



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, EDILE ED AMBIENTALE

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA CIVILE

TESI DI LAUREA

CONTROMISURE PERCETTIVE PER LA RIDUZIONE DELLA
VELOCITA' IN CURVA. VALIDAZIONE E SIMULAZIONE IN AMBIENTE
VIRTUALE.

RELATORE: PROF. ING. RICCARDO ROSSI

CORRELATORE: PROF. ING. MASSIMILIANO GASTALDI

LAUREANDO: MICHELE ZORNETTA

MATRICOLA: 1012423

ANNO ACCADEMICO 2012 - 2013

INDICE

Introduzione.....	3
Capitolo 1 - La sicurezza stradale.....	5
1.1 - L'aumento del parco macchine e dell'incidentalità in Italia nell'ultimo secolo.....	5
1.2 - I dati di incidentalità relativi all'ultimo decennio.....	8
1.3 - La situazione Europea.....	11
1.4 - La distribuzione spaziale dei sinistri.....	13
1.5 - La distribuzione temporale dei sinistri.....	14
1.6 - La natura degli incidenti.....	19
1.7 - Le cause scatenanti gli incidenti.....	21
1.8 - Vittime degli incidenti.....	22
Capitolo 2 - La manipolazione del flusso ottico.....	24
2.1 - Il flusso ottico.....	24
2.2 - L'uso del simulatore di guida nella sperimentazione.....	29
2.3 - La manipolazione del flusso ottico. Studi al simulatore.....	32
2.3.1 - Sperimentazione di Godley.....	36
2.3.2 - Sperimentazione di Manser - Hancock.....	40
2.3.3 - Sperimentazione di Jamson.....	43
2.3.4 - Sperimentazione di Montella.....	47
2.3.5 - Sperimentazione di Rossi	51
2.4 - La manipolazione del flusso ottico. Misure di campo.....	55
2.4.1 - Sperimentazione di Dell'Acqua.....	55
2.4.2 - Sperimentazione di Allpress.....	57
Capitolo 3 - Analisi sperimentale.....	60
3.1 - Descrizione del sito di osservazione.....	62
3.2 - Rilevazioni di campo della velocità.....	64
3.3 - Strumentazione di laboratorio.....	69
3.4 - Soggetti e procedura.....	72

3.5 - Sperimentazione di laboratorio.....	75
3.5.1 - Prima validazione (Fase A).....	75
3.5.2 - Seconda validazione (Fase B).....	76
3.5.3 - Descrizione delle contromisure utilizzate nella Fase C.....	79
3.5.4 - Esperimento vero e proprio (Fase C).....	84
3.6 - Validazione dello scenario virtuale (Fase B).....	85
Capitolo 4 - Trattamenti per la riduzione della velocità (Fase C). Analisi degli effetti	96
4.1 - Utilizzo ai fini della sperimentazione.....	96
4.2 - Analisi dei dati relativi all'esperimento.....	96
Considerazioni conclusive.....	116
Bibliografia.....	119
Appendice.....	123
A 1 - Teoria: l'analisi di raggruppamento (cluster analysis).....	123
A 1.1 - Il "cluster gerarchico".....	123
A 1.2 - Il "K - means".....	129
A 1.3 - Il "2 Step".....	130
A 2 - Teoria: l'algoritmo del "K Vicino Più Vicino".....	131
B 1 - Cenni di statistica inferenziale. Test "ANOVA" e test "t".....	133
B 1.1 - L'analisi della varianza.....	133
B 1.2 - Il t - test.....	136
Ringraziamenti.....	137

Introduzione

Una delle principali cause di incidente stradale è l'errore umano, nella maggior parte dei casi dovuto ad una errata valutazione del contesto di guida che porta spesso all'adozione, da parte del guidatore, di velocità non compatibili con detto contesto. Buona parte degli incidenti tende infatti a concentrarsi in quegli ambiti che, per la loro criticità intrinseca, dovrebbero prevedere una riduzione della velocità del veicolo. Alcune di queste situazioni "critiche" possono essere le curve, gli attraversamenti pedonali e ciclabili, i cantieri stradali e le intersezioni, siano esse regolate con precedenza a destra, con rotatoria o con controllo semaforizzato.

In alcuni casi, specialmente in ambito extraurbano, caratterizzati da limiti di velocità più elevati, è proprio l'ambiente stradale a condizionare il comportamento degli utenti suggerendo velocità di crociera superiori a quelle di sicurezza e creando di conseguenza situazioni di potenziale pericolo in corrispondenza degli elementi suddetti.

L'oggetto di questa tesi è in primo luogo validare lo strumento di simulazione di guida, confrontando dati reali ottenuti da rilievi sul campo con dati ottenuti da simulazioni facendo riferimento alla situazione base che chiameremo di controllo, in secondo luogo ci si pone l'obiettivo di studiare il possibile utilizzo dei delineatori di margine, già ampiamente impiegati in ambito extraurbano per il miglioramento della visualizzazione dell'andamento della strada, come contromisura di tipo percettivo / visivo finalizzata alla manipolazione del flusso ottico avvertito dall'utente e alla riduzione della velocità in prossimità di un pericolo generico. Il senso della vista è infatti una delle maggiori fonti di informazioni utili al controllo del movimento, questo è dovuto al fatto che tutte le percezioni sono derivanti dall'osservazione degli spostamenti istantanei degli elementi che compongono lo scenario, caratterizzanti il cosiddetto flusso ottico.

La tesi qui presentata si compone di quattro capitoli.

Introduzione

Nel primo capitolo si forniscono delle informazioni riguardanti l'incidentalità in ambito italiano ed europeo, si riportano i dati ISTAT per l'anno 2011 ed i trend relativi agli ultimi 10.

Nel secondo capitolo si fa una breve parentesi nella quale vengono esposti alcuni rudimenti di ottica al fine di permettere la corretta comprensione degli studi effettuati. Con lo stesso intento viene quindi presentata una serie di studi passati, costituenti parte della bibliografia, aventi come tema l'utilizzo di diversi tipi di dispositivi e contromisure percettive atti a generare una riduzione di velocità dei veicoli in differenti situazioni.

Nel terzo capitolo si espone nel dettaglio la sperimentazione effettuata nel Laboratorio di Trasporti del DICEA (Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile ed Ambientale) dell'Università di Padova, con la descrizione della strumentazione e delle metodologie utilizzate, nonché del campione di partecipanti. Si espongono le caratteristiche dell'esperimento, attraverso la descrizione del tracciato e delle configurazioni degli elementi inseriti in esso.

Nel quarto capitolo infine si espongono i test statistici effettuati sulla base di dati raccolti attraverso la sperimentazione e la discussione dei risultati ottenuti.

Capitolo 1 - La sicurezza stradale

L'incidentalità attualmente rappresenta una delle maggiori criticità legate all'esercizio delle infrastrutture stradali. La Convenzione di Vienna del 1968 definisce come "incidente stradale" il fatto verificatosi nelle vie o piazze aperte alla circolazione nel quale risultano coinvolti veicoli (o animali) fermi o in movimento e dal quale siano derivate lesioni a persone. Il Codice della Strada Italiano, inoltre, considera come incidenti stradali anche gli eventi dai quali derivino solamente danni a cose, ma in quest'ultimo caso essi non vengono contemplati ai fini delle statistiche ufficiali. I dati che verranno di seguito riportati, ricavati dalle statistiche ufficiali pubblicate dall'ISTAT, non comprenderanno quindi i sinistri avvenuti al di fuori delle aree pubbliche, quelli da cui non sono derivate lesioni alle persone e che non hanno coinvolto veicoli o animali.

1.1 - L'aumento del parco macchine e dell'incidentalità in Italia nell'ultimo secolo

In Italia, a partire dagli anni '30, il numero di veicoli in circolazione è aumentato in maniera continua, come è possibile osservare nel grafico di Fig. 1.1.

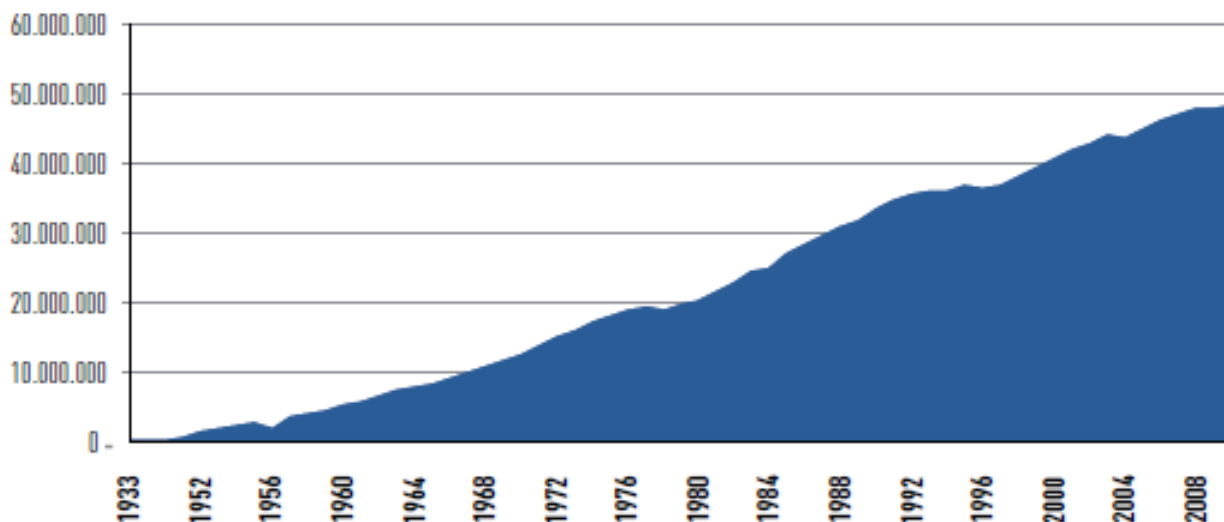


Fig. 1.1 - Volume del parco veicoli italiano negli ultimi 75 anni. Fonte: ISTAT.

Il parco veicolare ha raggiunto nel 2010 un volume pari a 48 milioni e 700 mila veicoli, determinando così approssimativamente un rapporto di 800 veicoli ogni 1000 abitanti. Tale

valore fa sì che, all'interno della Comunità Europea, l'Italia si riveli essere il paese con la più alta densità di veicoli. Ad un tale aumento del parco veicolare è corrisposto inoltre un aumento del numero di incidenti legati all'uso di mezzi di locomozione.

A partire dagli anni '50, infatti, il numero di sinistri e feriti sulle strade è aumentato rapidamente per poi assestarsi e, successivamente, crescere nuovamente negli anni '90 raggiungendo un picco nel 2002, quindi diminuendo progressivamente fino al 2010.

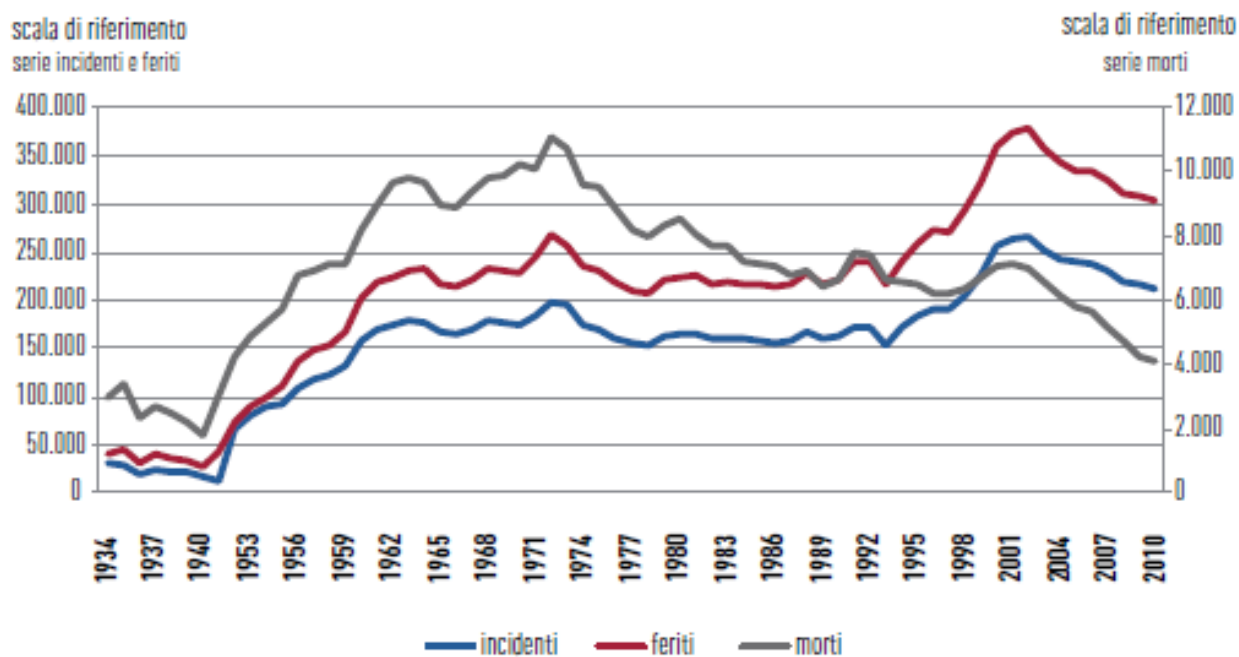


Fig. 1.2 - Profilo dell'incidentalità nel corso degli ultimi 75 anni. Fonte: ISTAT.

Come si può osservare nel grafico precedente, il numero di morti dovuti ad incidenti stradali è aumentato progressivamente di anno in anno fino a raggiungere un picco nel 1972 (11.078), per poi scendere progressivamente fino al 2010 (4.090). La riduzione del numero di decessi negli ultimi 40 anni, nonostante la crescita del numero di incidenti, è indice di un miglioramento generale della sicurezza stradale dovuta ad innovazioni sia nell'ambito veicolare che in quello infrastrutturale, oltre che dal punto di vista formativo.

Analizzando il grafico rappresentato in Fig. 1.3 è possibile osservare come il numero di morti sulle strade extraurbane si attesti a livelli più elevati rispetto a quelli registrati nelle strade urbane per la totalità del periodo di osservazione. Solamente negli ultimi quindici anni la differenza tra le due categorie ha subito un calo, denotando quindi una notevole riduzione dei decessi in ambito extraurbano.

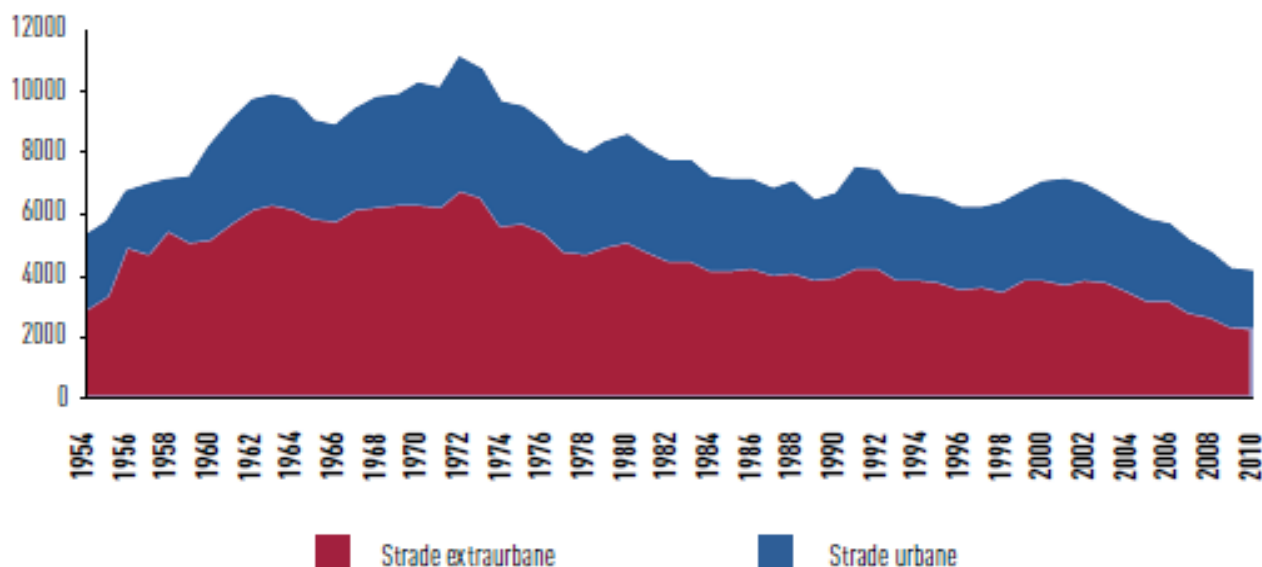


Fig. 1.3 - Numero di morti per incidente stradale nel corso degli anni. Fonte: ISTAT.

La riduzione della mortalità in quest'arco di tempo è imputabile a diversi fattori, quali:

- L'avanzamento tecnologico del parco veicolare. Negli ultimi 15 anni sono stati studiati diversi sistemi di sicurezza, attivi e passivi, rapidamente diffusisi e ormai diventati di serie.

I sistemi attivi sono quelli volti alla prevenzione delle situazioni pericolose. Si possono citare:

- l'ABS che impedisce il bloccaggio delle ruote,
- l'ESP che controlla la stabilità dinamica del veicolo,
- il TCS che controlla la trazione.

I sistemi passivi invece intervengono in caso di collisione per limitare i danni ai passeggeri e al veicolo. Si possono citare:

- le cinture di sicurezza che evitano l'eiezione del passeggero dall'abitacolo,
 - gli airbag che evitano l'urto con parti dello stesso,
 - il telaio che con zone di comprimibilità appositamente predisposte permette di assorbire parte dell'urto,
 - altri sistemi quali i paraurti ad assorbimento o le barre anti - intrusione atti a ridurre gli effetti degli impatti.
- Un generale aumento dell'attenzione da parte delle amministrazioni per il problema dell'incidentalità, che ha portato all'adozione di diverse contromisure quali:

- l'istituzione della patente a punti,
- la separazione delle utenze attraverso la costruzione di corsie e/o vie separate come piste ciclabili, sottopassi e ponti,
- i limiti all'accesso dei pedoni a tutte le vie extraurbane,
- procedure per rallentare il traffico nelle zone urbane a forte presenza di pedoni quali la creazione di:
 - chicanes per mezzo di parcheggi sfalsati, avanzamento dei marciapiedi e fermate degli autobus,
 - restringimenti (strettoie) agli incroci,
 - dossi rallentatori,
 - platee rialzate,
 - cuscini berlinesi,
 - zone 30,
 - bande sonore e ottiche.
- la creazione di barriere per i pedoni che impediscano l'attraversamento di giunzioni complesse,
- la riduzione dei limiti di velocità all'interno degli ambiti urbani,
- una vigilanza rigorosa dei limiti di velocità mediante l'impiego di sistemi automatici come telecamere e autovelox.

1.2 - I dati di incidentalità relativi all'ultimo decennio

Contrariamente a quanto si può pensare in base alle notizie di cronaca quotidiane, l'analisi statistica dell'incidentalità sul lungo periodo mostra come nell'ultimo decennio si sia verificata una lenta ma sostanziale riduzione del numero e della gravità degli incidenti. Come osservato nel paragrafo precedente ad un aumento dell'incidentalità iniziato durante il boom economico del secondo dopoguerra, è seguita una riduzione solo a partire dalla fine degli anni '90.

Capitolo 1 - La sicurezza stradale

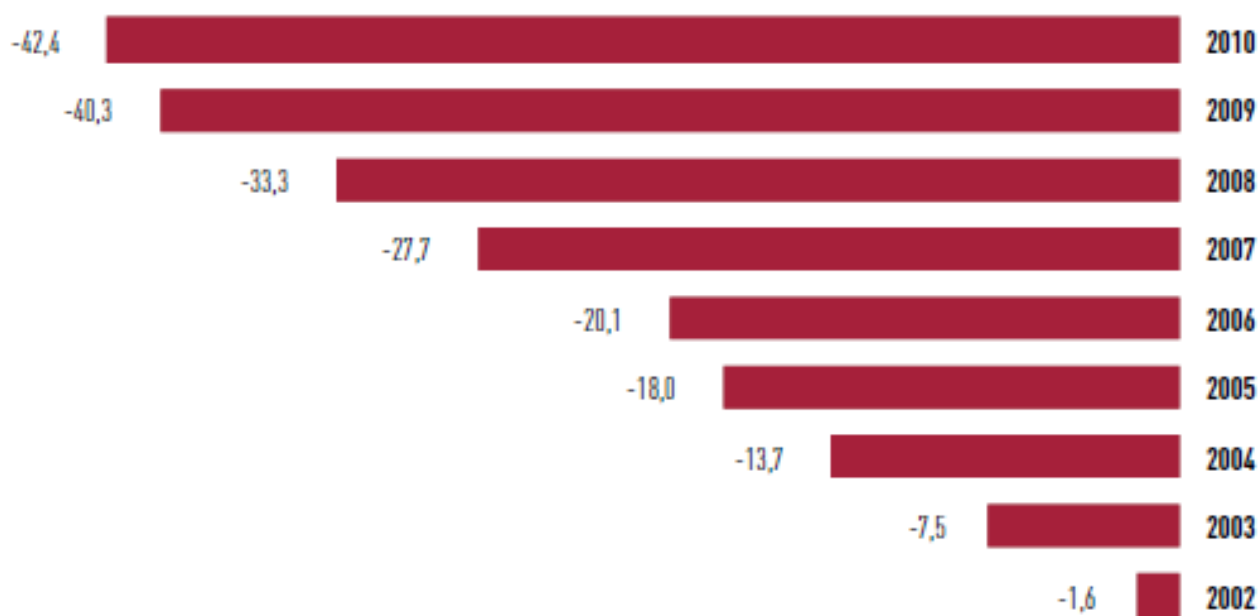


Fig 1.4 - Riduzione percentuale annua dei morti per incidente in riferimento all'anno 2001.
Fonte: ISTAT.

Secondo l'ultimo rapporto ACI - ISTAT nell'anno 2011 sono stati verbalizzati dalle Forze dell'Ordine 205.638 incidenti stradali, i quali hanno causato 3.860 decessi ed un numero di feriti pari a 292.019. Questo sta a significare che nel 2011 si sono verificati mediamente 563 incidenti al giorno che hanno comportato 11 morti e 800 feriti.

Tali dati mettono in evidenza un calo, rispetto all'anno precedente, il 2010, una lieve riduzione degli incidenti (- 2,7 %) e dei feriti (- 3,5 %), ed un calo più consistente dei morti (- 5,6 %).

INCIDENTI STRADALI E PERSONE COINVOLTE (a)	Valori assoluti		Variazioni percentuali 2011/2010
	2010	2011	
Incidenti stradali	211.404	205.638	-2,7
Morti	4.090	3.860	-5,6
Feriti	302.735	292.019	-3,5

Tab. 1.1 - Prospetto di incidenti stradali, morti e feriti, 2010 - 2011. Fonte: ISTAT.

In Italia nell'ultimo decennio, in riferimento ai dati ISTAT relativi all'anno 2001, gli incidenti stradali con lesioni a persone sono passati da 263.100 a 205.638, i morti sono diminuiti da 7.096 a 3.860 e i feriti da 373.286 a 292.019, cui corrispondono delle riduzioni percentuali

rispettivamente di 21,8 %, 45,6 % e 21,8 %. Tale tendenza assume un significato ancora maggiore se si considera che, nello stesso arco temporale, il parco veicolare è cresciuto di circa il 16 %.

ANNI	Incidenti	Morti	Feriti	Indice di mortalità (a)	Variazione percentuale annua numero morti (b)	Variazione percentuale numero morti (base 2001=100) (b)
2001	263.100	7.096	373.286	2,70	-	-
2002	265.402	6.980	378.492	2,63	-1,6	-1,6
2003	252.271	6.563	356.475	2,60	-6,0	-7,5
2004	243.490	6.122	343.179	2,51	-6,7	-13,7
2005	240.011	5.818	334.858	2,42	-5,0	-18,0
2006	238.124	5.669	332.955	2,38	-2,6	-20,1
2007	230.871	5.131	325.850	2,22	-9,5	-27,7
2008	218.963	4.725	310.745	2,16	-7,9	-33,4
2009	215.405	4.237	307.258	1,97	-10,3	-40,3
2010	211.404	4.090	302.735	1,93	-3,5	-42,4
2011	205.638	3.860	292.019	1,88	-5,6	-45,6

Tab. 1.2 - Prospetto di incidenti stradali, morti e feriti, 2001 - 2011. Fonte: ISTAT.

Il dato più significativo, come già affermato in precedenza, rimane comunque la costante riduzione dell'indice di mortalità (ossia del numero di morti ogni 100 incidenti), il quale è passato da 2,7 (nel 2001) a 1,88 (nel 2011). La riduzione percentuale annua del numero dei morti rappresentata precedentemente in Fig. 1.4, evidenzia che a partire dal 2003 la riduzione della mortalità ha assunto valori sempre più consistenti.

Questo fenomeno può essere in parte spiegato dal fatto che nello stesso anno il Codice della Strada è stato oggetto di revisione, con l'introduzione del provvedimento noto come "patente a punti" (Decreto Legge n.151 del 27 giugno 2003, convertito poi nella Legge n. 214 del 1 agosto 2003). L'ampliamento Forze di Polizia e l'inasprimento delle sanzioni, uniti alla prospettiva di una detrazione di punti dalla patente in seguito ad infrazioni che compromettano la sicurezza stradale, hanno contribuito, ad una riduzione di tutti quei comportamenti scorretti che sono cause potenziali di sinistri, quali:

- mancato uso della cintura,
- mancato rispetto dei limiti di velocità,
- uso del cellulare alla guida,
- mancato uso del casco e guida in condizioni di ebbrezza.

Altre cause possono ricercarsi nella maggiore consapevolezza dei rischi da parte dei guidatori, grazie alle numerose campagne di sensibilizzazione che sono state periodicamente svolte.

1.3 - La situazione Europea

Secondo i dati ISTAT nell'Unione Europea si sono registrati, nell'anno 2011, 30.168 morti per incidenti stradali, con una riduzione del 2,8 % rispetto al valore misurato nell'anno precedente. In riferimento all'obiettivo di ridurre la mortalità stradale del 50 % entro il 2010, posto il 13 settembre 2001 dalla Commissione Europea all'interno del Libro Bianco, documento che contiene proposte di azione della UE, l'Italia si è posizionata al 14° posto, nella classifica dei Paesi membri a pari merito con il Regno Unito, con una riduzione del 45,6 %. Pur non avendo raggiunto l'obiettivo prefissato si trova in linea con la riduzione media europea, pari al 44,5 %.

Come si può osservare i Paesi che hanno raggiunto l'obiettivo prefissato sono stati Francia, Irlanda, Lettonia, Lituania, Lussemburgo, Portogallo e Spagna, con percentuali di riduzione degli incidenti mortali comprese tra il 51,4 % e il 67,9 %, seguiti da Estonia e Slovenia, con percentuali rispettivamente del 49,2 % e 49,3 %. I Paesi per i quali la variazione nell'incidentalità si discosta maggiormente rispetto la media europea del 2011 (44,5 %) sono Malta, Romania e Cipro, rispettivamente con delle riduzioni del 6,3 %, 17,7 % e 27,6 %.

Capitolo 1 - La sicurezza stradale

PAESI UE27	Valori assoluti			Variazioni percentuali (b)		
	2001	2010	2011	2010/2001	2011/2001	2011/2010
Austria	958	552	523	-42,4	-45,4	-5,3
Belgio*	1.486	840	875	-43,5	-41,1	4,2
Bulgaria	1.011	776	658	-23,2	-34,9	-15,2
Cipro	98	60	71	-38,8	-27,6	18,3
Danimarca*	431	255	221	-40,8	-48,7	-13,3
Estonia	199	79	101	-60,3	-49,2	27,8
Finlandia*	433	272	292	-37,2	-32,6	7,4
Francia	8.162	3.992	3.970	-51,1	-51,4	-0,6
Germania*	6.977	3.651	4.002	-47,7	-42,6	9,6
Grecia*	1.880	1.258	1.087	-33,1	-42,2	-13,6
Irlanda	411	212	186	-48,4	-54,7	-12,3
Italia	7.096	4.090	3.860	-42,4	-45,6	-5,6
Lettonia	558	218	179	-60,9	-67,9	-17,9
Lituania*	706	299	297	-57,6	-57,9	-0,7
Lussemburgo	70	32	33	-54,3	-52,9	3,1
Malta	16	15	17	-6,3	6,3	13,3
Olanda	1.083	640	661	-40,9	-39,0	3,3
Polonia*	5.534	3.907	4.189	-29,4	-24,3	7,2
Portogallo	1.670	845	785	-49,4	-53,0	-7,1
Regno Unito*	3.598	1.905	1.958	-47,1	-45,6	2,8
Repubblica Ceca	1.334	802	707	-39,9	-47,0	-11,8
Romania	2.454	2.377	2.018	-3,0	-17,7	-15,1
Slovacchia	625	353	324	-43,5	-48,2	-8,2
Slovenia	278	138	141	-50,4	-49,3	2,2
Spagna	5.517	2.478	2.056	-55,1	-62,7	-17,0
Svezia	531	266	319	-49,9	-39,9	19,9
Ungheria	1.239	740	638	-40,3	-48,5	-13,8
UE27	54.355	31.052	30.168	-42,9	-44,5	-2,8

Tab. 1.3 - Prospetto degli incidenti stradali, morti e feriti nei Paesi dell'Unione Europea, 2001 - 2011. Fonte: ISTAT.

Il traguardo prefissato nel Libro Bianco dell'Unione Europea si può quindi considerare per lo più raggiunto, ed il 2011 rappresenta la fine di un decennio che si è rivelato fruttuoso in termini di aumento della sicurezza stradale.

Nel 2011 anche l'ONU, a livello mondiale, ha lanciato una nuova sfida inaugurando un nuovo decennio di iniziative per la sicurezza stradale, confermando l'importanza della prevenzione.

1.4 - La distribuzione spaziale dei sinistri

Nell'anno 2011 sulle strade urbane si sono verificati 157.023 incidenti, che rappresentano il 76,4 % del totale dei sinistri, con una percentuale di morti e feriti pari rispettivamente al 45,2 % e al 72,9 % sul totale. Sulle autostrade si sono verificati 11.007 incidenti, pari al 5,4 % del totale, con una percentuale di decessi del 8,8 % e quella dei feriti del 6,3 %.

Infine sulle altre strade, ossia le extraurbane (siano esse Statali, Regionali, Provinciali o Comunali), si sono verificati 37.608 incidenti a rappresentare il 18,3 % della totalità, che hanno provocato il 46,1 % delle morti ed il 20,7 % dei feriti.

CATEGORIA DELLA STRADA	Incidenti	Morti	Feriti	Indice di mortalità (a)	Variazione percentuale Incidenti 2011/2010	Variazione percentuale Morti 2011/2010	Variazione percentuale Feriti 2011/2010
Strade urbane	157.023	1.744	213.001	1,1	-1,9	-0,9	-2,5
Autostrade e raccordi	11.007	338	18.515	3,1	-8,9	-10,1	-10,4
Altre strade (b)	37.608	1.778	60.503	4,7	-4,2	-9,1	-5,0
Totale	205.638	3.860	292.019	1,9	-2,7	-5,6	-3,5

Tab. 1.4 - Prospetto degli incidenti stradali, morti e feriti per categoria di strada, 2011.
Fonte: ISTAT.

La Tab. 1.4 mostra, attraverso l'indice di mortalità (ossia il rapporto percentuale tra il numero di decessi ed il numero di incidenti) come quelli più gravi avvengano sulle strade extraurbane (escluse le autostrade), dove si registrano 4,7 morti ogni 100 incidenti.

Sulle autostrade, invece, l'indice di mortalità si presenta leggermente inferiore, con un valore pari a 3,1. Infine i sinistri sulle strade urbane si rivelano essere i meno gravi in assoluto, con un rapporto di 1,1.

Nel 2011, in rapporto all'anno precedente, si osserva una riduzione dell'incidentalità su tutti gli ambiti stradali. Tale riduzione si presenta in maniera più consistente sulle autostrade e sui raccordi, con una diminuzione del numero degli incidenti (- 8,9 %), del numero di decessi (- 10,1 %) e del numero di feriti (- 10,4 %).

Seguono poi le strade extraurbane in cui si registra una diminuzione del numero degli incidenti (- 4,2 %), alla quale corrisponde una riduzione del numero di morti (- 9,1 %) e del numero di feriti (- 5,0 %).

Infine le strade urbane, in cui si registra una diminuzione del numero di sinistri (- 1,9 %),

alla quale corrisponde una riduzione del numero di morti (- 0,9 %) e del numero di feriti (- 2,5 %).

Tra il 2008 ed il 2009 c'è stata una forte riduzione del numero di incidenti mortali sulle autostrade, a seguito dell'implementazione del sistema "Tutor" di controllo della velocità media introdotto nel 2006 e rapidamente diffusi.

TIPO DI STRADA	Incidenti	Morti	Indice di mortalità (b)
Una carreggiata a senso unico	2.672	49	1,8
Una carreggiata a doppio senso	31.240	1.595	5,1
Doppia carreggiata, più di due carreggiate	3.696	134	3,6
Totale	37.608	1.778	4,7

Tab. 1.5 - Incidenti stradali, morti e feriti sulla rete extraurbana (escluse autostrade) per tipologia, 2011. Fonte: ISTAT.

Per quanto riguarda le diverse tipologie di strada extraurbana (escluse autostrade), come si può osservare dalla Tab. 1.5, il valore massimo dell'indice di mortalità viene registrato per le strade a carreggiata singola e a doppio senso di marcia con 5,1 morti ogni 100 incidenti.

1.5 - La distribuzione temporale dei sinistri

MESI	Incidenti		Morti		Indice di mortalità (a)
	Valori assoluti	Media giornaliera	Valori assoluti	Media giornaliera	
gennaio	13.925	449	286	9	2,1
febbraio	14.099	504	263	9	1,9
marzo	15.673	506	258	8	1,6
aprile	18.199	607	330	11	1,8
maggio	20.274	654	367	12	1,8
giugno	18.996	633	358	12	1,9
luglio	19.515	630	360	12	1,8
agosto	16.768	541	386	12	2,3
settembre	18.655	622	350	12	1,9
ottobre	18.307	591	317	10	1,7
novembre	15.815	527	269	9	1,7
dicembre	15.412	497	316	10	2,1
Totale	205.638	563	3.860	11	1,9

Tab. 1.6 - Prospetto incidenti stradali e morti su base mensile, 2011. Fonte: ISTAT.

Nel 2011 il maggior numero di incidenti è stato registrato a maggio, con 20.274 sinistri in totale, di cui 367 mortali; mentre in agosto si sono registrati 16.768 sinistri in totale, di cui 386 mortali.

Maggio si rivela essere il mese con la media giornaliera più alta sia di incidenti (654 sinistri / giorno) che di decessi (12 morti / giorno). La stessa media di 12 morti / giorno può essere riscontrata nei mesi estivi di giugno, luglio, agosto e settembre, come evidenziato in Tab. 1.6.

L'indice di mortalità risulta essere più elevato in corrispondenza del mese di agosto (2,3 morti ogni 100 incidenti), probabilmente a causa dell'elevato tasso di utilizzo dei mezzi di locomozione in occasione degli esodi estivi e della maggiore circolazione sulle autostrade. E' possibile anche osservare come la minima frequenza di incidenti sia registrata nel mese di gennaio (13.925) con una media giornaliera di 449 sinistri / giorno.

MESI	Strade urbane			Strade extraurbane (a)		
	Incidenti	Morti	Indice di mortalità (b)	Incidenti	Morti	Indice di mortalità (b)
gennaio	10.492	141	1,3	3.433	145	4,2
febbraio	10.778	117	1,1	3.321	146	4,4
marzo	12.052	113	0,9	3.621	145	4,0
aprile	14.065	157	1,1	4.134	173	4,2
maggio	15.657	175	1,1	4.617	192	4,2
giugno	14.573	150	1,0	4.423	208	4,7
luglio	14.471	144	1,0	5.044	216	4,3
agosto	12.214	172	1,4	4.554	214	4,7
settembre	14.380	154	1,1	4.275	196	4,6
ottobre	14.343	154	1,1	3.964	163	4,1
novembre	12.257	129	1,1	3.558	140	3,9
dicembre	11.741	138	1,2	3.671	178	4,8
Totale	157.023	1.744	1,1	48.615	2.116	4,4

Tab. 1.7 - Prospetto incidenti stradali e morti su base mensile e categoria di strada, 2011.

Fonte: ISTAT.

Suddividendo i dati in funzione della categoria di strada, come da Tab. 1.7, si può avere la conferma di ciò che è stato appena osservato, con maggio e gennaio i mesi aventi, rispettivamente, la massima e la minima frequenza di sinistri, e agosto il mese avente l'indice di mortalità più elevato. Si può inoltre confermare l'osservazione relativa alla distribuzione spaziale dei sinistri i quali si verificano con maggiore frequenza in contesto urbano ma con una mortalità più alta in ambito extraurbano.

Facendo sempre riferimento ai dati ISTAT per l'anno 2011, si nota che il maggior numero di incidenti si verifica il venerdì (32.121 sinistri, pari al 15,6 %).

Per quanto riguarda i feriti la frequenza più elevata si verifica il venerdì, con un numero di 44.229 pari al 15,1 % del totale. Sabato presenta invece la frequenza più elevata per i decessi (641, pari al 16,6 % del totale).

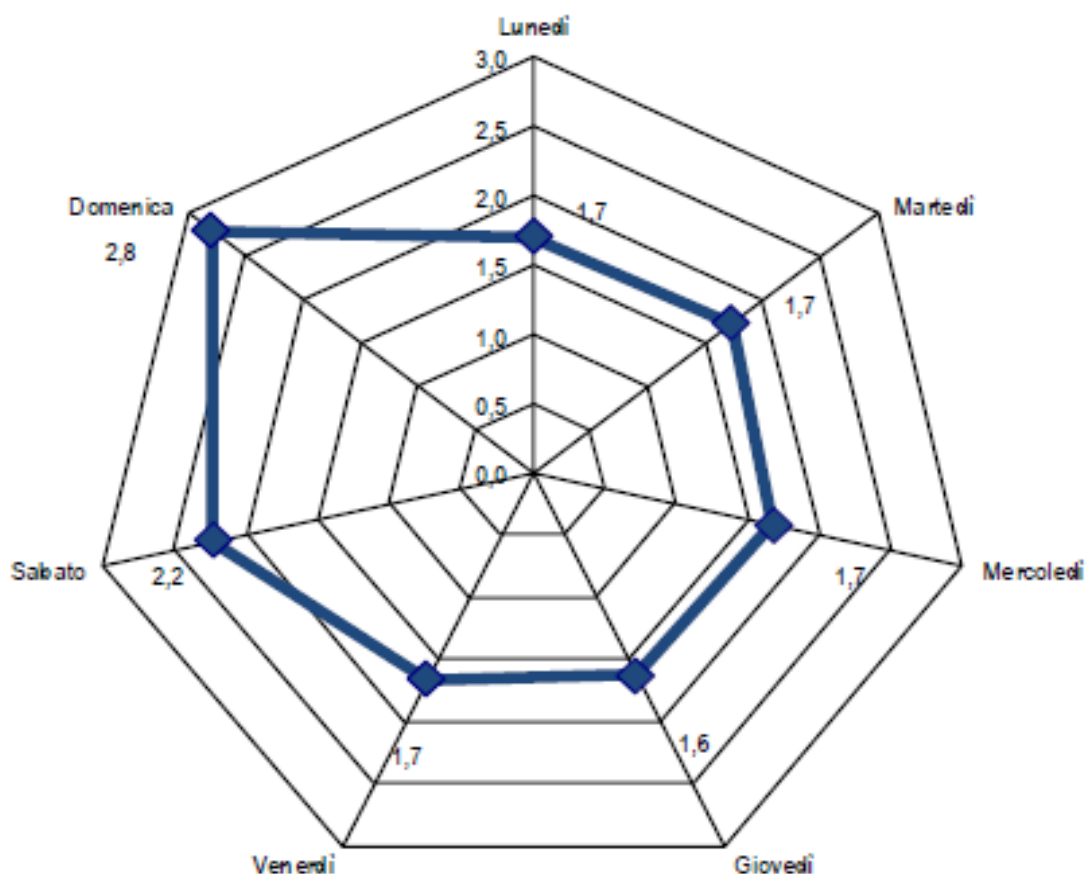


Fig. 1.5 - Prospetto incidenti stradali e morti su base mensile e categoria di strada, 2011. Fonte: ISTAT.

Come è possibile osservare nella Fig. 1.5, l'indice di mortalità presenta il valore massimo (2,8 morti ogni 100 incidenti) la domenica, seguito dal sabato con 2,2. L'indice di mortalità scende a 1,7 il lunedì, il martedì, il mercoledì e il venerdì mentre vale 1,6 per il giovedì. Il week - end resta pertanto il periodo nero della settimana.

Capitolo 1 - La sicurezza stradale

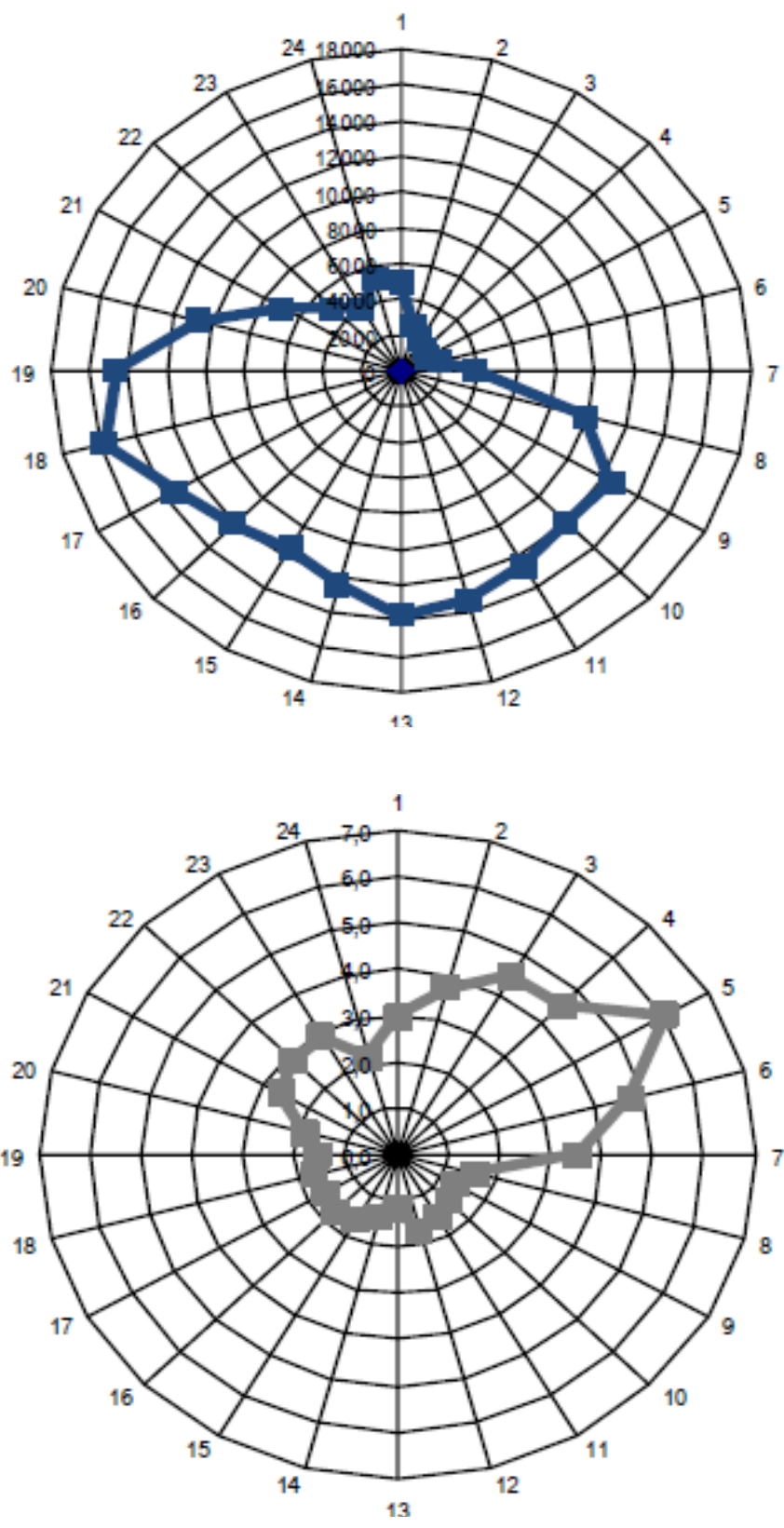


Fig. 1.6 - Prospetto incidenti stradali e indice di mortalità su base oraria, 2011.
Fonte: ISTAT.

Parlando della distribuzione degli incidenti nell'arco della giornata, osservabile in Fig. 1.6, si può notare come essa presenti dei picchi nelle seguenti fasce orarie:

- alle 9.00 del mattino, in corrispondenza degli spostamenti sistematici casa - lavoro e casa - studio;
- alle 13.00 del pomeriggio, in corrispondenza dei movimenti studio - casa e della pausa pranzo per quello che riguarda i lavoratori ad orario non continuato;
- alle 18.00 della sera, orario in cui si presenta la punta massima, dovuta allo spostamento dei lavoratori verso le proprie abitazioni, alla condizione psico - fisica alterata dall'accumulo di stress lavorativo e alla riduzione della visibilità dovuta al tramonto.

In riferimento all'indice di mortalità è possibile individuare come fascia di interesse quella compresa tra le 20 della sera e le 7 del mattino, in cui viene registrato un valore superiore a quello medio giornaliero, con un picco di 6 decessi ogni 100 incidenti che si presenta intorno alle 5 del mattino.

GIORNI DELLA SETTIMANA	Strade urbane			Strade extraurbane (b)			Totale		
	Incidenti	Morti	Feriti	Incidenti	Morti	Feriti	Incidenti	Morti	Feriti
Venerdì notte	4.081	93	6.369	1.443	104	2.526	5.524	197	8.895
Sabato notte	4.571	84	7.781	1.807	140	3.394	6.378	224	11.175
Totale venerdì e sabato notte	8.652	177	14.150	3.250	244	5.920	11.902	421	20.070
Domenica notte	2.361	48	3.754	1.011	80	1.747	3.372	128	5.501
Lunedì notte	2.287	42	3.335	796	59	1.331	3.083	101	4.666
Martedì notte	2.574	41	3.717	815	54	1.227	3.389	95	4.944
Mercoledì notte	2.771	51	4.072	899	65	1.439	3.670	116	5.511
Giovedì notte	2.848	47	4.170	959	76	1.497	3.807	123	5.667
Totale altre notti	12.841	229	19.048	4.480	334	7.241	17.321	563	26.289
Totale notte nel complesso	21.493	406	33.198	7.730	578	13.161	29.223	984	46.359

Tab. 1.8 - Prospetto incidenti stradali, morti e feriti nella fascia oraria notturna, 2011.

Fonte: ISTAT.

Dalla tabella si nota che nella fascia notturna compresa dalle 22 della sera alle 6 del mattino si sono verificati, nell'anno 2011, 29.223 incidenti stradali (pari al 14,2 % del totale), che hanno causato il decesso di 984 persone (25,5 % del totale dei morti) e il ferimento di altre 46.359 (15,9 % del totale dei feriti).

In particolare, quasi la metà degli incidenti notturni, più precisamente il 40,7 % di essi, viene a verificarsi nel week - end, ossia venerdì e sabato notte. Nel fine settimana il numero di morti e di feriti rappresenta rispettivamente il 42,8 % e il 43,3 % del totale nelle

ore notturne. Guardando la Fig. 1.7 si nota che per le strade extraurbane i picchi dell'indice di mortalità sono alla domenica e al giovedì con un valore di 7,9.

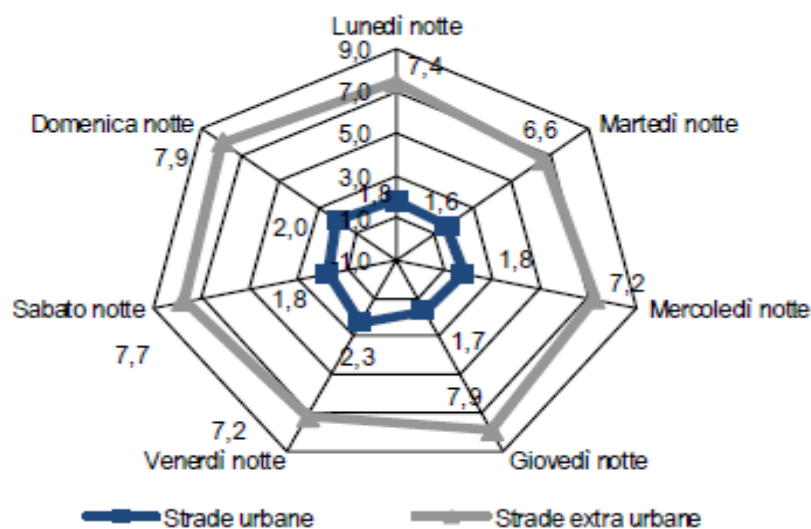


Fig. 1.7 - Prospetto indice di mortalità per giorno della settimana durante la notte e la tipologia di strada, 2011. Fonte: ISTAT.

1.6 - La natura degli incidenti

La maggior parte degli incidenti stradali, più precisamente il 74,7 %, vede coinvolti due o più veicoli, mentre solamente il 25,3 % dei casi riguarda veicoli isolati.

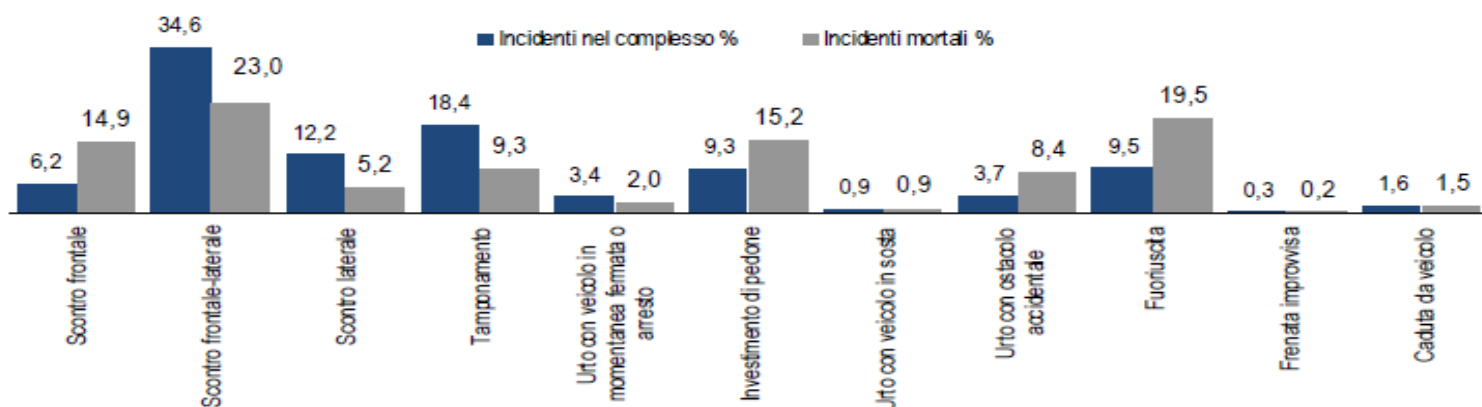


Fig. 1.8 - Prospetto incidenti stradali e incidenti mortali per tipologia di sinistro, 2011. Fonte: ISTAT.

Come si può osservare nella Fig. 1.8, la tipologia più diffusa di incidente tra veicoli è lo scontro frontale - laterale, seguita dal tamponamento. Per quel che riguarda i veicoli isolati le tipologie più comuni sono lo sbandamento e la fuoriuscita del veicolo.

In riferimento ai soli incidenti mortali, lo scontro frontale - laterale, la fuoriuscita e lo scontro frontale rivelano le incidenze più elevate, rispettivamente il 23,0 %, 19,5 % e 14,9 % del totale.

Dato preoccupante è anche quello relativo l'investimento dei pedoni, che rappresenta il 9,3 % degli incidenti totali e il 15,2 % di quelli mortali.

NATURA DELL'INCIDENTE	Valori assoluti			Valori percentuali			Indice di mortalità (a)
	Incidenti	Morti	Feriti	Incidenti	Morti	Feriti	
Scontro frontale	12.670	610	20.917	6,2	15,8	7,2	4,8
Scontro frontale-laterale	71.069	883	104.638	34,6	22,9	35,8	1,2
Scontro laterale	25.167	196	32.910	12,2	5,1	11,3	0,8
Tamponamento	37.749	364	62.389	18,4	9,4	21,4	1,0
Urto con veicolo in momentanea fermata o arresto	6.977	78	9.391	3,4	2,0	3,2	1,1
Totale incidenti tra veicoli	153.632	2.131	230.245	74,7	55,2	78,8	1,4
Investimento di pedone	19.155	561	21.622	9,3	14,5	7,4	2,9
Urto con veicolo in sosta	1.795	33	2.077	0,9	0,9	0,7	1,8
Urto con ostacolo accidentale	7.646	322	9.438	3,7	8,3	3,2	4,2
Urto con treno	7	1	9	0,0	0,0	0,0	-
Fuoriuscita	19.443	752	24.358	9,5	19,5	8,3	3,9
Frenata improvvisa	718	6	836	0,3	0,2	0,3	0,8
Caduta da veicolo	3.242	54	3.434	1,6	1,4	1,2	1,7
Totale incidenti a veicoli isolati	52.006	1.729	61.774	25,3	44,8	21,2	3,3
Totale	205.638	3.860	292.019	100,0	100,0	100,0	1,9

Tab. 1.9 - Prospetto incidenti stradali e incidenti mortali per tipologia di sinistro, 2011.

Fonte: ISTAT.

L'indice di mortalità presentato in Tab. 1.9 mostra come la tipologia più pericolosa di incidente sia lo scontro frontale (4,8 decessi ogni 100 sinistri), seguito dall'urto con un ostacolo accidentale (4,2), la fuoriuscita di strada (3,9) e l'investimento del pedone (2,9).

1.7 - Le cause scatenanti gli incidenti

Nell'ambito dei comportamenti errati di guida, il mancato rispetto delle regole di precedenza, la guida distratta e la velocità troppo elevata sono le principali cause di incidente (escludendo il gruppo delle cause di natura imprecisata). Esse costituiscono complessivamente il 45,2 % dei casi, mentre il comportamento scorretto dei pedoni pesa per il 3,1 % sul totale dei motivi di incidente.

In riferimento alla categoria della strada, come è possibile vedere dalla Tab. 1.10, la prima causa di sinistrosità sulle strade urbane è il mancato rispetto delle regole di precedenza o semaforiche (19,6 %) e al secondo posto la guida distratta o andamento indeciso (pari al 16,0 %).

Invece per le strade extraurbane la prima causa di sinistrosità è la guida distratta o andamento indeciso (pari al 19,7 %), seguita dalla guida con velocità troppo elevata (pari al 18,1 %).

Secondo un rapporto stilato dalla World Health Organization una riduzione della velocità dell'ordine del 5 % può portare ad una riduzione fino al 25 % del numero di incidenti mortali.

Capitolo 1 - La sicurezza stradale

DESCRIZIONE CAUSE	Strade urbane		Strade extraurbane		Totale	
	Valori assoluti	%	Valori assoluti		Valori assoluti	%
Procedeva senza rispettare le regole della precedenza o il semaforo	37.445	19,6	5.072	8,2	42.517	16,8
- procedeva senza rispettare lo stop	12.456	6,5	2.038	3,3	14.494	5,7
- procedeva senza dare la precedenza al veicolo proveniente da destra	11.107	5,8	1.366	2,2	12.473	4,9
- procedeva senza rispettare il segnale di dare precedenza	11.797	6,2	1.542	2,5	13.339	5,3
- procedeva senza rispettare le segnalazioni semaforiche o dell'agente	2.085	1,1	126	0,2	2.211	0,9
Procedeva con guida distratta o andamento indeciso	30.611	16,0	12.258	19,7	42.869	16,9
Procedeva con velocità troppo elevata	17.968	9,4	11.263	18,1	29.231	11,5
- procedeva con eccesso di velocità	17.207	9,0	10.794	17,4	28.001	11,0
- procedeva senza rispettare i limiti di velocità	761	0,4	469	0,8	1.230	0,5
Procedeva senza mantenere la distanza di sicurezza	17.785	9,3	7.800	12,6	25.585	10,1
Manovrava irregolarmente	15.228	8,0	2.688	4,3	17.916	7,1
Svoltava irregolarmente	6.535	3,4	1.008	1,6	7.543	3,0
Procedeva contromano	3.806	2,0	1.620	2,6	5.426	2,1
Sorpassava irregolarmente	3.850	2,0	1.339	2,2	5.189	2,0
Ostacolo accidentale	3.640	1,9	1.775	2,9	5.415	2,1
Veicolo fermo evitato	2.225	1,2	3.531	5,7	5.756	2,3
Non dava la precedenza al pedone sugli appositi attraversamenti	6.526	3,4	100	0,2	6.626	2,6
Buche, ecc. evitato	762	0,4	438	0,7	1.200	0,5
Circostanza imprecisata	22.582	11,8	6.672	10,7	29.254	11,5
Veicolo fermo in posizione irregolare urtato	2.549	1,3	308	0,5	2.857	1,1
Altre cause relative al comportamento nella circolazione	6.675	3,5	2.091	3,4	8.766	3,5
Comportamento scorretto del pedone	7.364	3,8	414	0,7	7.778	3,1
Cause imputabili al comportamento scorretto del conducente e del pedone nella circolazione	185.551	96,9	58.377	94,0	243.928	96,2
Altre cause	5.841	3,1	3.758	6,0	9.599	3,8
Totale cause	191.392	100	62.135	100,0	253.527	100,0

Tab. 1.10 - Prospetto incidenti stradali e incidenti mortali per causa, 2011. Fonte: ISTAT.

1.8 - Vittime degli incidenti

Confrontando i dati relativi al 2011 con quelli dell'anno precedente si rileva una riduzione percentuale del numero di conducenti morti e feriti rispettivamente del 5,2 % e del 3,2 %.

Come è possibile osservare dalla Tab 1.11, tra gli utenti deceduti a seguito di incidente stradale (2.690, 69,7 % sul totale dei morti) i più colpiti sono i giovani con una fascia d'età tra 20 e 24 anni (263 morti, 24.303 feriti) e gli adulti con una fascia d'età tra 35 e 39 anni (275 morti, 22.706 feriti). A partire dai 40 anni di età il numero di conducenti che hanno riportato conseguenze in un incidente stradale inizia a decrescere progressivamente.

Capitolo 1 - La sicurezza stradale

CLASSI DI ETÀ (a),(b)	Morti			Feriti		
	Maschi	Femmine	Totale M e F	Maschi	Femmine	Totale M e F
0 - 9	-	-	-	165	40	205
10 -14	11	-	11	1.315	333	1.648
15 -19	124	12	136	13.055	4.030	17.085
20 -24	220	43	263	16.887	7.416	24.303
25 -29	217	28	245	15.260	7.241	22.501
30 -34	199	21	220	14.705	6.933	21.638
35 -39	244	31	275	15.378	7.328	22.706
40 -44	200	27	227	13.943	6.763	20.706
45 -49	192	32	224	12.661	6.021	18.682
50 -54	184	20	204	9.783	4.295	14.078
55 -59	147	13	160	7.375	2.912	10.287
60 -64	111	19	130	5.683	2.014	7.697
65 -69	106	17	123	3.942	1.383	5.325
70 -74	126	15	141	3.811	1.234	5.045
75 -79	123	17	140	2.924	819	3.743
80 -84	86	11	97	1.711	388	2.099
85 -89	48	5	53	642	114	756
90 -94	10	1	11	114	16	130
95 -99	-	-	-	11	2	13
Imprecisata o non indicata	25	5	30	1.945	814	2.759
Totale	2.373	317	2.690	141.310	60.096	201.406

Tab. 1.11 - Prospetto dei morti e feriti per classi di età e sesso, 2011. Fonte: ISTAT.

Per i maschi la classe di età nella quale si concentra il maggior numero di decessi è quella di 35 - 39 anni con 244 morti, seguita da quella tra 20 - 24 anni con 220 morti.

Per le femmine la classe di età nella quale si concentra il maggior numero di decessi è quella di 20 - 24 anni con 43 morti, seguita da quella tra i 45 - 49 anni con 32 morti. Considerando uomini e donne assieme, si nota che tra i 20 e i 44 anni ci sono le frequenze più elevate di feriti con valori superiori ai 20.000 soggetti.

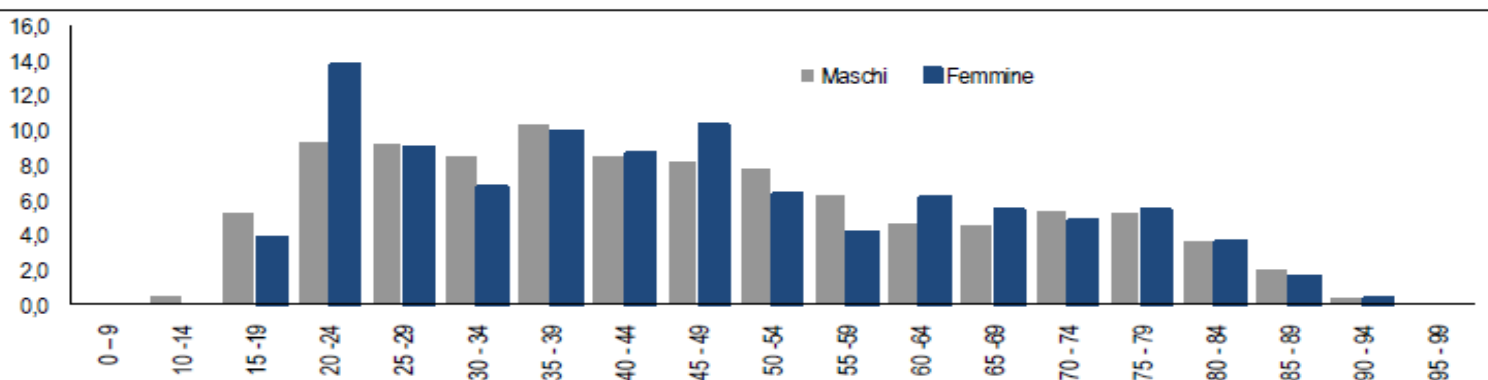


Fig. 1.9 - Composizione percentuale degli incidenti mortali per sesso e classi di età, 2011. Fonte: ISTAT.

Capitolo 2 - La manipolazione del flusso ottico

Il senso della vista è una delle maggiori fonti di informazioni utili per il controllo del movimento. Ad occhi chiusi infatti si rivela molto difficile, anche se non impossibile, muoversi con sicurezza in direzione di un obiettivo. In particolare sono le informazioni che si percepiscono durante gli spostamenti (ad esempio la corsa o la guida), che caratterizzano il cosiddetto flusso ottico, a rivelarsi dei potenti parametri di controllo del movimento.

La connessione tra movimento fisico e percezione visiva è da tempo comprovata e si può notare l'importanza della stessa nel momento in cui viene a mancare. Nelle situazioni in cui il movimento del corpo non corrisponde al movimento percepito con gli occhi può insorgere la chinetosi, anche nota come malattia del simulatore, a cui si possono associare il senso di nausea, il vomito, il disturbo oculare, le vertigini, il disorientamento e la perdita dell'equilibrio.

Un esempio di segnali visivi e vestibolari contrastanti può essere il tentativo di leggere in un veicolo in movimento, questo perché mancano le indicazioni visive.

Al contrario nel simulatore vi è l'assenza di indizi di movimento vestibolari.

2.1 - Il flusso ottico

I movimenti che si compiono nello spazio sono guidati dalle stimolazioni sensoriali, e in particolar modo dal sistema visivo. Le informazioni che ne derivano permettono di eseguire le azioni di spostamento come il camminare, il correre o il guidare in maniera efficace all'interno del contesto ambientale.

Da alcuni studi per il miglioramento della prestazione degli automobilisti, Gibson (1957) identificò il concetto di assetto ottico, ovvero "l'insieme dei raggi luminosi che interagiscono con gli oggetti dell'ambiente di fronte ad un osservatore" durante la locomozione, un elevato numero di stimoli visivi giunge all'occhio e l'assetto ottico subisce continui cambiamenti prospettici. La percezione di tali variazioni viene chiamata da Gibson (1979) flusso ottico. Il flusso ottico viene definito sulla base del punto osservato (polo o fuoco di espansione) durante il movimento e fornisce le principali indicazioni relative agli spostamenti:

- la direzione (il flusso verso l'esterno indica l'avvicinamento ad un determinato bersaglio, mentre il flusso verso l'interno sta ad indicare un allontanamento),
- la velocità (a seconda dell'andatura con cui si procede si influenza il flusso ottico, che viene interrotto nel momento in cui si assume una posizione ferma).

Va precisato che quanto indicato fino ad ora vale solo se la posizione della testa e degli occhi rimane fissa sullo stesso polo di espansione. Se invece lo sguardo viene spostato in punti diversi le cose si complicano perché viene aggiunta al flusso ottico una nuova componente radiale che non corrisponde con la direzione del movimento.

Tutti gli animali semoventi, esseri umani compresi, riescono a muoversi liberamente in un ambiente tridimensionale grazie alla capacità di rilevare ed elaborare una grande varietà di informazioni sensoriali che per la maggior parte sono legate alla vista. L'importanza della vista dinamica ai fini della deambulazione è stata inizialmente idealizzata da Helmholtz e Southall nel 1924, ma lo studioso a cui generalmente si fa riferimento in quest'ambito di studi è Gibson (1950). Quest'ultimo è il coniatore del termine "flusso ottico", da intendere come "il pattern di movimenti percepiti dalla retina durante gli spostamenti" o come "la deformazione d'immagine risultato del movimento in un ambiente tridimensionale". Quando ci si muove viene a crearsi uno schema di spostamenti relativi dipendenti dalla velocità, dalla direzione in cui si osserva e dalla profondità dello scenario che vengono percepiti ed interpretati dal soggetto.



Fig. 2.1 - Rappresentazione del flusso ottico relativo ad uno spostamento all'interno di un paesaggio naturale.

Nella Fig. 2.1 tramite delle frecce gialle vengono rappresentati i vettori delle velocità istantanee relative a diversi punti dello scenario. Si noti come tutti i vettori seguano direzioni uscenti dalla medesima area di osservazione, indicata con una X, la quale rappresenta la direzione verso cui procede il moto (detta heading). E' possibile accorgersi di come a causa del parallasse, ossia il fenomeno per cui un oggetto sembra spostarsi rispetto allo sfondo se si cambia il punto di osservazione, i punti più distanti dal soggetto si muovano a velocità relative molto inferiori rispetto i punti in prossimità dello stesso. Da queste osservazioni si può intuire come la percezione e la valutazione della velocità siano in parte legate alla vista periferica, cioè allo spostamento dei punti che hanno vettori velocità maggiori dovuto al flusso ottico generato dal movimento in una certa direzione. Heading e percezione di velocità risultano di conseguenza strettamente legate in quanto entrambe vengono stimate sulla base della velocità istantanea dei punti dello scenario. Uno scenario in grado di fornire un buon numero di informazioni visive si rivela quindi un elemento fondamentale per la corretta deambulazione.

Come supporto a ciò che è stato detto, basti pensare alle situazioni con scarsa visibilità (es. pioggia fitta, nebbia e oscurità). In queste situazioni si ha una incertezza nel controllo di heading e velocità, dovuta alla mancanza dei riferimenti forniti dal flusso che non permette una corretta valutazione.

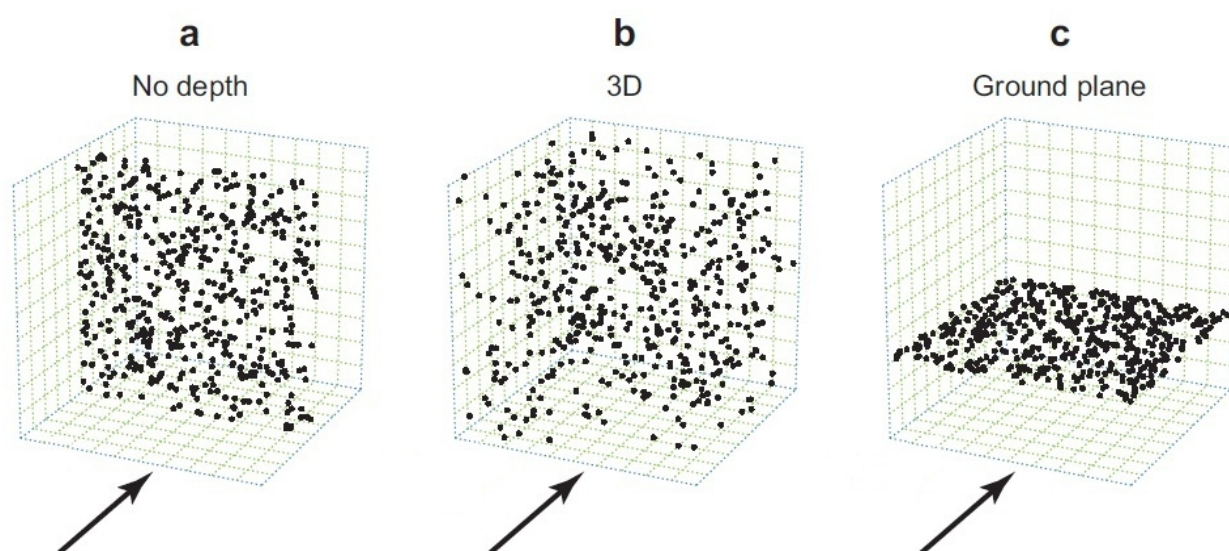


Fig. 2.2 - Diverse configurazioni dell'esperimento di determinazione dell'heading.

Nella Fig. 2.2 si possono vedere i campi di punti posti in maniera casuale a formare un piano verticale, orizzontale o una nuvola tridimensionale che rappresentano gli stimoli utilizzati per esperimenti di carattere psicofisico, derivanti da studi del flusso ottico, consistenti nell'individuazione da parte di un osservatore della direzione di marcia percepita sulla base di uno stimolo visivo.

La configurazione "a" propone uno scenario che non ha profondità, in quanto i punti sono disposti perpendicolarmente alla direzione di moto, come se si trattasse di un muro. In questo caso la velocità di spostamento dei punti è direttamente legata alla distanza dal punto di riferimento verso il quale ci si muove. I punti vicini ad esso hanno velocità molto simili tra loro tanto da sembrare fermi o muoversi nella stessa maniera.

La configurazione "b" propone uno scenario formato da una nuvola di punti disposti casualmente nello spazio. In questo caso l'ambiente è caratterizzato da tridimensionalità e tutti i punti al suo interno si muovono a velocità differenti. Ciò porta a percepire meglio la sensazione di profondità, utile alla determinazione dell'heading.

La configurazione "c" propone uno scenario in cui i punti sono disposti su di un piano orizzontale, comparabile al suolo. Il senso di profondità in questo caso risulta evidente.

La precisione nella percezione dell'heading valutata dagli utenti in tali esperimenti si è rivelata essere piuttosto buona, con soglie d'errore di circa 1 - 2° rispetto a quella effettiva. Tali soglie sono risultate stabili anche per leggere variazioni dell'ambiente di flusso, cambiando ad esempio il numero di punti di riferimento, rivelandosi asintoticamente basse a partire da un numero di 10 punti, e poco influenzate dalla velocità, almeno nell'intervallo di valori corrispondente alla normale locomozione (Warren 1988).

Generalmente il nostro sguardo non rimane fisso in una direzione, anzi tende a vagare seguendo alcune componenti dello scenario o elementi mobili attraverso movimenti pressoché onnipresenti di rotazione degli occhi e della testa (Lappe & Hoffman 2000). Nel corso degli anni sono stati fatti molti studi sui movimenti oculari, che possono assumere caratteristiche molto diverse a seconda della natura del moto eseguito dal soggetto.

Nel caso di spostamenti in rettilineo lo sguardo dei guidatori fluttua in direzioni vicine a quella del moto (Land & Lee 1994), mentre nel caso di movimento secondo una traiettoria curva, lo sguardo dei guidatori tende al punto di tangenza interno della stessa.

Per ciò che riguarda gli spostamenti a piedi, i soggetti tendono a fissare elementi presenti sul terreno, in particolar modo se si tratta di ostacoli calpestabili come gradini o marciapiedi (Hollands 2002; Patla & Vickers 1997, 2003).

In altre situazioni gli utenti mostrano invece spostamenti oculari simili al nistagmo optocinetico, che alterna un lento movimento per seguire un oggetto ad un rapido ritorno degli occhi verso punti più distanti quando questo esce dal campo visivo (Niemann 1999). Questo per esempio può capitare quando si osserva attraverso i finestrini di un treno in movimento il paesaggio che scorre o se si scruta il terreno durante spostamenti su di un piano orizzontale (vedi configurazione "c" della Fig. 2.2).

I diversi tipi di movimenti degli occhi hanno un effetto sullo schema di spostamenti che viene percepito dalla retina (flusso ottico) in quanto alla componente dovuta al moto del corpo nello spazio si aggiunge quella dovuta alla fluttuazione dello sguardo.

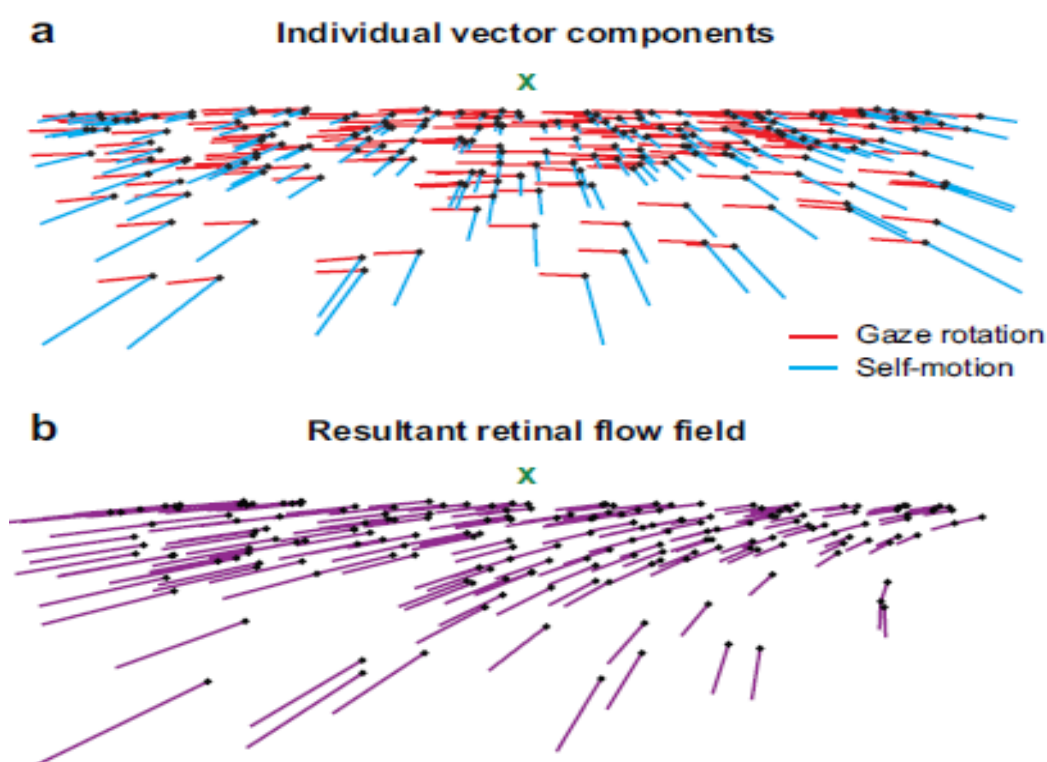


Fig. 2.3 - Rappresentazione della risultante del flusso ottico ottenuta come combinazione di uno spostamento e di una rotazione dello sguardo.

Nella Fig. 2.3 si può vedere l'effetto citato in precedenza. Mediante le linee blu vengono rappresentati i vettori della velocità istantanea, frutto del moto secondo un certo heading. Questi si presentano con una semplice configurazione di espansione dal punto in cui è focalizzato lo sguardo, a queste si aggiungono le linee rosse che rappresentano i vettori relativi alla rotazione dello sguardo con una configurazione pressoché uniforme.

Il sistema visivo riceve una combinazione di elementi che si caratterizza in un flusso ottico risultante rappresentato dalle frecce viola.

In questo caso il centro di espansione non è più corrispondente all'heading e l'azzeramento della velocità viene percepito in un punto differente.

Diversi studi hanno dimostrato come gli esseri umani siano in grado di recuperare l'heading nonostante la presenza di movimenti oculari (Crowell 1998, Royden 1992, Van den Berg 1996, Warren & Hannon 1990).

Da tali esperienze si può ritenere che il sistema visivo sia dotato di meccanismi che permettono al cervello di separare la componente di rotazione dal campo di flusso.

Nel corso degli anni sono stati condotti molti esperimenti per tentare di comprendere come ciò fosse possibile ed è ormai chiaro che la percezione dell'heading e della velocità dipenda da un insieme di informazioni molto ampio derivanti dalla vista, ma anche da altri sensi. Oltre al flusso ottico che considera l'estensione e la profondità del campo visivo (monoculare e stereoscopico) si devono aggiungere le percezioni inerenti il sistema vestibolare e la propriocezione muscolare.

E' stato appurato che il peso di queste informazioni non è mai costante, ma varia con la situazione sperimentale.

Si è cominciato da poco a studiare i meccanismi di funzionamento a livello fisiologico e ci si auspica che con il progredire delle conoscenze e delle tecnologie si possa arrivare a comprendere il fenomeno nella sua interezza.

2.2 - L'uso del simulatore di guida nella sperimentazione

L'uso di simulatori di guida per la progettazione di veicoli e per gli studi sulla percezione del conducente è in rapida espansione. Ciò è dovuto in gran parte al fatto che la simulazione, dal punto di vista ingegneristico, permette un notevole risparmio di tempo e un abbattimento dei costi. L'uso del simulatore permette di effettuare studi in un ambiente

virtuale che garantisce il pieno controllo di tutte le caratteristiche del veicolo e del traffico, nonché delle condizioni atmosferiche e della pavimentazione, rendendo quindi virtualmente illimitato il numero di test eseguibili. Le simulazioni possono essere un prezioso aiuto per gli studi relativi al traffico e alla sicurezza stradale.

I simulatori di guida forniscono all'utente la maggior parte delle indicazioni visive che si presenterebbero durante una guida nel mondo reale. I segnali visivi vengono forniti da un generatore di immagini 3D che calcola in tempo reale le immagini dello scenario simulato (coerentemente con la posizione del guidatore) per poi proiettarle su uno schermo curvo o su più schermi piatti che circondano la postazione di guida (il cockpit) all'interno della quale l'utente controlla il mezzo. Esistono anche simulatori che fanno uso di display montati sul capo del guidatore (HMD), dotati di visione stereoscopica e di sensori che rilevano il movimento della testa. Lo svantaggio riguarda il campo visivo abbastanza ridotto. E' stato dimostrato che per una corretta percezione della velocità è necessario un campo visivo orizzontale di almeno 120° (Jamson, 2000).

Il continuo movimento delle immagini di tutti gli oggetti di scena presenti nell'ambiente virtuale permette quindi di riprodurre un flusso ottico realistico o verosimile in termini di prospettiva, di texture - mapping e di illuminazione.

Altri effetti come la vista binoculare e l'effetto di parallasse dovuto allo spostamento della testa dell'osservatore sono invece spesso assenti nei simulatori, con eccezione dei sistemi HMD.

La loro implementazione aumenterebbe la complessità e il costo di generazione dell'immagine e delle attrezzature, ciò richiederebbe l'integrazione di dispositivi di localizzazione della testa, ma permetterebbe di migliorare la percezione di profondità dello scenario (Peh 2002).

Alcuni simulatori di guida sono in grado di fornire, oltre alle informazioni visive, le sensazioni fisiche che l'utente percepirebbe alla guida in un ambiente reale:

- le vibrazioni del veicolo sul terreno,
- il senso di accelerazione e decelerazione frontale,
- il senso di accelerazione laterale e verticale,
- la pendenza,
- il rollio.

Il sistema vestibolare presente nell'orecchio interno ha un ruolo non indifferente nel controllo di sterzo e velocità (Wierwille 1983, Reymond 2001).

Queste sensazioni inerziali vengono solitamente riprodotte attraverso l'uso di una serie di pistoni, generalmente 6, a formare una configurazione ad esapode alla base di una piattaforma mobile sulla quale è posto il cockpit con i controlli di guida.

Un aspetto da non trascurare nell'utilizzo dei simulatori di guida ai fini della ricerca è certamente la fedeltà della simulazione, che può variare in maniera consistente a seconda degli obiettivi dello studio e dei parametri di interesse che devono essere considerati.

Quando le attività di guida non sono l'obiettivo principale dell'esperimento, un livello di fedeltà "relativo", che permetta solo alcuni tipi di confronto tra l'ambiente simulato e il mondo reale, potrebbe essere accettabile.

Alcuni esempi di studio sono quelli riguardanti:

- la prontezza di riflessi,
- la fatica alla guida,
- alcune analisi di carattere percettivo,
- l'utilizzo del simulatore a fini didattici e formativi (scuola guida).

Al contrario è necessaria una fedeltà di simulazione "assoluta" quando l'obiettivo degli esperimenti è lo studio del comportamento del conducente in funzione di condizioni stradali, visibilità, tipo di veicolo o caratteristiche del traffico.

Questo tipo di indagine richiede un'attenta analisi del set completo di variabili percettive cui viene sottoposto il tester.

Ad esempio la corretta percezione del distanziamento, spaziale e temporale, tra due veicoli che si susseguono è di fondamentale importanza per gli studi relativi al car - following (inserimento in una corrente veicolare in corrispondenza di un'intersezione o in presenza di sistemi di cruise control).

In riferimento a ciò, un'errata calibrazione di un semplice parametro quale "l'altezza degli occhi del conducente" potrebbe comportare una stima non corretta della distanza (la quale viene valutata anche sulla base dello scarto angolare tra orizzonte e punto osservato) e portare quindi a risultati non affidabili.

Con l'avanzare della tecnologia oggi i simulatori di guida hanno raggiunto un livello di dettaglio tale da permettere una comprensione più approfondita della percezione umana del movimento, specialmente per velocità ed accelerazioni superiori alla locomozione naturale, con notevoli benefici soprattutto nell'ambito degli studi relativi alla sicurezza.

2.3 - La manipolazione del flusso ottico. Studi al simulatore

Come già detto la vista è una componente fondamentale nella definizione del comportamento di guida di un soggetto. In particolare si è osservato l'importanza del flusso ottico nella regolazione della direzione e della velocità del moto.

Il flusso ottico è generato dagli spostamenti istantanei dei punti appartenenti all'ambiente in cui avviene lo spostamento. La natura dell'ambiente assume quindi un carattere fondamentale nella determinazione del flusso, della velocità percepita e di conseguenza sulla condotta di guida di un soggetto al suo interno.

Diversi studi hanno dimostrato che oggetti posti nelle vicinanze della strada (delineatori, guardrail, muri e vegetazione) o all'interno di essa (segnaletica orizzontale) possono influenzare la velocità e di conseguenza l'incidentalità in diversi modi.

Innanzitutto tali elementi forniscono una miglior percezione dell'andamento dell'asse stradale, che porterebbe ad una maggiore confidenza il guidatore e quindi ad un aumento di velocità. Alcune configurazioni degli elementi citati possono produrre un aumento del flusso ottico periferico percepito, il quale potrebbe portare l'utente ad una sovrastima della propria velocità di viaggio e di conseguenza ad una sua riduzione (Martens 1997).

Gli oggetti posti a bordo strada possono essere percepiti come potenziali ostacoli dagli utenti, che come conseguenza potrebbero adattare la propria velocità.

Un esempio di questo è riscontrabile nel comportamento che viene tenuto dagli utenti che viaggiano su una strada extraurbana circondata solamente da campi. Il flusso ottico periferico indotto dal ridotto numero di elementi di riferimento risulta di poco impatto, pertanto è verosimile pensare che nella strada la velocità percepita dall'utente sia leggermente inferiore a quella effettiva (Fildes & Lee 1993). La presenza di alberi o altri elementi potrebbe stimolare una migliore percezione ed interpretazione del flusso, e quindi una più corretta calibrazione della velocità.

Anche le case in prossimità della strada comportano generalmente una riduzione della velocità da parte dell'utente, ma questo potrebbe dipendere dalla presenza di altri utenti (pedoni, ciclisti o altre auto) (Elliot 2003).

Edifici molto alti possono dare una sensazione di chiusura e pericolo all'utente, portandolo ad un ulteriore rallentamento. Alcuni studi non hanno trovato effetti dovuti all'altezza degli edifici (Elliott 2003), ma altri hanno rinvenuto velocità inferiori quando l'altezza degli elementi verticali sia maggiore della larghezza della strada (Allsop 1995).

E' pertanto naturale pensare alla possibilità di modificare l'ambiente di guida in maniera programmata, inserendo elementi atti a condizionare il flusso ottico percepito dall'utente.

L'idea è quindi quella di realizzare degli "effetti ottici" attraverso elementi appositamente studiati e predisposti, con lo scopo di "ingannare" la mente del guidatore facendogli percepire una velocità maggiore di quella effettiva o dando una sensazione di aumento della stessa, per portarlo inconsciamente a rallentare. Misure percettive di questo genere potrebbero quindi rivelarsi molto utili per ottenere un aumento della sicurezza stradale.

Prima di andare a descrivere alcuni studi significativi presenti in letteratura, che hanno analizzato gli effetti generati dall'implementazione di un gran numero di queste misure percettive, parliamo brevemente dei punti di forza e di debolezza dell'uso del simulatore.

I simulatori di guida sono ormai uno strumento importante per la ricerca delle prestazioni del guidatore e del suo comportamento. Secondo due noti punti di riferimento, il Journal - Transportation Research Part F e Human Factors, si può vedere che gli studi basati sul simulatore costituiscono una parte importante dei lavori pubblicati in dominio di guida. Nel 2009, il 32 % (11 su 34) dei documenti pubblicati nel Transportation Research Part F erano basati su studi sperimentali al simulatore. Nello stesso anno, di 6 articoli pubblicati in Human Factors nel campo della "superficie dei mezzi di trasporto", 5 (83 %) sono stati elaborati al simulatore.

Questo ha portato alla crescita dell'approccio sperimentale. L'utensile (simulatore) e il metodo (esperimento) sono inestricabilmente collegati. Il simulatore è utilizzato per:

- l'indagine di manipolazioni sperimentali,
- confronto dell'efficacia dei trattamenti,
- scenari ipotetici relativi a nuovi sistemi e tecnologie,
- l'indagine di una varietà di disabilità, tra cui alcol, droghe, stanchezza e distrazione.

Questa preminenza del laboratorio nel mondo reale è piuttosto sorprendente. Con milioni di utenti e milioni di veicoli nel mondo reale, ci si potrebbe anche chiedere perché usare un simulatore di guida per effettuare ricerche:

- sul comportamento del conducente,
- sulla sicurezza stradale,
- sulla progettazione di infrastrutture stradali,
- sull'impatto delle nuove tecnologie,
- sulle debolezze del conducente.

Il numero di simulatori di guida nelle università e negli istituti di ricerca è in costante crescita, e di anno in anno un notevole sforzo viene fatto per migliorare le loro capacità. Infatti, i simulatori di guida su strada (moto, auto, veicoli commerciali leggeri e pesanti) non vengono usati molto per l'addestramento degli utenti perché si preferisce l'uso del veicolo vero e proprio. In aviazione, trasporto marittimo e ferroviario, in cui i veicoli sono molto costosi in rapporto al costo di un simulatore, sono utilizzati principalmente per la formazione degli operatori.

Vediamo ora alcuni aspetti positivi riguardanti l'uso del simulatore:

- componenti fisiche e hardware migliori e più complete aiutano ad avere una simulazione più aderente alla situazione reale,
- le componenti del simulatore da ottimizzare devono essere scelte in funzione del tipo di studio che si vuole eseguire per ridurre i costi,
- è possibile controllare l'esperienza dei partecipanti e creare situazioni e scenari ripetibili, questo controllo crea un grado di efficienza negli esperimenti al simulatore non raggiungibile conducendo osservazioni nel mondo reale, in qualche decina di minuti è possibile realizzare uno studio che potrebbe richiedere mesi di guida reale,
- permette la selezione completa dei partecipanti e delle istruzioni, il controllo delle condizioni e degli eventi praticamente impossibili da eguagliare nel mondo reale,
- è possibile ridurre il numero dei partecipanti,
- si possono eseguire studi sulla distrazione dovuta a telefoni cellulari, agli effetti della fatica, all'alcool, ai farmaci da prescrizione, alle droghe illecite come la marijuana,

- si possono eseguire studi su individui privati del sonno, sull'impatto della compromissione cognitiva causato dal Morbo di Alzheimer,
- nessun rischio per l'utente visto che vengono messe al primo posto la salute e la sicurezza,
- un ambiente più elaborato sarà più realistico e più coinvolgente.

Vediamo ora alcuni aspetti negativi riguardanti l'uso del simulatore:

- i proiettori e i monitor hanno limitazioni per quanto riguarda la risoluzione e l'intensità luminosa limitata (non è possibile creare direttamente il vero effetto ottico di abbagliamento, anche se l'effetto alone può essere imitato),
- limitazioni sulla validità in particolar modo per quanto riguarda la motivazione dei partecipanti a uno studio di simulazione (non vi è la stessa pressione temporale dovuta al ritardo di congestione del traffico reale),
- i partecipanti possono obbedire ciecamente alle leggi e alle norme di guida oppure possono credere di essere liberi dai suddetti vincoli,
- vi è una sconnessione tra guida reale e quella al simulatore e bisogna essere cauti quando si suggeriscono le conclusioni, sulla base degli studi al simulatore, da applicare alla guida reale,
- la ripetizione di uno stesso scenario può portare ad acquisire una certa familiarità.

Si deve parlare allora di validità con una distinzione tra:

- validità fisica (ci si riferisce ai componenti fisici e sottosistemi di un simulatore),
- validità comportamentale (ci si riferisce alla vicinanza tra l'esperienza dei partecipanti allo studio sul simulatore e la conduzione di un veicolo reale sulle strade reali).

Per la validità si devono confrontare le differenze di prestazioni tra condizioni sperimentali nel simulatore e quelle in condizioni simili in macchina.

Quando queste differenze sono dello stesso ordine allora si può dire che il simulatore ha validità relativa. Se, inoltre, i valori numerici sono circa uguali si può dire che il simulatore ha validità assoluta.

Tuttavia, nel simulatore, le velocità sono generalmente più alte sui rettilinei, ma nelle curve strette tendono ad essere simili rispetto a quanto osservato sulla strada reale.

2.3.1 - Sperimentazione di Godley

Nella sua sperimentazione Godley (1999) ha valutato, mediante l'uso di un simulatore di guida, una serie di contromisure percettive (perceptual countermeasures) mirate alla riduzione della velocità e dello sforzo mentale. Per l'esecuzione del suo lavoro è stato utilizzato un simulatore TAC, composto da una scocca di auto montata su una piattaforma movimentata da tre coppie di pistoni, quattro pareti - schermo a coprire un angolo di visuale frontale e posteriore rispettivamente di 180° e 60° ed un impianto sonoro quadrifonico.

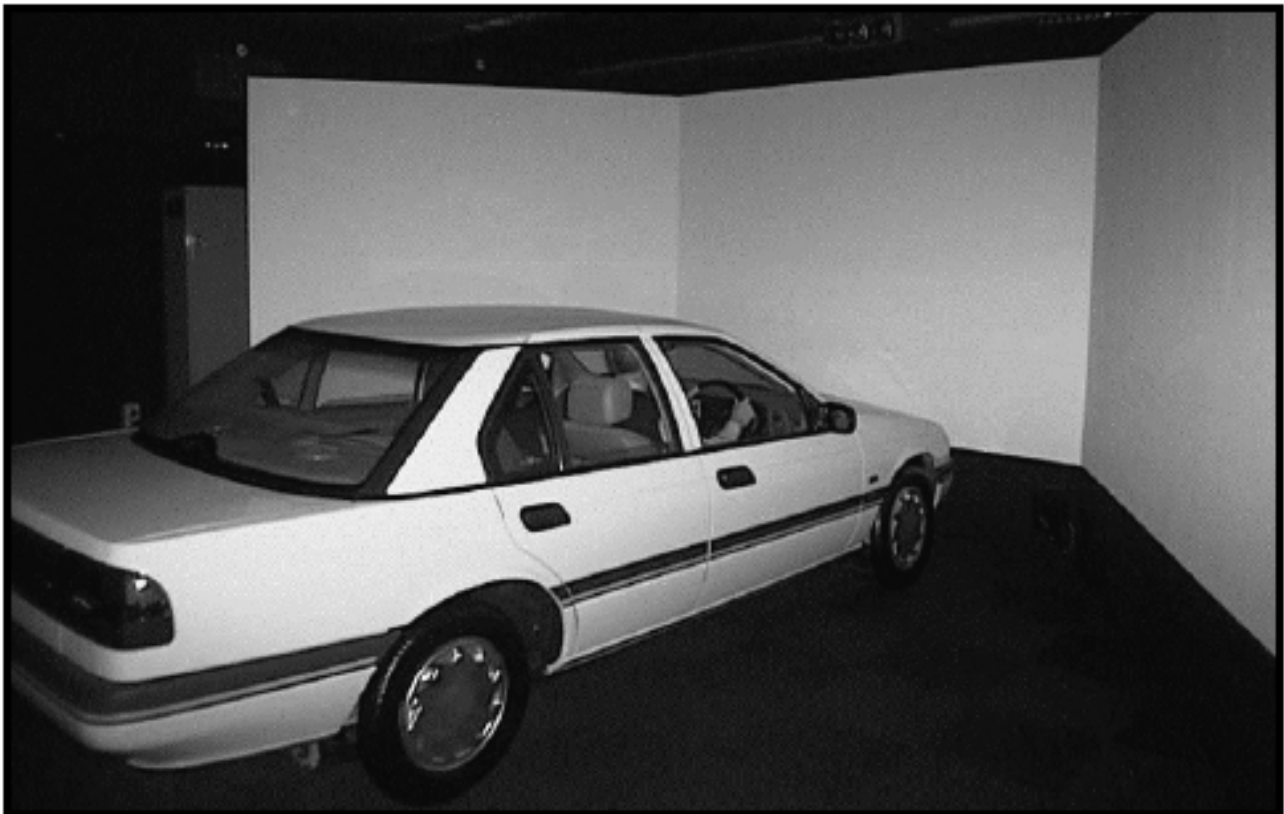


Fig. 2.4 - Il simulatore Tac della Monash University.

La sperimentazione ha previsto diversi esperimenti in maniera tale da coprire 3 diversi ambiti di guida:

- la fase di decelerazione prima di un pericolo,
- la guida continua lungo un rettilineo,
- la guida in curva.

Ogni esperimento è stato eseguito sulla base di un campione di dimensione variabile da 24 a 36 soggetti aventi almeno 3 anni di esperienza di guida. Gli esperimenti di nostro interesse, ossia quelli riguardanti l'applicazione di trattamenti percettivi di tipo visivo, sono 2, entrambi riguardanti il comportamento dell'utente nell'avvicinamento ad un pericolo, rappresentato da un'intersezione a precedenza.

Il primo esperimento consisteva nella guida lungo una strada extraurbana avente un limite di velocità di 100 km/h. I vari trattamenti sono stati implementati a partire da 35 m di distanza dall'intersezione, per una lunghezza di 400 m. I dati utilizzati nelle elaborazioni sono stati quindi campionati all'interno del tratto di intervento e nei 100 m precedenti ad esso, per una lunghezza totale di 500 m.

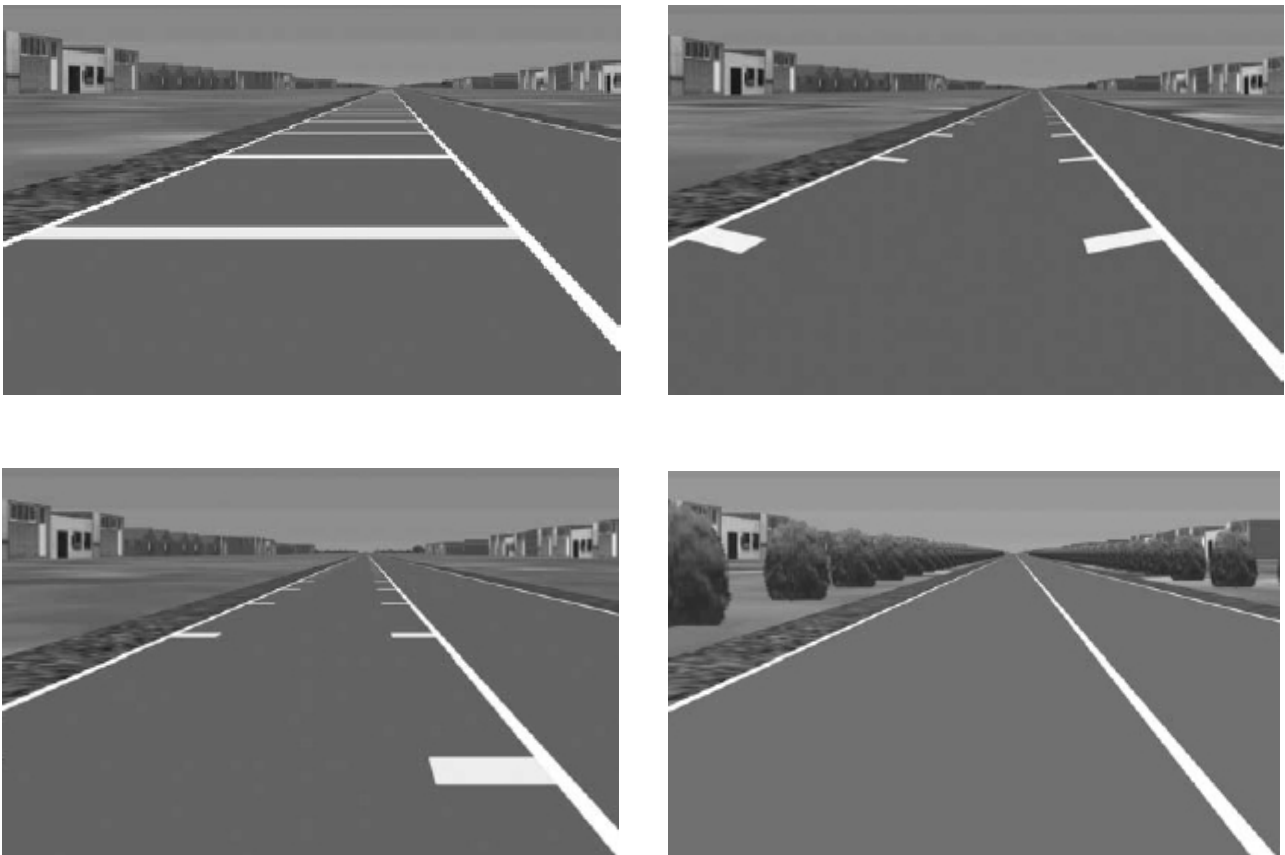


Fig. 2.5 - Dalla prima in alto a sinistra in senso orario: barre trasversali, barre a spina di pesce, alberi e barre trasversali periferiche.

Oltre alla condizione di controllo sono stati valutati i seguenti trattamenti:

- barre trasversali a distanziamento costante o decrescente nel senso di marcia,
- barre periferiche a distanziamento decrescente,
- barre a spina di pesce a spaziatura decrescente,
- alberi a distanziamento decrescente.

I guidatori hanno ripetuto le guide in 2 condizioni: raggiungendo l'intersezione dopo un viaggio di 1 Km e raggiungendola dopo un viaggio di 4 Km, in modo da variare il senso di adattamento alla velocità di crociera.

Dall'analisi delle velocità medie sono state tratte le seguenti considerazioni:

- le linee trasversali sono efficaci e riescono a garantire una riduzione di velocità fino a 11Km/h,
- le linee trasversali forniscono sia un effetto d'allerta (che genera riduzioni nel tratto iniziale) sia un effetto di tipo percettivo (che risulta preponderante),
- la riduzione di velocità offerta dalle linee trasversali non è influenzata dalla disposizione secondo un distanziamento costante o decrescente,
- le linee trasversali periferiche (che protendono di 60 cm dal bordo) sono anch'esse efficaci e producono riduzioni di velocità di poco inferiori alle linee a tutta corsia (probabilmente per un minore effetto d'allerta),
- l'effetto delle barre a spina di pesce è pressoché identico a quello delle trasversali periferiche,
- le riduzioni dovute ai trattamenti si verificano fino al momento in cui il guidatore riesce a regolarsi con la sola osservazione dell'intersezione (negli ultimi 100 m circa),
- le linee trasversali (periferiche e non) si sono rivelate leggermente più efficaci per i guidatori ormai adattati ad una certa velocità,
- l'utilizzo di cespugli posti a bordo strada al posto delle barre trasversali, contrariamente alle aspettative, non genera una riduzione di velocità significativa.
- in termini di rapporto costi / benefici le barre periferiche risultano essere il trattamento migliore.

Il secondo esperimento è stato eseguito con lo scopo di investigare, oltre alla variazione del flusso ottico, l'effetto dovuto alla sensazione di restringimento della carreggiata offerta da diversi tipi di trattamenti:

- le barre a spina di pesce con distanziamento decrescente ed orientamento verso monte o verso valle,
- l'illusione ottica di Wundt.

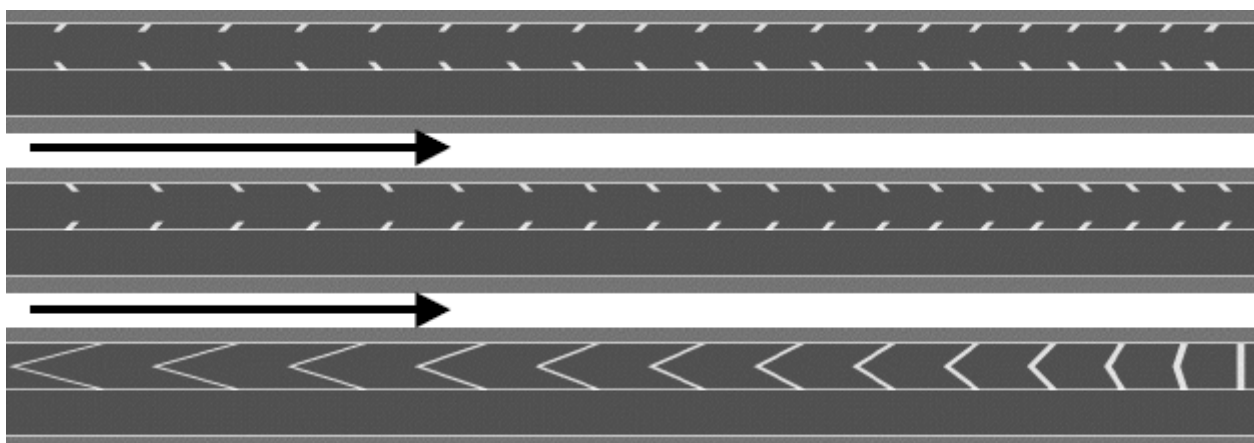


Fig. 2.6 - Barre a spina di pesce decrescenti orientate verso monte e verso valle, illusione ottica di Wundt.

La guida è stata svolta in un ambiente extraurbano con limite di velocità di 100 km/h con applicazione dei trattamenti in un tratto di lunghezza 100 m precedente ad un'intersezione. Dall'analisi dei risultati sono state tratte le seguenti conclusioni:

- le barre a spina di pesce sono efficaci nel ridurre la velocità in maniera coerente al precedente esperimento (rimangono quindi più efficaci e pratiche le barre trasversali periferiche),
- l'illusione di Wundt è efficace nel ridurre la velocità d'approccio, ma non in maniera più efficiente degli altri trattamenti,
- l'illusione di restringimento dovuta alla configurazione di Wundt, pur essendo evidente nella vista planimetrica, è praticamente inesistente dal punto d'osservazione del guidatore,
- dal punto di vista economico sia le spine di pesce che l'illusione di Wundt sono svantaggiose a confronto con le barre trasversali periferiche e non, di più semplice esecuzione.

2.3.2 - Sperimentazione di Manser - Hancock

Manser ed Hancock (2007) hanno eseguito uno studio nell'ambito della manipolazione del flusso ottico percepito da un utente in viaggio all'interno di una galleria. L'idea di Manser è di verificare l'effetto che diversi tipi di textures e schemi visivi (visual patterns) possono avere sulla percezione e regolazione della velocità in un ambiente normalmente privo di riferimenti visivi quale una galleria, trasferendo le conoscenze derivate dagli studi effettuati in ambito di segnaletica orizzontale (con regolatori ottici, barre trasversali periferiche e non) a quello verticale.

Allo studio hanno partecipato 14 donne e 18 uomini facenti parte del personale e del corpo studente dell'Università del Minnesota, per un totale di 32 soggetti di età compresa tra i 18 e i 27 anni. I partecipanti sono stati successivamente divisi in 2 gruppi, uno ad eseguire il test in assenza di textures e l'altro quello che ne vede l'applicazione.

Lo studio è stato svolto mediante l'uso del simulatore di guida DES, consistente in una struttura sferica costruita in legno e acciaio all'interno della quale sono affissi 8 pannelli in fibra di vetro che costituiscono un unico grande schermo avente un'estensione di 360° intorno alla postazione di guida. Lo scenario viene proiettato sugli schermi suddetti attraverso l'uso di proiettori posti in sommità coprendo un angolo orizzontale di 165° ed uno verticale di 55°. Il cockpit consiste nelle scocca di una Acura Integra RS posizionata al centro della cupola e sollecitata da elementi in grado di simulare le vibrazioni del terreno.

L'ambiente virtuale realizzato per l'esperimento consiste in un tratto lungo 860 m di un'autostrada formata da tre corsie (ognuna avente larghezza pari a 2,43 m, colorazione uniforme grigio chiaro) e da spalle laterali (di larghezza 90 cm, colorazione grigio scuro). Il percorso è stato realizzato in modo che solamente gli ultimi 480 m fossero circondati da una galleria di altezza 7,62 m e larghezza 9,14 m.

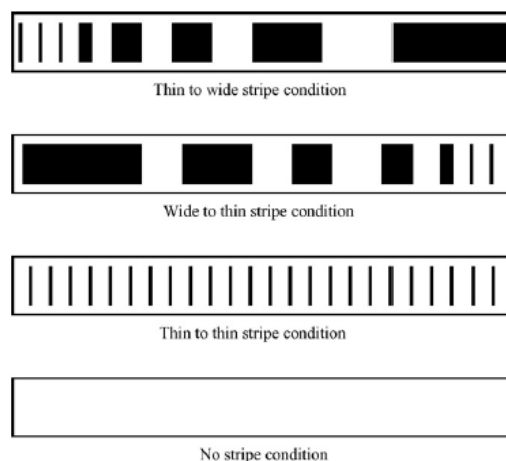


Fig. 2.7 - Configurazioni (visual pattern) utilizzati nella sperimentazione.

Ad ogni soggetto dell'esperimento è stato assegnato il compito di raggiungere la velocità di riferimento di 80,5 km/h prima dell'ingresso nel tunnel e di mantenerla durante l'attraversamento dello stesso, il tutto senza uscire dalla corsia centrale. Con l'ingresso in galleria è stata prevista la disattivazione del tachimetro del simulatore in modo da impedire l'utilizzo di tale dispositivo nel mantenimento della velocità e costringere l'utente a valutare quest'ultima solamente in base all'ambiente circostante. In questa maniera è stato possibile analizzare la risposta del soggetto a diversi tipi di manipolazioni del flusso ottico periferico.

La metà dei partecipanti ha eseguito 10 volte l'esperimento per ogni configurazione considerata. Ognuno di questi soggetti ha quindi eseguito 40 prove presentate in ordine completamente casuale per evitare l'insorgenza di errori dovuti all'abitudine. E' stata prevista la colorazione delle pareti del tunnel secondo 4 pattern presentati in Fig. 2.7:

- wide to thin, che vede susseguirsi una serie strisce bianche e nere di larghezza decrescente da 30,48 m in corrispondenza all'ingresso del tunnel a 7,62 m all'uscita con una legge lineare,
- thin to wide, che corrisponde all'esatto opposto della configurazione precedente,
- thin to thin, che vede il ripetersi delle strisce di larghezza minima (7,26 m) distanziate in maniera costante per l'intera lunghezza della galleria,
- la condizione base di controllo, sprovvista di alcun trattamento.

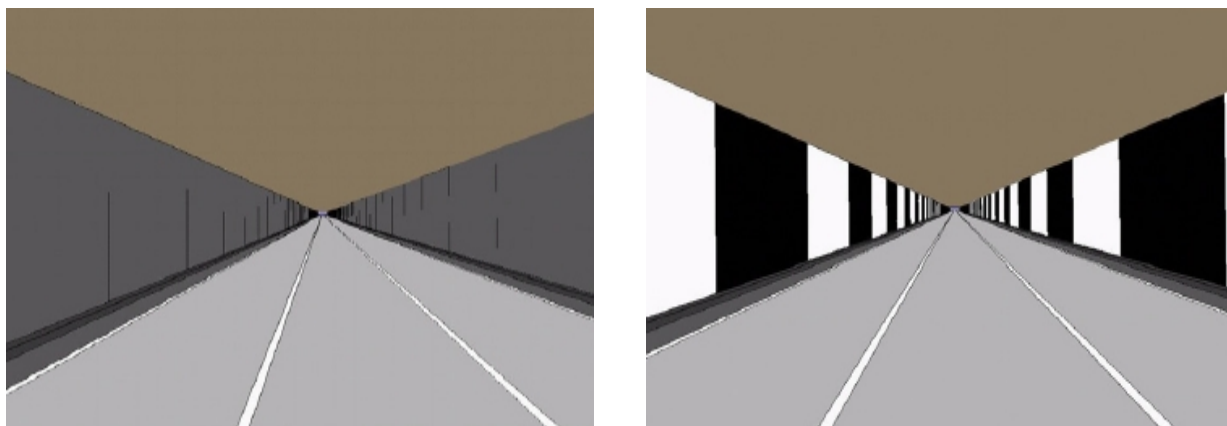


Fig. 2.8 - Visuale del guidatore nella configurazione priva di trattamento e in quella thin to thin con strisce di larghezza costante.

Le velocità sono state rilevate all'ingresso e all'uscita del tunnel oltre che in tre punti equidistanti all'interno dello stesso, per un totale di cinque sezioni di controllo.

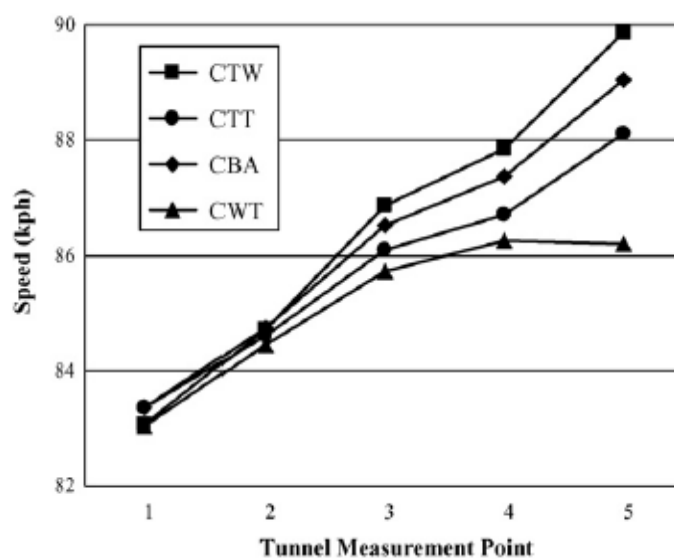


Fig. 2.9 - Profili di velocità all'interno della galleria per le configurazioni wide to thin (CWT), thin to wide (CTW), thint to thin (CTT) e base (CBA).

Dall'analisi dei dati registrati è stato possibile effettuare le seguenti considerazioni sul comportamento degli utenti:

- tutte le configurazioni hanno dimostrato di avere un effetto rilevante sulla velocità adottata dall'utente all'interno del tunnel,
- nessun utente è stato in grado di mantenere la velocità di riferimento

nell'attraversamento della galleria. Tutti i profili di velocità si presentano, seppur differenti l'uno dall'altro, crescenti,

- i soggetti esposti alla configurazione di strisce aventi larghezza gradualmente decrescente hanno riportato velocità generalmente inferiori rispetto a quelle registrate per la configurazione base e a strisce di larghezza costante, questo è dovuto all'aumento della frequenza percepita durante il loro passaggio,
- anche la configurazione che presenta strisce di larghezza e distanza costanti si è rivelata efficace nella riduzione di velocità rispetto la condizione base di assenza di trattamento,
- la configurazione a strisce di larghezza via via crescente comporta un aumento di velocità da parte dell'utente, in contrasto con la configurazione opposta. Ciò è una conferma di come l'introduzione di modifiche sistematiche di elementi dello scenario sia in grado di permettere una variazione delle percezione, e quindi regolazione, delle velocità.

2.3.3 - Sperimentazione di Jamson

Lo studio è stato seguito da Jamson (2009) utilizzando il simulatore dell'Università di Leeds nel Regno Unito (Fig. 2.10), la cabina del veicolo è di una Jaguar S - type del 2005. Il sistema è basato su nove PC che utilizzano il sistema operativo Linux e gestiscono tutto l'apparato di simulazione, la dinamica del veicolo, la strumentazione del cruscotto e il sistema audio 4.1 da 80 W che fornisce i segnali audio del motore, della trasmissione e del rumore ambientale.

L'auto è inserita all'interno di una cupola sferica su cui vengono proiettate le immagini. Sei canali visivi sono fusi a 60 frame/s con una risoluzione di 1024x768. I canali anteriori forniscono continuità grazie ad un campo visivo di 250° e il canale posteriore invece fornisce un angolo di visione di 40°.

Il simulatore è dotato di 8 gradi di libertà e il sistema di movimento utilizza un cavalletto e un esapode con azionamento elettrico.

Il movimento migliora la fedeltà della simulazione fornendo forze inerziali realistiche al conducente durante la frenata e la curva. Riesce anche a fornire informazioni ad alta frequenza che permettono di simulare le asperità stradali e gli urti.



Fig. 2.10 - Il simulatore dell'Università di Leeds nel Regno Unito.

I sei scenari stradali che sono stati modellati con segnaletica orizzontale secondo le normative vigenti nel Regno Unito sono:

- rettilineo urbano,
- incrocio urbano,
- entrata in paese,
- rettilineo rurale,
- incrocio rurale,
- curva rurale.

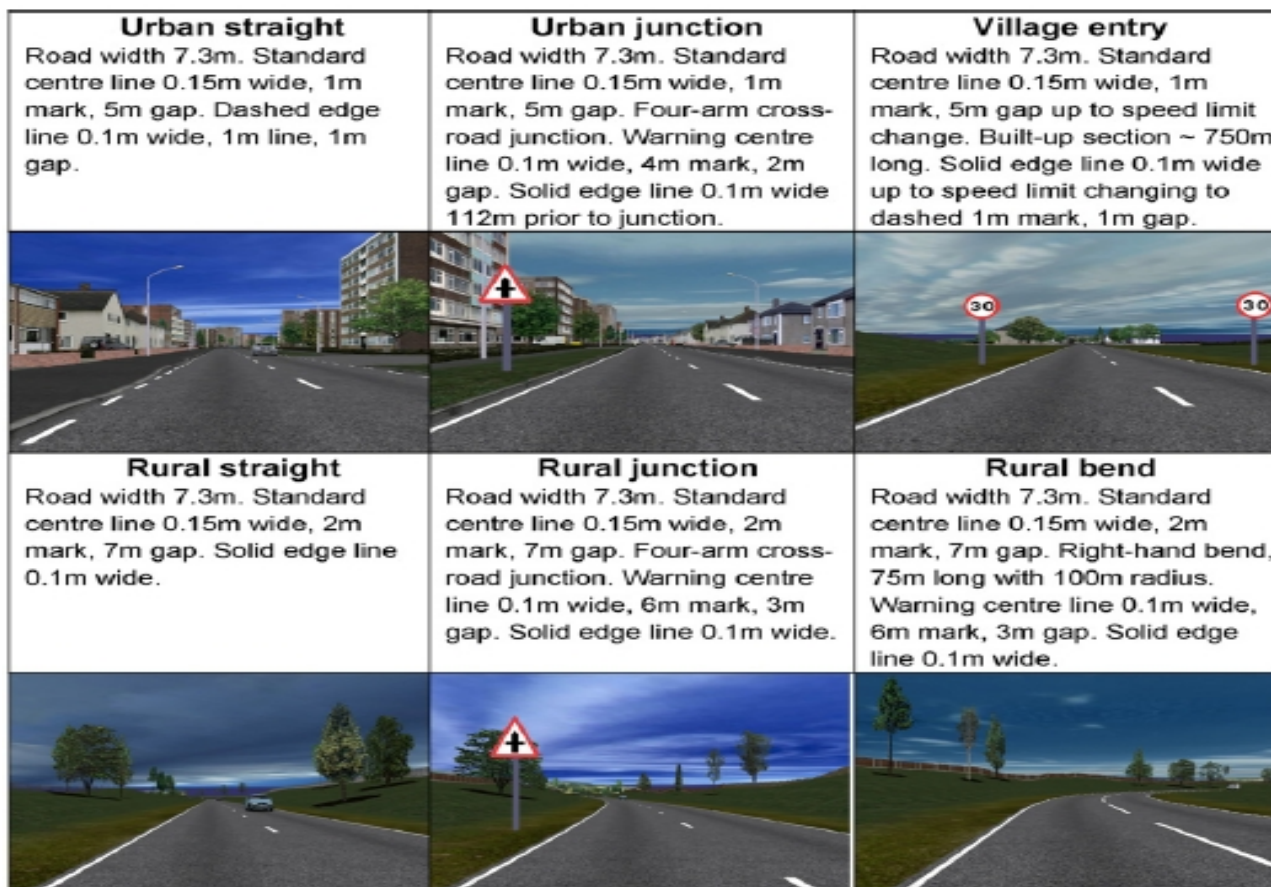


Fig. 2.11 - Rappresentazione dei diversi scenari.

Al fine di accogliere tutti gli scenari e tutti i trattamenti (20), 45 tratti stradali sono stati modellati e utilizzati per sviluppare tre distinti percorsi. Ogni percorso ha la durata di circa 25 minuti e comprende scenari urbani e rurali.

I trattamenti sono stati assegnati in modo casuale a tutti e tre i percorsi.

Il traffico è stato inserito solo nella corsia opposta così che i guidatori non avessero veicoli che li precedessero e/o li seguissero.

Per questo studio sono stati reclutati solo giovani conducenti di sesso maschile che generalmente sono considerati i più “imprudenti” e “spericolati”.

Erano 40 soggetti con età compresa tra i 19 e i 25 anni (con una media di 22).

Il chilometraggio annuo era compreso tra le 100 e le 20.000 miglia (con una media di circa 7000).

I partecipanti erano in possesso della patente di guida mediamente da 3,78 anni e usavano l'auto mediamente tre volte alla settimana e per lo più su strade urbane.

Ogni partecipante è stato informato sulla procedura sperimentale prima di leggere e firmare un modulo di consenso. I partecipanti hanno poi completato una guida di prova per familiarizzare con i comandi.

Ogni partecipante ha guidato su tutti e tre i percorsi, con un periodo di riposo di 10 minuti tra una prova e l'altra.

Al termine sono stati interrogati e pagati 20 sterline.

Descriviamo brevemente i risultati distinguendoli per scenario:

- Scenario di strada urbana:
 - le riduzioni di velocità nei tratti rettilinei urbani erano piccole,
 - il tratteggio centrale non ha avuto successo e incoraggia i conducenti a viaggiare vicino alle linee centrali e al traffico opposto,
 - la presenza fisica dei rifugi per i pedoni ha ridotto in modo significativo la velocità,
 - per gli incroci urbani, quattro su cinque trattamenti hanno avuto successo (solo il segnale di pericolo statico non ha raggiunto la significatività),
 - entrambe le tipologie di rumble strips sono efficaci (con una riduzione di velocità del 8 %), l'introduzione delle raised rumble e del yellow backing, non hanno dato ulteriori vantaggi.
- Scenario di strada rurale:
 - le riduzioni di velocità nei tratti rettilinei sono migliori rispetto al caso urbano,
 - solo i trattamenti che comportano restringimento verticale (alberi) non hanno dimostrato risultati significativi,
 - il tratteggio periferico è risultato il trattamento più efficace con la maggiore riduzione di velocità in percentuale,
 - nella curva rurale i trattamenti migliori possono essere raggruppati in due gruppi distinti, il primo evidenzia la posizione del apice della curva (chevron signs e hazard marker posts che danno informazioni sulla pericolosità della curva), il secondo gruppo di trattamenti è la segnaletica che ha dato l'allarme tempestivo ad una distanza estesa in vista dell'apice,
 - il countdown signs (conto alla rovescia) è il trattamento migliore anche se evidentemente diverso dagli altri trattamenti, questo suggerisce che l'avvertimento progressivo (cioè 300, 200, 100 metri) raggiunge risultati migliori in termini di

- riduzione di velocità rispetto ad altri tipi di trattamenti,
- le rumble strips con un profilo scolpito sono state il secondo migliore trattamento.

La riduzione della velocità può essere ottenuta con l'aumento della percezione del rischio. I trattamenti di avviso avevano più effetto agli incroci nel ambiente urbano.

2.3.4 - Sperimentazione di Montella

L'italiano Montella (2010) ha condotto un'analisi volta alla comprensione del comportamento dei guidatori in corrispondenza di intersezioni in ambito rurale. Il simulatore che è stato utilizzato per eseguire gli esperimenti, ritratto in Fig. 2.12, è il VERA (Virtual Environment for Road sAfeTy) in dotazione al Laboratorio di Trasporti dell'Università di Napoli, dotato di tre schermi 3 m x 4 m posti frontalmente e lateralmente a garantire una copertura visiva di 180°. Il cockpit è costituito da mezza scocca di una Citroen C2, montato su una piattaforma mobile attivata da sei pistoni in configurazione esapode. Il volante è dotato del ritorno di forza (force - feedback) e l'audio è di tipo surround.





Fig. 2.12 - Il simulatore VERA dell'università di Napoli.

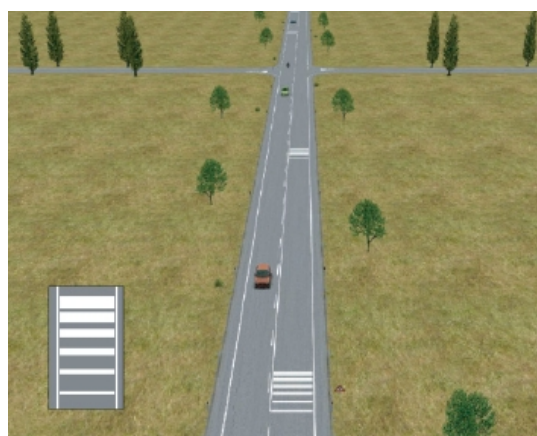
L'esperimento è stato eseguito su un campione di 30 soggetti informati e consenzienti, di cui 7 sono stati scartati per la manifestazione di chinetosi. I restanti 23, di età compresa tra i 23 e i 35 anni e aventi almeno 4 anni di esperienza di guida, hanno effettuato due prove su un percorso test, nel quale sono state inserite 10 differenti configurazioni alternative di elementi. Solamente la seconda prova è stata utilizzata ai fini della raccolta dei dati.

Il percorso - test è costituito da una strada extraurbana a due corsie che vede succedersi 20 rettifili della lunghezza di 1 Km raccordati attraverso clotoidi a curve di raggio 400 m e angolo di 35°. Le 10 configurazioni alternative che sono state implementate nei rettifili (e quindi sono state attraversate 2 volte in ogni prova), sono:

- Alt 1: rettifilo base, privo di intersezioni,
- Alt 2: intersezione a quattro rami collocata a metà del rettifilo, regolata da precedenza e segnalata attraverso un segnale triangolare di precedenza posto a 150 m dalla stessa,
- Alt 3: intersezione a quattro rami di cui i 2 in immissione regolati da Stop. L'incrocio viene segnalato attraverso il segnale di incrocio con una strada senza diritto di precedenza posto a 150 m dallo stesso,
- Alt 4: intersezione a quattro rami. Sul ramo d'approccio percorso dall'utente, a 80 m e 150 m dall'intersezione, vengono posti dei rallentatori ottici (formati da 6 barre trasversali di ampiezza crescente). E' sempre presente la segnaletica verticale,
- Alt 5: intersezione a quattro rami. Sul ramo d'approccio percorso, a 80 m e 150 m dall'intersezione, vengono posti due gruppi di 9 rumble strips aventi interasse di 50

cm. E' sempre presente la segnaletica verticale,

- Alt 6: intersezione a quattro rami. Sul ramo d'approccio percorso a 150 m dall'intersezione viene installato un set di rumble strips, seguito da una serie di barre trasversali periferiche poste a distanziamento decrescente. E' sempre presente la segnaletica verticale,
- Alt 7: intersezione a quattro rami. Sul ramo d'approccio percorso, a 80 m e 150 m dall'intersezione vengono inseriti due set di rumble strips, il secondo dei quali è seguito da una serie di 50 denti di drago di lunghezza via via crescente. E' sempre presente la segnaletica verticale,
- Alt 8: intersezione a quattro rami colorata di rosso. Sul ramo d'approccio percorso, a 80 m e 150 m dall'intersezione, i due set di rumble strips. E' sempre presente la segnaletica verticale,
- Alt 9: intersezione a quattro rami. Sul ramo d'approccio percorso viene realizzata un'isola centrale colorata lunga 134 m a ridurre la larghezza della corsia. A 150 m dall'intersezione viene installato un set di rumble strips. E' sempre presente la segnaletica verticale,
- Alt 10: intersezione a quattro rami. Sul ramo d'approccio percorso viene realizzata un'isola centrale rialzata con spalle di 50 cm e lunga 134 m, a ridurre la larghezza della corsia. A 150 m dall'intersezione viene installato un set di rumble strips. E' sempre presente la segnaletica verticale.



Capitolo 2 - La manipolazione del flusso ottico

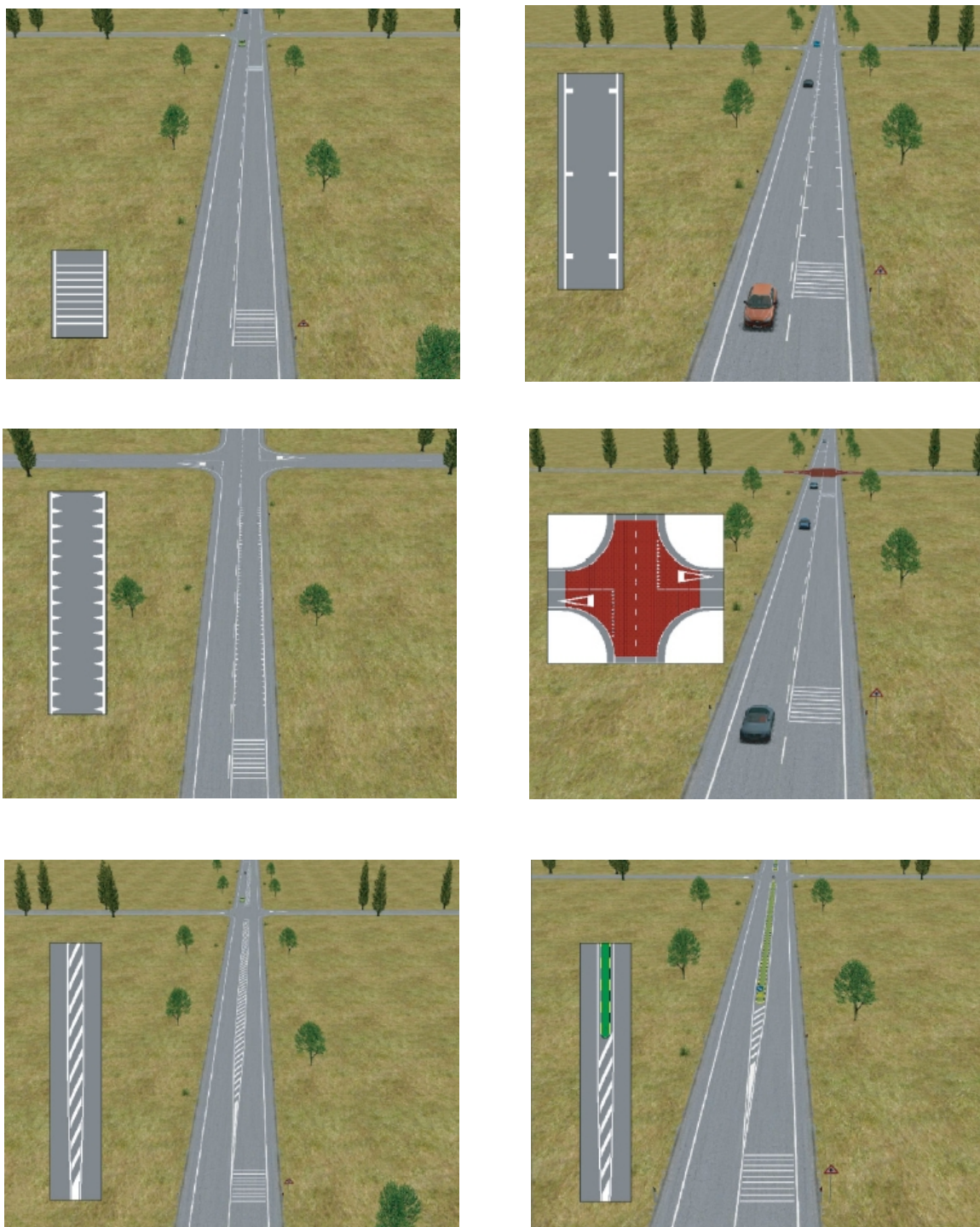


Fig. 2.13 - Configurazioni alternative: (a) Intersezione base, (b) rallentatori ottici, (c) rumble strips, (d) barre trasversali periferiche, (e) denti di drago, (f) intersezione colorata, (g) isola centrale colorata, (h) isola centrale rialzata.

L'analisi dei dati raccolti ha portato alle seguenti conclusioni:

- il comportamento dell'utente in approccio all'incrocio è fortemente condizionato dalla presenza di intersezioni e dispositivi,
- le intersezioni prive di trattamenti risultano influenzare la velocità dell'utente nei 250 m precedenti l'incrocio, con riduzione massima pari a 16 km/h in corrispondenza del suo centro. Non vi sono differenze significative dovute al diverso tipo di controllo,
- le configurazioni che presentano trattamenti permettono all'utente di individuare prima l'intersezione e di rallentare in vista dell'attraversamento, che avviene quindi in sicurezza. Le riduzioni di velocità sono di 13 - 17 km/h già 250 m prima dell'incrocio,
- la riduzione massima di velocità (23 km/h) viene osservata per il trattamento rumble strips + intersezione colorata ad una distanza di 75 m dall'intersezione,
- la segnaletica orizzontale a denti di drago (Alt 7), l'isola centrale rialzata (Alt 10) e in particolare l'intersezione colorata (Alt 8), si sono rivelate le configurazioni più efficaci;
- le altre combinazioni di trattamenti comportano una riduzione di velocità leggermente inferiore alle configurazioni del punto appena esposto.

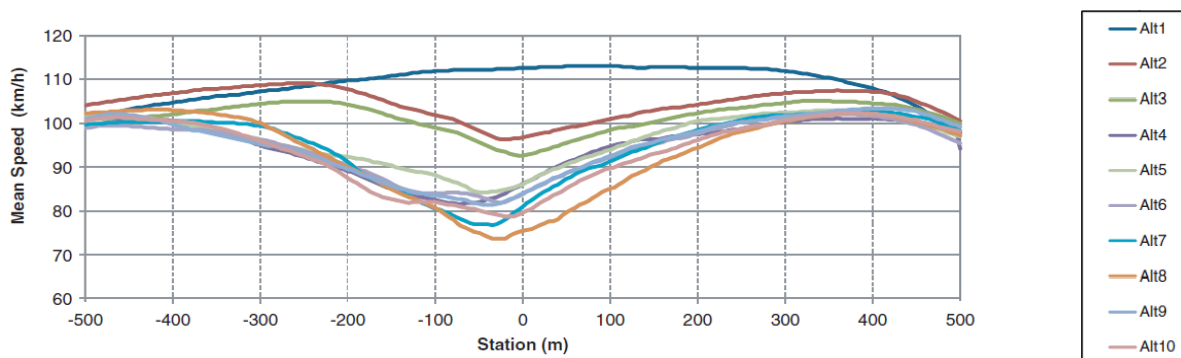


Fig. 2.14 - Profilo di velocità relativo alle dieci configurazioni alternative nei 500 m precedenti e successivi l'intersezione.

2.3.5 - Sperimentazione di Rossi

Nel 2012 è stato condotto un esperimento presso il Laboratorio di Trasporti dell'Università di Padova, in collaborazione con il Dipartimento di Psicologia Sociale.

Il sistema di simulazione utilizzato era un simulatore di guida a base fissa prodotto da STSoftware. Che comprende un cockpit realistico, tre computer collegati in rete, cinque schermi ad alta definizione ed un sistema audio Dolby Surround. Lo scopo di questo studio è stato quello di valutare la potenziale influenza di misure di moderazione del traffico sulla velocità tenuta dagli utenti. In particolare, l'attenzione si è concentrata sulle misure percettive, a basso costo e molto semplici, basati sull'illusione Oppel - Kundt e sulla manipolazione del flusso ottico laterale. La manipolazione consisteva nel creare due differenti configurazioni utilizzando i delimitatori laterali:

- installati ad una distanza costante l'uno dall'altro di 20 metri,
- installati a distanze decrescenti gli uni dagli altri (da 20 a 5 metri).

Le misure sono molto semplici da installare ed economiche, sia nell'acquisto che nella manutenzione. Sono stati applicati lungo l'approccio ad una rotonda, ipotizzando che i conducenti avrebbero sovrastimato la loro velocità effettiva come conseguenza della crescente densità spaziale dei delimitatori e decelerando.

E' stato scelto anche un terzo trattamento le optical bars posizionate all'inizio e al centro del segmento trattato, per confrontare l'efficacia nel ridurre la velocità delle due precedenti misure. Questi ultimi dispositivi sono comunemente usati per avvisare i guidatori che si avvicinano a un incrocio, a differenza delle contromisure percettive che forniscono ai guidatori informazioni precise circa la strada da percorrere.



Fig. 2.15 - Configurazioni dei dispositivi (controllo, paletti costanti, paletti decrescenti e optical bars).

Ai partecipanti è stato chiesto di guidare lungo un circuito di 8,73 km (Fig. 2.16), composto da otto segmenti rettilinei ciascuno di 1,1 km di lunghezza, collegati da sette rotatorie, il tutto con le stesse caratteristiche geometriche, corrispondenti a una vera e propria rotatoria situata su una strada rurale nella Provincia di Venezia, Italia.

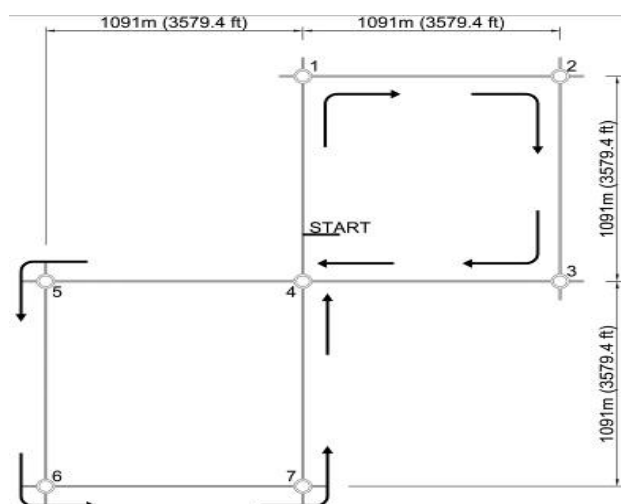


Fig. 2.16 - Schema del circuito.

E' stato chiesto di guidare normalmente come nella vita reale, ricordando che il limite di velocità nella zona è di 90 km/h. Ad ogni rotatoria i conducenti ricevevano le istruzioni vocali e visive riguardanti la direzione da prendere, affinché tutti seguissero un percorso determinato. Cinque giri del circuito sono stati completati da ciascun conducente.

Il traffico era presente solo nella corsia opposta.

In questo scenario, sono state adottate le condizioni meteorologiche diurne e con buona visibilità.

I partecipanti sono stati 26 (17 uomini e 9 donne) tra studenti, personale dell'università e altre persone con le seguenti caratteristiche:

- nessuna esperienza precedente al simulatore di guida,
- almeno 1 anno di esperienza di guida effettiva,
- distanza media annua percorsa di almeno 3.000 km.

Sono stati progettati e sviluppati 26 circuiti, ognuno era costituito da una sequenza estratta in maniera casuale dei tre trattamenti più quello di controllo (nessun trattamento corrispondente alla situazione corrente). Ogni trattamento è stato posto in due punti lungo il circuito.

I partecipanti sono stati testati individualmente e prima di iniziare l'esperimento hanno ricevuto istruzioni dettagliate sul comportamento da tenere durante la prova, sono stati invitati a guidare lungo il circuito e a completare 5 giri in modo da incontrare ciascun trattamento dieci volte.

La sessione sperimentale è stata preceduta da una sessione di pratica della durata di 15 minuti.

I dati sono stati standardizzati, cioè la velocità misurata al punto 1 è stata sottratta alle velocità misurate nei punti successivi.

I risultati hanno mostrato che le misure percettive analizzate, i paletti costanti e decrescenti, sono entrambi efficaci nel ridurre la velocità rispetto alla condizione di controllo.

Per questi trattamenti, la riduzione di velocità tra i punti 1 e 5 variava da 3,48 a 4,29 km/h corrispondente a circa il 4,2 % della velocità di entrata.

Le optical bars hanno mostrato solo una moderata capacità di ridurre la velocità dei conducenti e l'unica differenza rispetto alla condizione di controllo era il punto 5.

2.4 - La manipolazione del flusso ottico. Misure di campo

2.4.1 - Sperimentazione di Dell'Acqua

Lo studio di Dell'Acqua ha cercato di fare una valutazione dell'efficacia dei dispositivi di moderazione del traffico su un tratto di strada che attraversa una piccola comunità urbana. I siti di studio sono sette, cioè le transizioni tra le strade rurali e le piccole comunità urbane situate in provincia di Salerno, nel sud d'Italia, lungo le seguenti strade:

- la SP 125 Polla - Petina,
- la SS 103 Montesano - Moliterno,
- la SS 426 San Pietro - Sant'Arsenio (entrambi gli ingressi a Sant'Arsenio),
- la SP 39 San Pietro al Tanagro - Teggiano (entrambi gli ingressi a Teggiano),
- la SP 25 a Giffoni Sei Casali.

Nella primavera del 2007, l'amministrazione comunale ha cominciato ad utilizzare un certo numero di dispositivi di moderazione del traffico come i gateway. Lungo la strada, c'erano tre intersezioni dietro l'area interessata con configurazioni non ottimali (piccoli angoli di incidenza, inclinazioni elevate dei rami secondari e scarsa visibilità). I gateway sono costituiti da una porta in acciaio zincato come un portale, fissato all'inizio del centro della città e preceduto da rumble strips e da denti di drago, che formano un restringimento virtuale delle corsie.

I gateway sono composti da due parti funzionalmente diverse:

- la zona di transizione, con una lunghezza di 40 m (denti di drago e rumble strips), che ha la funzione di raccordare la strada rurale con quella urbana in maniera più graduale, per indurre i conducenti a regolare il proprio comportamento,
- la zona di gateway costituisce la separazione tra i due diversi ambienti stradali.

Nei due gateway, per un tratto di circa 50 m, viene utilizzato un conglomerato bituminoso ad alta aderenza per facilitare la decelerazione dei veicoli in caso di strada bagnata.

Per la pavimentazione della porta sono stati utilizzati i seguenti materiali:

- strisce larghe 50 cm di colore rosso, ortogonali alla direzione dei veicoli,
- strisce orizzontali di larghezza 15 cm,
- denti di drago con base e altezza di 50 cm e un interasse di 1,5 m,
- rumble strips larghe 10 cm, distanti 50 cm e nove per ogni serie,
- un segnale di fine zona urbana in alluminio.

Tra i due gateway vi sono sette attraversamenti pedonali con i rispettivi segnali verticali che indicano l'attraversamento pedonale nelle due direzioni, e segnali di stop, precedenza, e pericolo agli incroci.

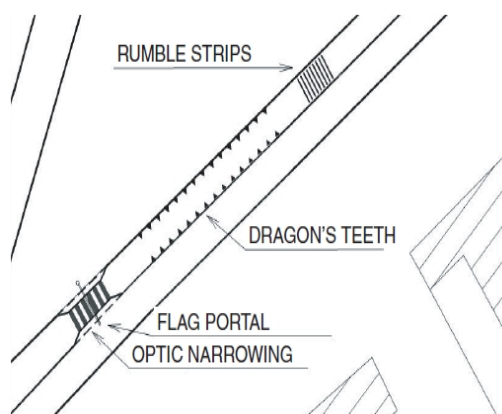


Fig. 2.17 - Foto e configurazione del gateway.

Le misure della velocità sono state raccolte utilizzando un contatore di traffico laser 3 - kV, il cui funzionamento è basato sull'emissione e la ricezione di due raggi laser a bassa potenza in direzione perpendicolare all'asse stradale.

E' possibile registrare il tempo, la velocità, la lunghezza del veicolo.

In ogni sito vi sono cinque stazioni di misura e le misure sono state prese per almeno 6 ore di un giorno ferialo (con luce del giorno e condizioni stradali asciutte).

L'analisi dei dati è stata effettuata, escludendo dalle distribuzioni di velocità i veicoli con headway inferiore ai 5 s, veicoli di lunghezza inferiore ai 3 m e superiori ai 9 m. Lungo la strada SP 25A, sono state osservate nove stazioni di misura: quattro prima, tre al gateway (due nella zona di transizione e uno nella zona gateway) e due dopo i gateway.

Lo studio sulla base di dati di velocità permette la misura dell'influenza del gateway dal comportamento del conducente entrando nell'area urbana utilizzando un'analisi Before - After cioè prima e dopo l'intervento.

L'efficacia dei dispositivi di moderazione del traffico è maggiore quando le velocità sono più elevate.

La velocità media (60 km/h) si riduce di circa il 19 % (48 km/h), ed è inferiore al limite di velocità (50 km/h), ma poi ricresce una volta superato il gateway e torna a 60 km/h. Da questi risultati si capisce che i dispositivi di moderazione del traffico si sono dimostrati essere efficaci pur essendo a basso costo e semplicemente dipinti sulla carreggiata e di conseguenza facilmente implementabili in altre comunità rurali.

2.4.2 - Sperimentazione di Allpress

Allpress (2009) si è invece interessato al possibile utilizzo di contromisure percettive al fine di ottenere un aumento della sicurezza nell'attraversamento di cantieri stradali. E' proprio in corrispondenza dei cantieri stradali che spesso vengono richieste ai guidatori le maggiori riduzioni di velocità, le quali possono raggiungere valori anche di 50 - 60 km/h a seconda del tipo di strada. Lo studio di Allpress è basato su una prova in strada, quindi è esente dalle critiche che possono essere mosse contro le ricerche svolte in ambiente virtuale.

L'esperimento è stato condotto nella State Highway 1, la superstrada più lunga ed importante della Nuova Zelanda (attraversa entrambe le isole per una lunghezza di 2047 km) avente un flusso veicolare giornaliero superiore ai 10.000 veicoli / giorno ed una velocità operativa di 100 km/h. Più precisamente le analisi sono state effettuate in un cantiere stradale posto 35 km a sud della città di Dunedin per un periodo di circa 6 mesi.

La zona di lavoro, avente lunghezza di circa 300 m, è stata segnalata ai transitanti tramite un segnale di pericolo arancione posto 150 m a monte della stessa ed un segnale indicante un limite di velocità di 50 km/h a 75 m. La riduzione di velocità richiesta agli utenti è stata quindi di 50 km/h.

I veicoli partecipanti all'esperimento sono stati all'incirca 25.200, di cui circa 4.000 di lunghezza superiore ai 5,5 m. Sono stati considerati in questo conteggio solamente i veicoli aventi un headway (distanza temporale tra due veicoli che si susseguono)

superiore ai 5 secondi, in modo da non incorrere in condizionamenti.

Lo scopo dell'esperimento è stato quello di valutare la possibilità di utilizzare i coni stradali come contromisura percettiva capace di modificare il flusso ottico percepito dall'utente e indurre quest'ultimo a ridurre la propria velocità nell'intorno del cantiere stradale.

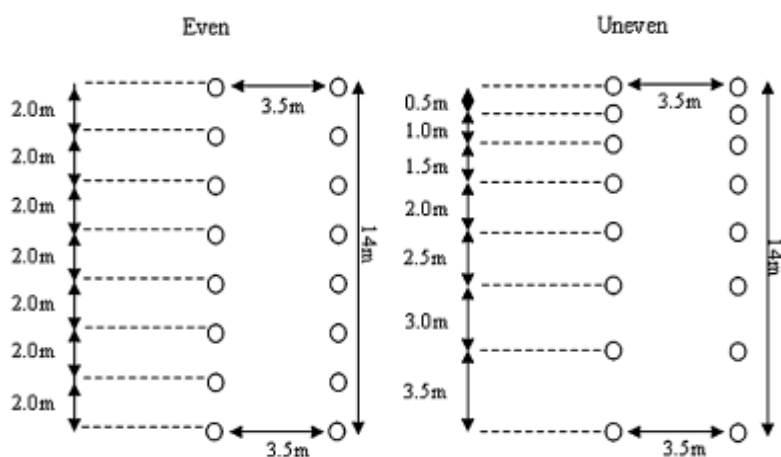


Fig. 2.18 - Configurazione dei trattamenti a coni posti a distanziamento costante e decrescente.

I coni, alti 90 cm e dotati di strisce rifrangenti, hanno avuto anche funzione di restringere la larghezza della corsia in ingresso al cantiere. Sono state valutate 3 diversi trattamenti:

- l'assenza di misure percettive,
- i coni disposti con distanziamento costante,
- i coni disposti con distanziamento decrescente.

Le rilevazioni sono state effettuate in tre posizioni:

- 400 m prima del cantiere,
- in ingresso al cantiere (dopo l'intervento),
- a metà cantiere (150 m dopo l'ingresso).

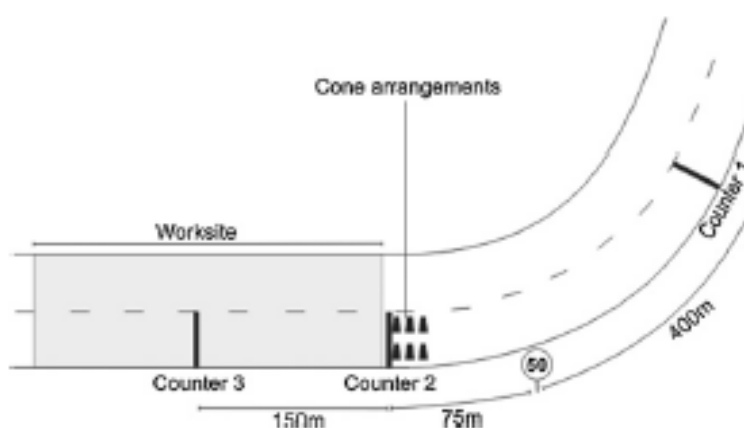


Fig. 2.19 - Schema della zona di lavoro.

L'analisi dei dati ha permesso le seguenti considerazioni:

- entrambe le configurazioni di coni inserite in ingresso alla zona di lavoro sono state efficaci nel ridurre la velocità,
- in corrispondenza della prima sezione di rilevamento (400 m prima del cantiere) non si sono registrate differenze superiori a 0,9 km/h tra i vari trattamenti,
- le velocità rilevate all'ingresso del cantiere si sono rivelate inferiori a quelle di base di 9,5 km/h per i coni con andamento decrescente e 7,9 km/h per quelli equidistanti,
- l'effetto di riduzione si è mantenuto anche all'interno dell'area di lavoro con velocità rilevate inferiori a quelle di base di 2,25 km/h e 3,7 km/h rispettivamente per i coni disposti in maniera decrescente e quelli equidistanti,
- con la riduzione della velocità si è ottenuta anche una significativa diminuzione della percentuale di utenti "pericolosi", ossia quelli viaggianti attraverso l'area di lavoro a più di 70 km/h.

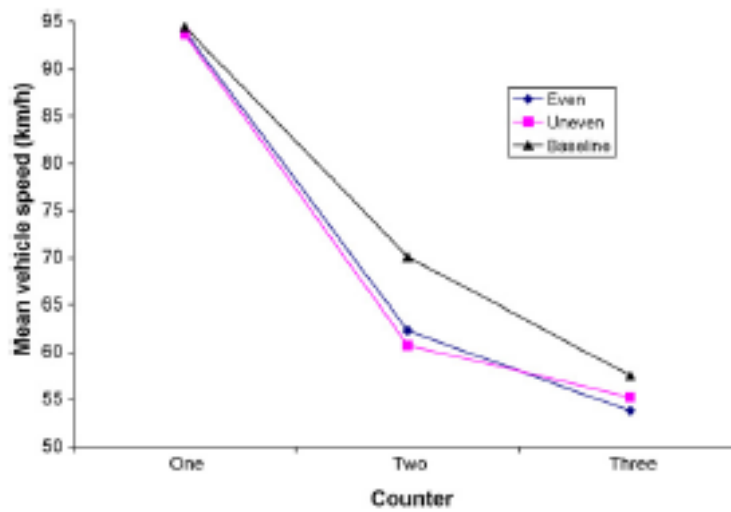


Fig. 2.20 - Velocità media registrata in corrispondenza delle tre sezioni di rilevamento.

Negli studi precedentemente esposti abbiamo osservato come le misure percettive possano svolgere un ruolo molto importante ai fini della sicurezza stradale. Le varie analisi sono solamente una piccola parte degli studi inerenti la materia, la cui letteratura nel corso degli ultimi anni si è arricchita grazie ad un interesse generale nello sviluppo di questo tipo di esperimenti ed esperienze.

Abbiamo potuto osservare come vi sia una vastissima varietà di metodi per programmare e realizzare una manipolazione del flusso ottico con il pregio di contenere i costi e di non avere un carattere invasivo. Il vantaggio delle misure percettive rispetto a contromisure più classiche è quello di poter ottenere un certo risultato senza ricorrere ad una interazione fisica con il veicolo, ma solamente attraverso interazioni di tipo sensoriale rivolte al conducente.

Capitolo 3 - Analisi sperimentale

Nei capitoli precedenti abbiamo potuto osservare come una delle principali cause di incidente stradale sia l'errore umano, il quale può essere imputato alle limitazioni fisiche e cognitive del guidatore o ad errori di valutazione dell'ambiente circostante da parte dello stesso. Un'interpretazione errata del contesto stradale può infatti portare l'utente a tenere comportamenti scorretti che possono essere causa di gravi conseguenze.

Un semplice esempio potrebbe essere l'errata valutazione, da parte del guidatore, della velocità tenuta dal veicolo nell'avvicinarsi ad un pericolo generico (una curva, un passaggio pedonale, un cantiere, una rotatoria o un'intersezione).

In alcuni casi è proprio l'ambiente stradale a fuorviare il comportamento degli utenti suggerendo, con le proprie caratteristiche, velocità di crociera superiori a quelle di sicurezza e creando di conseguenza delle criticità in corrispondenza di tali elementi. Situazioni di questo genere sono osservabili in particolare in quei tronchi di strade statali e provinciali che attraversano piccoli centri abitati. Tali tipi di strade, di carattere extraurbano, sono infatti caratterizzate da velocità operative tendenzialmente elevate che i guidatori spesso non modificano, o lo fanno in maniera insufficiente, nell'inserimento in ambito urbano.

Questo fenomeno è dovuto al fatto che spesso l'unica indicazione del passaggio da un ambito all'altro è data dalla variazione del limite di velocità che, nella maggior parte dei casi, non viene rispettata. Si può ritenere che gli utenti infatti tendono a considerare tali limitazioni solamente come un'indicazione e a ritenere che non riflettano le reali possibilità garantite dall'infrastruttura.

Ciò porta ad un aumento non solo della probabilità di incorrere in un sinistro in corrispondenza dei punti di criticità suddetti, ma anche della gravità che lo stesso può assumere.

L'oggetto di questa tesi è uno studio, effettuato mediante l'utilizzo di un simulatore di guida, riguardante il possibile utilizzo dei delineatori di margine come contromisura percettiva finalizzata alla manipolazione del flusso ottico avvertito dall'utente e alla riduzione della velocità in prossimità di un pericolo generico.

I delineatori di margine sono degli elementi verticali di sezione trapezoidale aventi altezza

fuori terra compresa tra 70 e 110 cm, costruiti con materiali (generalmente plastici) tali da non costituire pericolo in caso di collisione da parte dei veicoli. Essi presentano una colorazione bianca ed una fascia nera alta 25 cm posta nella parte superiore e dotata di elementi rifrangenti, bianchi da un lato e rossi dall'altro, rivolti verso le correnti di traffico interessate. I delineatori vengono installati a bordo strada in tutti quegli ambiti extraurbani in cui la velocità, l'andamento piano - altimetrico o le condizioni climatiche locali rendano necessario visualizzare a distanza l'andamento dell'asse ed i limiti della sede stradale.

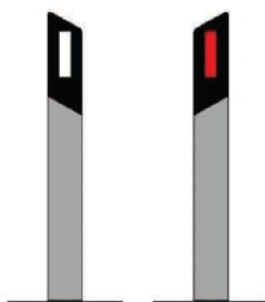


Fig. 3.1 - Delineatori di margine per strade a doppio senso di circolazione.

Fonte: art.173 DPR 16 dicembre 1992 n. 495, art. 42 CdS.

3.1 - Descrizione del sito di osservazione

Il sito relativo allo studio in questione è situato lungo Via del Vaso (SP19) nel comune di Dolo in provincia di Venezia, Italia.

Nella Fig. 3.2 è rappresentata l'area di studio che si estende per una lunghezza di circa 600 m, descrivendo il percorso da sud a nord, si parte dall'intersezione con Via Cimitero e Via Altire dopo il cavalcavia e si prosegue con un tratto pressoché rettilineo di 428 m seguito da una curva verso sinistra di raggio 200 m ed un angolo di 5°.

La suddetta curva è posta in prossimità del cambio di ambito da extraurbano ad urbano che dovrebbe portare una riduzione della velocità da 70 a 50 km/h.

La situazione è resa complicata dalla mancanza di visuale verso sinistra dovuta al muro di recinzione della casa presente, alto circa 2 m.

Questo muro nasconde proprio il ramo sinistro dell'intersezione (Via Monache a destra e Via dei Frati a sinistra) posta esattamente in curva, ciò ha creato non pochi problemi in passato, per questo ci si è posti l'obiettivo di trovare una soluzione per indurre in maniera

inconsua negli automobilisti una riduzione delle velocità che risultano essere notevolmente elevate da rilievi sul campo.

Nell'ultima parte del tratto è presente un rettilineo di circa 184 m con un'intersezione a T (Via Cataldo Presicci), 88 m dopo la curva.



(a)



(b)



(c)

Fig. 3.2 - Vista aerea dell'area in esame (a) e foto della curva in direzione nord (b) e sud (c).

3.2 - Rilevazioni di campo della velocità

Al fine di determinare la velocità tenuta dai veicoli lungo il tratto di ingresso in curva (da sud a nord) sono stati installati 5 sensori radar ai margini della carreggiata.

Quattro di questi dispositivi sono "Viacount serie 2" con le seguenti caratteristiche:

- radar doppler integrato con frequenza di lavoro a 24,125 Ghz,
- possibilità di rilevare informazioni in entrambe le direzioni,
- lo strumento è collaudato secondo gli standard EN 300440 e EN 301489 e omologato in Svizzera e Norvegia (paesi dell'Unione Europea dove non vi sono particolari limitazioni riguardanti il loro utilizzo),
- possibilità di classificare fino a 10 classi di velocità (con un range tra 1 e 255 km/h) e 6 classi di veicoli,
- possibilità di memorizzare informazioni di 360.000 veicoli (4 MB) ma espandibili a 8 MB,
- piccolo, compatto, facilmente trasportabile e flessibile nell'uso,
- durata della batteria che può arrivare a due settimane in funzione del consumo di corrente nel caso di 20 mA quando non sta operando e di 50 mA nel caso peggiore, questo grazie alla modalità risparmio energetico,
- impermeabilità all'acqua, dovuta al design e alla sua progettazione, con fori per evacuare la condensa posizionati alla base della scatola che contiene tutto l'apparato,
- non richiede una elevata manutenzione se non il cambio delle guarnizioni degli sportelli e la pulizia risulta facile da eseguire con acqua e sapone,
- errori di misurazione (sottostima del numero di veicoli) dovuto al fatto che alcuni di questi transitano nella seconda corsia e possono essere mascherati da altri presenti nella prima.

In fase di installazione si rende necessario assegnare opportuni valori ad alcuni parametri nel dispositivo (calibrazione):

- ora del sistema con una precisione del secondo, data del sistema con formato 01.01.01, l'orologio funziona anche se la batteria principale è scarica,
- si deve impostare il giorno e l'ora di inizio della rilevazione con possibilità di posticipare l'inizio di una settimana utilizzando la modalità risparmio energetico,
- scegliere la direzione rilevata (in arrivo, in partenza o bidirezionale),
- fattore di correzione da apportare alla velocità dovuto al fatto che può esserci un angolo diverso da quello definito dalla casa costruttrice come ottimale fra l'asse del moto e quello del fascio,

- raggio d'azione del radar settato pari al 25 % dalla fabbrica da modificare solo se vi è il rischio di riflessioni da parte di veicoli parcheggiati o guardrail.

Bisogna fare attenzione che nella fase di installazione vera e propria si verifichino le seguenti condizioni:

- visuale sgombra da ostacoli quali pali, alberi che possono falsare le misure a causa del riflesso,
- da posizionare solo in rettilineo e non in curva,
- posizione 1 (laterale ad altezza veicolo):
 - altezza da terra compresa tra 50 cm e 1,00 m,
 - parallelo alla direzione di marcia,
 - distanza dalla carreggiata compresa tra 50 cm e 3,00 m,
 - il “naso” della scatola orientato a 45° verso il flusso in arrivo,
 - il rilevatore interno posto in posizione verticale,
- posizione 2 (laterale e sospesa):
 - posizionato più in alto dei veicoli con altezza compresa tra 2,00 e 3,00 m,
 - parallelo alla direzione di marcia,
 - il rilevatore interno deve essere posizionato a 20°.

Questi radar sono stati posizionati, seguendo le indicazioni appena date, sui pali della luce presenti a bordo strada, partendo da sud e proseguendo verso nord, il primo che incontriamo è a 227,45 m dall'intersezione in esame, il secondo a 157,45 m, il terzo a 87,45m e il quarto a 17,45 m. (Fig. 1a), quindi con un interasse di 70 metri.



Fig. 3.3 - Viacount: foto del dispositivo radar e posizione della corretta istallazione.

L'altra tipologia di radar utilizzata è l'"Wavetec", il quale presenta le seguenti caratteristiche:

- involucro in materiale plastico che contiene l'apparecchiatura di rilevamento, il pacchetto batterie e il monitor per la lettura dei dati che può essere connesso a diversi dispositivi,
- rilevamenti possibili con un range di velocità comprese tra 1 e 255 km/h,
- deve essere installato a 75 cm da terra e con un inclinazione di 45° rispetto alla direzione da rilevare,
- speciale antenna che permette l'installazione del radar lateralmente o sospeso sopra la corsia grazie all'angolo compreso 12° e 25° che viene formato dal fascio di onde,
- è possibile settare in quale corsia eseguire il rilievo (arrivo, andata o entrambe),
- con bassi volumi di traffico anche in posizione laterale si riescono a rilevare dati su entrambe le corsie perché non vi è il problema della riflessione dell'onda,

- i dati di output sono data, ora, direzione percorsa, velocità e lunghezza dei veicoli.

L'unico Wavetec utilizzato è stato installato secondo le prescrizioni della casa sul lato opposto ai Viacount sul palo di un segnale stradale vicino al muro di recinzione della casa che nasconde l'intersezione oggetto di studio. L'obiettivo era quello di avere delle misure dei volumi di traffico in opposizione alla corrente interessata dall'analisi.



Fig. 3.4 - Wavetec: foto del dispositivo radar e posizione della corretta installazione.

I radar sono stati installati per 3 giorni dal 04/12/2012 alle ore 12:05 al 07/12/2012 alle ore 11:50 per rilevare dati relativi al numero di veicoli transitati, alle velocità, alla tipologia e all'ora di passaggio.

I dati rilevati dai Viacount sono stati filtrati tramite opportune procedure sviluppate in MSAccess per poter individuare le sole autovetture imponendo che le lunghezze dei veicoli fossero comprese tra i 3 m e i 6 m.

A seguito di questo, un ulteriore filtro è stato applicato per poter individuare i veicoli isolati in maniera tale che non ci fosse nessun condizionamento del guidatore, questo è stato

fatto imponendo un headway, intervallo temporale tra due veicoli, di 15 secondi sia davanti che dietro ad ogni veicolo.

Ulteriore filtro è stato fatto per considerare solo i passaggi diurni quindi impostando un'ora compresa tra le 08:00 e le 18:00.

Si sono ottenuti così 649 passaggi su cui sono state focalizzate le analisi successive.

I dati rilevati dal radar posto ai margini della corsia opposta (Wavetec) sono stati invece utilizzati nel simulatore per creare i tre container (file di tipo testo con estensione .txt che contengono i dati, strutturati in una colonna con molte righe) che servono per generare il traffico in opposizione.

Nel primo container sono stati inseriti un pacchetto di informazioni relative alla tipologia di veicolo ricavato in funzione della lunghezza (auto o van).

Nel secondo container sono stati inseriti un pacchetto di informazioni relative alla velocità degli stessi veicoli considerati nel primo container.

Nel terzo container sono stati inseriti un pacchetto di informazioni relative agli headway degli stessi veicoli del primo e del secondo container.

3.3 - Strumentazione di laboratorio

Il simulatore di guida utilizzato nella presente sperimentazione è situato presso il Laboratorio di Trasporti del DICEA (Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale) dell'Università degli Studi di Padova; esso, è un Jentig50 prodotto dalla olandese STSoftware.

Il simulatore è costituito da:

- abitacolo (cockpit) realizzato in alluminio e plexiglass,
- volante con un diametro 36 cm e force feedback in grado di riprodurre vibrazioni e rigidità dello sterzo,
- pedaliera che comprende acceleratore, freno e frizione ad alta sensibilità,
- comandi di guida tra cui leva frecce/luci/clacson,
- cambio manuale/automatico a 5 marce e freno di stazionamento,

- sedile regolabile e cintura di sicurezza,
- 5 schermi al plasma da 50" che coprono un angolo di visuale orizzontale di oltre 300°,
- sistema audio surround 5.1 (3 altoparlanti frontali, 2 altoparlanti laterali posteriori e 1 subwoofer a lato dei pedali),
- 3 pc collegati in rete con processore "intel core 2 duo" che lavorano ad una frequenza di 3,16 Ghz, dotati di 2 moduli RAM DDR3 da 2 GB ciascuno, scheda video GeForce GTx260 e con Windows XP Service Pack 3 come sistema operativo.



Fig. 3.5 - Simulatore del Laboratorio Trasporti del DICEA.

Lo schermo frontale ha una risoluzione di 1980 x 1080 (monitor hd) mentre gli schermi laterali e posteriori di 1360 x 768. La frequenza di aggiornamento delle immagini è di 60 Hz.

Il simulatore è di tipo fixed - base (statico) e non è in grado di restituire le sensazioni inerziali del corpo pertanto l'utente non può fare affidamento sul sistema vestibolare

nell'elaborazione del movimento.

Per gli studi riguardanti la percezione visiva, l'effetto dovuto alla mancanza di questo tipo di informazione si può considerare entro certi limiti trascurabile, ed è possibile ovviare a ciò facendo eseguire ai soggetti una sessione di guida di prova in modo da prendere confidenza con l'ambiente simulato e la risposta dei comandi.



Fig. 3.6 - Postazione di guida e strumentazione del simulatore.

Il simulatore di guida è dotato di una serie di pacchetti software strettamente integrati. Due pacchetti vengono utilizzati nella fase di progettazione offline dell'esperimento (StRoadDesign e StScenario), uno nella fase di controllo e scrittura dei dati di output (StDataProc) ed i restanti per l'elaborazione video e audio della simulazione, nonché il controllo delle condizioni di prova durante l'esperimento (StControl).

In particolare StRoadDesign è l'interfaccia che viene utilizzata per la creazione dell'ambiente 3D e di tutte le connessioni logiche che intercorrono tra gli elementi che compongono la rete stradale, mentre StScenario è il linguaggio di scripting attraverso il quale vengono di fatto generate le simulazioni e che permette di controllare le caratteristiche del veicolo pilotato dal partecipante all'esperimento, del traffico e delle interazioni di questi ultimi con la pavimentazione.

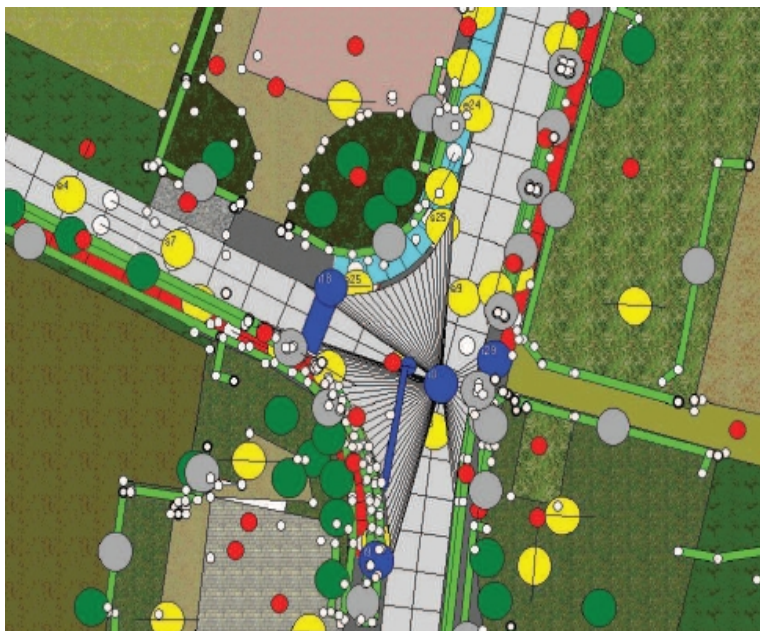


Fig. 3.7 - Elaborazione di un'intersezione restituita dal programma STRoadDesign.

3.4 - Soggetti e procedura

Per l'esecuzione degli esperimenti sono stati reclutati 55 soggetti.

Preliminarmente all'esperimento, ai soggetti è stato spiegato come utilizzare il simulatore.

Il tester è stato quindi sottoposto ad una guida di prova, effettuata su un percorso standard totalmente estraneo alla sperimentazione, per permettergli di prendere confidenza con la strumentazione e regolare il sedile secondo le proprie preferenze, nonché abituarlo alla vista dello scenario per mezzo dei 5 schermi che compongono il simulatore.

Tra la guida di prova che durava 5 minuti e il test vero e proprio della durata indicativa di 40 minuti, i soggetti venivano fatti alzare e rispondere ad alcune domande riguardanti il loro uso quotidiano dell'auto, questo per spezzare la prova e ridurre la probabilità di incorrere in problemi di natura fisica (simulator sickness) durante la prova.

Prima di cominciare la prova vera e propria venivano fatti riaccomodare, mentre lo sperimentatore leggeva loro le indicazioni preparate precedentemente ed uguali per tutti:

“In questo esperimento guiderai un'auto all'interno di un ambiente extraurbano.

Il tuo compito è quello di guidare il più naturalmente possibile, compatibilmente con le caratteristiche dell'ambiente stradale, con le condizioni del traffico e nel pieno rispetto del

codice della strada.

L'esperimento avrà una durata di circa 40 minuti. Poco prima della fine verrai avvisato dallo sperimentatore. (In pratica non venivano mai avvisati per non indurre un cambiamento nel comportamento del tester una volta noto quanto tempo rimaneva loro per completare l'esperimento).

Durante l'esperimento non devi comunicare con lo sperimentatore a meno che non insorgano problemi di natura fisica (malessere, senso di vomito) peraltro non frequenti.

Considera di essere solo e concentrati nella guida.”

Lo sperimentatore doveva oscurare le finestre, spegnere le luci, mantenere una temperatura di 18 - 20 °C e non doveva parlare con il soggetto.

Ogni partecipante ha quindi eseguito l'esperimento, cioè una guida attraverso un ambiente realistico costruito sulla base della vista aerea della zona interessata, su di un percorso composto da un susseguirsi di rettili e rotatorie/curve, in presenza di traffico in opposizione e di suoni.

I trattamenti percettivi nella prova vera e propria sono applicati in avvicinamento alla curva. Le caratteristiche di ogni esperimento verranno spiegate in dettaglio nei prossimi paragrafi. L'ordine con cui sono stati affrontati gli esperimenti è stato cambiato tra un soggetto e l'altro.

I 55 soggetti di cui abbiamo parlato hanno completato la prova a loro assegnata, in realtà hanno partecipato all'esperimento altri 3 soggetti i cui dati non sono stati considerati nelle analisi:

- 2 nella prima fase di validazione (in un caso prova interrotta per insorgenza di senso di nausea, l'altro perché aveva un comportamento anomalo in curva),
- 1 nella prova vera e propria (per insorgenza di senso di nausea).

Il campione che ha partecipato all'esperimento era composto da 55 guidatori da distinguersi in 7 soggetti per la prima fase di validazione (fase A), 20 per la seconda (fase B) e 28 per la prova vera e propria (fase C).

Nel seguito vengono descritte le caratteristiche dei campioni.

Fase A (7 soggetti):

- 5 maschi di età compresa tra 26 e 29 anni, con una media pari a 27 anni.
In possesso di una regolare patente di tipo B mediamente da 9 anni (minimo 8 anni e massimo 10 anni).
Il chilometraggio annuo medio di 10.200 km (minimo 7.000 km e massimo 20.000 km).
- 2 femmine di età compresa tra 25 e 26 anni, con una media pari a 25,5 anni.
In possesso di una regolare patente di tipo B mediamente da 6,5 anni (minimo 6 anni e massimo 7 anni).
Il chilometraggio annuo medio di 2.500 km (minimo 1.000 km e massimo 4.000 km).

Fase B (20 soggetti):

- 12 maschi di età compresa tra 22 e 32 anni, con una media pari a 26 anni.
In possesso di una regolare patente di tipo B mediamente da 8 anni (minimo 4 anni e massimo 13 anni).
Il chilometraggio annuo medio di 5.917 km (minimo 1.500 km e massimo 20.000 km).
- 8 femmine di età compresa tra 21 e 27 anni, con una media pari a 23 anni.
In possesso di una regolare patente di tipo B mediamente da 5 anni (minimo 1 anno e massimo 9 anni).
Il chilometraggio annuo medio di 3.500 km (minimo 1.000 km e massimo 10.000 km).

Fase C (28 soggetti):

- 21 maschi di età compresa tra 22 e 31 anni, con una media pari a 25 anni.
In possesso di una regolare patente di tipo B mediamente da 6 anni (minimo 2 anni e massimo 13 anni).
Il chilometraggio annuo medio di 11.310 km (minimo 3.000 km e massimo 60.000 km).
- 7 femmine di età compresa tra 22 e 28 anni, con una media pari a 24 anni.

In possesso di una regolare patente di tipo B mediamente da 5 anni (minimo 3 anni e massimo 9 anni).

Il chilometraggio annuo medio di 3.429 km (minimo 1.000 km e massimo 5.000 km).

3.5 - Sperimentazione di laboratorio

In questa sezione vengono anticipati alcuni elementi descrittivi utili a comprendere il percorso logico seguito che ha portato alla raccolta dei dati utili per le analisi di dettaglio che verranno presentate nel capitolo seguente.

In primo luogo dobbiamo dire che i tester hanno eseguito la prova individualmente e che in tutti gli scenari, sono state adottate condizioni di luminosità diurna con una visibilità pari a 600 m.

3.5.1 - Prima validazione (Fase A)

La prima validazione si è svolta all'interno di un ambiente virtuale molto dettagliato che comprendeva:

- la strada circondata da campi,
- gli alberi,
- i fossi,
- le case con le loro recinzioni,
- la segnaletica verticale e orizzontale.

In questo modello si è cercato di riprodurre in maniera più fedele possibile la situazione reale dell'area di studio in maniera da poter validare l'utilizzo del simulatore facendo un confronto tra la situazione reale (attraverso i profili di velocità relativi all'insieme di 649 veicoli osservati mediante radar) e quella simulata.

Ad ogni partecipante è stato dato il compito di guidare per 3 giri all'interno del percorso (vedi § 3.5.2), con la raccomandazione di tenersi all'interno della propria corsia, di non svoltare alle intersezioni presenti e di non fare mai retromarcia.

La scelta della velocità di marcia è stata lasciata a discrezione dell'utente, pur indicandone un "valore consigliato" di riferimento pari a circa 90 km/h, questo per evitare che venissero tenute andature troppo veloci o troppo lente.

Il percorso è costituito da una strada a doppio senso di circolazione con una corsia per senso di marcia. La larghezza delle corsie è di 3,00 m con erba laterale di 1,00 m nella zona extraurbana, è presente un tratto di marciapiede di 1,50 m a sinistra procedendo da sud verso nord nella zona urbana.

Il tratto base lungo circa 800 m è composto dai 600 m che ricalcano esattamente la strada reale e da 200 m aggiuntivi in cui è presente una rotatoria che ha lo scopo di raccordare i vari tratti.

Il tracciato ha la forma di un anello ed è composto da 10 tratti base interamente vuoti (controllo) a rappresentare la situazione corrente.

Questa configurazione era stata pensata per rendere meno monotona la prova visto che gli utenti dovevano rallentare per percorrere la rotatoria e poi riaccelerare per prendere velocità (spezzare il moto facendo variare la pressione esercitata dal guidatore sul pedale dell'acceleratore).

Si è infatti voluto evitare che l'utente mantenesse una certa velocità basandosi sulla sensazione muscolare data dalla posizione del piede sul pedale piuttosto che sulla percezione visiva del flusso ottico fornita dallo scenario oggetto di studio.

3.5.2 - Seconda validazione (Fase B)

La seconda validazione si è svolta all'interno dello stesso ambiente virtuale precedentemente creato dopo aver apportato alcune significative modifiche:

- sostituzione della rotatoria di raccordo con una curva a sinistra in maniera tale da dare la possibilità all'utente di prendere maggior velocità,
- incremento della velocità del flusso in opposizione di 40 km/h,
- inserimento nel ramo di destra dell'intersezione (Via Monache) di due veicoli con freccia lampeggiante fermi allo stop e pronti a girare verso sinistra.
- Friction Factor (parametro che permette di regolare l'aderenza del veicolo, più elevato meno scivola l'auto) ridotto da 0,7 a 0,6,

- Brake Factor (parametro che permette di regolare la forza frenante del veicolo, più elevato riduce lo spazio di frenatura) posto uguale a 13 in entrambe le prove.

In questo modello si è cercato di aggiustare il tiro visto che le riduzioni di velocità rilevate nella prova precedente erano di soli 2 - 3 km/h, cioè un ordine di grandezza inferiore rispetto alla situazione reale.

Ad ogni partecipante è stato dato il compito di guidare per 5 giri all'interno del percorso, con la raccomandazione di tenersi all'interno della propria corsia, di non svoltare alle intersezioni presenti e di non fare mai retromarcia.

La scelta della velocità di marcia è stata lasciata a discrezione dell'utente, pur indicandone un "valore consigliato" di riferimento pari a circa 90 km/h, questo per evitare che venissero tenute andature troppo veloci o troppo lente.

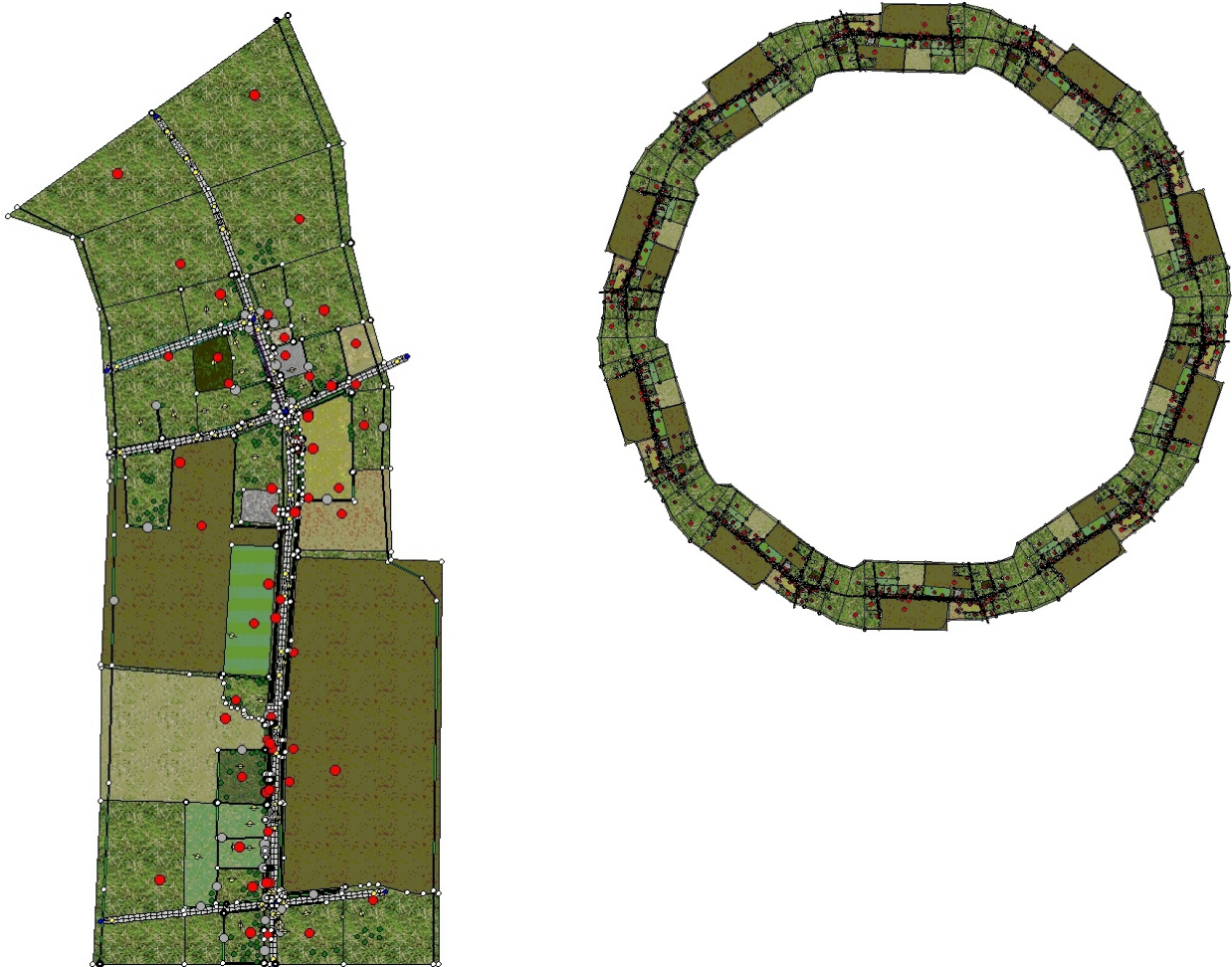


Fig. 3.8 - Planimetria del tratto base (controllo) e dell'intero tracciato relativo all'esperimento.

Questa procedura può facilmente essere rappresentata in uno schema, la prima validazione con i 7 soggetti non ha portato al risultato atteso rispetto alla situazione reale (profili di velocità comparabili con quelli osservati sul campo), sono state quindi apportate le dovute modifiche e si è eseguita la seconda validazione con i 20 soggetti che ha dato risultati paragonabili alla situazione reale.

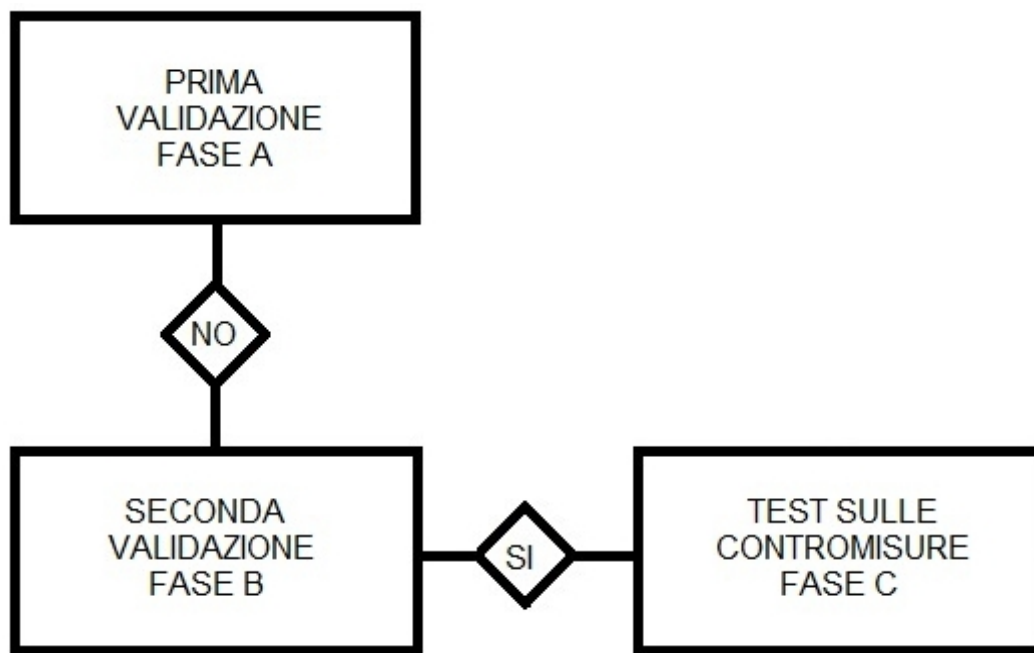


Fig. 3.9 - Schema seguito per lo studio.

Ora si prosegue con la fase C dello studio ovvero il test sulle contromisure.

3.5.3 - Descrizione delle contromisure utilizzate nella Fase C

- assenza di trattamenti, utilizzata come base del confronto (controllo),

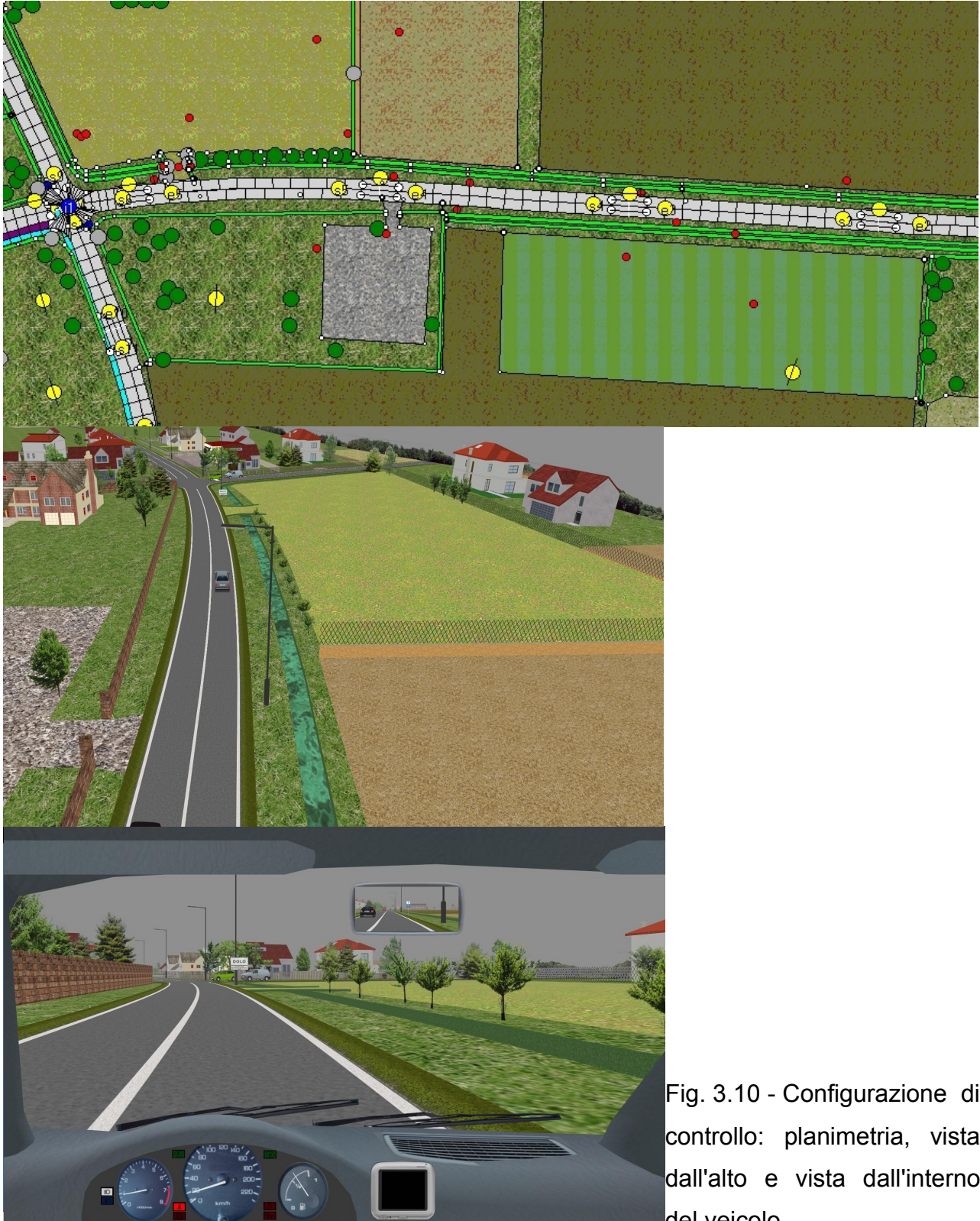
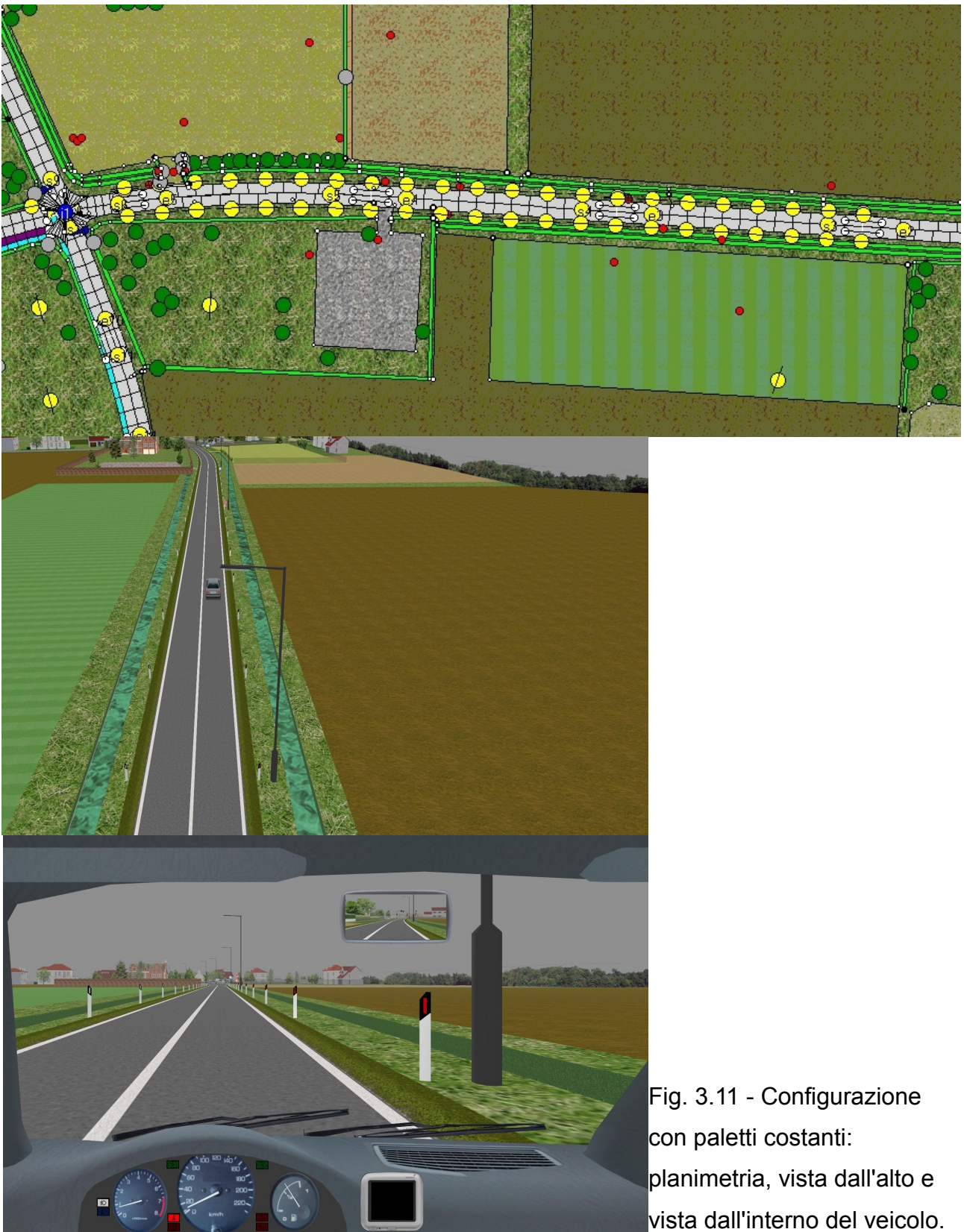


Fig. 3.10 - Configurazione di controllo: planimetria, vista dall'alto e vista dall'interno del veicolo.

- delineatori posizionati a 1,00 m dal bordo stradale con un interasse costante di 10 m lungo tutto il tratto test (dai 227,45 m ai 17,45 m prima dell'intersezione),



- delineatori alti 1,80 m in cui la parte nera è stata eliminata e raddoppiata la parte bianca, posizionati a 1,00 m dal bordo stradale con un interasse costante di 10 m lungo tutto il tratto test (dai 227,45 m ai 17,45 m prima dell'intersezione),

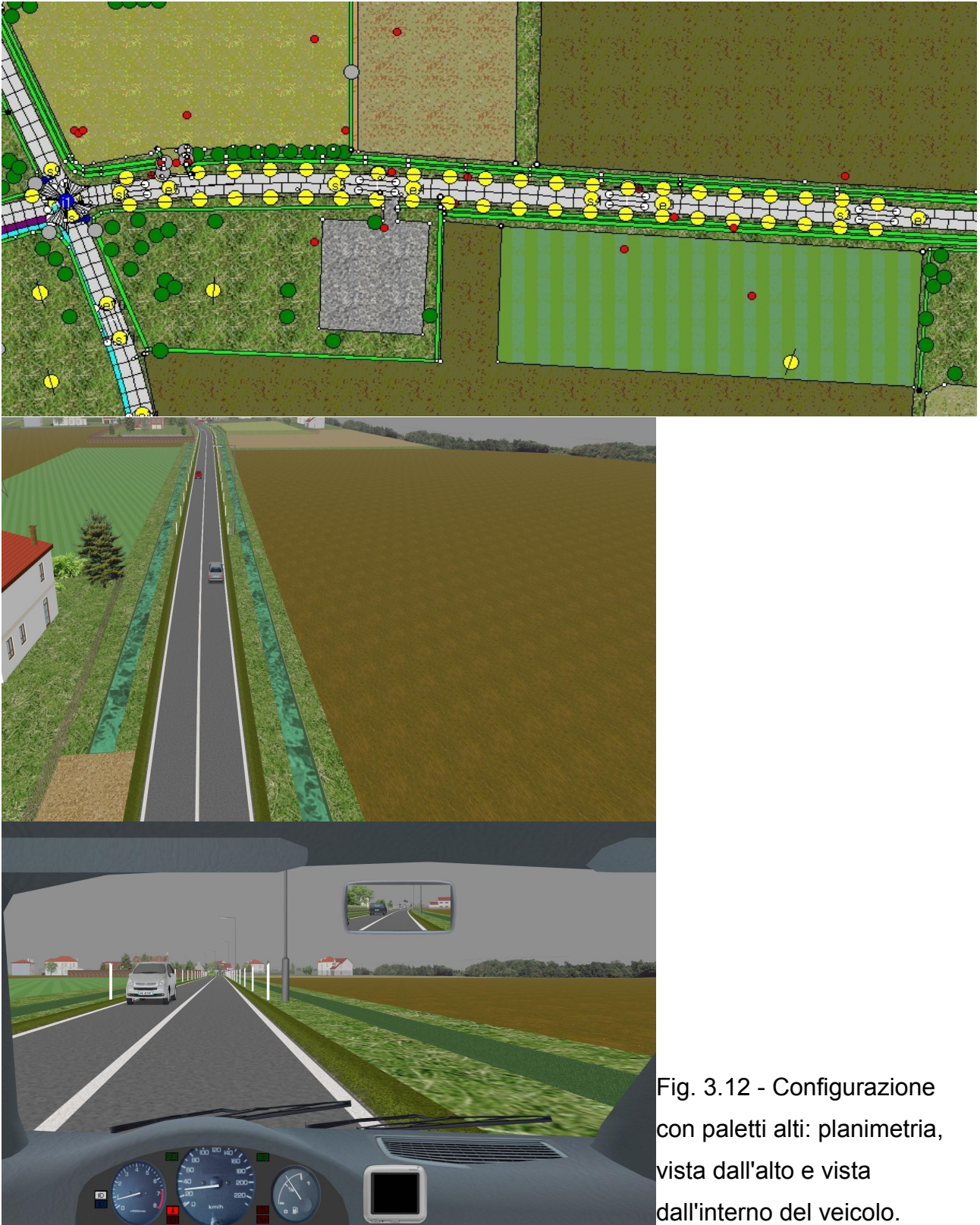


Fig. 3.12 - Configurazione con paletti alti: planimetria, vista dall'alto e vista dall'interno del veicolo.

- delineatori posti a formare una strettoia nei secondi 35 m del primo tratto da 192,45 m a 157,45 m. La configurazione della strettoia prevede 7 paletti a distanza di 5 m l'uno dall'altro, il primo è il più lontano dal bordo a 2,05 m e si spostano verso il centro di 25 cm procedendo in direzione del moto fino ad arrivare a 30 cm. I paletti posti a distanza di 30 cm dal bordo proseguono nel secondo e nel terzo tratto da 157,45 m a 17,45 m distanziati 10 m l'uno dall'altro,

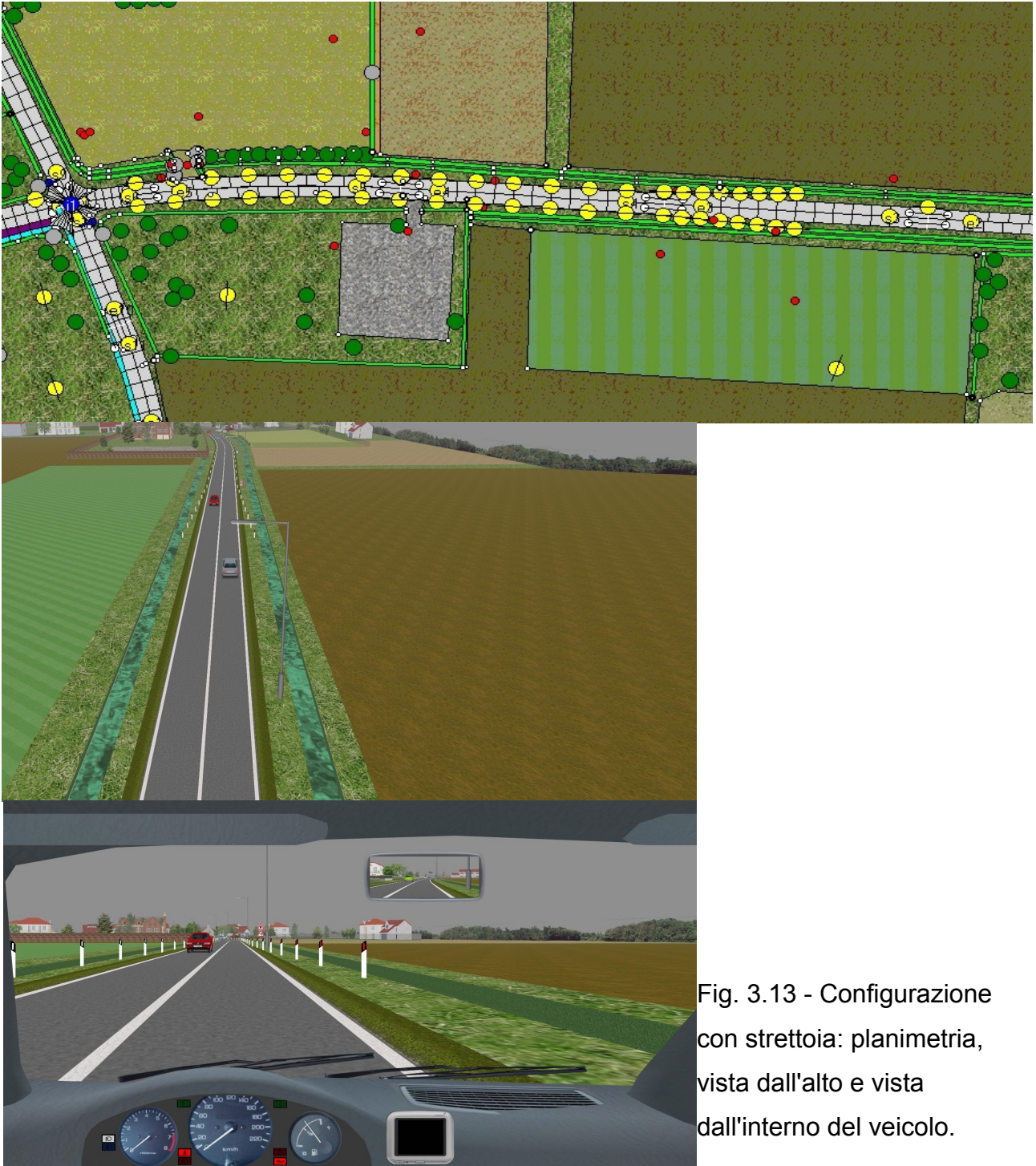


Fig. 3.13 - Configurazione con strettoia: planimetria, vista dall'alto e vista dall'interno del veicolo.

- denti di drago realizzati nei secondi 35 m del primo tratto da 192,45 m a 157,45 m. La configurazione prevede 35 denti con una base di 30 cm e un'altezza di 40 cm che cresce di 1 cm per ogni triangolo fino a 75 cm. I triangoli sono posti ad un'interasse di 1 m.

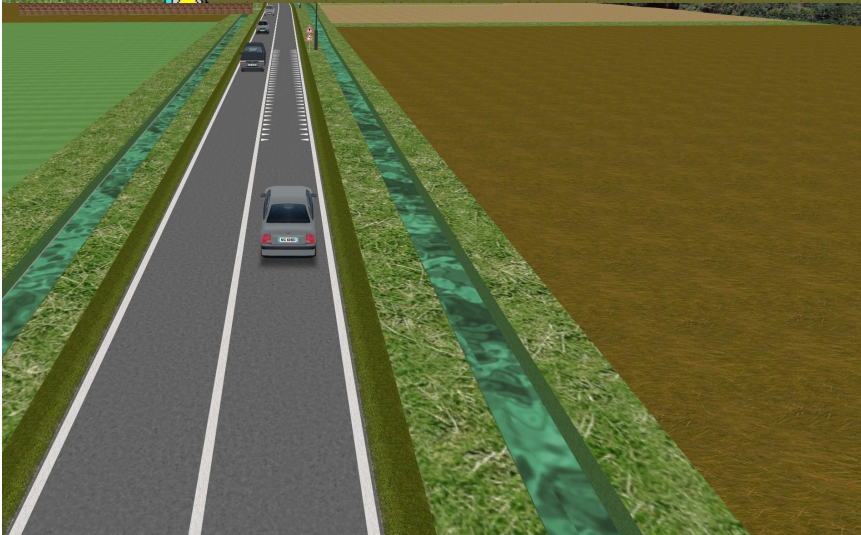
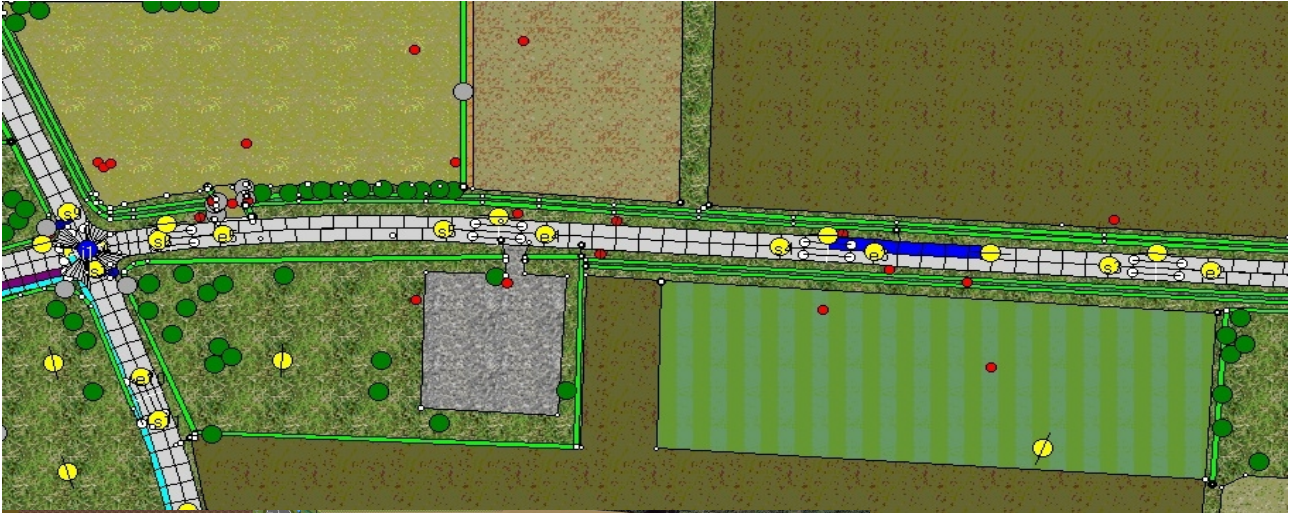




Fig. 3.14 - Configurazione con denti di drago: planimetria, vista dall'alto, vista dall'interno del veicolo e schema del dispositivo.

3.5.4 - Esperimento vero e proprio (Fase C)

L'esperimento vero e proprio è stato condotto con riferimento allo scenario impiegato nella fase B, con la differenza sostanziale che i tratti di ingresso in curva sono stati trattati con opportune misure finalizzate alla riduzione della velocità.

Sono stati creati 28 percorsi diversi uno per tester, quindi ogni soggetto ha eseguito la propria guida su un percorso diverso dagli altri.

Il percorso è stato costruito mettendo in sequenza 10 tratti in maniera tale da formare un anello.

Si è quindi deciso di analizzare il tratto vuoto o di controllo più 4 contromisure (tratto con delimitatori a distanza costante, delimitatori alti a distanza costante, delimitatori posti a formare una strettoia e i denti di drago).

La sequenza con cui sono state inserite le contromisure e di conseguenza l'ordine con cui sono state incontrate dai partecipanti varia da percorso a percorso, questo perché la loro posizione è stata scelta mediante un'estrazione casuale per garantire un opportuno bilanciamento delle prove stesse.

Ogni partecipante ha incontrato il trattamento due volte all'interno dello stesso giro.

Ad ogni partecipante è stato dato il compito di guidare per 5 giri all'interno del percorso, con la raccomandazione di tenersi all'interno della propria corsia, di non svoltare alle intersezioni presenti e di non fare mai retromarcia.

La scelta della velocità di marcia è stata lasciata a discrezione dell'utente, pur indicandone un "valore consigliato" di riferimento pari a circa 90 km/h, questo per evitare che venissero tenute andature troppo veloci o troppo lente.

I trattamenti percettivi studiati consistono nell'installazione di delineatori di margine che sono stati disposti secondo diverse configurazioni con l'intento di generare nell'utente una variazione della percezione del flusso ottico, modificandone di conseguenza il comportamento alla guida.

Il segmento test, lungo 210 m, è stato suddiviso in 3 tratti di lunghezza pari a 70 m.

I dati relativi al movimento del veicolo (velocità, posizione laterale e accelerazione) sono stati registrati in corrispondenza di cinque sezioni di cui quattro poste nei punti iniziali / finali dei tre tratti e una posta 70 m prima del tratto test utilizzata per rilevare le relative velocità.

In tutti gli esperimenti la guida è stata effettuata in presenza di suoni (sia della propria auto che degli altri veicoli su strada, compreso l'effetto doppler) ed il tachimetro è sempre rimasto visibile per tutta la durata della prova. L'utente ha quindi avuto tutti gli elementi necessari per valutare la propria velocità di marcia.

3.6 - Validazione dello scenario virtuale (Fase B)

I 20 soggetti partecipanti alla fase B di validazione hanno compiuto ciascuno 5 giri per un totale di 51 passaggi sul tratto di controllo; sono stati successivamente esclusi i dati relativi al primo tratto perché utilizzato per raggiungere la velocità di regime. Da questo si ricava che i 20 soggetti hanno compiuto un totale di 1000 passaggi.

Gli altri dati da considerare sono quelli del test primario (Fase C) a cui hanno preso parte 28 soggetti che hanno guidato per 5 giri per un totale di 51 passaggi (è stato eliminato il primo tratto perché utilizzato per prendere velocità). In questo caso il tratto di controllo (privo di alcun trattamento e coincidente con la condizione reale) veniva percorso 2 volte per giro. Considerando quindi i 28 soggetti i 5 giri e i 2 tratti di controllo sono stati compiuti complessivamente 280 passaggi sul tratto interessato.

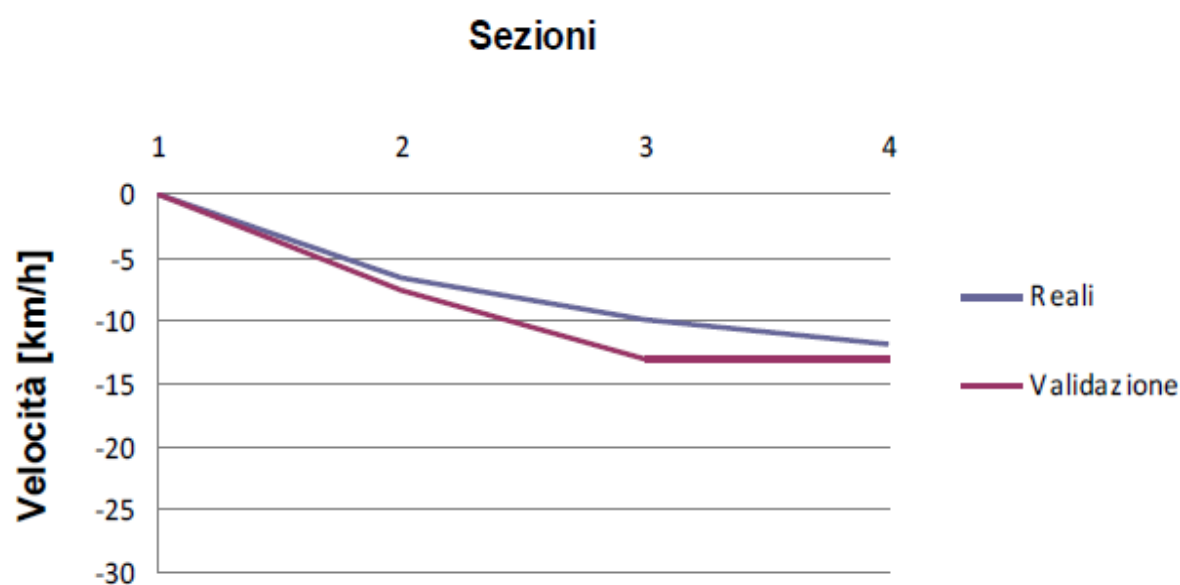


Fig. 3.15 - Grafico che rappresenta i profili medi per il caso reale e la fase di validazione.

Con le medie dei dati, reali e della seconda validazione (fase B), si è potuto costruire un grafico che rappresenta i profili medi di velocità nei due casi. Si può notare che il comportamento medio dei partecipanti alla validazione è abbastanza simile al comportamento medio tenuto dagli utenti reali.

Le maggiori differenze si notano nell'ultimo tratto dove nel caso reale gli utenti continuavano a rallentare mentre in quelli simulati tendono a mantenere un velocità costante.

A seguito di questo risultato si è deciso di eseguire un approfondimento per scorgere qualche informazione importante che a prima vista può non essere così evidente.

Una fase importante del lavoro è stata quella di agglomerare tramite un'operazione detta analisi cluster (vedi Appendice A1) i 649 soggetti reali in un certo numero di classi che dovrebbero rappresentare diverse tipologie di comportamento dei conducenti.

L'analisi di cluster ha interessato i profili di velocità rilevati in situ intesi come vettori a 4 componenti (una per ciascun punto di misura).

Questa analisi cluster si basa sulla creazione di diversi gruppi e sulla valutazione della distanza tra i vari elementi interni ed esterni a tali gruppi.

Utilizzando il programma di elaborazioni statistiche R si è eseguito un cluster di tipo gerarchico con diverse combinazioni di misure e metodi di agglomerazione tra i quali:

- distanza euclidea quadratica con metodo Ward,
- distanza euclidea con metodo Ward,
- distanza euclidea con metodo single,
- distanza euclidea con metodo del centroide.

Osservando i risultati delle analisi condotte con questi metodi, in particolar modo con il metodo del centroide, si può notare che vi sono alcuni profili anomali che vengono raggruppati singolarmente o in piccoli gruppi.

Questi 22 profili corrispondenti al 3,40 % del campione vengono scartati in maniera tale da depurare i dati.

Alla fine di questa operazione abbiamo a disposizione 627 profili (corrispondenti ad altrettanti passaggi sul tratto di osservazione) su cui eseguire le successive analisi.

Utilizzando ora un altro software statistico (SPSS) e sviluppando un'analisi di tipo cluster 2 step è possibile individuare il numero ottimale di classi e una ripartizione dei profili di velocità all'interno dei gruppi creati.

Il numero di classi viene individuato automaticamente dal programma che fornisce anche un indicatore, noto come silhouette, che rappresenta la bontà della scelta.

Questo indicatore si calcola nella seguente maniera:

$$s(i) = \frac{(b(i) - a(i))}{\max(a(i), b(i))}$$

con:

$s(i)$ = silhouette o indicatore di forma,

i = singole osservazioni,

$a(i) = b(i) = \min [d(i, C)]$,

$d(i, C)$ = dissomiglianza media di i per tutte le osservazioni di C ,

C = cluster.

I risultati che si ottengono vanno così interpretati:

- un valore compreso tra - 1 e 0,2 indica una scelta non sufficiente, in particolare con valori negativi è stata eseguita una collocazione nel cluster sbagliato e con valori prossimi allo 0 la collocazione si trova tra due cluster,
- un valore compreso tra 0,2 e 0,5 una scelta sufficiente,
- un valore compreso tra 0,5 e 1 una scelta buona (ben raggruppati).

Nel nostro caso, come è possibile visualizzare dalla Fig. 3.16 si è determinato il numero ottimale di classi pari a 4 cui corrisponde un valore di silhouette di 0,5.

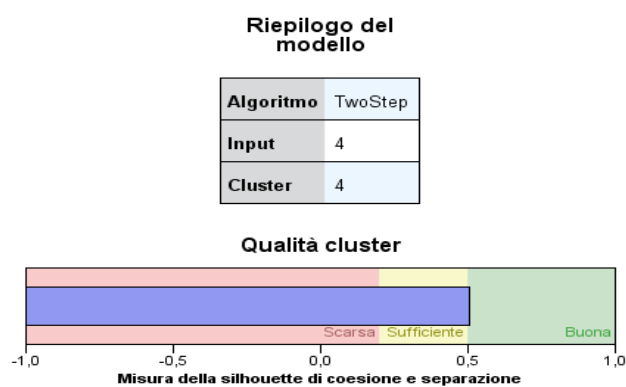


Fig. 3.16 - Profili di velocità rilevati in situ. Informazioni sul numero e sulla bontà del cluster forniti da SPSS.

Con riferimento ai 4 gruppi individuati si è fatta una rappresentazione dei profili di velocità medi di gruppo (Fig. 3.17).

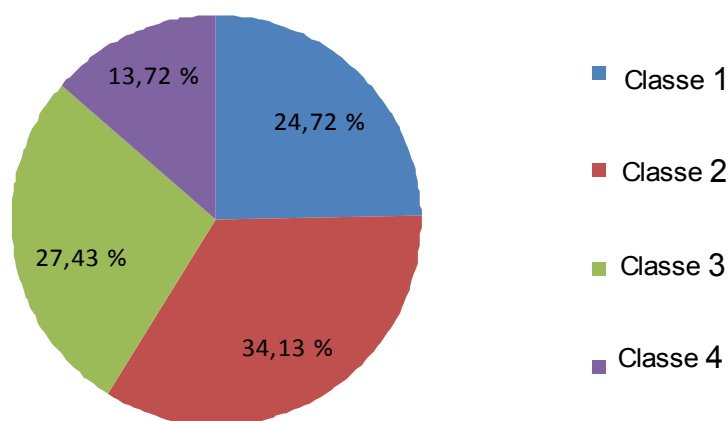
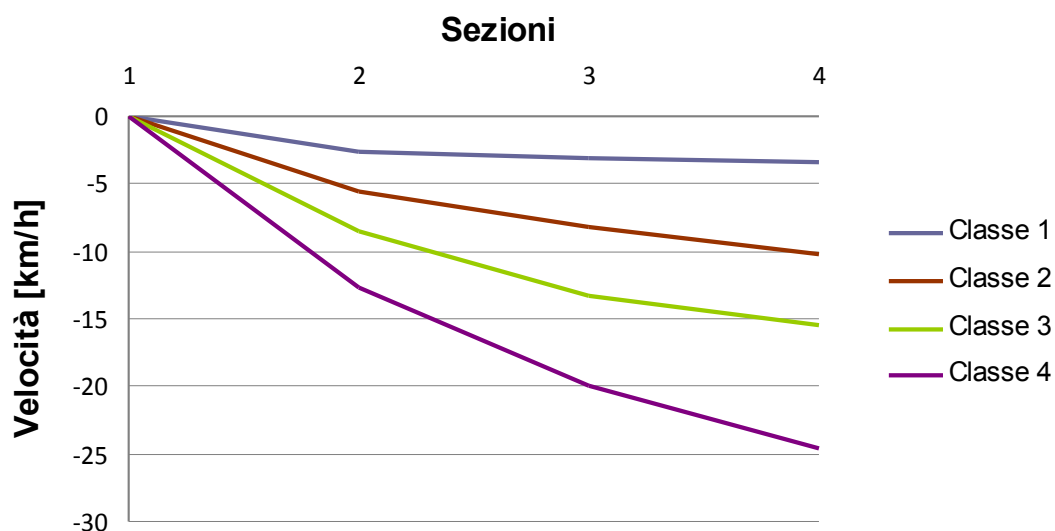


Fig. 3.17 - Profili medi della velocità relativi alle quattro classi e percentuale di ripartizione dei profili tra le diverse classi.

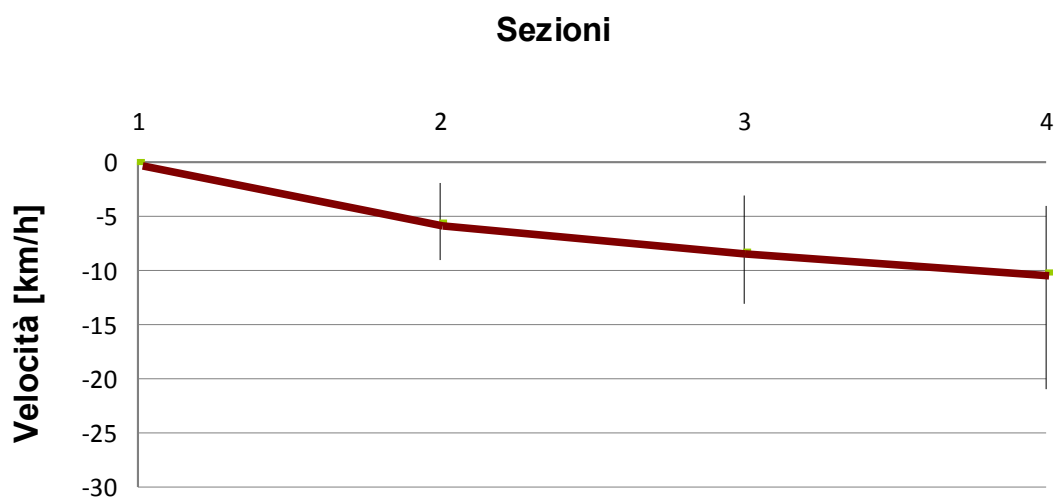
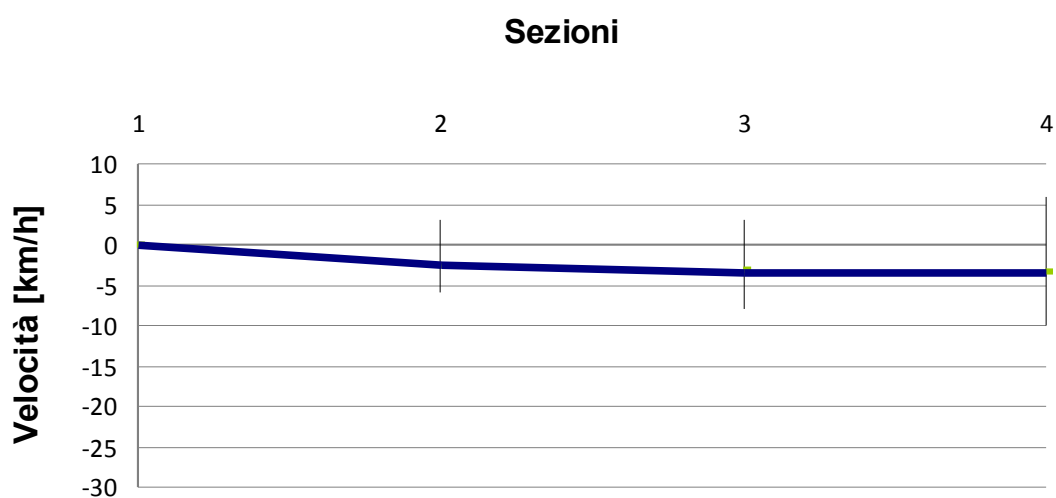
Osservando la prima immagine di Fig. 3.17 si possono notare i quattro profili ottenuti, in particolare:

- gli utenti/passaggi appartenenti alla prima classe sono quelli che viaggiano ad una velocità più bassa e che in avvicinamento alla curva non hanno bisogno di ridurre di molto la loro velocità (circa 4 - 5 km/h),
- quelli appartenenti alla quarta classe sono i più veloci e devono rallentare molto

(fino a 25 km/h) prima di entrare in curva,

- tra queste due classi estreme ce ne sono altre due che hanno un comportamento intermedio con riduzioni di velocità dell'ordine dei 10 - 15 km/h.

Dalla seconda immagine invece si possono notare le ripartizioni percentuali delle varie classi, come atteso nelle classi intermedie vengono inseriti più del 60% degli utenti, quelli meno "aggressivi" sono circa il 25% e all'ultimo posto ci sono i più "aggressivi" con il 14%.



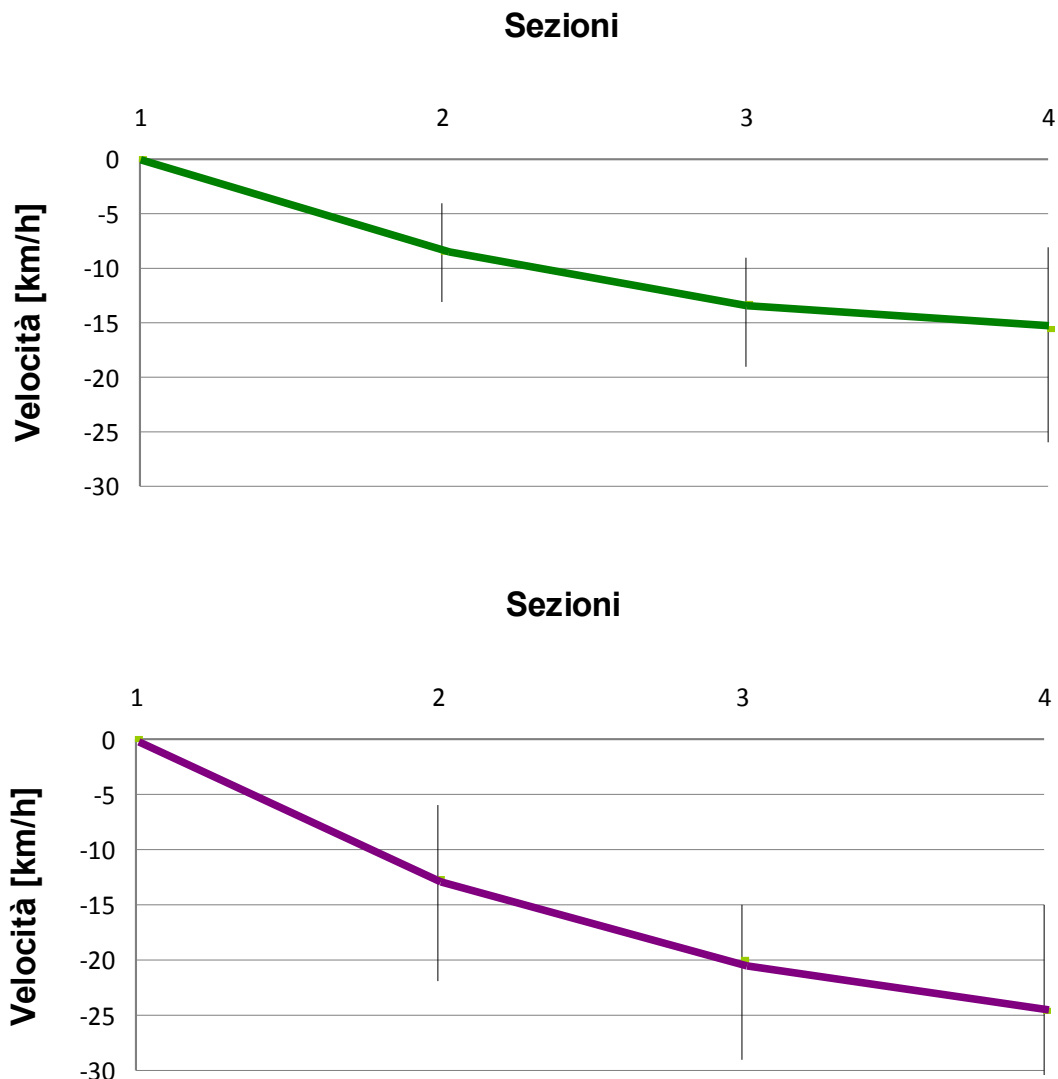


Fig. 3.18 - Profili di velocità medi per ciascun gruppo con relative barre di errore.

I quattro grafici della Fig. 3.18 rappresentano separatamente i quattro profili con le rispettive barre di errore. Tali barre sono poste in corrispondenza delle sezioni e sono valutate considerando il minimo e il massimo valore osservato di velocità.

L'analisi ANOVA eseguita sulle classi ha confermato che i quattro profili individuati sono significativamente diversi tra loro e che quindi rappresentano 4 tipologie di guidatori del mondo reale (vedi Tab. 3.1).

Capitolo 3 - Analisi sperimentale

Variabile dipendente	(i) CLU	(j) CLU	Differenza fra medie (I-J)	Errore std.	Sig.	Intervallo di confidenza 95%	
						Limite inferiore	Limite superiore
DeltaV2	1	2	2,9454025 [†]	,2091892	,000	2,391792	3,499013
		3	5,0078020 [†]	,2198348	,000	5,326492	6,489112
		4	10,008252 [†]	,2666557	,000	9,295085	10,706585
	2	1	-2,9454025 [†]	,2091892	,000	-3,499013	-2,391792
		3	2,9623905 [†]	,2030860	,000	2,424890	3,499909
		4	7,0554227 [†]	,2531989	,000	6,385278	7,725567
	3	1	-5,9078020 [†]	,2198348	,000	-6,489112	-5,326492
		2	-2,9623905 [†]	,2030860	,000	-3,499909	-2,424890
		4	4,0930233 [†]	,2619110	,000	3,399821	4,788226
	4	1	-10,008252 [†]	,2666557	,000	-10,706585	-9,295085
		2	-7,0554227 [†]	,2531989	,000	-7,725567	-6,385278
		3	-4,0930233 [†]	,2619110	,000	-4,788226	-3,399821
DeltaV3	1	2	5,1866868	,2336482	,000	4,548288	5,785086
		3	10,2178170 [†]	,2453385	,000	9,568477	10,867157
		4	16,8980495 [†]	,2978622	,000	16,109695	17,688404
	2	1	-5,1866868	,2336482	,000	-5,795086	-4,548288
		3	5,0511302 [†]	,2268530	,000	4,450716	5,651544
		4	11,7313627 [†]	,2628306	,000	10,962792	12,479633
	3	1	-10,2178170 [†]	,2453385	,000	-10,967157	-9,568477
		2	-5,0511302 [†]	,2268530	,000	-5,651544	-4,450716
		4	6,6802326 [†]	,2625623	,000	5,905905	7,454560
	4	1	-16,8980495 [†]	,2978622	,000	-17,888404	-16,109695
		2	-11,7313627 [†]	,2628306	,000	-12,479933	-10,962792
		3	-6,6802326 [†]	,2625623	,000	-7,454560	-5,905905
DeltaV4	1	2	6,8878816	,3576118	,000	5,821187	7,814178
		3	12,1387097 [†]	,3755046	,000	11,144858	13,132561
		4	21,1735634 [†]	,4558950	,000	19,969971	22,380215
	2	1	-6,8878816	,3576118	,000	-7,814178	-5,921187
		3	5,2710280 [†]	,3472114	,000	4,352080	6,189998
		4	14,3059118 [†]	,4328884	,000	13,160182	15,451642
	3	1	-12,1387097 [†]	,3755046	,000	-13,132561	-11,144858
		2	-5,2710280 [†]	,3472114	,000	-6,189998	-4,352080
		4	9,0348837 [†]	,4477832	,000	7,849731	10,220036
	4	1	-21,1735634 [†]	,4558950	,000	-22,380215	-19,969971
		2	-14,3059118 [†]	,4328884	,000	-15,451642	-13,160182
		3	-9,0348837 [†]	,4477832	,000	-10,220036	-7,849731

Tab. 3.1 - Tabella che illustra i risultati dell'analisi ANOVA.

Validazione dello scenario virtuale.

Una volta individuate le classi di profili di velocità riferite alle osservazioni di campo si è proceduto a classificare i profili osservati in fase di simulazione utilizzando l'algoritmo del k vicino più vicino.

Questo consiste nel prendere la media dei profili di velocità (definito dalle solite 4 componenti) osservato durante la simulazione per uno stesso partecipante ed associarlo ad una classe precedentemente individuata in funzione della distanza tra i vari gruppi.

Prendendo la classificazione per soggetti quindi il valore di classe in funzione della media dei 50 passaggi viene presentato nella tabella seguente.

Capitolo 3 - Analisi sperimentale

Reali			Validazione		
Classe	n° sogg	%	Classe	n° sogg	%
1	152	24,2	1	4	20,0
2	219	34,9	2	4	20,0
3	173	27,6	3	7	35,0
4	83	13,2	4	5	25,0
Tot	627	100,0	Tot	20	100,0

Tab. 3.2 - Assegnazione dei profili medi di ciascun partecipante alle 4 classi di profili identificate in situ.

Si può notare che le percentuali della validazione sono leggermente differenti da quelle reali.

Si è comunque sviluppato lo studio sulle contromisure anche se il campione che è stato scelto per eseguire gli esperimenti non rappresenta perfettamente l'universo reale.

Si è quindi deciso di fare un'ulteriore analisi considerando le singole prove (1000 passaggi).

Reali			Validazione		
Classe	n° sogg	%	Classe	n° sogg	%
1	152	24,2	1	5	25,0
2	219	34,9	2	3	15,0
3	173	27,6	3	6	30,0
4	83	13,2	4	6	30,0
Tot	627	100,0	Tot	20	100,0

Tab. 3.3 - Assegnazione dei profili (insieme dei profili osservati per tutti i partecipanti) alle 4 classi di profili identificate in situ.

Dalla Tab. 3.3 si nota un leggero peggioramento nella classificazione.

La Tab. 3.4 mostra l'utente, la classe a cui è stato assegnato con la media e la classificazione fatta con le percentuali basate sui 1000 passaggi.

Si può notare che in alcuni casi la scelta della classe a cui attribuire un soggetto non è così evidente.

Capitolo 3 - Analisi sperimentale

Validazione					
ID Utente	Cluster	% Classe 1	% Classe 2	% Classe 3	% Classe 4
1148	3	42,0	22,0	20,0	16,0
1149	3	16,0	42,0	38,0	4,0
1150	4	0,0	0,0	12,0	88,0
1151	2	8,0	4,0	24,0	64,0
1152	2	0,0	4,0	26,0	70,0
1153	3	14,0	22,0	48,0	16,0
1154	3	14,0	34,0	48,0	4,0
1155	2	8,0	12,0	30,0	50,0
1156	3	26,0	54,0	18,0	2,0
1157	1	96,0	4,0	0,0	0,0
1158	3	30,0	42,0	22,0	6,0
1159	3	12,0	24,0	52,0	12,0
1160	1	98,0	2,0	0,0	0,0
1161	2	4,0	10,0	40,0	46,0
1162	3	16,0	18,0	44,0	22,0
1163	3	58,0	28,0	14,0	0,0
1164	3	10,0	10,0	56,0	24,0
1165	2	4,0	16,0	40,0	40,0
1166	4	0,0	6,0	8,0	86,0
1167	1	94,0	6,0	0,0	0

Tab. 3.4 - Classificazione della validazione con percentuale.

L'ultima analisi è stata fatta solo sui soggetti della validazione perché hanno compiuto un numero elevato di passaggi.

Infatti lo scopo era quello di verificare una possibile variabilità dovuta all'abitudine.

Reali			Validazione Ultimi 10 Passaggi		
Classe	n° sogg	%	Classe	n° sogg	%
1	152	24,2	1	5	25,0
2	219	34,9	2	3	15,0
3	173	27,6	3	5	25,0
4	83	13,2	4	7	35,0
Tot	627	100,0	Tot	20	100

Tab. 3.5 - Classificazione della validazione con gli ultimi 10 passaggi.

Dalla tabella 3.5 si può notare che le ripartizioni percentuali reali e della validazione sono abbastanza simili, questo suggerisce che gli utenti nelle prime fasi dell'esperimento hanno un comportamento molto variabile che tende ad assestarsi al passare dei giri, questo è probabilmente dovuto ad una sorta di "assestamento" del comportamento legato all'acquisizione di una certa familiarità con lo strumento e lo scenario.

Riassumendo si può dire che:

- le quattro classi individuate nel mondo reale sono tra loro differenti e rappresentano diverse tipologie di utenti,
- si può affermare infine che il modello elaborato al simulatore è stato adeguatamente calibrato e validato.

Capitolo 4 - Trattamenti per la riduzione della velocità (Fase C). Analisi degli effetti

4.1 - Utilizzo ai fini della sperimentazione

Nella sperimentazione in esame la popolazione di cui si sono studiate le caratteristiche è costituita da tutti i patentati italiani, tuttavia il campione casuale estratto non è perfettamente rappresentativo di essa, in quanto presenta un'età media relativamente bassa. I metodi statistici sono stati utilizzati per effettuare una verifica di ipotesi riferita alle medie dei gruppi esaminati, rappresentati dalle diverse configurazioni di trattamenti precedentemente descritte (vedi § 3.5.3) e confrontati con la situazione base di assenza di trattamenti (controllo).

I metodi statistici appena presentati sono stati applicati nelle ipotesi di casualità, indipendenza, distribuzione normale e omogeneità delle varianze.

Le indagini sono state effettuate attraverso l'utilizzo del software di analisi statistica SPSS utilizzando un livello di significatività pari a 0,05 nell'esecuzione sia del test ANOVA che del test t.

4.2 - Analisi dei dati relativi all'esperimento

L'analisi finalizzata all'identificazione di effetti significativi delle contromisure adottate sulla riduzione di velocità dei conducenti è stata effettuata utilizzando come variabili le velocità relative, intese come la differenza tra la velocità registrata in un punto e quella rilevata all'ingresso del segmento test, per ogni trattamento ed in corrispondenza di ciascuna delle sezioni di controllo ($v_n - v_1$). Il valore della variabile così costruita in corrispondenza del primo punto è stato quindi assunto pari a 0.

	P1	P2	P3	P4	P5
Controllo	0,0000	-2,7026	-9,0441	-12,8834	-12,6009
Costanti	0,0000	-3,3009	-10,0170	-12,8625	-12,4121
Alti	0,0000	-3,5220	-10,1289	-13,4691	-13,0712
Strettoia	0,0000	-3,6921	-11,3047	-14,2743	-13,8511
Denti di Drago	0,0000	-4,1344	-9,6329	-12,2744	-12,0388

Tab. 4.1 - Esperimento in ambiente simulato. Velocità relative medie sull'universo dei partecipanti registrate in corrispondenza delle sezioni di controllo.

Si è proceduto ad effettuare un'analisi ANOVA considerando come fattori "entro i soggetti":

- le diverse configurazioni di trattamenti (5 livelli),
- i diversi punti di registrazione (4 livelli).

L'analisi, effettuata sull'intera popolazione dei 28 partecipanti secondo un modello lineare generalizzato a misure ripetute, ha permesso il calcolo del valore della variabile F di Fisher, nonché del p - value corrispondente, per i diversi fattori oggetto di studio. Ciò ha dato la possibilità di valutare se le differenze osservabili nel comportamento degli utenti per i diversi livelli dei fattori siano statisticamente significative o meno.

Per quel che riguarda il fattore trattamento si è ottenuta una $F(27,19 ; 60,46) = 2,22$ con $p = 0,104$.

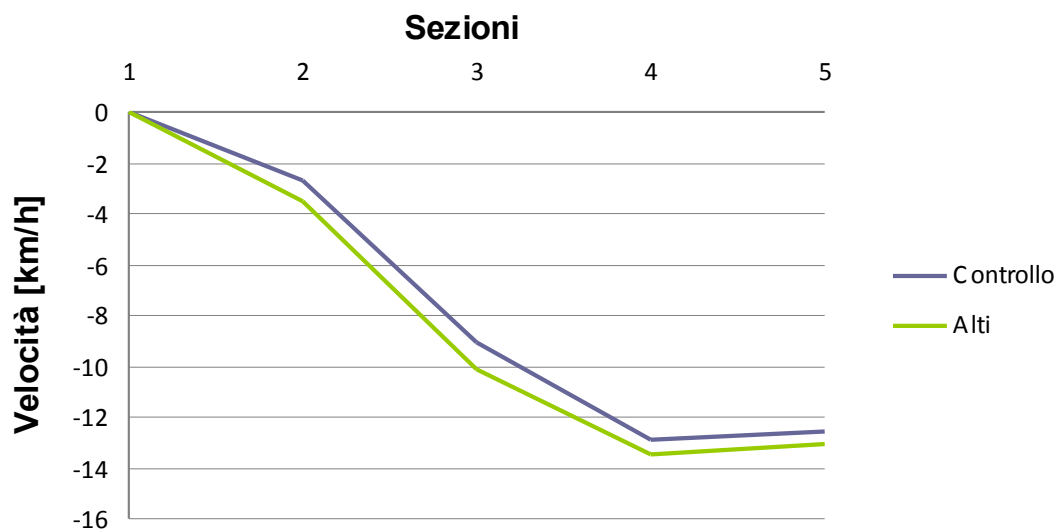
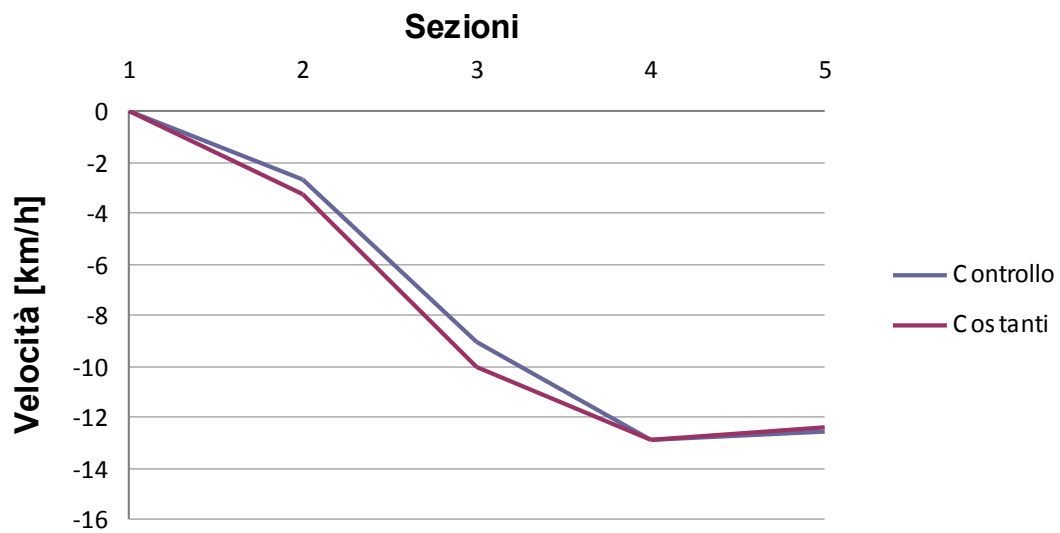
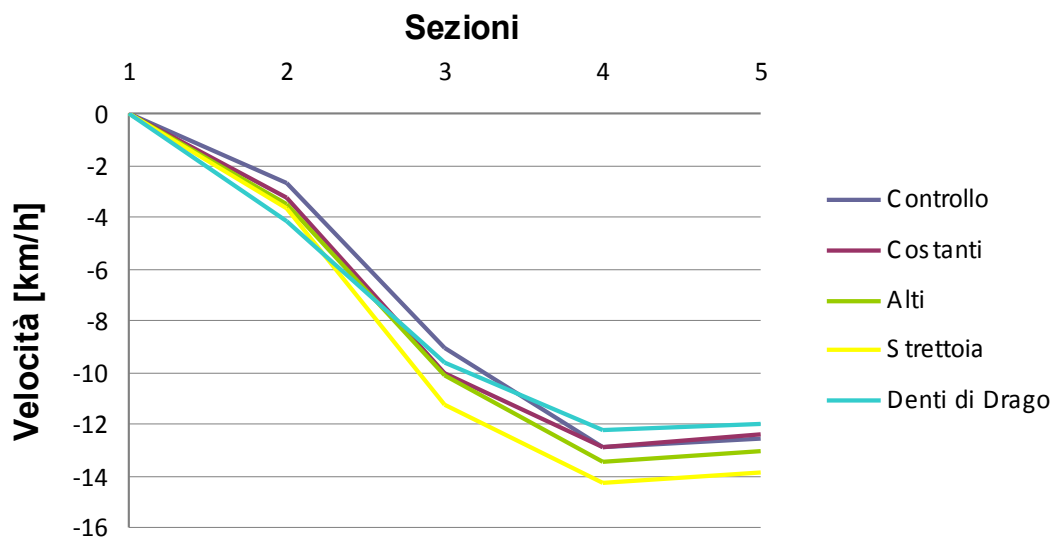
Questo significa che, contrariamente a quanto si potrebbe pensare osservando il profilo delle velocità, non esiste una coppia di trattamenti avente differenze significativamente diverse.

Per quel che riguarda il fattore punto si è ottenuta una $F(99,00 ; 7145,82) = 72,17$ con $p < 0,001$.

Questo significa che la variazione di velocità tra le diverse sezioni considerate assume carattere significativo, il che può essere confermato attraverso l'osservazione dei profili di velocità relativi ai diversi trattamenti utilizzati.

Per quel che riguarda l'interazione tra questi due fattori cioè trattamento*punto si è ottenuta una $F(3,48 ; 17,81) = 5,12$ con $p < 0,001$.

Questo significa che la variazione è significativa e dal punto di vista statistico gli andamenti delle velocità lungo il tratto test (le pendenze dei profili) hanno carattere differente per i vari trattamenti.



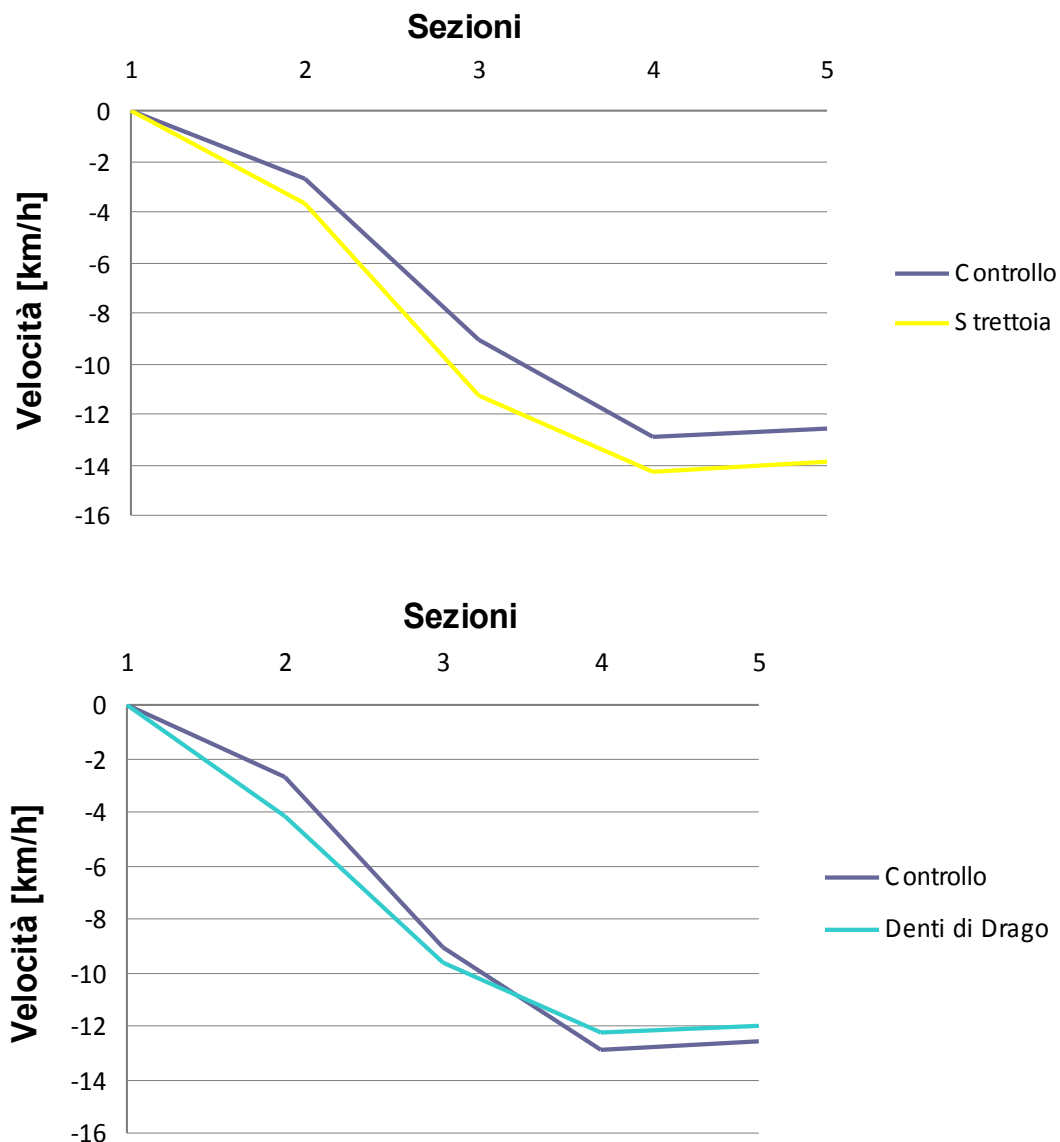


Fig. 4.1 - Profilo delle velocità relative, insieme dei trattamenti e distinto per trattamento.

Per indagare meglio il fenomeno si è quindi ritenuto opportuno eseguire dei test ANOVA supplementari riducendo il numero di livelli del fattore trattamento a 2. In breve sono state effettuate delle analisi della varianza atte a mettere a confronto separatamente ognuna delle diverse configurazioni previste (paletti costanti, paletti alti, strettoia e denti di drago) con la situazione di base in assenza di trattamenti.

Attraverso questo approfondimento si sono ottenuti i seguenti risultati:

- riportiamo i dati del confronto tra controllo e paletti costanti:
 - per il trattamento $F(6,49; 13,14) = 0,49$ con $p = 0,488$,

- per il punto F (2840,14 ; 45,25) = 62,77 con $p < 0,001$,
- per l'interazione trattamento*punto F (8,62 ; 3,46) = 2,49 con $p = 0,111$,
questo significa che solo il punto è un fattore significativamente diverso.
- riportiamo i dati del confronto tra controllo e paletti alti:
 - per il trattamento F (30,67 ; 6,75) = 4,54 con $p = 0,042$,
 - per il punto F (3114,17 ; 45,64) = 68,23 con $p < 0,001$,
 - per l'interazione trattamento*punto F (2,12 ; 1,78) = 1,19 con $p = 0,303$,
questo significa che il trattamento e il punto sono fattori significativamente diversi.
- riportiamo i dati del confronto tra controllo e strettoia:
 - per il trattamento F (121,48 ; 15,55) = 7,82 con $p = 0,009$,
 - per il punto F (3374,27 ; 47,49) = 71,06 con $p < 0,001$,
 - per l'interazione trattamento*punto F (8,81 ; 2,33) = 3,78 con $p = 0,044$,
questo significa che il trattamento, il punto e la loro interazione sono fattori significativamente diversi.
- riportiamo i dati del confronto tra controllo e denti di drago:
 - per il trattamento F (2,53 ; 23,70) = 0,107 con $p = 0,747$,
 - per il punto F (2600,49 ; 44,65) = 58,24 con $p < 0,001$,
 - per l'interazione trattamento*punto F (32,24 ; 4,17) = 7,73 con $p = 0,006$,
questo significa che il punto e l'interazione sono fattori significativamente diversi.

I risultati osservati hanno portato ad effettuare le seguenti considerazioni:

- nessun utente è stato in grado di mantenere un'andatura costante nell'attraversamento del tratto test. Tutti i profili di velocità sono leggermente differenti l'uno dall'altro ma presentano una tendenza decrescente nei primi tre tratti e leggermente crescente nell'ultimo,
- nel confronto tra controllo e paletti costanti si è potuto osservare che il dispositivo ha portato ad una riduzione, seppur non significativa, della velocità e che solo nell'ultimo tratto la velocità risulta essere leggermente superiore alla condizione base,
- nel confronto tra controllo e paletti alti si è potuto osservare che il dispositivo ha portato ad una riduzione significativa della velocità in tutti i tratti,
- nel confronto tra controllo e strettoia si è potuto osservare che il dispositivo ha

portato ad una riduzione significativa della velocità in tutti i tratti,

- nel confronto tra controllo e denti di drago si è potuto osservare che il dispositivo ha portato ad una riduzione, seppur non significativa, della velocità e che solo nel penultimo e nell'ultimo tratto la velocità risulta essere superiore alla condizione base.

Attraverso il p - value e i profili di velocità si può notare che l'uso dei delineatori nelle diverse configurazioni sembra essere più efficace dell'uso dei denti di drago.

In particolare analizzando i casi con i paletti si può notare che la configurazione migliore risulta essere la strettoia seguita dai paletti alti e da quelli costanti.

Si è eseguita una validazione indiretta utilizzando i dati relativi al controllo della fase C, cioè 280 passaggi ottenuti con 28 soggetti, 5 giri e 2 tratti di controllo/giro, si è notato che il campione di 28 soggetti della fase C dell'esperimento aveva dei profili con frequenze molto simili a quelle osservate sul campo. Questo ha dato un'ulteriore conferma della bontà delle scelte fatte nella validazione, si può quindi affermare che il campione di utenti scelto per la simulazione rappresenta bene la popolazione "dell'universo".

Analisi della posizione del veicolo rispetto alla corsia.

Si è voluto valutare anche l'eventuale effetto dei dispositivi sulla posizione tenuta dal conducente rispetto alla corsia. Questo per capire se la riduzione di velocità indotte dai dispositivi potesse dipendere dal fatto che i conducenti si spostano verso il centro della carreggiata trovandosi a passare più vicino ai veicoli in opposizione percependo un maggior rischio e riducendo conseguentemente la velocità.

Le analisi sono state eseguite utilizzando come variabile lo spostamento laterale del veicolo, inteso in termini relativi, come differenza tra lo spostamento registrato in un punto e quello rilevato all'ingresso del segmento test, per ogni trattamento ed in corrispondenza di ciascuna delle sezioni di controllo ($s_n - s_1$). Il valore registrato all'attraversamento del primo punto è stato quindi pari a 0 per ognuna delle misurazioni.

	P1	P2	P3	P4	P5
Controllo	0,0000	-0,0645	0,0940	0,2312	0,3914
Costanti	0,0000	-0,0633	0,0435	0,1881	0,3213
Alti	0,0000	-0,0566	0,0578	0,2139	0,3392
Strettoia	0,0000	-0,0229	0,1365	0,2468	0,3509
Denti di Drago	0,0000	0,0101	0,0649	0,2182	0,3571

Tab. 4.2 - Spostamenti relativi del veicolo rispetto al centro della corsia registrati in corrispondenza delle sezioni di controllo per i diversi trattamenti e per la condizione di controllo.

Si è proceduto ad effettuare un'analisi ANOVA considerando come fattori "entro i soggetti":

- le diverse configurazioni di trattamenti (5 livelli),
- i diversi punti di registrazione (4 livelli).

L'analisi, effettuata sull'intera popolazione dei 28 partecipanti secondo un modello lineare generalizzato a misure ripetute, ha permesso il calcolo del valore della variabile F di Fisher, nonché del p - value corrispondente, per i diversi fattori oggetto di studio. Ciò ha dato la possibilità di valutare se le differenze osservabili nel comportamento degli utenti per i diversi livelli dei fattori siano statisticamente significative o meno.

Per quel che riguarda il fattore trattamento si è ottenuta una $F(0,06 ; 0,02) = 3,56$ con $p = 0,009$.

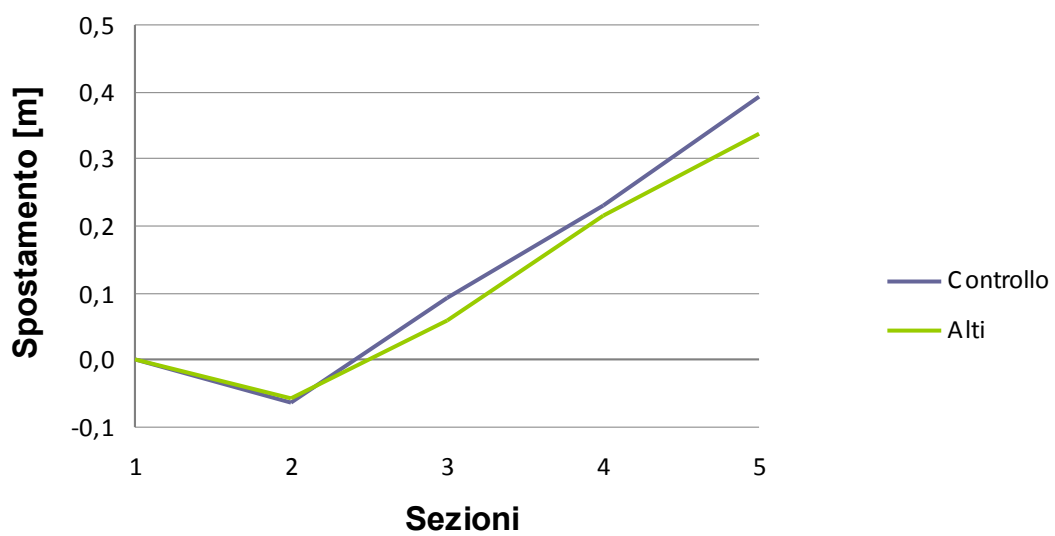
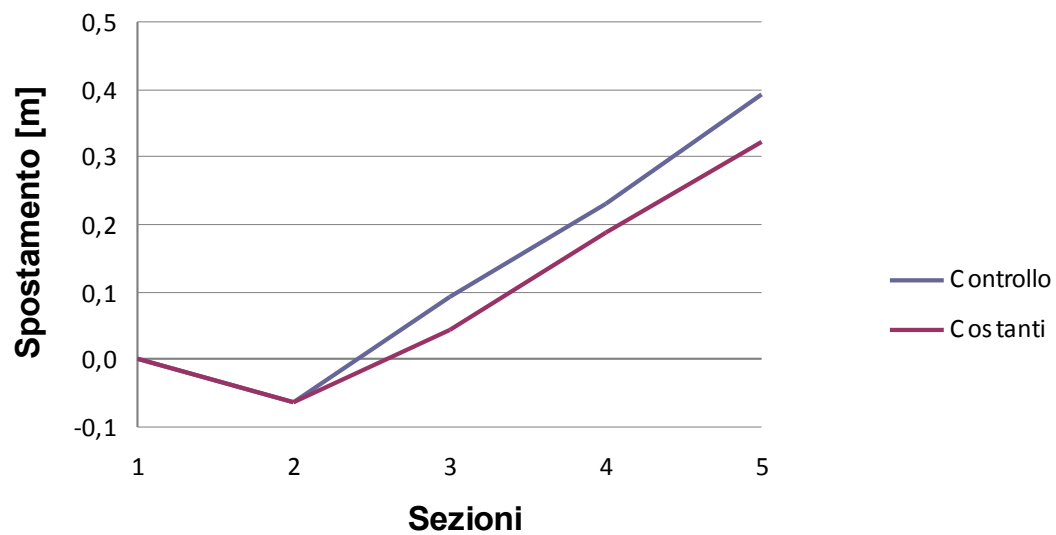
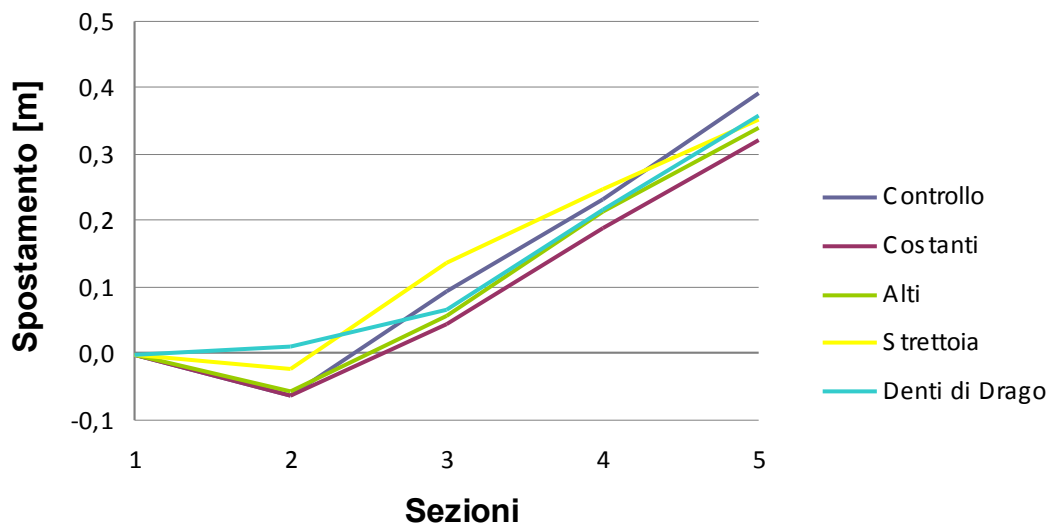
Questo significa che esiste una coppia di trattamenti avente differenze significativamente diverse.

Per quel che riguarda il fattore punto si è ottenuta una $F(7,67 ; 0,07) = 108,22$ con $p < 0,001$.

Questo significa che esiste almeno una coppia di sezioni con carattere significativamente diverso.

Per quel che riguarda l'interazione tra questi due fattori cioè trattamento*punto si è ottenuta una $F(0,03 ; 0,01) = 5,17$ con $p < 0,001$.

Questo significa che almeno due elementi sono significativamente diversi.



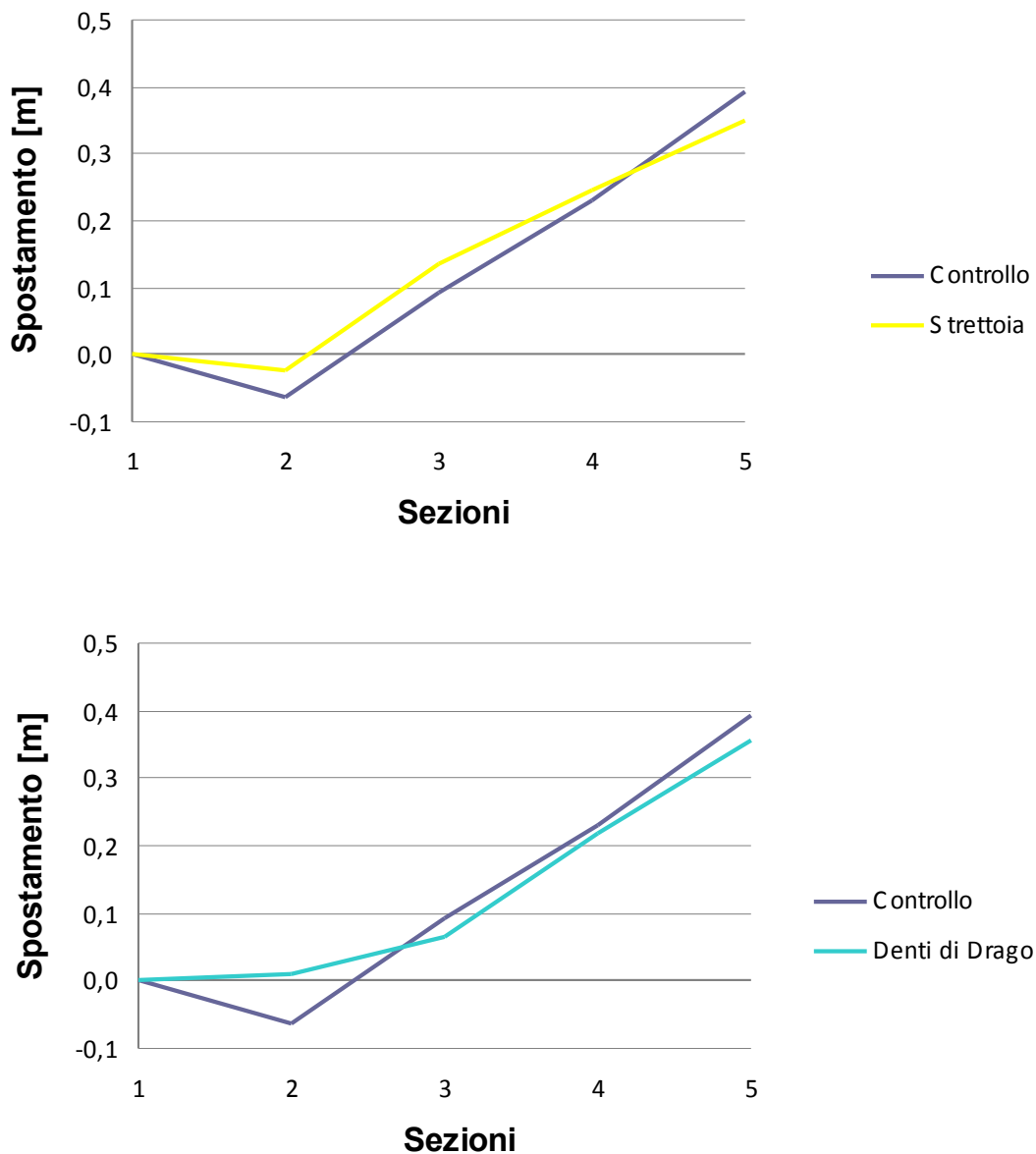


Fig. 4.2 - Profilo degli spostamenti relativi, insieme dei trattamenti e distinto per trattamento.

Per indagare meglio il fenomeno si è quindi ritenuto opportuno eseguire dei test ANOVA supplementari riducendo il numero di livelli del fattore trattamento a 2. In breve sono state effettuate delle analisi della varianza atte a mettere a confronto separatamente ognuna delle diverse configurazioni previste (paletti costanti, paletti alti, strettoia e denti di drago) con la situazione di base in assenza di trattamenti.

Attraverso questo approfondimento si sono ottenuti i seguenti risultati:

- riportiamo i dati del confronto tra controllo e paletti costanti:
 - per il trattamento F (0,09 ; 0,01) = 9,64 con $p = 0,004$,
 - per il punto F (3,71 ; 0,04) = 102,54 con $p < 0,001$,
 - per l'interazione trattamento*punto F (0,02 ; 0,01) = 4,71 con $p = 0,014$,questo significa che il trattamento, il punto e l'interazione sono fattori significativamente diversi.
- riportiamo i dati del confronto tra controllo e paletti alti:
 - per il trattamento F (0,03 ; 0,02) = 2,34 con $p = 0,138$,
 - per il punto F (3,57 ; 0,03) = 119,27 con $p < 0,001$,
 - per l'interazione trattamento*punto F (0,02 ; 0,01) = 2,69 con $p = 0,090$,questo significa che il punto è il solo fattore significativamente diverso.
- riportiamo i dati del confronto tra controllo e strettoia:
 - per il trattamento F (0,01 ; 0,01) = 0,93 con $p = 0,344$,
 - per il punto F (3,11 ; 0,03) = 102,45 con $p < 0,001$,
 - per l'interazione trattamento*punto F (0,04 ; 0,01) = 6,93 con $p = 0,003$,questo significa che il punto e l'interazione sono fattori significativamente diversi.
- riportiamo i dati del confronto tra controllo e denti di drago:
 - per il trattamento F ($0,10 \cdot 10^{-4}$; 0,02) = 0,00 con $p = 0,980$,
 - per il punto F (3,57 ; 0,04) = 88,76 con $p < 0,001$,
 - per l'interazione trattamento*punto F (0,06 ; 0,01) = 14,96 con $p < 0,001$,questo significa che il punto e l'interazione sono fattori significativamente diversi.

I risultati osservati portano alle seguenti conclusioni:

considerando che la posizione iniziale risulta essere a 0, gli spostamenti verso destra (verso il margine destro della carreggiata) hanno segno negativo mentre quelli verso sinistra (verso il centro della carreggiata) hanno segno positivo,

- si può notare una tendenza a spostarsi verso destra nella parte iniziale del tratto analizzato per poi spostarsi verso sinistra nei tratti finali questo probabilmente dovuto alla configurazione del tratto visto che nella parte terminale è presente una curva,
- nel confronto tra controllo e paletti costanti nel primo tratto vi è sovrapposizione mentre nei tratti successivi il dispositivo pare indurre il conducente a tenersi più a

destra rispetto alla situazione base,

- nel confronto tra controllo e paletti alti nel primo tratto vi è sovrapposizione mentre nei tratti successivi il dispositivo pare indurre il conducente a tenersi più a destra rispetto alla situazione base,
- nel confronto tra controllo e strettoia ci si mantiene sempre più a sinistra rispetto alla condizione base tranne nell'ultimo tratto in cui ci si sposta più a destra,
- nel confronto tra controllo e denti di drago ci si mantiene sempre più a sinistra rispetto alla condizione base nel primo e nel secondo tratto, nel penultimo e nell'ultimo tratto ci si sposta più a destra.

Analisi della deviazione standard dello spostamento laterale rispetto alla corsia di marcia.

Sono state eseguite ulteriori analisi utilizzando come variabili la deviazione standard degli spostamenti relativi. Il valore registrato all'attraversamento del primo punto è stato pari a 0 per ognuna delle misurazioni.

	P1	P2	P3	P4	P5
Controllo	0,0000	0,1643	0,1977	0,2475	0,2527
Costanti	0,0000	0,1611	0,2028	0,2414	0,2507
Alti	0,0000	0,1561	0,1912	0,2433	0,2506
Strettoia	0,0000	0,1664	0,2187	0,2322	0,2611
Denti di Drago	0,0000	0,1568	0,1897	0,2192	0,2409

Tab. 4.3 - Deviazione standard degli spostamenti relativi registrati in corrispondenza delle sezioni di controllo per i diversi trattamenti e per la condizione di controllo.

Si è proceduto ad effettuare un'analisi ANOVA considerando come fattori "entro i soggetti":

- le diverse configurazioni di trattamenti (5 livelli),
- i diversi punti di registrazione (4 livelli).

L'analisi, effettuata sull'intera popolazione dei 28 partecipanti secondo un modello lineare generalizzato a misure ripetute, ha permesso il calcolo del valore della variabile F di Fisher, nonché del p - value corrispondente, per i diversi fattori oggetto di studio. Ciò ha dato la possibilità di valutare se le differenze osservabili nel comportamento degli utenti

per i diversi livelli dei fattori siano statisticamente significative o meno.

Per quel che riguarda il fattore trattamento si è ottenuta una $F(0,01 ; 0,01) = 0,77$ con $p = 0,509$.

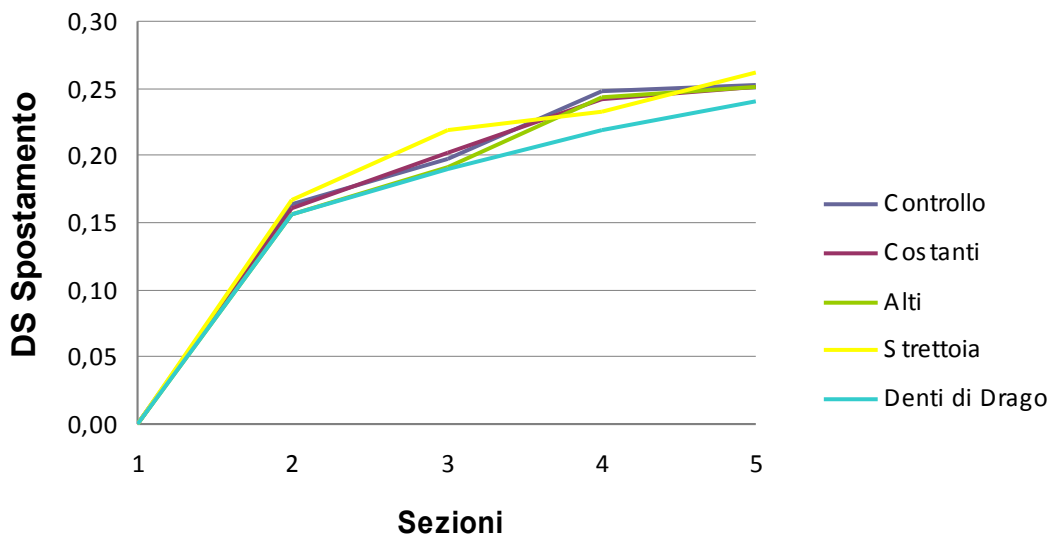
Questo significa che il trattamento non è significativamente diverso.

Per quel che riguarda il fattore punto si è ottenuta una $F(0,29 ; 0,01) = 78,37$ con $p < 0,001$.

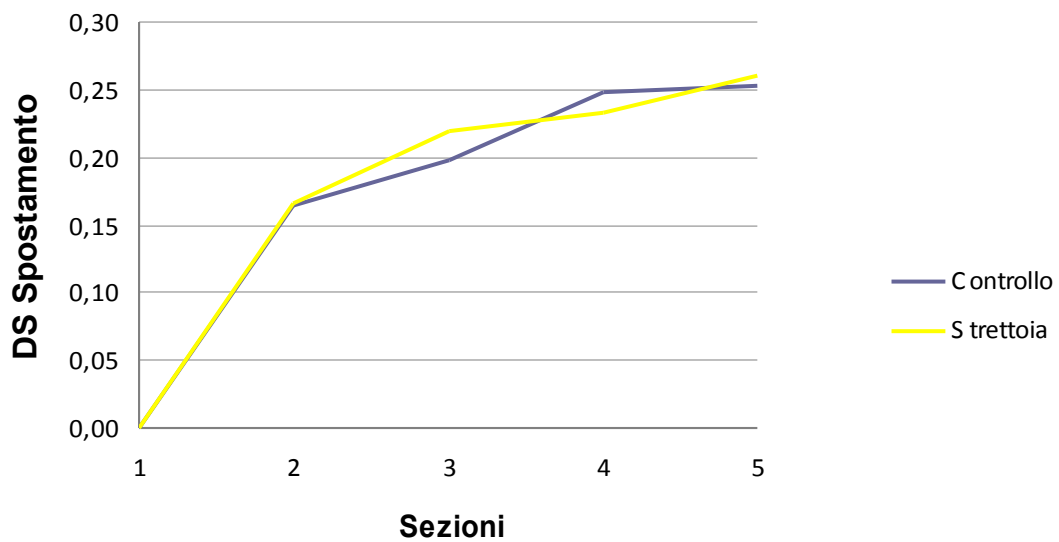
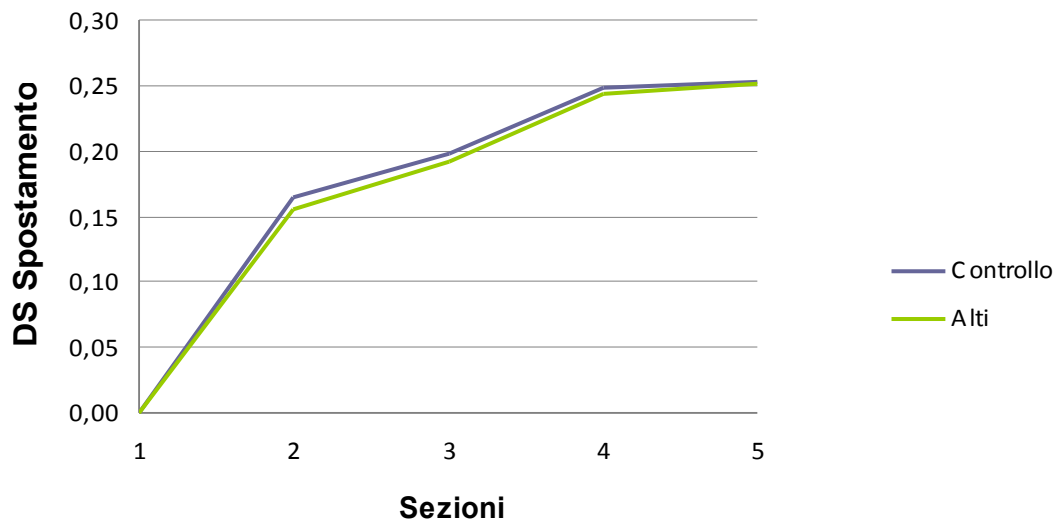
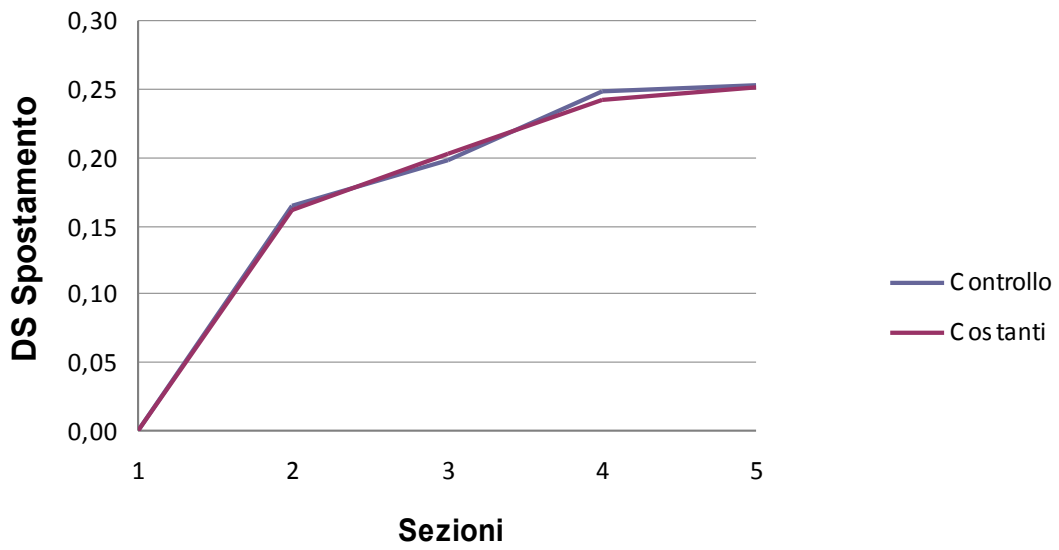
Questo significa che almeno una coppia di sezioni è significativamente diversa.

Per quel che riguarda l'interazione tra questi due fattori cioè trattamento*punto si è ottenuta una $F(0,01 ; 0,01) = 0,65$ con $p < 0,686$.

Questo significa che non esiste significatività tra gli elementi.



Capitolo 4 - Trattamenti per la riduzione della velocità (Fase C). Analisi degli effetti



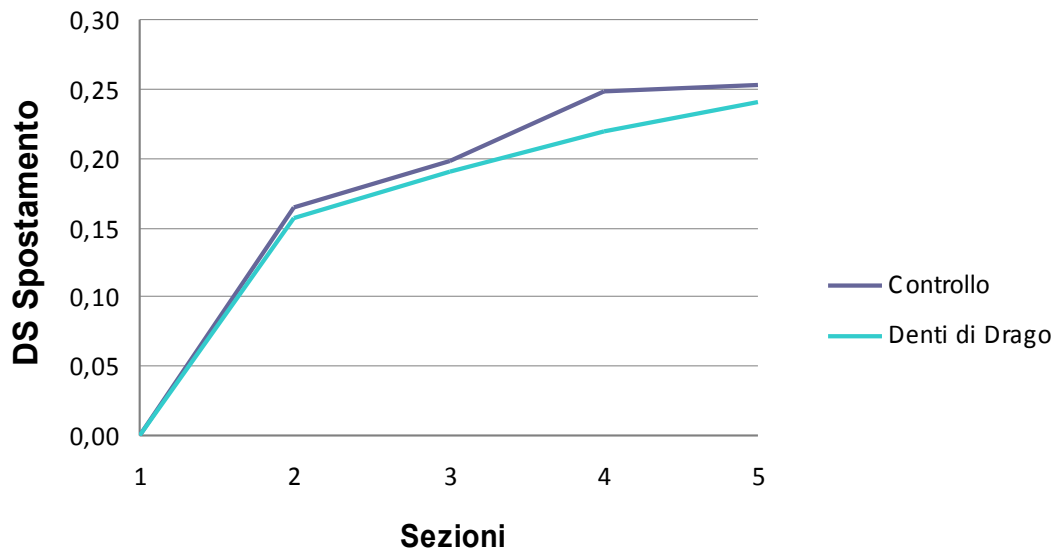


Fig. 4.3 - Profilo della deviazione standard degli spostamenti laterali, insieme dei trattamenti e distinto per trattamento.

Per indagare meglio il fenomeno si è quindi ritenuto opportuno eseguire dei test ANOVA supplementari riducendo il numero di livelli del fattore trattamento a 2. In breve sono state effettuate delle analisi della varianza atte a mettere a confronto separatamente ognuna delle diverse configurazioni previste (paletti costanti, paletti alti, strettoia e denti di drago) con la situazione di base in assenza di trattamenti.

Attraverso questo approfondimento si sono ottenuti i seguenti risultati:

- riportiamo i dati del confronto tra controllo e paletti costanti:
 - per il trattamento $F(0,00; 0,01) = 0,02$ con $p = 0,877$,
 - per il punto $F(0,16; 0,01) = 34,96$ con $p < 0,001$,
 - per l'interazione trattamento*punto $F(0,00; 0,01) = 0,20$ con $p = 0,848$, questo significa che il punto è il solo fattore significativamente diverso.
- riportiamo i dati del confronto tra controllo e paletti alti:
 - per il trattamento $F(0,01; 0,01) = 0,14$ con $p = 0,715$,
 - per il punto $F(0,15; 0,01) = 47,54$ con $p < 0,001$,
 - per l'interazione trattamento*punto $F(0,00; 0,01) = 0,04$ con $p = 0,951$, questo significa che il punto è il solo fattore significativamente diverso.

- riportiamo i dati del confronto tra controllo e strettoia:
 - per il trattamento F (0,00 ; 0,01) = 0,09 con $p = 0,765$,
 - per il punto F (0,13 ; 0,01) = 39,57 con $p < 0,001$,
 - per l'interazione trattamento*punto F (0,01 ; 0,01) = 1,32 con $p = 0,276$, questo significa che il punto è il solo fattore significativamente diverso.
- riportiamo i dati del confronto tra controllo e denti di drago:
 - per il trattamento F (0,01 ; 0,01) = 1,69 con $p = 0,204$,
 - per il punto F (0,86 ; 0,01) = 39,92 con $p < 0,001$,
 - per l'interazione trattamento*punto F (0,01 ; 0,01) = 0,72 con $p = 0,505$, questo significa che il punto è il solo fattore significativamente diverso.

I risultati osservati portano alle seguenti conclusioni:

considerando che si parla di una deviazione standard il valore iniziale risulta essere 0 ed è sempre positivo,

- nei confronti tra controllo e paletti costanti / paletti alti vi è una perfetta sovrapposizione in tutti i tratti,
- nel confronto tra controllo e strettoia vi è sovrapposizione solo nel primo tratto mentre negli altri il dispositivo tende ad avere un andamento opposto rispetto alla condizione base,
- nel confronto tra controllo e denti di drago vi è sovrapposizione solo nel primo tratto mentre negli altri il dispositivo tende a mantenere un andamento più a destra.

Il trattamento non ha alcun effetto significativo sulla deviazione standard dello spostamento e questa analisi conferma l'idea che se i guidatori si spostano verso il centro riducono la velocità in quanto spaventati dai veicoli in opposizione.

Analisi dei profili di accelerazione.

Con questa analisi si è voluto valutare l'entità della decelerazione che il guidatore imprime al veicolo una volta che ha percepito il pericolo e capire se ciò può portare a rischi maggiori rispetto al mantenimento di una velocità elevata.

E' stata effettuata un'ulteriore l'analisi utilizzando come variabili le accelerazioni relative,

intese come la differenza tra l'accelerazione registrata in un punto e quella rilevata all'ingresso del segmento test, per ogni trattamento ed in corrispondenza di ciascuna delle sezioni di controllo ($a_n - a_1$). Il valore registrato all'attraversamento del primo punto è stato quindi pari a 0 per ognuna delle misurazioni.

	P1	P2	P3	P4	P5
Controllo	0,0000	-0,3547	-0,5097	0,0783	0,2673
Costanti	0,0000	-0,3319	-0,4038	0,1827	0,3666
Alti	0,0000	-0,2810	-0,3205	0,2316	0,4100
Strettoia	0,0000	-0,4589	-0,3756	0,1297	0,3475
Denti di Drago	0,0000	-0,2548	-0,2066	0,1995	0,3736

Tab. 4.4 - Accelerazioni relative registrate in corrispondenza delle sezioni di controllo per i diversi trattamenti.

Si è proceduto ad effettuare un'analisi ANOVA considerando come fattori "entro i soggetti":

- le diverse configurazioni di trattamenti (5 livelli),
- i diversi punti di registrazione (4 livelli).

L'analisi, effettuata sull'intera popolazione dei 28 partecipanti secondo un modello lineare generalizzato a misure ripetute, ha permesso il calcolo del valore della variabile F di Fisher, nonché del p - value corrispondente, per i diversi fattori oggetto di studio. Ciò ha dato la possibilità di valutare se le differenze osservabili nel comportamento degli utenti per i diversi livelli dei fattori siano statisticamente significative o meno.

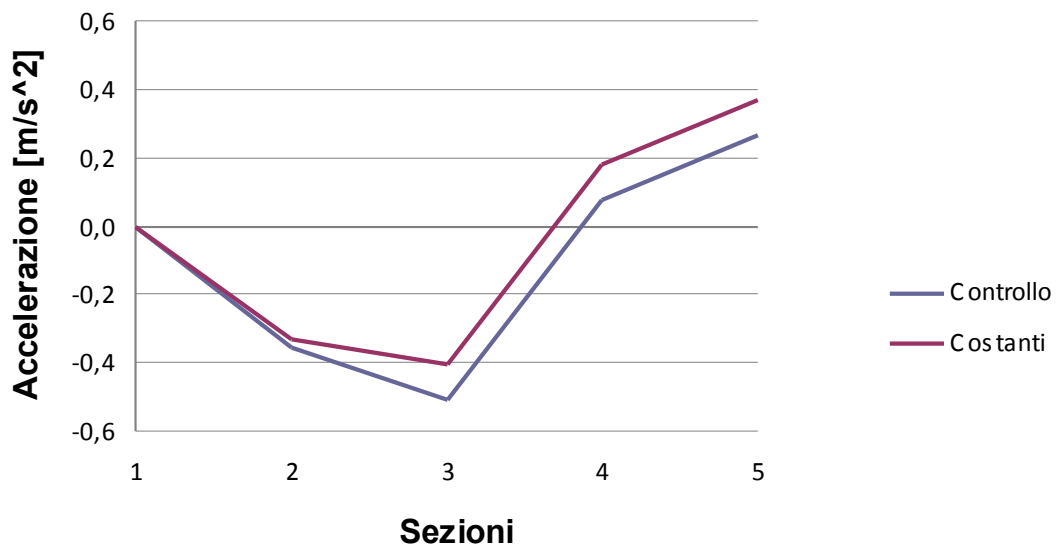
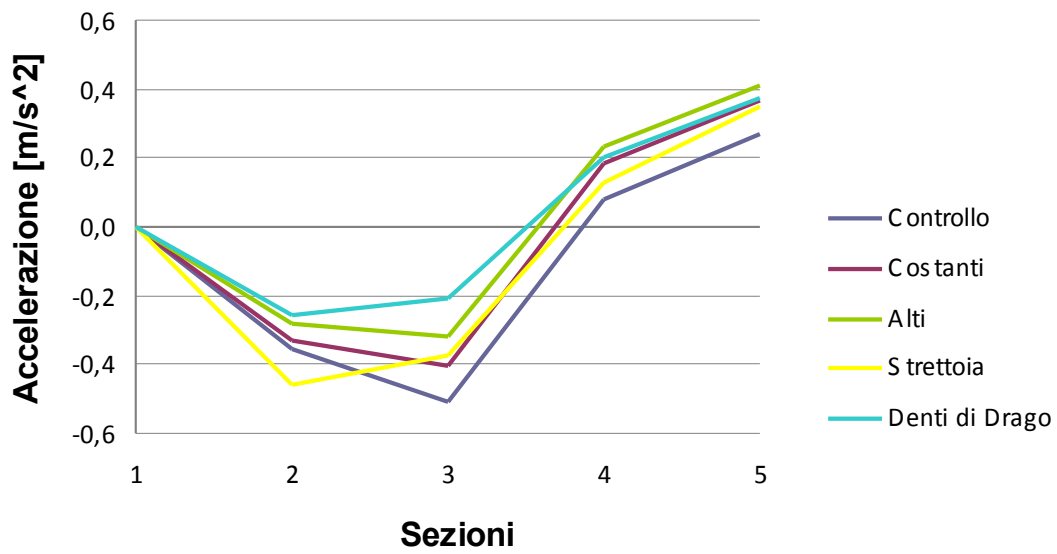
Per quel che riguarda il fattore trattamento si è ottenuta una $F(0,62 ; 0,19) = 3,23$ con $p = 0,024$.

Questo significa che esiste una coppia di trattamenti che sono significativamente differenti tra loro.

Per quel che riguarda il fattore punto si è ottenuta una $F(35,08 ; 0,72) = 48,63$ con $p < 0,001$.

Questo significa che la variazione di accelerazione tra sezioni è significativamente diversa. Per quel che riguarda l'interazione tra questi due fattori cioè trattamento*punto si è ottenuta una $F(0,13 ; 0,04) = 3,31$ con $p = 0,003$.

Questo significa che l'interazione è significativamente diversa.



Capitolo 4 - Trattamenti per la riduzione della velocità (Fase C). Analisi degli effetti

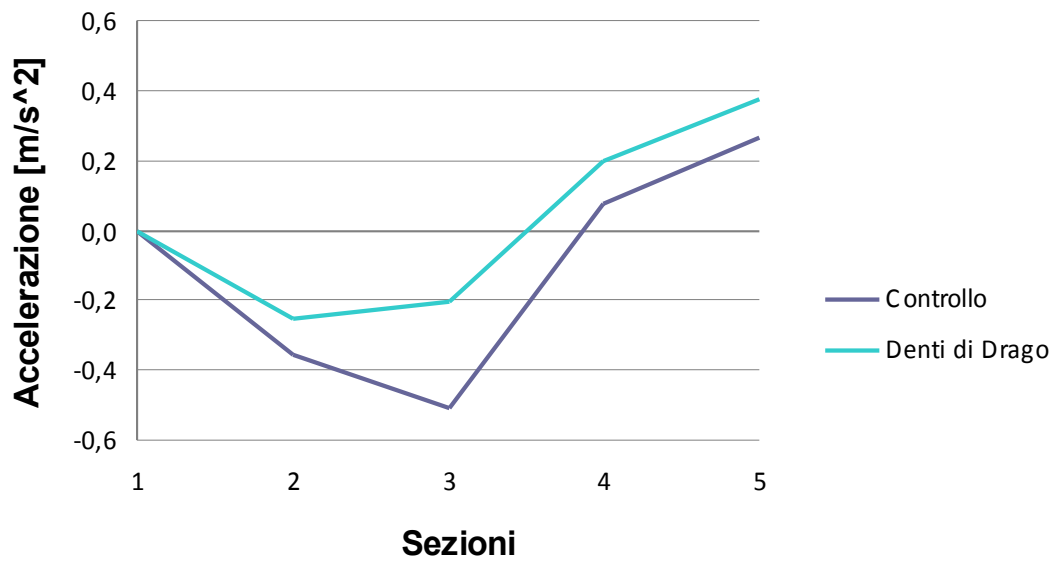
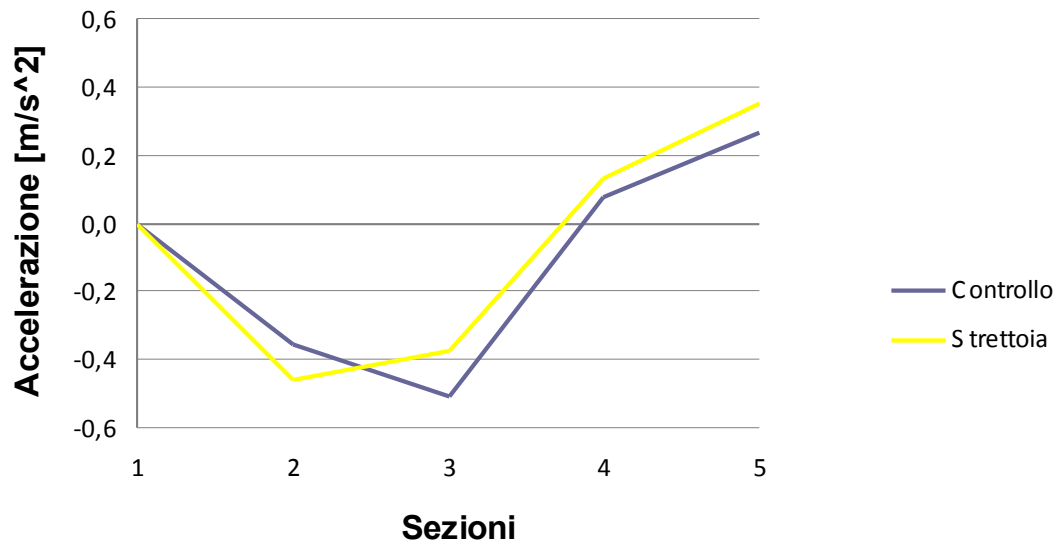
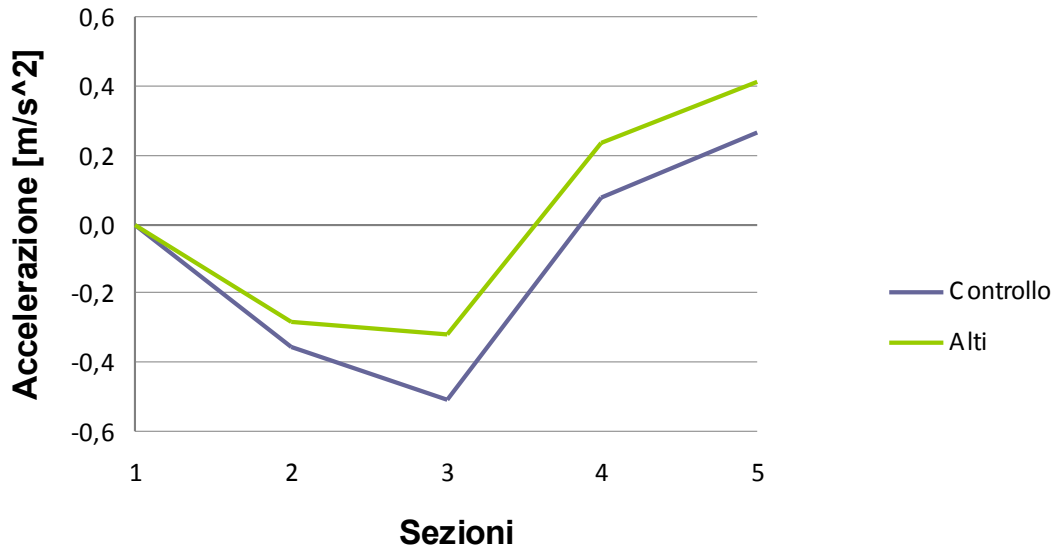


Fig. 4.4 - Profilo delle accelerazioni relative, insieme dei trattamenti e distinto per trattamento.

Per indagare meglio il fenomeno si è quindi ritenuto opportuno eseguire dei test ANOVA supplementari riducendo il numero di livelli del fattore trattamento a 2. In breve sono state effettuate delle analisi della varianza atte a mettere a confronto separatamente ognuna delle diverse configurazioni previste (paletti costanti, paletti alti, strettoia e denti di drago) con la situazione di base in assenza di trattamenti.

Attraverso questo approfondimento si sono ottenuti i seguenti risultati:

- riportiamo i dati del confronto tra controllo e paletti costanti:
 - per il trattamento $F(0,39 ; 0,13) = 3,06$ con $p = 0,09$,
 - per il punto $F(14,06 ; 0,36) = 38,77$ con $p < 0,001$,
 - per l'interazione trattamento*punto $F(0,04 ; 0,03) = 1,18$ con $p = 0,032$,
questo significa che il trattamento, il punto e la loro interazione sono fattori significativamente diversi.
- riportiamo i dati del confronto tra controllo e paletti alti:
 - per il trattamento $F(1,09 ; 0,22) = 4,95$ con $p = 0,035$,
 - per il punto $F(15,24 ; 0,37) = 41,26$ con $p < 0,001$,
 - per l'interazione trattamento*punto $F(0,05 ; 0,02) = 2,19$ con $p = 0,117$,
questo significa che il trattamento e il punto sono fattori significativamente diversi.
- riportiamo i dati del confronto tra controllo e strettoia:
 - per il trattamento $F(0,09 ; 0,15) = 0,59$ con $p = 0,449$,
 - per il punto $F(15,92 ; 0,33) = 47,76$ con $p < 0,001$,
 - per l'interazione trattamento*punto $F(0,21 ; 0,04) = 4,93$ con $p = 0,010$,
questo significa che il punto e l'interazione sono fattori significativamente diversi.
- riportiamo i dati del confronto tra controllo e denti di drago:
 - per il trattamento $F(1,39 ; 0,18) = 7,56$ con $p = 0,011$,
 - per il punto $F(11,06 ; 0,32) = 34,15$ con $p < 0,001$,
 - per l'interazione trattamento*punto $F(0,17 ; 0,03) = 5,80$ con $p = 0,003$,
questo significa che il trattamento, il punto e l'interazione sono fattori significativamente diversi.

I risultati osservati hanno portato alle seguenti conclusioni:

partendo dalla considerazione che nella sezione iniziale il valore è 0, i valori negativi rappresentano una decelerazione mentre i valori positivi rappresentano un'accelerazione,

- i primi tratti si percorrono in decelerazione probabilmente perché gli utenti hanno percepito il pericolo della curva/intersezione, mentre negli ultimi tratti accelerano anche se non vistosamente perché probabilmente si sentono sicuri nell'eseguire la manovra (a causa della mancanza delle accelerazioni laterali sul corpo mentre si percorre una curva ad elevata velocità e del rischio),
- in tutti i confronti ad esclusione di quello tra controllo e strettoia vi è un andamento simile con decelerazioni più graduali forse dovute al fatto che gli utenti riescono a percepire meglio la curva grazie alla presenza dei dispositivi,
- nel confronto tra controllo e strettoia sembra invece esserci una decelerazione più brusca che potrebbe portare qualche problema agli utenti.

Considerazioni conclusive

All'inizio di questo lavoro di tesi e della sperimentazione ci eravamo posti due obiettivi importanti, il primo riguardava la validazione dello strumento di simulazione e il secondo capire quale tra le varie contromisure percettive potesse risultare la migliore da applicare nel nostro caso di studio.

Per quanto riguarda il primo punto, dopo aver individuato 4 ben distinti gruppi tipologici di utenti reali e aver eseguito una classificazione degli utenti che hanno condotto la prova al simulatore si può affermare che il modello di simulazione dopo opportuni aggiustamenti può considerarsi validato e adeguatamente rappresentativo della situazione reale.

Avendo a disposizione un notevole numero di passaggi nel tratto di controllo è stato possibile notare che gli utenti tendendo a stabilizzare il loro comportamento con il passare dei giri compiuti.

Non vi è una soglia precisa che metta in risalto il cambio di comportamento, questo avviene gradualmente tra il secondo e il quarto giro cioè tra il ventesimo e il quarantesimo passaggio sul tratto di controllo.

Passando ora alla seconda questione che riguarda l'utilizzo dei delimitatori di margine come contromisura percettiva volta alla riduzione della velocità in corrispondenza di una situazione di rischio, nel nostro caso rappresentata dall'avvicinamento all'intersezione in curva i risultati ottenuti mediante gli esperimenti in ambiente simulato hanno dimostrato come una manipolazione del flusso ottico percepito dall'utente possa avere degli effetti significativi sulla condotta di guida tenuta dallo stesso.

In particolare si è osservato come l'installazione dei paletti posti vicino al margine della carreggiata inducano una riduzione di velocità maggiore rispetto al caso di controllo cioè in assenza di trattamenti.

Se si scende nel dettaglio si può notare come la configurazione con la strettoia (effetto imbuto) sia la più efficace con una riduzione di 2,26 km/h seguita da quella con i paletti alti che presenta una riduzione di 1,08 km/h e infine da quella con i paletti costanti che presenta una riduzione di circa 1 km/h, tutte valutate nella sezione numero 3.

Il trattamento basato sull'impiego dei denti di drago nella sezione 3 risulta essere il peggiore con una riduzione di solo 0,60 km/h, se invece ci spostiamo nella sezione a monte (2) il trattamento risulta essere il più efficace con una riduzione di velocità pari a

1,43 km/h.

Da questo si può dedurre che i denti di drago hanno un buon impatto visivo (inducendo una maggiore riduzione di velocità rispetto agli altri dispositivi ed al controllo) però non riescono a garantire una continuità nel loro effetto visto che una volta superati gli utenti tendono a riprendere velocità.

La decelerazione massima rilevata è pari a $-0,51 \text{ m/s}^2$ ed è stata registrata nella sezione 3 nel caso di assenza di trattamento (controllo); osservando gli altri valori di decelerazione, nei casi in cui sia presente il trattamento, si può notare che in termini assoluti sono sempre inferiori a tale valore tutto questo a vantaggio non solo della sicurezza ma anche del comfort.

Solo in un caso la presenza del dispositivo porta ad avere un'accelerazione maggiore di $0,1 \text{ m/s}^2$ rispetto al caso base e si tratta della strettoia nella seconda sezione che fa riscontare un valore di $-0,46 \text{ m/s}^2$ rispetto al $-0,36 \text{ m/s}^2$.

Nota importante da ricordare è che secondo quanto detto nel rapporto della World Health Organization una riduzione della velocità del 5% può comportare una sensibile diminuzione della mortalità per incidente stradale (fino al 25%).

In conclusione sulla base dei risultati ottenuti si può affermare quanto segue in relazione ai vantaggi derivanti dall'impiego dei delimitatori di margine nella implementazione di misure percettive per la riduzione della velocità:

- è possibile adattarli a diverse configurazioni di tracciato e hanno effetti sia su utenti veloci che su quelli più lenti,
- sono una contromisura di tipo non invasivo, ossia che non interagisce direttamente col veicolo (come invece fanno ad esempio i dossi dissuasori) eliminando l'insorgenza di azioni meccaniche sullo stesso, le quali possono, in taluni casi, condizionare il moto,
- l'installazione dei dispositivi può essere effettuata senza determinare particolari disturbi al regolare deflusso della corrente veicolare nel tronco considerato,
- la manutenzione e la sostituzione di elementi difettosi o abbattuti risulta molto semplice,

Considerazioni conclusive

- i delimitatori, dopo una eventuale dismissione, possono essere riutilizzati in altra sede,
- il loro costo è molto contenuto rispetto ad altre contromisure.

Sulla base dei risultati ottenuti e dei vantaggi offerti da questo tipo di contromisure si ritiene opportuno eseguire in futuro altre sperimentazioni, non limitandosi all'utilizzo dei simulatori di guida, ma attraverso l'esecuzione di prove sul campo.

Bibliografia

- ACI - ISTAT (2011) - Le statistiche degli incidenti stradali in Italia dagli anni '30 ad oggi;
- Comunicato stampa ACI - ISTAT (31 ottobre 2012) - Incidenti stradali;
- Helmholtz H.V., Southall J.P.C. (1924) - Helmholtz's Treatise on Physiological Optics. - Journal of the Optical Society of America, v. 3;
- Gibson J.J. (1950) - Perception of the Visual World. Ed. Houghton - Mifflin;
- Warren W.H., Hannon D.J. (1990) - Eye movements and optical flow. Journal of the Optical Society of America, v. 7, pp. 160 - 169;
- Royden C.S., Banks M.S., Crowell J.A. (1992) - The perception of heading during eye movements. Nature, v. 360, pp. 583 - 585;
- Land M.F., Lee D.N. (1994) - Where we look when we steer. Nature, v. 369, pp. 742 - 744;
- Van den Berg A.V. (1996) - Judgements of heading. Vision Research, v. 36, pp. 2337 - 2350;
- Patla A.E., Vickers J.N. (1997) - Where and when do we look as we approach and step over an obstacle in the travel path? Neuroreport, v. 8, pp. 3661 - 3665;
- Crowell J.A., Banks M.S., Shenoy K.V., Andersen R.A. (1998) - Visual self - motion perception during head turns. Nature Neuroscience, v. 1, pp. 732 - 737;
- Niemann T., Lappe M., Buscher A., Hoffmann K.P. (1999) - Ocular responses to radial optic flow and single accelerated targets in humans. Vision Research, v. 39, pp. 1359 - 1371;
- Lappe M., Hoffman K.P. (2000) - Optic flow and eye movements. Neuronal Processing of Optic Flow, pp. 29 - 50, ed. M. Lappe;
- Jamson H. (2000) - Driving simulation validity: issues of field of view and resolution. Proceedings of Driving Simulation Conference, Paris, France, pp. 57 - 64;
- Hollands M.A., Patla A.E., Vickers J.N. (2002) - "Look where you're going!": gaze behaviour associated with maintaining and changing the direction of locomotion. Experimental Brain Research, v. 143, pp. 221 - 230;
- Peh C.H. (2002) - Absolute distance perception during in - depth head movement:

Bibliografia

- calibrating optic flow with extra - retinal information. *Vision Research*, v. 42, pp. 1991 - 2003;
- Patla A.E., Vickers J.N. (2003) - How far ahead do we look when required to step on specific locations in the travel path during locomotion? *Experimental Brain Research*, v. 148, pp.133 - 138;
 - Britten K.H. (2008) - Mechanisms of Self - Motion Perception. *Annual Review of Neuroscience*, v. 31, pp. 389 - 410;
 - Wierwille, W.W. (1983) - Driver steering reaction time to abrupt - onset crosswinds, as measured in a moving - base driving simulator. *Human Factors*, v. 25, pp. 103 - 116;
 - Reymond G. (2001) - Role of lateral acceleration in curve driving: driver model and experiments on a real vehicle and a driving simulator. *Human Factors*, v. 43, pp. 483 - 495;
 - Kenemy A., Panerai F. (2003) - Evaluating perception in driving simulation experiments. *Trends in Cognitive Sciences*, v. 7, No. 1;
 - Porter B.E. (2011) - *Handbook of Traffic Psychology*. Elsevier, Part 1, chapter 7.
 - Fildes B., Lee S.J. (1993) - *The Speed Review: Road Environment, Behaviour, Speed Limits, Enforcement and Crashes*. MUARC research for Federal Office of Road Safety and Road Safety Bureau, Roads and Traffic Authority NSW;
 - Allsop R. & European Transport Safety Council (1995) - *Reducing Traffic Injuries Resulting From Excess and Inappropriate Speed*. Bruxelles: European Transport Safety Council;
 - Martens M.H., Comte S., Kaptein N.A. (1997) - *The effects of road design on speed behavior: a literature review*. TNO Human Factors Research Institute;
 - Godley S., Fildes B., Triggs T., Brown L. (1999) - *Perceptual Countermeasures: Experimental Research*. ATSB Road Safety Research Report;
 - Elliot M.A., McColl V.A., Kennedy J.V. (2003) - *Road design measures to reduce drivers' speed via "psychological" processes: a literature review*. No. TRL564 Transport Research Laboratory;
 - Manser M.P., Hancock P.A. (2007) - *The influence of perceptual speed regulation*

Bibliografia

- on speed perception, choice, and control: Tunnel wall characteristics and influences. *Accident Analysis and Prevention*, v. 39, pp. 69 - 78;
- Dell'Acqua G. (2007) - Reducing Traffic Injuries Resulting from Excess Speed: Low - Cost Gateway Treatments in Italy. *Transportation Research Record*, No. 2203, pp. 94 - 99;
 - Montella A., Aria M., D'Ambrosio A., Galante F. (2010) - Perceptual Measures to Influence Operating Speeds and Reduce Crashes at Rural Intersections: Driving Simulator Experiment, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 2149, pp. 11 - 20;
 - Allpress J.A., Leland L.S. (2010) - Reducing traffic speed within roadwork sites using obtrusive perceptual countermeasures. *Accident Analysis and Prevention*, v. 42, p. 377 - 383;
 - Jamson S., Lai F., Jamson H. (2010) - Driving simulators for robust comparisons: A case study evaluating road safety engineering treatments. *Accident Analysis and Prevention*, v. 42, pp. 961 - 971;
 - Hallmark S.L., Hawkins N. (2011) - Sustainable Speed Management in Small Rural Communities. *IEEE Forum on Integrated and Sustainable Transportation Systems*, Vienna, Austria;
 - Ariën C., Brijs K., Ceulemans W., Jongen E., Daniels S., Brijs T. and Wets G. (2012) - The effect of pavement markings on driving behavior in 5 curves: A driving simulator study. *TRB 2012 Annual Meeting*;
 - Roncada M. (2012) - Tesi di laurea: L'uso di delineatori di margine come misura percettiva per la riduzione della velocità: esperimenti mediante simulatore di guida.
 - Rossi R., Gastaldi M., Biondi F., Mulatti C. (2013) - Opper - Kundt illusion and lateral optic flow manipulation in affecting perceived speed in approaching roundabouts: experiments with a driving simulator. *TRB 2013*;
 - Rossi R., Gastaldi M., Biondi F., Mulatti C. (2013) - Lateral Position. *Road Safety and Simulation International Conference RSS 2013*;
 - www.viatraffic.fr;
 - www.wavetec-online.de;

Bibliografia

- Levine D. M., Krehbiel T. C. e Berenson M. L. (2006) - Business Statistics: A First Course (4th edition). Pearson Education, Inc.;
- Bella F. (2008) - Driving simulator for speed research on two - lane rural roads. Accident Analysis and Prevention 40, pp. 1078 - 1087;
- Gecchele G., Rossi R., Gastaldi M., Caprini A. (2011) - Data Mining Methods for Traffic Monitoring Data Analysis: A case study. Procedia Social and Behavioral Sciences 20, pp. 455 - 464;
- Birch - Dispensa sull'analisi cluster;
- www.norusis.com - Cluster analysis, chapter 16;
- www.rescoop.com (RESCoop Ricerche Economiche Statistiche) - Dispensa sull'analisi cluster.

Appendice

A 1 - Teoria: l'analisi di raggruppamento (cluster analysis)

L'analisi cluster permette di identificare dei gruppi di individui o oggetti che sono simili tra loro ma diversi da individui di altri gruppi.

Spesso a priori non si sa chi o cosa appartiene a quale gruppo e quale sia il numero di gruppi.

Si inizia con una serie di dati che si desidera suddividere in gruppi omogenei. In primo luogo, si sceglie le variabili su cui basare l'analisi. Successivamente, è necessario decidere se standardizzare, in modo che tutte contribuiscano allo stesso modo alla valutazione della distanza o alla somiglianza tra i casi. Infine, si deve decidere quale procedura scegliere, in base al numero di casi e tipi di variabili che si desidera utilizzare.

Il software statistico SPSS permette tre diverse procedure che possono essere utilizzate per il cluster:

- cluster gerarchico,
- k - means,
- 2 step.

A 1.1 - Il "cluster gerarchico"

In statistica e apprendimento automatico, il cluster gerarchico è un approccio che mira a costruire una gerarchia di cluster. Questo metodo è il più semplice ed è ottimale se si dispone di un piccolo set di dati e si desidera esaminare con facilità le soluzioni con un aumento del numero di cluster.

Le strategie sono tipicamente di due tipi:

- agglomerativo: si tratta di un approccio "bottom up" (dal basso verso l'alto) in cui si parte dall'inserimento di ciascun elemento in un cluster differente e si procede quindi all'accorpamento graduale di cluster a due a due,
- divisivo: si tratta di un approccio "top down" (dall'alto verso il basso) in cui tutti gli elementi si trovano inizialmente in un singolo cluster che viene via via suddiviso ricorsivamente in sottocluster.

Il risultato di un cluster gerarchico può essere rappresentato in un dendrogramma. Questo permette di capire come e in quale fase vengono combinati i vari cluster. Per decidere quali cluster devono essere combinati (approccio agglomerativo) o quale cluster deve essere suddiviso (approccio divisivo) è necessario definire una misura di dissimilarità tra cluster. Nella maggior parte dei metodi si fa uso di metriche specifiche che quantificano la distanza tra coppie di elementi e di un criterio di collegamento che specifica la dissimilarità di due insiemi di elementi come funzione della distanza a coppie tra elementi nei due insiemi. La scelta di una metrica appropriata influenza la forma dei cluster, poiché alcuni elementi possono essere più "vicini" utilizzando una distanza e più "lontani" utilizzandone un'altra.

Le metriche più comuni sono:

- la distanza euclidea (chiamata norma 2) che corrisponde al concetto geometrico di distanza nello spazio multidimensionale:

$${}_2d_{hk} = \left\{ \sum_{v=1}^p w_v (x_{hv} - x_{kv})^2 \right\}^{1/2}$$

dove x_{hv} , x_{kv} sono le coordinate dei due punti P_h e P_k nello spazio cartesiano sulla variabile x_v e w_v è il peso attribuito alla variabile,

- la distanza euclidea al quadrato può essere utilizzata qualora si voglia dare un peso progressivamente maggiore agli oggetti che stanno oltre una certa distanza,
- la distanza assoluta (city - block, distanza di Manhattan, norma 1) è semplicemente la differenza media fra le dimensioni:

$${}_1d_{hk} = \sum |x_{hv} - x_{kv}| w_v$$

consigliata in generale quando le variabili di classificazione sono su scala ordinale,

- la distanza di Chebychev può essere appropriata nei casi in cui si voglia definire due oggetti come "differenti" se essi sono diversi in ciascuna delle dimensioni:

$${}_c d_{hk} = \max |x_{hv} - x_{kv}|$$

- la distanza di Mahalanobis è quella che invece tiene conto anche delle interdipendenze esistenti tra le p variabili utilizzate ridimensionando il peso delle

variabili portatrici di informazioni eccedenti, già fornite da altre. Quando le variabili originarie sono correlate tra loro è improprio utilizzare la distanza euclidea, mentre è pertinente l'uso della statistica proposta da Mahalanobis data dalla forma quadratica:

$$D_{hk}^2 = (x_h - x_k)' W^{-1} (x_h - x_k) \text{ con } h \neq k = 1, \dots, n$$

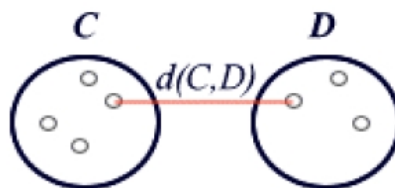
dove x_h e x_k sono i vettori con le osservazioni sugli individui h e k e W è la matrice di varianze - covarianze tra le variabili osservate. Occorre fare attenzione nell'uso di questa distanza, infatti se sussiste collinearità tra le variabili, la matrice non è invertibile, e anche se, pur non essendovi collinearità, è presente una forte intercorrelazione, errori di misura o di calcolo possono condurre a pesanti distorsioni nei risultati,

- la norma uniforme,
- l'angolo tra i due vettori,
- la distanza di Hamming (misura il minimo numero di sostituzioni richieste per cambiare un membro nell'altro).

Gli algoritmi gerarchici proposti in letteratura si differenziano unicamente per il diverso criterio di collegamento (linkage criterion) che regola la valutazione delle distanze tra i gruppi ai fini delle aggregazioni in serie. I più comunemente utilizzati sono:

- metodo del legame singolo (single linkage): in questo caso la distanza tra i gruppi è posta pari alla più piccola delle distanze istituibili a due a due tra tutti gli elementi dei due gruppi: se C e D sono due gruppi, la loro distanza, secondo questo metodo, è definita come la più piccola (il minimo) tra tutte le $n_1 n_2$ distanze che si possono calcolare tra ciascuna unità i di C e ciascuna unità j di D :

$$d(C, D) = \min(d_{ij}), \forall i \in C, \forall j \in D$$

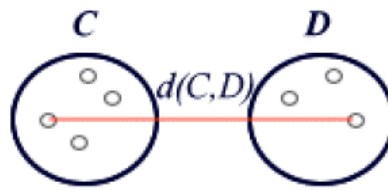


L'adozione di questo algoritmo per la composizione dei gruppi evidenzia in maniera netta e decisamente più accentuata rispetto agli altri algoritmi tutte le similitudini e somiglianze tra gli elementi: privilegia la differenza tra i gruppi piuttosto che l'omogeneità degli elementi di ogni gruppo. Il dendrogramma costruito su questa matrice ha i rami molto più corti ed è più compatto: questo proprio perché vengono valorizzate le somiglianze,

- metodo del legame completo (complete linkage): secondo questo metodo si considera la maggiore delle distanze istituibili a due a due tra tutti gli elementi dei due gruppi, avremo quindi:

$$d(C, D) = \max(d_{ij}) \quad \forall i \in C, \forall j \in D$$

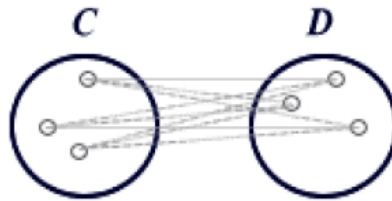
evidentemente si uniscono i due gruppi che presentano la più piccola distanza così definita.



Questo algoritmo di aggregazione evidenzia in maniera netta le differenze tra elementi, privilegia l'omogeneità tra gli elementi del gruppo a scapito della differenziazione netta tra gruppi. Il dendrogramma costruito su questa matrice ha i rami molto più lunghi, i gruppi (e soprattutto i rami) si formano a distanze maggiori. In uno stesso range di valori, rispetto al legame singolo, gli elementi sono molto meno compatti e più diluiti,

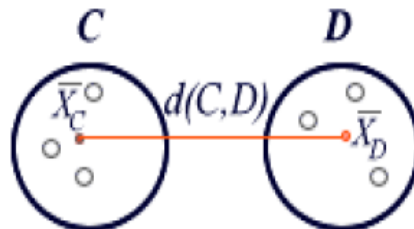
- metodo del legame medio (average linkage): si tratta del valore medio aritmetico di tutte le distanze tra gli elementi. Si uniscono i due gruppi che presentano la più piccola distanza così definita. L'adozione di questo algoritmo per la composizione dei gruppi semplifica notevolmente la composizione dell'albero costruito con l'algoritmo completo, mentre rispetto a quello costruito sull'algoritmo singolo si presenta più movimentato e differente. Essendo basato sulla media delle distanze, i risultati sono più attendibili e i gruppi risultano più omogenei e ben differenziati tra di loro.

$$d(C,D) = \frac{1}{n_1 n_2} \sum_{i=1}^{n_1} \sum_{j=1}^{n_2} d_{ij}, \quad \forall i \in C, \forall j \in D$$



- metodo del centroide: vanno determinati i vettori contenenti i valori medi delle p variabili in tutti gruppi (centroidi), e le distanze tra i gruppi viene assunta pari alla distanza tra i rispettivi centroidi. Se X_C e X_D sono i centroidi avremo:

$$d(C, D) = d(\bar{X}_C, \bar{X}_D)$$



- metodo di Ward: differisce in parte dai precedenti, in quanto suggerisce di riunire, ad ogni tappa del processo, i due gruppi dalla cui fusione deriva il minimo incremento possibile della devianza "entro".

$$DEV_T = \sum_{s=1}^p \sum_{i=1}^n (x_{is} - \bar{x}_s)^2 = \sum_{i=1}^n \sum_{s=1}^p (x_{is} - \bar{x}_s)^2$$

dove x_s è la media della variabile s con riferimento all'intero gruppo. Data una partizione in g gruppi, tale devianza può essere scomposta in:

$$DEV_{IN} = \sum_{k=1}^g \sum_{s=1}^p \sum_{i=1}^{n_k} (x_{is} - \bar{x}_{s,k})^2$$

che è la devianza entro i gruppi riferita alle p variabili con riferimento al gruppo k , dove $x_{s,k}$ è la media della variabile s con riferimento al gruppo k ;

$$DEV_{OUT} = \sum_{s=1}^p \sum_{k=1}^g (\bar{x}_{s,k} - \bar{x}_s)^2 n_k$$

che è la devianza tra i gruppi. Come noto $DEV_T = DEV_{IN} + DEV_{OUT}$

Nel passare da k+1 a k gruppi (aggregazione) DEV_{IN} aumenta, mentre ovviamente DEV_{OUT} diminuisce. Ad ogni passo del metodo di Ward si aggregano tra loro quei gruppi per cui vi è il minor incremento della devianza entro i gruppi.

- metodo del legame mediano: con questo metodo, i due cluster da accorpate sono ponderati ugualmente nel calcolo del centroide, indipendentemente dal numero di casi. Questo fa sì che non ci siano differenze tra piccoli e grandi gruppi.

Non c'è una risposta giusta o sbagliata alla domanda qual è il numero giusto di cluster, questo dipende da quello che si vuole fare con loro una volta determinati. Ci si può accontentare quando si ha una soluzione facilmente interpretabile o comunque che abbia un numero ragionevole di gruppi omogenei.

E' importante considerare attentamente le variabili che si intendono utilizzare per la creazione dei cluster. Se non lo si fa e si includono variabili poco importanti, i cluster possono diventare inutili.

Se le variabili sono misurate su scale diverse, quelle con grandi valori contribuiranno di più per la misura della distanza rispetto a quelle con valori più piccoli.

Nei risultati forniti dal programma SPSS nella colonna coefficienti, si vede il valore della distanza (o similarità) statistica utilizzata per formare il cluster. Da questi numeri, si ottiene un'indicazione della differenza dei cluster da accorpate. Se si utilizzano misure di dissimilarità, piccoli coefficienti indicano che i cluster sono abbastanza omogenei e vengono uniti. Grandi coefficienti indicano che si stanno combinando cluster dissimili. Se si utilizzano misure di similarità, è vero il contrario: i valori di grandi dimensioni sono buoni, mentre per valori piccoli l'operazione è sconsigliata.

A 1.2 - Il "K - means"

Questo metodo richiede un elevato sforzo computazionale anche se non valuta tutte le possibili distanze.

Si differenzia dal cluster gerarchico per diversi motivi:

- funziona bene per un set di dati di dimensioni modeste,
- si assegna in anticipo il numero di cluster per cui non è possibile ottenere soluzioni per una vasta gamma di cluster,
- l'algoritmo riassegna ripetutamente i casi ai cluster, quindi lo stesso caso può spostarsi da uno all'altro durante l'analisi,
- k è il numero di cluster desiderato (un elemento viene assegnato al cluster per cui la sua distanza rispetto alla media del cluster è la più piccola).

Il procedimento è iterativo e segue questo schema:

- si inizia con un set iniziale di medie,
- si classificano gli elementi in base alle loro distanze dai centri,
- si calcola il cluster, utilizzando i casi che gli vengono assegnati,
- si riclassificano tutti i casi sulla base del nuovo set,
- si continua a ripetere questo passaggio fino a quando le medie dei cluster non cambiano molto tra un passaggio e l'altro,
- si calcolano nuovamente le medie dei cluster,
- si assegnano i casi ai loro raggruppamenti permanenti.

A 1.3 - Il “2 Step”

Si utilizza questo metodo quando si dispone di molti dati (1.000 sono tanti) o una miscela di variabili continue e categoriali.

La procedura contenuta nel software SPSS richiede solo l'inserimento dei dati per produrre le soluzioni.

L'algoritmo si basa su una misura di distanza che risulti migliore se tutte le variabili sono indipendenti, se le variabili continue hanno una distribuzione normale e se le variabili categoriali hanno una distribuzione multinomiale.

Questo però avviene raramente in pratica, ma l'algoritmo è pensato per adeguarsi bene nel momento in cui si lavora fuori dagli schemi prestabiliti (poiché non è richiesta la verifica di ipotesi e il calcolo dei livelli di significatività).

La procedura si basa su due passi:

- Passo 1: la formazione di predittori.

Premesso che i predittori sono solo cluster di casi originali che vengono utilizzati al posto dei dati grezzi come avviene nel cluster gerarchico, l'obiettivo è quello di ridurre le dimensioni della matrice che contiene le distanze tra tutte le possibili coppie di casi.

Una volta individuati i predittori tutti i casi contenuti al suo interno sono trattati come una singola entità.

- Passo 2: si applica l'algoritmo standard di cluster gerarchico contenuto in SPSS ai predittori.

A 2 - Teoria: l'algoritmo del "K Vicino Più Vicino"

L'algoritmo del "K Vicino Più Vicino" è un metodo non parametrico per classificare oggetti in base alle caratteristiche spaziali della distanza.

Questo algoritmo consiste in un apprendimento "pigro" basato su istanze in cui la funzione viene approssimata solo a livello locale e tutti i calcoli differiscono fino alla classificazione. Tra gli algoritmi di apprendimento automatico è uno dei più semplici visto che un oggetto viene classificato con un voto a maggioranza dei suoi vicini.

L'oggetto viene quindi assegnato alla classe più comune tra i suoi vicini più vicini k (con k intero, positivo e piccolo). Se $k = 1$ l'assegnazione ricade nella classe del suo vicino più prossimo.

Lo stesso metodo può essere utilizzato per la regressione, semplicemente assegnando il valore medio della proprietà. Può essere utile per pesare i contributi dei vicini, in modo che i vicini più vicini contribuiscono maggiormente alla media di quelli più lontani (un sistema di ponderazione è quello di dare ad ogni vicino un peso di $1/d$, dove d è la distanza al prossimo, questo schema è una generalizzazione dell'interpolazione lineare).

I vicini sono presi da un insieme di oggetti per i quali è nota la classificazione corretta.

Questo può essere pensato come set di prova per l'algoritmo, se non è richiesta alcuna fase di addestramento esplicito.

La distanza più comunemente usata per le variabili continue è la distanza euclidea mentre per le variabili discrete (classificazione di un testo) si usa la distanza di Hamming.

Appendice

La miglior scelta di k dipende dai dati, in generale, per valori di k più grandi si riducono gli effetti del rumore sulla classificazione, ma rende i confini tra le classi meno distinti. Un buon k può essere selezionato da varie tecniche euristiche.

Se gli effetti del rumore dovuti ad outlier non vengono eliminati, l'accuratezza dell'algorithm può essere compromessa dalla loro presenza.

E' bene scegliere k tale che sia un numero dispari in maniera da evitare problemi. La versione base dell'algorithm è facile da implementare, calcolando le distanze dall'elemento di prova a tutti gli altri elementi, ma è computazionalmente intensiva per grandi insiemi, si può ovviare a questo utilizzando un algorithm di ricerca più appropriato. Si ottengono ottimi risultati quando la quantità di dati tende all'infinito visto che l'algorithm è garantito per produrre un tasso di errore non peggiore del doppio del tasso di errore di Bayes (il tasso di errore minimo ottenibile data la distribuzione dei dati). Una matrice di confusione o "matrice di corrispondenza" è spesso usata come strumento per convalidare l'accuratezza della classificazione.

B 1 - Cenni di statistica inferenziale. Test “ANOVA” e test “t”

Con il termine “statistica inferenziale” si intende quel complesso di metodi e procedure aventi lo scopo di dedurre le caratteristiche di una popolazione sulla base dell'osservazione di una parte di essa, detta campione, selezionata in maniera casuale.

I campioni considerati nelle analisi di tipo statistico hanno generalmente dimensione $n > 1$ e possono essere interpretati come n realizzazioni indipendenti di un certo esperimento di base, svolto ogni volta nelle medesime condizioni. La natura stocastica dell'esperimento rende inevitabile il coinvolgimento del calcolo delle probabilità.

Nell'ambito di quest'ultimo, noto il processo di generazione dei dati sperimentali, detto modello probabilistico, si è in grado di valutare la probabilità associata ad ognuno dei possibili risultati di un esperimento. Nel caso dell'inferenza statistica avviene, in un certo senso, il contrario di ciò. In questo caso infatti il processo di generazione dei dati sperimentali non è noto in modo completo ma spesso si rivela essere l'oggetto di indagine. Le tecniche inferenziali si prefiggono dunque di desumere le caratteristiche di tale processo sulla base dell'osservazione dei dati sperimentali da esso generati. Ciò rende possibile l'effettuazione di diversi tipi di operazioni quali stime per punti o intervalli, verifiche di ipotesi e previsioni.

B 1.1 - L'analisi della varianza

L'analisi della varianza (ANOVA) è un insieme di tecniche statistiche facenti parte del ramo della statistica inferenziale che permettono di confrontare due o più gruppi di dati raccolti confrontando la variabilità interna ad essi con quella tra essi. Se i gruppi sono stati definiti sulla base dei livelli assunti da un singolo fattore allora si parla di analisi della varianza ad un fattore o ad una via. Tale procedura può essere considerata come un'estensione a più gruppi del t - test visto che entrambi permettono di effettuare verifiche di ipotesi sulla differenza che intercorre tra le medie relative a due popolazioni indipendenti. Pur parlando di analisi della varianza l'oggetto di interesse sono infatti le differenze che intercorrono tra le medie dei singoli gruppi.

L'ipotesi alla base dell'ANOVA è che, dati m gruppi di dati, sia possibile scomporre la varianza in due componenti: la varianza interna ai gruppi (definita come within) e la

varianza tra i gruppi (between). La ragione che spinge a tale distinzione è la convinzione, da parte del ricercatore, che determinati fenomeni trovino spiegazione in certe caratteristiche proprie del gruppo di appartenenza. In altre parole, il confronto si basa sull'idea che se la variabilità interna ai gruppi è relativamente elevata rispetto a quella tra i gruppi, allora probabilmente la differenza tra questi è soltanto il risultato della variabilità interna.

Altra ipotesi fondamentale è che gli m gruppi considerati rappresentino popolazioni indipendenti ma aventi la medesima distribuzione, generalmente normale, e siano caratterizzati dalla stessa varianza. Come già enunciato è importante che le osservazioni campionarie vengano estratte in maniera indipendente e casuale.

Le tecniche di analisi della varianza si usano in genere quando le variabili esplicative sono di tipo nominale. Nulla impedisce di usare questi metodi anche in presenza di variabili esplicative di tipo ordinale o continuo, ma in tal caso tendono ad essere leggermente meno efficienti delle tecniche alternative (ad esempio la regressione lineare).

Tra le tecniche più note per l'analisi della varianza vi è il test F , il quale fa uso della variabile aleatoria F , così chiamata in onore di Sir Richard Aymler Fisher (1880 - 1962), considerato il padre della statistica moderna avendone definito i concetti di riferimento.

Il test F è un test statistico volto a verificare l'ipotesi che due popolazioni caratterizzate da una distribuzione normale abbiano la stessa varianza. L'ipotesi nulla che si è interessati a verificare sarà pertanto che le medie di tutti i gruppi siano uguali tra di loro mentre l'ipotesi alternativa, al contrario, asserirà che non tutte le m medie siano uguali. Nel caso in cui si riveli verificata l'ipotesi nulla tutti i gruppi avranno la stessa distribuzione stocastica pertanto le differenze osservate saranno attribuibili ad un errore casuale.

La statistica test F utilizzata nell'ANOVA ad una via è:

$$F = \frac{MSB}{MSW}$$

Con il termine MSB si indica il rapporto tra la variabilità between ed i rispettivi gradi di libertà mentre MSW indica il rapporto tra la variabilità within interna ai gruppi dell'ANOVA ad una via ed i rispettivi gradi di libertà.

$$MSB = \frac{SSB}{m-1} = \frac{\sum_{j=1}^m n_j (\bar{X}_j - \bar{\bar{X}})^2}{m-1} \qquad MSW = \frac{SSW}{n-m} = \frac{\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^{n_j} (X_{ij} - \bar{X}_j)^2}{n-m}$$

I termini che compaiono nelle equazioni hanno il seguente significato:

- m* = numero di gruppi ,
- n* = numero di osservazioni contenute nel *j* – esimo campione ,
- \bar{X}_j = media campionaria del *j* – esimo campione ,
- X_{ij} = *i* – esima osservazione del *j* – esimo campione ,
- $\bar{\bar{X}}$ = media complessiva.

I rapporti MSB ed MSW rappresentano le medie delle somme dei quadrati residui rispettivamente tra gruppi e all'interno dei gruppi. La statistica test F ha una distribuzione ad (*m* - 1) gradi di libertà per quello che riguarda il numeratore e (*n* - *m*) gradi di libertà nel caso del denominatore.

Fissato un livello di significatività α , l'ipotesi nulla dovrà essere rifiutata nel caso il valore assunto dalla statistica test F sia maggiore del valore critico superiore F_{crit} , ricavabile attraverso tabelle statistiche, di una distribuzione avente (*m* - 1) e (*n* - *m*) gradi di libertà.

Se l'ipotesi nulla è vera il rapporto F dovrebbe assumere valori prossimi all'unità in quanto sia il numeratore che il denominatore sarebbero stima della varianza dell'intera popolazione.

Se invece l'ipotesi nulla è falsa ci si dovrebbe aspettare che la statistica test F assuma valori superiori ad 1, in quanto il numeratore rappresenterebbe una stima della variabilità dovuta alle caratteristiche di un gruppo rispetto ad un altro la quale si aggiungerebbe alla semplice variabilità nei dati, stimata dal denominatore.

I programmi di analisi statistica sono generalmente in grado di restituire anche il *p* – value ossia la probabilità, nel caso di ipotesi nulla vera, di ottenere un valore F maggiore o uguale a quello osservato. Il valore assunto da questo permette di verificare l'accettazione o il rifiuto dell'ipotesi nulla senza dover consultare le tavole della distribuzione F di Snedecor. L'ipotesi di uguaglianza tra le medie dei gruppi deve infatti essere rifiutata quando il *p* - value è inferiore al livello di significatività scelto. Se $p < 0,05$ quindi i gruppi sono significativamente diversi.

B 1.2 - Il t - test

Come già accennato il t - test rappresenta un caso specifico dell'ANOVA in quanto anch'esso permette di effettuare verifiche di ipotesi relative alle medie di popolazioni indipendenti e aventi la medesima distribuzione. Il test si rivela particolarmente efficace se quest'ultima può essere approssimata alla normale, ma rimane comunque appropriato anche per altre distribuzioni, purché la numerosità delle osservazioni sia elevata.

Il t - test può assumere varie forme a seconda dell'oggetto di analisi (varianza o media).

Nel nostro caso parleremo di t - test tra medie di due popolazioni non indipendenti, che può essere usato quando il campione estratto dalla prima popolazione non è indipendente da quello estratto dalla seconda. La dipendenza può essere dovuta alla scelta di campioni composti da individui che condividono una stessa caratteristica oppure si realizza quando vengono effettuate misurazioni ripetute sullo stesso insieme di individui. In entrambi i casi l'attenzione si sposta dai singoli valori osservati nei campioni alle differenze tra i valori medesimi.

La statistica test t per la differenza tra le medie è:

$$t = \frac{\bar{\Delta} - \mu_{\Delta}}{\frac{S_{\Delta}}{\sqrt{n}}}$$

Con: $\bar{\Delta} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta_i}{n}$ e $S_{\Delta} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta_i^2}{n-1}}$

I termini indicati con Δ rappresentano le differenze tra valori. La statistica test t segue la distribuzione t di Student con $(n - 1)$ gradi di libertà.

Anche in questo caso definito un certo livello di significatività α , l'ipotesi nulla deve essere rifiutata se il valore osservato della statistica test è più piccolo del valore critico inferiore - t_{n-1} , o maggiore del valore critico superiore t_{n-1} , ricavabili tramite tabelle statistiche, della distribuzione t di Student a $(n - 1)$ gradi di libertà.

Ringraziamenti

Con la stesura di questa tesi ho raggiunto un traguardo molto importante che mi ero prefissato, durante questo arduo percorso sono venuto a contatto con diverse persone che mi hanno trasmesso conoscenze, modi di pensare o semplicemente accompagnato nel corso di tutti questi anni di studio. Porgo quindi i miei ringraziamenti:

Al Prof. Riccardo Rossi, per avermi accolto come tesista nel Laboratorio Trasporti del DICEA, e per avermi seguito nel corso dello svolgimento del lavoro di ricerca e di stesura della tesi.

Al Prof. Massimiliano Gastaldi per la sua consulenza e il suo aiuto.

Ad Alberto, Consuelo, Gregorio, Francesco e Marco sempre presenti in laboratorio e sempre disponibili nei miei confronti, per i molti consigli fornitemi, per la pazienza e la fiducia dimostratemi. Grazie alla loro simpatia e vivacità il periodo trascorso in laboratorio è passato molto velocemente e non si è mai rivelato noioso.

Agli altri tesisti presenti in laboratorio, per la compagnia durante le ore di lavoro e nelle pause pranzo e caffè, per le varie chiacchierate e per i discorsi seri sulle cose da fare.

Ai compagni di corso, vecchi e nuovi, per avermi accompagnato in questo percorso ed aver condiviso con me gli aspetti positivi e negativi della vita universitaria. Il tempo passato insieme ha reso quest'esperienza interessante e divertente.

Agli amici, a cui chiedo scusa se ultimamente li ho un po' trascurati, per aver reso questi anni indimenticabili ed essere sempre stati presenti. In vostra compagnia sto bene e sono sempre riuscito a ridere di cuore, sia nei momenti belli che in quelli brutti. Sono onorato di essere vostro amico.

Ai parenti e in particolar modo ai miei genitori, che in tutti questi anni di studio mi avete sempre seguito e consigliato nei momenti più duri, è solo grazie al vostro aiuto, alla vostra vicinanza e al vostro sostegno se sono riuscito ad arrivare dove sono ora. Questa laurea è anche vostra. Vi voglio bene.