

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II

Polo delle Scienze e delle Tecnologie

Facoltà di Ingegneria



Dottorato di ricerca in Ingegneria dei Sistemi Idraulici, di Trasporto e
Territoriali

XXIII ciclo: Esame finale nell'Indirizzo "Indirizzo Infrastrutture Viarie e Sistemi
di Trasporto"

XXIII Ciclo

Candidato

Ing. Filomena Mauriello

*MISURE PERCETTIVE PER IL MIGLIORAMENTO DELLA SICUREZZA
STRADALE: SPERIMENTAZIONE CON IL SIMULATORE DI GUIDA VERA*

Coordinatore di dottorato:

Prof. Ing. Guelfo Pulci Doria

Coordinatore di Indirizzo:

Prof. Ing. Bruno Montella

Relatore:

Prof. Ing. Alfonso Montella

Nessuno sa abbastanza, ed abbastanza presto.

E. Pound

1. Introduzione	6
2. Analisi della letteratura.....	9
2.1. <i>La sicurezza stradale e le statistiche incidentali</i>	9
2.2. <i>Effetto della velocità sull'incidentalità.....</i>	11
2.3. <i>Fattori che influenzano i comportamenti di guida.....</i>	15
2.4. <i>Misure percettive per la riduzione delle velocità e degli incidenti</i>	19
2.4.1. Rallentatori ottici	20
2.4.2. Convergenza Chevron	23
2.4.3. Illusione di Wundt	27
2.4.4. Bande periferiche trasversali	27
2.4.5. Denti di drago.....	31
2.4.6. Bande sonore	31
2.4.7. Pavimentazione colorata	34
2.4.8. Isola materializzata	35
2.5. <i>Intersezioni e comportamenti di guida</i>	36
2.6. <i>Misure surrogate della sicurezza</i>	39
2.7. <i>I simulatori di guida</i>	43
2.7.1. Caratteristiche principali dei simulatori	44
2.7.2. I vantaggi di un simulatore di guida	48
2.7.3. Possibili limitazioni nella ricerca con simulatori di guida.....	49
2.7.4. Validazione di un simulatore.....	51
2.7.5. Apprendimento di un simulatore.....	53
2.7.1. Indagine dei simulatori esistenti e Studi di sicurezza.....	55
3. Progetto delle misure percettive	66
3.1.1. Alternativa 1: Rettilineo base.....	67
3.1.2. Alternativa 2: Intersezione base	68
3.1.3. Alternativa 3: Intersezione con assenza di visibilità.....	72
3.1.4. Alternativa 4: Rallentatori ottici.....	75
3.1.5. Alternativa 5: Rallentatori sonori.....	76
3.1.6. ALTERNATIVA 6: Bande periferiche trasversali	77
3.1.7. Alternativa 7: Denti di drago	79
3.1.8. ALTERNATIVA 8: Pavimentazione colorata	80
3.1.9. Alternativa 9: Isola non materializzata.....	81
3.1.10. Alternativa 10: Isola materializzata.....	82
4. Sperimentazione al simulatore di guida	84
4.1.1. Il simulatore di TEST Scarl	84
4.1.2. Cabina	84
4.1.3. Sistema sonoro.....	85
4.1.4. Sistema visuale.....	85

4.1.5.	Sistema di moto.....	86
4.1.6.	Sistema dinamico	87
4.1.7.	La validazione del simulatore di guida per le misure di velocità	88
4.2.	<i>Procedura di selezione</i>	90
4.2.1.	I partecipanti alla sperimentazione	91
5.	Metodologia d'analisi	93
5.1.	<i>Data mining & Cluster Analysis</i>	95
5.1.1.	K-Means & Silhouette.....	96
5.2.	<i>Statistica test.</i>	99
5.2.1.	Test di Normalità	99
5.2.2.	Test di Omoschedasticità	101
5.2.3.	ANOVA test.....	101
5.2.4.	T-Student test.....	103
5.3.	<i>Modelli di decelerazione & Analisi Categorica.</i>	104
5.3.1.	CATANOVA Test.....	106
5.3.2.	Test sulle frequenze di un attributo	107
6.	Analisi dei Risultati	109
6.1.	<i>Velocità</i>	109
6.1.1.	Analisi Cluster	109
6.1.2.	Statistica test	113
6.1.3.	Decelerazioni Significative.....	120
6.2.	<i>Profili di decelerazione</i>	121
6.2.1.	CATANOVA e Test di Frequenza	122
6.3.	<i>Posizione Laterale</i>	124
6.3.1.	Analisi Cluster	124
6.3.2.	Statistica test	127
7.	Conclusioni	132
8.	Bibliografia	134
APPENDICE A1:	Questionario selezione utenti	145
APPENDICE A2:	Questionario Post - Pretest	154
APPENDICE A3:	Questionario Post-Test	158
APPENDICE B:	Dati utenti	161
	<i>Utente 01</i>	162
	<i>Utente 02</i>	163
	<i>Utente 03</i>	165
	<i>Utente 04</i>	166

<i>Utente 05</i>	168
<i>Utente 06</i>	169
<i>Utente 07</i>	171
<i>Utente 08</i>	173
<i>Utente 09</i>	174
<i>Utente 10</i>	176
<i>Utente 11</i>	178
<i>Utente 12</i>	179
<i>Utente 13</i>	181
<i>Utente 14</i>	183
<i>Utente 15</i>	184
<i>Utente 16</i>	186
<i>Utente 17</i>	187
<i>Utente 18</i>	189
<i>Utente 19</i>	190
<i>Utente 20</i>	192
<i>Utente 01</i>	194
<i>Utente 22</i>	195
<i>Utente 23</i>	197
<i>Utente 24</i>	199
<i>Utente 25</i>	201
<i>Utente 26</i>	203
<i>Utente 27</i>	204
<i>Utente 28</i>	206
<i>Utente 29</i>	208
<i>Utente 30</i>	209
APPENDICE C: Profili di velocità e di decelerazione.....	212

1. Introduzione

Gli incidenti stradali rappresentano un problema di grave rilevanza per l'alto numero di morti e di feriti. Ogni anno si contano almeno 1,3 milioni di morti e 50 milioni di feriti a causa degli incidenti stradali. L'Organizzazione Mondiale della Sanità prevede che entro il 2020 le vittime della strada aumenteranno, dal livello attuale di 1,3 milioni, a oltre 1,9 milioni. In Europa gli incidenti stradali sono una delle prime cause di morte, con più di 120'000 morti e più di 2,4 milioni feriti ogni anno. In Italia, la mortalità da incidente stradale è fra le più elevate rispetto al resto dell'Europa. Ogni anno in Italia circa 5'000 persone perdono la vita a causa di incidenti stradali, 120'000 sono feriti gravi di cui 15'000 restano invalidi gravi. Tali numeri danno un quadro di come la questione della sicurezza stradale sia un argomento di enorme importanza per i dipartimenti di Prevenzione e i sistemi sanitari di tutti i Paesi. La politica per la sicurezza stradale della Commissione Europea si *"prefigge di aumentare il livello della sicurezza stradale e garantire una mobilità sicura e rispettosa dell'ambiente per i cittadini di tutta Europa"*. Per riuscire nell'intento di creare uno spazio comune della sicurezza stradale, la Commissione Europea ha proposto di ridurre entro il 2020 del 50% il numero delle vittime sulle strade europee rispetto al 2010; in questo modo è stato ripreso un impegno e un traguardo che erano già stati prospettati nel Libro Bianco sulla Politica Europea dei Trasporti nel 2001 (WHO, 2004; COM, 2010; ANCI-UIP, 2010).

Gli studi sulle problematiche connesse con la sicurezza stradale hanno messo in luce che l'incidentalità stradale è un fenomeno fortemente complesso da analizzare. Il rischio di incidente è legato a diversi fattori, quali le caratteristiche strutturali della rete e della strada, i comportamenti dei conducenti e i fattori ambientali. La maggior parte degli incidenti è causata da errori umani che i guidatori compiono a causa delle limitazioni fisiche, percettive e cognitive proprie degli esseri umani. Gli aspetti riguardanti la percezione sono fortemente correlati alla valutazione soggettiva del rischio da parte dei singoli guidatori durante la guida, poiché è propria dall'analisi delle informazioni derivanti dallo spazio stradale che l'utente imposta o adatta il proprio comportamento di guida: errori di informazione o di valutazione si prestano ad essere facilmente tradotti in comportamenti inappropriati. McKenna nel 1991 evidenziò come una corretta percezione dei rischi della strada si traduca operativamente nella riduzione dei tassi di incidentalità registrati (Manganaro, 2008).

L'eccesso di velocità riduce la capacità del conducente di reagire a situazioni di emergenza. Infatti, si riduce il tempo disponibile per acquisire le informazioni che la strada fornisce all'utente in modo che questo possa prendere una decisione, di conseguenza il tempo di reazione diminuisce all'aumentare della velocità. La velocità con la quale un utente percorre un tracciato stradale dipende da molteplici fattori che possono essere classificati come: caratteristiche del guidatore, caratteristiche della strada, caratteristiche del veicolo, condizioni di traffico, percezione del rischio, regolamento stradale e sanzioni, limiti di velocità, educazione e condizioni ambientali. Dopo aver valutato tutti questi fattori, il

guidatore che percorre una strada decide la velocità trovando un compromesso fra velocità desiderata e sicurezza. Il proprio stimolo lo induce a desiderare una velocità che non sempre può essere attuata poiché l'ambiente esterno gli impone una serie di reazioni di controllo che lo portano a variare la velocità, la scelta della velocità "ottimale" dipenderà dalla sicurezza e dai ridotti tempi di viaggio (Tarko, 2009, Hauer 2009). Il modello "task-capability" (TCI), proposto da Fuller nel 2005, descrive l'interazione dei principali fattori che influenzano il comportamento del conducente e fornisce un controllo dinamico del quadro motivazionale delle azioni dei guidatori. Il modello TCI si basa su due assunti fondamentali, il primo che i conducenti prendono decisioni in un sistema closed-loop di controllo e il secondo che la capacità è limitata in modo tale che la diminuzione delle prestazioni si porrà quando il carico di lavoro supera le risorse disponibili. Secondo tale modello i conducenti, di solito, optano per una velocità che li mantiene all'interno di una banda di difficoltà accettabile, lasciando un margine di capacità in modo tale che se si verificasse un aumento della domanda il conducente non si troverebbe in difficoltà, potendo gestire tale situazione. Tuttavia, se motivati, alcuni guidatori spingono la domanda ai limiti della capacità di guida, possono, dunque, trovarsi in circostanze tali in cui non possono far fronte e che porterà a una collisione (Fuller, 2005, Fuller et al., 2008).

È stato osservato che nelle aree extraurbane i conducenti tendono a sentirsi più sicuri su strade extraurbane in quanto sono meno congestionati dal traffico, ma dimenticano che loro devono condividere la strada con altri veicoli con diverse caratteristiche, animali, e persone, ed è proprio su queste strade che si registra un più alto tasso di mortalità rispetto alle aree urbane.

Un elemento critico ai fini della sicurezza è costituito dalle intersezioni, nelle quali si concentra quasi la metà degli incidenti stradali. Spesso i guidatori non percepiscono in tempo l'intersezione approcciando ad essa con velocità elevata. Con l'incremento della velocità aumenta la probabilità di commettere un errore, diminuisce il tempo disponibile per compiere azioni correttive e, nel caso di incidente, aumenta la probabilità di gravi conseguenze.

Al fine di ridurre gli incidenti nelle intersezioni in ambito extraurbano sono state studiate delle metodologie per influenzare il comportamento di guida. Affinché i conducenti possano scegliere la velocità e il comportamento di guida più appropriato, bisogna fornire loro degli elementi che richiamino l'attenzione in base al rischio potenziale della strada. A tale proposito sono state studiate diverse contromisure in corrispondenza di punti critici. Tali contromisure apportano dei cambiamenti della strada poco invasive ed a basso costo, alterando la percezione del guidatore.

Nel presente studio, la sperimentazione di innovative misure percettive è stata condotta attraverso prove in ambiente simulato. Il simulatore presenta molti vantaggi tra cui: controllo dell'ambiente di prove e delle condizioni a contorno, efficienza, minor costo e maggiore facilità di gestione dei dati in opportuni database. Il controllo degli esperimenti è

sicuramente il maggiore dei vantaggi dei simulatori. Trattandosi di una realtà virtuale è possibile gestire al meglio lo scenario e le condizioni al contorno ed è possibile modificare liberamente l'ambiente operativo, quindi ogni conducente può guidare esattamente nel contesto desiderato. Ciò permette di analizzare le diverse alternative di progetto in siti aventi le stesse caratteristiche geometriche e nelle stesse condizioni ambientali. Su strada, una condizione di questo tipo non si potrebbe ottenere perché non sarebbe possibile trovare dei siti con le stesse caratteristiche e le condizioni dell'ambiente in cui si svolgono le prove tendono a variare in modo casuale. Questa possibilità di riprodurre la stessa situazione un numero comunque elevato di volte, permette di valutare situazioni che nella realtà si verificano raramente consentendo quindi una consistente raccolta di dati altrimenti impossibile. Inoltre, i simulatori forniscono un ambiente intrinsecamente sicuro, tali condizioni permettono di studiare situazioni di guida critiche e testare dispositivi innovativi, senza mettere a repentaglio la vita del conducente o altri di utenti della strada.

La sperimentazione, dunque, è stata condotta attraverso il simulatore di guida dinamico Virtual Environment for Road Safety (VERA), il quale ha permesso di ripetere gli esperimenti un certo numero di volte, così da avere una consistente raccolta di dati per ogni alternativa di guida e per ogni sezione.

L'uso di differenti metodologie di analisi dei risultati ha permesso di comprendere l'efficacia degli stimoli dati dall'ambiente di guida e di come reagisce l'utente. In particolare è stata valutata l'efficacia delle misure percettive in termini di velocità, di decelerazione e di posizione laterale con l'uso di tecniche di data mining e di statistica inferenziale.

2. Analisi della letteratura

2.1. La sicurezza stradale e le statistiche incidentali

Nel 2004, con il rapporto mondiale sulla prevenzione degli incidenti stradali, l'organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) e la Banca Mondiale hanno pubblicato la prima valutazione globale sulle dimensioni del fenomeno degli infortuni causati da incidenti stradali. In tale rapporto è stato stimato che quasi un milione e duecentomila persone in tutto il mondo muoiono ogni anno a causa di incidenti stradali, costituendo più del 2,1% della mortalità complessiva, in misura comparabile con le maggiori malattie mortali, quali la malaria e la tubercolosi ed oltre 50 milioni di persone ferite (WHO, 2004; Commission for Global Road Safety, 2010). Le cause di questi incidenti sono frequentemente attribuiti ad errori dei guidatori (Figura 2-1), è stato stimato che nel 90% degli incidenti il comportamento umano è la causa dominante o concausa (Weller et al., 2006).

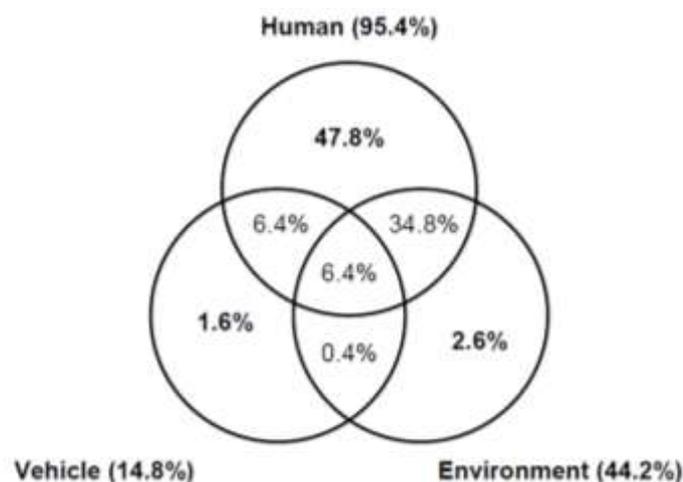


Figura 2-1 – Percentuale delle cause degli incidenti (Weller et al., 2006)

Diversi studi hanno dimostrato che il limite di velocità è spesso violato (ETSC, 1995 e 1999; MASTER, 1998; Transportation Research Board, 1998) e si stima che circa un terzo degli incidenti mortali sono causati da velocità eccessiva (US DOT, 2000). L'elevata velocità di guida, ossia velocità di marcia superiore ai limiti legali o inappropriata in relazione alle condizioni della strada, può essere un fattore importante per la sicurezza stradale. L'eccesso di velocità riduce il tempo di reazione per evitare l'incidente, il che non solo aumenta la probabilità di causare un incidente, ma aumenta anche la gravità degli incidenti che si verificano (Lesliam et al., 2003; Oxley et al., 2004). La ragione principale per aver superato i limiti di velocità è che questi non riflettono le condizioni della carreggiata e la maggior parte dei guidatori sottovalutano le velocità (Psarianos et al., 2007).-Da un'analisi di diversi studi è emerso che le aree extraurbane hanno un più alto tasso di mortalità rispetto alle aree urbane, in Europa è stato stimato che più dell'80% degli incidenti mortali avvengono su strade extraurbane mentre negli Stati Uniti è stato stimato che all'incirca il 60% (Wooldridge

et al., 2003; DETR, 2000; Rosey et al., 2008). Tali percentuali trovano conferma in precedenti studi condotti nel 2001 al fine di evidenziare l'entità dei problemi della sicurezza stradale nelle aree rurali nei paesi in via di sviluppo, la concordanza di tali valori sottolinea la pericolosità delle strade extraurbane indipendentemente dallo sviluppo economico dei relativi paesi (Rural Travel and Transport Program, 2001; NHTSA, 2007; ATSSA, 2008).

Le strade extraurbane sono associate con lunghi rettilinei e poche intersezioni (Thompson et al., 2006), i conducenti tendono a sentirsi "più sicuri" su strade extraurbane in quanto sono meno congestionati dal traffico, ma dimenticano che loro devono condividere la strada con altri veicoli con diverse caratteristiche, animali, e persone (Charlton, 2004).

Le intersezioni costituiscono solo una piccola parte dell'intero sistema stradale, ma è nelle intersezioni che si verificano la maggior parte degli incidenti. Negli Stati Uniti ed in EU27 è stato stimato che all'incirca il 43% degli incidenti si verificano in corrispondenza o in prossimità di un incrocio (Lord et al, 2005; Barua et al., 2010). Tali percentuali sono coerenti con altri studi che hanno evidenziato che più del 50% degli incidenti mortali accadono in area extraurbana, di cui il 16% accadono in intersezioni (Laberge et al. 2006; Preston et al., 2007).

Nel triennio 2006-2008, in Italia sono stati registrati 687'958 incidenti con feriti. Il 47,5% degli incidenti è localizzato nelle intersezioni, e più nel dettaglio in ambito urbano gli incidenti nelle intersezioni rappresentano il 53,1% del totale, mentre in ambito extraurbano essi rappresentano il 29,0% del totale. In ambito extraurbano, pur verificandosi una minore percentuale di incidenti nelle intersezioni, la gravità delle conseguenze degli incidenti è significativamente maggiore: il 3,8 % degli incidenti nelle intersezioni ha avuto esito mortale, mentre il ambito urbano solo lo 0,9% degli incidenti sono stati con morti. In ambito extraurbano (ed in particolare nelle statali, provinciali e comunali), la maggior parte degli incidenti nelle intersezioni ha avuto luogo di giorno (74,8%), in condizioni di tempo sereno (74,9%) e pavimentazione asciutta (81,8%). La maggior parte degli incidenti avvenuti sulle intersezioni è stata per scontro frontale-laterale con il 46,9% seguita dal tamponamento e dallo scontro laterale, rispettivamente con il 24,7% e l'11,0% dei casi. I veicoli maggiormente coinvolti sono stati le autovetture con il 91,9%, seguiti dalle due ruote con il 33,8% e dai pesanti con il 21,2%.

Risulta quindi evidente che le intersezioni, pur costituendo solo elementi puntuali di una estesa rete stradale, costituiscono un significativo problema di sicurezza, come del resto evidenziato da numerosi piani della sicurezza stradale (p.e. AASHTO, Strategic Highway Safety Plan, 2005) che individuano il miglioramento della sicurezza nelle intersezioni come una delle azioni prioritarie. Tra gli incidenti nelle intersezioni, assumono poi particolare rilevanza le condizioni strada rettilinea, illuminazione diurne, meteo sereno, pavimentazione asciutta e coinvolgimento di autovetture. Sono cioè proprio alcune condizioni ordinarie valutate dagli utenti come scenari di basso rischio ad essere caratterizzate da una

significativa vulnerabilità causata dall'incongruenza tra le velocità dei guidatori e le oggettive condizioni di rischio.

2.2. Effetto della velocità sull'incidentalità

L'elevata velocità di guida, ossia velocità di marcia superiore ai limiti legali o inappropriata in relazione alle condizioni della strada, può essere un fattore importante per la sicurezza stradale, ed è strettamente correlata sia con la gravità sia con la probabilità degli incidenti (Struster et al 1998; TRB, 1998; Elvik et al., 2004; Nilsson, 2004; Aarts, et al. 2006; Liu et al., 2009; Hauer, 2009). L'eccesso di velocità riduce la capacità del conducente di reagire a situazioni di emergenza, infatti, si riduce il tempo disponibile per acquisire le informazioni che la strada fornisce all'utente in modo che questo possa prendere una decisione, di conseguenza il tempo di reazione diminuisce all'aumentare della velocità. Inoltre, la distanza necessaria per l'arresto del veicolo è proporzionale al quadrato della velocità, essa risulta aumentare all'aumentare della velocità, di conseguenza anche il tempo necessario per arrestare completamente il veicolo, il quale è composto dal tempo di reazione dell'utente ed il tempo di frenatura, aumenta con la velocità (OECD e ECMT; 2006). Pertanto l'eccesso di velocità non significa necessariamente che sia stata la causa dell'incidente, ma la probabilità di evitarlo sarebbe stata maggiore se il veicolo avesse viaggiato a velocità più basse (TRB, 1998; Elvik et al., 2004; Aarts, et al. 2006; Liu et al., 2009).

Il rapporto tra velocità del veicolo e la gravità degli incidenti è inequivocabile e si basa sull'energia cinetica di un veicolo in movimento che è funzione della sua massa e della velocità al quadrato:

$$E_c = \frac{1}{2} m v^2 \quad (2-1)$$

L'energia cinetica, liberata durante l'incidente, è assorbita dai veicoli, dai sistemi di sicurezza passiva e dagli occupanti coinvolti, pertanto, tanto maggiore è l'energia da dissipare maggiore è il rischio di lesioni per gli occupanti del veicolo (Nilsson, 2004).

In letteratura sono presenti diversi studi che hanno evidenziato che il numero dei morti è proporzionale alla quarta potenza della velocità media del flusso veicolare, il numero dei feriti gravi cresce con la terza potenza della velocità, il numero complessivo dei feriti aumenta con il quadrato della velocità e il numero di incidenti aumenta di circa del 2% per ogni incremento di velocità. Ciò significa che una riduzione del 10% della velocità media del flusso consegnerebbe una riduzione della mortalità pari al 35% (Cascetta et al., 1999).

I primi studi sul rapporto tra velocità di marcia e la gravità delle lesioni subite in un incidente sono stati condotti da Solomon nel 1964 (Figura 2-2). Da un'analisi di 10'000 incidenti su strade extraurbane, Solomon ha trovato che la gravità degli incidenti era

aumentata rapidamente a velocità superiori di 96 km/h, la probabilità di incidenti mortali era aumentata esponenzialmente per velocità superiori a 112 km/h (Hauer; 1998).

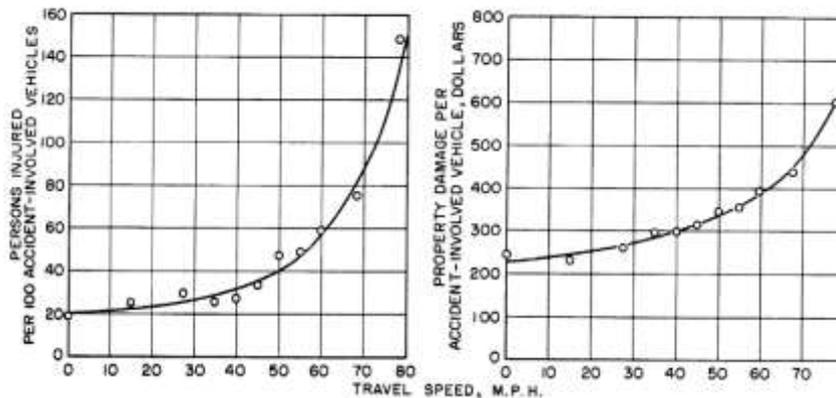


Figura 2-2- Feriti per 100 incidenti e danni per ogni incidente (Hauer, 2009)

Un altro importante risultato fu trovato nel 1982 da (Figura 2-3), i quali hanno trovato che la probabilità di un automobilista di morire in un incidente era aumentata con la variazione di velocità alla quarta potenza. Nel 1993 Joksch ha confermato il risultato trovato da O'Day e Flora, ma è stato osservato uno spostamento della curva a destra, che può essere spiegato in parte dai miglioramenti nella resistenza all'impatto dei veicoli, all'uso della cintura di sicurezza ma anche da una migliore assistenza medica. In particolare Joksch (Figura 2-3) ha dimostrato che il rischio di una avere un incidente mortale iniziava a salire quando la variazione della velocità al momento dell'impatto era superiore a 48 km/h (30 mi/h) ed era superiore al 50% quando la variazione supera i 96 km/h (60 mi/h). La probabilità di morte ad una velocità d'urto di 80 km/h (50 mi/h) era quindici volte la probabilità di morte da una velocità di impatto di 40 km/h (25 mi/h) (Struster et al; 1998).

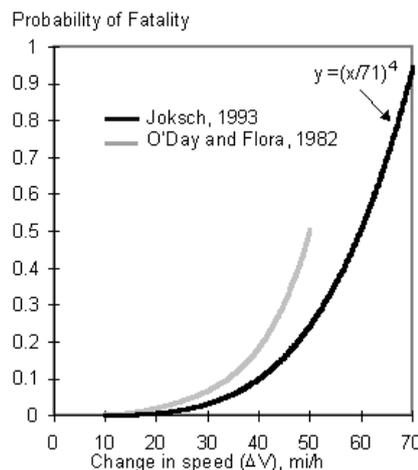


Figura 2-3 – Effetti della variazione di velocità all'impatto sul rischio di mortalità (Struster et al., 1998)

Più complesso è il legame tra velocità e incidentalità. In letteratura sono stati trovati diversi studi che hanno focalizzato la loro attenzione sulle relazioni tra velocità e incidentalità, anche se i risultati sono stati differenti, a volte contraddittori, tutti hanno indicato che tra le due variabili vi è una correlazione positiva (Wegman et al., 2006; Hauer, 2009). Molti studi condotti negli anni '60 e '70, tra cui Solomon, da Cirillo, Research Triangle

Institute, negli Stati Uniti, Munden, nel Regno Unito hanno trovato che il numero degli incidenti dipendeva dalla differenza di velocità tra quella del veicolo coinvolto e la velocità media di traffico con una funzione di tipo parabolica (Figura 2-4), stando a indicare una maggiore probabilità di incidente sia per basse che elevate velocità (Fields et al., 1991; Managing speed, 1998; Kloden et al., 1997; Kloden et al., 2001).

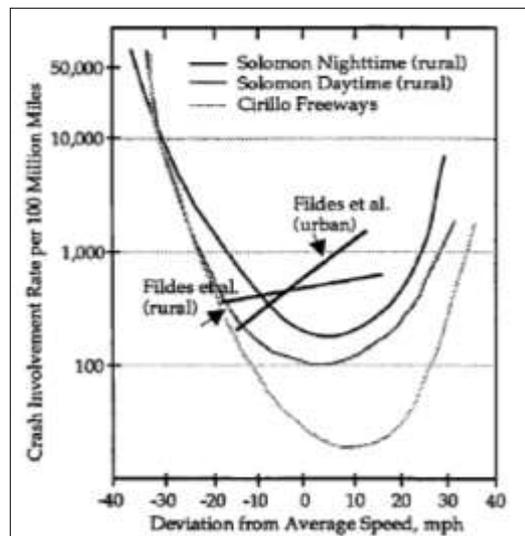


Figura 2-4 – Tasso di incidentalità -variazione di velocità media del traffico (Fildes et al., 1991)

Tali risultati sono stati contrapposti con quelli trovati da Fildes, Rumbold e Leening, che avevano condotto uno studio con l'obiettivo di esaminare le relazioni tra le velocità e diversi fattori che possono concorrere all'accadimento di un incidente. I risultati evidenziarono che non erano stati rilevati incidenti per veicoli che viaggiavano a basse velocità dall'analisi di tali campioni, in particolare fu trovata una relazione di tipo lineare tra velocità e numero di incidenti. La discordanza, come riportata sia da Hauer (2009) e da Kloden (2001), fu dovuta non alle basse velocità ma alle manovre che stavano compiendo i conducenti al momento dell'incidente (Figura 2-5).

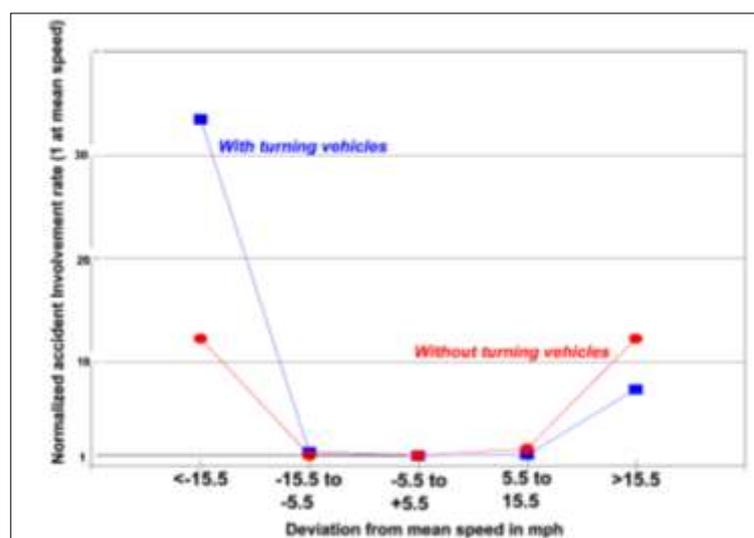


Figura 2-5 – Studio del ResearchTriangleInstitute(Hauer, 2009)

Tale questione è stata poi esplorata in uno studio del RTI, dove è stato trovato che per un $DV < -24$ km/h (-15 mph) si sono avuti il 56% degli incidenti di cui il 44% hanno avuto almeno un veicolo direttamente coinvolti in qualche manovra di svolta o sono state influenzati da un altro veicolo in manovra.

Un importante risultato è stato raggiunto da Nilsson (2004), il quale ha descritto con il "Power model" la correlazione tra variazione di velocità e gli incidenti. Il modello descrive l'effetto delle velocità sul numero di incidenti e le conseguenze degli incidenti a livello macroscopico. Il modello può, quindi, stimare la variazione del numero di incidenti mortali e infortuni, nonché il numero di morti o feriti, se la velocità media è stato cambiata e può essere utilizzata come un metodo di previsione degli incidenti e della gravità in studi prima e dopo.

Le equazioni che descrivono il modello sono:

- Incidenti mortali

$$y_1 = \left(\frac{v_1}{v_0}\right)^4 y_0 \quad (2-2)$$

- Incidenti mortali e incidenti con feriti gravi

$$y_1 = \left(\frac{v_1}{v_0}\right)^3 y_0 \quad (2-3)$$

- Tutti gli incidenti

$$y_1 = \left(\frac{v_1}{v_0}\right)^2 y_0 \quad (2-4)$$

- Morti

$$z_1 = \left(\frac{v_1}{v_0}\right)^4 y_0 + \left(\frac{v_1}{v_0}\right)^8 (z_0 - y_0) \quad (2-5)$$

- Morti e feriti gravi

$$z_1 = \left(\frac{v_1}{v_0}\right)^3 y_0 + \left(\frac{v_1}{v_0}\right)^6 (z_0 - y_0) \quad (2-6)$$

- Tutti i feriti (inclusi i feriti gravi)

$$z_1 = \left(\frac{v_1}{v_0}\right)^2 y_0 + \left(\frac{v_1}{v_0}\right)^4 (z_0 - y_0) \quad (2-7)$$

In Figura 2-6 sono riportate le percentuali degli incidenti al variare delle velocità.

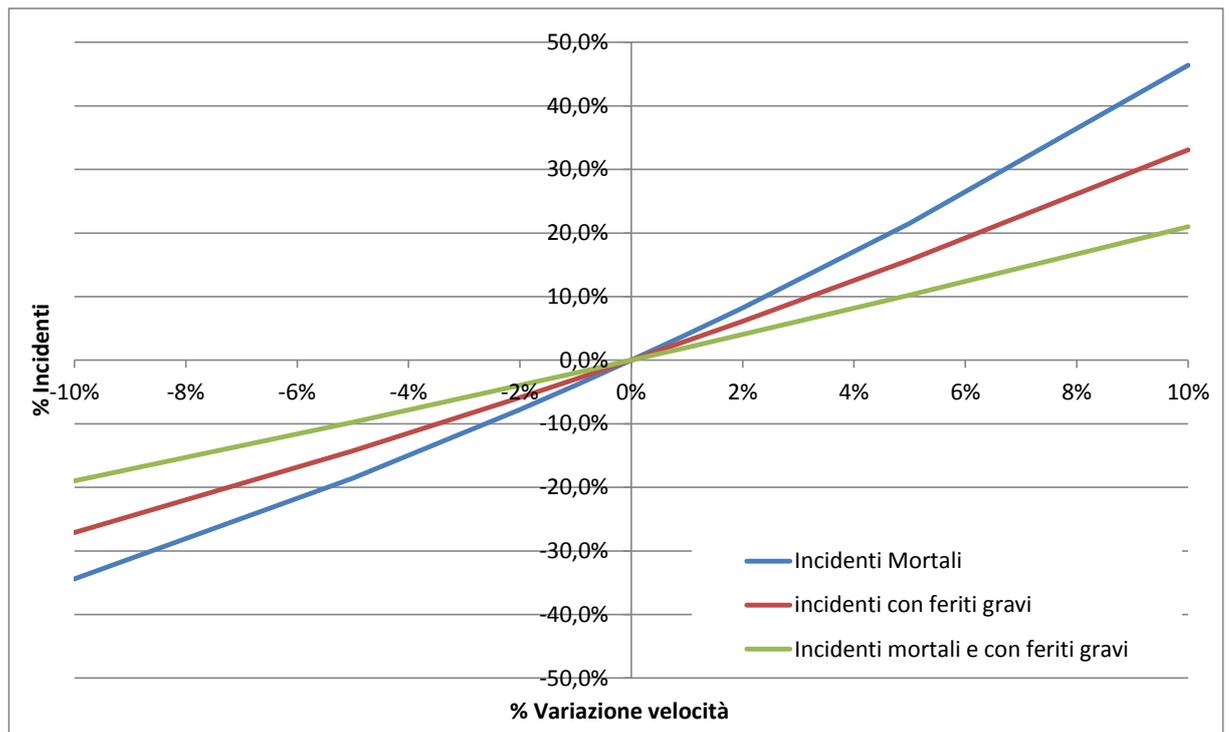


Figura 2-6 – Power Model, rapporto tra la variazione della velocità media e la variazione degli incidenti

Nello studio l'autore ha trovato che con un aumento del 5% della velocità media si ha un incremento degli incidenti con feriti di circa il 10% ed un aumento del 20% degli incidenti mortali (Nilsson, 2004; WHO, 2008).

2.3. Fattori che influenzano i comportamenti di guida

Lo studio dei fattori umani si pone l'obiettivo di ricercare nell'infrastruttura e nel contesto in cui essa si inserisce i motivi che inducono particolari manovre o atteggiamenti di guida, cercando soluzioni che riducono non tanto gli effetti di un evento critico, piuttosto la probabilità che il guidatore inneschi i presupposti per un incidente (AIPCR, 2010).

Al fine di prevenire errori nei comportamenti di guida e gli incidenti connessi è possibile influenzare le scelte del pilota attraverso la percezione della velocità, del carico di lavoro mentale, la percezione del rischio e il comfort del conducente (Godley, 1999). Un'importante raccolta di lavori di ricerca è stata volta ad individuare i fattori che influenzano la scelta della velocità parte di un utente e sono stati trovati molteplici fattori (Figura 2-7) che possono essere classificati come: caratteristiche del guidatore, caratteristiche della strada, caratteristiche del veicolo, condizioni di traffico, percezione del rischio, regolamento stradale e sanzioni, limiti di velocità, educazione e pressione motivazionali, condizioni ambientali. Tali fattori influenzano il comportamento di guida attraverso diversi meccanismi (WHO, 2008; Tarko, 2009; Hauer 2009).

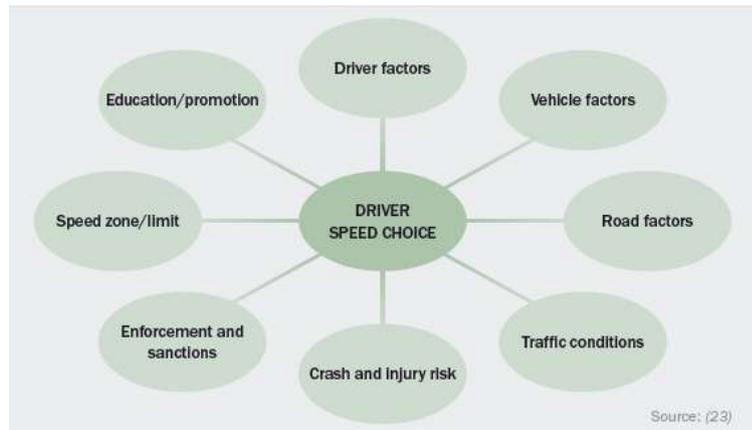


Figura 2-7 – Fattori che influenzano la scelta delle velocità (WHO, 2008)

Il modello “task-capability” (TCI) (Fuller,2005; 2008) descrive l'interazione dei principali fattori che influenzano il comportamento del conducente e fornisce un controllo dinamico del quadro motivazionale delle azioni dei guidatori (Figura 2-8).

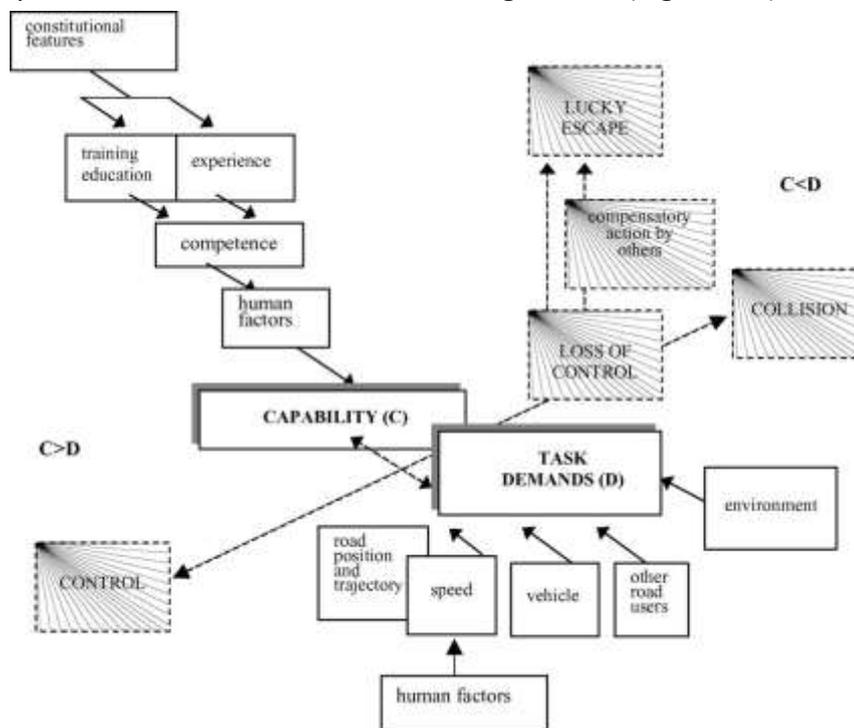


Figura 2-8 – Modello “task-capability” (Fuller, 2005)

Il modello TCI si basa su due assunti fondamentali, il primo che i conducenti prendono decisioni in un sistema closed-loop di controllo e il secondo che la capacità è limitata in modo tale che la diminuzione delle prestazioni si porrà quando il carico di lavoro supera le risorse disponibili. Si sostiene che ciò che determina la velocità alla quale il conducente accelera, è la difficoltà percepita del compito di guida a quella velocità, la quale è inversamente proporzionale alla differenza tra la capacità di guida del conducente e la domanda. La domanda dipende da fattori ambientali, dalla capacità degli altri utenti della strada, dal veicolo, dalla posizione e dalla traiettoria della strada e dalla velocità che a sua volta è condizionata da fattori umani e psicologici. La capacità del guidatore è influenzata da

fattori costituzionali, dall'educazione, dall'esperienza, dalle competenze e da fattori umani. Quando la capacità del guidatore è maggiore della domanda, il compito di guida risulta semplice. Quando la capacità eguaglia la domanda, il guidatore sta operando al limite della sua capacità; ne consegue che il compito di guida è difficile. Infine quando la domanda supera la capacità, il compito di guida è ancora più difficile e il guidatore può perdere il controllo del veicolo e causare un incidente.

Secondo tale modello i conducenti, di solito, optano per una velocità che li mantiene all'interno di una banda di difficoltà accettabile, lasciano, anche, un margine di capacità in modo tale che se si verificasse un aumento della domanda il conducente non si troverebbe in difficoltà, potendo gestire tale situazione. Tuttavia, se motivati, alcuni guidatori spingono la domanda ai limiti della capacità di guida, possono, dunque, trovarsi in circostanze tali che un evento possa verificarsi con cui non possono far fronte e che porterà a una collisione (Fuller, 2005; Fuller et al., 2008).

Tale modello è in accordo con gli studi condotti da De Waard (1996). Il modello (Figura 2-9) si basa sul presupposto che la guida è influenzata dal carico di lavoro ed un basso livello di informazioni, così come un elevato livello di informazioni sono entrambi negativi e possono entrambi condurre ad errori per motivi diversi.

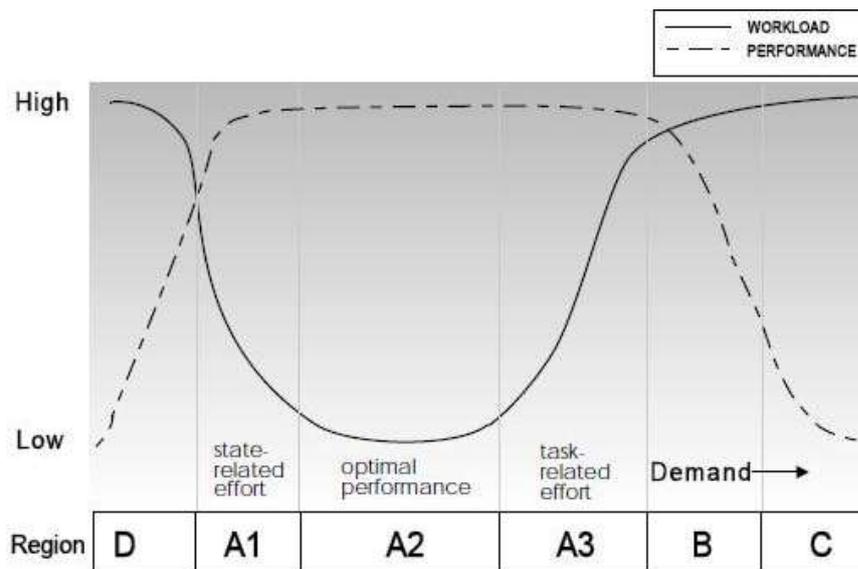


Figura 2-9 – Interrelazioni tra carico di lavoro e prestazioni per diversi livelli di domanda (De Waard, 1996)

L'autore ha schematizzato la domanda richiesta in quattro regioni e al suo crescere varia il carico di lavoro, conseguentemente, le prestazioni di guida.

La prima macro-regione è la regione D della disattenzione, ovvero è la domanda richiesta è molto bassa, può portare a modifiche del comportamento ottimale suggerendo un abbassamento del livello di guardia o, viceversa, un incremento della velocità. In tal caso il carico di lavoro è molto alto, a causa della disattivazione e lo sforzo dell'utente non è sufficiente a contrastare la riduzione d'attenzione, quindi le prestazioni di guida sono molto basse, trovandosi in condizioni critiche di guida.

La seconda regione è la regione A ed indica un basso carico di lavoro ad elevate prestazioni. Tale regione è stata suddivisa in tre parti. Nella regione A1, la domanda e il carico di lavoro incominciano ad aumentare quindi la monotonia comincia a decrescere, quindi si hanno buone prestazioni anche se l'operatore deve esercitare uno sforzo per mantenere tale livello inalterate. Nella parte centrale, regione A2, l'operatore può facilmente far fronte alle esigenze mantenendo un livello di prestazioni ottimale senza un incremento dello sforzo. Nella regione A3, invece, il livello di prestazioni è mantenuto quasi del tutto inalterato incrementando lo sforzo. La compensazione temporanea dello sforzo nella regione A3 è uno dei vantaggi della flessibilità umana e non costituisce un fattore critico. Nelle zone A1 e A3, le prestazioni di guida rimangono inalterate, ma l'operatore deve esercitare uno sforzo per mantenere un livello di prestazioni inalterate. All'aumentare del carico di lavoro, a partire dalla condizione ottimale (regione A2), la capacità dell'operatore di compensare lo sforzo profusa sarà oltrepassata transitando dalla regione A3 a quella B. Da questo momento in poi si avrà una drastica riduzione delle performance sino ad arrivare ai valori minimi nella regione C, l'operatore è in sovraccarico, trovandosi nuovamente in condizioni critiche di guida (de Waard, 1996; Weller et al., 2005).

Più recentemente Tarko (2009), in uno studio condotto su strade extraurbane nello stato dell'Indiana, ha proposto un nuovo modello di scelta della velocità, il quale non è solo funzione delle caratteristiche della strada, ma anche delle sensazioni percepite dall'utente (Figura 2-10).

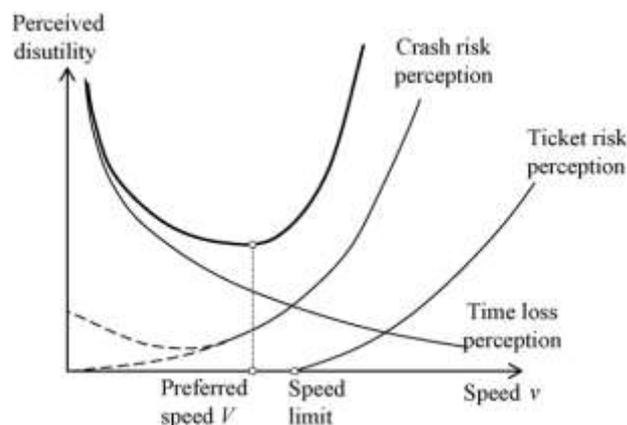


Figura 2-10 – Disagio percepito e velocità (Tarko, 2009)

Dopo aver valutato tutti questi fattori, il guidatore che percorre una strada decide la velocità trovando un compromesso fra velocità desiderata e sicurezza. Il proprio stimolo lo induce a desiderare una velocità che non sempre può essere attuata poiché l'ambiente esterno gli impone una serie di reazioni di controllo che lo portano a variare la velocità, la scelta della velocità "ottimale" dipenderà dalla sicurezza desiderata e le restrizioni dovuti a diversi fattori.

In tale studio, l'autore ha osservato che l'eccesso di velocità ha indotto nel guidatore una sensazione di disagio, dovuta dal rischio percepito nell'incorrere in un eventuale incidente e dalla presenza dei controlli di velocità e quindi delle relative sanzioni. Tali fattori

sono stati, dunque, considerati come deterrenti all'aumentare della velocità. La percezione del rischio e del limite di velocità è cresciuta all'aumentare della velocità. Contrariamente il tempo di viaggio è stato considerato un'istigazione ad aumentare la velocità. L'utente ha percepito una sensazione di frustrazione quando la velocità è stata sentita eccessivamente bassa, quindi, con il diminuire della velocità, si è avuto un crescente senso di disagio. La disutilità totale di viaggio è data dalla somma delle tre componenti: costo soggettivo del tempo di viaggio, rischio percepito e percezione del limite di velocità. La velocità scelta dal conducente è stata quella che ha minimizzato la disutilità totale (Tarko, 2009).

Tale modello è coerente con le precedenti ricerche che hanno evidenziato che la scelta della velocità non è solo funzione delle caratteristiche della strada, delle condizioni di traffico ed ambientali, ma soprattutto dal guidatore. I modelli hanno, inoltre, sottolineato che la percezione è fortemente correlata alla valutazione soggettiva del rischio da parte dei singoli guidatori durante la guida ed è proprio dall'analisi delle informazioni derivanti dallo spazio stradale che l'utente imposta o adatta il proprio comportamento di guida: errori di informazione o di valutazione si prestano ad essere facilmente tradotti in comportamenti inappropriati. Allo stesso modo, una corretta percezione dei rischi della strada induce un comportamento di guida più appropriato, che si traduce operativamente nella riduzione dei tassi di incidentalità registrati (Manganaro, 2008; McKenna, 1991).

2.4. Misure percettive per la riduzione delle velocità e degli incidenti

Affinché i conducenti possano scegliere la velocità e il comportamento di guida più appropriato, bisogna fornire loro degli elementi che richiamino l'attenzione in base al rischio potenziale della strada. Percepire vuol dire assegnare un significato agli stimoli provenienti dagli organi di senso e attribuire loro proprietà fisiche, a tale proposito sono stati compiuti numerosi studi che hanno analizzato diverse contromisure in corrispondenza di punti critici come porte d'accesso, intersezione e curve. Le contromisure percettive apportano dei cambiamenti della strada poco invasive ed a basso costo, alterano la percezione del guidatore al fine di ridurre le velocità, dando l'impressione di una maggiore velocità (Charlton, 2007; Rothenberg et al., 2004). Le misure si basano sulla percezione del movimento data direttamente dall'ambiente visivo, infatti circa il 90% delle informazioni utilizzate durante la guida sono di tipo visivo. Alcuni esempi sono rappresentati dai rallentatori ottici, utilizzati già nel 1971, questi sono linee trasversali disposte per quasi tutta la larghezza della corsia e provoca una finta sensazione d'incremento della velocità, questo effetto è maggiormente percepito ad elevate velocità di viaggio (Meyer, 2001; Godley, 1999; Godley et al 2002). Effetti simili sono dati anche dalle bande periferiche trasversali, tale segnaletica induce nei conducenti, un aumento della velocità percepita ed una riduzione ottica della larghezza della corsia (Katz, 2004; Katz et al., 2008). Tra le misure percettive possono anche essere inseriti altri dispositivi che si basano anche su restrizioni fisiche come

le bande sonore, inserimento di isola materializzata (Charlton, 2006). Le bande sonore sono delle strisce realizzate trasversalmente alla direzione di marcia lungo quasi tutta la larghezza della corsia e producono delle sensazioni tattili e uditive quando vengono attraversate (Godley, 1999; Thompson et al., 2004). Negli ultimi anni, la Federal Highway Administration (FHWA) ha individuato come contromisura il restringimento della corsia attraverso l'isola materializzata e non, con l'obiettivo di creare una riduzione di velocità (FHWA, 2008).

2.4.1. Rallentatori ottici

I rallentatori ottici possono essere utilizzati per modificare la percezione della strada incoraggiando i conducenti a rallentare. In letteratura sono stati trovati diversi rallentatori ottici, come bande trasversali, convergenza chevron, illusione di Wundt.

Bande trasversali sono linee trasversali disposte per quasi tutta la larghezza della corsia e sono realizzate in modo che la distanza tra una striscia e l'altra sia decrescente al fine di condizionare il comportamento dell'utente, che ha la sensazione, approssimandosi alle strisce, di tenere una velocità eccessiva.



Figura 2-11 – Rallentatori ottici - Bande trasversali

Questo approccio deriva da una ipotesi auspicata dal Rutley nel 1975, basata su uno studio condotto da Denton nel 1971. L'ipotesi è nata sull'idea che la percezione della velocità è dovuta in gran parte dagli stimoli dati dall'ambiente esterno, in particolare da quello visivo. Partendo dall'ipotesi che l'utente ha una guida costante, la presenza di elementi fissi a distanza costante, danno l'impressione di muoversi con velocità costante, se il guidatore accelera, questi elementi sembrano muoversi più rapidamente. Pertanto, ponendo linee trasversali a distanze decrescenti possono dare l'impressione che le linee si muovono a ritmo crescente. Come risultato, questo può falsare la percezione della velocità, causando nel conducente l'impressione di una finta accelerazione. Teoricamente, quindi, è probabile che le linee trasversali potrebbero influenzare il comportamento di guida, in particolare le scelte di velocità. Rutley ha ipotizzato, quindi, che la progressione crescente delle linee trasversali si tradurrebbe in una decelerazione dei conducenti, in avvicinamento di un potenziale pericolo. Le linee sono di solito disposte in modo tale che il conducente percepisce le linee trasversali muoversi con velocità costante quando raggiungerà una velocità adeguata. Se un pilota decelera a un ritmo più lento rispetto al valore ritenuto

sicuro, allora le linee trasversali sembreranno muoversi in accelerazione. Questo dovrebbe far percepire nel conducente una decelerazione non sufficiente da indurre un'ulteriore decelerazione, fino a quando la progressione delle linee trasversali non sembreranno muoversi ad una velocità costante. Pertanto, i conducenti devono rallentare più di quanto sarebbe altrimenti se non fossero abbastanza decelerazione, in primo luogo. Tuttavia, le linee trasversali possono e sono utilizzate anche con un sistema di spaziatura in modo che i conducenti a rallentare in modo adeguato. Altre indagini sono arrivate alla conclusione che i conducenti sono influenzati soprattutto da una funzione di allarme propria di tali trattamenti (Godley, 1999).

L'utilizzo delle prime bande trasversali è stato nel 1970 in Gran Bretagna, il Transport and Road Research Laboratory (TRRL) utilizzò i rallentatori ottici in approccio su alcune rotonde. Sono stati valutati gli incidenti sui siti in esame per i due anni precedenti e i due anni successivi all'installazione delle linee trasversali. I risultati sono stati molto incoraggianti (Tabella 2-1), è stata registrata una riduzione delle V_m pari a 22,6% e una riduzione delle V_{85} pari al 29,8% (Meyer, 2001, 2004).

Tabella 2-1 – Riduzioni V_m e V_{85} prima e dopo

	7-9 am	2-4 pm	6-8 pm	MEAN		7-9 am	2-4 pm	6-8 pm	MEAN
Before	59.1 (36.7)	57.8 (35.9)	54.9 (34.1)	57.0 (35.4)	Before	77.4 (48.1)	75.9 (47.2)	72.4 (45.0)	75.1 (46.7)
After	42.2 (26.2)	45.2 (28.1)	44.7 (27.8)	44.1 (27.4)	After	50.8 (31.6)	54.1 (33.6)	53.7 (33.4)	52.8 (32.8)
reduction	28.6%	21.7%	18.5%	22.8%	% reduction	34.3%	28.8%	25.8%	29.8%

Nel 1982 Agent con altri studiosi ha valutato l'efficacia delle bande trasversali in ingresso di una curva pericolosa nel Meade County, Kentucky. Nei 6 anni precedenti in tale sito sono stati rilevati 48 incidenti, per il 75% dei casi l'elevata velocità è stata la causa principale.

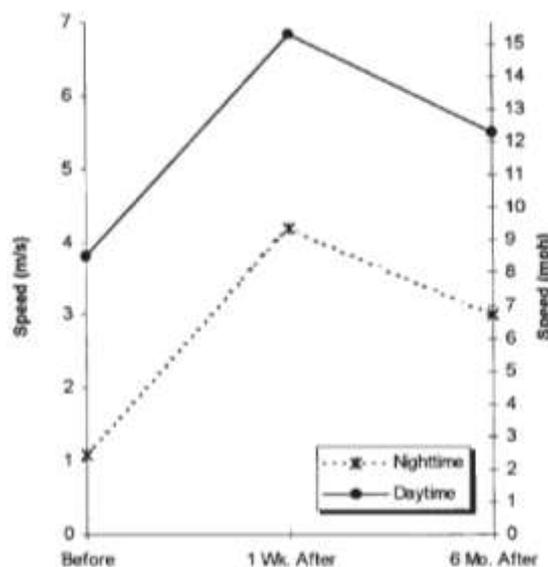


Figura 2-12 – Variazione di velocità nella prima e nell'ultima sezione dei rallentatori ottici, Meade County, Kentucky (Meyer, 2001)

Sono state valutate le velocità all'inizio e alla fine di tali dispositivi, di notte e di giorno, prima dell'installazione, dopo una settimana e dopo 6 mesi. Di notte la variazione di velocità media tra le due sezioni è stata di 3,8 km/h, dopo una settimana dall'installazione la riduzione è stata di 14,9 km/h, mentre diminuì nei 6 mesi successivi fino a 10,9 km/h. Durante il giorno, la riduzione della velocità media prima dell'installazione è stata di 13,6 km/h m/s, aumentò a 24,5km/h per la prima settimana dopo l'installazione è stata pari a 19,7km/h dopo 6 mesi.

Nel maggio 1982 sono state inserite le barre sulla rampa in uscita della autostrada della città di Calgary, Alberta, Canada, (Figura 2-13) al fine di ridurre gli incidenti. È stata osservato che le velocità si ridussero da 63,5 km/h a 61,4 km/h, ma il dato importante è stata registrato per le velocità che superavano gli 80 km/h che si ridussero circa del 5%.



Figura 2-13 – Rallentatori ottici, Calgary, Alberta, Canada (Meyer, 2001)

Nel 1999, il Dipartimento dei Trasporti del Kansas (KDOT) e l'Università del Kansas condussero uno studio al fine di ridurre le velocità nei pressi dei cantieri di lavoro in autostrada data l'elevata pericolosità dovuta dalla presenza degli operai. La presenza di tali dispositivi ha mostrato una piccola riduzione sia per le velocità medie sia per le velocità all'85 percentile con un livello di significatività del 95% (Meyer, 2001).

Un ulteriore studio venne effettuato da Godley (1999), a Melbourne in Australia. Lo studio ha valutato l'efficacia delle bande trasversali su una strada secondaria in approccio ad un'intersezione con distanziamento decrescente e costante (Figura 2-14) ed un certo numero di trattamenti ad esse correlati realizzati su una strada secondaria, utilizzando il simulatore di guida, al fine di valutare sistemi di riduzione delle velocità più efficaci.



Figura 2-14 – Rallentatori ottici, la distanza tra le bande decrescente e costante (Godley, 1999)

In tale sperimentazione sono state analizzate le velocità in diverse sezioni (Figura 2-15), e per i diversi trattamenti e confrontati con un sito di controllo. Lo studio riprodusse attraverso il simulatore di guida una strada extraurbana secondaria con velocità limite di 100 km/h. Ognuno dei trattamenti aveva una lunghezza di 400 m, e terminava 35 m prima dell'inizio di una intersezione.

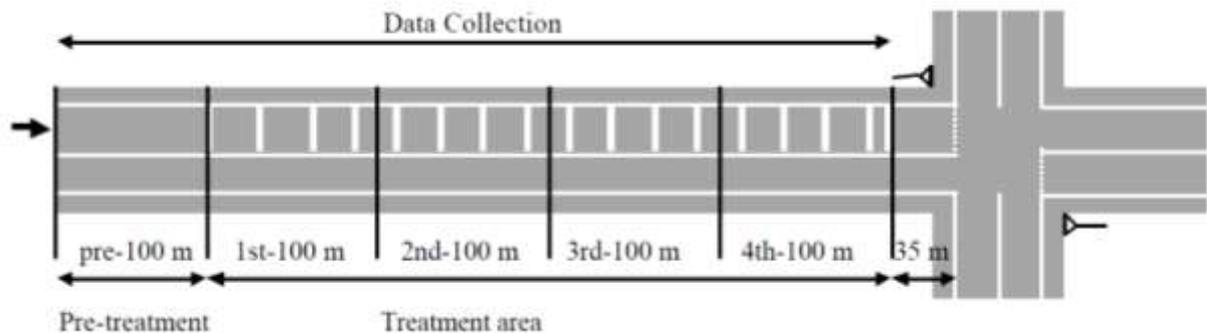


Figura 2-15 – Schema rallentatori ottici (Godley, 1999)

I risultati (Figura 2-16) mostrarono che nei siti con i trattamenti ebbero una riduzione delle velocità significativa pari a 6.2 km/h per l'intero percorso.

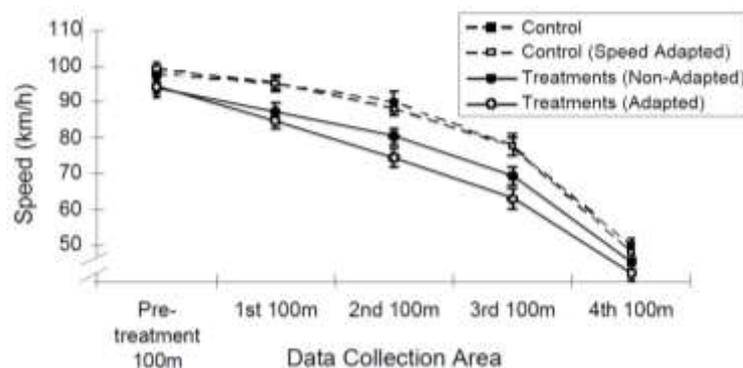


Figura 2-16 – Confronto delle velocità: sito di controllo e trattamenti (Godley, 1999)

Dall'analisi di tali risultati è stato osservato che le velocità incominciavano a diminuire nei siti con i trattamenti già 100m prima dell'inizio dei dispositivi, risultati analoghi si ebbero per un altro trattamento, in cui sono state presenti degli alberi ai lati della strada con distanza esponenzialmente decrescente. Pertanto Godley dedusse che le velocità si ridussero non solo perché influenzati dalla percezione del movimento ma anche perché tali dispositivi avevano anche una funzione di allarme sul conducente.

2.4.2. Convergenza Chevron

Un altro possibile intervento per ridurre la velocità del traffico e gli incidenti è la segnaletica con convergenza chevron. La convergenza Chevron ha una forma di freccia simile al tetto di una casa ed è stata realizzata oltre che con una diminuzione della spaziatura tra gli elementi anche con una riduzione dello spessore, al fine di indurre nel conducente la sensazione di guidare più velocemente del reale.

I primi studi su tale dispositivi sono stati condotti a Osaka (Figura 2-17), in Giappone nei primi anni novanta sul ponte Yodogawa, al fine di far percepire ai guidatori velocità più elevate rispetto a quelle reali. Nello studio non sono state misurate le velocità dopo la loro installazione, ma nei sei mesi successivi non ci sono stati incidenti gravi, mentre nell'anno precedente sul ponte sono stati rilevati due morti e dieci feriti gravi. Pertanto i dispositivi hanno apportato un aumento generale di sicurezza a causa di una funzione di allarme.



Figura 2-17 – Convergenza Chevron ponte Yodogawa, Japan (Meyer, 1999)

Uno studio del 1995 nel Regno Unito condotto da Helliar-Symons ha riportato gli effetti dei dispositivi chevron (Figura 2-18) installati sulle rampe di decelerazione dell'autostrada M1 al fine di far rallentare i guidatori gradualmente per evitare incidenti di tamponamento (Rothenberg et al., 2004).



Figura 2-18 – Convergenza Chevron M1 autostrada, U.K. (Rothenberg et al., 2004)

I ricercatori hanno analizzato gli incidenti tre anni di prima e due anni dopo installazione della segnaletica Chevron. I risultati hanno mostrato una riduzione del 56% degli incidenti totale e il 40% degli incidenti con più multi-veicoli. Dai risultati complessivi di questo studio è emerso che la segnaletica Chevron è stata efficace nel raggiungere gli obiettivi desiderati di ridurre incidenti e migliorare la sicurezza (Godley, 1999; Meyer, 1999; Rothenberg et al., 2004; Voight et al., 2009).

Nel Milwaukee County, Wisconsin, nel 1999, sono stati installati sulle rampe in uscita dell'autostrada IH 94 (Figura 2-19) e disposti sempre più vicini tra loro al fine di fornire l'effetto illusorio di aumento di velocità.



Figura 2-19 – Convergenza Chevron Milwaukee County, Wisconsin (Rothenberg et al., 2004)

Il confronto delle velocità prima e dopo ha mostrato una riduzione delle V_{85} di circa 22 km/h. I ricercatori, nell'anno seguente l'installazione hanno notato una riduzione degli incidenti con un livello di significatività del 90%, si sottolinea che in tale analisi sono stati eliminati gli incidenti avvenuti in particolari condizioni come la presenza di neve (Rothenberg et al., 2004; Voigt et al., 2009).

La segnaletica è stata utilizzata anche in siti diversi dalle autostrade come per le città di Eagan, Minnesota e Columbus, Ohio. Nel 1997 nella città di Eagan è stata installata su una strada residenziale in prossimità di un incrocio con un limite di velocità di 48 km/h (30 mph). Il confronto delle velocità prima e dopo, una settimana, l'installazione ha mostrato che le V_{85} si ridussero del 15%, da 65,6 km/h a 56 km/h. Due anni dopo l'installazione, le V_{85} sono state aumentate, 62,4 km/h (39 mph), ma sono state ancora inferiori rispetto alle V_{85} prima dell'installazione. Tuttavia, quando la segnaletica chevron è stata ridipinta, quattro anni dopo l'installazione iniziale, la V_{85} si sono ridotte nuovamente fino a 56 km/h (35 mph). Analogamente per la città di Columbus, Ohio. Il confronto delle velocità prima e 15 mesi dopo l'installazione ha mostrato che le V_{85} si sono ridotte del 11%, da 60 km/h a 53 km/h (Rothenberg et al., 2004; Voigt et al., 2009).

Corkle nel 2001 ha effettuato uno studio in Minnesota con l'installazione di convergenza Chevron per meglio comprendere l'effetto di tale segnaletica sulla velocità. Il dispositivo è stato applicato per l'intera larghezza della corsia con una spaziatura decrescente per fornire l'illusione che i veicoli procedevano con una velocità di viaggio più elevata di quella effettiva (Figura 2-20).

È stata osservata una riduzione delle velocità medie di 22,4 km/h e delle velocità all'85 percentile di 12,8 km/h una settimana dopo l'installazione, mentre ventotto settimane dopo la riduzione della V_m è stata di 16 km/h e di 8 km/h per le V_{85} (Hallmark et al., 2007; Corkle et al., 2001)



Figura 2-20 – Convergenza Chevron Minnesota (Corkle et al., 2001)

Lo studio più recente di Voigt e Kuchangi (2009) ha valutato l'efficacia della convergenza chevron su una rampa autostradale a El Paso (Figura 2-21), Texas. Le velocità sono state misurate in tre punti lungo la curva in tre diversi periodi per determinare gli effetti a breve e lungo termine del trattamento. L'analisi è stata effettuata considerando diversi fattori, come il tipo di veicolo, le condizioni di illuminazioni e la sezione della curva.



Figura 2-21 – Convergenza Chevron El Paso, Texas (Voigt e Kuchangi 2009)

L'analisi ha constatato l'efficacia del trattamento, la riduzione della velocità è variata in base al tipo del veicolo e la posizione della curva. L'effetto massimo è stato ottenuto per veicoli pesanti con una riduzione di 6 km/h nella sezione a monte della curva.

La convergenza Chevron è stata realizzata oltre che con una diminuzione della spaziatura tra gli elementi anche con una riduzione dello spessore, al fine di indurre nel conducente la sensazione di guidare più velocemente del reale. Misurazioni della velocità non sono state disponibili. Tuttavia, dopo sei mesi di utilizzo, non si sono verificati incidenti con lesioni gravi, mentre l'anno prima della loro installazione vi sono state due morti e dieci feriti gravi.

2.4.3. Illusione di Wundt

Esistono alcuni modelli di linee centrali o laterali che possono essere utilizzati in modo da indurre la percezione di riduzione dell'ampiezza della corsia., come l'illusione di Wundt (Figura 2-22).

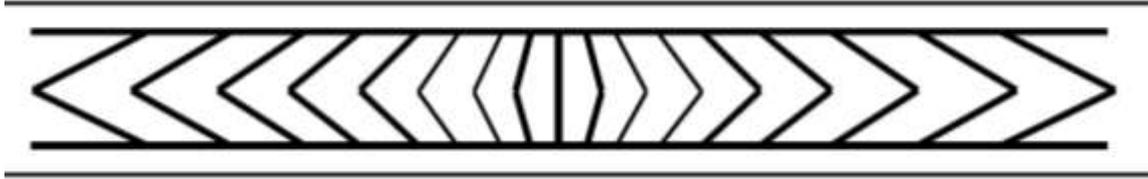


Figura 2-22 –Illusione di Wundt (Godley, 1999)

L'illusione di Wundt, è costituita da due linee parallele curvate verso l'interno, nella parte centrale della corsia, che possono dare l'impressione di un restringimento. Lo scopo è indurre una riduzione della velocità di guida, non solo attraverso l'influenza della percezione della velocità, ma anche attraverso una fittizia illusione di restringimento della larghezza della corsia.

Shinar con altri ricercatori ha valutato l'efficacia della riduzione della velocità di tale trattamento realizzandolo per tutta la larghezza delle due corsie (piuttosto che una singola corsia). Ciò è stato realizzato lungo una strada precedente una curva e lungo la curva stessa. Tale trattamento è stato installato su circa 124 m, di cui 97 m prima di iniziare la curva e la restante parte all'interno della curva, fino a raggiungere circa la metà di questa. Così, la parte centrale del trattamento, in cui si percepisce il restringimento, corrisponde con l'inizio della curva. Si ricavò che l'ulteriore riduzione della velocità avveniva da 195 m prima della curva (98 m prima del trattamento), e tale riduzione di velocità era, all'inizio della curva di 5,3 km/h, immediatamente dopo l'installazione del trattamento. La maggior parte di questa riduzione si è avuta per i veicoli che hanno percorso la strada a velocità particolarmente elevata. In definitiva, è stato valutato che la riduzione delle V_{85} dopo l'installazione è stata di 9,5 km/h.

2.4.4. Bande periferiche trasversali

Le bande periferiche trasversali sono un particolare tipo di segnaletica orizzontale realizzata con strisce disposte ai lati della corsia (Figura 2-23). Tale segnaletica induce nei conducenti, una migliore visibilità della strada ed aumenta l'attenzione del conducente (NCHRP, 2008).



Figura 2-23 – Bande periferiche (NCHRP, 2008)

Per il loro effetto le bande trasversali sono impiegate in punti, come curve o intersezioni, in cui si vuole avere una riduzione della velocità.

Questi dispositivi sono stati sviluppati su un ipotesi proposta da diversi ricercatori come Rutley, Shinar e Triggs. L'ipotesi è stata basata sul concetto che la maggior parte degli stimoli visivi del conducente provengono dalla visione periferica, in altre parole la percezione visiva della velocità è data soprattutto da stimoli periferici. Pertanto, se queste parti venissero rimosse dalle bande ottiche non dovrebbe essere presente nessun cambiamento nel loro effetto sulla percezione della velocità (Godley, 1999). L'ipotesi ha trovato conferma in uno studio condotto da Godley, in cui ha analizzato il comportamento dei conducenti in presenza di tali dispositivi, attraverso un simulatore di guida.



Figura 2-24 – Bande periferiche (Godley, 1999)

Lo studio ha mostrato che le bande periferiche, realizzate con distanza esponenzialmente decrescente, hanno fornito risultati molto simili ed in alcuni punti anche migliori di quelli ottenuti con i rallentatori ottici. I risultati hanno dimostrato una riduzione delle velocità medie di 8,39 km/h rispetto al sito di controllo con un livello di significatività inferiore del 0,001.

Nel 2002, le bande periferiche trasversali sono state poste da Macaulay in approccio ad un incrocio a T, su un lungo rettilineo (Figura 2-25) per incoraggiare i conducenti a rallentare più rapidamente del solito.



Figura 2-25 – Bande periferiche in approccio ad un'intersezione (Macaulay, 2002)

Le bande sono state poste 35 m prima dell'intersezione per una lunghezza di 400 m, per una lunghezza totale del trattamento di 435 m. I risultati degli effetti a breve termine non hanno dimostrato un effetto significativo sulle velocità medie. I risultati a lungo termine sono stati più promettenti, la presenza dei dispositivi ha avuto un effetto positivo sulla riduzione della velocità dei veicoli, rispetto ai siti di controllo (Macaulay, 2002).

Katz et al. (2008^a) hanno studiato il comportamento degli utenti in curva in presenza di bande periferiche trasversali fra quattro diverse tipologie al fine di migliorare la visibilità in curva (Figura 2-26).

Ortogonalmente alla linea centrale ed alla linea di margine sono state inserite una serie di bande trasversali con larghezza di 30,5 cm e lunghezza di 45,7 cm. Le quattro serie di bande trasversali considerate nell'esperienza si differenziavano fra loro per la diversa distanza che intercorreva fra una banda e l'altra. La prima serie è stata costituita da bande poste a distanza costante, la seconda serie da bande disposte a distanza decrescente in modo esponenziale, la terza serie è stata realizzata considerando la presenza di due bande trasversali, la seconda e la quarta serie sono state realizzate considerando la presenza di quattro bande trasversali al secondo. Il distanziamento delle bande nella terza e quarta serie è stato opportunamente calcolato considerando la velocità che doveva possedere il veicolo all'inizio ed alla fine dell'intervento e considerando una decelerazione di $2,1 \text{ m/s}^2$. Lo studio è stato condotto attraverso il simulatore di guida Highway Driving Simulator (HDS) presso il Turner-Fair bank Highway Research Center (TFHRC) e i parametri analizzati sono stati le velocità e le posizioni laterali. Le diverse condizioni di guida sono state confrontate fra loro ed i risultati hanno mostrato che i trattamenti sono stati efficaci nel ridurre la velocità, ma non vi erano differenze significative tra i trattamenti. L'analisi della posizione del veicolo ha rilevato che il conducente tendeva ad assumere una posizione corretta e più distante dalla linea di centro, ciò aumenta la sicurezza soprattutto su strade a singola corsia per senso di marcia (Katz et al., 2008^a).

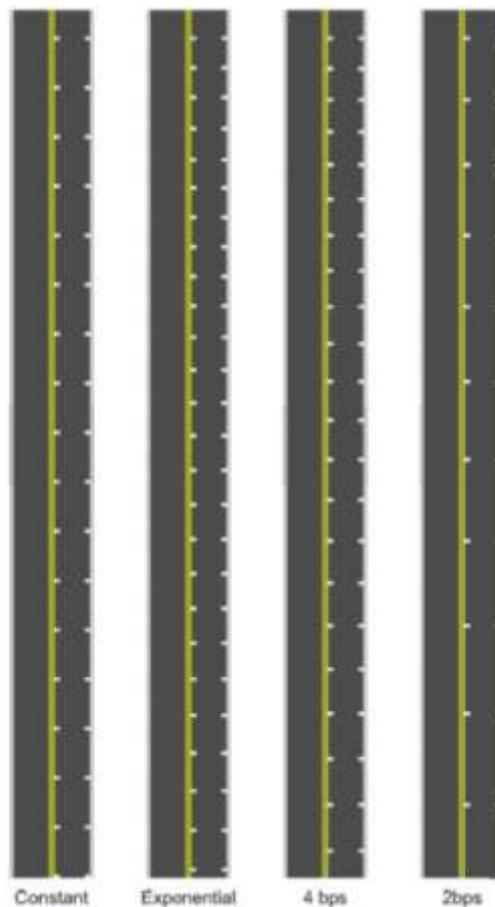


Figura 2-26 – Bande periferiche al simulatore (Katz et al., 2008^b)

Katz et al. (2008^b) hanno valutato l'efficacia delle bande periferiche trasversali attraverso test su strada (Figura 2-27). I dispositivi sono stati installati in approccio alle curve su rampe in uscita, secondo due diverse tipologie due bande al secondo e di quattro bande al secondo. Per attirare l'attenzione dei guidatori prima di ogni serie di bande trasversali sono stati inseriti una serie di rallentatori sonori realizzati con strisce di larghezza pari a 30 cm e lunghezza pari a 2,70 m.



Figura 2-27 – Bande periferiche su strada (Katz et al., 2008^b)

I risultati della sperimentazione sono stati ottenuti confrontando la condizione base, cioè in assenza di intervento, con il medesimo tratto in cui è stato inserito l'intervento. I risultati hanno mostrato una riduzione della velocità di 15,84 km/h nel caso di due bande al secondo e di 19,68 km/h nel caso di quattro bande al secondo.

2.4.5. Denti di drago

I denti di drago (Department for Transport, 2000) sono costituiti da una serie di coppie di triangoli con base e interasse e altezza crescente in direzione del moto, al fine di avere un effetto a imbuto per ridurre maggiormente la larghezza della corsia approssimandosi al punto critico, per indurre un aumento del rischio percepito e modificare il comportamento del guidatore.

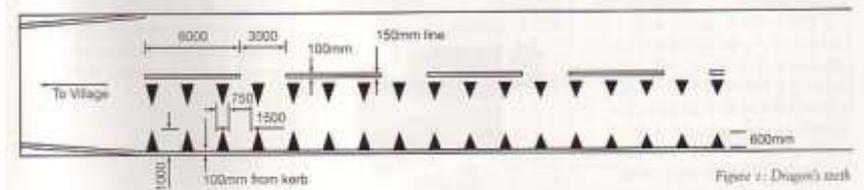


Figura 2-28 – Denti di drago (Department for Transport, 2000)

Tale segnaletica stradale ha consentito significative riduzioni di velocità in applicazioni su scala reale. Nel Regno Unito sono stati utilizzati come dispositivi con la funzione di rallentare i veicoli in ingresso nell'agglomerato urbano. Nei tratti extraurbani i guidatori mantengono elevate velocità operative e spesso non modificano, o modificano solo in misura insufficiente, la condotta di guida passando all'ambito urbano. Al fine di far comprendere al guidatore che sta attraversando tronchi di strada con differenti sono stati inseriti tali dispositivi al fine di allertare il conducente del cambiamento in modo da adeguare il suo comportamento (Hallmark et al., 2008; Lamberti et al., 2009).



Dorrington



Pant

Figura 2-29 – Esempi di denti drago, UK (Department for Transport, 2000)

In letteratura sono presenti diversi studi che hanno mostrato una riduzione della velocità media compresa tra i 12,6 km/h e i 16,0 km/h (Department for Transport, 2000; Charlton et al., 2006).

2.4.6. Bande sonore

Le bande sonore sono delle strisce realizzate trasversalmente alla direzione di marcia lungo quasi tutta la larghezza della corsia e producono delle sensazioni tattili e uditive quando sono attraversate. Possono essere collocate longitudinalmente all'asse stradale (Figura 2-30) e poste o sulle linee di margine o sulle banchine, per allertare i conducenti che stanno uscendo dalla carreggiata al fine di ridurre gli incidenti per fuoriuscita.



Figura 2-30 – Bande sonore longitudinali (Corkle et al., 2001)

Possono essere anche collocate ortogonalmente all'asse della strada (Figura 2-31) per avvisare i conducenti di un cambiamento della strada e situati in punti di elevato pericolo come intersezioni, curve, cantieri di lavoro, etc. (Corkle et al., 2001).



Figura 2-31 – Bande sonore trasversali (Corkle et al., 2001)

Le bande sonore trasversali influenzano il comportamento di guida dei conducenti secondo diversi meccanismi. Questi dispositivi sono stati sviluppati sull'ipotesi che gli stimoli sonori e tattili, prodotti dal veicolo quando attraversano il dispositivo, allertano il conducente di un potenziale pericolo, aumentando la loro attenzione e variando il loro comportamento di guida (Carlson et al., 2003).

Tra il 1982 e il 1984 nello stato della Louisiana, sono stati installati rallentatori sonori in 26 sezioni con lo scopo di studiare dispositivi di controllo per la riduzione delle velocità in siti ad elevato rischio. Sono stati confrontati gli incidenti avvenuti nei due anni prima e nei due anni dopo l'installazione delle bande sonore. I risultati hanno dimostrato una riduzione sia delle frequenze sia della severità degli incidenti registrati. Nei due anni prima dell'installazione sono stati registrati il 58,6% degli incidenti avvenuti nei quattro anni di riferimento, in tale periodo il 2,6% sono stati mortali mentre nei due anni successivi non stati registrati incidenti mortali. I risultati hanno evidenziato come gli stimoli sonori e tattili prodotti dalle bande sono efficaci soprattutto nel avvisare i conducenti di punti potenzialmente pericolosi in condizioni di ridotta visibilità, gli incidenti notturni sono stati ridotti in misura significativa, passando dal 25,0% nel periodo prima al 12,5% nel periodo dopo. Questa teoria è stata rafforzata analizzando la distribuzione degli incidenti in condizioni meteo sfavorevoli, la maggior parte degli incidenti è avvenuta prima dell'installazione con il 60,6% contro il 39,4% nel periodo successivo (Moore, 1987).

Nello stato del Minnesota Harder con altri ricercatori studiarono il comportamento dei conducenti in presenza di bande sonore in approccio a intersezioni con il segnale di fermarsi e dare precedenza in presenza e in assenza di traffico. Nel primo studio i ricercatori,

attraverso l'uso di un simulatore di guida, hanno variato il numero e il tipo di rallentatori sonori e testati su due diversi tipi di incroci controllati. In assenza dei rallentatori nessuna di queste condizioni è sembrata pregiudicare il punto in cui gli autisti si sono fermati agli incroci o il punto in cui i conducenti hanno iniziato a rallentare. Le stesse condizioni di guida sono state confrontate dopo aver installato i rallentatori sonori e la ricerca ha rivelato che i conducenti hanno anticipato la fase di inizio decelerazione ed anche il punto di arresto è stato prima (Harder et al., 2002). L'obiettivo del secondo studio è stato di determinare l'effetto di rallentatori sonori sulle prestazioni di guida per guidatori privati del sonno. Ogni partecipante è stato testato su un periodo di venti ore di guida in un simulatore di guida. La ricerca ha confermato i risultati ottenuti in precedenza. Anche se la privazione del sonno non ha influenzato comportamenti di guida del conducente in approccio alle intersezioni (Harder et al., 2005). Nel terzo studio l'efficacia dei rallentatori sonori è stata valutata analizzando le velocità registrate, attraverso una pistola radar, di 400 veicoli in approccio a dieci intersezioni. Lo studio ha evidenziato una riduzione delle velocità tra i 3,2 km/h e gli 8,0 km/h secondo il tipo di veicolo e del tipo di approccio. La ricerca ha anche evidenziato l'efficacia dei dispositivi è stata maggiore nei siti dove la visibilità era ostruita da ostacoli come vegetazione (Harder et al., 2006).

Miles insieme con altri ricercatori ha esaminato la risposta del conducente e la possibilità di compiere manovre irregolari in presenza di diversi tipi di rallentatori sonori. Gli stimoli prodotti dai dispositivi potrebbero generare confusione o sorpresa nel conducente, il quale potrebbe compiere una manovra errata come un'improvvisa frenata, brusca sterzata correggendo la traiettoria nella direzione sbagliata, compromettendola sicurezza stradale. Sono state studiate bande rumorose poste sulle strisce di margine e trasversalmente alla direzione di moto.



Figura 2-32 – Bande sonore longitudinali e trasversali (Miles et al., 2006)

Non sono emerse prove che abbia suggerito che l'installazione di bande rumorose possa indurre in manovre irregolari da parte dei conducenti (Miles et al., 2005, 2006.)

Thompson et al., (2006) hanno studiato l'efficacia delle bande sonore trasversali, come dispositivo di allarme, per cinque intersezioni extraurbane con un elevato rischio, in cinque città differenti: Waco; Snook; Colorado City; Millican; Hearne. I rallentatori sono stati applicati alla pavimentazione mediante l'applicazione di strisce di laminato elastoplastico

con una lunghezza di 1,52 m, con una di larghezza 160 mm e con uno spessore di 10 mm (Figura 2-31).

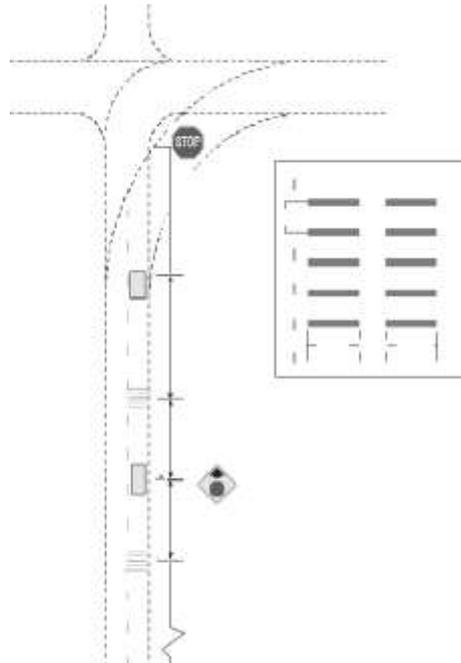


Figura 2-33 – Bande sonore trasversali (Thompson et al., 2006)

L'installazione dei dispositivi ha prodotto una piccola riduzione, ma statisticamente significativa delle velocità pari a 1,6 km/h (Thompson et al., 2006).

2.4.7. Pavimentazione colorata

La pavimentazione colorata è una tecnica ampiamente utilizzata sia per evidenziare una particolare caratteristica della strada dove i piloti devono fare molta attenzione sia per delineare lo spazio stradale (ad esempio mediante l'uso di piste ciclabili o bus) (Department for Transport, 2000; Hallmark et al., 2007).



Figura 2-34 – Pavimentazione colorata (Department for Transport, 2000; Hallmark et al., 2007)

Tali dispositivi sono molto utilizzati nel Regno Unito e in Nuova Zelanda, in corrispondenza di Gateway. Per tali dispositivi non è stata registrata una significativa riduzione delle velocità, ma è stato osservato che il comportamento dei conducenti è stato modificato (Department for Transport, 2000; Hallmark et al., 2007)

2.4.8. Isola materializzata

La percezione dell'ambiente stradale ha un ruolo primario nella scelta dei comportamenti di guida, sembra logico aspettarsi che la larghezza della corsia ha una forte influenza sulla percezione e le velocità di viaggio. Le isole materializzate sono state ampiamente utilizzate per la produzione di restringimento localizzato su strada e in grado di produrre e mantenere significative riduzioni di velocità. In un sondaggio di un numero ristretto di strade con trattamenti chicane, è stato trovato che la velocità media è stata pari a 6,5 km/h ed la velocità all'ottantacinquesimo percentile è stata 50 km/h (Fildes et al., 1994; Charlton, 2006). La presenza dell'isola, non solo induce nel guidatore una sensazione di riduzione dello spazio stradale, ma lo costringe anche a cambiare il percorso di guida (TRB, 1998), tale manovra implica un maggiore carico di lavoro che lo costringe a far rallentare.

La Federal Highway Administration (FHWA), ha individuato questa contromisura efficace (Figura 2-35) per la riduzione degli incidenti lungo strade extraurbane (Bared, 2008; Gross et al., 2009).

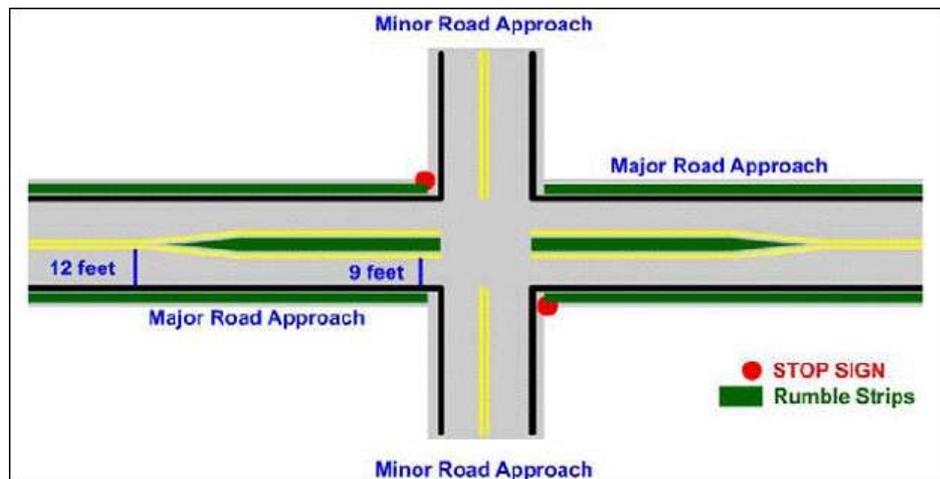


Figura 2-35 – Isola materializzata (Bared, 2008)

Al fine di studiare l'efficacia delle isole materializzate, sono state realizzate in 9 siti: Maryland, Virginia, New Mexico, Pennsylvania, Kentucky, Missouri, Florida e California, con una lunghezza di 45,75 m. All'aumentare della lunghezza gli utenti percorrono una distanza maggiore nella corsia ristretta, e ciò può indurre una riduzione di velocità maggiore.

La larghezza delle corsie è stata ridotta da 3,66 m a 2,75 m, sono stati inseriti anche dei rallentatori sonori che hanno anche il compito di fornire una maggiore visibilità di notte e in cattive condizioni meteorologiche .

Dopo l'implementazione, è stata registrata una riduzione sia delle V_m (5,64 km/h) sia delle V_{85} (7,25 km/h) statisticamente significative e con un intervallo di confidenza del 95%. I veicoli pesanti hanno mostrato una riduzione delle velocità medie di circa 7,1 km/h e di 7,2 km/h per le velocità all'ottantacinquesimo percentile. Dal confronto degli incidenti prima e dopo è stata registrata una sostanziale diminuzione, anche se il Wilcoxon test non ha indicato alcuna differenza significativa (Bared, 2008; Gross et al., 2009).

L'isola materializzata è stata utilizzata anche come dispositivo al fine di rallentare i veicoli in ingresso negli agglomerati urbani. Nei tratti extraurbani i guidatori mantengono elevate velocità operative e spesso non modificano o modificano solo in misura insufficiente la condotta di guida passando all'ambito urbano. In uno studio condotto da Taylor e Wheeler in Gran Bretagna, è stata riscontrata una riduzione di incidenti in seguito all'installazione di diversi dispositivi come chicane, restringimento di corsia, mini-rotatorie, dossi in corrispondenza di porte di accesso. La riduzione degli incidenti gravi e mortali è stata di circa il 70% e di circa il 37% per incidenti con feriti lievi (ERSO, 2006).

In Nuova Zelanda, sono state utilizzate analoghe misure ponendo delle chicane in ingresso dei centri abitati (Figura 2-36).



Figura 2-36 – Isola materializzata (Charlton, 2006)

L'inserimento dell'ostruzione fisica ha indotto una riduzione delle velocità di circa del 26% delle velocità e sono state registrate delle velocità medie inferiori ai 40 km/h delle velocità all'ottantacinquesimo percentile inferiore ai 50 km/h (Charlton, 2006).

2.5. Intersezioni e comportamenti di guida

Le intersezioni rappresentano punti di notevole interesse, poiché la maggior parte degli incidenti avviene su di essi (Berndt et al., 2007). Pertanto nasce l'esigenza di comprendere i comportamenti degli utenti in approccio alle intersezioni, per prevenire eventuali comportamenti che possono indurre al fenomeno incidentale. Da un'analisi della letteratura, nonostante l'importanza di tale argomento, gli studi disponibili sono sorprendentemente scarsi, la maggior parte di essi si riferisce a dati obsoleti e non a recenti osservazioni, quindi potrebbero non essere applicabili ai conducenti attuali, perché ci sono stati sostanziali cambiamenti nelle caratteristiche dei veicoli, dei flussi di traffico, dell'ambiente stradale (Haas et al., 2004; Berndt et al., 2007).

Dall'analisi della letteratura è emerso che il comportamento dei guidatori in approccio alle intersezioni varia al variare della geometria, dalla presenza di altri utenti, alle condizioni

atmosferiche, da pilota a pilota, ma anche in funzione dello stesso pilota. Tali considerazioni sono congruenti con i diversi modelli trovati: costante; lineare; polinomiale (Wang et al., 2004; Wang et al., 2005; Haas et al., 2004; Berndt et al., 2007; El-Shawarby et al., 2007):

Decelerazione costante

Secondo tali modelli la decelerazione è mantenuta costante durante l'intera fase di decelerazione. Nel 1960, Gazis, con altri ricercatori, studiò il comportamento dei guidatori in approccio ad un'intersezione semaforizzata ed osservò che i guidatori che viaggiavano con velocità superiori ai 72 km/h deceleravano con un tasso pari a 5 m/s^2 . Studi successivi, condotti nel 1980 da Parsonson e Santiago trovarono che i piloti rallentavano con un tasso di decelerazione pari a 3 m/s^2 , mentre nel 1983, Wortman e Mattia, in uno studio su sei incroci dell'Arizona e trovarono che il tasso di decelerazione media variava tra $2,1 \text{ m/s}^2$ e $4,2 \text{ m/s}^2$ con una velocità media in approccio pari a 50,6-62,4 km/h. Secondo l'Institute of Transportation Engineers le autovetture rallentavano in modo confortevole con una decelerazione pari a $3,0 \text{ m/s}^2$. Analoghi risultati sono stati riportati nel "A Policy on Geometric Design of Highways and Streets" del 2001, dove le autovetture rallentavano con un tasso pari a $3,4 \text{ m/s}^2$ (Haas et al., 2004; Wang et al., 2005; AASTHO, 2001). Samuels e Jarvis studiarono la decelerazione di 17 guidatori, secondo tale studio i veicoli rallentavano con una decelerazione costante:

$$v = a_0 - a_1 t \quad (2-8)$$

v = velocità del veicolo (km/h)

t = tempo di decelerazione (s)

a_0 e a_1 = costanti

Nel 1995, Haas studiò il comportamento di 299 guidatori su 61 intersezioni con segnale di stop in ambito extraurbano. In tale studio osservò che le velocità decrescevano in modo lineare con il tempo, mantenendo un tasso di decelerazione costante, per una velocità tra 32 and 40 km/h la decelerazione era pari $0,9831 \text{ m/s}^2$, mentre era pari $1,77 \text{ m/s}^2$ per velocità comprese tra i 56 e 64 km/h, restava all'incirca costante sino a velocità pari a 104 km/h. Durante la sperimentazione è stata osservato che la decelerazione iniziava e finiva con un periodo di transizione, pertanto, risultava difficile individuare i punti di inizio e di fine di tale fase e tale modello è stata suddiviso in tre fasi, periodo iniziale con nessuna decelerazione, periodo di mezzo con decelerazione costante e fase finale con nessuna decelerazione (Haas et al., 2004).

Il modello di decelerazione costante sono i più semplici, ma secondo molti studi non riflettevano il reale comportamento dei guidatori (Wang et al., 2005).

Decelerazione lineare

Secondo Sullivan le decelerazioni sono funzioni delle velocità, sono state massime all'inizio della fase di rallentamento e decrescevano linearmente con la velocità fino ad un valore costante o a zero (Bennet et al., 1995.)

$$a = a_0 - a_1 v - Mg \frac{GR}{(M+M')} \quad (2-9)$$

a = tasso di decelerazione (m/s²)

v = velocità del veicolo (km/h)

a₀ e a₁ = costanti del modello

M = massa del veicolo (kg)

M' = massa effettiva, massa inerziale (kg).

Bennett e Dunn hanno condotto uno studio per monitorare il comportamento del veicolo in decelerazione sulle rampe di uscita dell'autostrada di Grafton in Nuova Zelanda. Dall'analisi dei profili di velocità è stato osservato che i veicoli hanno rallentato lungo il loro percorso sempre alla stessa distanza a prescindere dalla velocità iniziale, di conseguenza, la decelerazione è stata proporzionale alla velocità iniziale, quindi maggiore è stata la velocità di approccio maggiore è stata la decelerazione. Il modello ha mostrato, dunque, che le velocità sono funzioni lineari della velocità mentre decrescono con il tempo al quadrato secondo la seguente equazione (Bennet e Dunn, 1995; Wang et al., 2005):

$$v = v_a - a_0 v_a t^2 \quad (2-10)$$

v = velocità del veicolo (km/h),

t=tempo di decelerazione (s),

v_a= velocità in approccio (km/h),

a₀= costanti del modello.

Derivando tale equazione è stata ottenuta la decelerazione, la quale è funzione lineare rispetto al tempo ed ha evidenziato che tale valore variava in funzione della velocità:

$$d = a_1 v_a t \quad (2-11)$$

d = tasso di decelerazione (m/s²)

a₁ = parametro costante.

Decelerazione Polinomiale

Akcelik, Biggse Lay (Bennet et al., 1995; Akçelik e Besley, 2002) hanno studiato i comportamenti di decelerazioni in diverse condizioni di traffico (libero, medio, congestionato), per diverse intersezioni (rotatorie, incroci semaforizzati o in presenza di segnale di fermarsi e dare precedenza) e su diversi tipi di strada (urbana, extraurbana, centro città e periferia). Hanno confrontato i diversi modelli ottenendo un modello di decelerazione polinomiale:

$$d = r a_m (1 - \theta_m)^2 \text{ con } m > -0.5 \quad (2-12)$$

$$v = v_i + t_a r a_m \theta^m \left[0.5 - \frac{2\theta^m}{m+2} + \frac{\theta^{2m}}{2m+2} \right] \quad (2-13)$$

d = decelerazione (m/s²)

a_m =max decelerazione 1

j = t/t_a tempo di decelerazione relativo

t = tempo di decelerazione (s)

t_a = tempo di totale di decelerazione;

v_i = velocità iniziale della decelerazione (km/h)

m = parametro del modello di calibrazione che dipende dalla velocità iniziale e finale, tempo di decelerazione, e distanza.

r = parametro del modello calibrato che dipende da m .

2.6. Misure surrogate della sicurezza

Una misura surrogata della sicurezza stradale è definita come una misura indiretta della sicurezza, come proposto nel "White Paper SURROGATE MEASURES OF SAFETY" (Tarko et al., 2009). Dall'analisi della letteratura è emerso che negli anni diverse attività di ricerca si sono focalizzate nell'individuare delle metodologie per valutare la sicurezza stradale e verificare la loro affidabilità e validità attraverso diversi parametri che non riguardino il numero di incidenti o tassi di incidentalità ma che valutino fattori che, direttamente o indirettamente, possano essere la causa di eventuali incidenti. Tradizionalmente la sicurezza stradale è definita come misura della "non sicurezza stradale", definendo siti ad alto rischio per mezzo delle statistiche incidentali, al fine di implementare le contromisure più adatte. Questo approccio ha dimostrato di essere efficace; tuttavia, è un approccio "reattivo", cioè, le contromisure vengono valutate e implementate solo in seguito ad un'alta concentrazione di incidenti. Inoltre, un incidente è un evento raro, a cui è associato la concomitanza di diversi fattori che variano di volta in volta che porta dunque ad una riduzione degli incidenti da studiare nei diversi casi, inoltre non tutti gli arresti sono segnalati e il livello di informazione non è uniformemente distribuito per quanto riguarda tipo di utenti coinvolti, ubicazione, gravità delle lesioni ed altro. L'uso delle misure surrogate oltrepassano tali problemi e permettono di studiare le problematiche della strada prima che si verifichi l'evento incidentale, analizzando le condizioni che incorrono nel sinistro (Thompson et al., 1983; Perkins et al., 1983; Svensson et al., 2006; Feng et al., 2010). Per comprendere il concetto delle misure indirette della sicurezza è utile richiamare la piramide degli eventi proposta da Heinrich nel 1959 in ambito industriale (Figura 2-37). Egli, dopo aver raccolto dati riguardanti migliaia di eventi, osservò che per ogni grave incidente avvenissero mediamente circa trenta incidenti di gravità minore (in termini di danni e/o lesioni) e circa trecento eventi di pericolo, nei quali non si sono state verificati danni o lesioni, ma che avevano le stesse dinamiche di causalità degli eventi più gravi (Heinrich, 1959; Guo et al., 2010). Tale approccio è stata introdotto nel 1979 dalla Federal Highway Administration (FHWA), come citato da Perkins e Bowman (1983) e nel 1987 Hyden propose la piramide (Figura 2-38) del continuum degli eventi precedenti agli incidenti (Oh et al., 2010).

Il carattere aleatorio degli incidenti o quasi implica che la presenza di un elevato fattore di rischio non porterà necessariamente ad una collisione o quasi, mentre la probabilità che essi

accadono aumenterà. Ad esempio, la presenza di sonnolenza non porterà a un incidente in via definitiva, ma la probabilità che esso accada è piuttosto elevata. Lo stesso meccanismo causale può anche essere inteso come il fattore che porterà ad un'elevata probabilità che avvenga un incidente o un evento ad esso prossimo. Gli spessori degli strati della piramide rappresentano la frequenza di diversi eventi. Partendo dalla base della piramide, la stragrande maggioranza del flusso di traffico si verifica in condizioni normali, tale frequenza si riduce se si considera la possibilità che si verifichi una situazione potenzialmente pericolosa, in altre parole che si possa innescare una condizione tale che da una normale condizione di traffico si possa creare una situazione di potenziale pericolo, la frequenza che tale situazione evolva in una situazione pericolosa diminuisce ed ancora più bassa è la frequenza che quest'ultima evolva in un incidente, si osserva che mentre la frequenza che si verifichi un incidente diminuisce la sua severità aumenta (Weller et al., 2006).

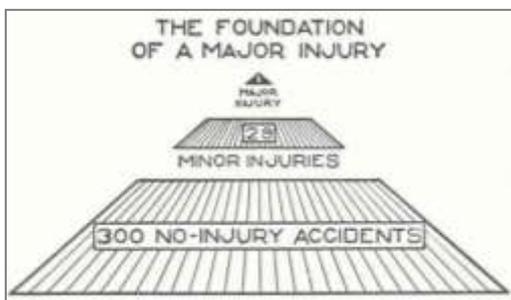


Figura 2-37 – Piramide degli eventi di Heinrich, 1959

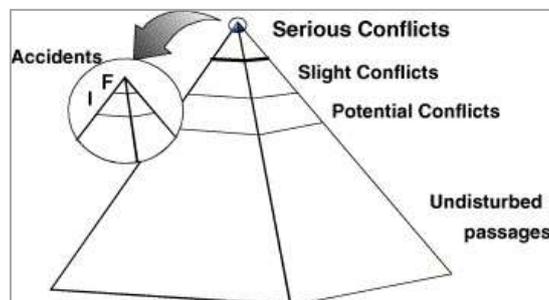


Figura 2-38 – Piramide di Hyden 1987 (Oh et al., 2010)

L'uso delle misure surrogate quindi è collegata alla capacità di registrare situazioni prossime all'evento incidentale ma che non si sono trasformate in veri e propri incidenti. Tale approccio consente di ampliare notevolmente il campione di analisi su un sito specifico poiché non necessita direttamente dell'osservazione dell'incidente. L'uso di misure sostitutive offre, dunque, la possibilità di valutare la sicurezza stradale quando il numero degli incidenti non è disponibili come per una strada di nuova esistenza oppure per una mancanza di registrazione degli incidenti. Un valore aggiunto all'uso delle misure di sicurezza indiretta è che permettono di valutare un rischio prima che si abbia un elevato numero di incidenti. Inoltre, la conoscenza del modello di eventi che precede gli incidenti potrebbe fornire una valida indicazione su misure preventive da adottare (Weller et al., 2006; Cafiso et al., 2008).

L'uso e l'efficacia di una misura surrogata non è però così semplice, affinché si possa usare una misura indiretta della sicurezza la sua frequenza deve essere fortemente associata con la frequenza di incidenti, una forte associazione farà sì che l'analisi di misure sostitutive non si discosterà in modo significativo dal numero di incidenti che si dovrebbero verificare. Una misura per essere definita misura surrogata deve soddisfare due condizioni (Tarko et al., 2009):

1. una misura o un'osservazione dell'evento non incidentale deve essere legato fisicamente agli incidenti in modo prevedibile e attendibile;

2. una variazione dell'evento non incidentale deve corrispondere una variazione della frequenza e /o della severità degli incidenti.

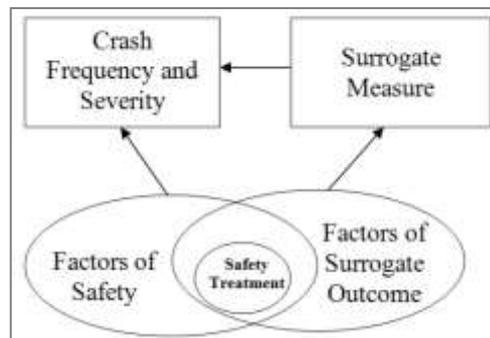


Figura 2-39 - Relazione tra Misure Surrogate e Frequenza degli Incidenti (Tarko et al., 2009)

Dall'analisi della letteratura è emerso che negli anni diverse attività di ricerca si sono focalizzate nell'individuare delle metodologie per valutare la sicurezza stradale e verificare la loro affidabilità e validità attraverso diversi parametri che non riguardino il numero di incidenti o tassi di incidentalità ma che valutino fattori che, direttamente o indirettamente, possano essere la causa di eventuali incidenti. Tali fattori sono stati suddivisi in variabili non operative come il grado di curvatura, larghezza della banchina, presenza di ostacoli fissi, etc., e in variabili operative come AADT, accelerazione, velocità di guida, posizione del veicolo, etc. (Thompson e Perkins, 1983; Gettman and Head, 2003; Guo et al., 2010).

Le misure indirette maggiormente utilizzate si basano sull'analisi dei conflitti di traffico come la misura di variabili oggettive spaziali e/o temporali, dette indicatori prossimali di sicurezza, che descrivono le interazioni tra due utenti della strada coinvolti in un evento critico per la sicurezza, esempi sono: il Time to Accident (TA), che vanta il maggior numero di applicazioni sperimentali ed è calcolato come il tempo necessario all'accadimento dell'incidente che si manifesterebbe se non venissero compiute manovre evasive dall'istante in cui il conflitto si manifesta; il Time to Collision (TTC), cioè il tempo che, nelle diverse fasi del conflitto, occorrerebbe ad un veicolo per scontrarsi con l'altro utente della strada, se fosse mantenuta la velocità relativa corrente al punto dato; Time to Zebra (TTZ) è una variante del concetto di Time-to-Collision, sviluppata con il proposito di stimare la sicurezza della circolazione per l'attraversamento dei pedoni; Post Encroachment Time (PET), definito come il periodo di tempo dal momento in cui il primo utente della strada sta lasciando la zona di conflitto fino a che il secondo utente non la raggiunga (Gettman et al., 2003; Cafiso et al., 2008).

Altri studi si sono basati sulle prestazioni dell'utente, come l'utilizzo di errori e di conflitti come variabili prossime agli incidenti. L'ipotesi base è la cosiddetta causa comune, ciò significa che gli errori e gli incidenti sono generati dagli stessi meccanismi causali e che tutti gli incidenti sono in realtà preceduti rispettivamente da errori e conflitti. Questo approccio è stato tra l'altro usato da Reichart nel 2001 che ha proposto un modello ad albero di errore generico (Figura 2-40) per descrivere questa interrelazione.

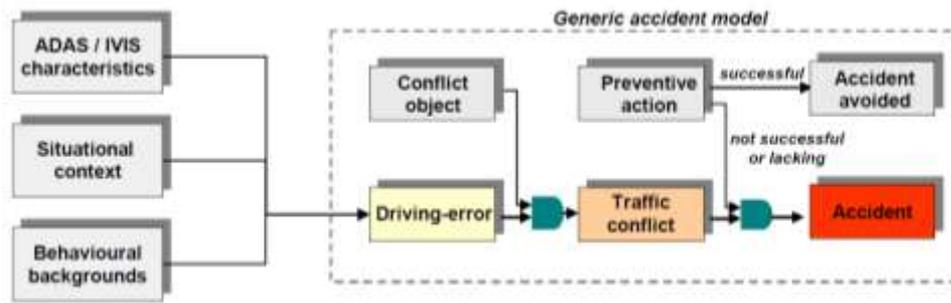


Figura 2-40- Modello ad albero di errore generico (Weller et al., 2006)

Il modello ha descritto la dinamica di un incidente data dalla combinazione di fallimenti e di fattori che contribuiscono allo sviluppo di errore. Tale sistema ha dimostrato lo stretto margine tra gli eventi che diventano incidenti e quelli che non lo fanno (Weller et al., 2006).

In uno studio condotto sui dati che si riferiscono alle condizioni in cui si è verificato l'incidente e sui dati riguardanti le condizioni prossime all'evento incidentale hanno evidenziato che la causa principale è stato l'aver sottovaluto il rischio potenziale (Feng et al., 2010).

Alcuni di questi studi hanno usato come misura di prestazione la velocità e la posizione laterale. Come già discusso tra gli incidenti e le velocità esiste un forte legame. L'eccesso di velocità riduce la capacità del conducente di reagire a situazioni di emergenza, si riduce il tempo disponibile per acquisire le informazioni che la strada fornisce all'utente in modo che questo possa prendere una decisione, di conseguenza il tempo di reazione diminuisce all'aumentare della velocità. Attualmente diversi ricercatori stanno analizzando, anche, la connessione tra posizione laterale e incidenti. La posizione laterale del veicolo, definita come la distanza del baricentro del veicolo dal centro della corsia (Rosey et al., 2008), è una misura sensibile delle prestazioni di guida e rappresenta la scelta di guidare all'interno di un percorso sicuro (AIDE, 2004).

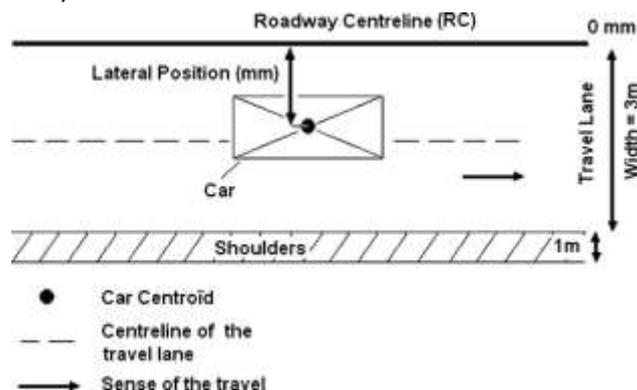


Figura 2-41- Definizione posizione laterale (Rosey et al., 2008)

È evidente che la posizione ottimale di un autoveicolo sulla propria corsia è quella centrale; nella realtà l'autoveicolo modifica continuamente la propria posizione, ondeggiando letteralmente tra l'estremo destro e sinistro della corsia in funzione di numerosi fattori (AIPCR, 2010). La variazione della posizione laterale è una variazione non

intenzionale causata dalla difficoltà di mantenere una posizione costante (AIDE, 2004). Questi errori potrebbero derivare dalla percezione ingannevole dell'ambiente stradale, contribuendo circa col 30% degli incidenti dovuti ad errori umani.

Già negli anni '70 Taylor e Stimpson con i rispettivi collaboratori studiarono l'efficacia di delineatori in curva attraverso tali misure operative. I ricercatori hanno valutato diverse misure come: varianza della posizione laterale a metà di una curva, media, varianza e asimmetria della distribuzione di velocità nel punto medio di una curva, tasso di decelerazione e cambio di velocità. Le analisi di regressione hanno evidenziato delle correlazioni statisticamente significativa tra le percentuali di incidenti e la varianza della distribuzione della posizione laterale, mentre le diverse misure di velocità hanno trovato delle relazioni non statisticamente significative. Studio analogo fu condotto da Stimpson con altri ricercatori analizzando gli incidenti in diversi tratti stradali, come rettilinei e curve. Nello studio la regressione lineare multipla ha individuato le misure di posizione laterale come i migliori predittori degli incidenti, ma anche l'indice di asimmetria della distribuzione delle velocità è risultato un buon indicatore. Un importante studio fu condotto da Zegeer et al. che hanno esaminato i rapporti della polizia per 104 incidenti mortali e 104 incidenti con feriti in curve orizzontali su strade extraurbane a due corsie in North Carolina. Essi hanno scoperto che la velocità stimata prima di incidenti mortali è stata molto più elevata rispetto ai non mortali e che la velocità è un fattore definitivo in entrambi i casi e sulla gravità degli incidenti (Anderson et al., 2000).

Lo sviluppo di nuove tecnologie sta permettendo di facilitare lo studio del comportamento del conducente e la sicurezza stradale analizzando parametri operativi come la velocità e la posizione laterale del veicolo. Queste nuove metodologie usufruiscono di veicoli opportunamente equipaggiati che permettono le registrazioni dati cinematici del veicolo il comportamento e le prestazioni dei guidatori non solo quando avviene il fenomeno incidentale, ma anche quando ci si trova in condizione prossime alla collisione e nelle normali condizioni di guida (Boonsiripant, 2009; Carlson et al., 2009).

2.7. I simulatori di guida

Nella letteratura internazionale si rinvengono non pochi contributi scientifici, in cui un approccio in simulazione trova giusta applicazione allo studio di specifici aspetti medici, fisiologici, psicologici e dell'ingegneria meccanica. L'uso del simulatore è un valido strumento anche per studi nell'ingegneria stradale (AIPCR, 2010).

I simulatori di guida permettono di simulare in modo più o meno fedele il comportamento reale di un veicolo in un'ambientazione virtuale. In un simulatore ben costruito, il guidatore percepisce le stesse sensazioni fisiche che prova durante la guida di un vero veicolo. Questo è valido non solo nel campo degli stimoli di retroazione visivi e acustici,

ma anche per ciò che riguarda la percezione del senso di movimento, di accelerazione e di decelerazione, di controllo del veicolo e per ciò che riguarda l'interazione fisica che si viene a creare con la struttura meccanica del simulatore (Maso, 2008).

Lo strumento della simulazione di guida in realtà virtuale consente, con grande versatilità, di verificare in ambiente interattivo situazioni geometriche di qualsiasi tipo in condizioni di traffico (livello di servizio) e in condizioni ambientali (p. es. abbagliamento, nebbia, bassa aderenza, ecc.) predeterminate, attraverso procedure sperimentali standardizzate, controllate e completamente ripetibili. L'uso del simulatore di guida permette di: analizzare i fattori umani che regolano la guida del veicolo, quale ad esempio la variabilità del tempo di reazione in diverse situazioni di circolazione, geometriche, ambientali e di traffico; verificare il comportamento degli utenti in particolari condizioni di circolazione, come ad esempio la valutazione del rischio accettato in funzione del disagio indotto dalle interferenze veicolari; analizzare le conseguenze imputabili alla variazione di una o più condizioni che caratterizzano il sistema uomo-strada-ambiente, quale, ad esempio, la dispersione delle traiettorie in funzione del dimensionamento e della successione delle geometrie d'asse. Il simulatore di guida è un valido aiuto in fase di elaborazione dei progetti sia per verificare la qualità delle scelte, sia per orientare le scelte stesse verso risultati più efficaci (AIPCR, 2010).

2.7.1. Caratteristiche principali dei simulatori

Le simulazioni sono uno strumento sperimentale molto potente e si avvalgono delle possibilità di calcolo offerte dall'informatica; la simulazione, infatti, non è altro che la trasposizione in termini logico-matematico-procedurali di un "modello concettuale" della realtà; tale modello può essere definito come l'insieme di processi che hanno luogo nel sistema valutato e il cui insieme permette di comprendere le logiche di funzionamento del sistema stesso.

Per riprodurre l'ambiente reale, i simulatori devono essere composti di più parti che devono operare in modo coordinato. Queste sono:

- sistema di riproduzione delle sensazioni fisiche, acustiche, visive e tattili generate dal movimento del veicolo sul pilota;
- sistema di acquisizione delle azioni del pilota;
- sistema di elaborazione dei dati in ingresso in grado di prevedere l'evoluzione del sistema (dinamico);
- sistema di riproduzione dell'ambiente esterno dal punto di vista grafico, acustico ed eolico.

Il centro del sistema è costituito dal guidatore che è posto all'interno di un ambiente virtuale che riproduce situazioni di guida reali (Figura 2-42 e Figura 2-43).

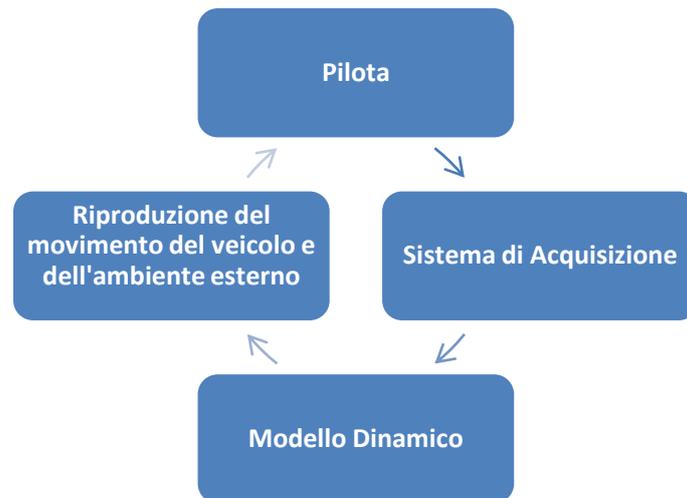


Figura 2-42 – Schema a blocchi di un simulatore di guida

Il cervello umano percepisce il movimento combinando diverse sensazioni di tipo visivo, acustico, e fisico. A queste sensazioni si aggiungono le percezioni del movimento fornite dal sistema vestibolare situato nell'orecchio interno che hanno la funzione di rilevare rispettivamente l'equilibrio statico e quello dinamico.

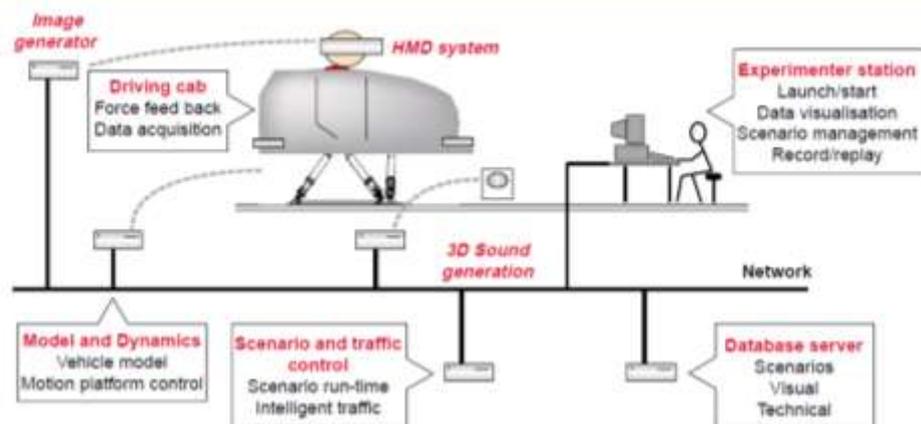


Figura 2-43 – Simulatore di guida – struttura generale

L'ambiente reale, pertanto, è ricreato attraverso una serie di sottosistemi dedicati:

- sensazioni visive;
- sensazioni uditive;
- sensazioni tattili;
- sensazioni vestibolari.

Il sistema visivo fornisce tutte le informazioni visive necessarie al guidatore. Condurre un veicolo è un compito essenzialmente visivo, per questo motivo, è fondamentale che le informazioni visive restituite siano le migliori possibili. Le informazioni visive sono fornite da

un generatore di immagini, che calcola in tempo reale le immagini le scene simulate. Generalmente, vengono proiettate su uno schermo curvo o uno o più schermi piatti. Alcuni simulatori usano un casco dotato di display (HMD). Il campo visivo diretto è di circa 60° x 30°. È stato riscontrato che gran parte della sensazione della velocità è situata agli estremi di tale campo di visione, quindi per una percezione corretta della velocità è necessario un campo di vista di almeno 120° in orizzontale; ciò significa che è necessario uno schermo di almeno 120° x 30° (Galante, 2009; Kemeny, 2008).

Al sistema sonoro vengono dedicati poche risorse e sforzi, perché esso non fornisce al guidatore molte informazioni dirette su ciò che sta accadendo. E', comunque, un elemento essenziale, senza il quale l'illusione non sarebbe così buona. Durante la simulazione, il sistema sonoro riproduce i suoni che si possono udire all'interno di un veicolo. Il suono dominante in un veicolo è tra i 20-500 Hz, ma alcune tonalità e rumori provenienti dai pneumatici, dalla strada, ecc., si manifestano nell'area delle alte frequenze. Di conseguenza, il sistema sonoro deve coprire alcune migliaia di Hertz. Per ottenere un'illusione realistica, è importante generare una spazializzazione 3D del suono, così che sia possibile avvertire la direzione della sorgente sonora. Ovviamente, la direzione dei suoni e l'informazione visiva devono essere in accordo o ci sarà un considerevole rischio di disorientare il guidatore. Molti suoni dipendono dalla velocità del veicolo (vento, irregolarità stradale) e dai giri del motore. Il metodo più pratico di ricostruire il suono, percepito all'interno di un veicolo, consiste nel servirsi di una libreria di campioni sonori del motore, del vento, o delle irregolarità stradali, ecc.; tali campioni vengono poi mixati in tempo reale in modo da ottenere un'ottima illusione sonora (Galante, 2009).

Diversi studi dimostrano che stimoli vestibolari hanno un ruolo nel guidare e controllare il comportamento di guida (Kemeny, 2008). Il compito del sistema di moto è di riprodurre tutte le forze a cui un guidatore viene esposto a seguito del movimento del veicolo e possono essere ottenuti grazie ad una piattaforma di movimento. I valori reali delle accelerazioni risultanti da tale moto dipendono non solo dal modello del veicolo, ma anche dal comportamento di guida e dalle condizioni stradali. Alcuni studi hanno messo in luce che le accelerazioni lineari (in x, y, z) sono dominanti tra 0-1 Hz con un piccolo picco secondario di circa 2-3 Hz per l'accelerazione verticale. Ciò si verifica a seguito della connessione diretta tra l'azione del guidatore ed i movimenti del veicolo mentre il picco delle accelerazioni verticali è dovuto alle sospensioni. Per le accelerazioni angolari, si è osservato che i moti di rollio e di beccheggio sono prevalentemente ad alta frequenza, mentre l'imbardata è a bassa frequenza. Tale risultato viene giustificato dal fatto che l'imbardata è generalmente il risultato dall'azione di chi guida, mentre il rollio ed il beccheggio sono dovuti più alle vibrazioni che ad un'azione diretta. Il moto angolare di rollio e beccheggio è limitato meccanicamente in un veicolo standard a circa $\pm 6^\circ$, a causa della corsa limitata delle sospensioni. Costruire un sistema in grado di simulare ciò in maniera efficace richiede l'uso di due differenti sotto-sistemi: uno per le alte e l'altro per le basse frequenze. Per le alte

frequenze, un piano vibrante è il modo più efficace per fornire a chi guida la sensazione della velocità del veicolo attraverso vibrazioni provenienti dalla strada, dal vento e così via. Il livello di simulazione delle basse frequenze dipende fortemente dai tipi di test a cui il simulatore verrà destinato. Per studi comportamentali in condizioni di guida normali (es.: misura del grado di distrazione dovuta ai telefoni cellulari), si può utilizzare solamente un piano vibrante. In realtà, alcuni esperti ritengono che un simulatore a base-fissa può essere considerato sufficiente per molti test in cui le manovre del veicolo non producono accelerazioni superiori agli 0,3g. Quando si vuole testare la reazione del guidatore, ad esempio in una situazione critica dove sono necessarie azioni estreme per evitare una collisione, la percezione fisica delle forze diventa il fulcro del test, quindi, risulta necessario un qualche tipo di sistema di moto a bassa frequenza.

Due differenti tecniche sono correntemente usate per simulare le accelerazioni a bassa frequenza. La prima utilizza un exapod dove le accelerazioni di breve periodo vengono restituite tramite il movimento lineare e le accelerazioni di lungo termine inclinando il guidatore (Tilt Coordination Technique) e usando la forza gravità per ottenere la forza richiesta (ad esempio, in Figura 6, un'inclinazione di 11° simula un'accelerazione di 0,2 g). La seconda si serve di lunghi movimenti lineari e, con questa tecnica, le accelerazioni vengono direttamente simulate (Galante, 2009).

Alle sensazioni vestibolari si aggiungono quelle tattili che derivano dall'interazione con il sedile, col volante, con i pedali e con la leva del cambio. Il ritorno di forza al volante dovrebbe essere presente in ogni simulatore, poiché minimizza la varianza nella sterzata. La tecnica usuale per creare il ritorno di forza al volante consiste nel connettere un servomotore alla colonna dello sterzo: questa soluzione è tanto flessibile quanto economica. Risulta, comunque, difficile ottenere un buon modello di sistema sterzante, poiché esso dipende da diversi fattori, quali le forze agli pneumatici e la reale dinamica del volante. Il sistema deve anche possedere un'elevata frequenza di aggiornamento (> 100 Hz), altrimenti perderà in precisione. Una soluzione pratica per riprodurre un ritorno di forza ai pedali è di servirsi dei sistemi meccanici esistenti: il sistema di frenatura di un veicolo reale può essere usato in un simulatore, in tal modo si ottiene un ritorno di forza reale (Maso, 2008; Galante, 2009).

Nel caso dei simulatori di guida ciò che non può assolutamente mancare è un qualche tipo d'interfaccia tra l'utente e il modello matematico, che permetta al pilota di agire sul modello e di ricevere in tempo reale una risposta alle sue azioni. Un sistema di sensori misura le azioni di controllo esercitate dal pilota che costituiscono l'ingresso di un modello dinamico del sistema costituito da veicolo e pilota. Le azioni del pilota sono registrate da un sistema di acquisizione che costituiscono l'ingresso di un modello dinamico del sistema costituito da veicolo e pilota. Il comportamento del veicolo virtuale è descritto dalle grandezze risultanti dall'integrazione del modello dinamico (posizioni, velocità ed

accelerazioni lineari e angolari), la cui implementazione numerica deve garantire una velocità d'integrazione tale da consentire l'interazione in tempo reale con il pilota.

Le grandezze ottenute dal modello matematico sono utilizzate come riferimento per il controllo dei sottosistemi responsabili della rappresentazione virtuale del movimento e dell'ambiente. La rappresentazione del movimento avviene attraverso un sistema di attuatori che, applicano forze e accelerazioni al pilota (Maso, 2008).

2.7.2. I vantaggi di un simulatore di guida

Numerosi sono i vantaggi che derivano dall'utilizzo di un simulatore di guida rispetto agli studi su campo, questi comprendono efficienza, costi, controllo della sperimentazione, facilità di raccolta dei dati e sicurezza (Godley et al., 2002; Yan et al., 2008).

Il vantaggio principale di un simulatore di ricerca è la sua versatilità. I simulatori di guida possono essere facilmente ed economicamente configurati in modo da simulare una varietà di fattori umani e situazioni reali. Diversi scenari possono essere simulati e abbinati a diverse condizioni ambientali, come strada sdruciolevole, presenza di nebbia, ghiaccio, etc. Pertanto, sono particolarmente utili in fase di progettazione nella scelta tra numerose possibilità e valutare le prestazioni di tale scelta prima di testarla in campo. La strumentazione completa e la generazione degli scenari con il simulatore possono essere costose, d'altra parte, spesso è meno costoso impostare e gestire simulazioni in un ambiente controllato di laboratorio quanto non lo siano prove sul campo, si evitano spese inutili, per esempio quando devono essere valutati gli effetti di nuove infrastrutture (gallerie, etc.) sugli utenti e quindi non c'è la necessità di eseguire lo studio direttamente in sito (Blana, 1996).

Simulatori permettono di controllare la sperimentazione su una gamma più ampia che le prove sul campo e tali condizioni possono essere facilmente cambiate da una condizione all'altra. Questa funzionalità può essere importante in termini di caratteristiche di progettazione sperimentale, che permette il confronto tra diverse possibilità. Trattandosi di una realtà virtuale è possibile gestire al meglio lo scenario e le condizioni al contorno come quelle meteorologiche ed è possibile modificare liberamente l'ambiente operativo, quindi ogni conducente può guidare la situazione esattamente nel contesto desiderato. Attraverso tali apparecchiature è possibile eseguire un'affidabile generalizzazione dei risultati dedotti da un vasto campionamento sperimentale: è più semplice registrare e analizzare i dati della ricerca come il comportamento di un conducente e il carico di lavoro sostenuto (Blana, 1996).

Simulatori forniscono un ambiente intrinsecamente sicuro, tali condizioni permettono di studiare situazioni di guida critiche, testare dispositivi innovativi a bordo, studiare guidatori soggetti da particolari malattie, testare farmaci mentre si è alla guida, in questo modo non vi è messa a repentaglio la vita del conducente o altri di utenti della strada (Blana, 1996).

2.7.3. Possibili limitazioni nella ricerca con simulatori di guida

Ci sono fattori che possono limitare una ricerca attraverso l'uso dei simulatori di guida, quali (Godley, 1999):

- Limitazioni fisiche e approssimazione dell'ambiente di guida virtuale a quello reale;
- Il malessere da simulatore.

Il principale svantaggio di un simulatore di ricerca è dato dalle sue limitazioni fisiche e dall'approssimazione dell'ambiente di guida virtuale a quello reale. Il mondo reale non potrà mai essere replicato in tutta la sua complessità. Questo è perché c'è un gran numero di situazioni che possono verificarsi, pertanto, la ricerca che comporta un gran numero d'interazioni di traffico tende a essere semplificata così il livello di realismo percepito dal pilota, è ridotto, in tale circostanza, il risultato deve essere interpretato con cautela. Un altro problema legato all'approssimazione dell'ambiente di guida virtuale a quello reale e alle limitazioni fisiche è dato dal ritardo temporale, registrato nella realtà, dall'istante in cui è premuto il pedale del freno al momento veicolo risponde a tale azione. Nei simulatori può essere presente un altro ritardo dovuta all'elaborazione dell'immagine da parte del computer, tale ritardo è tanto più avvertito tanto maggiore sarà la velocità di guida. Un altro problema è legato ai movimenti di rollio e beccheggio di un veicolo in accelerazione/decelerazione e in curva, replicati in dei simulatori di guida a base fissa con piattaforma mobile, sono piuttosto limitati, quando i guidatori compiono tali manovre con una velocità maggiore di un certo valore di soglia la simulazione appare poco realistica. Se questa soglia è superata, il conducente nota la mancanza delle sensazioni dovute dalle forze di accelerazione, a loro volta, queste azioni possono indurre confusione accompagnata da malessere. Si prenda ad esempio la manovra di frenata, il pilota esperto può notare che la forza di decelerazioni, associata con un vero e proprio rallentamento del veicolo, manchi, in tal caso il pilota è portato a premere ancora il pedale del freno sino a che il simulatore si arresti prima del punto desiderato. Pertanto, il pilota di un simulatore di guida richiede una pratica sufficiente per eseguire tali manovre in maniera corretta e sentirsi a proprio agio, quindi prima di ogni sperimentazione i guidatori hanno bisogno di imparare a guidare il simulatore in modo da conoscere come reagirà il simulatore a queste azioni e quindi dosare la maniera più corretta le proprie azioni (Godley, 1999).

Il malessere da simulatore è un problema comune a tutti i simulatori di guida. I sintomi del malessere di solito sorgono quando la persona sta utilizzando il simulatore, possono persistere o addirittura iniziare a verificarsi dopo l'utilizzo e possono anche durare per più di sei ore dopo la sessione. Tale malessere presenta diversi sintomi, nessuno predomina, anche se disturbi agli occhi e la presenza di vertigini sono particolarmente diffusi. Non tutti sono affetti da malessere e il suo verificarsi dipende moltissimo da come il simulatore è stato progettato. E' importante distinguere tra malessere da moto e da simulatore.

Il malessere da simulatore ha origine da una varietà di cause interagenti, che possono essere suddivisi in tre aspetti (Godley, 1999): caratteristiche del simulatore; caratteristiche dello scenario; caratteristiche dei guidatori.

Simulatori con sistemi di proiezione con più ampia visuale orizzontale e verticale consentono la visualizzazione di una maggiore visione periferica, che si traduce in una maggiore incidenza del malessere per due motivi. In primo luogo, la visione periferica porta a un aumento della sensazione di movimento del corpo nello spazio prodotta esclusivamente dalla stimolazione visiva, ad esempio la visione di un treno in movimento attraverso i finestrini di un treno fermo, tale fenomeno è denominatovection, l'aumento di tale fenomeno causa dei conflitti tra il sistema vestibolare e visivo. In secondo luogo, la visione periferica ha una frequenza di sfarfallio superiore al valore di soglia, con un tasso di aggiornamento più elevato tale tremolio, può essere più facilmente rilevato, quindi provocare la sensazione di malessere. Spesso avviene un elevato ritardo tra le azioni del guidatore e le reazioni del simulatore, ciò significa che il guidatore prosegue la sua azione per un tempo maggiore del solito, così che, quando il simulatore reagisce, il movimento è troppo ampio. Le informazioni prodotte dal sistema visivo e dal sistema di moto non sono sincronizzate. Se la scena visuale e il ritorno di forza non corrispondono, il guidatore si disorienta facilmente.

Il malessere da simulatore è influenzato anche dagli scenari sperimentali che i partecipanti sono invitati a guidare. Alcuni ricercatori hanno notato che gli scenari con una maggiore probabilità che avvenisse tale fenomeno sono state per lo più connessi con curve a gomito, così come le manovre veloci e di grandi dimensioni, mentre è stato raramente riscontrato tale problema in situazioni di guida diversa da questi.

La probabilità che il partecipante risenta del malessere del simulatore dipende anche dalle sue caratteristiche. Le persone con un'elevata esperienza di guida reale hanno una maggiore probabilità di sentire i sintomi del disturbo, loro risentono maggiormente dello squilibrio tra ciò che è prevedibile, dettato dall'esperienza nella vita reale, e ciò che effettivamente accade nel simulatore. Altri ricercatori hanno riscontrato una maggiore probabilità di risentire di disturbi alla guida del simulatore in persone che soffrono di mal d'auto e nelle donne. Quest'ultime sono più sensibili al malessere da simulatore, avendo un campo visivo più ampio di vista rispetto agli uomini, possono contribuire anche a effetti ormonali durante le mestruazioni e la gravidanza. Se il guidatore avverte malessere a causa del moto nella stessa situazione in una macchina reale, ciò prova che il simulatore emula l'ambiente reale. Il malessere da moto è, quindi, prova di un buon realismo (Godley, 1999; Galante, 2009).

Il malessere da simulatore può avere diverse conseguenze sui risultati e sull'attività di ricerca. Il primo fattore, che è influenzato dal malessere da simulatore, è il numero di partecipanti. Alcuni utenti possono terminare prima la sessione di guida a causa delle sensazioni di fastidio che potrebbero avvertire, così una selezione più ampia di tester è

necessaria rispetto alla dimensione del campione desiderata. Spesso accade, anche, che i partecipanti avvertano alcuni sintomi di malessere durante la guida al simulatore, ma decidono di non ritirarsi da questo esperimento e di non comunicare allo sperimentatore della loro condizione. In tali casi, i sintomi del malessere possono distrarre il conducente dal compito loro affidato. In secondo luogo, i partecipanti possono cambiare il loro modo di guida al fine di alleviare i sintomi del fastidio, per esempio, possono guidare in modo innaturale avendo una guida estremamente lenta. Al fine di evitare qualsiasi distorsione dei risultati sperimentali è importante, quindi, che lo sperimentatore incoraggi i partecipanti a informarli immediatamente al presentarsi di qualsiasi sintomo di disagio, allo stesso modo, è importante che lo sperimentatore riconosca eventuali sintomi nell'analizzare il comportamento di guida dei partecipanti.

Il malessere da simulatore può essere in gran parte evitato. Tenendo presente le cause che provocano tale disagio, molti dei fattori possono essere previsti, tuttavia le conseguenze di tale malore possono essere ridotte.

2.7.4. Validazione di un simulatore

Il principale svantaggio di un simulatore di ricerca è che il mondo reale non potrà mai essere replicato in tutta la sua complessità. Il comportamento di guida misurato in un simulatore deve corrispondere a quella della vita reale, pertanto il simulatore dovrà essere validato (Blana, 1996). La validazione di un simulatore rappresenta la misura di quanto un simulatore è realistico. A sostegno di questo concetto, la validità di un simulatore è necessaria e non deve solo concentrarsi sul confronto tra i comportamenti dei conducenti in ambiente simulato e in campo, ma anche valutare se il rischio di guida è in grado di riflettere le reali condizioni di pericolo.

Nel 1982, Blaauw propose due livelli di validità (Godley et al., 2002; Yan, et al., 2008; Rosey et al., 2008):

- validità fisica: misura il grado con cui il simulatore riproduce gli stimoli sensoriali presenti in un ambiente reale, è spesso definita come la fedeltà di un simulatore;
- validità comportamentale: analizza la corrispondenza tra il comportamento dei guidatori nel simulatore e nel mondo reale, anche se è comunemente indicata come la validità predittiva.

Spesso si presume che la fedeltà del simulatore sia intrinseca nella validità comportamentale. Così, spesso gli studi al simulatore sottintendono che la corrispondenza fisica sia verificata e valutano solo la validità comportamentale. In realtà, però, i due livelli non sono sempre correlati.

Altrettanto spesso troppa importanza è posta sulla validità fisica dei simulatori e, nella ricerca di simulatori con una sempre più elevata fedeltà, ci si allontana dall'obiettivo principale che dovrebbe essere la validità comportamentale. Un simulatore con un maggiore grado di sofisticazione non deve per forza avere una maggiore validità comportamentale rispetto ad un simulatore meno sofisticato e costoso (Godley et al., 2002; Hirata et al., 2007; Shinar et al., 2007).

I ricercatori spesso valutano la validità fisica attraverso la descrizione del simulatore di guida, citando i diversi aspetti che replicano la guida nella vita reale, considerando il veicolo guidato, gli stimoli presentati, di come esso reagisce fisicamente agli stimoli, pertanto, si suppone che un simulatore di guida a base mobile abbia un maggiore validità fisica di un simulatore a base fissa. Un'altra misura riferito di fedeltà è la mancanza di malessere da simulatore, anche se, se tale misura è significativamente discutibile (Godley et al., 2002; Yan et al., 2008).

Il secondo livello riguarda la validità comportamentale ovvero la corrispondenza tra il simulatore e il mondo reale nel modo in cui l'operatore umano si comporta, essa è, anche, comunemente indicata come la validità predittiva (Godley et al., 2002).

Blaaw, 1992, descrisse due di livelli validità comportamentale (Törnros, 1998; Godley et al., 2002; Hirata et al., 2007; Shinar et al., 2007; Rosey et al., 2008; Yan et al., 2008):

- 1) validità assoluta: confronto tra il comportamento di guida al simulatore e nella realtà, si ottiene se i valori numerici tra i due sistemi sono le stesse;
- 2) validità relativa: valuta gli effetti sulla guida di possibili variazioni delle condizioni al contorno come l'ambiente, il traffico, etc. E' essenziale per lo studio delle leggi che regolano il comportamento dell'utente in funzione di variabili indipendenti (quale per esempio la curvatura della linea d'asse).

Törnros, 1998, osservò che per un simulatore è necessario che sia verificata la validità relativa, mentre non è necessario che sia appurata la validità assoluta. Ciò è dovuto dal fatto che la ricerca studia gli effetti di variabili indipendenti, indagando un sito di controllo e un sito con un trattamento, piuttosto che valutare delle misurazioni numeriche. (Godley et al. 2002; Hirata et al., 2007, Rosey et al., 2008).

“For a driving simulator to be useful as a research tool it is necessary that the relative validity is satisfactory, i.e. the same, or at least similar, effects are obtained in both situations. Absolute validity is not a necessary requirement, since research questions almost uniquely deal with matters relating to effects mented car were used. The driving simulator is an of various independent variables” (Törnros, 1998).

Pertanto, nello stabilire il grado di validità di un simulatore, è necessario, in ogni caso riferirsi al tipo di studi a cui lo stesso è stato destinato. Differenti parametri devono essere validi per differenti tipologie di esperimenti.

2.7.5. Apprendimento di un simulatore

L'apprendimento a un simulatore di guida è una delle condizioni necessarie affinché gli studi al simulatore di guida siano validi.

Nella maggior parte degli studi che coinvolgono un simulatore di guida, i ricercatori analizzano le reazioni del conducente. Tuttavia l'analisi di tali dati deve tenere in considerazione di una fase di apprendimento dei partecipanti, giacché potrebbero portare a conclusioni errate o incomplete. I partecipanti ad una sperimentazione al simulatore, guidano cercando di individuare la risposta del sistema in funzione delle loro esperienze di guida, ma la risposta di un veicolo simulato alle azioni di un conducente è diversa da quella di un veicolo reale, ciò induce un processo di apprendimento. Durante tale fase il conducente osserva ed elabora le informazioni acquisite durante la guida al fine di comprendere come il simulatore reagisce alle sue azioni, per una guida reale e precisa come accadrebbe nella vita reale. Tuttavia, il processo di apprendimento impone un carico mentale per i partecipanti, i quali possono distrarsi dal loro compito primario di guida, quindi prima della fase di apprendimento, le reazioni di un partecipante, possono non essere rappresentative dei reali comportamenti di guida, ciò induce una riduzione della validità della ricerca.

Tuttavia, si prevede che, dopo alcune prove, i partecipanti si sono adattati al nuovo ambiente e sono, dunque in grado di controllare comodamente il veicolo, senza un significativo carico mentale, pertanto l'analisi dei dati dovrebbe iniziare dopo tale processo.

L'utente interagisce con il simulatore attraverso il volante, l'acceleratore ed il freno, attraverso l'uso di questi è possibile comprendere la reattività del conducente, quindi, se ha raggiunto una condizione stabile, in cui i partecipanti elaborano le informazioni automaticamente senza un significativo carico mentale (Sahami, 2010).

Come già accennato, l'apprendimento è una condizione necessaria (ma non sufficiente) per assicurarsi che i risultati di uno studio al simulatore siano validi.

La fase è diversa per i diversi soggetti ed è necessario avere un metodo per monitorare e analizzare il processo di apprendimento. Sahami insieme con altri ricercatori (2009), attraverso un'analisi della letteratura sulla fase di apprendimento per i simulatori di guida, hanno identificato tre approcci:

- a) addestramento a tempo e/o distanza prefissata;
- b) addestramento con autovalutazione dell'utente;
- c) addestramento con misure delle performance di guida.

L'addestramento a tempo e/o distanza prefissata è l'approccio più comune, i soggetti hanno un tempo e / o una distanza fissa per esercitarsi e prendere confidenza con l'ambiente di simulazione tuttavia, il periodo di tempo e/o la distanza di guida, variano significativamente fra i diversi studi. Spesso si considera che un breve periodo di tempo di

guida pratica sia sufficiente per prendere confidenza con il veicolo, mentre sessioni di prove molto più lunghe comportano una maggiore risorsa, che potrebbero essere destinate per la raccolta dei dati, inoltre alcuni soggetti potrebbero essere sottoposti a un disagio del simulatore più del necessario. D'altra parte, ci sono soggetti che richiedono tempi di adattamento più lunghi, quindi, sessioni di breve durata sono potenzialmente soggetti a errori. Poiché la capacità dei conducenti di adattarsi a un simulatore non è uguale, la lunghezza della sessione di pratica dovrebbe essere su misura per i singoli conducenti. Lo svantaggio di questo metodo è che esso presuppone un tempo fisso (o una distanza) per tutti per adattarsi al simulatore e non può confermare se e quando si verifica l'adattamento. Il vantaggio di questo metodo è la facilità nell'applicare tale procedura e l'assenza di analisi per assicurare che si è verificato l'adeguamento al simulatore.

Nell'addestramento con autovalutazione dell'utente è il guidatore a fissare il tempo di addestramento in funzione delle proprie esigenze. In alcuni studi i ricercatori hanno chiesto ai conducenti di guidare finché non si sentivano a proprio. Il vantaggio di questo metodo è la sua facilità d'uso e garantisce che i conducenti si siano adeguati sfruttando la loro percezione. Tale addestramento potrebbe, però, condurre gli utenti a ridurre la tale fase per terminare prima la sperimentazione falsando i risultati.

L'addestramento con misure di performance valuta il grado di confidenza con il veicolo misurando parametri quali il numero di sterzate, frenate, etc. In uno studio condotto Sahami, Jenkins e Sayed (2009) è stato analizzato l'adattamento al pedale dell'acceleratore e del freno, in uno scenario in cui il pilota ha dovuto eseguire delle accelerazioni e decelerazioni in modo ripetitivo. L'elaborazione dei dati ha estrapolato una curva d'apprendimento, dove il tempo di reazione dipende dal numero di curve percorse, attraverso una funzione di potenza con esponente negativo. Le prestazioni sono migliorate con la pratica, fino ad arrivare ad una condizione stabile. In uno studio successivo Sahami, Jenkins e Sayed (2010) sono state analizzate le velocità medie e la variazione della posizione laterale per ogni curva. I partecipanti hanno mostrato dei miglioramenti fino al raggiungimento della velocità di guida desiderata e della posizione del veicolo oscillante intorno ad un valore costante. Qualitativamente sono state individuate quattro fasi. La prima è la fase di identificazione, in cui il partecipante sta cercando di comprendere il funzionamento del sistema, senza l'intenzione di migliorare le prestazioni, in tale fase la funzione di prestazioni si presenta molto "rumorosa". La fase di identificazione è seguita da una fase di apprendimento in cui i partecipanti hanno mostrato un miglioramento in una o in entrambe le funzioni di prestazioni. Nella terza fase le prestazioni sono stabili, ma dopo alcune prove cominciano nuovamente a migliorare. La quarta fase è la fase dell'automaticità, in cui i conducenti non presentano miglioramenti e le loro prestazioni hanno, dunque, raggiunto una condizione stabile e ripetibile. In tale fase i partecipanti guidano automaticamente senza un significativo carico di lavoro dovuto all'adattamento al sistema di simulazione (Sahami et al., 2010).

2.7.1. Indagine dei simulatori esistenti e Studi di sicurezza

I simulatori di guida sono utilizzati da oltre 50 anni per la formazione dei conducenti e più di 20 anni per gli studi sui comportamenti umani (Kemeny, 2008).

La storia dei simulatori di guida ha avuto inizio prima della seconda guerra mondiale. I primi simulatori sono stati usati per l'addestramento della guida degli aerei, a causa dell'intrinseca pericolosità nel caso di manovre scorrette (Xuedong Y. et al., 2008; Alluisi, 1991, Blana, 1996). I simulatori di "veicoli terrestri" sono stati sviluppati, nel lontano 1910, in ambito automobilistico con obiettivi differenti sia come sistemi per l'addestramento di personale, come strumenti di ausilio alla progettazione per testare nuovi modelli prima della loro effettiva costruzione a livello di prototipo, ma anche per studiare il comportamento umano in situazioni specifiche. Nelle quattro decenni successive, mockup di automobili sono state dotate di apparecchiature per testare le risposte dei guidatori a vari stimoli. In alcuni casi, venivano anche mostrate scene di guida riprodotte in maniera meccanica o immagini filmate. Tuttavia, nonostante un crescente interesse, limiti tecnologici (potenza di calcolo e display video) frenavano fortemente sia la diffusione sia lo sviluppo dei simulatori (Galante, 2009). A causa dello scarso stato dell'arte negli anni 50 si è avuto un declino nell'utilizzo di tali apparecchiature, solo alla fine degli anni 60, grazie agli sviluppi apportati dalla "National Aeronautics and Space Administration", si è avuto un nuovo interesse nell'uso dei simulatori, i quali sono stati utilizzati sia allo scopo di addestramento sia di studio del comportamento dei guidatori (Wang et al., 2007). Diversi simulatori di guida divennero così operativi in tutto il mondo ed oggi esistono all'incirca 73 (Figura 2-44).

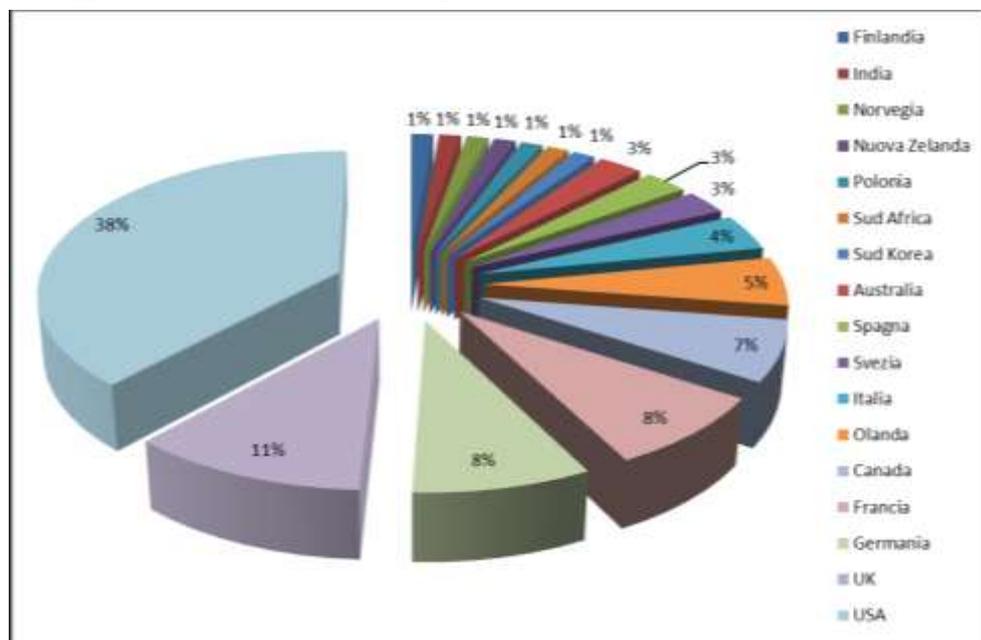


Figura 2-44– Simulatori di guida nel mondo

Oggi i simulatori di guida variano dai modelli più semplici ed economici a quelli più complessi e costosi che garantiscono una grande ampiezza di guida (Figura 2-45).

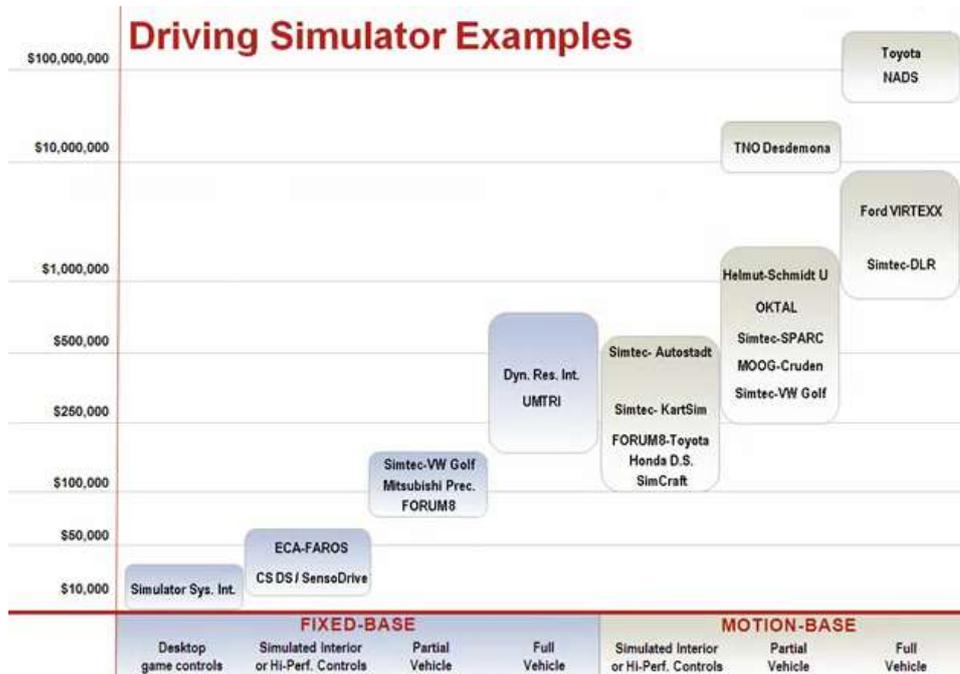


Figura 2-45– Esempi di simulatori di guida

I simulatori possono essere classificati in basso, medio e alto livello (Blana 1996; Saluäär, 2000). I simulatori di basso livello sono simulatori fissi, associati ad un personal computer dotato di tutti i comandi classici di un'automobile, sterzo, pedaliera, freno e leva del cambio. Alcuni, simulatori di basso livello, tuttavia, sono associati a costi elevati a causa delle dimensioni e di alcune caratteristiche. I simulatori di basso livello sono tra i più popolari grazie all'ampio uso nell'educazione stradale, nelle strutture mediche per studiare ad esempio disturbi dell'attenzione, nella riabilitazione per attività psicomotorie e progetti accademici (Blana, 1996; Straus 2005).



Figura 2-46– Simulatori di guida di basso livello (Allen et al., 2006)

I simulatori di medio livello generalmente includono un'automobile mockup e schermi di proiezione collegato con un personal computer per la raccolta ed elaborazione dati. I simulatori di medio livello stanno crescendo in popolarità negli ambienti accademici e di governo per le simulazioni sempre più realistiche (Straus, 2005). Un esempio di simulatore di medio livello è il simulatore Global Sim Drive Safety (Figura 2-44), presente presso l'istituto di ricerca dei trasporti dell'Università del Michigan. Il simulatore è a base fissa, la cabina è costituita da un veicolo e lo scenario è proiettato su tre schermi con un campo visivo di 120°. GlobalSimDriveSafety è utilizzato per diversi studi, come la presenza di determinati dispositivi a bordo dei veicoli (sistemi di navigazione, telefoni cellulari), il carico di lavoro dei conducenti, il comportamento di utenti per diverse età, il comportamento di utenti affetti dal morbo di Alzheimer, insieme con altri argomenti (Wang et al., 2007).



Figura 2-47 Simulatore di guida Global Sim Drive Safety (Wang et al., 2007)

I simulatori di alto livello sono simulatori più avanzati e sofisticati. Sono contraddistinti per le piattaforme mobile, come gli exapod o le piattaforme di Stewart, che permettono di riprodurre la maggior parte dei movimenti che si percepirebbero alla guida di un veicolo reale. Tra i simulatori di guida di alto livello si distinguono simulatori di guida in cui i guidatori sono completamente immersi nell'ambiente di guida, grazie a campi di visione superiore ai 180° ed ai sistemi di spazializzazione 3D del suono.

Oggi giorno il NADS è il simulatore di guida più artefatto al mondo (Figura 2-48), ogni elemento di questo simulatore presenta caratteristiche ottimali: un piano XY di moto di circa 400 m² con cima un exapod di grande dimensioni e un piano vibrante con frequenze superiori a 20 Hz ed escursioni di $\pm 0,5$ cm.

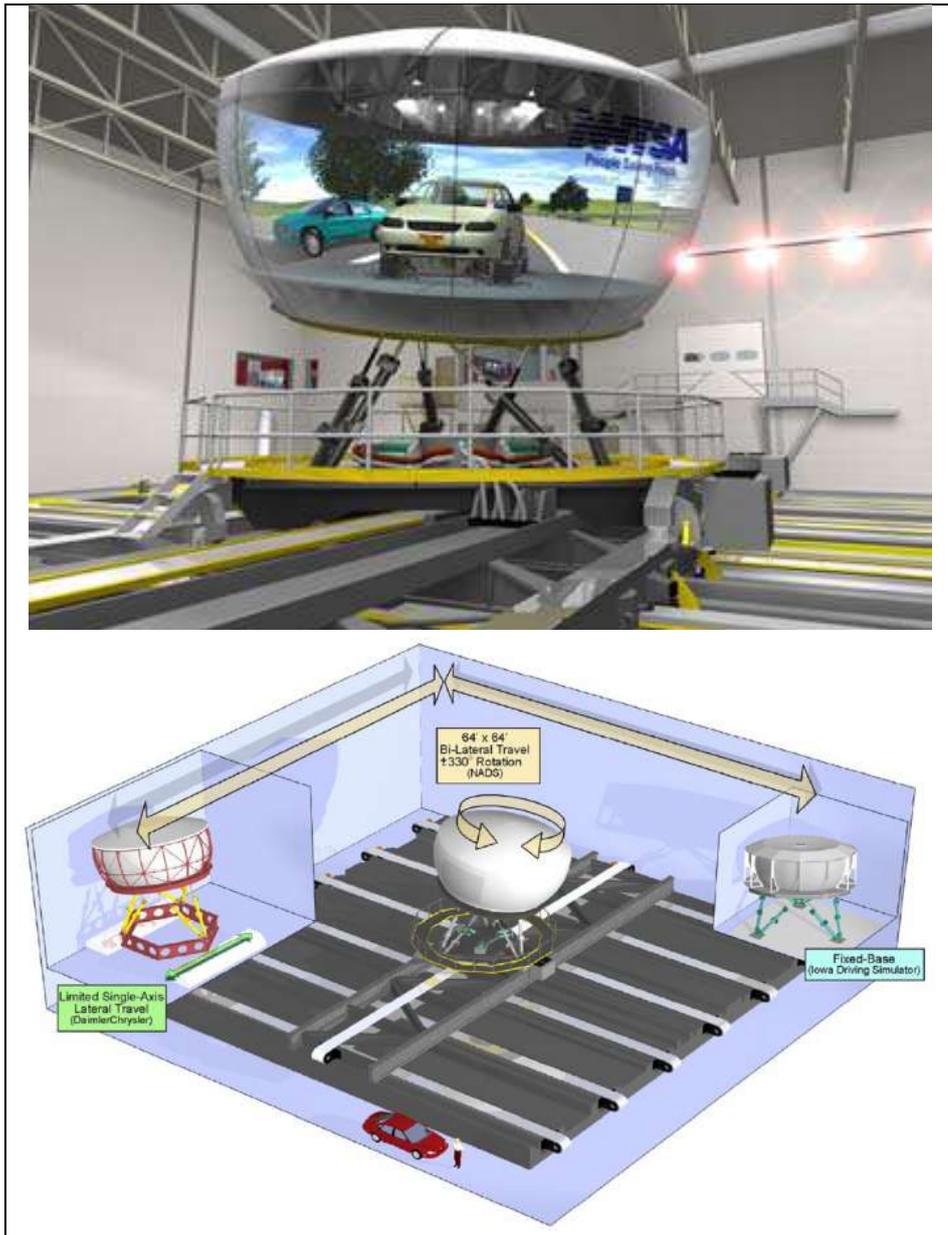


Figura 2-48 – Simulatore di guida NADS

Il dome montato sulla piattaforma dinamica presenta all'interno un sistema grafico da 15 canali in grado di coprire l'intero campo di visione di 360°, l'utente è completamente immerso nella realtà virtuale. Garantisce un grado di immedesimazione da parte dei soggetti di prova ben superiore alle altre tipologie di realtà virtuale. Il sistema consente il cambio cabina con facilità, sono disponibili 4 diverse cabine, tra cui un'auto, la cabina di un camion o un bus, con un tempo medio per la sostituzione di otto ore (Allen et al., 2006; Galante, 2009; NADS, 2010).

Il simulatore di guida della Centro tecnico Hagashi-Fuji della Toyota Motor Corporation possiede uno dei centri sperimentali di simulazione di situazioni vicine a quelle della guida su strada reale più grandi del mondo (Figura 2-49). Il sistema si compone di una cupola di 7 metri di diametro, il cui interno è rivestito da uno schermo concavo a 360°, dentro la quale è

alloggiata una Toyota Corolla. In questa "stanza virtuale" viene riprodotto, oltre all'ambiente stradale che viene proiettato sullo schermo panoramico, l'inclinazione (fino a 25°), le vibrazioni, il sonoro ed anche l'accelerazione (fino a 0.5 G) dell'auto, attraverso dei binari che fanno muovere la cabina fino a 35 metri longitudinalmente e 20 metri lateralmente.



Figura 2-49 Simulatore di guida Toyota

In Europa, un importante esempio è il simulatore di guida della Daimler-Benz (Figura 2-50), presso il Centro Ricerche di Berlino, inaugurato il 10 maggio 1985 e rinnovato nel 1993/94 per aumentarne le prestazioni. La camera di test è montata su bracci idraulici estensibili e controllabili. Il sistema di proiezione è costituito da 6 canali generanti immagini in tempo reale, di questi, cinque sono dedicati alla proiezione frontale (campo di visione: 180° in orizzontale e 35° in verticale). Il canale rimanente è utilizzato per la proiezione sullo schermo posteriore (48° in orizzontale e 35° in verticale), che può essere osservato dal retrovisore laterale sinistro e da quello centrale. Ogni canale ha una risoluzione di 1024x926 pixels. Il sistema di moto è costituito da una piattaforma mobile a 6 gradi di libertà e da un sistema di moto che garantisce un ampio movimento laterale. Il massimo movimento laterale fornito dalla piattaforma è di $\pm 1,5$ m (accelerazione massima 1,2 g con una frequenza di 3 Hz), a cui è possibile sommare un contributo extra di $\pm 2,3$ m garantito da un grande attuatore idraulico (accelerazione massima 0,7 g con una frequenza di 5 Hz) che muove lateralmente l'intero sistema (piattaforma, cabina, sistema video).

Il modello dinamico in tempo reale CaSimIR (Car Simulation In Real Time) è stato sviluppato presso il centro ricerche Daimler-Chrysler ed è costituito da due tipi di moduli:

I moduli dato contenuti informazioni sulle specifiche del veicolo (informazioni sulla massa, sulle sospensioni, e sulle caratteristiche del motore).

I moduli struttura (albero motore, contatto ruota/strada, sospensioni e volante) rappresentanti la struttura del veicolo in dettaglio ed con grande generalizzazione.

Il modello può simulare differenti autovetture e camion. Il modello di autovettura ha dai 18 ai 37 gradi di libertà e può simulare tutte le possibili opzioni di guida.

Il modello è un modello fisico che sfrutta le leggi del moto di Newton ed in cui vengono immessi solo dati veicolari autentici.

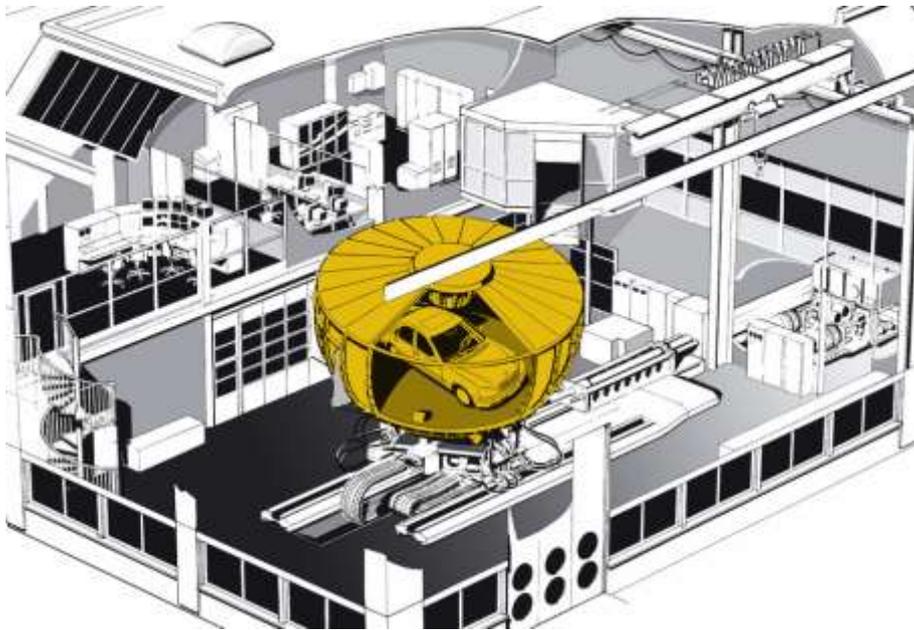


Figura 2-50 Dailmer-Benz Simulator

Di particolare rilievo è il simulatore di guida Desdemona (DESorientatie DEMONstrator Amst), situato a Soesterberg in Olanda, ottenuto dalla collaborazione tra la TNO e l'austriaca AMST Systemtechnik. È dotato di prestazioni avanzate e nuove funzionalità rispetto agli exapod standard. La maggior parte dei simulatori di guida e di voli non consentono l'esatta simulazione di movimenti complessi dei veicoli. Desdemona combina (Figura 2-51) i movimenti possibili con exapod con i movimenti centrifughi di un sistema gimbaled, permettendosi di muovere con 6 gradi di libertà (DOF). La cabina di Desdemona con allestimento modulare è montata in un sistema di sospensione cardanica (3 DoF, $> 2\pi$ radianti), che nel suo insieme può spostarsi verticalmente lungo un asse sino a 2 m (1 DoF, ± 1 m) e in orizzontale, sino a 8 m (1 DoF, ± 4 m). Questa struttura può ruotare può ruotare intorno ad un asse (1 DoF, $< 3G$). L'ambiente simulato è proiettato attraverso un grande schermo con una visione di $120^\circ \times 40^\circ$, la cabina di Desdemona può essere equipaggiato con una macchina mockup (Feenstra et al., 2007).

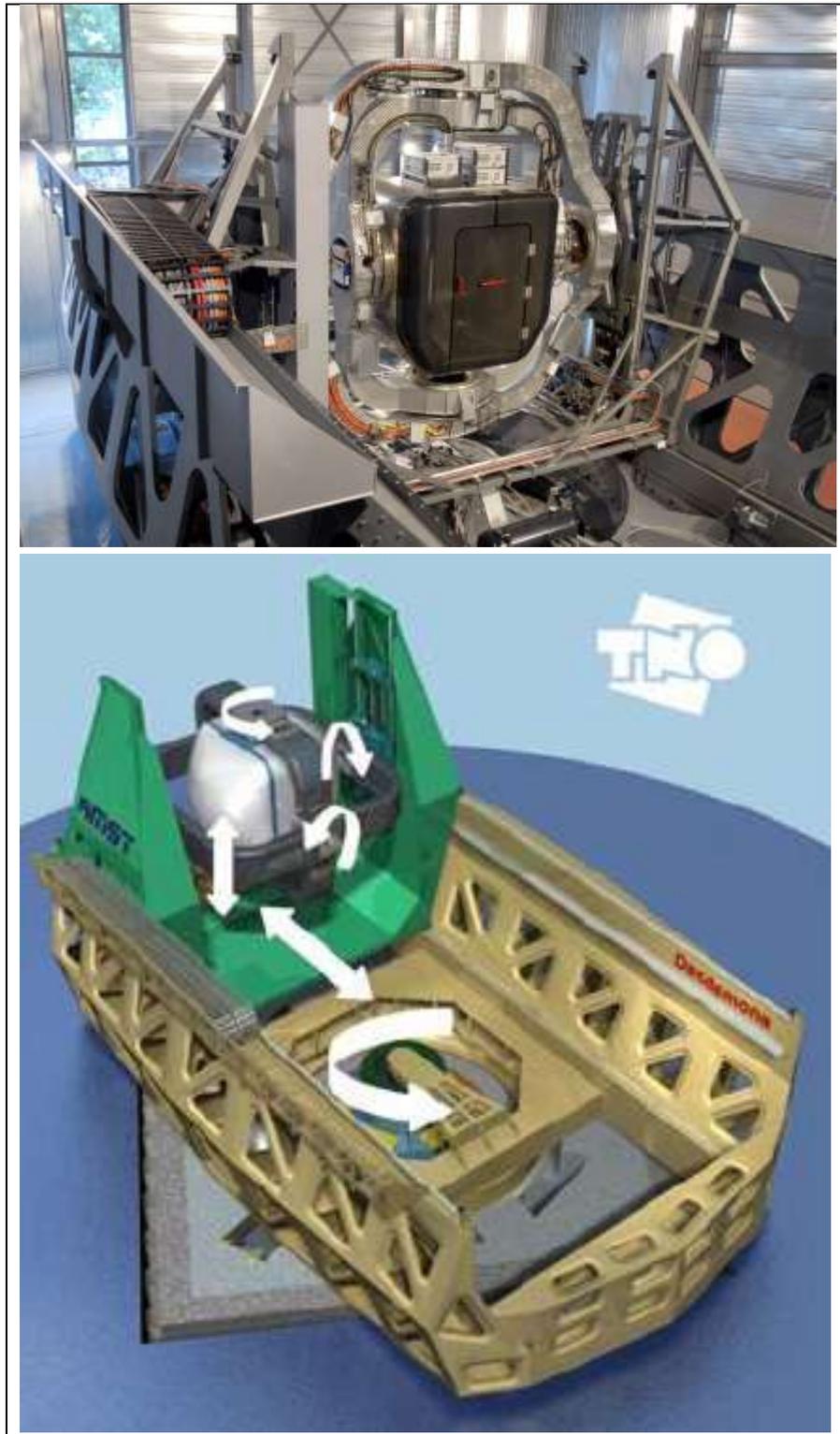


Figura 2-51 Simulatore di guida Desdemona

In Italia sono presenti diversi simulatori di guida tra quelli di particolare interesse ci sono il simulatore di guida della Ferrari e il simulatore di guida VERA (Virtual Environment for Road sAFety). Il simulatore di guida della Ferrari (Figura 2-52) è stato inaugurato il 22

dicembre 2009 a Maranello, è ospitato in un edificio ampio circa 180 m², disposto su due piani e comprendente la stanza di controllo, all'interno della Gestione Sportiva.



Figura 2-52 Simulatore di guida Ferrari

La piattaforma, in alluminio e compositi, occupa uno spazio di circa 8 metri di larghezza, altrettanti di lunghezza, 6 metri in altezza, e pesa circa 2 tonnellate; in essa sono disposti l'abitacolo ed i dispositivi visivi e sonori. L'intera struttura è sostenuta da una "base" opportunamente strutturata e dimensionata, dal peso di circa 200 tonnellate; il movimento della piattaforma è garantito da attuatori a controllo elettronico, che pesano quasi mezza tonnellata ciascuno. L'abitacolo di una monoposto è montato su una piattaforma che, tramite l'impiego di attuatori controllati elettronicamente, consente di riprodurre qualsiasi movimento in tutte le direzioni, ricostruendo in questo modo parte delle sensazioni percepite dal pilota. E' impossibile ricostruire esattamente tutti i movimenti della vettura reale perché servirebbe uno spazio grande come una pista vera: vengono quindi utilizzate tecniche per selezionare e ricostruire alcuni dei movimenti in maniera compatibile con lo spazio disponibile e, al tempo stesso, utile per permettere al pilota di sentire alcune di quelle sensazioni che proverebbe in pista. L'ambiente di guida viene replicato da computer dedicati che utilizzano una ricostruzione fedele fatta in 3D, comprensiva degli oggetti posizionati ai lati del tracciato e sullo sfondo, delle tracce sull'asfalto, delle caratteristiche dei cordoli, delle sconessioni del manto stradale, insieme ai dati relativi alla posizione del sole e alle ombre che si generano e possono essere modificati alcuni parametri esterni come le temperature dell'aria e dell'asfalto e la direzione e l'intensità del vento. Per il controllo del simulatore sono impiegati dieci calcolatori multiprocessore con memoria RAM totale di oltre 60 GB, e la

possibilità di elaborare circa 5 GB di dati al giorno. Il pilota dispone di 5 visualizzatori, per un angolo visivo superiore ai 180°; vengono riprodotte anche le “sonorità” reali, con un sistema audio “cinematografico” Dolby Surround 7.1 da 3500 W.

Grazie alle basi mobili e a dettagliati ambienti di grafica virtuale è possibile realizzare simulatori con diversa complessità e livello di riproduzione della realtà, permettendo di studiare il comportamento del conducente alla guida, i tempi di reazione dell’utente dinanzi ad un pericolo, lo sviluppo di tecnologie utili per la sicurezza, il carico di lavoro alla guida, la percezione di un elemento stradale, etc. I ricercatori, dunque, possono scegliere il simulatore di guida (Figura 2-53) più appropriato alle esigenze della propria ricerca (Allen et al., 2006).

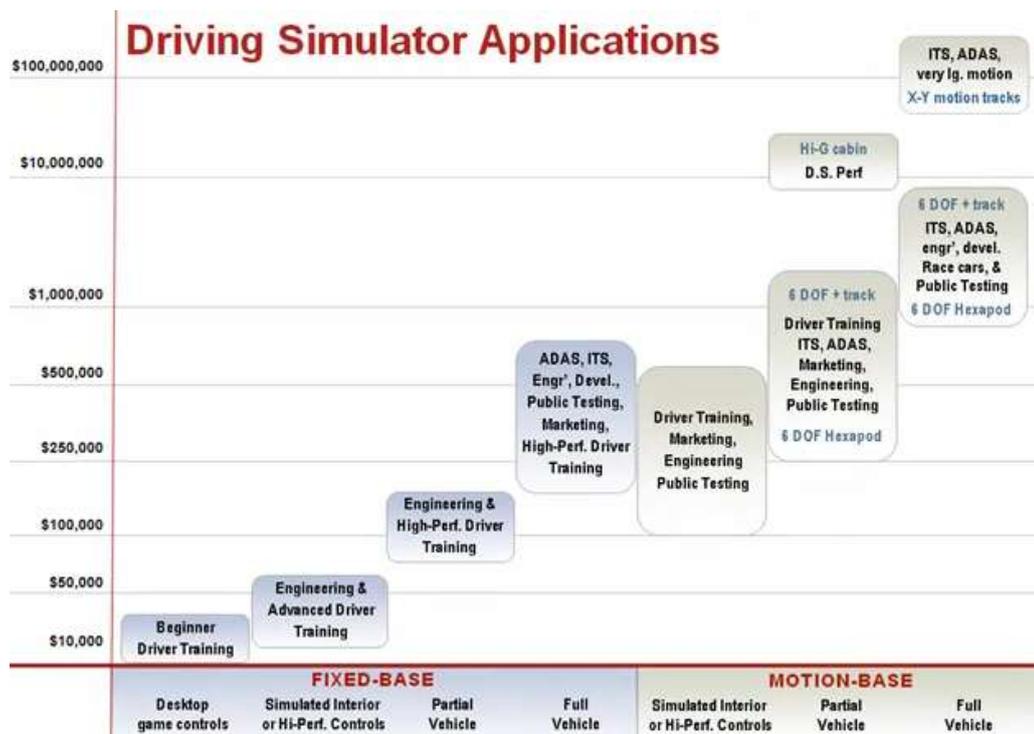


Figura 2-53–Ricerca e simulatori di guida

Nella letteratura internazionale si rinvencono non pochi contributi scientifici, in cui un approccio in simulazione trova giusta applicazione allo studio di specifici aspetti medici, fisiologici, psicologici. L’applicazione della simulazione nell’ingegneria meccanica è storicamente più affermata specialmente nei settori applicativi e produttivi, prima ancora che negli ambiti strettamente teorici ed accademici.

In Tabella 4.1 (Wang et al., 2007) è stata riportata una sintesi degli studi condotti ai simulatore di guida:

Tabella 2-2: Studi sulla sicurezza stradale mediante simulatore di guida (Wang et al., 2007)

N.	Aspects of study	Study issues
1	Driver behavior study	<ul style="list-style-type: none"> Influence of distraction or impairment (cellular phone use, fatigue, etc.) Driving performance or behavior measurement (gap acceptance, lane change, speeding, passing vehicles, etc.) Characteristic of young drivers (risk taking, drinking) Collision
2	Education and training	<ul style="list-style-type: none"> Novice driver training Accident avoidance training Education of holding safe views in driving
3	Design and evaluation of transportation infrastructures	<ul style="list-style-type: none"> Traffic sign system Road markings, road-block, speed Hump and other infra on road Road surfaces, tunnel, bridge
4	Medicine and therapy application	<ul style="list-style-type: none"> Drugs and alcohol Clinical Trials Support Crash Biomechanics
5	Ergonomics and cognitive study	<ul style="list-style-type: none"> Visual and auditory obstacle in driving Haptic feedback on simulator Motion sickness Old drivers
6	Intelligent Transportation System (ITS) study	<ul style="list-style-type: none"> Adaptive Cruise Control system Head-Up Display and Head-Down Display Collision and accident warning system Other new in-vehicle technologies
7	Administrative method evaluation	<ul style="list-style-type: none"> Design and evaluation of the new policies Urban and rural traffic environment

Per le specifiche esigenze dell'ingegneria stradale, l'uso del simulatore di guida è stato utilizzato per diversi studi, come:

- lo studio dei fattori umani che regolano la guida del veicolo, quale ad esempio la variabilità del tempo di reazione in diverse situazioni di circolazione, geometriche, ambientali e di traffico;
- la verifica del comportamento degli utenti in particolari condizioni di circolazione, come ad esempio la valutazione del rischio accettato in funzione del disagio indotto dalle interferenze veicolari;
- l'analisi delle conseguenze imputabili alla variazione di una o più condizioni che caratterizzano il sistema uomo/strada/ambiente, quale, ad esempio, la dispersione delle traiettorie in funzione del dimensionamento e della successione delle geometrie d'asse.

La simulazione di guida in realtà virtuale si rende necessaria per far fronte alle criticità della progettazione stradale. Aspetti come il comportamento dell'utente, di un veicolo isolato e la verifica funzionale della strada affidata ai criteri compositi e al diagramma delle velocità di progetto possono essere difficilmente valutati mediante processi di sperimentazione sul campo. Questo perché l'analisi comporta tempi lunghi e difficoltà di assicurare condizioni controllate, da ciò, quindi, la necessità di utilizzare simulatori di guida in realtà virtuale.

3. Progetto delle misure percettive

Il progetto consiste in una serie di interventi “a basso costo” per migliorare la percezione dell’intersezione e ridurre le velocità di approccio. Il tracciato di progetto (Figura 3-1) è costituito da una successione di rettifili lunghi 1000 m e curve di raggio pari a 400 m, con angolo di deviazione di 35 gradi e raccordate con clotoidi lunghe 55 m (percorrenza di 2 secondi alla velocità di progetto di 100 km/h).

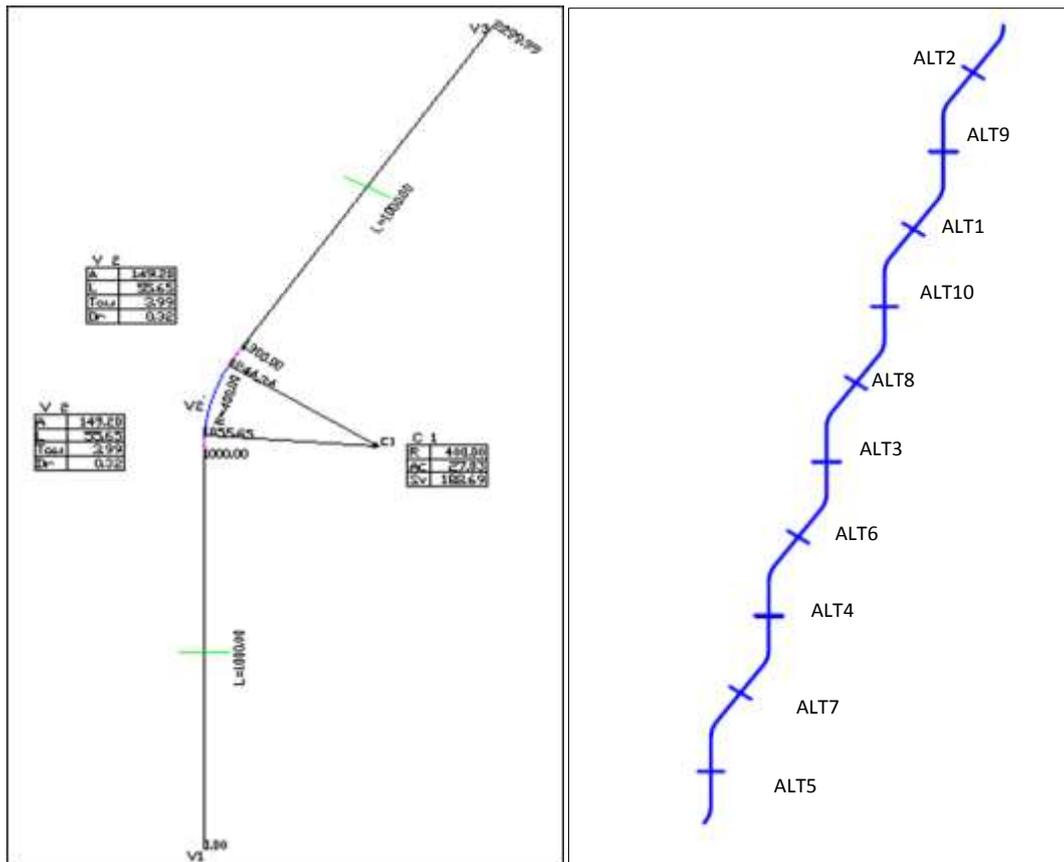


Figura 3-1 Schema di progetto

Ogni rettifilo rappresenta uno scenario di progetto, per un totale di 10 alternative. La prima consiste in un rettifilo senza intersezioni, mentre nelle altre 9 alternative al centro del rettifilo è presente un’intersezione a 4 bracci con angolo di 90 gradi. Il rettifilo ricrea una strada extraurbana secondaria a carreggiata unica e a doppio senso di marcia, con corsie di 3,50 m e banchine di 1,25 m, mentre la strada secondaria è a carreggiata unica con corsie di 3,00 m e banchine di 0,50 m. Nella seconda e nella terza alternativa in approccio all’intersezione non vi sono trattamenti, mentre le altre sette alternative consistono in intersezioni con misure percettive, date dalla combinazione di più dispositivi, come rallentatori ottici, rallentatori sonori, bande periferiche, denti di drago, pavimentazione colorata, isola (Tabella 3-1).

Tabella 3-1 – Schema di sintesi alternative di progetto

Alt.	Descrittiva	Rallentatori ottici	Rallentatori sonori	Bande periferiche trasversali	Denti di drago	Pavimentazione colorata	Isola
Alt1	Rettifilo base						
Alt2	Int. base						
Alt3	Int. Visibilità limitata						
Alt4	Rallentatori ottici	X					
Alt5	Rallentatori sonori		X				
Alt6	Bande periferiche trasversali		X	X			
Alt7	Denti di drago		X		X		
Alt8	Pavimentazione colorata		X			X	
Alt9	Isola non materializzata		X				X
Alt10	Isola materializzata		X				X

Tali configurazioni hanno consentito sia il confronto tra il comportamento dei guidatori in presenza ed in assenza delle intersezioni sia il confronto in presenza ed in assenza di misure percettive.

3.1.1. Alternativa 1: Rettilineo base

L'alternativa è costituita da una strada extraurbana secondaria (C2 ai sensi del D.M. 5/11/2001 Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade) a carreggiata unica e doppio senso di marcia, con corsie larghe 3,50 m e banchine larghe 1,25 m (Figura 3-2). Rettifilo senza intersezioni lungo 1'000 m. Curve prima e dopo il rettifilo con raggio pari a 400 m, angolo di deviazione pari a 35 gradi, raccordate con clotoidi lunghe 55 m.



Figura 3-2 Alternativa 1: : Rettifilo base

La segnaletica orizzontale presente è costituita da (Tabella 3-2):

- *striscia di margine* della carreggiata di larghezza 15 cm;
- *striscia discontinua di separazione dei sensi di marcia* di larghezza 12 cm di tipo B con tratto di 3,00 m ed intervallo 4,50 m , adoperata per strade con velocità di progetto comprese tra i 50 e 110 Km/h;

Inoltre è presente la seguente segnaletica complementare:

- *Delineatori normali di margine* (Figura II 463 Reg.), applicati ad una distanza di 8 cm dalla linea di margine della banchina con intervallo di 25 m. Tali delineatori hanno altezza pari a 105 cm e una sezione triangolare con spigoli arrotondati, di base 10 cm e altezza 12 cm, con la base parallela alla strada. Il colore dei delineatori deve essere bianco con una fascia nera nella zona superiore alta 25 cm, nella quale va posto un elemento rifrangente volto verso la corrente di traffico, il quale nelle strade a doppio senso di marcia è di colore rosso sul lato dextro e di colore bianco sul lato sinistro.

Lungo la strada è presente ad una distanza di 1 m dall'estremità della banchina una siepe di altezza 1,80 m e di larghezza 0,50 m, e ad una distanza di 5 m dall'estremità della banchina sono presenti una serie di alberi.

Tabella 3-2 – Caratteristiche

Strada C2	larghezza[m]			
corsia	3.50			
banchina	1.25			
	larghezza[m]	Tratto [m]	Intervallo[m]	Lunghezza[m]
striscia di margine	0.15			
striscia discontinua di separazione dei sensi di marcia	0.12	3.00	4.50	
	Altezza[m]	Intervallo[m]	Distanza dalla banchina[m]	
Delineatore normale di margine	1.05	25.00	0.08	

3.1.2. Alternativa 2: Intersezione base

Al centro del rettifilo è presente un'intersezione a 4 bracci con angolo di 90 gradi, i raccordi dei margini stradali hanno raggio pari ad 8,00 m e quelli delle banchine pari a 7,50 m (Figura 3-3 e Tabella 3-3). Le caratteristiche geometriche della principale sono uguali a quelle del rettifilo base. Strada secondaria non è conforme alle dimensioni stabilite dal D.M. 5-11-2001, è caratterizzata da una corsia di larghezza pari a 3 m e da una banchina di larghezza pari a 0,5 m è a carreggiata unica con corsie larghe 3,00 m e banchine larghe 0,50 m.

Lungo la strada è presente ad una distanza di 1 m dall'estremità della banchina una siepe di altezza 1,80 m e di larghezza 0,50 m, e ad una distanza di 5 m dall'estremità della banchina sono presenti una serie di alberi. Sono garantiti i requisiti predetti per il triangolo di visibilità. Sulla principale è assicurata una visibilità di 300m, mentre sulla secondaria è presente una visibilità di 20 m. Segnale di intersezione con diritto di precedenza (fig. Il 43/a del Regolamento) installato sulla principale 150 m prima dell'intersezione. Segnaletica di dare precedenza sulla secondaria e distanza di visibilità 20 m prima della linea di arresto pari a 330 m (congruente con le prescrizioni del D.M. 19/04/2006 Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle intersezioni stradali).

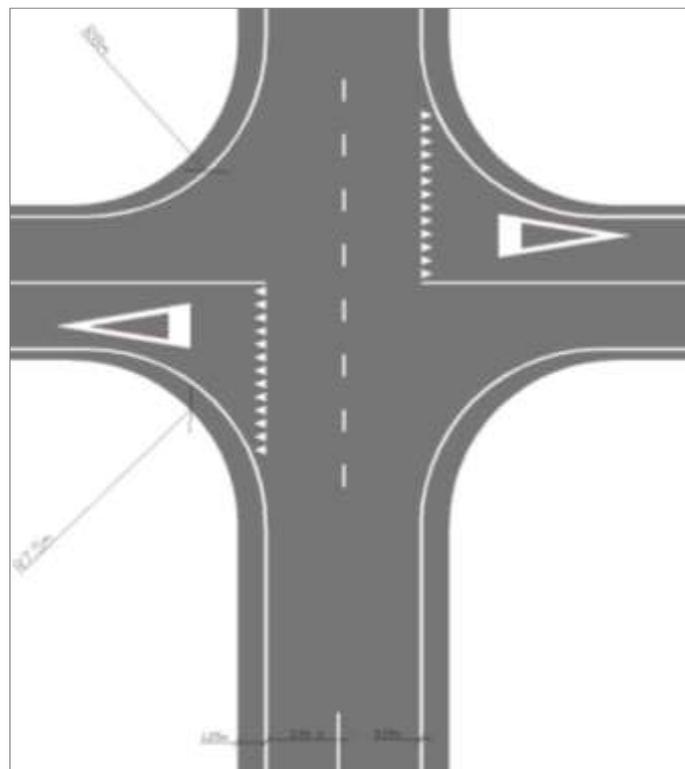


Figura 3-3 Alternativa 2: Intersezione base

La segnaletica presente sulla principale è di tipo orizzontale e verticale ed è realizzata seguendo le indicazioni del codice della strada e annesso regolamento:

- *striscia di margine* della carreggiata di larghezza 15 cm;
- *striscia discontinua di separazione dei sensi di marcia* di larghezza 12 cm di tipo B con tratto di 3,00 m ed intervallo 4,50 m , adoperata per strade con velocità di progetto comprese tra i 50 e 110 Km/h;
- *striscia continua di separazione dei sensi di marcia* di larghezza 12 cm e lunghezza 30 m in approccio all'intersezione;
- *Striscia discontinua di guida sull'intersezione* di tipo G con tratto di 1,00 m e intervallo di 1,50 m;
- *Doppia striscia*, di cui una continua e l'altra discontinua, realizzata per una lunghezza di 150 m in prossimità dell'intersezione, con la funzione di garantire il sorpasso ai veicoli in uscita dall'intersezione;
- Segnale di *intersezione con diritto di precedenza* (Figura II 43/a Reg.), di formato normale con lato pari a 90 cm, installato sulla strada principale ad una distanza di 150 m dall'intersezione, con funzione di preavviso.

Tabella 3-3 – Caratteristiche strada principale

PRINCIPALE				
	larghezza[m]			
corsia	3.50			
banchina	1.25			
	larghezza[m]	Tratto [m]	Intervallo[m]	Lunghezza[m]
striscia di margine	0.15			
striscia discontinua di separazione dei sensi di marcia	0.12	3.00	4.50	
striscia continua di separazione dei sensi di marcia	0.12			30.00
Striscia discontinua di guida sull'intersezione	0.12	1.00	1.50	22.00
Doppia striscia(continua,discontinua)	0.12	3.00	4.50	150.00
	Formato[cm]	Distanza dall'intersezione [m]		
Segnale di intersezione con diritto di precedenza	90	150		
	Altezza[m]	Intervallo[m]	Distanza dalla banchina[m]	
Delineatore normale di margine	1.05	25.00	0.08	

Inoltre è presente la seguente segnaletica complementare:

- *Delineatori normali di margine* (Figura II 463 Reg.), applicati ad una distanza di 8 cm dalla linea di margine della banchina con intervallo di 25 m. Tali delineatori hanno altezza pari a 105 cm e una sezione triangolare con spigoli arrotondati, di base 10 cm e altezza 12 cm, con la base parallela alla strada. Il colore dei delineatori deve essere bianco con una fascia nera nella zona superiore alta 25 cm, nella quale va posto un elemento rifrangente volto verso la corrente di traffico, il quale nelle strade a doppio senso di marcia è di colore rosso sul lato dritto e di colore bianco sul lato sinistro.

La segnaletica presente sulla strada secondaria è di tipo orizzontale e verticale, ed entrambe sono state realizzate seguendo le indicazioni del codice della strada e annesso regolamento (Tabella 3-4):

- *striscia di margine* della carreggiata di larghezza 12 cm;
- *striscia discontinua di separazione dei sensi di marcia* di larghezza 12 cm di tipo B con tratto di 3,00 m ed intervallo 4,50 m, adoperata per strade con velocità di progetto comprese tra i 50 e 110 Km/h;

Tabella 3-4 – Caratteristiche strada secondaria

SECONDARIA				
	larghezza[m]			
Corsia	3,00			
Banchina	0,50			
	larghezza[m]	Tratto [m]	Intervallo[m]	Lunghezza [m]
Striscia di margine	0,12	3,00	4,50	30,00
Striscia discontinua di separazione dei sensi di marcia	0,12			
Striscia continua di separazione dei sensi di marcia	0,12			
	Base[cm]	Altezza[cm]	Distanza tra triangoli	
Linea di arresto in corrispondenza del segnale dare precedenza (TRIANGOLI)	40	50	1/2 base	
Simbolo triangolare sulla pavimentazione	1,00	2,00	3,00 dalla linea d'arresto	
	Formato[cm]	Distanza banchina-segnale [cm]	Distanza banchina-sostegno [cm]	
Segnale di dare precedenza	90	30	50	
	Distanza dall'intersezione [m]			
Segnale di preavviso di dare precedenza	150			

- *striscia continua di separazione dei sensi di marcia* di larghezza 12 cm e lunghezza 30 m in approccio all'intersezione;
- *Linea di arresto in corrispondenza del segnale dare precedenza*, costituita da una serie di triangoli bianchi tracciati con punta rivolta verso il conducente obbligato a dare la precedenza e con il lato minore parallelo all'asse della strada principale; tali triangoli realizzati su una strada di tipo F hanno base pari a 40 cm, altezza pari a 50 cm e distanza tra due triangoli pari a circa la metà della base (Figura II.433 Reg.);
- *Simbolo triangolare sulla pavimentazione* (Figura II.442/a Reg.) integrato alla linea di arresto; tale simbolo dista 3,00 m dai vertici dei triangoli costituenti la linea di arresto ed ha base di 1,00 m e altezza di 2,00 m per una strada di tipo F;
- Segnale di *dare precedenza* (Figura II.36 Reg.), installato con formato normale di lato 90 cm, altezza dal suolo del bordo inferiore del segnale di 2,20 m, distanza dal ciglio esterno della banchina al bordo laterale del segnale di 30 cm e distanza dal ciglio esterno della banchina al sostegno di 50 cm;
- Segnale di *preavviso di dare precedenza* (Figura II.38 Reg.), installato sulla strada secondaria ad una distanza di 150 m dall'intersezione, corredato di pannello integrativo con l'indicazione della distanza.

3.1.3. Alternativa 3: Intersezione con assenza di visibilità

L'alternativa è costituita da un'intersezione a quattro bracci come l'intersezione base, ma con ridotta visibilità. La distanza di visibilità 3 m prima della linea di arresto è pari a 100 m.

Sulla strada principale la segnaletica è stata realizzata seguendo le indicazioni del codice della strada e annesso regolamento (Tabella 3-5):

- *striscia di margine* della carreggiata di larghezza 15 cm;
- *striscia discontinua di separazione dei sensi di marcia* di larghezza 12 cm di tipo B con tratto di 3,00 m ed intervallo 4,50 m, adoperata per strade con velocità di progetto comprese tra i 50 e 110 Km/h;
- *striscia continua di separazione dei sensi di marcia* di larghezza 12 cm e lunghezza 30 m in approccio all'intersezione;
- *Striscia discontinua di guida sull'intersezione* di tipo G con tratto di 1,00 m e intervallo di 1,50 m;

- *Doppia striscia*, di cui una continua e l'altra discontinua, realizzata per una lunghezza di 150 m in prossimità dell'intersezione, con la funzione di garantire il sorpasso ai veicoli in uscita dall'intersezione;
- Segnale di *intersezione con diritto di precedenza* (Figura II 43/a Reg.), di formato normale con lato pari a 90 cm, installato sulla strada principale ad una distanza di 150 m dall'intersezione, con funzione di preavviso.

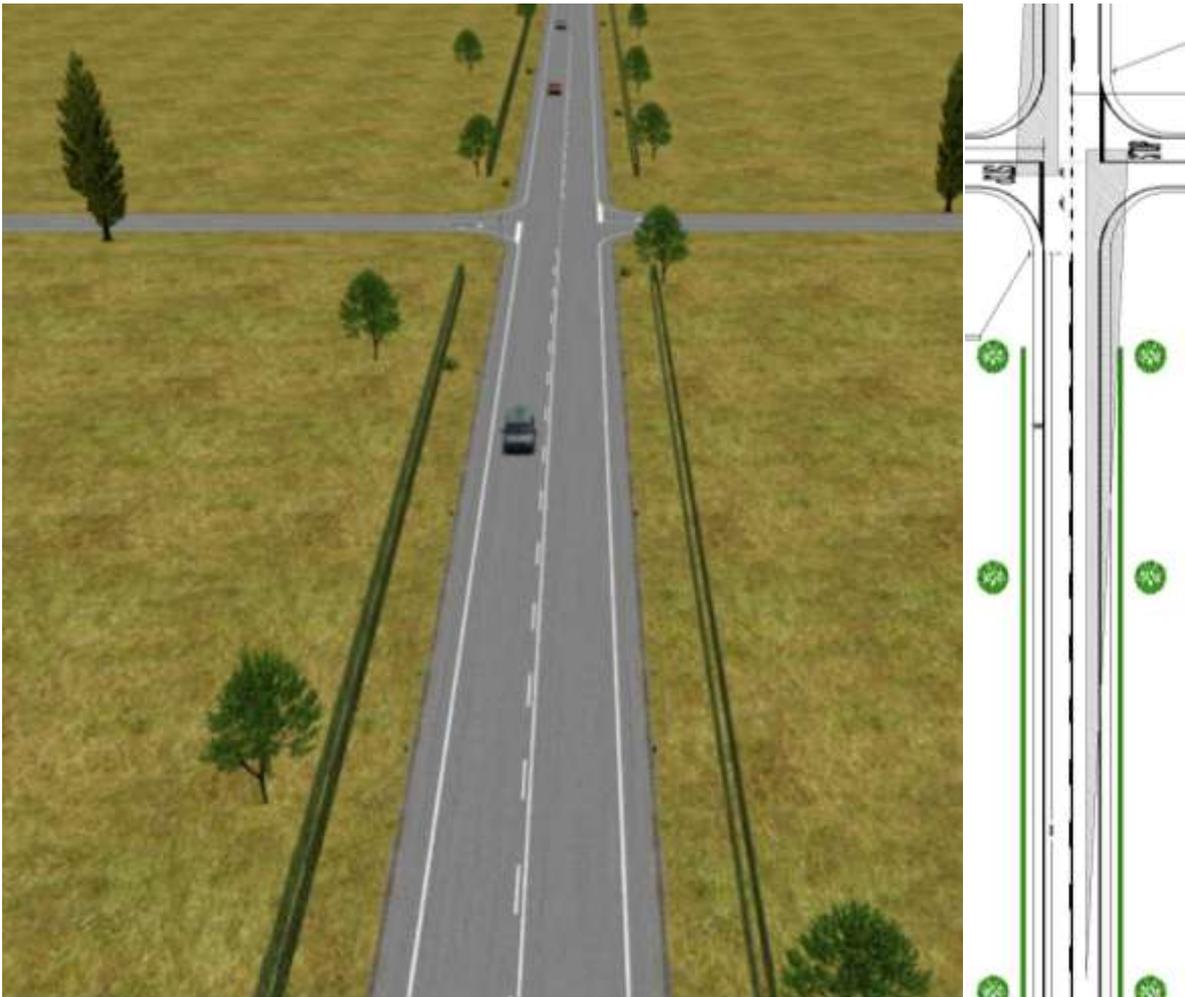


Figura 3-4 Alternativa 3: Intersezione con assenza di visibilità

Inoltre è presente la seguente segnaletica complementare:

- *Delineatori normali di margine* (Figura II 463 Reg.), applicati ad una distanza di 8 cm dalla linea di margine della banchina con intervallo di 25 m. Tali delineatori hanno altezza pari a 105 cm e una sezione triangolare con spigoli arrotondati, di base 10 cm e altezza 12 cm, con la base parallela alla strada. Il colore dei delineatori deve essere bianco con una fascia nera nella zona superiore alta 25 cm, nella quale va posto un

elemento rifrangente volto verso la corrente di traffico, il quale nelle strade a doppio senso di marcia è di colore rosso sul lato dextro e di colore bianco sul lato sinistro.

Tabella 3-5 – Caratteristiche geometriche

PRINCIPALE				
	larghezza[m]			
<i>Corsia</i>	3.50			
<i>Banchina</i>	1.25			
	larghezza[m]	Tratto [m]	Intervallo[m]	Lunghezza[m]
<i>striscia di margine</i>	0.15			
<i>striscia discontinua di separazione dei sensi di marcia</i>	0.12	3.00	4.50	
<i>striscia continua di separazione dei sensi di marcia</i>	0.12			30.00
<i>Striscia discontinua di guida sull'intersezione</i>	0.12	1.00	1.50	22.00
<i>Doppia striscia (continua, discontinua)</i>	0.12	3.00	4.50	150.00
	Formato[cm]	Distanza dall'intersezione [m]		
<i>Segnale di intersezione con diritto di precedenza</i>	90	150		
	Altezza[m]	Intervallo[m]	Distanza dalla banchina[m]	
<i>Delineatore normale di margine</i>	1.05	25.00	0.08	

La segnaletica presente sulla strada secondaria è di tipo orizzontale e verticale , ed entrambe sono state realizzate seguendo le indicazioni del codice della strada e annesso regolamento (Tabella 3-6):

- *striscia di margine* della carreggiata di larghezza 12 cm;
- *striscia discontinua di separazione dei sensi di marcia* di larghezza 12 cm di tipo B con tratto di 3,00 m ed intervallo 4,50 m , adoperata per strade con velocità di progetto comprese tra i 50 e 110 Km/h;
- *striscia continua di separazione dei sensi di marcia* di larghezza 12 cm e lunghezza 30 m in approccio all'intersezione;
- *Linea di arresto in corrispondenza del segnale di fermarsi e dare precedenza*, di larghezza pari a 0.50 m, con andamento parallelo all'asse della strada principale;
- *Simbolo di Stop sulla pavimentazione* (Figura II.432/a Reg.) integrato alla linea di arresto; tale simbolo dista 3,00 m dalla linea di arresto ed è tracciato con andamento ortogonale all'asse della strada secondaria;
- Segnale di *fermarsi e dare precedenza* (Figura II.37 Reg.), installato con formato normale di lato 90 cm , altezza dal suolo del bordo inferiore del segnale di 2,20 m,

distanza dal ciglio esterno della banchina al bordo laterale del segnale di 30 cm e
distanza dal ciglio esterno della banchina al sostegno di 50 cm;

- Segnale di preavviso di fermarsi e dare precedenza (Figura II.39 Reg.), installato sulla strada secondaria ad una distanza di 150 m dall'intersezione, corredato di pannello integrativo con l'indicazione della distanza.

Tabella 3-6 – Caratteristiche geometriche

SECONDARIA				
	larghezza[m]			
Corsia	3,00			
Banchina	0,50			
	larghezza[m]	Tratto [m]	Intervallo[m]	Lunghezza[m]
Striscia di margine	0,12	3,00	4,50	30,00
Striscia discontinua di separazione dei sensi di marcia	0,12			
Striscia continua di separazione dei sensi di marcia	0,12			
	Larghezza[m]		Distanza[m]	
Linea di arresto in corrispondenza del segnale fermarsi e dare precedenza	40	50	1/2 base	
Simbolo di stop sulla pavimentazione	1,00	2,00	3,00 dalla linea d'arresto	
	Formato[cm]	Distanza banchina-segnale [cm]	Distanza banchina-sostegno [cm]	
Segnale di dare precedenza	90	30	50	
	Distanza dall'intersezione [m]			
Segnale di preavviso di dare precedenza	150			

3.1.4. Alternativa 4: Rallentatori ottici

L'alternativa prevede l'inserimento di due serie di rallentatori ad effetto ottico (Figura II.473 Reg.) 150 m e 80 m prima dell'intersezione (Figura 3-5). Ciascuna serie (Tabella 3-7) è costituita da 6 strisce trasversali di dimensione longitudinale pari a 3,25 m, con larghezza crescente nel senso di marcia (0,20 – 0,30 – 0,40 – 0,50 – 0,60 – 0,70 m) e distanziamento decrescente (1,00 – 0,80 – 0,60 – 0,40 – 0,20 m). Una *doppia striscia* è realizzata, di cui una continua e l'altra discontinua, per una lunghezza di 150 m dall'intersezione, con la funzione di garantire il sorpasso ai veicoli in uscita dall'intersezione.

Tabella 3-7 – Caratteristiche rallentatori ottici

Rallentatori ottici			
dimensione longitudinale [m]	Bande	Larghezza [m]	distanziamento [m]
3.23	1°	0.2	1
	2°	0.3	0.8
	3°	0.4	0.6
	4°	0.5	0.4
	5°	0.6	0.2
	6°	0.7	
Doppia striscia (continua, discontinua)			
larghezza[m]	Tratto [m]	Intervallo[m]	Lunghezza[m]
0.12	3.00	4.50	150.00

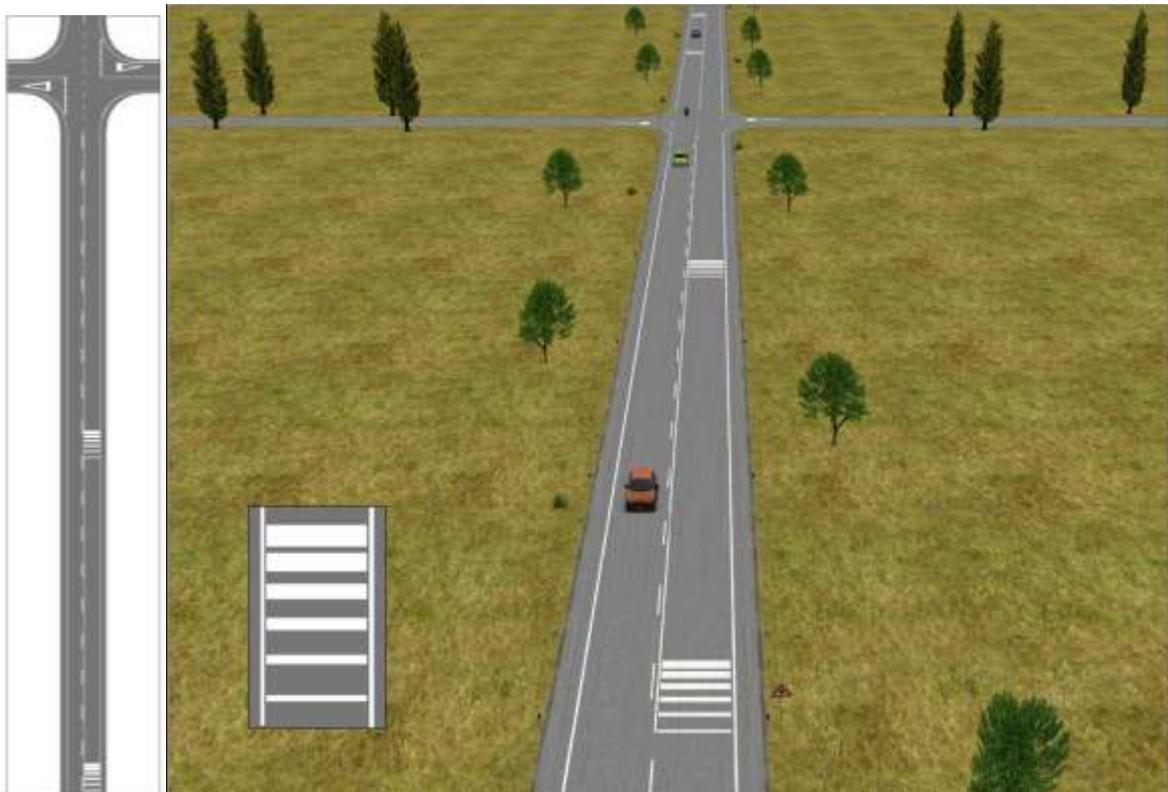


Figura 3-5 Alternativa 4: Rallentatori ottici

3.1.5. Alternativa 5: Rallentatori sonori

L'alternativa prevede l'inserimento di due serie di rallentatori ad effetto acustico 150 m e 80 m prima dell'intersezione (Figura 3-6). Ciascuna serie (Tabella 3-8) è costituita da 9 bande sonore trasversali di dimensione longitudinale 3,25 m, larghezza 0,12 m, altezza 5 mm e interasse 0,50 m.

Tabella 3-8 –Caratteristiche rallentatori sonori

<i>Rallentatori sonori</i>	Serie	Distanza dall'intersezione [m]	Lunghezza [m]	Larghezza [cm]	Interasse [m]
<i>Due serie da undici</i>	1°	150	5.12	0.12	0.5
	2°	80	5.12	0.12	0.5
Doppia striscia (continua, discontinua)	Larghezza [m]	Tratto [m]	Intervallo [m]	Lunghezza [m]	
	0.12	3.00	4.50	150.00	



Figura 3-6 Alternativa 5: Rallentatori sonori

3.1.6. Alternativa 6: Bande periferiche trasversali

L'alternativa prevede l'inserimento di una serie di rallentatori ad effetto acustico 150 m prima dell'intersezione. Dopo le bande sonore sono installate 22 coppie di bande periferiche trasversali che creano l'impressione di restringimento della corsia, con spaziatura decrescente (Figura 3-7). Ciascuna banda (Tabella 3-9) è costituita da un rettangolo lungo 0,50 m (perpendicolarmente alla direzione di marcia) e largo 0,30 m (nella direzione di marcia), con la base contigua alle strisce longitudinali. Le bande periferiche creano l'impressione di restringimento della corsia portandola da una larghezza di 3,50 m ad una di 2,37 m, sono installate con spaziatura decrescente (quattro bande al secondo) in modo da creare nel guidatore l'impressione di un aumento della velocità, inducendolo a rallentare. Tale distanziamento è stato calcolato per generare una riduzione di velocità partendo da una velocità iniziale pari a 90 Km/h fino ad una velocità finale pari a 75 Km/h, ipotizzando una decelerazione di $0,80 \text{ m/s}^2$.

Tabella 3-9 –Caratteristiche bande periferiche trasversali

Bande periferiche trasversali						
V ₁ =velocità iniziale[Km/h]	v ₁ [m/s]	a=decelerazione	V ₂ =velocità finale[Km/h]	v ₂ [m/s]	L = lunghezza intervento	Tempo [s]
90	25	0.8	74.88	20.8	120.225	0.25
Serie	v	V	t finale	Spazio	Distanza tra le bande	
1	25	90	0	0		
2	24.8	89.28	0.25	6.225	6.225	
3	24.6	88.56	0.5	12.4	6.175	
4	24.4	87.84	0.75	18.525	6.125	
5	24.2	87.12	1	24.6	6.075	
6	24	86.4	1.25	30.625	6.025	
7	23.8	85.68	1.5	36.6	5.975	
8	23.6	84.96	1.75	42.525	5.925	
9	23.4	84.24	2	48.4	5.875	
10	23.2	83.52	2.25	54.225	5.825	
11	23	82.8	2.5	60	5.775	
12	22.8	82.08	2.75	65.725	5.725	
13	22.6	81.36	3	71.4	5.675	
14	22.4	80.64	3.25	77.025	5.625	
15	22.2	79.92	3.5	82.6	5.575	
16	22	79.2	3.75	88.125	5.525	
17	21.8	78.48	4	93.6	5.475	
18	21.6	77.76	4.25	99.025	5.425	
19	21.4	77.04	4.5	104.4	5.375	
20	21.2	76.32	4.75	109.725	5.325	
21	21	75.6	5	115	5.275	
22	20.8	74.88	5.25	120.225	5.225	

È ottenuto una lunghezza totale di ingombro delle bande di 121,54 m. Ciascuna banda è costituita da un rettangolo lungo 0,50 m (perpendicolarmente alla direzione di marcia) e largo 0,30 m (nella direzione di marcia), con la base contigua alle strisce longitudinali.

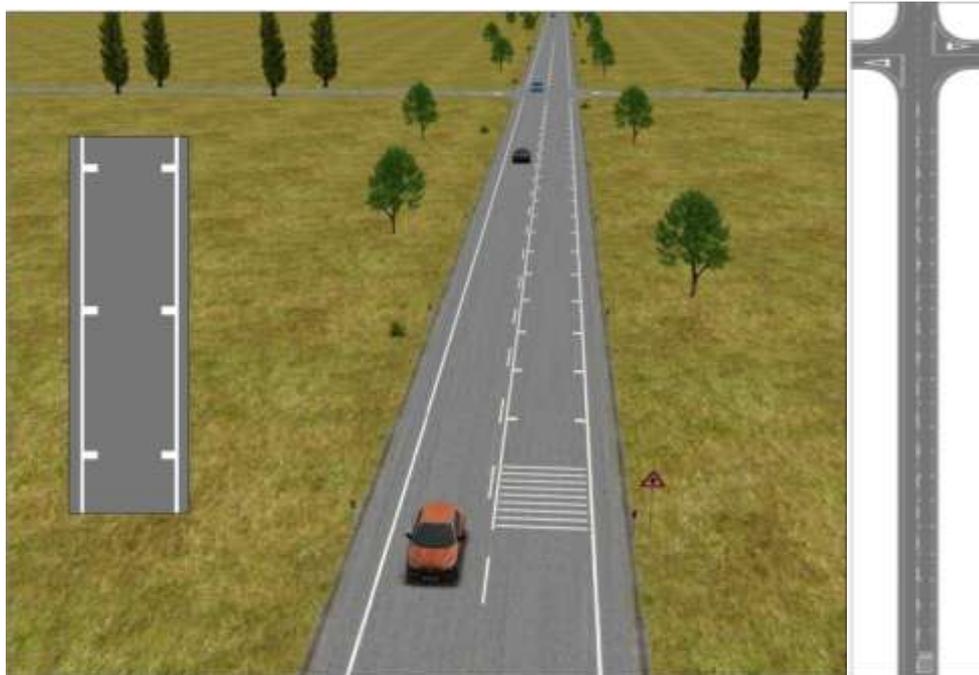


Figura 3-7 Alternativa 6: Bande periferiche trasversali

3.1.7. Alternativa 7: Denti di drago

L'alternativa prevede l'inserimento di due serie di rallentatori ad effetto acustico 150 m e 80 m prima dell'intersezione, associate ad un dispositivo di moderazione del traffico realizzato ad una distanza di 5,00 m dalla seconda serie di bande sonore (Figura 3-8). I "denti di drago" (Tabella 3-10), che danno l'impressione di restringimento della carreggiata, sono costituiti da una successione di 50 coppie di triangoli con base e interasse costanti, pari rispettivamente a 0,30 m e 1,00 m, e altezza crescente con un incremento di 1cm/m in modo da creare una convergenza verso il centro della corsia di marcia: il primo triangolo ha un'altezza di 0,30 m e l'ultimo di 0,79 m (Tabella 3-11).

Tabella 3-10 – Caratteristiche denti di drago

Rallentatori sonori	Serie	Distanza dall'intersezione [m]	Lunghezza[m]	Larghezza[cm]	Interasse[m]
Due serie da undici	1°	150	5.12	0.12	0.5
	2°	80	5.12	0.12	0.5
Denti di drago	base[cm]	interasse[m]	incremento altezza	lunghezza totale[m]	
	30	100	1 cm/m	49	

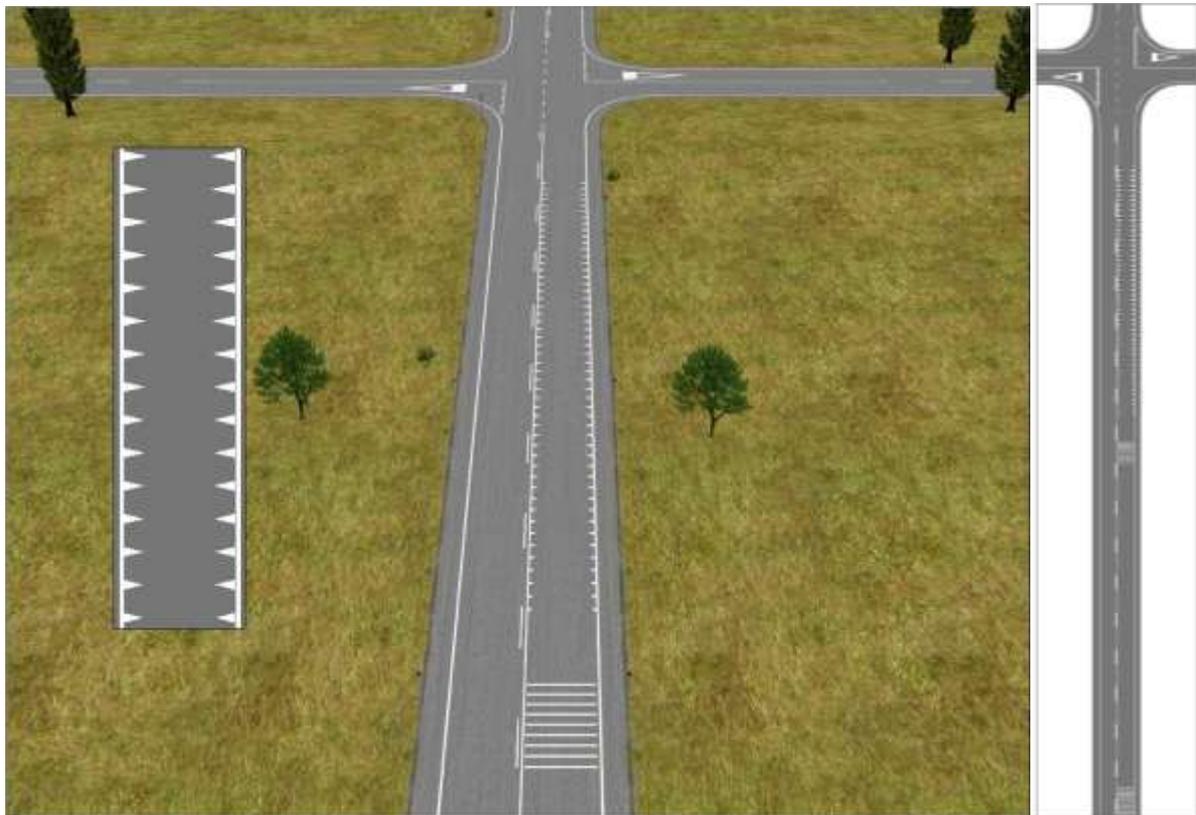


Figura 3-8 Alternativa 7: Denti di drago

I triangoli, soprannominati “denti di drago”, danno l’impressione di restringimento della carreggiata per una

Tabella 3-11 – Caratteristiche denti di drago

N° Triangoli	Altezza incrementate						
1	0.30	16	0.45	31	0.60	46	0.75
2	0.31	17	0.46	32	0.61	47	0.76
3	0.32	18	0.47	33	0.62	48	0.77
4	0.33	19	0.48	34	0.63	49	0.78
5	0.34	20	0.49	35	0.64	50	0.79
6	0.35	21	0.50	36	0.65		
7	0.36	22	0.51	37	0.66		
8	0.37	23	0.52	38	0.67		
9	0.38	24	0.53	39	0.68		
10	0.39	25	0.54	40	0.69		
11	0.40	26	0.55	41	0.70		
12	0.41	27	0.56	42	0.71		
13	0.42	28	0.57	43	0.72		
14	0.43	29	0.58	44	0.73		
15	0.44	30	0.59	45	0.74		

3.1.8. Alternativa 8: Pavimentazione colorata

L’alternativa prevede l’inserimento di una doppia serie di bande sonore trasversali 150 m e 80 m prima dell’intersezione, associata all’applicazione di una pavimentazione colorata (Figura 3-9). La pavimentazione (Tabella 3-12) è di colore rosso in conglomerato stampato, ossia conglomerato bituminoso impresso a caldo con rete metallica, colorato con resine acriliche e componenti (cariche di quarzo e di cementi modificati) e rifinito con antidrucciolo. In tal modo si ottiene un richiamo dell’attenzione dei conducenti attraverso l’effetto combinato di diversa colorazione e tipologia della pavimentazione. In tal modo si ottiene un richiamo dell’attenzione dei conducenti per l’effetto combinato della diversa colorazione della pavimentazione e di una lieve vibrazione al passaggio sulla fascia di conglomerato che ha profilo e aspetto simili a quelli dei masselli.

Tabella 3-12 –Caratteristiche pavimentazione colorata

Rallentatori sonori	Serie	Distanza dall’intersezione [m]	Lunghezza [m]	Larghezza[cm]	Interasse[m]
	1°	150	5.12	0.12	0.5
	2°	80	5.12	0.12	0.5
Doppia striscia (continua, discontinua)	Larghezza[m]	Tratto [m]	Intervallo[m]	Lunghezza[m]	
	0.12	3.00	4.50	150.00	
Pavimentazione di colore rosso	Materiale				
	conglomerato bituminoso impresso a caldo con rete metallica, colorato con resine acriliche				

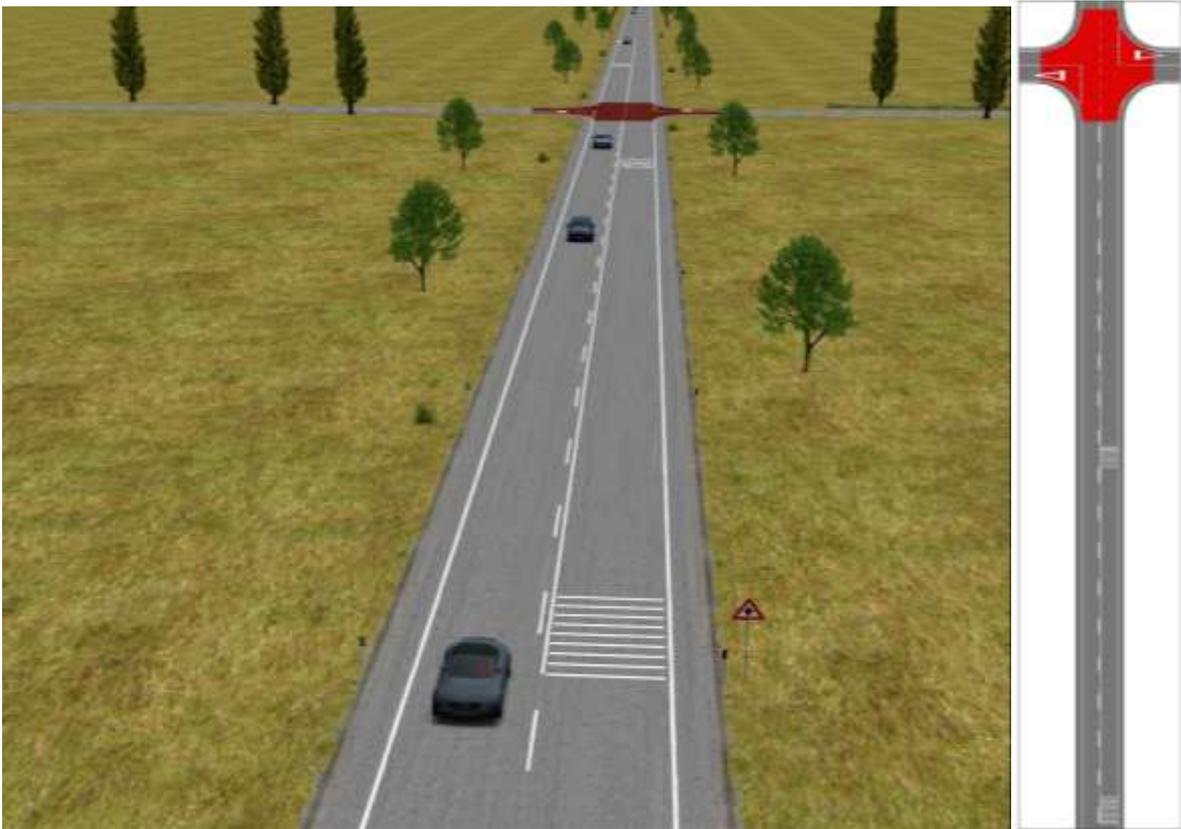


Figura 3-9 Alternativa 8: Pavimentazione colorata

3.1.9. Alternativa 9: Isola non materializzata

L'alternativa prevede l'inserimento di una serie di rallentatori ad effetto acustico 150 m prima dell'intersezione, associata ad un restringimento di corsia, avente lo scopo di indurre un rallentamento all'utente che si avvicina all'intersezione, mediante la realizzazione di un'isola divisionale non materializzata (Figura 3-10). L'isola è larga 1,50 m (Tabella 3-13) e determina un restringimento delle corsie di marcia da 3,50 m a 2,75 m, simmetrico rispetto all'asse della strada. L'isola lunga 134,50 m, presenta all'interno una zebratura inclinata di 45 gradi rispetto al verso di marcia costituita da strisce larghe 0,30 m con intervallo di 0,60 m e inserti stradali catarifrangenti in vetro.

L'isola ha una lunghezza totale pari a 134,51 m, di cui la lunghezza del tratto di raccordo è stata calcolata in funzione della velocità di progetto, pari a 90 Km/h, ed è pari a 34,75 m, la lunghezza del tratto di manovra è fissa e pari a 30 m per una $V_p \geq 60$ Km/h, secondo le indicazioni del D. M 5/11/2001 .

All'interno dell'isola è presente una zebratura inclinata a 45° rispetto all'asse della strada costituita da strisce di larghezza pari a 0,30 m con intervallo di 0,60 m, sono inoltre presenti inserti stradali catarifrangenti in vetro, di diametro pari a 5 cm rispondenti ai requisiti della norma UNI EN 1463-1:2004.

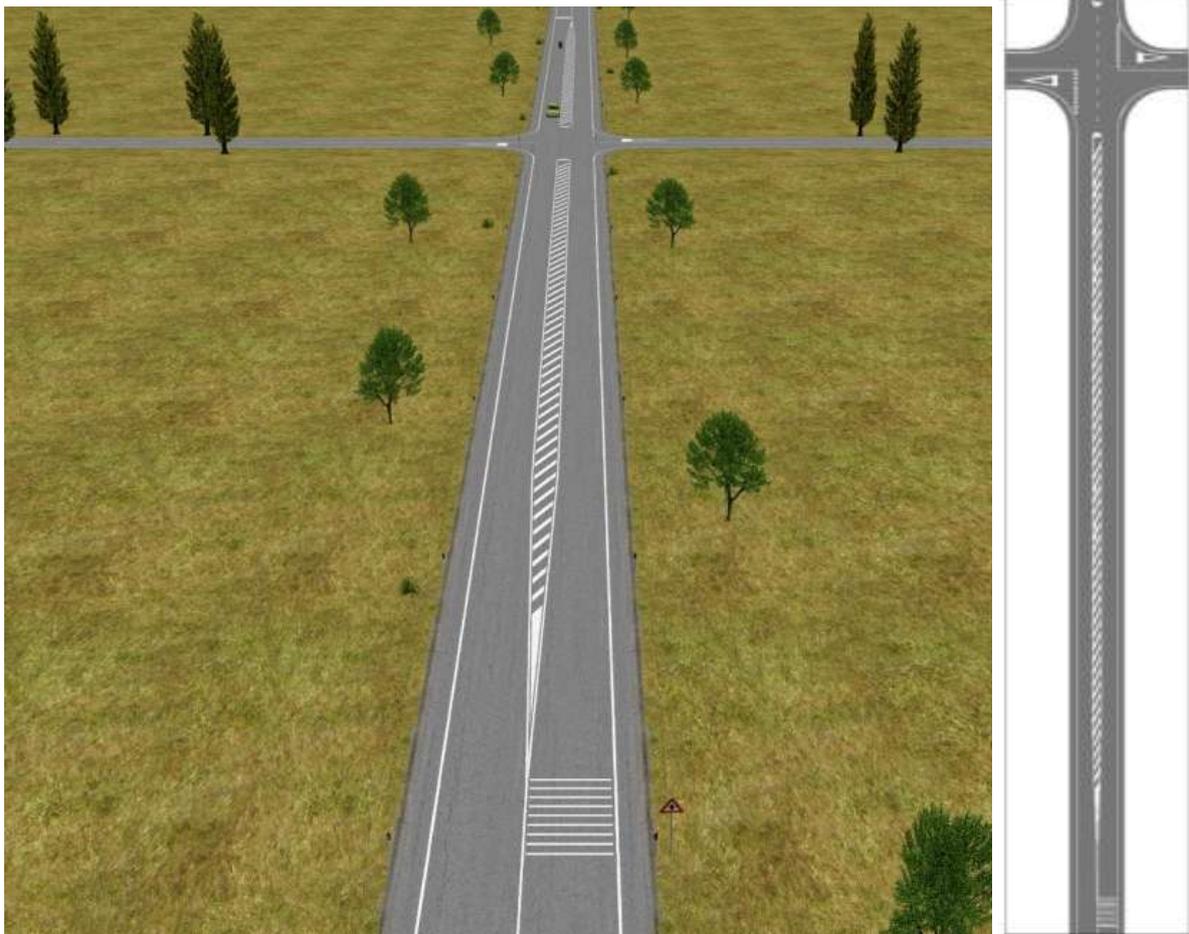


Figura 3-10 Alternativa 9: Isola non materializzata

Tabella 3-13 –Caratteristiche isola non materializzata

Isola non materializzata	Larghezza[m]	Lunghezza[m]	Inclinazione	Intervallo tra le strisce[m]	
	1.50	134.51			
Zebratura isola	0.30		45°	0.60	
rallentatori sonori	Serie	Distanza dall'intersezione [m]	Lunghezza	Larghezza	Interasse
	1°	150	5.12	0.12	0.5

3.1.10. Alternativa 10: Isola materializzata

L'alternativa è costituita da un dispositivo con geometria uguale a quella dell'alternativa con isola non materializzata, con l'aggiunta della materializzazione dell'isola (Figura 3-11). Il bordo dell'isola è costituito da un cordolo sormontabile, al fine di evitare danni ai veicoli leggeri e ai motociclisti. Il cordolo è largo 10 cm e alto 5 cm, con 3 cm verticali e una parte sub-orizzontale alta 2 cm e larga 6 cm. L'isola materializzata ha una larghezza di 70 cm e la parte interna, di larghezza pari a 50 cm, è ricoperta di vegetazione. Nell'isola divisionale è installato un delineatore speciale di ostacolo (fig. II 472 del Regolamento) associato al segnale passaggio consentito a destra (fig. II 82/b del Regolamento). L'isola ha una lunghezza totale pari a 134,51 m, di cui la lunghezza del tratto di raccordo è stata calcolata in funzione

della velocità di progetto, pari a 90 Km/h, ed è pari a 34,7; la lunghezza del tratto di manovra è fissa e pari a 30 m per una $V_p \geq 60$ Km/h, secondo le indicazioni del D. M 5/11/2001 ().

La larghezza complessiva dell'isola è di 1,50 cm ed essa è costituita da un cordolo sormontabile al fine di evitare danni ai veicoli leggeri e ai motociclisti che possono urtare contro i bordi dell'isola. Il cordolo ha larghezza di 10 cm e altezza di 5 cm. La superficie dell'isola materializzata ha una larghezza di 90 cm; la parte interna di larghezza pari a 70 cm è ricoperta di vegetazione, inoltre è presente una zebratura inclinata a 45° rispetto all'asse della strada costituita da strisce di larghezza pari a 0,30 m con intervallo di 0,60 m, sono inoltre presenti inserti stradali catarifrangenti in vetro rispondenti ai requisiti della norma UNI EN 1463-1:2004. È presente sull'isola il segnale di *delineatore speciale d'ostacolo* di formato normale che prevede un diametro di 60 cm.

Tabella 3-14 –Caratteristiche isola materializzata

	Larghezza[m]	Lunghezza[m]	Materiale
Isola materializzata	0.90	134.51	vegetazione
	Larghezza[m]	Inclinazione	Intervallo tra le strisce [m]
Zebratura isola	0.30	45°	0.60
	Larghezza[m]	Altezza[m]	
Cordolo isola	0.10	0.05	

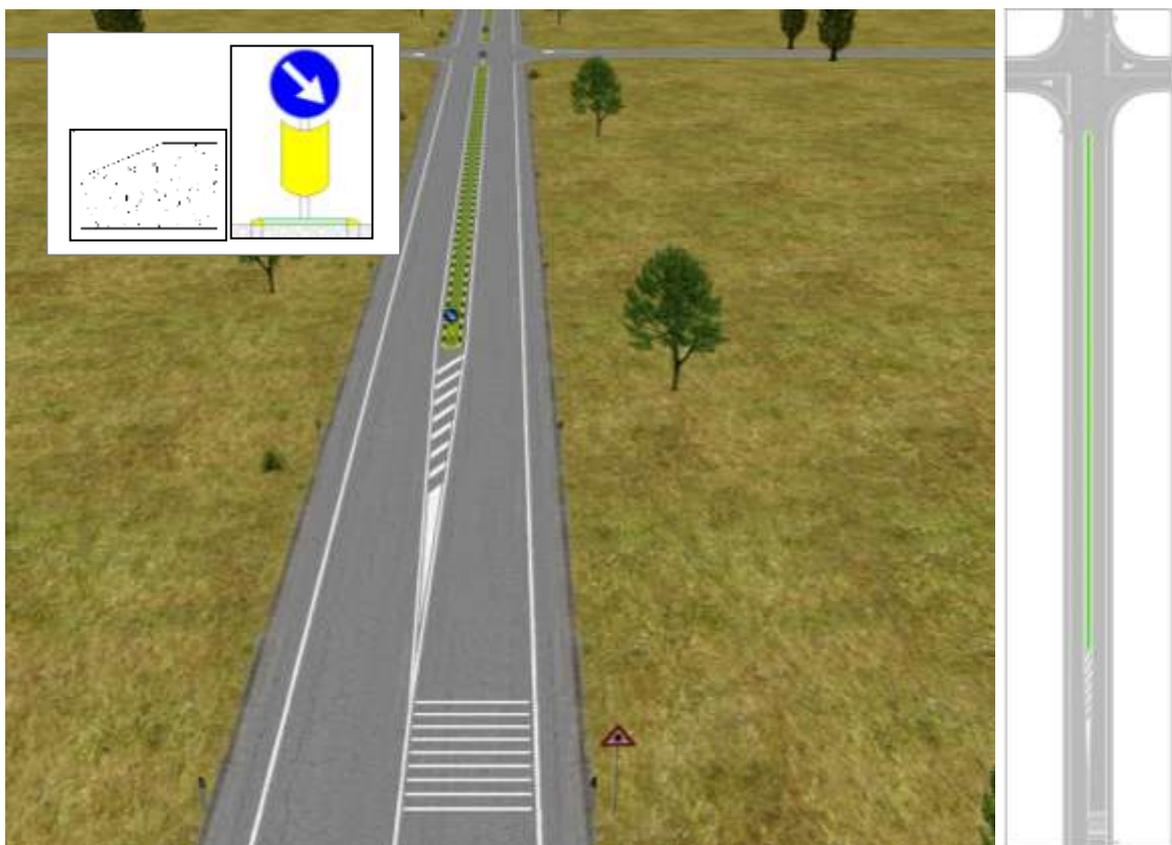


Figura 3-11 Alternativa 10: Isola materializzata

4. Sperimentazione al simulatore di guida

4.1.1. Il simulatore di TEST Scarl

Il simulatore di guida VERA (Virtual Environment for Road sAFety) ha un'architettura "leggera" costituita da una piattaforma mobile di ridotte dimensioni montante solamente una cabina di guida (Figura 4-1). Il simulatore di guida è stato assemblato, secondo precise richieste della società committente, dalla ditta francese Oktal nel 2005, a Napoli. L'idea era quella di costruire un simulatore di guida ad elevate prestazioni ma nel contempo snello ed utilizzabile per diverse tipologie di sperimentazioni. A tale scopo si è pensato di realizzare una architettura "leggera" costituita da una piattaforma mobile di ridotte dimensioni montante solamente una cabina di guida, i grandi schermi di proiezione non sono imbarcati ma fissati al suolo.



Figura 4-1 – Il sistema di simulazione di TEST Scarl.

Una particolarità di questo simulatore è costituita dal fatto che il sistema è stato pensato per ospitare anche una cabina di volo. Il simulatore, situato presso la sala I5 dell'Istituto Motori del CNR di Napoli, è operativo dal marzo 2006.

La sala che ospita il simulatore si estende per oltre 150 m² e contiene, inoltre, una stanza per il controllo della simulazione ed una per la somministrazione dei questionari ed il debriefing.

4.1.2. Cabina

La cabina di guida è la metà anteriore di una reale Citroën C2 (Figura 4-1), dotata di un cruscotto, vari indicatori (velocità, livello di carburante, indicatori di direzione, marcia inserita, etc.), due sedili regolabili e retrovisori laterali e centrale (Figura 4-2). Il cambio può essere sia sequenziale che automatico. Tutte le interfacce di controllo garantiscono una risposta realistica. Infatti, i pedali sono provvisti di un sistema dinamico di ritorno di forza e

la coppia al volante è riprodotta con elevata accuratezza tramite un servo-motore direttamente connesso al piantone dello sterzo.



Figura 4-2– Retrovisori ed interni del simulatore di TEST Scarl.

4.1.3. Sistema sonoro

Un sistema audio avvolgente (2 altoparlanti ed un subwoofer) genera i vari suoni che normalmente è possibile sentire durante la guida, sia quelli del veicolo guidato (motore, clacson, etc.) sia quelli provenienti da altri veicoli.

4.1.4. Sistema visuale

Immagini tridimensionali sono proiettate su tre schermi piatti (4x3 metri), fissati al suolo, che circondano la cabina. Tali immagini immergono il guidatore in un ambiente di guida realistico che riproduce, con l'ausilio di immagini foto-realistiche ed un elevato grado di dettaglio, la strada e l'ambiente circostante (case, veicoli, segnaletica stradale, alberi, etc.). Gli scenari di guida che si possono simulare sono svariati e contemplano, anche, la guida notturna ed in condizioni meteorologiche avverse (pioggia, neve, nebbia).

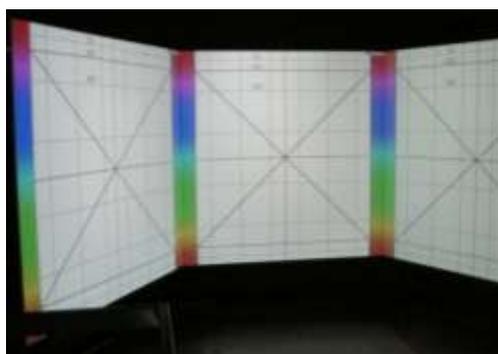


Figura 4-3– Schermi tridimensionali

Il sistema video garantisce un campo di visione frontale di $180^{\circ} \times 50^{\circ}$ ed una risoluzione per singolo schermo frontale di 1400×1050 pixels. I retrovisori sono stati sostituiti da tre schermi LCD da 6,5" con una risoluzione di 1280×1024 pixels.

4.1.5. Sistema di moto

La cabina è montata su di una piattaforma mobile della CueSim (Figura 4-4) con sei attuatori elettrici in grado di garantire sei gradi di libertà (traslazione su X, Y e Z, imbardata, rollio e beccheggio).



Figura 4-4– Piattaforma mobile della CueSim

Tale sistema di moto riproduce la maggior parte delle accelerazioni che si percepirebbero alla guida di un veicolo reale, in particolare quelle che si risentono quando si effettua una curva o una frenata e quelle provenienti dall’interazione dinamica tra il veicolo e le irregolarità concentrate della pavimentazione stradale (buche, dossi, ecc.). Inoltre, in laboratorio, è stato sviluppato un sistema in grado di restituire in cabina le vibrazioni prodotte da irregolarità distribuite. La piattaforma fornisce stimoli tali da portare il guidatore ad approcciarsi ai suoi compiti di guida in maniera realistica e da minimizzare l’incidenza del “malessere da simulatore” tra i partecipanti (il “malessere da simulatore” è una condizione che presenta sintomi simili al mal d’auto).

Le caratteristiche della piattaforma sono riportate nella seguente tabella.

Tabella 4-1 - Caratteristiche tecniche del simulatore di TEST Scarl

Modello Maxcue 610-450-16-12			
Max. Carico [kg]	1000		
Altezza (min, max)	1180,1675		
Peso [kg]	625		
Dimensioni [mm]	1980 × 1750		
	Pos.	Vel.	Acc.
Mov. X [mm, mm/s, g]	-491 /+432	718	+/- 1,39
Mov. Y [mm, mm/s, g]	-425 /+425	712	+/- 1,2
Mov. Z [mm, mm/s, g]	-247 /+248	484	+/- 0,59
Rollio [°, °/s, °/s ²]	-25 /+25	50	575
Beccheggio [°, °/s, °/s ²]	-24 /+25	48	595
Imbardata [°, °/s, °/s ²]	- 43 /+43	82	1100

4.1.6. Sistema dinamico

Il simulatore VERA utilizza come software di simulazione di guida SCANeR Studio della società OKTAL, che fornisce una simulazione flessibile ed efficace con un modello avanzato di traffico.

Il software, infatti, permette di gestire simultaneamente un traffico di più di 200 veicoli autonomi di diverso tipo (moto, automobili, mezzi pesanti, autobus, veicoli d'emergenza, biciclette e pedoni). Ogni veicolo obbedisce ad assegnate regole comportamentali di guida in base alle quali interagisce con gli altri veicoli durante la simulazione. Tali regole possono essere sostituite da altre imposte dalle necessità dello scenario (esempio: frenata d'emergenza). Per incrementare il realismo dell'ambiente di guida, i veicoli autonomi riproducono la dinamica della cassa mediante il rollio (in curva) o il beccheggio (in fase di accelerazione o di frenatura) ed, inoltre, sono in grado di gestire e rendere nell'ambiente virtuale i dispositivi di illuminazione e segnalazione visiva (luci di posizione, luci frenata d'emergenza, indicatori di direzione, antinebbia, etc.). Per riprodurre degli scenari a elevata densità di traffico è possibile creare uno "sciame" di veicoli autonomi attorno a quello interattivo.

La dinamica del veicolo interattivo è modellizzata dal software CarSim© della *Mechanical Simulation Corporation*, integrato inSCANeR Studio e si aggiorna ad una frequenza di 500Hz ed è costituito da diversi sottomodelli: drive-line, volante, pneumatici, confort, forze aerodinamiche, ruote non motrici, freno, chassis.

Il modello di chassis, descritto come un sistema multi-body, calcola la dinamica dello chassis, il veicolo, gli assali e i carichi. La modellizzazione multy-body è stata implementata tramite il software Mesa Verde.

Il modello di drive-line gira a 1000 Hz e contiene i seguenti elementi: motore, cambio, trasmissione differenziale, ruote motrici, limitatore di velocità, frizione, modello di consumo, emissioni inquinanti.

Il modello di pneumatici usato è di tipo Pacejka, nella formulazione di Michelin. I valori usati sono stati forniti da tutti i maggiori produttori di pneumatici.

Il modello globale dei freni è composto da: un sotto-modello idraulico dei freni, in cui gli aspetti meccanici e termici sono tenuti in considerazione nel calcolo dell'efficienza del sistema frenante e un modello di ABS che può essere attivato o disattivato.

Il sotto-modello di confort non è fisico ma solo un effetto speciale e riproduce le accelerazioni verticali dovute all'irregolarità con una frequenza di quasi 30 Hz.

Le forze aerodinamiche sono riprodotte tramite un sotto-modello che tiene in conto il coefficiente di penetrazione frontale e laterale dell'aria.

4.1.7. La validazione del simulatore di guida per le misure di velocità

Allo scopo di validare le velocità nella sperimentazione condotta con il simulatore, si è proceduto al confronto tra dati reali e simulati (Lamberti, 2009). Le misure di velocità in campo sono state rilevate sulla S.P. 39 di Teggiano (Figura 4-5). La S.P. 39 è una strada a carreggiata unica e doppio senso di marcia, con due corsie larghe 3,0 m e banchine di larghezza uguale a 0,30 m. Anche nel tratto esterno al centro abitato è presente un limite di velocità pari a 50 km/h. Nel tratto tra il km 3 + 200 e il km 3 + 900 è presente un piccolo agglomerato urbano, privo di marciapiedi e lontano dal principale centro abitato.

Le velocità sono state misurate in cinque sezioni (Figura 4-5): sei ore, dalle 7.00 alle 13.00, nelle sezioni: S_1 (850 veicoli), S_2 (1.109 veicoli), S_3 (762 veicoli) e S_4 (872 veicoli); dodici ore, dalle 7.00 alle 19.00, nella sezione S_5 , (2.031 veicoli), nelle sezioni in direzione Sud e in direzione Nord. I rilievi sono stati realizzati mediante apparecchiature conta-traffico KV Laser, che hanno consentito la registrazione dei seguenti parametri: istante di passaggio del veicolo velocità, lunghezza e direzione di marcia. Le velocità simulate sono state ottenute facendo guidare 30 soggetti (18 uomini e 12 donne), dai 23 ai 54 anni, con patente di guida valida.

I test Kolmogorov-Smirnov e Chi Quadro (χ^2) hanno dimostrato che non tutti i dati di velocità si adattano a una distribuzione Gaussiana con un livello di significatività del 5%. Per tale motivo nello studio sono stati impiegati test non parametrici, test di Kolmogorov-Smirnov.

Il test di Kolmogorov-Smirnov a due code è stato utilizzato per determinare se i due campioni indipendenti sono stati estratti da popolazioni con la stessa distribuzione (l'ipotesi nulla). I risultati del test mostrano che l'ipotesi nulla può essere rigettata con un livello del 5% solo per la sezione 5, in direzione Sud. Quindi, eccetto che in questa sezione, non ci sono differenze significative tra i campioni di velocità reali e simulate. La differenza massima nella velocità media è pari a 7,19 km/h e inoltre si osserva che la deviazione standard della velocità dei guidatori è maggiore nei dati raccolti in simulazione.

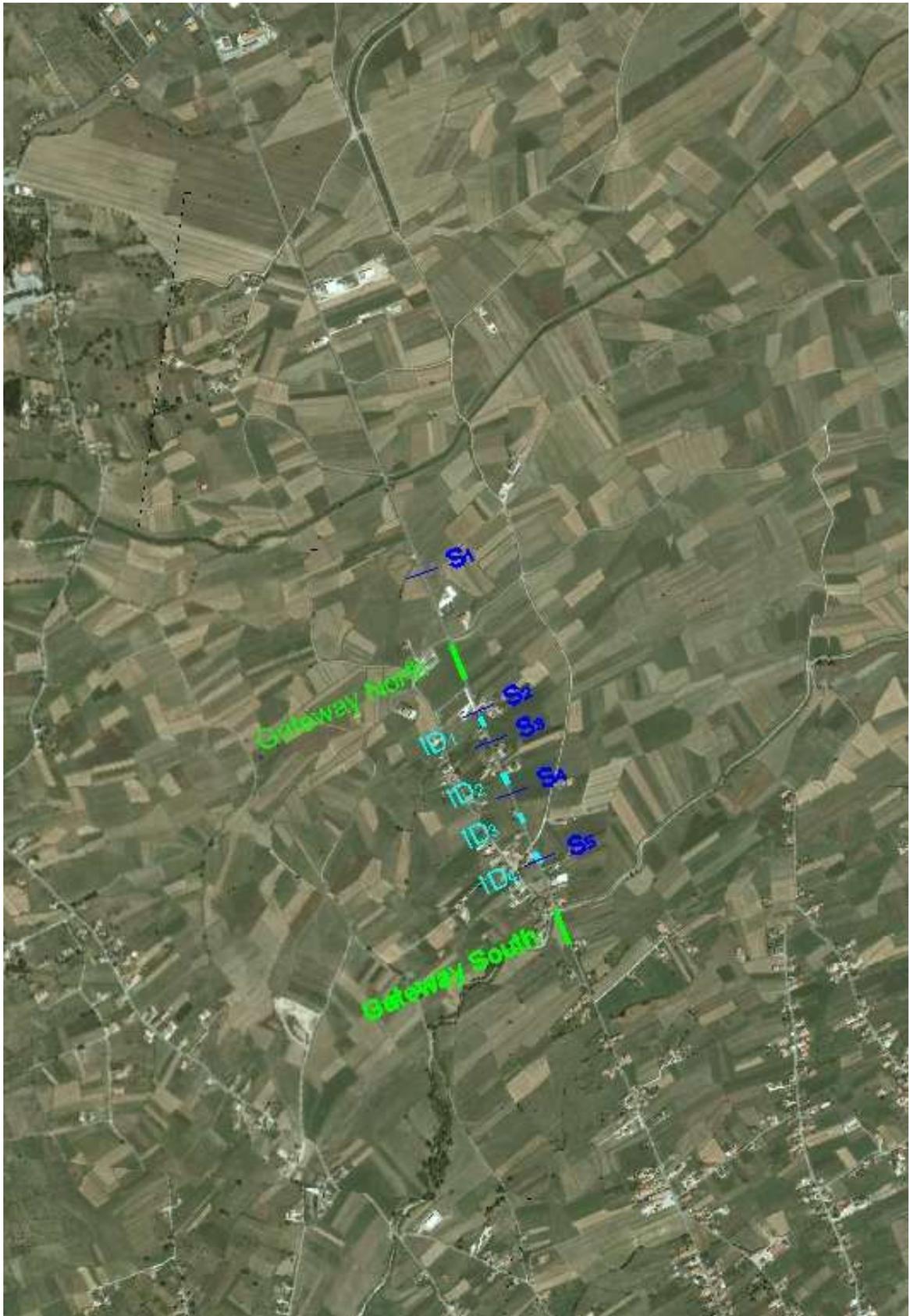


Figura 4-5– Area di studio

Tabella 4-2 – Confronto tra le velocità reali e simulate

Direzione Sud							
Sezione	Velocità Media (km/h)			Deviazione Standard (km/h)			Kolmogorov-Smirnov p-value
	Reale	Simulata	Differenza	Reale	Simulata	Differenza	
1	81,26	74,07	7,19	17,06	21,19	-4,13	0,036
2	73,98	71,54	2,44	16,25	19,55	-3,30	0,398
3	76,87	71,42	5,45	15,76	19,93	-4,17	0,087
4	76,29	69,11	7,18	18,07	17,55	0,52	0,162
5	71,63	68,64	2,99	16,01	17,40	-1,39	0,333
Direzione Nord							
Sezione	Velocità Media (km/h)			Deviazione Standard (km/h)			Kolmogorov-Smirnov p-value
	Reale	Simulata	Differenza	Reale	Simulata	Differenza	
1	77,39	80,85	-3,47	16,84	24,30	-7,46	0,113
2	73,49	79,61	-6,13	17,04	26,26	-9,22	0,181
3	75,04	78,01	-2,97	15,96	26,31	-10,35	0,175
4	64,19	71,34	-7,14	13,16	18,91	-5,75	0,092
5	65,81	71,39	-5,58	12,99	20,11	-7,11	0,118

4.2. Procedura di selezione

Prima dell'inizio della sperimentazione è stata svolta una procedura di selezione iniziale per l'accettabilità dei soggetti attraverso la somministrazione di un questionario di selezione utenti ed uno biografico.

Gli individui che soffrono di mal d'auto, frequenti emicranie, malati di cuore, in stato interessante o che soffrono di una qualsiasi condizione medica o farmaceutica che li possa predisporre alla nausea, a disturbi visivi, alla sonnolenza sono stati considerati non idonei allo studio. Scopo della procedura di selezione è stato quello di minimizzare la possibilità che i soggetti sperimentino il malessere da simulatore durante la guida.

Dopo aver compilato il formulario di selezione utenti e quello biografico, ciascun utente è stato accompagnato al simulatore di guida.

La prima fase della sperimentazione è consistita in una guida in uno scenario di training, di circa 8-10 minuti, durante il quale i partecipanti hanno guidato per familiarizzare con il veicolo, i suoi comandi ed il display.

Al termine della guida di training, ogni partecipante ha compilato un ulteriore test al fine di valutare le prime sensazioni degli utenti riguardo la guida al simulatore.

Terminata tale fase, il conducente ha raggiunto un grado di confidenza tale da poter condurre il veicolo in modo sicuro, infatti dal post-pretest è stato ricavato che l'80% degli utenti ha guidato senza difficoltà, mentre il 20 % ha avuto qualche difficoltà nella guida al simulatore.

Dopo aver compilato il post-pretest, ciascun utente è stato accompagnato al simulatore di guida. Ogni partecipante ha percorso due volte il tracciato, la prima guida è servita come adattamento mentre la seconda guida è stata utilizzata per l'analisi dei risultati. La sequenza delle alternative è stata tale da proporre ciascuna alternativa lo stesso numero di volte (3) in tutte le possibili posizioni (10).

Dopo la sperimentazione gli utenti hanno compilato un ultimo test.

4.2.1. I partecipanti alla sperimentazione

Dalla selezione è stato ricavato un campione iniziale di 30 soggetti costituito da 15 uomini e 15 donne, in possesso di regolare patente di guida e ottime condizioni di salute. Il campione iniziale è stato suddiviso in tre classi di età (Tabella 4-3):

Età	Uomo	Donna	Totale campione
23-32	9	8	17
33-42	4	2	6
43-55	2	5	7
Totale	15	15	30

L'età media dei partecipanti complessivi è stata di 35,3 anni con una deviazione standard di 9,9 anni. Gli utenti hanno avuto tra i 5 e i 36 anni di esperienza di guida. Dall'analisi dei partecipanti (Tabella 4-4; Figura 4-6) è stato rilevato che il 20% degli utenti percorre meno di 4000 km annui, il 43% degli utenti percorre tra 4000-8000 km annui, il 14% degli utenti percorre tra 8000-12000 km annui, il 23% degli utenti percorre più di 12000 km annui.

Chilometri annui percorsi	%
< 4000	20
4000 - 8000	43
8000 - 12000	13
> 12000	23
Ambito di guida prevalente	%
Tutti i tipi di strada	56
Ambito urbano	36
Ambito extraurbano	3
Autostrada	3
Incidenti nel triennio	%
SI	70
NO	30

Il 56% dei partecipanti guida prevalentemente su tutti i tipi di strada, il 36% in città, il 3% su strade extraurbane ed il restante 3% in autostrada (Figura 4-6).

Il 70% degli utenti non ha subito incidenti nell'ultimo triennio mentre il restante 30% ha subito incidenti solo in ambito urbano.

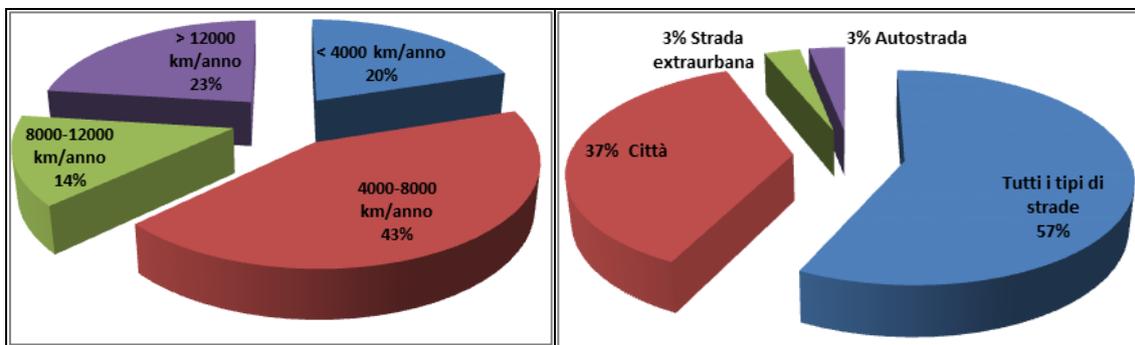


Figura 4-6– Chilometri annui percorsi

Figura 4-7– Ambito di guida prevalente

Al termine della sperimentazione, dall'interno campione si sono ottenuti 23 soggetti validi di cui, 13 uomini e 10 donne suddivisi nelle seguenti classi di età:

- 23 – 32 anni (7 uomini, 4 donne);
- 33 – 42 anni (4 uomini, 1 donna);
- 43 – 55 anni (2 uomini, 5 donne).

Tutti i soggetti hanno dichiarato di aver guidato nel modo più naturale possibile, solo l'utente 10 ha affermato di aver guidato più lentamente rispetto alla realtà.

Nelle sette guide con esito non positivo si sono verificati i seguenti problemi:

- 5 interruzioni di guida per malessere (2 durante il training, 3 durante il test);
- 1 guida condizionata da lieve nausea;
- 1 disfunzione del sistema di acquisizione dati.

Dall'analisi dei partecipanti è emerso che solo il 20,0% (Figura 4-8) dei partecipanti ha interrotto la guida per malessere.

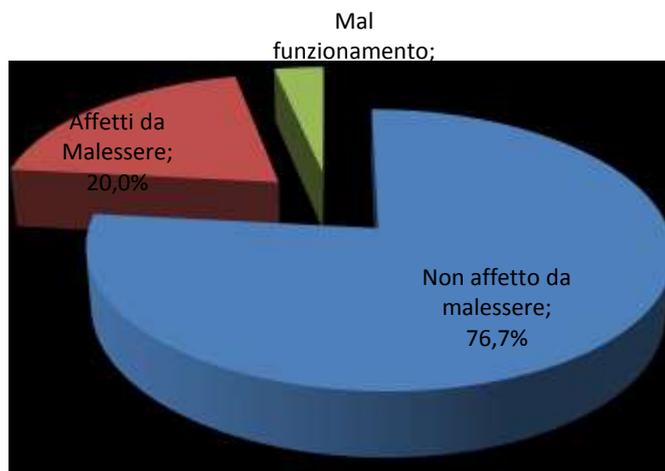


Figura 4-8– Guide interrotte

Degli utenti che hanno interrotto la guida per malessere sono stati 4 donne ed 1 uomo di cui 3 donne ed uomo tra i 23 e i 32 anni di età infine una donna tra i 43 e i 55 anni di età.

5. Metodologia d'analisi

Grazie al simulatore di guida è stato possibile ripetere gli esperimenti un certo numero di volte, così da avere una consistente raccolta di dati per ogni alternativa di guida e per ogni sezione. Durante la sperimentazione sono stati registrati diversi dati tra cui tempo, velocità e posizione laterale con una frequenza di campionamento di 20 Hz. I dati grezzi sono stati, successivamente, interpolati ed elaborati ogni 5 m del tracciato per conoscere velocità, decelerazione e posizione laterale (Figura 5-1).

Dati grezzi (registrati con una frequenza di campionamento di 20 Hz):	Tempi di percorrenza (s)
	Velocità istantanea (km/h)
	Posizione laterale (m)
Dati elaborati (interpolazione ogni 5 m):	Velocità (km/h)
	Decelerazione (m/s ²)
	Posizione laterale (m)

Figura 5-1– Dati registrati ed elaborati

L'ipotesi dello studio è stata che la presenza delle misure percettive influenza la percezione dell'ambiente stradale, in tal modo l'utente reagisce a tali stimoli modificando il proprio stile di guida per i diversi scenari. Lo scopo principale dello studio è stato innanzitutto valutare l'efficacia dei dispositivi.

L'uso di più metodologie ha permesso di comprendere l'efficacia degli stimoli dati dall'ambiente di guida e di come reagisce l'utente.

A tal fine sono state usate come misure di efficacia le velocità e le posizioni laterali, che come è stato evidenziato in precedenza sono definite misure surrogate della sicurezza.

Per avere una maggiore comprensione del fenomeno sono state studiate anche le decelerazione degli utenti, allo scopo di valutare come varia il comportamento del guidatore sollecitato da diversi stimoli dati dall'ambiente esterno e, quindi, come reagisce al variare del carico di lavoro. Al fine di verificare la significatività delle differenze tra le alternative sono state applicate diverse metodologie d'analisi (Figura 5-2).

Il primo punto su cui si è focalizzata la ricerca è stata sull'analisi esplorativa dei dati al fine di scoprire informazioni non note a priori e per suggerire ipotesi sul modello di manifestarsi dei fenomeni. In tal senso le tecniche di data mining, in particolare del cluster analisi, sono state considerate un utile strumento d'indagine. Le tecniche di data mining hanno per oggetto l'estrazione di sapere o di conoscenza a partire da grandi quantità di dati precedentemente sconosciuta e non distinguibile. Il cluster analisi è un metodo tipicamente esplorativo e consiste nella ricerca nelle n osservazioni p-dimensionali di gruppi di unità tra loro simili (Zani et al., 2007). In questo modo l'analisi dei dati consente di cogliere la

presenza di gruppi omogenei al loro interno e tra loro separati rispetto alla velocità e alla posizione laterale. Le dissimilarità tra i gruppi dimostrano che la presenza delle misure percettive influenza la scelta del comportamento di guida.

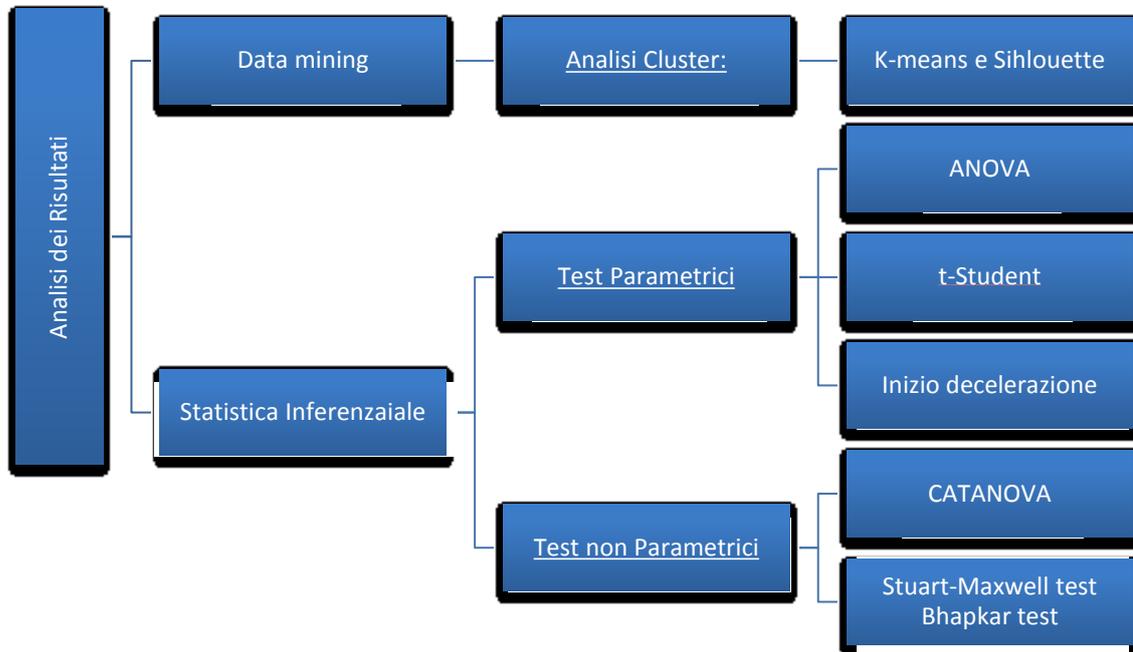


Figura 5-2–Schema di analisi

Dopo aver compreso la fenomenologia dei comportamenti di guida attraverso il cluster analisi, è stato considerato necessario confrontare le diverse alternative in diverse sezioni per poter meglio interpretare le informazioni fornite dall’analisi esplorativa e per poter meglio comprendere come i diversi trattamenti hanno influenzato le scelte di guida del pilota. Al fine di verificare le differenze significative tra le alternative e quindi di valutare numericamente l’efficacia dei dispositivi, in termini di velocità e posizione laterale, sono state analizzate le sezioni -500 m, -250 m, -150 m, -75 m e 0 (centro dell’intersezione) attraverso differenti test d’inferenza statistica: ANOVA test, t-Student a due code per campioni appaiati.

Allo scopo di dare un quadro più completo come la presenza dei dispositivi influenzi il comportamento di guida e di come i guidatori hanno effettivamente reagito, sono stati analizzati i profili di velocità e di decelerazione. In tale analisi, dapprima, sono stati individuati tre modelli di decelerazione, attraverso i quali per ogni utente e per ogni alternativa sono stati classificati, ed al fine di verificare l’ipotesi di differenza dei comportamenti tra le diverse alternative sono stati utilizzati il CATANOVA test e i test sulle frequenze di un attributo come i test di Stuart-Maxwell e di Bhapkar.

5.1. Data mining & Cluster Analysis

Il primo punto dell'analisi è stato di esplorare i dati registrati al simulatore per evidenziare informazioni non note apriori, in particolare si sono cercate le dissimilarità e le similitudini dei comportamenti di guida tra le diverse alternative di guida al fine di valutare l'influenza delle misure percettive. In tale analisi il tracciato è stato suddiviso in tre segmenti [-250 m; -150 m[, [-150 m; -75 m[, [-75 m; 0] ed ognuno è stato esaminato con l'analisi dei cluster. Il clustering, è una tecnica fondamentale di Data Mining che fa parte dei metodi non-supervisionati, nel quale non esiste una variabile target da prevedere, è una tecnica di tipo esplorativo e pertanto, a differenza di quanto si verifica con altre tecniche statistiche multivariate, non è necessaria alcuna assunzione a priori sulle tipologie fondamentali esistenti nell'insieme delle unità esaminate (Zazzaro, 2009). Permette di scoprire proprietà o comportamenti ricorrenti in insiemi di oggetti. Con cluster analisi, detta anche analisi dei grappoli, s'intende il processo che suddivide un insieme generico di pattern in gruppi di pattern o oggetti simili (Dulli et al., 2009). I raggruppamenti sono effettuati mediante precise tecniche di classificazione che tengono conto delle somiglianze tra le unità statistiche, o equivalentemente delle loro distanze, in modo che le unità riunite nello stesso gruppo siano molto simili o comunque vicine rispetto al complesso delle loro caratteristiche e che le unità appartenenti a gruppi diversi siano dissimili e lontane.

I metodi di formazione dei gruppi sono distinti in gerarchici e non gerarchici. Il clustering gerarchico è un approccio di clustering che mira a costruire una gerarchia di cluster, cioè produce raggruppamenti successivi ordinabili secondo livelli crescenti o decrescenti sulla base della misura di similarità. Le strategie per il clustering gerarchico sono tipicamente di due tipi: 1) agglomerativo, "bottom up", partono dal basso, cioè dalle singole unità statistiche, e procedono a riunificazione successive delle medesime, 2) divisivo, "top down", si tratta di un approccio "bottom up" partono dall'insieme di tutte le unità statistiche ed effettuano successive separazioni in gruppi di tale insieme.

I metodi non gerarchici (o partitivi) di classificazione si propongono di ottenere una sola partizione degli n elementi in k gruppi ($k < n$) con g scelto a priori (Zani et al., 2007).

Poiché lo scopo del lavoro è stato di individuare i comportamenti degli individui, dunque, di individuare dei raggruppamenti distinti tra le osservazioni, è stato scelto di utilizzare i metodi non gerarchici di classificazione. Per ogni valore di k , infatti, l'algoritmo non gerarchico classifica ogni elemento sulla base del criterio prescelto ed i risultati ottenuti possono essere diversi al variare del numero del raggruppamento. Ciò consente di superare i potenziali inconvenienti dovuti ad una fusione "errata" di unità eterogenee nei passi iniziali d'una procedura gerarchica.

5.1.1. K-Means & Silhouette

Gli algoritmi di aggregazione non gerarchica pongono la loro attenzione su un numero prestabilito di gruppi, ottenuti secondo criteri di ottimizzazione (Figura 5-3) che cercano di ottenere una buona compattezza all'interno dei gruppi e una buona separazione tra essi. Purtroppo, il numero di modi in cui è possibile suddividere gli elementi in k gruppi non sovrapposti si rivela incredibilmente grande anche per valori modesti di n e k . Di conseguenza gli algoritmi di uso operativo non possono mirare al raggiungimento di un ottimo globale della funzione obiettivo, ma devono necessariamente far riferimento a criteri meno vincolanti.

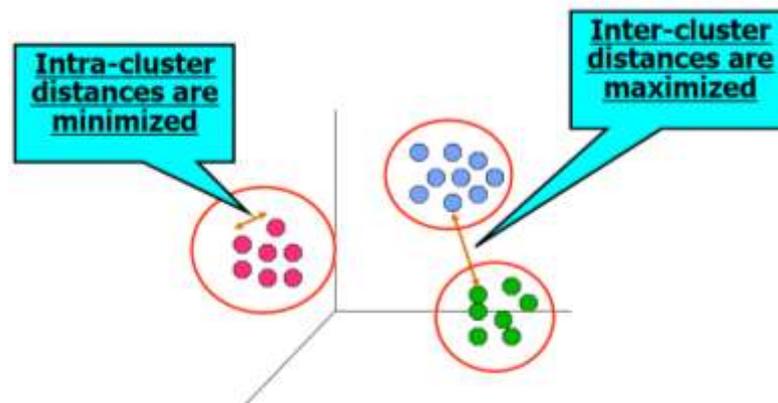


Figura 5-3– Bontà del clustering

In particolare, gli algoritmi non gerarchici si fondano solitamente sull'esecuzione di una procedura interattiva che può essere schematizzata nelle seguenti fasi (Zani et al., 2007):

- 1) scelta di una classificazione iniziale delle n unità con un numero di gruppi prefissato;
- 2) calcolo della variazione nella funzione obiettivo causata dallo spostamento di ciascun elemento dal gruppo di appartenenza ad un altro ed allocazione di ogni unità al cluster che garantisce il miglioramento più elevato nella coesione interna dei gruppi;
- 3) interazione del passo precedente finché non è soddisfatta la regola di arresto.

Dall'analisi della letteratura sono emersi diversi algoritmi di aggregazione non gerarchica come K-Means, Fuzzy C-Means, e Clara (Azimi et al., 2010; Han et al., 2006), ma il metodo delle K-Means costituisce l'algoritmo di classificazione non gerarchico di uso più comune nei packages statistici. Quest'algoritmo è stato progettato da MacQueen verso la fine degli anni '60e fa parte delle tecniche note come "*nearest centroid sorting*" (classificazione del centroide più vicino): i centri di gruppo sono individuati da un insieme di "*semi*" (le cui caratteristiche variano secondo il metodo adottato) e le unità statistiche vengono assegnate ai gruppi con il seme più vicino. L'algoritmo conduce ad una classificazione delle unità

statistiche in k gruppi distinti, con k fissato a priori, tramite una procedura iterativa (Figura 5-4) che consiste dei seguenti passi (Zani et al., 2007):

- 1) Si scelgono k cluster.
- 2) Si scelgono i k "poli" iniziali che costituiscono i k centroidi del cluster nella partizione iniziale. I poli possono essere individuati attraverso criteri differenti, generalmente in modo tale da essere individuati attraverso criteri differenti, generalmente in modo tale che essi siano abbastanza distanti tra loro. Si costituisce la partizione iniziale, costituita da k gruppi, allocando ciascun'unità al cluster il cui polo risulta il più vicino.
- 3) Per ogni elemento si calcola la distanza dai centroidi dei k gruppi: se la distanza minima non è ottenuta in corrispondenza del centroide del gruppo di appartenenza, l'unità è riassegnata al cluster corrispondente al centroide più vicino. In caso di riallocazione di unità, si ricalcola il centroide sia del nuovo sia del vecchio gruppo di appartenenza.
- 4) Si ripete il passo tre sino a quando non è raggiunta la convergenza dell'algoritmo, cioè finché non si verifica alcuna modificazione dei poli, e quindi dei gruppi, rispetto all'iterazione precedente (per ridurre i tempi di calcolo, la condizione di arresto è stata sostituita da una regola meno restrittiva: raggiungimento del numero massimo di interazioni prescelto).

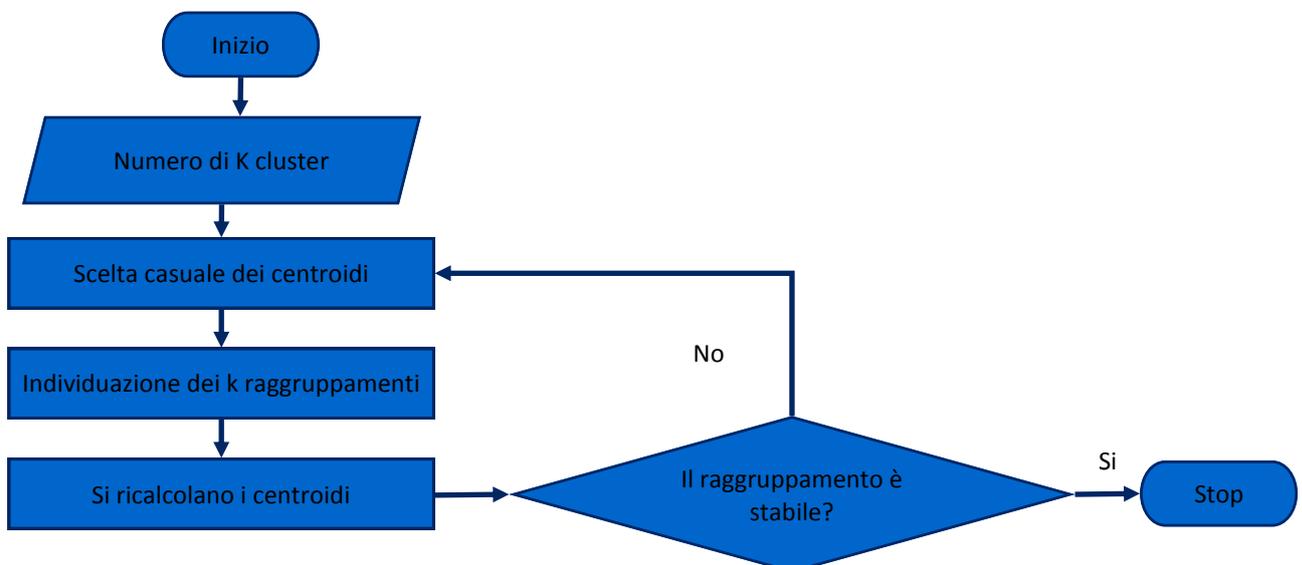


Figura 5-4 – Diagrammi di flusso K-Means

La discriminazione degli oggetti avviene valutandone gli attributi in base ad una misura di *similarità o distanza*. La metrica utilizzata nel calcolo delle distanze tra ciascun punto ed i

centroidi dei k raggruppamenti è solitamente quella euclidea, che corrisponde al concetto geometrico di distanza nello spazio multidimensionale. All'interazione t , la distanza tra l'unità i -esima ed il centroide del gruppo l ($i=1, \dots, n; l=1, \dots, k$) è data da:

$$d(x_i, \bar{x}_l^{(t)}) = \sqrt{\sum_{s=1}^p (x_{is} - \bar{x}_{s,l}^{(t)})^2} \quad (5-1)$$

dove $\bar{x}_l^{(t)} = [\bar{x}_{1,l}^{(t)}, \dots, \bar{x}_{p,l}^{(t)}]'$ rappresenta il centroide del gruppo l calcolato all'interazione t . Oltre alla distanza euclidea esistono anche altre metriche come la distanza Manhattan (o city-block), la distanza di Mahalanobis o la distanza di Hamming (Azimi et al., 2010; RESCoop, 2010).

L'omogeneità dei raggruppamenti può essere calcolata anche attraverso il coefficiente di Pearson, dato dal rapporto tra la somma dei prodotti degli scarti e il prodotto degli scarti quadratici medi:

$$r = \frac{\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{dev.q(X)dev.q(Y)}} \quad (5-2)$$

r è un coefficiente simmetrico e varia tra -1 e 1. L'uso del coefficiente di Pearson permette di raggruppare le unità statistiche che hanno andamenti simili indipendentemente dal livello di espressione che hanno, a differenza della distanza euclidea che raggruppa le unità statistiche che hanno andamenti simili a livelli di espressione simili.

Una volta trovata una soluzione di clustering con l'algoritmo k-Means, bisogna valutare la validità di tali raggruppamenti. La validità di un cluster è la misura di quanto bene le osservazioni sono assegnate ai diversi gruppi (Thilagamani et al., 2010). Il criterio di validazione dei cluster valuta se un cluster è sufficientemente compatto e ben separato. I quantificatori numerici utilizzati per valutare i diversi aspetti legati alla validità dei cluster si basano su diversi parametri come distanze massime e minime tra i centroidi, oppure distanze fra punti dello stesso cluster e distanze fra punti qualunque, oppure la varianza inter-cluster e intra-cluster (ossia all'interno dei cluster e totale).

La statistica silhouette proposta da Kaufman e Rousseeuw (1990) combina la misura di coesione e separazione (Figura 5-5). Per ogni osservazione i si definisce $a(i)$ la dissimilarità media tra l'osservazione i e tutte le osservazioni nel cluster, A , al quale i appartiene. Per ogni altro cluster C diverso da A , sia $d(i, C)$ la dissimilarità media di i da tutti gli oggetti di C e sia $b(i)$ il minore tra i valori $d(i, C)$.

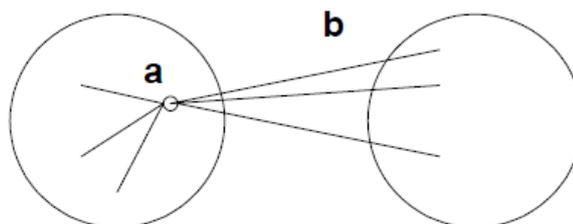


Figura 5-5– Bontà del clustering

La silhouette per ogni osservazione i è quindi definita come:

$$s(i) = \frac{b(i)-a(i)}{\max(a(i),b(i))}, -1 \leq s(i) \leq 1 \quad (5-3)$$

Il coefficiente di silhouette varia tra -1 and 1, è auspicabile che il coefficiente sia quanto più possibile vicino a 1 che implica $a(i)$ piccolo (cluster coesi) e $b(i)$ grande (cluster ben separati), pertanto valori di $s(i)$ maggiori di 0,6 sono considerati accettabili, valori superiori a 0,8 sono considerati buoni (Everett et al., 2001).

In sintesi, al fine di scoprire proprietà o comportamenti ricorrenti nelle velocità e nelle posizioni laterali tenute dai soggetti nel percorrere i differenti scenari simulati, i dati sono stati analizzati attraverso la cluster analisi. L'analisi è stata effettuata suddividendo i profili in tre segmenti: da -250 a -150 metri dall'intervento, da -150 a -75 metri dall'intervento e infine da -75 a 0 metri dall'intervento. I raggruppamenti sono stati effettuati mediante algoritmi di aggregazione non gerarchica come K-Means e l'omogeneità dei raggruppamenti è stata calcolata attraverso il coefficiente di Pearson. Al fine di scegliere la migliore partizione per ogni segmento, è stata effettuata l'analisi dei cluster con K compreso tra 2 e 6.

Una volta trovata una soluzione di clustering con l'algoritmo k-Means, è stata valutata la validità di tali raggruppamenti attraverso la statistica silhouette ed il numero di classi k è stato scelto in modo tale da ottenere in ciascun segmento considerato il maggior numero di partizioni con valori di $s(i)$ maggiori di 0,8.

5.2. Statistica test.

L'analisi dei dati attraverso il clustering ha permesso di evidenziare dei fenomeni non noti a priori, e di formulare delle ipotesi sul modo di manifestarsi dei fenomeni, ma non ha fornito informazioni quantitative sulle differenze tra le diverse alternative né sulla localizzazione di tali differenze. Al fine di verificare le differenze significative tra le alternative e quindi di valutare numericamente l'efficacia dei dispositivi, in termini di velocità e posizione laterale, sono state analizzate le sezioni -500 m, -250 m, -150 m, -75 m e 0 (centro dell'intersezione) attraverso differenti test statistici: ANOVA test, t-Student a due code per campioni appaiati.

Nell'implementazione di tali test occorre assumere che le popolazioni da cui i campioni vengono estratti siano distribuite normalmente e abbiano la stessa varianza.

5.2.1. Test di Normalità

I test di normalità consentono di valutare la bontà di adattamento dei dati ad una distribuzione Gaussiana. In particolare sono stati eseguiti il test di Shapiro e Wilk, il test di Anderson e Darling, il test di Lilliefors e il test di Jarque-Bera.

- Il test di Shapiro-Wilk è considerato in letteratura uno dei test più potenti per la verifica della normalità, soprattutto per piccoli campioni. Venne introdotto nel 1965 da Samuel Shapiro e Martin Wilk. Il test si basa sul rapporto (W) tra il miglior stimatore corretto della varianza (ottenuto come combinazione lineare dei valori osservati) e l'usuale stimatore della varianza:

$$W = \frac{\left[\sum_{i=1}^n a_i x_i \right]^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (5-4)$$

dove x_i è l' i -esimo valore più piccolo (rango i) del campione è la media aritmetica del campione;

$\bar{x} = (\sum_{i=1}^n x_i)/n$ è la media aritmetica: le costanti a_i sono date da $(a_1, \dots, a_n) = \frac{m^T V^{-1}}{(m^T V^{-1} V^{-1} m)}$, dove $m = (m_1, \dots, m_n)^T$ e m_1, \dots, m_n sono i valori attesi dei ranghi di un numero casuale standardizzato, e V è la matrice delle covarianze di questi ranghi.

La statistica W può assumere valori da 0 a 1. Qualora il valore della statistica W sia troppo piccolo, il test rifiuta l'ipotesi nulla che i valori campionari siano distribuiti come una variabile casuale normale.

- Il test di Anderson-Darling è un test parametrico. Dal campione osservato (x_1, x_2, \dots, x_n) si passa al campione ordinato ($x(1), x(2), \dots, x(n)$) dove $x(1) < x(2) < \dots < x(n)$.

Si calcolano le stime \bar{x}_n e s_n^2 , si determinano i valori standardizzati $z(1) < z(2) < \dots < z(n)$, dove $z(i) = (x(i) - \bar{x}_n)/s_n$, nonché i corrispondenti valori della funzione di ripartizione della variabile casuale normale standardizzata $\Phi(z(i))$.

Si calcola la statistica di Anderson e Darling A^2 definita da:

$$A^2 = -\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (2i - 1) \cdot \{ \log[\Phi(z(i))] + \log[1 - \Phi(z_{(n-i+1)})] \} - n \quad (5-5)$$

Si calcola la statistica modificata A^* :

$$A^* = A^2 \cdot \left(1 + \frac{0.75}{n} + \frac{2.25}{n^2} \right) \quad (5-6)$$

Si rifiuta l'ipotesi nulla H_0 se $A^* > \alpha_i$ cui valori sono tabellati.

Il test di Jarque-Bera si basa sulla misura dell'asimmetria e della curtosi di una distribuzione. La statistica test è definita dalla seguente relazione:

$$J - B = \frac{n}{6} \left[A^2 + \frac{(K-3)^2}{4} \right] \quad (5-7)$$

Dove A è la misura dell'asimmetria, K è la misura della curtosi ed n è l'ampiezza campionaria. Tale statistica test è distribuita come una variabile casuale Chi-Quadrato, χ^2 , con due gradi di libertà. L'ipotesi nulla è un'ipotesi congiunta che sia asimmetria che curtosi siano nulle. Tale ipotesi viene rigettata per valori di $J-B$ troppo grandi.

- Il test statistico di Lilliefors è calcolato sulla massima distanza verticale tra la funzione di distribuzione cumulata (cdf) dei dati, dopo averli normalizzati, cioè convertiti nella variabile Z , e la distribuzione normale standard. Un campione è convertito nella variabile Z sottraendo la media e dividendo per la deviazione standard, così che la nuova variabile aleatoria Z abbia media nulla e deviazione standard pari a 1. Sovrapponendo le curve della cdf della distribuzione normale standard a quella dei dati si evidenzia subito dove le due curve differiscono maggiormente; il punto dove la differenza è massima è proprio quello in cui viene calcolato il test di Lilliefors.

5.2.2. Test di Omoschedasticità

Al fine di valutare se due popolazioni indipendenti abbiano la stessa varianza (omoschedasticità) è stato utilizzato il test di Fisher bilaterale. Il test F bilaterale è fondato sul rapporto tra le due varianze campionarie (S^2), poiché tale rapporto per popolazioni che abbiano entrambe distribuzioni normali segue la distribuzione di F , si ha:

$$F_{(n_1-1)(n_2-1)} = \frac{S_1}{S_2} \quad (5-8)$$

dove S_1^2 è la varianza maggiore e S_2^2 è quella minore, n_1 e n_2 rispettivamente l'ampiezza del campione 1 e del campione 2. Una volta calcolato il rapporto $F \in [1; \infty$ [lo si confronta con una tabella di distribuzione F relativa $(n_1 - 1)(n_2 - 1)$ gradi di libertà.

5.2.3. ANOVA test

L'analisi della varianza (ANOVA, Analysis Of VAriance), introdotta da Fisher negli anni '20, è una tecnica che consente di confrontare da un punto di vista inferenziale le medie di due o più gruppi. Anche se si parla di analisi della varianza, oggetto di interesse sono le differenze tra le medie dei diversi gruppi. Tuttavia, è proprio attraverso l'analisi della variabilità delle osservazioni che si possono trarre conclusioni sulle differenze tra le medie. Nell'ANOVA, la variabilità totale delle osservazioni viene scomposta nella variabilità attribuibile alle

differenze tra i gruppi nella variabilità dovuta alle differenze tra le osservazioni all'interno dei gruppi (Levine et al.,2006).

Alla base dell'ANOVA è l'ipotesi che gli h gruppi rappresentino popolazioni con distribuzione normale e caratterizzate tutte dalla stessa varianza.

Sia A il fattore sperimentale di cui si intende verificare l'efficacia sia la Y la variabile casuale di risposta, cioè il risultato misurato sulla unità statistica. Pertanto A_1, A_2, \dots, A_k i k trattamenti somministrati ordinatamente alle n_1, n_2, \dots, n_k , con $n_1 + n_2 + \dots, n_k = n$, mentre Y_{ij} la variabile casuale per connessa alla unità j -esima che ha ricevuto i -esimo trattamento.

Ipotizza che le risposte siano generate da un modello lineare del tipo:

$$y_{ij} = \mu_i + \epsilon_{ij} = \mu + \alpha_{ij} + \epsilon_{ij} \text{ per } i = 1, 2, \dots, k; j = 1, 2, \dots, n \quad (5-9)$$

dove μ_i è il valore medio della risposta quando agisce il trattamento A_i , μ è il valore medio della risposta per l'intero esperimento, $\alpha_{ij} = \mu_i - \mu$ è l'effetto dovuto al trattamento i -esimo rispetto al livello medio generale e ϵ_{ij} è l'effetto erratico legato alla j -esima osservazione sperimentale per il trattamento A_i .

Il problema statistico è quello di verificare se i valori medi sono uguali tra i differenti trattamenti perché, allora il trattamento non modificherebbe la risposta per effetto del caso. L'ipotesi che si è interessati a verificare che le medie di tutti i gruppi siano uguali tra loro:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots \mu_k = \mu$$

ovvero equivalentemente

$$H_0: \alpha_1 = \alpha_2 = \dots \alpha_k = 0$$

mentre l'ipotesi alternativa asserisce che non tutte le k medie sono uguali tra loro

$$H_1: \text{non tutte le medie } \mu_j \text{ sono uguali tra loro}$$

Per effettuare il test si considera la devianza campionaria totale di Y , ottenuta dalla 5-9:

$$\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (Y_{ij} - \bar{Y})^2 = \sum_{i=1}^k n_i (Y_i - \bar{Y})^2 + \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (Y_{ij} - \bar{Y}_i)^2 \quad (5-10)$$

Che può essere decomposta in: $Dev(T) = Dev(B) + Dev(W)$. In tal modo sono state definite la devianza totale:

$$Dev(T) = D_T = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (Y_{ij} - \bar{Y})^2 \quad (5-11)$$

devianza tra i gruppi (*Between*), attribuibile alle differenze tra i trattamenti:

$$Dev(B) = D_B = \sum_{i=1}^k n_i (Y_i - \bar{Y})^2 \quad (5-12)$$

devianza all'interno dei gruppi (*Within*), ed è considerato un errore casuale:

$$Dev(W) = D_W = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (Y_{ij} - \bar{Y}_i)^2 \quad (5-13)$$

È possibile dimostrare che dividendo le varianze campionario per i rispettivi gradi di libertà si ottengono stimatori non distorti per σ^2 :

$$S_T^2 = \frac{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (Y_{ij} - \bar{Y})^2}{(n-1)} \quad (5-14)$$

$$S_B^2 = \frac{\sum_{i=1}^k n_i (Y_i - \bar{Y})^2}{(k-1)} \quad (5-15)$$

$$S_W^2 = \frac{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (Y_{ij} - \bar{Y}_i)^2}{(n-k)} \quad (5-16)$$

Assumendo la normalità degli errori ($\epsilon_{ij} \sim N(0, \sigma^2)$) e se è vera l'ipotesi nullasi hanno che la variabile casuale D_B/σ^2 si distribuisce come una variabile casuale $\chi_{(k-1)}^2$, analogamente D_W/σ^2 si distribuisce come una variabile casuale $\chi_{(n-k)}^2$. Le due variabili D_B e D_W sono indipendenti.

Quindi se è vera l'ipotesi nulla, variabile casuale T_n definita nel seguente modo:

$$T_n = \frac{\frac{\sum_{i=1}^k n_i (Y_i - \bar{Y})^2}{(k-1)}}{\frac{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (Y_{ij} - \bar{Y}_i)^2}{(n-k)}} = \frac{S_B^2}{S_W^2} \quad (5-17)$$

è data dal rapporto tra due variabili Chi quadro indipendenti divise per i rispettivi gradi di libertà: ovvero $T_n \sim F_{(k-1; n-k)}$. Il numeratore e il denominatore sono stimatori indipendenti e non distorti della medesima varianza σ^2 . Se è vera l'ipotesi nulla essi saranno assai simili. Invece se l'ipotesi nulla è falsa e quindi il numeratore è maggiore del denominatore il rapporto T_n sarà superiore ad 1 (Piccolo, 2000).

Per rifiutare l'ipotesi nulla il valore osservato dalla statistica test è maggiore del valore critico superiore di una distribuzione F con (k-1) e (n-k) gradi di libertà.

5.2.4. T-Student test

Per verificare la differenza tra medie di popolazioni appaiate con variabili casuali normali ed omoschedastiche è generalmente usato il test di t - Student.

In tal caso la statistica test t è data dal rapporto tra la differenza delle due medie campionario ed il suo errore standard (ottenuto dalle varianze combinate):

$$t = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{\sqrt{S_p^2 \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}} \quad (5-18)$$

$$\text{dove } S_p^2 = \frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{(n_1 - 1) + (n_2 - 1)}$$

e

$$S_p^2 = \text{varianza campionario}$$

\bar{X}_1 = media degli elementi del campione estratto dalla popolazione 1

S_1^2 = varianza campionaria degli elementi del campione estratto dalla popolazione 1

n_1 = ampiezza del campione estratto dalla popolazione 1

\bar{X}_2 = media degli elementi del campione estratto dalla popolazione 2

S_2^2 = varianza campionaria degli elementi del campione estratto dalla popolazione 2

n_2 = ampiezza del campione estratto dalla popolazione 2

Sotto l'ipotesi di uguaglianza tra medie delle popolazioni, la statistica test ha una distribuzione t – Student con $(n_1 + n_2 - 2)$ gradi di libertà.

Il test di significatività tra due medie campionarie comporta un'ipotesi zero o ipotesi nulla, secondo la quale le due medie a confronto (μ_1 e μ_2) sono estratte dalla stessa popolazione o comunque sono identiche; di conseguenza, le differenze effettivamente riscontrate nelle medie campionarie \bar{X}_1 e \bar{X}_2 sarebbero imputabili a variazioni casuali, come effetti dovuti al campionamento, cioè all'estrazione casuale di alcuni dati da un universo teoricamente infinito, formato da valori tra loro diversi e con una distribuzione normale intorno alla loro media.

Mediante l'inferenza sulle medie calcolate sui dati di due campioni, si determina la probabilità di ottenere tra loro differenze così grandi o maggiori di quelle sperimentalmente osservate, nella condizione che l'ipotesi nulla sia vera:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 \quad (\mu_1 - \mu_2 = 0) \quad (5-19)$$

contro l'ipotesi alternativa

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2 \quad (\mu_1 - \mu_2 \neq 0) \quad (5-20)$$

Se questa probabilità risulta alta, si accetta l'ipotesi nulla; se la probabilità risulta piccola, inferiore ad un livello di significatività α si inferisce che esiste una ragionevole evidenza per dubitare della validità dell'ipotesi nulla, che quindi è rifiutata.

5.3. Modelli di decelerazione & Analisi Categoricala.

Allo scopo di dare un quadro più completo come la presenza dei dispositivi influenzi il comportamento di guida sono stati analizzati i profili di velocità e di decelerazione per ogni partecipante (23 utenti) e per ogni scenario di guida (Alt2 – Alt10) in approccio alle intersezioni. Il rettilineo base non è stato analizzato poiché lo scopo di tale analisi è stato di valutare i differenti comportamenti di decelerazione in approccio all'intersezione. In questa fase, l'attenzione è posta su come varia il comportamento di guida in funzione degli stimoli forniti dall'ambiente di guida.

Mentre un profilo di velocità mostra le velocità con le quali il guidatore percorre il tracciato stradale e rappresenta una valida misura per comprendere come l'utente ha percepito l'ambiente stradale, il profilo di decelerazione mostra come un pilota accelera e decelera lungo il tracciato. I punti di minimo di massimo e di flesso nel profilo di velocità rappresentano una variazione di stile guida. Così per ogni utente sono stati analizzati i profili

di velocità e di velocità al fine di individuare, innanzitutto, i punti di minimo e di massimo che hanno caratterizzato l'inizio e la fine della fase di decelerazione.

All'interno di ogni tratto è stata, dunque, analizzata la funzione velocità rispetto alla progressiva. Sono stati dunque individuati i diversi punti di minimo e di massimo relativo, punti di flesso ed è stata studiata la concavità della funzione. Confrontando i risultati delle 207 osservazioni è stato visto i comportamenti di guida possono essere schematizzati in tre modelli di decelerazione:

- Decelerazione costante (Dec_c): Il guidatore in approccio all'intersezione rallenta con decelerazione costante (Figura 5-6)

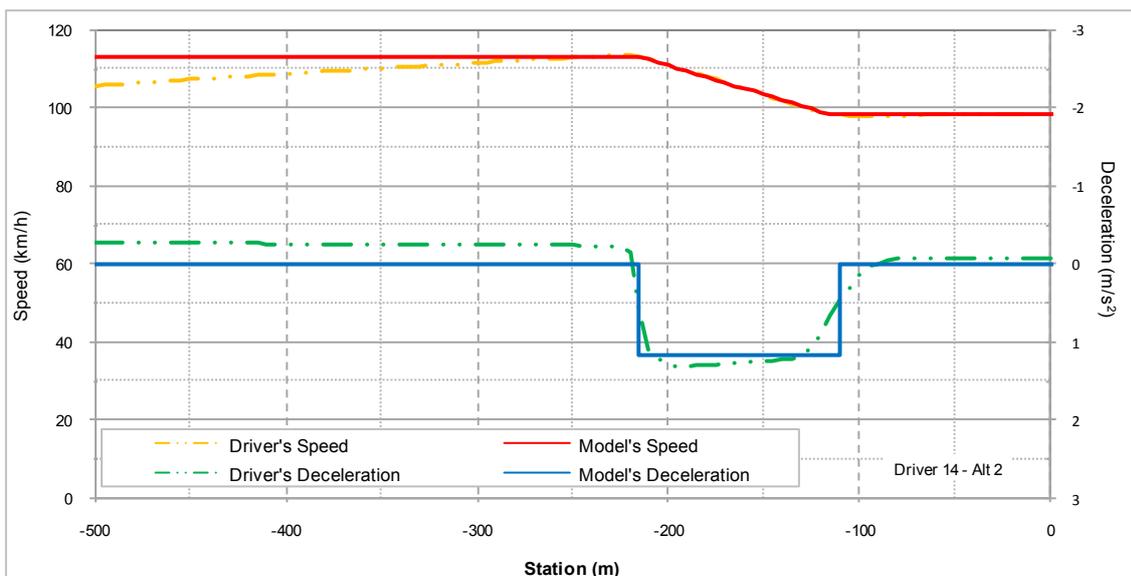


Figura 5-6– Decelerazione costante

- Decelerazione variabile (Dec_v). Il guidatore in approccio all'intersezione rallenta in più fasi (Figura 5-7), ogni fase può essere caratterizzata da un comportamento costante o di tipo polinomiale

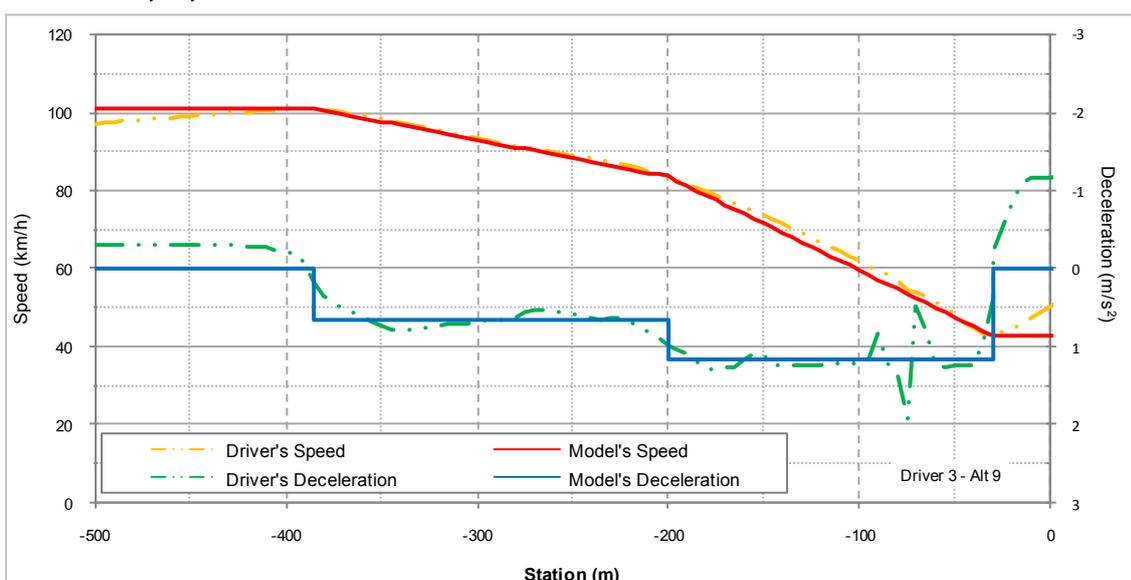


Figura 5-7– Decelerazione variabile

-Accelerazione (Acc). Il guidatore in approccio all'intersezione mantiene una velocità costante o accelera (Figura 5-8). In tal caso non è stato possibile definire un modello di comportamento, poiché in alcuni casi l'utente ha avuto un comportamento anomalo.

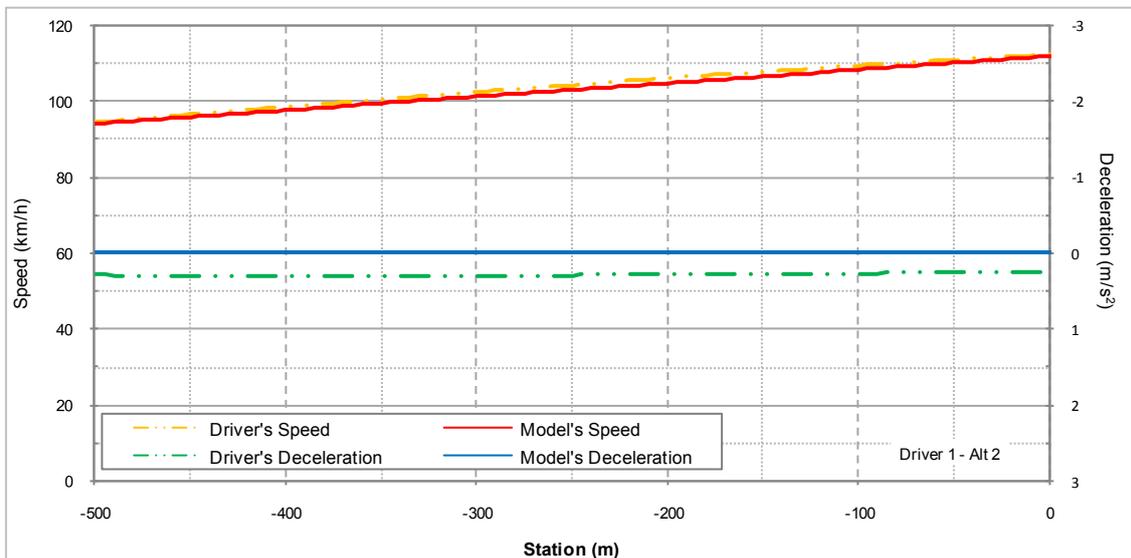


Figura 5-8– Accelerazione

Dopo aver schematizzato i tre comportamenti di guida, i 207 profili di velocità e i 207 profili di decelerazione osservati sono stati confrontati con quelli teorici al fine di valutare quale tra i modelli si approssimasse meglio al comportamento reale. In tal modo le 207 osservazioni sono state classificate secondo i tre modelli di decelerazione individuati.

Al fine di verificare l'ipotesi di differenza dei comportamenti tra le diverse alternative è stato utilizzato il CATANOVA test. Poiché il CATANOVA test permette di valutare l'esistenza o meno di differenze tra i gruppi, ma non consente di stabilire quali sono i gruppi che differiscono tra loro sono stati effettuati i test sulle frequenze di un attributo come i test di Stuart-Maxwell e di Bhapkar.

5.3.1. CATANOVA Test

Per valutare l'effetto complessivo delle diverse alternative sul comportamento di guida è stato usato l'analisi categorica della varianza (CATANOVA), dato che i diversi comportamenti di decelerazione sono stati classificati in dati categorici, non è stato possibile applicare la statistica test sull'analisi della varianza (ANOVA), né il test del Chi-quadro (χ^2), che è il test più impiegato nella pratica, poiché alcune categorie hanno rilevato basse frequenze.

Il CATANOVA test è stato sviluppato da Light e Margolin (1971, 1974), i quali hanno usato la misura della disuguaglianza di Gini scomponendo la variabilità totale (TSS) delle osservazione in variabilità all'interno dei gruppi (WSS) e variabilità tra i gruppi (BSS)(Singh, 1993 e 1996; Pinheiro et al., 2007; Khang e Yap, 2010).

Definito n_{ij} la frequenza congiunta per la i -esima categoria e per il j -gruppo ($i=1, \dots, I$ and $j = 1, \dots, G$), il numero di risposte per il j -esimo gruppo è dato da $n_{+j} = \sum_{i=1}^I n_{ij}$; la frequenza assoluta per la i -esima categoria è dato da $n_{i+} = \sum_{j=1}^G n_{ij}$. Così il numero totale di osservazioni è dato da $n = \sum_{i=1}^I n_{i+} = \sum_{j=1}^G n_{+j} = \sum_{j=1}^G \sum_{i=1}^I n_{ij}$.

La variabilità totale (TSS) è data da:

$$TSS = \frac{n}{2} - \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^I n_{i+}^2 \quad (5-21)$$

Per il j -esimo gruppo la somma dei quadrati (SS) è data da:

$$SS(j) = \frac{n_{+j}}{2} - \frac{1}{2n_{+j}} \sum_{i=1}^I n_{ij}^2 \quad (5-22)$$

Sommando tutte le $SS(j)$ si ottiene la variabilità nei gruppi (WSS):

$$WSS = \sum_{j=1}^G \left(\frac{n_{+j}}{2} - \frac{1}{2n_{+j}} \sum_{i=1}^I n_{ij}^2 \right) = \frac{n}{2} - \frac{1}{2} \sum_{j=1}^G \sum_{i=1}^I \frac{n_{ij}^2}{n_{+j}} \quad (5-23)$$

Definito la variabilità totale pari a $TSS = BSS + WSS$ si ottiene la variabilità tra i gruppi:

$$BSS = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^G \sum_{i=1}^I \frac{n_{ij}^2}{n_{+j}} - \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^I n_{i+}^2 \quad (5-24)$$

Sebbene l'obiettivo è di verificare se c'è differenza tra i gruppi, questo è raggiunto attraverso la scomposizione della varianza, ed analogamente l' R^2 dell'ANOVA test, Light e Margolin proposero BSS/TSS e svilupparono un test statistico alternativo, il CATANOVA C-statistic:

$$C = (N - 1)(I - 1) \frac{BSS}{TSS} = (N - 1)(I - 1) R^2 \quad (5-25)$$

La statistica test C ha una distribuzione pari al χ^2 con $(G-1)(I-1)$ gradi di libertà. L'ipotesi nulla stabilisce che le frequenze relative di ogni categoria in tutti gruppi sono uguali, $H_0 : p_{ij} = p_i$, for all i, j , dove $i = 1, \dots, I$ e $j = 1, \dots, G$, mentre l'ipotesi alternativa stabilisce invece che non tutte le frequenze sono uguali, cioè c'è un effetto trattamento.

5.3.2. Test sulle frequenze di un attributo

I test sulle frequenze di un attributo sono importanti se il carattere in esame è di tipo qualitativo e si vuole misurare l'efficacia di un'azione valutando se una certa percentuale si è modificata per confrontare l'effetto di due trattamenti in esperimenti è possibile usare i test statistici per due campioni. per verificare la significatività delle differenze tra le frequenze di

due campioni dipendenti possono usare il test di McNemar (Piccolo, 2000; Piccolo et al., 1984)

Il test proposto da Quinn McNemar nel 1947 verifica se un campione di individui, sottoposti a due diversi trattamenti oppure allo stesso trattamento in due tempi diversi, fornisce risposte statisticamente simili o significativamente differenti. Per l'applicazione di questo test, si deve disporre di dati appaiati e le risposte devono essere nominali binarie.

Il Test di McNemar verifica che le frequenze marginali sono uguali:

$$H_0 : n_{i+} = n_{+i}$$

la statistica test è data da:

$$Z = \frac{(n_{12} - n_{21})^2}{n_{12} + n_{21}} \sim \chi^2_1 \quad (5-26)$$

Dove Z si approssima ad una distribuzione χ^2 con 1 di libertà.

Il test di McNemar può essere usato solo per dati dicotomici, per tabelle 2x2, ma esistono test che sono un'estensione come il test di Stuart-Maxwell e il test di Bhapkar (Sun et al., 2008)

La statistica test per il test di Stuart-Maxwell è data da:

$$Z_0 = \frac{\bar{n}_{23}d_1^2 + \bar{n}_{13}d_2^2 + \bar{n}_{12}d_3^2}{2(\bar{n}_{12}\bar{n}_{23} + \bar{n}_{12}\bar{n}_{13} + \bar{n}_{13}\bar{n}_{23})} \quad (5-27)$$

dove

$$d_1 = (n_{12} + n_{13}) - (n_{21} + n_{31});$$

$$d_2 = (n_{21} + n_{23}) - (n_{12} + n_{32});$$

$$d_3 = (n_{31} + n_{32}) - (n_{13} + n_{23});$$

$$\bar{n}_{ij} = n_{ij} + n_{ji}, \text{ con } i \neq j.$$

La statistica test per il test di Bhapkar è data da:

$$Z_1 = \frac{Z_0}{1 - Z_0/N} \quad (5-28)$$

Sebbene i due test sono asintoticamente equivalenti, il test di Bhapkar è più potente, quindi preferito soprattutto per piccoli campioni.

6. Analisi dei Risultati

6.1. Velocità

Al fine di verificare l'efficacia delle misure percettive progettate, in tale sezione è stata analizzata la velocità. Dall'osservazione dei profili di velocità si può osservare che le velocità in presenza delle intersezione hanno avuto una notevole riduzione di velocità. In particolare tale riduzione è stata maggiore in presenza delle misure percettive.

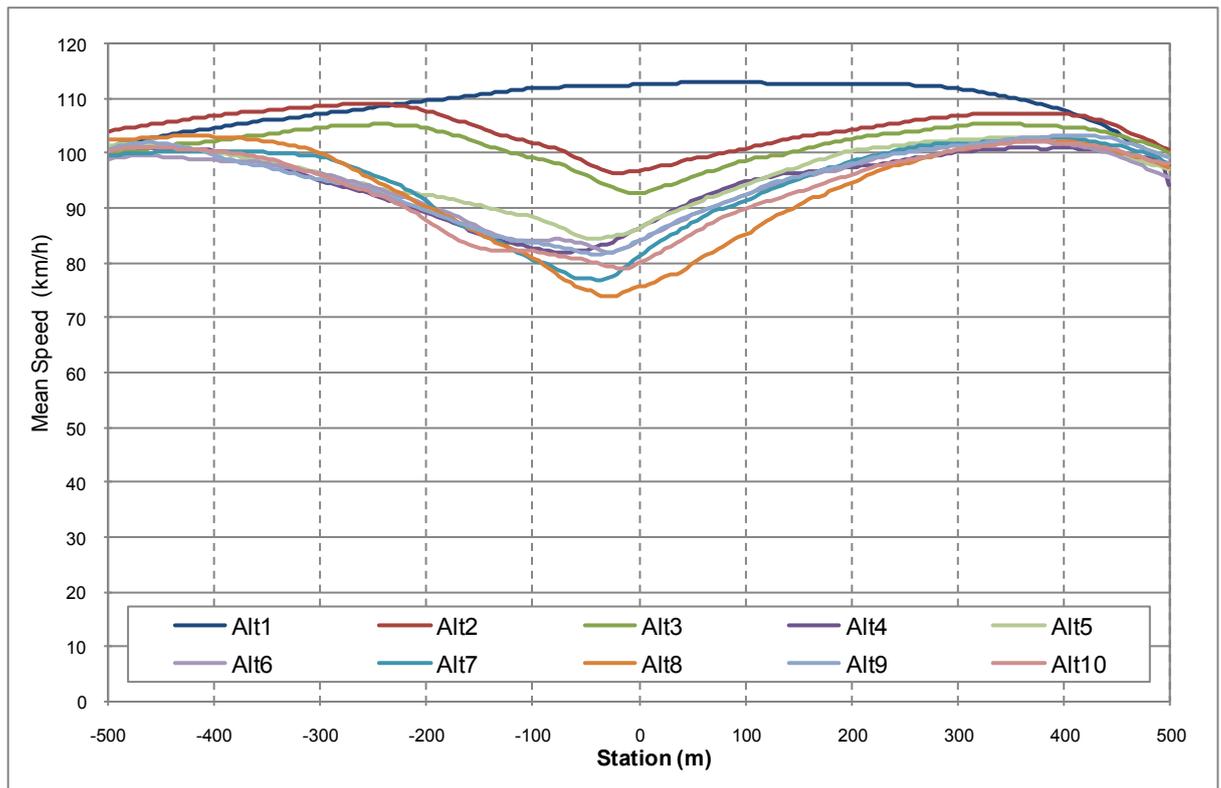


Figura 6-1 Profili di velocità media

6.1.1. Analisi Cluster

Al fine di scoprire proprietà o comportamenti ricorrenti nelle velocità tenute dai soggetti nel percorrere i differenti scenari simulati, i dati sono stati analizzati attraverso la cluster analisi. L'analisi è stata effettuata suddividendo i profili in tre segmenti: da -250 a -150 metri dall'intervento, da -150 a -75 metri dall'intervento e infine da -75 a 0 metri dall'intervento.

I raggruppamenti sono stati effettuati mediante algoritmi di aggregazione non gerarchica come K-Means e l'omogeneità dei raggruppamenti è stata calcolata attraverso il coefficiente di Pearson. Al fine di scegliere la migliore partizione per ogni segmento l'algoritmo è stato ripetuto per ogni valore di K compreso tra 2 e 6. Una volta trovata una soluzione di clustering con l'algoritmo k-Means, è stata valutata la validità di tali raggruppamenti attraverso la statistica silhouette ed il numero di classi k è stato scelto in modo tale da

ottenere in ciascun segmento considerato il maggior numero di partizioni con valori di $s(i)$ maggiori di 0,8.

L'analisi cluster per le velocità ha messo in evidenza che i profili di velocità possono essere raggruppati in diversi gruppi per i tre segmenti.

In Tabella 6-1 e in Figura 6-2 sono riportati i valori delle silhouette per i diversi raggruppamenti nei tre segmenti.

Tabella 6-1 Velocità: Valori medi delle silhouette

Segmento (m)	K=2	K=3	K=4	K=5	K=6
[-250, -150]	0.966	0.875	0.681	0.612	0.487
] -150, -75]	0.920	0.941	0.872	0.777	0.579
] -75, 0]	0.824	0.913	0.794	0.820	0.532

In particolare le partizioni più significative sono risultate:

- K=3 nel segmento [-250 m; -150 m];
- K=4 nel segmento]-150 m; -75 m];
- K=5 nel segmento]-75 m; 0].

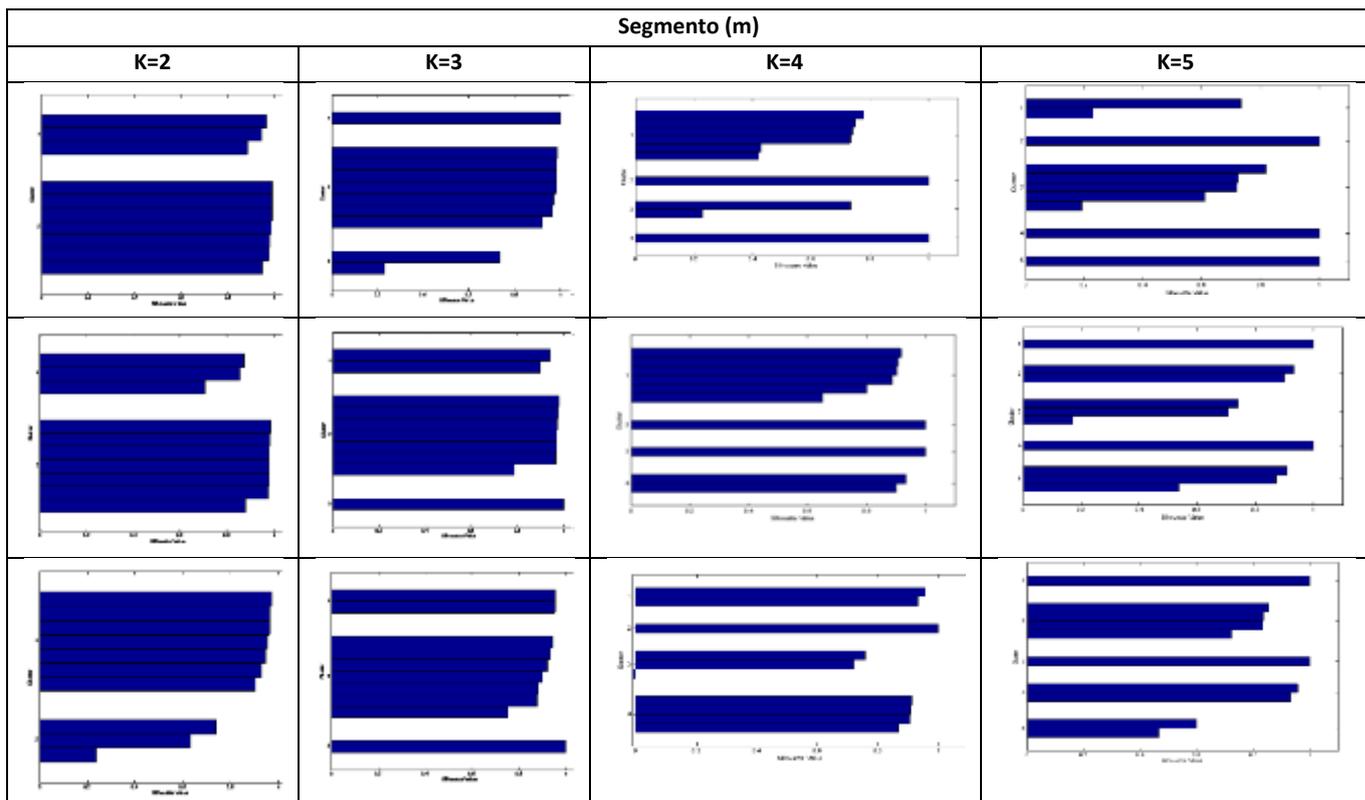


Figura 6-2 Velocità: Valori delle silhouette

In Tabella 6-2 è riportata la descrizione dei cluster per ciascun valore di k fissato. In grassetto si evidenziano i cluster corrispondenti ai valori di k che sono stati scelti con la tecnica delle silhouette.

Dai risultati esposti e dai profili di velocità si può osservare che nel primo segmento sono stati identificati tre cluster:

- Alt1: rettifilo senza intersezione;
- Alt2 e 3: rettifilo con intersezione in presenza e in assenza di visibilità;
- Alt 4-5-6-7-8-9-10: intersezione con interventi di mitigazione delle velocità.

Tabella 6-2 Velocità: Descrizione dei cluster

Segmento (m)	K	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3	Cluster 4	Cluster 5
[-250, -150]	2	Alt1-2-3	Alt4-5-6-7-8-9-10			
	3	Alt1	Alt2-3	Alt4-5-6-7-8-9-10		
	4	Alt1-2	Alt4-6-7-8-9-10	Alt3	Alt5	
	5	Alt1-2	Alt3	Alt4-6-7-8-9	Alt5	Alt10
]-150, -75]	2	Alt1-2-3	Alt4-5-6-7-8-9-10			
	3	Alt 1	Alt2-3	Alt4-5-6-7-8-9-10		
	4	Alt1	Alt2-3	Alt4-6-7-8-9-10	Alt5	
	5	Alt1	Alt2-3	Alt 4-6-9	Alt5	Alt7-8-10
]-75, 0]	2	Alt1-2-3	Alt4-5-6-7-8-9-10			
	3	Alt1	Alt2-3	Alt4-5-6-7-8-9-10		
	4	Alt1	Alt2-3	Alt5	Alt 4,6,7,8,9 and 10	
	5	Alt1	Alt2-3	Alt4-5-6-9	Alt8	Alt7-10

Tale risultato ha evidenziato che la presenza dell'intersezione ha creato una riduzione di velocità significativa, a differenza di quanto ipotizzato dalla normativa vigente che ipotizza un effetto nullo delle intersezioni sulla velocità di progetto della strada con diritto di precedenza, infatti le intersezioni senza misure percettive (Alt2 e Alt3) hanno velocità differenti dal rettifilo base (Alt1). Le misure percettive (Alt4-5-6-7-8-9-10) sono state poi efficaci nel ridurre ulteriormente le velocità. Ne consegue che, nel segmento da -250 a -150 m, i trattamenti progettati non determinano effetti differenti ma hanno tutti la stessa efficacia nella riduzione delle velocità.

Nel secondo segmento si sono identificati quattro cluster:

- Alt1: rettifilo senza intersezione;
- Alt2 e 3: rettifilo con intersezione in presenza e in assenza di visibilità;
- Alt 4-6-7-8-9-10: intersezione con interventi ad eccezione dei rallentatori sonori;
- Alt5: intersezione con rallentatori sonori.

Analogamente al primo segmento si distinguono il rettifilo base (Alt1) e le intersezioni senza misure percettive (Alt2 e Alt3). Le misure percettive a loro volta si suddividono in due gruppi in uno sono raggruppate tutte le alternative con le misure percettive (Alt4-6-7-8-9-10) eccetto l'intersezione con bande sonore (Alt5) che costituisce un gruppo a parte ed è meno efficace nella riduzione delle velocità.

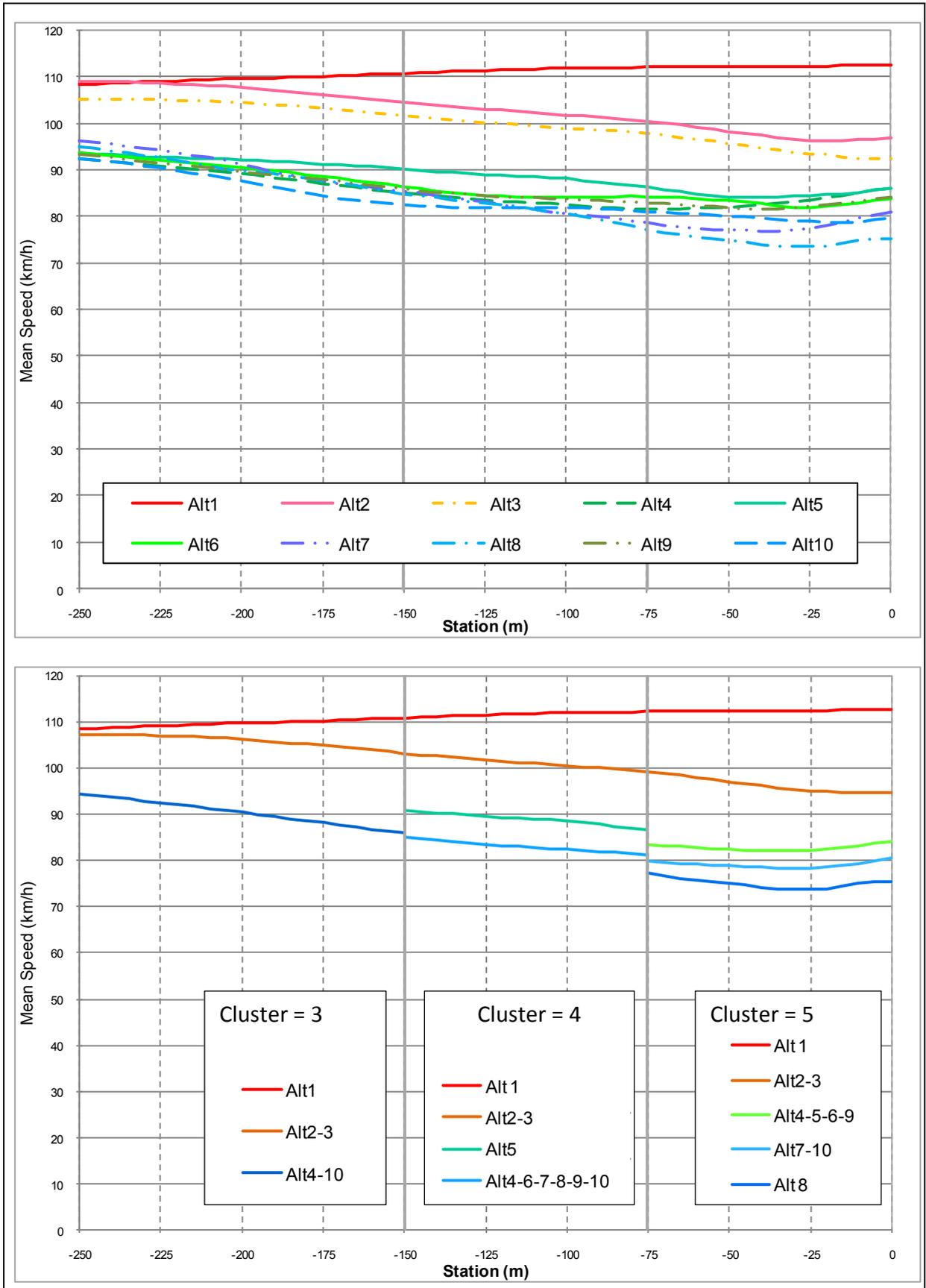


Figura 6-3 Profili di velocità e risultati cluster

Nel terzo segmento sono identificati cinque cluster:

- Alt1: rettilineo senza intersezione;
- Alt2 e 3: rettilineo con intersezione in presenza e in assenza di visibilità;
- Alt 4-5-6-9: intersezione con bande ottiche, sonore, sonore e trasversali, sonore e isola non materializzata;
- Alt8: intersezione con pavimentazione colorata;
- Alt7-10: intersezione con bande sonore e denti di drago, sonore e isola materializzata.

In tale segmento le misure percettive si suddividono in tre raggruppamenti: intersezioni con misure percettive di media efficacia (alt4, alt5, alt6 e alt9), intersezioni con misure percettive di elevata efficacia (alt7 e alt10) ed intersezione con pavimentazione colorata (alt8).

6.1.2. Statistica test

I dati di velocità (Tabella 6-3) sono stati analizzati anche mediante test statistici puntuali nelle seguenti sezioni: - 500 m; - 250 m; - 150 m; - 75 m; 0 (centro dell'intersezione).

Tabella 6-3 Velocità: Medie e Deviazione standard

Alternative	Velocità Media (km/h)					Deviazione Standard (km/h)				
	- 500 m	- 250 m	- 150 m	- 75 m	0	- 500 m	- 250 m	- 150 m	- 75 m	0
Alt1	101,40	108,50	110,86	112,21	112,68	16,05	16,72	16,91	17,08	16,78
Alt2	104,25	109,20	104,68	100,65	96,96	14,84	17,44	17,47	18,21	21,15
Alt3	99,60	105,18	101,70	97,91	92,66	16,24	16,87	17,54	18,41	25,84
Alt4	100,95	92,50	85,19	81,78	86,30	16,96	18,23	20,19	21,85	20,16
Alt5	101,62	93,92	90,37	86,41	86,16	15,60	19,00	18,85	22,29	23,52
Alt6	99,13	93,81	86,37	84,25	83,89	16,24	16,85	18,55	19,01	21,79
Alt7	99,80	96,28	85,44	78,63	81,14	14,93	16,79	19,44	22,26	21,19
Alt8	102,43	95,08	85,06	77,38	75,51	16,37	18,17	20,99	25,19	25,12
Alt9	101,09	93,37	85,89	82,85	84,06	16,24	14,83	18,17	21,22	21,76
Alt10	100,64	92,63	82,76	81,28	79,85	16,01	17,48	17,99	19,03	21,52

Al fine di valutare la bontà di adattamento dei dati ad una distribuzione Gaussiana sono stati effettuati diversi test di normalità. In particolare sono stati eseguiti il test di Shapiro e Wilk, il test di Anderson e Darling, il test di Lilliefors e il test di Jarque-Bera.

In Tabella 6-4 sono riportati i p-value per ogni test utilizzato, per ogni sezione e per ogni alternativa. Tutti i risultati sono stati superiori al livello di significatività α pari a 0,05, dimostrando che per le osservazioni si distribuiscono secondo delle variabili casuali Normali.

Tabella 6-4 Velocità: Risultati dei test di Normalità

	-500 m	-250m	-150m	-75m	0	-500m	-250m	-150m	-75m	0
	test di Shapiro-Wilk					test di Lilliefors				
Alt1	0,560	0,310	0,310	0,270	0,250	0,790	0,670	0,600	0,660	0,420
Alt2	0,050	0,450	0,080	0,770	0,890	0,210	0,790	0,240	0,390	0,980
Alt3	0,400	0,500	0,510	0,460	0,690	0,450	0,520	0,670	0,940	0,920
Alt4	0,080	0,470	0,160	0,130	0,080	0,260	0,400	0,480	0,370	0,300
Alt5	0,120	0,100	0,570	0,670	0,860	0,040	0,080	0,770	0,680	0,930
Alt6	0,160	0,090	0,480	0,230	0,890	0,370	0,140	0,670	0,630	0,930
Alt7	0,110	0,720	0,140	0,760	0,740	0,510	0,450	0,270	0,960	0,910
Alt8	0,180	0,260	0,410	0,360	0,170	0,570	0,090	0,380	0,460	0,290
Alt9	0,070	0,150	0,020	0,220	0,560	0,100	0,450	0,200	0,320	0,610
Alt10	0,320	0,310	0,930	0,970	1,000	0,540	0,900	0,720	0,800	0,980
	test di Anderson-Darling					test di Jarque-Bera				
Alt1	0,500	0,490	0,540	0,450	0,290	0,830	0,400	0,450	0,430	0,430
Alt2	0,100	0,570	0,170	0,660	0,960	0,310	0,480	0,390	0,660	0,770
Alt3	0,320	0,490	0,520	0,740	0,710	0,690	0,890	0,610	0,550	0,620
Alt4	0,100	0,350	0,230	0,230	0,100	0,310	0,580	0,330	0,310	0,340
Alt5	0,090	0,090	0,650	0,540	0,880	0,350	0,450	0,620	0,790	0,840
Alt6	0,230	0,060	0,420	0,420	0,920	0,350	0,480	0,500	0,550	0,800
Alt7	0,170	0,540	0,220	0,850	0,830	0,400	0,590	0,410	0,630	0,720
Alt8	0,310	0,260	0,450	0,400	0,190	0,440	0,420	0,550	0,520	0,370
Alt9	0,070	0,220	0,030	0,370	0,680	0,330	0,350	0,190	0,470	0,570
Alt10	0,290	0,530	0,830	0,880	0,990	0,450	0,460	0,840	0,800	0,790

Dopo aver verificato l'ipotesi di normalità è stata verificata l'ipotesi di omoschedasticità. Per ogni sezione sono state confrontate le varianze tra le alternative ed i tutti p-value (Tabella 6-5 e Tabella 6-6) sono risultati essere superiori al livello di significatività α pari a 0,05, dimostrando che non c'è differenza significativa tra le varianze.

Tabella 6-5 Velocità: Risultati dei test di Omoschedasticità

Sezioni	Alternative	Alt1	Alt2	Alt3	Alt4	Alt5	Alt6	Alt7	Alt8	Alt9	Alt10
-500	Alt1	1,000	0,716	0,958	0,800	0,894	0,958	0,735	0,928	0,958	0,989
	Alt2		1,000	0,677	0,537	0,818	0,677	0,980	0,650	0,677	0,726
	Alt3			1,000	0,841	0,852	1,000	0,696	0,971	1,000	0,947
	Alt4				1,000	0,699	0,841	0,554	0,870	0,841	0,789
	Alt5					1,000	0,852	0,838	0,823	0,852	0,905
	Alt6						1,000	0,696	0,971	1,000	0,947
	Alt7							1,000	0,669	0,696	0,746
	Alt8								1,000	0,971	0,918
	Alt9									1,000	0,947
	Alt10										1,000
-250	Alt1	1,000	0,844	0,966	0,688	0,554	0,971	0,984	0,700	0,579	0,837
	Alt2		1,000	0,878	0,838	0,692	0,872	0,859	0,850	0,453	0,992
	Alt3			1,000	0,720	0,582	0,995	0,982	0,732	0,551	0,870
	Alt4				1,000	0,848	0,715	0,703	0,988	0,341	0,845
	Alt5					1,000	0,578	0,567	0,836	0,253	0,699
	Alt6						1,000	0,987	0,727	0,555	0,865
	Alt7							1,000	0,714	0,566	0,852
	Alt8								1,000	0,349	0,858
	Alt9									1,000	0,448
	Alt10										1,000

Tabella 6-6 (Continuo) Velocità: Risultati dei test di Omoschedasticità

Sezioni	Alternative	Alt1	Alt2	Alt3	Alt4	Alt5	Alt6	Alt7	Alt8	Alt9	Alt10
-150	Alt1	1,000	0,880	0,866	0,413	0,615	0,669	0,519	0,319	0,740	0,775
	Alt2		1,000	0,986	0,504	0,725	0,782	0,621	0,397	0,857	0,893
	Alt3			1,000	0,515	0,738	0,796	0,633	0,406	0,870	0,907
	Alt4				1,000	0,751	0,694	0,861	0,857	0,625	0,592
	Alt5					1,000	0,939	0,887	0,619	0,864	0,827
	Alt6						1,000	0,827	0,567	0,924	0,887
	Alt7							1,000	0,723	0,754	0,718
	Alt8								1,000	0,504	0,475
	Alt9									1,000	0,963
	Alt10										1,000
-75	Alt1	1,000	0,767	0,730	0,257	0,220	0,621	0,222	0,075	0,317	0,617
	Alt2		1,000	0,961	0,400	0,350	0,843	0,353	0,136	0,479	0,838
	Alt3			1,000	0,428	0,375	0,882	0,379	0,149	0,510	0,877
	Alt4				1,000	0,925	0,519	0,930	0,510	0,893	0,523
	Alt5					1,000	0,460	0,995	0,572	0,819	0,464
	Alt6						1,000	0,464	0,194	0,610	0,995
	Alt7							1,000	0,568	0,824	0,468
	Alt8								1,000	0,428	0,197
	Alt9									1,000	0,614
	Alt10										1,000
0	Alt1	1,000	0,286	0,049	0,397	0,121	0,229	0,282	0,065	0,231	0,251
	Alt2		1,000	0,354	0,824	0,622	0,890	0,994	0,426	0,894	0,936
	Alt3			1,000	0,252	0,663	0,430	0,359	0,896	0,427	0,397
	Alt4				1,000	0,475	0,718	0,818	0,309	0,723	0,762
	Alt5					1,000	0,723	0,628	0,760	0,719	0,680
	Alt6						1,000	0,896	0,510	0,995	0,954
	Alt7							1,000	0,430	0,901	0,942
	Alt8								1,000	0,506	0,474
	Alt9									1,000	0,958
	Alt10										1,000

Dopo aver verificato le ipotesi di normalità e di omoschedasticità è stato possibile utilizzare test parametrici, come il test ANOVA e il test di t-Student, per verificare la presenza di differenze significative tra le alternative (Tabella 6-7). I test ANOVA hanno evidenziato che vi sono state differenze statisticamente significative tra le alternative in tutte le sezioni, ad eccezione della sezione -500 m.

I risultati dei test t-Student, per le velocità, hanno mostrato differenze significative tra le alternative nelle sezioni -250 m, -150 m, -75 m e 0, ed hanno pertanto un potenziale effetto di riduzione dell'incidentalità, in quanto a velocità più basse migliora la percezione dell'intersezione e sia gli utenti della strada principale che quelli della secondaria dispongono di un maggiore intervallo temporale per evitare i conflitti.

Le alternative 2 e 3 non hanno mostrato differenze di velocità significative, per cui nel campo di visibilità indagato (lato maggiore del triangolo compreso tra 100 e 300 m) non si è riscontrata una correlazione tra velocità e visibilità. Tutte le misure percettive hanno determinato una riduzione di velocità rispetto all'intersezione base (Alt2) statisticamente significativa. Le misure più efficaci sono risultate la pavimentazione colorata (Alt8), l'isola materializzata (Alt10) e i denti di drago (Alt7). La maggiore efficacia degli interventi (- 23 Km/h, 23%) si è riscontrata 75 m prima dell'intersezione.

Tabella 6-7 Velocità: Risultati dei test dei Test T-Student e dell'ANOVA

Section (m)	Alternatives	alt1	alt2	alt3	alt4	alt5	alt6	alt7	alt8	alt9	alt10
- 500	alt1	1	0.118	0.428	0.816	0.913	0.194	0.414	0.611	0.873	0.669
	alt2		1	0.003	0.009	0.028	<0.001	0.006	0.253	0.016	0.013
	alt3			1	0.273	0.252	0.738	0.882	0.161	0.353	0.523
	alt4				1	0.595	<u>0.073</u>	0.361	0.361	0.915	0.843
	alt5					1	0.103	0.251	0.595	0.722	0.550
	alt6						1	0.561	0.049	0.140	0.431
	alt7							1	<u>0.073</u>	0.455	0.685
	alt8								1	0.500	0.401
	alt9									1	0.797
	alt10										1
ANOVA test		F statistic = 0.201					p-value 0.994				
- 250	alt1	1	0.720	0.144	<0.001						
	alt2		1	0.041	<0.001						
	alt3			1	<0.001	0.003	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
	alt4				1	0.555	0.323	<u>0.057</u>	0.132	0.640	0.939
	alt5					1	0.959	0.318	0.626	0.810	0.637
	alt6						1	0.222	0.560	0.808	0.599
	alt7							1	0.402	0.156	0.142
	alt8								1	0.425	0.233
	alt9									1	0.713
	alt10										1
ANOVA test		F statistic = 3.541					p-value < 0.001				
- 150	alt1	1	0.030	0.003	<0.001						
	alt2		1	0.251	<0.001	0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
	alt3			1	<0.001	0.002	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
	alt4				1	<u>0.056</u>	0.418	0.885	0.946	0.714	0.271
	alt5					1	0.120	0.030	<u>0.088</u>	<u>0.084</u>	0.005
	alt6						1	0.640	0.499	0.737	<u>0.066</u>
	alt7							1	0.806	0.839	0.275
	alt8								1	0.694	0.353
	alt9									1	0.118
	alt10										1
ANOVA test		F statistic = 6.651					p-value < 0.001				
- 75	alt1	1	0.002	<0.001							
	alt2		1	0.324	<0.001	0.003	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
	alt3			1	<0.001	0.002	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
	alt4				1	0.144	0.218	0.114	0.035	0.622	0.843
	alt5					1	0.471	0.028	0.016	0.221	<u>0.063</u>
	alt6						1	0.030	0.012	0.433	<u>0.090</u>
	alt7							1	0.540	<u>0.076</u>	0.365
	alt8								1	0.022	0.201
	alt9									1	0.396
	alt10										1
ANOVA test		F statistic = 7.057					p-value < 0.001				
0	alt1	1	0.001	<0.001							
	alt2		1	0.150	<0.001	0.005	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
	alt3			1	0.026	<u>0.083</u>	0.006	<0.001	<0.001	0.006	0.001
	alt4				1	0.958	0.203	0.006	<0.001	0.233	0.010
	alt5					1	0.395	<u>0.077</u>	0.004	0.475	0.045
	alt6						1	0.129	0.002	0.913	0.031
	alt7							1	<u>0.054</u>	0.149	0.556
	alt8								1	0.001	0.118
	alt9									1	0.012
	alt10										1
ANOVA test		F statistic = 5.372					p-value < 0.001				

Nella sezione -250 m non sono state significative le differenze di velocità tra rettilo base (Alt1) e le intersezioni in assenza e in presenza di visibilità alternative (Alt2 e Alt3), quindi l'intersezione senza trattamenti non è percepita 250 m prima dell'incrocio.

Al contrario, in tutte le alternative con le misure percettive (Alt4-10) le velocità medie sono state più basse rispetto alle velocità nelle alternative 1, 2 e 3, con un livello di significatività minore dell'1%, con differenze comprese tra 9 e 17 km/h (Figura 6-4).

Rispetto all'intervento base (Alt2) tutti gli interventi sono stati efficaci nella riduzione delle velocità. Lo stesso accade con riferimento all'alternativa 3.

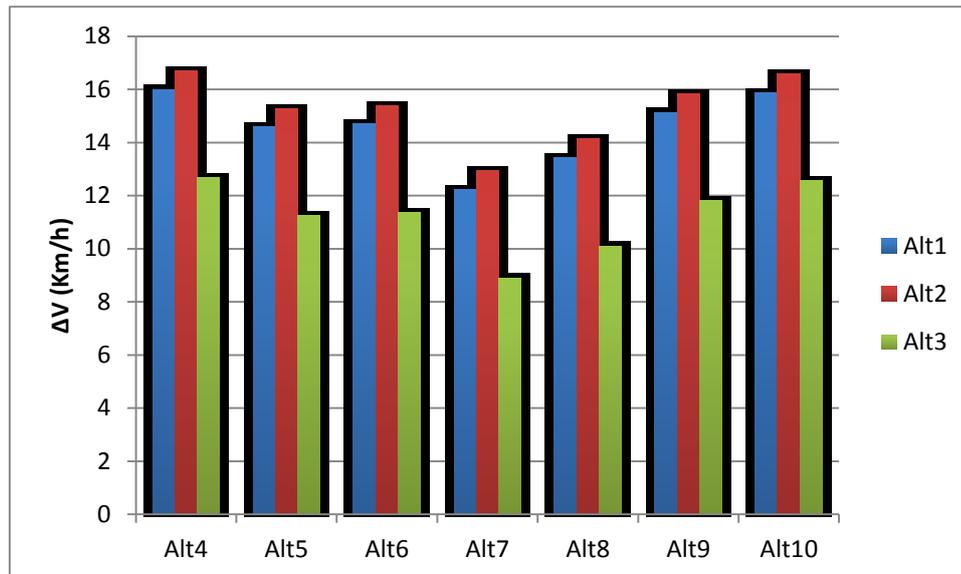


Figura 6-4 Differenze delle velocità medie tra le alternative con misure percettive (Alt4-10) e le alternative base (Alt1-3) a -250 m dal centro dell'intersezione

Non sono state significative le differenze tra le medie delle velocità relative alle alternative con trattamenti (alt 4-5-6-7-8-9-10), pertanto le diverse misure percettive hanno determinato riduzioni di velocità molto prossime.

Assumendo la probabilità di rigettare H_0 quando è vera minore del 10%, sono state valutate differenze significative tra l'intersezione con le bande ottiche (Alt4) e l'intersezione con le i denti di drago (Alt7). Ovvero la riduzione di velocità indotta dalla presenza di bande sonore e denti di drago (Alt7) è stata significativamente maggiore rispetto a quella indotta dalla presenza delle sole bande ottiche (Alt4).

Nella sezione -150 m sono state significative le differenze di velocità media tra il rettilo base (Alt1) e le intersezione in assenza e in presenza di visibilità (Alt2 e Alt3) con livello di significatività minore del 5%, ciò conferma che la presenza dell'intersezione influenza le velocità, con una riduzione di circa 15 km/h contrariamente a quanto ipotizzato dal D.M. 5/11/2001 che richiede l'elaborazione del diagramma di velocità, in base al quale si ricava la velocità di riferimento per il progetto delle corsie ausiliarie e per le verifiche di visibilità, considerando nullo l'effetto delle intersezioni.

Le alternative 2 e 3 non hanno mostrato differenze di velocità significative, per cui nel campo di visibilità indagato non è stata riscontrata una correlazione tra velocità e visibilità.

Sono state significative le differenze tra le alternative con i diversi trattamenti (Alt4-10) e le alternative 1, 2 e 3, con un livello di significatività minore dell'1%. Infatti in tutte le alternative con i diversi trattamenti (Alt4-10) le velocità medie sono state più basse rispetto alle velocità nelle alternative 1, 2 e 3. Le riduzioni di velocità media sono state comprese tra 20 e 28 km/h rispetto all'alternativa 1 e tra 14 e 22 km/h rispetto all'alternativa 2 (Figura 6-5).

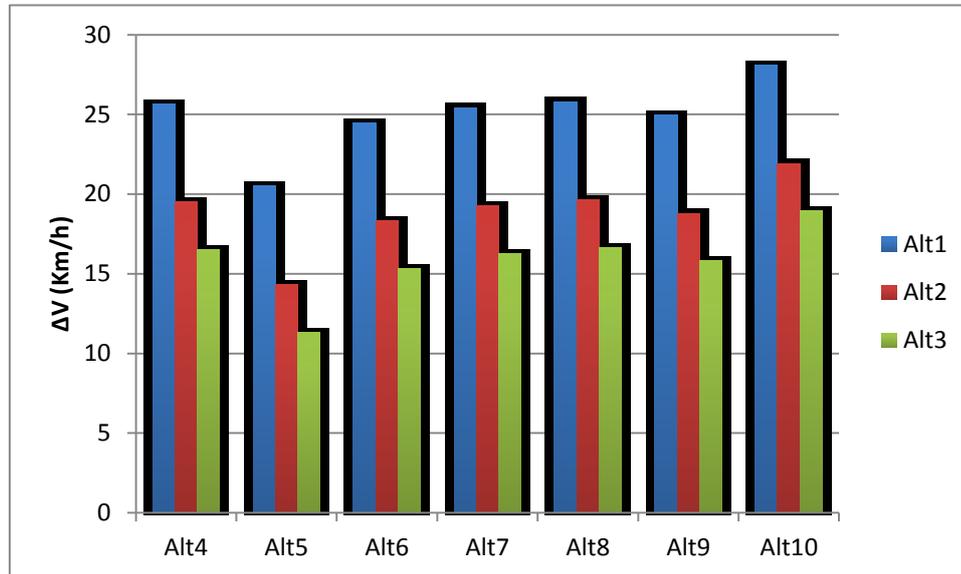


Figura 6-5 Differenze delle velocità medie tra le alternative con misure percettive (Alt4-10) e le alternative base (Alt1-3) a -150 m dal centro dell'intersezione

Tra le alternative con trattamenti (Alt4-5-6-7-8-9-10) non ci sono state differenze significative eccetto per le bande sonore (Alt5) che ha presentato delle differenze con le bande ottiche (Alt4), i denti di drago (Alt7), la pavimentazione colorata (Alt8), l'isola non materializzata (Alt9) e l'isola materializzata (Alt10). Differenze significative sono state individuate anche tra le bande periferiche trasversali (Alt6) e l'isola materializzata con un livello di significatività inferiore al 1%.

Nella sezione -75 m, i risultati dei test sono stati molto simili a quelli della sezione -150 m. La velocità media più bassa è stata osservata per la pavimentazione colorata (Alt8), che con una riduzione delle velocità di 34,8 km/h rispetto al rettilineo base (Alt1), una riduzione di 23,3 km/h rispetto all'intersezione base (Alt2) e 17,2 km/h rispetto all'intersezione in assenza di visibilità (Alt3) (Figura 6-6).

A differenza della sezione -150 m sono state individuate anche delle differenze tra le bande periferiche trasversali (Alt6) e i denti di drago (Alt7), le bande periferiche trasversali (Alt6) e la pavimentazione colorata (Alt8), con un livello di significatività inferiore al 3 %, e le bande periferiche trasversali (Alt6) e l'isola materializzata (Alt10). L'isola non materializzata (Alt9) è risultata essere significativamente differente dai denti di drago (Alt7) e dalla pavimentazione colorata (Alt8).

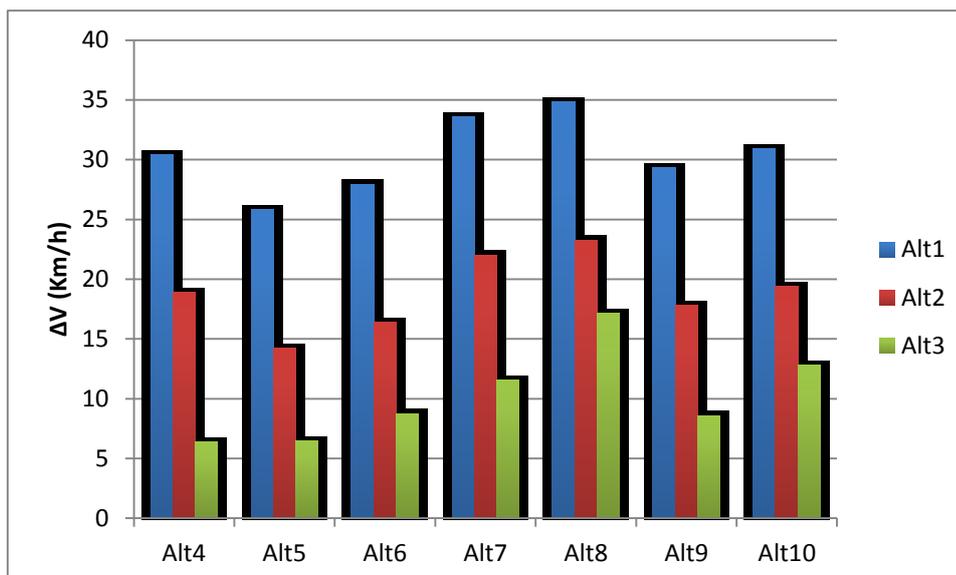


Figura 6-6 Differenze delle velocità medie tra le alternative con misure percettive (Alt4-10) e le alternative base (Alt1-3) a -75 m dal centro dell'intersezione

Al centro dell'intersezione, tutte le alternative sono state efficaci rispetto al rettilo base (Alt1), all'intersezione base (Alt2) e l'intersezione in assenza di visibilità con livello di significatività minore dell'1% (Figura 6-7), con una riduzione di velocità tra gli 11,5 km/h e i 34,8 km/h. Le intersezioni base (Alt2 e 3) hanno presentato differenze significative con le misure percettive, ma non sono significativamente differenti tra loro. La pavimentazione colorata (Alt8) e l'isola materializzata (Alt10) hanno presentato differenze significative con la maggior parte delle alternative.

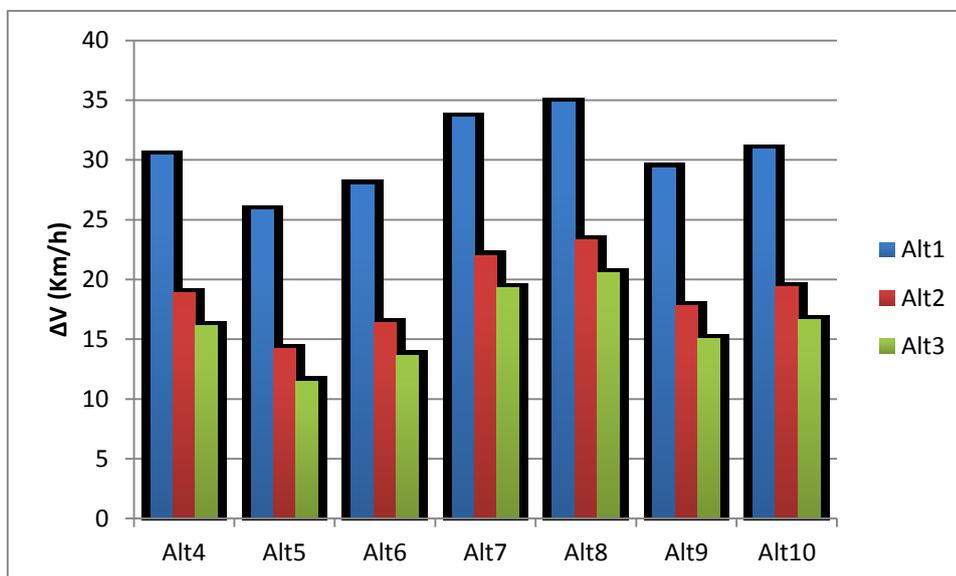


Figura 6-7 Differenze delle velocità medie tra le alternative con misure percettive (Alt4-10) e le alternative base (Alt1-3) al centro dell'intersezione

6.1.3. Decelerazioni Significative

Per valutare dove gli utenti hanno incominciato a percepire la presenza dei dispositivi e dove hanno incominciato a modificare il loro comportamento di guida sono state confrontate, con il test di t-Student a due code per campioni appaiati, le velocità medie fra due sezioni distanti 50 m per ogni alternativa con intersezione è stato effettuato per valutare la differenza statisticamente significativa della velocità media. Tale analisi ha evidenziato che i guidatori hanno reagito prima nelle alternative con misure percettive rispetto alternative senza trattamenti (Tabella 6-8 e Figura 6-8), eccetto per l'intersezione con bande sonore (Alt5), dove le differenze di velocità tra le sezioni non state significative.

Tabella 6-8 Inizio e fine decelerazioni significative

Alternative	Inizio decelerazione significativa ($\alpha = 0.10$)	Fine decelerazione significativa ($\alpha = 0.10$)	Lunghezza decelerazione significativa ($\alpha = 0.10$)
Alt2	-95 m	-20 m	75 m
Alt3	-80 m	-20 m	60 m
Alt4	-220 m	-135 m	85 m
Alt5	*	*	
Alt6	-235 m	-110 m	125 m
Alt7	-295 m	-65 m	230 m
Alt8	-330 m	-35 m	295 m
Alt9	-275 m	-125 m	150 m
Alt10	-295 m	-130 m	165 m

* decelerazione non è stata significativa

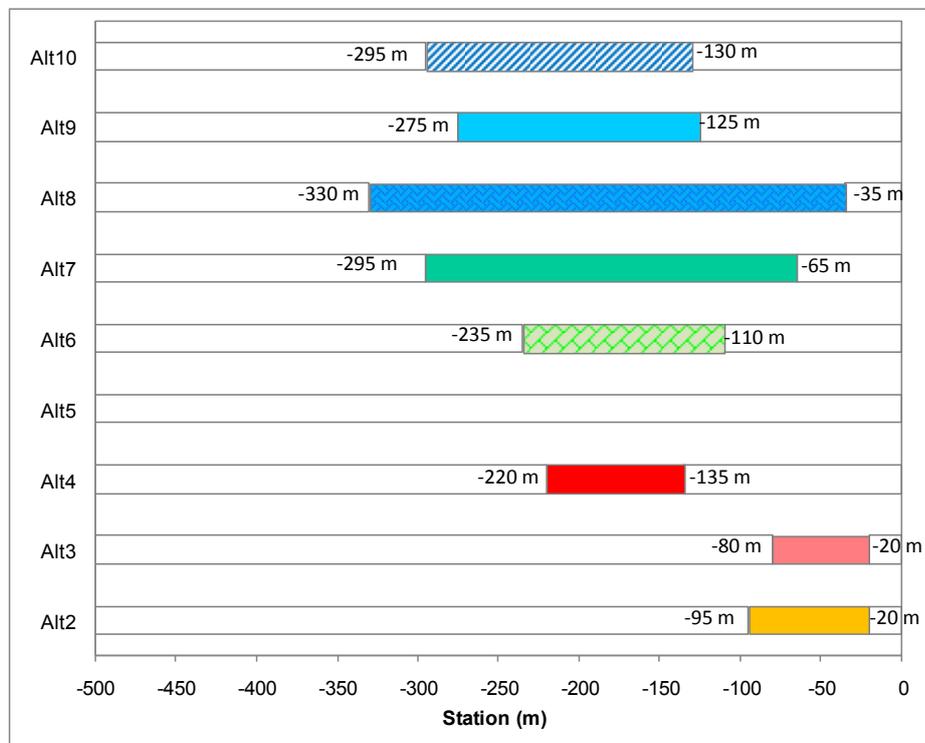


Figura 6-8 Inizio e fine fase di decelerazione

Durante la sperimentazione, nelle alternative senza misure percettive la decelerazione è iniziata 95 m (Alt2) e 80 m (Alt3) prima del centro dell'incrocio ed è stata conclusa 25 metri prima dell'incrocio. Nelle alternative con trattamenti percettive, ad eccezione alt5, i guidatori hanno incominciato ad avere una decelerazione significativa tra i 220 m e i 330 m prima dell'incrocio e la lunghezza della decelerazione significativa è stata compresa tra 85 m e 295 m. La pavimentazione colorata (Alt8) è stata l'alternativa più efficace che ha incominciato ad avere una decelerazione significativa 330 m prima dell'incrocio con una lunghezza di 295 m. Anche le alternative con i denti di drago (Alt7) e con l'isola materializzata (Alt10) sono state efficaci avendo incominciato a decelerare, rispettivamente, 330 m e 295 m prima dell'incrocio con una lunghezza della fase di 295 m e 165 m.

6.2. Profili di decelerazione

Dall'analisi dei 207 profili di velocità e 207 profili di decelerazione è stato osservato che i comportamenti di guida possono essere schematizzati in tre modelli di decelerazione: decelerazione costante, decelerazione variabile e accelerazione (cfr. paragrafo 5.3).

Dal confronto tra i comportamenti reali e quelli teorici ogni osservazione è stata classificata secondo i tre modelli di decelerazione (Tabella 6-9).

Tabella 6-9 Classificazione dei comportamenti di decelerazione

Utenti	Alternative								
	Alt 2	Alt 3	Alt 4	Alt 5	Alt 6	Alt 7	Alt 8	Alt 9	Alt 10
Ut 01	Acc	Acc	Dec c	Acc	Dec c	Acc	Dec c	Acc	Dec v
Ut 02	Acc	Acc	Acc	Acc	Acc	Acc	Acc	Dec v	Dec v
Ut 03	Dec c	Dec c	Dec v						
Ut 04	Dec c	Dec c	Acc	Dec c	Dec v				
Ut 05	Dec c	Dec c	Dec c	Dec v	Dec c	Dec v	Dec v	Dec v	Dec v
Ut 06	Acc	Acc	Acc	Acc	Acc	Acc	Acc	Acc	Acc
Ut 07	Dec v	Dec c	Dec v						
Ut 08	Acc	Dec c	Dec v	Acc	Dec c	Dec v	Dec v	Dec c	Dec v
Ut 09	Dec c	Dec v	Dec v	Acc	Dec c	Dec v	Dec c	Dec v	Dec v
Ut 10	Dec v	Dec v	Dec v	Dec c	Dec v	Dec c	Dec v	Dec v	Dec v
Ut 11	Dec c	Dec c	Dec v	Dec c	Dec v	Dec c	Dec v	Dec v	Dec v
Ut 12	Dec v	Dec c	Dec c	Dec v	Dec v	Dec c	Dec v	Dec v	Dec v
Ut 13	Dec c	Dec c	Dec c	Acc	Dec c	Dec v	Dec v	Dec v	Dec v
Ut 14	Dec c	Acc	Dec v	Dec v	Acc	Dec v	Acc	Acc	Dec v
Ut 15	Dec v	Dec v	Dec v	Dec v	Dec v	Dec v	Dec v	Dec v	Dec v
Ut 16	Acc	Dec c	Dec v	Dec c	Dec v				
Ut 17	Acc	Acc	Acc	Acc	Acc	Dec c	Acc	Acc	Acc
Ut 18	Acc	Acc	Acc	Dec c	Dec c	Dec c	Dec v	Dec v	Dec c
Ut 19	Dec v	Dec v	Dec v	Dec v	Dec v	Dec v	Dec v	Dec v	Dec v
Ut 20	Dec c	Dec v							
Ut 21	Dec c	Dec c	Dec c	Dec c	Dec c	Dec c	Dec c	Dec c	Dec c
Ut 22	Acc	Acc	Acc	Acc	Dec v	Dec v	Acc	Acc	Dec v
Ut 23	Dec v	Dec v	Dec v	Dec v	Dec c	Dec v	Dec v	Dec v	Dec v

6.2.1. CATANOVA e Test di Frequenza

In tutte le alternative, i modelli di decelerazione sono stati più frequenti (Figura 6-9 e Tabella 6-10) , ciò significa che la presenza dell'intersezione è stata avvertita per maggior la parte dei conducenti.

Tabella 6-10 Comportamenti di decelerazione

Alternative	Dec. Costante		Dec. Variabile		Accelerazione		
	N	%	N	%	N	%	
Alt2	9	39.1	6	26.1	8	34.8	
Alt3	10	43.5	6	26.1	7	30.8	
Alt4	5	21.7	12	52.2	6	26.1	
Alt5	6	26.1	9	39.1	8	34.8	
Alt6	9	39.1	10	43.5	4	17.4	
Alt7	7	30.4	13	56.5	3	13.0	
Alt8	4	17.4	14	60.9	5	21.7	
Alt9	3	13.0	15	65.2	5	21.7	
Alt10	2	8.7	19	82.6	2	8.7	
CATANOVA test		C Statistic = 30.02				p-value = 0.018	

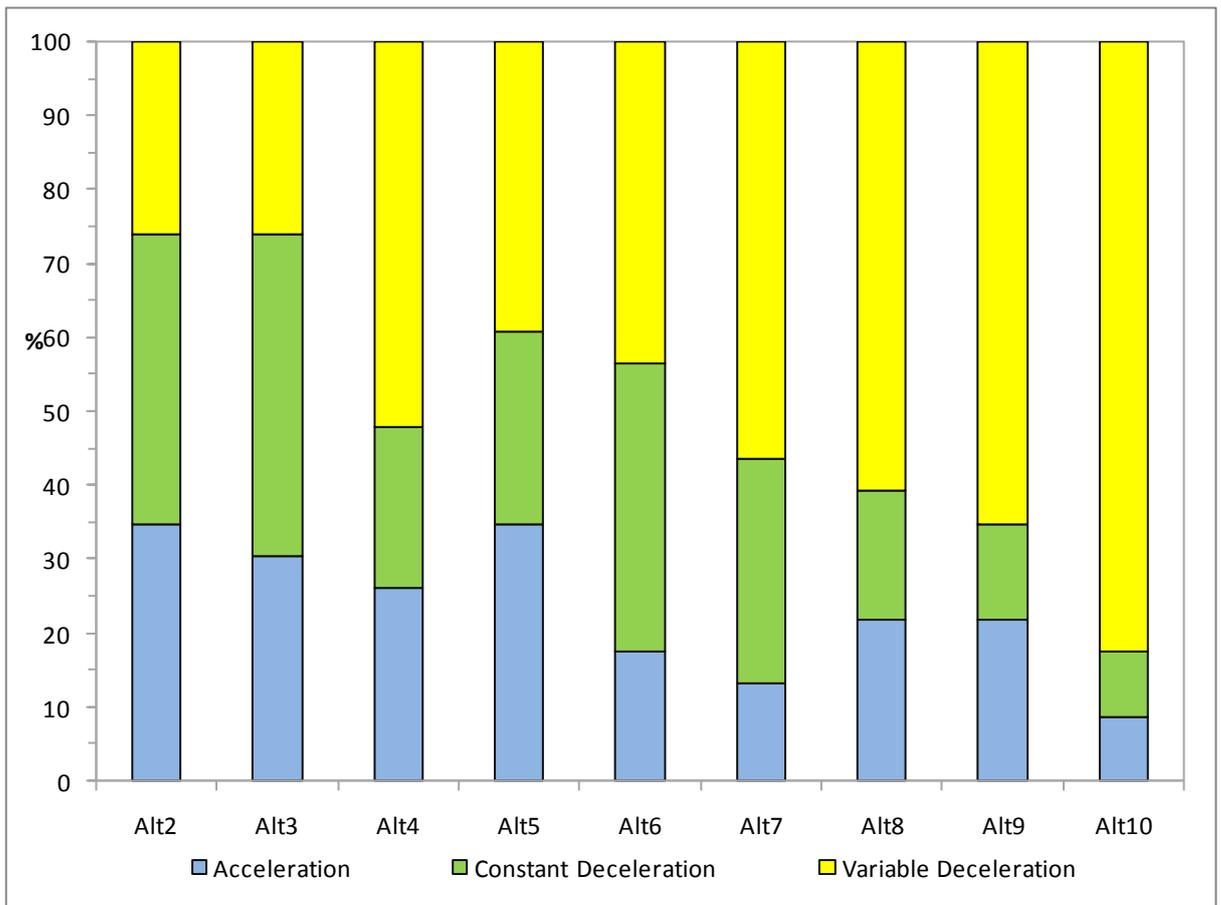


Figura 6-9 Comportamenti di decelerazione

Il risultato test (C statistic = 30,02, $p = 0,018$) ha mostrato che la presenza dei dispositivi ha influenzato significativamente il comportamento dei conducenti. L'ipotesi nulla può essere respinta con un livello di significatività inferiore del 5%.

I risultati del test di McNemar Generalizzato e di Bhapkar (Tabella 6-11) sono stati piuttosto simili. In particolare il test di Bhapkar ha mostrato che rispetto alla intersezione base (Alt2) tutti i trattamenti (Alt6-Alt10) hanno prodotto un cambiamento significativo nel comportamento di decelerazione. Nell'intersezione base (Alt2), il 35% dei conducenti hanno esibito un comportamento di accelerazione, mentre nelle alternative alt6-alt10 l'accelerazione è notevolmente diminuita variando tra il 9% e il 22%. In queste alternative, la decelerazione variabile (compresa tra 44% e 83%) è stato il comportamento più frequente. In relazione ai rallentatori sonori (Alt5), le alternative con i trattamenti alt7-alt10 hanno esibito un comportamento decelerazione significativamente differenti. Le differenze principali sono stati una diminuzione del comportamento di accelerazione e un aumento del comportamento decelerazione variabile. L'isola materializzata (Alt10) ha esibito un comportamento decelerazione significativamente diversa da tutte le altre alternative, tranne dall'isola non materializzata (Alt9). Nell'isola materializzata il 9% degli utenti hanno accelerato mentre l'83% hanno decelerato in modo variabile.

Tabella 6-11 Risultati dei test di McNemar Generalizzato e di Bhapkar

Alternative	alt2	alt3	alt4	alt5	alt6	alt7	alt8	alt9	alt10
test di McNemar Generalizzato									
alt2	1,000	0,846	0,102	0,407	0,102	0,024	0,016	0,010	0,001
alt3		1,000	0,050	0,356	0,124	0,028	0,028	0,011	0,001
alt4			1,000	0,466	0,209	0,405	0,766	0,596	0,025
alt5				1,000	0,261	0,082	0,152	0,105	0,007
alt6					1,000	0,562	0,050	0,050	0,011
alt7						1,000	0,435	0,209	0,040
alt8							1,000	0,819	0,135
alt9								1,000	0,189
alt10									1,000
test di Bhapkar									
alt2	1.000	0.844	0.058	0.377	0.058	0.004	0.002	<0.001	<0.001
alt3		1.000	0.017	0.322	0.078	0.006	0.006	0.001	<0.001
alt4			1.000	0.442	0.163	0.375	0.761	0.582	0.004
alt5				1.000	0.219	0.041	0.098	0.061	<0.001
alt6					1.000	0.545	0.017	0.017	0.001
alt7						1.000	0.407	0.163	0.012
alt8							1.000	0.816	0.089
alt9								1.000	0.142
alt10									1.000

Pertanto, l'uso delle misure percettive hanno aumentato il numero di conducenti che hanno decelerato e cambiato lo stile di guida a favore dei modelli di decelerazione variabile.

6.3. Posizione Laterale

Al fine di verificare l'efficacia delle misure percettive progettate, in tale sezione è stata analizzata la posizione laterale. Dall'osservazione dei profili delle posizioni laterale si può osservare che i conducenti non hanno avuto una diversa traiettoria nelle diverse alternative e nelle diverse sezioni.

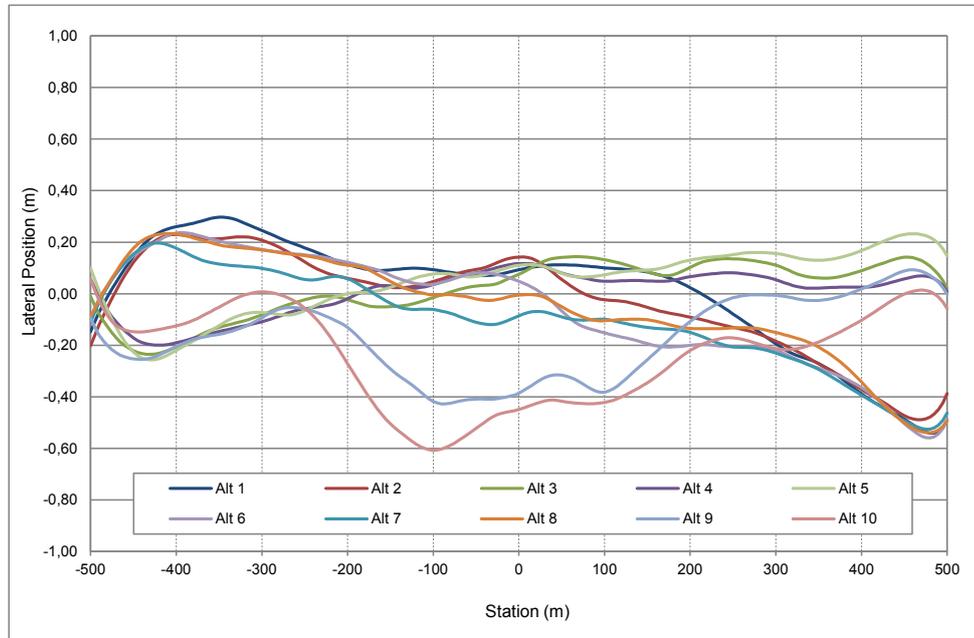


Figura 6-10 Profili delle posizioni laterali medie

6.3.1. Analisi Cluster

Analogamente a quanto esposto per le velocità l'analisi cluster per le posizioni laterali ha messo in evidenza che i profili possono essere raggruppati in diversi gruppi per i tre segmenti.

In Tabella 6-12 e in Figura 6-11 e sono stati riportati i valori delle silhouette per i diversi raggruppamenti nei tre segmenti.

In particolare le partizioni più significative sono risultate:

- K=2 nel segmento [-250 m; -150 m];
- K=2 nel segmento]-150 m; -75 m];
- K=4 nel segmento]-75 m; 0].

Tabella 6-12 Posizioni Laterali: Valori medi delle silhouette

Segmento (m)	K=2	K=3	K=4	K=5	K=6
[-250, -150]	0.84	0.71	0.75	0.85	0.74
]-150, -75]	0.95	0.71	0.59	0.66	0.64
]-75, 0]	0.95	0.84	0.85	0.65	0.75

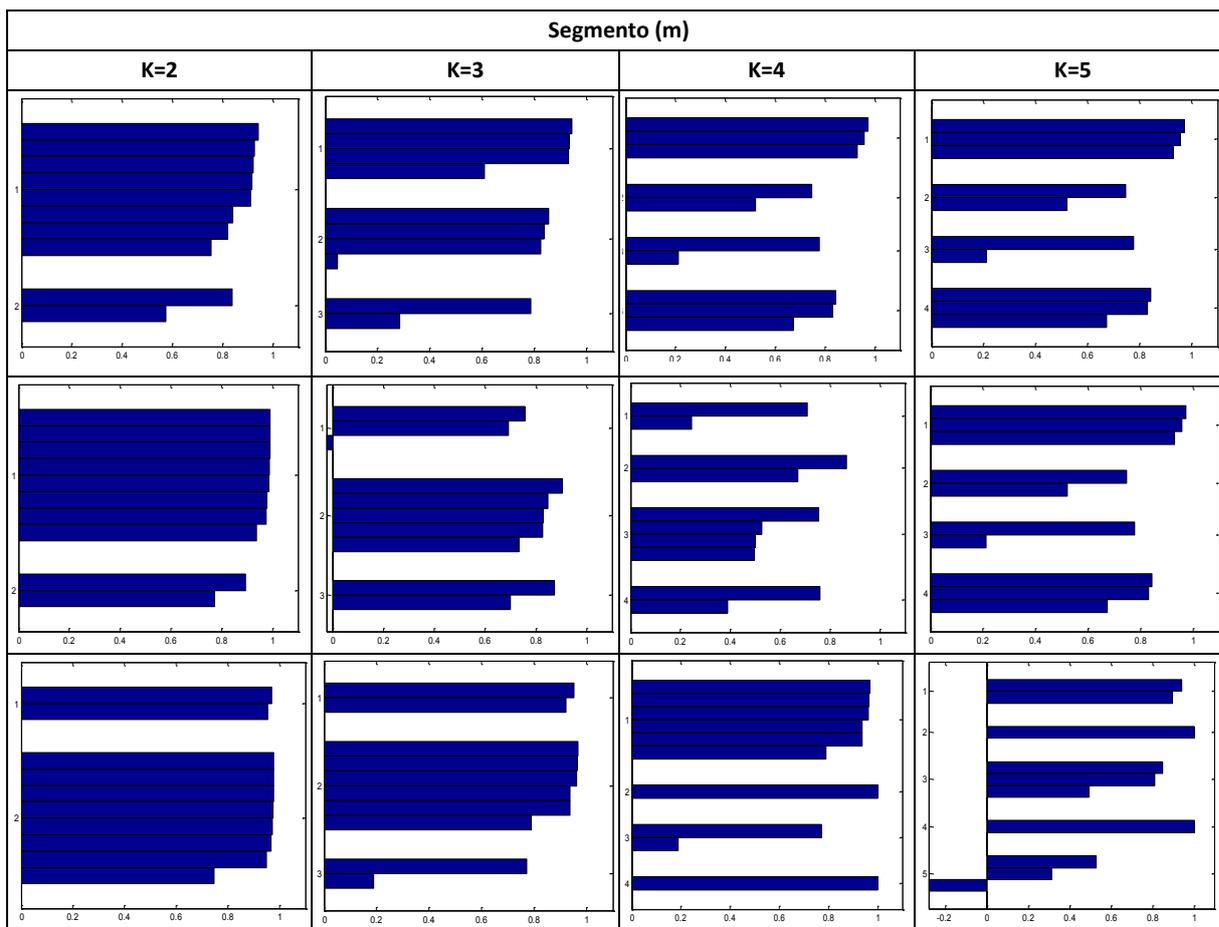


Figura 6-11 Posizioni laterali: Valori delle silhouette

In Tabella 6-13 è riportata la descrizione dei cluster per ciascun valore di k fissato. In grassetto si evidenziano i cluster corrispondenti ai valori di k che sono stati scelti con la tecnica delle silhouette.

Tabella 6-13 Posizioni Laterali: Descrizione dei cluster

Segmento (m)	K	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3	Cluster 4	Cluster 5
[-250, -150]	2	Alt-1-2-3-4-5-6-7-8	Alt-9-10			
	3	Alt-1-2-6-8	Alt-3-4-5-7	Alt-9-10		
	4	Alt-1-6-8	Alt-2-7	Alt-3-4-5	Alt-9-10	
	5	Alt-1-6-8	Alt-2-7	Alt-3-4-5	Alt-9	Alt-10
]-150, -75]	2	Alt-1-2-3-4-5-6-7-8	Alt-9-10			
	3	Alt-1-2-4-5-6	Alt-3-7-8	Alt-9-10		
	4	Alt-1-5	Alt-2-4-6-8	Alt-3-7	Alt-9-10	
	5	Alt-1	Alt-2-4-5-6	Alt-3-8	Alt-7	Alt-9-10
]-75, 0]	2	Alt-1-2-3-4-5-6-7-8	Alt-9-10			
	3	Alt-1-2-3-4-5-6	Alt-7-8	Alt-9-10		
	4	Alt-1-2-3-4-5-6	Alt-7-8	Alt-9	Alt-10	
	5	Alt-1-3-6	Alt-2-4-5	Alt-7	Alt-8	Alt-9-10

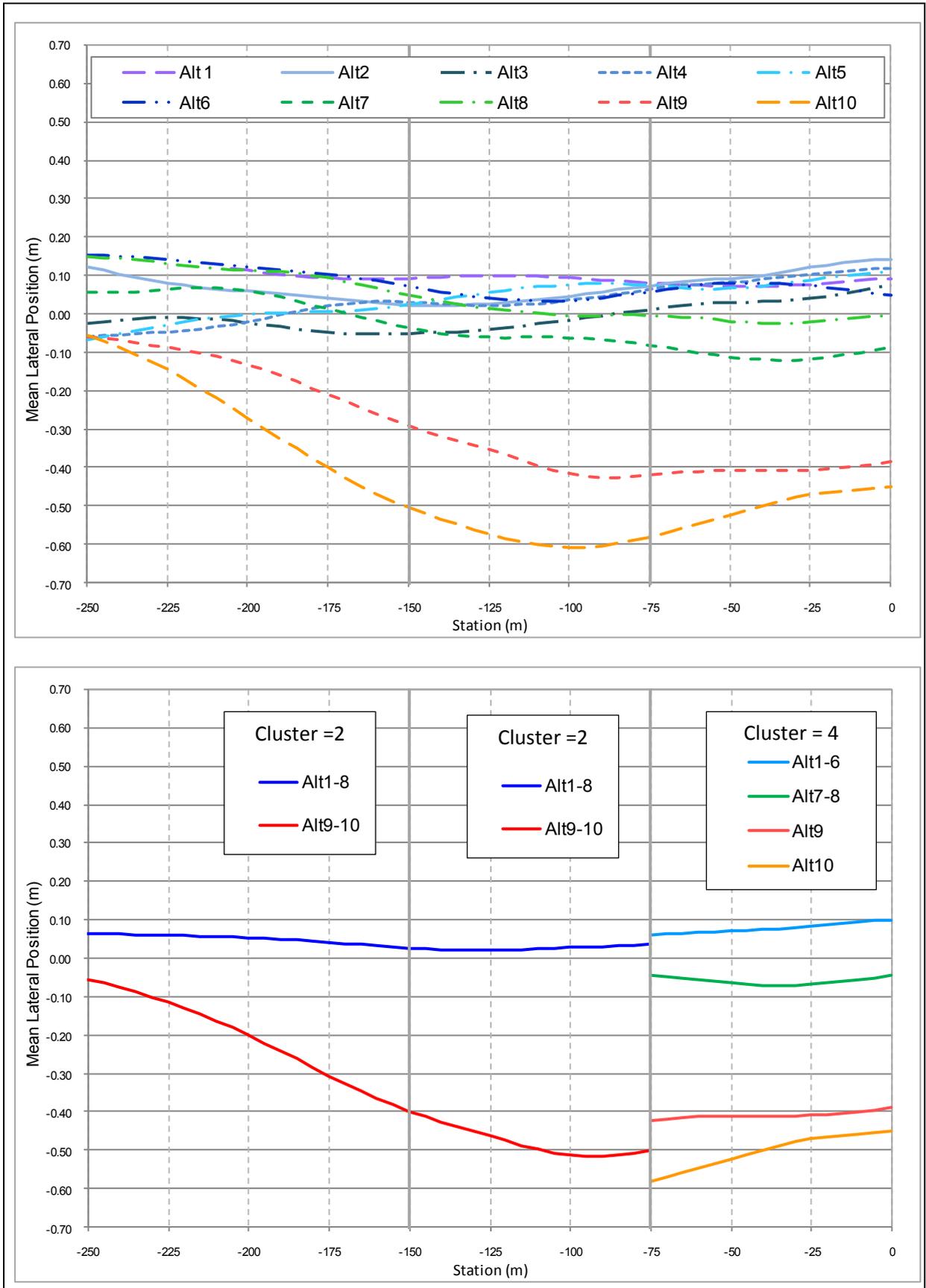


Figura 6-12 Profili delle posizioni laterali e risultati cluster

Nel primo e nel secondo segmento sono stati identificati due cluster:

- Alt 1-2-3-4-5-6-7-8: tutte le alternative ad eccezione dell'isola non materializzata (alt9) e dell'isola materializzata (alt10)
- Alt 9-10: dell'isola non materializzata (alt9) e dell'isola materializzata (alt10).

La presenza dell'isola ha portata uno spostamento del veicolo, congruemente con la nuova geometria della strada. Vale la pena osservare che lo spostamento del veicolo verso è stato anticipato rispetto all'isola.

Nel terzo segmento sono stati identificati quattro cluster:

- Alt 1-2-3-4-5-6: rettilineo base, intersezione base, intersezione con ridotta visibilità, bande ottiche, bande sonore, bande periferiche trasversali
- Alt7-8: denti di drago, pavimentazione colorata
- Alt 9: isola non materializzata
- Alt10: isola materializzata.

Tale risultato ha evidenziato che la presenza delle misure percettive ha influenzato il comportamento dei conducenti non solo in termini di velocità ma anche in termini di posizioni laterali, spostando il veicolo verso destra della corsia. In particolare un maggiore spostamento è stata ottenuto dai denti di drago e dalla pavimentazione colorata.

Inoltre l'isola materializzata ha prodotto un maggiore spostamento del veicolo rispetto all'isola di sola segnaletica, stando ad indicare che la presenza dell'isola condiziona maggiormente il percorso di guida.

6.3.2. Statistica test

I dati di posizione laterale (Tabella 6-14) sono stati analizzati anche mediante test statistici puntuali nelle seguenti sezioni: - 250 m; - 150 m; - 75 m; 0 (centro dell'intersezione).

Al fine di valutare la bontà di adattamento dei dati ad una distribuzione Gaussiana sono stati effettuati diversi test di normalità. In particolare sono stati eseguiti il test di Shapiro e Wilk, il test di Anderson e Darling, il test di Lilliefors e il test di Jarque-Bera.

In

Tabella 6-15 sono riportati i p-value per ogni test utilizzato, per ogni sezione e per ogni alternativa. Tutti i risultati sono stati superiori al livello di significatività α pari a 0,05, dimostrando che per le osservazioni si distribuiscono secondo delle variabili casuali Normali.

Tabella 6-14 Posizione laterale: Medie e Deviazione standard

Alternative	Posizioni Laterali Medie (m)				Deviazione Standard (m)			
	- 250 m	- 150 m	- 75 m	0	- 250 m	- 150 m	- 75 m	0
alt1	0.18	0.09	0.08	0.09	0.36	0.35	0.38	0.40
alt2	0.12	0.02	0.07	0.14	0.39	0.41	0.37	0.34
alt3	-0.02	-0.05	0.01	0.08	0.39	0.39	0.39	0.43
alt4	-0.06	0.03	0.06	0.12	0.35	0.33	0.24	0.32
alt5	-0.07	0.02	0.07	0.11	0.39	0.38	0.37	0.40
alt6	0.15	0.07	0.06	0.05	0.33	0.30	0.29	0.34
alt7	0.06	-0.04	-0.08	-0.09	0.38	0.40	0.38	0.43
alt8	0.15	0.05	-0.01	-0.01	0.44	0.32	0.34	0.27
alt9	-0.06	-0.29	-0.42	-0.39	0.34	0.29	0.24	0.27
alt10	-0.06	-0.50	-0.58	-0.45	0.38	0.28	0.21	0.21

Tabella 6-15 Posizione laterale: Risultati dei test di Normalità

	-500 m	-250m	-150m	-75m	0	-500m	-250m	-150m	-75m	0
	test di Shapiro-Wilk					test di Lilliefors				
Alt1	0,536	0,200	0,990	0,764	0,268	0,517	0,263	0,993	0,916	0,082
Alt2	0,598	0,363	0,466	0,318	0,514	0,807	0,326	0,339	0,420	0,303
Alt3	0,361	0,541	0,334	0,736	0,778	0,189	0,245	0,286	0,796	0,751
Alt4	0,064	0,209	0,593	0,889	0,299	0,026	0,525	0,863	0,976	0,099
Alt5	0,412	0,571	0,873	0,208	0,301	0,521	0,941	0,628	0,272	0,077
Alt6	0,837	0,069	0,985	0,234	0,015	0,818	0,064	0,928	0,145	0,013
Alt7	0,148	0,167	0,415	0,935	0,600	0,118	0,270	0,378	0,687	0,358
Alt8	0,610	0,997	0,861	0,903	0,601	0,416	0,941	0,115	0,973	0,531
Alt9	0,220	0,547	0,648	0,176	0,146	0,226	0,371	0,876	0,372	0,065
Alt10	0,226	0,301	0,725	0,084	0,281	0,292	0,665	0,724	0,037	0,375
	test di Anderson-Darling					test di Jarque-Bera				
Alt1	0,6858	0,2676	0,9869	0,8966	0,1393	0,7237	0,4095	0,8207	0,7040	0,4314
Alt2	0,5959	0,1721	0,2087	0,2652	0,4949	0,6068	0,6940	0,9823	0,2690	0,8484
Alt3	0,1166	0,4705	0,3812	0,6472	0,7897	0,7138	0,4898	0,4554	0,7524	0,6820
Alt4	0,0271	0,2849	0,6491	0,8215	0,1513	0,2735	0,4970	0,5717	0,9331	0,5820
Alt5	0,6071	0,8129	0,7627	0,2643	0,1620	0,5223	0,6686	0,6539	0,5479	0,5644
Alt6	0,5981	0,0205	0,9217	0,0904	0,0022	0,6319	0,4352	0,9331	0,8222	0,2172
Alt7	0,1141	0,1063	0,3725	0,8285	0,4317	0,4362	0,9303	0,8928	0,8276	0,9074
Alt8	0,3739	0,9886	0,5518	0,9249	0,4349	0,9613	0,7959	0,8346	0,6436	0,9495
Alt9	0,1336	0,3538	0,5202	0,1422	0,0688	0,4299	0,9152	0,8625	0,3626	0,2892
Alt10	0,3017	0,5547	0,5196	0,0248	0,1996	0,3045	0,2562	0,8828	0,6006	0,6139

Dopo aver verificato l'ipotesi di normalità è stata verificata l'ipotesi di omoschedasticità. Per ogni sezione sono state confrontate le varianze tra le alternative e quasi tutti i p-value (Tabella 6-16) sono risultati essere superiori al livello di significatività α pari a 5%, dimostrando che non c'è differenza significativa tra le varianze.

Tabella 6-16 Posizione Laterale: Risultati dei test di Omoschedasticità

Sezioni (m)	Alternative	alt1	alt2	alt3	alt4	alt5	alt6	alt7	alt8	alt9	alt10
-500	alt1	1,000	0,632	0,755	0,349	0,271	0,691	0,255	0,269	0,355	0,058
	alt2		1,000	0,867	0,646	0,531	0,936	0,507	0,529	0,653	0,152
	alt3			1,000	0,531	0,428	0,931	0,407	0,426	0,538	0,111
	alt4				1,000	0,868	0,589	0,838	0,864	0,992	0,327
	alt5					1,000	0,480	0,970	0,996	0,859	0,416
	alt6						1,000	0,458	0,478	0,596	0,131
	alt7							1,000	0,974	0,830	0,437
	alt8								1,000	0,856	0,418
	alt9									1,000	0,322
	alt10										1,000
-250	alt1	1,000	0,748	0,748	0,809	0,775	0,645	0,831	0,380	0,789	0,884
	alt2		1,000	1,000	0,573	0,971	0,435	0,913	0,577	0,556	0,860
	alt3			1,000	0,573	0,971	0,435	0,913	0,577	0,556	0,860
	alt4				1,000	0,598	0,827	0,649	0,264	0,980	0,699
	alt5					1,000	0,456	0,942	0,553	0,581	0,889
	alt6						1,000	0,501	0,183	0,847	0,545
	alt7							1,000	0,506	0,631	0,946
	alt8								1,000	0,254	0,464
	alt9									1,000	0,680
	alt10										1,000
-150	alt1	1,000	0,451	0,615	0,746	0,690	0,458	0,494	0,700	0,395	0,279
	alt2		1,000	0,800	0,282	0,722	0,137	0,944	0,256	0,111	0,069
	alt3			1,000	0,409	0,918	0,215	0,855	0,376	0,178	0,115
	alt4				1,000	0,470	0,675	0,314	0,951	0,598	0,447
	alt5					1,000	0,255	0,775	0,433	0,213	0,140
	alt6						1,000	0,156	0,720	0,914	0,732
	alt7							1,000	0,286	0,127	0,080
	alt8								1,000	0,641	0,484
	alt9									1,000	0,815
	alt10										1,000
-75	alt1	1,000	0,901	0,896	0,041	0,978	0,237	0,975	0,590	0,046	0,008
	alt2		1,000	0,798	0,054	0,923	0,289	0,876	0,678	0,061	0,011
	alt3			1,000	0,030	0,874	0,189	0,921	0,503	0,034	0,006
	alt4				1,000	0,043	0,375	0,038	0,127	0,956	0,524
	alt5					1,000	0,248	0,953	0,609	0,049	0,009
	alt6						1,000	0,224	0,516	0,405	0,130
	alt7							1,000	0,568	0,043	0,007
	alt8								1,000	0,141	0,032
	alt9									1,000	0,489
	alt10										1,000
0	alt1	1,000	0,434	0,774	0,312	0,960	0,419	0,778	0,082	0,079	0,004
	alt2		1,000	0,286	0,818	0,464	0,979	0,288	0,330	0,322	0,031
	alt3			1,000	0,196	0,736	0,275	0,996	0,044	0,042	0,002
	alt4				1,000	0,337	0,838	0,198	0,456	0,447	0,052
	alt5					1,000	0,448	0,739	0,091	0,088	0,004
	alt6						1,000	0,277	0,344	0,335	0,033
	alt7							1,000	0,044	0,043	0,002
	alt8								1,000	0,987	0,224
	alt9									1,000	0,230
	alt10										1,000

Dopo aver verificato le ipotesi di normalità e di omoschedasticità è stato possibile utilizzare test parametrici, come il test ANOVA e il test di t-Student, per verificare la presenza di differenze significative tra le alternative (Tabella 6-17).

Tabella 6-17 Posizione Laterale: Risultati dei test dei Test T-Student e del test ANOVA

Sezione (m)	Alternative	alt1	alt2	alt3	alt4	alt5	alt6	alt7	alt8	alt9	alt10
-250	alt1	1	0,318	0,006	0,001	0,003	0,596	<u>0,054</u>	0,645	<0,001	0,008
	alt2		1	<u>0,051</u>	0,007	0,030	0,682	0,310	0,694	0,005	0,027
	alt3			1	0,595	0,540	0,012	0,162	0,032	0,605	0,680
	alt4				1	0,900	0,003	<u>0,077</u>	0,008	0,989	0,956
	alt5					1	0,001	<u>0,057</u>	0,009	0,917	0,872
	alt6						1	0,032	0,961	<0,001	0,005
	alt7							1	0,139	<u>0,057</u>	<u>0,090</u>
	alt8								1	0,007	0,021
	alt9									1	0,947
	alt10										1
ANOVA test		F statistic =1,706									p-value 0,192
-150	alt1	1	0,413	<u>0,082</u>	0,443	0,345	0,666	0,023	0,362	<0,001	<0,001
	alt2		1	0,405	0,935	0,999	0,564	0,511	0,749	0,001	<0,001
	alt3			1	0,111	0,223	0,029	0,865	<u>0,071</u>	0,002	<0,001
	alt4				1	0,918	0,482	0,360	0,756	<0,001	<0,001
	alt5					1	0,310	0,282	0,703	<0,001	<0,001
	alt6						1	0,039	0,515	<0,001	<0,001
	alt7							1	0,171	0,009	<0,001
	alt8								1	<0,001	<0,001
	alt9									1	<0,001
	alt10										1
ANOVA test		F statistic =6,905									p-value 0,002
-75	alt1	1	0,952	0,377	0,799	0,946	0,714	0,015	0,190	<0,001	<0,001
	alt2		1	0,360	0,845	0,997	0,816	<u>0,062</u>	0,289	<0,001	<0,001
	alt3			1	0,366	0,263	0,460	<u>0,097</u>	0,748	<0,001	<0,001
	alt4				1	0,857	0,927	0,019	0,244	<0,001	<0,001
	alt5					1	0,829	0,014	0,191	<0,001	<0,001
	alt6						1	0,012	0,220	<0,001	<0,001
	alt7							1	0,123	<0,001	<0,001
	alt8								1	<0,001	<0,001
	alt9									1	0,001
	alt10										1
ANOVA test		F statistic =11,762									p-value <0,001
0	alt1	1	0,625	0,859	0,792	0,860	0,577	<u>0,084</u>	0,192	<0,001	<0,001
	alt2		1	0,470	0,670	0,641	0,281	0,015	<u>0,057</u>	<0,001	<0,001
	alt3			1	0,669	0,677	0,755	<u>0,096</u>	0,327	<0,001	<0,001
	alt4				1	0,918	0,310	0,010	0,019	<0,001	<0,001
	alt5					1	0,480	0,010	0,125	<0,001	<0,001
	alt6						1	0,038	0,272	<0,001	<0,001
	alt7							1	0,178	<0,001	<0,001
	alt8								1	<0,001	<0,001
	alt9									1	0,242
	alt10										1
ANOVA test		F statistic =8,656									p-value 0,001

I test ANOVA hanno evidenziato che vi sono state differenze statisticamente significative tra le alternative in tutte le sezioni, ad eccezione delle sezione -250 m.

I risultati dei test t-Student, per le velocità, hanno mostrato differenze significative tra le alternative nelle sezioni -150 m, -75 m e 0, ed hanno pertanto un potenziale effetto di riduzione dell'incidentalità, in quanto permette di correggere eventuali traiettorie scorrette, permettendo di ridurre incidenti per fuoruscite .

Nella sezione - 250 m, le posizioni laterale sono state compresa tra - 0,07 m e 0,18 m e la maggior parte delle differenze tra le alternative non sono state significativamente significative.

Nella sezione - 150 m, l'isola mediana non materializzata (alt9) e l'isola materializzata (alt10) hanno indotto i piloti, rispettivamente, a 0,29 m e 0,50 m destra dell'asse corsia. La posizione laterale di queste alternative è risultata significativamente diversa da tutti le posizioni degli altri trattamenti ($p < 0,01$). Inoltre, la differenza di posizione laterale tra l'isola mediana non materializzata (alt9) e l'isola materializzata (alt10) è stata statisticamente significativo ($p < 0,001$), quindi a parità di geometria dell'isola, lo spostamento verso destra è stato maggiore nel caso di materializzazione, evidenziando quindi come la migliore percezione dell'isola si riflette sia sulla velocità sia sulla posizione laterale.

Nella sezione - 75 m, l'isola mediana non materializzata (alt9) e l'isola materializzata (alt10) hanno indotto i piloti, rispettivamente, 0,42 m e 0,58 m a destra dell'asse corsia. La posizione laterale di queste alternative è risultata significativamente diversa da tutti le posizioni degli altri trattamenti ($p < 0,01$). Diversamente dalla sezione – 150 m l'alternativa con i denti di drago (alt7) ha prodotto un significativo spostamento verso destra rispetto alle alternative alt1-alt6.

Al centro della intersezione tutte le posizioni laterali si sono spostate verso il centro della carreggiata, allontanandosi dai rami dell'intersezione. La posizione laterale per le alternative 9 e 10 è stata significativamente diversa da tutte le altre alternative ($p < 0,001$), ma la differenza tra l'isola mediana non materializzata (alt9) e l'isola materializzata (alt10) non è stata significativa. Come nella sezione precedente, i denti di drago (alt7) hanno prodotto un significativo spostamento verso destra rispetto alle alternative Alt1-alt6.

7. Conclusioni

I risultati dello studio hanno evidenziato che ci sono state differenze statisticamente significative tra le velocità in rettilineo nei casi di assenza d'intersezione (alt1) ed intersezione senza misure percettive (alt2-3), con una riduzione di circa 15 km/h. La presenza delle intersezioni influenza quindi la scelta delle velocità, a differenza di quanto ipotizzato dalla normativa vigente (D.M. 5/11/2001) che richiede l'elaborazione del diagramma di velocità, in base al quale si ricava la velocità di riferimento per il progetto delle corsie ausiliarie e per le verifiche di visibilità, considerando nullo l'effetto delle intersezioni. Mentre non sono state significative le differenze di velocità tra il rettilineo (alt1) e le intersezioni senza trattamento (alt2-3) nella sezione -250 m, quindi l'intersezione senza trattamenti non è stata percepita 250 m prima dell'incrocio.

Le alternative base con e senza visibilità (alt2-3) non hanno mostrato differenze di velocità significative, per cui nel campo di visibilità indagato non è stata riscontrata una correlazione tra velocità e visibilità.

La presenza delle misure percettive si è dimostrata efficace nel modificare il comportamento di guida degli utenti, favorendo la percezione delle intersezioni e stili di guida più cauti. Le misure percettive hanno un effetto statisticamente significativo sul comportamento di guida, i conducenti hanno guidato variando:

- Velocità;
- Fase di decelerazione;
- Posizione laterale del veicolo.

Le misure percettive hanno ridotto le velocità rispetto alle intersezioni senza trattamenti, con una riduzione tra gli 11 km/h e i 23 km/h. L'uso delle misure percettive ha aumentato il numero di conducenti che hanno decelerato e cambiato lo stile di guida assumendo una decelerazione variabile. La percezione dell'intersezione è stata facilitata nelle alternative con trattamenti percettivi. In tali condizioni, ad eccezione dell'alt5, i guidatori hanno incominciato a rallentare prima e la lunghezza della decelerazione è stata più lunga, rispetto alle alternative senza trattamenti. In particolare, i conducenti hanno incominciato a decelerare tra i 220 m ed i 330 m prima dell'incrocio e le lunghezze di decelerazione sono state comprese tra 85 m e 295 m. I risultati delle analisi sulle posizioni laterali hanno dimostrato che a partire da 150 m prima dell'intersezione gli utenti hanno teso a spostarsi verso sinistra nelle alternative senza misure percettive e a centro o verso destra nelle alternative con trattamenti. Le alternative che sono state significativamente differenti tra loro e le altre alternative sono state l'isola non materializzata (alt9), l'isola materializzata (alt10) ed i denti di drago (alt7).

In particolare l'alternativa in cui gli utenti hanno decelerato prima ed hanno avuto una decelerazione più lunga è stata la pavimentazione colorata (alt8), l'inizio della fase di decelerazione è stato a 330 m prima dell'incrocio con una lunghezza di 295 m. In tale alternativa è stata riscontrata, anche, la maggiore riduzione di velocità rispetto

all'intersezione base (alt2), con una variazione di velocità di 23,3 km/h a 75 m dal centro dell'intersezione.

L'effetto di "funneling" prodotto dai denti drago (alt7) ha indotto i conducenti ad avere una guida più cauta: (1) è stata registrata una riduzione delle velocità tra i 13 km/h e i 22 km/h nelle diverse sezioni; (2) l'inizio della fase di decelerazione è stato a -295 m prima dell'incrocio con una lunghezza di 230 m; (3) il partecipante è stato indotto a guidare al centro corsia.

L'isola materializzata (alt10) ha prodotto una riduzione di velocità tra i 17 km/h e i 22 km/h, ha incominciato a decelerare a 295 m dall'intersezione con una lunghezza della fase di 165 m. L'isola materializzata ha indotto il partecipante spostare il veicolo verso destra, analogamente all'alternativa con isola di sola segnaletica, ma a parità di geometria dell'isola, lo spostamento verso destra è stato maggiore nel caso di materializzazione, evidenziando quindi come la migliore percezione dell'isola si riflette sia sulla velocità sia sulla posizione laterale.

I risultati dello studio hanno dimostrato che l'attività di guida dei veicoli è fortemente influenzata dalla percezione delle informazioni provenienti dall'esterno e che ne condiziona l'attività psicomotoria dell'individuo. Si evidenzia la possibilità di individuare interventi "attivi" efficaci, non invasivi e a basso costo, capaci di ridurre la probabilità degli incidenti stradali.

Un punto importante nello svolgimento della tesi è stato l'individuazione di metodologie di analisi che hanno permesso di studiare i comportamenti di guida nella loro complessità. A tale fine, si è cercato di individuare metodologie che vadano al di là dei test che verifichino l'efficacia degli interventi progettati, ma che permettano di valutare le loro caratteristiche distintive. L'analisi categorica e l'analisi di clustering in tal senso sono state un valido aiuto. In particolare, tali tecniche, nella loro natura esplorativa, hanno permesso di studiare come gli stimoli, dati dall'ambiente esterno, hanno influenzato le scelte di guida, di valutare le caratteristiche che hanno accomunato i diversi scenari di guida. Tale studio è stato completato dalla statistica test, che ha permesso non solo di localizzare le differenze individuate, ma anche di valutare numericamente l'efficacia dei dispositivi.

Il simulatore di guida si è dimostrato un utile supporto nello studio del comportamento di guida nell'individuazione di dispositivi rivolti a migliorare la sicurezza stradale, in particolare nella ricerca di misure innovative, la cui implementazione potrebbe avere anche effetti indesiderati. Pur avendo ottenuto risultati congruenti con lo stato dell'arte, si evidenzia che per generalizzare i risultati dello studio occorrerà anche effettuare test su strada. Il futuro sviluppo della ricerca riguarderà innanzitutto la validazione dei risultati delle sperimentazioni mediante confronto con i risultati di misure in scala reale che saranno condotte in intersezioni dell'Amministrazione Provinciale di Napoli, valutando tra i diversi parametri, anche il carico di lavoro dei guidatori.

8. Bibliografia

Aarts, L., van Schagen, I., 2006. Driving speed and the risk of road crashes: A review. *Accident Analysis and Prevention* Vol. 38, pp. 215–224.

AASHTO; 2001. A policy on geometric design of highways and streets.

Agresti, A.; 2002. *Categorical Data Analysis*. John Wiley & Sons,

AIDE, Adaptive integrated driver-vehicle interface; 2004. *Driving performance assessment methods and metrics*. Information Society Technologies (IST), N. IST-1-507674-IP.

AIPCR, Associazione Mondiale Della Strada; 2010. *Infrastrutture stradali più sicure fase 1: i criteri*. XXVI Convegno Nazionale Stradale.

Allen, R. W., Cook, M. L., Rosenthal, T. J., 2007. *Application of driving simulation to road safety*. *Advances in Transportation Studies an international Journal* 2007 Special Issue

Allen, R.W., Reimer, B., 2006. *New approaches to simulation and the older operator*. *Advances in Transportation Studies an international Journal* 2006 Special Issue

ANCI-UPI; 2010. *La Sicurezza Stradale: Dal Quadro Europeo E Nazionale Alle Buone Pratiche Locali*. Osservatorio Nazionale delle Autonomie Locali sulla Sicurezza Stradale ANCI-UPI.

Anderson, I. B., Krammes, R. A.; 2000. *Speed reduction as a surrogate for accident experience at horizontal curves on rural two-lane highways*. *Transportation Research Record* 1701, Washington, D.C., pp. 86 – 94.

ATSSA, The American Traffic Safety Services Association, 2008. *Toward Zero Deaths: A Vision for Safer Roads in America*.

Azimi, M., Zhan, Y.; 2010. *Categorizing Freeway Flow Conditions Using Clustering Methods*. *Transportation Research Board Annual Meeting* 2010, Washington, D.C.

Bared, J.; 2008. *Two Low-Cost Safety Concepts for Two-Way STOP-Controlled, Rural Intersections on High-Speed Two-Lane, Two-Way Roadways*. Federal Highway Administration; FHWA-HRT-08-063.

Barua, U., Azad, A. K., Tay, R., 2010. *Fatality Risk of Intersection Crashes on Rural Undivided Highways of Alberta, Canada*. Annual meeting *Transportation Research Record* 89th, Washington, D.C..

Bennett, C. R., and R. C. M. Dunn. Driver Deceleration Behavior on a Freeway in New Zealand. Transportation Research Record 1510, Washington, D.C., 1995, pp. 70–74.

Berndt, H., Wender, S., Dietmayer, K.; 2007. *Driver Braking Behavior during Intersection Approaches and Implications for Warning Strategies for Driver Assistant Systems*. Intelligent Vehicles Symposium Istanbul, Turkey.

Blana E., 1999. Driving Simulators as Research and Training Tools for Improving Road Safety. the Driving Simulator Conference (DSC'99)

Blana, E., 1996. *A survey of driving research simulators around the world*. ITS Working Paper 481. Institute for Transport Studies. University of Leeds.

Blincoe, L., Seay, A., Zaloshnja, E., Miller, T., Romano, E., Luchter, S., Spicer, R., 2002. *Economic cost of motor vehicle crashes 2000*. NHTSA Technical Report, No. DOT HS 809 446.

Boonsiripant, S.; 2009. *Speed Profile Variation as a Surrogate Measure of Road Safety Based on GPS-Equipped Vehicle Data*. Tesi di dottorato in Ingegneria Civile, Georgia Institute of Technology.

Cafiso, S., Montella, A., Mauriello, F., Cavarra, R., 2008. *Valutazione dei fattori di rischio degli attraversamenti pedonali mediante analisi di sicurezza e analisi dei conflitti*. 17° Convegno SIIV, Enna.

Carlson, P. J., Andersen, C.; 2009. *The benefits of pavement markings: a renewed perspective based on recent and ongoing research*. Annual meeting Transportation Research Record 88th, Washington, D.C..

Carlson, P. J., Miles, J. D.; 2003. *Effectiveness of rumble strips on Texas highways: first year report*. Report No. FHWA/TX-05/0-4472-1

Cascetta, E., Giannattasio, P., Montella, A., Polidoro, R.; 1999. *Un approccio integrato per il miglioramento della sicurezza stradale: scenari, linee d'azione e proposte di ricerca*. Consiglio Nazionale delle Ricerche - Progetto Finalizzato Trasporti 2.

Charlton, S. G., 2007. *The role of attention in horizontal curves: A comparison of advance warning, delineation, and road marking treatments*. Accident Analysis and Prevention 39, 873-885.

Charlton, S.G.; 2004. *Perceptual and attentional effects on drivers' speed selection at curves*. Accident Analysis and Prevention N° 36, pp. 877–884.

Charlton, S.G.; 2006. *Speed change management for New Zealand roads*. Land Transport New Zealand Research Report 300.

COM, Commission for Global Road Safety; 2010. *Un decennio di iniziative per la sicurezza stradale*.

COM, Commissione delle Comunità Europee, 2001. Libro bianco - *La politica europea dei trasporti fino al 2010: il momento delle scelte*. COM(2001) 370.

COM, Commissione delle Comunità Europee; 2010. *Verso uno spazio europeo della sicurezza stradale: orientamenti 2011-2020 per la sicurezza stradale*. COM(2010) 389/3

Corkle, J., Giese, J. L., Marti, M.M.; 2001. *Investigating the effectiveness of traffic calming strategies on driver behavior, traffic flow and speed*. Minnesota Local Road Research Board, Minnesota Department of Transportation, MN/RC –2002-02

Corkle, J., Marti, M.M, Montebello, D.; 2001. Synthesis on the effectiveness of rumble strips. *Report No. MN/RC-2002-07*, Minnesota Department of Transportation, St. Paul.

De Waard, D.; 1996. The measurement of drivers' mental workload. PhD thesis, Traffic Research VSC, University of Groningen, The Netherlands.

Department for Transport; 2000 *Traffic calming in villages on major roads*. Traffic Advisory Leaflet 1/00, UK.

DETR, Department of the Environment, Transport and the Regions; 2000. *New Directions in Speed Management - A Review of Policy*.

Dulli, S., Furini, S., Peron, E.; 2009. *Data mining: Metodi e strategie*. Springer Verlag.

El-Shawarby, I., Rakha, H., Inman, V. W., Davis, G. W.; 2007. *Evaluation of Driver Deceleration Behavior at Signalized Intersections*. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, Volume 2018, pp. 29-35.

Elvik, R., Christensen, P., Amundsen, A., 2004. *Speed and road accidents: an evaluation of the Power Model*. TØI report 740/2004

ERSO, European Road Safety Observatory; 2006 *Speeding*. www.erso.eu

Evans, L., 1991. *Traffic safety and the driver*. Van Nostrand Reinhold, New York.

Everitt, B., Landau, S., Leese, M., 2001. *Cluster Analysis, 4th edition*. Edwin Arnold Ltd, London, United Kingdom.

Feenstra, P.J., Wentink, M., Roza, Z.C.; 2007. *Desdemona, an alternative moving base design for driving simulation*. The North America - Simulation Driving Conference, Iowa City.

Feng, G., Sheila, K., Jonathan, H., Thomas, D.; 2010. *Near Crashes as Crash Surrogate for Naturalistic Driving Studies*. Transportation Research Record, No. 2147, Washington, D.C., pp. 66 – 74.

Fildes, B.N., Jarvis, J.; 1994. *Perceptual countermeasures: literature review*. Research report CR4/94.

Fildes, B.N., Rumbold, G., Leening, A., 1991. *Speed behavior and drivers attitude to speeding*. Report 16.

Freeman, G. H., Halton, J. H.; 1951. *Note on an exact treatment of contingency, goodness-of-fit and other problems of significance*. Biometrika, Vol 38, pp. 141-149.

French, A., Poulsen, J., & Yu, A. 2002. *Multivariate Analysis of Variance (MANOVA)*

Fuller, R., 2005. *Towards a general theory of driver behaviour*. Accident Analysis and Prevention Vol. 37, pp. 461–472

Fuller, R., McHugh, C., Pender, S., 2008. *Task difficulty and risk in the determination of driver behavior*. Revue européenne de psychologie appliquée Vol. 58, pp. 13–21.

Galante, 2009. *Analisi di soluzioni per la sicurezza stradale con l'ausilio di un simulatore di guida*. Tesi Dottorato di Ricerca in Ingegneria dei Sistemi Idraulici di Trasporto e Territoriali

Gettman, D., Head, L. 2003. *Surrogate Safety Measures from Traffic Simulation Models*. Federal Highway Administration.

Godley, S. T., Triggs, T. J., Fildes, B. N., 2002. *Driving simulator validation for speed research*. Accident Analysis and Prevention Vol. 34, pp. 589–600.

Godley, S.T., 1999. *A driving simulator investigation of perceptual countermeasures to speeding*. Ph.D. Thesis, Monash University.

Gross, F., Jagannathan, R. Hughes, W.; 2009. *Two Low-Cost Safety Concepts for Two-Way, Stop-Controlled Intersections in Rural Areas*. Transportation Research Record, No. 1280, Washington, D.C., pp. 11–18.

Guo, F.; Klauer, Sheila; Hankey, Jonathan; Dingus, Thomas, 2010. *Using Near-Crashes as a Crash Surrogate for Naturalistic Driving Studies*. Transportation Research Board Annual Meeting, 89th, Washington, D.C..

Haas, R., Inman, V., Dixon, A., Warren, D.; 2004. *Use of Intelligent Transportation System Data to Determine Driver Deceleration and Acceleration Behavior*. Transportation Research Record, No. 1899, Washington, D.C., pp. 3–10.

Hallmark, S.L., Peterson, E., Fitzsimmons, E., Hawkins, N., Resler, J., Welch, T.; 2007. *Evaluation of Gateway and Low-Cost Traffic-Calming Treatments for Major Routes in Small Rural Communities*. CTRE Project 06-185, IHRB Project TR-523

Han, J., Kamber, M.; 2007. *Data Mining: Concepts and Techniques*. Ed. Morgan Kaufmann Publishers, Elsevier.

Harder, K. A., Bloomfield, J. R., Chihak, B.; 2002. *The Effects of In-Lane Rumble Strips on the Stopping Behavior of Attentive Drivers*. Center for Human Factors Systems Research and Design University of Minnesota, MN/RC-2002-11.

Harder, K. A., Bloomfield, J. R., Chihak, B.; 2006. *Stopping Behavior at Real-World Stop-Controlled Intersections with and without In-Lane Rumble Strips*. Center for Human Factors Systems Research and Design University of Minnesota, MN/RC-2006-42.

Harder, K. A., Bloomfield, J. R.; 2005. *The Effects of In-Lane Rumble Strips on the Stopping Behavior of Sleep-Deprived Drivers*. Center for Human Factors Systems Research and Design University of Minnesota, MN/RC-2005-16.

Hauer, E., 2009. *Speed and safety*. Transportation Research Record Vol. 2103, pp. 10-17.

Heinrich, H.W., 1959. *Industrial Accident Prevention*. McGraw-Hill.

Hirata, T., Yai, T., Takagawa, T., 2007. *Development of the Driving Simulation System MOVIC-T4 and Its Validation Using Field Driving Data*. TSINGHUA SCIENCE AND TECHNOLOGY, Vol.12, Number 2, pp. 141-150.

Katz, B. J., Molino, J. A., Rakha, H. A.; 2008^a. *Determination of effective design of peripheral transverse bars to reduce vehicle speeds on a controlled roadway*. Transportation Research Board, No. -1253

Katz, B. J., Molino, J. A., Rakha, H. A.; 2008^b. *Evaluation of design alternatives of peripheral transverse bars to reduce vehicle speeds and center line encroachment in a driving simulator*. Transportation Research Board, No. 1251.

Kaufman, L., Rousseeuw, P. J., 1990. *Finding Groups in Data: An Introduction to Cluster Analysis*. Applied Probability and Statistics, New York.

Kemeny, A.; 2008. *Virtual testing with driving simulators*. DSC 2008 Europe – Monaco.

Kennedy, J.V., Gorrel, r., Crinson, L., Wheeler, A., Elliot, M.; 2005. *Psychological Traffic Calming*. TRL Report TRL 641

Khang, T. F., Yap, V. B., 2010. *The Apportionment of Total Genetic Variation by Categorical Analysis of Variance*. *Statistical Applications in Genetics and Molecular Biology* 9,

Kloeden, C.N., McLean, A.J., Moore, V.M., Ponte, G., 1997. *Travelling speed and the risk of crash involvement*. Federal Office of Road Safety FORS, Volume 1: findings. Report No. CR 172. <http://casr.adelaide.edu.au/speed/vol-1.html#sec2>

Kloeden, C.N., Ponte, G., McLean, A.J., 2001. Travelling speed and the rate of crash involvement on rural roads. Road Accident Research Unit, Adelaide University, Report No. CR 204.

Laberge, J.C., Creaser, J.I., Rakauskas, M. E., Ward, N.J.; 2006. *Design of an intersection decision support (IDS) interface to reduce crashes at rural stop-controlled intersections*. Transportation Research Part C, No 14, pp. 39–56.

Lamberti, R., Abate, D., De Guglielmo, M.L., Dell'Acqua, G., Esposito, T., Galante, F., Mauriello, F., Montella, A., Perneti, M., 2009. *Perceptual Measures and Physical Devices for Traffic Calming Along a Rural Highway Crossing a Small Urban Community : Speed Behavior Evaluation in a Driving Simulator*. Annual meeting Transportation Research Record 88rd, Washington, D.C.

Lamberti, R., Abate, D., De Guglielmo, M.L., Dell'Acqua, G., Esposito, T., Galante, F., Mauriello, F., Montella, A., Perneti, M., 2009. *Moderazione del traffico lungo un tratto di strada extraurbana che attraversa un piccolo centro abitato*. *Strade & Autostrade* Vol. 2.

Lesliam, Q., Barrett, S., 2003. *Rural Road Links: A Review on Current Research Projects & Initiatives Aimed at Reducing Vehicle Crash Fatalities on Rural Roads*. University of California at Berkeley School of Public Health.

Levine, D. M., Krehbiel, T. C., Berenson, M. L.; 2006. *Statistica*. Ed. Apogeo.

Light, R. J., Margolin, B. H., 1971. *An Analysis of Variance for Categorical Data*. *Journal of the American Statistical Association* 66, No. 335, pp. 534-544.

Light, R. J., Margolin, B. H., 1974. *An Analysis of Variance for Categorical Data, II: Small Sample Comparisons with Chi Square and Other Competitors*. *Journal of the American Statistical Association* 69, No. 347, pp. 755-764.

Liu, C., Chen, C.L., 2009. *An Analysis of Speeding-Related Crashes: Definitions and the Effects of Road Environments*. Report No. DOT HS 811 090.

Macaulay, J., Gunatillake, T., Tziotis, M., Fildes, B., Corben, B., Newstead, S.;2004. *On-road trial of perceptual countermeasures*. Monash University Accident Research Centre, CR 219.

Macaulay, J., Tziotis, M., Fildes, B.;2002. *Evaluation of Perceptual Countermeasure Treatments*. Roads Safety Conference

Manganaro, A., 2008. *Definizione di una metodologia sperimentale per la valutazione della percezione del rischio e del comportamento di guida degli utenti stradali negli elementi curvilinei dei tracciati stradali in condizioni operative differenziate*. Tesi di Dottorato in ingegneria delle infrastrutture, delle strutture e dei trasporti, Trieste.

Maso, M.; 2008 . *Realizzazione di un Simulatore di Guida Motociclistico*. Tesi di Dottorato in ingegneria industriale motociclistica, Padova.

MASTER. *Managing Speed of Traffic on European Roads*. Final Research Report, 1998.

Meyer, E., 1999. *Application of Optical Speed Bars to Highway Work Zones*. Transportation Research Record, Vol. 1657., pp. 48-54.

Meyer, E., 2004. *Evaluation of Data from Test Application of Optical Speed Bars to Highway Work Zones*. Publication K-TRAN: KU-00-4, Kansas Department of Transportation, Topeka, KS.

Miles, J.D., Carlson, P.J., Pratt, M.P.; 2006. *Evaluation of Erratic Maneuvers Associated with Installation of Rumble Strips*. Transportation Research Record, No. 1973, Washington, D.C., pp. 73–79.

Miles, J.D., P.J. Carlson, M.P. Pratt, and T.D. Thompson, 2005. *Traffic Operational Impacts of Transverse, Centerline and Edge line Rumble Strips*. Report No. 0-4472-2.

Moore, a. F., 1987. *Evaluation of experimental rumble strips final report (1982-1986)*. Federal Highway Administration, Research Report No. 186, Research Project No. 81-2SS.

NADS, National Advanced Driving Simulator; 2010. *Portfolio*. <http://www.nads-sc.uiowa.edu>

NCHRP, National Cooperative Highway Research Program; 2008. *Guidelines for Selection of Speed Reduction Treatments at High-Speed Intersections*. Report 613.

NHTSA's National Center for Statistics and Analysis, 2007. *Traffic safety facts-Rural/Urban Comparison*. Washington.

Nilsson, G.; 2004. *Traffic safety dimensions and the power model to describe the effect of speed on safety*. Bulletin 221.

OECD, Organization for Economic Co-operation and Development; ECMT, European Conference of Ministers Of Transport; 2006. *Speed Management*.

Oxley, J. ;Corben, B.; Koppel, S.; Fildes, B.; Jacques, N.; Symmons, M.; Johnston, I.; 2004. *Cost-effective infrastructure measures on rural roads*. Monash University Accident Research Centre Reports, no. 217.

Peli, E, Bowers, A.R., Mandel, A.J., Higgins, K., Goldstein, R.B., Bobrow, L., *Design for Simulator Performance Evaluations of Driving with Vision Impairments and Visual Aids*. Transportation Research Record, Vol.1937, pp.128–135.

Perkins, D. D. , Bowman, B. L. , 1983. *Effectiveness Evaluation by Using Non accident Measures of Effectiveness*. Transportation Research Record Vol. 905, pp. 138-142.

Piccolo, D., Vitale, C.; 1984. *Statistica*. Ed. Il Mulino, Milano.

Piccolo, D.; 2000. *Statistica*. Ed. Il Mulino, Bologna.

Preston, H. , Storm, R. , Donath, M. , Shankwitz, C. , Gute, M. , Starr, R. , 2007. *Rural Intersection Crashes: Identifying Intersections for Intersection Decision Support (IDS)*. Transportation Research Board Annual Meeting.

Rahmi, A., Besley, M.; 2002. *Acceleration and deceleration models*. 23rd Conference of Australian Institutes of Transport Research.

RESCoop, Ricerche Economiche Statistiche; 2010. *Schede di analisi multivariata: La cluster analysis*. www.rescoop.com

Rosey, F. , Auberlet, J. M. , Bertrand, J. , Plainchault, P. , 2008. *Impact of perceptual treatments on lateral control during driving on crest vertical curves: A driving simulator study*. Accident Analysis and Prevention Vol. 40, pp. 1513–1523.

Rothenberg, H. , Benavente, M. , Swift, J. ;2004. Report on Passive Speed Control Devices. Number 04-G020-001.

Rothenberg, H., Benavente, M., Swift, J.; 2004. Report on Passive Speed Control Device. Massachusetts Traffic Safety Research Program. Report No 04-G020-001.

Sahami, S., Jenkins, J. M., Sayed, T.;2009. *A methodology to analyze adaptation in driving simulators*. Transportation Research Board Annual Meeting 88thAnnual meeting.

Sahami, S., Sayed, T.;2010. *An insight into steering adaptation patterns in driving simulator*. Transportation Research Board 89th Annual Meeting.

Saluäär, D.; 2000. *Driving Simulators as a Mean of Studying the Interaction Between driver and Vehicle*. Internal Volvo Report ER-520034.

Shinar, D. , Ronen, A. , 2007. *Validation of Speed Perception and Production in STISIM Single Screen Simulator*. International Conference Road Safety and Simulation RSS2007 Rome, Italy.

Singh, B., 1993. *On the Analysis of Variance Method for Nominal Data*. The Indian Journal of Statistics 55, No. 1, pp. 40-47.

Singh, B., 1996. *On Catanova Method for Analysis of Two-Way Classified Nominal Data*. The Indian Journal of Statistics 58, No. 3, pp. 379-388.

Srinivasan, R. , Parker, M. , Harkey, D. , Tharpe, D. , Sumner, R. , 2006. *Expert System for Recommending Speed Limits in Speed Zones-Final Report*. Project No. 3-67 NHTSA's National Center for Statistics and Analysis

Stevens, J. P.,2002. *Applied multivariate statistics for the social sciences*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.

Straus, S.; 2005. *New, Improved, Comprehensive and Automated Drivers License Test and Vision Screening System*. Arizona Department of Transportation and Federal Highway Administration, FHWA-AZ-04-559

Stuster, J. , Coffman, Z. , Warren, D. , 1998. *Synthesis of Safety Research Related to Speed and Speed Management*. FHWA-RD-98-154.

Sun, X.; Yang, Z.; 2008. *Generalized McNemar's Test for Homogeneity of the Marginal Distributions*. SAS Global Forum.

Svensson, A. , Hydén, C. , 2006. *Estimating the severity of safety related behaviour*. Accident Analysis & Prevention, Volume38, Issue2, pp. 379-385.

Tarko, A. P., 2009. *Modeling drivers' speed selection as a trade-off behavior*. Accident Analysis and Prevention Vol. 41, pp. 608–616

Tarko, A. P., Davis, G., 2009. *Surrogate measures of safety* . White Paper - 88th Annual TRB Meeting.

Thilagamani, S., Shanthi, N.; 2010. *Literature survey on enhancing cluster quality*. International Journal on Computer Science and Engineering, Vol. 02, No. 06, 2010.

Thompson, H. T. , Perkins, D. D. , 1983. *Surrogate Measures for Accident Experience at rural Isolated Horizontal Curves*. Transportation Research Record Vol. 905, pp. 142-152.

Thompson, T. D. , Burris, M. W. , Carlson, P. J.; 2006. *Speed Changes Due to Transverse Rumble Strips on Approaches to High-Speed Stop-Controlled Intersections*. Transportation Research Record, No. 1973, Washington, D. C. , 2006, pp. 1–9.

Toledo, T, Musicant, O. , Lotan, T. , 2008. *In-vehicle data recorders for monitoring and feedback on drivers' behavior*. Transportation Research Part C Vol. 16, pp. 320–331.

Törnös, J. , 1998. Driving behaviour in area land a simulated road tunnel—a validation study. *Accid. Anal. And Prev.* , Vol. 30, Vol. 4, pp. 497–503.

TRB, Transportation Research Board; 1998. *Managing Speed-Review of Current Practice for Setting and Enforcing Speed Limits*. Special Report 254

Van der Horst, R., De Ridder, S.; 2007 . *The Influence of Roadside Infrastructure on Driving Behavior: A Driving Simulator Study*. Transportation Research Record, No. 2018, Washington, D. C. , pp. 36-44.

Voigt, A. P. , Kuchangi, S. P; 2009. *Evaluation of Chevron Markings on Freeway-to-Freeway Connector Ramps in Texas*. TRB, 09-1941

Wang, J. , Dixon, K. K. , Li, H. , Ogle, J. ; 2005. *Normal Deceleration Behavior of Passenger Vehicles at Stop Sign–Controlled Intersections Evaluated with In-Vehicle Global Positioning System Data*. Transportation Research Record No. 1937, Washington, D. C. , pp. 120–127.

Wang, J. , Dixon, K. K. , Li, H. , Ogle, J.; 2004. *Normal Acceleration Behavior of Passenger Vehicles Starting from Rest at All-Way Stop-Controlled Intersections*. Transportation Research Record, No. 1883, Washington, D. C. , pp. 158–166.

Wang, Y. , 2006. *Operating Speed Models for Low Speed Urban Environments Based on in-Vehicle Gps Dat*. Tesi di dottorato in Ingegneria Civile. Georgia Institute of Technology

Wang, Y. , Zhang, W. , Zhang, E. D. , Zeng, H. , Leu, M. C. , 2006. *Development of A Low-cost: Driving Simulation System for Safety Study and Training*. In: Proceedings of Driving Simulation Conference Asia/Pacific2006, Tsukuba, Japan

Wang, Y. , Zhang, W. , Zhang, E. D. , Zeng, H. , Leu, M. C. . , 2007. *Simulators for Driving Safety Study–A Literature Review*. Virtual Reality, HCI2007, LNCS4563, pp. 584–593.

Washington, S. P., Matthew G. Karlaftis, M. G., Mannering, F. L.; 2003. *Statistical and Econometric Methods for Transportation Data Analysis*. Ed. Chapman & Hall/CRC.

Wegman, F. ;Goldenbeld, C. ;2006. *Speed management: enforcement and new technologies*. Report documentation R-2006-5. SWOV Institute for Road Safety Research, The Netherlands

Weller, G. , Schlag, B. , Gatti, G. , Jorna, R. ; van de Leur, M. , 2006. *Human Factors in Road Design. State of the art and empirical evidence*. RIPCORD–ISEREST

WHO, World Health Organization, 2004. *World report on road traffic injury prevention*. Ginevra

WHO, World Health Organization, 2008. *Speed management: a road safety manual for decision-makers and practitioners*. Ginevra

WHO, World Health Organization, 2010. *Data systems A road safety manual for decision-makers and practitioners*. Ginevra.

Wooldridge, M. D. , Fitzpatrick, K. , DouglasW. Harwood, D. W. , Potts, I. B. , Elefteriadou, L. , TorbicD. J. , 2003. *Geometric Design Consistency on High-Speed Rural Two-Lane Roadways*. Transportation Research Board, NCHRP REPORT 502.

Yan, X. , Abdel-Aty, M. , Radwan, E. , Wang, X. , Chilakapati, P. , 2008. *Validating a driving simulator using surrogate safety measures*. Accident Analysis and Prevention N°40, pp. 274–288

Zani, S., Cerioli, A., 2007. *Analisi dei dati e data mining per le decisioni aziendali*. Ed. Giuffrè.

Zazzaro, G; 2009. *Data Mining: esplorando le miniere alla ricerca della conoscenza nascosta. Clustering con l’algoritmo k-means*. www.matematicamente.it; N° 9

APPENDICE A1: Questionario selezione utenti

QUESTIONARIO SELEZIONE UTENTI

(a cura dello sperimentatore)

OGGETTO: **Sperimentazione con Simulatore Dinamico di Guida.**

Nome: Cognome:

Sesso: Uomo Donna

1. Soffre di mal d'auto? (o mal di mare, etc.?)

MAI

TALVOLTA

SPESSO

[Se la risposta è "TALVOLTA" o "SPESSO", il soggetto viene informato che:

"Uno dei potenziali rischi di uno studio al simulatore di guida è che alcune persone soffrono di "malessere da simulatore". Il malessere da simulatore è simile al malessere da movimento che alcune persone sperimentano quando viaggiano su di un veicolo. Poiché lei spesso soffre di tale male, c'è la possibilità che possa soffrire di malessere da simulatore. Per evitare che ciò accada, dobbiamo chiederle di non partecipare a questo studio. La ringraziamo per il suo interesse.]

2. Soffre di emicranie o di cefalea di tipo intensivo? SI

NO

[Se la risposta è "SI", il soggetto viene informato che:

"Uno dei potenziali rischi di uno studio al simulatore di guida è che alcune persone soffrono di "malessere da simulatore". Il malessere da simulatore è simile al malessere da movimento che alcune persone sperimentano quando viaggiano su di un veicolo. Alcune ricerche hanno dimostrato che chi soffre di emicranie o di cefalea di tipo intensivo può essere maggiormente suscettibili al malessere da simulatore. Poiché lei spesso soffre di tali mali, c'è la possibilità che possa soffrire di malessere da simulatore. Per evitare che ciò accada, dobbiamo chiederle di non partecipare a questo studio. La ringraziamo per il suo interesse."]

3. Soffre di problemi al cuore?

SI

NO

[Se la risposta è "SI", il soggetto viene informato che: "A causa dei suoi problemi di cuore, dobbiamo chiederle di non partecipare a questo studio. La ringraziamo per il suo interesse."]

FORMULARIO BIOGRAFICO

OGGETTO: **Sperimentazione con Simulatore Dinamico di Guida.**

Scrivere in stampatello, inserire una crocetta o annerire le caselle corrispondenti alla risposta prescelta.

Nome:.....Cognome:.....

Indirizzo:

Recapito telefonico:..... E-mail:

Sesso: Uomo Donna

Età:

Grado d'istruzione raggiunto:

Occupazione:.....

Data rilascio patente di guida:.....

1. Quanti chilometri percorre approssimativamente in un anno?

< 4.000 4.000 - 8.000 8.000 - 12.000 > 12.000

2. Guida prevalentemente?

in città su strade extraurbane su autostrada su tutti i tipi di strada

3. Che tipo di veicolo guida correntemente?

Anno:Marca:Modello:

4. Quanti incidenti ha avuto negli ultimi tre anni?

- nessuno uno due - tre > tre

5. Se ha avuto incidenti, quanti se ne sono verificati in ambito extraurbano?

- nessuno < 50% >50% tutti

6. Negli ultimi tre anni, per quante infrazioni al codice stradale, escluse quelle relative alla sosta, è stato multato?

- nessuna < tre tre - sei > sei

7. Indichi, per favore, i principali tipi di infrazioni per le quali è stato multato:

.....
.....
.....

(Firma)

Napoli, _____

NUMERO DI RIFERIMENTO:
(a cura dello sperimentatore)

MODULO DI CONSENSO INFORMATO

OGGETTO: Prove di Simulazione effettuate tramite Simulatore dinamico di Guida.

Dopo aver riempito il formulario di screening medico e quello biografico, verrà accompagnato al simulatore di guida, che verrà utilizzato per questo studio. Avrà 8-10 minuti per familiarizzare con il veicolo, i suoi comandi e il display.

Terminata tale fase, avrà raggiunto un grado di confidenza tale da poter condurre il veicolo in modo sicuro. A questo punto, previo accordo dello sperimentatore, avrà inizio l'esperimento.

Il test consiste, essenzialmente, nel guidare il simulatore in diversi scenari su strada extraurbana, rispettando il codice della strada e conducendo nella maniera più naturale possibile. Durante le varie fasi dell'esperimento, uno sperimentatore sarà sempre in contatto audio-video con lei, per fornirle tutte le indicazioni e le informazioni necessarie al corretto svolgimento della prova.

Al termine del test, **attenderà in cabina con la cintura allacciata e le portiere chiuse l'arrivo dello sperimentatore** o di un suo incaricato che avrà cura di **accompagnarla nella discesa** dalla cabina del simulatore.

Durante e alla fine dei test, è possibile che le venga richiesto di compilare dei questionari per definire le sue sensazioni durante la guida del veicolo.

Rischi

La guida al simulatore potrebbe comportare dei rischi, seppure limitati. I rischi si riducono alla sola remota possibilità di **malessere da simulatore** (mal di testa, nausea, vomito). Qualora tale possibilità si verificasse, la **preghiamo di farlo tempestivamente presente allo sperimentatore, che provvederà ad interrompere immediatamente la prova.**

In ogni caso, la prova verrà definitivamente interrotta, qualora Lei o lo sperimentatore riteniate che continuare la sessione possa mettere in pericolo Lei o l'equipaggiamento.

Libertà di ritirarsi

Lei è libero/a di ritirarsi, in qualsiasi fase dell'esperimento, senza alcuna penalità. Comunque, ci potrebbero essere alcune circostanze per le quali lo sperimentatore potrebbe stabilire di interrompere la sua partecipazione a questo studio. Queste includono, a titolo esemplificativo e non esaustivo, imprevisti problemi di salute e possibili pericoli per lei, lo sperimentatore e l'equipaggiamento.

Responsabilità del partecipante

Io sottoscritto dichiaro di partecipare volontariamente a questo studio ed, inoltre, dichiaro di impegnarmi a rispettare le seguenti norme:

- Rendere noto allo sperimentatore in qualunque istante il desiderio di ritirare la mia partecipazione;
- Condurre il veicolo, utilizzato per l'esperimento, in maniera sicura e responsabile;
- Seguire scrupolosamente le indicazioni che lo sperimentatore mi fornirà durante l'esperimento.
- **Non aprire le portiere della cabina e mantenere allacciate le cinture di sicurezza durante ed alla fine della sperimentazione a meno di una diversa esplicita indicazione dello sperimentatore o di grave pericolo¹**

TEST S.c.a.r.l. non assume alcuna responsabilità per i danni che il Soggetto dovesse procurarsi.

(Firma Soggetto)

Accordo del partecipante

Io sottoscritto accetto di partecipare al Progetto La modalità di svolgimento dei test mi è già stata illustrata e ho letto e compreso il Modulo di Consenso Informato.

Sono consapevole che la mia partecipazione è volontaria, che posso scegliere di non partecipare alla sperimentazione e che posso ritirare la mia partecipazione a qualsiasi stadio della sperimentazione. Sono a conoscenza di poter essere soggetto a videoregistrazione, a scopo di ricerca, durante varie fasi dell'esperimento. Sono stato, inoltre, informato della possibilità di malessere (senso di nausea, mal di testa, vomito, etc.) da simulatore. Qualora, si verificasse tale situazione, mi impegno a farlo presente, in maniera tempestiva, allo sperimentatore che interromperà istantaneamente i test.

Nel firmare il presente modulo, certifico di possedere i seguenti requisiti minimi per la partecipazione ad una ricerca al simulatore:

- Se donna, non sono incinta.

¹ a titolo esemplificativo e non esaustivo si indica quale ipotesi di grave pericolo il verificarsi di un incendio

- Non soffro di problemi al cuore.
- Non soffro di emicranie.
- Non soffro di epilessia.
- Non mi trovo in una condizione o assumo medicinali che mi possano predisporre alla nausea, alla visione sfuocata o a sonnolenza.

Napoli,

(ID Soggetto)

(Firma Soggetto)

(Firma sperimentatore)

Informativa Privacy

Ai sensi dell'art. 13 del Decreto Legislativo 30 giugno 2003, n. 196 (per brevità "D.Lgs. n. 196/03") ed in relazione ai Suoi dati personali (anche eventuali sensibili) che il Dipartimento di Ingegneria dei Trasporti dell'Università degli Studi di Napoli Federico II intende trattare, La informiamo di quanto segue:

1 I Suoi dati personali (anche eventuali sensibili) verranno trattati dal personale incaricato ai sensi di legge per la finalità esclusiva di consentire l'esperimento del progetto di ricerca del Dipartimento di Ingegneria dei Trasporti dell'Università degli Studi di Napoli Federico II (qui di seguito denominato "Il Progetto").

2 Il trattamento potrà effettuarsi con o senza l'ausilio di mezzi elettronici o comunque automatizzati e comprenderà, nel rispetto dei limiti e delle condizioni posti dall'art. 11 del D.Lgs. n. 196/03, tutte le operazioni o complesso di operazioni previste dall'art. 4, comma primo, lettera a), del D.Lgs. n. 196/03 e necessarie al trattamento in questione, ivi inclusa la comunicazione nei confronti dei Soggetti di cui al successivo punto 4.

3 Il conferimento dei dati ha natura facoltativa; l'eventuale parziale o totale mancato conferimento dei dati, comporterà la totale impossibilità di partecipazione al Progetto.

4 Oltre agli Incaricati ed ai Responsabili del trattamento, i dati conferiti possono essere comunicati a: (i) eventuali soggetti qualificati che forniscono al Titolare prestazioni o servizi strumentali alle finalità sopra indicate; (ii) qualsiasi altro soggetto cui i dati devono essere comunicati in base ad un'espressa disposizione di legge. I dati personali non saranno oggetto di diffusione. La conservazione dei dati non sarà superiore al tempo necessario agli scopi per i quali essi sono stati raccolti e trattati.

5 Ogni informazione da Lei fornita è da considerarsi confidenziale e nessuna informazione che potrebbe condurre alla Sua identificazione, quale partecipante all'esperienza, verrà divulgata tramite i rapporti sul progetto, o sotto qualsiasi altra forma.

6 Il Titolare del trattamento dei dati è la TEST S.c.a.r.l. - TECHNOLOGY ENVIRONMENT SAFETY TRANSPORT- con sede in via Nuova Agnano, 11 - 80125 Napoli, P.IVA 05326831210. Il *Prof. Ing. Vincenzo Torrieri* è il responsabile *pro-tempore* della funzione "Privacy o Security", a cui potranno essere indirizzate eventuali richieste ex art. 7 del D.Lgs. n. 196/03. L'Interessato potrà conoscere l'elenco completo ed aggiornato di tutti i responsabili nominati dalla nostra società inviando una richiesta scritta indirizzata al responsabile *pro-tempore* sopra indicato/al Titolare.

Preso atto dell'informativa di cui sopra, presto il libero consenso affinché il Titolare proceda ai trattamenti dei miei dati personali (anche eventuali sensibili) e dichiaro di essere stato reso edotto dei diritti di cui all'art. 7 del D.Lgs. n. 196/03, come risultanti dalla presente scheda informativa.

[Luogo e data]

Firma
dell'Interessato

* * *

Art. 7 del D. Lgs. n. 196/2003 - Diritto di accesso ai dati personali

1. *L'interessato ha diritto di ottenere la conferma dell'esistenza o meno di dati personali che lo riguardano, anche se non ancora registrati, e la loro comunicazione in forma intelligibile.*

2. *L'interessato ha diritto di ottenere l'indicazione:*

a) *dell'origine dei dati personali;*

b) *delle finalità e modalità del trattamento;*

c) *della logica applicata in caso di trattamento effettuato con l'ausilio di strumenti elettronici;*

d) *degli estremi identificativi del titolare, dei responsabili e del rappresentante designato ai sensi dell'art. 5, comma 2;*

e) *dei soggetti o delle categorie di soggetti ai quali i dati personali possono essere comunicati o che possono venirne a conoscenza in qualità di rappresentante designato nel territorio dello Stato, di responsabili o incaricati.*

3. *L'interessato ha diritto di ottenere:*

a) *l'aggiornamento, la rettificazione ovvero, quando vi ha interesse, l'integrazione dei dati;*

b) *la cancellazione, la trasformazione in forma anonima o il blocco dei dati trattati in violazione di legge, compresi quelli di cui non è necessaria la conservazione in relazione agli scopi per i quali i dati sono stati raccolti o successivamente trattati;*

c) *l'attestazione che le operazioni di cui alle lettere a) e b) sono state portate a conoscenza, anche per quanto riguarda il loro contenuto, di coloro ai quali i dati sono stati comunicati o diffusi, eccettuato il caso in cui tale adempimento si rivela impossibile o comporta un impiego di mezzi manifestamente sproporzionato rispetto al diritto tutelato.*

4. *L'interessato ha diritto di opporsi in tutto o in parte:*

a) *per motivi legittimi al trattamento dei dati personali che lo riguardano, ancorché pertinenti allo scopo della raccolta;*

b) *al trattamento di dati personali che lo riguardano a fini di invio di materiale pubblicitario o di vendita diretta o per il compimento di ricerche di mercato o di comunicazione commerciale.*

APPENDICE A2: Questionario Post - Pretest

Questionario Post-Pretest

OGGETTO: **Sperimentazione con Simulatore Dinamico di Guida.**

ID Soggetto :.....

ID Scenario :.....

Scrivere in stampatello, inserire una crocetta o annerire le caselle corrispondenti alla risposta prescelta.

1. Ha potuto condurre il simulatore:

- Senza difficoltà
- Con qualche difficoltà
- Con molte difficoltà

Precisare perché ed in quale situazione:

.....
.....
.....
.....

2. È riuscito a mantenere una velocità stabile in rettilineo:

- Senza difficoltà
- Con qualche difficoltà
- Con molte difficoltà

Precisare perché ed in quale situazione:

.....
.....
.....
.....

in curva:

- Senza difficoltà
- Con qualche difficoltà
- Con molte difficoltà

Precisare perché ed in quale situazione:

.....

3. È riuscito/a a mantenere la traiettoria del veicolo sulla corsia di destra in rettilineo:

- Senza difficoltà
- Con qualche difficoltà
- Con molte difficoltà

Precisare perché ed in quale situazione:

.....

in curva:

- Senza difficoltà
- Con qualche difficoltà
- Con molte difficoltà

Precisare perché ed in quale situazione:

.....

4. Ha dovuto frenare bruscamente:

- Spesso
- Talvolta
- Raramente
- Mai

Perché:.....

5. Quali sono le sue impressioni sul cambio?

.....

6. Dia un suo giudizio sul realismo del simulatore, durante la sua esperienza di guida (1 = non realistico — 7 = molto realistico):

- Velocità
 - Accelerazione longitudinale
 - Accelerazione trasversale
 - Frenata
 - Cambio
 - Volante
 - Rumore del motore
 - Sensazione stradale
 - Disegno della strada

7. Ha percepito delle sensazioni sgradevoli o non confortevoli durante la sua esperienza di guida sul simulatore?

- Capogiro
- Mal di testa
- Nausea
- Stanchezza agli occhi
- Sensazione di perdita di controllo del veicolo

8. Ha interrotto la sessione di guida a causa di un malessere?

- Si No

Se si, precisare:

.....
.....
.....
.....

9. Quali sono le vostre impressioni sul simulatore di guida?

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

Napoli, _____

APPENDICE A3: Questionario Post-Test

Questionario Post-Test

OGGETTO: **Sperimentazione con Simulatore Dinamico di Guida.**

ID Soggetto :.....

ID Scenario :.....

Scrivere in stampatello, inserire una crocetta o annerire le caselle corrispondenti alla risposta prescelta.

1. Ha guidato nella maniera più abituale possibile:

Si No

2. Se no, ne indichi il motivo:

.....
.....
.....

3. Indichi, da 0 (completamente irrealistico) a 10 (reale), il grado di realismo generale dello scenario di guida testato. Giustifichi la sua risposta?

.....
.....
.....

4. Ha notato dei particolari poco realistici o ha avuto sensazioni sgradevoli durante la guida?

.....
.....
.....

5. Dia un suo giudizio sul realismo del simulatore, durante la sua esperienza di guida (1 =

non realistico — 7 = molto realistico):

- Sensazione stradale
- Disegno della strada
- Circondario (terreno, case, alberi, etc)
- Segnaletica orizzontale
- Segnaletica verticale
- Altri veicoli

6. Ha percepito delle sensazioni sgradevoli o non confortevoli durante la sua esperienza di guida sul simulatore?

- Capogiro
- Mal di testa
- Nausea
- Stanchezza agli occhi
- Sensazione di perdita di controllo del veicolo

7. Ha interrotto la sessione di guida a causa di un malessere?

- Si No

Se si, precisare:

.....

8. Quali sono le sue impressioni generali sulla situazione di guida testata?

.....

Da compilare solo se ha guidato in uno scenario progettuale (chiedere allo sperimentatore)

A. Ha individuato durante la guida un segnaletica particolare:

- Si No

Se si, descrivere la segnaletica:

.....
.....
.....
.....
.....

In caso di risposta negativa, può considerare terminato il questionario.

B. Quale effetto ha avuto tale segnaletica sulla sua guida?

- Nessuno
- Ho ridotto la velocità
- Non saprei
- Mi sono spostato verso centro strada
- Altro:

.....

Napoli, _____

APPENDICE B: Dati utenti

SINTESI DELLE SCHEDE COMPILATE DAGLI UTENTI (Selezione, Post Pre-test, Post test)

ID Utente sperimentazione	ID Utente analisi dati	Data	Esito
01	01	22/06/2009	VALIDO
02	02	22/06/2009	VALIDO
03	03	22/06/2009	VALIDO
04	-	23/06/2009	NON VALIDO
05	04	23/06/2009	VALIDO
06	05	23/06/2009	VALIDO
07	06	24/06/2009	VALIDO
08	-	24/06/2009	NON VALIDO
09	07	24/06/2009	VALIDO
10	08	24/06/2009	VALIDO
11	09	24/06/2009	VALIDO
12	10	24/06/2009	VALIDO
13	-	24/06/2009	NON VALIDO
14	-	01/07/2009	NON VALIDO
15	11	01/07/2009	VALIDO
16	-	01/07/2009	NON VALIDO
17	12	01/07/2009	VALIDO
18	13	02/07/2009	VALIDO
19	14	02/07/2009	VALIDO
20	15	02/07/2009	VALIDO
21	16	02/07/2009	VALIDO
22	-	02/07/2009	NON VALIDO
23	-	02/07/2009	NON VALIDO
24	17	02/07/2009	VALIDO
25	18	02/07/2009	VALIDO
26	19	03/07/2009	VALIDO
27	20	03/07/2009	VALIDO
28	21	03/07/2009	VALIDO
29	22	03/07/2009	VALIDO
30	23	03/07/2009	VALIDO

Utente 01

UTENTE 01 QUESTIONARIO SELEZIONE UTENTI	
Nome	
Indirizzo	
Tel	
E-mail	
Sesso	Donna
Età	52
Istruzione	Diploma
Professione	Casalinga
Data rilascio patente	27/07/1978
Chilometri annui percorsi	> 12000
Ambito di guida prevalente	Su tutti i tipi di strada
Incidenti nel triennio	1
Incidenti nel triennio in ambito extraurbano	Nessuno
Numero di infrazioni nel triennio	Tre - sei
Tipo di infrazioni nel triennio	Eccesso limite di velocità passaggio con il rosso
Data	22/06/2009
UTENTE 01 QUESTIONARIO POST-PRETEST	
Difficoltà di guida	Con qualche difficoltà
Tipo di problema	Difficoltà con il cambio automatico
Difficoltà nel mantenere una velocità stabile in rettilineo	
Tipo di problema	
Difficoltà nel mantenere una velocità stabile in curva	Senza difficoltà
Tipo di problema	
Difficoltà nel mantenere la traiettoria di guida in rettilineo	Senza difficoltà
Tipo di problema	
Difficoltà nel mantenere la traiettoria di guida in curva	Senza difficoltà
Tipo di problema	
Frequenza delle frenate brusche	Talvolta
Causa delle frenate brusche	
Impressioni sul cambio	Non abituato
Realismo del simulatore (1-7)	
Velocità	7
Accelerazione longitudinale	5
Accelerazione trasversale	4
Frenata	7
Cambio	1
Volante	5
Rumore del motore	4
Sensazione stradale	7
Progetto della strada	7

Sensazioni sgradevoli	No
Interruzione guida	No
Motivo dell'interruzione	
Impressioni sul simulatore	Molto realistico
UTENTE 01 QUESTIONARIO POST-TEST	
Naturalzza della guida	Si
Tipo di problema	
Realismo dello scenario di guida (1-10)	8
Commento	Monotono
Presenza di particolari poco realistici	No
Realismo del simulatore (1-7)	
Sensazione stradale	7
Progetto della strada	6
Ambiente circostante (terreno, case, alberi, ecc.)	5
Segnaletica orizzontale	5
Segnaletica verticale	5
Altri veicoli	7
Sensazioni sgradevoli	
Interruzione guida	No
Motivo dell'interruzione	
Impressioni sul simulatore	Buone
Individuazione di segnaletica particolare	No
Descrizione della segnaletica	
Effetto della segnaletica sulla guida	

Utente 02

UTENTE 02 QUESTIONARIO SELEZIONE UTENTI	
Nome	
Indirizzo	
Tel	
E-mail	
Sesso	Donna
Età	49
Istruzione	Diploma
Professione	Messo notificatore
Data rilascio patente	20/02/1980
Chilometri annui percorsi	8000-12000
Ambito di guida prevalente	Su tutti i tipi di strada
Incidenti nel triennio	Uno
Incidenti nel triennio in ambito extraurbano	Nessuno
Numero di infrazioni nel triennio	Nessuna
Tipo di infrazioni nel triennio	
Data	22/06/2009

UTENTE 02 QUESTIONARIO POST-PRETEST	
Difficoltà di guida	Senza difficoltà
Tipo di problema	
Difficoltà nel mantenere una velocità stabile in rettilineo	Senza difficoltà
Tipo di problema	
Difficoltà nel mantenere una velocità stabile in curva	Senza difficoltà
Tipo di problema	
Difficoltà nel mantenere la traiettoria di guida in rettilineo	Senza difficoltà
Tipo di problema	
Difficoltà nel mantenere la traiettoria di guida in curva	Senza difficoltà
Tipo di problema	
Frequenza delle frenate brusche	Mai
Causa delle frenate brusche	
Impressioni sul cambio	Buone
Realismo del simulatore (1-7)	
Velocità	6
Accelerazione longitudinale	5
Accelerazione trasversale	5
Frenata	7
Cambio	5
Volante	7
Rumore del motore	2
Sensazione stradale	7
Progetto della strada	7
Sensazioni sgradevoli	No
Interruzione guida	No
Motivo dell'interruzione	
Impressioni sul simulatore	Ok
UTENTE 02 QUESTIONARIO POST-TEST	
Naturalità della guida	Si
Tipo di problema	
Realismo dello scenario di guida (1-10)	7
Commento	
Presenza di particolari poco realistici	No
Realismo del simulatore (1-7)	
Sensazione stradale	6
Progetto della strada	6
Ambiente circostante (terreno, case, alberi, ecc.)	6
Segnaletica orizzontale	7
Segnaletica verticale	7
Altri veicoli	7
Sensazioni sgradevoli	No
Interruzione guida	No
Motivo dell'interruzione	

Impressioni sul simulatore	Strada reale
Individuazione di segnaletica particolare	Si
Descrizione della segnaletica	Rallentatori ottici e sonori
Effetto della segnaletica sulla guida	

Utente 03

UTENTE 03 QUESTIONARIO SELEZIONE UTENTI	
Nome	
Indirizzo	
Tel	
E-mail	
Sesso	Uomo
Età	25
Istruzione	Laurea
Professione	Studente
Data rilascio patente	03/09/2003
Chilometri annui percorsi	4000-8000
Ambito di guida prevalente	Su tutti i tipi di strada
Incidenti nel triennio	Uno
Incidenti nel triennio in ambito extraurbano	Nessuno
Numero di infrazioni nel triennio	Nessuna
Tipo di infrazioni nel triennio	
Data	22/06/2009
UTENTE 03 QUESTIONARIO POST-PRETEST	
Difficoltà di guida	Senza difficoltà
Tipo di problema	
Difficoltà nel mantenere una velocità stabile in rettilineo	Senza difficoltà
Tipo di problema	
Difficoltà nel mantenere una velocità stabile in curva	Senza difficoltà
Tipo di problema	
Difficoltà nel mantenere la traiettoria di guida in rettilineo	Senza difficoltà
Tipo di problema	
Difficoltà nel mantenere la traiettoria di guida in curva	Senza difficoltà
Tipo di problema	
Frequenza delle frenate brusche	Mai
Causa delle frenate brusche	
Impressioni sul cambio	Non abituato
Realismo del simulatore (1-7)	
Velocità	7
Accelerazione longitudinale	6
Accelerazione trasversale	6
Frenata	7
Cambio	5

Volante	5
Rumore del motore	7
Sensazione stradale	7
Progetto della strada	7
Sensazioni sgradevoli	Stanchezza agli occhi
Interruzione guida	No
Motivo dell'interruzione	
Impressioni sul simulatore	Conforme alla realtà
UTENTE 03 QUESTIONARIO POST-TEST	
Naturalzza della guida	Si
Tipo di problema	
Realismo dello scenario di guida (1-10)	9
Commento	
Presenza di particolari poco realistici	No
Realismo del simulatore (1-7)	
Sensazione stradale	7
Progetto della strada	7
Ambiente circostante (terreno, case, alberi, ecc.)	5
Segnaletica orizzontale	7
Segnaletica verticale	5
Altri veicoli	7
Sensazioni sgradevoli	No
Interruzione guida	No
Motivo dell'interruzione	
Impressioni sul simulatore	
Individuazione di segnaletica particolare	Si
Descrizione della segnaletica	Pavimentazione colorata
Effetto della segnaletica sulla guida	Ho ridotto la velocità

Utente 04

UTENTE 04 QUESTIONARIO SELEZIONE UTENTI	
Nome	
Indirizzo	
Tel	
E-mail	
Sesso	Uomo
Età	28
Istruzione	Laurea triennale
Professione	Studente
Data rilascio patente	27/12/1999
Chilometri annui percorsi	4000-8000
Ambito di guida prevalente	Su tutti i tipi di strada
Incidenti nel triennio	Uno

Incidenti nel triennio in ambito extraurbano	Nessuno
Numero di infrazioni nel triennio	< Tre
Tipo di infrazioni nel triennio	Eccesso di velocità
Data	23/06/2009
UTENTE 04 QUESTIONARIO POST-PRETEST	
Difficoltà di guida	Senza difficoltà
Tipo di problema	
Difficoltà nel mantenere una velocità stabile in rettilineo	Senza difficoltà
Tipo di problema	
Difficoltà nel mantenere una velocità stabile in curva	Con qualche difficoltà
Tipo di problema	
Difficoltà nel mantenere la traiettoria di guida in rettilineo	Senza difficoltà
Tipo di problema	
Difficoltà nel mantenere la traiettoria di guida in curva	Con qualche difficoltà
Tipo di problema	
Frequenza delle frenate brusche	Mai
Causa delle frenate brusche	
Impressioni sul cambio	Non abituato
Realismo del simulatore (1-7)	
Velocità	5
Accelerazione longitudinale	6
Accelerazione trasversale	4
Frenata	3
Cambio	4
Volante	3
Rumore del motore	4
Sensazione stradale	4
Progetto della strada	5
Sensazioni sgradevoli	Stanchezza agli occhi
Interruzione guida	No
Motivo dell'interruzione	
Impressioni sul simulatore	Molto divertente
UTENTE 04 QUESTIONARIO POST-TEST	
GUIDA INTERROTTA	
Naturalità della guida	Si
Tipo di problema	
Realismo dello scenario di guida (1-10)	4
Commento	Si sentono troppi disturbi allo stomaco
Presenza di particolari poco realistici	Nausea verso la fine della guida
Realismo del simulatore (1-7)	
Sensazione stradale	4
Progetto della strada	6
Ambiente circostante (terreno, case, alberi, ecc.)	4

Segnaletica orizzontale	6
Segnaletica verticale	6
Altri veicoli	4
Sensazioni sgradevoli	Capogiro, nausea, stanchezza agli occhi
Interruzione guida	Si
Motivo dell'interruzione	Problemi gastrointestinali
Impressioni sul simulatore	Rispecchia la realtà dal punto di vista grafico, ma dal punto di vista degli effetti sull'utente sembra di stare in un elicottero
Individuazione di segnaletica particolare	Si
Descrizione della segnaletica	
Effetto della segnaletica sulla guida	

Utente 05

UTENTE 05 QUESTIONARIO SELEZIONE UTENTI	
Nome	
Indirizzo	
Tel	
E-mail	
Sesso	Donna
Età	26
Istruzione	Laurea specialistica
Professione	Studentessa (dottorato)
Data rilascio patente	03/11/2001
Chilometri annui percorsi	< 4000
Ambito di guida prevalente	In città
Incidenti nel triennio	Nessuno
Incidenti nel triennio in ambito extraurbano	
Numero di infrazioni nel triennio	Nessuna
Tipo di infrazioni nel triennio	
Data	23/06/2009
UTENTE 05 QUESTIONARIO POST-PRETEST	
Difficoltà di guida	Senza difficoltà
Tipo di problema	
Difficoltà nel mantenere una velocità stabile in rettilineo	Senza difficoltà
Tipo di problema	
Difficoltà nel mantenere una velocità stabile in curva	Senza difficoltà
Tipo di problema	
Difficoltà nel mantenere la traiettoria di guida in rettilineo	Senza difficoltà
Tipo di problema	
Difficoltà nel mantenere la traiettoria di guida in curva	Senza difficoltà
Tipo di problema	
Frequenza delle frenate brusche	Mai

Causa delle frenate brusche	
Impressioni sul cambio	Abbastanza realistico
Realismo del simulatore (1-7)	
Velocità	5
Accelerazione longitudinale	4
Accelerazione trasversale	4
Frenata	5
Cambio	5
Volante	6
Rumore del motore	6
Sensazione stradale	6
Progetto della strada	5
Sensazioni sgradevoli	
Interruzione guida	No
Motivo dell'interruzione	
Impressioni sul simulatore	Abbastanza realistico
UTENTE 05 QUESTIONARIO POST-TEST	
Naturalità della guida	Si
Tipo di problema	
Realismo dello scenario di guida (1-10)	7
Commento	La velocità è poco realistica
Presenza di particolari poco realistici	No
Realismo del simulatore (1-7)	
Sensazione stradale	6
Progetto della strada	6
Ambiente circostante (terreno, case, alberi, ecc.)	5
Segnaletica orizzontale	6
Segnaletica verticale	6
Altri veicoli	7
Sensazioni sgradevoli	No
Interruzione guida	No
Motivo dell'interruzione	
Impressioni sul simulatore	Abbastanza realistico
Individuazione di segnaletica particolare	Si
Descrizione della segnaletica	Rallentatori sonori
Effetto della segnaletica sulla guida	Ho ridotto la velocità

Utente 06

UTENTE 06 QUESTIONARIO SELEZIONE UTENTI	
Nome	
Indirizzo	
Tel	
E-mail	

Sesso	Uomo
Età	26
Istruzione	Laurea specialistica
Professione	Ingegnere
Data rilascio patente	gen-02
Chilometri annui percorsi	4000-8000
Ambito di guida prevalente	In città
Incidenti nel triennio	Nessuno
Incidenti nel triennio in ambito extraurbano	Nessuno
Numero di infrazioni nel triennio	< Tre
Tipo di infrazioni nel triennio	Eccesso di velocità
Data	23/06/2009
UTENTE 06 QUESTIONARIO POST-PRETEST	
Difficoltà di guida	Senza difficoltà
Tipo di problema	
Difficoltà nel mantenere una velocità stabile in rettilineo	Senza difficoltà
Tipo di problema	
Difficoltà nel mantenere una velocità stabile in curva	Con qualche difficoltà
Tipo di problema	
Difficoltà nel mantenere la traiettoria di guida in rettilineo	Senza difficoltà
Tipo di problema	
Difficoltà nel mantenere la traiettoria di guida in curva	Senza difficoltà
Tipo di problema	
Frequenza delle frenate brusche	Mai
Causa delle frenate brusche	
Impressioni sul cambio	Non sono abituato al cambio ma non ho avuto problemi
Realismo del simulatore (1-7)	
Velocità	6
Accelerazione longitudinale	5
Accelerazione trasversale	5
Frenata	4
Cambio	4
Volante	5
Rumore del motore	4
Sensazione stradale	6
Progetto della strada	6
Sensazioni sgradevoli	
Interruzione guida	No
Motivo dell'interruzione	
Impressioni sul simulatore	Abbastanza realistico
UTENTE 06 QUESTIONARIO POST-TEST	
Naturalità della guida	Si
Tipo di problema	

Realismo dello scenario di guida (1-10)	8
Commento	Quasi tutte le caratteristiche sono piuttosto realistiche
Presenza di particolari poco realistici	<ul style="list-style-type: none"> · Nessuna sensazione sgradevole · il veicolo in curva tende a sbandare
Realismo del simulatore (1-7)	
Sensazione stradale	6
Progetto della strada	6
Ambiente circostante (terreno, case, alberi, ecc.)	6
Segnaletica orizzontale	6
Segnaletica verticale	6
Altri veicoli	6
Sensazioni sgradevoli	
Interruzione guida	No
Motivo dell'interruzione	
Impressioni sul simulatore	È stata una simulazione piuttosto realistica
Individuazione di segnaletica particolare	Si
Descrizione della segnaletica	Dissuasori acustici
Effetto della segnaletica sulla guida	Ho ridotto la velocità

Utente 07

UTENTE 07 QUESTIONARIO SELEZIONE UTENTI	
Nome	
Indirizzo	
Tel	
E-mail	
Sesso	Donna
Età	45
Istruzione	Dottore di ricerca
Professione	Prof. Universitario
Data rilascio patente	05/02/1983
Chilometri annui percorsi	<4000
Ambito di guida prevalente	Su tutti i tipi di strada
Incidenti nel triennio	Nessuno
Incidenti nel triennio in ambito extraurbano	Nessuno
Numero di infrazioni nel triennio	Nessuna
Tipo di infrazioni nel triennio	
Data	24/06/2009
UTENTE 07 QUESTIONARIO POST-PRETEST	
Difficoltà di guida	Senza difficoltà
Tipo di problema	
Difficoltà nel mantenere una velocità stabile in rettilineo	Senza difficoltà

Tipo di problema	
Difficoltà nel mantenere una velocità stabile in curva	Senza difficoltà
Tipo di problema	
Difficoltà nel mantenere la traiettoria di guida in rettilineo	Senza difficoltà
Tipo di problema	
Difficoltà nel mantenere la traiettoria di guida in curva	Senza difficoltà
Tipo di problema	
Frequenza delle frenate brusche	Mai
Causa delle frenate brusche	
Impressioni sul cambio	Pur non essendo abituata ad un cambio automatico, mi è parso di facile utilizzo, anzi più rilassante, soprattutto in curva
Realismo del simulatore (1-7)	
Velocità	6
Accelerazione longitudinale	7
Accelerazione trasversale	7
Frenata	
Cambio	
Volante	7
Rumore del motore	7
Sensazione stradale	6
Progetto della strada	7
Sensazioni sgradevoli	Stanchezza agli occhi
Interruzione guida	No
Motivo dell'interruzione	
Impressioni sul simulatore	Abbastanza realistico, molto simile alla play station
UTENTE 07 QUESTIONARIO POST-TEST	
Naturalità della guida	Si
Tipo di problema	
Realismo dello scenario di guida (1-10)	7
Commento	· Pochi veicoli
	· nessun veicolo agli incroci
	· pochi segnali stradali e visibili chiaramente solo nelle vicinanze
Presenza di particolari poco realistici	Stanchezza agli occhi con una sensazione di guida al tramonto
Realismo del simulatore (1-7)	
Sensazione stradale	6
Progetto della strada	6
Ambiente circostante (terreno, case, alberi, ecc.)	3
Segnaletica orizzontale	3
Segnaletica verticale	3
Altri veicoli	3
Sensazioni sgradevoli	Stanchezza agli occhi

Interruzione guida	No
Motivo dell'interruzione	
Impressioni sul simulatore	Non essendo abituata al cambio automatico ho avuto la sensazione di decelerare troppo scalando di marcia fino alla terza, situazione non realistica considerando la mia guida su strada
Individuazione di segnaletica particolare	Si
Descrizione della segnaletica	Bande rumorose e pavimentazione colorata
Effetto della segnaletica sulla guida	Ho ridotto la velocità

Utente 08

UTENTE 08 QUESTIONARIO SELEZIONE UTENTI	
Nome	
Indirizzo	
Tel	
E-mail	
Sesso	DONNA
Età	25
Istruzione	Laurea triennale
Professione	Studente
Data rilascio patente	16/02/2002
Chilometri annui percorsi	4000-8000
Ambito di guida prevalente	Su tutti i tipi di strada
Incidenti nel triennio	Nessuno
Incidenti nel triennio in ambito extraurbano	Nessuno
Numero di infrazioni nel triennio	Nessuna
Tipo di infrazioni nel triennio	
Data	24/06/2009
UTENTE 08 QUESTIONARIO POST-PRETEST	
Difficoltà di guida	Senza difficoltà
Tipo di problema	
Difficoltà nel mantenere una velocità stabile in rettilineo	Senza difficoltà
Tipo di problema	
Difficoltà nel mantenere una velocità stabile in curva	Senza difficoltà
Tipo di problema	
Difficoltà nel mantenere la traiettoria di guida in rettilineo	Senza difficoltà
Tipo di problema	
Difficoltà nel mantenere la traiettoria di guida in curva	Senza difficoltà
Tipo di problema	
Frequenza delle frenate brusche	Talvolta
Causa delle frenate brusche	Non vedevo la curva
Impressioni sul cambio	Buone

Realismo del simulatore (1-7)	
Velocità	5
Accelerazione longitudinale	6
Accelerazione trasversale	6
Frenata	4
Cambio	5
Volante	6
Rumore del motore	7
Sensazione stradale	7
Progetto della strada	7
Sensazioni sgradevoli	Mal di testa, stanchezza agli occhi
Interruzione guida	No
Motivo dell'interruzione	
Impressioni sul simulatore	Buone
UTENTE 08 QUESTIONARIO POST-TEST	
GUIDA INTEROTTA	
Naturalità della guida	Si
Tipo di problema	
Realismo dello scenario di guida (1-10)	7
Commento	
Presenza di particolari poco realistici	Si, l'accelerazione in curva è poco realistica e mi ha portato sensazioni di nausea
Realismo del simulatore (1-7)	
Sensazione stradale	5
Progetto della strada	6
Ambiente circostante (terreno, case, alberi, ecc.)	7
Segnaletica orizzontale	5
Segnaletica verticale	6
Altri veicoli	7
Sensazioni sgradevoli	Nausea, stanchezza agli occhi
Interruzione guida	Si
Motivo dell'interruzione	Nausea
Impressioni sul simulatore	Buone
Individuazione di segnaletica particolare	No
Descrizione della segnaletica	
Effetto della segnaletica sulla guida	Ho ridotto la velocità

Utente 09

UTENTE 09 QUESTIONARIO SELEZIONE UTENTI	
Nome	
Indirizzo	
Tel	
E-mail	

Sesso	Uomo
Età	29
Istruzione	Laurea
Professione	Restauratore
Data rilascio patente	1998
Chilometri annui percorsi	4000-8000
Ambito di guida prevalente	Su strade extraurbane
Incidenti nel triennio	Nessuno
Incidenti nel triennio in ambito extraurbano	Nessuno
Numero di infrazioni nel triennio	< Tre
Tipo di infrazioni nel triennio	Assenza di cintura durante la guida
Data	24/06/2009
UTENTE 09 QUESTIONARIO POST-PRETEST	
Difficoltà di guida	Con qualche difficoltà
Tipo di problema	L'accelerazione non è molto reale
Difficoltà nel mantenere una velocità stabile in rettilineo	Senza difficoltà
Tipo di problema	
Difficoltà nel mantenere una velocità stabile in curva	Con qualche difficoltà
Tipo di problema	La decelerazione rispetto al pedale è diversa
Difficoltà nel mantenere la traiettoria di guida in rettilineo	Senza difficoltà
Tipo di problema	
Difficoltà nel mantenere la traiettoria di guida in curva	Senza difficoltà
Tipo di problema	
Frequenza delle frenate brusche	Mai
Causa delle frenate brusche	
Impressioni sul cambio	Come cambio automatico è abbastanza realistico
Realismo del simulatore (1-7)	
Velocità	6
Accelerazione longitudinale	4
Accelerazione trasversale	4
Frenata	5
Cambio	6
Volante	7
Rumore del motore	7
Sensazione stradale	6
Progetto della strada	7
Sensazioni sgradevoli	Capogiro
Interruzione guida	No
Motivo dell'interruzione	
Impressioni sul simulatore	Buone
UTENTE 09 QUESTIONARIO POST-TEST	
Naturalezza della guida	No

Tipo di problema	Ho guidato più lentamente
Realismo dello scenario di guida (1-10)	8
Commento	Il paesaggio era reale
Presenza di particolari poco realistici	No
Realismo del simulatore (1-7)	
Sensazione stradale	6
Progetto della strada	7
Ambiente circostante (terreno, case, alberi, ecc.)	6
Segnaletica orizzontale	6
Segnaletica verticale	5
Altri veicoli	7
Sensazioni sgradevoli	Stanchezza agli occhi
Interruzione guida	No
Motivo dell'interruzione	
Impressioni sul simulatore	Buone
Individuazione di segnaletica particolare	Si
Descrizione della segnaletica	Dopo i rallentatori ottici erano presenti i denti di drago
Effetto della segnaletica sulla guida	Ho ridotto la velocità

Utente 10

UTENTE 10 QUESTIONARIO SELEZIONE UTENTI	
Nome	
Indirizzo	
Tel	
E-mail	
Sesso	uomo
Età	26
Istruzione	Laurea triennale
Professione	Studente
Data rilascio patente	17/11/2001
Chilometri annui percorsi	4000-8000
Ambito di guida prevalente	In città
Incidenti nel triennio	Nessuno
Incidenti nel triennio in ambito extraurbano	
Numero di infrazioni nel triennio	Nessuna
Tipo di infrazioni nel triennio	
Data	24/06/2009
UTENTE 10 QUESTIONARIO POST-PRETEST	
Difficoltà di guida	Senza difficoltà
Tipo di problema	
Difficoltà nel mantenere una velocità stabile in rettilineo	Senza difficoltà
Tipo di problema	
Difficoltà nel mantenere una velocità stabile in curva	Senza difficoltà

Tipo di problema	
Difficoltà nel mantenere la traiettoria di guida in rettilineo	Senza difficoltà
Tipo di problema	
Difficoltà nel mantenere la traiettoria di guida in curva	Senza difficoltà
Tipo di problema	
Frequenza delle frenate brusche	Mai
Causa delle frenate brusche	
Impressioni sul cambio	Mai usato un cambio automatico
Realismo del simulatore (1-7)	
Velocità	5
Accelerazione longitudinale	5
Accelerazione trasversale	5
Frenata	5
Cambio	3
Volante	7
Rumore del motore	6
Sensazione stradale	4
Progetto della strada	5
Sensazioni sgradevoli	Capogiro
Interruzione guida	No
Motivo dell'interruzione	
Impressioni sul simulatore	È abbastanza realistico, bisognerebbe aumentare la presenza dei veicoli
UTENTE 10 QUESTIONARIO POST-TEST	
Naturalezza della guida	Si
Tipo di problema	
Realismo dello scenario di guida (1-10)	6
Commento	Mancavano i veicoli in strada
Presenza di particolari poco realistici	Capogiri
Realismo del simulatore (1-7)	
Sensazione stradale	6
Progetto della strada	5
Ambiente circostante (terreno, case, alberi, ecc.)	4
Segnaletica orizzontale	5
Segnaletica verticale	5
Altri veicoli	2
Sensazioni sgradevoli	Capogiro
Interruzione guida	No
Motivo dell'interruzione	
Impressioni sul simulatore	Non si ha l'effettiva sensazione di velocità
Individuazione di segnaletica particolare	No
Descrizione della segnaletica	
Effetto della segnaletica sulla guida	

Utente 11

UTENTE 11 QUESTIONARIO SELEZIONE UTENTI	
Nome	
Indirizzo	
Tel	
E-mail	
Sesso	Uomo
Età	28
Istruzione	Licenza liceale
Professione	Studente
Data rilascio patente	26/05/2004
Chilometri annui percorsi	> 12000
Ambito di guida prevalente	Su tutti i tipi di strada
Incidenti nel triennio	Uno
Incidenti nel triennio in ambito extraurbano	Nessuno
Numero di infrazioni nel triennio	< Tre
Tipo di infrazioni nel triennio	Eccesso di velocità
Data	24/06/2009
UTENTE 11 QUESTIONARIO POST-PRETEST	
Difficoltà di guida	Senza difficoltà
Tipo di problema	
Difficoltà nel mantenere una velocità stabile in rettilineo	Senza difficoltà
Tipo di problema	
Difficoltà nel mantenere una velocità stabile in curva	Senza difficoltà
Tipo di problema	Un po' di difficoltà all'inizio mentre cercavo di capire il funzionamento del simulatore
Difficoltà nel mantenere la traiettoria di guida in rettilineo	Senza difficoltà
Tipo di problema	
Difficoltà nel mantenere la traiettoria di guida in curva	Senza difficoltà
Tipo di problema	
Frequenza delle frenate brusche	Mai
Causa delle frenate brusche	
Impressioni sul cambio	Bene il sequenziale e male l'automatico
Realismo del simulatore (1-7)	
Velocità	1
Accelerazione longitudinale	6
Accelerazione trasversale	6
Frenata	6
Cambio	6
Volante	2
Rumore del motore	3
Sensazione stradale	5

Progetto della strada	5
Sensazioni sgradevoli	
Interruzione guida	No
Motivo dell'interruzione	
Impressioni sul simulatore	Buone
UTENTE 11 QUESTIONARIO POST-TEST	
Naturalzza della guida	Si
Tipo di problema	
Realismo dello scenario di guida (1-10)	6
Commento	Non c'erano macchine nella mia corsia, in prossimità
Presenza di particolari poco realistici	No
Realismo del simulatore (1-7)	
Sensazione stradale	5
Progetto della strada	6
Ambiente circostante (terreno, case, alberi, ecc.)	3
Segnaletica orizzontale	6
Segnaletica verticale	6
Altri veicoli	6
Sensazioni sgradevoli	
Interruzione guida	No
Motivo dell'interruzione	
Impressioni sul simulatore	Migliorabile
	paesaggio scarso e monotono(desertico)
	mancavano autoveicoli nella mia corsia
	la macchina aveva il limite a 100 km/h
Individuazione di segnaletica particolare	Si
Descrizione della segnaletica	Bande rumorose, i laterizi in alcune intersezioni, segnale di obbligo a destra, restringimento carreggiata sia con cordolo che senza.
Effetto della segnaletica sulla guida	Ho ridotto la velocità

Utente 12

UTENTE 12 QUESTIONARIO SELEZIONE UTENTI	
Nome	
Indirizzo	
Tel	
E-mail	
Sesso	Uomo
Età	23
Istruzione	Laurea triennale

Professione	Studente
Data rilascio patente	30/04/2004
Chilometri annui percorsi	8000-12000
Ambito di guida prevalente	Su tutti i tipi di strada
Incidenti nel triennio	Uno
Incidenti nel triennio in ambito extraurbano	Nessuno
Numero di infrazioni nel triennio	Nessuna
Tipo di infrazioni nel triennio	
Data	24/06/2009
UTENTE 12 QUESTIONARIO POST-PRETEST	
Difficoltà di guida	Senza difficoltà
Tipo di problema	
Difficoltà nel mantenere una velocità stabile in rettilineo	Senza difficoltà
Tipo di problema	
Difficoltà nel mantenere una velocità stabile in curva	Senza difficoltà
Tipo di problema	
Difficoltà nel mantenere la traiettoria di guida in rettilineo	Senza difficoltà
Tipo di problema	
Difficoltà nel mantenere la traiettoria di guida in curva	Senza difficoltà
Tipo di problema	
Frequenza delle frenate brusche	Mai
Causa delle frenate brusche	
Impressioni sul cambio	In automatico è un po' lento
Realismo del simulatore (1-7)	
Velocità	6
Accelerazione longitudinale	6
Accelerazione trasversale	5
Frenata	5
Cambio	5
Volante	6
Rumore del motore	4
Sensazione stradale	5
Progetto della strada	5
Sensazioni sgradevoli	
Interruzione guida	No
Motivo dell'interruzione	
Impressioni sul simulatore	Abbastanza buone
UTENTE 12 QUESTIONARIO POST-TEST	
Naturalità della guida	Si
Tipo di problema	
Realismo dello scenario di guida (1-10)	7
Commento	Non ci sono macchine sulla stessa corsia di marcia
Presenza di particolari poco realistici	No

Realismo del simulatore (1-7)	
Sensazione stradale	6
Progetto della strada	5
Ambiente circostante (terreno, case, alberi, ecc.)	5
Segnaletica orizzontale	7
Segnaletica verticale	6
Altri veicoli	5
Sensazioni sgradevoli	
Interruzione guida	No
Motivo dell'interruzione	
Impressioni sul simulatore	Buone
Individuazione di segnaletica particolare	Si
Descrizione della segnaletica	Segnaletica orizzontale, bande rumorose, segnaletica di colore giallo
Effetto della segnaletica sulla guida	

Utente 13

UTENTE 13 QUESTIONARIO SELEZIONE UTENTI	
Nome	
Indirizzo	
Tel	
E-mail	
Sesso	Uomo
Età	24
Istruzione	Laurea
Professione	Studente
Data rilascio patente	23/09/2002
Chilometri annui percorsi	> 12000
Ambito di guida prevalente	Su tutti i tipi di strada
Incidenti nel triennio	Nessuno
Incidenti nel triennio in ambito extraurbano	
Numero di infrazioni nel triennio	> sei
Tipo di infrazioni nel triennio	Eccesso di velocità
Data	24/06/2009
UTENTE 13 QUESTIONARIO POST-PRETEST	
Difficoltà di guida	Con qualche difficoltà
Tipo di problema	
Difficoltà nel mantenere una velocità stabile in rettilineo	Senza difficoltà
Tipo di problema	
Difficoltà nel mantenere una velocità stabile in curva	Senza difficoltà
Tipo di problema	
Difficoltà nel mantenere la traiettoria di guida in rettilineo	Senza difficoltà
Tipo di problema	

Difficoltà nel mantenere la traiettoria di guida in curva	Senza difficoltà
Tipo di problema	
Frequenza delle frenate brusche	Spesso
Causa delle frenate brusche	Durante il pallino rosso mi distraevo e il cambio automatico non mi piaceva
Impressioni sul cambio	Pessime
Realismo del simulatore (1-7)	
Velocità	6
Accelerazione longitudinale	6
Accelerazione trasversale	4
Frenata	5
Cambio	4
Volante	5
Rumore del motore	6
Sensazione stradale	5
Progetto della strada	5
Sensazioni sgradevoli	
Interruzione guida	No
Motivo dell'interruzione	
Impressioni sul simulatore	Vorrei provare quello dell'aereo
UTENTE 13 QUESTIONARIO POST-TEST	
Naturalità della guida	Si
Tipo di problema	
Realismo dello scenario di guida (1-10)	6
Commento	Nessuna autovettura agli incroci
Presenza di particolari poco realistici	Ripetitivita' dei comportamenti delle macchine che procedevano nell'altro senso di marcia
Realismo del simulatore (1-7)	
Sensazione stradale	6
Progetto della strada	6
Ambiente circostante (terreno, case, alberi, ecc.)	3.5
Segnaletica orizzontale	5
Segnaletica verticale	4.5
Altri veicoli	2.5
Sensazioni sgradevoli	
Interruzione guida	
Motivo dell'interruzione	
Impressioni sul simulatore	Mi sono divertito
Individuazione di segnaletica particolare	Si
Descrizione della segnaletica	Triangoli a terra, bande periferiche trasversali
Effetto della segnaletica sulla guida	Ho ridotto la velocità
UTENTE NON VALIDO	

Utente 14

UTENTE 14 QUESTIONARIO SELEZIONE UTENTI	
Nome	
Indirizzo	
Tel	
E-mail	
Sesso	Donna
Età	56
Istruzione	Laurea
Professione	Insegnante
Data rilascio patente	1987
Chilometri annui percorsi	4000-8000
Ambito di guida prevalente	In città
Incidenti nel triennio	Nessuno
Incidenti nel triennio in ambito extraurbano	Nessuno
Numero di infrazioni nel triennio	Nessuna
Tipo di infrazioni nel triennio	
Data	01/07/2009
UTENTE 14 QUESTIONARIO POST-PRETEST	
GUIDA INTEROTTA	
Difficoltà di guida	
Tipo di problema	
Difficoltà nel mantenere una velocità stabile in rettilineo	
Tipo di problema	
Difficoltà nel mantenere una velocità stabile in curva	
Tipo di problema	
Difficoltà nel mantenere la traiettoria di guida in rettilineo	
Tipo di problema	
Difficoltà nel mantenere la traiettoria di guida in curva	
Tipo di problema	
Frequenza delle frenate brusche	
Causa delle frenate brusche	
Impressioni sul cambio	
Realismo del simulatore (1-7)	
Velocità	
Accelerazione longitudinale	
Accelerazione trasversale	
Frenata	
Cambio	
Volante	
Rumore del motore	
Sensazione stradale	
Progetto della strada	

Sensazioni sgradevoli	
Interruzione guida	
Motivo dell'interruzione	
Impressioni sul simulatore	
UTENTE 14 QUESTIONARIO POST-TEST	
Naturalzza della guida	
Tipo di problema	
Realismo dello scenario di guida (1-10)	
Commento	
Presenza di particolari poco realistici	
Realismo del simulatore (1-7)	
Sensazione stradale	
Progetto della strada	
Ambiente circostante (terreno, case, alberi, ecc.)	
Segnaletica orizzontale	
Segnaletica verticale	
Altri veicoli	
Sensazioni sgradevoli	
Interruzione guida	
Motivo dell'interruzione	
Impressioni sul simulatore	
Individuazione di segnaletica particolare	
Descrizione della segnaletica	
Effetto della segnaletica sulla guida	

Utente 15

UTENTE 15 QUESTIONARIO SELEZIONE UTENTI	
Nome	
Indirizzo	
Tel	
E-mail	
Sesso	Uomo
Età	55
Istruzione	Laurea
Professione	Ingegnere
Data rilascio patente	1973
Chilometri annui percorsi	> 12000
Ambito di guida prevalente	Su tutti i tipi di strada
Incidenti nel triennio	Nessuno
Incidenti nel triennio in ambito extraurbano	Nessuno
Numero di infrazioni nel triennio	Nessuna
Tipo di infrazioni nel triennio	
Data	01/07/2009
UTENTE 15 QUESTIONARIO POST-PRETEST	

Difficoltà di guida	Con qualche difficoltà
Tipo di problema	Sensazione di capogiro all'inizio della simulazione
Difficoltà nel mantenere una velocità stabile in rettilineo	Senza difficoltà
Tipo di problema	
Difficoltà nel mantenere una velocità stabile in curva	Senza difficoltà
Tipo di problema	
Difficoltà nel mantenere la traiettoria di guida in rettilineo	Senza difficoltà
Tipo di problema	
Difficoltà nel mantenere la traiettoria di guida in curva	Senza difficoltà
Tipo di problema	
Frequenza delle frenate brusche	Mai
Causa delle frenate brusche	
Impressioni sul cambio	Positive
Realismo del simulatore (1-7)	
Velocità	6
Accelerazione longitudinale	6
Accelerazione trasversale	6
Frenata	6
Cambio	6
Volante	6
Rumore del motore	6
Sensazione stradale	6
Progetto della strada	6
Sensazioni sgradevoli	Capogiro
Interruzione guida	No
Motivo dell'interruzione	
Impressioni sul simulatore	
UTENTE 15 QUESTIONARIO POST-TEST	
Naturalità della guida	Si
Tipo di problema	
Realismo dello scenario di guida (1-10)	10
Commento	
Presenza di particolari poco realistici	No
Realismo del simulatore (1-7)	
Sensazione stradale	6
Progetto della strada	6
Ambiente circostante (terreno, case, alberi, ecc.)	6
Segnaletica orizzontale	6
Segnaletica verticale	6
Altri veicoli	6
Sensazioni sgradevoli	Capogiro
Interruzione guida	No
Motivo dell'interruzione	

Impressioni sul simulatore	Positive
Individuazione di segnaletica particolare	Si
Descrizione della segnaletica	Agli incroci ho visto quattro segnalazioni diverse
Effetto della segnaletica sulla guida	Ho ridotto la velocità

Utente 16

UTENTE 16 QUESTIONARIO SELEZIONE UTENTI	
Nome	
Indirizzo	
Tel	
E-mail	
Sesso	Donna
Età	29
Istruzione	Laurea
Professione	Phd student
Data rilascio patente	22/09/1999
Chilometri annui percorsi	4000-8000
Ambito di guida prevalente	Su tutti i tipi di strada
Incidenti nel triennio	Nessuno
Incidenti nel triennio in ambito extraurbano	Nessuno
Numero di infrazioni nel triennio	Nessuna
Tipo di infrazioni nel triennio	
Data	01/07/2009
UTENTE 16 QUESTIONARIO POST-PRETEST	
GUIDA INTEROTTA	
Difficoltà di guida	
Tipo di problema	
Difficoltà nel mantenere una velocità stabile in rettilineo	
Tipo di problema	
Difficoltà nel mantenere una velocità stabile in curva	
Tipo di problema	
Difficoltà nel mantenere la traiettoria di guida in rettilineo	
Tipo di problema	
Difficoltà nel mantenere la traiettoria di guida in curva	
Tipo di problema	
Frequenza delle frenate brusche	
Causa delle frenate brusche	
Impressioni sul cambio	
Realismo del simulatore (1-7)	
Velocità	
Accelerazione longitudinale	
Accelerazione trasversale	
Frenata	

Cambio	
Volante	
Rumore del motore	
Sensazione stradale	
Progetto della strada	
Sensazioni sgradevoli	
Interruzione guida	
Motivo dell'interruzione	
Impressioni sul simulatore	
UTENTE 16 QUESTIONARIO POST-TEST	
Naturalità della guida	
Tipo di problema	
Realismo dello scenario di guida (1-10)	
Commento	
Presenza di particolari poco realistici	
Realismo del simulatore (1-7)	
Sensazione stradale	
Progetto della strada	
Ambiente circostante (terreno, case, alberi, ecc.)	
Segnaletica orizzontale	
Segnaletica verticale	
Altri veicoli	
Sensazioni sgradevoli	
Interruzione guida	
Motivo dell'interruzione	
Impressioni sul simulatore	
Individuazione di segnaletica particolare	
Descrizione della segnaletica	
Effetto della segnaletica sulla guida	

Utente 17

UTENTE 17 QUESTIONARIO SELEZIONE UTENTI	
Nome	
Indirizzo	
Tel	
E-mail	
Sesso	Uomo
Età	42
Istruzione	Laurea
Professione	Professore universitario
Data rilascio patente	1985
Chilometri annui percorsi	4000-8000
Ambito di guida prevalente	In città

Incidenti nel triennio	Due - tre
Incidenti nel triennio in ambito extraurbano	nessuno
Numero di infrazioni nel triennio	< tre
Tipo di infrazioni nel triennio	Circolazione contromano
Data	01/07/2009
UTENTE 17 QUESTIONARIO POST-PRETEST	
Difficoltà di guida	Senza difficoltà
Tipo di problema	
Difficoltà nel mantenere una velocità stabile in rettilineo	Senza difficoltà
Tipo di problema	
Difficoltà nel mantenere una velocità stabile in curva	Senza difficoltà
Tipo di problema	
Difficoltà nel mantenere la traiettoria di guida in rettilineo	Senza difficoltà
Tipo di problema	
Difficoltà nel mantenere la traiettoria di guida in curva	Senza difficoltà
Tipo di problema	
Frequenza delle frenate brusche	Mai
Causa delle frenate brusche	
Impressioni sul cambio	Un po' lento
Realismo del simulatore (1-7)	
Velocità	5
Accelerazione longitudinale	6
Accelerazione trasversale	5
Frenata	6
Cambio	4
Volante	6
Rumore del motore	7
Sensazione stradale	7
Progetto della strada	7
Sensazioni sgradevoli	
Interruzione guida	No
Motivo dell'interruzione	
Impressioni sul simulatore	Nel complesso buono, velocità tachimetro forse un po' troppo elevata rispetto a quella percepita e talvolta non compensata.
UTENTE 17 QUESTIONARIO POST-TEST	
Naturalezza della guida	Si
Tipo di problema	
Realismo dello scenario di guida (1-10)	9
Commento	
Presenza di particolari poco realistici	A volte l'autovettura sbandava un po' in curva, ma forse è stato l'effetto della velocità.
Realismo del simulatore (1-7)	

Sensazione stradale	6
Progetto della strada	7
Ambiente circostante (terreno, case, alberi, ecc.)	7
Segnaletica orizzontale	5
Segnaletica verticale	6
Altri veicoli	7
Sensazioni sgradevoli	
Interruzione guida	No
Motivo dell'interruzione	
Impressioni sul simulatore	Buone
Individuazione di segnaletica particolare	Si
Descrizione della segnaletica	Segnaletica con bande periferiche trasversali
Effetto della segnaletica sulla guida	Ho ridotto la velocità

Utente 18

UTENTE 18 QUESTIONARIO SELEZIONE UTENTI	
Nome	
Indirizzo	
Tel	
E-mail	
Sesso	Uomo
Età	50
Istruzione	Laurea
Professione	Professore universitario
Data rilascio patente	1977
Chilometri annui percorsi	8000-12000
Ambito di guida prevalente	In città
Incidenti nel triennio	Nessuno
Incidenti nel triennio in ambito extraurbano	Nessuno
Numero di infrazioni nel triennio	Nessuna
Tipo di infrazioni nel triennio	
Data	02/07/2009
UTENTE 18 QUESTIONARIO POST-PRETEST	
Difficoltà di guida	Senza difficoltà
Tipo di problema	
Difficoltà nel mantenere una velocità stabile in rettilineo	Senza difficoltà
Tipo di problema	
Difficoltà nel mantenere una velocità stabile in curva	Con qualche difficoltà
Tipo di problema	Decelerazione con frenata
Difficoltà nel mantenere la traiettoria di guida in rettilineo	Senza difficoltà
Tipo di problema	
Difficoltà nel mantenere la traiettoria di guida in curva	Con qualche difficoltà
Tipo di problema	La prima curva

Frequenza delle frenate brusche	Raramente
Causa delle frenate brusche	
Impressioni sul cambio	
Realismo del simulatore (1-7)	
Velocità	5
Accelerazione longitudinale	3
Accelerazione trasversale	7
Frenata	6
Cambio	7
Volante	7
Rumore del motore	6
Sensazione stradale	7
Progetto della strada	7
Sensazioni sgradevoli	Nausea
Interruzione guida	No
Motivo dell'interruzione	
Impressioni sul simulatore	Più che sufficiente
UTENTE 18 QUESTIONARIO POST-TEST	
Naturalzza della guida	Si
Tipo di problema	
Realismo dello scenario di guida (1-10)	9
Commento	
Presenza di particolari poco realistici	Qualche volta in curva
Realismo del simulatore (1-7)	
Sensazione stradale	6
Progetto della strada	7
Ambiente circostante (terreno, case, alberi, ecc.)	5
Segnaletica orizzontale	7
Segnaletica verticale	7
Altri veicoli	7
Sensazioni sgradevoli	Nausea
Interruzione guida	No
Motivo dell'interruzione	
Impressioni sul simulatore	Buona
Individuazione di segnaletica particolare	Si
Descrizione della segnaletica	DIVERSE SEGNALETICHE, LA Più INCISIVA è QUELLA ROSSA.
Effetto della segnaletica sulla guida	Ho ridotto la velocità

Utente 19

UTENTE 19 QUESTIONARIO SELEZIONE UTENTI	
Nome	
Indirizzo	
Tel	

E-mail	
Sesso	Uomo
Età	39
Istruzione	
Professione	
Data rilascio patente	1989
Chilometri annui percorsi	8000-12000
Ambito di guida prevalente	Su tutti i tipi di strada
Incidenti nel triennio	Nessuno
Incidenti nel triennio in ambito extraurbano	Nessuno
Numero di infrazioni nel triennio	Nessuna
Tipo di infrazioni nel triennio	
Data	02/07/2009
UTENTE 19 QUESTIONARIO POST-PRETEST	
Difficoltà di guida	Senza difficoltà
Tipo di problema	
Difficoltà nel mantenere una velocità stabile in rettilineo	Senza difficoltà
Tipo di problema	
Difficoltà nel mantenere una velocità stabile in curva	Senza difficoltà
Tipo di problema	
Difficoltà nel mantenere la traiettoria di guida in rettilineo	Senza difficoltà
Tipo di problema	
Difficoltà nel mantenere la traiettoria di guida in curva	Con qualche difficoltà
Tipo di problema	Perché non si ha la sensazione di stabilità, non ci sono gli specchietti laterali e il volante si muove a scatti.
Frequenza delle frenate brusche	Mai
Causa delle frenate brusche	
Impressioni sul cambio	Strano, quando allontanavo il piede dall'acceleratore e mi aspettavo di rallentare, invece avevo la sensazione che accelerasse (probabilmente perché aumentava di marcia).
Realismo del simulatore (1-7)	
Velocità	4
Accelerazione longitudinale	4
Accelerazione trasversale	1
Frenata	5
Cambio	4
Volante	4
Rumore del motore	4
Sensazione stradale	3
Progetto della strada	7
Sensazioni sgradevoli	Capogiro

Interruzione guida	No
Motivo dell'interruzione	
Impressioni sul simulatore	Utile
UTENTE 19 QUESTIONARIO POST-TEST	
Naturalzza della guida	Si
Tipo di problema	
Realismo dello scenario di guida (1-10)	7
Commento	Manca la sensazione di accelerazione trasversale, non ci sono macchine alle intersezioni, i cartelli sono visibili solo a breve distanza.
Presenza di particolari poco realistici	Bande visibili troppo in anticipo che sembrano un ostacolo
Realismo del simulatore (1-7)	
Sensazione stradale	4
Progetto della strada	7
Ambiente circostante (terreno, case, alberi, ecc.)	6
Segnaletica orizzontale	5
Segnaletica verticale	2
Altri veicoli	2
Sensazioni sgradevoli	Stanchezza agli occhi
Interruzione guida	No
Motivo dell'interruzione	
Impressioni sul simulatore	Troppo prevedibile e noioso
Individuazione di segnaletica particolare	No
Descrizione della segnaletica	
Effetto della segnaletica sulla guida	Ho ridotto solo inizialmente la velocità perché sembrava un ostacolo ma poi è stata quasi irrilevante.

Utente 20

UTENTE 20 QUESTIONARIO SELEZIONE UTENTI	
Nome	
Indirizzo	
Tel	
E-mail	
Sesso	Uomo
Età	34
Istruzione	Laurea
Professione	
Data rilascio patente	1995
Chilometri annui percorsi	4000-8000
Ambito di guida prevalente	Su tutti i tipi di strada
Incidenti nel triennio	Nessuno

Incidenti nel triennio in ambito extraurbano	Nessuno
Numero di infrazioni nel triennio	< tre
Tipo di infrazioni nel triennio	Circolazione contromano
Data	02/07/2009
UTENTE 20 QUESTIONARIO POST-PRETEST	
Difficoltà di guida	Senza difficoltà
Tipo di problema	
Difficoltà nel mantenere una velocità stabile in rettilineo	Senza difficoltà
Tipo di problema	
Difficoltà nel mantenere una velocità stabile in curva	Senza difficoltà
Tipo di problema	
Difficoltà nel mantenere la traiettoria di guida in rettilineo	Senza difficoltà
Tipo di problema	
Difficoltà nel mantenere la traiettoria di guida in curva	Senza difficoltà
Tipo di problema	
Frequenza delle frenate brusche	Raramente
Causa delle frenate brusche	Addizioni difficili
Impressioni sul cambio	Non era preciso
Realismo del simulatore (1-7)	
Velocità	6
Accelerazione longitudinale	5
Accelerazione trasversale	4
Frenata	4
Cambio	3
Volante	6
Rumore del motore	6
Sensazione stradale	6
Progetto della strada	1
Sensazioni sgradevoli	
Interruzione guida	No
Motivo dell'interruzione	
Impressioni sul simulatore	Funzionale
UTENTE 20 QUESTIONARIO POST-TEST	
Naturalità della guida	Si
Tipo di problema	
Realismo dello scenario di guida (1-10)	6
Commento	Non c'era accelerazioni trasversale
Presenza di particolari poco realistici	No
Realismo del simulatore (1-7)	
Sensazione stradale	6
Progetto della strada	4
Ambiente circostante (terreno, case, alberi, ecc.)	6
Segnaletica orizzontale	6
Segnaletica verticale	7

Altri veicoli	7
Sensazioni sgradevoli	
Interruzione guida	No
Motivo dell'interruzione	
Impressioni sul simulatore	Funzionale
Individuazione di segnaletica particolare	Si
Descrizione della segnaletica	Segnaletica orizzontale sperimentale, nello scenario 6 ho percepito l'avvicinamento dell'intersezione.
Effetto della segnaletica sulla guida	Ho ridotto la velocità

Utente 01

UTENTE 21 QUESTIONARIO SELEZIONE UTENTI	
Nome	
Indirizzo	
Tel	
E-mail	
Sesso	Donna
Età	27
Istruzione	Laurea
Professione	
Data rilascio patente	2000
Chilometri annui percorsi	> 12000
Ambito di guida prevalente	Su tutti i tipi di strada
Incidenti nel triennio	Nessuno
Incidenti nel triennio in ambito extraurbano	
Numero di infrazioni nel triennio	Nessuna
Tipo di infrazioni nel triennio	
Data	02/07/2009
UTENTE 21 QUESTIONARIO POST-PRETEST	
Difficoltà di guida	Senza difficoltà
Tipo di problema	
Difficoltà nel mantenere una velocità stabile in rettilineo	Senza difficoltà
Tipo di problema	
Difficoltà nel mantenere una velocità stabile in curva	Con qualche difficoltà
Tipo di problema	
Difficoltà nel mantenere la traiettoria di guida in rettilineo	Senza difficoltà
Tipo di problema	
Difficoltà nel mantenere la traiettoria di guida in curva	Senza difficoltà
Tipo di problema	
Frequenza delle frenate brusche	Mai
Causa delle frenate brusche	
Impressioni sul cambio	Realistico

Realismo del simulatore (1-7)	
Velocità	7
Accelerazione longitudinale	6
Accelerazione trasversale	6
Frenata	6
Cambio	7
Volante	7
Rumore del motore	5
Sensazione stradale	6
Progetto della strada	6
Sensazioni sgradevoli	
Interruzione guida	No
Motivo dell'interruzione	
Impressioni sul simulatore	Migliore realismo rispetto alla guida precedente (PRIN).
UTENTE 21 QUESTIONARIO POST-TEST	
Naturalità della guida	Si
Tipo di problema	
Realismo dello scenario di guida (1-10)	8
Commento	Le intersezioni le percepivo in modo chiaro solo in presenza di qualche dispositivo di segnalamento (verticale o rallentatori).
Presenza di particolari poco realistici	Una curva avevo la sensazione che venisse prima (questa cattiva percezione mi è stata data dagli alberi).
Realismo del simulatore (1-7)	
Sensazione stradale	7
Progetto della strada	7
Ambiente circostante (terreno, case, alberi, ecc.)	6
Segnaletica orizzontale	7
Segnaletica verticale	7
Altri veicoli	7
Sensazioni sgradevoli	
Interruzione guida	No
Motivo dell'interruzione	
Impressioni sul simulatore	Molto realistico
Individuazione di segnaletica particolare	No
Descrizione della segnaletica	
Effetto della segnaletica sulla guida	Ho ridotto la velocità

Utente 22

UTENTE 22 QUESTIONARIO SELEZIONE UTENTI	
Nome	

Indirizzo	
Tel	
E-mail	
Sesso	Donna
Età	35
Istruzione	Laurea
Professione	Ingegnere
Data rilascio patente	1992
Chilometri annui percorsi	< 4000
Ambito di guida prevalente	In città
Incidenti nel triennio	Nessuno
Incidenti nel triennio in ambito extraurbano	
Numero di infrazioni nel triennio	Nessuna
Tipo di infrazioni nel triennio	
Data	02/07/2009
UTENTE 22 QUESTIONARIO POST-PRETEST	
Difficoltà di guida	Senza difficoltà
Tipo di problema	
Difficoltà nel mantenere una velocità stabile in rettilineo	Senza difficoltà
Tipo di problema	
Difficoltà nel mantenere una velocità stabile in curva	Con qualche difficoltà
Tipo di problema	
Difficoltà nel mantenere la traiettoria di guida in rettilineo	Senza difficoltà
Tipo di problema	
Difficoltà nel mantenere la traiettoria di guida in curva	Con qualche difficoltà
Tipo di problema	
Frequenza delle frenate brusche	Raramente
Causa delle frenate brusche	
Impressioni sul cambio	Lentissimo
Realismo del simulatore (1-7)	
Velocità	6
Accelerazione longitudinale	6
Accelerazione trasversale	6
Frenata	6
Cambio	5
Volante	6
Rumore del motore	6
Sensazione stradale	5
Progetto della strada	6
Sensazioni sgradevoli	
Interruzione guida	No
Motivo dell'interruzione	
Impressioni sul simulatore	Buone
UTENTE 22 QUESTIONARIO POST-TEST	

Naturalità della guida	Si
Tipo di problema	
Realismo dello scenario di guida (1-10)	6
Commento	È uno scenario realistico
Presenza di particolari poco realistici	Ad alta velocità il volante vibra se non viene tenuto fermo
Realismo del simulatore (1-7)	
Sensazione stradale	6
Progetto della strada	6
Ambiente circostante (terreno, case, alberi, ecc.)	6
Segnaletica orizzontale	7
Segnaletica verticale	7
Altri veicoli	6
Sensazioni sgradevoli	
Interruzione guida	No
Motivo dell'interruzione	
Impressioni sul simulatore	Buone, cercherei di migliorare la tenuta del volante varierei maggiormente il paesaggio in quanto è monotono e si tende a correre di più.
Individuazione di segnaletica particolare	Si
Descrizione della segnaletica	Pavimentazione colorata, rallentatori ottici
Effetto della segnaletica sulla guida	Mi sono spostato verso centro strada
UTENTE NON VALIDO	

Utente 23

UTENTE 23 QUESTIONARIO SELEZIONE UTENTI	
Nome	
Indirizzo	
Tel	
E-mail	
Sesso	Donna
Età	26
Istruzione	Laurea triennale
Professione	Studentessa
Data rilascio patente	08/05/2004
Chilometri annui percorsi	< 4000
Ambito di guida prevalente	Su tutti i tipi di strada
Incidenti nel triennio	Nessuno
Incidenti nel triennio in ambito extraurbano	
Numero di infrazioni nel triennio	Nessuna
Tipo di infrazioni nel triennio	

Data	02/07/2009
UTENTE 23 QUESTIONARIO POST-PRETEST	
Difficoltà di guida	Con qualche difficoltà
Tipo di problema	
Difficoltà nel mantenere una velocità stabile in rettilineo	Senza difficoltà
Tipo di problema	
Difficoltà nel mantenere una velocità stabile in curva	Con qualche difficoltà
Tipo di problema	
Difficoltà nel mantenere la traiettoria di guida in rettilineo	Senza difficoltà
Tipo di problema	
Difficoltà nel mantenere la traiettoria di guida in curva	Con qualche difficoltà
Tipo di problema	
Frequenza delle frenate brusche	Mai
Causa delle frenate brusche	
Impressioni sul cambio	Era la prima volta che usavo il cambio automatico. Non ho avuto problemi.
Realismo del simulatore (1-7)	
Velocità	5
Accelerazione longitudinale	4
Accelerazione trasversale	4
Frenata	4
Cambio	1
Volante	6
Rumore del motore	3
Sensazione stradale	5
Progetto della strada	5
Sensazioni sgradevoli	Sensazione di perdita di controllo del veicolo
Interruzione guida	No
Motivo dell'interruzione	
Impressioni sul simulatore	Abbastanza realistico
UTENTE 23 QUESTIONARIO POST-TEST	
GUIDA INTEROTTA	
Naturalità della guida	Si
Tipo di problema	
Realismo dello scenario di guida (1-10)	5
Commento	
Presenza di particolari poco realistici	Ho avuto sensazioni sgradevoli durante la guida solo in prossimità della curva
Realismo del simulatore (1-7)	
Sensazione stradale	5
Progetto della strada	7
Ambiente circostante (terreno, case, alberi, ecc.)	5

Segnaletica orizzontale	5
Segnaletica verticale	5
Altri veicoli	4
Sensazioni sgradevoli	Capogiro, stanchezza agli occhi, sensazione di perdita di controllo del veicolo
Interruzione guida	Si
Motivo dell'interruzione	Ho avuto un capogiro ed ho sudato
Impressioni sul simulatore	La guida sembra realistica ma ci sono problemi in curva
Individuazione di segnaletica particolare	Si
Descrizione della segnaletica	Ho visto delle strisce bianche ortogonali alla linea che delimita la corsia, non molto lunghe, che non avevo mai visto
Effetto della segnaletica sulla guida	Nessuno

Utente 24

UTENTE 24 QUESTIONARIO SELEZIONE UTENTI	
Nome	
Indirizzo	
Tel	
E-mail	
Sesso	Donna
Età	30
Istruzione	Laurea
Professione	Libero professionista
Data rilascio patente	1998
Chilometri annui percorsi	> 12000
Ambito di guida prevalente	Su tutti i tipi di strada
Incidenti nel triennio	Nessuno
Incidenti nel triennio in ambito extraurbano	
Numero di infrazioni nel triennio	< tre
Tipo di infrazioni nel triennio	Eccesso di velocità
Data	02/07/2009
UTENTE 24 QUESTIONARIO POST-PRETEST	
Difficoltà di guida	Senza difficoltà
Tipo di problema	
Difficoltà nel mantenere una velocità stabile in rettilineo	Senza difficoltà
Tipo di problema	
Difficoltà nel mantenere una velocità stabile in curva	Senza difficoltà
Tipo di problema	Intorno ai 120 km/h una piccola difficoltà
Difficoltà nel mantenere la traiettoria di guida in rettilineo	Senza difficoltà
Tipo di problema	

Difficoltà nel mantenere la traiettoria di guida in curva	Senza difficoltà
Tipo di problema	
Frequenza delle frenate brusche	Mai
Causa delle frenate brusche	
Impressioni sul cambio	Ripresa lenta
Realismo del simulatore (1-7)	
Velocità	5
Accelerazione longitudinale	4
Accelerazione trasversale	
Frenata	5
Cambio	5
Volante	6
Rumore del motore	4
Sensazione stradale	6
Progetto della strada	6
Sensazioni sgradevoli	Stanchezza agli occhi
Interruzione guida	No
Motivo dell'interruzione	
Impressioni sul simulatore	Decisamente realistico
UTENTE 24 QUESTIONARIO POST-TEST	
Naturalezza della guida	Si
Tipo di problema	
Realismo dello scenario di guida (1-10)	9
Commento	Sensazioni realistiche
	· spostamento di aria prodotto dalle autovetture
	· rumore dei veicoli
	· visione laterale del paesaggio
Presenza di particolari poco realistici	In caso di guida prolungata disturbi visivi(difficoltà di messa a fuoco).
Realismo del simulatore (1-7)	
Sensazione stradale	6
Progetto della strada	7
Ambiente circostante (terreno, case, alberi, ecc.)	7
Segnaletica orizzontale	7
Segnaletica verticale	6
Altri veicoli	7
Sensazioni sgradevoli	Stanchezza agli occhi
Interruzione guida	No
Motivo dell'interruzione	
Impressioni sul simulatore	Sensazione di sicurezza nella tenuta di strada
Individuazione di segnaletica particolare	Si

Descrizione della segnaletica	Segnaletica orizzontale di delimitazione corsie, bande rumorose, segnaletica verticale incroci, segnaletica orizzontale :pavimentazione colorata.
Effetto della segnaletica sulla guida	Non ho rallentato non vedendo sopraggiungere veicoli agli incroci.

Utente 25

UTENTE 25 QUESTIONARIO SELEZIONE UTENTI	
Nome	
Indirizzo	
Tel	
E-mail	
Sesso	Donna
Età	30
Istruzione	Dottorato
Professione	Libero professionista
Data rilascio patente	set-00
Chilometri annui percorsi	4000-8000
Ambito di guida prevalente	Su auto strada
Incidenti nel triennio	uno
Incidenti nel triennio in ambito extraurbano	Nessuno
Numero di infrazioni nel triennio	Nessuna
Tipo di infrazioni nel triennio	
Data	02/07/2009
UTENTE 25 QUESTIONARIO POST-PRETEST	
Difficoltà di guida	Senza difficoltà
Tipo di problema	
Difficoltà nel mantenere una velocità stabile in rettilineo	Senza difficoltà
Tipo di problema	
Difficoltà nel mantenere una velocità stabile in curva	Senza difficoltà
Tipo di problema	
Difficoltà nel mantenere la traiettoria di guida in rettilineo	Con qualche difficoltà
Tipo di problema	La mia guida tende ad andare leggermente verso destra come se non percepissi il margine della carreggiata
Difficoltà nel mantenere la traiettoria di guida in curva	Con qualche difficoltà
Tipo di problema	Come sopra, ma tengo a precisare che e' un normale mio difetto della guida
Frequenza delle frenate brusche	Mai
Causa delle frenate brusche	
Impressioni sul cambio	Ottima
Realismo del simulatore (1-7)	

Velocità	7
Accelerazione longitudinale	7
Accelerazione trasversale	7
Frenata	7
Cambio	7
Volante	7
Rumore del motore	7
Sensazione stradale	7
Progetto della strada	7
Sensazioni sgradevoli	
Interruzione guida	No
Motivo dell'interruzione	
Impressioni sul simulatore	Ottima riproduzione della realtà. Tengo a precisare che ho già guidato altre volte al simulatore e ho maturato comunque una certa confidenza sia con l'ambiente di simulazione che con il simulatore di guida, per cui la mia guida può ritenersi previa di training
UTENTE 25 QUESTIONARIO POST-TEST	
Naturalità della guida	Si
Tipo di problema	Mediamente, cercando di rispettare quanto più possibile la segnaletica orizzontale (la verticale è poca)
Realismo dello scenario di guida (1-10)	9
Commento	Molto reale
Presenza di particolari poco realistici	
Realismo del simulatore (1-7)	
Sensazione stradale	7
Progetto della strada	7
Ambiente circostante (terreno, case, alberi, ecc.)	7
Segnaletica orizzontale	7
Segnaletica verticale	7
Altri veicoli	7
Sensazioni sgradevoli	
Interruzione guida	No
Motivo dell'interruzione	
Impressioni sul simulatore	Molto realistico, ho apprezzato molto l'effetto sonoro che ora è diventato particolarmente percepibile
Individuazione di segnaletica particolare	Si
Descrizione della segnaletica	Rallentatori sonori
Effetto della segnaletica sulla guida	Ho ridotto la velocità

Utente 26

UTENTE 26 QUESTIONARIO SELEZIONE UTENTI	
Nome	
Indirizzo	
Tel	
E-mail	
Sesso	Donna
Età	39
Istruzione	Laurea
Professione	Odontoiatra
Data rilascio patente	1989
Chilometri annui percorsi	< 4000
Ambito di guida prevalente	In città
Incidenti nel triennio	Nessuno
Incidenti nel triennio in ambito extraurbano	
Numero di infrazioni nel triennio	Nessuna
Tipo di infrazioni nel triennio	
Data	03/07/2009
UTENTE 26 QUESTIONARIO POST-PRETEST	
Difficoltà di guida	Senza difficoltà
Tipo di problema	
Difficoltà nel mantenere una velocità stabile in rettilineo	Senza difficoltà
Tipo di problema	
Difficoltà nel mantenere una velocità stabile in curva	Con qualche difficoltà
Tipo di problema	Avevo paura di uscire fuori strada
Difficoltà nel mantenere la traiettoria di guida in rettilineo	Senza difficoltà
Tipo di problema	
Difficoltà nel mantenere la traiettoria di guida in curva	Senza difficoltà
Tipo di problema	
Frequenza delle frenate brusche	Mai
Causa delle frenate brusche	
Impressioni sul cambio	
Realismo del simulatore (1-7)	
Velocità	6
Accelerazione longitudinale	7
Accelerazione trasversale	7
Frenata	7
Cambio	7
Volante	7
Rumore del motore	7
Sensazione stradale	7
Progetto della strada	7
Sensazioni sgradevoli	Stanchezza agli occhi

Interruzione guida	No
Motivo dell'interruzione	
Impressioni sul simulatore	Buone
UTENTE 26 QUESTIONARIO POST-TEST	
Naturalzza della guida	Si
Tipo di problema	
Realismo dello scenario di guida (1-10)	6
Commento	Troppi incroci e nessuna macchina da sorpassare o che mi sorpassasse
Presenza di particolari poco realistici	Scenario troppo scuro. Si vedono prima le strisce a terra e poi il segnale stradale.
Realismo del simulatore (1-7)	
Sensazione stradale	6
Progetto della strada	6
Ambiente circostante (terreno, case, alberi, ecc.)	5
Segnaletica orizzontale	7
Segnaletica verticale	
Altri veicoli	6
Sensazioni sgradevoli	Stanchezza agli occhi, sensazione di perdita di controllo del veicolo
Interruzione guida	No
Motivo dell'interruzione	
Impressioni sul simulatore	Buone, il volante era un pò a scatti, l'accelerazione non rispondeva immediatamente ai comandi soprattutto in fase di rilascio.
Individuazione di segnaletica particolare	
Descrizione della segnaletica	
Effetto della segnaletica sulla guida	

Utente 27

UTENTE 27 QUESTIONARIO SELEZIONE UTENTI	
Nome	
Indirizzo	
Tel	
E-mail	
Sesso	Donna
Età	43
Istruzione	Laurea
Professione	Avvocato
Data rilascio patente	21/08/1997
Chilometri annui percorsi	< 4000
Ambito di guida prevalente	In città
Incidenti nel triennio	Nessuno

Incidenti nel triennio in ambito extraurbano	Nessuno
Numero di infrazioni nel triennio	< tre
Tipo di infrazioni nel triennio	Corsie preferenziali
Data	03/07/2009
UTENTE 27 QUESTIONARIO POST-PRETEST	
Difficoltà di guida	Senza difficoltà
Tipo di problema	
Difficoltà nel mantenere una velocità stabile in rettilineo	Senza difficoltà
Tipo di problema	
Difficoltà nel mantenere una velocità stabile in curva	Con qualche difficoltà
Tipo di problema	Non riuscivo a controllare accelerazione
Difficoltà nel mantenere la traiettoria di guida in rettilineo	Senza difficoltà
Tipo di problema	
Difficoltà nel mantenere la traiettoria di guida in curva	Senza difficoltà
Tipo di problema	
Frequenza delle frenate brusche	Spesso
Causa delle frenate brusche	Mi sembrava necessario per affrontare la curva, almeno all'inizio della prova
Impressioni sul cambio	Credo che annoi il guidatore perché poco stimolante
Realismo del simulatore (1-7)	
Velocità	6
Accelerazione longitudinale	5
Accelerazione trasversale	5
Frenata	3
Cambio	3
Volante	7
Rumore del motore	6
Sensazione stradale	6
Progetto della strada	6
Sensazioni sgradevoli	
Interruzione guida	No
Motivo dell'interruzione	
Impressioni sul simulatore	Sicurezza alla guida e realistico
UTENTE 27 QUESTIONARIO POST-TEST	
Naturalità della guida	Si
Tipo di problema	
Realismo dello scenario di guida (1-10)	8
Commento	Perché poco trafficato
Presenza di particolari poco realistici	No
Realismo del simulatore (1-7)	
Sensazione stradale	6
Progetto della strada	6

Ambiente circostante (terreno, case, alberi, ecc.)	7
Segnaletica orizzontale	6
Segnaletica verticale	6
Altri veicoli	6
Sensazioni sgradevoli	
Interruzione guida	No
Motivo dell'interruzione	
Impressioni sul simulatore	Piacevole e rilassante
Individuazione di segnaletica particolare	Si
Descrizione della segnaletica	In prossimità degli incroci c'era segnaletica strana che rallentava la velocità
Effetto della segnaletica sulla guida	Ho ridotto la velocità

Utente 28

UTENTE 28 QUESTIONARIO SELEZIONE UTENTI	
Nome	
Indirizzo	
Tel	
E-mail	
Sesso	Uomo
Età	37
Istruzione	Laurea
Professione	Ingegnere
Data rilascio patente	20/11/1990
Chilometri annui percorsi	> 12000
Ambito di guida prevalente	Su tutti i tipi di strada
Incidenti nel triennio	Nessuno
Incidenti nel triennio in ambito extraurbano	
Numero di infrazioni nel triennio	< tre
Tipo di infrazioni nel triennio	Eccesso di velocità
Data	03/07/2009
UTENTE 28 QUESTIONARIO POST-PRETEST	
Difficoltà di guida	Senza difficoltà
Tipo di problema	
Difficoltà nel mantenere una velocità stabile in rettilineo	Senza difficoltà
Tipo di problema	
Difficoltà nel mantenere una velocità stabile in curva	Senza difficoltà
Tipo di problema	
Difficoltà nel mantenere la traiettoria di guida in rettilineo	Senza difficoltà
Tipo di problema	
Difficoltà nel mantenere la traiettoria di guida in curva	Senza difficoltà
Tipo di problema	
Frequenza delle frenate brusche	Mai

Causa delle frenate brusche	
Impressioni sul cambio	Il comportamento dell'automatico non e' sempre lo stesso.
Realismo del simulatore (1-7)	
Velocità	6
Accelerazione longitudinale	5
Accelerazione trasversale	6
Frenata	3
Cambio	4
Volante	5
Rumore del motore	6
Sensazione stradale	4
Progetto della strada	6
Sensazioni sgradevoli	
Interruzione guida	no
Motivo dell'interruzione	
Impressioni sul simulatore	Poco realistico il comportamento del veicolo in frenata, poco manovrabile il pedale, brusche reazioni dell'abitacolo.
UTENTE 28 QUESTIONARIO POST-TEST	
Naturalezza della guida	Si
Tipo di problema	
Realismo dello scenario di guida (1-10)	8
Commento	Ci sono veicoli nel senso opposto ma non nel proprio senso di marcia, mancano i segnali stradali.
Presenza di particolari poco realistici	Il comportamento dell'acceleratore e' poco realistico, ci sono delle oscillazioni non giustificate del volante, non funziona il contagiri.
Realismo del simulatore (1-7)	
Sensazione stradale	5
Progetto della strada	6
Ambiente circostante (terreno, case, alberi, ecc.)	6
Segnaletica orizzontale	6
Segnaletica verticale	6
Altri veicoli	6
Sensazioni sgradevoli	
Interruzione guida	no
Motivo dell'interruzione	
Impressioni sul simulatore	Buone, da migliorare i pedali di accelerazione e freno
Individuazione di segnaletica particolare	Si
Descrizione della segnaletica	Pavimentazione colorata, denti di drago
Effetto della segnaletica sulla guida	Ho ridotto la velocità

Utente 29

UTENTE 29 QUESTIONARIO SELEZIONE UTENTI	
Nome	
Indirizzo	
Tel	
E-mail	
Sesso	Donna
Età	30
Istruzione	Laurea
Professione	Libera professione
Data rilascio patente	17/11/1998
Chilometri annui percorsi	4000-8000
Ambito di guida prevalente	In città
Incidenti nel triennio	Uno
Incidenti nel triennio in ambito extraurbano	Nessuno
Numero di infrazioni nel triennio	Nessuna
Tipo di infrazioni nel triennio	
Data	03/07/2009
UTENTE 29 QUESTIONARIO POST-PRETEST	
Difficoltà di guida	Senza difficoltà
Tipo di problema	
Difficoltà nel mantenere una velocità stabile in rettilineo	Senza difficoltà
Tipo di problema	
Difficoltà nel mantenere una velocità stabile in curva	Senza difficoltà
Tipo di problema	
Difficoltà nel mantenere la traiettoria di guida in rettilineo	Senza difficoltà
Tipo di problema	
Difficoltà nel mantenere la traiettoria di guida in curva	Senza difficoltà
Tipo di problema	
Frequenza delle frenate brusche	Mai
Causa delle frenate brusche	
Impressioni sul cambio	
Realismo del simulatore (1-7)	
Velocità	6
Accelerazione longitudinale	6
Accelerazione trasversale	6
Frenata	7
Cambio	6
Volante	7
Rumore del motore	6
Sensazione stradale	7
Progetto della strada	7
Sensazioni sgradevoli	Capogiro

Interruzione guida	No
Motivo dell'interruzione	
Impressioni sul simulatore	Molto realistica la strada, ho avuto una strana sensazione nell'abituarmi alla guida
UTENTE 29 QUESTIONARIO POST-TEST	
Naturalzza della guida	Si
Tipo di problema	
Realismo dello scenario di guida (1-10)	8
Commento	
Presenza di particolari poco realistici	Il volante era un po' instabile
Realismo del simulatore (1-7)	
Sensazione stradale	6
Progetto della strada	7
Ambiente circostante (terreno, case, alberi, ecc.)	7
Segnaletica orizzontale	7
Segnaletica verticale	7
Altri veicoli	6
Sensazioni sgradevoli	Capogiro
Interruzione guida	No
Motivo dell'interruzione	
Impressioni sul simulatore	Buona sensazione, ho avuto un po' di capogiro in curva ed ogni tanto il volante vibrava
Individuazione di segnaletica particolare	No
Descrizione della segnaletica	
Effetto della segnaletica sulla guida	Nessuno

Utente 30

UTENTE 30 QUESTIONARIO SELEZIONE UTENTI	
Nome	
Indirizzo	
Tel	
E-mail	
Sesso	Uomo
Età	30
Istruzione	Laurea
Professione	
Data rilascio patente	08/10/1997
Chilometri annui percorsi	4000-8000
Ambito di guida prevalente	In città
Incidenti nel triennio	Nessuno
Incidenti nel triennio in ambito extraurbano	Nessuno
Numero di infrazioni nel triennio	Tre - sei

Tipo di infrazioni nel triennio	Passaggio con rosso al semaforo, eccesso velocità, guida a telefono
Data	03/07/2009
UTENTE 30 QUESTIONARIO POST-PRETEST	
Difficoltà di guida	Senza difficoltà
Tipo di problema	
Difficoltà nel mantenere una velocità stabile in rettilineo	Senza difficoltà
Tipo di problema	
Difficoltà nel mantenere una velocità stabile in curva	Senza difficoltà
Tipo di problema	
Difficoltà nel mantenere la traiettoria di guida in rettilineo	Con qualche difficoltà
Tipo di problema	Tremava il volante
Difficoltà nel mantenere la traiettoria di guida in curva	Senza difficoltà
Tipo di problema	
Frequenza delle frenate brusche	Mai
Causa delle frenate brusche	
Impressioni sul cambio	Un po' brusco
Realismo del simulatore (1-7)	
Velocità	6
Accelerazione longitudinale	6
Accelerazione trasversale	6
Frenata	6
Cambio	5
Volante	5
Rumore del motore	6
Sensazione stradale	6
Progetto della strada	6
Sensazioni sgradevoli	Nausea
Interruzione guida	No
Motivo dell'interruzione	
Impressioni sul simulatore	Sembra molto realistico
UTENTE 30 QUESTIONARIO POST-TEST	
Naturalità della guida	Si
Tipo di problema	
Realismo dello scenario di guida (1-10)	7
Commento	Crea un po' di rumore
Presenza di particolari poco realistici	Nessuno
Realismo del simulatore (1-7)	
Sensazione stradale	6
Progetto della strada	6
Ambiente circostante (terreno, case, alberi, ecc.)	6
Segnaletica orizzontale	6
Segnaletica verticale	6
Altri veicoli	6

Sensazioni sgradevoli	Nausea
Interruzione guida	No
Motivo dell'interruzione	
Impressioni sul simulatore	Scenario extraurbano poco trafficato con assenza di veicoli alle intersezioni.
Individuazione di segnaletica particolare	Si
Descrizione della segnaletica	Segnaletica orizzontale: bande rumorose o strisce , segnaletica verticale: segnali di intersezione
Effetto della segnaletica sulla guida	Ho ridotto la velocità

APPENDICE C: Profili di velocità e di decelerazione

