che evidenziano come, nella città metropolitana di Bologna, il numero di utenti deboli coinvolti in un incidente è in leggero aumento rispetto agli anni scorsi, in controtendenza con il totale degli incidenti avvenuti, che invece è diminuito.

Quanto detto dovrebbe quindi stimolare un maggiore interesse nell'approfondire il problema della sicurezza stradale, in modo da trovare delle soluzioni per diminuire i rischi di interazione.

Tra gli obiettivi principali della ricerca nel settore dei trasporti, è di fondamentale importanza l'esigenza di prestare particolare attenzione alle categorie più deboli, incoraggiando una progettazione delle infrastrutture finalizzata all'aumento della sicurezza nelle zone in cui l'intersezione tra i percorsi destinati ad ogni categoria è molto frequente, visto che in quei tratti è molto più probabile che si verifichi un'interazione tra veicoli ed utenti deboli.

1.2 DATI STATISTICI

Come accennato in precedenza, gli incidenti avvenuti nella zona metropolitana di Bologna sono tendenzialmente in diminuzione di anno in anno. Dal 2005 al 2014 vi è stata una diminuzione di oltre il 25%, come mostrato in Figura 2.

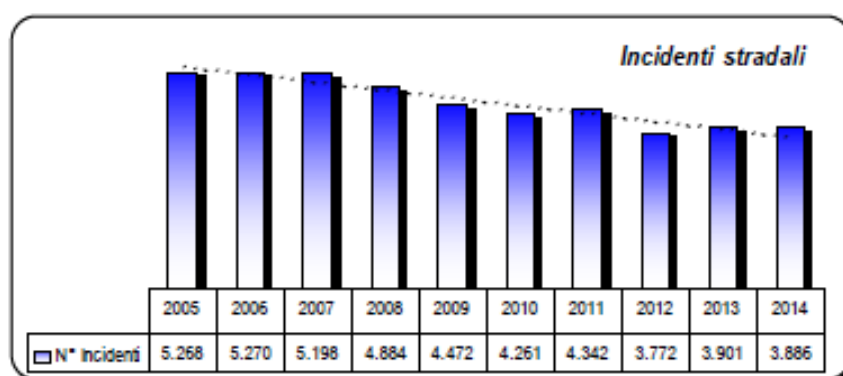


Figura 2. Totale degli incidenti stradali per anno nella zona metropolitana di Bologna.

Note. Ufficio di statistica, Servizio Studi per la programmazione, 2015, *GLI INCIDENTI STRADALI NELL'AREA METROPOLITANA DI BOLOGNA, ANNO 2014.*

Il numero di morti e feriti è anch'esso in diminuzione, a segnalare una maggiore sicurezza, in generale, su strada.

Nonostante il numero di incidenti diminuisca, il numero dei ciclisti e pedoni coinvolti in interazioni stradali ha avuto un andamento oscillante e

tendenzialmente in leggero aumento. Dai 400 di dieci anni fa si è arrivati a 451 nel 2014 (un aumento di oltre il 12%).

La bicicletta con il 6% è il quarto mezzo di trasporto più coinvolto negli incidenti (Figure 3 e 4).

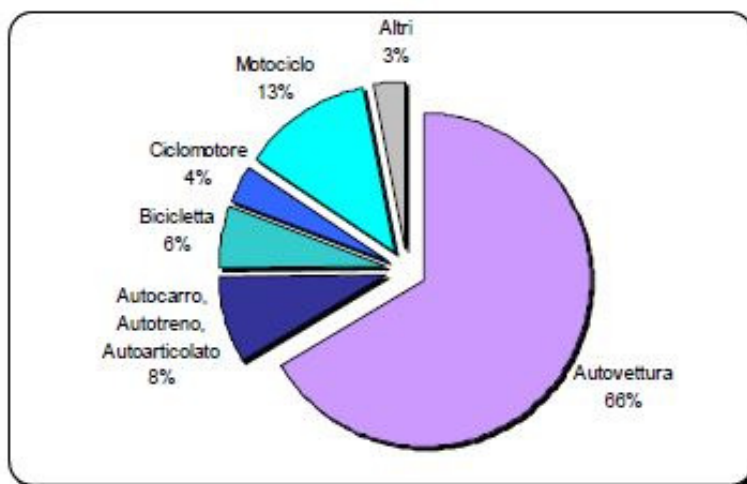


Figura 3. Grafico incidenti per tipologia di veicolo nel 2014.

Note. Ufficio di statistica, Servizio Studi per la programmazione, 2015, *GLI INCIDENTI STRADALI NELL'AREA METROPOLITANA DI BOLOGNA, ANNO 2014 (dati provvisori).*

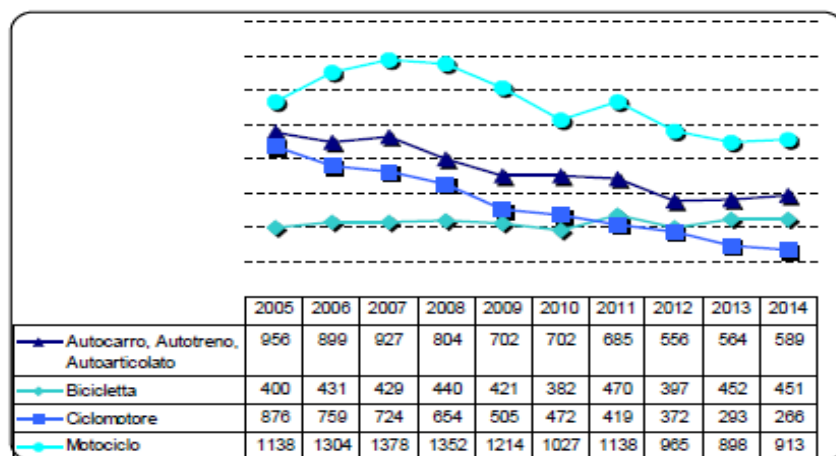


Figura 4. Veicoli coinvolti negli incidenti dal 2005 al 2014.

Note. Nel presente grafico sono escluse le autovetture. Ufficio di statistica, Servizio Studi per la programmazione, 2015, *GLI INCIDENTI STRADALI NELL'AREA METROPOLITANA DI BOLOGNA, ANNO 2014.*

Non solo il numero di incidenti, ma anche il numero di ciclisti feriti o deceduti è da tenere in considerazione: in 451 biciclette coinvolte nel 2014,

ben 432 ciclisti sono rimasti feristi e 8 sono morti, a sottolineare che la maggior parte di questi incidenti ha avuto conseguenze rilevanti.

Da segnalare inoltre che gli utenti deboli maggiormente coinvolti negli incidenti stradali sono proprio i pedoni. Notiamo anche che la maggior parte degli utenti deboli (sia ciclisti sia pedoni) coinvolti è costituita da persone anziane over 70, seguita dai giovani tra i 18 e i 29 anni, categoria in cui fanno parte gli studenti universitari (Figura 5).

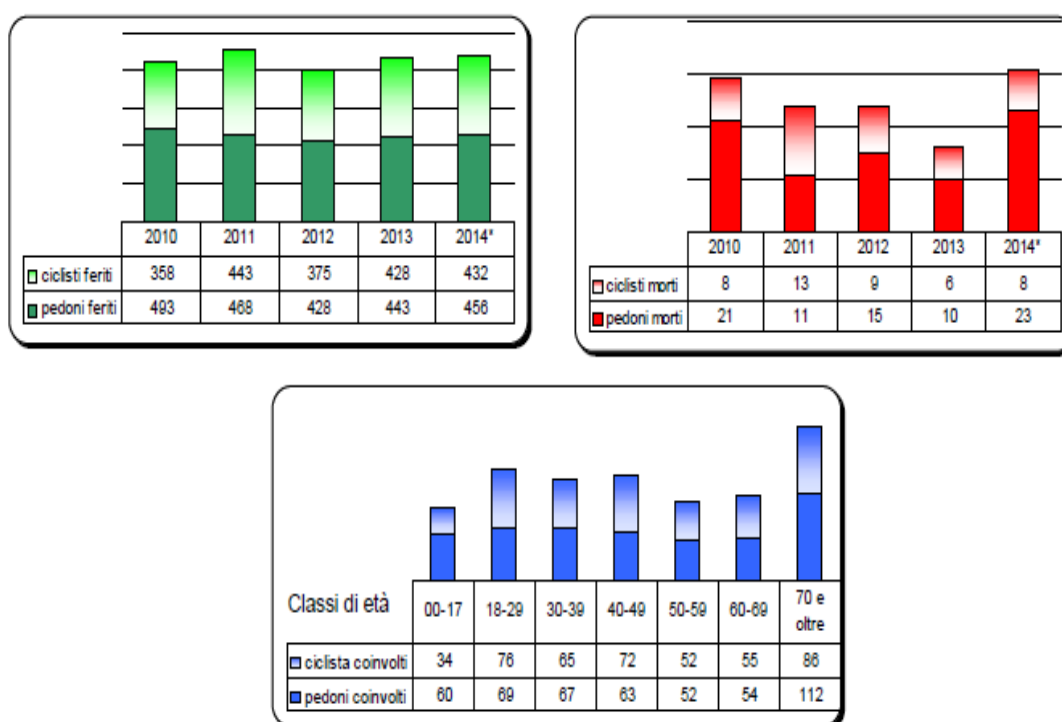


Figura 5. Ciclisti e pedoni rispettivamente feriti, morti e coinvolti in incidenti stradali dal 2010 al 2014.

Note. Ufficio di statistica, Servizio Studi per la programmazione, 2015, *GLI INCIDENTI STRADALI NELL'AREA METROPOLITANA DI BOLOGNA, ANNO 2014.*

A livello nazionale, i dati Istat (2013) rilevano che le biciclette risultano, come nel caso della città metropolitana di Bologna, il quarto veicolo più coinvolto in incidenti. Il tasso di mortalità rispetto al numero di incidenti con lesioni al 2013 è stato di 1,41 morti per 100 veicoli coinvolti e rappresenta la seconda categoria di veicolo più pericolosa dopo i motocicli (1,68 morti per 100 veicoli coinvolti).

Nel periodo che va dal 2001 al 2013, il numero di ciclisti deceduti in incidente stradale è diminuito del 31,4%, una percentuale più bassa sia rispetto agli altri utenti vulnerabili della strada (pedoni 46,8% e centauro

40,5%) che nei confronti della variazione percentuale delle vittime della strada totale (52,3%).

In generale, gli utenti deboli della strada rappresentano quell'insieme per cui risulta più difficile ottenere una sostanziale riduzione sia del numero di incidenti che di vittime. Il tasso di riduzione della mortalità risulta difatti più basso tra pedoni e ciclisti rispetto alle altre categorie. Proprio in Emilia-Romagna si presenta la quota maggiore di ciclisti feriti in incidenti (13% del totale).

La Commissione Europea e l'Assemblea Generale delle Nazioni Unite in merito alla sicurezza stradale hanno fissato degli obiettivi per la decade 2011-2020, ovvero il dimezzamento, rispetto al 2010, del numero dei morti sulle strade in Europa e nel mondo: Figura 6.

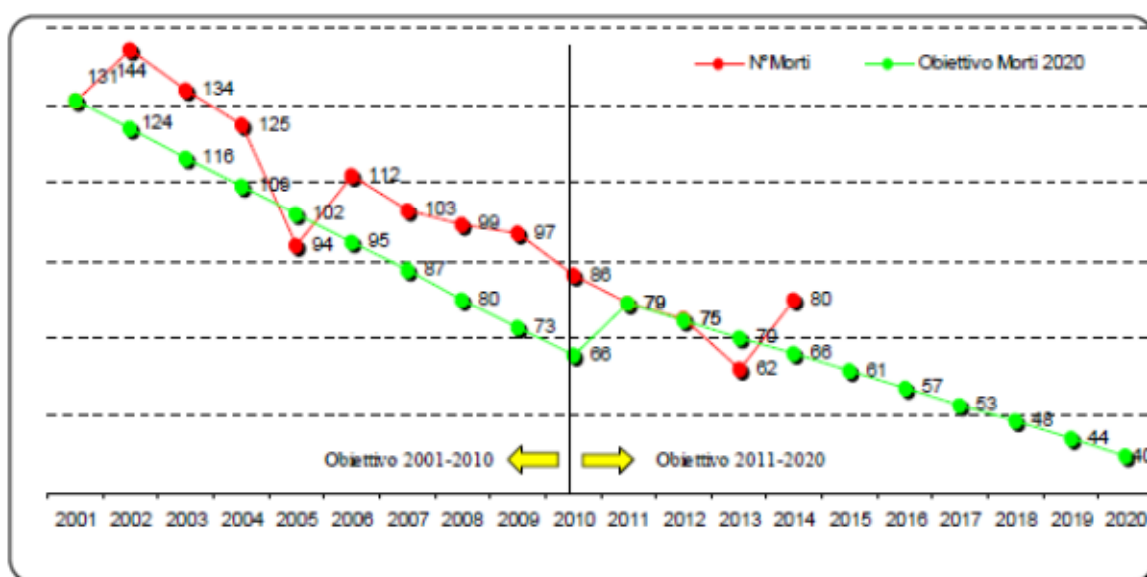


Figura 6. Obiettivo imposto dalla Commissione Europea sul numero di morti.

Note. Ufficio di statistica, Servizio Studi per la programmazione, 2015, *GLI INCIDENTI STRADALI NELL'AREA METROPOLITANA DI BOLOGNA, ANNO 2014.*

In particolare, la Commissione raccomanda di impegnarsi maggiormente in quelle aree dove sono stati ottenuti risultati meno soddisfacenti e, per l'individuazione degli obiettivi nazionali specifici, di confrontare tali risultati con quelli migliori ottenuti dagli altri Paesi europei nelle stesse aree.

I ciclisti, insieme ai pedoni, fanno parte di quella categoria di utenti colpita in modo particolare dal fenomeno della mortalità in strada, secondo quanto

riportato dal Libro Bianco, presentato dalla Commissione Europea stessa il 12 settembre 2001 (Istat, 2013).

L'Istat afferma ancora che:

“la mortalità specifica di queste tipologie di utenti della strada assume quindi un particolare rilievo per individuare eventuali aree di persistenza del rischio stradale al termine del periodo di attuazione del Terzo Programma. Il Quarto Programma d'azione europeo per la sicurezza stradale per il decennio 2011-2020 pone una particolare enfasi sull'esigenza di migliorare il livello di protezione degli utenti vulnerabili della strada, quali i conducenti e i passeggeri di motocicli e ciclomotori, i ciclisti, i pedoni, gli anziani, i bambini, le persone con disabilità, ai quali è dedicato il 7° obiettivo strategico.” (Istat, 2013, 19).

1.3 IL PEDONE IN AMBITO URBANO

Il comportamento dei pedoni è legato a fattori umani, la scelta dei percorsi è tendenzialmente casuale, legata più al volere del soggetto, che alla morfologia delle infrastrutture. Perciò è molto difficile identificare dei moduli di comportamento dei pedoni, a parte alcuni casi in cui le possibili azioni sono vincolate ad un'unica scelta possibile.

1.3.1 COMPORTAMENTI PERICOLOSI DEI PEDONI

Spesso i comportamenti dei pedoni sono legati però alla loro attenzione ed alla loro personalità. Infatti di frequente essi assumono un atteggiamento pericoloso, che potrebbe provocare un incidente stradale.

In merito alla disattenzione dei pedoni in ambito cittadino, gli studiosi dell'Accademia Cinese delle Scienze W. Qu, H. Zhang, W. Zhao, K. Zhang, Y. Ge, hanno pubblicato una relazione sulla ricerca: *The effect of cognitive errors, mindfulness and personality traits on pedestrian behavior in a Chinese sample* (2016). Questi hanno utilizzato una versione cinese della *Pedestrian Behaviour Scale (PBS)* ed hanno investigato la correlazione tra

suddetta scala e l'attenzione del soggetto, dipendente anche dalla personalità del pedone stesso. A questo è stato anche aggiunto un questionario demografico e due altre scale di misura: *the Attention-Related Cognitive Errors Scale (ARCES)* e *Mindful Attention Awareness Scale (MAAS)*, che misura l'attenzione dei pedoni.

Dalla ricerca è emerso che, anche se la maggior parte degli incidenti si verifica quando un guidatore non riesce a vedere il pedone, molti di questi sono causati dalla negligenza del pedone stesso, ovvero dal suo comportamento e dalle violazioni del codice della strada. In più, molti pedoni non badano ai semafori e all'incirca il 20% dei pedoni cinesi è distratto durante l'attraversamento. I comportamenti dei pedoni, dunque dipendono dal grado di attenzione che essi hanno in quel momento e dalla loro personalità (lo stato d'animo può influenzare le azioni del pedone).

Uno studio simile al precedente è stato effettuato anche in Serbia, in collaborazione con l'Università di Belgrado, dagli esperti B. Antic, D. Pešić, N. Milutinovic, M. Maslac *Pedestrian behaviours: Validation of the Serbian version of the pedestrian behaviour scale* (2016). Lo scopo di tale ricerca era quello di determinare la frequenza dei comportamenti rischiosi dei pedoni nel traffico in Serbia.

I risultati della *Pedestrian Behaviour Scale*, accompagnati da alcune domande riguardanti l'uso del telefono cellulare durante l'attraversamento, hanno mostrato che i pedoni in Serbia distinguono tra violazioni (esposizione intenzionale al rischio), errori (esposizione non intenzionale al rischio) e *lapses* (prendere decisioni pericolose a causa della mancanza di concentrazione). Il maggior numero di incidenti che coinvolgono i pedoni avviene durante l'attraversamento, ed il 15% delle morti dei pedoni sono causate dalla negligenza dei pedoni stessi.

La *PBS* in Serbia ha fatto distinzione per età, per sesso, per lo scopo dell'utente (*reason for walking*), distanze quotidianamente percorse e il comportamento dei pedoni. In sintesi si è dedotto che generalmente i pedoni anziani e quelli di sesso femminile presentano atteggiamenti positivi nei confronti degli altri utenti della strada; inoltre si è fatto notare che la

negligenza e la distrazione dei pedoni tendono ad aumentare con le distanze percorse da ognuno di essi ogni giorno.

1.3.2 **FLUSSI PEDONALI**

La promiscuità dei flussi pedonali nelle aree urbane deriva dalla combinazione di svariati fattori, come la morfologia urbanistica e la diffusa tendenza di spostarsi a piedi, in particolare nei centri urbani. Per tali motivi, l'incidente pedonale è diventato uno dei problemi più gravi della mobilità e dei trasporti, comportando spesso decessi ed importanti costi sociali. Il controllo simultaneo di flussi veicolari e pedonali risulta difficoltosa, poiché le possibilità di interazione tra auto e pedone sono di svariati tipi, anche in relazione al fatto che si possono verificare sia in senso longitudinale, sia in senso trasversale alla direzione di marcia del veicolo.

Difatti le situazioni critiche di interazione auto-pedone, sono riconducibili ai due tipi di promiscuità dei flussi: promiscuità longitudinale e promiscuità trasversale. La prima, ovviamente, si riferisce al deflusso di auto e pedoni in direzione parallela alla strada. Le situazioni pericolose, in tal caso, si verificano quando il pedone non ha un'area destinata unicamente alla sua marcia, ovvero in assenza di marciapiedi, oppure a causa di comportamenti impropri da parte del pedone. Sicuramente la mancanza di luce andrebbe a peggiorare la visibilità, incrementando così il rischio associato al caso in esame. Le interazioni longitudinali, essendo dovute ad un uso improprio delle infrastrutture, o alla loro totale assenza, richiedono interventi di miglioramento delle infrastrutture stesse, come l'ampliamento dei marciapiedi, la pedonalizzazione di aree a forte densità pedonale, prevedendo percorsi alternativi per i veicoli, e l'installazione di elementi di separazione tra la carreggiata e le aree pedonali. La promiscuità trasversale invece si riferisce alle situazioni di pericolo durante la fase di attraversamento della carreggiata da parte dei pedoni. Tali situazioni possono risultare più rischiose in assenza di luce, ma anche in assenza di attraversamenti pedonali predisposti, ancor più se non regolati da semafori. Chiaramente, anche in questo caso, la prudenza del pedone potrebbe scongiurare il rischio di incidente, ma non sempre è così. Ridurre i pericoli associati alla promiscuità trasversale non è semplice, ma si potrebbe

migliorare la situazione progettando accuratamente le intersezioni pedonali, tenendo conto anche della densità del traffico veicolare, della larghezza della carreggiata e dei limiti di velocità per i veicoli, in modo da aumentare la distanza alla quale gli automobilisti si possono accorgere della presenza di un attraversamento pedonale (tale distanza deve essere, per legge, di almeno 50 m).

1.3.3 ZONA DI COMFORT

Il comportamento dei pedoni è quindi imprevedibile ma spesso determinante nell'involgere di incidenti stradali. Vista la volubilità del loro comportamento e l'elevata tendenza a non rispettare le regole della strada, è tutt'oggi impossibile prevenire del tutto gli incidenti da essi causati.

Al contrario, si potrebbero migliorare le infrastrutture nei pressi dei passaggi pedonali, in modo da tenere conto della "zona di comfort", definita come la zona limitata all'interno della quale, se un pedone si appresta ad attraversare, il conducente di un veicolo proveniente riesce ad evitare l'incidente, poiché egli, avvistando con un certo anticipo il pericolo, ha sufficiente tempo per poter eseguire manovra evasiva ed evitare l'impatto con il pedone.

In merito alla determinazione della "zona di comfort" sono state eseguite delle ricerche, tra cui quella condotta da N. Lubbe, E. Rosén, nel 2014: *Pedestrian crossing situations: Quantification of comfort boundaries to guide intervention timing*. Sono stati effettuati dei test con 62 volontari e veicoli che procedevano a 30 km/h oppure a 50 km/h, in condizioni di asfalto asciutto. Un manichino veniva proiettato in strada, in una zona in cui era presente un'ostruzione sulla traiettoria di guida della macchina, ovvero nei pressi di un attraversamento pedonale caratterizzato da una zona di comfort limitata (ove la visibilità del conducente è in qualche modo ridotta). L'insorgere di una frenata indicava disagio da parte del conducente.

La corsia nel senso opposto era occupata da un veicolo gonfiabile, per impedire al conducente di invadere la corsia stessa durante la manovra evasiva.

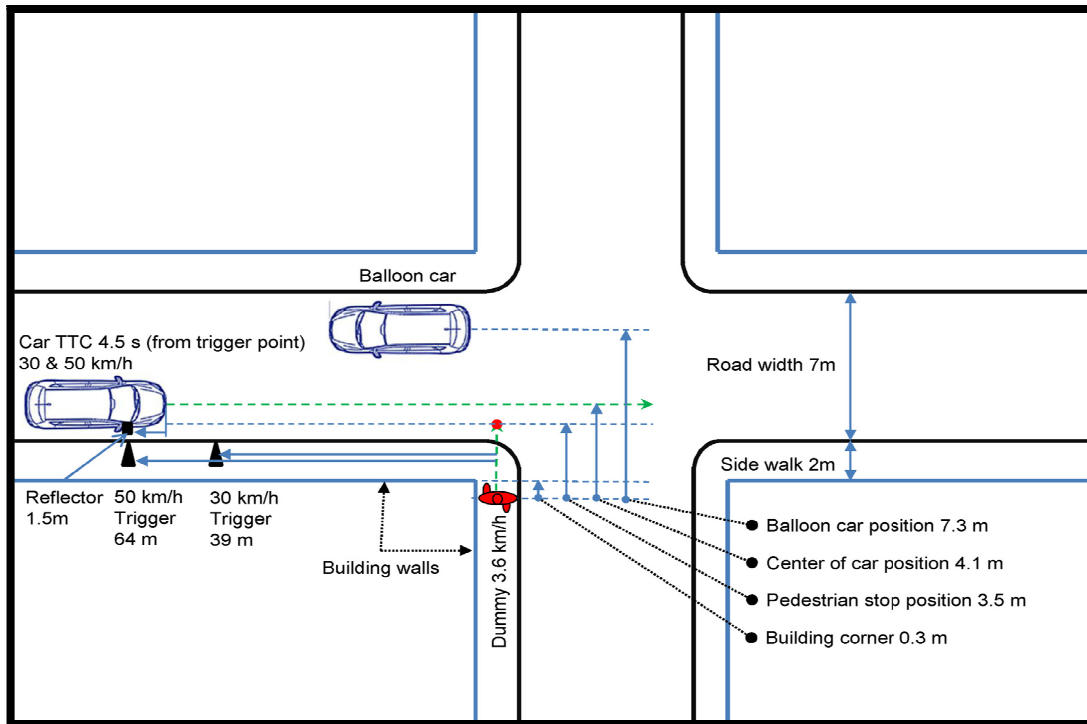


Figura 7. Layout delle condizioni in cui sono stati svolti i test.

Note. ACCIDENT ANALYSIS AND PREVENTION – Pedestrian crossing situations: Quantification of comfort boundaries to guide intervention timing.



Figura 8. Fotografia della scena di esecuzione dei test.

Note. ACCIDENT ANALYSIS AND PREVENTION – Pedestrian crossing situations: Quantification of comfort boundaries to guide intervention timing.

I test consistevano nel far avvicinare un veicolo nella direzione dell'incrocio, tenendo il conducente all'oscuro di quanto sarebbe avvenuto. Durante l'avanzamento della vettura, quando il centro del veicolo si trovava ad una certa distanza longitudinale dal centro del manichino, misurata tramite delle foto-cellule disposte lungo il tratto di strada (64 m per i test eseguiti a 50 km/h e 39 m per i test eseguiti a 30 km/h), veniva spinto il manichino verso la zona di attraversamento pedonale. La distanza che il manichino avrebbe percorso, era fissata a 3,5 m, in modo da fermarsi nel puntino rosso di figura 7, che è stato definito come punto teorico di impatto tra veicolo e manichino.

Dai test sono stati ricavati una serie di dati utili relativi al comportamento del conducente quando veniva avvistato il manichino:

- TTC (Time To Collision) = tempo trascorso dall'inizio della frenata, fino al punto teorico (puntino rosso nella figura 7, calcolato considerando il moto del veicolo e quello del manichino) in cui sarebbe avvenuta la collisione tra veicolo e manichino. Esso è stato definito come:

$$TTC = \frac{\text{distanza tra posizione del veicolo ad inizio frenata e punto teorico di collisione}}{\text{velocità del veicolo}}$$

- Distanza Longitudinale = distanza longitudinale (in m) tra il centro (della parte anteriore) del veicolo ed il pedone al momento dell'inizio della frenata;
- Distanza Laterale = distanza laterale (in m) tra il centro (della parte anteriore) del veicolo ed il pedone al momento dell'inizio della frenata, presa nella direzione perpendicolare alla direzione di marcia del veicolo.

Tutte le grandezze misurate (precedentemente elencate) sono utili a definire i confini di comfort. Infatti esse sono poi state rielaborate ed analizzate, calcolando la loro distribuzione empirica cumulativa (ECD = Empirical Cumulative Distribution).

Sono stati quindi ricavati i grafici riportati nelle Figure 9, 10 e 11.

Si è osservato che il TTC era indipendente dalla velocità di guida e oscillava tra 2,1 e 4,3 s con una media di 3,2 s (Figura 9).

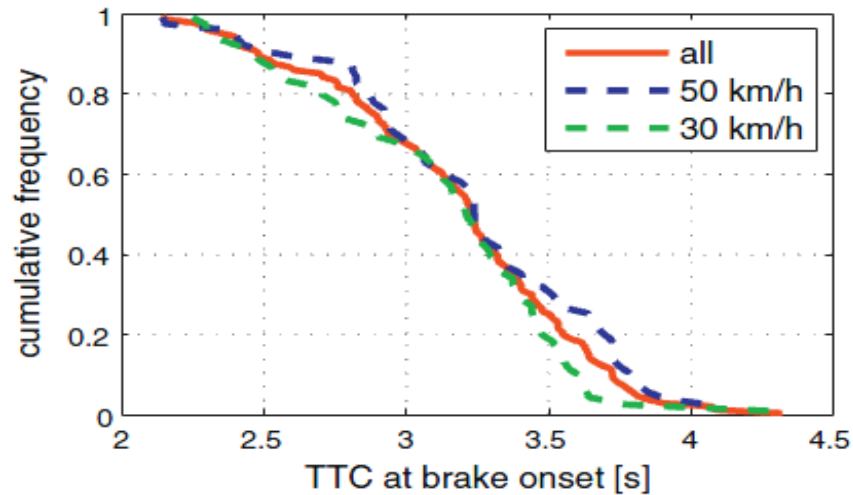


Figura 9. Curva cumulativa TTC in base alle velocità.

Note. ACCIDENT ANALYSIS AND PREVENTION – Pedestrian crossing situations: Quantification of comfort boundaries to guide intervention timing.

Nella figura è rappresentata la curva cumulativa del TTC (tempo trascorso fino al punto di collisione teorico, dal momento in cui inizia la frenata). La curva ci dice che, sia per i test eseguiti a 30 km/h, sia per quelli eseguiti a 50 km/h, il tempo di collisione (teorico) è minore di 2.7 s solo nel 20% dei casi, è maggiore di 3,6 s nel 10% dei casi, mentre nel 70% delle prove è risultato essere compreso tra i 2,7 e i 3,6 s.

Inoltre si è visto che il TTC non solo era indipendente dalla velocità, ma non era influenzato neanche dall'età del guidatore e quindi nemmeno dall'esperienza.

La distanza longitudinale tra il veicolo ad inizio frenata ed il centro del manichino variava tra 19 e 48 metri, con un'apparente differenza tra le velocità testate (Figura 10).

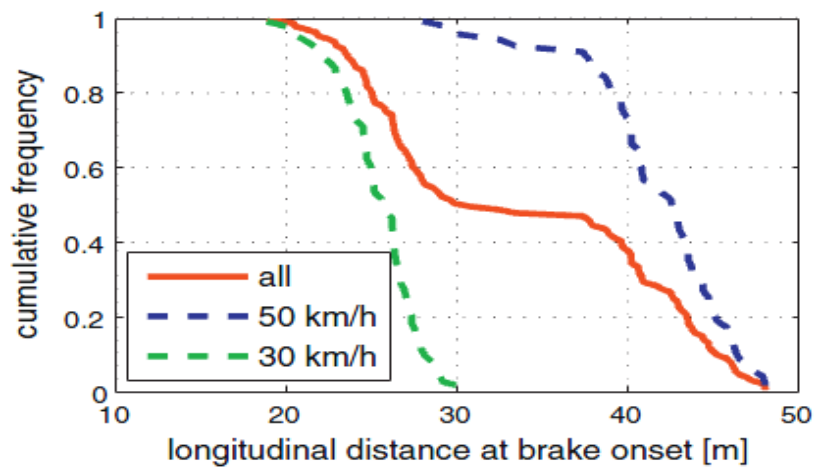


Figura 10. Curva cumulativa della distanza longitudinale (m).

Note. ACCIDENT ANALYSIS AND PREVENTION – Pedestrian crossing situations: Quantification of comfort boundaries to guide intervention timing

Nella figura precedente è rappresentata la curva cumulativa della distanza longitudinale tra la posizione del veicolo (calcolata al momento in cui inizia la frenata) ed il manichino. La curva ci dice che per i test eseguiti a 30 km/h, nella maggior parte dei casi (circa il 70%) la distanza longitudinale è circa 25 m, mentre in una percentuale molto ridotta delle prove (circa il 10%) raggiunge i 30 m; il restante 20% dei conducenti invece iniziano a frenare ad una distanza compresa tra i 19 ed i 25 m. Per quanto riguarda invece i test eseguiti a 50 km/h la frequenza maggiore (70%) si ha ad una distanza longitudinale tra i 38 e i 45 m, con minore frequenza invece (20%) l'inizio della frenata avviene ad una distanza minore di 38 m dal manichino; il restante 10% inizia a frenare a 45-50 m prima del manichino.

La distanza laterale tra centro del veicolo e manichino, misurata all'inizio della frenata, differiva di poco in relazione alle velocità di guida: tra 1,9 e 4,1 m (Figura 11).

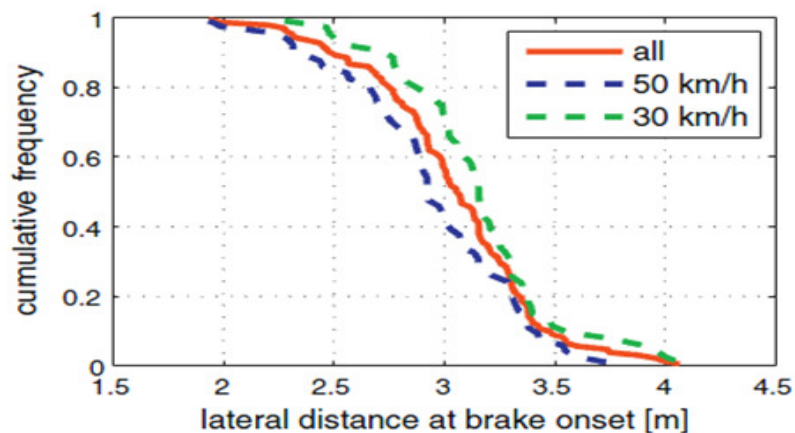


Figura 11. Curva cumulativa della distanza laterale (m).

Note. ACCIDENT ANALYSIS AND PREVENTION – Pedestrian crossing situations: Quantification of comfort boundaries to guide intervention timing.

Nella figura è rappresentata la curva cumulativa della distanza laterale (tra il centro del veicolo ed il pedone), dal momento in cui inizia la frenata. La curva ci dice che sia per i test eseguiti a 30 km/h, sia per quelli a 50 km/h, nella maggior parte dei casi (circa 80%) il veicolo si trova ad una distanza laterale compresa tra i 2,5 ed i 3,4 m, mentre in una percentuale molto ridotta delle prove (circa il 10%) è inferiore ai 2,5 m; per il restante 10% la distanza laterale iniziale è maggiore dei 3,4 m.

Il grafico in Figura 12 descrive le soglie alle quali i guidatori si sentono sicuri e la soglia al di sotto del quale, invece, hanno un senso di *discomfort*, situazione durante la quale il guidatore percepisce il rischio e decide di tornare alla guida “normale”.

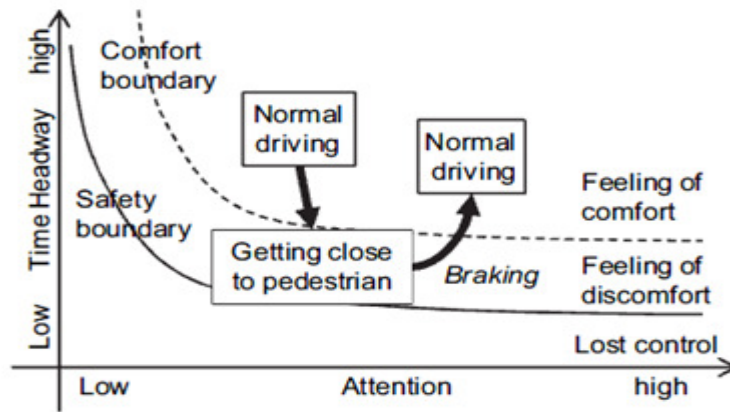


Figura 12. Definizione dei confini di comfort.

Note. ACCIDENT ANALYSIS AND PREVENTION – Pedestrian crossing situations: Quantification of comfort boundaries to guide intervention timing

Il grafico raffigura una quadro di valutazione della sicurezza attiva, che descrive i confini di comfort del conducente. Sono riportate delle soglie, al di sopra delle quali i conducenti si sentono a proprio agio e sono impegnati in attività di guida normali; sotto le suddette soglie invece i conducenti provano un senso di disagio, quindi assumono comportamenti che gli consentiranno di uscire dalla situazione rischiosa. Ad esempio, se si sta avvicinando troppo ad un pedone, il conducente frena e poi torna alla guida normale e confortevole.

Sono stati poi calcolati i tempi di reazione per ciascun volontario (Figura 13). Il tempo di reazione è stato considerato dal primo punto di ‘visibilità’, assunto a 0,2 m dal movimento del manichino.

Tempi di reazioni troppo brevi potrebbero significare un fraintendimento della prova da parte dei volontari, credevano che si dovesse frenare il prima possibile.

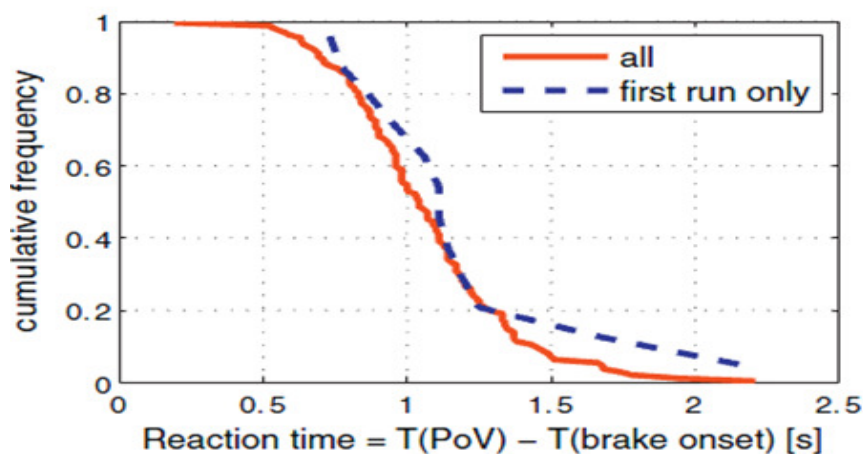


Figura 13. Tempi di reazione (linea rossa per tutti i volontari, linea blu per i volontari totalmente sorpresi, in quanto al primo passaggio).

Note. ACCIDENT ANALYSIS AND PREVENTION – Pedestrian crossing situations: Quantification of comfort boundaries to guide intervention timing

Nella figura precedente è rappresentata la curva cumulativa del tempo di reazione dei conducenti (dal momento in cui il manichino è visibile al conducente). Le curve ci dicono che circa il 10% dei volontari hanno avuto un tempo di reazione inferiore a 0,7 s, un altro 10% ha reagito con un tempo maggiore di 1,5 s; il restante 80% invece ha mostrato un tempo di reazione compreso tra 0,7 e 1,5 s.

Al primo giro nessun volontario ha azionato i freni fino a quando non hanno visto il manichino. In più, i volontari dovevano passare solo da quell'incrocio, quindi non erano distratti da altri compiti.

L' *Intervention timing*, ovvero l'attuazione della frenata, sia in forma di avvertimento che di frenatura automatica, richiede una modulazione. Più tardi si attiva, meno tempo si ha per ridurre la velocità o per altre manovre, se invece si attiva troppo presto si ha più tempo di non far evolvere una situazione critica in una collisione.

Questo studio ha mostrato che il tempo di collisione dall'inizio della frenata è una misura adatta per quantificare i confini di comfort del conducente, nelle situazioni di attraversamento pedonale. Il TTC è risultato essere un parametro molto utile per la progettazione e la calibrazione dei sistemi di sicurezza attiva finalizzata alla protezione dei pedoni, in funzione dell'intervention timing ottimale.

I risultati dei test ci suggeriscono che è possibile individuare una concreta soglia di intervento. Potrebbe essere utile, ad esempio, progettare un sistema di intervento che anticipi la reazione del conducente.

1.4 LE SITUAZIONI CRITICHE NELL'INTERAZIONE AUTO-BICI

La maggior parte degli incidenti che coinvolgono ciclisti, coinvolgono anche altri veicoli.

Le dinamiche con le quali un incidente avviene sono innumerevoli. I principali incidenti tra automobile e bicicletta sono (fonte: www.italy-ontheroad.it):

- Incrocio da destra (il più diffuso);
- Apertura improvvisa della portiera;
- Incrocio al semaforo;

- Svolta improvvisa a destra (due tipi);
- Incrocio a sinistra;
- Urto posteriore (due tipi);
- In bicicletta sugli attraversamenti pedonali;
- Scontro frontale contromano;
- Scontro nelle rotonde.

Queste tipologie mettono in evidenza tre particolari condizioni critiche per quanto riguarda le interazioni auto-bicicletta:

- le intersezioni, sia quando il ciclista attraversa la strada a partire da una pista ciclabile, sia quando questa non è presente;
- la strada “condivisa”, ovvero quando auto e bicicletta si trovano sulla stessa carreggiata, in assenza di corsie separate per i ciclisti;
- condizioni di scarsa visibilità, dovute ad esempio alla nebbia o alla pioggia, o alla scarsa illuminazione, ad esempio nelle ore notturne.

1.4.1 LE INTERSEZIONI TRA CARREGGIATA E PISTA CICLABILE

Solitamente il percorso ciclabile è situato ai lati esterni della carreggiata, quindi, in un incrocio, l'automobilista proveniente da una determinata direzione lo incrocerà prima rispetto alla strada trasversale. Per spiegare meglio questo concetto, si fa riferimento allo studio *Bicycle accidents and drivers' visual search at left and right turns* effettuato nel 1996 presso il dipartimento di Psicologia dell'Università di Helsinki (H. Summala, E. Pasanen, M. Räsänen e J. Sievänen), dal quale si evince che, durante una manovra di svolta a destra, il conducente di un veicolo si concentra principalmente sui veicoli che arrivano da sinistra, prestando meno attenzione agli utenti che eventualmente arrivano da destra e che si accingono ad attraversare la strada.

In Figura 14, sono mostrate le tipologie di collisione in un incrocio analizzate nel corso della ricerca.

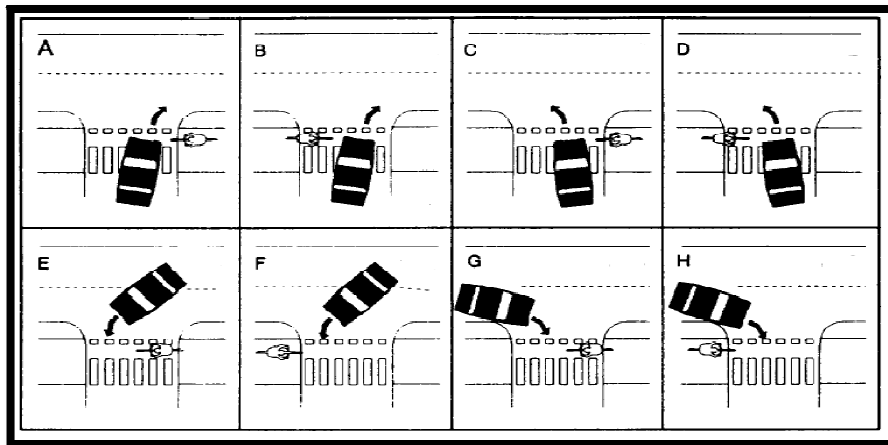


Figura 14. Gli urti auto - bici per tipo.

Note. Summala, H., Pasanen, E., Räsänen, M., e Sievänen, J., 1996, Bicycle accidents and drivers' visual search at left and right turns. *Accident Analysis and Prevention* 28, n° 2, 147-153.

La tipologia A è la più diffusa tra le collisioni fra questi due utenti della strada. Questo, spiega Summala, avviene per il fatto che l'automobilista, dovendo immettersi nella carreggiata percorsa dai veicoli provenienti da sinistra, tenderà a guardare maggiormente in quella direzione e quindi non vedrà il ciclista proveniente da destra; discorso simile per la tipologia E.

Un caso interessante riguarda la tipologia F, in cui l'automobilista svolta a sinistra e il ciclista si trova nella direzione opposta: per svoltare, egli guarderà ovviamente in quella direzione, dal momento che deve invadere la corsia opposta, ma potrà non percepire il ciclista. Questo fenomeno è denominato "looked-but-failed-to-see" e coinvolge anche l'aspetto psicologico del guidatore.

1.4.2 LA "STRADA CONDIVISA"

I veicoli circolano con l'obbligo di rispettare delle regole ben definite. I conducenti non scelgono le traiettorie a piacimento, ma devono attenersi a percorsi definiti e delimitati, ovvero le carreggiate.

La sicurezza della guida è praticamente affidata alla vista del conducente, quindi al suo giudizio ed alle sue valutazioni sulle distanze che lo separano dagli altri utenti e sulle velocità relative degli altri veicoli, che lo inducono a fare delle scelte su quali siano le manovre più opportune.

In particolare ci interessa considerare le situazioni in cui la strada sia utilizzata da automobili e ciclisti contemporaneamente.

Ovviamente, quando è presente una pista ciclabile, questa deve essere obbligatoriamente utilizzata dai ciclisti, pena una sanzione amministrativa, come specificato dall'art. 182 del Codice della Strada.

In mancanza di questa, le biciclette occupano la carreggiata insieme agli altri veicoli. In questo caso si parla di “strada condivisa” e i rischi di collisione sono ovviamente maggiori rispetto al caso di corsie separate. In particolare, il ciclista deve camminare quanto più possibile sul margine destro della carreggiata, per intralciare meno i veicoli più veloci, e questo può causare alcune tipologie di incidenti precedentemente accennate, come quelle derivanti da veicoli parcheggiati, ostacoli sulla strada da evitare o svolte a destra. Quando un veicolo è in sosta, il pericolo per il ciclista è che la persona dentro l'auto non lo veda e apra la portiera colpendolo; oppure, la bicicletta si sposta sulla sinistra per evitare un veicolo che fa manovra di parcheggio o un ostacolo sulla carreggiata: in questo caso si ha rischio di urto posteriore causato da un altro mezzo circolante nella stessa corsia. Le svolte a destra delle auto sono pericolose in quanto la visione (dell'automobilista) dell'ambiente circostante è limitata da alcune parti del proprio veicolo, come ad esempio i montanti, e ciò può comportare il rischio che il ciclista non venga avvistato e si proceda con la manovra. L'uso della pista ciclabile quando presente, quindi, aumenta notevolmente la sicurezza dei ciclisti in quanto può evitare alcuni tipi di collisione con altri veicoli.

1.4.3 LE CONDIZIONI DI SCARSA VISIBILITÀ

Questo caso può essere compreso in alcune situazioni dei due casi visti in precedenza. Le condizioni di scarsa visibilità aumentano il rischio di incidenti proprio per il fatto che un veicolo o un altro utente non viene visto alla distanza necessaria ad evitare la collisione. I fattori che limitano la visibilità possono essere dovuti ad eventi climatici, ad esempio pioggia o nebbia, oppure scarsa illuminazione in strada nelle ore notturne. Soprattutto in queste condizioni, il ciclista deve essere attrezzato in modo adeguato per essere visibile ad una certa distanza dagli altri utenti della strada ed evitare collisioni. L'art.68 comma 1 del C.d.S. afferma che:

“1. I velocipedi devono essere muniti di pneumatici, nonché:

- a) *per la frenatura: di un dispositivo indipendente per ciascun asse che agisca in maniera pronta ed efficace sulle rispettive ruote;*
- b) *per le segnalazioni acustiche: di un campanello;*
- c) *per le segnalazioni visive: anteriormente di luci bianche o gialle, posteriormente di luci rosse e di catadiottri rossi; inoltre, sui pedali devono essere applicati catadiottri gialli ed analoghi dispositivi devono essere applicati sui lati”.*

L'illuminazione in strada dovrebbe essere compresa tra i 6 e i 9 lux. Il limite inferiore di visibilità è circa 2 lux. Al di sotto di questo limite, in strade rurali ad esempio, un utente debole con abiti scuri e privo di dispositivi luminosi risulta praticamente invisibile. Con tale abbigliamento e sprovvisto di dispositivi, risulterebbe comunque poco visibile anche se illuminato dai proiettori anabbaglianti di un'auto (la distanza alla quale viene rilevato è di circa 75 piedi, ovvero meno di 23 metri).

Riguardo all'importanza dell'utilizzo di accessori in grado di aumentare la visibilità degli utenti deboli, si citano i risultati dello studio *Effects of experience with retroreflectors on recognition of nighttime pedestrians: comparison of driver performance in Finland and Michigan* effettuato nel 1998 presso il Technical Research Centre of Finland (Luoma e Penttinen), dal quale che: nel caso in cui i catarifrangenti fossero applicati sulle braccia, si registrava una distanza di riconoscimento maggiore di quella registrata con i catarifrangenti sul busto e un pedone era più riconoscibile durante l'attraversamento della strada piuttosto che durante moto longitudinale rispetto al veicolo in test. Tuttavia, la differenza delle distanze di riconoscimento tra le varie posizioni dei catarifrangenti risulta essere minore in Finlandia e maggiore in Michigan anche se i soggetti finlandesi hanno risposto più frequentemente in maniera incorretta.

Si riportano i risultati ottenuti in Finlandia e quelli comparati con i risultati del Michigan (Figura 15).

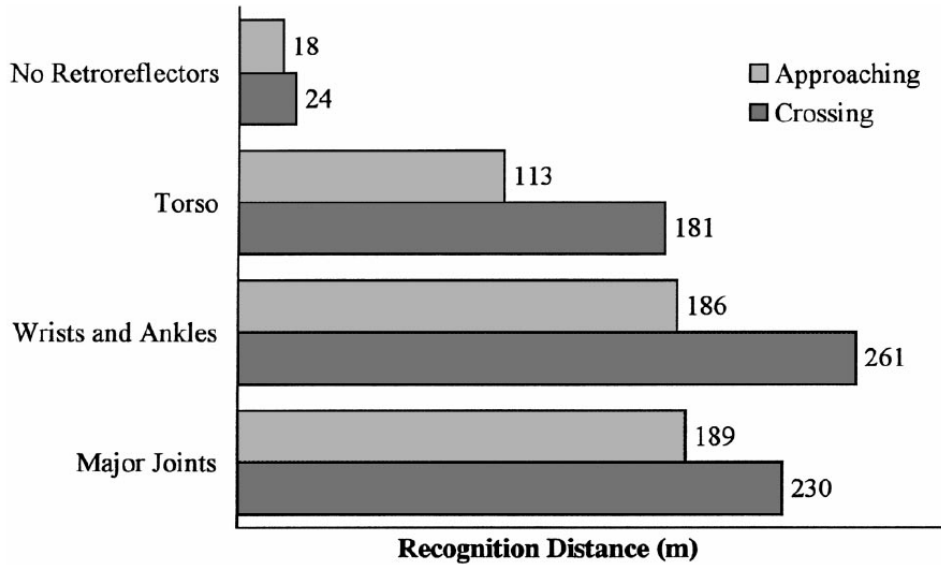


Figura 15. Distanze di riconoscimento per differenti posizioni dei catarifrangenti. (Finlandia)

Note. Effects of experience with retroreflectors on recognition of nighttime pedestrian: Comparison of driver performance in Finland and Michigan. Transportation Research Part F, 47 – 58.

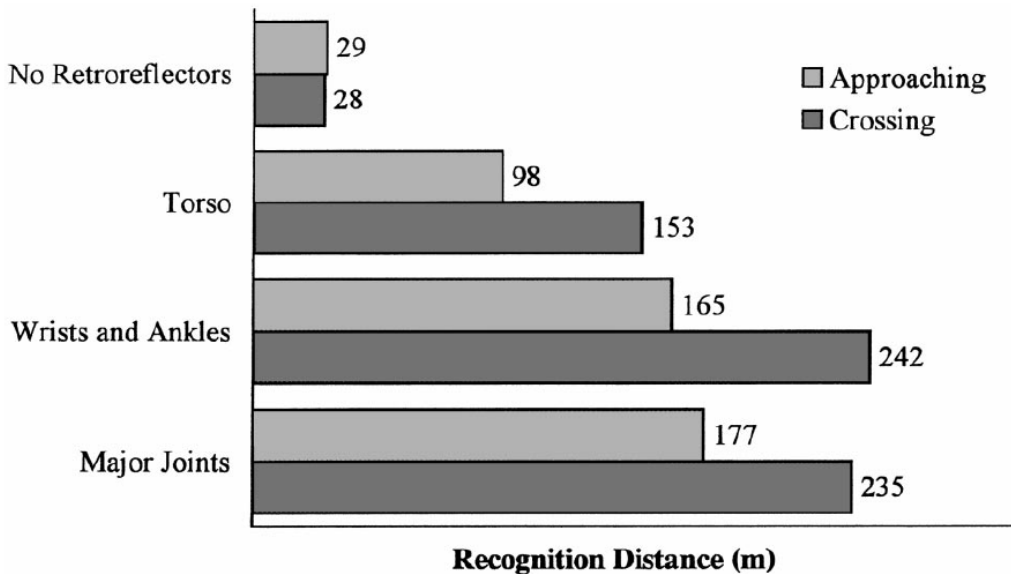


Figura 16. Distanze di riconoscimento per differenti posizioni dei catarifrangenti. (Finlandia e Michigan)

Note. Effects of experience with retroreflectors on recognition of nighttime pedestrian: Comparison of driver performance in Finland and Michigan. Transportation Research Part F, 47 – 58.

I risultati suggeriscono che la posizione dei retro riflettori è uno dei fattori chiave per l'aumento della distanza di riconoscimento dei pedoni negli orari notturni. Questo vale sia per il guidatore che ha esperienza con i catarifrangenti indossati dai pedoni che per chi non ce l'ha.

La ridotta visibilità è una delle maggiori cause degli incidenti coi pedoni in orario notturno anche secondo J. Wood, R. Tyrrell, T. Carberry, che hanno eseguito uno studio congiunto tra la Queensland University of Technology (Australia) e la Clemson University (USA): *Pedestrian Visibility at Night: Effects of Pedestrian Clothing, Driver Age, and Headlamp Beam Setting* (2002). Loro hanno indirizzato lo studio sull'abilità dei guidatori di riconoscere la presenza di pedoni a lato della strada e le distanze sono valutate tramite un *parallax-based device*.

Nel corso dei test, 10 giovani e 10 adulti hanno guidato di notte in un circuito chiuso e dovevano premere un bottone ogni qualvolta avessero visto un pedone. Sono state testati 4 abbigliamento diversi dei pedoni: nero, bianco, gilet catarifrangente e indumenti-vestiario comune catarifrangenti sia in condizioni di bassa che di alta visibilità.

I guidatori hanno riconosciuto solamente il 61% dei pedone in presenza di luce (strada illuminata artificialmente) e il 76% in assenza di luce (strada non illuminata artificialmente), con solo il 5% del riconoscimento dei pedoni vestiti di nero. Il pedone, in assenza di luce, è riconosciuto a una distanza di 76,5m, tale distanza si accorcia per i pedoni vestiti di nero a 13m e aumenta per i pedoni che indossano indumenti composti da materiali catarifrangenti. *The vest condition failed to produce similar benefits, despite having an equivalent amount of retroreflective material.* In più è stato osservato che tutti I guidatori hanno già difficoltà a riconoscere i pedoni negli orari notturni, ma quelli più anziani, hanno ancora più difficoltà, tant'è che questi hanno segnalato la presenza di un pedone il 58% delle volte segnalate da un guidatore giovane. Oltre a questo è fondamentale *the value of clothing*.

1.4.4 L'INTENSITÀ LUMINOSA

Il **lux** (abbreviazione lx) nel Sistema Internazionale (SI) è l'unità di misura per l'illuminamento (simbolo E), ovvero il rapporto tra il flusso luminoso (Φ) emesso da una sorgente e la superficie S illuminata. Il flusso luminoso si misura, nel SI, in lumen, quindi, dalla definizione di illuminamento, un lux corrisponde ad un lumen su m².

$$E = \frac{\Phi}{S}$$

Sia l'illuminamento che il flusso luminoso sono grandezze fotometriche. Un'altra grandezza fotometrica (e fisica) fondamentale è l'intensità luminosa (I), definita come "il flusso luminoso [...] emesso da una sorgente puntiforme in una determinata direzione nell'angolo solido unitario" (Illuminamento, Wikipedia) e misurata in candele.

Le unità di misura di queste grandezze sono correlate fra loro: si supponga di avere una sfera cava di raggio pari ad un metro e rivestita all'interno con materiale nero, in modo da evitare fenomeni di riflessione. Una sorgente puntiforme avente intensità luminosa costante e pari ad una candela sia collocata al centro della sfera, e sulla superficie della sfera stessa sia ricavata un'apertura di un m². Il flusso luminoso che attraversa tale apertura è per definizione pari ad un lumen e l'illuminamento ottenuto pari ad un lux. Con una sfera di raggio doppio, l'area della calotta determinata sulla superficie di questa sfera dall'angolo solido unitario è di 4 m², ovvero il quadruplo di quella precedente. Dal momento che la superficie è aumentata, il valore dell'illuminamento è diminuito, in particolare è diventato pari ad ¼ di lux; il flusso luminoso invece è ancora 1 lumen (Figura 17).

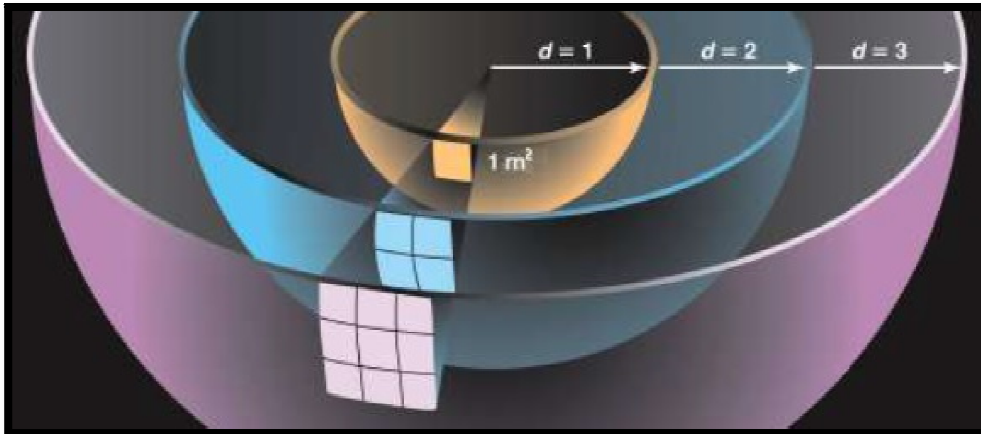


Figura 17. Esempio della sfera cava per dimostrare la relazione tra illuminamento e distanza dalla sorgente.

Note: www.progettazioneottica.it.

Quindi esiste proporzionalità inversa tra illuminamento e distanza al quadrato dalla sorgente, come evidenziato dalla *legge di Lambert*:

$$E = \frac{I \cos \alpha}{r^2}$$

con α angolo dalla direzione normale al piano della superficie con la direzione della luce incidente.

Da tale formula, si evince che l'illuminamento è massimo quando α è pari a 90° , ovvero superficie perpendicolare ai raggi luminosi, e nullo quando $\alpha = 0^\circ$.

1.5 LE TIPOLOGIE DI PISTE CICLABILI

Secondo la definizione del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, la pista ciclabile è:

“parte di itinerario ciclabile, composta da tratti di pista, anche di diversa tipologia, e attraversamenti ciclabili, identificata con specifica segnaletica, riservata alla circolazione dei velocipedi, o limitata a quella delle sole biciclette mediante specifica segnaletica verticale, in cui è garantita la continuità della precedenza per il ciclista, ed eventualmente collegata con altre piste e/o con aree a preferenza ciclabile attraverso elementi di raccordo” (MIT, 2014, 5).

Esistono diverse tipologie di piste ciclabili:

- piste ciclabili in sede propria, che sono separate dalle corsie riservate ai veicoli e da quelle riservate ai pedoni mediante elementi di separazione longitudinale idonei e tali da essere invalicabili per i veicoli a motore verso la pista ciclabile e per i ciclisti verso la parte pedonale (Figura 18);



Figura 18. Pista ciclabile in sede propria.

Note. Micucci, A., Zito, A., 2014, Analisi sperimentale della circolazione del ciclista, *Convegno ASAIS.*

- piste ciclabili su corsia riservata in carreggiata, costituita da una parte di strada separata dalla carreggiata da segnaletica orizzontale di delimitazione longitudinale e/o da delimitatori di corsia (Figura 19);

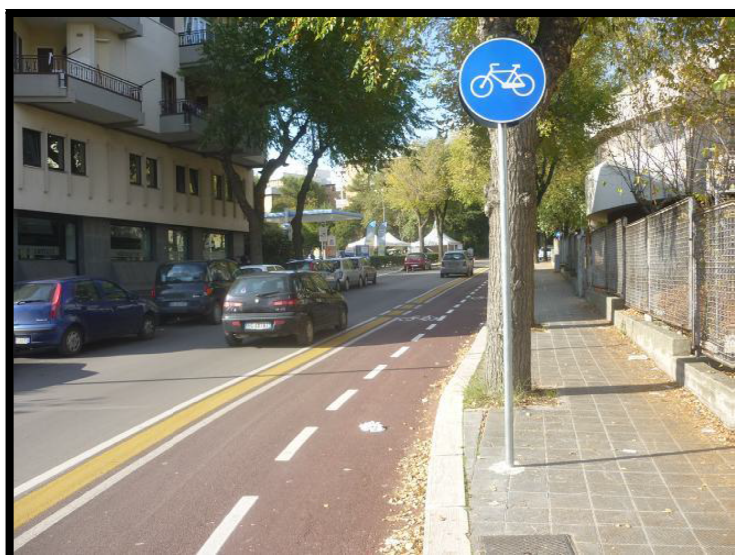


Figura 19. Piste ciclabili su corsia riservata in carreggiata.

Note. Micucci, A., Zito, A., 2014, Analisi sperimentale della circolazione del ciclista, *Convegno ASAIS.*

- piste ciclabili su corsia riservata sul marciapiede, che rispetto al caso precedente sono realizzate sul marciapiede sulla parte promiscua alla carreggiata e separate a loro volta dalla parte pedonale da segnaletica orizzontale di delimitazione longitudinale (Figura 20).



Figura 20. Pista ciclabile su corsia riservata sul marciapiede.

Note. Micucci, A., Zito, A., 2014, Analisi sperimentale della circolazione del ciclista, *Convegno ASAIS*.

Ognuna delle seguenti tipologie può essere a unico o doppio senso di marcia; nel caso di pista su corsia riservata in carreggiata ad unico senso di marcia, essa viene realizzata sul lato destro (rispetto al senso di marcia dei veicoli a motore) della strada. La realizzazione delle piste ciclabili prevede norme da rispettare per quanto riguarda dimensioni e distanze dalle sedi dedicate agli altri utenti e non solo: anche in base al tipo di strada e, quindi, al limite di velocità raggiungibile, sono consigliabili alcune tipologie rispetto ad altre, come specificato in Tabella 1.

SCELTA DEL TIPO DI PISTA E/O PERCORSO PROMISCUO IN FUNZIONE DELLA VELOCITA' MASSIMA CONSENTITA NELLA STRADA			
Velocità massima consentita (km/h)	PISTA CICLABILE		PERCORSO PROMISCUO VEICOLARE E CICLABILE
	Sede propria	Corsia riservata in carreggiata	
≤ 30	ammessa <i>(non consigliata)</i>	ammessa	preferibile ⁽¹⁾
$30 < V_{max} \leq 50$	ammessa	preferibile	ammesso
$50 < V_{max} \leq 70$	preferibile	non ammesso	ammesso <i>(non consigliato)</i>

(1) - Coincidente con la circolazione in promiscuo per le APC

Tabella 1. Scelta del tipo di pista e/o percorso promiscuo in funzione della velocità massima consentita.

Note. Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, 2014, *Istruzioni Tecniche per la progettazione delle reti ciclabili (Bozza n. 3 - 17 aprile 2014)*

In particolare, per le strade con limite di velocità inferiore o uguale a 30 km/h e vietate alla circolazione di veicoli con massa a pieno carico superiore a 3,5 tonnellate, eccetto autorizzati, si può introdurre il concetto di Area a Preferenza Ciclabile (APC), ovvero un'area in cui:

“non risulta necessario realizzare o individuare piste o percorsi ciclabili attraverso la specifica segnaletica orizzontale, e la circolazione dei velocipedi, dei pedoni e dei veicoli a motore avviene in promiscuo, nel rispetto della segnaletica e delle regole di comportamento” (MIT,cit., 9-10).

In questa tipologia di strade, si può indicare sulla il carreggiata il simbolo “bicicletta” per indirizzare i ciclisti verso quella parte (solitamente la parte destra), magari per una successiva pista ciclabile presente in quella direzione, o semplicemente per motivi di sicurezza. In questo caso si parla di percorso promiscuo veicolare e ciclabile (MIT, 2014) (Figura 21).

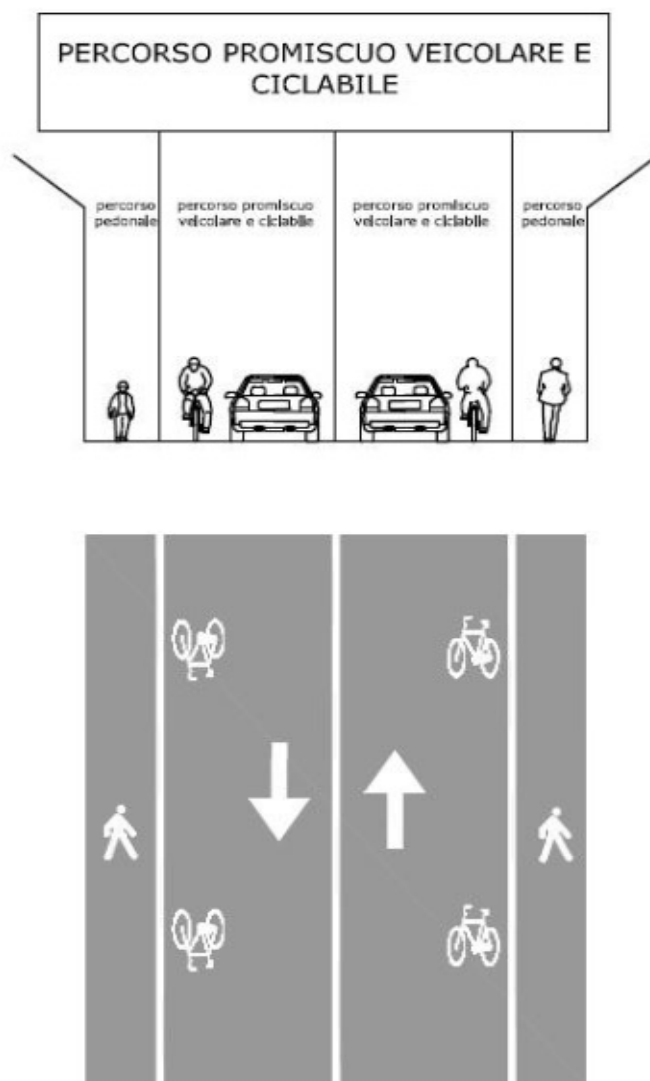


Figura 21. Percorso promiscuo veicolare e ciclabile.

Note. Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, 2014, *Istruzioni Tecniche per la progettazione delle reti ciclabili (Bozza n. 3 - 17 aprile 2014)*

Un altro tipo di percorso promiscuo è quello pedonale e ciclabile; questi percorsi però hanno lo svantaggio di tendere a mettere in conflitto pedoni e ciclisti, soprattutto in casi di flussi intensi di entrambe le tipologie di utenti, e questo annullerebbe di fatto il vantaggio del percorso riservato (Micucci & Zito, 2014) (Figura 22).



Figura 22. Percorso promiscuo pedonale e ciclabile.

Note. Micucci, A., Zito, A., 2014, Analisi sperimentale della circolazione del ciclista, *Convegno ASAIS*.

In Tabella 2 vengono mostrati i parametri dimensionali da rispettare per quanto riguarda le piste ciclabili (MIT, 2014)

		LARGHEZZA (m) MINIMA DELLE PISTE CICLABILI MISURATA TRA GLI ASSI DELLE STRISCE	
		NUOVA PISTA SU NUOVA STRADA	NUOVA PISTA SU STRADA ESISTENTE
TIPOLOGIA PISTA		<i>valore standard</i>	<i>range di variabilità</i>
PISTE PER SOLE BICICLETTE	<i>PISTA A CORSIA SINGOLA</i>	1,50	1,50 - 1,25
	<i>PISTA A DUE CORSIE DI SENSO CONCORDE</i>	2,50	2,50 - 2,00
	<i>PISTA A DUE CORSIE DI SENSO OPPOSTO</i>	2,50	2,50 - 2,20
PISTE PER TUTTI I VELOCIPEDI	<i>PISTA A CORSIA SINGOLA</i>	1,80	1,80 - 1,60
	<i>PISTA A DUE CORSIE DI SENSO CONCORDE</i>	3,00	3,00 - 2,50
	<i>PISTA A DUE CORSIE D I SENSO OPPOSTO</i>	3,00	3,00 - 2,50

Tabella 2. Parametri dimensionali da rispettare per quanto riguarda le piste ciclabili.

Note. Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, 2014, *Istruzioni Tecniche per la progettazione delle reti ciclabili (Bozza n. 3 - 17 aprile 2014)*

TIPOLOGIE DI SEPARAZIONE DEL FLUSSO CICLABILE DAL FLUSSO VEICOLARE E RELATIVI ELEMENTI COMPLEMENTARI					
	PISTA IN CARREGGIATA IN SEDE PROPRIA		PISTA IN CARREGGIATA SU CORSIA RISERVATA		PISTA SUL MARCIAPIEDE ⁽⁴⁾
	ELEMENTO INVALICABILE CONTINUO <i>(riferimento par. 3.2.3.1)</i>	ELEMENTO INVALICABILE DISCONTINUO <i>(riferimento par. 3.2.3.2)</i>	DELIMITATORI DI CORSIA E/O STRISCE DI DELIMITAZIONE <i>(riferimento par. 3.2.4.1)</i>	STRISCE DI DELIMITAZIONE <i>(riferimento par. 3.2.4.1)</i>	
LARGHEZZA MINIMA (cm) ELEMENTO FISICO DI SEPARAZIONE	50	variabile ⁽⁵⁾	<30	30	variabile ⁽⁵⁾
LARGHEZZA MINIMA (cm) STRISCE DI MARGINE CARREGGIATA	12 ⁽¹⁾	-	12	12	12 ⁽¹⁾
LARGHEZZA MINIMA (cm) STRISCE DI MARGINE PISTA	12 ⁽¹⁾	-	30	0	12
INTERDISTANZA (cm) TRA STRISCE DI CORSIA VEICOLARE E DELIMITATORE (O STRISCE DI MARGINE PISTA)	-	-	12	-	-
INTERDISTANZA (cm) TRA STRISCE DI CORSIA VEICOLARE E STRISCE DI MARGINE PISTA	-	-	-	12	-
LARGHEZZA MINIMA O RANGE DI VARIABILITÀ (cm) SEPARAZIONE TRA FLUSSO CICLABILE E FLUSSO VEICOLARE	50 - 74	60	54	54	40 - 52
ALTEZZA (cm) ELEMENTO DI SEPARAZIONE	H ₁ = 15 - 20 H ₂ = 5 - 10 ⁽²⁾	20 (min) 40 (max) dissuasori sosta (elementi di arredo, fioriere)	5 - 15	-	10 - 15 dissuasori sosta (parapiedoni) ⁽⁶⁾
ELEMENTI COMPLEMENTARI	OBBLIGATORI	cordolatura	-	-	dissuasori sosta (parapiedoni, pali)
	CONSENTITI	dissuasori sosta (parapiedoni, anole a verde)	-	-	dissuasori sosta (tutte le tipologie)
	NON CONSENTITI	dissuasori sosta (parietali, dispositivi ritenuta metallici)	-	-	-

Note:

(1) Tracciamento facoltativo per le strade locali ai sensi dell'articolo 138, c. 6, del Regolamento.

(2) L'altezza dell'elemento dal lato della pista (H2) può essere inferiore rispetto all'altezza dal lato della carreggiata (H1).

(3) La larghezza dell'elemento discontinuo, da posizionare nell'isola di traffico in modo che risulti sempre arretrato di almeno 10 cm rispetto al margine esterno, deve avere una larghezza massima almeno di 20 cm inferiore rispetto a quella dell'isola stessa.

(4) Nel caso di pista sul marciapiede deve essere calcolata la larghezza minima della separazione del flusso ciclabile sia dal flusso veicolare (verso la carreggiata stradale) sia dal flusso pedonale (sul marciapiede).

(5) La larghezza del cordolo può essere variabile ma, tra lo spigolo esterno del marciapiede ed il filo interno della striscia di margine della pista, deve risultare una larghezza minima di 40 cm.

(6) Solo su strade con V>50 km/h.

Tabella 3. Tipologie di separazione del flusso ciclabile dal flusso veicolare e relativi elementi complementari.

Note. Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, 2014, *Istruzioni Tecniche per la progettazione delle reti ciclabili* (Bozza n. 3 - 17 aprile 2014)

1.6 L'IMPORTANZA DELLE APC

Nel paragrafo sulle piste ciclabili è stato introdotto il concetto di Area a Preferenza Ciclabile (APC). Queste zone dovrebbero essere presenti in alcuni contesti urbani quali ad esempio i centri storici. Nelle APC le biciclette e, in generale, i velocipedi, circolano assieme a pedoni e veicoli a motore *nel rispetto delle regole di comportamento dei ciclisti contenute nel Codice e nel relativo Regolamento* (MIT, cit., 9), non è necessario definire piste ciclabili e separarle dalla carreggiata e deve essere assicurata la moderazione del traffico. L'area a preferenza ciclabile coincide con la zona 30 km/h quando in questa viene limitata la circolazione dei veicoli con massa a pieno carico superiore a 3,5t (eccetto autorizzati). Il limite di velocità è di 30 km/h invece dei canonici 50 km/h generici per le strade urbane, questo comporta un notevole vantaggio in termini di sicurezza soprattutto per gli utenti deboli. Le differenze tra guida a 50 km/h e guida a 30 km/h sono diverse:

- innanzitutto, il raggio del cono visivo di chi conduce il veicolo è maggiore a 30 km/h, quindi la visione dell'automobilista è più ampia, può controllare uno spazio più grande, dunque accorgersi di ostacoli sulla strada o di altri utenti più facilmente e schivarli. In questo modo si possono ridurre notevolmente gli incidenti (Figura 23);

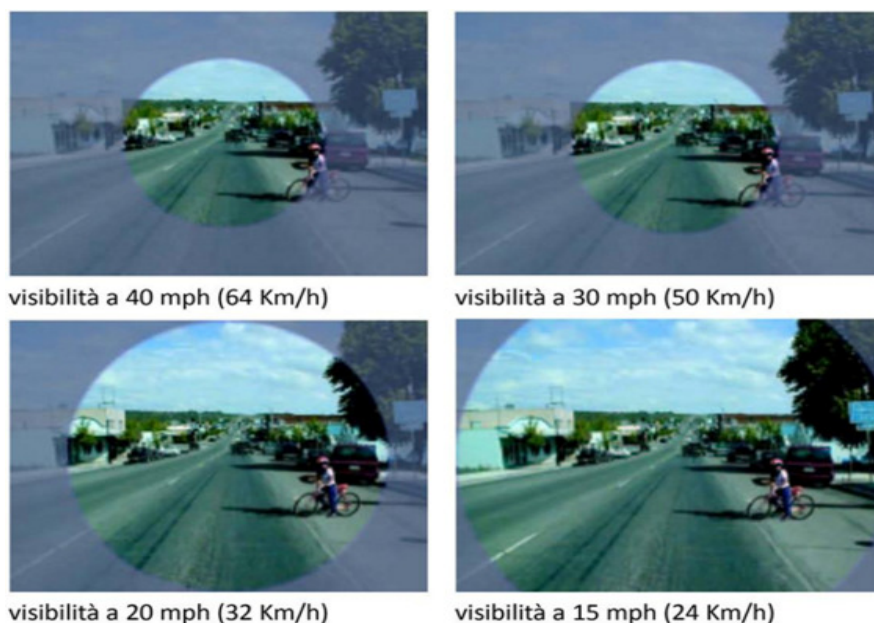


Figura 23. Campi visivi al variare della velocità.

Note. <http://www.imobilityassociation.com/home/mobilita-sostenibile/le-zone-30/>

- lo spazio di arresto è circa il doppio a 50 km/h rispetto a 30 km/h, procedendo a 50 km/h il veicolo percorre un tratto di strada in più prima di arrestarsi e, nel caso in cui un altro utente si trovasse in questo tratto, verrebbe colpito (cosa che non avverrebbe a 30 km/h) (Figura 24);

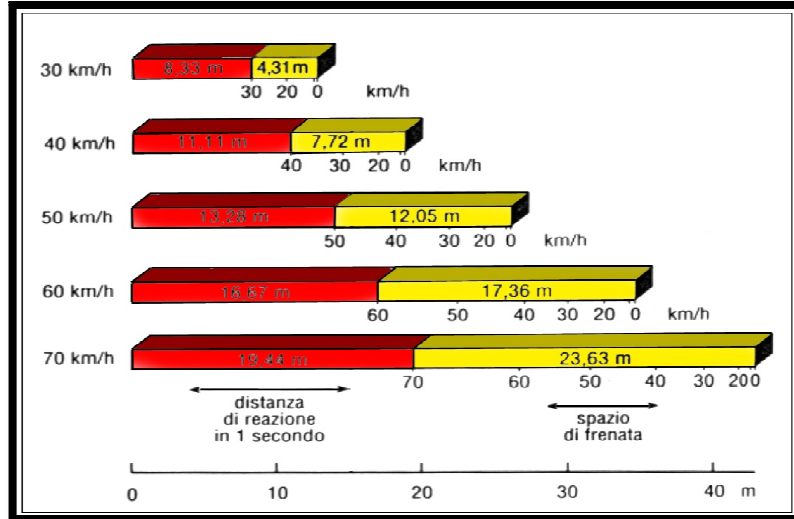


Figura 24. Spazi di arresto a diverse velocità.

Note. <http://www.imobilityassociation.com/home/mobilita-sostenibile/le-zone-30/>

- la probabilità di sinistri mortali per un utente debole aumenta con l'aumentare della velocità, in particolare tra i 30 km/h e i 50 km/h la curva ha una crescita esponenziale (Figure 25 e 26).

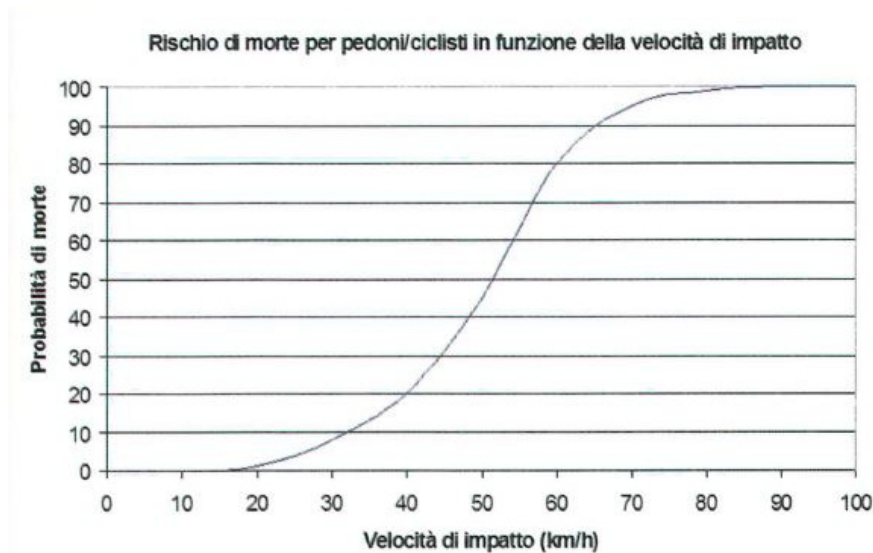


Figura 25. Grafico della probabilità di morte per pedoni e ciclisti in funzione della velocità di impatto.

Note. Galatola, E., 2015, Sicurezza stradale e mobilità dell'utenza non motorizzata, *Quaderni del Centro Studi FIAB Riccardo Gallimbeni*, vol. 8.

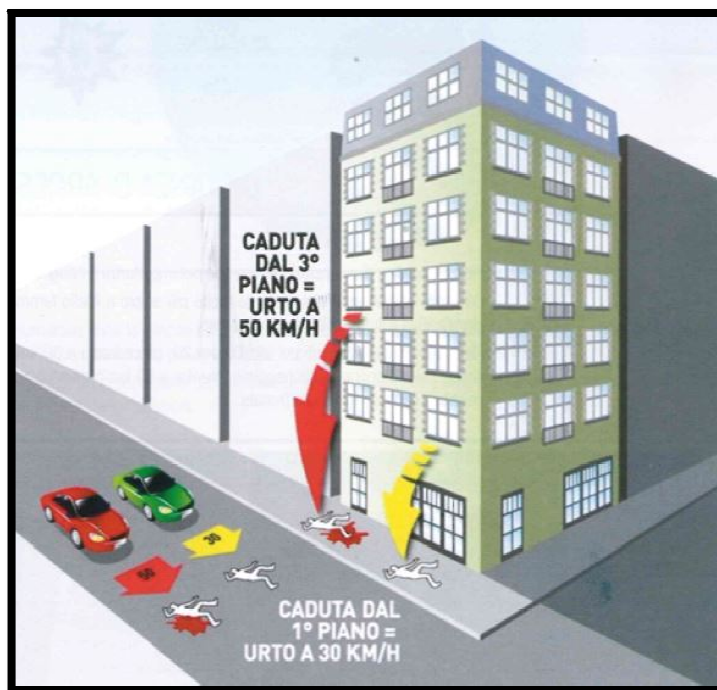


Figura 26. Correlazione tra velocità d'impatto e cadute dall'alto.

Note. Galatola, E., 2015, Sicurezza stradale e mobilità dell'utenza non motorizzata, *Quaderni del Centro Studi FIAB Riccardo Gallimbeni*, vol. 8.

L'aumento della sicurezza è dimostrato anche dalle statistiche (Wikipedia): nel ventennio tra il 1986 ed il 2006 nelle zone 20 di Londra (si intendono 20 mph, pari a 32 km/h) il numero di incidenti totali è diminuito del 42% e quello degli incidenti che hanno provocato morti o feriti gravi del 46%.

Le APC e, in generale, le zone a limite di velocità ridotto a 30 km/h, sono dunque importanti per l'incolumità degli utenti della strada, in particolar modo quelli deboli, quali ciclisti e pedoni.

1.7 L'INTERVALLO PSICOTECNICO DI AZIONE E REAZIONE

Come riportato dal sito ASAPS.it, il portale della Sicurezza Stradale, con il termine "intervallo psicotecnico" si indica:

"lo spazio ed il tempo, simultaneamente necessari, affinché il conducente di un veicolo percepisca una situazione da fronteggiare (nella generalità dei casi, si tratta di un pericolo insorto improvvisamente), realizzi la percezione nella mente e reagisca con azioni volontarie dirette, con sufficiente coscienza

di esse, ad uno scopo determinato; tali azioni e reazioni, che si realizzano nel contesto dell'intervallo psicotecnico, sono di natura sensoriale, psichica, muscolare e meccanica; esse vanno considerate fino al punto ed all'istante in cui gli organi del veicolo iniziano ad esplicare la funzione voluta dal conducente (frenata, accelerata, sterzata).” (ASAPS.it.)

Soffermandosi sulla parte temporale, dalla definizione si evince come le azioni e reazioni che avvengono in una situazione da fronteggiare (ad esempio, l'interazione con un utente debole) non sono istantanee: il conducente impiega un determinato intervallo di tempo per percepire tale situazione (ad esempio, da quando un ciclista o un pedone “compare” nel campo visivo del pilota a quando la sua presenza produce uno stimolo al pilota stesso), un altro per realizzare tale percezione nella mente (ad esempio, volge lo sguardo verso l'utente e intuisce di doverlo scansare) ed un altro ancora per reagire “*con azioni volontarie dirette*”, quindi determinate in base alla percezione che ha avuto (ancora nel caso di un utente debole, scansarlo con una sterzata, oppure frenare se questi si trova in un incrocio e attraversa trasversalmente alla vettura).

Un'altra cosa importante che emerge dalla definizione è che le azioni e reazioni del conducente non hanno un'unica natura: si ha una percezione sensoriale, ovvero lo stimolo, che può essere visiva o uditiva; una reazione psichica intellettuale, emotiva, volitiva (da qui l'acronimo PIEV per definire i tempi di tale reazione del conducente, ovvero Percezione, Intellezione, Emozione, Volizione); una reazione fisica di tipo prettamente muscolare ed una meccanica, legata al superamento dei ritardi delle trasmissioni, che precede l'entrata in funzione dei vari organi meccanici connessi del veicolo (i ritardi quindi sono quelli relativi, ad esempio, alla corsa-gioco del pedale del freno, allo sterzo, all'acceleratore, all'inerzia dei meccanismi interni del motore) (ASAPS.it).

Le fasi della reazione psichica vengono descritte dall' ASAPS in questo modo:

“Allorquando il conducente avvista una situazione da fronteggiare, tale sensazione visiva o sonora, percepita dai

sensi, viene trasmessa al suo cervello (percezione); attraverso le facoltà intellettive, la mente analizza la sensazione e la confronta con situazioni analoghe di cui ha avuto già esperienza; quindi, grazie alle sue emozioni e volizione, trasmette il messaggio di risposta ai muscoli perché questi realizzino la manovra voluta (reazione).”

Tali fasi, come detto, avvengono in un determinato intervallo di tempo, che viene chiamato **tempo di reazione psichica** e che, sommato al tempo relativo alle fasi successive descritte nella definizione, ovvero il **tempo di reazione tecnica** (fisica e meccanica), dà come risultato l'intervallo psicotecnico di azione e reazione.

L'intervallo psicotecnico di azione e reazione, chiamato più semplicemente tempo di reazione, dipende da diversi fattori; quelli che incidono maggiormente (Rivano, 2009) sono:

- condizioni mentali, fisiche ed emotive del conducente (aspettativa, attenzione, farmaci, alcool, stanchezza, età e sesso);
- caratteristiche della turbativa (pericolosità, urgenza della risposta, posizione rispetto al campo visivo, condizioni ambientali);
- complessità della risposta richiesta.

L'aspettativa è “*la predisposizione di una persona a credere che le cose accadano, o si evolvano, in una determinata maniera*” (Rivano, 2009, 305).

Ognuno di noi ha aspettative: ad esempio, quando si preme un pulsante collegato ad una lampadina, ci si aspetta che la lampadina si accenda; pure alla guida si hanno aspettative, che possono riguardare il proprio veicolo, l'ambiente circostante o altri conducenti. Essa incide molto sulla prontezza di risposta efficace ad eventi, situazioni ed informazioni, ed influenza velocità ed accuratezza dell'elaborazione delle informazioni. Per questo motivo, in strada è presente la segnaletica stradale, la quale ha lo scopo di creare appunto aspettative negli utenti. Quando queste sono rispettate, le probabilità di errore sono minime e la guida è semplificata; nella situazione opposta, le cose cambiano: le informazioni necessarie ai conducenti

aumentano, così come l'intensità degli stimoli per catturare la loro attenzione ed i tempi per eseguire le manovre.

Dallo studio *"How Long Does It Take to Stop?" Methodological Analysis of Driver Perception-Brake Times, TRANSPORTATION HUMAN FACTORS* effettuato da Marc Green dell'Università del West Virginia (2000), risulta che il fattore preponderante sul tempo di reazione è l'aspettativa del conducente, infatti dai suoi studi è emerso che un conducente che si trova ad affrontare una situazione da lui prevista, egli impiega circa 0.7 sec. Se invece lo stesso conducente deve reagire ad un evento non da lui atteso, il tempo di reazione sale a circa 1.25 sec.

Ancora Rivano (2009) afferma che l'aspettativa incide molto sulla fase di identificazione; ad esempio, in condizioni 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”.

Per quanto riguarda l'attenzione, un fattore che incide in maniera significativa sul tempo di reazione è il carico cognitivo, approfondito nel capitolo sull'aspetto psicologico.

Tra i fattori citati precedentemente è interessante soffermarsi sulle caratteristiche del pericolo, ad esempio le dimensioni o l'evidenza del pericolo, la sua posizione rispetto al campo visivo (visione centrale o periferica), la sua forza (che riguarda l'intensità dello stimolo e la velocità con la quale esso si presenta) e il contrasto (soprattutto in condizioni notturne o, in generale, di scarsa visibilità) (Rivano, 2009): un pedone che si muove sul ciglio della strada, di notte ed in abiti scuri (scarso contrasto) incide in modo molto diverso a livello visivo e psicologico di un veicolo di grandi dimensioni di giorno che fa una determinata manovra. Da questo esempio, si nota come il contrasto, così come le altre caratteristiche, abbia a

che fare con la fase di *percezione*. In precedenza è stato detto che, quando il conducente percepisce lo stimolo visivo, agisce “muovendo l’occhio verso l’ostacolo”, ovvero fa in modo che tale ostacolo entri nel campo di visione centrale, quindi nella zona foveale della retina. La percezione è completa quando il soggetto è consapevole del fatto che “qualcosa è presente”; per evidenziare meglio il carattere prettamente visivo (in questo ambito) di tale fase, alcuni studiosi l’hanno scomposta in tre sottofasi: latenza, movimento dell’occhio e osservazione (Rivano, 2009). Una suddivisione simile è stata fatta da Green (2000), il quale parla di tempo di elaborazione mentale: la fase di latenza potrebbe essere quella che lui definisce “sensazione”, seguita dalla “percezione” e dalla selezione della modalità di risposta e programmazione dell’azione da intraprendere.

Come noto, il tempo di reazione è l’intervallo temporale decorrente dalla condizione di avvistabilità (saccade) di un pericolo all’insorgenza degli effetti della risposta posta in essere dal conducente di un veicolo. Secondo Green, esso può essere decomposto in una sequenza di tre tempi:

TEMPO DI ELABORAZIONE MENTALE

E’ il tempo necessario affinché il conducente possa percepire la presenza di un pericolo e selezionare una risposta, che nel caso in esame può consistere in una frenatura e/o in uno scarto, oppure anche in nessuna azione. Detto tempo può essere ulteriormente decomposto in tre sottofasi:

- *sensazione*: è il tempo necessario per rilevare l’input sensoriale da un oggetto (“c’è un ostacolo in carreggiata”), che non si traduce ancora in consapevolezza cosciente. Tutti i tipi di ostacoli in questa fase sono equivalenti, il tempo di sensazione diminuisce con maggiore intensità del segnale (contrasto luminoso, dimensione, ecc..) e con migliori condizioni di visibilità. Esso è più breve per i segnali uditivi che per quelli visivi. Ai fini del presente studio si assume che detta fase abbia inizio all’ingresso dell’ostacolo nel campo della visione periferica del conducente e termini con la saccade, ovvero con quei rapidi movimenti degli occhi eseguiti per portare la zona nella quale si è avuto

il sentore possa essere presente un potenziale pericolo a coincidere con la fovea (cfr. fig. 4);

- *percezione-riconoscimento*: è il tempo necessario per riconoscere il significato della sensazione ("La forma è una persona"). Tale processo richiede l'applicazione di informazioni dalla memoria per interpretare l'input sensoriale. In alcuni casi (accensione delle luci di STOP della vettura che precede, presenza di un pedone in attraversamento in area segnalata) il riconoscimento è automatico e di conseguenza è molto veloce. In altri casi (animale vagante, oggetto in corsia, pedone in corsia fuori dal centro abitato) il riconoscimento richiede una fase di elaborazione delle informazioni, con tempi più o meno brevi. In generale, la durata della sottofase aumenta con l'incertezza (forma non comune, posizione anomala) e con il diminuire della probabilità di incorrere nell'evento, mentre diminuisce in funzione dell'esperienza pregressa;
- *selezione della risposta*: è il tempo necessario per valutare la sussistenza del pericolo e decidere se e quale manovra di salvataggio porre in essere. Ad esempio, una volta che il conducente riconosce un utente debole in carreggiata e combina la percezione con la conoscenza della propria velocità e la distanza dall'ostacolo, si rende conto di che cosa sta succedendo e di cosa potrà succedere in futuro. Il veicolo si sta dirigendo verso l'intersezione della traiettoria con l'utente debole e si verificherà una collisione a meno che non si intervenga ("sto andando veloce, rischio di investirlo, dovrei sterzare a sinistra e frenare"). Come con la percezione-riconoscimento, la sorpresa, l'imprevedibilità e la limitata esperienza pregressa rallentano detta sottofase. Essa si dilata ulteriormente quando è necessario operare una scelta fra più possibili risposte o quando si deve fornire una risposta combinata, come frenare e scartare;

TEMPO DI MOVIMENTO

Una volta selezionata la risposta, il conducente esegue il movimento muscolare richiesto per l'attivazione della stessa. Nel caso della sterzata, il movimento è pressoché immediato, sempreché che le mani siano già sul

volante, mentre nel caso della frenatura è necessario un certo tempo, mediamente di 0,3 s (Summala e Koivisto, 1990), per sollevare il piede dal pedale dell'acceleratore, spostarlo lateralmente al freno e quindi premere il pedale. In generale, movimenti più complessi comportano tempi più lunghi, mentre la pratica e l'esperienza favoriscono una sua diminuzione;

TEMPO DI RISPOSTA DEL DISPOSITIVO

Tutti i dispositivi richiedono un certo tempo di attuazione, necessario per la trasmissione del segnale, la ripresa dei giochi inevitabilmente presenti ed il transitorio che porta l'entità della risposta dell'attuatore dal valore nullo al valore massimo. Tale tempo dipende dalle caratteristiche costruttive dell'impianto, risultando maggiore per sistemi pneumatici e minore per sistemi idraulici, nonché dalle condizioni concrete di manutenzione.

L. Huestegge, E. Skottke, S. Anders, J. Müsseler e G. Debus (Aachen University) hanno dimostrato, nello studio *The development of hazard perception: Dissociation of visual orientation and hazard processing* (2010), che il tempo di reazione è diverso per piloti esperti ed inesperti: essi hanno studiato i movimenti degli occhi (tramite un sistema EyeLink I montato sul capo) di un campione di 40 piloti, tra cui 20 esperti (9 femmine e 11 maschi, con esperienza di guida dai 2 agli 8 anni) e 20 inesperti (7 femmine e 13 maschi, con esperienza da 0 a 23 mesi), ai quali venivano mostrate delle scene di traffico con diversa *affordance* di frenata (Figura 27).



Figura 27. Scene a diversa affordance di frenata.

Note. I livelli di affordance di frenata sono rispettivamente, da sinistra a destra, basso, medio e alto. Huestegge, L., Skottke, E., Anders, S., Müsseler, J., e Debus, G., 2010, The development of hazard perception: Dissociation of visual orientation and hazard processing, *Transportation Research Part F*, 13, 1-8.

È stato osservato che la differenza di percezione del pericolo era causata da una più veloce elaborazione dopo la prima fissazione del pericolo, mentre l'intervallo di tempo tra l'individuazione del pericolo e la prima fissazione non si discostava più di tanto.

Le stesse scene erano state utilizzate nel precedente studio *Entwicklung und Überprüfung eines Wirkungsmodells: Eine Quer- und Längsschnittstudie* di A. Biermann, E. Skottke, S. Anders, R. Brünken, G. Debus e D. Leutner (2008), nel quale erano stati misurati i tempi di reazione in 1669 soggetti, ottenendo come valori medi:

- 1192 ms, per scene di media affordance di frenata;
- 885 ms per scene di alta affordance di frenata;
- scarse risposte di frenatura (circa l'11% dei partecipanti) per le scene di bassa affordance di frenata.

Lo studio di Huestegge et al. (2010) ha in particolare rilevato come i piloti esperti percepiscano meglio il pericolo (maggiore abilità) di quelli inesperti, ed è stato scoperto in particolare che il loro miglior tempo di reazione è dovuto alla parte di tempo compresa fra fissazione iniziale del pericolo e reazione ad esso (per definire la reazione nelle prove effettuate, i partecipanti dovevano premere un pulsante che indicasse la loro intenzione di frenare); l'intervallo di tempo tra l'inizio di una scena di pericolosità statica ed il fissaggio iniziale invece era simile per entrambe le tipologie di guidatori (Figura 28).

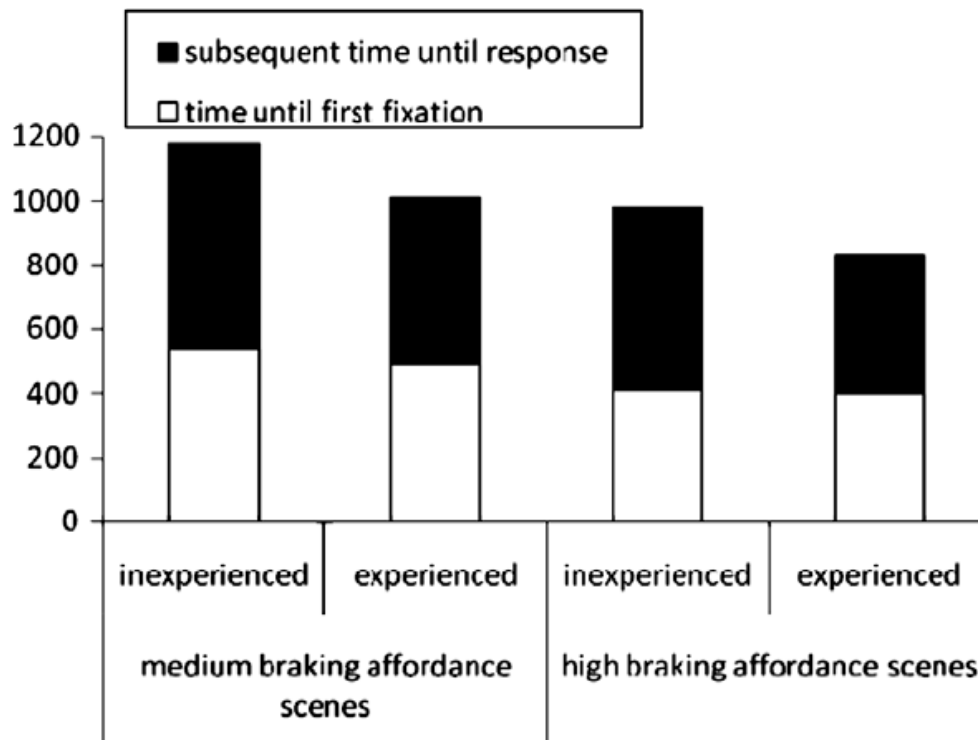


Figura 28. Tempo di reazione complessivo misurato come somma del tempo fino al primo fissaggio, in bianco, e il tempo successivo fino alla risposta finale, in base alla tipologia di scenario per piloti esperti e neopatentati.

Note. Huestegge, L., Skottke, E., Anders, S., Müsseler, J., e Debus, G., 2010, The development of hazard perception: Dissociation of visual orientation and hazard processing, *Transportation Research Part F*, 13, 1–8.

Risultati simili a quelli presentati, sono stati ottenuti anche da D. Crundall , G. Underwood negli studi *Effects of experience and processing demands on visual information acquisition in drivers* (1998) e *Visual attention while driving: sequences of eye fixations made by experienced and novice drivers* (2003), nei quali si evidenzia la differenza di fissazione tra un guidatore esperto ed uno principiante, tramite un *eye tracking*. La conclusione di entrambi gli studi consiste nel fatto che un guidatore esperto varia la propria attenzione a seconda della tipologia di strada, “rural road, suburban and urban road”. Risulta essere più accentuata nell’urbano, meno nelle altre tipologie. Al contrario, un principiante sembra avere una visione più rigida, mostrando lo stesso grado di attenzione a prescindere dalla tipologia di strada. Non ha acquisito un approccio flessibile richiesto dalle situazioni dinamiche che possono occorrere.

A prescindere dalla differenza di esperienza tra i vari conducenti, in merito

all'influenza del carico cognitivo sulla reazione del guidatore, J. Harbluk, Y. Noy, P. Trbovich, M. Eizenman (2007) hanno condotto un altro studio: *An on-road assessment of cognitive distraction: Impacts on drivers' visual behavior and braking performance*, nel quale veniva stimato il grado di attenzione dei conducenti in diverse situazioni, in ognuna delle quali, però, loro erano concentrati unicamente sulla strada, senza dover guardare marce o specchietti retrovisori. La conclusione dello studio ha stabilito che se si riuscisse a guidare un veicolo "senza mani" (*hands-free mode*) e con delle tecnologie basate sulla voce, si avrebbero grossi vantaggi in termini di sicurezza, poiché gli automobilisti potrebbero concentrarsi unicamente su ciò che accade all'esterno del veicolo, senza doversi preoccupare dei diversi dispositivi presenti nell'abitacolo.

Ciò sarebbe fondamentale poiché le disattenzioni dei guidatori contribuiscono per un 78% degli incidenti e del 65% dei "quasi-incidenti" osservati nel suddetto studio.

Viene fatto notare inoltre che l'utilizzo del telefono cellulare durante la guida, potrebbe quadruplicare il rischio di incorrere in un incidente tale da richiedere attenzioni mediche.

Si riportano, in un grafico, i risultati dell'esperimento, eseguito durante lo studio di ricerca, si mostra il comportamento e la performance del guidatore quando non è impegnato nell'eseguire compiti che lo distraggono dalla strada.

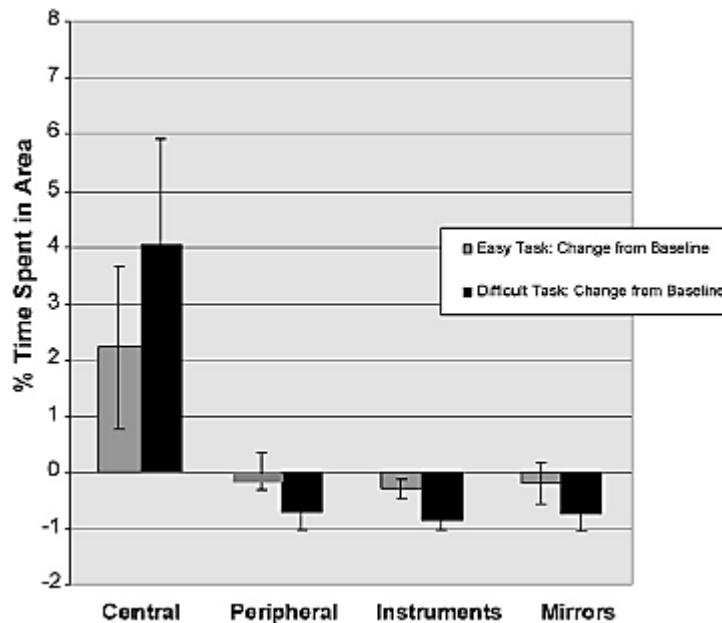


Figura 29: Percentuali di tempo spese a guardare le diverse aree.

Note. An on-road assessment of cognitive distraction: impacts on drivers' visual behavior and braking performance. Accident analysis and prevention 39, 372-379. Nel grafico sono rappresentate le percentuali del tempo impiegato in diverse aree della visuale, nelle condizioni di Easy Task (compito semplice) e Difficult Task (compito difficile). In particolare è mostrato come, nelle situazioni di difficult task (ancor più che nella condizione di Easy Task), il conducente focalizza la propria attenzione sulla visione centrale, togliendola (percentuali negative) alla visione periferica, agli strumenti e agli specchietti, rispetto alla Baseline, che si riferisce alla situazione di No Task. Ad esempio, nella situazione di easy task si è riscontrato un aumento del tempo impiegato a guardare la zona centrale pari a circa il 22%, togliendone circa il 3% alla visione periferica, il 4% agli strumenti ed il 3% agli specchietti retrovisori.

I risultati in Figura 29 rappresentano la percentuale di tempo utilizzata a guardare le differenti aree nelle diverse situazioni: *easy task* e *difficult task* durante la guida. Il grafico è stato sviluppato come la differenza tra la situazione di *cognitive task conditions* e la *no task*. Si può vedere come i conducenti spendano più tempo guardando di fronte a loro e meno tempo guardando la periferia o controllando gli strumenti o gli specchietti retrovisori; addirittura alcuni guidatori non controllavano queste aree per nulla.

Un'altra suddivisione dell'intervallo psicotecnico di azione e reazione viene fatta da M. Recarte e L. Nunes. Nel loro articolo *Mental Workload While Driving: Effects on Visual Search, Discrimination, and Decision Making* (2003), essi analizzano l'influenza del carico cognitivo sulla capacità

decisionale di un automobilista che si trova a guidare in condizioni di traffico. Loro hanno scomposto l'intervallo psicotecnico in:

- tempo di percezione: da quando il bersaglio entra nel campo visivo a quando incomincia la saccade (il movimento dell'occhio) verso di esso;
- tempo di rilevamento: tempo impiegato a fissare il bersaglio;
- tempo di decisione: tempo impiegato per rispondere allo stimolo dopo aver fissato il bersaglio.

Le prove da loro effettuate, mediante una vettura attrezzata e guidata da sei uomini e sei donne di età media 23.4 anni, hanno dato i risultati di Figura 30.

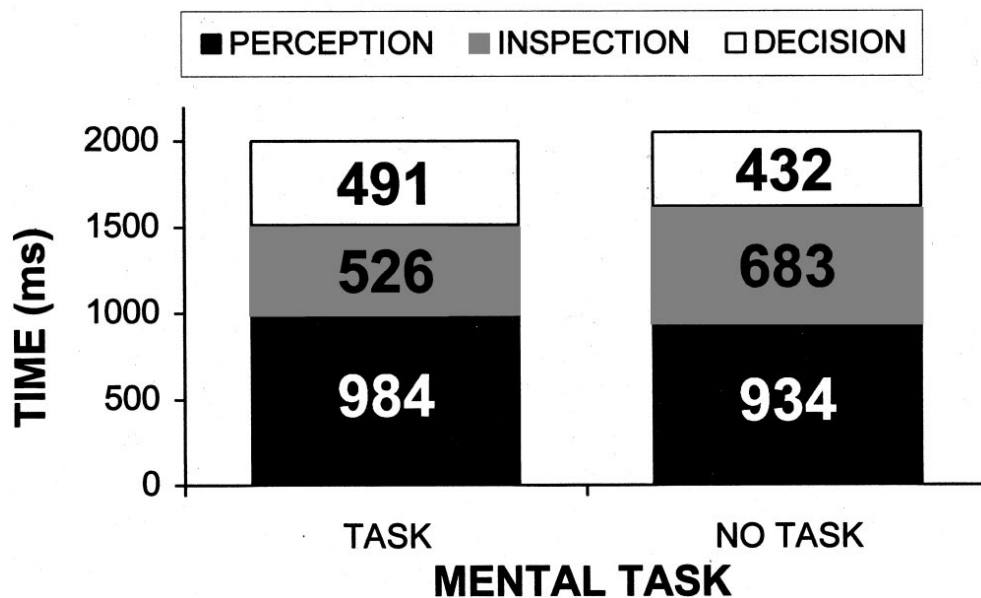


Figura 30. Tempi di risposta totali e parziali in funzione della presenza o meno di compiti mentali.

Note. I tempi parziali si riferiscono a percezione, ispezione e decisione. Recarte, M., e Nunes, L., 2003, Mental Workload While Driving: Effects on Visual Search, Discrimination, and Decision Making, *Journal of Experimental Psychology: Applied*, Vol. 9, No. 2, 119-137.

Altresì dallo studio si è concluso che l'intervallo psicotecnico può essere influenzato dall'utilizzo di apparecchi elettronici, oltre che dalla presenza di passeggeri a bordo.

1.7.1 I CONCETTI DI AFFORDANCE E AROUSAL

Nel § precedente si è parlato di strade con varie *affordance* di frenata, quindi è bene approfondire cosa si intende con questo termine: si definisce con *affordance* “*la qualità fisica di un oggetto che suggerisce a un essere umano le azioni appropriate per manipolarlo*” (Affordance, Wikipedia). Qualsiasi oggetto, o superficie, o eventi in natura hanno delle *affordance* proprie: delle pareti verticali danno l’*affordance* di ostacolare i movimenti, delle superfici orizzontali come i pavimenti di camminarci sopra, le maniglie delle porte dovrebbero indicare a chi le usa come aprirle (ovvero se deve essere tirata, spinta o fatta scorrere), la forma di una caffettiera permette a chi la utilizza di dedurre la funzionalità in modo intuitivo. L’utilizzo di uno strumento è tanto più automatico ed intuitivo quanto più alta è l’*affordance*; per questo motivo, le scene con alta *affordance* di frenata studiate da Biermann et al. (2008) producevano un tempo di risposta medio dei piloti minore di quelle con *affordance* media.

Un altro termine interessante per lo studio di iterazioni tra utenti della strada è l’*arousal*: in psicologia fisiologica è

“una condizione temporanea del sistema nervoso, in risposta ad uno stimolo significativo e di intensità variabile, di un generale stato di eccitazione, caratterizzato da un maggiore stato attentivo-cognitivo di vigilanza e di pronta reazione agli stimoli esterni” (arousal, Wikipedia).

Esso è presente nell’uomo, oltre che negli animali, ad esempio quando sono richieste prestazioni psicofisiche di abilità maggiori, come un esame o il catturare una preda, e coinvolge sia il sistema nervoso centrale che il periferico e vegetativo, con il fine di generare in ogni parte del corpo “*una condizione generale di maggiore allerta sensoriale, mobilità e prontezza di riflessi*” (Arousal, Wikipedia).

Quindi, come l’*affordance*, può fare riferimento ad un individuo che guida, in quanto questa condizione può richiedere, in alcuni momenti, carichi attentivi maggiori.

1.8 VISIONE CENTRALE E VISIONE PERIFERICA

Quando si guarda qualcosa, in generale gli occhi non stanno fissi su un punto, ma si spostano circa 3 o 4 volte al secondo. I movimenti dell'occhio possono essere divisi in fissazioni e saccadi: la fissazione si ha quando lo sguardo si ferma su una certa posizione, e può durare dai 200 ms (durante la lettura di un testo) ai 350 ms (quando si guarda una scena), mentre la saccade definisce lo spostamento vero e proprio dell'occhio, ed ha una durata compresa tra 100 e 200 ms; con il termine scanpath si indicano le serie risultanti di fissazioni e saccadi. Anche durante la fissazione avvengono piccole e involontarie saccadi, che prendono il nome di microsaccadi.

La zona del campo visivo che cade nella fovea è quella che fornisce la mole di informazioni visive, corrisponde ai due gradi centrali (o al grado centrale) dell'angolo visivo e per questo motivo quando ci si riferisce a questa zona si parla di **visione centrale**. La fovea e la parte collocata al centro della retina ed è l'unica parte che riesce a ricevere un'immagine nitida; di fatti con la visione centrale vengono percepiti i particolari ed i colori.

Tanto più ci si allontana dalla fovea, tanto maggiormente sfocate vengono percepite le immagini: la zona visiva in questione è la zona di **visione periferica**; essa è collegata appunto alla retina periferica e riceve le informazioni in bianco e nero o con poca luce; mediante tale visione è possibile percepire presenza, movimento, contrasto o colore di quegli oggetti presenti nel campo visivo ma al di fuori della zona centrale (Figura 31).

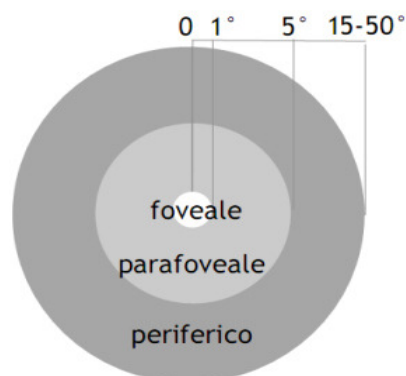


Figura 31. Campi visivi foveale, parafoveale e periferico dell'occhio.

Note. <https://arching.wordpress.com/illuminotecnica/il-sistema-visivo-umano/>

I colori e la luce sono percepiti grazie a coni e bastoncelli, che sono delle cellule presenti nella retina e che svolgono la funzione di fotoricettori; essi sono posizionati diversamente sulla retina e svolgono funzioni differenti: i coni sono posizionati nella fovea, hanno bisogno di un centinaio di fotoni almeno per incominciare a rispondere alla luce, però hanno risposta più veloce di quella dei bastoncelli, saturano per quantità di luce molto più alte e per questo motivo sono responsabili della visione diurna e cromatica, la visione centrale; i bastoncelli sono posizionati attorno alla fovea, sono molto più sensibili dei coni (per rispondere alla luce è sufficiente un solo fotone), però sono più lenti a rispondere e saturano per quantità di luce più basse, quindi vengono utilizzati per la visione notturna e non cromatica, ovvero la visione periferica (arching.wordpress.com) (Figura 32).

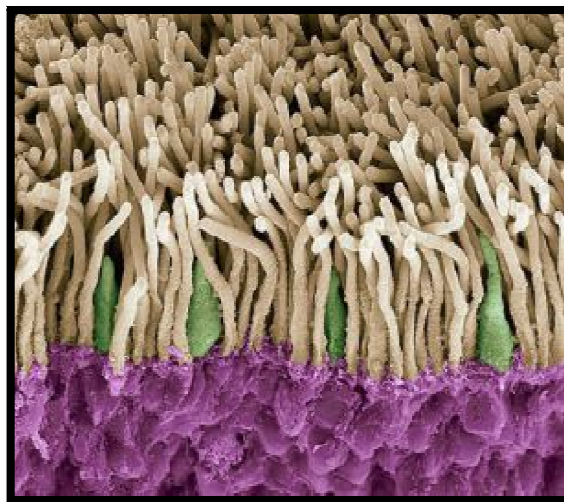


Figura 32. Coni e bastoncelli.

Note. I coni sono rappresentati in verde, i bastoncelli in bianco.

<https://arching.wordpress.com/illuminotecnica/il-sistema-visivo-umano/>

1.9 GLI STUDI PRECEDENTI SULL'AVVISTABILITÀ DEGLI UTENTI DEBOLI

Come accennato nell'introduzione, lo studio della presente tesi si pone come un continuo di studi già condotti in precedenza presso l'Università degli Studi di Bologna sull'avvistabilità di ciclisti e pedoni in strada da parte degli automobilisti in condizioni notturne. In particolare, il caso già studiato è

quello relativo a condizioni statiche, ovvero con automobilista e utente debole fermi; in questo caso l'attenzione del conducente è rivolta completamente al ciclista (alle persone presenti in auto veniva chiesto di osservare in direzione dell'utente, posto a determinate distanze dalla vettura, fermo, e di dire se lo riconoscevano), quindi in totale assenza di carico cognitivo (cfr. paragrafo 2.3): il pilota era cosciente del fatto che davanti a sé ci fosse un utente debole e non doveva nemmeno guidare, quindi non aveva altre attenzioni particolari o non doveva stare attento a quali ostacoli magari schivare, dal momento che era fermo in macchina.

L'autovettura impiegata era provvista di fari alogeni, aventi il profilo di illuminazione mostrato in Tabella 4, misurato tramite luxmetro.

ILLUMINAMENTO FARI ALOGENI [lx]						
Posizione di rilevamento	Anabbaglianti			Abbaglianti		
	Sinistro	Centro	Destro	Sinistro	Centro	Destro
Distanza [m]						
10	20	25	20	105	140	80
20	9	10	8	44	50	35
30	3	3	2,5	21	20	17
40	1,1	1,3	1	11	11	10
50	0,6	0,7	0,6	7,5	7,5	7
60	0,5	0,5	0,5	5	5	4,5
70				4	3,8	3,8
80				3	3	2,5
90				2,2	2,2	2
100				1,8	1,8	1,7
110				1,6	1,6	1,5
120				1,3	1,3	1,2
130				1,1	1,1	1
140				0,9	0,9	0,9
150				0,8	0,8	0,8
160				0,7	0,7	0,6
170				0,6	0,6	0,6
180				0,6	0,55	0,5
190				0,5	0,5	0,5
200						

Tabella 4. Illuminamento fari alogeni.

Note. Micucci, A., Zito, A., 2014, Analisi sperimentale della circolazione del ciclista, *Convegno ASAIS*.

Sono state eseguite prove, su una strada extraurbana priva di illuminazione e su una strada urbana mediamente illuminata, sia con ciclista posto trasversalmente (perpendicolare) che longitudinalmente (concorde) all'auto, con dispositivi di ausilio per la visibilità (gilet catarifrangente di colore giallo fluorescente di classe 2 e luci posteriori) e non, e con fari anabbaglianti e abbaglianti; in totale, quindi, sono state fatte otto prove per tipologia di illuminazione stradale, quattro con bicicletta perpendicolare alla vettura e quattro con bicicletta concorde ad essa (Figure 33 e 34).



Figura 33. Ciclista in verso concorde con giubbotto catarifrangente.

Note. Micucci, A., Zito, A., 2014, Analisi sperimentale della circolazione del ciclista, *Convegno ASAIS*.



Figura 34. Ciclista in direzione trasversale all'auto sprovvisto di dispositivi luminosi.

Note. Micucci, A., Zito, A., 2014, Analisi sperimentale della circolazione del ciclista, *Convegno ASAIS*.

Dallo studio, è emerso che:

“nel peggiore dei casi, ovvero luci attive anabbaglianti ed assenza sia di gilet ad alta visibilità che di dispositivi di illuminazione propria, la percezione della presenza di un velocipede si ha all’incirca ad un massimo di 20 m di distanza, allorquando del veicolo in marcia concorde vengono illuminati i catadiottri incastonati nei pedali, sempreché non occlusi dal tacco delle scarpe. La situazione migliora in caso di veicolo disposto trasversale, grazie al riflesso dei cerchi delle ruote e marginalmente del telaio, sempreché non verniciato; dette distanze risultano circa raddoppiate in caso di impiego dei proiettori di profondità, mentre risultano dimezzate, fino ad annullarsi del tutto, in caso di contestuale incrocio con veicolo controproveniente, sia per abbagliamento ad opera delle rispettive luci, sia per attrazione dell’attenzione.”

Le Figure 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41 e 42 riportano i grafici che illustrano quanto appena citato.

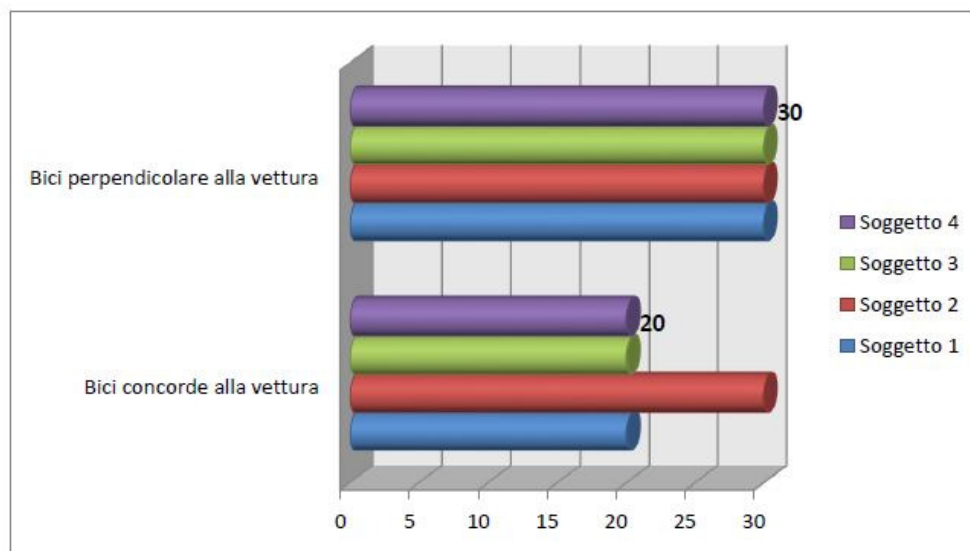


Figura 35. Distanza massima di chiaro riconoscimento di un ciclista con abiti scuri e fanali spenti, dall’interno di autovettura con luci anabbaglianti attive, su strada extraurbana priva di illuminazione.

Note. Micucci, A., Zito, A., 2014, Analisi sperimentale della circolazione del ciclista, *Convegno ASAIS.*

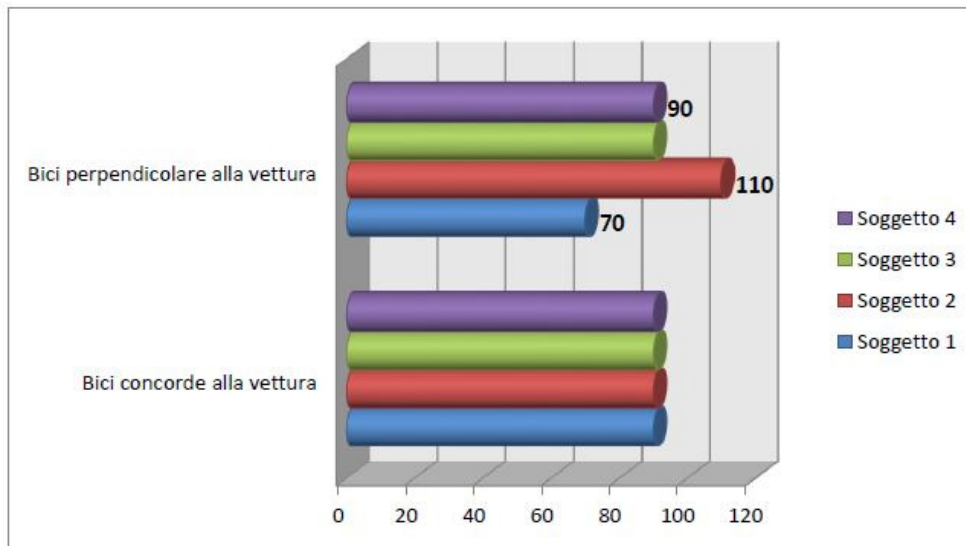


Figura 36. Distanza massima di chiaro riconoscimento di un ciclista con gilet riflettente e fanali accesi, dall'interno di autovettura con luci anabbaglianti attive, su strada extraurbana priva di illuminazione.

Note. Micucci, A., Zito, A., 2014, Analisi sperimentale della circolazione del ciclista, *Convegno ASAIS.*

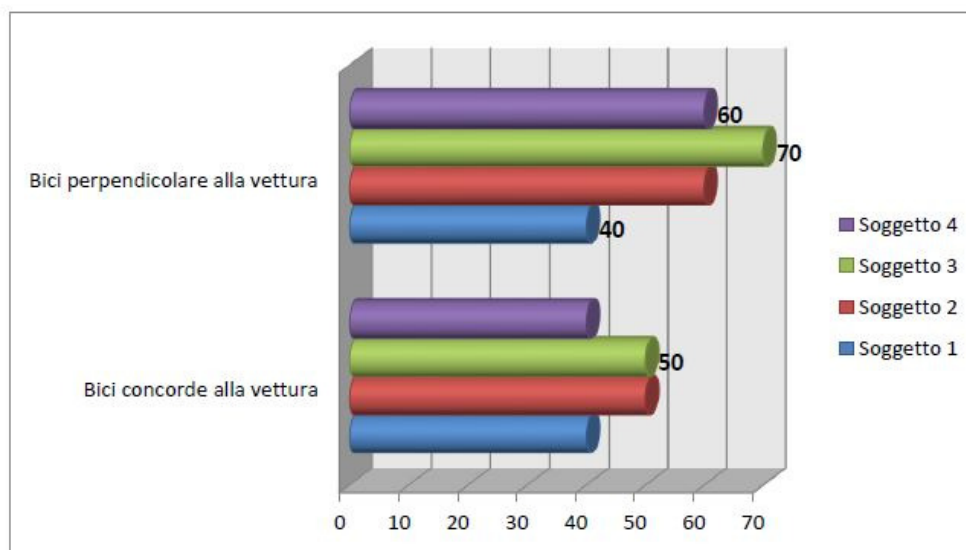


Figura 37. Distanza massima di chiaro riconoscimento di un ciclista con abiti scuri e fanali spenti, dall'interno di autovettura con proiettori di profondità attivi, su strada extraurbana priva di illuminazione.

Note. Micucci, A., Zito, A., 2014, Analisi sperimentale della circolazione del ciclista, *Convegno ASAIS.*

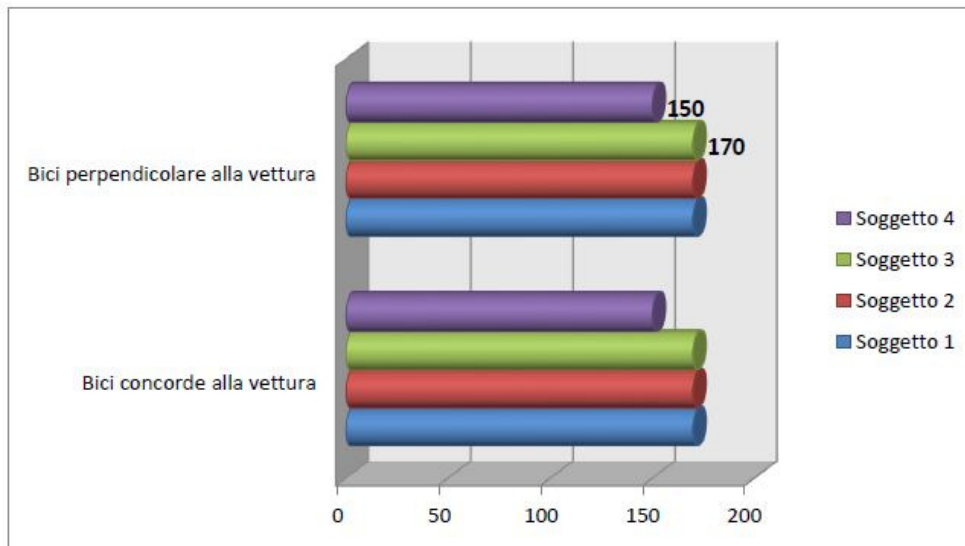


Figura 38. Distanza massima di chiaro riconoscimento di un ciclista con gilet riflettente e fanali accesi, dall'interno di autovettura con proiettori di profondità attivi, su strada extraurbana priva di illuminazione.

Note. Micucci, A., Zito, A., 2014, Analisi sperimentale della circolazione del ciclista, *Convegno ASAIS*.

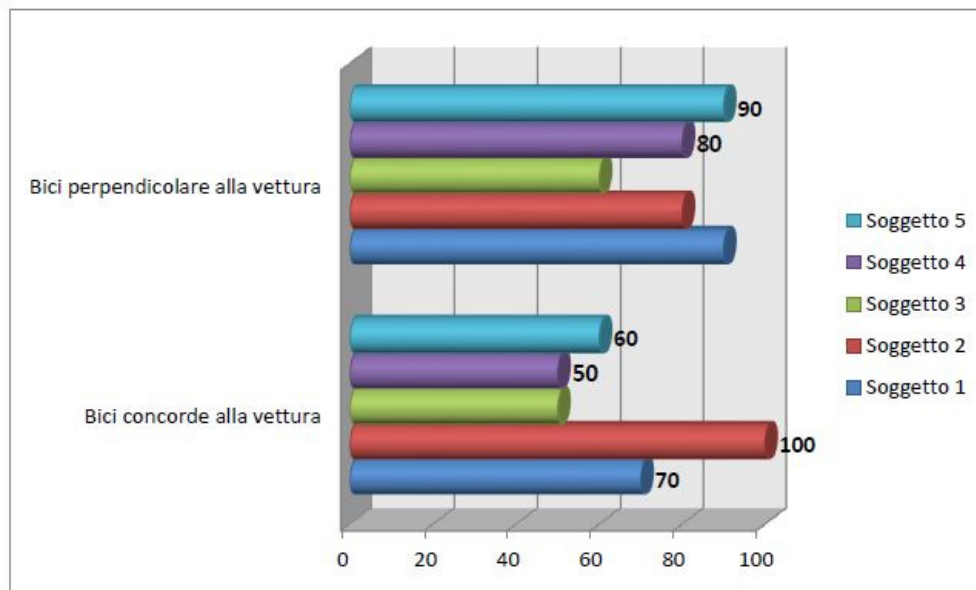


Figura 39. Distanza massima di chiaro riconoscimento di un ciclista con abiti scuri e fanali spenti, dall'interno di autovettura con luci anabbaglianti attive, su strada urbana mediamente illuminata.

Note. Micucci, A., Zito, A., 2014, Analisi sperimentale della circolazione del ciclista, *Convegno ASAIS*.

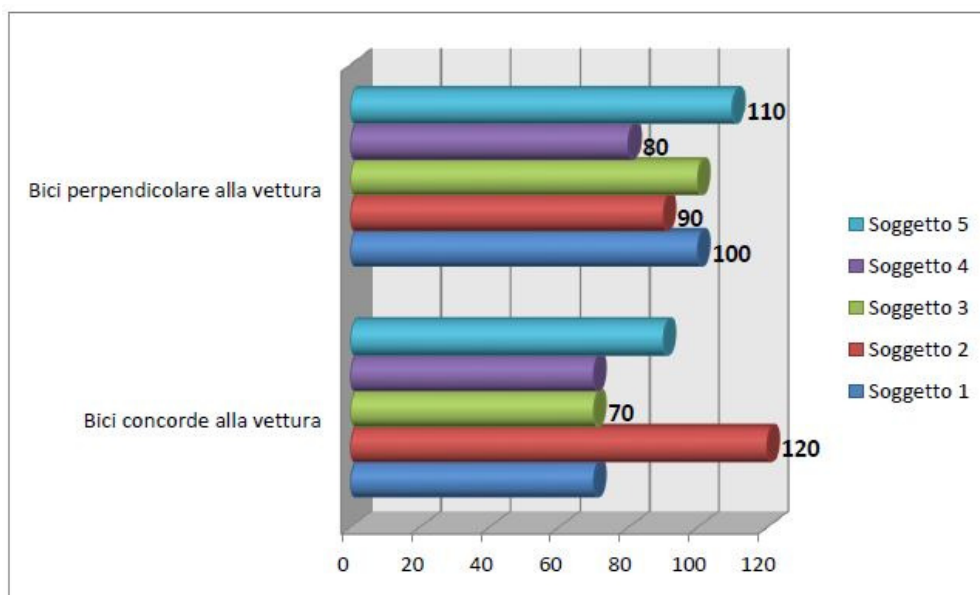


Figura 40. Distanza massima di chiaro riconoscimento di un ciclista con gilet riflettente e fanali accesi, dall'interno di autovettura con luci anabbaglianti attive, su strada urbana mediamente illuminata.

Note. Micucci, A., Zito, A., 2014, Analisi sperimentale della circolazione del ciclista, *Convegno ASAIS.*

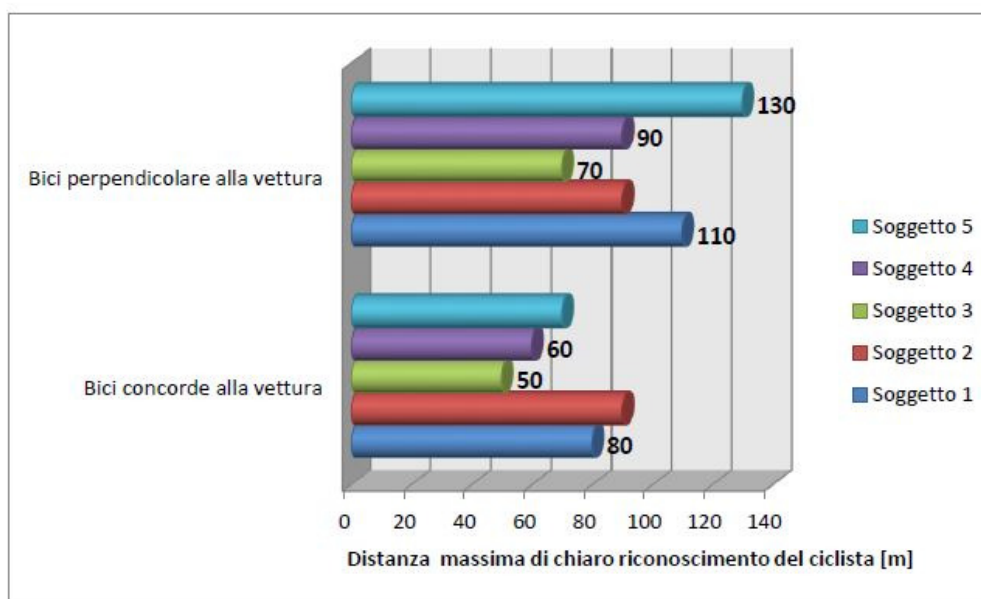


Figura 41. Distanza massima di chiaro riconoscimento di un ciclista con abiti scuri e fanali spenti, dall'interno di autovettura con proiettori di profondità attivi, su strada urbana mediamente illuminata.

Note. Micucci, A., Zito, A., 2014, Analisi sperimentale della circolazione del ciclista, *Convegno ASAIS.*

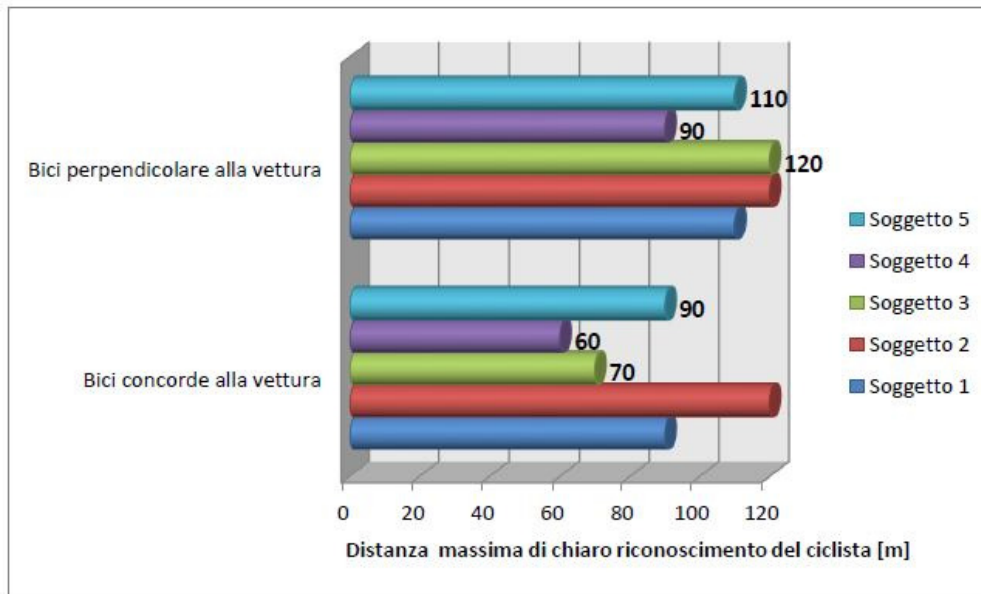


Figura 42. Distanza massima di chiaro riconoscimento di un ciclista con gilet riflettente e fanali accesi, dall'interno di autovettura con proiettori di profondità attivi, su strada urbana mediamente illuminata.

Note. Micucci, A., Zito, A., 2014, Analisi sperimentale della circolazione del ciclista, *Convegno ASAIS.*

L'ASPETTO PSICOLOGICO

Per spiegare al meglio le azioni dei conducenti alla guida di un veicolo bisogna studiarne l'aspetto psicologico, ovvero quali sono i comportamenti che vengono messi in atto verso determinati utenti della strada, in specifiche occasioni o, più in generale, nell'interazione tra diversi attori nel contesto stradale.

Dietro alcuni atteggiamenti potrebbero nascondersi pregiudizi verso altri utenti della strada, o azioni di questi che possono influenzare l'umore e/o appunto le decisioni dell'automobilista, o l'esperienza di guida del conducente stesso.

Ad esempio, ci si potrebbe chiedere: cosa pensano gli automobilisti dei ciclisti? Tali giudizi sono identici per ogni tipologia di guidatore o differiscono a seconda della persona? Il ciclista si sente sicuro quando è sulla carreggiata insieme alle automobili? Ritiene di essere abbastanza visibile in condizioni di scarsa visibilità con determinate attrezzature?

Lo studio di queste ed altre domande simili può aiutare a scoprire gli atteggiamenti degli utenti della strada alla guida ed eventualmente permettere di agire in modo da evitare o quantomeno ridurre le cause che portano a collisioni ed incidenti.

Gli atteggiamenti in strada degli automobilisti variano per ogni persona, però, in base ai casi analizzati dagli studi di Basford, Reid, Lester, Thomson, Tolmie (2002), Jacobsen (2003), Johnson, Oxley, Newstead e Charlton (2014), Fruhen e Flin (2015), Rivano (2009), Summala (2000), McEvoy et al. (2005), Harbluk, Ian Noy, Trbovich, Eizenman (2007), Crundall e Underwood (1998), Underwood G., Chapman, Brocklehurst, Underwood J., Crundall (2003), Reyes e Lee (2008), Kaber, Liang, Zhang, Rogers, Gangakhedkar (2012), Brookhuis, de Vries e de Waard (1991), Lambale, Kauranen, Laakso, e Summala (1999) e Alm e Nilsson (1995), si ritiene che si possano distinguere alcune categorie che presentano comportamenti comuni; si possono fare distinzioni tra:

- conducenti esperti e neopatentati;
- automobilisti che sono pure ciclisti e automobilisti che non vanno in bicicletta;
- Alto o basso livello di carico cognitivo.

Gli studi sopra citati hanno anche rilevato come, in base alla categoria, si possano avere differenze su comportamento nei confronti degli altri utenti della strada, avvistabilità di un ostacolo, tempi di percezione e reazione o una combinazione di questi fattori.

1.10 IL COMPORTAMENTO DELL'AUTOMOBILISTA NEI CONFRONTI DEL CICLISTA

Molti studi precedenti hanno dimostrato che la presenza del ciclista in strada condivisa è per l'automobilista motivo di frustrazione.

Come riportato da L. Basford, S. Reid, T. Lester, J. Thomson, A. Tolmie dell'Università di Strathclyde, nell'articolo *Drivers' perceptions of cyclists Prepared for Charging and Local Transport Division* (2002) e da P.L. Jacobsen nel documento *Safety in numbers: more walkers and bicyclists, safer walking and bicycling* (2003), gli automobilisti non percepiscono i ciclisti propriamente come altri utenti della strada, ma come fonte di pericolo e di disturbo alla guida.

Questo è derivato soprattutto dalla continua interazione con l'utente debole, ad esempio nei sorpassi a volte ripetuti e nella sua imprevedibilità. Quindi il ciclista diventa una presenza fastidiosa, vista non come un utente della strada ma come un ostacolo che rallenta la propria marcia. Ciò fa in modo che l'atteggiamento dell'automobilista diventi aggressivo, ed in molti casi anche contro le regole del Codice della Strada.

Nel 2014 M. Johnson, J. Oxley, S. Newstead, J. Charlton, con la ricerca *Investigating Australian driver behaviour, knowledge and attitudes towards cyclists*, hanno concluso che l'atteggiamento verso i ciclisti cambia a seconda che i guidatori siano anche ciclisti oppure no. Secondo loro infatti, un ciclista-guidatore pensa che un ciclista viaggi nel modo più sicuro

possibile, mentre, un guidatore-non ciclista, durante la guida, pensa che un ciclista si muova in maniera imprevedibile. Voltare la testa mentre si gira a sinistra e si attraversa un'area riservata ai ciclisti è più usuale quando il guidatore non ha problemi a condividere la corsia con i ciclisti.

L. Fruhen e R. Flin in *Car driver attitudes, perceptions of social norms and aggressive driving behaviour towards cyclists* (2015), affermano che il ciclista è visto come qualcosa di “anomalo”, perciò bisogna cercare di far capire agli automobilisti che i ciclisti sono comunissimi utenti della strada che vanno da un punto d'origine a un punto di destinazione, utilizzando per mezzo un velocipede.

Molteplici studi presenti in letteratura hanno dimostrato che il comportamento varia a seconda che gli automobilisti siano anche ciclisti o meno: gli studi di Basford et al. (2002), svolti attraverso interviste audioregistrate sia individuali che di gruppo, affermano infatti che si ha differenza tra le due categorie, anche se essa non risulta elevata. Jacobsen (2003) ha rilevato, tramite il confronto fra cinque set di dati (tre che facevano riferimento al livello di popolazione e due serie storiche), che la misura in cui la bicicletta viene stabilita mezzo di trasporto è inversamente proporzionale alla frequenza di collisione tra automobilisti e ciclisti. Jacobsen attribuisce questo effetto al fatto che i conducenti che hanno più probabilità di essere ciclisti (ovvero quelli che abitano in città in cui la percentuale di persone che vanno in bici è molto alta) apportano modifiche ai loro comportamenti a favore della sicurezza dei ciclisti stessi: nei Paesi in cui sono presenti più infrastrutture ciclabili e più persone utilizzano la bicicletta, anche l'atteggiamento degli automobilisti nei loro confronti è più sicuro. Ciò significa che se un automobilista è a sua volta un ciclista, si sente più a suo agio a condividere con questi utenti la strada, e questo può essere dovuto al fatto di essere più consapevoli dei pericoli esistenti sulla strada per un ciclista e così trovare il loro comportamento più prevedibile.

Gli studi di Johnson et al. (2014), effettuati tramite un sondaggio online a cui hanno partecipato 1984 automobilisti australiani, hanno identificato differenze significative nella misura in cui gli automobilisti-ciclisti e gli automobilisti non-ciclisti (vengono così identificate le due categorie)

riferiscono di dare spazio sufficiente ai ciclisti in fase di sorpasso sulle strade. Inoltre gli automobilisti-ciclisti sono risultati essere 1,5 volte più propensi rispetto ai non-ciclisti di segnalare i comportamenti di guida sicura relativi alla condivisione delle strade con i ciclisti e avere atteggiamenti meno negativi, possedendo una migliore conoscenza delle regole della strada relative alle infrastrutture ciclabili; tuttavia la conoscenza delle regole della strada relative a piste ciclabili è risultata scarsa per entrambi i gruppi.

L'altro sondaggio online, proposto da Fruhen e Flin (2015), oltre a confermare alcuni risultati riportati da Johnson et al. (2014), ha mostrato come la percezione delle norme sociali in materia di guida aggressiva verso i ciclisti abbia una più forte associazione con la guida aggressiva stessa nei non-ciclisti rispetto agli automobilisti-ciclisti.

Lo studio di Basford et al. (2002) afferma inoltre che ad influenzare il comportamento dell'automobilista verso il ciclista è l'atteggiamento di quest'ultimo in strada: il "ciclista ideale", per un guidatore, dovrebbe essere una persona responsabile, e dimostrarlo attraverso la consapevolezza ed il rispetto del Codice della Strada, mostrando cortesia nei confronti degli altri utenti della strada, come sono tenuti a fare tutti gli utenti. Gli automobilisti intervistati hanno inoltre dichiarato che dovrebbe essere previsto pure un certificato che dimostri la competenza in bicicletta (una sorta di patente, e un'età minima per la guida, per evitare o ridurre i pericoli causati da bambini inesperti. Soprattutto i non-ciclisti, ritengono che il possesso di un adeguato "kit" indichi che quel ciclista è particolarmente responsabile; tale kit dovrebbe prevedere:

- casco, per la protezione;
- luci, per la visibilità;
- specchietti, come per i motocicli, per poter vedere dietro.

I guidatori hanno ancora affermato che per poter esercitare i propri "diritti" in strada, i ciclisti dovrebbero pagare una tassa di circolazione.

Interessante anche notare come, secondo I. Walker, M. Brosnan: *Drivers' gaze fixations during judgements about a bicyclist's intentions* (2007), il conducente percepisce il ciclista o il pedone e, per captare indizi sul suo comportamento, tende ad osservare maggiormente il volto degli utenti

deboli rispetto a qualsiasi altra area osservabile, compreso il braccio, eventualmente utilizzato per la segnalazione. Questo potrebbe spiegare la lentezza in alcune risposte decisionali degli automobilisti. I risultati ottenuti dallo studio di Walker e Brosnan (2007), effettuato mediante eye-tracker (veniva studiato lo sguardo dell'automobilista), sono riportati nelle Figure 43 e 44.

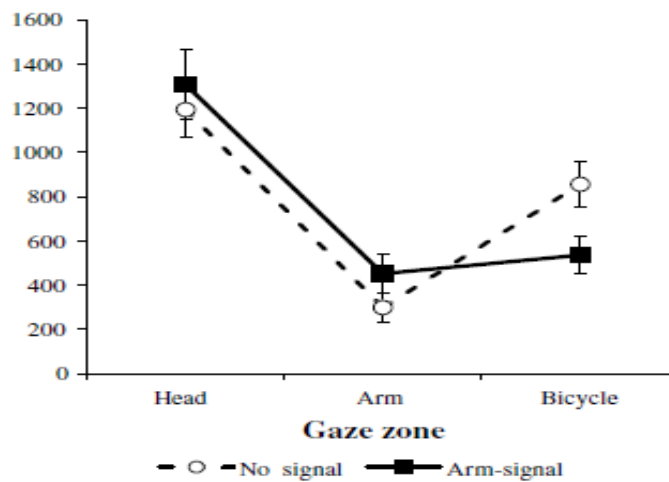


Figura 43. Durate medie di sguardo in ciascuna zona d'interesse con segnalazione o meno da parte del ciclista.

Note. Le durate sono espresse in ms. Le barre di errore indicano errori standard della media. Walker I., & Brosnan, M, 2007. Drivers' gaze fixations during judgements about a bicyclist's intentions, *Transportation Research Part F*, 10, 90–98.

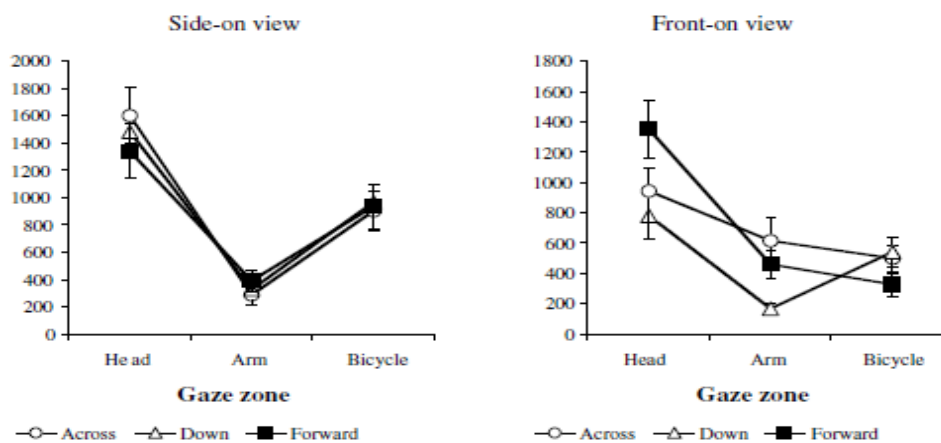


Figura 44. Durate medie di sguardo in funzione del punto di vista dei partecipanti e della direzione dello sguardo del ciclista e relativi errori standard.

Note. Le durate sono espresse in ms. Il diagramma di sinistra fa riferimento alla vista laterale, quella di destra alla vista frontale. Le direzioni dello sguardo del ciclista sono, in ordine, verso l'incrocio, in basso sulla strada, in avanti. Walker I., & Brosnan, M, 2007. Drivers' gaze fixations during judgements about a bicyclist's intentions, *Transportation Research Part F*, 10, 90–98.

Dallo studio eseguito da I. Walker: *Road users' perceptions of other road users: do different transport modes invoke qualitatively different concepts in observers?* (2005), emerge inoltre che gli utenti vulnerabili della strada mantengono un aspetto umano, ovvero vengono descritti come tali dagli automobilisti, non in termini “veicolari” (ad esempio, quando una persona in bicicletta svolta in un incrocio, gli automobilisti tendono a dire che “un ciclista ha svoltato”, non “una bicicletta ha svoltato”; per una persona in macchina che svolta, invece, tendono a dire “una macchina ha svoltato”, non “un automobilista ha svoltato”); questo per il fatto che il volto di pedoni e ciclisti non è coperto dal parabrezza come quello degli automobilisti. In sostanza, si può affermare che i conducenti di automobili, quando prendono decisioni su un ciclista in un incrocio a T, sono coinvolti in un processo socio-cognitivo correlato a percezioni interpersonali (tendono, come detto, a guardare i ciclisti in faccia, ovvero quella parte che li rende “più umani” in strada), e questo carico di lavoro mentale in più può rallentare le decisioni dei conducenti.

1.11 IL COMPORTAMENTO DEL CICLISTA E LA SUA PERCEZIONE DI SICUREZZA RISPETTO ALL’AUTOMOBILISTA

Al pari degli altri utenti della strada, anche il ciclista ha delle regole da rispettare definite dal Codice della Strada; spesso però le infrange come se non esistessero. Ognuno di noi può notare come, per strada, la bicicletta venga utilizzata in modo inappropriato più frequentemente rispetto all’auto, magari per il fatto di essere più maneggevole e meno ingombrante: si intralciano i marciapiedi, riservati ai pedoni, o si attraversa tra una macchina e l’altra in presenza di traffico. Uno studio della *Danish Cyclists’ Federation* (2015) in collaborazione con l’agenzia strategica dell’innovazione IS IT A BIRD, composto da una parte quantitativa (questionario con 2.506 intervistati) e una parte qualitativa (interviste a varie tipologie di utenti della strada in diverse parti del paese), ha trovato risultati interessanti per quanto riguarda il comportamento dei ciclisti in Danimarca dal punto di vista di diversi utenti della strada, per i quali questo risulterebbe “problematico e scorretto”, a sottolinearne la non

adeguatezza (intuitivamente questi atteggiamenti non riguardano solamente gli utenti danesi; anche i ciclisti di altri Paesi, tra cui il nostro, assumono norme simili). Sono stati intervistati, in particolare, automobilisti, ciclisti e pedoni: i comportamenti inappropriati più frequentemente sperimentati riguardano ciclisti che ascoltano la musica o usano il loro telefono cellulare mentre sono in bicicletta, svoltano o si fermano senza fare segnali, guidano in due o più utenti affiancati, vanno molto veloce, girano a destra con il semaforo rosso e sorpassano senza guardare dietro, oltre la propria spalla. Tra il 37% ed il 57% degli intervistati sperimenta questi tipi di comportamenti ogni giorno. Vi è una tendenza per una parte maggiore di automobilisti a verificare il comportamento come fastidioso rispetto ad altri utenti della strada.

Per ogni categoria sono stati rilevati i comportamenti che sono percepiti come più fastidiosi :

- automobilisti: ciclisti che guidano senza luci nel buio, che attraversano con il semaforo rosso e che utilizzano la strada anche in presenza di una pista ciclabile;
- ciclisti: ciclisti che guidano senza luci nel buio, svoltano o si fermano senza dare segnalazione e superano senza guardare oltre la spalla;
- pedoni: ciclisti che guidano sulla strada o marciapiede pedonale, non si fermano davanti ai passeggeri che scendono da un autobus, e guidano al buio senza luci.

Inoltre questi comportamenti risultano percepiti come più irritanti in determinate situazioni:

- Durante l'ora di punta;
- Quando è buio;
- All'incrocio;
- Su strade della città senza piste ciclabili o corsie.

Da questi risultati, si evince come certamente ad ogni categoria dia più fastidio un comportamento che la riguarda in particolare, però uno comune è quello relativo alla guida al buio senza luci. Quindi, oltre ad essere un

problema per la sicurezza, quello dei ciclisti che guidano e non si curano di attrezzarsi per essere ben avvistati è un comportamento che infastidisce gli utenti della strada.

Come riportato da uno studio, fatto tramite un sondaggio di J. Wood, P. Lachereza, R. Marszaleka, M. King: *Drivers' and cyclists' experiences of sharing the road: Incidents, attitudes and perceptions of visibility* (2009), chi va in bicicletta tende a sopravvalutare la propria visibilità in alcune condizioni, ovvero crede di essere visibile agli altri utenti più di quanto lo sia effettivamente, sottovalutando invece altri dispositivi. A questo sondaggio hanno partecipato 1460 persone, di cui 622 automobilisti e 838 ciclisti, ai quali è stato chiesto quanto fosse visibile una persona in bicicletta, in una scala da 1 (non visibile) a 5 (molto visibile), sia di giorno che di notte, con determinati dispositivi ausiliari, quali ad esempio giubbotto fluorescente, giubbotto catarifrangente, abiti chiari o scuri, luci e altro (Tabella 5); ai ciclisti è stato inoltre chiesto quanto frequentemente utilizzassero tali dispositivi, Figura 45.

	Dispositivi ausiliari	Automobilisti	Ciclisti
Di giorno	Giubbotto fluorescente	4.06	3.93
	Giubbotto catarifrangente	3.54	3.32
	Vestiti bianchi	3.22	3.35
	Vestiti neri	2.26	2.18
	Luci lampeggianti su polsi/caviglie	2.92	2.81
	Luci sulla bicicletta	2.17	2.77
	Strisce riflettenti su braccia/gambe	2.87	2.68
Di notte	Giubbotto fluorescente	3.95	3.68
	Giubbotto catarifrangente	4.61	4.42
	Vestiti bianchi	3.15	3.07
	Vestiti neri	1.19	1.21
	Luci lampeggianti su polsi/caviglie	4.03	4.23
	Luci sulla bicicletta	3.3	4.5
	Strisce riflettenti su braccia/gambe	3.98	4.08

Tabella 5. Valutazioni medie di visibilità per un ipotetico ciclista che indossa una data configurazione di abbigliamento, sia di giorno che di notte, su una scala da 1 a 5.

Note. Il valore 1 indica “non visibile”, il valore 5 indica “molto visibile”

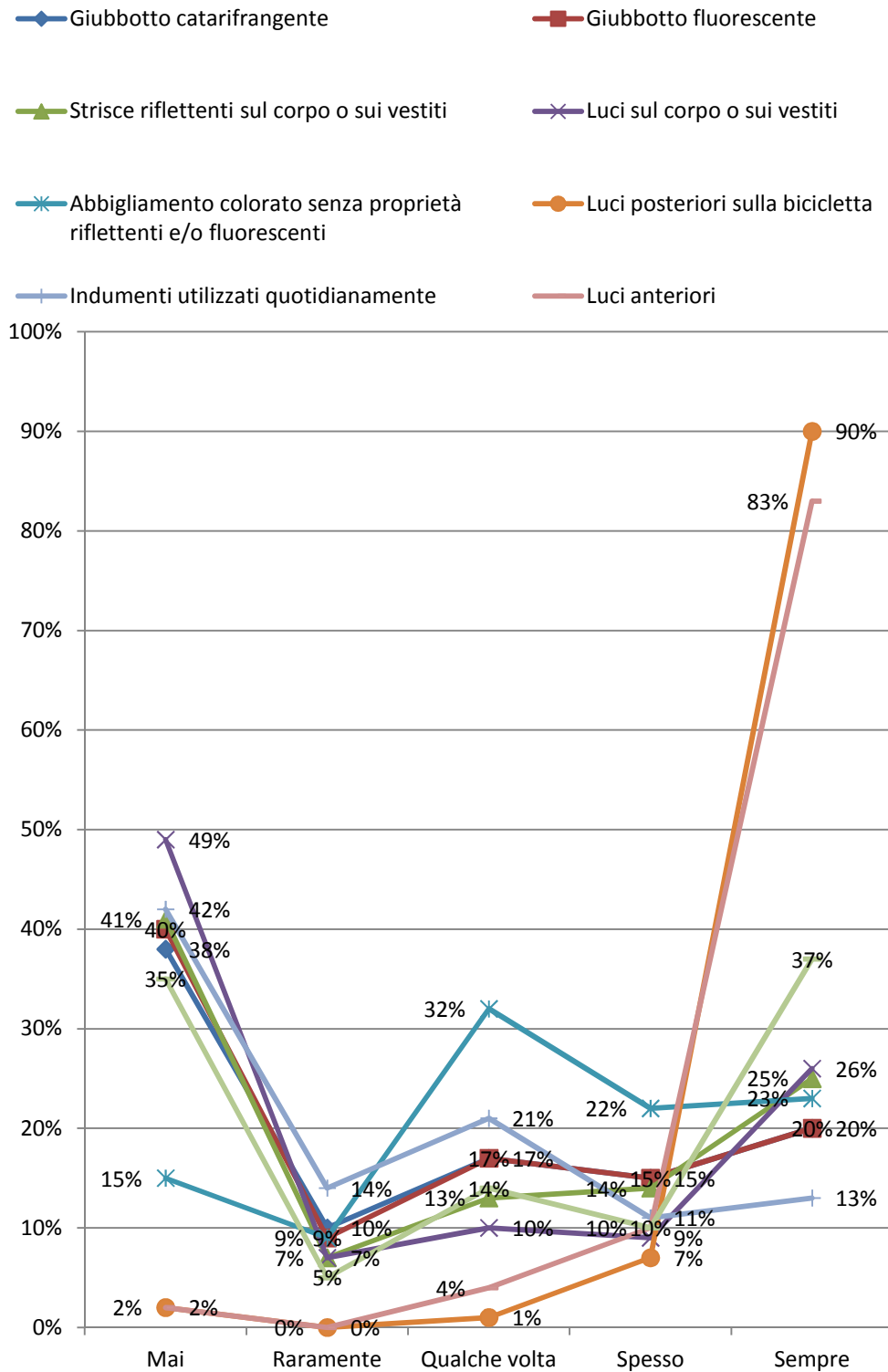


Figura 45. Grafico sulla percentuale di utilizzo di vari dispositivi ausiliari.

Note. Nel grafico sono riassunte le risposte date da un campione di intervistati in merito all'utilizzo di ciascun dispositivo ausiliario utile ad aumentare la sua visibilità in strada. In particolare si riporta la frequenza di ognuna delle risposte possibili (mai, raramente, qualche volta, spesso, sempre). Ad esempio: alla domanda "quanto di frequente lei usa le luci posteriori sulla bicicletta?", il 90% degli intervistati ha risposto "sempre", il 7% le usa "spesso", l'1% "qualche volta" ed il 2% degli intervistati non le usa mai.

I risultati mostrati in Tabella 5 dimostrano in particolare come il ciclista ritenga di essere di gran lunga più visibile alle auto con luci anteriori e posteriori sulla bicicletta di quanto percepiscano invece gli automobilisti, soprattutto in condizioni notturne; con alcune delle altre configurazioni invece, ad esempio con giubbotto fluorescente o catarifrangente, ritenevano di essere meno visibili. Ad ogni modo, entrambe le categorie di utenti hanno valutato l'uso dei dispositivi molto utile per l'aumento della visibilità del ciclista (più gli automobilisti che i ciclisti), come mostrato in Tabella 6.

Dichiarazioni	<u>% di intervistati d'accordo</u>	
	Automobilisti	Ciclisti
I ciclisti dovrebbero indossare indumenti rifrangenti in ambienti/condizioni di bassa illuminazione in modo che siano visibili	95%	72%
I ciclisti non hanno bisogno di luci se le strade sono ben illuminate	9%	5%
I ciclisti sono difficili da vedere nel traffico	77%	57%
Gli automobilisti non ricercano i ciclisti	60%	88%

Tabella 6. Percentuali e valori medi di approvazione riguardo alcuni atteggiamenti di automobilisti e ciclisti.

Dalla Tabella 6 si nota anche come l'88% dei ciclisti intervistati sia d'accordo nel dichiarare che l'automobilista non "ricerca" il ciclista, ovvero gli dia poca attenzione in strada. A tali utenti è stato inoltre chiesto di indicare la distanza media alla quale sarebbe visibile il ciclista di notte da un automobilista che usa fari anabbaglianti. Per i ciclisti, tale distanza è stata ritenuta pari a 110.3 m, oltre il doppio di quella dichiarata dagli automobilisti, ovvero 48.3 m. Da ciò si intuisce quindi come si tenda a sopravvalutare la propria visibilità quando si è in bicicletta e questo potrebbe essere un motivo per cui, pur se ritenuti utili, alcuni dispositivi ausiliari non vengono utilizzati dai ciclisti.

La ricerca ha quindi dimostrato che l'uso di catarifrangenti o comunque elementi retro riflettori potrebbe migliorare l'abilità dei guidatori sia per il riconoscimento di ciclisti che dei pedoni e anche l'abilità di rispondere in tempo evitando la collisione.

Il 48% dei ciclisti ha riportato di essere stato coinvolto in un incidente o in un "quasi incidente" con un veicolo, in contrasto con il solo 27% dei guidatori che riporta di aver avuto un incidente o quasi con una bicicletta. Su 99 degli incidenti totali (*accidents which resulted in a collision rather than a near miss*), 63 erano stati relazionati al guidatore che non aveva visto il ciclista in tempo tale da evitare la collisione.

La differenza degli incidenti riportati durante il test può essere dovuto al fatto che il ciclista ha anche una maggiore probabilità di incorrere in un incidente poiché incontra un numero maggiore di veicoli rispetto ai ciclisti che un guidatore può incontrare. In più, il guidatore è più incline a dare la colpa alla poca visibilità del ciclista (anche se questa è una autogiustificazione). In ogni caso, entrambi i gruppi sono d'accordo che i ciclisti sono più visibili se loro stanno indossando qualche sorta di elemento catarifrangente. Tuttavia, un vestiario fluorescente è più d'aiuto durante il giorno poiché converte la lunghezza d'onda della luce in un range ultravioletto, con lunghezza d'onda più lunga e visibile e dunque porta a un aumento della luce visibile riflessa; durante la notte, la sua efficacia è molto ridotta e non sempre i ciclisti sono a conoscenza di queste proprietà fisiche e quindi vanno a sovrastimare la loro visibilità durante la notte.

I ciclisti credono di essere riconosciuti ad una distanza doppia rispetto a quella effettivamente registrata dai guidatori.

Nel 2013 J. Wood, R. Tyrrell, R. Marszalek, P. Lacherez, T. Carberry, hanno effettuato delle ricerche in merito alla sovrastima della distanza di visibilità dei ciclisti: *Bicyclists overestimate their own night-time conspicuity and underestimate the benefits of retroreflective markers on the moveable joints*. L'esperimento quantifica la distanza alla quale i ciclisti credono di essere riconosciuti dai guidatori che si avvicinano a loro. I 25 partecipanti indicavano quando erano sicuri di essere riconosciuti dal guidatore. I partecipanti hanno indossato vestiti neri o con giacche catarifrangenti e giravano o da soli o in gruppo.

I partecipanti hanno appurato che vestendosi di nero, tali abiti li rendevano visibili il meno possibile, con strisce catarifrangenti sulle gambe in aggiunta alla giacca, invece, essi erano visibili al massimo. In più, le luci lampeggianti sulla bici erano associate ad un maggiore riconoscimento delle luci statiche (Figura 46).

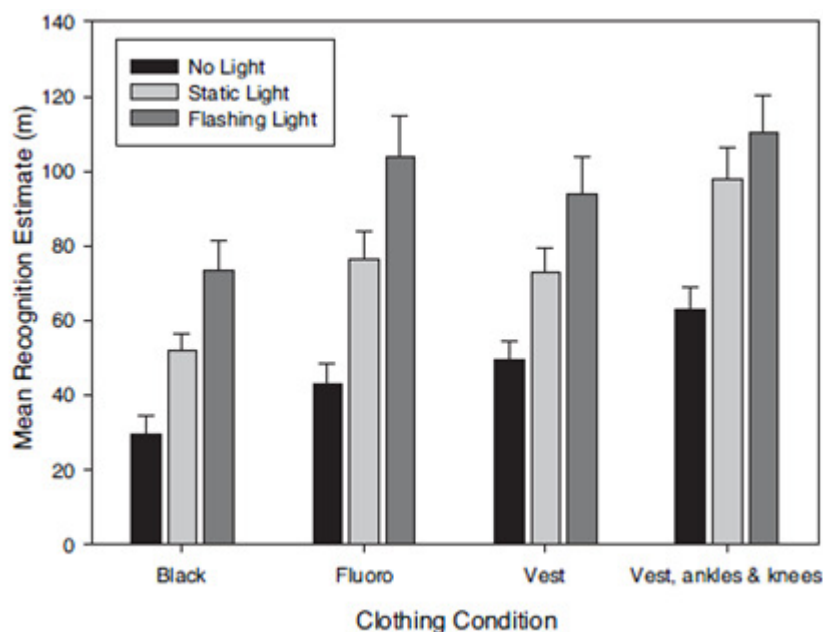


Figura 46. Distanze medie alle quali i partecipanti credevano di essere riconosciuti.

Note. J. Wood, R. Tyrrell, R. Marszalek, P. Lacherez, T. Carberry, *Accident Analysis and Prevention* 55 (2013) 48– 53

I ciclisti occasionali si credevano più visibili rispetto a quanto credevano i ciclisti abitudinari (Figura 47).

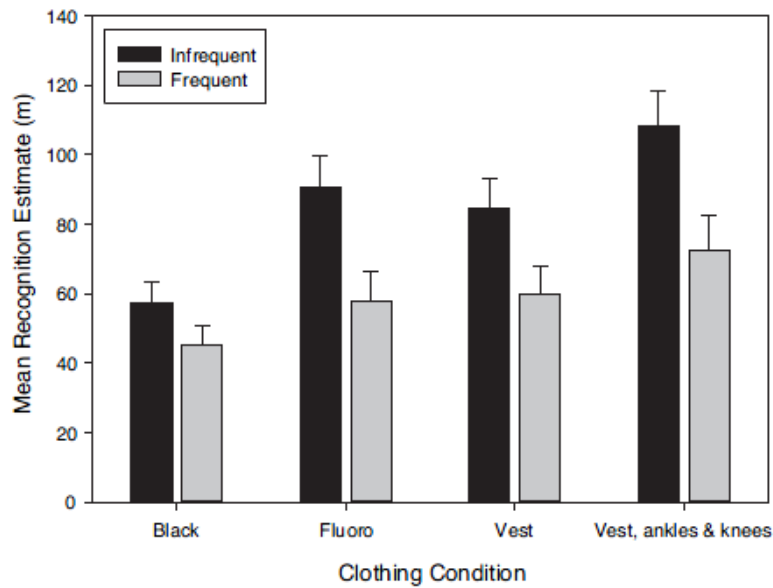


Figura 47. Distanze medie alle quali i partecipanti abitudinari e non credevano di essere riconosciuti.

Note. J. Wood, R. Tyrrell, R. Marszalek, P. Lacherez, T. Carberry, *Accident Analysis and Prevention* 55 (2013) 48–53

Andando a incrementare, quindi, l'esperienza dei ciclista potrebbe portare a una presa di coscienza dell'effettiva visibilità da parte del guidatore.

Dunque, i ciclisti sovrastimavano la loro visibilità e sottostimavano i benefici delle strisce catarifrangenti su caviglie e ginocchia (Figura 48).

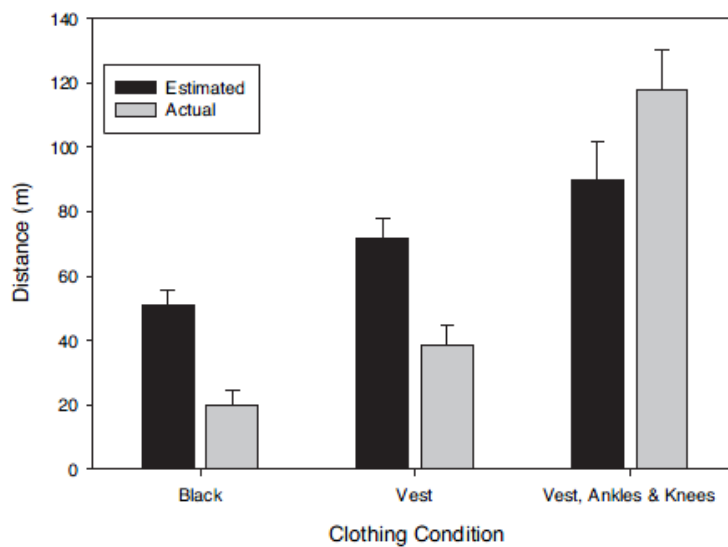


Figura 48. Confronto tra le distanze stimate ed ipotizzate.

Note. J. Wood, R. Tyrrell, R. Marszalek, P. Lacherez, T. Carberry, *Accident Analysis and Prevention* 55 (2013) 48–53

Questo porta però a un pericolo maggiore durante la notte. C'è bisogno quindi che i ciclisti vengano convinti della limitata visuale dei guidatori durante la notte e del valore dei vestiti catarifrangenti.

Nel 2012 J. Wood, R. Tyrrell, R. Marszalek, P. Lacherez, T. Carberry, B. Sun Chu, hanno eseguito invece dei test riguardo all'influenza dell'età dei conducenti sulla capacità di avvistare i ciclisti: *Using reflective clothing to enhance the conspicuity of bicyclists at night.*

Dalla suddetta ricerca è emerso che i guidatori più anziani avvistavano i ciclisti meno spesso e distanze minori rispetto ai guidatori più giovani. La presenza di una luce sulla bicicletta, sia questa statica o no, non aumentava la visibilità del ciclista; questo portava i ciclisti a essere troppo sicuri della loro visibilità. I risultati dicono che porre le strisce su caviglie e ginocchia è un semplice e effettivo approccio per aumentare la propria visibilità notturna.

I guidatori hanno segnalato la presenza dei ciclisti per il 70% dei giri, tra cui solo il 27% delle volte quando si trattava di vestiti neri, senza luci o guidatori anziani, fino ad un 100% con giacca, caviglie e ginocchia catarifrangenti e guidatori più giovani.

Gli *older* hanno risposto per il 55% delle volte, mentre gli *younger* l'86% .

Età a parte, i guidatori hanno risposto per il 50% per i ciclisti in nero, 67% con le giacche catarifrangenti e per il 94% quando alle giacche si erano aggiunti anche caviglie e ginocchia catarifrangenti (Figura 49).

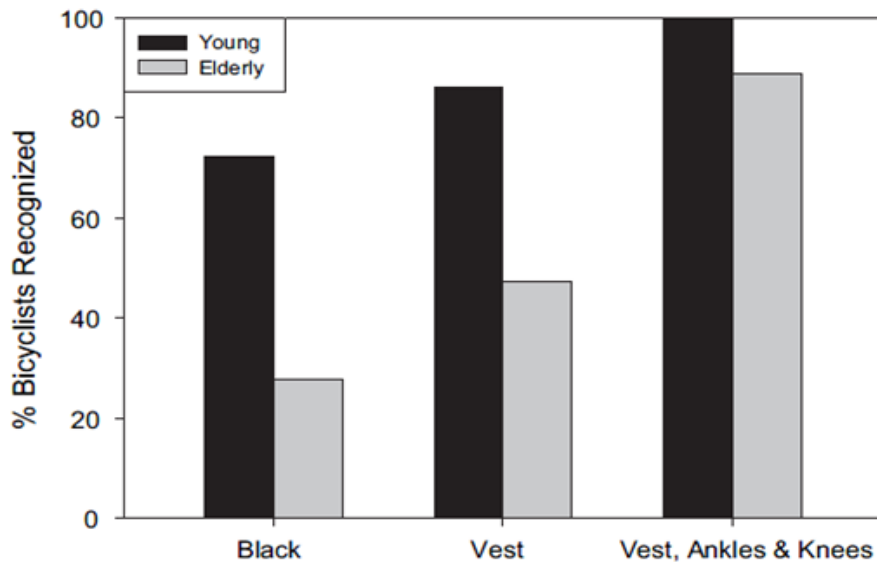


Figura 49. Effetto degli abiti dei ciclisti e dell'età dei conducenti sull'avvistabilità dei ciclisti.

Note. J. Wood, R. Tyrrell, R. Marszalek, P. Lacherez, T. Carberry, B. Sun Chu, *Accident Analysis and Prevention* 45 (2012) 726 – 730

La distanza alla quale sono riconosciuti i ciclisti è riportata nel seguente grafico (Figura 50) in funzione del vestiario del ciclista e dell'età del guidatore:

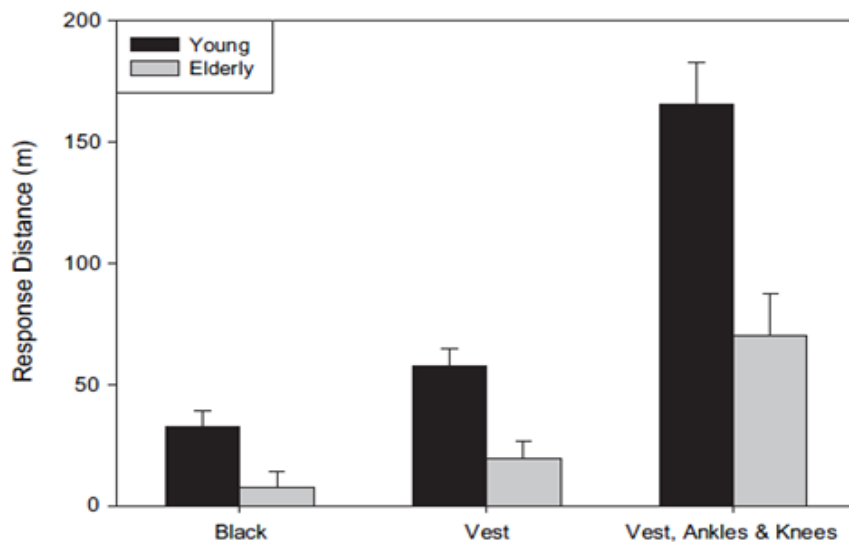


Figura 50. Distanza alla quale sono riconosciuti i ciclisti, in base ai loro abiti.

Note. J. Wood, R. Tyrrell, R. Marszalek, P. Lacherez, T. Carberry, B. Sun Chu, *Accident Analysis and Prevention* 45 (2012) 726 – 730

È stato poi osservato che la differenza tra uso della giacca ed uso di giacca cavigliere e ginocchia catarifrangenti, era più significativa tra i partecipanti più giovani, mentre la differenza tra la sola giacca e il vestiario scuro non ha rivelato differenza a seconda dell'età. Effetti della luce sulla bicicletta (Figura 51):

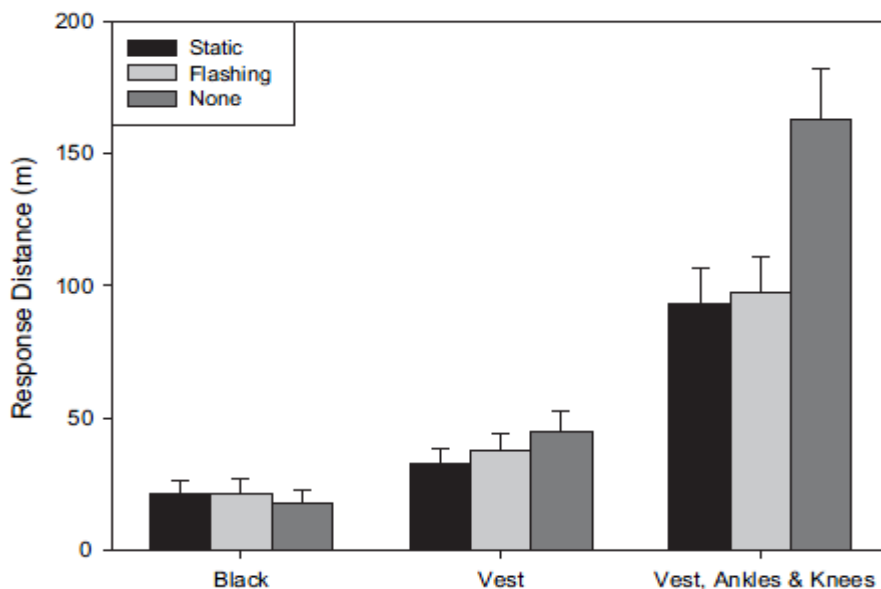


Figura 51. Effetti delle luci della bicicletta sull'avvistabilità.

Note. J. Wood, R. Tyrrell, R. Marszalek, P. Lacherez, T. Carberry, B. Sun Chu, *Accident Analysis and Prevention* 45 (2012) 726 – 730

La distanza di riconoscimento media era maggiore senza alcuna luce applicata sulla bicicletta (75 m) della distanza con luce statica (49 m) o flashing (52,1 m). Questo perché la luce, sia che fosse statica o dinamica, diminuiva la distanza di riconoscimento, in quanto riduceva l'abilità dei guidatori di individuare le strisce catarifrangenti sulle caviglie e sulle ginocchia. Infatti, come si può vedere dal grafico sopra, la differenza della distanza di riconoscimento è significativa nel caso di “no luce + giacca-caviglie-ginocchia”. Dunque prima di tutto bisognerebbe sensibilizzare i ciclisti a portare più elementi catarifrangenti ma bisogna anche rieducare entrambi i gruppi sulla questione visibilità.

In merito all'influenza dell'esperienza dei ciclisti, sul loro modo di guidare, secondo J. Dollisson, W. Cox, Z. Zheng, nello studio *Comparison of Motorists' and Cyclists' perception of bicycle safety* (2013), una persona è

propensa a percepire le condizioni di guida come più sicure quanto più frequentemente va in bici; la tendenza è simile, però più variabile, per quanto riguarda il numero di km percorsi in bici. Questo sta a sottolineare come, all'aumentare del livello di utilizzo della bici di un individuo, questi tenda a sovrastimare i fattori di comfort e sicurezza associati alla guida della bicicletta stessa (Figure 52 e 53).

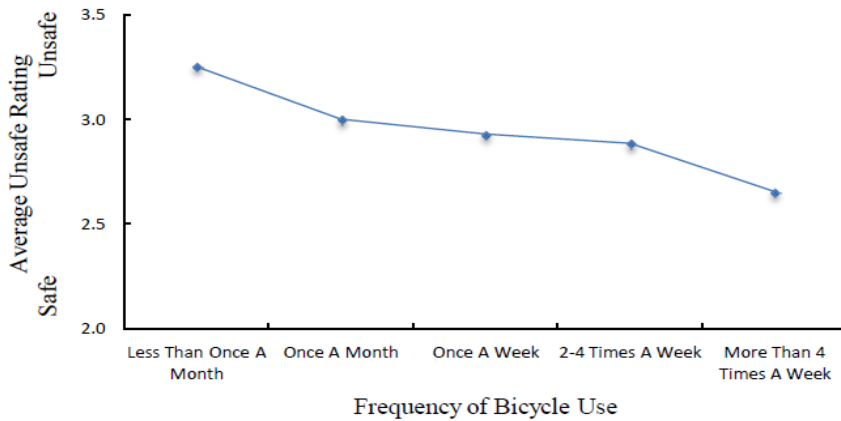


Figura 52. Confronto fra frequenza di utilizzo della bicicletta e valutazione media della sicurezza da 1 a 5.

Note. Il valore 1 indica “sicuro” e il valore 5 “non sicuro”. Dollisson, J., Cox, W., Zheng, Z., 2013. Comparison of Motorists’ and Cyclists’ perception of bicycle safety. In *36th Australasian Transport Research Forum (ATRF) Annual Conference*, 2 - 4 October 2013, QUT Gardens Point, Brisbane, Australia.

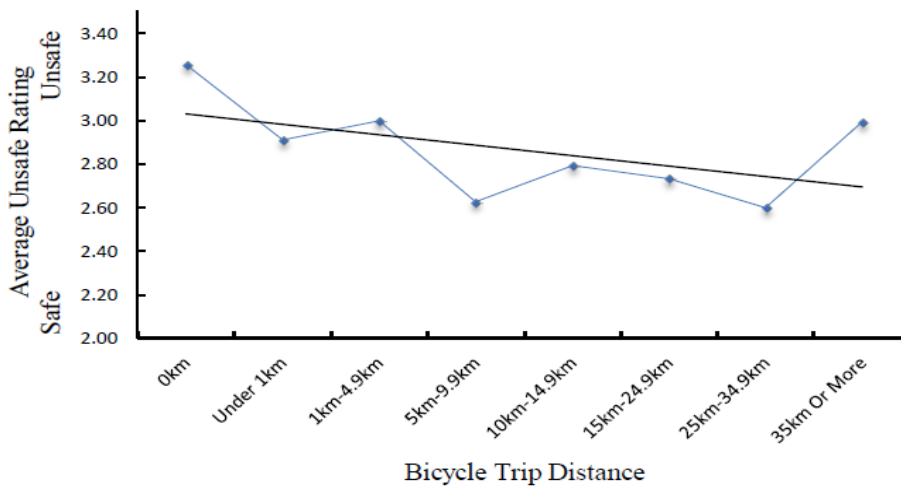


Figura 53. Confronto fra distanza percorsa in bicicletta e valutazione media di sicurezza: 1 e 5.

Note. Il valore 1 indica “sicuro” e il valore 5 “non sicuro”. Dollisson, J., Cox, W., Zheng, Z., 2013. Comparison of Motorists’ and Cyclists’ perception of bicycle safety. In *36th Australasian Transport Research Forum (ATRF) Annual Conference*, 2 - 4 October 2013, QUT Gardens Point, Brisbane, Australia.

La percezione della sicurezza in bicicletta dipende inoltre da altri fattori, ad esempio il tipo di attrezzatura utilizzata: un ciclista che abitualmente utilizza il casco, risulta pedalare più lentamente quando non lo utilizza rispetto a chi non lo utilizza mai (R. Phillips, A. Fyhri, F. Sagberg, *Risk compensation and bicycle helmets*, 2011), ed i ciclisti che utilizzano più attrezzature ciclistiche sono soliti andare più veloce rispetto a chi utilizza solo il casco (A. Fyhri, T. Bjørnskau, A. Backer-Grøndahl, *Bicycle helmets – A case of risk compensation*, 2012); invece, chi non è abituato ad utilizzarlo, quando lo utilizza non ha variazioni di velocità (Phillips et al., 2011), a dimostrare che comunque l'utilizzo del casco quando si va in bicicletta non ha molta influenza sulla percezione di sicurezza per un ciclista, come invece ne ha ad esempio l'interazione tra automobilisti e ciclisti. La percezione degli automobilisti su questo punto di vista varia. Secondo I. Walker e M. Brosnan in *Drivers' gaze fixations during judgements about a bicyclist's intentions* (2007), quando un ciclista è dotato di attrezzature di sicurezza viene percepito come più competente (soprattutto nei casi di passaggi stretti) dall'utente forte, che tende a prendere meno contromisure.

Inoltre J. Dollisson, W. Cox, Z. Zheng nell'articolo *Comparison of Motorists' and Cyclists' perception of bicycle safety* (2013), riportano anche le percezioni di sicurezza di questi due utenti per quanto riguarda la loro interazione (Figure 54 e 55):

- il 66% dei ciclisti intervistati era d'accordo o molto d'accordo nell'affermare che gli automobilisti sono più aggressivi quando si pedala in strada;
- il 64% degli automobilisti intervistati, a loro volta, era d'accordo nel dichiarare che i ciclisti non erano a conoscenza dei veicoli che transitavano;
- oltre l'80% dei ciclisti è più o meno preoccupato di essere coinvolto in un incidente con un'automobile;
- oltre il 50% degli automobilisti teme di scontrarsi con un ciclista.

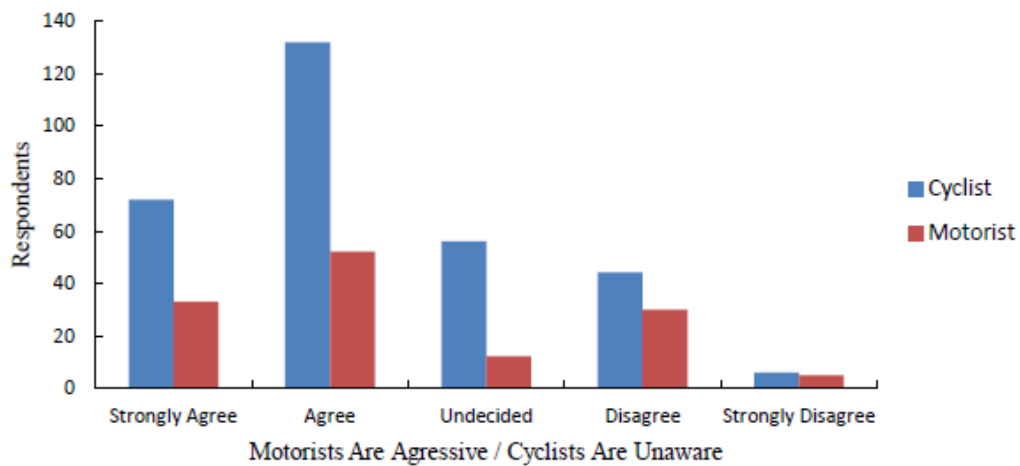


Figura 54. Confronto fra i comportamenti percepiti da automobilisti e ciclisti.

Note. Dollisson, J., Cox, W., Zheng, Z., 2013. Comparison of Motorists' and Cyclists' perception of bicycle safety. In *36th Australasian Transport Research Forum (ATRF) Annual Conference*, 2 - 4 October 2013, QUT Gardens Point, Brisbane, Australia.

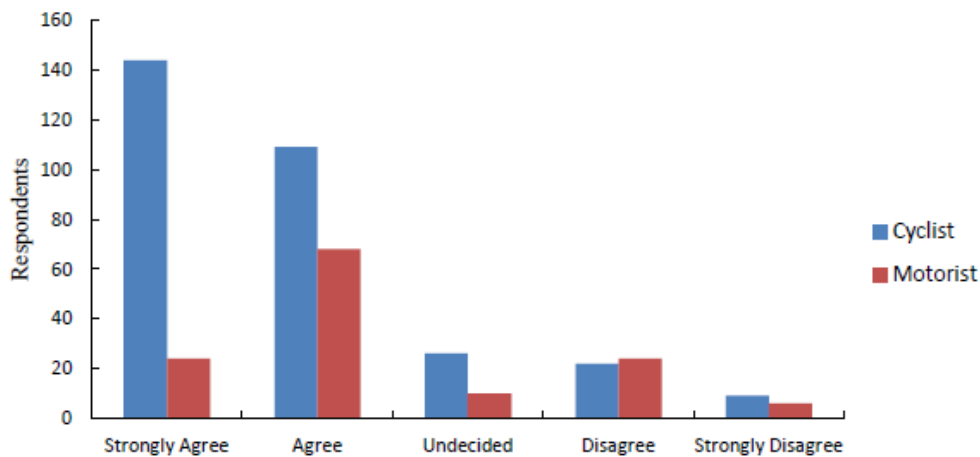


Figura 55. Livello di timore di essere coinvolti in un incidente.

Note. Dollisson, J., Cox, W., Zheng, Z., 2013. Comparison of Motorists' and Cyclists' perception of bicycle safety. In *36th Australasian Transport Research Forum (ATRF) Annual Conference*, 2 - 4 October 2013, QUT Gardens Point, Brisbane, Australia.

La differenza maggiore però si è riscontrata quando è stato chiesto alle due categorie di utenti se l'automobilista stesse troppo vicino al ciclista in strada: la maggior parte degli automobilisti ha risposto di non esserlo, e questo dimostra come essi abbiano meno percezione della sicurezza dei ciclisti (Figura 56).

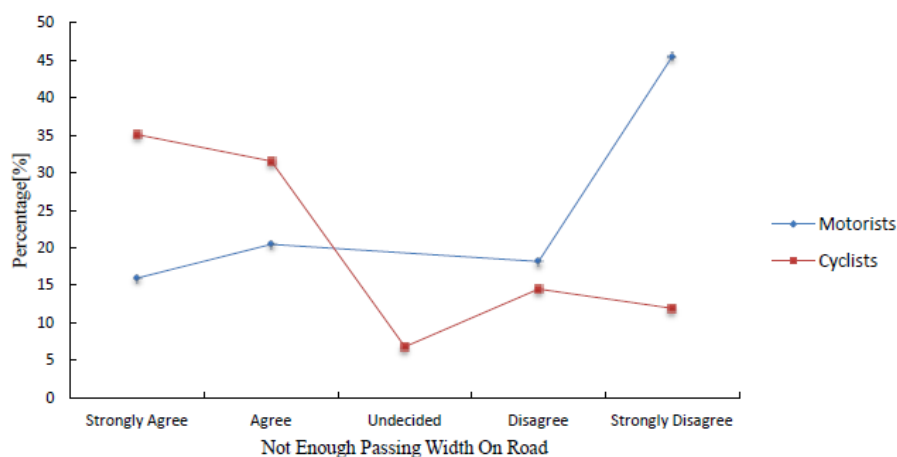


Figura 56. Percentuali di automobilisti e ciclisti intervistati che sono d'accordo o meno sull'affermare che l'automobilista stia troppo vicino al ciclista.

Note. Dollison, J., Cox, W., Zheng, Z., 2013. Comparison of Motorists' and Cyclists' perception of bicycle safety. In *36th Australasian Transport Research Forum (ATRF) Annual Conference*, 2 - 4 October 2013, QUT Gardens Point, Brisbane, Australia.

Entrambe le categorie, invece, ritengono che il ciclista sia più sicuro quando cammina sulla pista ciclabile, separata dalla corsia stradale: lo studio di Dollison, Cox e Zheng (2013) ha difatti prodotto risultati anche sulla percezione di sicurezza dei ciclisti in diversi scenari: 467 intervistati hanno valutato 10 fotografie con un punteggio che variava da 1 (sicuro) a 5 (non sicuro). Ai fini del confronto, per ogni fotografia dispari con ciclisti che indossano il casco, era accoppiata una fotografia pari con i ciclisti non provvisti di casco. Le 5 coppie di fotografie sono state più o meno disposte secondo livelli di sicurezza decrescenti (dallo scenario più sicuro a quello meno sicuro); in particolare, le fotografie 1 (unità familiare, casco, strada tranquilla) e 10 (casco assente, ciclisti che guidano attraverso il traffico) hanno mostrato rispettivamente tipiche attività in bicicletta sicure e non sicure, e sono state classificate con una valutazione media di 1.72 (molto sicura, la fotografia 1) e 4.28 (non sicura, fotografia 10). La fotografia 9, rappresentante uno scenario simile alla fotografia 10, con la quale era appunto accoppiata, con la differenza del ciclista che indossava il casco ed indumenti adatti, ha comunque dato una valutazione pari a 4.08, molto simile al 4.28 della "fotografia sorella", il che appunto dimostra che il ciclista non è molto sicuro quando si trova a dover condividere la strada con

gli altri veicoli e che, come accennato precedentemente, la pista ciclabile sia sinonimo di maggiore sicurezza per questo utente. Automobilisti e ciclisti quindi chiedono una migliore separazione delle due tipologie di trasporto, risultato simile trovato da uno studio di A. Lawson, V. Pakrashi, B. Ghosh e W. Szeto (2013), intitolato *Perception of safety of cyclists in Dublin City* (Figure 57 e 58).



Figura 57. Le fotografie presenti nel questionario.

Note. Dollison, J., Cox, W., Zheng, Z., 2013. Comparison of Motorists' and Cyclists' perception of bicycle safety. In *36th Australasian Transport Research Forum (ATRF) Annual Conference*, 2 - 4 October 2013, QUT Gardens Point, Brisbane, Australia.

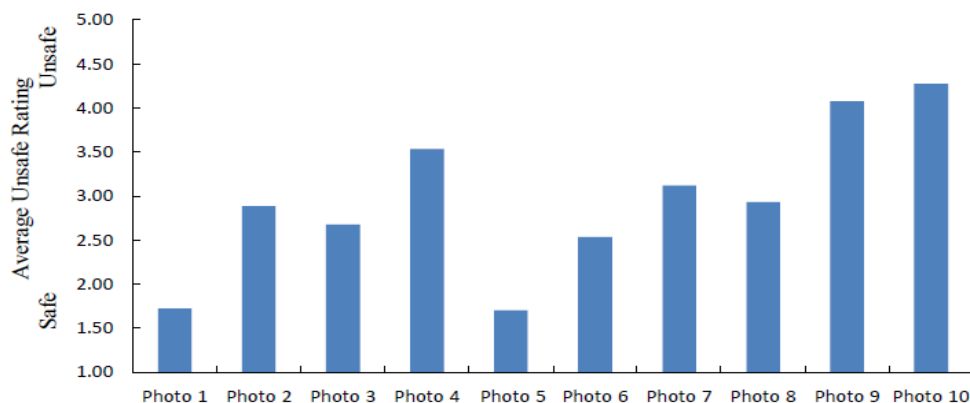


Figura 58. Valutazione media di insicurezza dei vari scenari ciclistici rappresentati nelle fotografie.

Note. Dollisson, J., Cox, W., Zheng, Z., 2013. Comparison of Motorists' and Cyclists' perception of bicycle safety. In *36th Australasian Transport Research Forum (ATRF) Annual Conference*, 2 - 4 October 2013, QUT Gardens Point, Brisbane, Australia.

1.12 IL CONCETTO DEL 'LOOKED-BUT-FAILED-TO-SEE'

In alcune tipologie di incidenti, l'automobilista dichiara di aver guardato nella direzione del ciclista ma di non averlo visto completamente, se non in un secondo momento. Questo fenomeno è molto diffuso, soprattutto tra i piloti esperti, e viene chiamato "Looked-but-failed-to-see", ovvero "guardato ma non in grado di essere visto/percepito". M. Herslund e N. Jørgensen, con lo studio *Looked-but-failed-to-see-errors in traffic* (2003) affermano che gli incidenti di questo tipo si verificano negli incroci in cui si deve dare precedenza per immettersi in una strada principale, incluse le rotonde: i conducenti coinvolti ed interrogati hanno riferito che guardavano prima di attraversare, vedevano le auto che circolavano nella stessa direzione del ciclista, ma non questi; in un secondo momento percepivano un movimento in quella direzione e giravano la testa verso l'utente debole. Le condizioni di visibilità erano ottimali, non hanno influenzato sul fenomeno. Quindi, questa tipologia di incidenti si pone come risultato della strategia di ricerca visiva e/o dell'elaborazione mentale del guidatore: magari il ciclista potrebbe non venire interpretato come un rischio reale di conflitto, a differenza di altre auto, che costituiscono un pericolo reale per i conducenti se non si fanno delle stime corrette sul loro avvicinamento. Lo studio ha infatti notato, tramite registrazioni video e rilevamenti, come, nelle

rotatorie, l'automobilista che deve immettersi stia più attento al ciclista che si trova già in esse (ovvero decida di entrare in rotatoria quando l'utente debole è più lontano da lui) quando è presente un'altra vettura rispetto al caso in cui in rotatoria si trovi solamente il ciclista.

Un altro fattore che potrebbe causare questi errori di percezione è la differenza tra vista centrale e periferica: un conducente che vuole vedere ed identificare qualcosa, sposta lo sguardo verso quel qualcosa, in modo da proiettarlo al centro della retina, dove è concentrato il maggior numero di ricettori rispetto alla parte periferica; quindi in strada l'attenzione visiva si sposta verso gli oggetti più rilevanti per essere identificati. In situazioni complesse, viene utilizzata molto la capacità mentale di elaborazione degli input dalla vista centrale e questo potrebbe portare a trascurare le informazioni provenienti dal campo visivo periferico che si traduce nella non percezione delle stesse (ad esempio, la presenza di un utente debole).

Si è detto (Herslund e Jørgensen, 2003) che gli errori "Looked-but-failed-to-see" sono più frequenti tra i piloti più esperti: un altro fattore che causa la mancata percezione potrebbe essere proprio il cambio di strategia di ricerca visiva di un pilota man mano che acquisisce esperienza in materia di guida.

Da studi diversi (R. Mourant, T. Rockwell: *Strategies of visual search by novice and experienced drivers*, 1972; M. Langham, G. Hole, M. Land: *Looking and failing to see error. The cost of experience*, 1998) si è visto che i piloti inesperti incominciano la ricerca visiva delle scene di traffico nelle vicinanze, ovvero analizzano inizialmente la parte di strada "più vicina" all'automobile, invece quelli esperti dirigono la propria attenzione visiva più in avanti, nel mezzo della scena di traffico, ovvero in quella parte di carreggiata (che devono attraversare o in cui devono immettersi) dove è più probabile che si trovi un altro veicolo, ad esempio un'altra automobile (quindi non in prossimità dei marciapiedi); questo comporta più tempo per la rilevazione di ciclisti e pedoni (i quali spesso si trovano nelle vicinanze dell'automobilista) per i conducenti con maggiore esperienza. I tempi di ricerca sviluppati da questi possono essere più brevi (rispetto ai neopatentati) e le informazioni estratte dalle scene di traffico minime, sulla base di proprie aspettative riguardo la presenza di altri utenti. Essi sviluppano quindi delle capacità di elaborazione che portano a dare priorità

massima ad aree e utenti della strada che forniscono le informazioni a loro più rilevanti (ad esempio veicoli a motore e aree occupate da questi utenti, non ciclisti e pedoni).

In generale, il conducente può focalizzarsi su quei luoghi dove sono presenti solitamente le auto e questo potrebbe comportare la mancanza di stimoli per quegli ostacoli (cose o persone) che, pur presenti nel campo visivo, si trovano all'esterno di questo focus. In tal caso la ponderazione o smistamento degli stimoli, interpretati come parzialmente distribuiti, si basa sulla loro presenza in posizioni rilevanti o meno piuttosto che sul loro potenziale pericolo (Herslund e Jørgensen, 2003).

1.13 L'INFLUENZA DEL CARICO COGNITIVO SULLA GUIDA

Il comportamento alla guida, la percezione degli ostacoli e i tempi di reazione non sono uguali per ogni caso, ma sono condizionati dal **carico cognitivo** (Rivano, 2009; Summala, 2000; McEvoy et al., 2005; Harbluk et al., 2007; Crundall & Underwood, 1998; Underwood et al., 2003; Reyes e Lee, 2008; Kaber et al., 2012).

Il carico cognitivo è definito come l'insieme delle attività che impegnano la mente delle persone alla guida ed è un parametro da non sottovalutare (Rivano, 2009).

Per H. Summala (*Brake Reaction Times and Driver Behavior Analysis*, 2000) esistono due tipi di attività che influenzano la concentrazione di un automobilista:

- 1) Conducente impegnato a cercare informazioni, ad esempio in uno svincolo stradale complesso oppure in attività non legate alla guida (come lo stare attenti alle azioni che compie un bambino a bordo per evitare che si faccia male); questo porta come risultato la diminuzione della capacità di percepire potenziali pericoli dal momento che verrebbero a trovarsi o al di fuori o nella posizione periferica del campo visivo;

- 2) Processi mentali che non coinvolgono la vista, ad esempio l'essere sovrappensiero, o ascoltare la radio o parlare al cellulare; l'utilizzo del telefonino, in particolare, aumenta di circa quattro volte la probabilità di incidenti abbastanza gravi da richiedere cure mediche.

Non è solamente il tipo, ma anche il livello di intensità dell'attività cognitiva ad influenzare il comportamento degli automobilisti: dagli studi citati da Summala (2000) nel suo articolo (Brookhuis, de Vries e de Waard, 1991; Lamble et al., 1999, per esperimenti su strada senza luci di stop; e Alm e Nilsson 1995, per un esperimento al simulatore con luce di stop), emerge che il tempo necessario a percepire la decelerazione del veicolo che precede aumenta fino a 0,5 secondi in conducenti impegnati in intensa attività cognitiva. Inoltre, come evidenziato da Harbluk et al. (2007), ci sono differenze evidenti nel comportamento dei piloti nelle condizioni senza carichi aggiuntivi e con elevato carico cognitivo, mentre con leggero carico cognitivo non si hanno differenze marcate rispetto al caso di sola guida, o comunque sono minori rispetto al caso di attività intensa: ad esempio, negli incroci l'automobilista guarda poco a destra oppure meno il semaforo, controlla di meno anche gli specchietti e tende a guardare più in avanti in posizione centrale rispetto alle aree periferiche (Figure 59, 60 e 61).

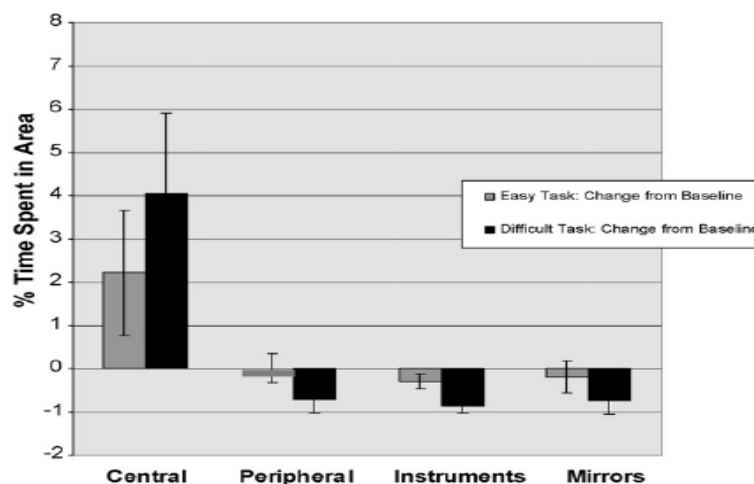


Figura 59. Variazione percentuale media del tempo di visualizzazione di aree specifiche con leggero o elevato carico cognitivo rispetto al caso di assenza di compiti aggiuntivi oltre la guida.

Note. I segmenti indicano gli errori standard. Le barre grigie sono riferite al carico cognitivo leggero, quelle nere a carico cognitivo elevato. Harbluk, J., Ian Noy, Y., Trbovich, P., Eizenman, N., 2007, An on-road assessment of cognitive distraction: Impacts on drivers' visual behavior and braking performance, *Accident Analysis and Prevention* 39, 372–379.

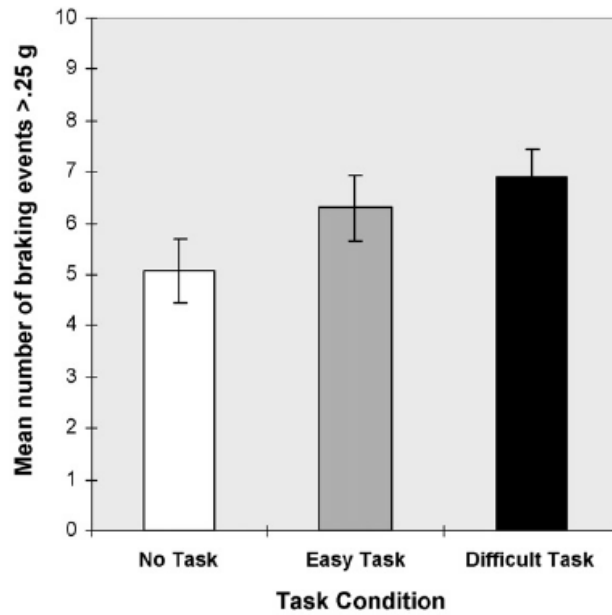


Figura 60. Numero medio di eventi di frenata superiore a 0,25 g.

Note. I segmenti indicano gli errori standard. Harbluk, J., Ian Noy, Y., Trbovich, P., Eizenman, N. , 2007, An on-road assessment of cognitive distraction: Impacts on drivers' visual behavior and braking performance, *Accident Analysis and Prevention* 39, 372–379.

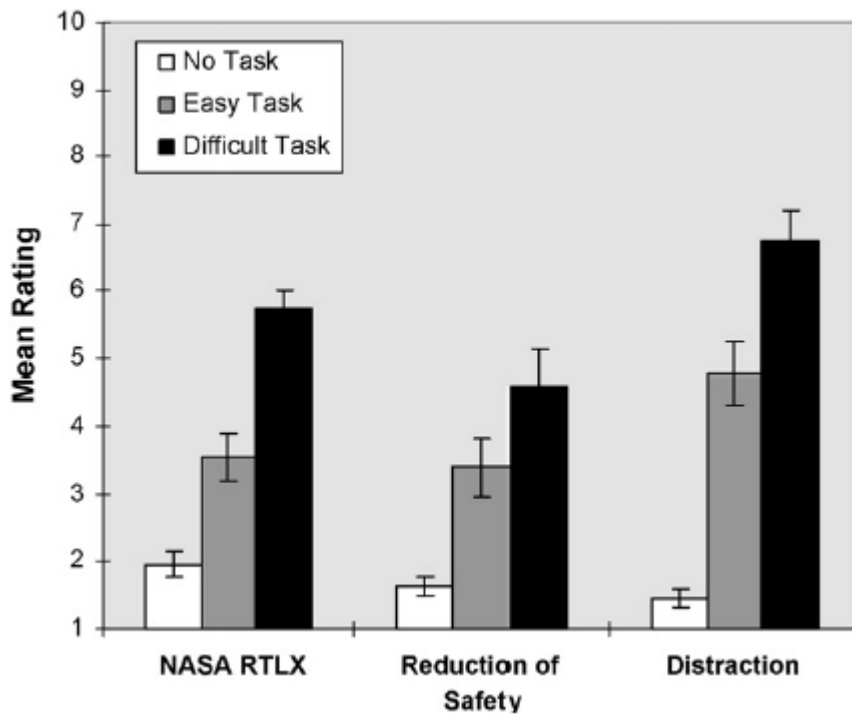


Figura 61. Valutazioni medie di carico di lavoro, riduzione della sicurezza e distrazione.

Note. I segmenti indicano gli errori standard. Harbluk, J., Ian Noy, Y., Trbovich, P., Eizenman, N. , 2007, An on-road assessment of cognitive distraction: Impacts on drivers' visual behavior and braking performance, *Accident Analysis and Prevention* 39, 372–379.

Le differenze si hanno anche, con carico cognitivo uguale dettato dal tipo di strada, per piloti esperti e principianti. Secondo Crundall e Underwood (1998), i conducenti esperti selezionano la strategia visiva a seconda della complessità della carreggiata, quella dei neopatentati invece è troppo rigida per soddisfare le esigenze mutevoli (Figure 62 e 63, Tabella 7).

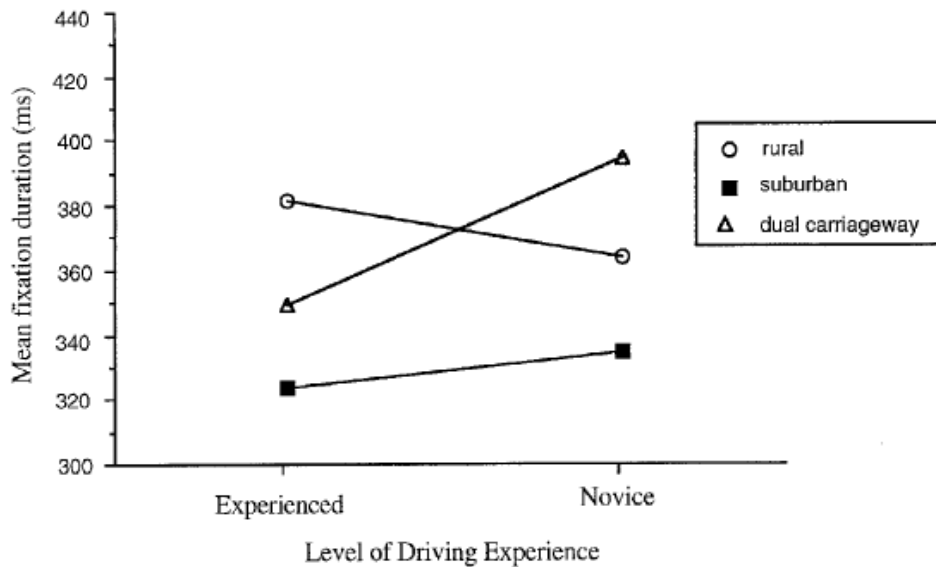


Figura 62. Durate medie di fissaggio per principianti e piloti esperti nei vari tipi di strada.

Note. Crundall, D., & Underwood, G., 1998. Effects of experience and processing demands on visual information acquisition in drivers, *Ergonomics*, Vol. 41, N° 4, 448 - 458.

Road type:	Rural		Suburban		Dual carriageway	
Drivers:	Experienced	Novice	Experienced	Novice	Experienced	Novice
Mean fixation durations (ms)	381 (105)	364 (127)	324 (75)	335 (94)	349 (87)	395 (132)
No. of fixations	134 (25)	131 (22)	146 (29)	139 (22)	133 (21)	125 (28)
Horizontal axis variance (degrees)	38.7 (28.0)	43.0 (38.3)	48.4 (24.8)	47.2 (27.6)	82.4 (49.2)	45.9 (24.2)
Vertical axis variance (degrees)	12.5 (7.9)	22.4 (14.4)	12.1 (7.8)	21.0 (13.7)	23.8 (18.6)	24.1 (14.6)

Tabella 7. Misure medie di fissaggio dell'occhio prese in tre sezioni di carreggiata e per i due livelli di esperienza di guida.

Note. I valori tra parentesi indicano le deviazioni standard. Crundall, D., & Underwood, G., 1998. Effects of experience and processing demands on visual information acquisition in drivers, *Ergonomics*, Vol. 41, N° 4, 448 - 458.

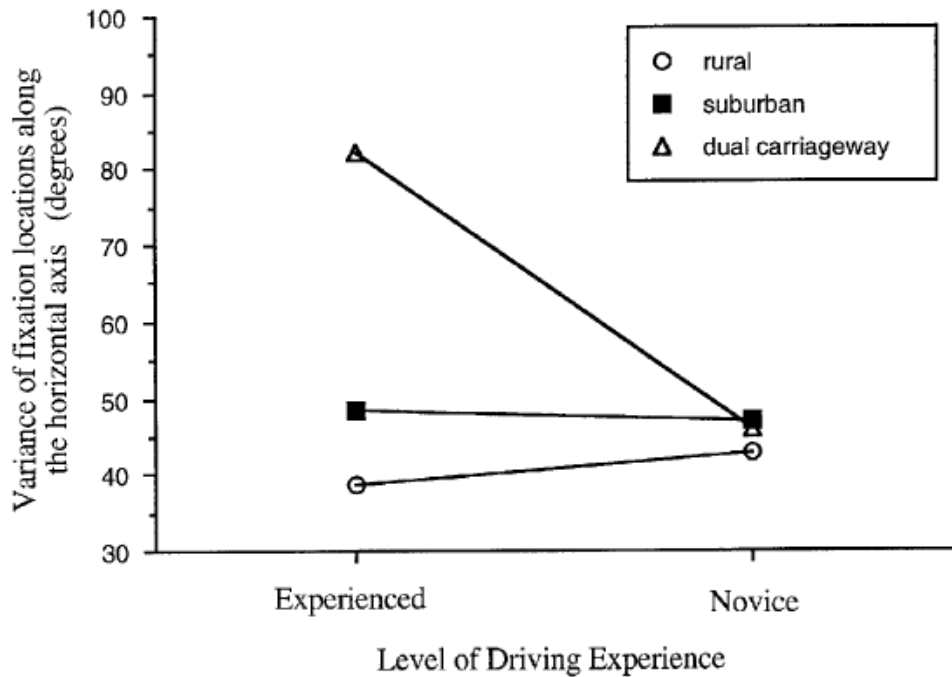


Figura 63. Variazione della ricerca visiva lungo l'asse orizzontale per neopatentati ed esperti in base al tipo di strada.

Note. Crundall, D., & Underwood, G., 1998. Effects of experience and processing demands on visual information acquisition in drivers, *Ergonomics*, Vol. 41, N°. 4, 448 - 458.

La differenza tra le due tipologie di automobilisti è dovuta al fatto che gli inesperti hanno un modello mentale incompleto e tendono ad ispezionare meno la carreggiata: su strade a doppia carreggiata fanno lunghe fissazioni e tendono a guardare una zona ristretta direttamente davanti a loro, non variano lo sguardo quanto quelli esperti; la scansione della strada è simile a questi invece quando non sono alla guida ma osservano su dei video la carreggiata, quindi con carico cognitivo minore, dovuto proprio al fatto che non stanno guidando (Underwood et al., 2003).

I dispositivi di informazione all'interno del veicolo (in-vehicle information system, IVIS), quali GPS o cellulari, come detto, influiscono sul carico cognitivo. Dallo studio di M. Reyes e J. Lee: *Effects of cognitive load presence and duration on driver eye movements and event detection performance* (2008), risulta che l'utilizzo dei suddetti dispositivi, in termini di rilevamento del ciclista, sperimentato al simulatore, comporta un ritardo di avvistamento di circa (Figure 64 e 65, Tabella 8):

- 290 ms rispetto al caso in cui questi dispositivi non vengono completamente impiegati (condizioni base);

- 270 ms rispetto al caso post-utilizzo, nella stessa guida (denominato non-IVIS).

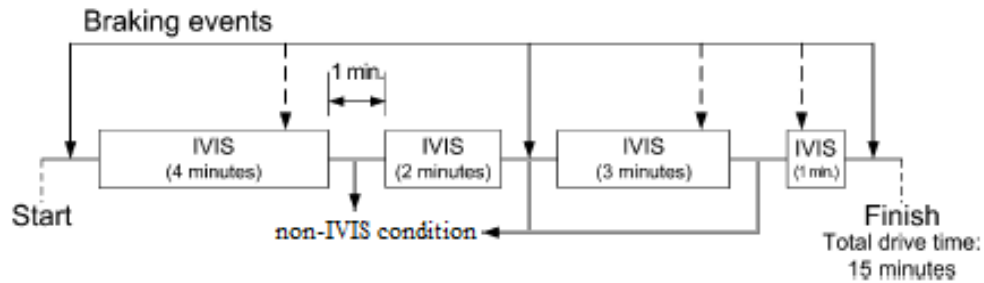


Figura 64. Esempio cronologia delle interazioni con IVIS e degli eventi di frenata durante un guida con tali dispositivi.

Note. Gli eventi di frenata durante le interazioni IVIS sono indicati con le frecce tratteggiate mentre quelli tra le interazioni IVIS, ovvero i casi non-IVIS, sono indicati con le frecce continue. Reyes, M., & Lee, J., 2008. Effects of cognitive load presence and duration on driver eye movements and event detection performance, *Transportation Research Part F 11*, 391–402.

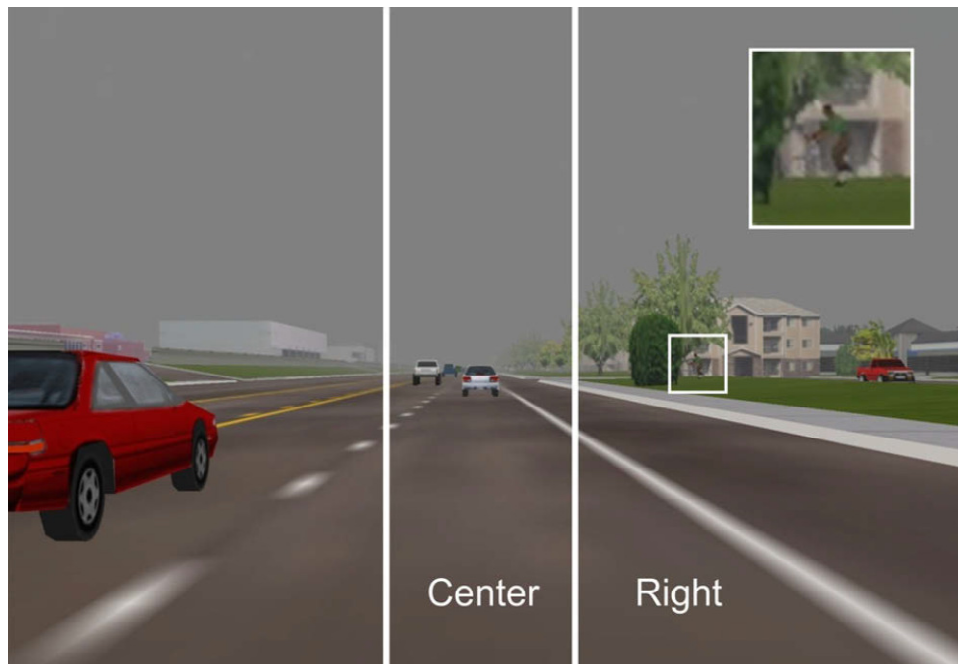


Figura 65. Scena di guida divise in aree di interesse che vengono utilizzate per classificare la posizione dello sguardo. Il ciclista si trova appena a destra del grande cespuglio.

Note. Reyes, M., & Lee, J., 2008. Effects of cognitive load presence and duration on driver eye movements and event detection performance, *Transportation Research Part F 11*, 391–402.

Variabili dipendenti	Metodo dei minimi quadrati (con errori standard) per le varie condizioni		
	IVIS	non-IVIS	Base
Tempo di reazione all'accelerazione del veicolo davanti	1.16 (0.13)	1.21 (0.13)	1.09 (0.13)
Tempo di reazione alla frenata del veicolo davanti	1.82 (0.16)	1.87 (0.16)	1.84 (0.16)
Tempo di risposta al ciclista	2.83 (0.08)A	2.56 (0.09)B	2.54 (0.08)B
Sensibilità	2.58 (0.13)A	2.70 (0.13)A	3.02 (0.15)B
Polarizzazione della risposta	16.9 (0.82)A	8.43 (0.82)B	23.1 (1.1) C

Tabella 8. Metodo dei minimi quadrati per alcune variabili delle prestazioni di guida nelle diverse condizioni.

Note. I valori che hanno una lettera in comune non sono significativamente diversi tra loro ($\alpha = 0,05$).

Lo studio di Reyes e Lee ha quindi evidenziato come la sensibilità dell'automobilista all'utente debole diminuisca in media del 15% con le condizioni IVIS rispetto al caso in cui non sono utilizzati (condizione base). Dai risultati, si può notare come i tempi di risposta al rilevamento del ciclista siano simili in condizioni non-IVIS e base, quindi, per questa prova, i dispositivi non hanno causato effetti di trascinamento tali da far in modo che il decremento delle prestazioni del pilota sia continuato, a livelli pari o simili al caso IVIS, pure dopo il loro utilizzo. L'ipotesi che la distrazione produca tali effetti è stata formulata da D. Redelmeir e R. Tibshirani: *Association between cellular-telephone calls and motor vehicle collisions* (1997).

La distrazione che comunque implica i maggiori tempi di risposta è quella visiva, insieme a quella combinata visiva-cognitiva. Gli studiosi D. Kaber, Y. Liang, Y. Zhang, M. Rogers, S. Gangakhedkar, nell'articolo: *Driver performance effects of simultaneous visual and cognitive distraction and adaptation behavior* (2012), riportano i risultati di un test da loro eseguito, con l'intento di quantificare gli effetti dei diversi tipi di carico cognitivo.

L'esperimento, a cui hanno partecipato 20 guidatori, consisteva nel verificare le risposte dei conducenti in diverse situazioni, riprodotte tramite un simulatore. Gli scenari di distrazione erano di 4 tipi: senza distrazione, con distrazione visiva, con distrazione cognitiva e con distrazione simultanea visiva e cognitiva.



Figura 66. Il simulatore di guida STISIM, l'ASL eye tracking system, e l'interfaccia.

Nota. Kaber, D., Liang, Y., Zhang, Y., Rogers, M., Gangakhedkar, S., 2012, *Driver performance effects of simultaneous visual and cognitive distraction and adaptation behavior*, *Transportation Research Part F 15*, 491–501.

Dai vari test eseguiti è emerso che nell'ultimo caso il carico cognitivo è maggiore rispetto alle altre situazioni, infatti la condizione di distrazione visiva e cognitiva ha provocato più errori di guida.

Altre fonti di distrazione del conducente possono provenire anche dall'ambiente esterno, infatti come hanno concluso D. Stavrinos, P. Mosley, S. Wittig, H. Johnson, J. Decker, V. Sisiopiku, S. Welburn (Università dell'Alabama), nel loro recente studio: *Visual behavior differences in drivers across the lifespan: A digital billboard simulator study* (2016): le distrazioni dei guidatori implicano una significativa porzione di incidenti.

I cartelloni *billboards* possono contribuire a tale distrazione. Il proposito dello studio era quello di distinguere gli effetti dei vari tipi di cartelloni sulla distrazione e l'influenza dell'età sulla visuale del conducente.



Figura 67. Scenario di guida con presenza di billboard.

Note. D. Stavrinou, P. Mosley, S. Wittig, H. Johnson, J. Decker, V. Sisiopiku, S. Welburn: *Visual behavior differences in drivers across the lifespan: A digital billboard simulator study* (2016). *Transportation Research Part F 41* (2016) 19–28.

I test sono stati eseguiti tramite l'uso di un simulatore di guida, che riproduceva diversi tipi di cartelloni: grandi e piccoli, statici ed animati. Il principale risultato dello studio è stato che un billboard può catturare l'attenzione del conducente per un tempo di almeno 2 secondi, distogliendo la sua attenzione dalla strada e dagli altri utenti.

Per quanto riguarda la distinzione tra i partecipanti, appartenenti a fasce d'età diverse, si è notato che la reazione dei guidatori più anziani risulta generalmente più lenta rispetto al gruppo dei più giovani.

Sulle differenze nei tempi di percezione e reazione tra i conducenti di età diverse e sull'influenza del carico cognitivo, è stato eseguito anche uno studio in Giappone nel 2008, da H. Makishita, K. Matsunaga: *Differences of drivers' reaction times according to age and mental workload*. I tempi di reazione sono stati misurati in 5 condizioni: seduti in un veicolo fermo, fare dei calcoli mentali in un veicolo fermo, guidare su una strada simulata, fare calcoli mentali mentre si guida su una strada simulata e guidare su una

strada pubblica. I calcoli mentali influenzavano molto i tempi di reazione dei più anziani.

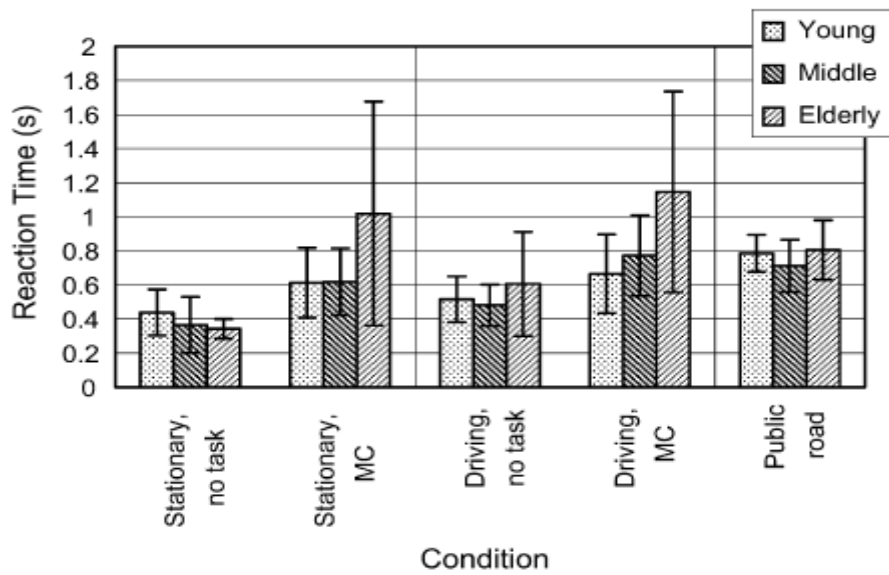


Figura 68. Deviazione standard dei tempi di reazione in ogni condizione, per ogni età.

Nota. H. Makishita, K. Matsunaga: *Differences of drivers' reaction times according to age and mental workload. Accident Analysis and Prevention 40 (2008) 567–575.*

Le differenza tra i tempi di reazioni medi del gruppo dei più anziani erano significative specialmente nella condizione 2 e 4. Il gruppo dei più giovani ha mostrato i tempi di reazione minori sotto le stesse condizioni. Sotto le altre condizioni, i tempi di reazioni medi differivano di poco tra i vari gruppi di età.

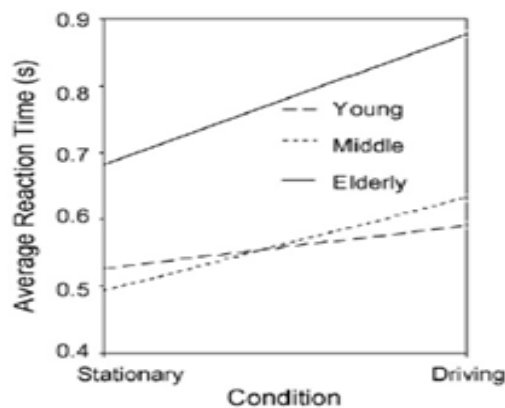


Figura 69. Tempi di reazione alla guida, differenziati per età.

Nota. H. Makishita, K. Matsunaga: *Differences of drivers' reaction times according to age and mental workload. Accident Analysis and Prevention 40 (2008) 567–575.*

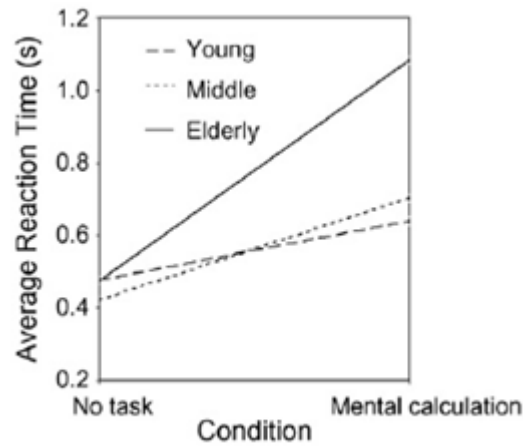


Figura 70. Tempi di reazione relativi al carico cognitivo, in base all'età.

Nota. H. Makishita, K. Matsunaga: *Differences of drivers' reaction times according to age and mental workload. Accident Analysis and Prevention 40 (2008) 567–575.*

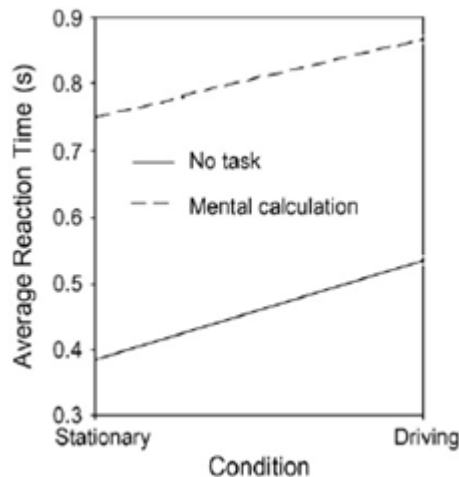


Figura 71. Tempi di reazione alla guida, con carico cognitivo.

Nota. H. Makishita, K. Matsunaga: *Differences of drivers' reaction times according to age and mental workload. Accident Analysis and Prevention 40 (2008) 567–575.*

Quanto più è difficoltoso il calcolo mentale da eseguire, tanto più aumenta la differenza tra i tempi a seconda dell'età.

La guida distratta, che include 'guardare da un'altra parte' (carico cognitivo fisico e visivo) e 'pensare a qualcosa' (carico cognitivo mentale), causa il 23% degli incidenti stradali e il 27% di incidenti stradali fatali (risultati in Giappone 2004, pubblicati su *National Police Agency, Japan, 2005*).

Sull'influenza negativa delle distrazioni alla guida, Marco Dozza ha pubblicato lo studio *What factors influence drivers' response time for evasive maneuvers in real traffic?* (2013), nel quale lo studioso afferma che le distrazioni contribuiscono per l'80% al verificarsi degli incidenti poiché ritardano o ostacolano la risposta del guidatore. Tuttavia, oltre alla distrazione, vi sono altri fattori che influenzano il tempo di reazione del guidatore. La conoscenza di tali fattori, potrebbe significativamente aiutare lo sviluppo di opportune contromisure.

Lo studio ha utilizzato 100 auto e 8 camion. La presenza di “*secondary tasks*”, quindi di ulteriori compiti oltre alla guida ha influenzato molto il tempo di reazione, ritardandolo. Anche il tipo di incidente e la manovra conseguente influenzano il tempo di reazione. In conclusione è emerso che i camionisti avevano dei tempi di reazione più veloci rispetto agli autisti.

Nell'articolo, si parla principalmente dei tempi di reazione nel caso di *near-crash situations*, “quasi incidenti”, nel traffico reale, ipotizzando che fattori, come distogliere lo sguardo dalla strada o altre distrazioni, li influenzassero. I dati nel traffico reale offrono anche l'opportunità di misurare il tempo di reazione del guidatore e anche come è affetto da fattori in relazione al guidatore, al veicolo e all'ambiente circostante.

	Factor	Categories analyzed	
Driver	Age	Younger: 18–20 Middle age: 21–50 Older: 51–68	
	Gender	Males Females	
	Distraction	Not distracted Distracted	
	Gaze	Eyes off the road Eyes on the road	
	Hands on the wheel	Both Only left Only right	
	Driver reaction	None Braking Braking and steering Steering	
	Vehicle	Vehicle type	Cars Trucks
Speed		Less than 25 mph 25–35 mph 35–45 mph More than 45 mph	
Environment		Weather	Clear Cloudy Raining
	Locality	Business/industrial Interstate Residential Open Country	
	Road surface	Dry Wet	
	Lighting	Darkness lighted Darkness not lighted Dawn Daylight Dusk	
	Traffic density	Flow with restrictions Stable flow Free flow Slow flow Slow flow with stoppage	
	Incident type	Lateral	
		Longitudinal	

Tabella 9. Fattori considerati nell'analisi.

Nota. Marco Dozza, 2013, *What factors influence drivers' response time for evasive maneuvers in real traffic?* *Accident Analysis and Prevention* 58, 299–308.

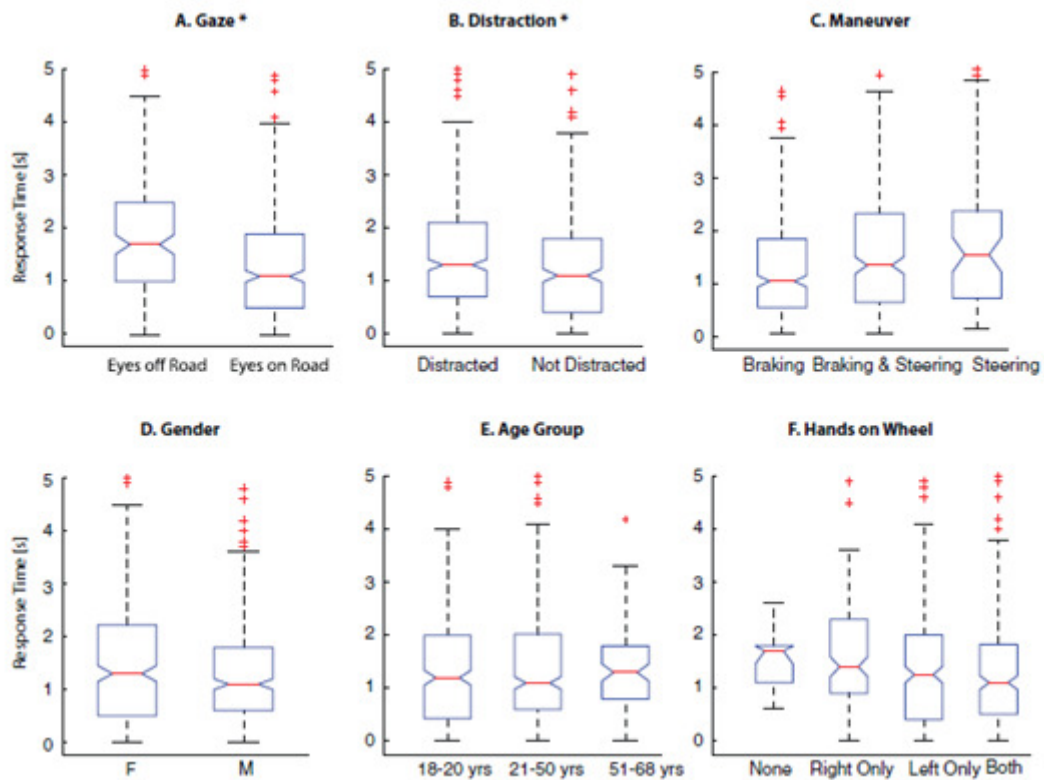


Figura 72. Risultati.

Nota. Marco Dozza, 2013, *What factors influence drivers' response time for evasive maneuvers in real traffic?* *Accident Analysis and Prevention* 58, 299– 308.

I guidatori hanno dimostrato avere dei tempi di reazione maggiore mentre non guardavano la strada (2.01 ± 1.15 s) rispetto a quando la stavano guardando (1.42 ± 1.07 s). In più, rispondevano molto più lentamente se erano distratti (1.55 ± 1.08 s) rispetto a quando erano attenti (1.30 ± 1.03) e così via per gli altri casi.

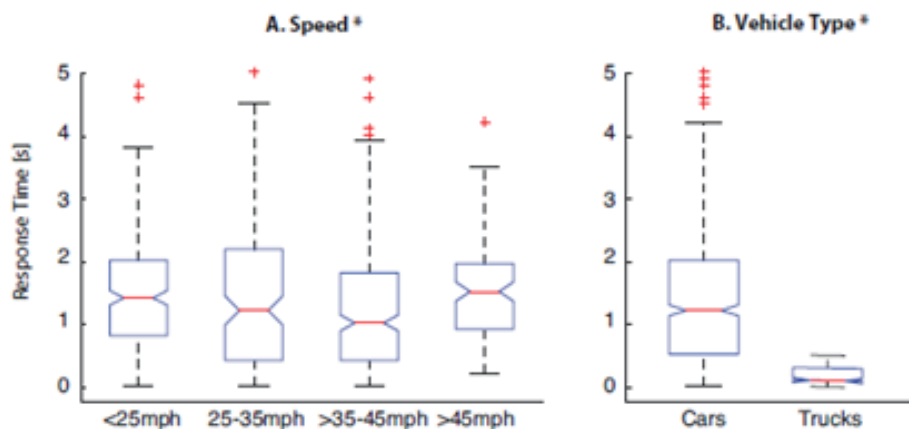


Figura 73. Risultati.

Nota. Marco Dozza, 2013, *What factors influence drivers' response time for evasive maneuvers in real traffic?* *Accident Analysis and Prevention* 58, 299– 308.

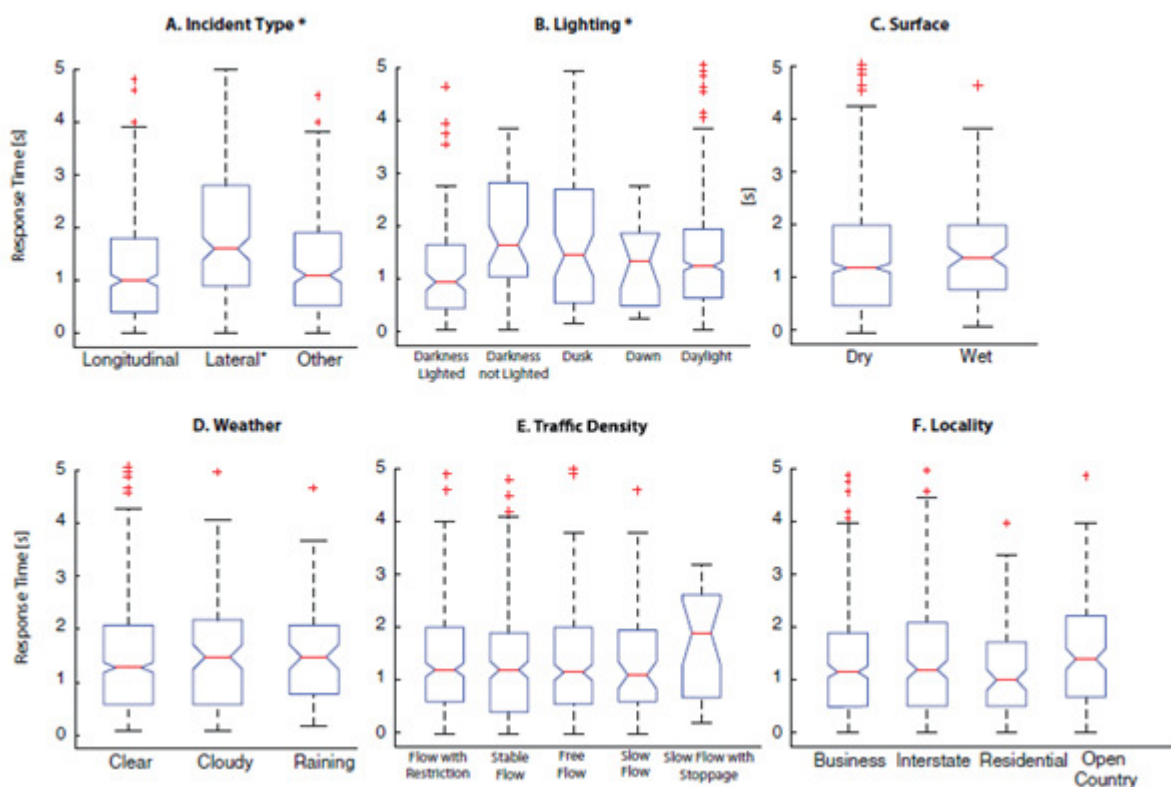


Figura 74. Risultati.

Nota. Marco Dozza, 2013, *What factors influence drivers' response time for evasive maneuvers in real traffic?* *Accident Analysis and Prevention* 58, 299– 308.

Il fatto di lavorare con dei dati naturalistici comporta delle conseguenze: raccolta di dati estremamente ampia, complessa poiché comprendono vari tipi di dati, ed esposta a molti fattori di disturbo. Quindi, l'analisi di tali dati

deve essere fatta da software che riescono a gestire tanti dati e combinare differenti tipi di dati e anche filtrare i fattori di disturbo in maniera 'comoda'.

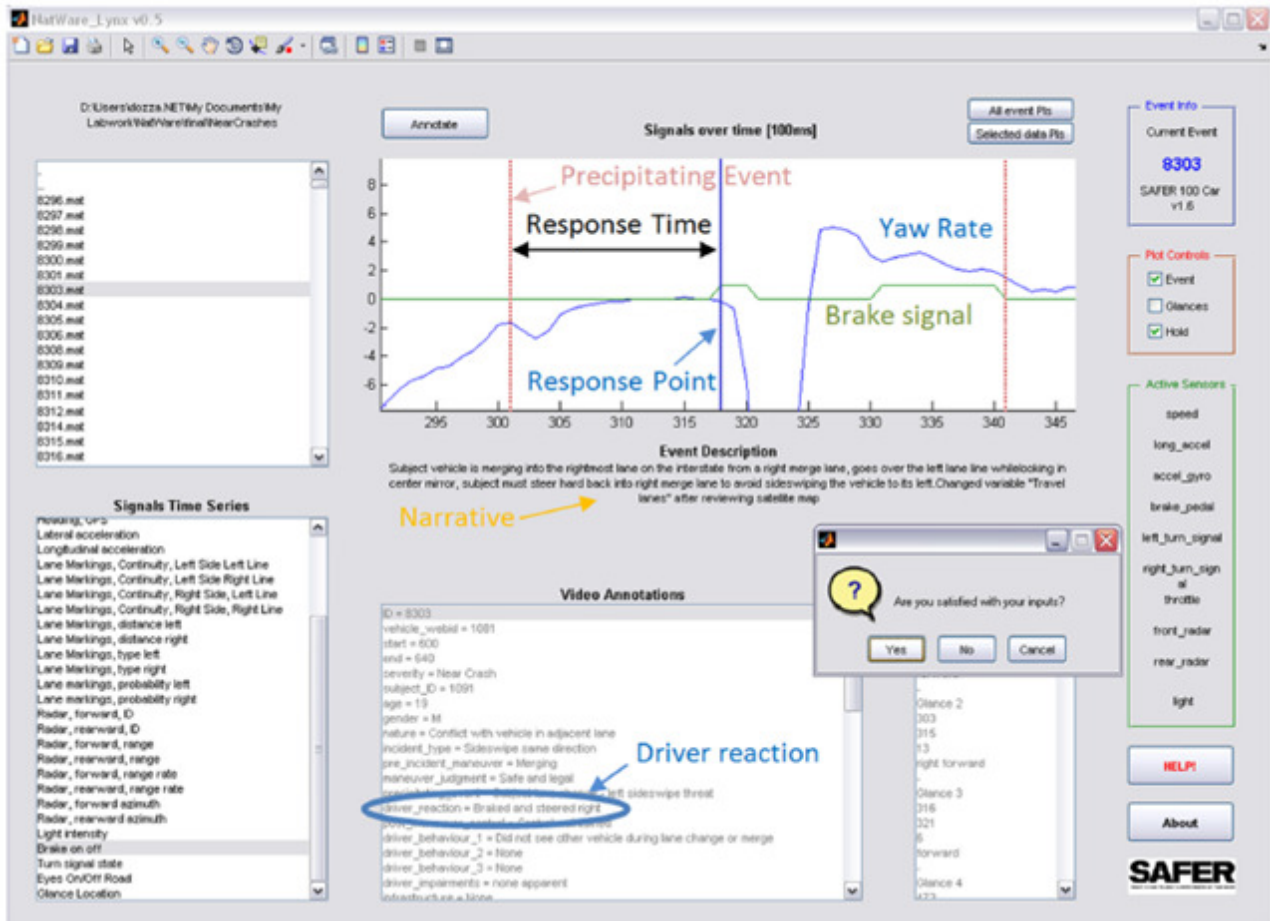


Figura 75. Software utilizzato.

Nota. Marco Dozza, 2013, *What factors influence drivers' response time for evasive maneuvers in real traffic?* *Accident Analysis and Prevention* 58, 299– 308.

LA STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

Come già introdotto nel capitolo uno, questa tesi si pone come una continuazione degli studi già effettuati riguardo l'avvistabilità di utenti deboli dall'interno di un autoveicolo; in particolare, ha come obiettivo estendere tali studi al caso dinamico, ovvero con mezzi in movimento, mediante sperimentazioni e prove su strada: si è cercato quindi di riprodurre delle scene di interazione fra automobilisti e utenti deboli in generale (quindi ciclisti e pedoni) che rispecchiassero quanto più possibile delle situazioni reali, in modo da poterne ricavare dei dati utili per questo campo. Le grandezze d'interesse sono state: spazio percorso, velocità di avanzamento, accelerazione longitudinale in funzione del tempo ed intervallo psicotecnico di percezione e reazione.

Per la rilevazione dell'intervallo psicotecnico, sono stati utilizzati degli strumenti presenti presso il DICAM (Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica, Ambientale e dei Materiali, scuola di ingegneria e architettura dell'università di Bologna): il V-Box ed il Mobile Eye Detector. Entrambi hanno la capacità di effettuare delle registrazioni audio e video, mediante apposite telecamere e microfoni, con delle risoluzioni adatte per gli scopi da raggiungere nella presente tesi; il loro utilizzo in sincrono realizzato con l'ausilio un cronometro posizionato in maniera tale che fosse visibile dalle telecamere di entrambi gli strumenti ha permesso di individuare i dati ricercati.

1.14 IL MOBILE EYE

Come riportato nella definizione, uno degli intervalli di tempo che compongono l'intervallo psicotecnico di azione e reazione è quello relativo alla percezione dell'ostacolo; tra gli istanti considerati in questo calcolo si include anche quello relativo (nel caso di uno stimolo visivo) allo spostamento dello sguardo del conducente verso l'ostacolo stesso: tale spostamento può essere rintracciato e riprodotto sullo schermo di un computer tramite il Mobile Eye Detector. Il processo di misurazione del movimento di un occhio rispetto alla testa o del punto fissato dall'occhio stesso viene chiamato oculometria o, in inglese, eye tracking.

1.14.1 CENNI STORICI SULL'EYE TRACKING

Già all'inizio dell'Ottocento si hanno i primi studi sui movimenti dell'occhio, i quali erano basati su osservazioni dirette; questi però non hanno portato a risultati rilevanti. Il problema su cui si sono concentrati i ricercatori negli anni è stato quello di trovare il metodo più adatto, quindi che desse i risultati più precisi, per il monitoraggio oculare, ovvero appunto l'eye tracking. Nel 1898 Edmund Huey costruì uno dei primi rudimentali eye tracker, il quale era costituito da una sorta di lente a contatto avente un foro in corrispondenza della pupilla e con un obiettivo collegato ad un puntatore in alluminio che si muoveva in risposta ai movimenti dell'occhio; uno strumento appunto rudimentale ma con il quale Huey fu in grado di dimostrare che, quando si legge una frase, non si osserva il contenuto parola per parola ma ci si sofferma solamente su quelle parole ritenute più rilevanti per il nostro cervello (Figura 76).

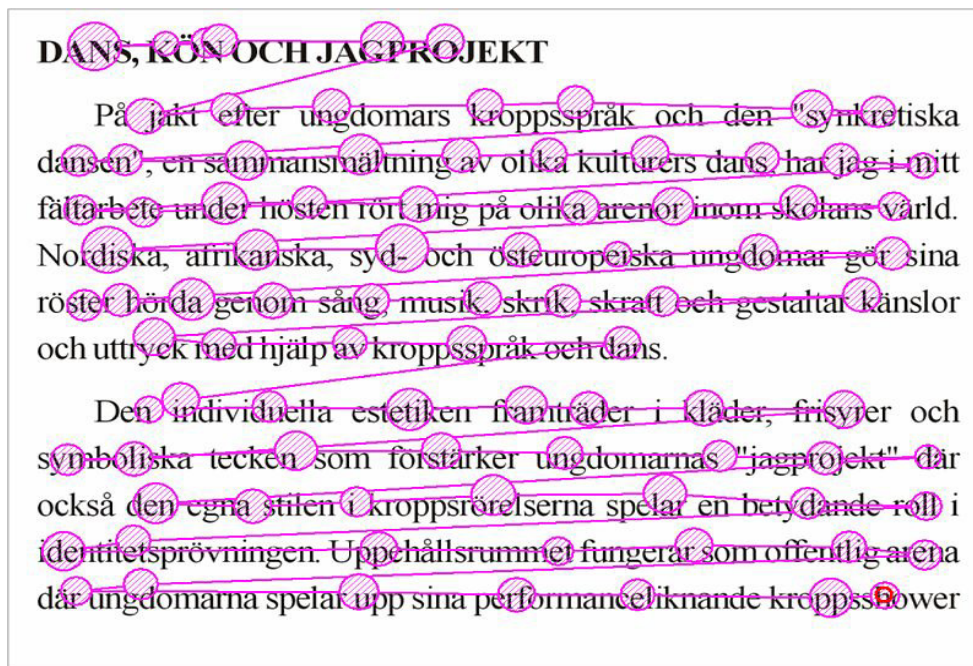


Figura 76. Un esempio di fissazioni e saccadi su un testo. Questo è il modello tipico di movimento degli occhi durante la lettura.

Note. https://en.wikipedia.org/wiki/Eye_tracking,

Si deve a George Buswell la costruzione del primo eye tracker di tipo non intrusivo, con fasci di luce che illuminavano l'occhio e il cui riflesso veniva registrato su di una pellicola: al movimento dell'occhio corrispondeva uno spostamento del tracciato impresso sulla pellicola stessa. Altre importanti ricerche sull'eye tracking sono state effettuate da Alfred L. Yarbus negli anni '50, ed il libro che ha pubblicato nel 1967 è una delle pubblicazioni sull'eye tracking più citate di sempre.

Egli è riuscito a dimostrare che il movimento degli occhi di un soggetto è fortemente influenzato dal compito assegnato al soggetto stesso: ad esempio, quando una persona guarda un quadro, la sua attenzione si focalizza su punti differenti a seconda di cosa gli viene chiesto sul quadro stesso; la Figura 77 illustra meglio il concetto.

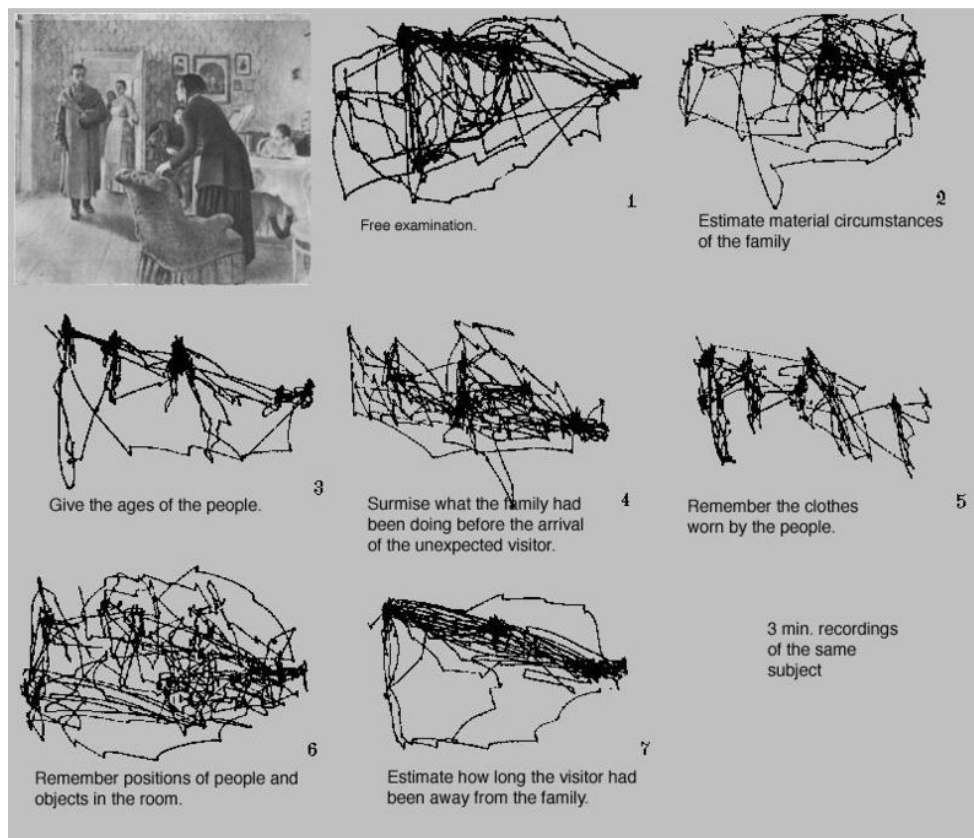


Figura 77. Studio di Yarbus che dimostra come il compito dato ad una persona influenza il movimento dei suoi occhi.

Note. https://en.wikipedia.org/wiki/Eye_tracking.

In generale, però

“L'attenzione dell'osservatore è spesso attratta da elementi che non danno informazioni importanti, ma che, a suo parere, può farlo. Spesso un osservatore si concentrerà la sua attenzione su elementi che sono insoliti nelle particolari circostanze, non familiare, incomprensibile, e così via.” (Yarbus, 1967, 191).

Gli studi sull'eye tracking si sono moltiplicati e a partire dagli anni '80 sono stati utilizzati anche per rispondere a domande relative all'interazione uomo – macchina.

Esistono diversi modi in cui gli eye tracker possono misurare i movimenti dell'occhio, i principali sono tre:

1. misurazione del movimento di un oggetto attaccato all'occhio, solitamente una speciale lente a contatto;

2. tracciamento ottico in assenza di contatto diretto con l'occhio;
3. misurazione di potenziali elettrici che usano degli elettrodi posizionato attorno agli occhi.

Il metodo utilizzato dal Mobile Eye presente al DICAM è il metodo 2, il tracciamento ottico (Oculometria, Eye Tracking, Wikipedia).

1.14.2 **STRUTTURA E CARATTERISTICHE DEL MOBILE EYE**

Lo strumento è caratterizzato da diversi componenti; quelli che spiccano alla vista sono una sorta di occhiali con due telecamere montate ed un display con unità di trasmissione di piccole dimensioni. Gli occhiali hanno dimensioni simili a quelle di un paio di occhiali di protezione e sono collegati agli altri componenti mediante un solo cavo, quindi i movimenti di chi li indossa non sono limitati e le prove effettuate non vengono condizionate dalla presenza dello strumento.

Nel dettaglio, l'attrezzatura è composta da:

- 1) La Mobile Eye XG Spectacle Mounted Unit (SMU), composta da due piccole telecamere montate su un paio di occhiali, una dedicata alla ripresa dell'occhio, la *eye camera*, e l'altra che registra l'ambiente come appare a chi indossa tali occhiali, la *scene camera* (Figura 78);



Figura 78. Mobile Eye XG SMU.

Note. www.asleyetracking.com.

- 2) La Display/Transmit Unit (DTU), ovvero il display menzionato precedentemente (Figura 79);



Figura 79. La DTU dello strumento utilizzato.

Note. www.asleyetracking.com.

- 3) Un apposito computer portatile, il Mobile Eye PC (ME PC) (Figura 80, insieme alla DTU);

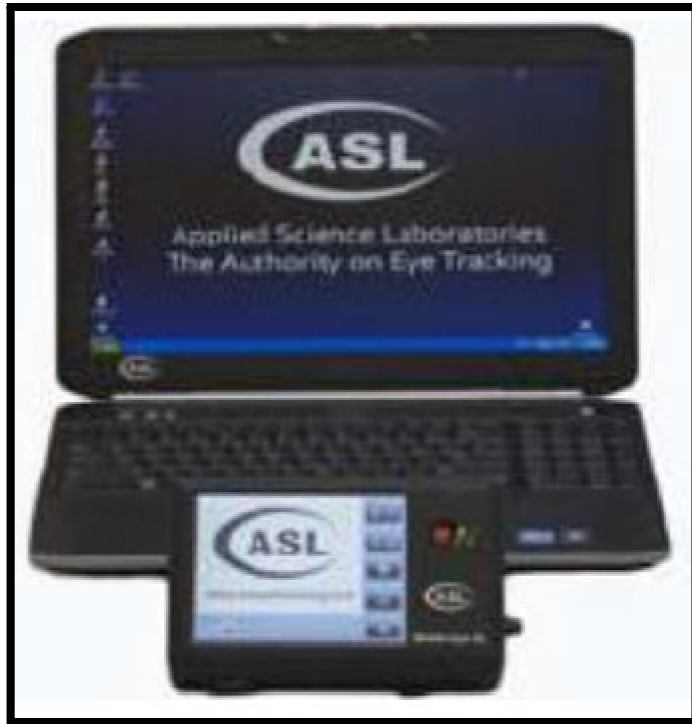


Figura 80. Il Mobile Eye PC e la DTU.

Note. www.asleyetracking.com.

- 4) Un cavo CAT 5, per poter collegare computer e DTU;
- 5) Un trasformatore di corrente per la DTU;
- 6) Batteria DTU con corrispondente caricabatteria;
- 7) Licenza software presente in una chiavetta USB il cui inserimento è necessario per poter utilizzare l'applicazione Eye Vision;
- 8) Una scheda di memoria SD Card per poter registrare i dati.

Il collegamento dei vari componenti è illustrato in Figura 81.

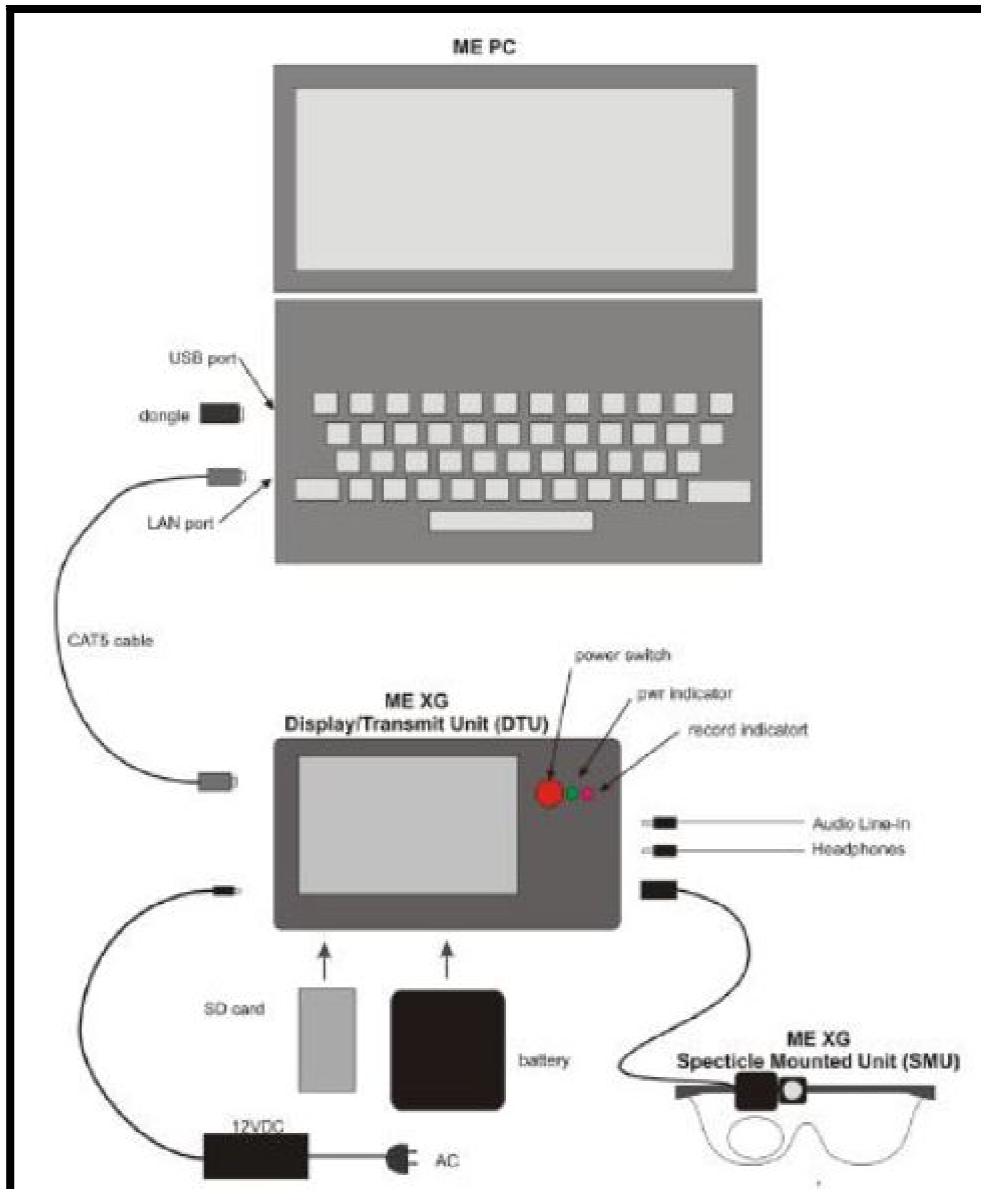


Figura 81. Collegamenti dei componenti del Mobile Eye XG.

Note. www.asleyetracking.com.

Come accennato, lo strumento utilizzato per rilevare la direzione dello sguardo, fa uso del metodo del tracciamento ottico: esso si basa sulla rilevazione, da parte di una telecamera o un altro apposito sensore ottico (Eye tracking, Wikipedia), della luce riflessa dall'occhio, tipicamente infrarossa; la telecamera in questione corrisponde alla eye camera del Mobile Eye; il riflesso della luce vi arriva mediante lo specchio caldo visibile in Figura 78 (la parte che sporge dall'occhiale). Tale specchio non è in grado di riflettere la luce visibile, quindi il campo visivo dell'utilizzatore non è modificato.

1.14.3 PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO

Il Mobile Eye, come la maggior parte degli eye tracker moderni, rileva il centro della pupilla mediante la riflessione dei raggi infrarossi o vicino-infrarossi da parte della cornea (Corneal Reflections, CRs).

Esistono due tipologie di eye tracking basate sulla luce non collimata infrarossa o vicino-infrarossa, e sono definite con i termini inglesi *bright-pupil* e *dark-pupil*; esse differiscono per la posizione della sorgente luminosa rispetto all'ottica:

- in caso di illuminazione coassiale al percorso ottico, l'occhio agisce da retro riflettore, come la luce riflessa dalla retina, creando un effetto di pupilla luminosa simile all'occhio rosso;
- in caso di sorgente luminosa deviata dal percorso ottico, allora la pupilla appare scura, dal momento che la retro riflessione è diretta dalla retina lontano dalla fotocamera.

La tipologia dark-pupil è quella utilizzata dal Mobile Eye Detector: nel dettaglio, tre luci con banda di frequenza vicina all'infrarosso (quindi non visibili dall'occhio umano) vengono proiettate, da dei LEDs posizionati sulla SMU, sull'occhio destro. La telecamera mostra la riflessione di tali luci da parte della cornea sottoforma di tre punti posizionati a distanza fissa tra loro (Figura 82).



Figura 82. Riflessione delle tre luci da parte della cornea sottoforma di tre punti equidistanti tra loro.

Note. www.asleytracking.com.

Per calcolare il punto in cui l'occhio sta guardando viene utilizzato il vettore tra il centro della pupilla ed una riflessione corneale all'interno del triangolo immaginario avente come vertici i punti mostrati. Tale tecnica è utilizzata in

molti eye tracker e può anche servire per calcolare la direzione dello sguardo, anziché il punto di osservazione. Mediante calibrazione, si può associare la posizione dello sguardo rilevata dalla eye camera con il punto osservato sulla scena registrata dalla scene camera.

1.14.4 UTILIZZO

Per poter utilizzare la strumentazione, occorre effettuare prima delle operazioni di collegamento dei vari strumenti, per garantirne il corretto funzionamento. Una volta inserita la batteria e la scheda SD nella DTU, viene connessa la Mobile Eye XG SMU alla DTU stessa mediante l'apposito cavo fisico, come mostrato in Figura 83.



Figura 83. Collegamento tra Mobile Eye XG SMU e DTU.

Note. http://www.instrumentsgroup.co.za/index_files/mobile_eye_XG.htm.

Mediante il cavo CAT5 si collegano invece DTU e computer portatile (una volta calibrato lo strumento, il computer può essere scollegato dalla DTU e rimosso, per ridurre l'ingombro della strumentazione).

Regolazione

Prima di procedere alla calibrazione, è necessario regolare l'occhiale, dal momento in cui i tre punti che compaiono sullo schermo, devono trovarsi all'interno della pupilla; per verificare ciò, si ricorre al display della DTU, per visualizzare l'immagine dell'occhio, mediante il pulsante Eye/Scene Display posto in alto a destra dello schermo (Figura 84) e alla lente monoculare presente sulla parte destra dell'occhiale (il display della DTU viene acceso tramite l'apposito pulsante rosso visibile in figura).



Figura 84. Visualizzazione delle immagini registrate dalle telecamere sulla DTU.

Note. www.asleyetracking.com.

I movimenti possibili della lente sono quelli rappresentati nelle Figure 85, 86 e 87 e permettono un posizionamento molto preciso dei tre punti. Una volta regolata la lente, comunque, è consigliabile far muovere l'occhio dell'utente (non la testa, solamente l'occhio) a destra e/o a sinistra, in modo da poter verificare se tali punti “seguono” la pupilla, ovvero se rimangono al suo interno. In caso contrario, si consiglia di regolare ulteriormente la lente, in modo da avere una calibrazione più precisa.



Figura 85. Possibili movimenti della lente.

Note. www.asleyetracking.com.

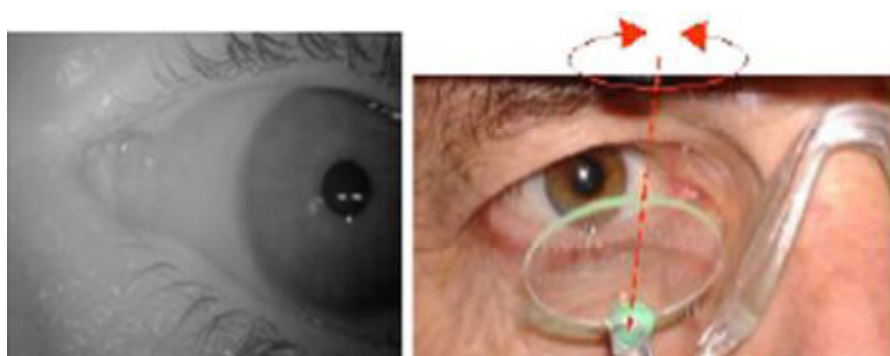


Figura 86. Possibili movimenti della lente.

Note. www.asleyetracking.com.

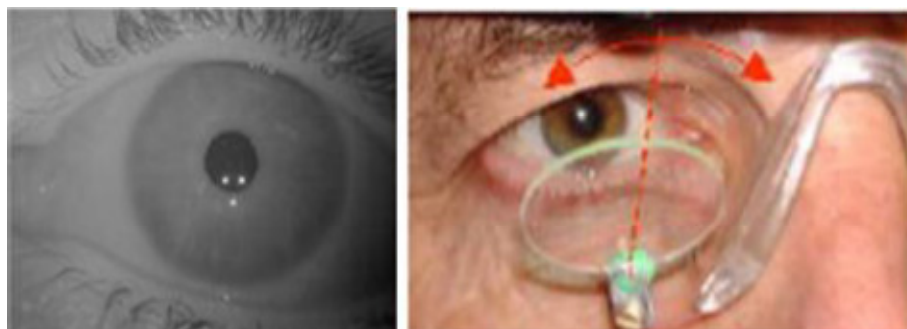


Figura 87. Possibili movimenti della lente.

Note. www.asleyetracking.com.

Una volta regolato l'occhiale, si può visualizzare sulla DTU, ancora con il tasto Eye/Scene camera, l'ambiente davanti all'utente e regolare l'inquadratura tramite quella telecamera (si può modificare la messa a fuoco e la direzione di inquadratura).

Calibrazione

Una volta effettuate le operazioni di regolazione, mediante l'utilizzo del software Eye Vision presente nel ME PC (con chiavetta USB provvista di licenza collegata) è possibile calibrare lo strumento, oltre a riconoscere pupilla e riflessi della cornea. La calibrazione può essere effettuata anche “a posteriori”, ovvero dopo aver registrato le prove che si intendono svolgere, facendo guardare ad inizio filmato all'utente dei punti specifici e rilevandoli dopo al computer, però il metodo utilizzato per le prove effettuate in questo lavoro è stato quello della calibrazione precedente alla registrazione.

La prima cosa da fare per poter calibrare lo strumento, quindi, è aprire il software Eye Vision il quale, se viene selezionato “Display” in alto a destra sotto la voce “Allignment”, mostrerà l'immagine dell'occhio dell'utente in tempo reale; la schermata è quella visualizzata in Figura 88.



Figura 88. Schermata iniziale per la calibrazione.

Note. www.asleyetracking.com.

A questo punto, si procede generando un nuovo profilo, cliccando sul tasto “Save As” che compare sotto l'immagine dell'occhio, vicino ai tasti “Load” e “Save”, e denominandolo come si preferisce, in modo che non venga confuso con le prove di altri utenti. Con il tasto “Save” invece si sovrascrive

il profilo salvato con quel nome, mentre con il tasto “Load” si può caricare un profilo già presente sulla sorgente.

Per proseguire la calibrazione, si seleziona “Display”, questa volta però quello sotto la voce “Spot” (l’area del triangolo immaginario avente i tre punti di riflessione corneale visibili in figura viene chiamata Spot Cluster e, per un corretto riconoscimento della posizione della pupilla, devono essere interni ad essa tutti e tre, o almeno due di essi) e successivamente si clicca sul pulsante “Auto Threshold and Calibrate”, con il quale viene eseguita la calibrazione automatica dei tre punti mostrati. L’immagine mostrata dopo questa operazione è simile a quella di Figura 89.

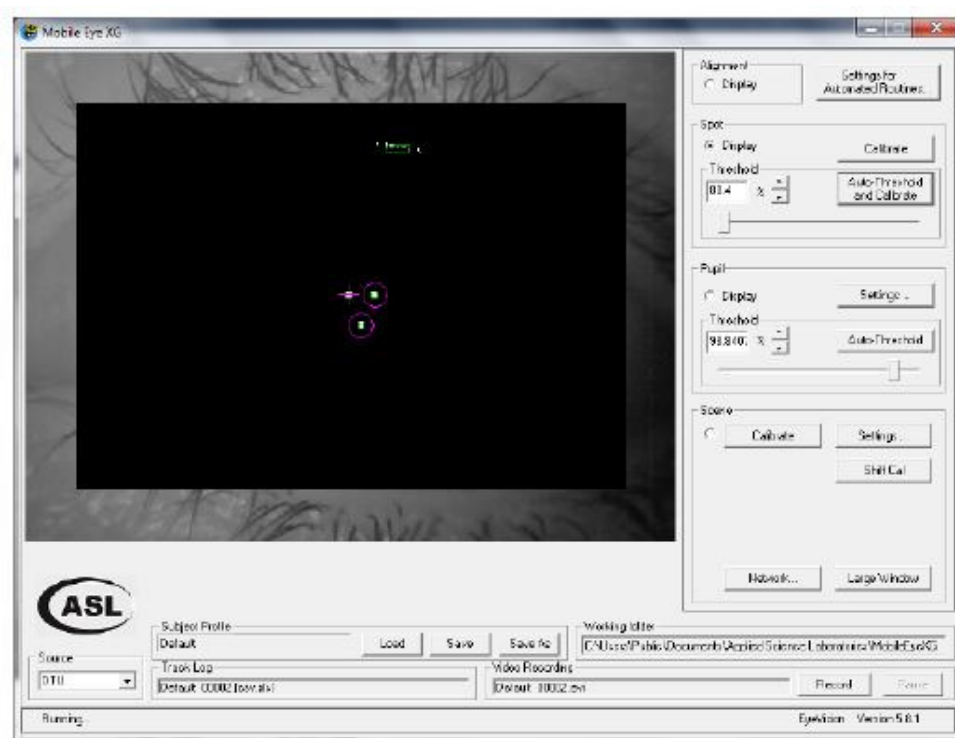


Figura 89. Immagine visualizzata per lo Spot.

Note. www.asleyetracking.com.

I tre punti visibili sono proprio i punti di riflessione corneale; uno di loro non è cerchiato in viola: esso rappresenta il “Primary spot”, o “Master”, ed deve essere quello che ha minori probabilità di oscurarsi, magari per un movimento dell’occhio che lo faccia cadere al di fuori della pupilla o per via delle ciglia che potrebbero coprirlo.

Importante controllare anche la percentuale risultante sotto la voce “Threshold”, a sinistra del pulsante “Auto Threshold and Calibrate”: tale

percentuale è bene sia quanto più possibile vicina all'intero, che corrisponderebbe ad una calibrazione più precisa.

Quanto fatto per i tre punti di riflessione corneale viene fatto per il riconoscimento della pupilla: si clicca su "Display" sotto la voce "Pupil" e successivamente su "Auto Threshold" per il riconoscimento in automatico, il quale procederà a definire la posizione della pupilla (Figura 90).

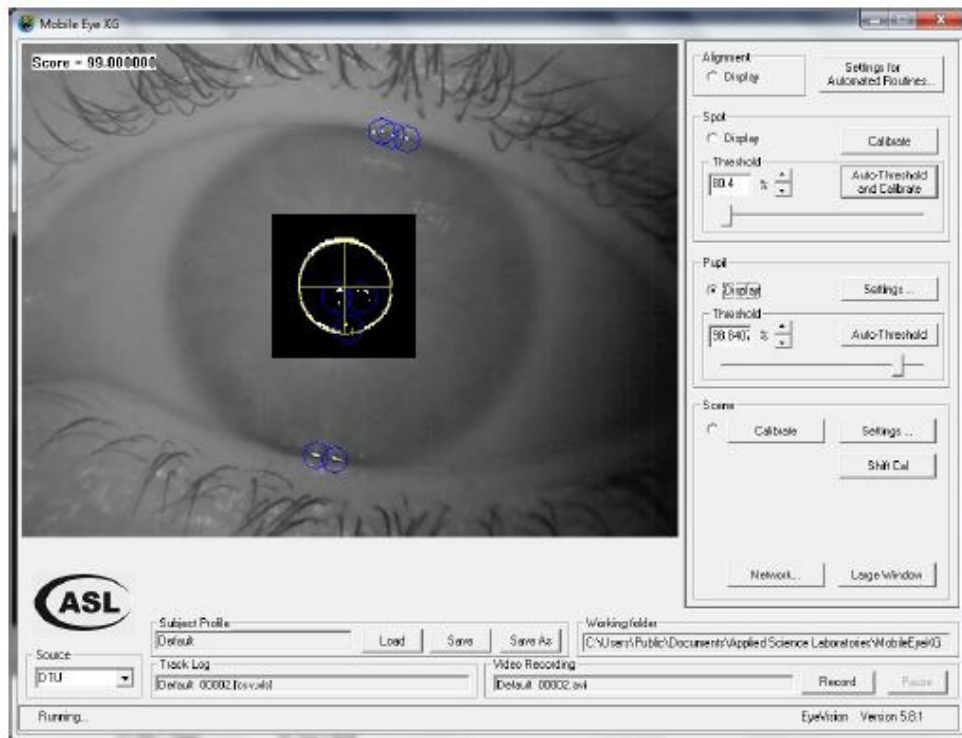


Figura 90. Immagine visualizzata per la voce "Pupil".

Note. www.asleyetracking.com.

La linea circolare bianca rappresenta il bordo della pupilla, mentre il cerchio giallo con una croce all'interno sta a significare che l'oggetto è stato riconosciuto come pupilla. Rispetto alle azioni precedenti, questa visualizza in alto a sinistra dell'immagine un punteggio che rappresenta l'affidabilità della posizione della pupilla; esiste un valore limite sotto il quale la posizione della pupilla per quel fotogramma non viene registrata.

Tutti i procedimenti svolti fino a qui in modo automatico tramite i pulsanti di Auto Threshold possono essere effettuati manualmente.

Una volta effettuate le operazioni riguardanti la eye camera, si passa alla scene camera: selezionando "Calibrate" sotto la voce "Scene" è possibile regolare lo strumento in modo che mostri sullo schermo un cursore

indicante la posizione dello sguardo dell'utente sulla scena, ovvero, in parole povere, cosa egli sta guardando; per fare ciò, una volta inquadrata la scena, si fanno guardare dei punti specifici a chi indossa l'occhiale e si clicca sul punto corrispondente nello schermo del computer; quando compare, in corrispondenza del punto cliccato, una crocetta verde, vuol dire che il punto è stato registrato. Per una calibrazione precisa, si possono far vedere all'utente diversi punti posti in posizioni diverse della scena, in modo da calibrarlo per l'intero campo, da sinistra a destra e da sopra a sotto; molto importante è che, come per le operazioni precedenti, l'utente sia già in posizione di guida e soprattutto non muova assolutamente la testa: per individuare i punti indicati dovrà muovere solamente gli occhi, altrimenti la calibrazione non avverrebbe correttamente. Una volta registrati un numero ritenuto sufficiente di punti, la calibrazione è stata effettuata, quindi si clicca su "Finish" e sullo schermo compare l'immagine registrata dalla scene camera con il cursore indicante la posizione dello sguardo precedentemente accennato. Si può fare una ulteriore verifica della calibrazione chiedendo all'utente di guardare dei punti specifici e controllare che il cursore li indichi sullo schermo (Figure 91 e 92); a questo punto, si può procedere con la registrazione.

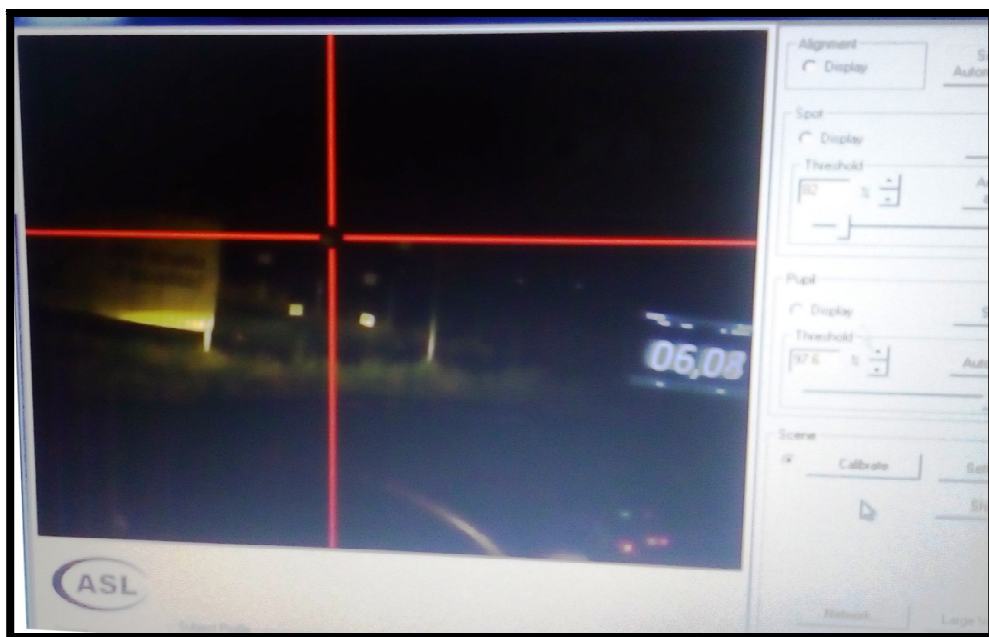


Figura 91. Verifica della calibrazione.

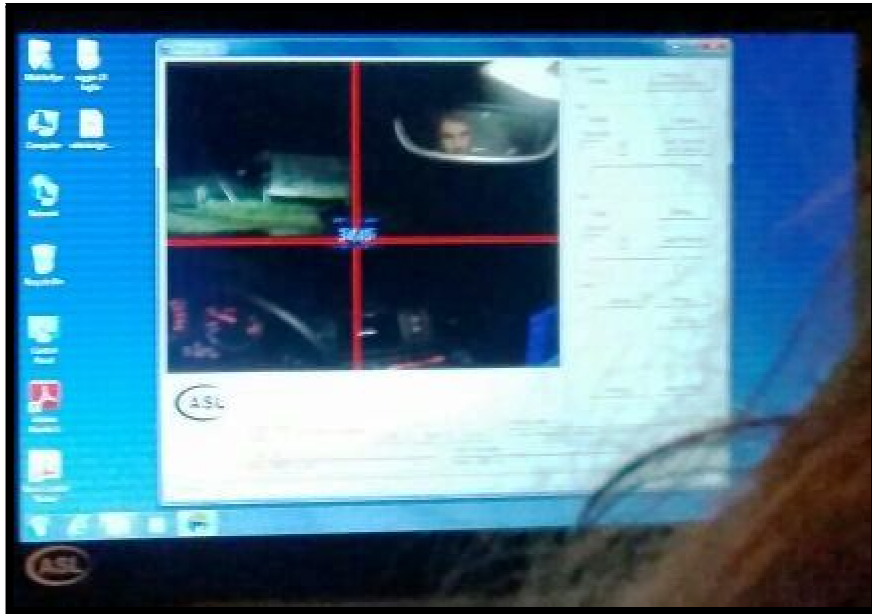


Figura 92. Verifica della calibrazione.

Registrazione

Per poter registrare, bisogna premere sul display touch della DTU il pallino rosso nella parte di schermo che definisce la modalità live o playback; durante la registrazione, tale pallino sarà sostituito dal pulsante “stop” (Figura 93).



Figura 93. Schermata di accensione della DTU.

Note. www.asleyetracking.com.

L'altro tasto della modalità Live/Playback serve per gestire file già registrati e salvati nella scheda SD inserita: le registrazioni video possono essere riprodotte a velocità normale, possono essere portate in avanti o indietro e possono essere eliminate dalla scheda stessa (Figura 94).

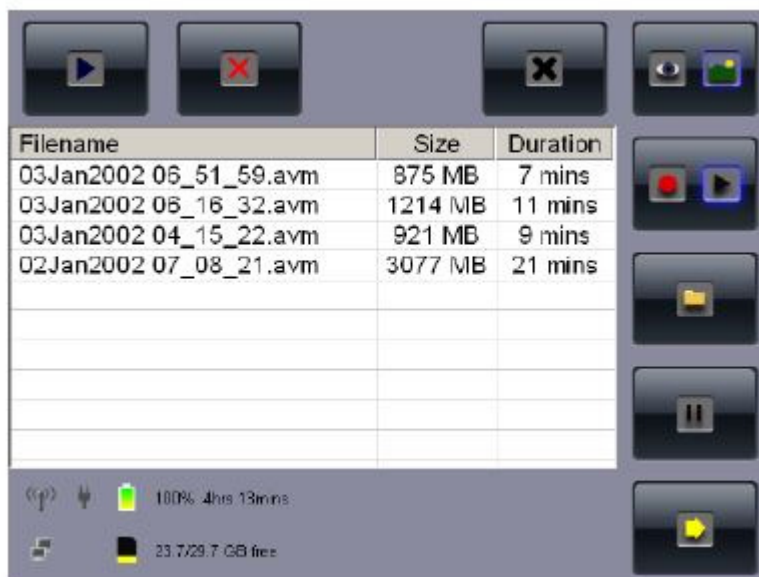


Figura 94. I file presenti nella SD Card e visualizzati sullo schermo della DTU.

Note. www.asleyetracking.com.

I file generati dal software Eye Vision durante la registrazione sono di quattro tipi: l'user file (.evi) è relativo ai dati di sistema e calibrazione per ciascun utente e può essere riutilizzato per prove successive svolte dallo stesso utente; i Logged data Files (.csv) raccolgono sia i dati sull'occhio che quelli sulla scena; gli Eye and Scene Video Data (.avm) sono i video relativi all'occhio e alla scena (separati tra loro); il video file (.avi) è l'elaborazione video finale effettuata dal software, in cui compare, sul video della scena, il cursore indicante la posizione dello sguardo dell'utente.

I file registrati possono essere quindi trasferiti sul computer mediante la SD card. Inoltre, con il programma ASL Results, i Logged data Files possono essere elaborati e, ad esempio, esportati in formato Excel.

Le caratteristiche del Mobile Eye XG (in breve, ME XG) relative al sistema, agli occhiali (la Mobile Eye XG SMU) e al registratore (la DTU) sono riassunte nelle Tabelle 10, 11 e 12.

SISTEMA ME XG	
Tecnica di eye tracking	Dark Pupil
Eye tracking	Monoculare, occhio destro
Velocità	30 Hz
Precisione	Da 0.5 ad 1 grado
Microfono	Sì
Firmware	Incorporato
Calibrazione	Automatica
Validazione calibrazione	Sì
Post calibrazione	Sì
Ottimizzazioni all'aperto	Sì
Mappatura automatica dei dati	Sì
Strumento di compensazione di parallasse	Sì
Sincronizzazione fonte esterna	Sì

Tabella 10. Caratteristiche generali del Sistema Mobile Eye XG.

REGISTRATORE	
Display	LCD 5.7 pollici
Controlli	Touch
Archiviazione	supporti SD, micro SD, scheda SD HC
Dimensione massima della scheda	32 GB
Dimensione massima del file di registrazione	Da 4 a 32 GB
Tempo massimo di registrazione	> di 3 ore
Batteria principale	Li-Ion ricaricabile Smart Battery
Durata della batteria principale	Fino a 4 ore
Range di temperatura di funzionamento	Tra 0°C e 45°C
Dimensioni (Lunghezza x Larghezza x Profondità)	192 x 118 x 50,8 mm
Peso	780 g
Connessione	802.11n o Gigabit Ethernet

Tabella 11. Caratteristiche registratore.

OCCHIALI ME XG	
Colore	Nero
Lente	Specchio a caldo
Monocolo regolabile	Sì
Obiettivo di scena regolabile	Sì
Montatura occhiali	Sì
Ottiche per bambini	Sì
Risoluzione del sensore	1600 x 1200
Angolo di registrazione della telecamera	60 gradi in orizzontale 40 gradi in verticale
Peso	78 g

Tabella 12. Caratteristiche occhiali Mobile Eye XG.

1.15 IL V-BOX

La strumentazione V-Box ha un range di utilizzo molto ampio, dovuto ai numerosi output che riesce a fornire, relativi a diverse grandezze. Il principale utilizzo, quello che cui è stato realizzata, riguarda gli sport motoristici ed è riferito al tracciamento di un percorso effettuato, ai tempi sul giro, alla velocità longitudinale, alle accelerazioni longitudinale e trasversale e allo spazio percorso, in funzione del tempo.

1.15.1 COMPONENTI E REGISTRAZIONE

Il rilevamento di tali dati avviene grazie al componente principale della strumentazione, il Video V-Box (ne esistono di diversi tipi, quello utilizzato per il presente lavoro è il Video V-Box Pro), caratterizzato da un GPS ad alta precisione e da due telecamere che registrano in sincrono (il modello utilizzato ne può collegare fino a quattro), oltre ad altre uscite per diversi periferiche come, ad esempio, il microfono per registrare l'audio (Figure 95 e 96).



Figura 95. Parte anteriore dello strumento V – Box.

Note. www.raceologic.co.uk.



Figura 96. Parte posteriore dello strumento V – Box.

Note. www.horsepowerfreaks.com.

Nel dettaglio, la strumentazione utilizzata era provvista di:

- 1) Video V-Box Pro, da posizionare all'interno dell'abitacolo;
- 2) Supporto GPS da collegare all'uscita "GPS" e da posizionare sul tetto dell'automobile (è una calamita, quindi si fissa facilmente);
- 3) Telecamere con supporto a ventosa per essere fissate sul tetto dell'automobile e con cavo da inserire nelle apposite uscite del Video V-Box Pro (Figura 97), indicate dalle scritte "CAM1" e "CAM2";



Figura 97. Montaggio telecamera e GPS su tettuccio della vettura.

- 4) Cavo di alimentazione, da collegare all'uscita "PWR" del Video V-Box Pro da un lato e all'accendisigari dell'automobile dall'altro;
- 5) Microfono, da collegare all'uscita "MIC";
- 6) Scheda SD Card per il salvataggio delle registrazioni, da inserire nell'apposita uscita nella parte anteriore del Video V-Box Pro.

Una volta collegati le varie periferiche, lo strumento si accende in automatico, alimentato dalla batteria dell'automobile tramite lo spinotto collegato all'accendisigari: sulla parte anteriore incominceranno ad accendersi delle luci in corrispondenza degli indicatori delle varie uscite posteriori; le luci relativi all'accensione (PWR) e alla scheda di memoria SD (MEMORY) sono di colore rosso, quelle relative alle telecamere (CAMERAS) e al GPS si accenderanno in rosso e diventeranno verdi una volta che lo strumento li avrà riconosciuti.

Per incominciare la registrazione non bisogna attivare alcun tipo di pulsanti, sarà sufficiente incominciare a guidare, dal momento che lo strumento incomincia a registrare in corrispondenza di una variazione della posizione, e ciò è visibile dalla luce blu sotto la scritta “REC” che si accende; stesso discorso per stoppare la registrazione: questa si interrompe non appena l’auto si ferma, con la luce blu che prima lampeggia e dopo si spegne.

1.15.2 ELABORAZIONE DEI DATI

Per elaborare i dati registrati dallo strumento è necessario innanzitutto trasferirli sul computer tramite la scheda SD; il Video V-Box Pro registra e salva i file con la denominazione “VBOX0001”, con i numeri che vanno progressivamente aumentando con il proseguire delle registrazioni. Vengono generati due tipi di file per registrazione:

- un file video (.avi), che mostra le riprese delle due telecamere in due grandezze diverse; quella collegata all’uscita “CAM1” è quella principale e viene mostrata a schermo intero, mentre quella collegata all’uscita “CAM2” viene mostrata in basso a sinistra sullo schermo; oltre alle riprese delle telecamere vengono mostrate, in basso a destra, la velocità espressa in miglia all’ora (mph), e la combo G delle accelerazioni longitudinale e trasversale, rappresentata dal pallino rosso all’interno di un bersaglio e dal valore espresso in multiplo dell’accelerazione di gravità (Figura 98); nel caso sia stato collegato pure il microfono, oltre alle riprese video è presente l’audio;



Figura 98. Immagini mostrate dalle telecamere dello strumento.

Note. L'immagine principale è quella registrata dalla telecamera connessa allo strumento tramite l'uscita "CAM 1", quella in basso a destra è relativa alla telecamera connessa mediante l'uscita "CAM 2".

- un file dati (.vbo) che può essere aperto solamente con un apposito programma.

Il programma utilizzato è "Circuit Tools 2" ed è scaricabile direttamente dal sito vboxmotorsport.com; in alternativa, può essere utilizzato "Performance Tools", presente sul disco di installazione dello strumento.

Quando si apre il programma, viene chiesto quale file aprire, oltre ad altre opzioni come il trasferimento dei file dalla scheda SD o una rapida guida del programma, con una schermata simile a quella di Figura 99.



Figura 99. Schermata iniziale visualizzata dal software "Circuit Tools 2".

In basso a sinistra vengono mostrati i file analizzati più recenti. Una volta scelto il file (tra quelli più recenti o dalla cartella “Open file”), vengono mostrate le varie informazioni sulla registrazione relativa a quel file (dal menu, è possibile scegliere quali mostrare e quali no, mentre manualmente è possibile variarne le dimensioni); in particolare (Figura 100):

- denominazione e durata del file video relativo a quel file dati (in alto a sinistra);
- rappresentazione grafica del video stesso (in alto al centro), sia a velocità normale che rallentata (fino ad otto volte la velocità normale) o velocizzata (anche questa fino ad otto volte);
- tabella con le varie grandezze misurate dallo strumento, con possibilità di selezionare quelle che interessano maggiormente (in basso a sinistra);
- grafico delle grandezze selezionate in funzione del tempo o dello spazio percorso (è possibile scegliere una delle due opzioni), in basso al centro, con un cursore verticale che compare sul punto selezionato nel grafico stesso o che si muove progressivamente con il procedere della

riproduzione video indicando, istante per istante, i valori delle varie grandezze selezionate;

- grafico relativo alle accelerazioni trasversale e longitudinale in funzione dell'accelerazione di gravità g (in alto a destra);
- tracciato del percorso effettuato (in basso a destra).



Figura 100. Schermata visualizzata dal software relativa al file aperto.

Dal menu in alto è possibile scegliere quale di queste informazioni si desidera visualizzare (si può scegliere di visualizzarne solamente una, ad esempio la riproduzione del video, o più di una).

Le grandezze misurate dallo strumento utili al lavoro svolto nella presente tesi sono state:

- spazio percorso (in m);
- tempo impiegato (in s);
- velocità di avanzamento del veicolo (in km/h);

- accelerazione longitudinale (in multipli di g).

Oltre a queste però ne sono presenti anche altre quali accelerazione trasversale, combo G delle accelerazioni, latitudine, longitudine, altezza, velocità verticale (Figura 101).

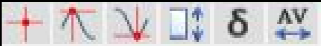
 Current		
Show	Channel (Current)	VBOX0033 Whole Session
<input checked="" type="checkbox"/>	Speed (km/h)	4.02
<input type="checkbox"/>	LatAcc (g)	-0.003
<input checked="" type="checkbox"/>	LongAcc (g)	+0.713
<input type="checkbox"/>	Combined G (g)	0.713
<input type="checkbox"/>	Delta-T (s)	0.00
<input type="checkbox"/>	Sats	5
<input type="checkbox"/>	UTC Time (s)	17:33:34.80
<input type="checkbox"/>	Latitude	44°29.241500 N
<input type="checkbox"/>	Longitude	11°19.814370 E
<input type="checkbox"/>	Heading (°)	102.31
<input type="checkbox"/>	Height (m)	113.53
<input type="checkbox"/>	Vertical vel (km/h)	0.32
<input checked="" type="checkbox"/>	Distance (m)	0.00
<input checked="" type="checkbox"/>	Elapsed time (s)	0.00
<input type="checkbox"/>	ComboG	0.041

Figura 101. Le grandezze calcolate dallo strumento.

Come si evince dalla Figura 101, il programma è in grado di segnalare, oltre ai valori delle grandezze relativi al punto del grafico considerato, i punti di massimo e minimo, il range di valori (quindi MAX – min), il delta ed il valore medio per ogni grandezza. Inoltre, se viene selezionata solamente una parte del grafico, tali valori vengono indicati per quella parte selezionata (Figure 102 e 103).

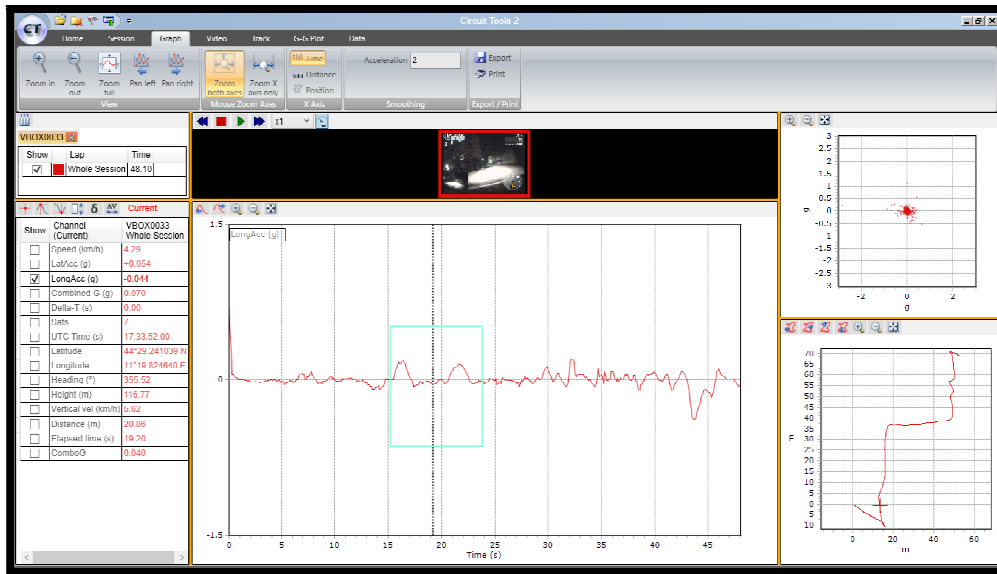


Figura 102. Selezione della parte di grafico interessata.

Note. La selezione è identificata dal quadrato in azzurro sul grafico.

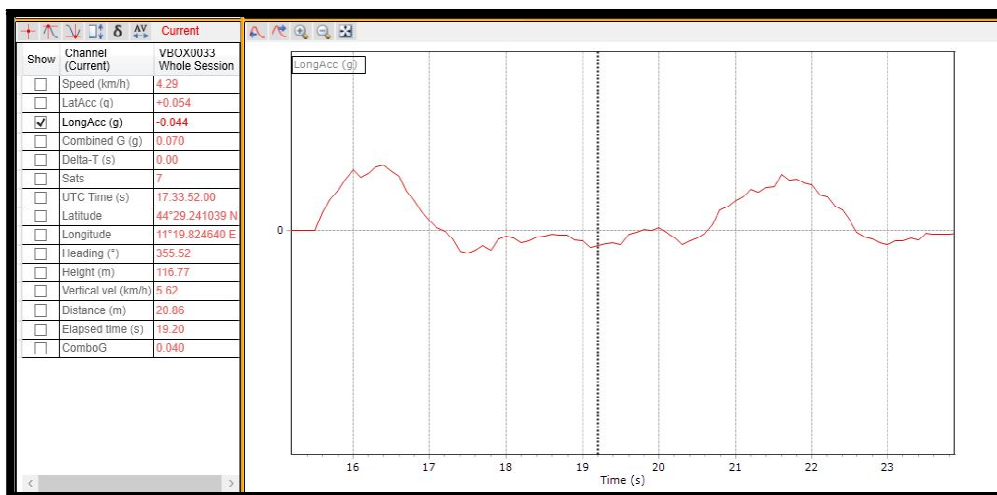


Figura 103. Parte di grafico precedentemente selezionata.

La strumentazione è quindi in grado di fornire dei dati relativi all'istante di tempo considerato con una discreta precisione; in Tabella 13 vengono elencate le specifiche del sistema GPS a 10 Hz per le grandezze interessate.

	Spazio percorso	Velocità	Accelerazione	Tempi al giro
Precisione	0,05 %	0,2 km/h	0,05 %	0,01 s
Risoluzione	0,01 m	0,01 km/h	0,01 g	0,01 s
Unità di misura	m o ft	Km/h o mph		s
Massimo		1600 km/h	4 g	
Minimo		0,1 km/h		
Update rate		10 Hz		
Latenza		<160 ms		

Tabella 13. Caratteristiche dello strumento V – Box.

REALIZZAZIONE DELLE PROVE

Le tipologie con cui si possono svolgere delle prove atte a determinare i valori numerici che diano indicazioni precise riguardo quello che è stato studiato si possono sostanzialmente raggruppare in tre macro – categorie:

- **studi teorici;**

- **analisi al simulatore;**

- **prove reali.**

Gli studi teorici si basano sul calcolo di ciò che si vuole misurare tramite formule matematiche (derivanti dalla teoria o da studi precedentemente svolti sullo stesso argomento) oppure su dei test effettuati in forma cartacea o via internet ai quali possono rispondere numerosi utenti; per tener conto dei diversi fattori che possono condizionare i risultati nella realtà, si fa uso di coefficienti correttivi ricavati tramite studi. Il vantaggio di queste prove è il numero di risultati ottenibili, data la numerosità del campione utilizzabile, e la facilità con cui possono essere reperiti i dati. Lo svantaggio è che, trattandosi di studi teorici, i risultati possono essere molto diversi dalla realtà, anche se si è fatto uso dei coefficienti correttivi.

Le analisi al simulatore prevedono l'utilizzo, da parte delle persone che partecipano alla prova, di un macchinario che simula determinate situazioni riguardanti l'oggetto dello studio. Ad esempio, nel caso in cui si volesse studiare l'interazione tra automobilista e pedone in strada dal punto di vista del guidatore, il macchinario simula una situazione di guida su strada e, in modo casuale o in un istante preciso definito da chi svolge lo studio, mostra un pedone che in un qualche modo scatuisce una reazione precisa all'automobilista (ad esempio, attraversa la strada in modo che il guidatore freni per evitarlo); la reazione degli utenti viene registrata dal macchinario che ne elabora i vari risultati. Rispetto agli studi teorici, i risultati sono più vicini alla realtà; per contro, diminuisce la numerosità del campione.

Le prove dal vero si basano su realizzazioni dal vivo delle situazioni oggetto dello studio, con strumenti che rilevano i dati di ogni prova. La difficoltà sia

della realizzazione delle prove che dell'elaborazione dei risultati è maggiore rispetto alle altre tipologie analizzate; inoltre, il campione di partecipanti diminuisce ulteriormente; però, i risultati ottenuti sono molto più realistici, dal momento che sono stati ricavati sul campo.

1.16 ANALISI DELLA FATTIBILITÀ DELLE PROVE E ATTREZZATURA

Lo scopo della prove è quello di simulare quanto più possibile una condizione di interazione tra un automobilista ed un utente debole in condizioni dinamiche in orario notturno e in assenza di illuminazione pubblica; questo è risultato essere, dalla bibliografia analizzata, il caso meno studiato e più critico quindi quello ritenuto di maggiore interesse. Quindi, fondamentale era verificare innanzitutto che le riprese video del Mobile Eye e del V-Box fossero adatte e fornissero la qualità necessaria per il lavoro da svolgere. In particolare, era sufficiente che entrambe le telecamere degli strumenti inquadrassero in modo chiaro il cronometro digitale, in quanto dalle riprese video sarebbe stato elaborato solamente il dato riguardante lo spostamento dell'occhio e questo, a prescindere dalla visibilità o meno dell'ostacolo sullo schermo.

Testata quindi la qualità delle riprese e analizzate le funzionalità degli strumenti sul campo mediante semplici test di guida, sono state definite le modalità delle prove effettive e l'attrezzatura necessaria per svolgerle in sicurezza.

La prova consiste nell'interazione tra i due utenti della strada l'utente debole e l'autovettura con quest'ultima che procede a una velocità di circa 50 km/h. Verranno testati diversi scenari, posizionando l'utente debole sulla stessa corsia di marcia dell'automobilista in vari punti della carreggiata e oltre alla prova di attraversamento.

A tale velocità, il rischio di una collisione è alto, pertanto, l'utente debole è stato sostituito con unmanichino antropomorfo. Inizialmente, si è pensato di costruire un manichino con tubolari flessibili, sistema successivamente sostituito adottando un manichino gonfiabile, generalmente usati per esposizione in alcuni negozi di abbigliamento.

1.17 REALIZZAZIONE DEI MANICHINI

I primi test di controllo della procedura di prova sono stati effettuati realizzando il manichino con una tuta ed una maglietta sorretti da tubi elastici in spugna incastrati su una base di cartone.



Figura 104. Manichino preliminare.

In seguito ai primi test di controllo della procedura si è notato come la tuta grigia aumentasse notevolmente la visibilità dell'ostacolo, pertanto al fine di riprodurre la condizione di maggior criticità la tuta grigia è stata sostituita da una tuta di colore scuro, meno visibile (Figura 105).



Figura 105. Manichino preliminare più resistente e abbigliamento meno visibile.

In seguito la struttura in tubi elastici è stata sostituita da un manichino gonfiabile antropomorfo, il manichino riproduce completamente il corpo umano comprensivo di braccia e testa a grandezza naturale. Poiché il manichino gonfiabile era di colore grigio rifrangente, le parti non coperte da abiti sono state rivestite con materiale nero. Il manichino così costituito raffigurava un utente in abbigliamento completamente scuro con cappello scuro o, ad ogni modo con la testa coperta dai capelli scuri. La base del manichino utile ad assicurarne la stabilità verticale è sempre ricoperta da materiale scuro (Figura 106).



Figura 106. Manichino definitivo.

Per effettuare lo spostamento del manichino, è stato utilizzato un filo nero in tirato manualmente da una operatore nascosto in un punto ben al di fuori della carreggiata, sia per non essere notato da chi effettuava le prova che per la sua sicurezza.

Inizialmente si è riprodotto l'utente debole aggiungendo al manichino rappresentante il corpo umano la sagoma di un velocipede, prendendo in esame un velocipede di colore nero e privo di catadiottri, tuttavia nei primi test di prova e organizzazione della procedura non sono emerse differenze di avvistabilità fra la sagoma del solo pedone e la sagoma del pedone+velocipede, per questioni di stabilità della struttura e facilità di

movimentazione, le prove sono state eseguite con la sagoma del solo pedone.

1.18 AREA DI PROVA

Per poter eseguire le prove in sicurezza si è individuata una strada fuori dal centro abitato di Bologna, priva di pubblica illuminazione e poco trafficata. Le prove sono state eseguite in una traversa di via Olmetola, un tratto di strada pubblico ma senza sbocco priva di traffico (Figura 107).



Figura 107. Il tracciato in cui si sono svolte le prove.

Ogni utente non effettuava un percorso caratterizzato da un circuito chiuso ma una serie di andate e ritorno della stessa strada.

1.18.1 MONTAGGIO, CALIBRAZIONE E SINCRONIZZAZIONE DEGLI STRUMENTI

Prima di ogni prova è necessaria una fase di calibrazione degli strumenti: ogni conducente test si sedeva in posizione di guida e assumeva la posizione a lui più comoda indossando gli occhiali del Mobile Eye. Gli occhiali Mobile Eye venivano collegati alla DTU e questa al computer in modo da poter incominciare la calibrazione: la macchina era posta in uno spazio libero adiacente la strada utilizzata per le prove, di fronte ad una rete sulla quale erano in precedenza stati aposti dei foglietti identificati da numeri da far intercettare al conducente con lo sguardo (Figura 108).



Figura 108. Scenario utilizzato per la calibrazione.

Oltre al Mobile Eye, veniva montato anche il V-Box: le ventose presenti sulle telecamere permettevano il fissaggio di una di queste sul tettuccio dell'automobile. Il cavo di collegamento della telecamera e del GPS, anch'esso montato sul tettuccio, veniva fatto transitare dal finestrino passeggero. La seconda telecamera del V-Box veniva posta all'interno dell'abitacolo inquadrando lo schermo di un cronometro digitale reso solidale al parabrezza dell'auto.

Il cronometro si era reso necessario per la sincronizzazione dei due strumenti: esso era posizionato in modo tale che potesse essere inquadrato

sia dalla scene camera del Mobile Eye che dalla telecamera del V-Box (Figura 109).



Figura 109. Utente che punta la telecamera verso il cronometro per inquadrarlo.

Per sincronizzare gli strumenti veniva riprodotto il video ripreso dalla scene camera del Mobile Eye frame by frame e stoppato alla posizione di interesse, visualizzato il tempo riportato dal cronometro si procedeva frame by frame con il video del V-Box fino a individuare il medesimo valore sul cronometro (Figura 110).

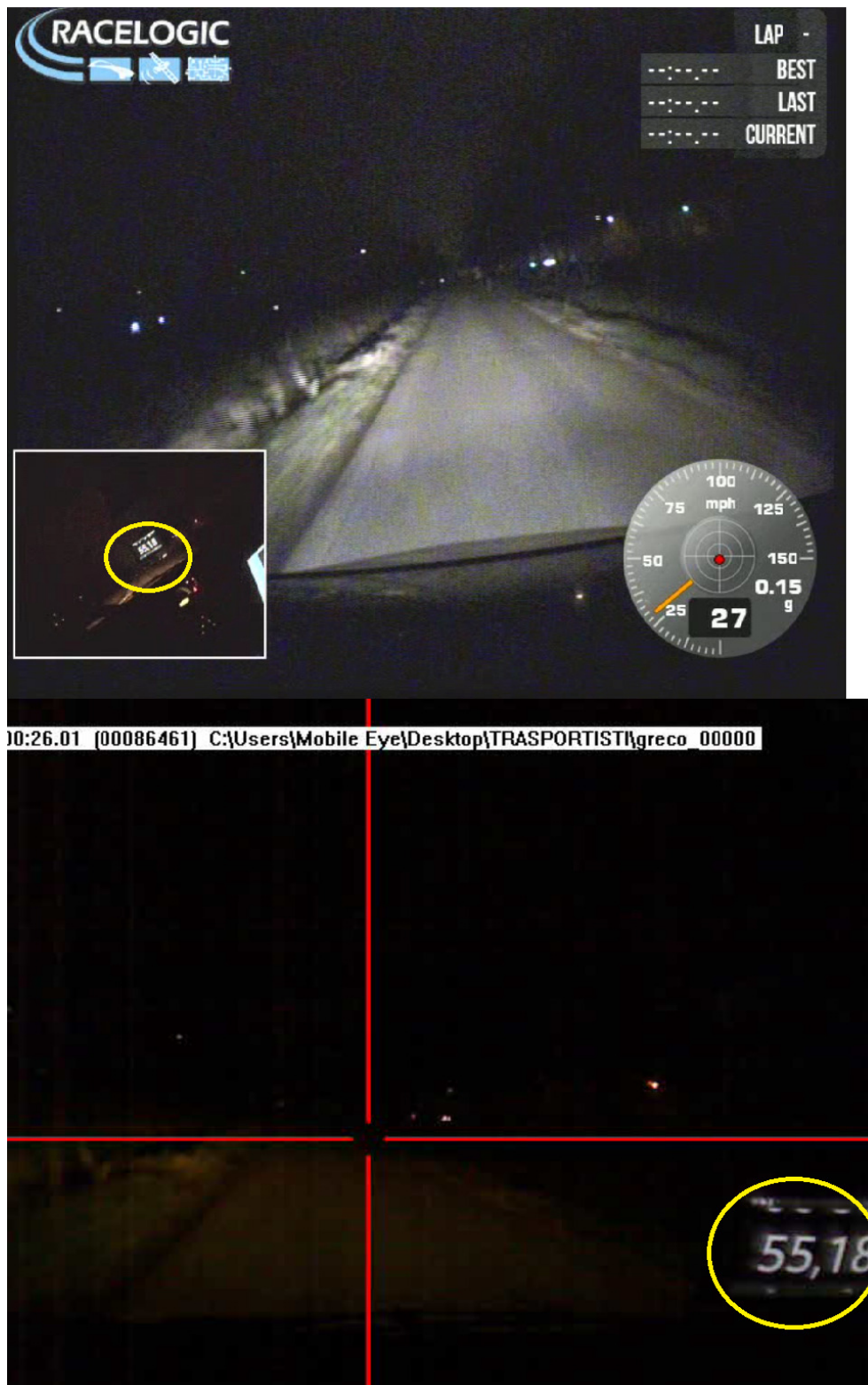


Figura 110. Si mostrano le immagini dei due strumenti che visualizzano lo stesso valore sul cronometro.

Per una ulteriore calibrazione, qualora il cronometro non fosse stato visualizzato correttamente da una delle due telecamere, all'utente veniva chiesto di fare, una volta messa in marcia l'automobile, un cambio di luci da abbaglianti ad anabbaglianti, in modo da poter catturare, tramite la riproduzione frame by frame, il fotogramma in cui la luminosità variava (dato di facile rilievo).

1.18.2 GUIDA DI PROVA

Sincronizzati gli strumenti, agli utenti veniva spiegato come si sarebbero effettuate le prove, ovvero con una guida a velocità costante a 50 km/h da raggiungere rapidamente, dato il tratto di strada limitato; quindi, il conducente incominciava il suo test con una guida preliminare in cui non veniva posizionato alcun ostacolo: questa serviva, oltre a far abituare il partecipante alla guida a velocità costante, ad estraniarlo da qualsiasi aspettativa di trovare ostacoli in carreggiata, in modo da simulare quanto più possibile una scena reale di guida.

Oltre alla semplice guida, ad ogni partecipante veniva chiesto di simulare una frenata a fondo senza deviare la propria traiettoria.

1.18.3 POSIZIONAMENTO DEL MANICHINO E AZIONI DA COMPIERE

Dopo le guide di prova, i partecipanti venivano portati al di fuori del campo di prova, per permettere a chi si trovava sul campo di posizionare il manichino sulla carreggiata; esso veniva posizionato in diversi punti nel corso dei test: sulla destra della corsia, al centro e successivamente a sinistra della corsia dunque in posizione equivalente al centro carreggiata in caso di strada a 2 corsie, infine era prevista una prova con il manichino in attraversamento da destra a sinistra della carreggiata. Tra un posizionamento e l'altro del manichino venivano effettuate altre guide senza l'ostacolo, in modo da diminuire l'aspettativa dei partecipanti.

La posizione del manichino era tale che i partecipanti dovevano compiere obbligatoriamente una frenata per evitarlo, dal momento che non potevano deviare la propria traiettoria, complice anche la larghezza limitata della carreggiata.

Oltre al guidatore, in macchina erano presenti due operatori, di cui uno controllava gestiva la calibrazione e il funzionamento del Mobile Eye, l'altro aveva il compito di gestire il V-Box e di comunicare con il terzo operatore sul campo per il posizionamento del manichino tramite SMS. A prova effettuata, veniva comunicato ancora tramite SMS se il manichino doveva essere riposizionato sullo stesso punto, in caso di prova da ripetere o in un punto differente della carreggiata.

1.18.4 TEST DI AVVISTABILITÀ STATICA

Completati i vari test dinamici con l'ostacolo posto nelle varie direzioni, veniva effettuata una prova di avvistabilità statica, ovvero a macchina ferma: ogni partecipante doveva comunicare se vedeva l'ostacolo o meno ad una certa distanza; nel caso di risposta affermativa, il manichino veniva allontanato ulteriormente dalla vettura, veniva riformulata la domanda.

Il test proseguiva in questo modo fino a quando l'utente affermava di non individuare più il manichino; nel caso invece di risposta negativa, l'ostacolo veniva avvicinato alla vettura fino a quando non entrava nel campo visivo.

In questo modo si è potuta stabilire la distanza di visibilità per ognuno degli utenti a bordo della propria autovettura.

1.19 I PARTECIPANTI

I partecipanti alla prova sono stati dieci, di cui sette uomini e tre donne, con età compresa fra i 24 ed i 79 anni; ognuno di loro aveva conseguito la patente da almeno cinque anni e guidava regolarmente l'auto, pertanto possono essere catalogati come guidatori esperti. Per rendere maggiormente verosimili le prove ognuno degli utenti test ha guidato il proprio autoveicolo. La Tabella 14 riassume le peculiarità di ognuno dei partecipanti.

	Driver 1	Driver 2	Driver 3	Driver 4	Driver 5	Driver 6	Driver 7	Driver 8	Driver 9	Driver 10
Driver's age	24	31	45	80	28	41	48	52	64	64
Gender	Male	Male	Male	Male	Female	Female	Male	Male	Male	Female
Car	Toyota Yaris	Toyota Aygo	BMW Serie 1	Mercedes CLK	Ford Fiesta	Lancia Y	Renault Megane	Alfa Romeo 156	Land Rover Freelander	Toyota RAV 4
Headlights	Low beams Halogen	Low beams Halogen	Low beams Halogen	Low beams Xenon	Low beams Halogen	Low beams Halogen	Low beams Halogen	Low beams Halogen	Low beams Xenon	Low beams Halogen
Declared static visibility distance L_0	35 m	33 m	33 m	25 m	26 m	55 m	27 m	32 m	33 m	32 m
ABS	Si	Si	Si	Si	Si	Si	si	si	si	si
Tyre tread	60%	40%	50%	50%	35 %	60 %	80%	50%	40%	70%
Driving licence category	B	B+A	B+A	B	B	B	B	B	B	B
Driving licence obtained in	2010	2003	1989	1955	2005	1992	1996	1993	1970	1970
Accidents since 2010	None	None	None	None	None	None	None	None	None	None

Tabella 14. Caratteristiche dei partecipanti.

Le macchine utilizzate per la prova sono state, in ordine di utilizzo:

1. Toyota Yaris
2. Toyota Aygo
3. BMW serie 1, 120 d
4. Mercedes CLK
5. Ford Fiesta
6. Lancia Y 1200
7. Renault Megane
8. Alfa Romeo 156
9. Land Rover Freelander
10. Toyota RAV 4

ANALISI DEI DATI SPERIMENTALI

Sono state effettuate in totale cinque sessioni di prova, con due utenti test per ogni sessione; ognuno di loro ha effettuato i test con i diversi posizionamenti dell'ostacolo, incluso l'attraversamento. Le prove sono state svolte nell'anno 2016.

I dati dei due strumenti, in particolare del Mobile Eye, non erano disponibili in tempo reale, quindi l'effettiva calibrazione corretta durante le riprese poteva essere testata solamente a posteriori, questo ci ha costretti a dover invalidare alcune prove.

Il numero di prove effettuate correttamente e validate è tale da poter dare dei risultati attendibili e utili come spunto per sperimentazioni future.

1.20 ELABORAZIONE DEI DATI

Una volta recuperati dai due strumenti i file relativi alle varie prove effettuate, si è proceduto con la fase di elaborazione al PC.

1.20.1 VERIFICA DELLA FUNZIONALITÀ DELLE RIPRESE

Inizialmente, sono state controllate le riprese video per testare la qualità delle immagini e l'effettiva calibrazione del Mobile Eye durante le registrazioni; quindi, è stata effettuata già in questa fase una selezione dei file, con l'eliminazione di quelle prove in cui il cursore indicante i movimenti dell'occhio non era presente o indicava costantemente un punto fisso, non coincidente quindi con quello che realmente osservava l'utente (ad esempio, il cursore indicava continuamente un punto sull'estremità superiore dello schermo, oppure mostrava solamente l'asse verticale, segno che la calibrazione non era avvenuta o era stata modificata a seguito di azioni involontarie come magari lo spostamento dell'occhiale o della lente di rifrazione) (Figure 111 e 112).



Figura 111. Esempio di calibrazione non corretta.

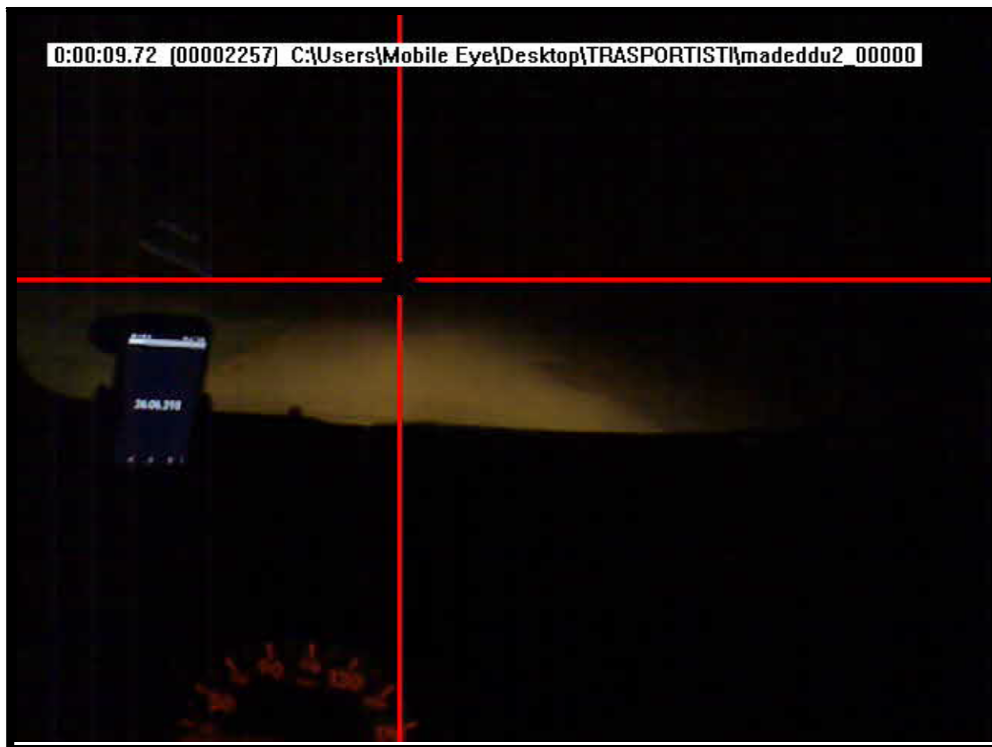


Figura 112. Esempio di calibrazione corretta.

1.20.2 RILEVAMENTO E SINCRONIZZAZIONE DEI VIDEO

Controllate le riprese video del Mobile Eye e scartate quelle in cui la calibrazione non era corretta, il passo seguente è stato trovare, per ogni prova registrata e non scartata, la ripresa video effettuata dal V – BOX corrispondente a quella determinata prova, mentre le riprese del Mobile Eye vengono fatte incominciare manualmente, il Video V–BOXregistra in automatico quando l’automobile è in movimento, quindi i file video erano diversi e in numero maggiore rispetto a quelli Mobile Eye che veniva fatto partire solo quando gli operatori sapevano che ci sarebbe stato l’ostacolo in strada, per fare ciò ci si è affidati, oltre alle immagini, anche all’audio, dal momento che veniva registrato per entrambi, in questo modo è stato possibile risalire, senza possibilità di errore, ai video riguardanti ciascuna prova.

La parte determinante dell’analisi delle prove è stato il ricorso al cronometro per individuare il medesimo istante in entrambi i video relativi alla stessa prova. Sia il Mobile Eye che il V – BOX sono dotati di cronometro proprio, il quale dava dei riferimenti sul tempo trascorso dall’inizio del video e su determinate grandezze in ogni frame; però era improbabile, se non impossibile, far partire i due strumenti esattamente allo stesso istante: il V – BOX partiva in automatico, quindi il Mobile Eye sarebbe dovuto partire nel momento in cui si accendeva la luce blu del V–BOX indicante l’inizio della registrazione, cosa impossibile, tenuto conto del tempo di reazione dell’operatore; quindi, per individuare lo stesso istante, si è fatto ricorso a un cronometro digitale come già esplicitato nel capitolo precedente. Sono stati utilizzati anche i cronometri incorporati nella strumentazione, utili per diverse funzioni; tra queste, la facilità di individuazione di determinati punti in quelle riprese in cui i numeri visualizzati dallo smartphone/cronometro non erano ben leggibili dalle telecamere: all’inizio di ogni prova, ai partecipanti veniva chiesto di fare un cambio di fari, da abbaglianti ad anabbaglianti; questo permetteva di “catturare” un istante univoco nelle due riprese; una volta trovati i due frame (uno per strumento), si procedeva nel seguente modo:

- tenendo conto del tempo visualizzato in alto a sinistra nel video registrato dal Mobile Eye e di quello segnalato nel V–BOX in basso a

destra della schermata del software Circuit Tools 2 (figure 113 e 114);



Figura 113. Tempo visualizzato dalla registrazione effettuata con il Mobile Eye.

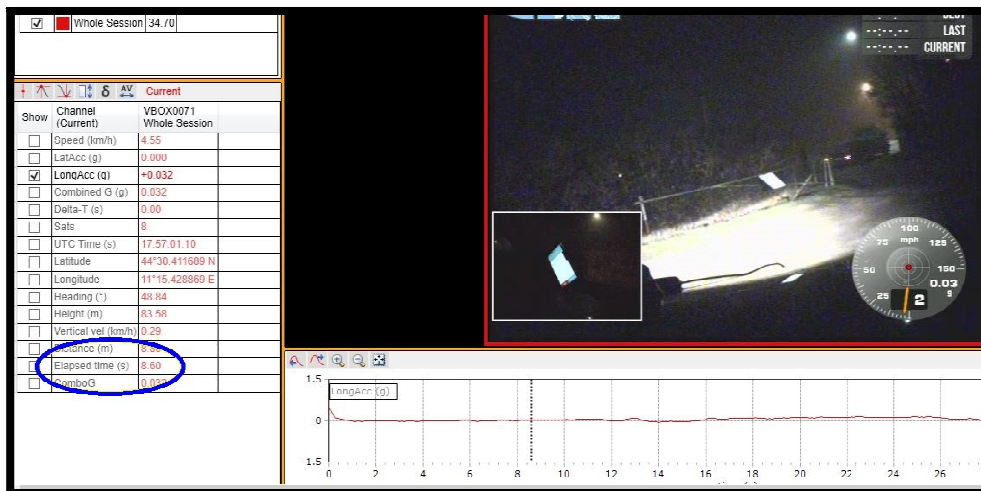


Figura 114. Tempo visualizzato dal software "Circuit Tools 2" relativo alla registrazione effettuata dalle telecamere del V – Box.

- si individuava l'istante di interesse, per quella prova, nel Mobile Eye e si riportava il tempo visualizzato ancora in alto a sinistra (Figura 115);



Figura 115. Tempo relativo all'istante di interesse trovato dal Mobile Eye.

- si calcolava l'intervallo di tempo trascorso tra i due frame del Mobile Eye considerati; per il caso mostrato nelle Figure precedenti, il valore corrispondente è:

$$\Delta t = 31,5 - 11,96 = 19,44 \text{ s}$$

- si sommava il valore trovato al tempo corrispondente del V – Box prima menzionato (in questo caso, 8,6 s) per individuare nelle riprese di questo strumento lo stesso istante di interesse individuato per il Mobile Eye; per il caso in questione, quindi, tale istante sarà per (Figura 116):

$$t = 8,6 + 19,44 = 28,14 \text{ s}$$

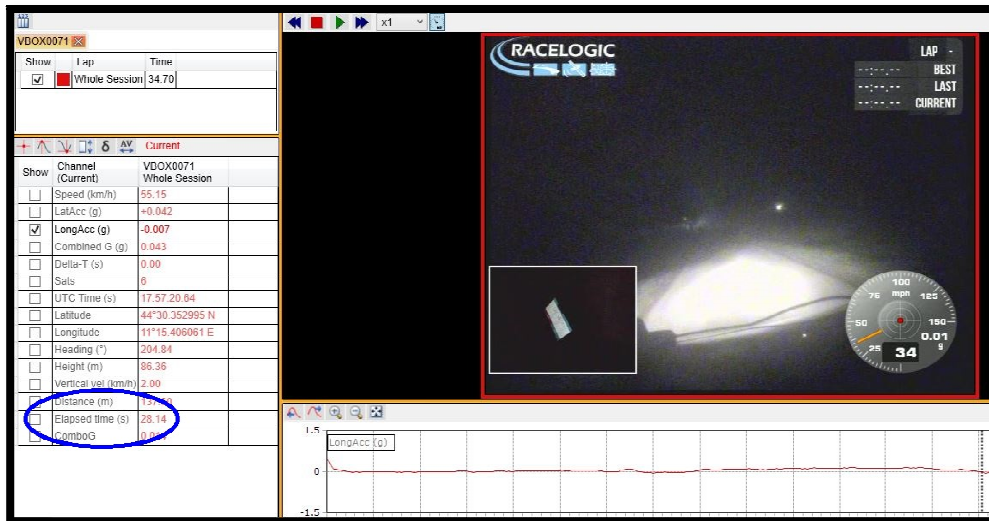


Figura 116. Istante relativo al frame individuato in precedenza nella ripresa del Mobile Eye.

- si proseguiva con l'elaborazione dei dati.

1.20.3 DETERMINAZIONE DELLA DISTANZA DI AVVISTAMENTO

L'istante d'interesse era, per ogni prova, quello relativo allo spostamento dell'occhio dell'utente verso l'ostacolo, ovvero il momento in cui il conducente percepiva la presenza dell'ostacolo e vi volgeva lo sguardo per fissarlo; la determinazione di questo punto è di notevole importanza, dal momento che definisce l'inizio dell'avvistabilità dinamica dell'ostacolo in condizioni critiche.

Poiché il Mobile Eye registra con una frequenza di 30 Hz, la precisione di rilevazione del dato in questione è pari ad un trentesimo di secondo.

Il valore della distanza di avvistamento, nel dettaglio, è stato calcolato seguendo determinati passaggi:

- individuazione, tramite il Mobile Eye XG, dell'istante in cui l'utente volgeva lo sguardo verso l'ostacolo (Figure 117, 118 e 119);

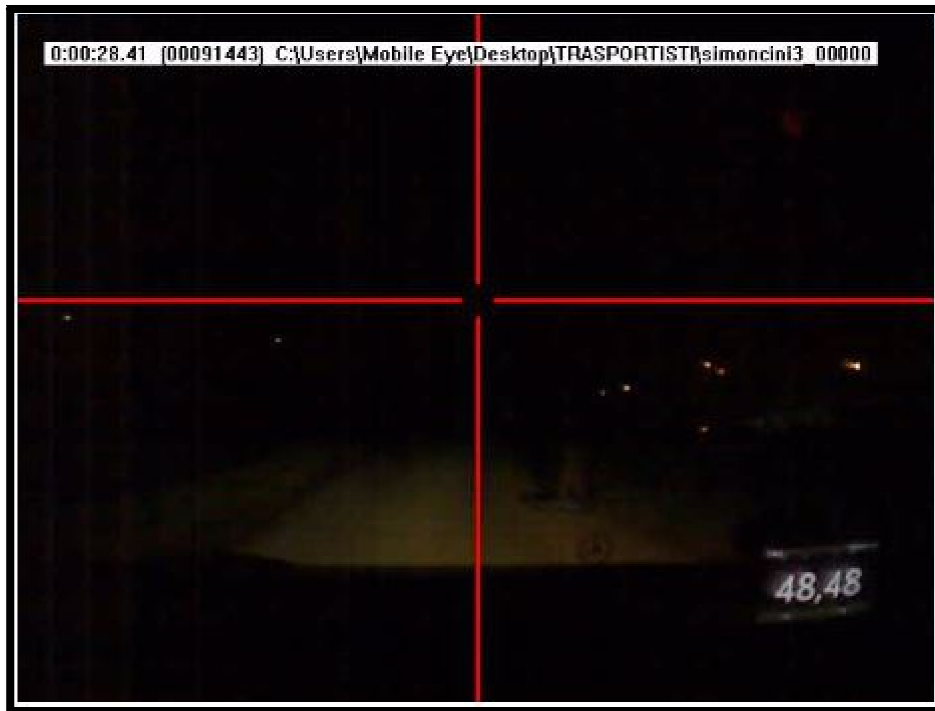


Figura 117. Sequenza dei fotogrammi per l'individuazione dell'istante in cui l'utente volgeva lo sguardo verso l'ostacolo.



Figura 118. Sequenza dei fotogrammi per l'individuazione dell'istante in cui l'utente volgeva lo sguardo verso l'ostacolo.



Figura 119. Sequenza dei fotogrammi per l'individuazione dell'istante in cui l'utente volgeva lo sguardo verso l'ostacolo.

- individuazione dello stesso istante nella ripresa video del V – Box, o tramite la visualizzazione del tempo indicato dal cronometro dello smartphone o tramite il procedimento precedentemente illustrato;
- rilevazione del valore dello spostamento per quell'istante indicato dal V – Box tramite il software “Circuit Tools 2”, nella tabella in basso a sinistra alla voce “Distance” (Figura 120);

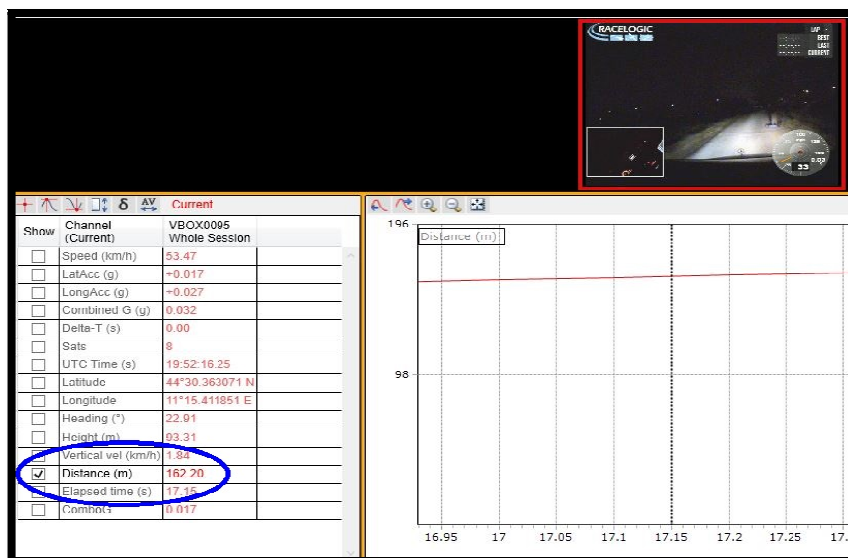


Figura 120. Rilevazione della distanza percorsa dal veicolo nell'istante considerato.

- individuazione dell'istante in cui l'utente colpisce l'ostacolo o di quello in cui si ferma, nel caso in cui il manichino non fosse stato colpito perché l'utente lo ha visto in tempo per riuscire a fermarsi prima;
- rilevazione del valore dello spostamento per il dato istante (Figura 121);

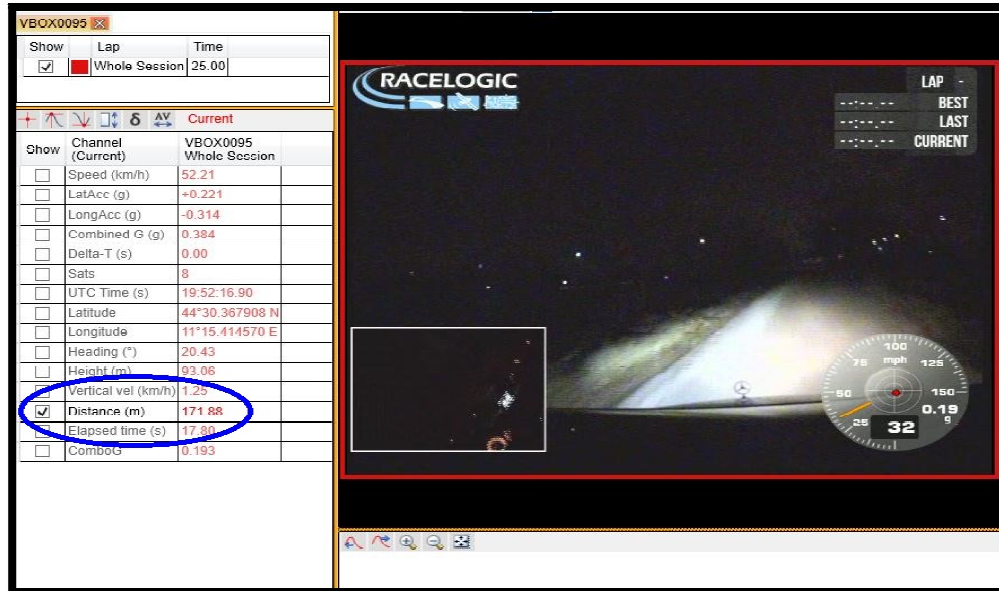


Figura 121. Rilevazione del valore dello spostamento per l'istante considerato.

- differenza tra il valore appena rilevato e quello rilevato in precedenza; nel caso delle Figure 120 e 121, appartenenti alla stessa prova, si ha:

$$\Delta s = 171,88 - 162,20 = 9,68 \text{ m}$$

- eventuale somma tra il valore appena trovato e la distanza tra la vettura ed il manichino, nel caso in cui non fosse stato colpito, misurata tramite una ruota metrica (Figura 122).

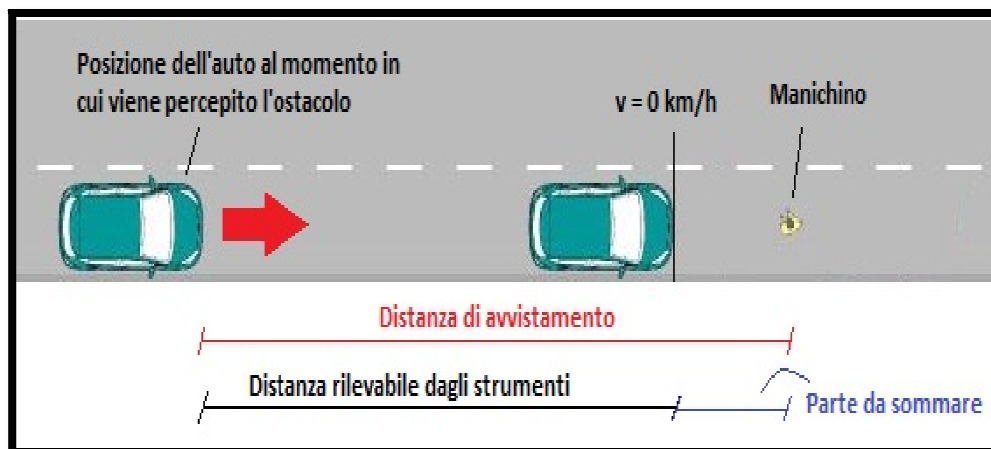


Figura 122. Descrizione del rilevamento delle distanze nel corso dei test.

1.20.4 DETERMINAZIONE DEI TEMPI DI PERCEZIONE E DI REAZIONE

Oltre alla distanza di avvistabilità, con l'utilizzo in sincrono della strumentazione è stato possibile calcolare i tempi di reazione dei partecipanti per ogni test e, in alcuni casi, anche i tempi di percezione; per questi casi, quindi, è stato possibile definire dei valori definiscono l'intervallo psicotecnico di percezione e reazione: dal grafico dell'accelerazione, disponibile tramite il software "Circuit Tools 2", è possibile rilevare l'istante di tempo in cui l'utente reagiva all'ostacolo avvistato, ovvero toglieva il piede dall'acceleratore per premere il pedale del freno; era possibile rilevarlo dal momento che, durante la prova, l'utente doveva guidare a velocità costante pari a 50 km/h, quindi, il grafico dell'accelerazione dava per quel tratto, a partire dal raggiungimento della velocità determinata fino all'inizio della reazione, valori prossimi allo zero (come è evidente, dal momento che le vetture utilizzate non possedevano sistemi per il controllo automatico della velocità, questa doveva essere mantenuta costante dai partecipanti, quindi i valori oscillavano in un intorno di 50 km/h, non erano costantemente fissi su quel valore; di conseguenza, il grafico dell'accelerazione non era costante e pari a zero, ma oscillava in un intorno di quel punto); nel momento in cui l'utente incominciava la sua reazione, il grafico assumeva valori negativi decrescenti (crescenti in valore assoluto), quindi era semplice trovare l'istante di interesse; la Figura 123 illustra meglio quanto appena descritto. Si rammenta che la frequenza di campionamento dei dati relativi all'accelerazione longitudinale per il V – BOX utilizzato era di 10 Hz, quindi con una precisione pari ad un decimo di secondo.



Figura 123. Individuazione dell'istante in cui l'utente incomincia a decelerare.

Dunque, nel dettaglio, **l'intervallo di tempo tra la percezione dell'ostacolo**, identificata nello spostamento dell'occhio verso il manichino, **e l'inizio della reazione**, data dall'istante in cui toglie il piede dal pedale dell'acceleratore per attuare la frenata, che può essere definito come **tempo relativo alla sola reazione**, è stato calcolato tramite la differenza dei tempi visualizzati dal software per il V - BOX alla voce "Elapsed time" nei due istanti considerati.

Inoltre, per i vari utenti è stato tentato un calcolo, quando possibile, del tempo necessario ad ognuno di loro per *percepire* l'ostacolo dal momento in cui esso entra nel campo visivo dell'utente: per ogni utente, sono state fatte, oltre alle prove dinamiche, delle prove di visibilità statica: ogni utente riferiva a che distanza riconosceva il manichino come tale, come descritto nel capitolo precedente, e questo dato sarebbe dovuto servire come sostituto dell'istante in cui, in prove svolte con i simulatori, l'ostacolo compare sul campo visivo. Tuttavia l'aspettativa dei vari utenti durante le prove faceva in modo che essi frenassero non appena incominciavano ad avvistare qualcosa che riguardasse il manichino (ad esempio la base), quindi non in una effettiva condizione di pericolo; nella realtà avrebbero incominciato a frenare non appena avessero riconosciuto una situazione pericolosa per la quale la frenata fosse stata necessaria. Per tale motivo, le prove con la

presenza del manichino incominciavano sempre con l'ostacolo posizionato sulla destra, in modo da ottenere la stessa tipologia di risultati per ogni utente (l'aspettativa dei partecipanti era minore inizialmente, poiché non erano a conoscenza della tipologia di prova, quindi della presenza del manichino; per le prove successive, erano intenti a cercarlo). In questo modo è stato possibile definire un valore per il **tempo di percezione**, ovvero l'intervallo di tempo tra l'inizio dello stimolo (la comparsa dell'ostacolo nel campo visivo del guidatore) e la sua percezione, identificata nello spostamento dell'occhio verso l'ostacolo: tramite il solito software "Circuit Tools 2" veniva cercato, grazie alla grandezza "Distance" che indicava i metri via via percorsi durante la prova, l'istante a cui corrispondeva la distanza massima alla quale l'utente riusciva ad individuare il manichino per trovare il tempo trascorso in quell'istante e, sottraendolo al valore del tempo indicato dal software nell'istante in cui si sposta lo sguardo in direzione dell'ostacolo, si ricavava il tempo di percezione menzionato.

L'operazione, apparentemente complicata per come descritta, in realtà è stata di facile realizzazione:

- veniva calcolata la distanza di avvistamento del manichino come descritto in precedenza (ad esempio 25,14 m);
- veniva confrontato tale valore con quello relativo all'avvistabilità statica riferita dagli utenti nel corso delle prove da fermo (ad esempio 33 m);
- in caso di valore di avvistabilità statica effettivamente maggiore di quello relativo alla distanza di avvistamento in condizioni dinamiche, veniva effettuata la differenza tra i due valori; per l'esempio in questione si ha:

$$\Delta s = 33 - 25,14 = 7,86 \text{ m}$$

- il risultato appena trovato veniva sottratto al valore dato dal parametro "Distance" nell'istante in cui il guidatore spostava lo sguardo in direzione del manichino (Figura 124);

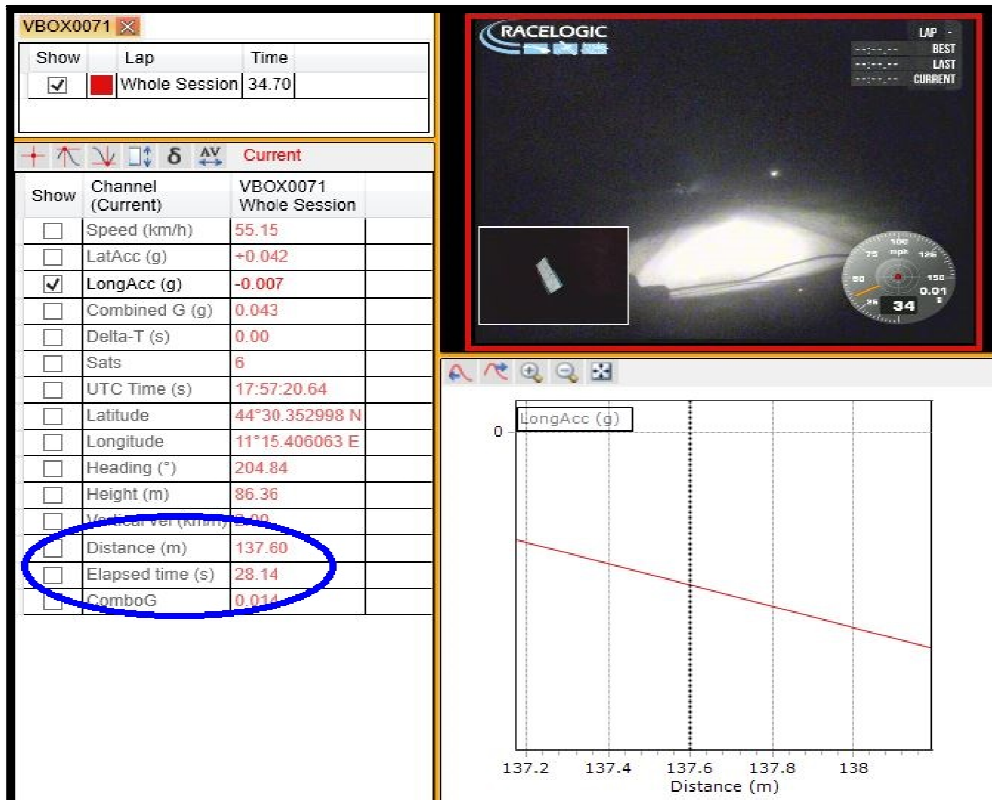


Figura 124. Istante il cui il pilota spostava lo sguardo individuato per sottrarre al valore della distanza percorsa quello relativo alla differenza tra le distanze di avvistamento in condizioni statiche e dinamiche.

- individuato tale valore per quella prova cliccando sul grafico a registrazione stoppata (per facilitarne il rilevamento, può essere utile scegliere come grandezza in ascissa del grafico proprio la distanza, a prescindere dalla grandezza definita in ordinata, zoomare il grafico e cliccare lungo la verticale in corrispondenza del valore cercato); con riferimento ancora all'esempio considerato, si ha (Figura 125):

$$d = 137,60 - 7,86 = 129,74 \text{ m}$$

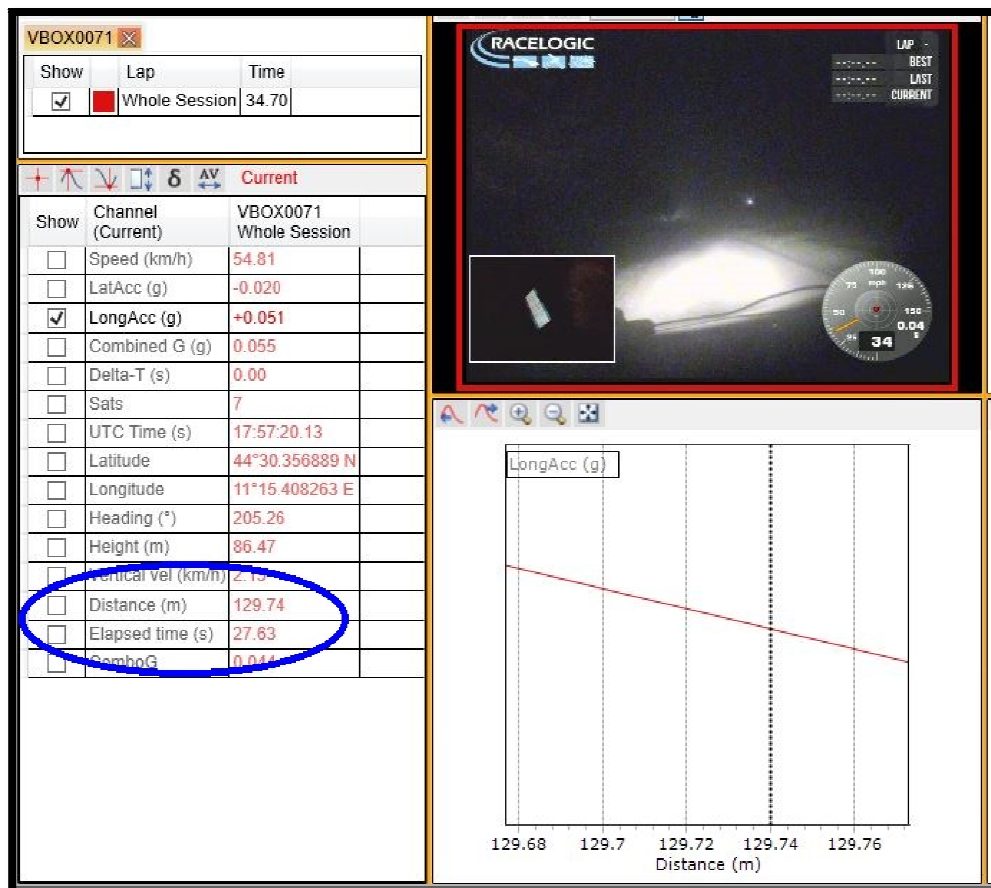


Figura 125. Istante relativo alla distanza di avvistamento in condizioni statiche.

- si identifica il valore riportato dal parametro “Elapsed time” per l’istante appena trovato e si sottraeva al valore dello stesso parametro riportato per l’istante in cui l’utente spostava lo sguardo in direzione dell’ostacolo; il risultato era il tempo di percezione cercato. Per la prova indicata negli esempi precedenti è risultato un tempo di percezione pari a:

$$t_p = 28,14 - 27,63 = 0,51 \text{ s}$$

Il **tempo di percezione e reazione** è stato definito dalla somma del tempo di percezione appena descritto ed il tempo relativo alla sola reazione citato in precedenza:

$$t_{pr} = t_p + t_r$$

1.21 I RISULTATI OTTENUTI

Per ogni utente sono stati ottenuti almeno due risultati utili per quanto riguarda la distanza di avvistamento; inoltre, è stato possibile calcolare per lo stesso numero di prove il tempo relativo alla reazione e per molti di loro anche quello relativo alla percezione.

1.21.1 DISTANZA DI AVVISTAMENTO

Delle prove con esito positivo (ovvero con calibrazione corretta, quindi non scartate), una è stata effettuata nella parte di strada che è risultata dare maggiore visibilità (a causa delle luci provenienti dall'abitazione in fondo alla strada stessa) per motivi di tempo (i partecipanti erano disponibili per un intervallo di tempo limitato, dovuto soprattutto al fatto che le prove venivano condotte, per forza di cose, in orario serale). Il valore della distanza di avvistamento relativo a tale situazione sono segnati in Tabella 15, in cui sono presenti anche gli altri valori trovati e i dati relativi al riconoscimento del manichino in condizioni statiche. Il manichino è stato posizionato ogni volta in una delle posizioni riportate in Figura 126.

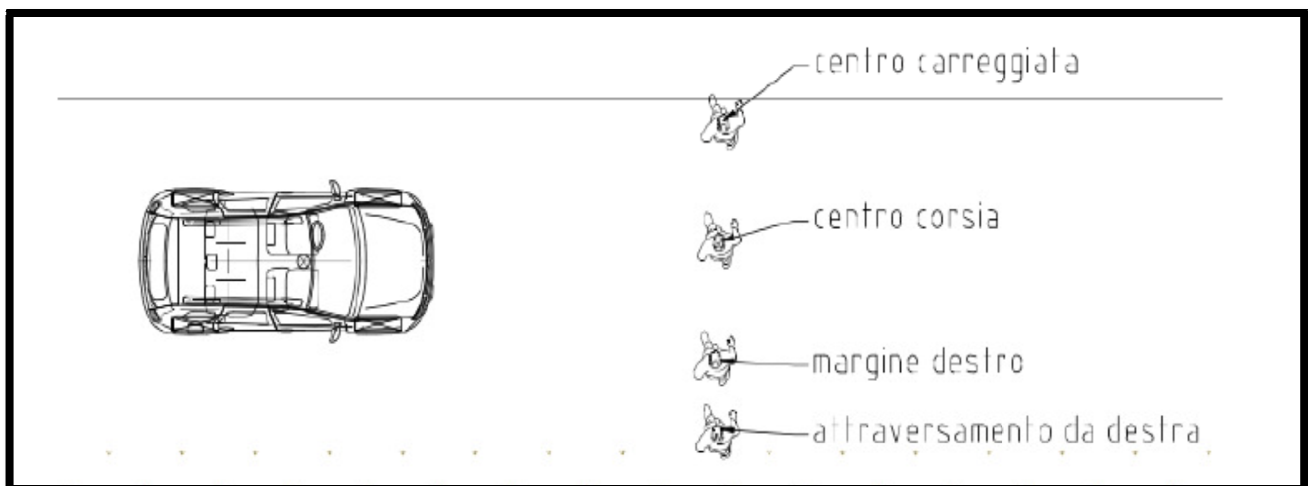


Figura 126. Disposizione del manichino.

UTENTE	MANICHINO A CENTRO CARREGGIATA	MANICHINO A CENTRO CORSIA	MANICHINO A DESTRA	ATTRAVERSAMENTO	VISIBILITÀ STATICA
1		30,98 m	35,4 m	27,92 m	35 m
2		27,48 m	32,84 m	25,2 m (investito)	33 m
3			57,88 m	17,13 m (investito)	33 m
4			31,46 m (investito)	9,61 m (investito)	25 m
5	45,49 m	35,58 m	34,31 m	28,86 m	26 m
6		86,19 m	46,11 m	33,66 m	55 m
7	22,15 m	22,45 m	19,68 m (investito)	17,05 m	27 m
8	27,56 m	28,12 m	24,35 m	35,12 m	32 m
9		28,78 m		21,56 m (investito)	33 m
10			23,5 m	18,65 m (investito)	32 m

Tabella 15. Distanze di avvistamento calcolate in condizioni dinamiche.

Notiamo delle differenze abbastanza rilevanti tra le distanze di avvistamento statiche e dinamiche dei vari utenti, dovute principalmente ai seguenti fattori:

- l'utente 6 aveva i fari della propria auto posizionati in un modo tale che illuminavano di più rispetto ai fari delle altre auto utilizzate e non potevano essere abbassati, quindi i valori sono venuti più alti, come dimostra anche la distanza di riconoscimento da fermo, che era maggiore di circa 20 m rispetto a quelle degli altri partecipanti;
- il valore dell'utente 3 nel caso di manichino a destra potrebbe essere dovuto ad un illuminamento di fari di altre macchine provenienti dalla strada principale: si ricorda che il tracciato utilizzato per i test era una strada chiusa, ma traversa di una strada maggiore e abbastanza trafficata, quindi a volte il riflesso dei fari che percorrevano tale strada poteva essere tale da illuminare per brevi istanti il tracciato di prova o rendere più visibile il manichino; inoltre, egli stesso ha affermato di aver frenato in

una prova perché pensava ci fosse un animale (che in realtà era la base del manichino) e non sapeva se facesse parte della prova o meno: questo spiega il tempo di reazione elevato;

- discorso simile per la prova dell'utente 1 con manichino sulla destra, il quale ha dichiarato di aver intravisto il manichino ad una distanza maggiore di quella di avvistamento statico proprio a causa dell'illuminamento prodotto dai veicoli che transitavano sulla strada principale, seppur lontani.

1.21.2 TEMPI DI PERCEZIONE E DI REAZIONE

Come per le distanze di avvistamento, sono stati ottenuti lo stesso numero di valori per quanto riguarda i tempi relativi alla reazione dei partecipanti, ovvero da quando spostavano l'occhio verso il manichino a quando incominciavano l'effettiva frenata. I risultati ottenuti sono mostrati in Tabella 16, posizionati in base alla prova a cui si riferiscono.

UTENTE	MANICHINO A CENTRO CARREGGIATA	MANICHINO A CENTRO CORSIA	MANICHINO A DESTRA	ATTRAVERSAMENTO
1		0,61	0,57	0,77
2		0,60	0,80	0,66
3			0,66	0,37
4			0,55	0,35
5	0,48	0,45	1,03	0,55
6		0,70	0,43	0,53
7	0,45	0,60	0,60	0,60
8	0,50	0,56	0,67	0,46
9		0,60		0,64
10			0,70	0,48
Media	0,48	0,59	0,67	0,54

Tabella 16. Tempi tra saccade e inizio decelerazione calcolati.

Per quanto riguarda invece i tempi relativi all'avvistamento dell'ostacolo (tempi di sensazione), la situazione è diversa. Come spiegato, per individuare approssimativamente tale valore, è stato chiesto agli utenti di riferire, tramite prove statiche effettuate nel corso dei test, la distanza alla quale riconoscevano il manichino, in modo da avere il dato relativo alla massima distanza di avvistamento dell'ostacolo in questione.

Data la consapevolezza dei conducenti di star eseguendo un test, l'aspettativa dei soggetti ha fatto in modo che essi, in alcune prove, frenassero anche in situazioni in cui non era necessario; per tale motivo, alcuni valori ottenuti per i test dinamici sono risultati essere maggiori rispetto al valore trovato in condizioni statiche. Nelle precedenti condizioni, non è stato possibile calcolare analiticamente il tempo di sensazione, in quanto il manichino è stato avvistato dagli utenti prima di entrare nel campo visivo di avvistabilità statica, in questi casi si è stimato un tempo medio di sensazione, sulla base dei tempi rilevati durante le prove in cui invece è stato possibile calcolare tale valore analiticamente.

Infatti, per le altre prove, è stato possibile calcolare il tempo relativo alla sensazione come descritto in precedenza, ottenendo dei valori che effettivamente possono rispecchiare situazioni reali, confrontate con i valori che si trovano già in letteratura. Tali valori sono espressi in Tabella 17 e seguono l'ordine delle Tabelle 15 e 16.

UTENTE	MANICHINO A CENTRO CARREGGIATA	MANICHINO A CENTRO CORSIA	MANICHINO A DESTRA	ATTRAVERSAMENTO
1		0,30		0,54
2		0,40		0,51
3				1,17
4				1,05
5				
6			0,68	1,50
7	0,38	0,38	0,65	0,95
8	0,32	0,32	0,66	
9		0,33		0,80
10			0,71	1,10
Media	0,35	0,35	0,68	0,95

Tabella 17. Tempi di percezione calcolati.

Nota. Il tempo di sensazione è quello trascorso tra l'ingresso del pedone nel campo visivo del conducente (determinato tramite prove statiche) ed il momento della saccade (spostamento dell'occhio verso il manichino).

Per le altre prove, in cui non è stato possibile rilevare i tempi di sensazione, quindi sono stati presi dei tempi di sensazione medi relativi a quelli calcolati e presenti in Tabella 17, facendo differenza tra le varie ubicazioni del manichino sulla strada.

La Tabella 18 quindi mostra i dati relativi ai tempi complessivi di percezione e reazione calcolati come somma dei rispettivi tempi di sensazione (calcolati o stimati) e dei tempi tra saccade e reazione.

I tempi complessivi, ottenuti tramite la stima dei tempi di sensazione, sono contrassegnati da un asterisco.

UTENTE	MANICHINO A CENTRO CARREGGIATA	MANICHINO A CENTRO CORSIA	MANICHINO A DESTRA	ATTRAVERSAMENTO
1		0,91	1,25*	1,31
2		1,00	1,48*	1,17
3			1,34*	1,54
4			1,23*	1,40
5	0,83*	0,80*	1,71*	1,50*
6		1,05*	1,11	2,03
7	0,83	0,98	1,25	1,55
8	0,82	0,88	1,33	1,41*
9		0,93		1,44
10			1,41	1,58
Media	0,83	0,94	1,35	1,49

Tabella 18. Tempi complessivi di percezione e reazione calcolati o stimati.

Note. I valori stimati sono contrassegnati con un asterisco.

1.22 REALIZZAZIONE DEI GRAFICI

1.22.1 GRAFICI COMPLETI

Per le prove in cui è stato possibile definire sia il tempo relativo alla sensazione che quello relativo alla reazione, è stato elaborato un grafico avente un'ascissa che definiva il tempo trascorso e tre ordinate, rispettivamente per la distanza percorsa, la velocità dell'automobile e la distanza dall'utente debole, in modo da rendere più chiaro quanto esposto e mostrare la relazione che lega queste grandezze durante delle situazioni di interazione tra automobilista ed utente debole; oltre ai parametri già espressi, sono presenti anche i valori riguardanti la durata delle frenate, le velocità raggiunte nei vari punti considerati e le decelerazioni medie nel corso delle frenate stesse. Ciascuna di queste grandezze è stata calcolata con il software "Circuit Tools 2"; in particolare, è bastato zoomare il grafico (con il tempo in ascissa) selezionando solamente la parte relativa alla frenata (Figura 127):

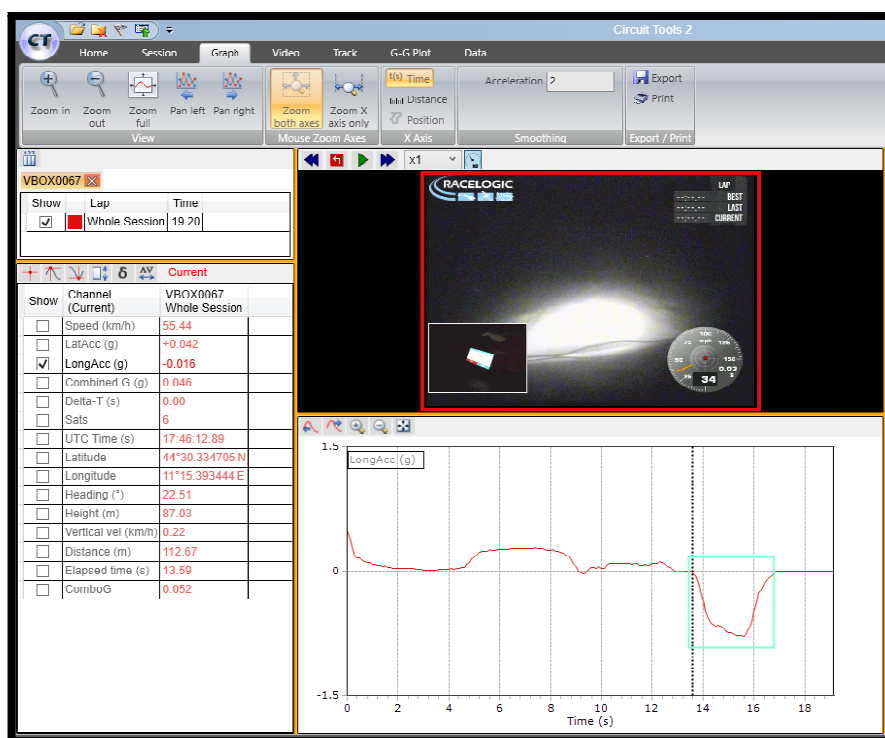


Figura 127. Rilevamento dei dati di interesse tramite il software "Circuit Tools 2".

- gli estremi del grafico davano il valore del tempo trascorso all'inizio ed al termine della frenata;
- cliccando su un punto qualsiasi del grafico era possibile visualizzare i valori di ogni grandezza rilevata dal software per quell'istante;
- cliccando sul tasto che definisce il valore medio, ovvero il pulsante "AV" sopra la tabella dei valori in basso a sinistra della schermata del software, venivano mostrati i valori medi per l'intervallo indicato dal grafico (nel caso in questione, l'intervallo di tempo relativo alla frenata), quindi anche quello relativo alla decelerazione (Figura 128).

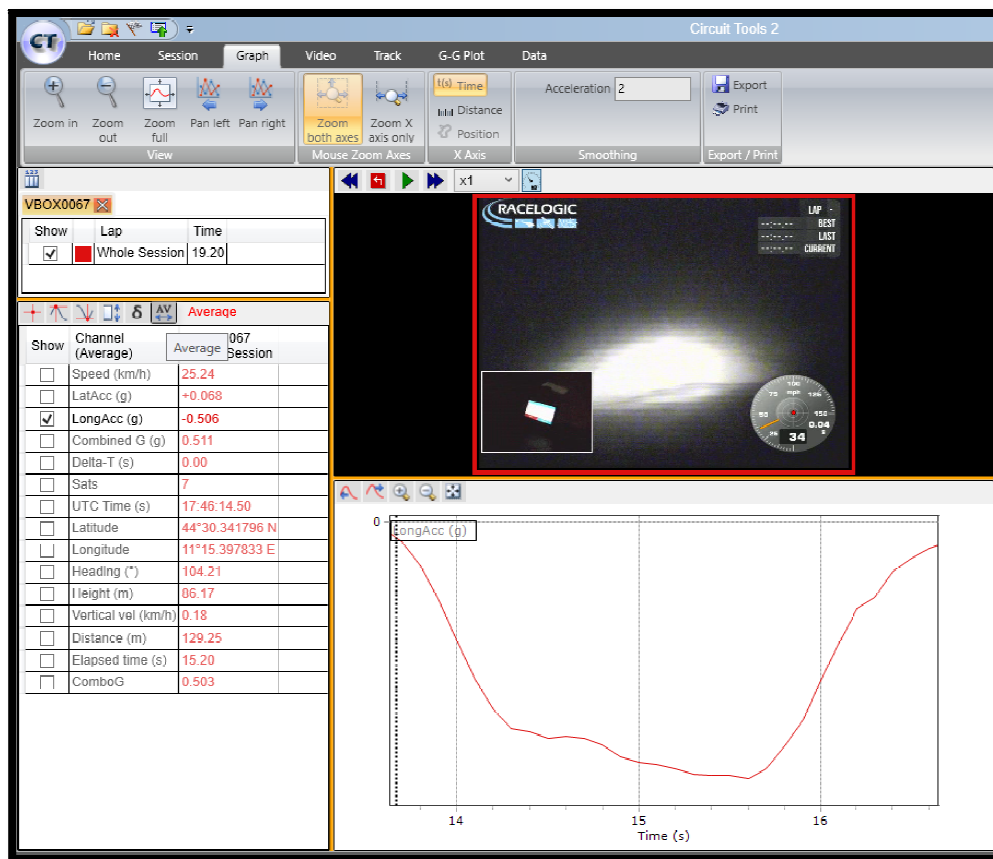


Figura 128. Valori medi delle grandezze per l'intervallo di tempo considerato.

Per quanto riguarda la rappresentazione grafica dei risultati, allo scopo di renderli quanto più facilmente comprensibili, non sono stati utilizzati i valori assoluti mostrati dal software ma sono stati inseriti già i valori in relazione al punto di arresto del veicolo (per le ordinate) e al punto in cui incomincia la percezione per l'ascissa (per come è stato spiegato precedentemente), in modo che fossero immediatamente visibili la distanza

percorsa, il tempo impiegato, la distanza dall'ostacolo e la velocità della vettura, a partire da quando il manichino incominciava ad essere visibile per l'utente, in ogni istante considerato. In particolare, l'istante in cui l'ostacolo risultava essere alla massima distanza di avvistamento in condizioni statiche per il guidatore in questione (ovvero "x" metri) è stato rintracciato nel grafico con il punto (0; x), invece il punto in cui il veicolo si fermava a seguito della frenata aveva ordinata nulla. Sono stati realizzati una serie di grafici completi, riguardanti le prove per le quali è stato possibile calcolare i tempi sia di sensazione, sia di reazione; invece per gli altri casi sono state costruite delle curve con il primo tratto derivante dalla stima del tempo di sensazione. I punti evidenziati sono contraddistinti con delle lettere:

- O: istante in cui il manichino entra nel campo visivo (periferico, parafoveale o foveale) del conducente;
- P: indica l'istante in cui il guidatore ha volto lo sguardo verso l'ostacolo (saccade), quindi è riferito alla percezione del pericolo.
- R: l'istante in cui il conducente ha tolto il piede dall'acceleratore per poi frenare, ovvero l'istante in cui si verifica effettivamente la reazione del conducente dopo aver percepito il pericolo;
- C: è riferito al momento in cui il manichino è stato colpito, qualora il contatto fosse avvenuto;
- A: fa riferimento all'istante in cui la vettura si è fermata (posizione di quiete della vettura).

1.22.1.1 Utente 1

Per l'utente 1 è stato possibile realizzare due grafici completi: uno relativo al caso con ostacolo al centro della corsia ed uno relativo all'attraversamento del manichino. In entrambi i casi il manichino non è stato colpito dall'automobile.

Manichino al centro della corsia

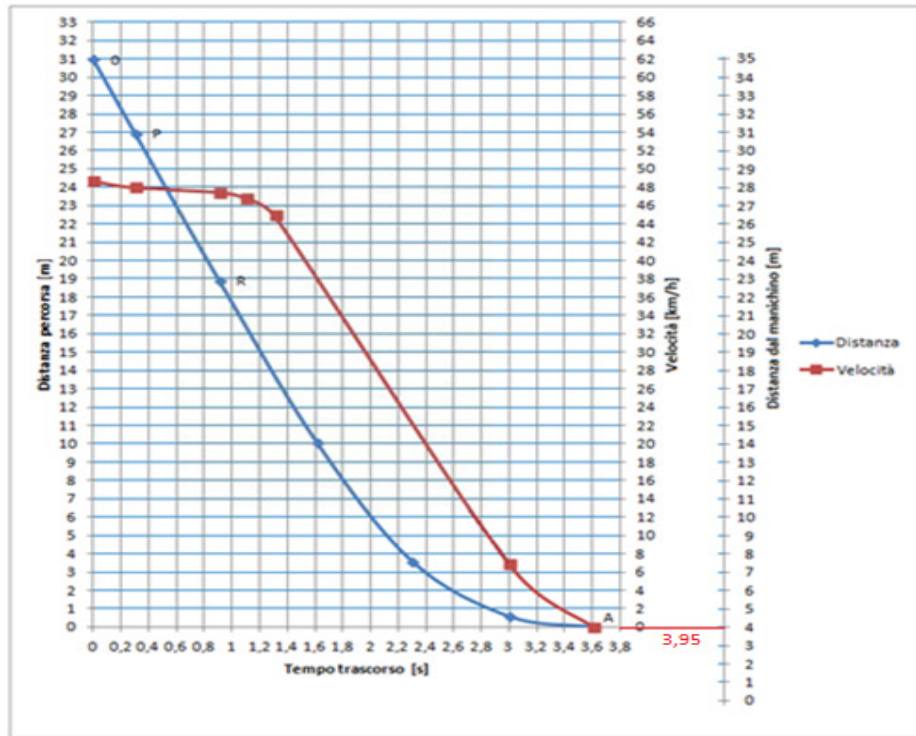


Figura 129. Grafico Utente 1, prova con manichino posizionato al centro della corsia.

Per tale prova, oltre ai risultati già mostrati nelle Tabelle 15, 16, 17 e 18, i valori ottenuti dagli altri parametri calcolati sono:

- **tempo complessivo di percezione e reazione**

$$t_{PR} = 0,91 \text{ s}$$

- **tempo di frenata**

$$t_{stop} = 2,3 \text{ s}$$

- **velocità nell'istante di saccade**

$$v_p = 48 \text{ km/h}$$

- **velocità nell'istante di inizio frenata**

$$v_R = 47,5 \text{ km/h}$$

- **decelerazione media** durante la frenata (il termine g indica l'accelerazione di gravità)

$$\vec{d} = 0,467 \text{ g}$$

Manichino in attraversamento

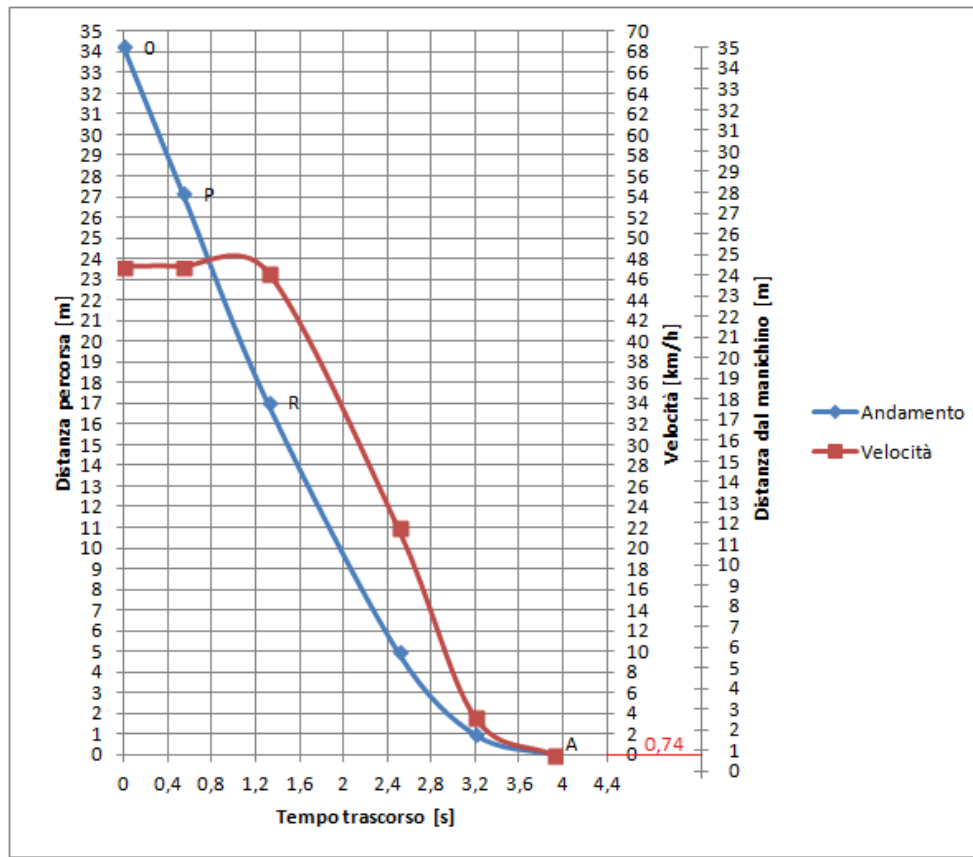


Figura 130. Grafico Utente 1, prova con manichino in attraversamento.

I valori calcolati per tale prova sono:

- tempo complessivo di percezione e reazione

$$t_{PR} = 1,31 s$$

- tempo di frenata

$$t_{stop} = 2,6 s$$

- velocità nell'istante di saccade

$$v_P = 47,9 km/h$$

- velocità nell'istante di inizio frenata

$$v_R = 47,2 km/h$$

- decelerazione media durante la frenata

$$\bar{d} = 0,513 g$$

1.22.1.2 Utente 2

Per l'utente 2 sono stati realizzati due grafici completi: uno relativo al caso con ostacolo al centro della corsia e l'altro relativo all'attraversamento del manichino. Nella prova con manichino posto al centro della corsia, non avviene alcun impatto, al contrario, il manichino in attraversamento viene investito dall'auto circa 8 metri prima del completo arresto.

Manichino al centro della corsia

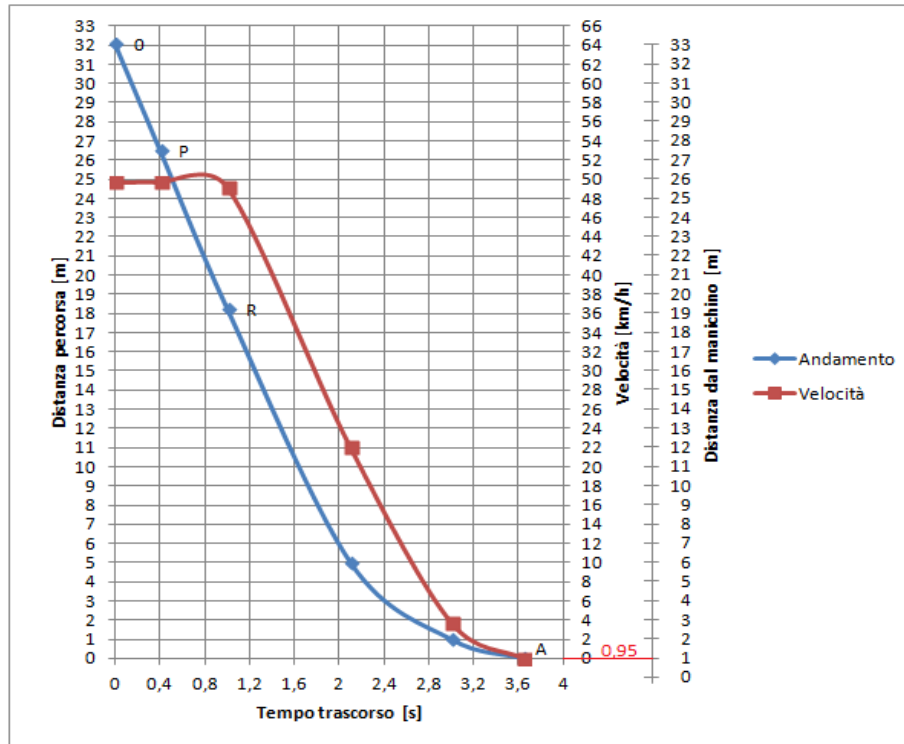


Figura 131. Grafico Utente 2, prova con manichino posizionato al centro della corsia.

I valori calcolati per tale prova sono:

- tempo complessivo di percezione e reazione

$$t_{PR} = 1 \text{ s}$$

- tempo di frenata

$$t_{stop} = 2,64 \text{ s}$$

- velocità nell'istante di saccade

$$v_P = 49,4 \text{ km/h}$$

- velocità nell'istante di inizio frenata

$$v_R = 48,9 \text{ km/h}$$

- decelerazione media durante la frenata

$$\bar{d} = 0,532 \text{ g}$$

Manichino in attraversamento

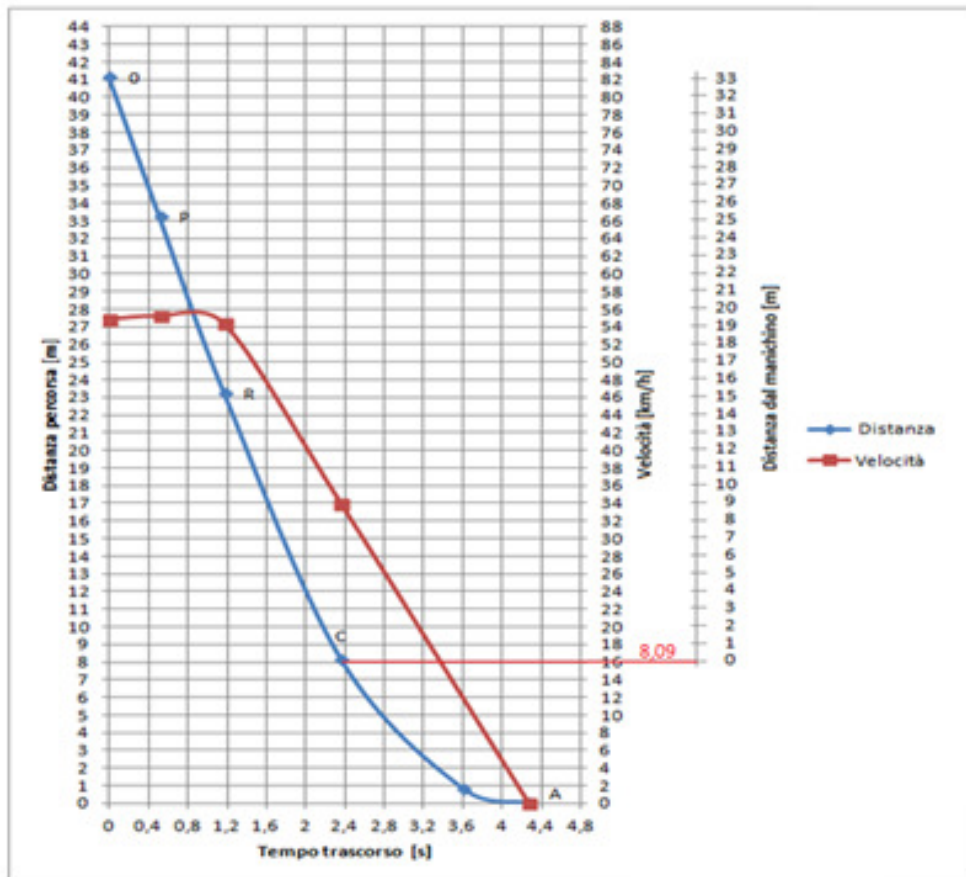


Figura 132. Grafico Utente 2, prova con manichino in attraversamento.

La prova in questione è una di quelle in cui è presente un dato in più, quello relativo al contatto con l'ostacolo.

- tempo complessivo di percezione e reazione

$$t_{PR} = 1,17 \text{ s}$$

- tempo di frenata

$$t_{stop} = 3,1 \text{ s}$$

- velocità nell'istante di saccade

$$v_p = 55,2 \text{ km/h}$$

- velocità nell'istante di inizio frenata

$$v_R = 54,3 \text{ km/h}$$

- velocità al momento dell'impatto

$$v_C = 33,9 \text{ km/h}$$

- decelerazione media durante la frenata

$$\vec{d} = 0,465 \text{ g}$$

1.22.1.3 Utente 3

Per l'utente 3, è stato possibile realizzare solamente il grafico completo relativo alla prova con attraversamento del manichino, il quale è stato colpito circa 9 metri prima del completo arresto del veicolo.

Manichino in attraversamento

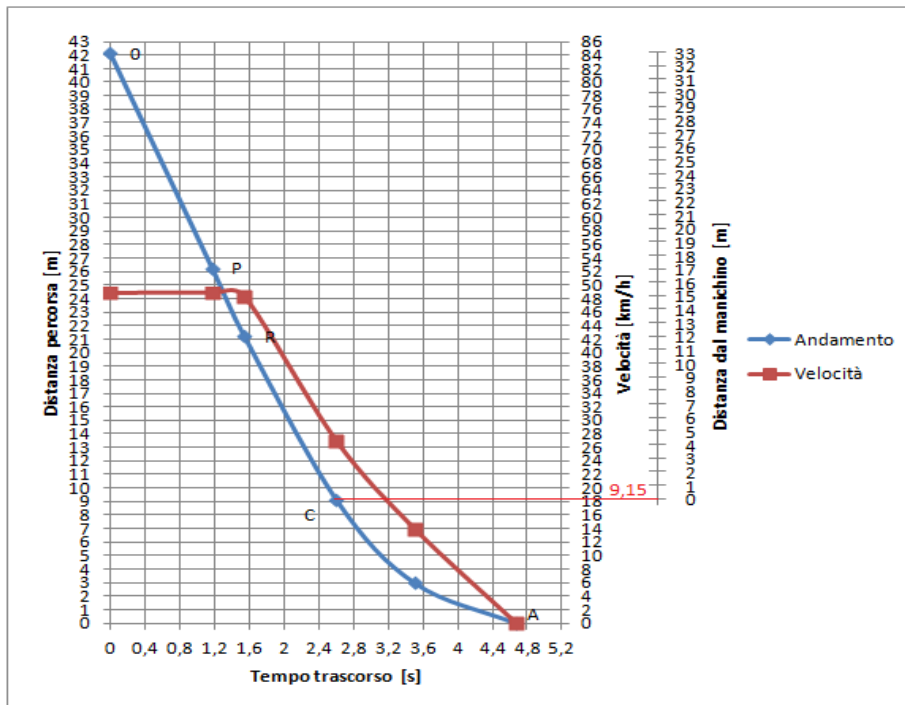


Figura 133. Grafico Utente 3, prova con manichino in attraversamento.

I valori calcolati per tale prova sono:

- tempo complessivo di percezione e reazione

$$t_{PR} = 1,54 \text{ s}$$

- tempo di frenata

$$t_{stop} = 3,13 \text{ s}$$

- velocità nell'istante di saccade

$$v_P = 47,5 \text{ km/h}$$

- velocità nell'istante di inizio frenata

$$v_R = 48,8 \text{ km/h}$$

- velocità al momento dell'impatto

$$v_C = 18,5 \text{ km/h}$$

- decelerazione media durante la frenata

$$\ddot{d} = 0,441 \text{ g}$$

1.22.1.4 Utente 4

Anche per l'utente 4, è stato possibile realizzare solamente il grafico completo per la prova con attraversamento del manichino. Anche in questo caso si è verificato il contatto manichino – veicolo, circa 23 metri prima che l'auto si fermasse.

Manichino in attraversamento

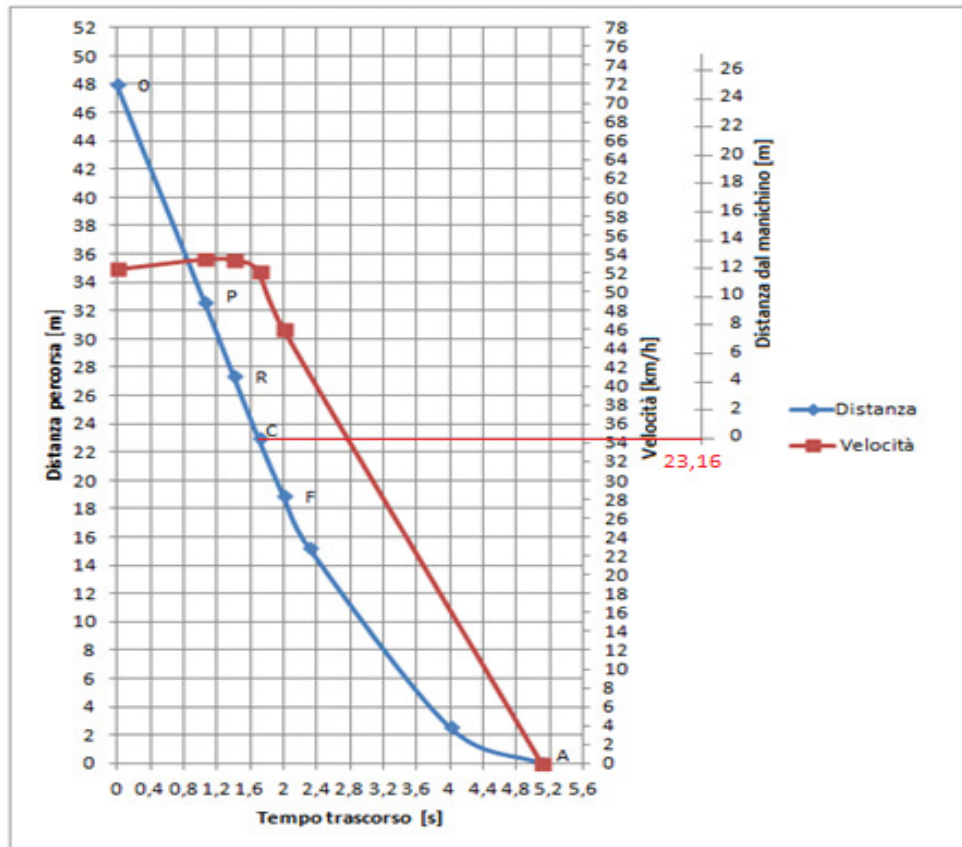


Figura 134. Grafico Utente 4, prova con manichino in attraversamento. F: indica il punto in cui la vettura ha raggiunto la massima efficienza di frenata.

La prova in questione, a livello di valori trovati, è stata la più completa: l'avvistamento tardivo del manichino ha fatto in modo che l'utente, per cercare di non colpirlo, abbia reagito con una frenata molto decisa, il che ha procurato un grafico per l'accelerazione longitudinale che rispecchia pienamente quelli presenti nella letteratura teorica (Vangi, 2008), come è possibile constatare dalle Figure 135 e 136 (i valori ottenuti dal software sono negativi dal momento che si riferiscono all'accelerazione, non alla decelerazione come quelli mostrati nel grafico teorico).

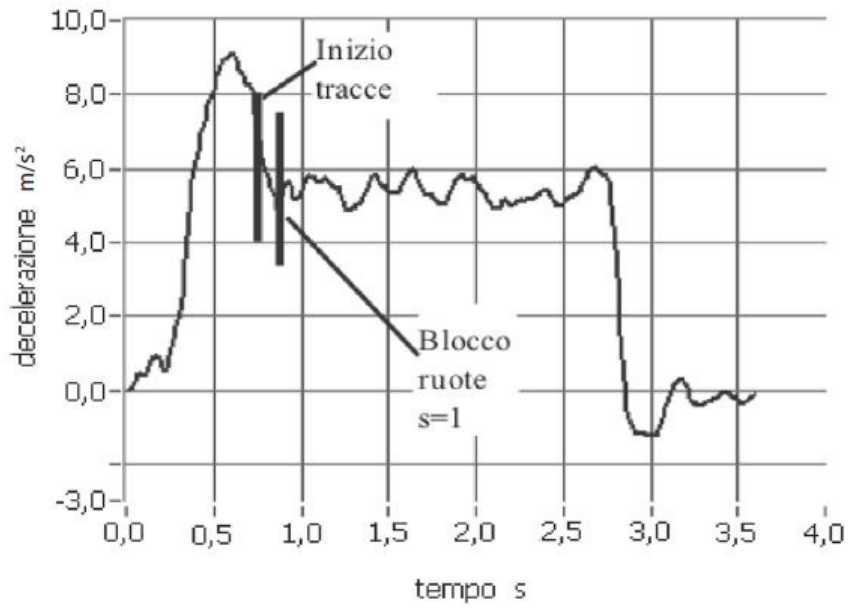


Figura 135. Grafico relativo alla decelerazione di un'autovettura nel corso di una frenata d'emergenza.

Note. Vangi, D., 2008, *Ricostruzione della dinamica degli incidenti stradali. Principi e applicazioni*, Firenze University Press

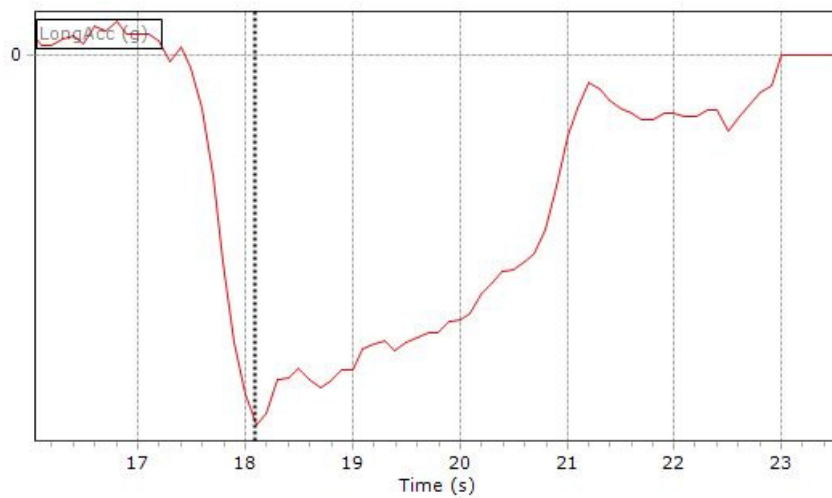


Figura 136. Grafico relativo all'accelerazione della vettura dell'Utente 4 durante la frenata incisiva effettuata nella prova con manichino in attraversamento.

I valori dei vari parametri calcolati ottenuti in questo caso sono:

- tempo complessivo di percezione e reazione

$$t_{PR} = 1,4 s$$

- **tempo di frenata**

$$t_{stop} = 3,7 \text{ s}$$

- **tempo trascorso tra l'inizio della reazione ed il valore massimo della decelerazione**

$$t_d = 0,6 \text{ s}$$

- **velocità nell'istante di saccade**

$$v_p = 53,5 \text{ km/h}$$

- **velocità nell'istante di inizio frenata**

$$v_R = 53,4 \text{ km/h}$$

- **velocità al momento dell'impatto**

$$v_C = 52,2 \text{ km/h}$$

- **decelerazione massima**

$$d_{MAX} = 0,6 \text{ g}$$

- **decelerazione media** durante la frenata

$$\bar{d} = 0,36 \text{ g}$$

1.22.1.5 Utente 6

I due grafici completi realizzati per l'utente 6 riguardano le prove con manichino a destra e manichino in attraversamento. In entrambe le prove, non avviene alcun impatto tra automobile e manichino.

Manichino a destra

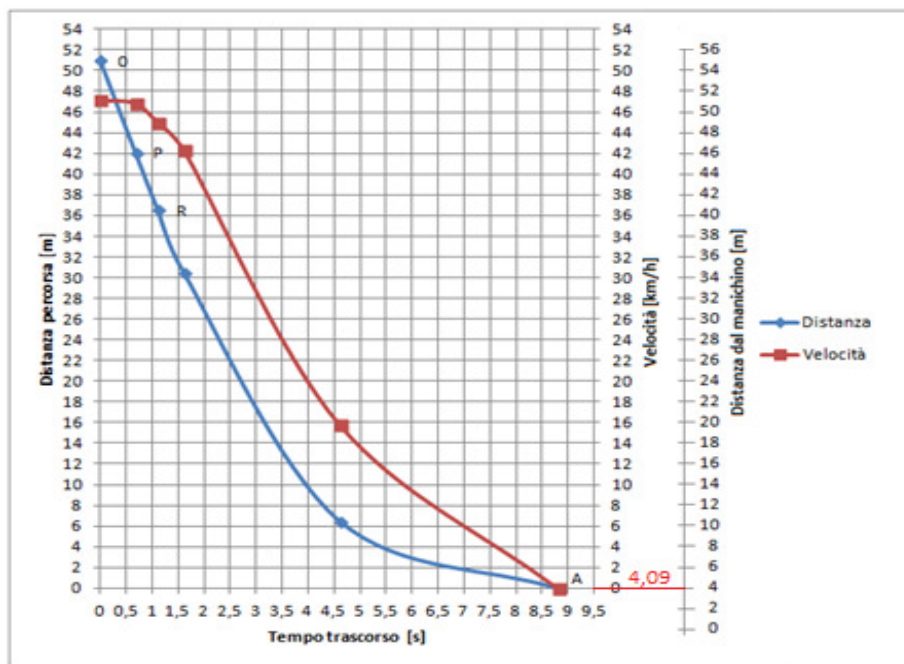


Figura 137. Grafico Utente 6, prova con manichino posto sulla destra della carreggiata.

I valori calcolati per tale prova sono:

- tempo complessivo di percezione e reazione

$$t_{PR} = 1,11 \text{ s}$$

- tempo di frenata

$$t_{stop} = 7,7 \text{ s}$$

- velocità nell'istante di saccade

$$v_p = 46,9 \text{ km/h}$$

- velocità nell'istante di inizio frenata

$$v_R = 45 \text{ km/h}$$

- decelerazione media durante la frenata

$$\ddot{d} = 0,16 \text{ g}$$

Manichino in attraversamento

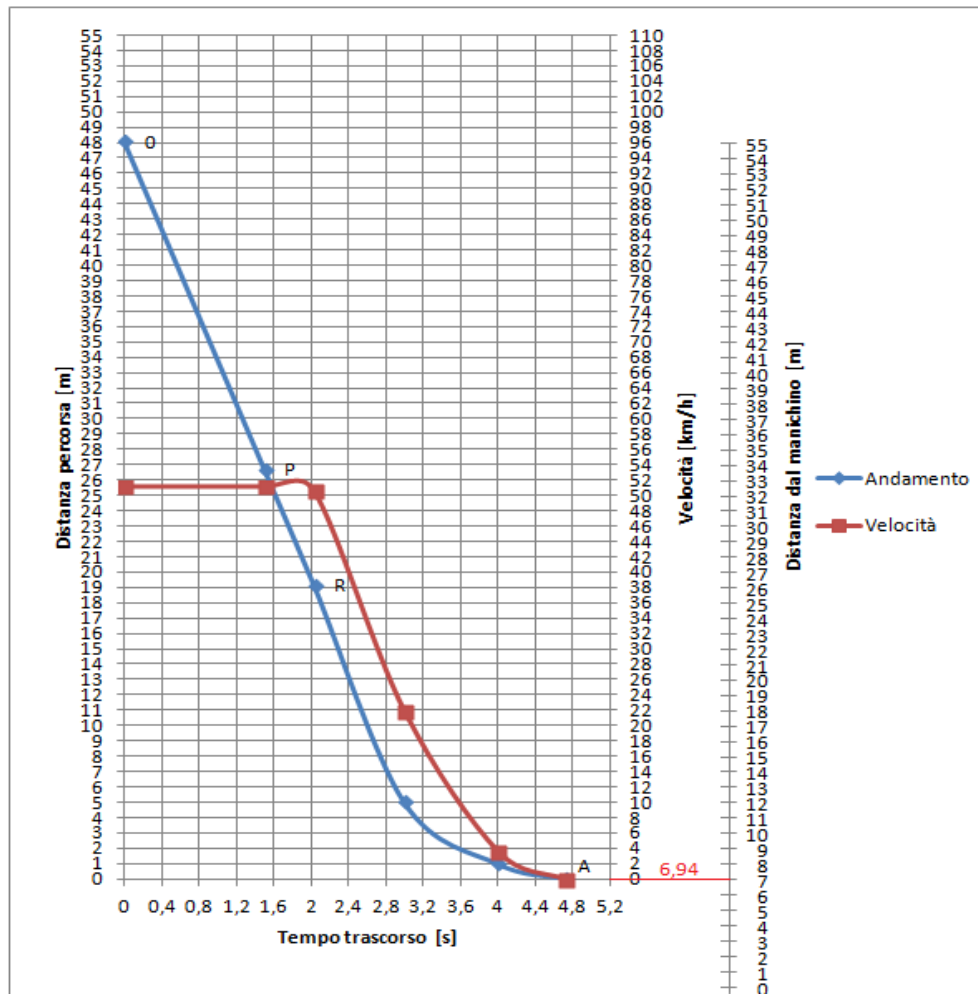


Figura 138. Grafico Utente 6, prova con manichino in attraversamento.

I valori calcolati per tale prova sono:

- tempo complessivo di percezione e reazione

$$t_{PR} = 2,03 \text{ s}$$

- tempo di frenata

$$t_{stop} = 2,69 \text{ s}$$

- velocità nell'istante di saccade

$$v_p = 50,7 \text{ km/h}$$

- velocità nell'istante di inizio frenata

$$v_R = 51,2 \text{ km/h}$$

- decelerazione media durante la frenata

$$\bar{d} = 0,538 \text{ g}$$

1.22.1.6 Utente 7

Per l'utente 7 sono stati ottenuti i grafici completi di ogni test effettuato, pochè il conducente ha avvistato il manichino ad una distanza sempre minore della distanza di avvistamento statico ad egli relativa. Il manichino viene investito solo nella prova con manichino posizionato a destra della carreggiata.

Manichino al centro della carreggiata

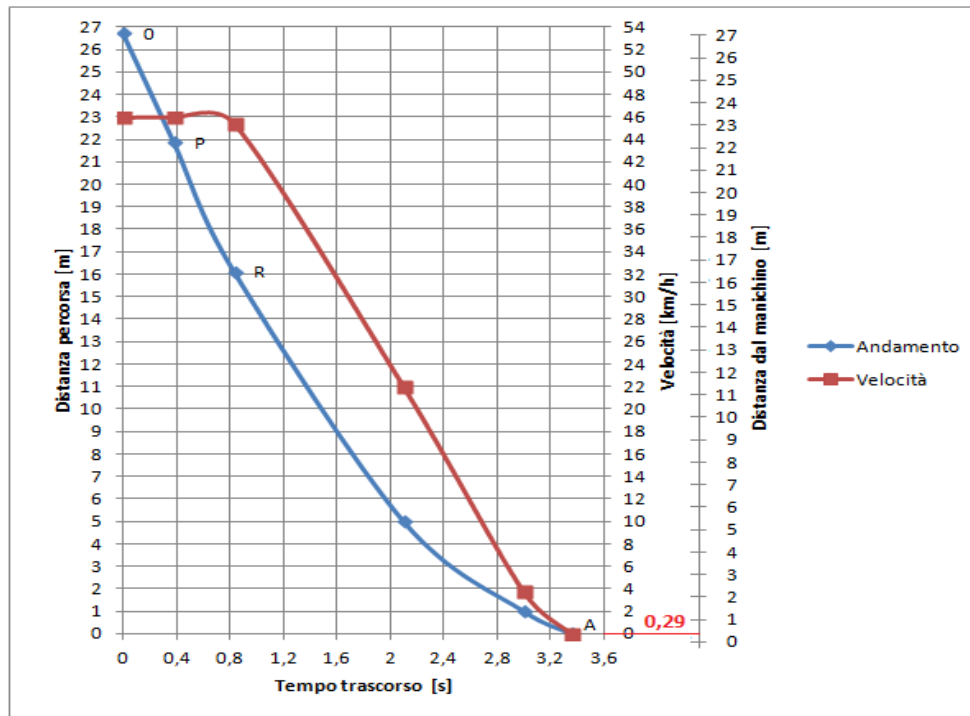


Figura 139. Grafico Utente 7, prova con manichino posizionato al centro della carreggiata.

I valori calcolati per tale prova sono:

- tempo complessivo di percezione e reazione

$$t_{PR} = 0,83 \text{ s}$$

- tempo di frenata

$$t_{stop} = 2,52 \text{ s}$$

- velocità nell'istante di saccade

$$v_P = 45,94 \text{ km/h}$$

- velocità nell'istante di inizio frenata

$$v_R = 45,76 \text{ km/h}$$

- decelerazione media durante la frenata

$$\ddot{d} = 0,515 \text{ g}$$

Manichino al centro della corsia

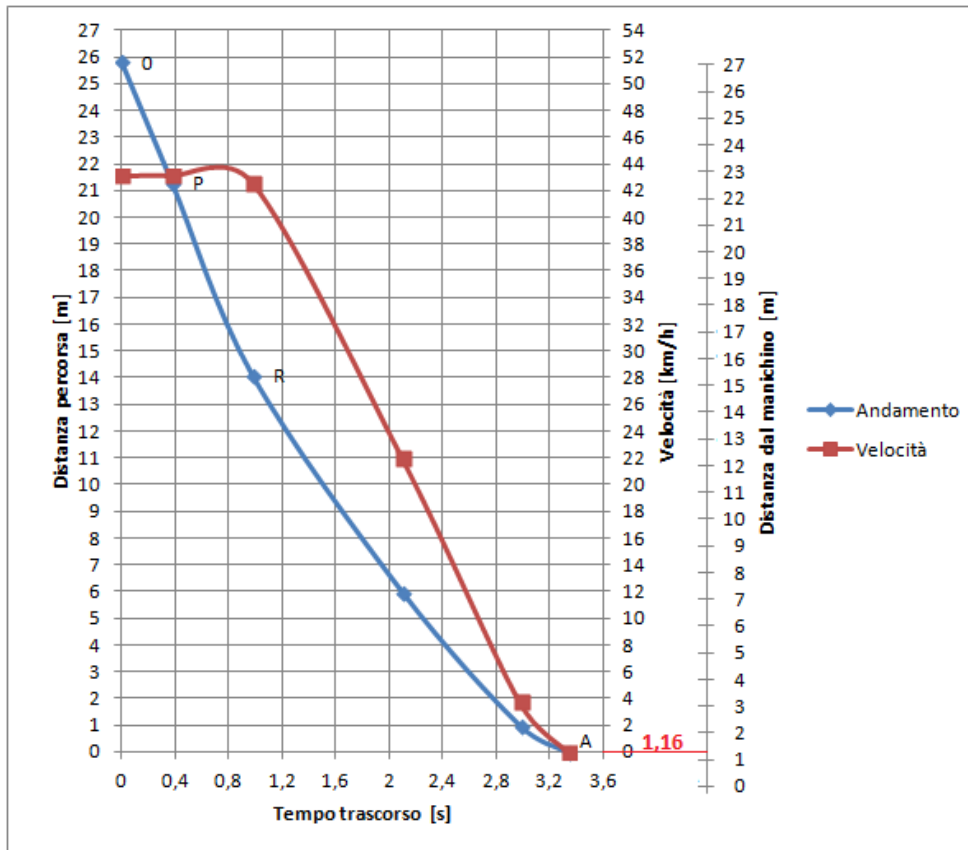


Figura 140. Grafico Utente 7, prova con manichino posizionato al centro della corsia.

I valori calcolati per tale prova sono:

- tempo complessivo di percezione e reazione

$$t_{PR} = 0,98 \text{ s}$$

- tempo di frenata

$$t_{stop} = 2,35 \text{ s}$$

- velocità nell'istante di saccade

$$v_p = 43,10 \text{ km/h}$$

- velocità nell'istante di inizio frenata

$$v_R = 43,65 \text{ km/h}$$

- decelerazione media durante la frenata

$$\ddot{d} = 0,518 \text{ g}$$

Manichino sulla destra

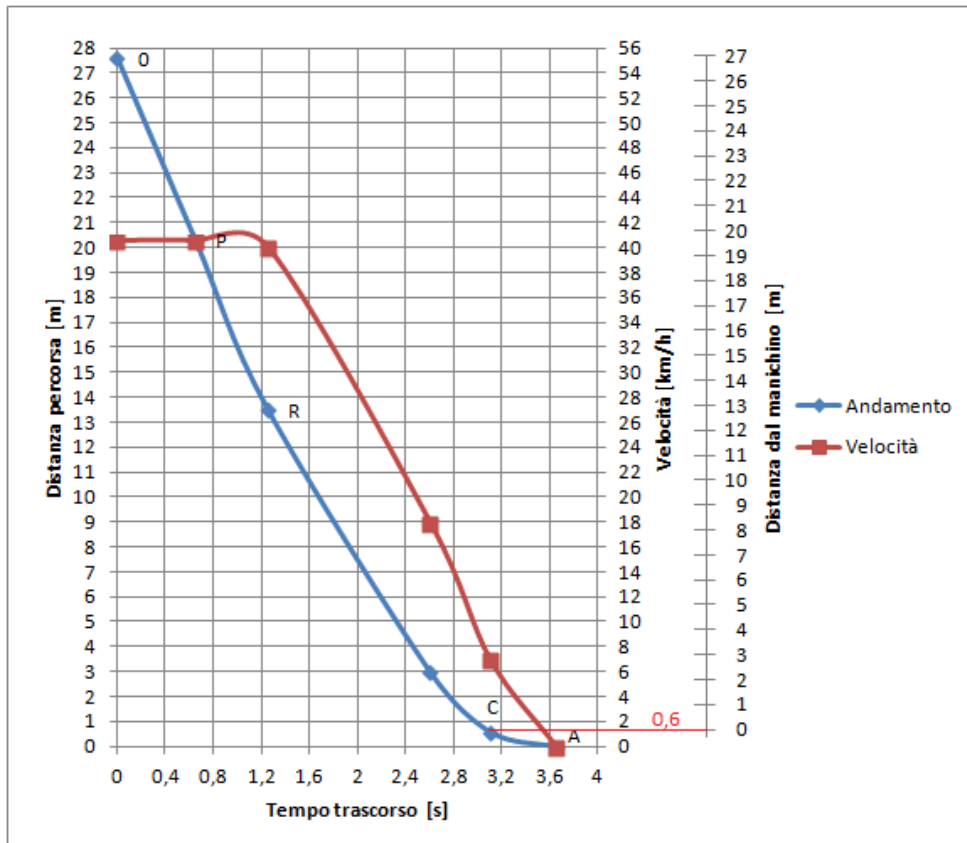


Figura 141. Grafico Utente 7, prova con manichino posizionato sulla destra della carreggiata.

I valori calcolati per tale prova sono:

- tempo complessivo di percezione e reazione

$$t_{PR} = 1,25 \text{ s}$$

- tempo di frenata

$$t_{stop} = 2,40 \text{ s}$$

- velocità nell'istante di saccade

$$v_P = 40,54 \text{ km/h}$$

- velocità nell'istante di inizio frenata

$$v_R = 40,59 \text{ km/h}$$

- velocità al momento dell'impatto

$$v_C = 1,8 \text{ km/h}$$

- decelerazione media durante la frenata

$$\bar{d} = 0,478 \text{ g}$$

Manichino in attraversamento

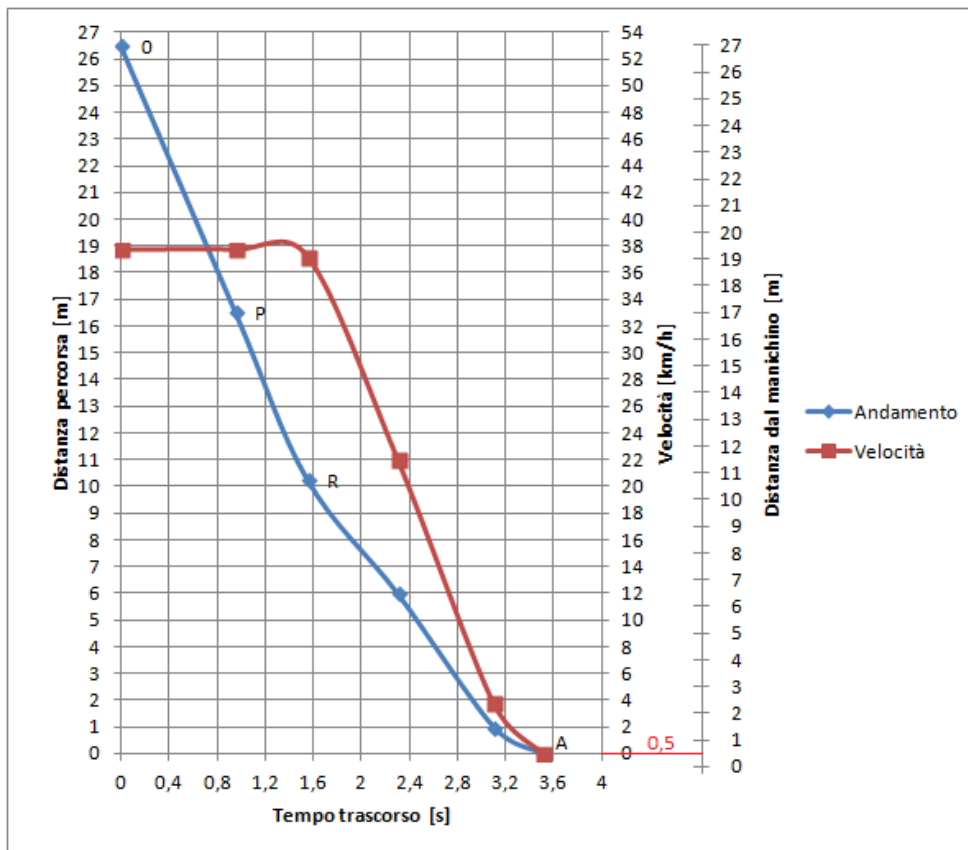


Figura 142. Grafico Utente 7, prova con manichino in attraversamento.

I valori calcolati per tale prova sono:

- tempo complessivo di percezione e reazione

$$t_{PR} = 1,55 \text{ s}$$

- tempo di frenata

$$t_{stop} = 1,96 \text{ s}$$

- velocità nell'istante di saccade

$$v_p = 37,7 \text{ km/h}$$

- velocità nell'istante di inizio frenata

$$v_R = 38,3 \text{ km/h}$$

- decelerazione media durante la frenata

$$\dot{d} = 0,545 \text{ g}$$

1.22.1.7 Utente 8

L'utente 8 ha eseguito quattro test, dai quali sono stati ottenuti i dati per costruire i grafici completi per tre prove. Per la prova con manichino in attraversamento non è stato possibile determinare il tempo di percezione in quanto la distanza di avvistamento dinamica è risultata maggiore della distanza di avvistamento statico.

Manichino al centro della carreggiata

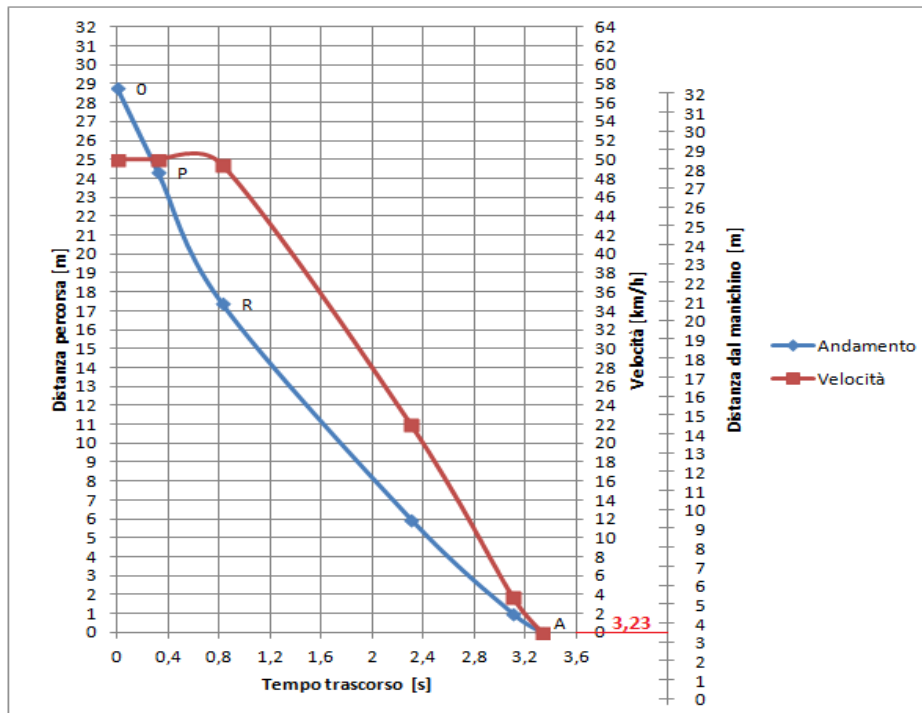


Figura 143. Grafico Utente 8, prova con manichino posizionato al centro della carreggiata.

I valori calcolati per tale prova sono:

- tempo complessivo di percezione e reazione

$$t_{PR} = 0,82 \text{ s}$$

- tempo di frenata

$$t_{stop} = 2,5 \text{ s}$$

- velocità nell'istante di saccade

$$v_P = 49,95 \text{ km/h}$$

- velocità nell'istante di inizio frenata

$$v_R = 49,77 \text{ km/h}$$

- decelerazione media durante la frenata

$$\ddot{d} = 0,564 \text{ g}$$

Manichino al centro della corsia

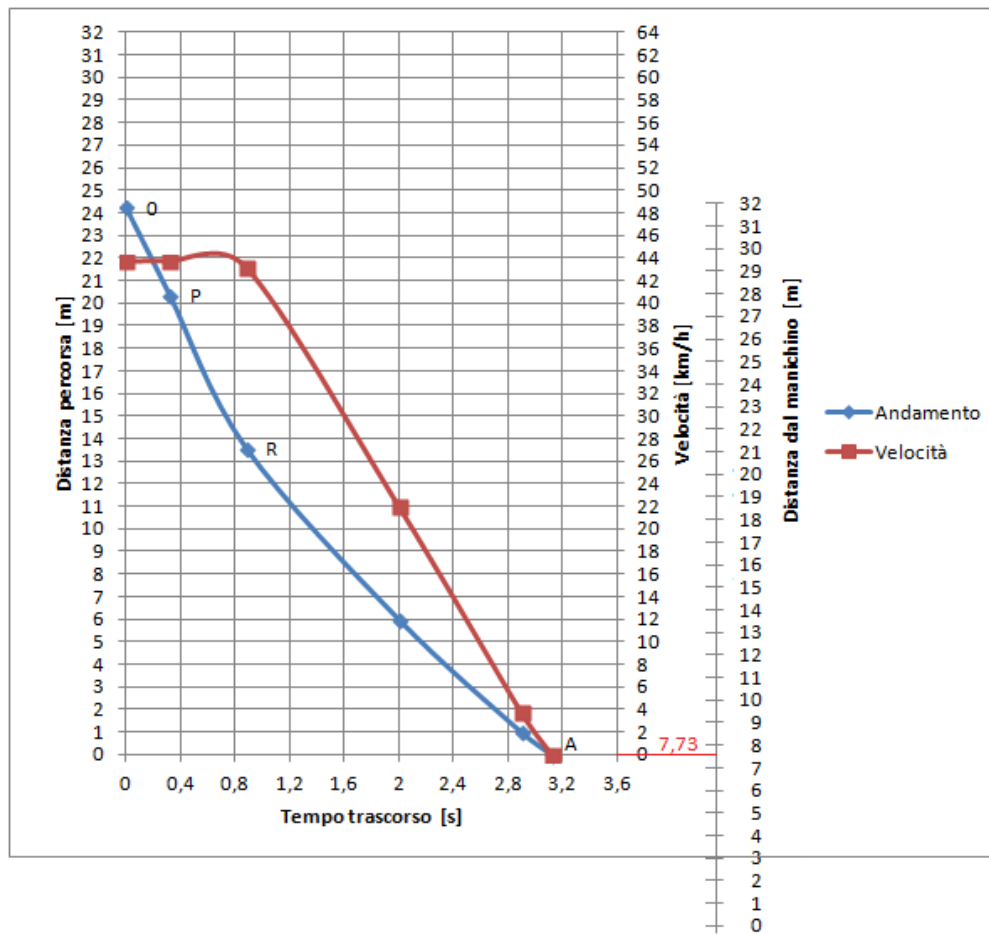


Figura 144. Grafico Utente 8, prova con manichino posizionato al centro della corsia.

I valori calcolati per tale prova sono:

- tempo complessivo di percezione e reazione

$$t_{PR} = 0,88 \text{ s}$$

- tempo di frenata

$$t_{stop} = 2,24 \text{ s}$$

- velocità nell'istante di saccade

$$v_P = 44,07 \text{ km/h}$$

- velocità nell'istante di inizio frenata

$$v_R = 43,65 \text{ km/h}$$

- decelerazione media durante la frenata

$$\ddot{d} = 0,551 \text{ g}$$

Manichino sulla destra

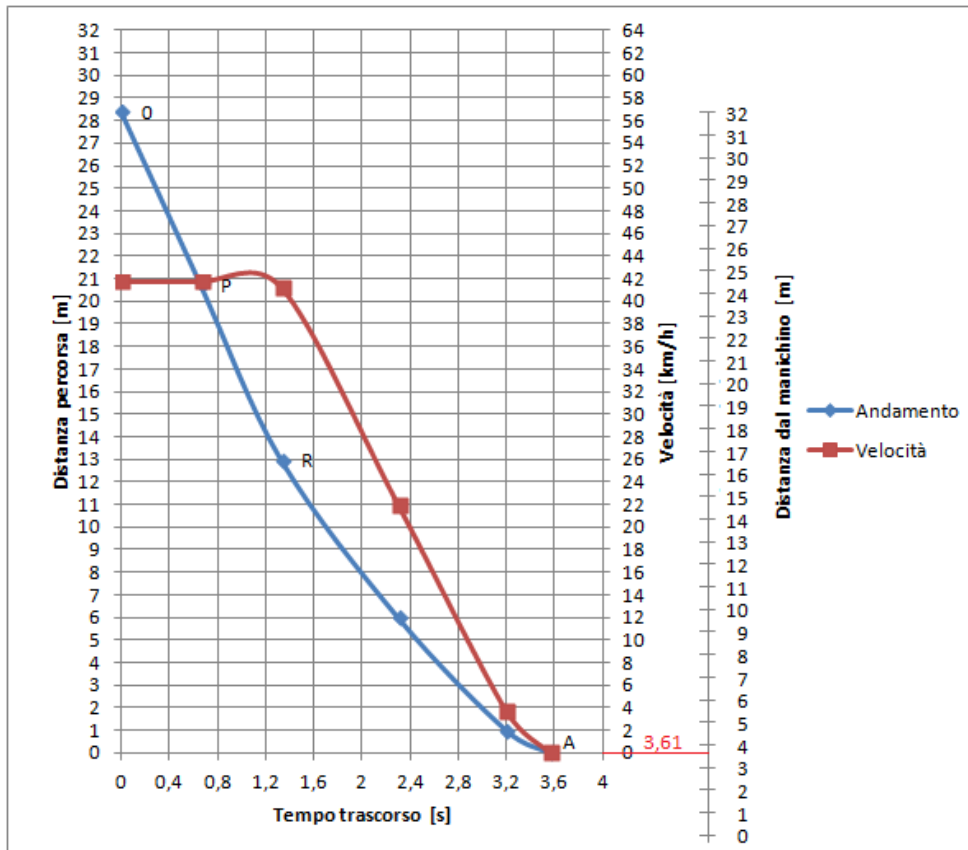


Figura 145. Grafico Utente 8, prova con manichino posizionato sulla destra della carreggiata.

I valori calcolati per tale prova sono:

- tempo complessivo di percezione e reazione

$$t_{PR} = 1,33 \text{ s}$$

- tempo di frenata

$$t_{stop} = 2,19 \text{ s}$$

- velocità nell'istante di saccade

$$v_p = 42,5 \text{ km/h}$$

- velocità nell'istante di inizio frenata

$$v_R = 41,72 \text{ km/h}$$

- decelerazione media durante la frenata

$$\dot{d} = 0,528 \text{ g}$$

1.22.1.8 Utente 9

L'utente 9 ha eseguito solo due test, entrambi con grafici completi.

Manichino al centro della corsia

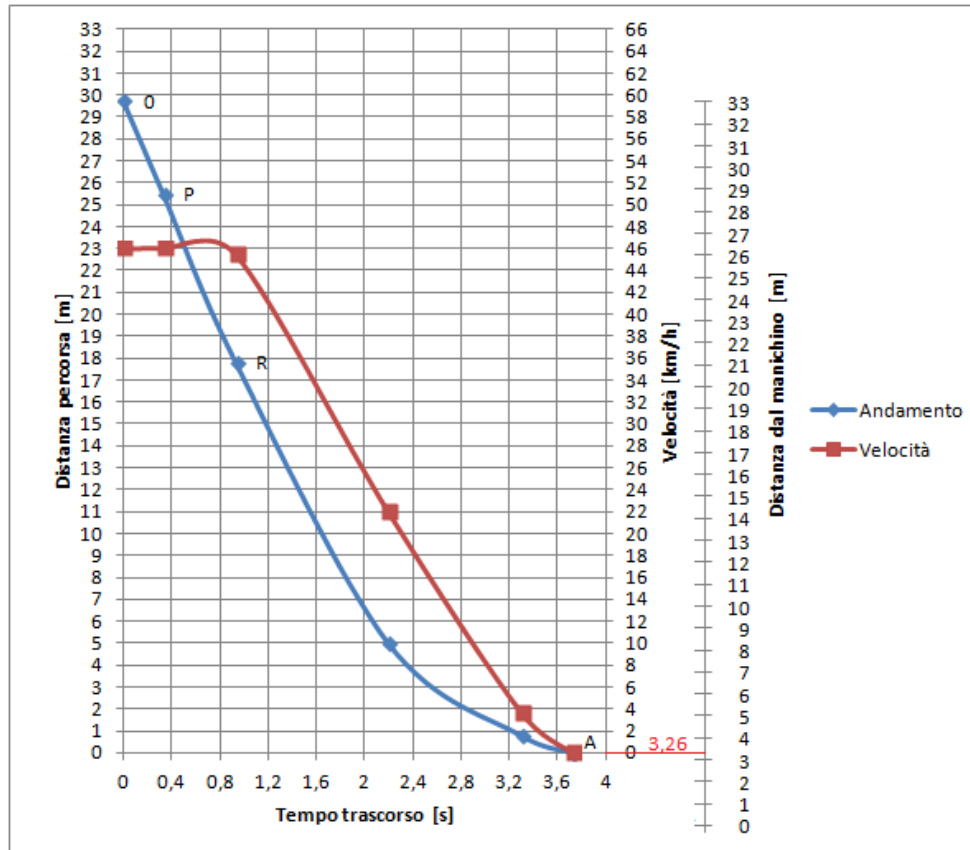


Figura 146. Grafico Utente 9, prova con manichino posizionato al centro della corsia.

I valori calcolati per tale prova sono:

- tempo complessivo di percezione e reazione

$$t_{PR} = 0,93 \text{ s}$$

- tempo di frenata

$$t_{stop} = 2,79 \text{ s}$$

- velocità nell'istante di saccade

$$v_P = 47,4 \text{ km/h}$$

- velocità nell'istante di inizio frenata

$$v_R = 46,08 \text{ km/h}$$

- decelerazione media durante la frenata

$$\bar{d} = 0,467 \text{ g}$$

Manichino in attraversamento

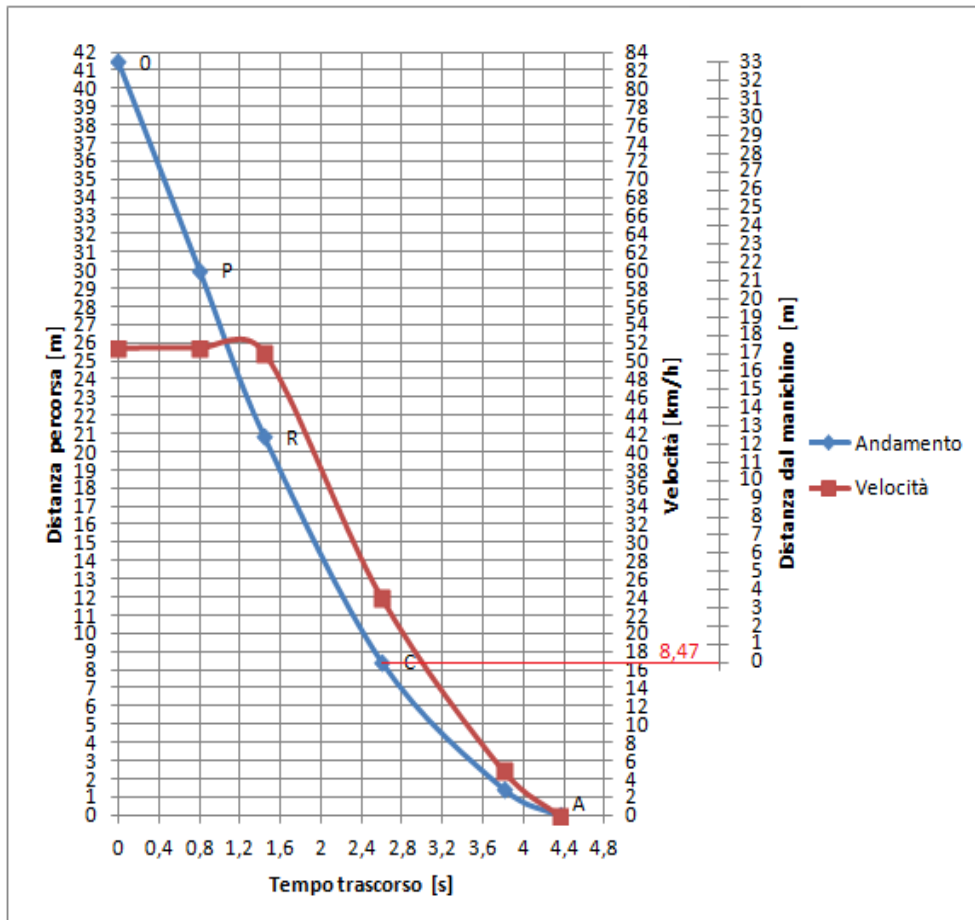


Figura 147. Grafico Utente 9, prova con manichino in attraversamento.

I valori calcolati per tale prova sono:

- tempo complessivo di percezione e reazione

$$t_{PR} = 1,44 \text{ s}$$

- tempo di frenata

$$t_{stop} = 2,92 \text{ s}$$

- velocità nell'istante di saccade

$$v_P = 52,86 \text{ km/h}$$

- velocità nell'istante di inizio frenata

$$v_R = 51,49 \text{ km/h}$$

- velocità al momento dell'impatto

$$v_C = 16,8 \text{ km/h}$$

- decelerazione media durante la frenata

$$\dot{d} = 0,499 \text{ g}$$

1.22.1.9 Utente 10

Sono state eseguite due prove, dalle quali sono stati ottenuti tutti i dati per realizzare grafici completi.

Manichino sulla destra

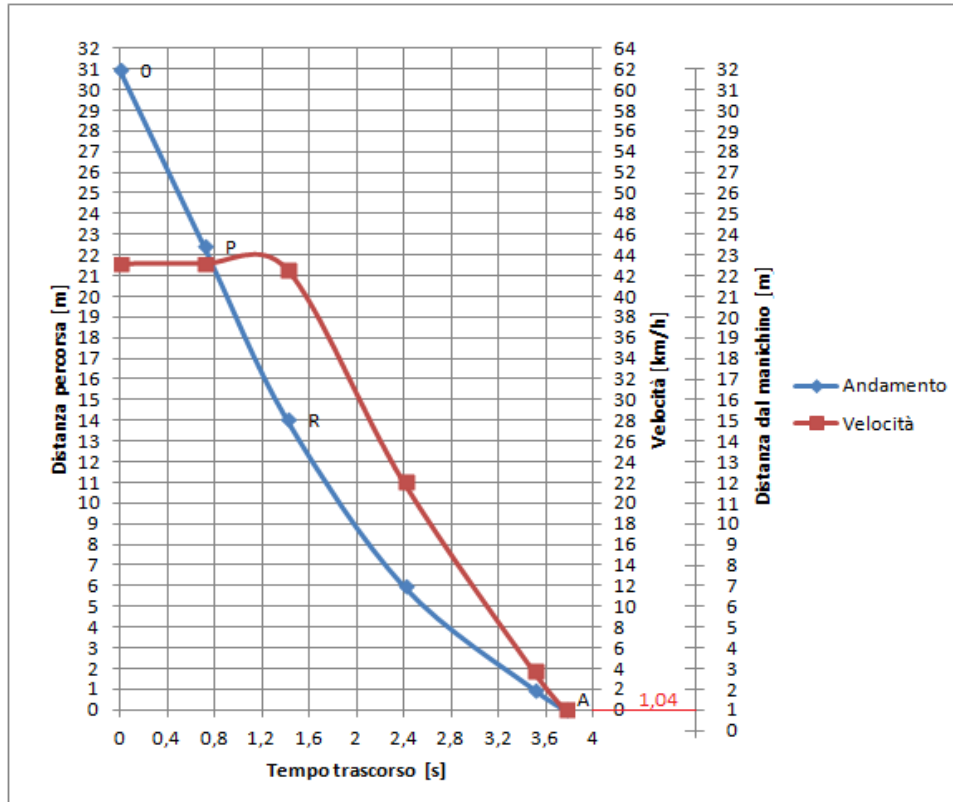


Figura 148. Grafico Utente 10, prova con manichino posizionato sulla destra della carreggiata.

I valori calcolati per tale prova sono:

- tempo complessivo di percezione e reazione

$$t_{PR} = 1,41 \text{ s}$$

- tempo di frenata

$$t_{stop} = 2,35 \text{ s}$$

- velocità nell'istante di saccade

$$v_p = 44 \text{ km/h}$$

- velocità nell'istante di inizio frenata

$$v_R = 43,09 \text{ km/h}$$

- decelerazione media durante la frenata

$$\ddot{d} = 0,519 \text{ g}$$

Manichino in attraversamento

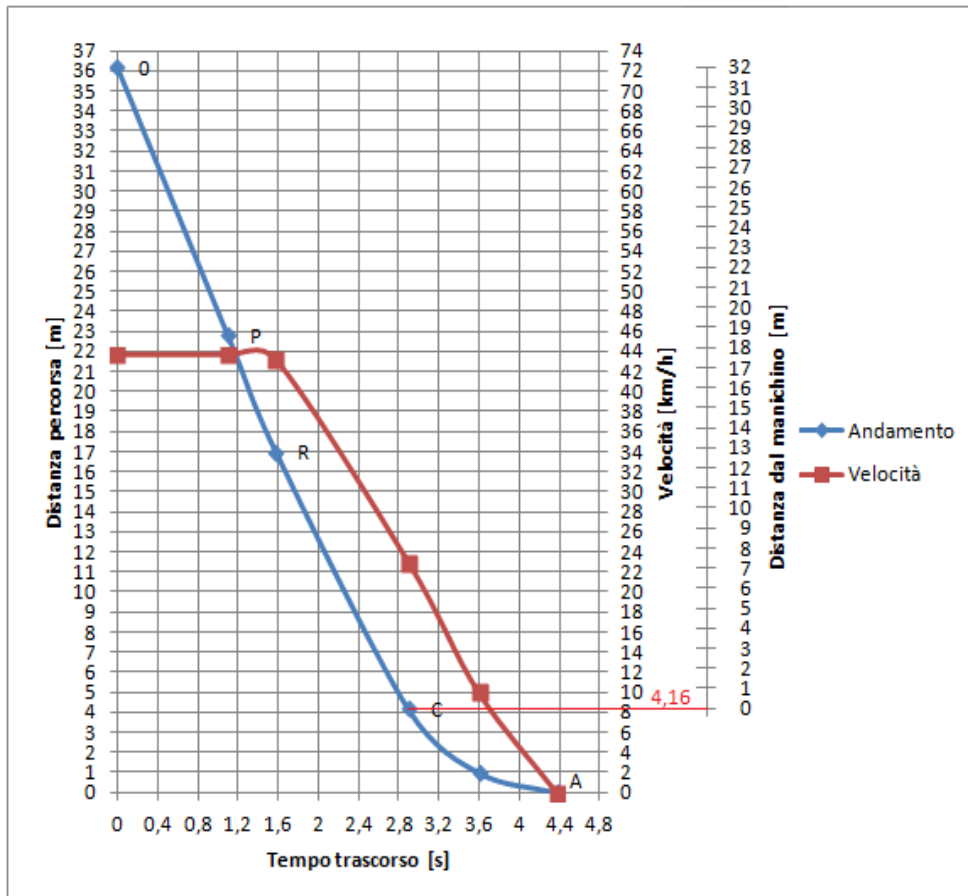


Figura 149. Grafico Utente 10, prova con manichino in attraversamento.

I valori calcolati per tale prova sono:

- tempo complessivo di percezione e reazione

$$t_{PR} = 1,58 \text{ s}$$

- tempo di frenata

$$t_{stop} = 2,79 \text{ s}$$

- velocità nell'istante di saccade

$$v_P = 42,56 \text{ km/h}$$

- velocità nell'istante di inizio frenata

$$v_R = 43,69 \text{ km/h}$$

- velocità al momento dell'impatto

$$v_C = 8,2 \text{ km/h}$$

- decelerazione media durante la frenata

$$\dot{d} = 0,442 \text{ g}$$

1.22.2 I GRAFICI ORIENTATIVI

Per le altre prove valide, non è stato possibile definire correttamente il tempo di sensazione per uno dei seguenti motivi:

- la distanza di avvistamento in condizioni dinamiche era maggiore di quella in condizione statica:

$$d_d > d_s$$

- le due distanze erano pressochè uguali tra loro ed tempo di sensazione che ne derivava era prossimo allo zero:

$$d_d \sim d_s$$

La realizzazione dei grafici relativi a queste prove è stata eseguita, come anticipato, considerando per il tempo di sensazione un valore medio relativo ad ogni tipologia di prova. Le parti di curve relative all'intervallo di sensazione approssimato sono state riportate tratteggiate in quanto fanno riferimento a valori stimati

1.22.2.1 Utente 1

Manichino a destra

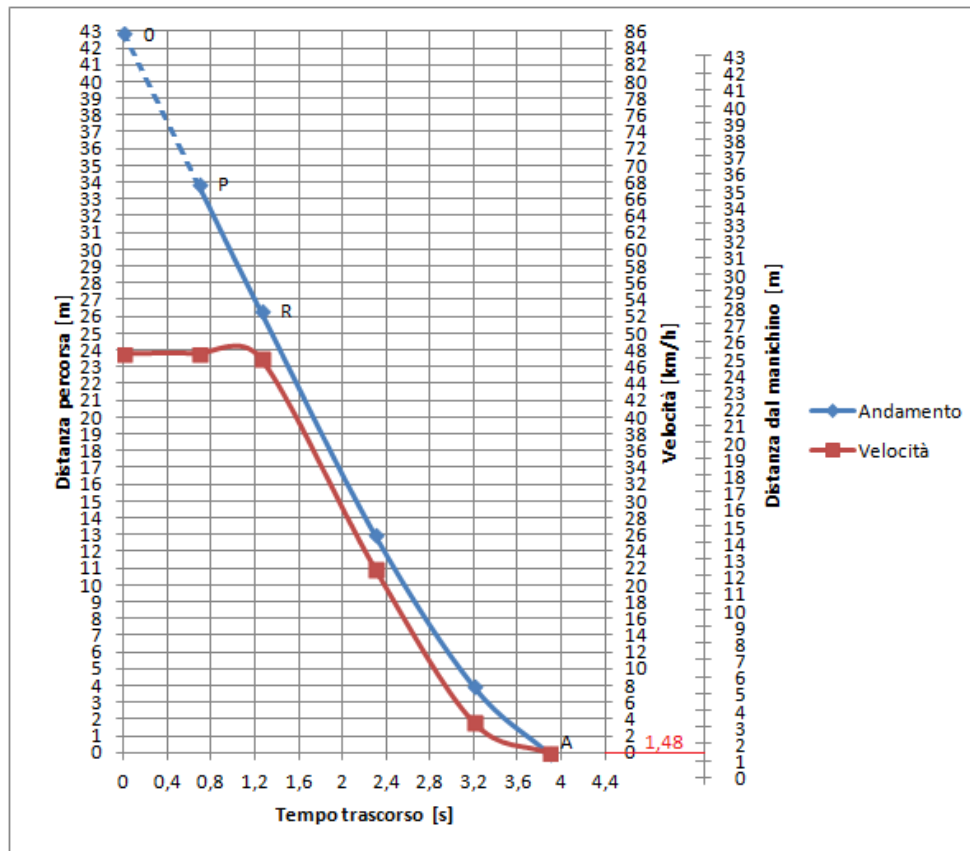


Figura 150. Grafico orientativo Utente 1, prova con manichino posizionato sulla destra della carreggiata.

I valori calcolati per tale prova sono:

- tempo complessivo di percezione e reazione

$$t_{PR} = 1,25 \text{ s}$$

- tempo di frenata

$$t_{stop} = 2,63 \text{ s}$$

- velocità nell'istante di saccade

$$v_p = 47,9 \text{ km/h}$$

- velocità nell'istante di inizio frenata

$$v_R = 47,55 \text{ km/h}$$

- decelerazione media durante la frenata

$$\ddot{d} = 0,511 \text{ g}$$

1.22.2.2 Utente 2

Manichino a destra

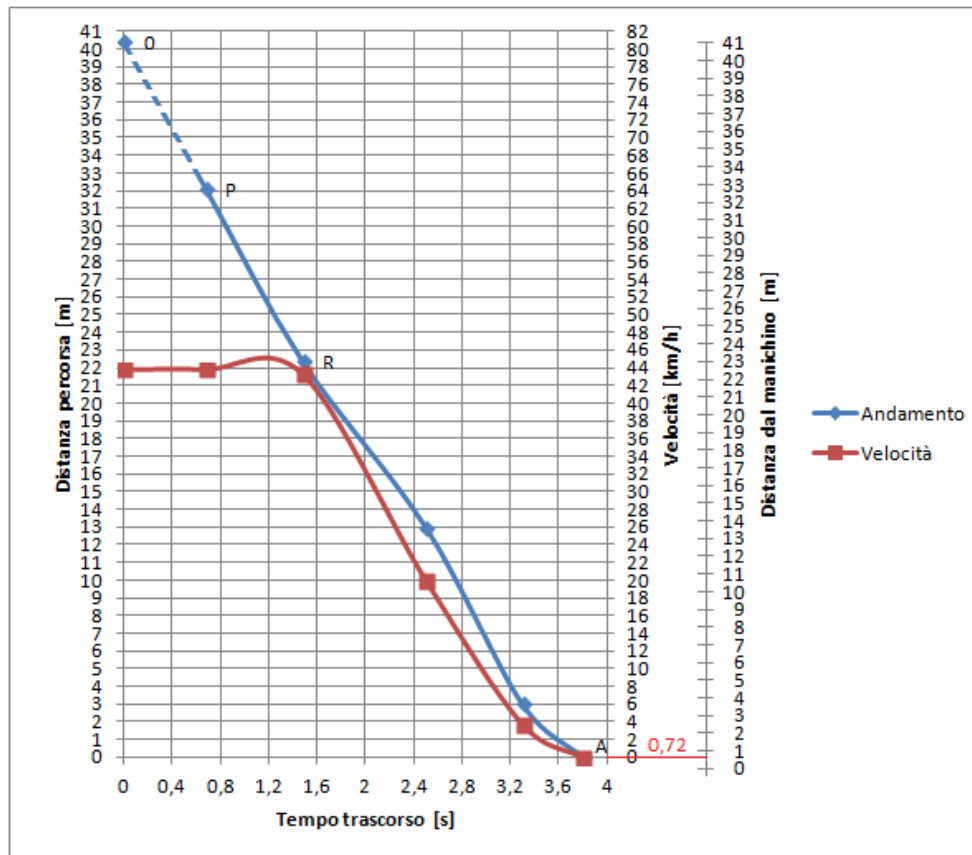


Figura 151. Grafico orientativo Utente 2, prova con manichino posizionato sulla destra della carreggiata.

I valori calcolati per tale prova sono:

- tempo complessivo di percezione e reazione

$$t_{PR} = 1,48 \text{ s}$$

- tempo di frenata

$$t_{stop} = 2,32 \text{ s}$$

- velocità nell'istante di saccade

$$v_p = 43,8 \text{ km/h}$$

- velocità nell'istante di inizio frenata

$$v_R = 43,9 \text{ km/h}$$

- decelerazione media durante la frenata

$$\ddot{d} = 0,535 \text{ g}$$

1.22.2.3 Utente 3

Manichino a destra

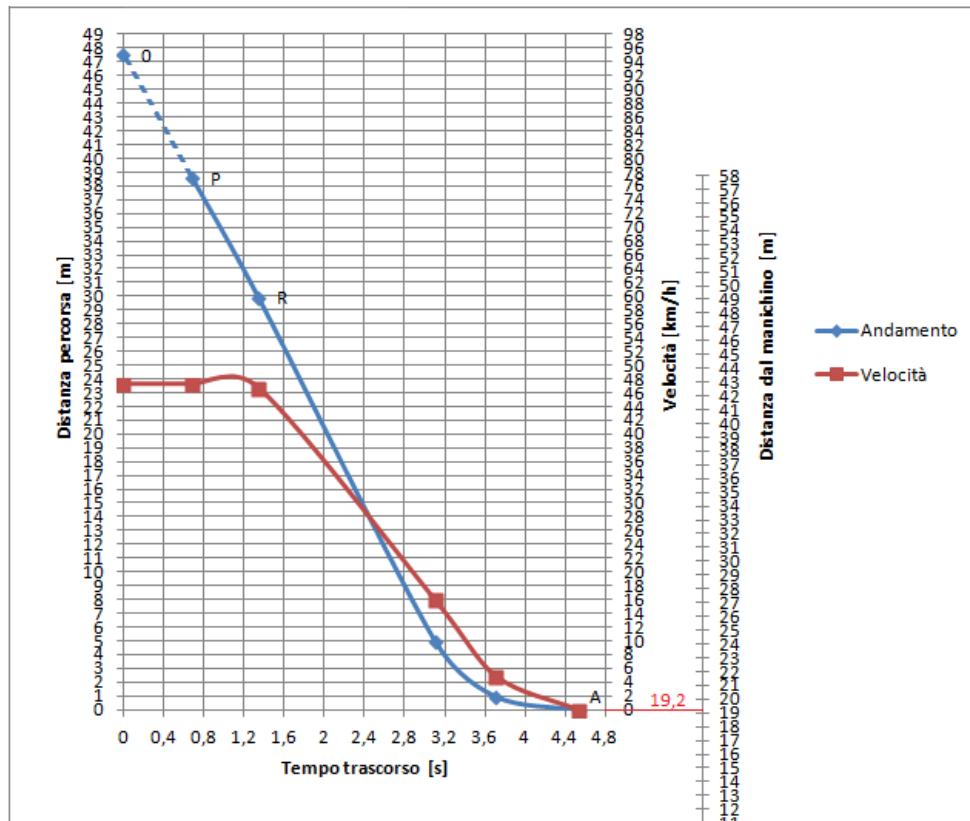


Figura 152. Grafico orientativo Utente 3, prova con manichino posizionato sulla destra della carreggiata.

I valori calcolati per tale prova sono:

- tempo complessivo di percezione e reazione

$$t_{PR} = 1,34 \text{ s}$$

- tempo di frenata

$$t_{stop} = 3,19 \text{ s}$$

- velocità nell'istante di saccade

$$v_p = 47 \text{ km/h}$$

- velocità nell'istante di inizio frenata

$$v_R = 47,3 \text{ km/h}$$

- decelerazione media durante la frenata

$$\bar{d} = 0,419 \text{ g}$$

1.22.2.4 Utente 4

Manichino a destra

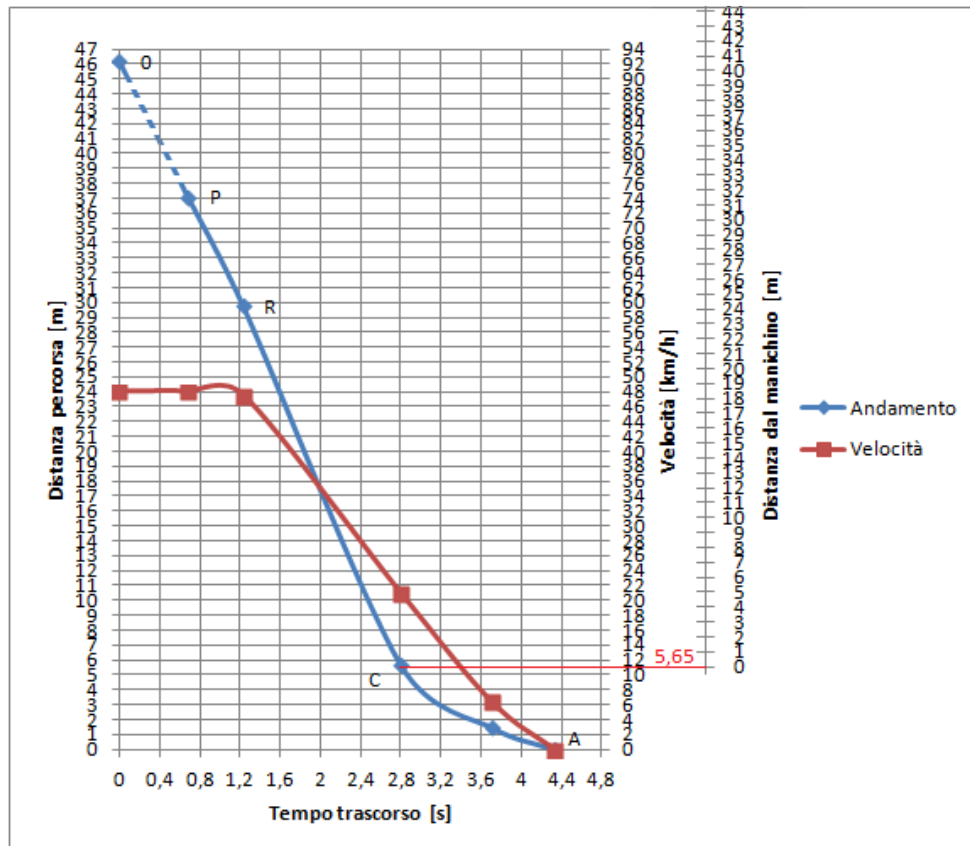


Figura 153. Grafico orientativo Utente 4, prova con manichino posizionato sulla destra della carreggiata.

I valori calcolati per tale prova sono:

- tempo complessivo di percezione e reazione

$$t_{PR} = 1,23 \text{ s}$$

- tempo di frenata

$$t_{stop} = 3,1 \text{ s}$$

- velocità nell'istante di saccade

$$v_p = 46,7 \text{ km/h}$$

- velocità nell'istante di inizio frenata

$$v_R = 48 \text{ km/h}$$

- velocità al momento dell'impatto

$$v_C = 10,85 \text{ km/h}$$

- decelerazione media durante la frenata

$$\bar{d} = 0,438 \text{ g}$$

1.22.2.5 Utente 5

Manichino al centro della carreggiata

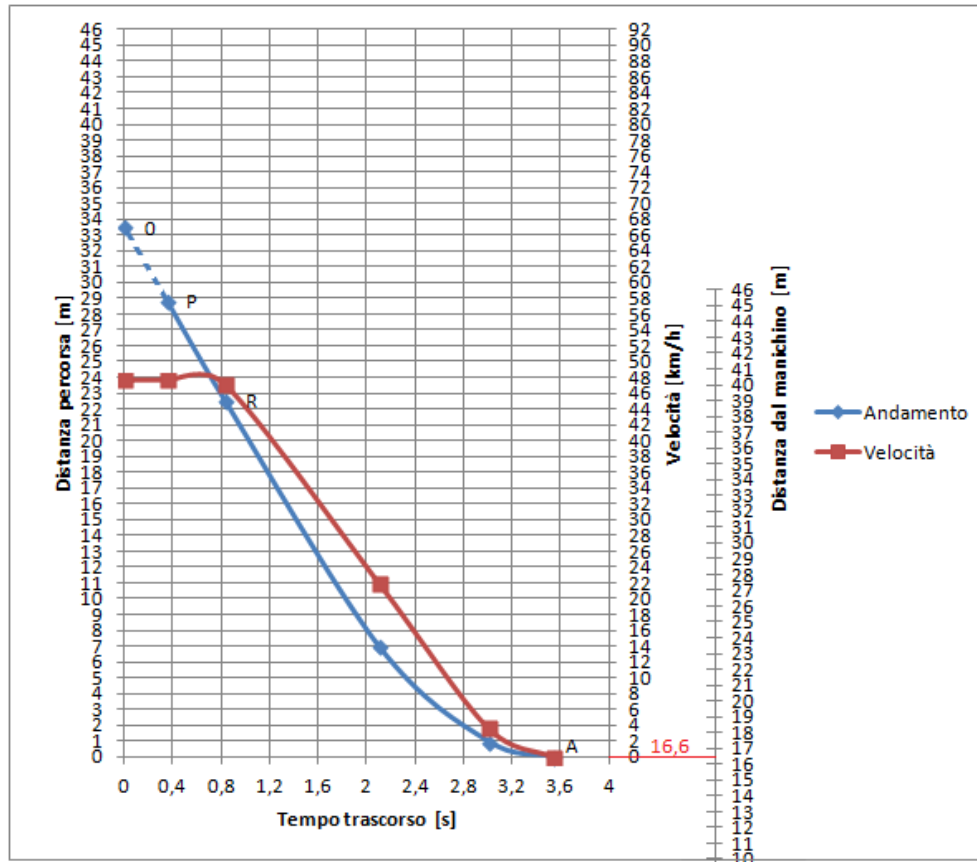


Figura 154. Grafico orientativo Utente 5, prova con manichino posizionato al centro della carreggiata.

I valori calcolati per tale prova sono:

- tempo complessivo di percezione e reazione

$$t_{PR} = 0,83 \text{ s}$$

- tempo di frenata

$$t_{stop} = 2,7 \text{ s}$$

- velocità nell'istante di saccade

$$v_p = 46,5 \text{ km/h}$$

- velocità nell'istante di inizio frenata

$$v_R = 47,6 \text{ km/h}$$

- decelerazione media durante la frenata

$$\ddot{d} = 0,498 \text{ g}$$

Manichino al centro della corsia

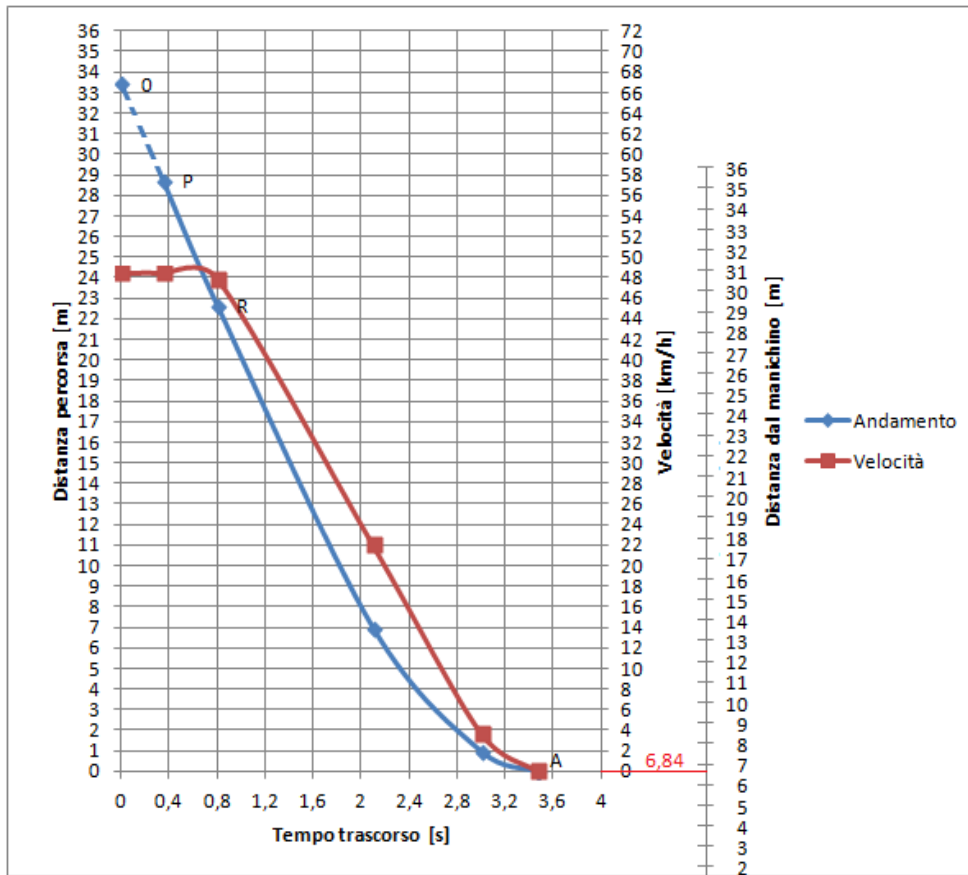


Figura 155. Grafico orientativo Utente 5, prova con manichino posizionato al centro della corsia.

I valori calcolati per tale prova sono:

- tempo complessivo di percezione e reazione

$$t_{PR} = 0,8 \text{ s}$$

- tempo di frenata

$$t_{stop} = 2,67 \text{ s}$$

- velocità nell'istante di saccade

$$v_p = 49 \text{ km/h}$$

- velocità nell'istante di inizio frenata

$$v_R = 48,4 \text{ km/h}$$

- decelerazione media durante la frenata

$$\ddot{d} = 0,513 \text{ g}$$

Manichino a destra

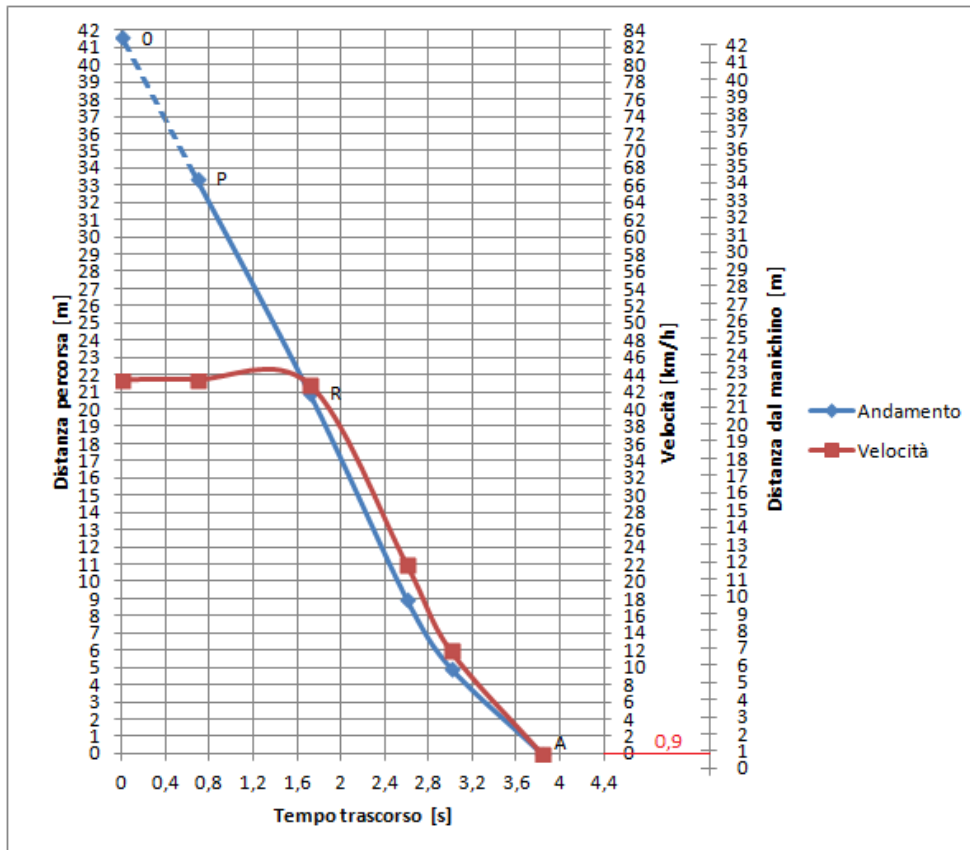


Figura 156. Grafico orientativo Utente 5, prova con manichino posizionato sulla destra della carreggiata.

I valori calcolati per tale prova sono:

- tempo complessivo di percezione e reazione

$$t_{PR} = 1,71 \text{ s}$$

- tempo di frenata

$$t_{stop} = 2,12 \text{ s}$$

- velocità nell'istante di saccade

$$v_P = 44 \text{ km/h}$$

- velocità nell'istante di inizio frenata

$$v_R = 43,38 \text{ km/h}$$

- decelerazione media durante la frenata

$$\ddot{d} = 0,578 \text{ g}$$

Manichino in attraversamento

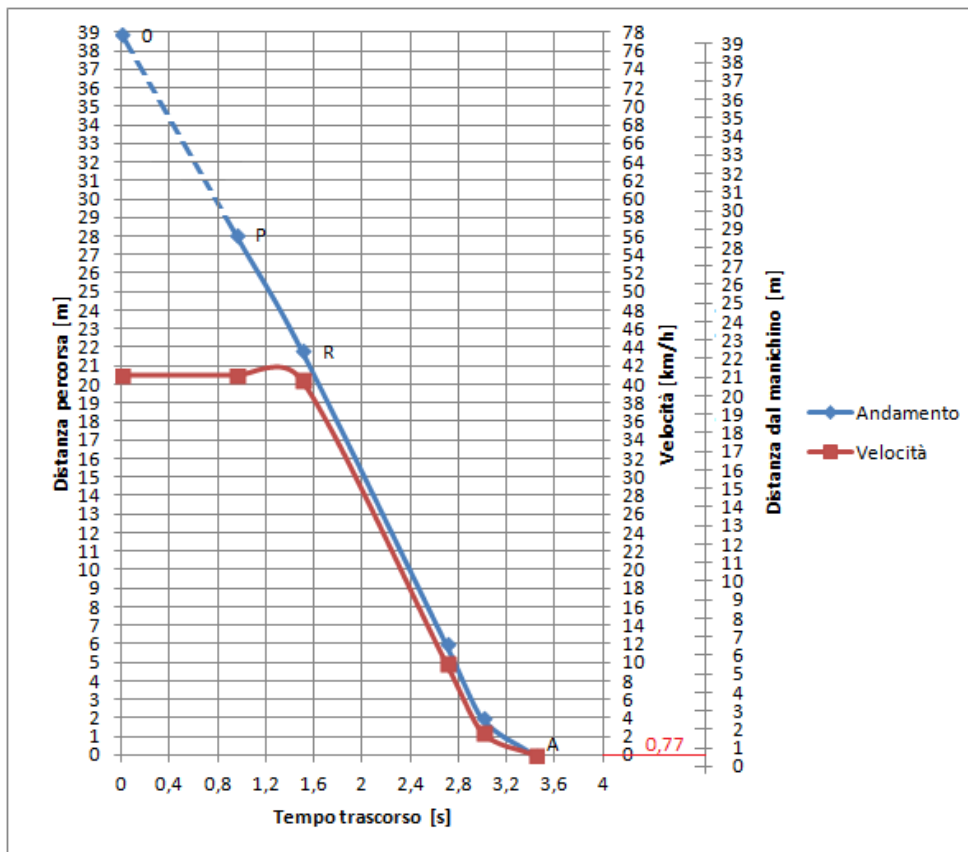


Figura 157. Grafico orientativo Utente 5, prova con manichino in attraversamento.

I valori calcolati per tale prova sono:

- tempo complessivo di percezione e reazione

$$t_{PR} = 1,5 \text{ s}$$

- tempo di frenata

$$t_{stop} = 1,94 \text{ s}$$

- velocità nell'istante di saccade

$$v_p = 41,8 \text{ km/h}$$

- velocità nell'istante di inizio frenata

$$v_R = 40,9 \text{ km/h}$$

- decelerazione media durante la frenata

$$\dot{d} = 0,599 \text{ g}$$

1.22.2.6 Utente 6

Manichino al centro della corsia

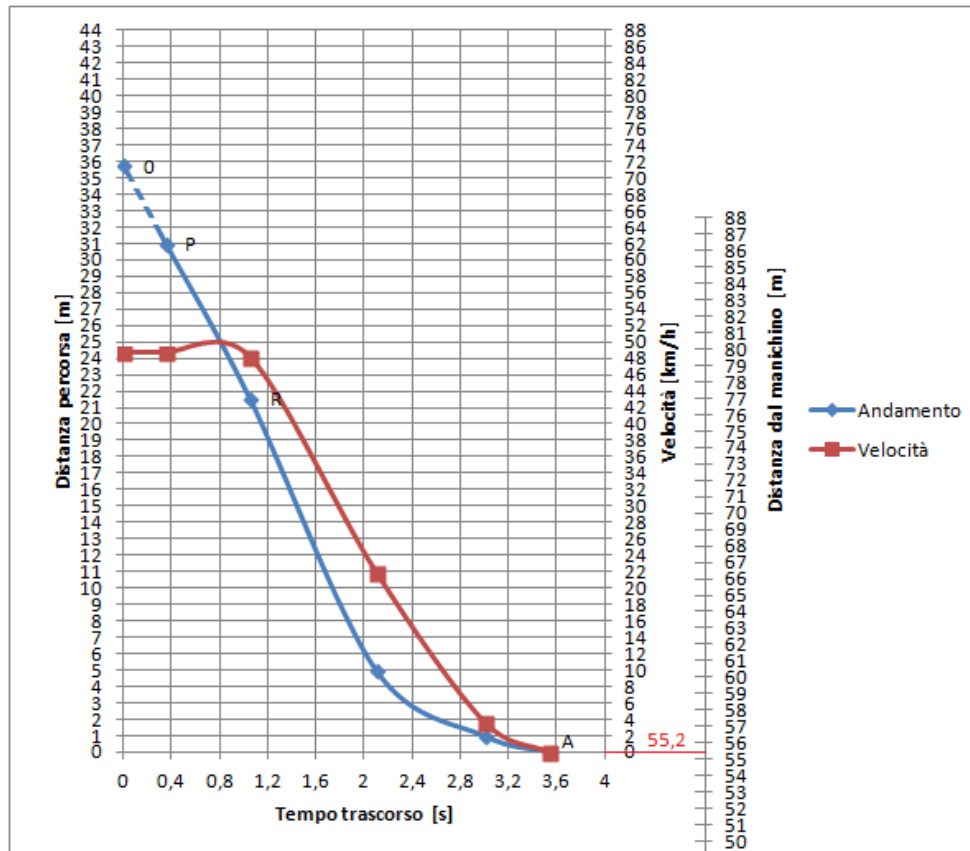


Figura 158. Grafico orientativo Utente 6, prova con manichino posizionato al centro della corsia.

I valori calcolati per tale prova sono:

- tempo complessivo di percezione e reazione

$$t_{PR} = 1,05 \text{ s}$$

- tempo di frenata

$$t_{stop} = 2,48 \text{ s}$$

- velocità nell'istante di saccade

$$v_p = 49 \text{ km/h}$$

- velocità nell'istante di inizio frenata

$$v_R = 48,7 \text{ km/h}$$

- decelerazione media durante la frenata

$$\dot{d} = 0,554 \text{ g}$$

1.22.2.7 Utente 8

Manichino in attraversamento

I valori calcolati per tale prova sono:

- tempo complessivo di percezione e reazione

$$t_{PR} = 1,41 \text{ s}$$

- tempo di frenata

$$t_{stop} = 2,19 \text{ s}$$

- velocità nell'istante di saccade

$$v_p = 41,9 \text{ km/h}$$

- velocità nell'istante di inizio frenata

$$v_R = 41,1 \text{ km/h}$$

- decelerazione media durante la frenata

$$\bar{d} = 0,532 \text{ g}$$

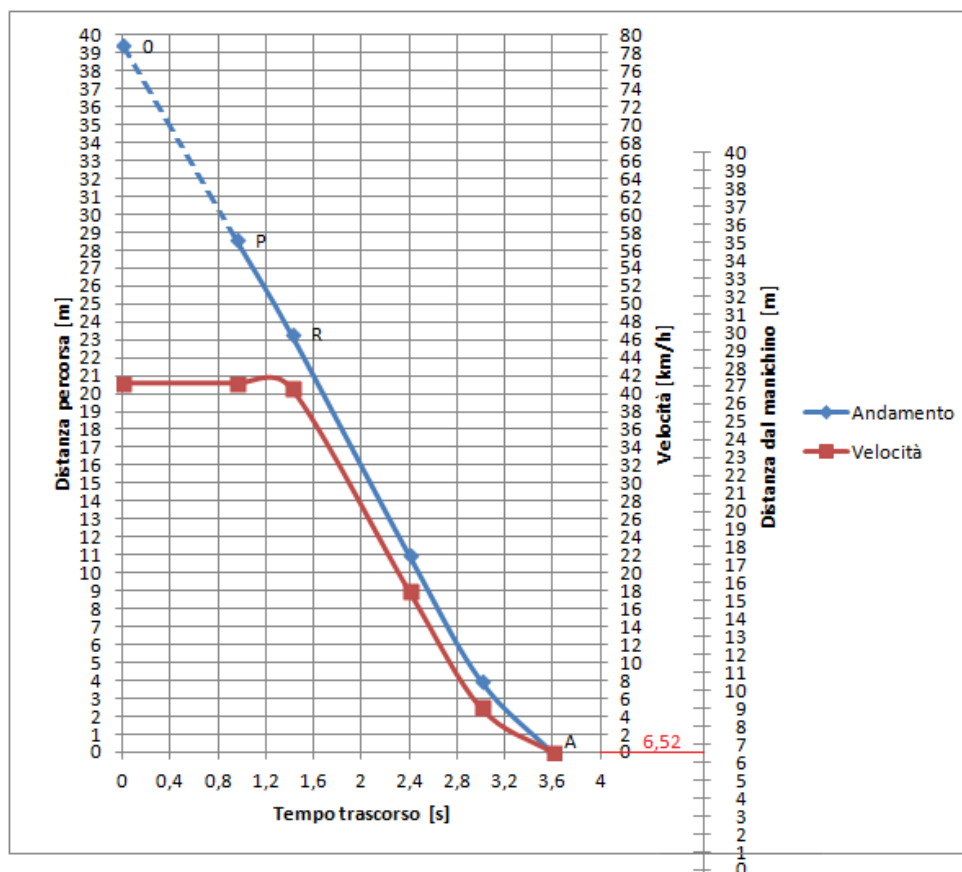


Figura 159: Grafico orientativo Utente 8, prova con manichino in attraversamento.

1.23 ANALISI DEI RISULTATI

Nelle tabelle seguenti sono riassunti i risultati ottenuti per il tempo di sensazione, per il successivo tempo intercorrente tra la saccade e l'inizio della decelerazione, nonché per il tempo complessivo.

E' da precisare che:

- nelle prime due tabelle sono riportati solo i dati materialmente ottenuti nelle prove e validati. Nella tabella riassuntiva, invece, alcuni dati sono stati integrati con valori medi derivanti dalle altre prove condotte;
- la strada in cui sono state condotte le prove offre un basso livello di affordance, non sussistendo né il riferimento della striscia di margine, né attraversamenti pedonali, né segnaletica verticale. Per contro, la strumentazione del veicolo, l'utilizzo del Mobile Eye e le procedure di calibrazione comportano un innalzamento del livello di arousal. I due fattori tendono a controbilanciarsi.

UTENTE	MANICHINO A CENTRO CARREGGIATA	MANICHINO A CENTRO CORSIA	MANICHINO A DESTRA	ATTRAVERSAMENTO
1		0,30		0,54
2		0,40		0,51
3				1,17
4				1,05
5				
6			0,68	1,50
7	0,38	0,38	0,65	0,95
8	0,32	0,32	0,66	
9		0,33		0,80
10			0,71	1,10
Media	0,35	0,35	0,68	0,95

Tabella 19. Tempi di sensazione in secondi.

UTENTE	MANICHINO A CENTRO CARREGGIATA	MANICHINO A CENTRO CORSIA	MANICHINO A DESTRA	ATTRAVERSAMENTO
1		0,61	0,57	0,77
2		0,60	0,80	0,66
3			0,66	0,37
4			0,55	0,35
5	0,48	0,45	1,03	0,55
6		0,70	0,43	0,53
7	0,45	0,60	0,60	0,60
8	0,50	0,56	0,67	0,46
9		0,60		0,64
10			0,70	0,48
Media	0,48	0,59	0,67	0,54

Tabella 20: Tempi tra la saccade e l'inizio della decelerazione, in s.

UTENTE	MANICHINO A CENTRO CARREGGIATA	MANICHINO A CENTRO CORSIA	MANICHINO A DESTRA	ATTRAVERSAMENTO
1		0,91	1,25*	1,31
2		1,00	1,48*	1,17
3			1,34*	1,54
4			1,23*	1,40
5	0,83*	0,80*	1,71*	1,50*
6		1,05*	1,11	2,03
7	0,83	0,98	1,25	1,55
8	0,82	0,88	1,33	1,41*
9		0,93		1,44
10			1,41	1,58
Media	0,83	0,94	1,35	1,49

Tabella 21: Tempi di percezione e reazione complessivi, in s.

Nota. I tempi contrassegnati da asterisco sono quelli con tempo di sensazione non rilevato sperimentalmente.

Come prevedibile, il tempo di percezione e reazione tende ad aumentare all'allontanamento del manichino dal centro della carreggiata, andando verso il lato destro della corsia e raggiungendo valori massimi in condizioni dinamiche (attraversamento).

Tali dati convergono con il valore medio di 1,5 s emerso da una analisi comparativa (Green, 2000) relativa ad un oggetto che si muova improvvisamente dall'esterno verso l'interno della corsia impiegata dal conducente, come nel caso di attraversamento.

Vediamo i dati raccolti nelle tabelle, attraverso degli istogrammi:

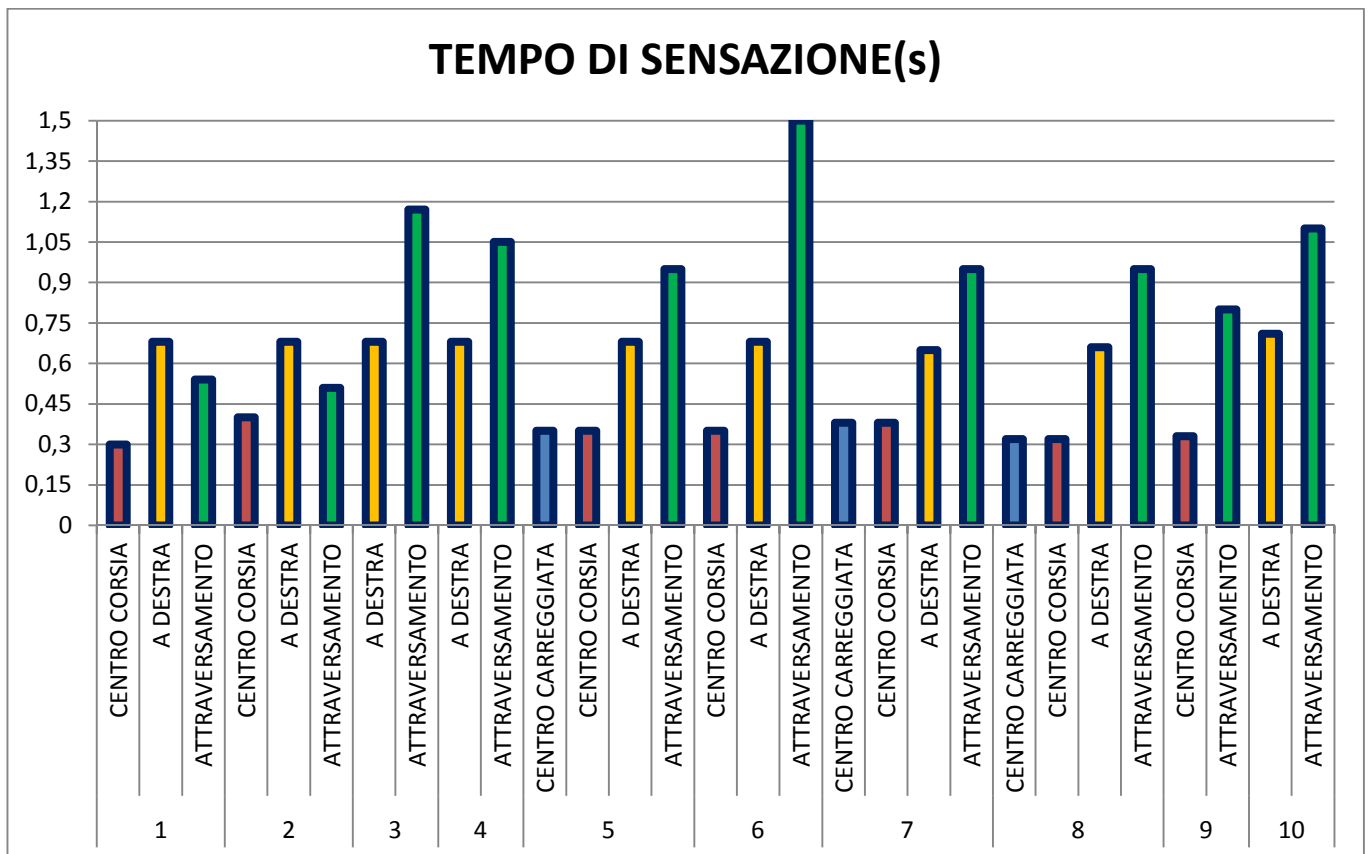


Figura 160. Analisi dei risultati.

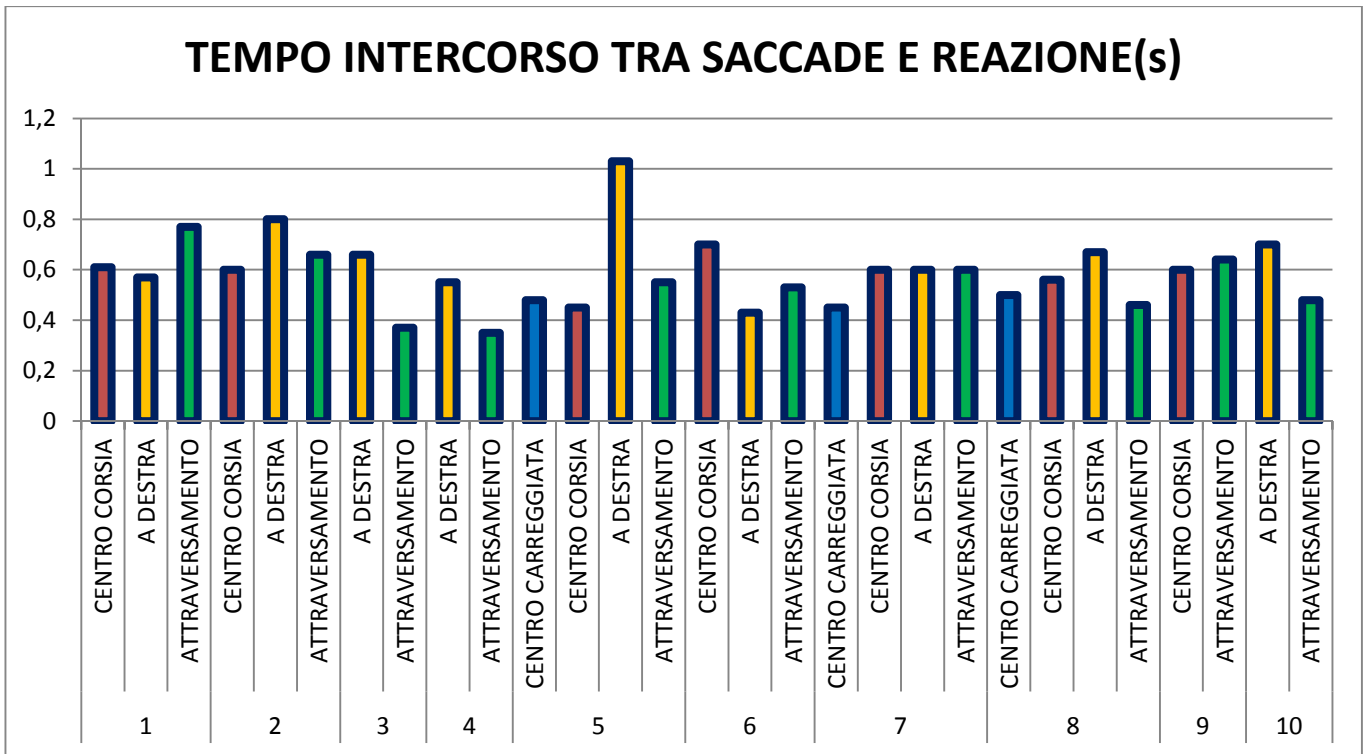


Figura 161. Analisi dei risultati.

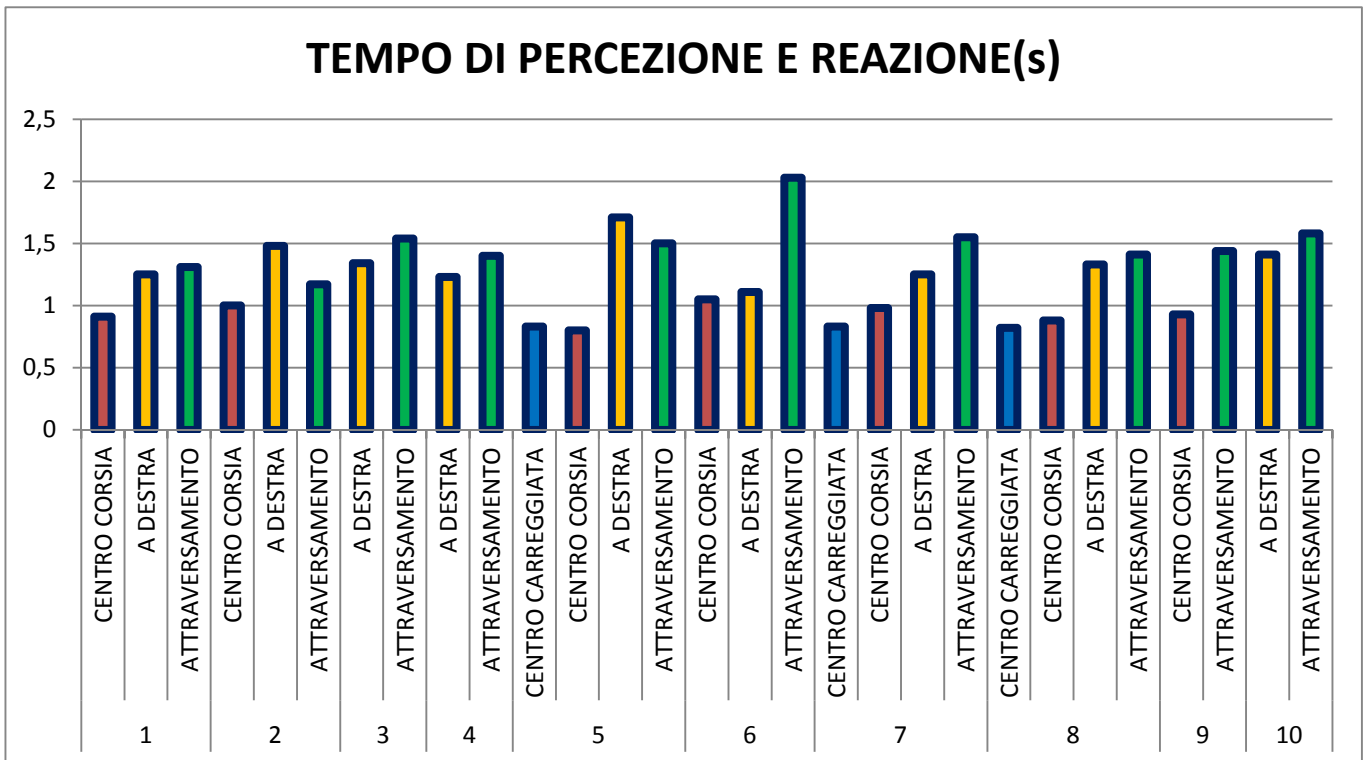


Figura 162. Analisi dei risultati.

Dai dati raccolti emerge che:

- il caso più critico è quello dovuto all'**attraversamento** del manichino, in quanto inizialmente al di fuori della carreggiata, quindi percepito dopo rispetto ai casi con ostacolo già presente in carreggiata; più precisamente, si dilata il tempo relativo alla “sensazione”, ovvero dalla comparsa dell'ostacolo alla risposta allo stimolo visivo dettata dallo spostamento dell'occhio;
- il tempo intercorso tra la percezione dell'ostacolo e il concretizzarsi della reazione **diminuisce** all'aumentare della pericolosità e/o dell'imminenza del pericolo: nei casi in cui il manichino è stato avvistato a distanze minori di 20 m, i tempi intercorsi tra la saccade e l'inizio della decelerazione sono risultati inferiori rispetto agli altri casi; quindi un pericolo imminente genera una risposta più tempestiva e istintiva ma meno coordinata.

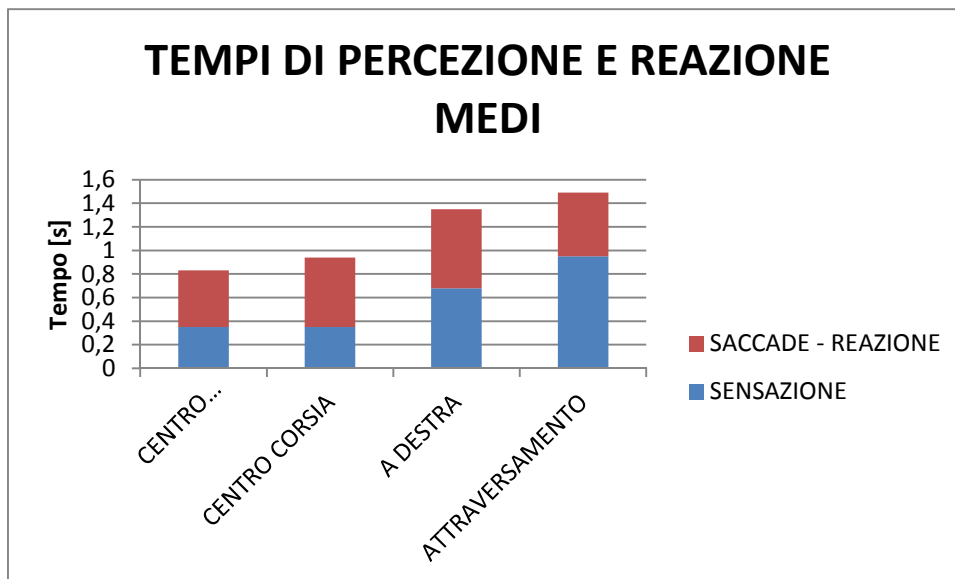


Figura 163. Analisi dei risultati.

Nota. Valori medi dei tempi di percezione e reazione nelle 4 condizioni esaminate nel corso dei test.

Dal precedente grafico, ove sono riportati i valori medi risultanti nelle 4 condizioni esaminate, emerge che il tempo complessivo risulta essere più elevato nei casi in cui il manichino si trova al margine destro della corsia o sia al di fuori della carreggiata. Notiamo che il tempo intercorso tra la saccade e il concretizzarsi della reazione nel caso di

ATTRAVERSAMENTO è minore rispetto agli altri casi, poiché in tale situazione si ha una percezione del pericolo ritardata rispetto agli altri casi.

Possiamo analizzare i risultati trovati divisi per categorie di utenti:

- CONDUCENTI GIOVANI E CONDUCENTI ADULTI:

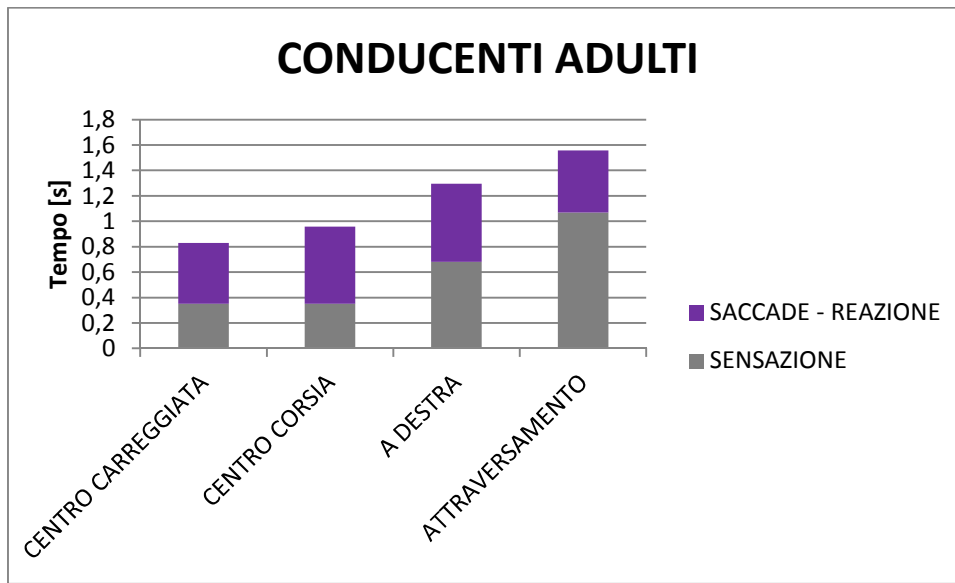


Figura 164. Analisi dei risultati.

NOTE: I giovani sono gli utenti di età inferiore a 35 anni.

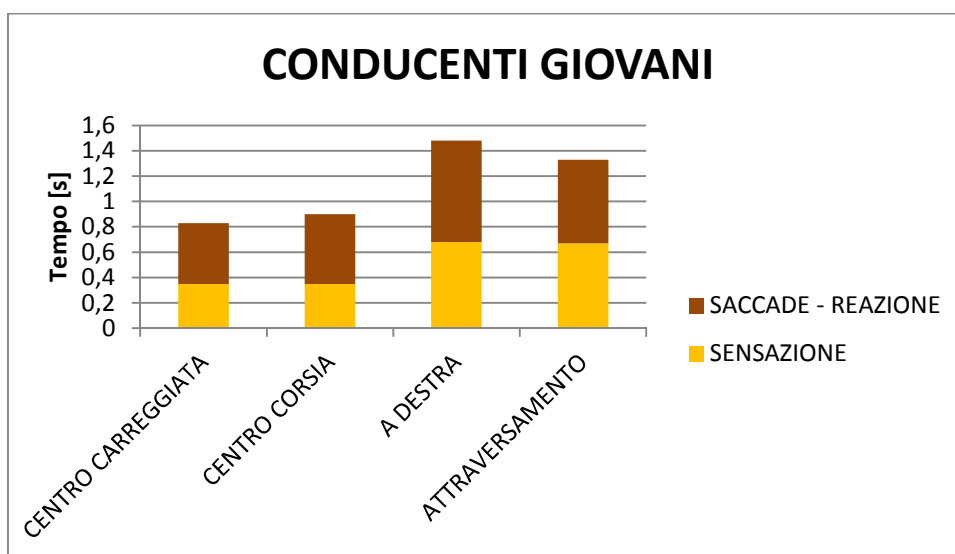


Figura 165. Analisi dei risultati.

NOTE: I giovani sono gli utenti di età inferiore a 35 anni .

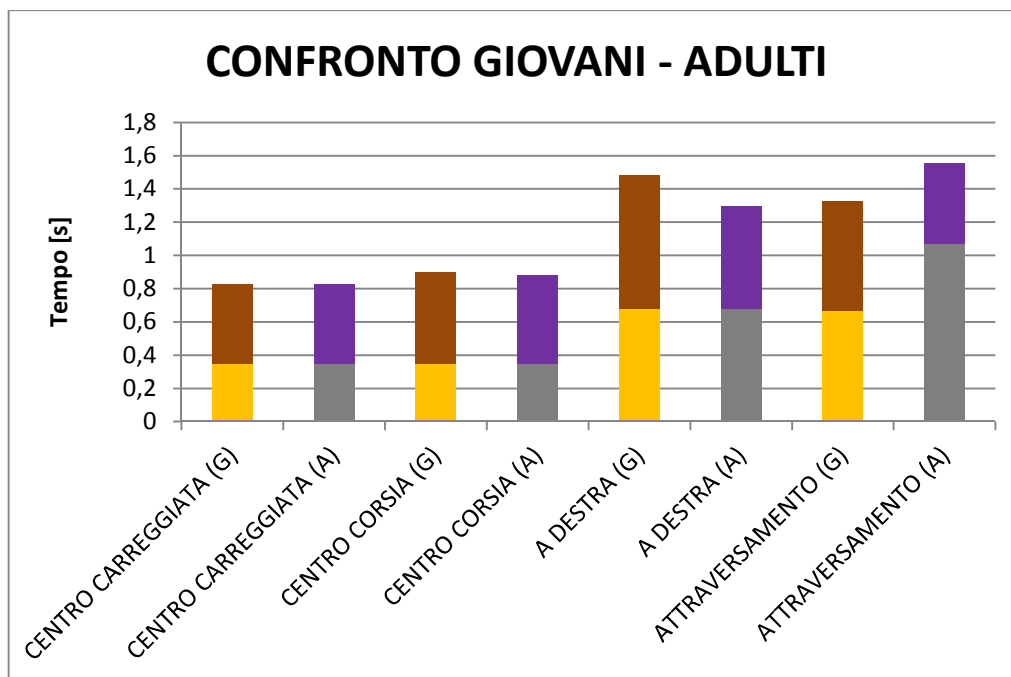


Figura 166. Analisi dei risultati.

NOTE: I giovani sono gli utenti di età inferiore a 35 anni. Nel grafico sono posti a confronto diretto i tempi di percezione e reazione degli utenti giovani e degli utenti adulti, per apprezzarne meglio le differenze.

Dai grafici precedenti, ove si sono confrontati i conducenti giovani (G) e adulti (A), si evince che:

- nel caso di manichino in ATTRAVERSAMENTO il tempo di sensazione dei conducenti più anziani è nettamente maggiore di quello rilevato per i soggetti più giovani, da cui ne deriva un tempo totale di percezione reazione più alto.
- nel caso di manichino fermo a destra della corsia di marcia il risultato è inverso, ovvero sono i conducenti più giovani a far rilevare un tempo di percezione e reazione totale maggiore rispetto agli adulti, in particolare si ha un tempo intercorso tra la saccade e il concretizzarsi della manovra maggiore.

Probabilmente il dato emerso per quanto riguarda la reazione all'ostacolo fermo a destra della corsia di marcia è dovuto al fatto che i conducenti

giovani hanno impiegato più tempo per decidere con quale tipo di manovra rispondere all'imprevisto.

I giovani hanno dimostrato maggiore attitudine ad avvistare il manichino che si appresta ad attraversare. Questo elemento potrebbe essere ricondotto alla vista più performante e/o dinamica dei soggetti più giovani, o anche al fatto che i conducenti giovani (con minore esperienza), tendono a focalizzare la loro attenzione su una zona più ampia rispetto alla sola carreggiata.

- CONDUCENTI DONNE E CONDUCENTI UOMINI:

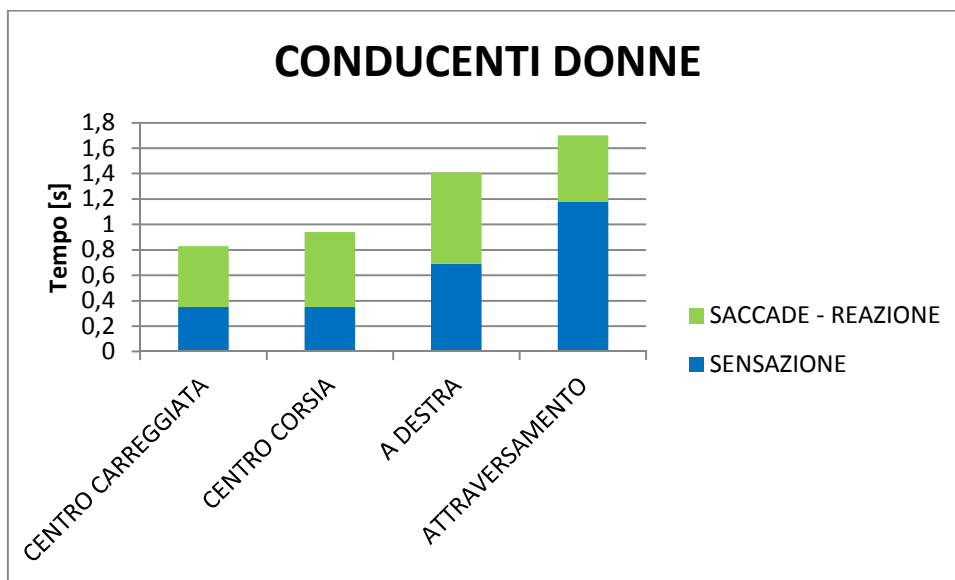


Figura 167. Analisi dei risultati.

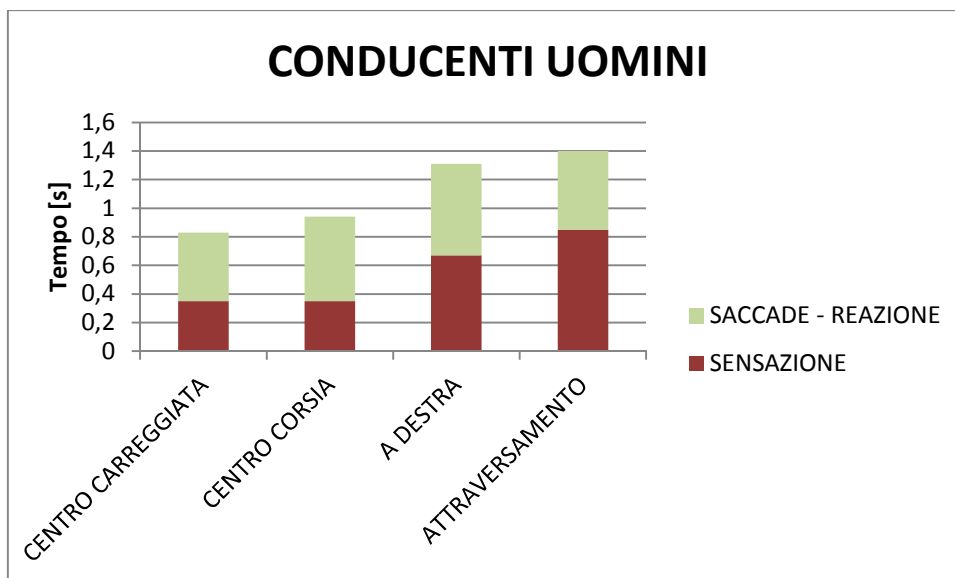


Figura 168. Analisi dei risultati.

Dalla successiva figura (fig.169) notiamo che in tutte le situazioni (CENTRO CARREGGIATA, CENTRO CORSIA, A DESTRA, ATTRAVERSAMENTO), i valori medi dei tempi misurati, risultano essere più alti per le conducenti donne. La differenza tra i due gruppi è molto evidente in particolar modo nelle situazioni di manichino A DESTRA e manichino in ATTRAVERSAMENTO.

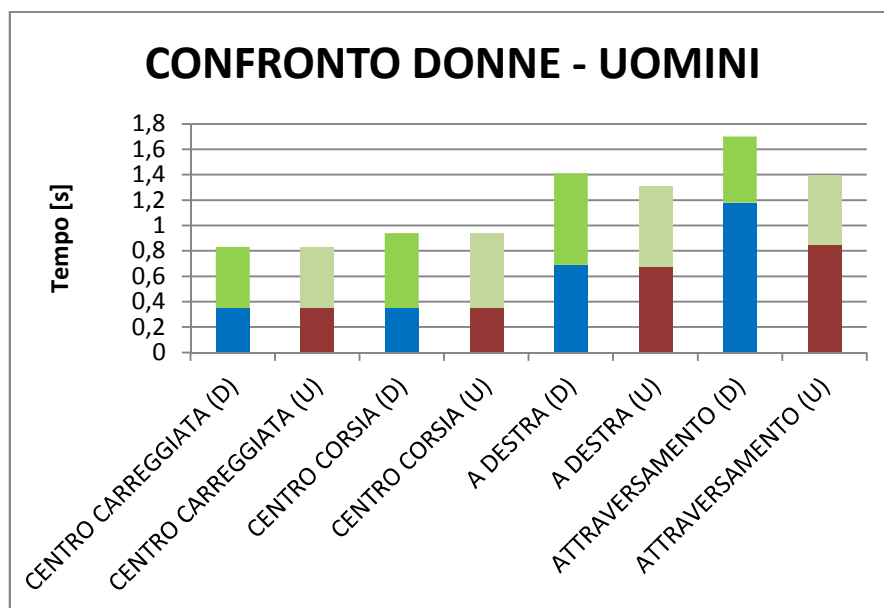


Figura 169. Analisi dei risultati.

CONCLUSIONI

Nel presente elaborato si sono illustrati gli esiti di una campagna prove sperimentale, finalizzata allo studio dell'avvistabilità degli utenti deboli della strada nelle condizioni maggiormente critiche (orario notturno, assenza di pubblica illuminazione, abiti di colore scuro).

Il numero di prove eseguite è stato necessariamente limitato per via della scelta di eseguire prove pratiche sul campo, tuttavia i dati emersi hanno consentito un'analisi del fenomeno. I valori medi emersi nel corso delle prove sono affini con i dati di letteratura già validati.

Dall'analisi dei dati emerge la stretta correlazione tra il tempo di totale di percezione-reazione e carico cognitivo del conducente, *affordance* di frenata della strada percorsa e grado di *arousal* del conducente. A parità di altri fattori, i risultati presentano una certa variabilità in funzione della posizione dell'ostacolo, in particolare si conferma che, qualora l'ostacolo si trovi in posizione più defilata rispetto alla visione centrale, il tempo totale di percezione - reazione tende a dilatarsi.

Si è inoltre riscontrato che all'aumentare della distanza di primo avvistamento dell'ostacolo si ha un incremento del tempo complessivo di percezione e reazione in quanto la risposta tende ad avere meno il carattere dell'impellenza. Al contrario in caso d'impatto imminente il tempo intercorso fra la saccade e la l'inizio della decelerazione del veicolo è ridotto e si assiste a una manovra di emergenza maggiormente istintiva, meno precisa ma più vigorosa.

Il presente lavoro ha fornito elementi utili a comprendere il pericolo derivante dall'interazione tra automobilisti ed utenti deboli, specialmente se vestiti con abiti dal cromatismo scuro, in strade sprovviste di illuminazione pubblica.

Durante la guida in assenza di luce naturale, la mancanza di una profondità di visione ambientale (a causa della ridotta potenza dei proiettori, necessaria per non incorrere nell'abbagliamento dei veicoli contro provenienti), riduce il tempo esistente fra il potenziale avvistamento dell'ostacolo e l'incrocio

delle traiettorie. Ciò determina un significativo innalzamento del rischio di sinistro in caso insufficiente attenzione alla guida da parte del conducente del veicolo, che comporta un innalzamento del tempo di sensazione.

Anche in caso di guida attenta, a volte il contatto è inevitabile, dal momento che la scarsa illuminazione e gli indumenti scuri dell'utente debole rendono difficile la percezione dello stesso in tempo utile ad evitarlo qualora non si tenga un'andatura particolarmente moderata: questo risultato è particolarmente evidente nel caso dell'attraversamento dell'ostacolo, in quanto la sua posizione iniziale molto defilata rispetto alla visione centrale comportava un rilevante prolungamento del tempo di sensazione.

Il caso ancor più critico rispetto a quello analizzato si verifica quando, oltre alle condizioni già descritte, fosse stata presente un'autovettura controproveniente a quella sulla quale stesse viaggiando l'utente test. In tal caso infatti, l'utente del test, avrebbe focalizzato maggiormente la sua attenzione sull'altro veicolo, concentrandosi di meno sull'eventuale presenza di un utente debole in carreggiata, determinando così un'inevitabile aumento del tempo di sensazione.

E' evidente che l'utilizzo dei dispositivi ausiliari luminosi e catarinfrangenti per gli utenti deboli che percorrono una strada priva di illuminazione pubblica è di fondamentale importanza per la sicurezza degli individui stessi.

BIBLIOGRAFIA

- Ufficio di statistica, Servizio Studi per la programmazione, 2015, *GLI INCIDENTI STRADALI NELL'AREA METROPOLITANA DI BOLOGNA, ANNO 2014 (dati provvisori)*
- Istat, "Incidenti stradali in Italia – anno 2013"
- Fruhen, L., & Flin, R., 2015, Car driver attitudes, perceptions of social norms and aggressive driving behaviour towards cyclists, *Accident Analysis and Prevention* 83, 162–170
- Summala, H., Pasanen, E., Räsänen, M., e Sievänen, J., 1996, Bicycle accidents and drivers' visual search at left and right turns. *Accident Analysis and Prevention* 28, n° 2, 147-153
- Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, 2014, *Istruzioni Tecniche per la progettazione delle reti ciclabili*
- Micucci, A., Zito, A., 2014, Analisi sperimentale della circolazione del ciclista, *Convegno ASAIS*
- Galatola, E., 2015, Sicurezza stradale e mobilità dell'utenza non motorizzata, *Quaderni del Centro Studi FIAB Riccardo Gallimbeni*, vol. 8.
- Virginio Rivano, 2009 *Ricostruzione della dinamica degli incidenti stradali: le indagini*, Firenze University Press
- Green, M., 2000, "How Long Does It Take to Stop?" Methodological Analysis of Driver Perception-Brake Times, *TRANSPORTATION HUMAN FACTORS*, 2(3), 195–216
- Huestegge, L., Skottke, E., Anders, S., Müsseler, J., e Debus, G., 2010, The development of hazard perception: Dissociation of visual orientation and hazard processing, *Transportation Research Part F*, 13, 1–8
- Biermann, A., Skottke, E.-M., Anders, S., Brünken, R., Debus, G., & Leutner, D., 2008, Entwicklung und Überprüfung eines Wirkungsmodells: Eine Quer- und Längsschnittstudie, in: G. Debus, E.-M. Skottke, D. Leutner, R. Brünken & A. Biermann (Eds.), *Wirkungsanalyse und Bewertung der neuen Regelungen im Rahmen der Fahrerlaubnis auf Probe (Berichte der*

Bundesanstalt für Straßenwesen, Issue M 194, pp. 46–111).
Wirtschaftsverlag NW: Bremerhaven

- Recarte, M., & Nunes, L., 2003, Mental Workload While Driving: Effects on Visual Search, Discrimination, and Decision Making, *Journal of Experimental Psychology: Applied*, Vol. 9, No. 2, 119–137
- Basford, L., Reid, S., Lester, T., (TRL Limited), and Thomson, J., Tolmie, A. (University of Strathclyde), 2002, Drivers' perceptions of cyclists Prepared for Charging and Local Transport Division, Department for Transport, *TRL Report TRL549*
- Jacobsen, P. L., 2003, Safety in numbers: more walkers and bicyclists, safer walking and bicycling, *Injury Prevention* ;9:205–209
- Johnson, M., Oxley, J., Newstead, S., Charlton, J., 2014, Safety in numbers? Investigating Australian driver behaviour, knowledge and attitudes towards cyclists, *Accident Analysis and Prevention* 70, 148–154
- Summala, H., 2000, Brake Reaction Times and Driver Behavior Analysis, *Transportation human factors*, 2(3), 217–226
- McEvoy, S.P., Stevenson, M.R., McCartt, A.T., Woodward, M., Haworth, C., Palamara, P., Cercarelli, R., 2005. Role of mobile phones in motor vehicles crashes resulting in hospital attendance: a case-crossover study. *Br. Med. J.*
- Harbluk, J., Ian Noy, Y., Trbovich, P., Eizenman, M., 2007, An on-road assessment of cognitive distraction: Impacts on drivers' visual behavior and braking performance, *Accident Analysis and Prevention* 39, 372–379
- Crundall, D., & Underwood, G., 1998. Effects of experience and processing demands on visual information acquisition in drivers, *Ergonomics*, Vol. 41, N°. 4, 448 - 458
- Underwood, G., Chapman, P., Brocklehurst, N., Underwood, J., e Crundall, D., 2003, Visual attention while driving: sequences of eye fixations made by experienced and novice drivers, *Ergonomics*, vol. 46, no. 6, 629 – 646

- Reyes, M., & Lee, J., 2008. Effects of cognitive load presence and duration on driver eye movements and event detection performance, *Transportation Research Part F 11*, 391–402
- Kaber, D., Liang, Y., Zhang, Y., Rogers, M., Gangakhedkar, S., 2012, Driver performance effects of simultaneous visual and cognitive distraction and adaptation behavior, *Transportation Research Part F 15*, 491–501
- Weina Qu, Huihui Zhang, Wenguo Zhao, Kan Zhang, Yan Ge, 2016, The effect of cognitive errors, mindfulness and personality traits on pedestrian behavior in a Chinese sample. *Transportation Research Part F 41*, 29-37
- Brookhuis, K. A., de Vries, G., & de Waard, D., 1991, The effects of mobile telephoning on driving performance. *Accident Analysis & Prevention*, 23, 309–316
- Boris Antic, Dalibor Pešić, Nenad Milutinovic, Marko Maslac, 2016, Pedestrian behaviours: Validation of the Serbian version of the pedestrian behaviour scale. *Transportation Research Part F 41*, 170–178
- Lamble, D., Kauranen, T., Laakso, M., & Summala, H., 1999, Cognitive load and detection thresholds in car following situations: Safety implications for using mobile (cellular) telephones while driving. *Accident Analysis & Prevention*, 31, 617–623
- Joanne M. Wood, Richard A. Tyrrell, and Trent P. Carberry, 2002, Pedestrian Visibility at Night: Effects of Pedestrian Clothing, Driver Age, and Headlamp Beam Setting. *Presentation at the 2003 Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C*
- David e. Crundall ,Geoffrey Underwood, 1998, Effects of experience and processing demands on visual information acquisition in drivers. *Ergonomics*, vol. 41, no. 4, 448 – 458
- David e. Crundall ,Geoffrey Underwood, Peter Chapman, Neil Brocklehurst, Jean Underwood, 2003, Visual attention while driving: sequences of eye fixations made by experienced and novice drivers. *Ergonomics*, VOL. 46, NO. 6, 629 – 646

- Nils Lubbe, Erik Rosén, 2014, Pedestrian crossing situations: Quantification of comfort boundaries to guide intervention timing. *Accident Analysis and Prevention* 71, 261-266
- Joanne L. Harbluk, Y. Ian Noy, Patricia L. Trbovich, Moshe Eizenman, 2007, An on-road assessment of cognitive distraction: Impacts on drivers' visual behavior and braking performance. *Accident Analysis and Prevention* 39, 372-379
- Joanne M. Wood, Richard A. Tyrrell, Ralph Marszalek, Philippe Lacherez, Trent Carberry, 2013, Bicyclists overestimate their own night-time conspicuity and underestimate the benefits of retroreflective markers on the moveable joints. *Accident Analysis and Prevention* 55, 48-53
- Joanne M. Wood, Richard A. Tyrrell, Ralph Marszalek, Philippe Lacherez, Trent Carberry, Byoung Sun Chu, 2012, Using reflective clothing to enhance the conspicuity of bicyclists at night. *Accident Analysis and Prevention* 45, 726-730
- Juha Luoma, Merja Penttinen, 1998, Effects of experience with retroreflectors on recognition of nighttime pedestrians: comparison of driver performance in Finland and Michigan. *Transportation Research Part F* 1, 47-58
- Alm, H., & Nilsson, L., 1995, The effects of a mobile telephoning task on driver behaviour in a car following situation, *Accident Analysis & Prevention*, 21, 707-715
- Walker I., & Brosnan, M, 2007. Drivers' gaze fixations during judgements about a bicyclist's intentions, *Transportation Research Part F*, 10, 90-98
- Walker, I., 2005, Road users' perceptions of other road users: do different transport modes invoke qualitatively different concepts in observers?, *Advances in Transportation Studies an international Journal* Section A 6
- Despina Stavrinou , Peyton R. Mosley, Shannon M. Wittig, Haley D. Johnson, John S. Decker, Virginia P. Sisiopiku, Sharon C. Welburn, 2016,

Visual behavior differences in drivers across the lifespan: A digital billboard simulator study. *Transportation Research Part F* 41, 19–28

- Hiroshi Makishita, Katsuya Matsunaga, 2008, Differences of drivers' reaction times according to age and mental workload. *Accident Analysis and Prevention* 40, 567–575

- Wood, J., Lacherez, P., Marszalek, R., King, M., 2009, Drivers' and cyclists' experiences of sharing the road: Incidents, attitudes and perceptions of visibility, *Accident Analysis and Prevention* 41, 772–776

- Dollisson, J., Cox, W., Zheng, Z., 2013. Comparison of Motorists' and Cyclists' perception of bicycle safety. In *36th Australasian Transport Research Forum (ATRF) Annual Conference*, 2 - 4 October 2013, QUT Gardens Point, Brisbane, Australia

- Phillips, R. O., Fyhri, A., & Sagberg, F., 2011, Risk compensation and bicycle helmets, *Risk Analysis: An Official Publication Of The Society For Risk Analysis*, 31(8), 1187-1195

- Fyhri, A., Bjørnskau, T., & Backer-Grøndahl, A., 2012, Bicycle helmets – A case of risk compensation? *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 15(5), 612-624

- Walker, I., 2007, Drivers overtaking bicyclists: Objective data on the effects of riding position, helmet use, vehicle type and apparent gender, *Accident Analysis & Prevention*, 39(2), 417-425

- Lawson, A., Pakrashi, V., Ghosh, B., Szeto, W. Y., 2013, Perception of safety of cyclists in Dublin City, *Accident Analysis and Prevention* 50, 499–511

- Herslund, M., Jørgensen, N., 2003, Looked-but-failed-to-see-errors in traffic, *Accident Analysis and Prevention* 35, 885–891

- Mourant, R.R., Rockwell, T., 1972. Strategies of visual search by novice and experienced drivers, *Hum.Factors* 14, 325–335

- Langham, M., Hole, G., Land, M., 1998. Looking and failing to see error. The cost of experience? *School of Cognitive and Computing Sciences. Sussex Centre for Neuroscience, University of Sussex, Brighton*
- Redelmeier, D. A., Tibshirani, R. J., 1997, Association between cellular-telephone calls and motor vehicle collisions, *N Engl J Med.* 1997 Feb 13;336(7):453-8
- Yarbus, A. L., 1967, *Eye Movements and Vision*, New York: Plenum
- Vangi, D., 2008, *Ricostruzione della dinamica degli incidenti stradali. Principi e applicazioni*, Firenze University Press
- A. Micucci; M. Strangi, *La ricostruzione cinematica dell'incidente stradale, elementi utili e necessari alla ricostruzione cinematica, aspetti critici ed errori di rilevazione*, in: Atti del Convegno OMICIDIO E LESIONI STRADALI, 2016, pp. 1 - 15 (atti di: Le giornate della Polizia Locale - Omicidio e lesioni stradali - Svolta epocale, rapporti, aspetti dottrinali, operativi e procedurali nell'attività di rilevamento., Riccione, 16/09/2016) [Contributo in Atti di convegno]
- A. Micucci; M. Strangi, *Prove di avvistabilità degli utenti deboli della strada in condizioni dinamiche*, in: AA.VV., Atti del XXVII CONVEGNO NAZIONALE ASAIS-EVU, Forlì, EGAF, 2016, pp. 1 - 20 (atti di: AVVISTAMENTO NOTTURNO - TECNICHE DI INDAGINE / DATI EDR PER LA RICOSTRUZIONE DEGLI INCIDENTI STRADALI, Bologna, 11/06/2016) [Contributo in Atti di convegno]
- A. Micucci; M. Strangi, *L'utilizzo degli smartphone nella rilevazione della decelerazione degli autoveicoli*, in: Vari, Diritto e Tecnica della circolazione stradale e assicurazione RCA, ROMA, STUDIO MARCON, 2013, pp. 60 - 68 [capitolo di libro]
- A. Micucci; M. Strangi, *Determinazione sperimentale del tempo tecnico e della decelerazione in frenate d'emergenza*, in: Raccolta atti convegno Asais 2012, MILANO, ASAIS, 2012, pp. 1 - 18 (atti di: XII Convegno Nazionale ASAIS - EVU, Bologna, 01/12/2012) [Contributo in Atti di convegno]

Normativa di riferimento

- Automobile Club d'Italia, 2015, *Parco veicolare*, aggiornato al 31/12/2014
- Art. 68. Caratteristiche costruttive e funzionali e dispositivi di equipaggiamento dei velocipedi. "Nuovo codice della strada", decreto legislativo 30 aprile 1992 n. 285 e successive modificazioni

SITOGRAFIA

- www.italy-ontheroad.it
- <https://it.wikipedia.org/wiki/Illuminamento>
- www.progettazioneottica.it
- www.imobilityassociation.com/home/mobilita-sostenibile/le-zone-30/
- https://it.wikipedia.org/wiki/Zona_30
- www.asaps.it
- <https://it.wikipedia.org/wiki/Affordance>
- <https://it.wikipedia.org/wiki/Arousal>
- <https://arching.wordpress.com/illuminotecnica/il-sistema-visivo-umano/>
- <http://www.cycling-embassy.dk/2015/06/22/new-study-on-cyclist-behaviour/>
- <https://it.wikipedia.org/wiki/Oculometria>
- https://en.wikipedia.org/wiki/Eye_tracking
- https://en.wikibooks.org/wiki/Cognitive_Psychology_and_Cognitive_Neuroscience/Behavioural_and_Neuroscience_Methods
- www.asleyetracking.com
- www.instrumentsgroup.co.za/index_files/mobile_eye_XG.htm
- www.raceologic.co.uk
- www.horsepowerfreaks.com