Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Civile

Tesi di Laurea Magistrale

# Indagine sperimentale al simulatore di guida sull'efficacia della segnaletica orizzontale innovativa lungo rampe e terminali di immissione e diversione in curve autostradali

**Relatore**

Prof. Marco Bassani

**Candidato**

Giorgia Raimondo

Anno Accademico 2019/2020

*All'amore per la mia famiglia,*
*la forza che mi ha spinto a dare sempre il meglio*

*"L'educazione è il grande motore dello sviluppo personale […]*
*Non ciò che ci viene dato, ma la capacità di valorizzare al meglio*
*ciò che abbiamo è ciò che distingue una persona dall'altra."*
*(Nelson Mandela)*

# RINGRAZIAMENTI

Durante il primo anno di vita universitaria non riuscivo a sentire Torino la mia casa, quando pensavo alla mia casa, pensavo alla Sicilia, alla mia famiglia e a tutti i miei affetti lasciati lontani. Pensavo di non farcela, che il carico di studio era eccessivo e che non avevo le giuste capacità per affrontare tanti anni di studi. Adesso se penso che è tutto finito, vorrei ricominciare dall'inizio. Affronterei tutto sicuramente con meno ansie, meno preoccupazioni e con più leggerezza, quella che trasmetto apparentemente ma che in realtà mi è sempre mancata. Devo ringraziare questa città e il Politecnico, per avermi aiutata a crescere e maturare, anche se ho ancora tanto da imparare. Qualche nuova consapevolezza, però, sono riuscita ad ottenerla. Ho appreso tanto, non solo dai libri ma anche dalle persone. Ho conosciuto tanta gente, alcuni di loro sono solo passati dalla mia stessa strada, altri si sono fermati e sono rimasti, altri ancora ci sono sempre stati e non se ne sono mai andati.

Arrivata alla fine di questo percorso sento il dovere di fare dei ringraziamenti sinceri.

Il primo fra tutti va al Prof. Marco Bassani, che ha seguito noi ragazzi del DIATI con tanta passione e dedizione, trasmettendoci il senso del dovere e la voglia di fare le cose bene.

Ai ragazzi del DIATI Alberto, Alessandra, Manuel, Antonio, Loredana e Gloria devo un grazie immenso per aver riempito di gioia le lunghe giornate chiusi dentro quel laboratorio, diventato ormai la nostra seconda casa. Grazie anche al Dottorando Abrar Hazoor, sempre gentile e pronto ad aiutarci.

Ringrazio inoltre tutti i miei amici più cari che sono stati sempre al mio fianco in questi anni e con i quali ho condiviso dei pezzi di vita qui a Torino. Ciccio, Sara, Antonio, Monica, Enrica e Salvuccio sono stati essenziali per me quando pensavo di fare le valigie e tornarmene a casa. Anche inconsapevolmente mi hanno spinto a non mollare regalandomi grandi momenti di felicità.

Ringrazio anche Martina e Stefania, che non hanno condiviso con me la vita a Torino, ma hanno fatto sentire la loro presenza anche a distanza.

Un grazie speciale va alla mia amica Emanuela. Lei è il mio porto sicuro quando torno giù in Sicilia. Con lei sono sicura di poter essere sempre me stessa, senza filtri e senza maschere.

Chi mi è stata più vicina in questi anni è sicuramente lei, la mia amica di una vita e quasi sorella acquisita, Giorgia. Con lei ho condiviso tutto, le gioie, le lacrime e anche le più grandi litigate. Ma senza di lei forse non avrei avuto nemmeno il coraggio di restare lontano da casa per così tanto tempo. Lei è una spalla sicura su cui appoggiarmi quando sto per cadere, so che ci sarà sempre, come io ci sarò sempre per lei.

Un grazie profondo e sincero lo devo al mio compagno di avventure Alberto. Con lui ho condiviso le lunghe giornate di studio, le ansie soffocanti prima degli esami e la gioia immensa dopo averli superati. Lui mi ha insegnato ad essere paziente e a ragionare di più prima di agire. Alberto è tra quelli che si è fermato ed è rimasto, e spero rimarrà per sempre nella mia vita.

Chi occupa il mio cuore da quasi dieci anni, credo proprio che necessiti di un ringraziamento speciale. Sebastiano mi ha sempre supportato e sopportato, anche quando io stessa non sarei riuscita a tollerarmi. Mi ha insegnato a riconoscere le persone sincere da quelle senza contenuti. Spesso mi prende in giro per i miei buffi modi di fare e mi fa arrabbiare come pochi sono riusciti fino ad ora, ma non potrei mai immaginare il mio futuro senza di lui. Ormai è parte di me e lo sarà per sempre, qualunque cosa accada.

Ringrazio i miei nonni materni e la mia nonna paterna, dalla quale ho preso il nome e anche il carattere. Le telefonate di nonna Giorgia mi riscaldano sempre il cuore e al contempo lo riempiono di malinconia per non poterle essere sempre vicino.

Se oggi, però, sono riuscita a raggiungere questo grande traguardo è in primis grazie alla mia famiglia. Mille grazie ai miei genitori, che mi hanno sostenuta non solo economicamente ma soprattutto emotivamente dandomi sempre la forza per andare avanti. Nonostante ogni viaggio verso l'aeroporto era sempre una grande tristezza, mi hanno detto di essere tenace e di non fermarmi alle prime difficoltà. Loro mi hanno insegnato che ciò che distingue una persona dall'altra non è ciò che ci viene dato, ma la capacità di valorizzare al meglio ciò che si ha.

Infine, ringrazio le mie due sorelline Lucrezia e Giuliana, le mie certezze più grandi, che amo profondamente. Essendo la sorella più grande, ho cercato spesso di essere un esempio per loro, anche se a volte sono state loro due a farmi da sorelle maggiori.

L'amore per la mia famiglia è stato il motore che mi ha spinto a dare sempre il meglio, affinché potessi essere il loro orgoglio più grande.

# SOMMARIO

**RIASSUNTO** ..... **V**

**ABSTRACT** ..... **VII**

**1. INTRODUZIONE** ..... **1**

1.1 LETTERATURA SCIENTIFICA DI RIFERIMENTO ..... 1

1.2 OBIETTIVI DELLO STUDIO ..... 4

**2. ATTIVITA' SPERIMENTALE** ..... **7**

2.1 SIMULATORE DI GUIDA ..... 7

2.2 FATTORI DELL'ESPERIMENTO ..... 9

*2.2.1 Segnaletica orizzontale* ..... *9*

*2.2.2 Condizioni di traffico* ..... *11*

*2.2.3 Condizioni di luce* ..... *12*

2.3 COSTRUZIONE DEL TRACCIATO ..... 12

*2.3.1 Parametri geometrici* ..... *14*

*2.3.2 Lunghezze corsie di immissione e diversione* ..... *15*

2.4 PROGETTO DELL'ESPERIMENTO ..... 15

2.5 COSTRUZIONE DELLO SCENARIO IN SCANERSTUDIO™ ..... 19

*2.5.1 Segnaletica verticale* ..... *20*

*2.5.2 Informazioni* ..... *20*

*2.5.3 Barriere di sicurezza* ..... *20*

*2.5.4 Delineatori di margine* ..... *21*

*2.5.5 Flusso di traffico* ..... *21*

*2.5.6 Veicolo guidato dal test driver* ..... *22*

*2.5.7 Condizioni di illuminamento* ..... *22*

2.6 CAMPIONE DI GUIDATORI ..... 22

2.7 ESPERIMENTO ..... 24

2.8 VARIABILI DIPENDENTI ..... 26

*2.8.1 Sezioni di interesse per l'analisi dei dati* ..... *27*

**3. RISULTATI E ANALISI** ..... **31**

3.1 TEST COGNITIVI ..... 31

3.2 RISULTATI DEL TEST KS ..... 34

3.3 ANALISI SU RAMPE E TERMINALI DI IMMISSIONE E DIVERSIONE ..... 36
*3.3.1 Rampe di immissione con terminale continuo* ..... *37*
3.3.1.1 Comportamento longitudinale: analisi delle velocità ..... 38
3.3.1.2 Comportamento trasversale: analisi delle traiettorie ..... 41
*3.3.2 Rampe di immissione con terminale inflesso* ..... *46*
3.3.2.1 Comportamento longitudinale: analisi delle velocità ..... 47
3.3.2.2 Comportamento trasversale: analisi delle traiettorie ..... 50
*3.3.3 Rampe di diversione con terminale continuo* ..... *54*
3.3.3.1 Comportamento longitudinale: analisi delle velocità ..... 55
3.3.3.2 Comportamento trasversale: analisi delle traiettorie ..... 58
*3.3.4 Rampe di diversione con terminale inflesso* ..... *62*
3.3.4.1 Comportamento longitudinale: analisi delle velocità ..... 63
3.3.4.2 Comportamento trasversale: analisi delle traiettorie ..... 66

**4. CONCLUSIONI ..... 71**

**RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI ..... 75**

**Elenco delle figure ..... 78**

**Elenco delle tabelle ..... 81**

**ALLEGATI ..... 85**

A. CALCOLO DEL FLUSSO DI TRAFFICO ..... 85
B. PARAMETRI GEOMETRICI ..... 86
C. PROGETTO DELLE CORSIE DI ACCELERAZIONE E DECELERAZIONE ..... 91
D. RIPARTIZIONE DEI FATTORI VARIABILI DELL'ESPERIMENTO ..... 95
E. STUDIO CONOSCITIVO DEL CAMPIONE ..... 99
F. ELENCO E CARATTERISTICHE DEI GUIDATORI ..... 101
G. LETTERA DI INVITO ..... 102
H. QUESTIONARIO PRE-GUIDA ..... 105
I. QUESTIONARIO POST-GUIDA ..... 106
J. RISULTATI POST SIMULAZIONE ..... 112
K. MODULO PER TEST COGNITIVI ..... 116
L. CODICE MATLAB ..... 117
M. METODO DI KOLMOGOROV E SMIRNOV ..... 122
N. ANALISI SUGLI AGHI DI MANOVRA ..... 131

# RIASSUNTO

**Introduzione.** La segnaletica orizzontale delimita le corsie destinate al transito dei veicoli e indirizza l'utenza a seguire delle traiettorie ordinate. Tali funzioni sono ancor più rilevanti laddove il guidatore è chiamato a variare in modo significativo la propria velocità e la traiettoria, come nell'ingresso o nell'uscita dai terminali delle rampe autostradali, specie in quelli localizzati lungo tratti curvi. In questi casi, per contrastare gli eccessi di velocità o gli errori di impostazione della traiettoria, si può ricorrere all'impiego di *contromisure percettive.* Esse inducono una maggiore percezione del rischio e stimolano il guidatore nell'assumere comportamenti più prudenti. La segnaletica orizzontale può svolgere il ruolo di contromisura percettiva, poiché influenza la percezione della larghezza della corsia e della velocità a livello implicito o inconscio.

L'uso di una segnaletica stradale alternativa a quella tradizionale può migliorare la capacità di controllo del conducente e, conseguentemente, garantire migliori condizioni di sicurezza per la circolazione

**Obiettivi.** La tesi illustra lo studio sperimentale finalizzato a valutare l'efficacia di due tipi di segnaletica orizzontale innovativa lungo rampe e terminali di decelerazione e di accelerazione in tratti autostradali curvi. La ricerca mira a comprendere le reazioni comportamentali dell'utenza a una segnaletica orizzontale non tradizionale in condizioni di moto non stazionarie per velocità e posizione nella sezione trasversale.

**Metodologia.** L'indagine di tipo sperimentale ha previsto l'impiego del simulatore di guida del DIATI (Politecnico di Torino). È stato coinvolto un campione di 48 guidatori, stratificato in classi di età e genere, rappresentativo della popolazione italiana. Le guide sono state eseguite allo scopo di raccogliere dati sul comportamento longitudinale (media e deviazione standard della velocità) e trasversale (media e deviazione standard dello spostamento laterale dal centro della corsia). Ogni *test driver* ha guidato su rampe di immissione e diversione di tre diversi circuiti, assegnati in modo casuale, lungo le quali sono state combinate le variabili di input dell'esperimento: segnaletica orizzontale (ordinaria S1, a bande interne S2, con zebratura esterna S3); condizioni di illuminamento (giorno e notte); livelli di traffico (libero e condizionato), per un totale di $3 \times 2 \times 2 = 12$ combinazioni.

**Risultati.** La segnaletica S2 induce l'utenza a controllare meglio la velocità e la traiettoria. Ciò vale soprattutto per le rampe di diversione in condizioni diurne, in cui le medie delle velocità (MV≃75 km/h) e le medie dello spostamento laterale (MLg≃-0,12 m) risultano minori rispetto ai valori associati alla segnaletica S1 (MV≃90 km/h; MLg≃-0,45 m). La segnaletica alternativa (S2 ed S3) ha permesso all'utenza di mantenere un miglior controllo del veicolo lungo le rampe di diversione che presentano la stessa curvatura dell'asse autostradale e lungo quelle di immissione con curvatura sinistrorsa, evidenziando delle differenze statisticamente significative con la segnaletica S1 soprattutto nello scenario notturno (**Udx**|S1-(S2+S3): $F(11,23)=3.751$, $p=0.0036$; $t(34)=1.937$, $p=0.51$); (**Isx**|S1-S2: $F(11,11)=3.645$, $p=0,0210$; $t(17)=2.066$, $p=0.054$).

**Conclusioni e ricerche future.** L'indagine ha dimostrato che l'uso della segnaletica S2 consente di migliorare le prestazioni del guidatore e, conseguentemente, il livello di sicurezza della circolazione. Ulteriori studi potrebbero essere condotti sull'effetto combinato della segnaletica e delle barriere di sicurezza lungo le rampe. La generalizzazione dei risultati potrebbe avvenire anche considerando un traffico di veicoli in ingresso e uscita dalle stesse rampe.

# ABSTRACT

**Introduction.** Road markings delimit the lanes intended for the transit of vehicles and to direct users to follow ordered path. These functions are of particular importance where the driver is required to vary significantly speed and trajectory. The new types of horizontal markings, introduced to contrast speeding, are called perceptual countermeasures. The perception of increased speed leads to a greater hazard perception and, therefore, to a more prudent behaviour. In addition, road markings influence the perception of lane width at an implicit or unconscious level, called perceptual processing. Therefore, to better support the driver's tasks, the use of alternative road markings could improve the driver's ability in speed and trajectory control and, consequently, ensure adequate safe traffic conditions.

**Research question.** The thesis presents a study on the effectiveness of two types of innovative horizontal markings along deceleration and acceleration terminals and related ramps in curved motorway sections. The research aims at filling the gap in knowledge related to the understanding of the behavioural phenomena in non-stationary conditions both for speed and lateral position in the cross section.

**Methodology.** The experimental investigation was carried out using the fixed base driving simulator of DIATI (Politecnico di Torino). A sample of 48 test drivers, representative of the Italian population of drivers, was stratified in age and gender classes and involved on a voluntary basis in the experiments. The drives were performed to collect longitudinal (average and standard deviation of speed) and transversal (average and standard deviation of the lateral displacement from the centre of the lane) behavioural data. Each test driver drove along randomly assigned on- and off-ramps of three different circuits where the input variables of the experiment were combined: horizontal signs (ordinary S1, with internal bands S2, with external zebra stripes S3); lighting conditions (day and night); levels of traffic (free and conditioned), for a total of 3 x 2 x 2 = 12 combinations.

**Results.** The horizontal markings S2 induces the user to a better speed and trajectory control. This is especially true for diversion ramps in daytime conditions, where the averages of speeds (MV≃75 km/h) and the averages of lane gap (MLg≃-0,12 m) were lower than the values associated with ordinary markings (MV≃90 km/h ; MLg≃-0,45 m). This type of alternative marking allows users to maintain better control of the vehicle along diversion ramps that shows the same curvature as the motorway and along merging ramps that have an inflection, highlighting significant differences with S1, especially in the night-time scenario (**Udx**|S1-(S2+S3): $F(11,23)=3.751$, $p=0.0036$; $t(34)=1.937$, $p=0.51$); (**Isx**|S1-S2: $F(11,11)=3.645$, $p=0,0210$; $t(17)=2.066$, $p=0.054$).

**Conclusions and future research.** The investigation has shown that, between the two innovative signs, the use of S2 markings, compared to S1, allows improvements in road safety level thanks to the better vehicle control of drivers. Further studies could be conducted by analysing the combined effect of markings in the presence of safety barriers along the ramps. The generalization of the results must consider the traffic entering and exiting the same ramps.

# 1. INTRODUZIONE

La segnaletica orizzontale ha un ruolo fondamentale nella circolazione stradale, poiché delimita gli spazi destinati alle diverse categorie di traffico e allinea le utenze obbligandole a seguire delle traiettorie ordinate e comuni. Essa trasferisce all'utenza le regole relative alle modalità di interazione; ne sono un esempio le strisce per gli attraversamenti pedonali, le linee continue di attestazione dei veicoli, le linee di delimitazione tra le corsie dove è consentito il cambio di corsia, ecc. La segnaletica orizzontale è apposta sulla superficie stradale attraverso strisce, simboli e numeri che permettono di informare gli utenti sulle prescrizioni da osservare. Al fine di evitare ogni confusione, la segnaletica deve essere riconoscibile e interpretabile. Per queste ragioni, i segnali stradali sono codificati dalle norme dei codici stradali dei diversi paesi.

Laddove il guidatore è chiamato a variare in modo significativo la propria velocità e la traiettoria, nasce la necessità di sperimentare soluzioni innovative capaci di migliorare il comportamento dei guidatori, al fine di garantire adeguate condizioni di sicurezza per la circolazione.

## 1.1 Letteratura scientifica di riferimento

Nel corso degli anni sono stati sperimentati nuovi tipi di segnaletica stradale, che agiscono come vere e proprie *contromisure percettive,* capaci di indurre cambiamenti nei comportamenti dei conducenti in luoghi specifici (Denton, 1980); (Godley, et al., 1999). La maggior parte di queste segnaletiche è stata sperimentata e impiegata per ridurre la velocità in corrispondenza di incroci o curve (Charlton, 2007). La riduzione delle velocità si deve alla capacità di fornire una migliore percezione della velocità. Questo tipo di azione contribuisce a rendere le *strade auto-esplicative*, ossia in grado di trasmettere a livello percettivo informazioni utili a

discriminare facilmente i diversi tipi di strada e, di conseguenza, scegliere la velocità più adeguata (Charlton, et al., 2010).

Oltre a influenzare la percezione della velocità, la segnaletica orizzontale può anche influenzare la percezione della larghezza della corsia a livello inconscio (*elaborazione percettiva*) (Montella, et al., 2011); (Charlton , et al., 2017). La riduzione percettiva della larghezza della corsia avviene dipingendo bande sul manto stradale (Godley, et al., 2004) o delimitando la larghezza disponibile con l'uso di strisce rumorose sul bordo della carreggiata (Zaidel, et al., 1986).

Le contromisure percettive sono progettate per aumentare la sensazione di velocità dei conducenti. La percezione di una maggiore velocità, per contro, comporta un maggiore senso di pericolo (percezione del rischio) e quindi una condotta più prudente del conducente (Fildes, et al., 1993) per il cosiddetto principio di conservazione del rischio (Wilde, 1998).

Uno studio recente sul contributo della segnaletica orizzontale come elemento per aumentare la sicurezza è stato effettuato da Charlton, et al. (2018). In questo studio è stato utilizzato un simulatore di guida per confrontare gli effetti comportamentali di due tipi di segnaletica orizzontale sperimentale (Figura 1): una prima di tipo *attenzionale*, progettata per fornire spunti visivamente distinti per indicare i limiti di velocità di 60, 80 e 100 km/h, e una seconda di tipo *percettivo* progettata invece per influenzare la percezione della velocità, rispetto a un set di segnaletica standard. I partecipanti (n=20 per gruppo) sono stati assegnati a uno dei quattro gruppi sperimentali (Attenzionale-esplicito, Attenzionale-implicito, Percettivo-esplicito, Percettivo-implicito) oltre al un gruppo di controllo (n=22; segnaletica orizzontale standard). I partecipanti dei gruppi Attenzionale-esplicito e Percettivo-esplicito sono stati istruiti sul significato dei segnali stradali, mentre quelli dei gruppi Attenzionale-implicito, Percettivo-implicito e il gruppo di controllo non hanno ricevuto alcuna spiegazione. I risultati hanno indicato che sia la segnaletica sperimentale di tipo *attenzionale* che quella di tipo *percettivo* hanno migliorato il comportamento dei conducenti, dando loro l'input per ridurre la velocità, rispetto al gruppo di controllo, ma per ottenere il massimo beneficio erano necessarie istruzioni esplicite sul significato dei segni sulla strada.

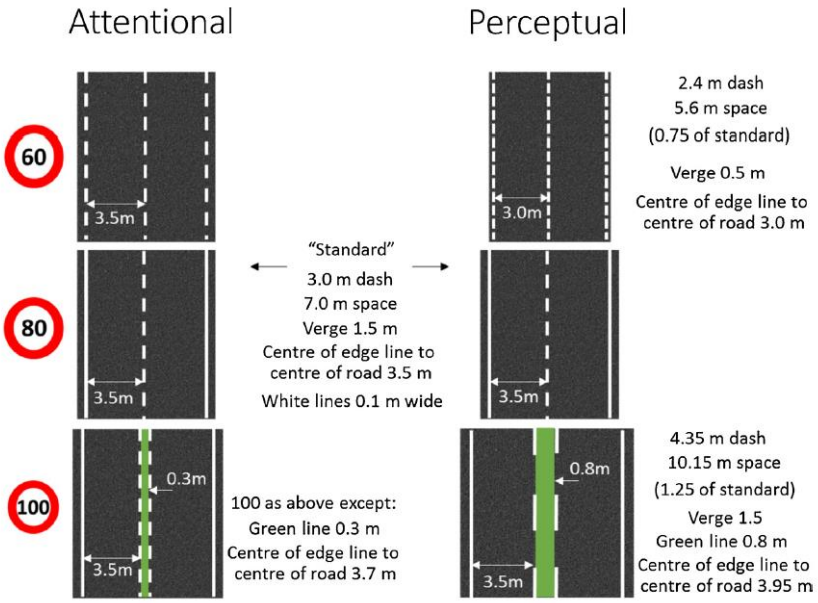



***Figura 1"Attentional" & "Perceptual" markings; (Charlton, et al., 2018)***

Altri studi sull'utilizzo della segnaletica orizzontale come mezzo per aumentare la sicurezza su strada, è stato condotto da Hunter et al. (2010). L'obiettivo dello studio era di utilizzare una segnaletica alternativa sulle rampe autostradali come mezzo per ridurre la velocità e migliorare le prestazioni di sicurezza. Questo studio di tipo osservazionale fu condotto attraverso il monitoraggio del comportamento degli utenti in campo. L'analisi si basò sul confronto statistico delle velocità degli utenti prima e dopo la collocazione della segnaletica sulla rampa. Fu osservata una sensibile riduzione delle velocità nel periodo successivo all'applicazione della segnaletica orizzontale. Tuttavia, dopo l'introduzione della segnaletica, l'entità di tale effetto diminuì sensibilmente, ciò a causa dello sviluppo di una certa familiarità con la nuova situazione.

Ding et al. (2013) hanno investigato l'effetto prodotto da una segnaletica orizzontale speciale (in inglese, *speed reduction markings* - SRM). Lo scopo era di creare una segnaletica che avvertisse i conducenti della necessità di ridurre la propria velocità, soprattutto dove essi avrebbero dovuto frenare in anticipo (ad esempio in corrispondenza di curve o gallerie). Gli scenari sperimentali (Figura 2) furono somministrati a un campione omogeneo di guidatori attraverso un simulatore di guida. I risultati dell'esperimento confermarono che gli SRM producono l'effetto desiderato.

***Figura 2 Immagini relative agli scenari sperimentati in (Ding, et al., 2013): segnaletica ordinaria (No SRMs), segnaletica speciale longitudinale (LSRMs), e segnaletica speciale trasversale (TSRMs).***

In particolare, effetti diversi vennero osservati per le due tipologie di segnaletica speciale considerata: i *transverse speed reduction markings* (TSRM), costituiti da strisce disposte trasversalmente al senso di marcia, e i *longitudinal speed reduction markings* (LSRM), costituiti da bande interne al margine della corsia a distanza costante. La prima indusse una riduzione di velocità operativa significativamente superiore a quella indotta dalla seconda ($P<0,05$). Infatti, per i NoSRM e per i LSRM la media delle velocità fu di circa 120 km/h, mentre per i TSRM la media delle velocità fu pari a circa 80 km/h.

## 1.2 Obiettivi dello studio

Lo scopo di questo lavoro di tesi è di valutare gli effetti operativi e comportamentali di una segnaletica orizzontale innovativa su rampe autostradali in curva. Lo studio ha previsto la misura dei comportamenti dei guidatori nella guida su due diverse tipologie di segnaletica innovativa e, a titolo di confronto, anche nel caso di segnaletica ordinaria (il riferimento sperimentale).

Sui terminali delle rampe di ingresso e uscita, il guidatore cambia drasticamente la propria velocità per adattarla a nuove condizioni geometriche e operative. Nell'esperimento, sono state considerate rampe e terminali in tratti curvilinei. Considerando i terminali curvi, oltre alla riduzione della velocità il guidatore attua un cambio di traiettoria che richiede un maggiore grado di controllo del veicolo. In questi tratti le manovre di diversione e immissione necessitano di un maggior controllo per evitare la collisione con installazioni fisse e con gli altri veicoli nell'intorno. L'ipotesi dell'esperimento è che, con l'uso di questa segnaletica, si incrementi la percezione della velocità e della limitatezza dello spazio stradale disponibile, e che ciò possa indurre il guidatore ad assumere un atteggiamento più prudente per quanto concerne la scelta della velocità, e un maggior controllo della traiettoria del veicolo.

Queste tecniche percettive sono già utilizzate in altri contesti, come ad esempio nelle sale giochi e nei parchi divertimento, dove la comparsa di luci con una frequenza costante, inizialmente, e più rapidamente man mano che la corsa accelera, amplifica la sensazione di movimento (Meyer, 2001). Nel 1975, Rutley intuì che la percezione della velocità si basa sulla rapidità con cui gli oggetti posti lateralmente alla strada si muovono nel campo di visione periferica. Ne deriva che se la segnaletica orizzontale fosse distanziata in modo decrescente sulla strada, gli automobilisti percepirebbero un'accelerazione che compenseranno rallentando. Oltre ad agire sulla percezione della velocità, la segnaletica può anche agire sulla percezione dello spazio entro cui muoversi, e quindi indurre un'azione compensativa sulla traiettoria del veicolo condotto.

Questa ricerca colma il vuoto di conoscenza presente nella letteratura scientifica di settore. In essa, infatti, gli studi relativi all'analisi del comportamento nei terminali di rampa curvi sono assai limitati e, oltretutto, datati nel tempo. Al riguardo si segnalano gli studi di Colonna e Delcarmine (1997) sul tema della progettazione geometrica dei terminali in curva.

La presente indagine considera elementi della sede stradale in cui i veicoli operano in condizioni fortemente non-stazionarie: oltre a un cambio di corsia, ai guidatori si chiede anche un significativo cambio di velocità. L'analisi considera tra i fattori dell'esperimento anche l'illuminamento ambientale e l'intensità del traffico nella sola carreggiata autostradale.

Il comportamento del guidatore è stato valutato al simulatore di guida. Nel settore della ricerca, i simulatori consentono di raccogliere dati sperimentali che, con studi osservazionali di tipo naturalistico, sarebbero difficili, se non impossibili, da ottenere. Nell'osservazione su strada, inoltre, sarebbe impossibile garantire le medesime condizioni di stato delle variabili indipendenti (tra tutte le condizioni di luce e di traffico) per tutti i partecipanti all'esperimento. Inoltre, contrariamente all'ambiente reale, l'ambiente simulato mette i guidatori in condizioni di totale sicurezza.

Il manoscritto è strutturato nel seguente modo:

- il capitolo 2 presenta l'attività sperimentale, gli strumenti adottati e la metodologia utilizzata per la costruzione del campione e per la realizzazione del tracciato; in esso si descrivono i fattori considerati per il progetto dell'esperimento e i metodi di elaborazione dei dati;

- il capitolo 3 riporta i risultati dell'elaborazione dei dati, con analisi finalizzate a comprendere gli effetti prodotti dai fattori dell'esperimento;
- il capitolo 4 sintetizza le conclusioni del lavoro.

# 2. ATTIVITA' SPERIMENTALE

Questo capitolo descrive le caratteristiche del simulatore di guida impiegato nella fase sperimentale dell'attività di ricerca. Inoltre, sono presentate le procedure per stabilire la numerosità del campione e le caratteristiche dei guidatori. Una parte del capitolo è dedicata alla descrizione dei fattori dell'esperimento, al progetto del tracciato e al protocollo sperimentale. Infine, è illustrato il metodo di estrazione ed elaborazione dei dati raccolti.

## 2.1 Simulatore di guida

Il simulatore di guida è prodotto dall'azienda francese *AV Simulation* (Oktal) che costruisce simulatori di veicoli stradali, ferroviari e aeromobili. Il simulatore del DIATI, presenta una postazione di guida che rispecchia le caratteristiche di un'automobile (Figura 3).

Il laboratorio è dotato di una tenda oscurante e di pareti nere. Negli esperimenti, l'ambiente è stato oscurato per non rendere visibili parti fisse in uno scenario stradale in movimento. In base ad uno studio preliminare allo stesso simulatore, la visione di elementi fissi può ingenerare nei guidatori effetti di malessere (*simulator sickness*) (Carle, et al., 2016).

***Figura 3 Simulatore di guida, DIATI (Politecnico di Torino)***

Il simulatore è formato da parti hardware e un software. L'hardware è costituito da: volante (cui sono collegati i comandi per l'azionamento di luci, indicatori di direzione e tergicristalli), sedile (con schienale e seduta regolabili), pedali (frizione, freno e acceleratore), cambio (sette marce e retromarcia), comandi secondari (accensione, clacson e freno di stazionamento), tre schermi frontali (Samsung 32" LED/LCD Full HD, che forniscono una visione a 130°, con gli schermi laterali inclinati di 25° rispetto a quello centrale), uno schermo ausiliario (di 12" posizionato dietro il volante con visualizzati il tachimetro, il contagiri e la marcia inserita), e un impianto audio. L'hardware del simulatore di guida è controllato da tre computer: il *superior* che gestisce il software di simulazione (Intel Xeon E5-1620 v2 con processore 3.70 GHz con scheda grafica NVIDIA GTX 780 Ti, RAM da 8 GB e un Hard Disk da 512 GB); il *visual* che riproduce nei tre schermi lo scenario di progetto (Intel Xeon E5-1620 v3 con processore di 3.50 GHz, con scheda grafica NVIDIA GTX 780 Ti, RAM da 8 GB e un Hard Disk da 512 GB); il VR che riproduce lo scenario nel sistema di Virtual Reality (Intel Xeon E5-1620 v4 con processore 3.50 GHz, con scheda NVIDIA GTX 780 Ti, RAM da 32 GB e un Hard Disck da 512 GB).

SCANeR studio è il software utilizzato per la gestione del sistema e si avvale di cinque modalità: *Terrain*, *Vehicle*, *Scenario*, *Simulation* e *Analysis*. La modalità *Terrain* permette di costruire il tracciato stradale dal punto di vista geometrico (profilo altimetrico, planimetrico e sezioni del tracciato). Con la modalità *Vehicle* è possibile importare o modificare le caratteristiche del veicolo utilizzato durante la simulazione. Con la modalità *Scenario* si modella l'ambiente stradale inserendo il traffico di veicoli autonomi, si definiscono le condizioni meteorologiche, le condizioni di luce e gli oggetti (es., edifici, attrezzature stradali ed altro). Attraverso il codice è possibile dare ai veicoli autonomi indicazioni sull'itinerario da

seguire. La modalità *Simulation* permette di avviare la simulazione e con la modalità *Analysis* si raccolgono i dati degli esperimenti di simulazione in formato *comma-separated values* (csv). Il software registra in continuo, dati di velocità e posizione del veicolo con un tempo di campionamento di 0,1 secondi (10 Hz).

## 2.2 Fattori dell'esperimento

I fattori controllati (o variabili indipendenti) dell'esperimento sono: (i) la segnaletica orizzontale, (ii) le condizioni di flusso e (iii) le condizioni di illuminamento ambientale.

### 2.2.1 Segnaletica orizzontale

La segnaletica orizzontale ordinaria denominata S1 (Figura 4) è stata posta a confronto con due tipi di segnaletica alternativa di cui alla Figura 5. Lo studio degli effetti prodotti da questo fattore rappresentano il cuore del piano sperimentale di questo studio.

La segnaletica S2 (Figura 5a) è costituita da bande intervallate disposte all'interno della corsia e agisce sulla percezione trasversale della corsia. Essa si allarga avanzando nei tratti di decelerazione, e si stringe progressivamente nei tratti di accelerazione, riducendo e allargando la percezione dello spazio disponibile. Questa segnaletica possiede bande di larghezza variabile secondo lo schema di Figura 6.

La segnaletica S3 (Figura 5b) è costituita da zebrature con spaziatura variabile, esterne alla corsia, e agisce sul campo periferico della visione in quanto è collocata oltre la linea continua di margine della carreggiata. Per accrescere in fase di decelerazione, e ridurre in fase di accelerazione la percezione della velocità, questo tipo di segnaletica alternativa presenta la spaziatura indicata in Figura 6.

***Figura 4 segnaletica ordinaria, immagine dal software SCANeR™studio***

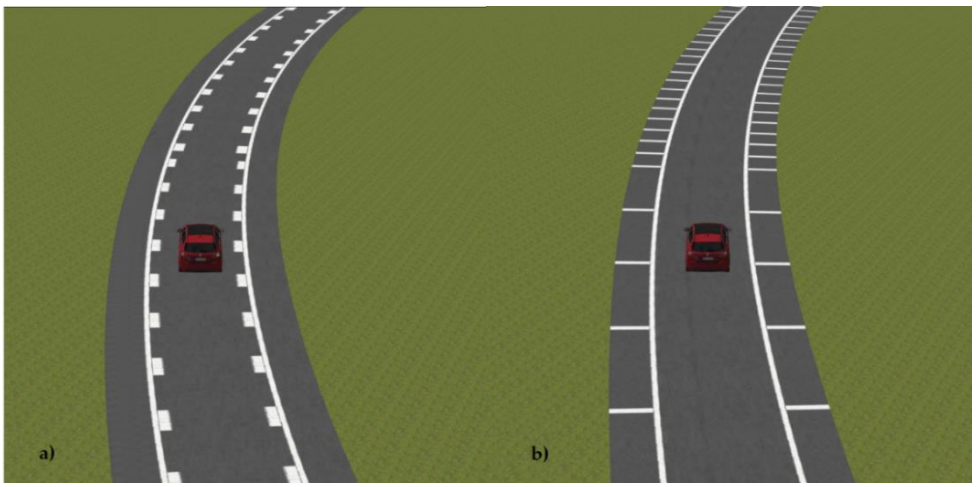



*Figura 5 a) segnaletica a bande interne S2 – b) segnaletica con zebratura esterna S3, per rampe di diversione*

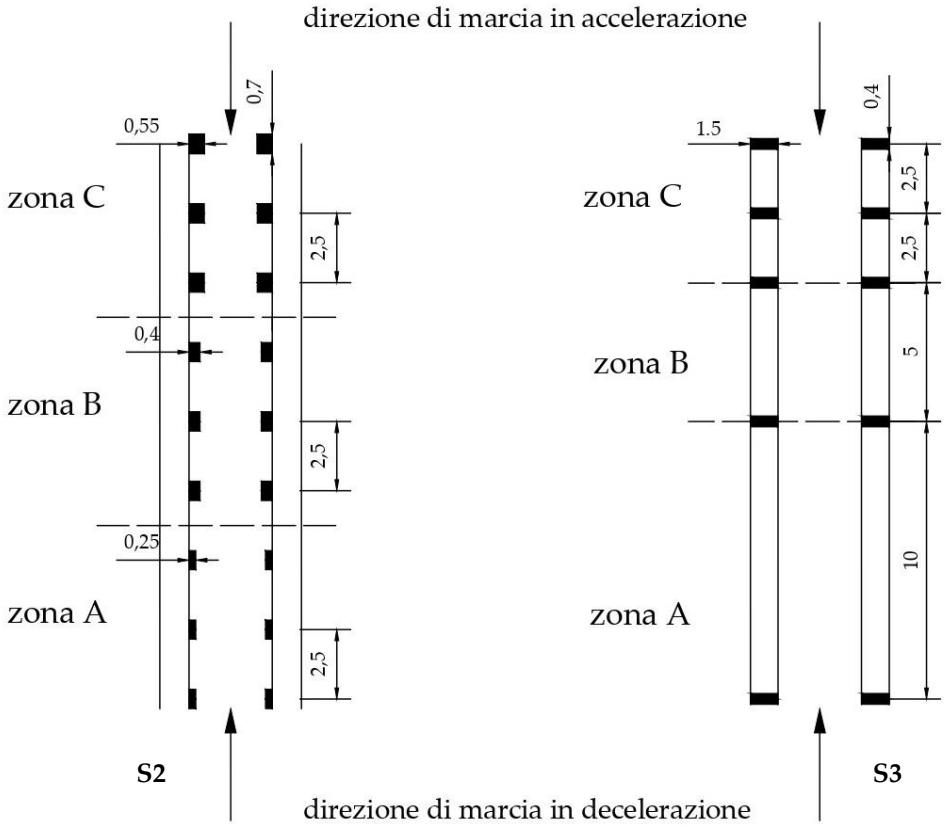



*Figura 6 Dettagli sul dimensionamento della segnaletica S2 e S3*

Le segnaletiche S2 e S3 presentano pertanto caratteristiche geometriche invertite in base alla direzione di marcia. La S2 in fase di decelerazione aumenta di dimensione allo scopo di ridurre progressivamente, in termini percettivi, la larghezza della corsia (Montella, et al., 2011); (Charlton , et al., 2017). Ciò avviene aumentando la larghezza delle bande, dando loro un interspazio costante (2,5 m). L'ipotesi di questo esperimento è che questo tipo di segnaletica possa non solo indurre un maggior controllo della velocità, ma anche della traiettoria. In

accelerazione, la segnaletica S2 presenta uno schema invertito. I guidatori percepiscono un progressivo allargamento della corsia che potrebbe produrre un minor condizionamento e quindi un più efficace incremento di velocità. Questo effetto è da considerarsi vantaggioso per la circolazione poiché favorirebbe l'immissione in autostrada a velocità più vicine a quelle del flusso principale, riducendo così l'effetto perturbativo prodotto da nuove entità che si immettono a velocità inferiori in un flusso stazionario di veicoli (HCM, 2010).

La segnaletica S3 nel terminale di decelerazione, presenta una spaziatura progressivamente ridotta. Il conducente, in questo modo, avrà la percezione di una maggiore velocità inadeguata rispetto a quella che dovrebbe possedere lungo la rampa. Di conseguenza, egli tenderà a ridurre (compensare) il rischio percepito (Fildes, et al., 1993). Viceversa, nel terminale di accelerazione, la segnaletica S3 dovrebbe accrescere l'illusione che si stia viaggiando a una velocità più bassa del necessario per immettersi. Il conducente, quindi, sarebbe indotto a reagire aumentando la velocità per raggiungere i valori prossimi a quelli del flusso in movimento lungo la corsia autostradale.

Le due segnaletiche alternative S2 e S3 non erano disponibili tra le tipologie di segnaletica orizzontale offerte dal software. Sono state pertanto realizzate con l'utilizzo di programmi di computer grafica e successivamente importati in formato *jpg* in SCANeR™studio. La segnaletica è stata disposta su ogni rampa in diverse zone (v. zona A, zona B, zona C) come illustrato in Figura 6.

### 2.2.2 Condizioni di traffico

Il secondo fattore dell'esperimento è il flusso di traffico nella sede autostradale. Il traffico è un elemento condizionante il comportamento dell'utenza che regola la propria velocità e traiettoria in funzione della densità di veicoli nel suo intorno e dal livello di conflittualità nella sede stradale (HCM, 2010). In questo esperimento sono state considerate le medesime condizioni di deflusso adottate da Calvi et al. (2012). I livelli di servizio (in inglese *level of service*, LOS) considerati sono A e C, ciò allo scopo di confrontare i risultati di questo esperimento con quelli in letteratura.

Nello specifico sono stati considerate (i) condizioni di traffico elevato, con flusso di 3000 veh/h e distanza tra i veicoli di 40 m, e (ii) condizioni di basso traffico, con flusso di 1000 veh/h e distanza tra i veicoli di 120 m. I volumi di traffico corrispondenti a densità diverse sono stati ottenuti attraverso l'equazione fondamentale:

$$D = \frac{V_p}{S}$$

dove D è la *densità di traffico* in [veh/km], $V_p$ il *flusso di traffico* in [veh/h], e S la *velocità* in [km/h]. In **Allegato A** si riportano i calcoli eseguiti.

### 2.2.3 Condizioni di luce

I *test drivers* sono stati sottoposti a condizioni di guida diurna (Figura 7) e notturna (Figura 8). Questa variabile può risultare determinante nel controllo della velocità e della traiettoria, in quanto la minore visibilità potrebbe essere di ostacolo alla percezione della segnaletica. Le due condizioni sono state controllate fissando nel software due diversi momenti della giornata.

## 2.3 Costruzione del tracciato

Il tracciato dell'esperimento è stato progettato in modo da garantire caratteristiche favorevoli alla combinazione dei fattori di interesse.

*Figura 7 Scenario diurno*

*Figura 8 Scenario notturno*

L'elemento di studio sono le rampe autostradali. Esse sono state inserite come elemento di passaggio da una strada extraurbana di Cat. C a un'autostrada e viceversa, con rampe dirette monodirezionali di ingresso e di uscita. Per poter realizzare entrambe come parte di un circuito, si è optato per la costruzione di un anello chiuso in cui fossero presenti quattro svincoli tra due assi stradali di Cat. A e due di Cat. C. Il circuito chiuso ha inoltre consentito un miglior sfruttamento del modello del terreno generato, minimizzando la dimensione del database. Modelli di dimensione eccessiva inducono processi di calcolo più lunghi, con il risultato di rallentare la simulazione e ridurre la verosimiglianza della guida simulata. Questi inconvenienti sono stati evitati negli esperimenti condotti in questo studio.

I terminali di rampa seguono esattamente la curvatura dell'autostrada, destrorsa per le curve $I_{dx}$ e $U_{dx}$ e sinistrorsa per le curve $I_{sx}$ e $U_{sx}$ nello schema di Figura 9. Il raggio autostradale ($R_a$ = 964 m) e il raggio di curvatura delle rampe ($R_r$ =150 m) sono fattori costanti dell'esperimento. L'intero tracciato si sviluppa in assenza di pendenza longitudinale.

Il circuito presenta due tratti autostradali di lunghezza 2500 m e 1000 m. Come detto, sono inoltre presenti due tratti di strada di Cat C di lunghezza circa pari ad 800 m. Questi tratti in rettilineo collegano le quattro rampe e rendono lo scenario sufficientemente realistico.

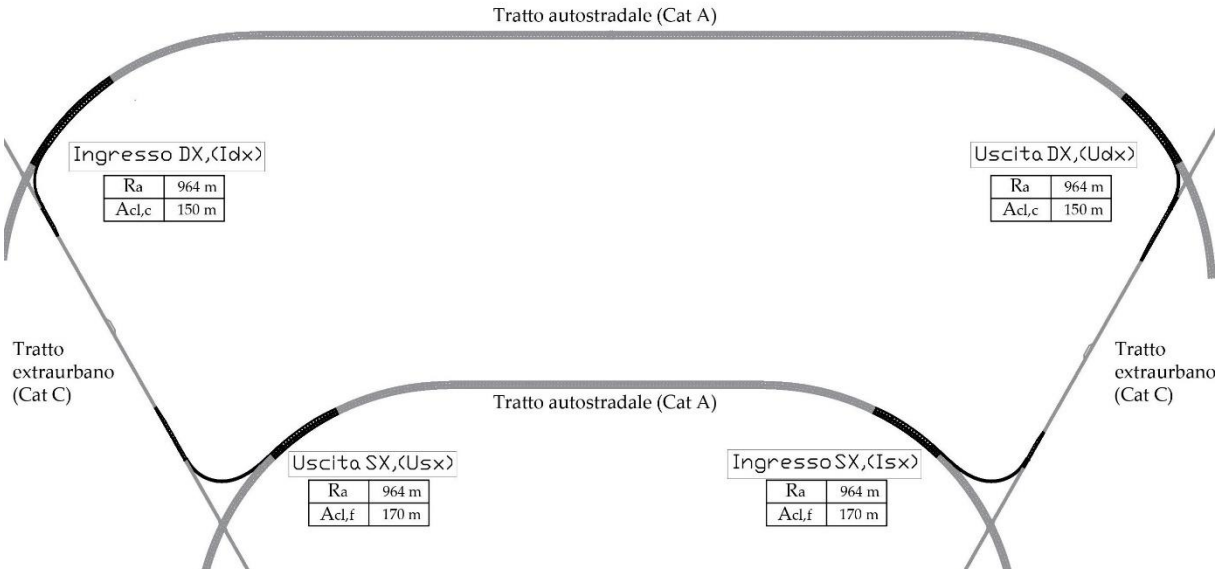



***Figura 9 Tracciato dell'esperimento***
***Acl,c = fattore di scala per la clotoide di continuità \| Acl, f = fattore di scale per la clotoide di flesso***

### 2.3.1 Parametri geometrici

Il circuito è stato progettato in ambiente AutoCad 2020 secondo le regole di progettazione stradale dettate dal DM del 5 Novembre 2001 "*Norme funzionali e geometriche per la costruzione di strade*". La strada di Cat A (autostrada) è stata progettata per una velocità di progetto ($v_p$) di 140 km/h. La sezione trasversale dell'autostrada si compone di quattro corsie, due per senso di marcia (Figura 10a). La strada di Cat. C (extraurbana secondaria) è stata progettata per una velocità di 100 km/h. La sezione trasversale della strada di Cat. C presenta due corsie, una per senso di marcia (Figura 10b).

Il progetto delle rampe autostradali è stato eseguito secondo le prescrizioni del D.M. del 19 Aprile 2006 "*Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle intersezioni stradali*". La sezione trasversale delle rampe prevede una sola corsia di larghezza 4 m con banchina a destra e sinistra di 1 m. Impostando una velocità di progetto sulla rampa pari a 60 km/h, il raggio planimetrico è stato scelto pari a 150 m. In Tabella 1 sono riassunte le caratteristiche principali della rampa. L'**Allegato B** contiene la sintesi dei valori dei parametri geometrici delle clotoidi di transizione, continuità e flesso considerate in questo esperimento.

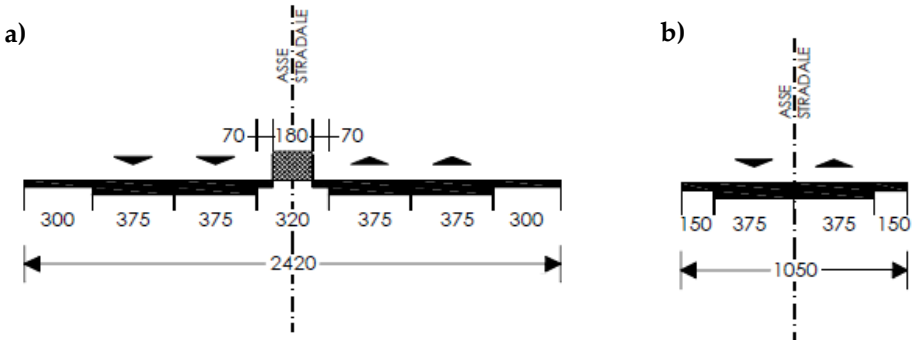



***Figura 10 a) Sezione strada di Cat A \ b) Sezione strada di Cat C (D.M., 5/11/01)***

***Tabella 1 Parametri scelti per il progetto delle rampe***

| | |
|---|---|
| **Larghezza corsia [m]** | 4 |
| **Larghezza banchina dx [m]** | 1 |
| **Larghezza banchina sx [m]** | 1 |
| **Velocità di progetto [km/h]** | 60 |
| **Raggio planimetrico [m]** | 150 |

### 2.3.2 Lunghezze corsie di immissione e diversione

L'**Allegato C** contiene le informazioni relative alla progettazione delle corsie di immissione e diversione.

Il tracciato è stato successivamente costruito in SCANeR™studio tramite la modalità *Terrain*. Si è proceduto con il seguente ordine di attività:

1. definizione dell'andamento plano-altimetrico;
2. creazione delle sezioni trasversali e del terreno;
3. realizzazione di intersezioni, svincoli e piazzole di sosta.

## 2.4 Progetto dell'esperimento

Come detto, i fattori variabili dell'esperimento sono tre: (i) il tipo di segnaletica orizzontale nel terminale e lungo la rampa, (ii) i livelli di traffico nella sezione autostradale, e (iii) le condizioni di illuminamento ambientale (Tabella 4).

***Tabella 2 Lunghezza delle corsie di accelerazione | Idx = immissione con clotoide di continuità | Isx = immissione con clotoide di flesso***

| | | Lacc [m] | Lcl [m] | Li,e [m] | Lv,e [m] | L finale [m] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Corsie di accelerazione** | **Idx** | 345 | 125 | 65 | 75 | **360** |
| | **Isx** | 345 | 263 | 203 | 75 | **360** |

***Tabella 3 Lunghezza delle corsie di decelerazione | Udx = diversione con clotoide di continuità | Usx = diversione con clotoide di flesso***

| | | Ldec [m] | Lm,u [m] | L finale [m] |
|---|---|---|---|---|
| **Corsie di decelerazione** | **Udx** | 205 | 90 | **250** |
| | **Usx** | 205 | 90 | **250** |

*Tabella 4 Fattori dell'esperimento*

| Fattori | #1 | #2 | #3 |
|---|---|---|---|
| **Segnaletica orizzontale** | S1 (ordinaria) | S2 (a bande interne) | S3 (a zebratura esterna) |
| **Condizione di flusso** | Condizionato (3000 v/h) | Libero (1000 v/h) | |
| **Condizione di illuminamento** | Giorno | Notte | |

Il fattore segnaletica è stato fatto variare tre volte (S1, S2, S3), il traffico due volte (libero/condizionato) e le condizioni di illuminamento due (giorno/notte). Dunque, la combinazione di tali fattori porta alla generazione di 3 x 2 x 2 = 12 scenari stradali differenti.

A tali scenari sono stati assegnati i seguenti codici: 1A, 1B, 1C, 2A, 2B, 2C, 3A, 3B, 3C, 4A, 4B, e 4C. I primi sei scenari da 1A a 2C combinano:

- le condizioni di illuminamento diurne;
- i tre tipi di segnaletica (S1, S2, S3) nelle quattro rampe in combinazioni differenti;
- le due condizioni di deflusso (libero, condizionato).

I fattori sono stati randomizzati (ovvero attribuiti in modo casuale) nei diversi circuiti, in modo da escludere nei dati raccolti effetti sistematici nel comportamento dei guidatori che avrebbero condizionato l'esito dei risultati sperimentali.

Alle combinazioni 1A, 1B e 1C è stato associato un flusso libero (LOS A), lungo il tratto superiore di autostrada di lunghezza 2500 m (con relativa influenza nell'immissione lungo la curva Idx e la diversione lungo la curva Udx). Nelle stesse combinazioni, è stato scelto un flusso condizionato (LOS C) nel tratto inferiore di autostrada di lunghezza 1000 m (con relativa influenza nell'immissione lungo la curva Isx e la diversione lungo la curva Usx). Nelle combinazioni 2A, 2B, e 2C è stato assegnato il flusso condizionato (LOS C) lungo il tratto superiore di autostrada di lunghezza 2500 m, e il flusso libero (LOS A) lungo il tratto inferiore di autostrada di lunghezza 1000 m.

Gli ulteriori sei scenari da 3A a 4C combinano:

- l'ambiente notturno;
- i tre tipi di segnaletica (S1, S2, S3) nelle quattro rampe in combinazioni differenti nei sei circuiti;

- le due condizioni di deflusso (libero, condizionato).

Nel caso degli scenari 3A, 3B e 3C è stato associato il flusso libero (LOS A), lungo il tratto superiore di autostrada di lunghezza 2500 m (con effetti lungo la curva Idx e la curva Udx). Analogamente a quanto prima indicato, è stato considerato il flusso condizionato (LOS C) lungo il tratto inferiore di autostrada di lunghezza 1000 m (lungo la curva Isx e la curva Usx).

Per le combinazioni 4A, 4B, e 4C è stato considerato il flusso condizionato (LOS C), lungo il tratto superiore di autostrada, e il flusso libero (LOS A) lungo il tratto inferiore di lunghezza 1000 m.

La Tabella 5 e l'**Allegato D** sintetizzano le scelte su riportate. La ripartizione dei diversi fattori nei dodici scenari d'interesse è stata eseguita garantendo tutte le possibili combinazioni tra i fattori di studio, e facendo in modo che ogni *test driver* interagisse con tutte le variabili sperimentali.

La Tabella 6 contiene l'elenco degli scenari somministrati ai 48 *test drivers* coinvolti. Come anticipato, tale assegnazione è stata eseguita in modo rigorosamente casuale, facendo guidare ogni circuito a un campione di 12 partecipanti.

Il progetto dell'esperimento, quindi, è stato impostato alternando le condizioni di flusso libero (LOS A) e flusso condizionato (LOS C), e disponendo lungo il tracciato, in ordine assolutamente casuale, i tre tipi di segnaletica lungo le rampe. Come anticipato, questo modo di operare "confonde" il guidatore: egli non è pertanto in grado di sapere a priori a quale stimolo sperimentale andrà incontro. In caso contrario, il guidatore potrebbe essere condizionato nel rispondere allo stimolo, con il risultato di avere introdotto effetti sistematici nei risultati dell'esperimento.

Al termine della fase di generazione degli scenari in SCANeR™studio, è stato eseguito uno studio pilota per verificare il funzionamento dei sistemi di acquisizione dei dati, e per la misura del tempo medio di percorrenza del singolo circuito, che è risultato di 7 minuti. Questo dato ha permesso di determinare il numero massimo di somministrazioni. Con tre guide, il singolo partecipante era impegnato per non più di 25 – 30 minuti, limite superato il quale sono possibili fenomeni di affaticamento. Anche il punto di partenza nel circuito è stato cambiato in modo casuale per escludere ulteriormente l'insorgere di effetti sistematici.

*Tabella 5 Combinazione dei fattori dell'esperimento | S1 = segnaletica ordinaria; S2 = segnaletica a bande interne; S3 = segnaletica con zebratura esterna | G = giorno; N = notte | L = flusso libero; C = flusso condizionato*

| | **1A** | | | | **1B** | | | | **1C** | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Fattori** | **Idx** | **Udx** | **Isx** | **Usx** | **Idx** | **Udx** | **Isx** | **Usx** | **Idx** | **Udx** | **Isx** | **Usx** |
| **Segnaletica orizzontale** | S1 | S2 | S3 | S1 | S2 | S3 | S1 | S2 | S3 | S1 | S2 | S3 |
| **Condizioni di luce** | G | | | | G | | | | G | | | |
| **Flusso di traffico** | L | L | C | C | L | L | C | C | L | L | C | C |
| | **2A** | | | | **2B** | | | | **2C** | | | |
| **Fattori** | **Idx** | **Udx** | **Isx** | **Usx** | **Idx** | **Udx** | **Isx** | **Usx** | **Idx** | **Udx** | **Isx** | **Usx** |
| **Segnaletica orizzontale** | S2 | S3 | S1 | S2 | S3 | S1 | S2 | S3 | S1 | S2 | S3 | S1 |
| **Condizioni di luce** | G | | | | G | | | | G | | | |
| **Flusso di traffico** | C | C | L | L | C | C | L | L | C | C | L | L |
| | **3A** | | | | **3B** | | | | **3C** | | | |
| **Fattori** | **Idx** | **Udx** | **Isx** | **Usx** | **Idx** | **Udx** | **Isx** | **Usx** | **Idx** | **Udx** | **Isx** | **Usx** |
| **Segnaletica orizzontale** | S3 | S1 | S2 | S3 | S1 | S2 | S3 | S1 | S2 | S3 | S1 | S2 |
| **Condizioni di luce** | N | | | | N | | | | N | | | |
| **Flusso di traffico** | L | L | C | C | L | L | C | C | L | L | C | C |
| | **4A** | | | | **4B** | | | | **4C** | | | |
| **Fattori** | **Idx** | **Udx** | **Isx** | **Usx** | **Idx** | **Udx** | **Isx** | **Usx** | **Idx** | **Udx** | **Isx** | **Usx** |
| **Segnaletica orizzontale** | S3 | S3 | S1 | S2 | S2 | S1 | S3 | S1 | S1 | S2 | S2 | S3 |
| **Condizioni di luce** | N | | | | N | | | | N | | | |
| **Flusso di traffico** | C | C | L | L | C | C | L | L | C | C | L | L |

*Tabella 6 Circuiti assegnati ai test driver*

| ID | test 1 | test 2 | test 3 | ID | test 1 | test 2 | test 3 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **#1** | 1A | 4B | 3C | **#25** | 1B | 3C | 2C |
| **#2** | 3B | 3A | 1C | **#26** | 3A | 1A | 2C |
| **#3** | 3A | 1C | 3C | **#27** | 4B | 2C | 1C |
| **#4** | 1B | 1A | 4B | **#28** | 1A | 2A | 3B |
| **#5** | 1A | 4B | 3B | **#29** | 2A | 4C | 2C |
| **#6** | 2B | 1A | 4B | **#30** | 2B | 4A | 1B |
| **#7** | 4A | 1B | 3B | **#31** | 2B | 1C | 4C |
| **#8** | 3B | 3A | 1C | **#32** | 2B | 1B | 4A |
| **#9** | 1A | 4B | 3B | **#33** | 2B | 3A | 1A |
| **#10** | 1B | 3B | 4C | **#34** | 4C | 4B | 2C |
| **#11** | 1C | 3A | 2C | **#35** | 2A | 4C | 4A |
| **#12** | 4B | 2A | 4C | **#36** | 2C | 4A | 3C |
| **#13** | 1C | 3A | 3C | **#37** | 4B | 2C | 3B |
| **#14** | 3B | 2A | 2B | **#38** | 3C | 2A | 4C |
| **#15** | 2C | 3A | 1C | **#39** | 2A | 4C | 1A |
| **#16** | 1B | 4A | 3A | **#40** | 1B | 3C | 1A |
| **#17** | 3B | 4A | 1B | **#41** | 1A | 3A | 2B |
| **#18** | 2A | 4C | 4B | **#42** | 2B | 1C | 3B |
| **#19** | 4A | 1B | 3C | **#43** | 4A | 2C | 2A |
| **#20** | 4B | 1C | 2C | **#44** | 2C | 2B | 1A |
| **#21** | 2A | 4C | 3C | **#45** | 4A | 2B | 1B |
| **#22** | 4B | 1B | 3C | **#46** | 2A | 3C | 4A |
| **#23** | 3A | 1C | 4C | **#47** | 3C | 2B | 1C |
| **#24** | 4A | 2B | 3A | **#48** | 2A | 4C | 3B |

## 2.5 Costruzione dello scenario in SCANeRStudio™

La realizzazione di uno scenario verosimile permette di accrescere l'immersione del guidatore nell'esperimento, e di ottenere risultati comparabili a quelli ottenibili nella realtà. Sui tratti autostradali e stradali in rettilineo, non sono stati raccolti dati poiché privi di interesse sperimentale. Tali tratti sono serviti a collegare i quattro svincoli e a ingannare, per quanto possibile, il guidatore sul vero obiettivo dell'esperimento. Per evitare la monotonia della guida

è stato ricostruito un ambiente collinare con vegetazione, alberi e edifici a lunga distanza dal tracciato.

### 2.5.1 Segnaletica verticale

È stata adottata una segnaletica verticale conforme alle prescrizioni del Codice della Strada (D.L. del 30 Aprile 1992, n.285, e s.m.i.) che indicasse i limiti di velocità (130 km/h per strade di Cat. A, 90 km/h per strade di Cat. C, e 60 km/h sulle rampe) da rispettare. È stata inserita inoltre, una segnaletica verticale di preavviso dell'intersezione, in modo da preparare all'uscita il guidatore in corrispondenza del terminale. La segnaletica di *preavviso intersezione* è stata inserita rispettivamente a 1000 m e 250 m dallo svincolo, lungo il tratto superiore di autostrada. Lungo il tratto inferiore di autostrada, il *preavviso intersezione* è stato inserito rispettivamente 500 m e 250 m prima dello svincolo.

### 2.5.2 Informazioni

Nella modalità *Scenario*, è stato possibile inserire dei testi a comparsa per segnalare l'itinerario da seguire ai guidatori. La comparsa del testo è avvenuta 250 m prima di effettuare la manovra di uscita. Il testo è scomparso una volta presa la rampa.

### 2.5.3 Barriere di sicurezza

Sono state impiegate barriere di sicurezza del tipo N2W6 con altezza di 750 mm nel margine interno delle carreggiate autostradali. La barriera sul lato destro della carreggiata è stata omessa per limitare il flusso ottico sui due schermi laterali, ed evitare così l'insorgenza di disturbi da simulazione (la cosiddetta *simulation sickness*) che producono in alcuni *test driver*s mal di testa, capogiri, stanchezza visiva e nausea.

Lungo le rampe non sono state inserite barriere di sicurezza allo scopo di osservare i soli effetti della segnaletica orizzontale sul comportamento del guidatore (Figura 11). Con le barriere sulle rampe, il guidatore sarebbe stato influenzato dalla loro presenza; gli effetti legati alla contestuale presenza di barriere e segnaletica sperimentale si sarebbero pertanto sovrapposti e non si sarebbe potuto discernere il contributo.

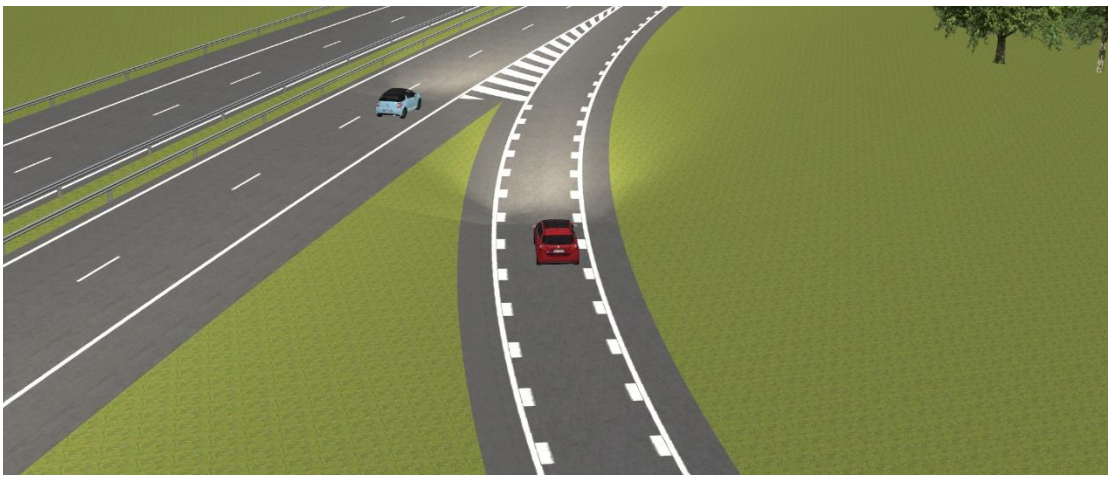


*Figura 11 Rampa di immissione, immagine dal software SCANeR™studio*

### 2.5.4 Delineatori di margine

Nel tratto di strada di Cat. C sono stati inseriti i delineatori di margine con un passo di 30 m (Figura 12), secondo le prescrizioni indicate nell'Art.42 del Codice della Strada "*Delineatori normali di margine*".

### 2.5.5 Flusso di traffico

Il flusso di traffico di veicoli autonomi lungo la strada di Cat. C è stato generato in modo casuale senza una significativa interazione con il veicolo guidato allo scopo di accrescere la verosimiglianza della guida simulata con quella reale. Lungo il tratto autostradale, in corrispondenza delle rampe di immissione e uscita, sono stati considerati i due livelli di servizio A e C. Questi due flussi di traffico si alternano lungo il tratto superiore e inferiore dell'autostrada (come descritto nel paragrafo sul *Progetto dell'esperimento*).

*Figura 12 Tratto di strada di categoria C, immagine dal software SCANeR™studio*

I flussi di traffico sono stati generati con il comando *source* del software impiegato. I veicoli autonomi della simulazione sono stati generati in media ogni 3,323 s con un distanziamento medio di 120 m nel caso di LOS A, e mediamente ogni 1,108 s con un distanziamento anch'esso medio di 40 m nel caso di LOS C.

### 2.5.6 Veicolo guidato dal test driver

È stato scelto un veicolo della categoria *Callas* di medie prestazioni (*Small Family Car).*

### 2.5.7 Condizioni di illuminamento

Le condizioni di luce sono state controllate nella sezione *environment*, che ha permesso di simulare l'ambiente diurno (ore 12:00) e l'ambiente notturno (ore 23:00).

## 2.6 Campione di guidatori

Quarantotto guidatori hanno preso parte all'esperimento su base volontaria e senza alcun compenso economico. I partecipanti sono stati scelti a partire da un database di guidatori già coinvolti in precedenti esperimenti, a cui ne sono stati aggiunti di nuovi. La fascia di età dei guidatori selezionati è compresa tra i 18 e i 64 anni ed il campione è stato creato per genere e fasce di età con una numerosità proporzionale a quella della popolazione italiana.

Il campione rappresentativo è stato ricostruito sulla base di uno studio conoscitivo della popolazione di guidatori utilizzando le informazioni sulle licenze di guida presenti sul sito del Ministero dei Trasporti (MIT), la cui sintesi è riportata in **Allegato E.**

Il numero di guidatori è stato definito in base al numero di scenari da somministrare, in base al numero minimo di dati di ciascuna delle variabili dipendenti dell'esperimento, fissato in 12, e al tempo medio necessario per completare la guida su un singolo scenario ($\simeq$7 minuti).

In base ai dati forniti dal MIT, è stato possibile stratificare il campione nelle tre classi di età di cui alla Tabella 7. Il campione è composto da 21 donne e 27 uomini, 5 di età compresa tra i 18 e i 24 anni, 20 tra i 25 e i 44 anni, e 23 tra i 45 e i 64 anni (Figura 13).

*Tabella 7 Stratificazione del campione di guidatori per genere e classi d'età*

| Classe | Fascia d'età | N di persone che rientrano in quella fascia | % UOMINI con patente in Italia [55,56%] | % DONNE con patente in Italia [44,44%] |
|---|---|---|---|---|
| I | <25 anni | 5 | 3 | 2 |
| II | 25-44 anni | 20 | 11 | 9 |
| III | 45-64 anni | 23 | 13 | 10 |

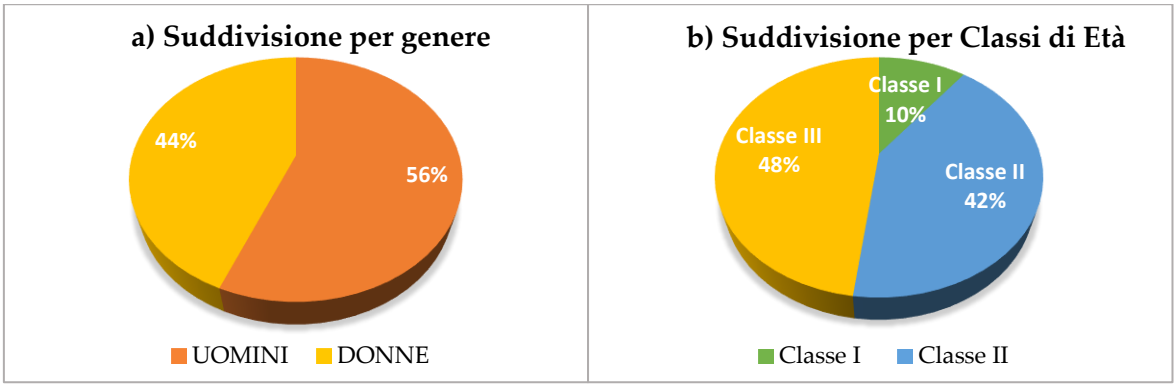



*Figura 13 a) Percentuale di uomini e donne nel campione – b) Percentuale nelle tre classi di età*

La Tabella 8 riporta la sintesi delle informazioni, sui partecipanti all'esperimento, aggregate per classi di età. L'**Allegato F** riporta l'elenco completo dei *test drivers* con le relative caratteristiche di genere, di età, di anni di esperienza di guida, di chilometri annui percorsi e di numero di incidenti.

L'invito a prendere parte agli esperimenti al simulatore di guida è avvenuto tramite l'invio di un'email nel novembre 2019 (**Allegato G**).

*Tabella 8 Informazioni sul campione di guidatori aggregate per classi di età*

| | | classe I | classe II | classe III | Tot Campione |
|---|---|---|---|---|---|
| **Età (anni)** | **M** | 21,4 | 33,2 | 53,8 | 41,4 |
| | **DS** | 1,7 | 6,1 | 4,0 | 12,9 |
| **Esperienza di guida (anni)** | **M** | 3,0 | 15,0 | 34,8 | 22,8 |
| | **DS** | 2,0 | 6,3 | 4,6 | 12,8 |
| **Km annui percorsi** | **M** | 5000 | 11500 | 15635 | 12615 |
| | **DS** | 3082 | 10001 | 11887 | 10787 |
| **Numero incidenti** | **M** | 0,20 | 0,60 | 1,81 | 1,11 |
| | **DS** | 0,45 | 0,75 | 2,34 | 1,77 |

Nell'email fu chiesta la disponibilità a essere coinvolti nell'esperimento, e furono fornite indicazioni circa il tempo necessario a svolgerlo. Inoltre, furono date raccomandazioni per evitare il manifestarsi di fenomeni di malessere (es. nausea, capogiri). Questi effetti indesiderati derivano in buona misura dal fatto che il simulatore è di tipo statico. Il guidatore, pertanto, non perepisce fisicamente le accelerazioni (longitudinali e trasversali) mentre il cervello le aspetta in base a ciò che vede. Questo provoca il disallineamento dei segnali provenienti dall'apparato visivo e da quello vestibolare, che il cervello non è in grado di comprendere e reagisce a tale disallineamento manifestando un malessere, il cosiddetto malessere da simulazione (*simulation sickness*).

Dalla letteratura è noto che la sensazione di malessere è amplificata dall'assunzione di sostanze eccitanti come caffè o simili, che amplificano la percezione e quindi l'effetto di disallineamento tra le informazioni dai vari organi sensoriali. Per questo motivo, fu raccomandato di non assumere bevande eccitanti almeno due ore prima della guida, così come non consumare pasti pesanti.

Gli esperimenti furono programmati in orario diurno. Il giorno prima dell'esperimento, con un messaggio si rammentavano l'orario concordato e le raccomandazioni prima citate.

## 2.7 Esperimento

In Figura 14 è rappresentato l'asse temporale delle attività svolte in laboratorio nel compiere il singolo esperimento. Prima di iniziare, al *test driver* fu somministrato un questionario pre-guida (**Allegato H**) e due tipi di test cognitivi: visivo e uditivo. Successivamente, il partecipante guidò su un circuito di prova in modo da adattarsi al simulatore. Al termine della prova, fu eseguito il vero e proprio esperimento durante il quale ogni partecipante ha guidato lungo tre circuiti. Dopo la guida, i partecipanti eseguirono nuovamente i test cognitivi e compilarono un questionario post-guida (**Allegato I**), i cui esiti sono raccolti nell'**Allegato J.**

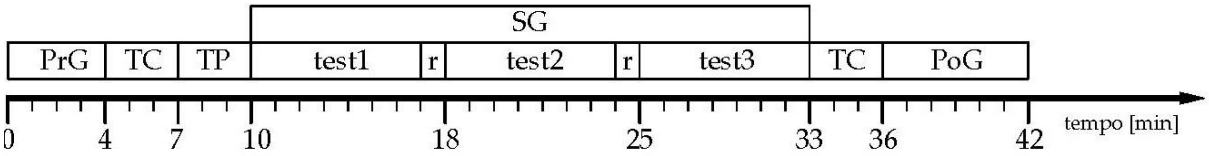



*Figura 14 Asse temporale delle attività componenti l'esperimento*

*Tabella 9 Attività componenti l'esperimento*

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **PrG** | 0 ≤ t < 4 min | Questionario Pre-Guida | | |
| **TC** | 4 < t ≤ 7 min | Test Cognitivi pre-guida | | |
| **TP** | 7 < t ≤ 10 min | Test di Prova | | |
| **test1** | 10 < t ≤ 17 min | 1° Esperimento (circuito 1) | **SG** | Simulazione di Guida |
| **r** | 17 < t ≤ 18 min | riposo | | |
| **test2** | 18 < t ≤ 24 min | 2° Esperimento (circuito 2) | | |
| **r** | 24 < t ≤ 25 min | riposo | | |
| **test3** | 25 < t ≤ 33 min | 3° Esperimento (circuito 3) | | |
| **TC** | 33 < t ≤ 36 min | Test Cognitivi post-guida | | |
| **PoG** | 36 < t ≤ 42 min | Questionario Post-Guida | | |

I test cognitivi sono stati somministrati allo scopo di controllare l'eventuale variazione delle prestazioni cognitive prima e dopo la guida. Per valutare ciò, è stato registrato il tempo di risposta agli stimoli visivi (*visual reaction test*) e uditivi (*auditive reaction test*) (**Allegato K**). I test sono stati eseguiti impiegando l'applicativo disponibile al sito www.cognitivefun.net. In Figura 15 è riportata la pagina web relativa al test visivo: all'apparizione della palla verde sullo schermo, i partecipanti dovevano agire sulla barra spaziatrice. Per il test uditivo (Figura 16), i partecipanti dovevano reagire all'impulso sonoro, cliccando sempre sulla barra spaziatrice.

*Figura 15 Test Cognitivi: tempo di reazione visivo*

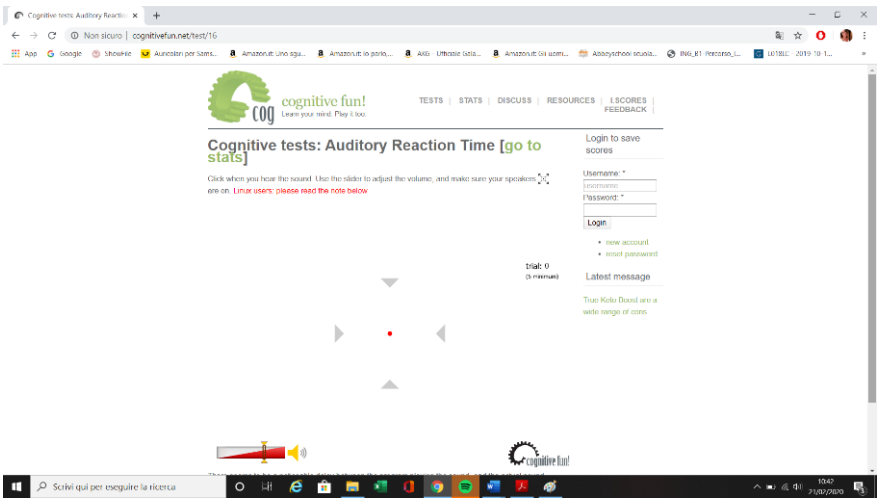



*Figura 16 Test Cognitivi: tempo di reazione uditivo*

## 2.8 Variabili dipendenti

Le variabili dipendenti sono state estratte dal database della simulazione, una volta completata la sessione di esperimenti, attraverso la modalità *Analysis.* I dati selezionati per l'estrazione sono: (i) *time,* (ii) *CoG position X,* (iii) *CoG position Y,* (iv) *tangential speed [km/h],* (v) *lane gap [m],* e (vi) *lane id.* Queste informazioni ricostruiscono le traiettorie spazio-temporali del baricentro del veicolo, e da qui il comportamento trasversale e longitudinale in specifiche porzioni degli scenari di guida somministrati. In particolare:

**ii)** **CoGposition X,** indica l'ascissa del centro di gravità del veicolo riferita al sistema di riferimento locale, il quale è stato fissato durante la fase di realizzazione dello scenario attraverso la modalità *Terrain*;

**iii)** **CoGposition Y,** indica l'ordinata del centro di gravità del veicolo riferita al sistema di riferimento locale, il quale è stato fissato durante la fase di realizzazione dello scenario attraverso la modalità *Terrain*. La coordinata Y insieme alla coordinata X (CoG position X) sono state utilizzate per disegnare la traiettoria del veicolo e individuare le sezioni di interesse sulle rampe autostradali;

**iv)** **Tangential speed,** indica la velocità tangenziale assunta dai guidatori. È stata estratta per valutare il comportamento longitudinale dell'utenza al variare della segnaletica lungo le rampe;

**v)** **Lane gap,** indica la distanza trasversale tra il centro della corsia della rampa e il centro di gravità del veicolo. Questa variabile dipendente dà delle indicazioni sul controllo della traiettoria da parte degli utenti;

vi) **Lane id,** questa variabile associa dei numeri interi alle diverse sezioni e corsie del tracciato. È utile per riconoscere in quale corsia si trovino gli utenti in prossimità dei terminali di rampa (sulla carreggiata adiacente o sul terminale di rampa).

Dall'estrazione dei dati è stato possibile definire le variabili dipendenti su cui si è basata la ricerca: (a) la media e deviazione standard della velocità; (b) la media e deviazione standard della distanza dall'asse della corsia (*lane gap, LG*); e infine (c) la deviazione standard della posizione nella corsia (*standard deviation of lane position*, SDLP*).*

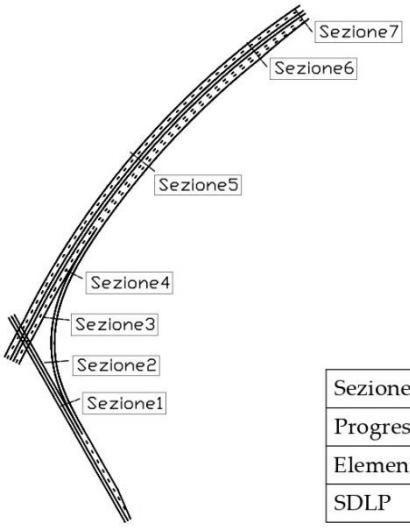
L'analisi della traiettoria è stata resa possibile con l'estrazione dei valori di scostamento laterale dal centro della corsia. Questi dati consentono anche la misura della SDLP, parametro che esprime la qualità del controllo della traiettoria (Verster & Roth, 2011). Questo parametro è stato scelto per valutare le prestazioni di guida dei conducenti, al fine di stabilire quale tipo di segnaletica alternativa lungo le rampe di ingresso e uscita avrebbe comportato valori più bassi di SDLP, ovvero a scostamenti minori dalla media dei *lane gap* assunti dai singoli guidatori. Valori inferiori di SDPL testimoniano un miglior controllo del veicolo.

I file in formato *csv* estratti dall'ambiente di simulazione sono stati convertiti in file Excel®; la frequenza del dato acquisito, come anticipato, era di 10 Hz. La geometria dei dodici tracciati stradali è stata esportata in 3ds Max® per essere convertita in formato *dwg* leggibile in AutoCad®. Per tutti i tracciati, è stato adottato lo stesso sistema di riferimento. Tramite le coordinate del centro di gravità (CoGposition X e CoGposition Y), è stato possibile sovrapporre le traiettorie di ogni guidatore al tracciato. A partire dal tracciato, sono state individuate le coordinate delle sezioni di interesse (v. Sezioni di interesse per l'analisi dei dati) al fine di ricercare i dati in corrispondenza delle stesse.

Mediante un codice in linguaggio MATLAB® (**Allegato L**) sono stati estratti i dati di interesse. Il codice ha permesso di salvare i valori di velocità e *lane gap* corrispondenti in nuovi file.

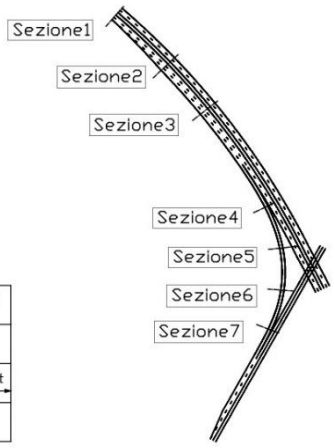
### 2.8.1 Sezioni di interesse per l'analisi dei dati

Per le rampe di ingresso e di uscita con curvatura destrorsa sono state scelte sette sezioni in cui valutare l'andamento della traiettoria e della velocità di ogni utente. La Figura 17 e la Figura 18 riportano le sezioni di inizio e di fine in corrispondenza delle quali sono stati estratti i valori di LG per il calcolo della SDLP.




| Sezione | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Progressive parziali | | 50 | 50 | 50 | 150 | 190 | 75 |
| Elemento | CLt | R150 | | CLc | | R 964 | |
| SDLP | | | | | | | |

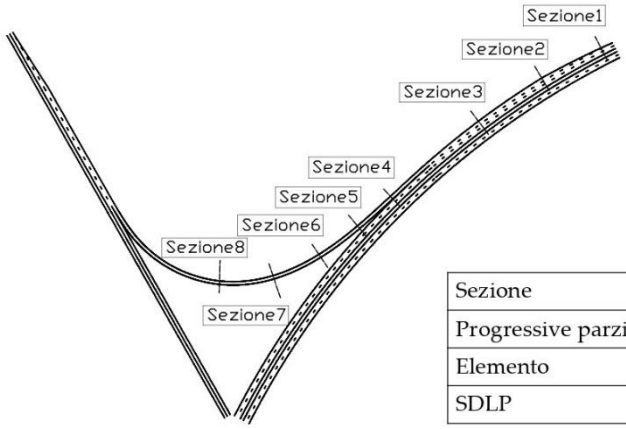
***Figura 17 Rampa di immissione con terminale continuo | CLt = clotoide di transizione; R150 = cerchio di raggio 150 m; CLc = clotoide di continuità; R964 = cerchio di raggio 964 m***




| Sezione | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Progressive parziali | 90 | 75 | 130 | 50 | 50 | 50 | |
| Elemento | R964 | | | CLc | | R150 | CLt |
| SDLP | | | | | | | |

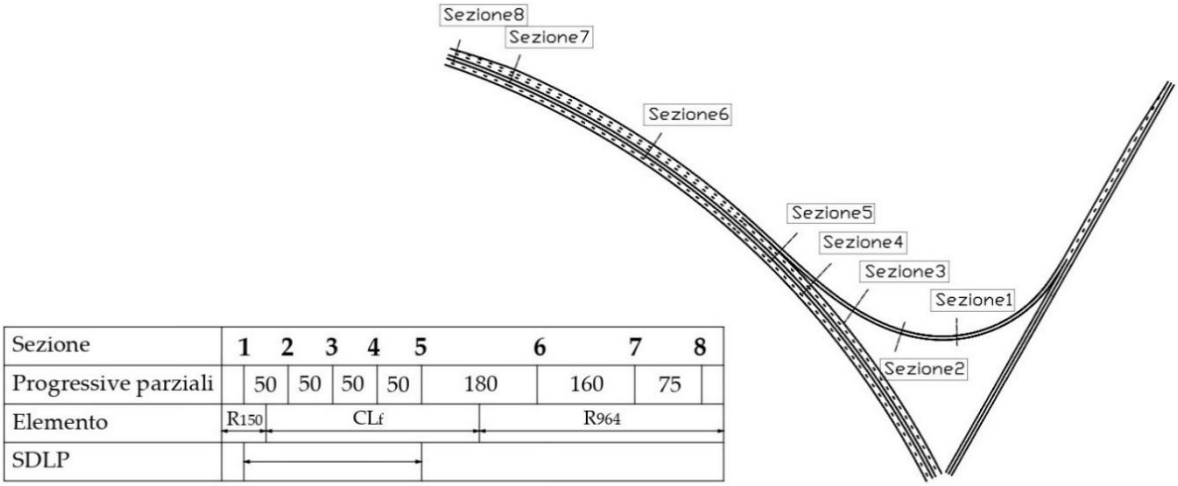
***Figura 18 Rampa di diversione con terminale continuo | R964 = cerchio di raggio 964 m; CLc = clotoide di continuità; R150 = cerchio di raggio 150 m; CLt = clotoide di transizione***

Per le rampe di ingresso e uscita con curvatura sinistrorsa sono state scelte otto sezioni, in quanto queste rampe, progettate con clotoidi di flesso, presentano una lunghezza superiore a quella delle rampe con progettate con clotoidi di continuità (Figura 19 e Figura 20). Anche in questo caso sono indicate le sezioni di inizio e fine in cui è stata valutata la SDLP.




| Sezione | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Progressive parziali | | 90 | 95 | 125 | 50 | 50 | 50 | 50 | |
| Elemento | | R964 | | | CLf | | | R150 |
| SDLP | | | | | | | | |

*Figura 19 Rampa di diversione e con terminale inflesso | $R_{964}$ = cerchio di raggio 964 m; $CL_f$ = clotoide di flesso; $R_{150}$ = cerchio di raggio 150 m*




| Sezione | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Progressive parziali | | 50 | 50 | 50 | 50 | 180 | 160 | 75 | |
| Elemento | R150 | | CLf | | | | R964 | |
| SDLP | | | | | | | | |

*Figura 20 Rampa di immissione con terminale inflesso | $R_{150}$ = cerchio di raggio 150 m; CLf = clotoide di flesso; $R_{964}$ = cerchio di raggio 964 m*

# 3. RISULTATI E ANALISI

Tutti i *test drivers* hanno completato la sessione di esperimenti senza riscontrare problemi di *simulation sickness,* ad eccezione di un partecipante della classe di età III, il quale è stato escluso dal campione e sostituito con un nuovo *test driver* di pari caratteristiche, in modo da conservare la numerosità programmata del campione (pari a 48). Nel presente capitolo sono riportati i risultati dei test cognitivi e statistici; inoltre sono analizzati i risultati relativi al comportamento longitudinale e trasversale dei guidatori al variare della segnaletica lungo le rampe.

## 3.1 Test Cognitivi

I test cognitivi hanno dimostrato che la durata dell'esperimento al simulatore non ha indotto fenomeni di affaticamento che avrebbero indotto una perdita delle prestazioni cognitive dei partecipanti. In Figura 21 sono riportati i *box plot* dei tempi di reazione ottenuti da ogni serie parziale di 10 ripetizioni per ogni individuo per il test visivo e per quello uditivo. Per i tempi di percezione e reazione del test visivo, non si registrano differenze statisticamente significative tra i parametri registrati prima e dopo l'esperimento, in quanto le distribuzioni hanno media e varianza simili tra di loro come confermano i risultati dell'F- e del t-test (**F**(47,47) = 0.728, **p**=0.14; **t**(94) =-0.463, **p**=0.64).

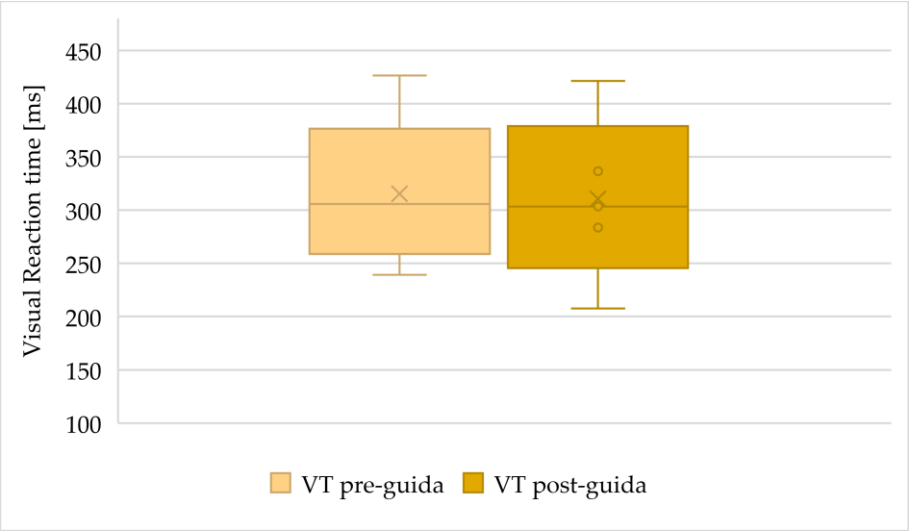



*Figura 21 Visual Reaction time (F(47,47) = 0.728, p=0.14; t(94) =-0.463, p=0.64)*

Anche per i test uditivi non sono state riscontrate differenza significative tra i dati pre- e post-guida (Figura 22). Si nota che la differenza della media dei tempi di percezione dopo la guida non è statisticamente significativa a quella pre-guida (**F**(47,47)=1.018, **p**=0.475; **t**(94)=0.087, **p**=0.93). Si è pertanto concluso che il campione di guidatori coinvolto nell'esperimento, non avendo manifestato un significativo abbassamento delle capacità cognitive nel suo complesso, non avesse subito gli effetti di una perdita di prestazione.

I risultati dei test cognitivi sono stati analizzati anche per classi di età (Figura 23). Per ogni classe i tempi di reazione dei test uditivi sono risultati sempre inferiori rispetto ai tempi registrati dal test visivo.

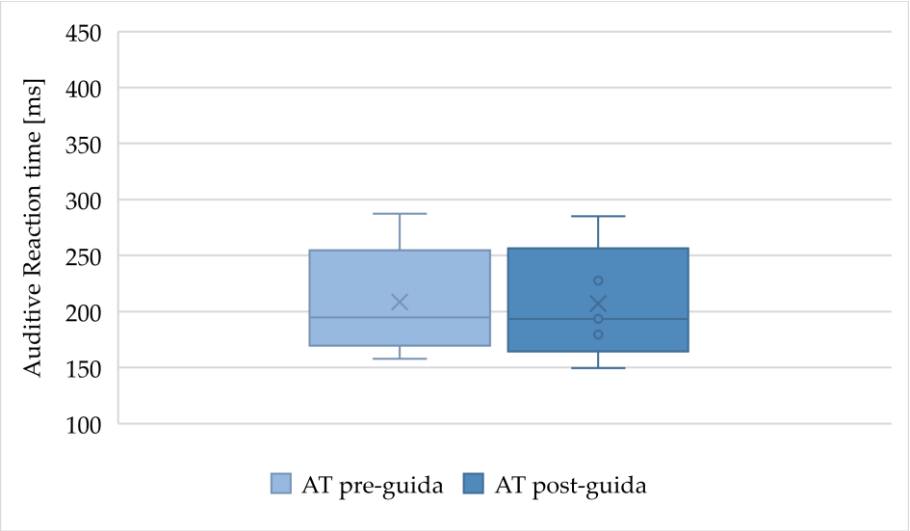



*Figura 22 Auditive reaction time (F(47,47)=1.018, p=0.475; t(94)=0.087, p=0.93)*

Per tutte le classi la differenza tra i risultati prima e dopo la guida (sia per il test visivo sia per il test uditivo) non è risultata statisticamente significativa (Classe **III** -Test Visivo: **F**(23,23)=0.710, **p**=0.210; **t**(46)=-0.638, **p**=0.527|Test Uditivo: **F**(23,23)=0.845, **p**=0.345; **t**(46)=0.334, **p**=0.710); (Classe **II** -Test Visivo: **F**(17,17)=0.641, **p**=0.184; **t**(34)=-0.223, **p**=0.824|Test Uditivo: **F**(17,17)=0.581, **p**=0.137; **t**(34)=-0.409, **p**=0.685); (Classe **I** -Test Visivo: **F**(4,4)=2.863, **p**=0.167; **t**(8)=0.633, **p**=0.545|Test Uditivo: **F**(4,4)=0.851, **p**=0.440; **t**(8)=0.145, **p**=0.998).

***Figura 23 (a) VT Classe III | (b) AT Classe III | (c) VT Classe II | (d) AT Classe II | (e) VT Classe I | (f) AT Classe I***

Il test visivo per la Classe I sembrerebbe riportare un'eccezione che viene però smentita dai test statistici. Per nessuna classe di età si sono quindi manifestati degli abbassamenti di capacità cognitive post simulazione che avrebbero potuto compromettere i risultati raccolti.

## 3.2 Risultati del Test KS

I dati di velocità a lane-gap raccolti sono stati sottoposti al test di normalità di Kolmogorov-Smirnov (KS). Questo test di tipo non parametrico permette il confronto di una generica distribuzione empirica di un campione di dati con una distribuzione teorica, allo scopo di verificare l'ipotesi statistica che la popolazione da cui i dati provengono coincida con quella teorica. Per il caso studio in esame è stata scelta come funzione di distribuzione teorica la *Normale gaussiana*.

Il test ha confermato l'ipotesi di normalità di tutti dati di velocità e lane gap raccolti. Di seguito si riportano, a titolo di esempio, i risultati del test KS delle velocità registrate in corrispondenza del sito 1, sito 2 e sito 3 delle rampe di immissione con curvatura destrorsa appartenenti ai circuiti 1A-2C, 1C-2A, 1B-2C. Questi dati sono stati aggregati in quanto le rampe presentano lo stesso tipo di segnaletica e le stesse condizioni di luce. Il fattore che varia nei due circuiti è il flusso di traffico, ma in corrispondenza dei siti selezionati non vi è alcuna interazione con esso. I dati registrati su ogni rampa sono 12, avendo accorpato due rampe, il test è stato eseguito su 24 valori di velocità (Tabella 10).

***Tabella 10 Test KS con n=24***

| n = 24 | | **MEDIA** | **DS** | **Dcrit** | **max (d)** | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| CONF 1A-2C Rampa Idx | sito 1 | 67.485 | 10.546 | 0.278 | 0.091 | **max (d) < Dcrit** ✓ |
| | sito 2 | 65.164 | 10.810 | 0.278 | 0.159 | **max (d) < Dcrit** ✓ |
| | sito 3 | 65.175 | 10.923 | 0.278 | 0.129 | **max (d) < Dcrit** ✓ |
| CONF 1B-2A Rampa Idx | sito 1 | 68.342 | 12.227 | 0.278 | 0.168 | **max (d) < Dcrit** ✓ |
| | sito 2 | 66.265 | 11.052 | 0.278 | 0.13 | **max (d) < Dcrit** ✓ |
| | sito 3 | 67.411 | 9.878 | 0.278 | 0.159 | **max (d) < Dcrit** ✓ |
| CONF 1C-2B Rampa Idx | sito 1 | 64.368 | 12.773 | 0.278 | 0.123 | **max (d) < Dcrit** ✓ |
| | sito 2 | 62.946 | 14.216 | 0.278 | 0.113 | **max (d) < Dcrit** ✓ |
| | sito 3 | 64.667 | 15.582 | 0.278 | 0.144 | **max (d) < Dcrit** ✓ |

Per una conferma ulteriore, il test è stato eseguito anche su ogni singola rampa, considerando quindi i soli 12 valori di velocità (Tabella 11). Anche in questo caso si conferma la distribuzione normale nei dati (si rammenta che il test KS mantiene la sua significatività anche con soli dodici dati) (Engmann and Cousineau, 2011; Hassani and Silva, 2015; Kanji, 2006; Lilliefors, 1967).

L'**Allegato M** presenta la metodologia per l'esecuzione del test KS. Il test è superato (l'ipotesi di corrispondenza della distribuzione empirica con quella teorica è soddisfatta) se il valore massimo della differenza tra la distribuzione teorica e quella empirica risulta minore del valore critico ($D_{crit}$) per un livello di significatività pari allo 0.05 (5% di possibilità che l'ipotesi sia da rigettare). Il superamento del test ha permesso di confermare la normalità dei dati. Ciò consente di procedere nelle successive analisi con tutte le tecniche statistiche che prevedono la normalità del campione considerato.

***Tabella 11 Test KS con n=12***

| n = 12 | | **MEDIA** | **DS** | **Dcrit** | **max (d)** | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| CONF 1A Rampa Idx | sito 1 | 66.645 | 10.290 | 0.393 | 0.093 | **max (d) < Dcrit** ✓ |
| | sito 2 | 64.938 | 11.838 | 0.393 | 0.157 | **max (d) < Dcrit** ✓ |
| | sito 3 | 65.833 | 12.398 | 0.393 | 0.125 | **max (d) < Dcrit** ✓ |
| CONF 1B Rampa Idx | sito 1 | 62.354 | 9.560 | 0.393 | 0.246 | **max (d) < Dcrit** ✓ |
| | sito 2 | 61.295 | 9.557 | 0.393 | 0.188 | **max (d) < Dcrit** ✓ |
| | sito 3 | 62.988 | 9.178 | 0.393 | 0.173 | **max (d) < Dcrit** ✓ |
| CONF 1C Rampa Idx | sito 1 | 64.651 | 9.654 | 0.393 | 0.150 | **max (d) < Dcrit** ✓ |
| | sito 2 | 63.042 | 12.752 | 0.393 | 0.160 | **max (d) < Dcrit** ✓ |
| | sito 3 | 65.339 | 14.655 | 0.393 | 0.172 | **max (d) < Dcrit** ✓ |
| CONF 2A Rampa Idx | sito 1 | 74.330 | 11.957 | 0.393 | 0.126 | **max (d) < Dcrit** ✓ |
| | sito 2 | 71.236 | 10.496 | 0.393 | 0.094 | **max (d) < Dcrit** ✓ |
| | sito 3 | 71.835 | 8.780 | 0.393 | 0.115 | **max (d) < Dcrit** ✓ |
| CONF 2B Rampa Idx | sito 1 | 64.085 | 15.740 | 0.393 | 0.165 | **max (d) < Dcrit** ✓ |
| | sito 2 | 62.850 | 16.122 | 0.393 | 0.182 | **max (d) < Dcrit** ✓ |
| | sito 3 | 63.994 | 17.085 | 0.393 | 0.134 | **max (d) < Dcrit** ✓ |
| CONF 2C Rampa Idx | sito 1 | 68.326 | 11.186 | 0.393 | 0.079 | **max (d) < Dcrit** ✓ |
| | sito 2 | 65.391 | 10.203 | 0.393 | 0.130 | **max (d) < Dcrit** ✓ |
| | sito 3 | 64.517 | 9.737 | 0.393 | 0.139 | **max (d) < Dcrit** ✓ |

## 3.3 Analisi su rampe e terminali di immissione e diversione

I risultati sono stati analizzati mettendo a confronto le corrispondenti rampe di ogni circuito lungo le quali è stata applicata una segnaletica differente. In questo modo si è potuto analizzare il comportamento dell'utente al variare della segnaletica sulla rampa per le medesime condizioni di flusso veicolare e condizioni di illuminamento. Nella Figura 24, Figura 25 e Figura 26 sono messe a confronto le tre rampe dei circuiti 1A, 1B e 1C lungo le quali è stata implementata rispettivamente la segnaletica S1, S2 e S3 per condizioni di flusso libero e condizioni di luce diurna.

Il trattamento dei dati riguarda anche la SDLP. Il confronto è stato effettuato tra le corrispondenti rampe di ogni circuito a parità di condizioni di illuminamento (giorno/notte), e al variare della segnaletica orizzontale lungo la rampa. Il livello di traffico non è stato considerato in quanto i dati di SDLP sono stati estrapolati lungo la corsia della rampa dove non vi è interazione con il traffico perché fuori dal terminale.

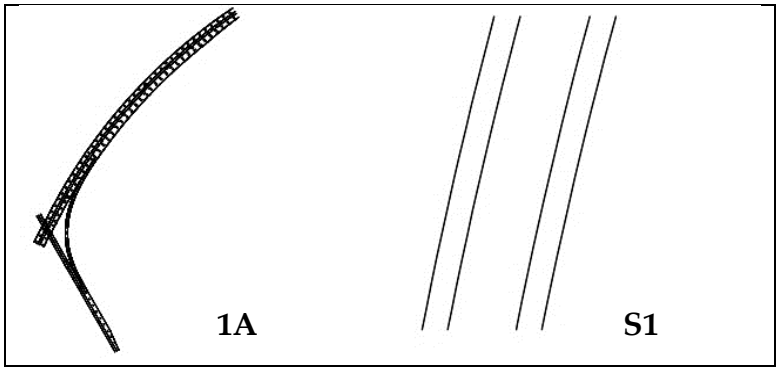



*Figura 24 Rampa Idx CONF1 con segnaletica S1*

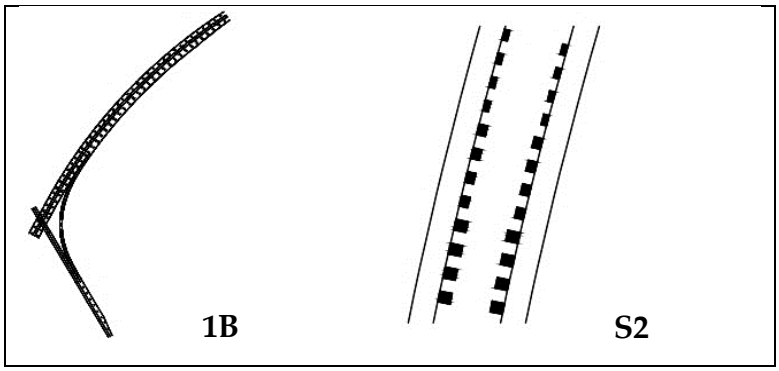



*Figura 25 Rampa Idx CONF1 con segnaletica S2*

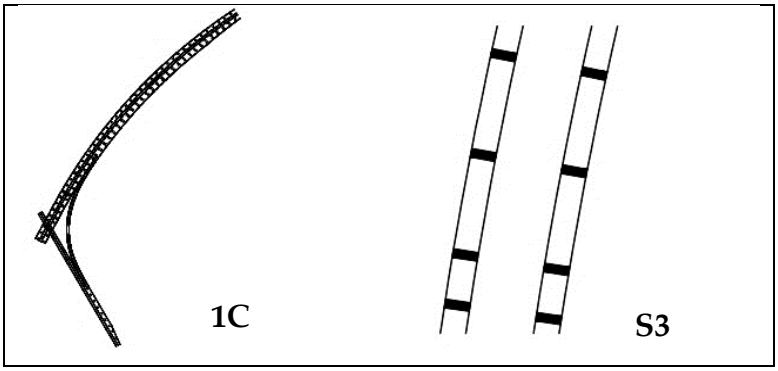



*Figura 26 Rampa Idx CONF1 con segnaletica S3*

Lungo i terminali di rampa è stata eseguita un'analisi qualitativa attraverso il conteggio del numero di veicoli/guidatori che, nelle sezioni terminali (vedi Figura 17, Figura 18, Figura 19 e Figura 20), occupavano la carreggiata autostradale o il terminale, in ciascuna delle sezioni rappresentative considerate nell'analisi (**Allegato N**).

### 3.3.1 Rampe di immissione con terminale continuo

Per le rampe di ingresso con curvatura destrorsa, appartenenti ai circuiti 1A, 1B e 1C, nella corsia autostradale è stato generato un traffico corrispondente a 1000 [veh/h] (LOS A) (HCM, 2010). Inoltre, per questi circuiti è stato scelto di effettuare l'esperimento garantendo le stesse condizioni di luce corrispondenti alle ore 12:00 del giorno. Per le stesse tipologie di rampe appartenenti ai circuiti 2A, 2B e 2C, è stato simulato un livello di servizio C, corrispondente a 3000 [veh/h], con le medesime condizioni di luce dei circuiti precedenti (ore 12:00 del giorno). I circuiti 3A, 3B e 3C presentano rampe di immissione con terminale continuo, per le quali è generato un flusso libero, ma le condizioni di luce risultano scarse. In questo caso, infatti, così come per i circuiti 4A, 4B e 4C, è stato simulato uno scenario notturno corrispondente alle ore 23:00 della notte. Per le rampe di immissione di questi ultimi tre circuiti è stato simulato un flusso di traffico condizionato (Tabella 12).

L'analisi riguarda sia il comportamento trasversale che longitudinale del veicolo. I due effetti sono studiati separatamente per una migliore comprensione dei risultati.

*Tabella 12 Combinazione dei fattori dell'esperimento | Idx | G=Giorno (ore 12:00); N=Notte (ore 23:00); L=Libero (1000 veh/h); C=Condizionato (3000 veh/h)*

| Fattori | 1A\|Idx | 1B\|Idx | 1C\|Idx |
|---|---|---|---|
| **Segnaletica orizzontale** | S1 | S2 | S3 |
| **Condizioni di luce** | G | G | G |
| **Flusso di traffico** | L | L | L |

| Fattori | 2A\|Idx | 2B\|Idx | 2C\|Idx |
|---|---|---|---|
| **Segnaletica orizzontale** | S2 | S3 | S1 |
| **Condizioni di luce** | G | G | G |
| **Flusso di traffico** | C | C | C |

| Fattori | 3A\|Idx | 3B\|Idx | 3C\|Idx |
|---|---|---|---|
| **Segnaletica orizzontale** | S3 | S1 | S2 |
| **Condizioni di luce** | N | N | N |
| **Flusso di traffico** | L | L | L |

| Fattori | 4A\|Idx | 4B\|Idx | 4C\|Idx |
|---|---|---|---|
| **Segnaletica orizzontale** | S3 | S2 | S1 |
| **Condizioni di luce** | N | N | N |
| **Flusso di traffico** | C | C | C |

#### 3.3.1.1 Comportamento longitudinale: analisi delle velocità

La Tabella 13 riporta i valori di media e deviazione standard (SD) della velocità di ciascuno dei dodici partecipanti che ha guidato sul circuito considerato.

*Tabella 13 Media e SD della velocità per le rampe di ingresso a destra*

| **Velocità [km/h] \| RAMPA Idx** | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Flusso Libero \| Giorno** | | | | | | | | |
| CONF 1A\| **S1** | | | CONF 1B \| **S2** | | | CONF 1C\| **S3** | | |
| | **MEDIA** | **DS** | | **MEDIA** | **DS** | | **MEDIA** | **DS** |
| sez 1 | 66,6 | 10,3 | sez 1 | 62,4 | 9,6 | sez 1 | 64,7 | 9,7 |
| sez 2 | 64,9 | 11,8 | sez 2 | 61,3 | 9,6 | sez 2 | 63,0 | 12,8 |
| sez 3 | 65,8 | 12,4 | sez 3 | 62,9 | 9,2 | sez 3 | 65,3 | 14,7 |
| sez 4 | 68,8 | 12,5 | sez 4 | 66,3 | 8,7 | sez 4 | 69,2 | 14,1 |
| sez 5 | 80,0 | 12,3 | sez 5 | 72,7 | 9,9 | sez 5 | 76,9 | 12,0 |
| sez 6 | 94,1 | 11,5 | sez 6 | 85,2 | 9,1 | sez 6 | 86,0 | 13,5 |
| sez 7 | 97,4 | 10,8 | sez 7 | 88,2 | 10,0 | sez 7 | 90,4 | 13,4 |
| **Flusso Condizionato \| Giorno** | | | | | | | | |
| CONF 2A\| **S2** | | | CONF 2B \| **S3** | | | CONF 2C\| **S1** | | |
| | **MEDIA** | **DS** | | **MEDIA** | **DS** | | **MEDIA** | **DS** |
| sez 1 | 74,3 | 11,957 | sez 1 | 64,1 | 15,7 | sez 1 | 68,3 | 11,2 |
| sez 2 | 71,2 | 10,496 | sez 2 | 62,9 | 16,1 | sez 2 | 65,4 | 10,2 |
| sez 3 | 71,8 | 8,780 | sez 3 | 64,0 | 17,1 | sez 3 | 64,5 | 9,7 |
| sez 4 | 74,1 | 8,434 | sez 4 | 65,5 | 19,0 | sez 4 | 66,1 | 10,3 |
| sez 5 | 81,8 | 12,302 | sez 5 | 73,4 | 16,7 | sez 5 | 75,7 | 10,9 |
| sez 6 | 94,1 | 10,787 | sez 6 | 85,4 | 19,2 | sez 6 | 89,0 | 12,0 |
| sez 7 | 97,9 | 11,024 | sez 7 | 89,9 | 18,8 | sez 7 | 93,0 | 11,5 |
| **Flusso Libero \| Notte** | | | | | | | | |
| CONF 3A\| **S3** | | | CONF 3B \| **S1** | | | CONF 3C\| **S2** | | |
| | **MEDIA** | **DS** | | **MEDIA** | **DS** | | **MEDIA** | **DS** |
| sez 1 | 70,5 | 9,773 | sez 1 | 70,0 | 9,6 | sez 1 | 62,2 | 12,4 |
| sez 2 | 67,6 | 10,634 | sez 2 | 68,6 | 10,1 | sez 2 | 61,1 | 10,1 |
| sez 3 | 69,6 | 11,456 | sez 3 | 70,2 | 9,9 | sez 3 | 62,8 | 11,3 |
| sez 4 | 72,3 | 11,907 | sez 4 | 72,3 | 11,1 | sez 4 | 66,8 | 11,5 |
| sez 5 | 80,4 | 13,952 | sez 5 | 80,5 | 12,8 | sez 5 | 76,2 | 13,1 |
| sez 6 | 96,1 | 13,139 | sez 6 | 92,2 | 12,2 | sez 6 | 89,9 | 11,8 |
| sez 7 | 100,4 | 13,139 | sez 7 | 95,7 | 12,8 | sez 7 | 94,1 | 12,7 |
| **Flusso Condizionato \| Notte** | | | | | | | | |
| CONF 4A\| **S3** | | | CONF 4B \| **S2** | | | CONF 4C\| **S1** | | |
| | **MEDIA** | **DS** | | **MEDIA** | **DS** | | **MEDIA** | **DS** |
| sez 1 | 65,9 | 15,2 | sez 1 | 65,3 | 9,3 | sez 1 | 74,5 | 9,6 |
| sez 2 | 65,1 | 14,0 | sez 2 | 64,4 | 8,9 | sez 2 | 71,0 | 9,7 |
| sez 3 | 66,5 | 13,8 | sez 3 | 65,0 | 7,9 | sez 3 | 71,2 | 9,6 |
| sez 4 | 69,2 | 14,5 | sez 4 | 68,1 | 8,2 | sez 4 | 72,6 | 10,3 |
| sez 5 | 72,8 | 15,0 | sez 5 | 78,0 | 9,8 | sez 5 | 77,5 | 9,9 |
| sez 6 | 83,2 | 14,0 | sez 6 | 91,7 | 10,5 | sez 6 | 89,6 | 14,8 |
| sez 7 | 88,4 | 15,1 | sez 7 | 95,8 | 10,7 | sez 7 | 94,9 | 17,6 |

I dati ottenuti sono riportati in Figura 27 e Figura 28. In esse sono posti a confronto gli effetti prodotti dai tre diversi tipi di segnaletica (S1, S2, S3), a parità di flusso di traffico (libero/condizionato) e condizioni di luce (giorno/notte).

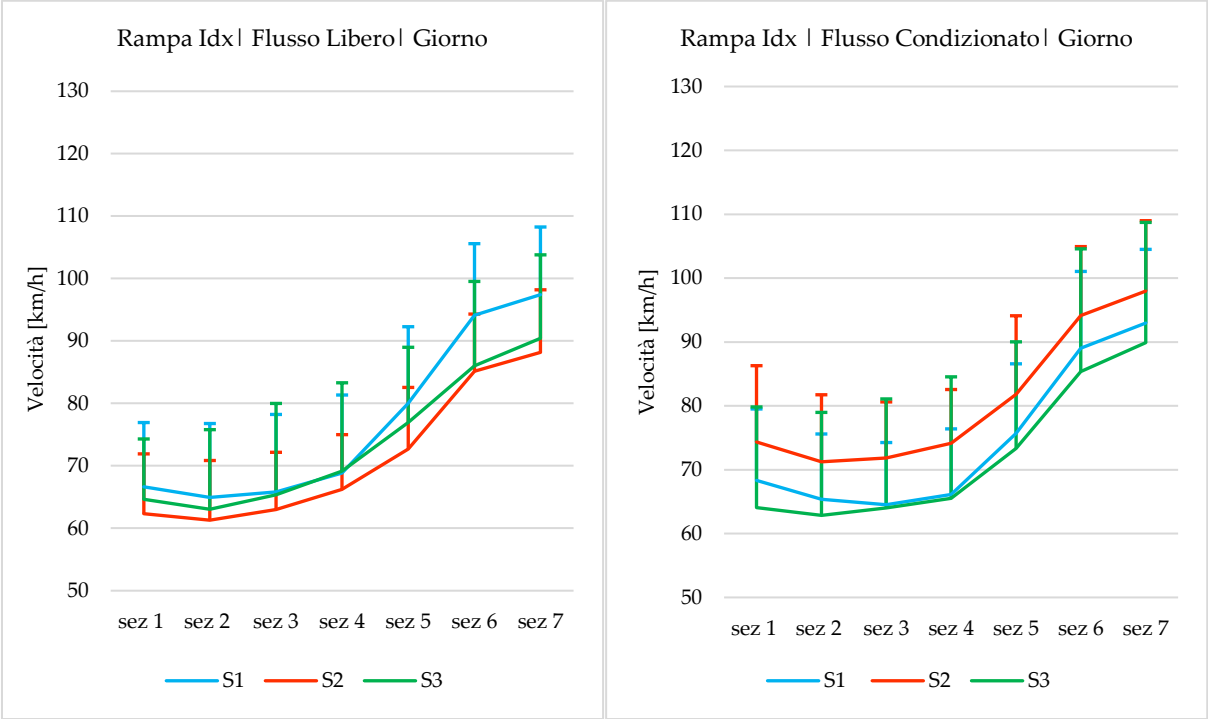



*Figura 27 Andamento delle velocità per segnaletica S1 (ordinaria), S2 (a bande interne), S3 (con zebrature esterne) |flusso libero; flusso condizionato | Giorno*

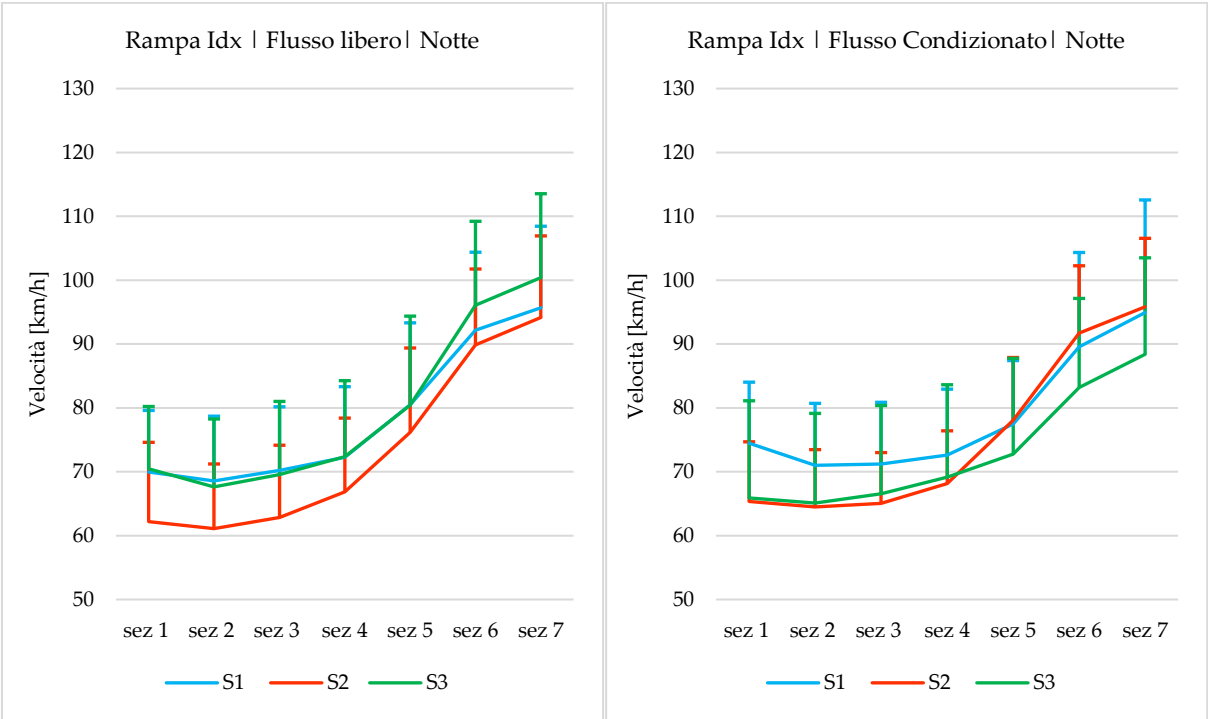



*Figura 28 Andamento delle velocità per segnaletica S1 (ordinaria), S2 (a bande interne), S3 (con zebrature esterne) | flusso libero; flusso condizionato | Notte*

Come è possibile notare, la segnaletica a bande interne S2 comporta una significativa riduzione delle velocità nei tratti centrali della rampa rispetto agli altri tipi di segnaletica, con la sola eccezione del caso diurno con flusso autostradale condizionato, in cui si verifica un significativo aumento delle velocità. (**sez 1.** Giorno; Flusso Libero; S1-S2 : **F**(11,11)=1.158, **p**=0.405; **t**(22)=1.319, **p**=0.059 | Giorno; Flusso Condizionato; S1-S2: **F**(11,11)=1.142, **p**=0.414; **t**(22)=1.270, **p**=0.021 | Notte; Flusso Libero; S1-S2: **F**(11,11)=0.602 , **p**=0.206; **t**(22)=1.715, **p**=0.050 | Notte; Flusso Condizionato; S1-S2: **F**(11,11)=1.048, **p**=0.469; **t**(22)=2.364, **p**=0.027). Gli utenti nella sezione 1 si trovano nel punto di distacco della rampa dalla strada di Cat. C (v. Figura 17). Essi, in questa sezione, stanno ancora subendo l'effetto della segnaletica S2 (nel suo schema di decelerazione), posizionata sul terminale della rampa di Cat. C, motivo per il quale, dalla sezione 1 alla sezione 4, si registrano velocità inferiori rispetto alla segnaletica ordinaria.

Dalla sezione 4 alla sezione 7 il guidatore, stimolato dalla segnaletica alternativa, avrebbe dovuto aumentare la propria velocità, rispetto alla segnaletica ordinaria, ed immettersi in autostrada con velocità prossime a quelle del flusso principale. Ciò accade solamente in presenza della segnaletica S2 nel caso notturno con flusso condizionato. In tutti gli altri casi ciò non accade, in quanto sul terminale la segnaletica è posizionata solamente sul lato destro della corsia e quindi il suo effetto è molto limitato. Il caso con rampa e terminale continuo dà luogo, quindi a velocità di immissione nella sezione autostradale inferiori per la segnaletica S2 rispetto alla S1 e alla S3, ciò a causa del ridotto sviluppo della stessa rampa nel suo complesso. Si evidenzia tuttavia che nella guida notturna questa segnaletica (S2) produce effetti assai positivi sulle velocità di immissione che sono risultate superiori rispetto a quelle delle altre due segnaletiche. Ciò è imputabile alla maggiore visibilità di tale segnaletica nella marcia notturna poiché messa meglio in evidenza dai fari del veicolo.

I risultati dimostrano che l'effetto cognitivo della segnaletica S2 comporta una drastica riduzione della velocità lungo la rampa di immissione. Per garantire velocità di immissione in autostrada che rispecchino le prescrizioni delle norme tecniche (pari ad almeno l'80% della velocità di progetto della sezione autostradale), il terminale dovrebbe essere allungato rispetto alla lunghezza minima fissata dalle istruzioni tecniche della norma, ciò in relazione ai risultati evidenziati nella guida diurna.

#### 3.3.1.2 Comportamento trasversale: analisi delle traiettorie

La Tabella 14 in basso presenta i valori di media e deviazione standard (DS) dello spostamento laterale, calcolati sui valori di *lane gap* di dodici valori per ogni sezione di interesse.

*Tabella 14 Media e SD dello scostamento laterale per le rampe di immissione a destra*

| **Lane Gap[m] \| RAMPA Idx** | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Flusso Libero \| Giorno** | | | | | | | | |
| CONF 1A\| **S1** | | | CONF 1B \| **S2** | | | CONF 1C\| **S3** | | |
| | **MEDIA** | **DS** | | **MEDIA** | **DS** | | **MEDIA** | **DS** |
| sez 1 | 0,738 | 0,270 | sez 1 | 0,091 | 0,325 | sez 1 | 0,630 | 0,405 |
| sez 2 | 0,921 | 0,338 | sez 2 | 0,171 | 0,243 | sez 2 | 0,722 | 0,419 |
| sez 3 | 0,742 | 0,327 | sez 3 | 0,375 | 0,265 | sez 3 | 0,723 | 0,477 |
| sez 4 | 0,731 | 0,413 | sez 4 | 0,587 | 0,297 | sez 4 | 0,692 | 0,534 |
| sez 5 | 0,301 | 0,990 | sez 5 | 0,220 | 0,845 | sez 5 | 0,248 | 1,237 |
| sez 6 | 3,120 | 0,791 | sez 6 | 2,066 | 1,394 | sez 6 | 1,555 | 1,659 |
| **Flusso Condizionato \| Giorno** | | | | | | | | |
| CONF 2A\| **S2** | | | CONF 2B \| **S3** | | | CONF 2C\| **S1** | | |
| | **MEDIA** | **DS** | | **MEDIA** | **DS** | | **MEDIA** | **DS** |
| sez 1 | 0,666 | 0,351 | sez 1 | 0,681 | 0,309 | sez 1 | 0,818 | 0,403 |
| sez 2 | 0,724 | 0,277 | sez 2 | 0,576 | 0,456 | sez 2 | 0,901 | 0,299 |
| sez 3 | 0,827 | 0,387 | sez 3 | 0,547 | 0,651 | sez 3 | 0,813 | 0,492 |
| sez 4 | 0,703 | 0,417 | sez 4 | 0,331 | 0,467 | sez 4 | 0,807 | 0,391 |
| sez 5 | 0,243 | 0,649 | sez 5 | 0,286 | 1,328 | sez 5 | 0,450 | 1,085 |
| sez 6 | 1,995 | 1,341 | sez 6 | 1,836 | 1,909 | sez 6 | 2,536 | 1,745 |
| **Flusso Libero \| Notte** | | | | | | | | |
| CONF 3A\| **S3** | | | CONF 3B \| **S1** | | | CONF 3C\| **S2** | | |
| | **MEDIA** | **DS** | | **MEDIA** | **DS** | | **MEDIA** | **DS** |
| sez 1 | 0,779 | 0,320 | sez 1 | 0,510 | 0,263 | sez 1 | 0,5809 | 0,2295 |
| sez 2 | 0,789 | 0,330 | sez 2 | 0,644 | 0,408 | sez 2 | 0,6075 | 0,3268 |
| sez 3 | 0,768 | 0,433 | sez 3 | 0,622 | 0,335 | sez 3 | 0,5640 | 0,2196 |
| sez 4 | 0,874 | 0,658 | sez 4 | 0,722 | 0,320 | sez 4 | 0,5615 | 0,4135 |
| sez 5 | 0,530 | 1,317 | sez 5 | 0,527 | 1,034 | sez 5 | 1,5638 | 1,5355 |
| sez 6 | 2,476 | 1,734 | sez 6 | 2,730 | 1,263 | sez 6 | 3,5382 | 0,4280 |
| **Flusso Condizionato \| Notte** | | | | | | | | |
| CONF 4A\| **S3** | | | CONF 4B \| **S2** | | | CONF 4C\| **S1** | | |
| | **MEDIA** | **DS** | | **MEDIA** | **DS** | | **MEDIA** | **DS** |
| sez 1 | 0,636 | 0,242 | sez 1 | 0,549 | 0,443 | sez 1 | 0,830 | 0,339 |
| sez 2 | 0,830 | 0,348 | sez 2 | 0,556 | 0,301 | sez 2 | 1,138 | 0,525 |
| sez 3 | 0,891 | 0,385 | sez 3 | 0,669 | 0,343 | sez 3 | 1,286 | 0,524 |
| sez 4 | 1,023 | 0,371 | sez 4 | 0,747 | 0,335 | sez 4 | 1,207 | 0,483 |
| sez 5 | -0,054 | 0,582 | sez 5 | 0,366 | 0,966 | sez 5 | -0,127 | 1,346 |
| sez 6 | 2,489 | 1,262 | sez 6 | 2,991 | 1,354 | sez 6 | 1,770 | 1,242 |

Nella Figura 29 e Figura 30 è possibile valutare l'andamento dello spostamento laterale al variare dei differenti tipi di segnaletica orizzontale sulla rampa di ingresso in continuo.

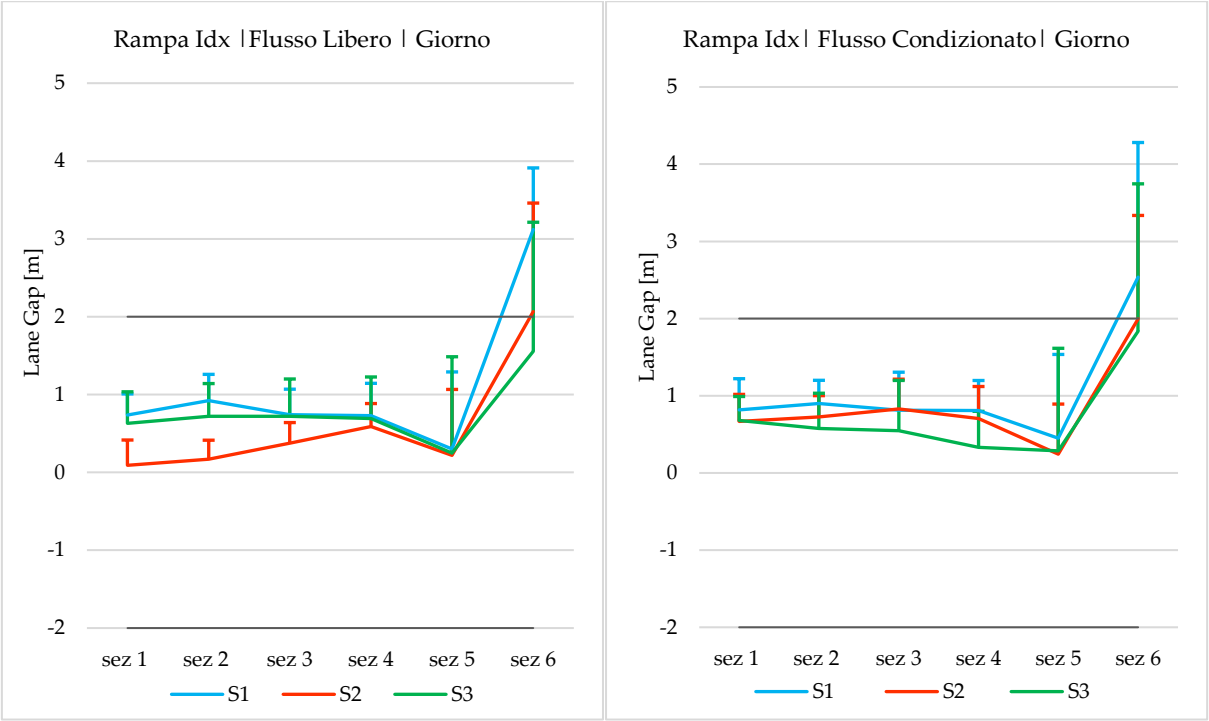



***Figura 29 Andamento dello spostamento laterale per segnaletica S1 (ordinaria), S2 (a bande interne), S3 (con zebrature esterne) | flusso libero; flusso condizionato | Giorno***

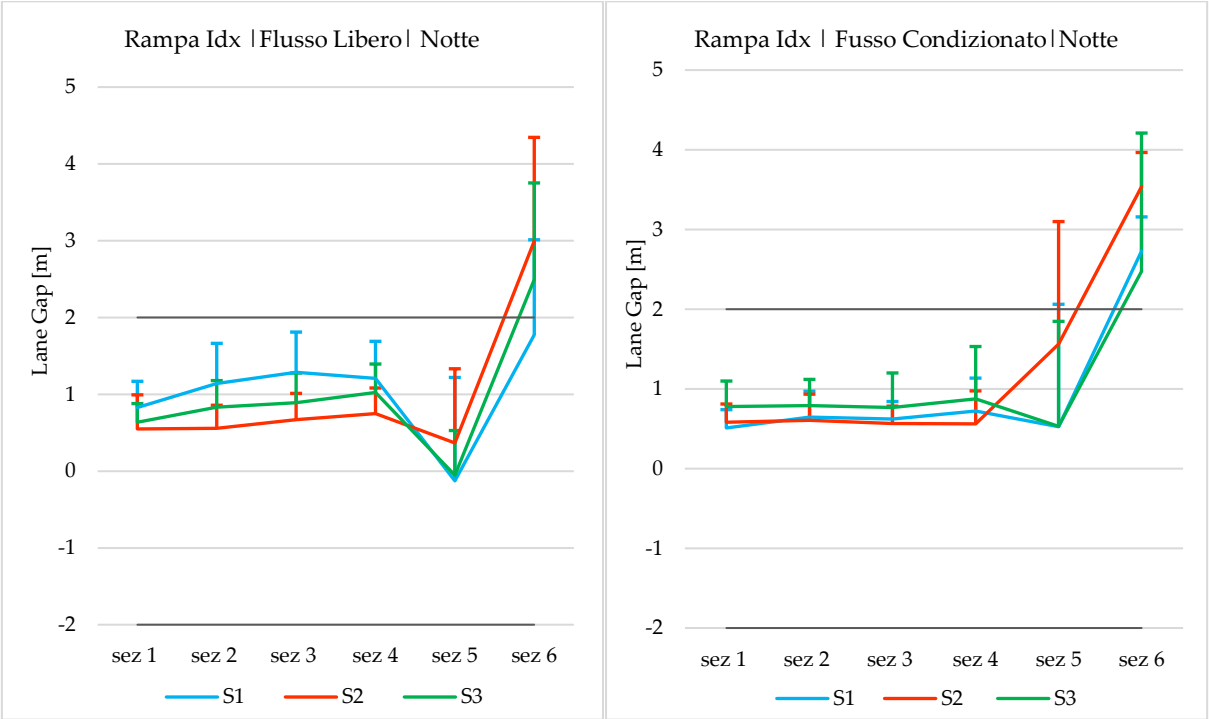



***Figura 30 Andamento dello spostamento laterale per segnaletica S1 (ordinaria), S2 (a bande interne), S3 (con zebrature esterne) | flusso libero; flusso condizionato | Notte***

Lo zero dell'asse delle ordinate coincide con il centro della corsia della rampa. Per facilitare la lettura, sono inoltre rappresentati il margine destro e il margine sinistro della corsia della rampa di larghezza 4 m. I valori negativi indicano uno spostamento verso destra rispetto al centro della corsia, mentre i valori positivi indicano uno spostamento verso sinistra.

La segnaletica S2, introdotta proprio con lo scopo di indurre i guidatori a un maggior controllo della traiettoria, conferma pertanto l'ipotesi sperimentale. Lungo le sezioni da 1 a 4 che si trovano lungo la rampa, i guidatori a cui è stata somministrata la segnaletica S2 hanno mantenuto la traiettoria del veicolo in asse con quella della corsia, con un controllo superiore con differenze statisticamente significative rispetto a coloro a cui è stata somministrata la segnaletica S1 (**sez 1.** Giorno; Flusso Libero; S1-S2 : **F**(11,11)=1.558, **p**= 0.237; **t**(22)=1.084, **p**=0.059 | Giorno; Flusso Condizionato; S1-S2: **F**(11,11)=0.761, **p**=0.329; **t**(22)=1.720, **p**=0.201 | Notte; Flusso Libero; S1-S2: **F**(11,11)=1.379 , **p**=0.301; **t**(22)=1.755, **p**=0.058 | Notte; Flusso Condizionato; S1-S2: **F**(11,11)=1.708, **p**=0.194; **t**(22)=-1.738, **p**=0.0961).

La segnaletica S3 ha avuto un'efficacia maggiore della S2 solo nel caso diurno con flusso condizionato. In tutti gli altri casi si nota un andamento vicino a quello dato dalla segnaletica ordinaria e comunque distante dal centro della corsia della rampa.

Inoltre, per ciò che riguarda i valori di deviazione standard del *lane gap* per la segnaletica S2, essi lungo la rampa risultano più bassi rispetto a quelli registrati nelle sezioni 5 e 6 sul terminale. Ciò vuol dire che i valori non si discostano molto dalla media fino a quando non entra in gioco l'interazione con il traffico, il quale ha portato gli utenti ad assumere comportamenti maggiormente diversificati durante la manovra di immissione.

La deviazione standard dello spostamento laterale (SDLP) fornisce un'indicazione sul controllo del veicolo operato dal guidatore. In Tabella 15 sono riportate le SDLP per la rampa di ingresso con terminale continuo.

In Figura 31 sono rappresentati tramite box plot gli andamenti della deviazione standard dello spostamento laterale dal centro della corsia della rampa, confrontando i tre diversi tipi di segnaletica orizzontale a parità di condizioni di illuminamento.

*Tabella 15 Valori di SDLP | Rampa Idx | Giorno; Notte | Valori medi riportati nella penultima riga in grassetto| KS-test riportato nell'ultima riga*

| Rampa Idx \| Giorno | | |
|---|---|---|
| **SDLP_S1** | **SDLP_S2** | **SDLP_S3** |
| 0,2742 | 0,3548 | 0,6596 |
| 0,3627 | 0,3953 | 0,2998 |
| 0,3705 | 0,2782 | 0,4447 |
| 0,3318 | 0,3962 | 0,3533 |
| 0,2547 | 0,2402 | 0,2579 |
| 0,6560 | 0,5056 | 0,6859 |
| 0,3599 | 0,3230 | 0,7096 |
| 0,4149 | 0,4919 | 0,4233 |
| 0,3984 | 0,3071 | 0,3782 |
| 0,3902 | 0,2516 | 0,3664 |
| 0,2852 | 0,2268 | 0,5627 |
| 0,1563 | 0,4390 | 0,4345 |
| **0,355** | **0,351** | **0,465** |
| Dcrit=0,393 > max (d)= 0,207 | Dcrit=0,393 > max (d)= 0,083 | Dcrit=0,393 > max (d)= 0,167 |

| Rampa Idx \| Notte | | |
|---|---|---|
| **SDLP_S1** | **SDLP_S2** | **SDLP_S3** |
| 0,4980 | 0,3379 | 0,4655 |
| 0,4585 | 0,4938 | 0,2393 |
| 0,2609 | 0,2829 | 0,5928 |
| 0,3859 | 0,1382 | 0,4408 |
| 0,2506 | 0,3681 | 0,4139 |
| 0,3645 | 0,3058 | 0,4559 |
| 0,2325 | 0,3167 | 0,3542 |
| 0,3391 | 0,2086 | 0,4091 |
| 0,4168 | 0,3983 | 0,3546 |
| 0,3134 | 0,2153 | 0,4526 |
| 0,4787 | 0,3063 | 0,3444 |
| 0,2445 | 0,2702 | 0,1597 |
| **0,354** | **0,303** | **0,390** |
| Dcrit=0,393 > max (d)= 0,142 | Dcrit=0,393 > max (d)= 0,059 | Dcrit=0,393 > max (d)= 0,111 |

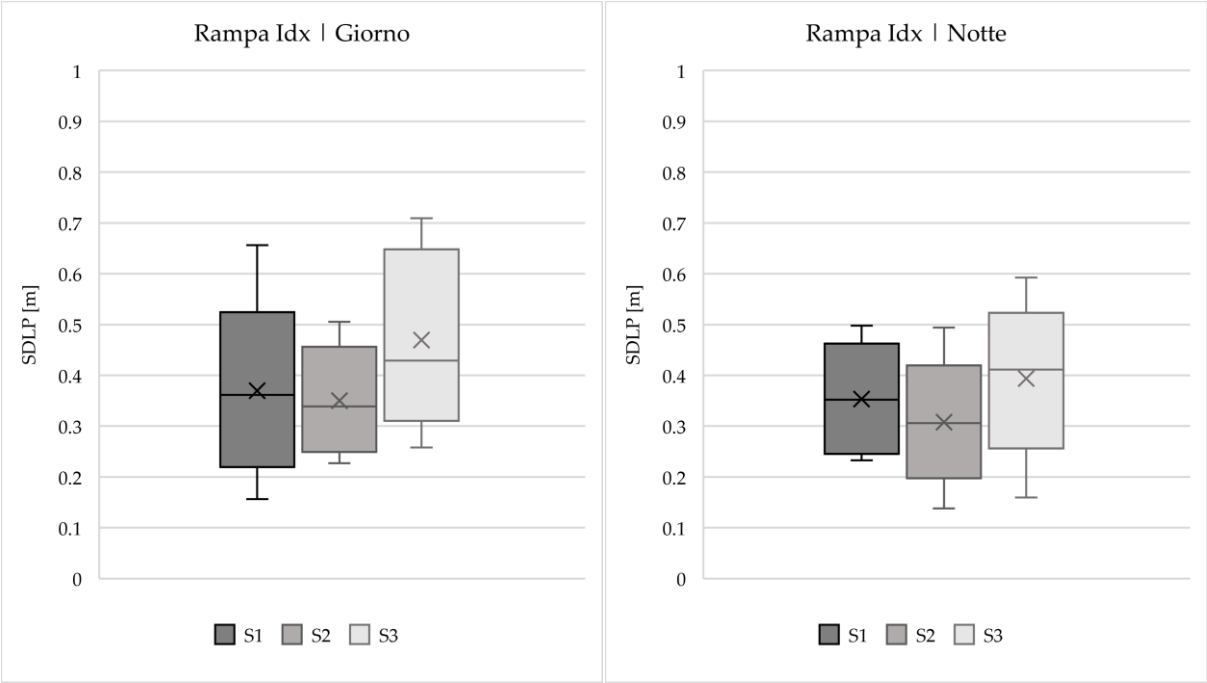



*Figura 31 SDLP | Rampa Idx | confronto S1, S2, S3 | Giorno; Notte*

In questo caso, i test statistici non mostrano differenze significative tra la segnaletica ordinaria S1 e la segnaletica S2 a bande interne sia nel caso diurno che nel caso notturno:

- Giorno S1-S2: **F**(11,11)= 1.573, **p**=0.232; **t**(22)=0.085, **p**=0.933;
- Notte S1-S2: **F**(11,11)= 1.040, **p**=0.475; **t**(22)=1.210, **p**=0.207;

sebbene i valori le medie siano favorevoli al buon esito della S2 rispetto alla S1. Differenze significative intercorrono tuttavia dal confronto tra i valori di SDLP conseguenti all'impiego della segnaletica S2 rispetto alla segnaletica S3:

- Giorno S2-S3: **F**(11,11)=0.390, **p**=0.028; **t**(22)=-2.179, **p**=0.0428
- Notte S2-S3: **F**(11,11)= 0.693, **p**=0.067; **t**(22)=-2.054, **p**=0.052.

Nel complesso si evidenzia un miglior controllo della traiettoria in quei guidatori che hanno guidato con la segnaletica S2 rispetto a quelli che hanno guidato con le altre due segnaletiche. Per le rampe di immissione con rampa a curvatura continua, si è osservato quindi un miglior controllo del veicolo in presenza della segnaletica S2. In **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** le medie della variabile SDLP per il caso delle rampe di immissione con curvatura destrorsa.

### 3.3.2 Rampe di immissione con terminale inflesso

L'analisi verte sul comportamento dell'utenza al variare della segnaletica durante l'immissione in autostrada con terminali a curvatura inflessa. Per questo tipo di rampe appartenenti ai dodici circuiti i fattori dell'esperimento sono stati fatti variare come in Tabella 16.

*Tabella 16 Combinazione dei fattori dell'esperimento | Isx | G=Giorno (ore 12:00); N=Notte (ore 23:00); L=Libero (1000 veh/h); C=Condizionato (3000 veh/h)*

| Fattori | 1A\|Isx | 1B\|Isx | 1C\|Isx |
|---|---|---|---|
| Segnaletica orizzontale | S3 | S1 | S2 |
| Condizioni di luce | G | G | G |
| Flusso di traffico | C | C | C |

| Fattori | 2A\|Isx | 2B\|Isx | 2CIsx |
|---|---|---|---|
| Segnaletica orizzontale | S1 | S2 | S3 |
| Condizioni di luce | G | G | G |
| Flusso di traffico | L | L | L |

| Fattori | 3A\|Isx | 3B\|Isx | 3C\|Isx |
|---|---|---|---|
| Segnaletica orizzontale | S2 | S3 | S1 |
| Condizioni di luce | N | N | N |
| Flusso di traffico | C | C | C |

| Fattori | 4A\|Isx | 4B\|Isx | 4C\|Isx |
|---|---|---|---|
| Segnaletica orizzontale | S1 | S3 | S2 |
| Condizioni di luce | N | N | N |
| Flusso di traffico | L | L | L |

### 3.3.2.1 Comportamento longitudinale: analisi delle velocità

I valori di media e deviazione standard (DS) della velocità riportati in Tabella 17 sono stati ricavati dalle osservazioni di ciascuno dei dodici partecipanti che hanno guidato sul circuito considerato per le otto sezioni di interesse.

*Tabella 17 Media e SD della velocità per le rampe di ingresso a sinistra*

| **Velocità [km/h] \| RAMPA Isx** | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Flusso Condizionato \| Giorno** | | | | | | | | |
| CONF 1A\| **S3** | | | CONF 1B \| **S1** | | | CONF 1C\| **S2** | | |
| | **MEDIA** | **DS** | | **MEDIA** | **DS** | | **MEDIA** | **DS** |
| sez 1 | 69,0 | 10,5 | sez 1 | 58,1 | 9,0 | sez 1 | 65,3 | 11,7 |
| sez 2 | 70,2 | 10,4 | sez 2 | 60,3 | 8,4 | sez 2 | 67,1 | 11,8 |
| sez 3 | 71,7 | 10,2 | sez 3 | 61,5 | 9,0 | sez 3 | 69,3 | 12,9 |
| sez 4 | 75,6 | 9,5 | sez 4 | 62,7 | 10,1 | sez 4 | 73,5 | 13,7 |
| sez 5 | 77,0 | 10,0 | sez 5 | 62,5 | 11,8 | sez 5 | 75,1 | 15,1 |
| sez 6 | 84,4 | 13,8 | sez 6 | 68,0 | 11,2 | sez 6 | 81,5 | 16,5 |
| sez 7 | 91,2 | 13,1 | sez 7 | 77,4 | 10,8 | sez 7 | 88,3 | 15,1 |
| sez 8 | 96,3 | 10,9 | sez 8 | 81,1 | 12,3 | sez 8 | 92,2 | 14,6 |
| **Flusso Libero \| Giorno** | | | | | | | | |
| CONF 2A\| **S1** | | | CONF 2B \| **S2** | | | CONF 2C\| **S3** | | |
| | **MEDIA** | **DS** | | **MEDIA** | **DS** | | **MEDIA** | **DS** |
| sez 1 | 65,5 | 8,0 | sez 1 | 70,3 | 7,7 | sez 1 | 62,9 | 10,8 |
| sez 2 | 67,5 | 7,6 | sez 2 | 71,6 | 7,5 | sez 2 | 64,3 | 11,0 |
| sez 3 | 69,8 | 7,9 | sez 3 | 73,0 | 7,4 | sez 3 | 66,2 | 11,3 |
| sez 4 | 73,4 | 8,9 | sez 4 | 75,5 | 8,6 | sez 4 | 68,6 | 12,9 |
| sez 5 | 76,8 | 8,9 | sez 5 | 76,8 | 8,4 | sez 5 | 68,7 | 15,2 |
| sez 6 | 83,7 | 7,9 | sez 6 | 87,2 | 7,9 | sez 6 | 77,6 | 12,8 |
| sez 7 | 92,9 | 8,6 | sez 7 | 93,6 | 8,4 | sez 7 | 85,6 | 12,3 |
| sez 8 | 96,4 | 8,9 | sez 8 | 96,2 | 8,9 | sez 8 | 89,3 | 12,9 |
| **Flusso Condizionato \| Notte** | | | | | | | | |
| CONF 3A\| **S2** | | | CONF 3B \| **S3** | | | CONF 3C\| **S1** | | |
| | **MEDIA** | **DS** | | **MEDIA** | **DS** | | **MEDIA** | **DS** |
| sez 1 | 72,9 | 14,1 | sez 1 | 67,1 | 11,9 | sez 1 | 65,3 | 14,3 |
| sez 2 | 75,7 | 13,7 | sez 2 | 69,7 | 11,6 | sez 2 | 67,3 | 15,1 |
| sez 3 | 78,4 | 14,01 | sez 3 | 72,0 | 12,1 | sez 3 | 69,6 | 16,8 |
| sez 4 | 79,8 | 13,6 | sez 4 | 73,9 | 13,7 | sez 4 | 70,3 | 18,6 |
| sez 5 | 80,4 | 14,2 | sez 5 | 73,6 | 14,9 | sez 5 | 69,9 | 18,1 |
| sez 6 | 85,3 | 14,2 | sez 6 | 79,5 | 17,4 | sez 6 | 74,1 | 20,3 |
| sez 7 | 92,0 | 13,1 | sez 7 | 87,2 | 15,3 | sez 7 | 84,4 | 11,9 |
| sez 8 | 96,1 | 12,7 | sez 8 | 90,0 | 16,9 | sez 8 | 88,9 | 12,3 |
| **Flusso Libero \| Notte** | | | | | | | | |
| CONF 4A\| **S1** | | | CONF 4B \| **S3** | | | CONF 4C\| **S2** | | |
| | **MEDIA** | **DS** | | **MEDIA** | **DS** | | **MEDIA** | **DS** |
| sez 1 | 63,9 | 10,3 | sez 1 | 71,5 | 11,1 | sez 1 | 67,9 | 9,3 |
| sez 2 | 66,3 | 10,6 | sez 2 | 73,2 | 11,7 | sez 2 | 70,1 | 9,5 |
| sez 3 | 68,7 | 11,6 | sez 3 | 75,2 | 12,5 | sez 3 | 72,1 | 9,6 |
| sez 4 | 71,3 | 12,7 | sez 4 | 78,2 | 13,2 | sez 4 | 76,5 | 9,6 |
| sez 5 | 72,3 | 14,0 | sez 5 | 79,4 | 14,1 | sez 5 | 78,7 | 9,2 |
| sez 6 | 79,7 | 14,5 | sez 6 | 87,0 | 15,1 | sez 6 | 85,8 | 13,2 |
| sez 7 | 89,6 | 13,9 | sez 7 | 93,5 | 15,0 | sez 7 | 90,7 | 14,9 |
| sez 8 | 92,1 | 14,0 | sez 8 | 97,6 | 15,1 | sez 8 | 93,3 | 17,9 |

Le Figura 32 e Figura 33 riportano l'andamento della media e deviazione standard dovuta ai tre diversi tipi di segnaletica (S1, S2, S3) sulle rampe con curvatura sinistrorsa.

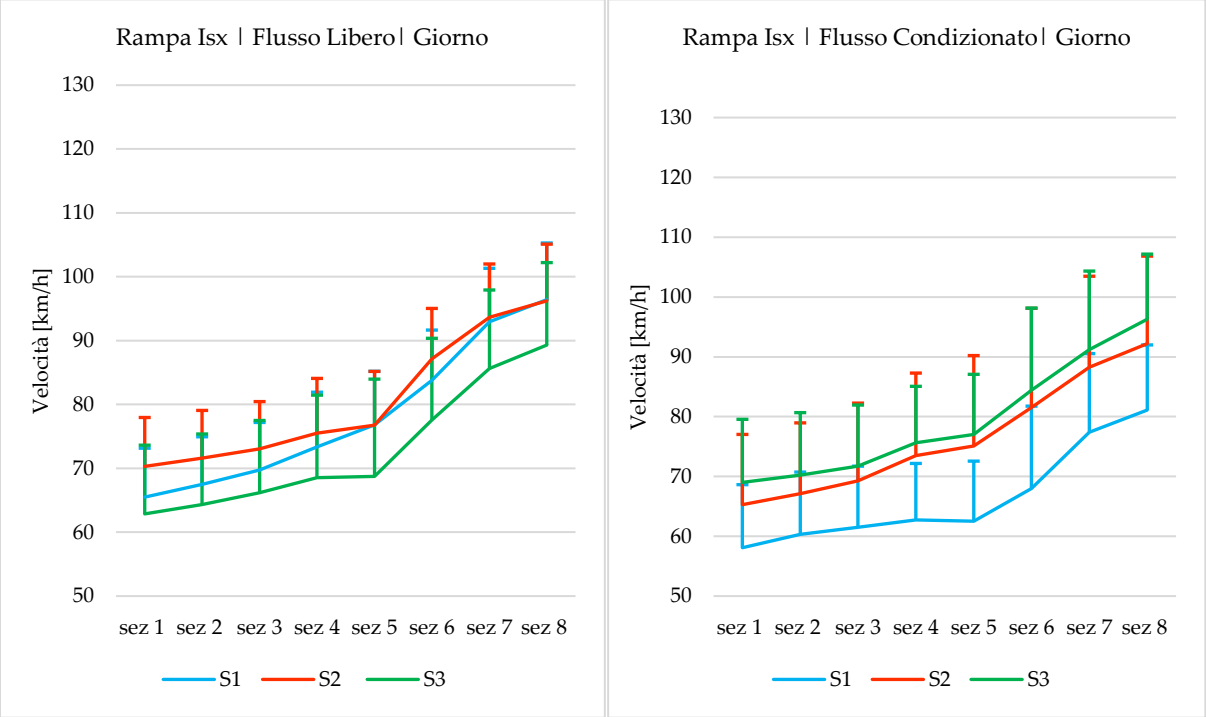



***Figura 32 Andamento delle velocità per segnaletica S1 (ordinaria), S2 (a bande interne), S3 (con zebrature esterne) | flusso libero; flusso condizionato | Giorno***

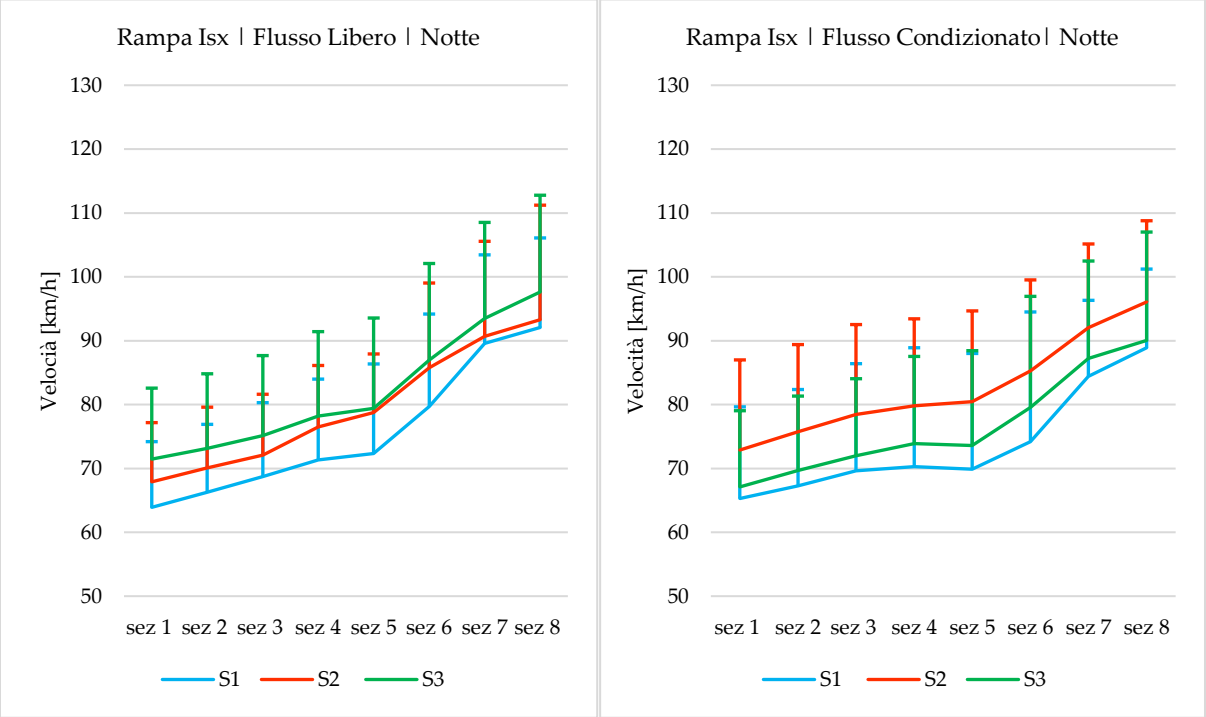



***Figura 33 Andamento delle velocità per segnaletica S1 (ordinaria), S2 (a bande interne), S3 (con zebrature esterne) | flusso libero; flusso condizionato | Notte***

Nel caso di rampe di immissione con curvatura inflessa l'effetto della segnaletica innovativa ha influito positivamente sull'utenza.

Fornire una rampa di accelerazione con una segnaletica in grado di stimolare l'utenza ad accelerare il veicolo per assumere sul terminale una velocità più vicina alla velocità del flusso principale, è fondamentale per affrontare la manovra di immissione in modo sicuro. La segnaletica alternativa (S2 e S3) induce l'utenza a percorrere il terminale a velocità superiori rispetto alla S1, sin dal tratto di rampa. L'unica eccezione è rappresentata dal caso di flusso libero in condizioni di illuminamento diurno, in cui la S3 manifesta velocità inferiori alla S1.

La segnaletica S2, invece, in tutti i casi ha fatto sì che la velocità dell'utenza fosse più elevata rispetto alla segnaletica ordinaria L'analisi di confronto alla **sez 5** della rampa tra la segnaletica S1 e la S2 evidenzia differenze statisticamente significative a vantaggio di quest'ultima (Giorno; Flusso Libero; S1-S2: **F**(11,11)=7.022, **p**=0.002; **t**(22)=1.654, **p**=0.025 | Giorno; Flusso Condizionato; S1-S2: **F**(11,11)=1.651, **p**= 0.209; **t**(22)=2.275, **p**=0.033 | Notte; Flusso Libero; S1-S2: **F**(11,11)=2.329 , **p**=0.088; **t**(22)=-1.322, **p**=0.068 | Notte; Flusso Condizionato; S1-S2: **F**(11,11)=0.616, **p**=0.217; **t**(22)=1.588, **p**=0.0364). Tale vantaggio è evidente sin dalle prime sezioni, soprattutto in presenza di un flusso condizionato e illuminamento notturno.

Inoltre, le più piccole deviazioni standard alle varie sezioni sottolineano un comportamento più omogeneo dei guidatori condizionati dalla segnaletica S2. Deviazioni standard più piccole riflettono un comportamento più omogeneo e sicuro di tutti i guidatori. Come indicato da Chartlon et al. (2018) l'omogeneità nel comportamento dei guidatori comporta una maggiore sicurezza.

### 3.3.2.2 Comportamento trasversale: analisi delle traiettorie

La Tabella 18 presenta i valori di media e deviazione standard (DS) dello spostamento laterale, calcolati sui valori di *lane gap* di ciascuno dei dodici partecipanti che hanno guidato sul circuito considerato, per ogni sezione di interesse.

***Tabella 18 Media e SD dello scostamento laterale per le rampe di ingresso a sinistra***

| **Lane Gap [m]\| RAMPA Isx** | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Flusso Condizionato \| Giorno** | | | | | | | | |
| CONF 1A\| **S3** | | | CONF 1B \| **S1** | | | CONF 1C\| **S2** | | |
| | **MEDIA** | **DS** | | **MEDIA** | **DS** | | **MEDIA** | **DS** |
| sez 1 | -0,790 | 0,232 | sez 1 | -0,585 | 0,918 | sez 1 | -0,611 | 0,440 |
| sez 2 | -0,933 | 0,266 | sez 2 | -1,068 | 0,457 | sez 2 | -0,589 | 0,377 |
| sez 3 | -0,954 | 0,283 | sez 3 | -1,206 | 0,422 | sez 3 | -0,779 | 0,540 |
| sez 4 | -0,815 | 0,191 | sez 4 | -0,914 | 0,450 | sez 4 | -0,631 | 0,411 |
| sez 5 | -0,345 | 0,386 | sez 5 | -0,372 | 0,564 | sez 5 | -0,029 | 0,542 |
| sez 6 | 2,095 | 1,678 | sez 6 | 1,074 | 1,495 | sez 6 | 2,270 | 1,532 |
| sez 7 | 3,215 | 1,881 | sez 7 | 2,400 | 1,665 | sez 7 | 3,412 | 1,581 |
| **Flusso Libero \| Giorno** | | | | | | | | |
| CONF 2A\| **S1** | | | CONF 2B \| **S2** | | | CONF 2C\| **S3** | | |
| | **MEDIA** | **DS** | | **MEDIA** | **DS** | | **MEDIA** | **DS** |
| sez 1 | -0,913 | 0,379 | sez 1 | -0,431 | 0,402 | sez 1 | -0,444 | 0,311 |
| sez 2 | -1,018 | 0,430 | sez 2 | -0,257 | 0,486 | sez 2 | -0,448 | 0,284 |
| sez 3 | -1,044 | 0,439 | sez 3 | -0,340 | 0,548 | sez 3 | -0,645 | 0,472 |
| sez 4 | -0,502 | 0,360 | sez 4 | -0,056 | 0,541 | sez 4 | -0,615 | 0,465 |
| sez 5 | 0,074 | 0,479 | sez 5 | -0,155 | 0,581 | sez 5 | -0,182 | 0,599 |
| sez 6 | 2,601 | 2,193 | sez 6 | 2,105 | 1,567 | sez 6 | 2,359 | 1,358 |
| sez 7 | 2,884 | 1,776 | sez 7 | 3,164 | 1,461 | sez 7 | 3,390 | 1,194 |
| **Flusso Condizionato \| Notte** | | | | | | | | |
| CONF 3A\| **S2** | | | CONF 3B \| **S3** | | | CONF 3C\| **S1** | | |
| | **MEDIA** | **DS** | | **MEDIA** | **DS** | | **MEDIA** | **DS** |
| sez 1 | -0,559 | 0,602 | sez 1 | -0,446 | 0,474 | sez 1 | -0,701 | 0,314 |
| sez 2 | -0,209 | 0,633 | sez 2 | -0,466 | 0,456 | sez 2 | -0,717 | 0,476 |
| sez 3 | -0,333 | 0,458 | sez 3 | -0,646 | 0,387 | sez 3 | -0,766 | 0,564 |
| sez 4 | -0,359 | 0,432 | sez 4 | -0,546 | 0,343 | sez 4 | -0,547 | 0,461 |
| sez 5 | -0,275 | 0,366 | sez 5 | -0,208 | 0,340 | sez 5 | -0,098 | 0,472 |
| sez 6 | 1,347 | 1,572 | sez 6 | 1,459 | 1,520 | sez 6 | 2,007 | 1,684 |
| sez 7 | 3,109 | 1,373 | sez 7 | 2,359 | 1,687 | sez 7 | 3,298 | 0,943 |
| **Flusso Libero \| Notte** | | | | | | | | |
| CONF 4A\| **S1** | | | CONF 4B \| **S3** | | | CONF 4C\| **S2** | | |
| | **MEDIA** | **DS** | | **MEDIA** | **DS** | | **MEDIA** | **DS** |
| sez 1 | -0,616 | 0,530 | sez 1 | -0,791 | 0,280 | sez 1 | -0,303 | 0,320 |
| sez 2 | -0,685 | 0,464 | sez 2 | -0,862 | 0,298 | sez 2 | -0,425 | 0,350 |
| sez 3 | -0,757 | 0,440 | sez 3 | -1,056 | 0,372 | sez 3 | -0,317 | 0,428 |
| sez 4 | -0,453 | 0,491 | sez 4 | -0,717 | 0,443 | sez 4 | -0,518 | 0,486 |
| sez 5 | -0,146 | 0,615 | sez 5 | -0,156 | 0,464 | sez 5 | -0,084 | 0,409 |
| sez 6 | 2,816 | 1,586 | sez 6 | -0,016 | 0,871 | sez 6 | 2,167 | 1,377 |
| sez 7 | 3,144 | 1,303 | sez 7 | 0,518 | 0,843 | sez 7 | 3,298 | 1,319 |

In Figura 34 e Figura 35 sono rappresentati i valori di media e deviazione standard dello spostamento laterale. I grafici mostrano i confronti tra i *lane gap* dati dai tre tipi di segnaletica orizzontale per le medesime condizioni di traffico e di illuminamento ambientale.

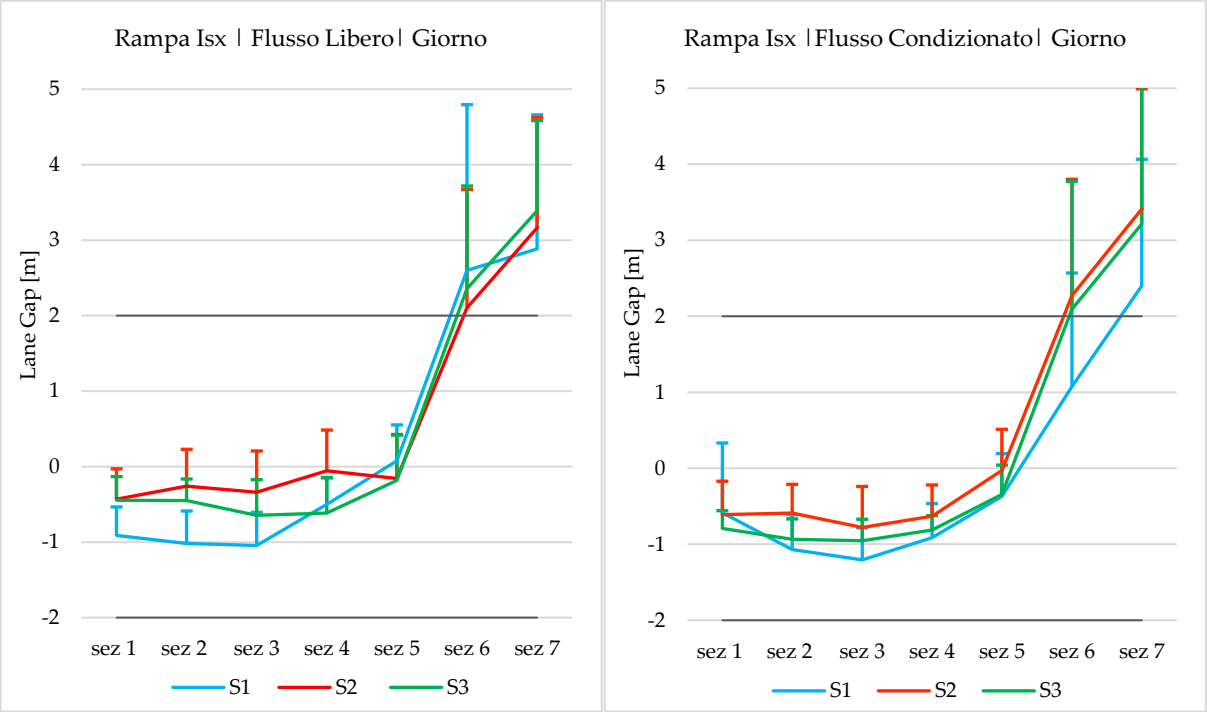



***Figura 34 Andamento dello spostamento laterale per segnaletica S1 (ordinaria), S2 (a bande interne), S3 (con zebrature esterne) |flusso libero; flusso condizionato | Giorno***

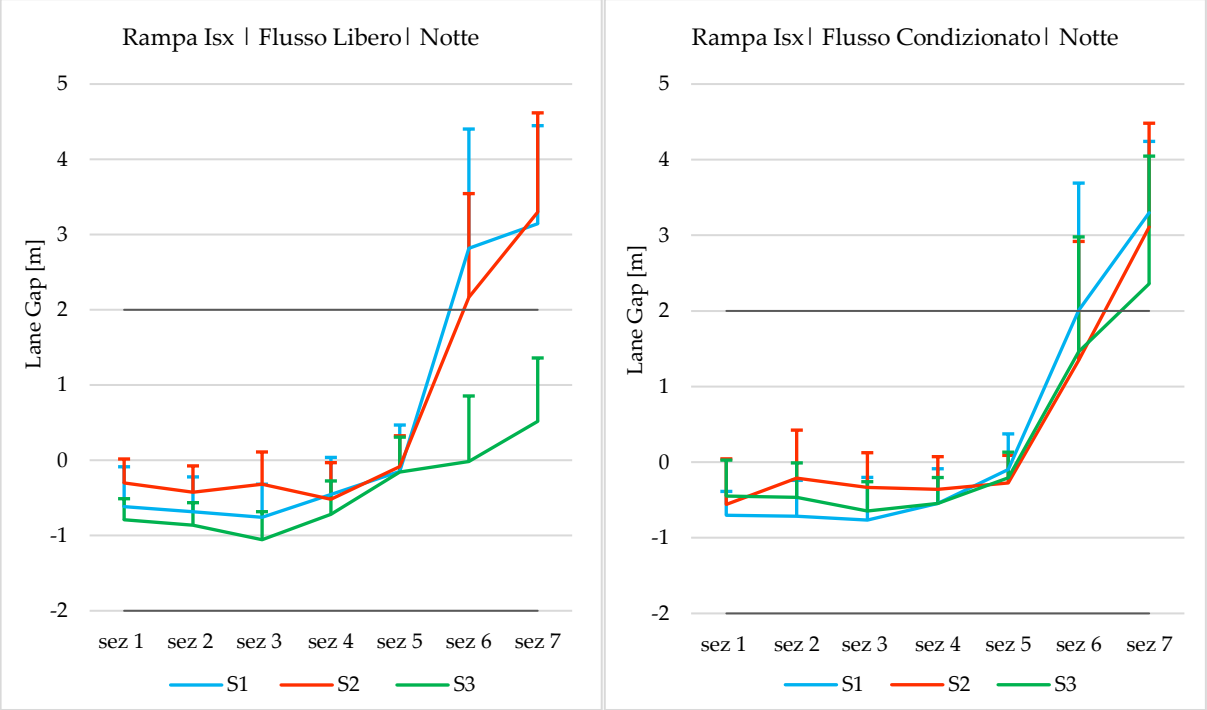



***Figura 35 Andamento dello spostamento laterale per segnaletica S1 (ordinaria), S2 (a bande interne), S3 (con zebrature esterne) |flusso libero; flusso condizionato | Notte***

Per le rampe di ingresso con terminale inflesso i valori di scostamento laterale dal centro della corsia in condizioni diurne risultano più bassi per la segnaletica a bande interne S2. In tutti i casi, questo tipo di segnaletica ha indotto l'utenza a mantenere valori di *lane gap* più prossimi allo zero, ossia a traiettorie più centrali lungo la corsia specializzata. I risultati statistici confermano differenze significative del *lane gap* a vantaggio della segnaletica S2 rispetto alla S1 (**sez 2.** Giorno; Flusso Libero; S1-S2: **F**(11,11)=0.783, **p**=0.346; **t**(22)=-1.667, **p**=0.029 | Giorno; Flusso Condizionato; S1-S2: **F**(11,11)=1.467, **p**= 0.267; **t**(22)=-2.799, **p**=0.010 | Notte; Flusso Libero; S1-S2: F(11,11)=1.761 , p=0.181; t(22)=0.829, p=0.068 | Notte; Flusso Condizionato; S1-S2: **F**(11,11)=1.769, **p**=0.179; **t**(22)=-0.841, **p**=0.0564). Le deviazioni standard risultano basse per le prime 5 sezioni, mentre nelle sezioni 6 e 7 i valori di DS sono più elevati poiché le manovre riflettono lo stile di guida dei conducenti nell'immissione nella corsia di marcia, con effetti che dipendono anche dal traffico presente in autostrada.

Nel caso diurno si notano differenze al variare del livello di traffico. In condizioni di flusso libero, i valori di *lane gap* relativi alla segnaletica S2 sono più prossimi allo zero (traiettorie più vicine al centro della corsia) rispetto al caso di flusso condizionato. Anche per la segnaletica S3 si verifica la stessa situazione. Tuttavia, la segnaletica S3, nonostante abbia portato un risultato più vantaggioso rispetto alla segnaletica ordinaria S1, ha fatto sì che l'utenza viaggi ad una distanza dal centro della corsia sempre maggiore rispetto alla segnaletica S2, con la quale i guidatori restano più centrali alla corsia della rampa.

Nel caso notturno invece i valori di *lane gap* dati dalla segnaletica S3 sono molto simili a quelli dati dalla S1. La segnaletica S2, anche nel caso notturno, porta l'utenza a mantenere una traiettoria sempre più centrale nella corsia, indipendentemente dal livello di traffico.

In Tabella 19 sono riportati i valori di SDLP misurati lungo le rampe di immissione con terminale inflesso.

In Figura 36 sono rappresentati i box plot degli andamenti della SDLP per le medesime condizioni di illuminamento ambientale. I dati sono stati estratti dal punto di distacco della rampa dall'autostrada fino alla sezione sul cerchio della rampa di raggio 150 m (vedi Figura 20).

*Tabella 19 SDLP | Rampa Isx | Giorno; Notte | Valori medi riportati nella penultima riga in grassetto| KS riportato nell'ultima riga*

| Rampa Isx \| Giorno | | |
|---|---|---|
| **SDLP_S1** | **SDLP_S2** | **SDLP_S3** |
| 0,5693 | 0,2214 | 0,3389 |
| 0,2853 | 0,4436 | 0,3072 |
| 0,1821 | 0,1929 | 0,2040 |
| 0,5595 | 0,2662 | 0,1748 |
| 0,3657 | 0,1497 | 0,3123 |
| 0,2704 | 0,2951 | 0,3431 |
| 0,2017 | 0,2288 | 0,2607 |
| 0,3501 | 0,4568 | 0,3784 |
| 0,2012 | 0,2249 | 0,3784 |
| 0,2207 | 0,2868 | 0,3440 |
| 0,2940 | 0,3396 | 0,2712 |
| 0,1258 | 0,2827 | 0,2712 |
| **0,302** | **0,272** | **0,299** |
| Dcrit=0,393 > max (d)= 0,139 | Dcrit=0,393 > max (d)= 0,138 | Dcrit=0,393 > max (d)= 0,118 |

| Rampa Isx \| Notte | | |
|---|---|---|
| **SDLP_S1** | **SDLP_S2** | **SDLP_S3** |
| 0,3039 | 0,3315 | 0,2475 |
| 0,3344 | 0,2038 | 0,2496 |
| 0,1664 | 0,2289 | 0,4202 |
| 0,4337 | 0,2111 | 0,1781 |
| 0,3551 | 0,2209 | 0,2543 |
| 0,4489 | 0,3316 | 0,5244 |
| 0,4489 | 0,1721 | 0,1580 |
| 0,1689 | 0,2157 | 0,6300 |
| 0,4554 | 0,5093 | 0,3972 |
| 0,9998 | 0,1301 | 0,2743 |
| 0,2623 | 0,3051 | 0,2592 |
| 0,3066 | 0,0698 | 0,4721 |
| **0,390** | **0,244** | **0,339** |
| Dcrit=0,393 > max (d)= 0,228 | Dcrit=0,393 > max (d)= 0,169 | Dcrit=0,393 > max (d)= 0,207 |

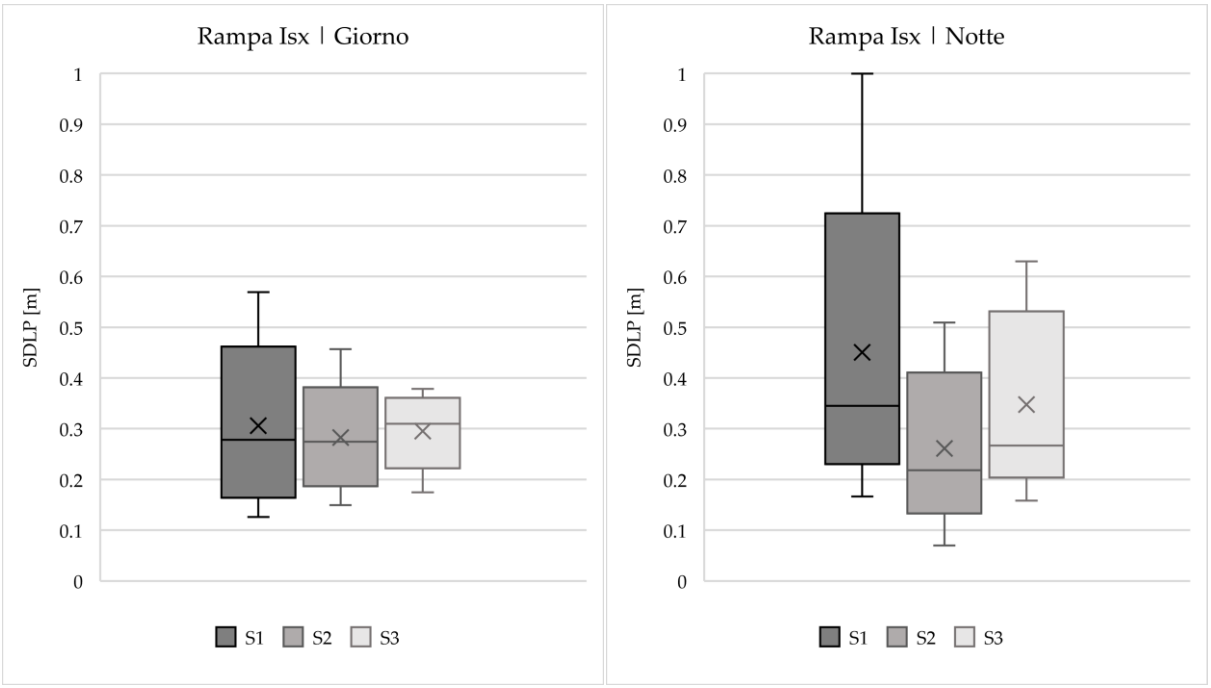



*Figura 36 SDLP | Rampa Isx | confronto S1, S2, S3 | Giorno; Notte*

Nel caso di rampe di immissione con terminale inflesso i test statistici confermano che le segnaletiche orizzontali S2 ed S3 comportano un miglior controllo della traiettoria del veicolo rispetto alla segnaletica ordinaria S1. Si riscontra una differenza statisticamente significativa tra la segnaletica S2 e la S1, soprattutto nel caso notturno (Notte S1-S2: **F**(11,11)=3.645, **p**=0,0210; **t**(17)=2.066, **p**=0.054). Infatti, eseguendo il t-test tra il campione sottoposto alla segnaletica S1 e quello sottoposto alla segnaletica S2 in condizioni notturne la

probabilità che i due campioni appartengano alla stessa popolazione è dello 0,054, ciò conferma che un fattore esterno porta a delle differenze tra i due campioni, in questo caso il fattore esterno risulta essere l'introduzione della segnaletica alternativa S2. L'F-test relativo al confronto tra le varianze sottolinea una sostanziale differenza anche nella dispersione dei valori, infatti la segnaletica S1 porta a dei valori molto più dispersi del caso relativo alla segnaletica alternativa S2.

Nel caso diurno invece si può notare come le varianze della variabile SDLP risultino differenti se si confronta il campione sottoposto alla segnaletica S1 e i campioni sottoposti ad entrambi i due tipi di segnaletica alternativa S2 e S3 (Giorno S1-(S2+S3): **F**(11,23)=3.181, **p**=0.0092). L'introduzione di una segnaletica innovativa porta dunque ad un maggior controllo del veicolo in quanto gli scostamenti dal valore medio risultano più ridotti rispetto al caso ordinario.

### 3.3.3 Rampe di diversione con terminale continuo

Per le rampe di uscita con curvatura destrorsa, sono stati combinati i fattori dell'esperimento come descritto per le **Rampe di immissione con terminale continuo.** Per le rampe di uscita con terminale continuo di ogni circuito sono stati combinati gli effetti di segnaletica orizzontale, livello di traffico e condizioni di illuminamento come descritto in Tabella 20.

***Tabella 20 Combinazione dei fattori dell'esperimento | Udx | G=Giorno (ore 12:00); N=Notte (ore 23:00); L=Libero (1000 veh/h); C=Condizionato (3000 veh/h)***

| Fattori | 1A\|Udx | 1B\|Udx | 1C\|Udx |
|---|---|---|---|
| **Segnaletica orizzontale** | S2 | S3 | S1 |
| **Condizioni di luce** | G | G | G |
| **Flusso di traffico** | L | L | L |

| Fattori | 2A\|Udx | 2B\|Udx | 2C\|Udx |
|---|---|---|---|
| **Segnaletica orizzontale** | S3 | S1 | S2 |
| **Condizioni di luce** | G | G | G |
| **Flusso di traffico** | C | C | C |

| Fattori | 3A\|Udx | 3B\|Udx | 3C\|Udx |
|---|---|---|---|
| **Segnaletica orizzontale** | S1 | S2 | S3 |
| **Condizioni di luce** | N | N | N |
| **Flusso di traffico** | L | L | L |

| Fattori | 4A\|Udx | 4B\|Udx | 4C\|Udx |
|---|---|---|---|
| **Segnaletica orizzontale** | S3 | S1 | S2 |
| **Condizioni di luce** | N | N | N |
| **Flusso di traffico** | C | C | C |

### 3.3.3.1 Comportamento longitudinale: analisi delle velocità

La Tabella 21 riporta i valori di media e deviazione standard (DS) della velocità per le rampe di diversione con terminale continuo.

*Tabella 21 Media e SD della velocità per le rampe di uscita a destra*

| **Velocità [km/h] \| RAMPA Udx** | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Flusso Libero \| Giorno** | | | | | | | | |
| CONF 1A\| **S2** | | | CONF 1B \| **S3** | | | CONF 1C\| **S1** | | |
| | **MEDIA** | **DS** | | **MEDIA** | **DS** | | **MEDIA** | **DS** |
| sez 1 | 107,2 | 8,9 | sez 1 | 98,6 | 17,3 | sez 1 | 106,8 | 13,7 |
| sez 2 | 81,5 | 9,9 | sez 2 | 72,5 | 14,6 | sez 2 | 83,5 | 15,6 |
| sez 3 | 76,4 | 16,5 | sez 3 | 69,6 | 13,2 | sez 3 | 80,0 | 13,7 |
| sez 4 | 76,4 | 14,3 | sez 4 | 69,6 | 11,3 | sez 4 | 80,0 | 13,8 |
| sez 5 | 73,5 | 13,0 | sez 5 | 68,2 | 10,3 | sez 5 | 77,6 | 13,0 |
| sez 6 | 71,3 | 11,3 | sez 6 | 67,6 | 10,3 | sez 6 | 74,6 | 12,0 |
| sez 7 | 70,3 | 11,0 | sez 7 | 67,9 | 9,5 | sez 7 | 74,9 | 12,8 |
| **Flusso Condizionato \| Giorno** | | | | | | | | |
| CONF 2A\| **S3** | | | CONF 2B \| **S1** | | | CONF 2C\| **S2** | | |
| | **MEDIA** | **DS** | | **MEDIA** | **DS** | | **MEDIA** | **DS** |
| sez 1 | 107,2 | 9,9 | sez 1 | 102,4 | 18,0 | sez 1 | 104,3 | 18,2 |
| sez 2 | 100,8 | 11,2 | sez 2 | 96,5 | 17,6 | sez 2 | 97,0 | 18,9 |
| sez 3 | 83,1 | 12,5 | sez 3 | 81,0 | 18,8 | sez 3 | 73,0 | 13,4 |
| sez 4 | 79,3 | 9,6 | sez 4 | 76,6 | 18,1 | sez 4 | 70,5 | 10,8 |
| sez 5 | 77,3 | 7,9 | sez 5 | 73,6 | 19,0 | sez 5 | 69,2 | 10,7 |
| sez 6 | 75,8 | 6,7 | sez 6 | 72,3 | 18,5 | sez 6 | 67,8 | 9,6 |
| sez 7 | 75,8 | 6,5 | sez 7 | 71,1 | 19,8 | sez 7 | 66,2 | 10,9 |
| **Flusso Libero \| Notte** | | | | | | | | |
| CONF 3A\| **S1** | | | CONF 3B \| **S2** | | | CONF 3C\| **S3** | | |
| | **MEDIA** | **DS** | | **MEDIA** | **DS** | | **MEDIA** | **DS** |
| sez 1 | 108,8 | 14,8 | sez 1 | 103,2 | 13,3 | sez 1 | 107,0 | 13,9 |
| sez 2 | 101,9 | 13,3 | sez 2 | 97,2 | 13,4 | sez 2 | 99,9 | 16,8 |
| sez 3 | 92,3 | 15,5 | sez 3 | 81,6 | 10,4 | sez 3 | 81,8 | 21,3 |
| sez 4 | 88,4 | 16,7 | sez 4 | 75,6 | 9,4 | sez 4 | 78,0 | 19,1 |
| sez 5 | 85,4 | 16,1 | sez 5 | 71,7 | 9,3 | sez 5 | 74,3 | 15,7 |
| sez 6 | 80,4 | 15,0 | sez 6 | 70,2 | 7,7 | sez 6 | 72,8 | 15,0 |
| sez 7 | 79,8 | 14,7 | sez 7 | 70,2 | 8,9 | sez 7 | 73,6 | 14,3 |
| **Flusso Condizionato \| Notte** | | | | | | | | |
| CONF 4A\| **S3** | | | CONF 4B \| **S1** | | | CONF 4C\| **S2** | | |
| | **MEDIA** | **DS** | | **MEDIA** | **DS** | | **MEDIA** | **DS** |
| sez 1 | 102,6 | 19,9 | sez 1 | 108,1 | 12,8 | sez 1 | 108,0 | 16,3 |
| sez 2 | 95,6 | 17,6 | sez 2 | 103,8 | 11,9 | sez 2 | 101,3 | 16,3 |
| sez 3 | 76,9 | 13,7 | sez 3 | 90,4 | 11,1 | sez 3 | 84,9 | 10,7 |
| sez 4 | 73,4 | 12,4 | sez 4 | 85,6 | 9,6 | sez 4 | 79,0 | 8,2 |
| sez 5 | 70,6 | 13,1 | sez 5 | 80,0 | 9,8 | sez 5 | 75,0 | 7,1 |
| sez 6 | 69,6 | 13,8 | sez 6 | 75,5 | 10,3 | sez 6 | 73,0 | 6,9 |
| sez 7 | 70,1 | 13,8 | sez 7 | 74,7 | 9,9 | sez 7 | 72,6 | 8,0 |

La Figura 37 e la Figura 38 mostrano l'andamento delle velocità al variare della segnaletica orizzontale.

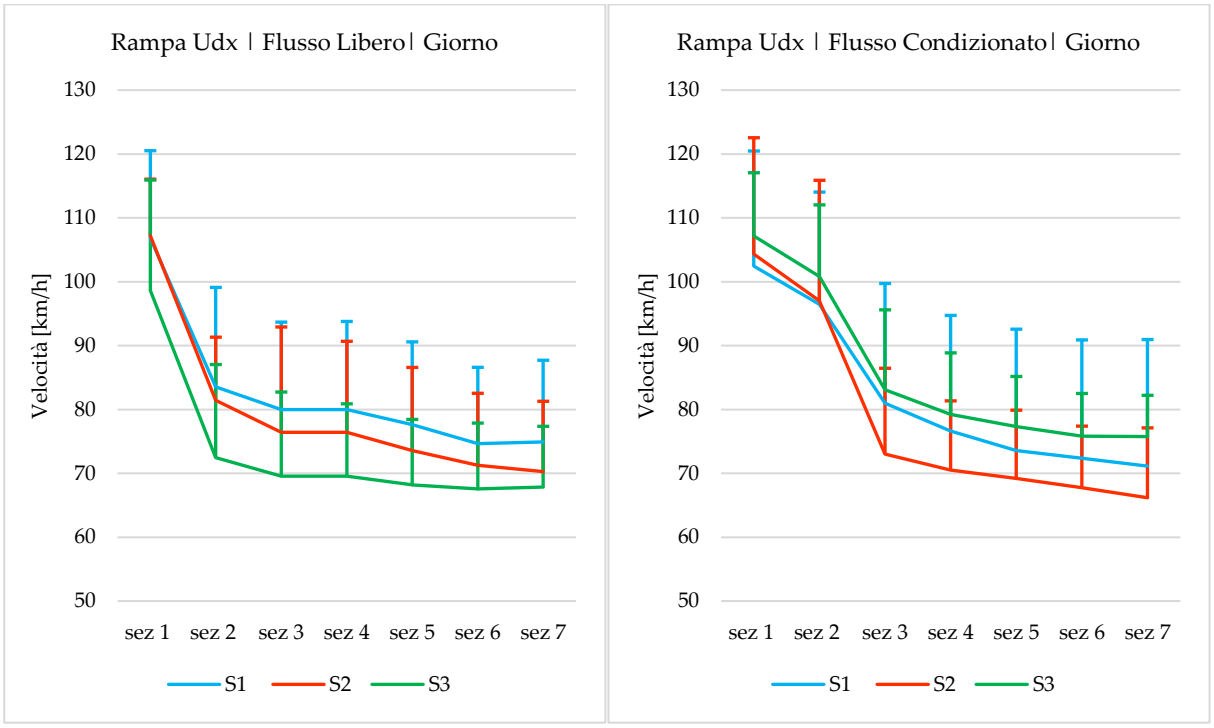



*Figura 37 Andamento delle velocità per segnaletica S1 (ordinaria), S2 (a bande interne), S3 (con zebrature esterne) | flusso libero; flusso condizionato | Giorno*

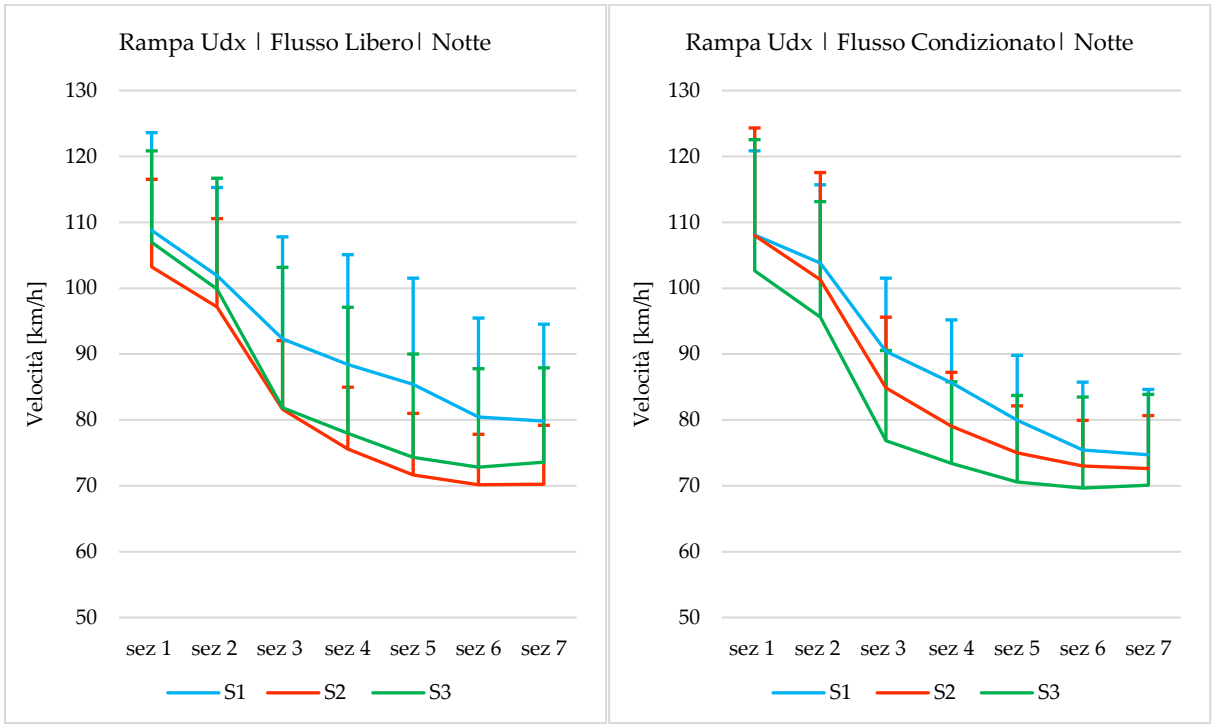



*Figura 38 Andamento delle velocità per segnaletica S1 (ordinaria), S2 (a bande interne), S3 (con zebrature esterne) | flusso libero; flusso condizionato | Notte*

Lungo le rampe di uscita la segnaletica alternativa ha inciso molto sul controllo della velocità da parte degli utenti. La segnaletica S2 ha indotto la scelta di velocità dei guidatori lungo la rampa a essere sempre inferiori rispetto a quelle della segnaletica S1. A titolo di esempio, per la **sez 5** si rilevano differenze statisticamente significative con la segnaletica S1 (Giorno; Flusso Libero; S1-S2 : **F**(11,11)=1.011, **p**= 0.049; **t**(22)=-0.767, **p**=0.088| Giorno; Flusso Condizionato; S1-S2: **F**(11,11)=3.178, **p**=0.034; **t**(22)=0.689, **p**=0.078 | Notte; Flusso Libero; S1-S2: **F**(11,11)=2.980 , **p**=0.042; **t**(18)=2.559, **p**=0.019| Notte; Flusso Condizionato; S1-S2: **F**(11,11)=1.910, **p**=0.149; **t**(22)=1.417, **p**=0.058). Si nota, infatti, soprattutto nel caso diurno in presenza di un flusso condizionato, che nonostante i guidatori arrivino dalla corsia autostradale ad una velocità più elevata, in presenza della segnaletica S2, raggiungano in media i 67 km/h nella sezione 7 valore inferiore rispetto alla segnaletica standard S1 (71 km/h). Ciò ne testimonia la grande efficacia: arrivando dalla corsia autostradale a velocità elevate, in presenza della segnaletica S2, la velocità viene diminuita lungo la rampa da parte dei conducenti. Anche la segnaletica S3 ha portato i guidatori a diminuire la velocità rispetto alla segnaletica ordinaria, ad eccezione del caso diurno con flusso condizionato.

Si può notare, inoltre, come le DS relative alla segnaletica S2 risultano più basse rispetto a quelle relative alla segnaletica ordinaria S1, soprattutto dalla sezione 3 alla sezione 7 (sulla rampa) . Nei tratti di avvicinamento alla rampa (sezione 1, sezione 2 e sezione 3) invece le DS risultano elevate per tutti i tipi di segnaletica, in quanto riflettono lo stile di guida durante la diversione dalla carreggiata autostradale. Anche la segnaletica S3 ha dato degli scostamenti rispetto alla media (DS) più alti rispetto a quelli risultanti dalla presenza della segnaletica S2. Questo indica che gli utenti hanno mantenuto un comportamento più omogeneo durante la guida in presenza della segnaletica S2.

### 3.3.3.2 Comportamento trasversale: analisi delle traiettorie

La Tabella 22 presenta i valori di media e deviazione standard (SD) dello spostamento laterale, calcolati sui valori di *lane gap* di ciascuno dei dodici partecipanti che hanno guidato sul circuito considerato nelle sezioni di interesse.

***Tabella 22 Media e SD dello scostamento laterale per le rampe di uscita destrorse***

| **Lane Gap [km/h] \| RAMPA Udx** | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Flusso Libero \| Giorno** | | | | | | | | |
| CONF 1A\| **S2** | | | CONF 1B \| **S3** | | | CONF 1C\| **S1** | | |
| | **MEDIA** | **DS** | | **MEDIA** | **DS** | | **MEDIA** | **DS** |
| sez 2 | 0,771 | 0,522 | sez 2 | 0,794 | 0,505 | sez 2 | 1,077 | 0,680 |
| sez 3 | -0,254 | 0,264 | sez 3 | -0,336 | 0,324 | sez 3 | -0,110 | 0,426 |
| sez 4 | -0,594 | 0,269 | sez 4 | -0,735 | 0,277 | sez 4 | -0,576 | 0,326 |
| sez 5 | -0,702 | 0,353 | sez 5 | -0,859 | 0,390 | sez 5 | -1,006 | 0,389 |
| sez 6 | -0,353 | 0,296 | sez 6 | -0,714 | 0,457 | sez 6 | -0,888 | 0,502 |
| sez 7 | -0,498 | 0,356 | sez 7 | -0,929 | 0,260 | sez 7 | -0,899 | 0,498 |
| **Flusso Condizionato \| Giorno** | | | | | | | | |
| CONF 2A\| **S3** | | | CONF 2B \| **S1** | | | CONF 2C\| **S2** | | |
| | **MEDIA** | **DS** | | **MEDIA** | **DS** | | **MEDIA** | **DS** |
| sez 2 | 0,903 | 0,464 | sez 2 | 0,660 | 0,434 | sez 2 | 1,116 | 0,834 |
| sez 3 | -0,363 | 0,309 | sez 3 | -0,322 | 0,441 | sez 3 | -0,103 | 0,437 |
| sez 4 | -0,727 | 0,376 | sez 4 | -0,638 | 0,452 | sez 4 | -0,190 | 0,257 |
| sez 5 | -0,969 | 0,413 | sez 5 | -1,098 | 0,429 | sez 5 | -0,458 | 0,291 |
| sez 6 | -0,721 | 0,359 | sez 6 | -0,806 | 0,684 | sez 6 | -0,313 | 0,320 |
| sez 7 | -0,583 | 0,385 | sez 7 | -0,511 | 1,024 | sez 7 | -0,340 | 0,319 |
| **Flusso Libero \| Notte** | | | | | | | | |
| CONF 3A\| **S1** | | | CONF 3B \| **S2** | | | CONF 3C\| **S3** | | |
| | **MEDIA** | **DS** | | **MEDIA** | **DS** | | **MEDIA** | **DS** |
| sez 2 | 1,260 | 0,838 | sez 2 | 0,764 | 0,629 | sez 2 | 0,783 | 0,415 |
| sez 3 | -0,050 | 0,515 | sez 3 | -0,060 | 0,348 | sez 3 | -0,031 | 0,379 |
| sez 4 | -0,598 | 0,424 | sez 4 | -0,335 | 0,305 | sez 4 | -0,474 | 0,395 |
| sez 5 | -1,123 | 0,572 | sez 5 | -0,496 | 0,379 | sez 5 | -0,794 | 0,342 |
| sez 6 | -0,792 | 0,403 | sez 6 | -0,179 | 0,517 | sez 6 | -0,507 | 0,433 |
| sez 7 | -0,839 | 0,621 | sez 7 | -0,396 | 0,535 | sez 7 | -0,683 | 0,398 |
| **Flusso Condizionato \| Notte** | | | | | | | | |
| CONF 4A\| **S3** | | | CONF 4B \| **S1** | | | CONF 4C\| **S2** | | |
| | **MEDIA** | **DS** | | **MEDIA** | **DS** | | **MEDIA** | **DS** |
| sez 2 | 0,964 | 0,841 | sez 2 | 1,028 | 0,741 | sez 2 | 1,004 | 0,638 |
| sez 3 | -0,094 | 0,457 | sez 3 | -0,210 | 0,341 | sez 3 | -0,085 | 0,452 |
| sez 4 | -0,746 | 0,313 | sez 4 | -0,765 | 0,298 | sez 4 | -0,262 | 0,350 |
| sez 5 | -0,942 | 0,254 | sez 5 | -1,116 | 0,245 | sez 5 | -0,513 | 0,377 |
| sez 6 | -0,728 | 0,388 | sez 6 | -0,795 | 0,404 | sez 6 | -0,424 | 0,483 |
| sez 7 | -0,815 | 0,376 | sez 7 | -0,905 | 0,440 | sez 7 | -0,446 | 0,301 |

In Figura 39 e Figura 40 è riportato l'andamento dello spostamento laterale al variare della segnaletica lungo la rampa di diversione.

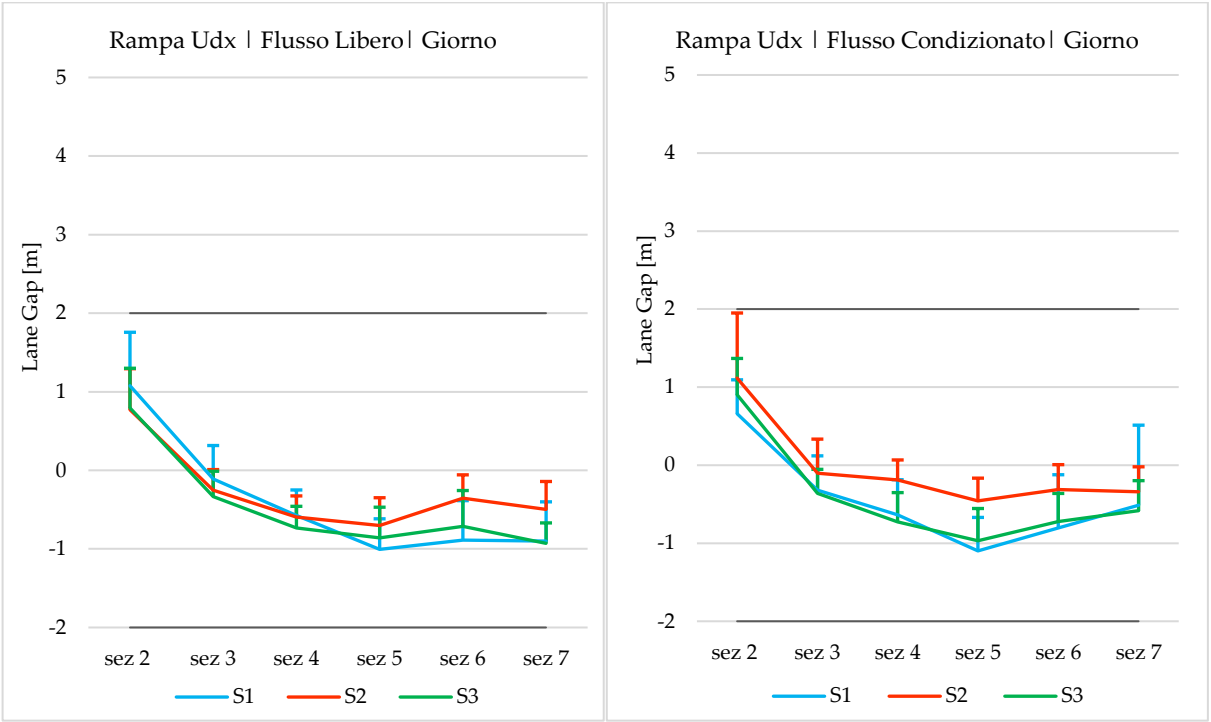



*Figura 39 Andamento dello spostamento laterale per segnaletica S1 (ordinaria), S2 (a bande interne), S3 (con zebrature esterne) |flusso libero; flusso condizionato | Giorno*

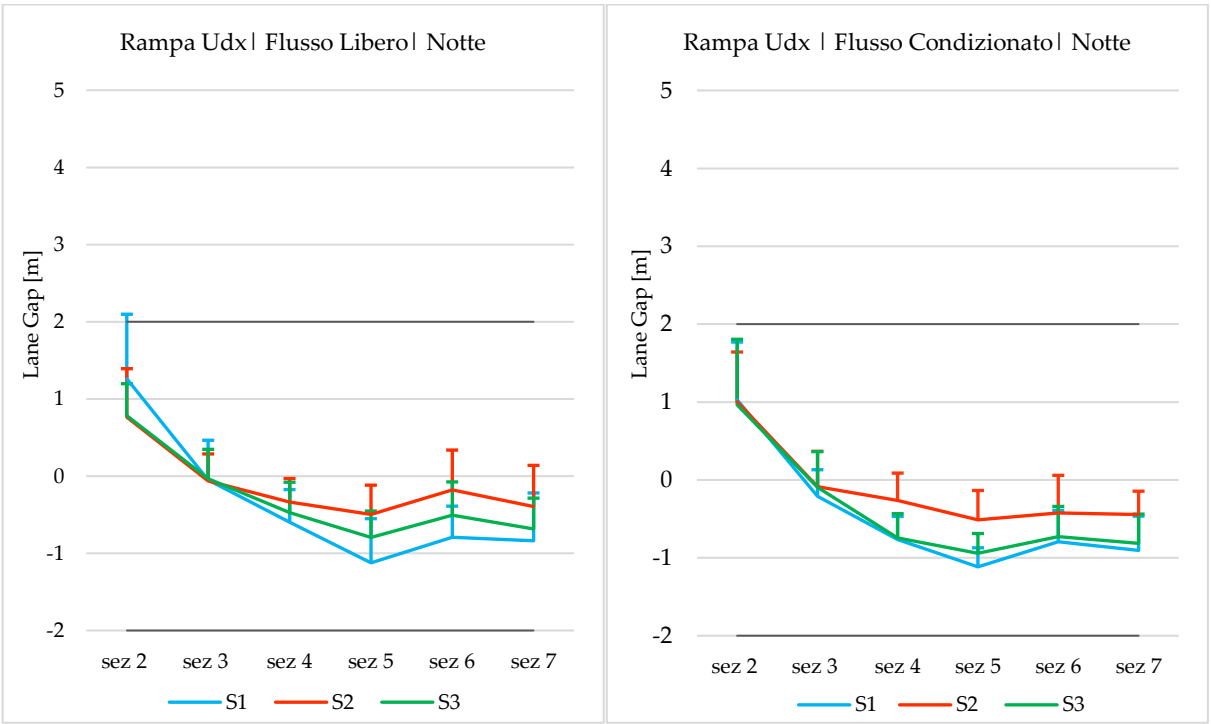



*Figura 40 Andamento dello spostamento laterale per segnaletica S1 (ordinaria), S2 (a bande interne), S3 (con zebrature esterne) |flusso libero; flusso condizionato | Notte*

Anche in questo caso la segnaletica S2 condiziona positivamente i guidatori, che mantengono la traiettoria più centrale sulla corsia del terminale di rampa. Quindi i *lane gap* dati da una segnaletica a bande interne S2, risultano più prossimi allo zero, con un andamento quasi costante. A titolo di esempio, nella **sez 5** si rilevano differenze statisticamente significative tra la segnaletica S2 e la S1 a vantaggio della prima (Giorno; Flusso Libero; S1-S2: **F**(11,11)=0.825, **p**=0.378; **t**(22)=2.002, **p**=0.058|Giorno; Flusso Condizionato; S1-S2: **F**(11,11)=2.166, **p**=0.059; **t**(22)=-2.945, **p**=0.008 | Notte; Flusso Libero; S1-S2: **F**(11,11)=0.440 , **p**=0.093; **t**(22)=-3.166, **p**=0.004|Notte; Flusso Condizionato; S1-S2: **F**(11,11)=0.420, **p**=0.083; **t**(22)=-1.565, **p**=0.035). Le DS, in condizioni di illuminamento diurno, in presenza di segnaletica S2 risultano minori rispetto a quelle associate ad una segnaletica ordinaria. La S2 quindi ha fatto sì che l'utenza abbia mantenuto valori di *lane gap* più uniformi e la segnaletica S1 ha portato a discostamenti maggiori dal valore medio. La segnaletica S3 riporta dei valori più vicini all'asse della corsia della rampa rispetto alla segnaletica ordinaria S1, ma risulta meno efficace della S2. In tutti i casi l'introduzione della segnaletica alternativa ha portato, ad un maggior controllo della traiettoria. Ciò risulta positivo, in quanto l'utenza, viaggiando a velocità molto elevate in autostrada, può facilmente andare in collisione con altri veicoli o perdere il controllo del veicolo durante la manovra di diversione. Inserire quindi una segnaletica che aumenti la sicurezza stradale è molto rilevante nelle corsie di diversione. In Tabella 23 sono riportate le SDLP acquisite per la rampa di diversione con curvatura continua.

***Tabella 23 SDLP | Rampa Udx | Giorno; Notte | Valori medi riportati nella penultima riga in grassetto |KS riportato nell'ultima riga***

| **Rampa Udx \| Giorno** | | |
|---|---|---|
| **SDLP_S1** | **SDLP_S2** | **SDLP_S3** |
| 0,3569 | 0,2186 | 0,2852 |
| 0,1652 | 0,1800 | 0,1514 |
| 0,3310 | 0,1822 | 0,2239 |
| 0,1536 | 0,0836 | 0,2641 |
| 0,2181 | 0,1991 | 0,3032 |
| 0,3165 | 0,1396 | 0,3364 |
| 0,2033 | 0,1501 | 0,2536 |
| 0,2048 | 0,2420 | 0,0704 |
| 0,1809 | 0,2492 | 0,2101 |
| 0,2220 | 0,1548 | 0,1425 |
| 0,2991 | 0,3501 | 0,3451 |
| 0,1820 | 0,1308 | 0,1377 |
| **0,236** | **0,190** | **0,226** |
| Dcrit=0,393 > max (d)= 0,1949 | Dcrit=0,393 > max (d)=0,083 | Dcrit=0,393 > max (d)=0,1157 |

| **Rampa Udx \| Notte** | | |
|---|---|---|
| **SDLP_S1** | **SDLP_S2** | **SDLP_S3** |
| 0,3452 | 0,2440 | 0,3362 |
| 0,2546 | 0,2631 | 0,5994 |
| 0,9513 | 0,0588 | 0,3683 |
| 0,1558 | 0,2920 | 0,1446 |
| 0,5698 | 0,2276 | 0,2100 |
| 0,4680 | 0,4401 | 0,2131 |
| 0,2546 | 0,1856 | 0,1483 |
| 0,1674 | 0,2951 | 0,1645 |
| 0,2090 | 0,2111 | 0,2179 |
| 0,2526 | 0,2364 | 0,1102 |
| 0,2980 | 0,2150 | 0,1043 |
| 0,2712 | 0,3118 | 0,1850 |
| **0,3498** | **0,2484** | **0,2335** |
| Dcrit=0,393 > max (d)= 0,207 | Dcrit=0,393 > max (d)= 0,195 | Dcrit=0,393 > max (d)= 0,236 |

In Figura 41 è riportato l'andamento della SDLP per le rampe di diversione con terminale continuo.

Nel caso di corsie di diversione l'introduzione della segnaletica alternativa ha portato delle sostanziali differenze soprattutto nel caso notturno. I test confermano infatti che nel caso notturno le segnaletiche orizzontali S2 ed S3 hanno portato l'utenza a mantenere un miglior controllo del veicolo rispetto al caso della segnaletica ordinaria (Notte S1-(S2+S3): **F**(11,23)=3.751, **p**=0.0036; **t**(34)=1.937, **p**=0.51). Infatti, la dispersione dei valori intorno alla media per la segnaletica ordinaria è molto elevata nel caso notturno, questo testimonia che una segnaletica innovativa può aiutare i guidatori a seguire delle traiettorie più ordinate e di conseguenza a viaggiare in condizioni di sicurezza maggiori.

Per il caso diurno non si riscontrano differenze sostanziali tra la segnaletica ordinaria e i due tipi di segnaletica innovativa (Giorno S1- (S2+S3): **F**(11,23)=0.789, **p**=0.352; **t**(25)=1.064; **p**=0.297). Nel caso diurno, però, si registrano dei valori bassi di SDLP per tutti i tipi di segnaletica, che mostrano quindi un buon controllo del veicolo indipendentemente dal segnale impiegato. La segnaletica S2 abbassa di poco la media della variabile SDLP nel caso diurno. Anche in presenza della segnaletica ordinaria S1 non si hanno quindi delle grandi oscillazioni della traiettoria durante le ore diurne.

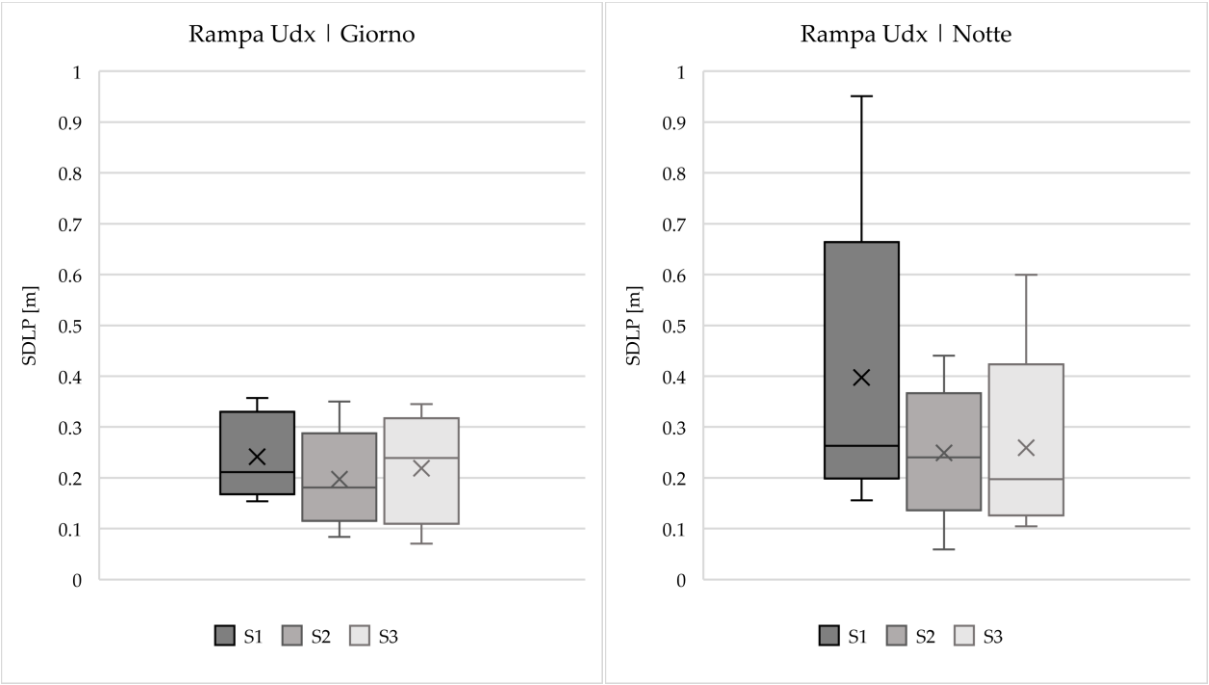



***Figura 41 SDLP | Rampa Udx | confronto S1, S2, S3 | Giorno; Notte***

Ciò può essere dovuto all'illuminamento diurno che permette di mantenere un buon controllo del veicolo. Inserire una segnaletica che aumenti il controllo del veicolo è risultato molto più rilevante durante le ore notturne. Infatti, l'introduzione della segnaletica alternativa ha ridotto molto le oscillazioni della traiettoria, che si sono invece verificate con la presenza della segnaletica S1.

In ogni caso per le corsie di diversione con la stessa curvatura dell'asse autostradale si ha un buon controllo della traiettoria, come si può vedere dalle medie della variabile SDLP in Tabella 23

### 3.3.4 Rampe di diversione con terminale inflesso

L'analisi verte sul comportamento dell'utenza al variare della segnaletica durante l'immissione in autostrada con terminale inflesso.

Per le corrispondenti rampe di uscita con terminale continuo di ogni circuito sono stati combinati gli effetti di segnaletica orizzontale, livello di traffico e condizioni di illuminamento come descritto in Tabella 24.

***Tabella 24 Combinazione dei fattori dell'esperimento | Usx | G=Giorno (ore 12:00); N=Notte (ore 23:00); L=Libero (1000 veh/h); C=Condizionato (3000 veh/h)***

| **Fattori** | **1A\|Usx** | **1B\|Usx** | **1C\|Usx** |
|---|---|---|---|
| **Segnaletica orizzontale** | S1 | S2 | S3 |
| **Condizioni di luce** | G | G | G |
| **Flusso di traffico** | C | C | C |

| **Fattori** | **2A\|Usx** | **2B\|Usx** | **2C\|Usx** |
|---|---|---|---|
| **Segnaletica orizzontale** | S2 | S3 | S1 |
| **Condizioni di luce** | G | G | G |
| **Flusso di traffico** | L | L | L |

| **Fattori** | **3A\|Usx** | **3B\|Usx** | **3C\|Usx** |
|---|---|---|---|
| **Segnaletica orizzontale** | S3 | S1 | S2 |
| **Condizioni di luce** | N | N | N |
| **Flusso di traffico** | C | C | C |

| **Fattori** | **4A\|Usx** | **4B\|Usx** | **4C\|Usx** |
|---|---|---|---|
| **Segnaletica orizzontale** | S2 | S1 | S3 |
| **Condizioni di luce** | N | N | N |
| **Flusso di traffico** | L | L | L |

### 3.3.4.1 Comportamento longitudinale: analisi delle velocità

Un confronto interessante è stato effettuato andando a rappresentare la media e la deviazione standard (DS) della velocità. I valori vengono riportati in Tabella 25 e sono stati ricavati dalle misure di velocità di ciascuno dei dodici partecipanti che hanno guidato sul circuito considerato per ogni sezione di interesse.

*Tabella 25 Media e SD della velocità per le rampe di uscita a sinistra*

| **Velocità [km/h] \| RAMPA Usx** | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Flusso Condizionato \| Giorno** | | | | | | | | |
| CONF 1A\| **S1** | | | CONF 1B \| **S2** | | | CONF 1C\| **S3** | | |
| | **MEDIA** | **DS** | | **MEDIA** | **DS** | | **MEDIA** | **DS** |
| sez 1 | 109,3 | 10,5 | sez 1 | 98,4 | 15,9 | sez 1 | 106,6 | 12,6 |
| sez 2 | 103,6 | 12,5 | sez 2 | 87,1 | 13,2 | sez 2 | 101,0 | 11,7 |
| sez 3 | 96,9 | 13,7 | sez 3 | 83,6 | 12,8 | sez 3 | 94,8 | 10,4 |
| sez 4 | 80,8 | 15,2 | sez 4 | 73,3 | 13,7 | sez 4 | 81,7 | 10,3 |
| sez 5 | 78,3 | 15,3 | sez 5 | 72,6 | 12,8 | sez 5 | 78,8 | 9,9 |
| sez 6 | 77,1 | 14,6 | sez 6 | 73,1 | 12,3 | sez 6 | 77,0 | 11,1 |
| sez 7 | 74,3 | 14,1 | sez 7 | 69,2 | 15,1 | sez 7 | 73,5 | 11,7 |
| sez 8 | 72,9 | 13,5 | sez 8 | 67,5 | 15,1 | sez 8 | 72,3 | 11,4 |
| **Flusso Libero \| Giorno** | | | | | | | | |
| CONF 2A\| **S2** | | | CONF 2B \| **S3** | | | CONF 2C\| **S1** | | |
| | **MEDIA** | **DS** | | **MEDIA** | **DS** | | **MEDIA** | **DS** |
| sez 1 | 106,6 | 13,5 | sez 1 | 107,7 | 21,8 | sez 1 | 104,2 | 19,3 |
| sez 2 | 100,4 | 12,5 | sez 2 | 103,0 | 21,1 | sez 2 | 96,5 | 19,2 |
| sez 3 | 95,0 | 12,6 | sez 3 | 98,5 | 19,6 | sez 3 | 90,9 | 17,2 |
| sez 4 | 84,8 | 11,7 | sez 4 | 85,2 | 20,4 | sez 4 | 83,4 | 14,9 |
| sez 5 | 80,7 | 9,4 | sez 5 | 83,2 | 19,8 | sez 5 | 80,0 | 13,0 |
| sez 6 | 79,7 | 9,6 | sez 6 | 82,7 | 20,1 | sez 6 | 76,9 | 12,5 |
| sez 7 | 77,2 | 10,4 | sez 7 | 80,6 | 20,1 | sez 7 | 73,3 | 12,0 |
| sez 8 | 75,7 | 10,8 | sez 8 | 79,0 | 19,3 | sez 8 | 71,4 | 11,8 |
| **Flusso Condizionato \| Notte** | | | | | | | | |
| CONF 3A\| **S3** | | | CONF 3B \| **S1** | | | CONF 3C\| **S2** | | |
| | **MEDIA** | **DS** | | **MEDIA** | **DS** | | **MEDIA** | **DS** |
| sez 1 | 110,2 | 21,3 | sez 1 | 106,8 | 13,7 | sez 1 | 103,0 | 17,6 |
| sez 2 | 103,9 | 21,3 | sez 2 | 100,2 | 13,4 | sez 2 | 95,0 | 20,9 |
| sez 3 | 99,6 | 18,7 | sez 3 | 96,2 | 13,8 | sez 3 | 90,3 | 20,6 |
| sez 4 | 86,5 | 15,0 | sez 4 | 85,1 | 10,5 | sez 4 | 82,1 | 18,4 |
| sez 5 | 84,5 | 16,6 | sez 5 | 81,4 | 11,0 | sez 5 | 79,3 | 17,6 |
| sez 6 | 83,6 | 17,8 | sez 6 | 80,1 | 12,2 | sez 6 | 78,3 | 17,3 |
| sez 7 | 82,2 | 19,0 | sez 7 | 78,7 | 12,7 | sez 7 | 76,0 | 16,9 |
| sez 8 | 80,5 | 18,8 | sez 8 | 77,6 | 13,1 | sez 8 | 74,5 | 16,1 |
| **Flusso Libero \| Notte** | | | | | | | | |
| CONF 4A\| **S2** | | | CONF 4B \| **S1** | | | CONF 4C\| **S3** | | |
| | **MEDIA** | **DS** | | **MEDIA** | **DS** | | **MEDIA** | **DS** |
| sez 1 | 105,7 | 17,6 | sez 1 | 110,9 | 18,6 | sez 1 | 112,3 | 12,8 |
| sez 2 | 99,7 | 16,6 | sez 2 | 106,0 | 18,0 | sez 2 | 106,3 | 13,6 |
| sez 3 | 94,8 | 16,6 | sez 3 | 102,0 | 16,4 | sez 3 | 100,5 | 15,2 |
| sez 4 | 78,6 | 14,7 | sez 4 | 89,4 | 14,6 | sez 4 | 87,5 | 11,8 |
| sez 5 | 77,0 | 12,9 | sez 5 | 85,0 | 13,2 | sez 5 | 83,3 | 11,1 |
| sez 6 | 77,1 | 13,2 | sez 6 | 82,3 | 12,8 | sez 6 | 81,7 | 11,3 |
| sez 7 | 75,5 | 14,2 | sez 7 | 80,4 | 11,4 | sez 7 | 80,4 | 10,0 |
| sez 8 | 73,3 | 14,8 | sez 8 | 78,6 | 10,5 | sez 8 | 78,3 | 10,1 |

In Figura 42 e in Figura 43 sono rappresentati gli andamenti delle velocità al variare della segnaletica sulla rampa di diversione con terminale inflesso.

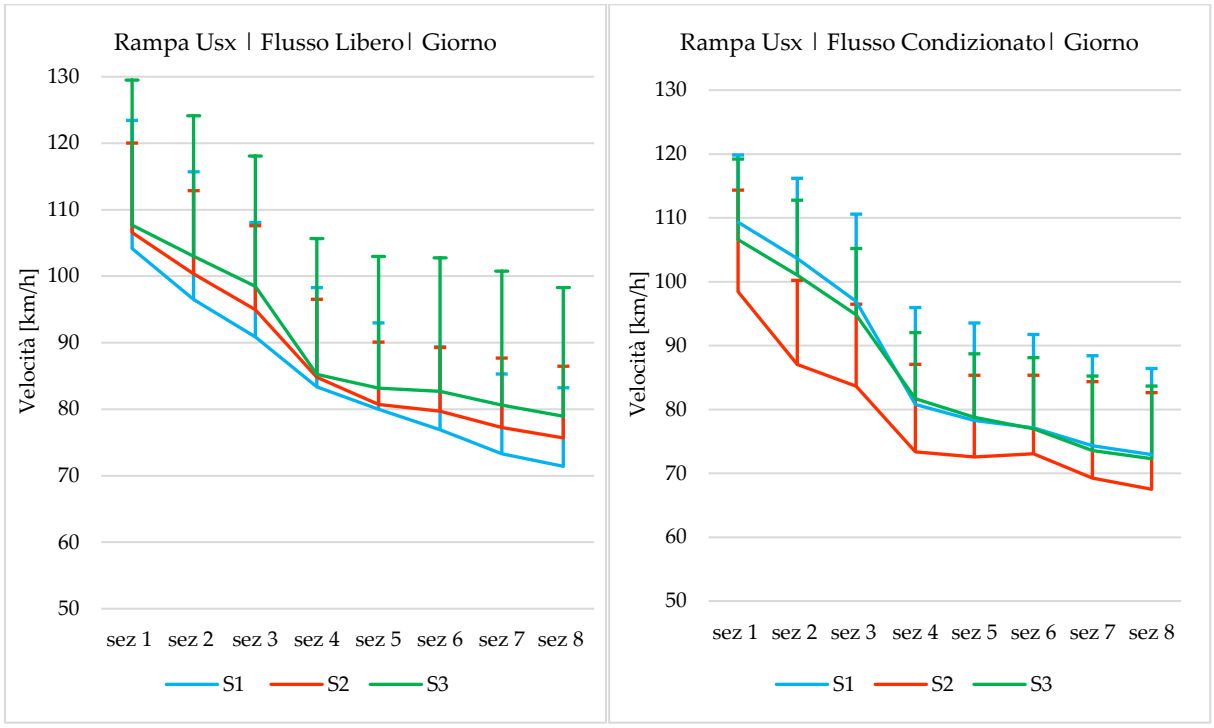



***Figura 42 Andamento delle velocità per segnaletica S1 (ordinaria), S2 (a bande interne), S3 (con zebrature esterne) | flusso libero; flusso condizionato | Giorno***

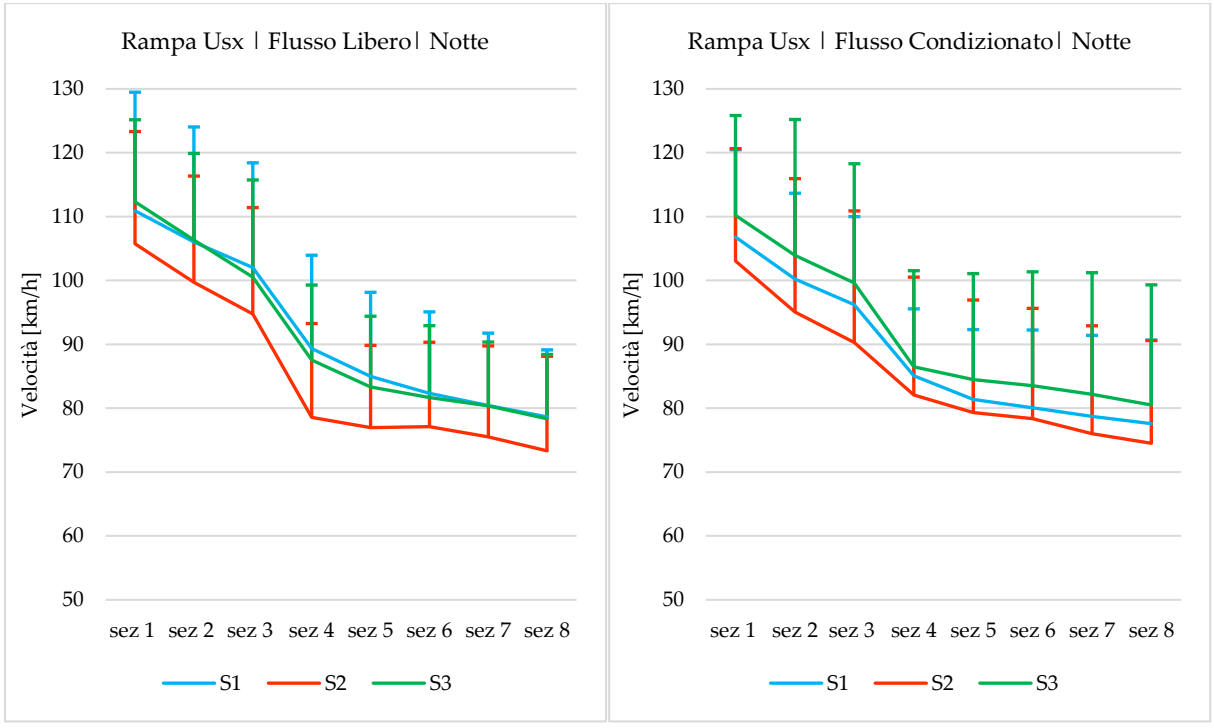



***Figura 43 Andamento delle velocità per segnaletica S1 (ordinaria), S2 (a bande interne), S3 (con zebrature esterne) | flusso libero; flusso condizionato | Notte***

Il confronto evidenzia come la velocità dei guidatori che affrontano la manovra di diversione, sia visibilmente ridotta nei casi in cui sia presente la segnaletica S2 a bande interne. La presenza di una segnaletica sperimentale ha quindi migliorato il comportamento del guidatore, in modo da limitare la propria velocità, a conferma di quanto detto in letteratura (Charlton, et al., 2018). Nel caso della **sez 2**, le differenze sono in molti casi statisticamente significative (Giorno; Flusso Libero; S1-S2 : **F**(11,11)=0.425, **p**=0.054; **t**(22)=0.581, **p**=0.567 | Giorno; Flusso Condizionato; S1-S2: **F**(11,11)=0.908, **p**=0.438; **t**(22)=3.160, **p**=0.0045| Notte; Flusso Libero; S1-S2: **F**(11,11)=0.853, **p**=0.398; **t**(22)=-0.892, **p**=0.038| Notte; Flusso Condizionato; S1-S2: **F**(11,11)=0.412, **p**=0.079; **t**(22)=0.723, **p**=0.061). L'unica eccezione è rappresentata dal caso diurno in condizioni di flusso libero, in cui la S2 riporta dei valori di velocità di poco più alti della segnaletica ordinaria. In questo caso, però le DS associate alla segnaletica S2 risultano minori rispetto a quelle associate alla S1 e alla S3. Le DS associate alla segnaletica S2, essendo più basse, testimoniano che i guidatori hanno viaggiato a velocità più simili tra loro, assumendo quindi un comportamento più omogeneo.

La segnaletica S3 invece non ha dato l'effetto desiderato, in quanto sono state rilevate velocità mediamente più alte. Infatti, la segnaletica S3, presentando uno schema di spaziatura progressivamente ridotto, avrebbe dovuto agire sul campo periferico dell'individuo, provocando la sensazione di muoversi più velocemente (nel caso di rampe di diversione) e dare, di conseguenza, l'input per decelerare in modo più evidente rispetto alla segnaletica ordinaria S1. Inoltre, in tutti i casi, per la segnaletica S3 con zebrature esterne, i valori di deviazione standard risultano più elevati di quelli relativi alla segnaletica S2, ciò testimonia che gli utenti non hanno mantenuto valori di velocità omogenei lungo la rampa con presenza di segnaletica S3.

### 3.3.4.2 Comportamento trasversale: analisi delle traiettorie

La Tabella 26 in basso presenta i valori di media e deviazione standard (SD) dello spostamento laterale, calcolati sui valori di *lane gap* di ciascuno dei dodici partecipanti che hanno guidato sul circuito considerato, per ogni sezione di interesse.

***Tabella 26 Media e SD dello scostamento laterale per le rampe di uscita a sinistra***

| **Lane Gap [m] \| RAMPA Usx** | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Flusso Libero \| Giorno** | | | | | | | | |
| CONF 1A\| **S1** | | | CONF 1B \| **S2** | | | CONF 1C\| **S3** | | |
| | **MEDIA** | **DS** | | **MEDIA** | **DS** | | **MEDIA** | **DS** |
| sez 2 | 1,753 | 1,527 | sez 2 | 2,198 | 1,277 | sez 2 | 1,628 | 1,218 |
| sez 3 | 0,529 | 1,363 | sez 3 | 1,001 | 1,555 | sez 3 | 0,612 | 1,050 |
| sez 4 | -0,164 | 0,359 | sez 4 | -0,128 | 0,247 | sez 4 | -0,072 | 1,051 |
| sez 5 | -0,628 | 0,333 | sez 5 | -0,402 | 0,277 | sez 5 | -0,626 | 0,490 |
| sez 6 | -0,643 | 0,456 | sez 6 | -0,254 | 0,402 | sez 6 | -0,696 | 0,316 |
| sez 7 | -0,545 | 0,408 | sez 7 | -0,109 | 0,511 | sez 7 | -0,383 | 0,525 |
| sez 8 | -0,631 | 0,342 | sez 8 | -0,235 | 0,472 | sez 8 | -0,380 | 0,547 |
| **Flusso Condizionato \| Giorno** | | | | | | | | |
| CONF 2A\| **S2** | | | CONF 2B \| **S3** | | | CONF 2C\| **S1** | | |
| | **MEDIA** | **DS** | | **MEDIA** | **DS** | | **MEDIA** | **DS** |
| sez 2 | 2,436 | 1,352 | sez 2 | 1,308 | 1,445 | sez 2 | 1,914 | 1,145 |
| sez 3 | 1,004 | 1,547 | sez 3 | 0,395 | 1,358 | sez 3 | 0,620 | 0,739 |
| sez 4 | -0,226 | 0,440 | sez 4 | -0,248 | 0,379 | sez 4 | -0,153 | 0,472 |
| sez 5 | -0,316 | 0,302 | sez 5 | -0,706 | 0,339 | sez 5 | -0,522 | 0,282 |
| sez 6 | -0,452 | 0,339 | sez 6 | -0,668 | 0,319 | sez 6 | -0,650 | 0,428 |
| sez 7 | -0,152 | 0,308 | sez 7 | -0,481 | 0,386 | sez 7 | -0,687 | 0,423 |
| sez 8 | -0,201 | 0,410 | sez 8 | -0,444 | 0,272 | sez 8 | -0,676 | 0,398 |
| **Flusso Libero \| Notte** | | | | | | | | |
| CONF 3A\| **S3** | | | CONF 3B \| **S1** | | | CONF 3C\| **S2** | | |
| | **MEDIA** | **DS** | | **MEDIA** | **DS** | | **MEDIA** | **DS** |
| sez 2 | 2,316 | 1,513 | sez 2 | 1,468 | 0,960 | sez 2 | 1,495 | 0,599 |
| sez 3 | 0,876 | 1,452 | sez 3 | 0,322 | 0,574 | sez 3 | 0,406 | 0,579 |
| sez 4 | -0,101 | 0,293 | sez 4 | -0,341 | 0,266 | sez 4 | -0,172 | 0,295 |
| sez 5 | -0,673 | 0,331 | sez 5 | -0,603 | 0,194 | sez 5 | -0,450 | 0,248 |
| sez 6 | -0,603 | 0,341 | sez 6 | -0,565 | 0,259 | sez 6 | -0,594 | 0,242 |
| sez 7 | -0,581 | 0,387 | sez 7 | -0,368 | 0,547 | sez 7 | -0,469 | 0,188 |
| sez 8 | -0,449 | 0,470 | sez 8 | -0,332 | 0,688 | sez 8 | -0,349 | 0,248 |
| **Flusso Condizionato \| Notte** | | | | | | | | |
| CONF 4A\| **S2** | | | CONF 4B \| **S1** | | | CONF 4C\| **S3** | | |
| | **MEDIA** | **DS** | | **MEDIA** | **DS** | | **MEDIA** | **DS** |
| sez 2 | 1,728 | 0,832 | sez 2 | 1,963 | 1,229 | sez 2 | 2,252 | 0,892 |
| sez 3 | 0,584 | 0,788 | sez 3 | 0,488 | 1,091 | sez 3 | 0,886 | 0,710 |
| sez 4 | -0,290 | 0,348 | sez 4 | -0,506 | 0,335 | sez 4 | -0,377 | 0,426 |
| sez 5 | -0,690 | 0,219 | sez 5 | -0,852 | 0,349 | sez 5 | -0,881 | 0,447 |
| sez 6 | -0,482 | 0,282 | sez 6 | -0,780 | 0,470 | sez 6 | -0,895 | 0,288 |
| sez 7 | -0,249 | 0,396 | sez 7 | -0,529 | 0,541 | sez 7 | -0,773 | 0,366 |
| sez 8 | -0,095 | 0,382 | sez 8 | -0,603 | 0,545 | sez 8 | -0,613 | 0,307 |

Il comportamento trasversale nel caso di corsie di uscita dall'autostrada conferma quanto detto fino ad ora, come si può notare dalle Figura 44 e Figura 45

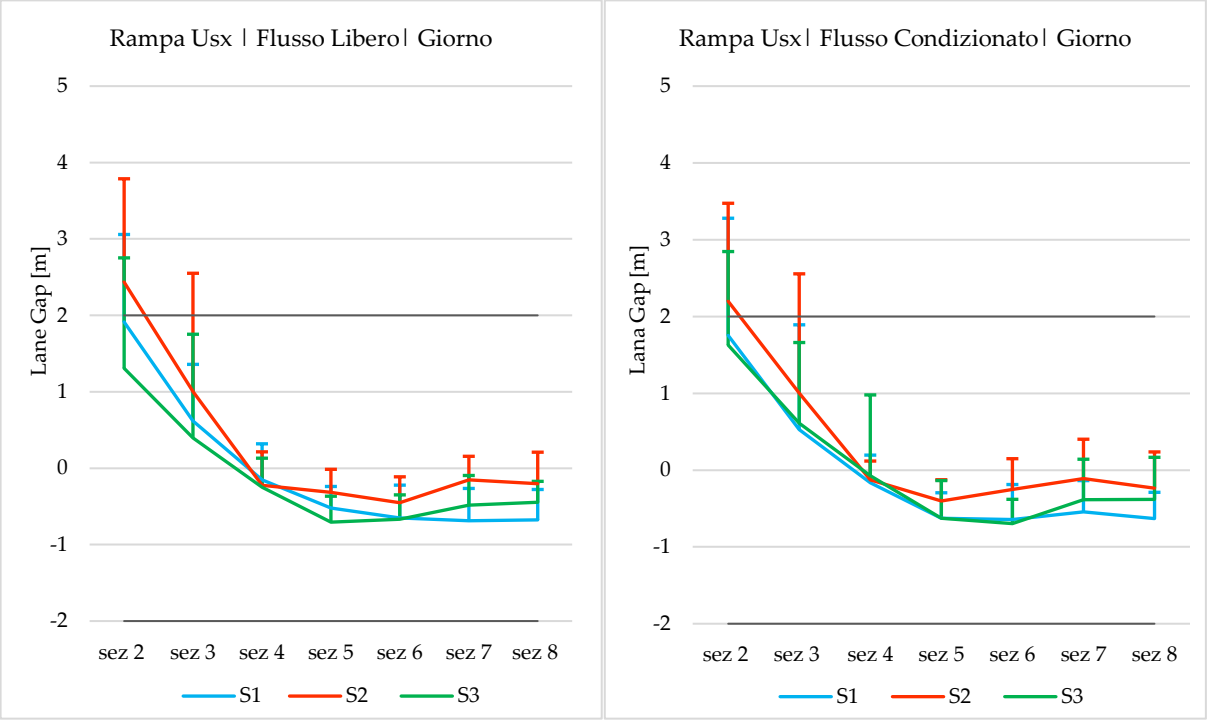



***Figura 44 Andamento dello spostamento laterale per segnaletica S1 (ordinaria), S2 (a bande interne), S3 (con zebrature esterne) \|flusso libero; flusso condizionato \| Giorno***

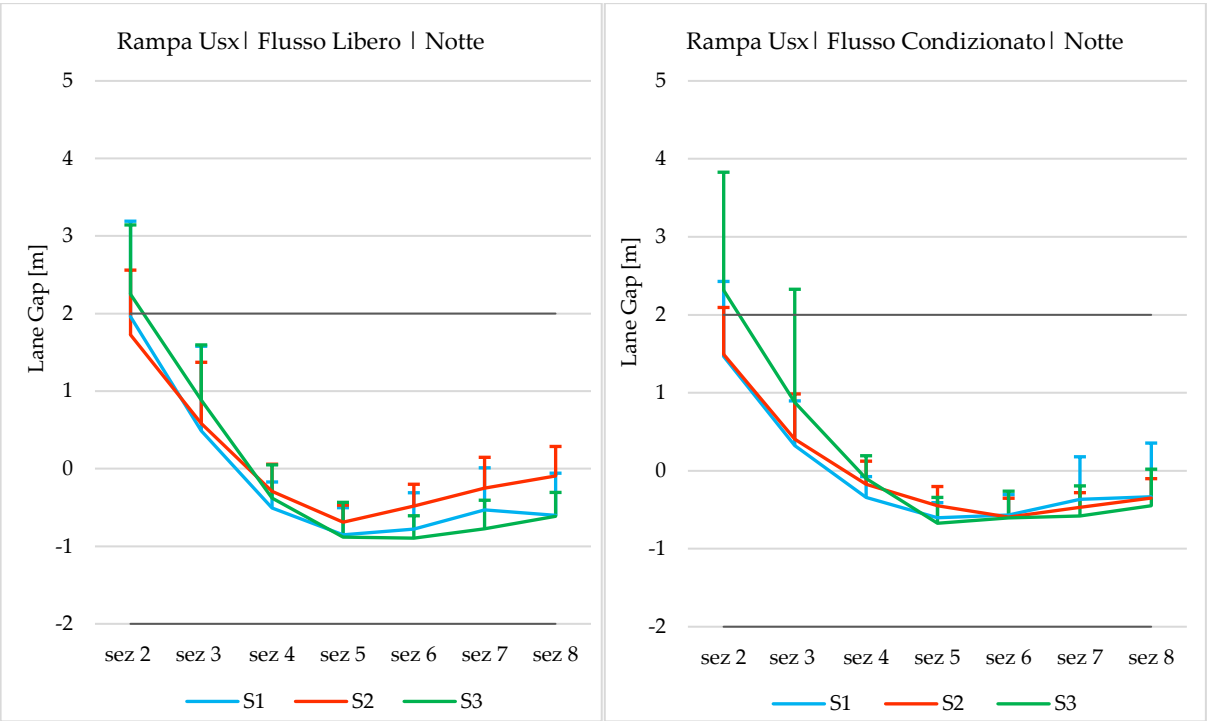



***Figura 45 Andamento dello spostamento laterale per segnaletica S1 (ordinaria), S2 (a bande interne), S3 (con zebrature esterne) \|flusso libero; flusso condizionato \| Notte***

La segnaletica esterna S3 e la segnaletica ordinaria S1 portano l'utenza a mantenere un valore di lane gap intorno a -0.5 m dal centro della corsia, mentre la segnaletica a bande interne S2 porta a valori di scostamento laterale più vicini allo zero rispetto alla segnaletica ordinaria. Ad esempio, nella **sez 7** Il confronto tra la segnaletica S2 e la S1 porta a risultati significativamente diversi a vantaggio della prima con la sola esclusione del caso notturno con flusso condizionato (Giorno; Flusso Libero; S1-S2 : F(11,11)=0.531, **p**=0.154; **t**(22)=0.898, **p**=0.057 | Giorno; Flusso Condizionato; S1-S2: **F**(11,11)=0.637, **p**=0.233; **t**(22)=-0.718, **p**=0.048| Notte; Flusso Libero; S1-S2: **F**(11,11)=1.869, **p**=0.157; **t**(22)=-1.452, **p**=0.068| Notte; Flusso Condizionato; S1-S2: **F**(11,11)=8.436, **p**=0.00068; **t**(14)=0.607, **p**=0.554).

Nel caso diurno, la segnaletica S2 conduce a dei valori di *lane gap* più vicini allo zero, a conferma che durante le ore notturne la segnaletica, essendo meno visibile, non ha condotto l'utenza a viaggiare centralmente alla corsia della rampa. Anche in questo caso le deviazioni standard risultano più basse lungo la rampa (sezioni 4 ,5, 6, e 7). Piccole deviazioni standard portano ad un esito positivo in termini di sicurezza, in quanto testimoniano che i *test drivers* hanno assunto un comportamento uniforme. Nelle sezioni 2 e 3, appartenenti al terminale, le deviazioni standard risultano maggiori rispetto a quelle lungo la rampa.

In condizioni notturne con un livello elevato di traffico i valori di scostamento laterale dal centro della corsia della rampa risultano, come detto, simili per tutti i tipi di segnaletica. Gli utenti quindi, con l'inserimento della segnaletica innovativa, non sono riusciti a mantenere una traiettoria più centrale alla corsia in condizioni di alto traffico e scarse condizioni di visibilità. Questo risultato può essere dovuto alla complicata geometria che presentano queste rampe. Infatti, in questo caso, la geometria autostradale sta assumendo una curvatura sinistrorsa, mentre la geometria della rampa di decelerazione segue l'andamento autostradale solo relativamente al tratto di manovra, per poi assumere una curvatura destrorsa, ricongiungendosi con la strada di categoria C. Infatti, gli utenti non hanno una buona visibilità e l'uscita viene percepita solo alla fine.

Tuttavia, la segnaletica S2 rimane comunque da preferirsi rispetto alla segnaletica standard in quanto, anche nel caso notturno con elevato traffico, le DS associate alla segnaletica S2 sono minori rispetto a quelle dovute ad una segnaletica standard.

In Tabella 27 sono riportate le SDLP del *lane gap* acquisito per la rampa di diversione con terminale inflesso.

In Figura 46 è sono stati riportati i box plot delle SDLP associati ai diversi tipi di segnaletica orizzontale sulla rampa, a parità di condizioni di illuminamento ambientale.

***Tabella 27 SDLP | Rampa Usx| Valori medi riportati nella penultima riga in grassetto |KS riportato nell'ultima riga***

| **Rampa Usx \| Giorno** | | | **Rampa Usx \| Notte** | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **SDLP_S1** | **SDLP_S2** | **SDLP_S3** | **SDLP_S1** | **SDLP_S2** | **SDLP_S3** |
| 0,2618 | 0,3915 | 0,4057 | 0,3407 | 0,3445 | 0,3677 |
| 0,3860 | 0,3056 | 0,3200 | 0,3691 | 0,2712 | 0,3217 |
| 0,2899 | 0,4083 | 0,3949 | 0,3651 | 0,3933 | 0,3097 |
| 0,3567 | 0,3447 | 0,4463 | 0,3872 | 0,2762 | 0,4149 |
| 0,3734 | 0,3083 | 0,4678 | 0,4837 | 0,3300 | 0,4285 |
| 0,5045 | 0,4630 | 0,5552 | 0,5759 | 0,3533 | 0,3872 |
| 0,5045 | 0,4517 | 0,3298 | 0,2818 | 0,2690 | 0,3372 |
| 0,3931 | 0,2965 | 0,4163 | 0,6967 | 0,2860 | 0,3185 |
| 0,3824 | 0,3353 | 0,3444 | 0,6967 | 0,3323 | 0,3470 |
| 0,4128 | 0,2924 | 0,4221 | 0,3568 | 0,4267 | 0,4433 |
| 0,4707 | 0,3040 | 0,4045 | 0,3238 | 0,3038 | 0,3780 |
| 0,2817 | 0,2995 | 0,3473 | 0,3238 | 0,3513 | 0,2888 |
| **0,385** | **0,350** | **0,405** | **0,433** | **0,328** | **0,362** |
| Dcrit=0,393 > max (d)= 0,109 | Dcrit=0,393 > max (d)= 0,209 | Dcrit=0,393 > max (d)= 0,113 | Dcrit=0,393 > max (d)= 0,240 | Dcrit=0,393 > max (d)= 0,109 | Dcrit=0,393 > max (d)= 0,098 |

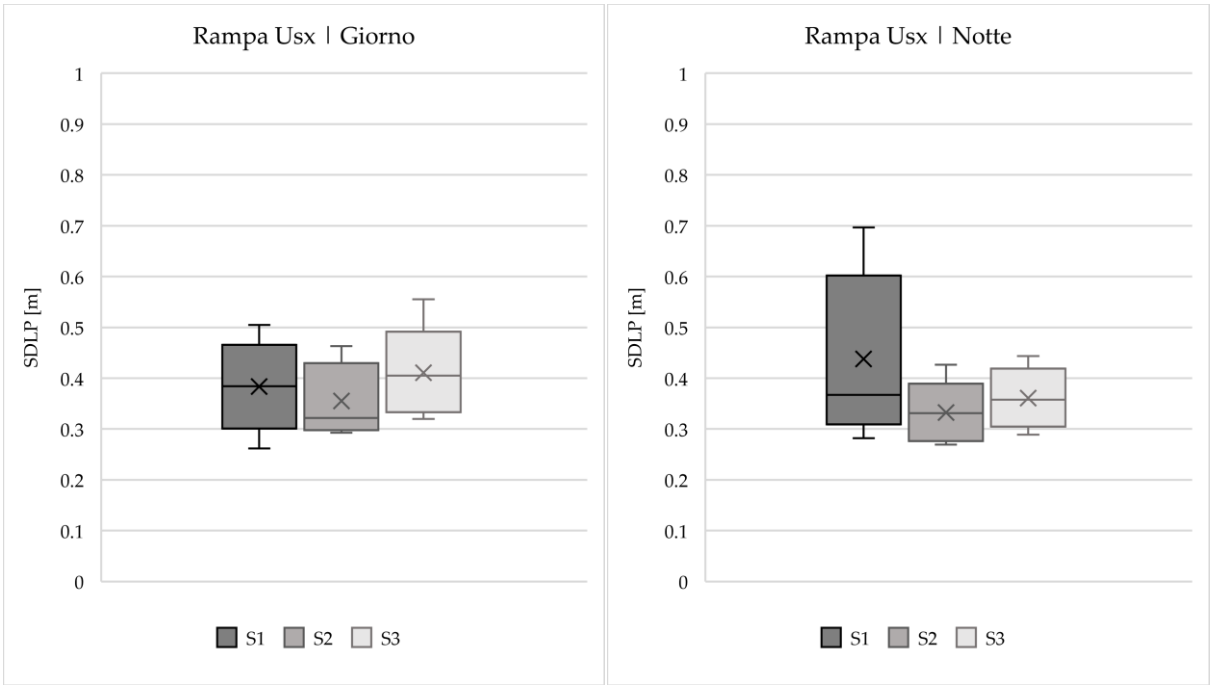



***Figura 46 SDLP | Rampa Usx | confronto S1, S2, S3 | Giorno; Notte***

Nel caso diurno i test statistici non mostrano una sostanziale differenza tra le varianze della SDLP associate alla segnaletica ordinaria rispetto a quelle associate alle segnaletiche innovative (Giorno S1-(S2+S3): **F**(11,23)=1.386, **p**=0,244; **t**(34)=0.289, **p**=0.773). La segnaletica S2 riporta però dei valori medi significativamente più bassi rispetto alla segnaletica S1 e alla S3 (Giorno S1-S2: **t**(22)=1.172, **p**=0.074; Giorno S2-S3: **t**(22)=-2.065, **p**=0.051).

Nel caso notturno è possibile notare che l'introduzione di una segnaletica alternativa ha portato l'utenza a mantenere un miglior controllo del veicolo. La segnaletica a bande interne S2 ha riportato dei valori di SDLP significativamente inferiori rispetto alla segnaletica S1. Ciò è confermato dai test statistici effettuati sui tre campioni, infatti confrontando il campione sottoposto alla segnaletica S2 con quello sottoposto alla segnaletica ordinaria S1 la probabilità che i due campioni appartengano alla stessa popolazione è molto bassa (Notte S1-S2: **F**(11,11)=8.596, **p**=0.00063; **t**(14)=2.367, **p**=0.033). Inoltre, effettuando un confronto tra la segnaletica ordinaria ed entrambi i due tipi di segnaletica alternativa, i test statistici confermano delle differenze sostanziali (Notte S1-(S2+S3): **F**(11,23)=7.985, **p**=0.000016; **t**(12)=2.037, **p**=0.642). Ciò porta al risultato desiderato, in quanto l'introduzione di una segnaletica alternativa lungo la rampa di diversione abbassa la probabilità che il veicolo sbandi o non segua una traiettoria ordinata, fenomeno che potrebbe portare alla collisione con altri veicoli.

Anche la segnaletica S3, in condizioni di illuminamento notturno, ha dato un contributo positivo sul controllo della traiettoria rispetto alla S1. Infatti, si nota come la dispersione dei valori di SDLP è significativamente ristretta intorno alla media rispetto alla dispersione di valori data dalla segnaletica ordinaria (Notte S1-S3: **F**(11,11)=0.60, **p**=0.00063).

# 4. CONCLUSIONI

Lo studio sperimentale è stato finalizzato a valutare l'efficacia di due tipologie di segnaletica orizzontale innovativa lungo le rampe di decelerazione e di accelerazione di tratti autostradali curvi, al fine di migliorare i comportamenti e le prestazioni dei guidatori e, di conseguenza, aumentare la sicurezza stradale. La prima delle due segnaletiche orizzontali innovative (denominata S2) qui sperimentate prevede la realizzazione di bande interne alla corsia della rampa, con dimensione (spessore) variabile che si protrae verso l'asse della rampa a crescere nelle zone di decelerazione, e a diminuire in quelle di accelerazione. La seconda (denominata S3), è stata realizzata con bande zebrate esterne alla corsia, con distanza tra le bande variabile: a ridursi nelle zone di decelerazione, a crescere in quelle di accelerazione. L'intento conseguente l'uso delle due segnaletiche è di agire a livello percettivo per condizionare positivamente i comportamenti dell'utenza. I parametri comportamentali scelti per giudicare gli effetti sono la velocità, la posizione nella corsia (*lane gap*, LG), e la deviazione standard della posizione nella corsia (*standard deviation of lane position*, SDLP) che esprime le capacità di controllo della traiettoria da parte del guidatore. La segnaletica ordinaria prevista dal codice della strada è stata qui considerata come il riferimento sperimentale (denominata S1).

I fattori indipendenti posti alla base dell'esperimento sono: (i) il tipo di segnaletica orizzontale (ordinaria S1, a bande interne S2, con zebratura esterna S3); (ii) le condizioni di illuminamento (giorno e notte); (iii) i livelli di traffico (libero e condizionato), per un totale di $3 \times 2 \times 2 = 12$ combinazioni. La gestione di questi fattori è stata possibile grazie alla modellazione del tracciato autostradale in ambiente simulato.

I risultati hanno evidenziato che per le rampe di immissione con terminale continuo, la velocità lungo la rampa monodirezionale è significativamente inferiore in presenza della segnaletica S2 rispetto alle altre due. Con velocità più basse lungo la rampa rispetto alla segnaletica ordinaria, per la segnaletica S2 non è possibile raggiungere adeguate velocità sul terminale per l'immissione nel flusso autostradale. Per rampe con segnaletica S2 sarà quindi necessaria una maggiore lunghezza per consentire di raggiungere velocità di immissione prossime a quelle del flusso autostradale (che la norma tecnica suggerisce dover essere almeno pari all'80% della velocità di progetto della sede autostradale). In termini di controllo della traiettoria, i risultati sulla rampa con terminale continuo sono favorevoli all'introduzione della segnaletica S2, che ha indotto nei guidatori valori di *lane gap* più vicini allo zero, indicando un maggior controllo della posizione nella corsia della rampa.

Per le rampe di immissione con terminale inflesso l'efficacia della segnaletica S2 ha avuto l'esito atteso, in quanto ha indotto i guidatori ad adottare velocità in ingresso prossime a quelle del flusso autostradale, rispetto alla segnaletica di riferimento S1, con la quale le velocità in ingresso si mantengono più basse. Anche in termini di controllo della traiettoria la segnaletica S2 per questo tipo di rampa si è rivelata la più efficace, soprattutto nel caso notturno.

Per le rampe di diversione con terminale continuo la segnaletica S2 consente di migliorare le prestazioni del guidatore e, conseguentemente, il livello di sicurezza della circolazione. In questo caso, le medie delle velocità e le medie dello spostamento laterale risultano inferiori rispetto ai valori associati alla segnaletica ordinaria (S1). La segnaletica S2, essendo costituita da bande che aumentano progressivamente la loro ampiezza all'interno della corsia, ha spinto i guidatori a percepire un restringimento della stessa e ad assumere traiettorie più centrali, controllando meglio la loro velocità rispetto alla segnaletica S1. Questo effetto è stato confermato dai valori di SDLP associati alla segnaletica S2, che testimoniano un maggior controllo della traiettoria del veicolo da parte dei conducenti.

Per le rampe di diversione con terminale inflesso la segnaletica S2 ha offerto migliori prestazioni: i conducenti hanno adottato velocità più basse rispetto al caso di segnaletica ordinaria. In termini di traiettoria la S2 ha dato valori di *lane gap* molto vicini allo zero, ad eccezione del caso notturno con alto livello di traffico, in cui la particolare geometria della rampa, insieme all'elevato livello di traffico, fanno percepire l'uscita solo alla fine, portando a delle traiettorie meno centrali. Durante le ore notturne la S2 è risultata comunque efficace nel

controllo della traiettoria, riducendo le oscillazioni del veicolo rispetto al caso di segnaletica ordinaria.

Per le rampe di diversione con terminale continuo e per quelle di immissione con terminale inflesso i risultati ottenuti sono quindi più vicini a quelli attesi e la segnaletica alternativa S2 ha indotto un comportamento migliore nei guidatori coinvolti nell'esperimento.

Lo schema adottato per la segnaletica S3 non ha indotto prestazioni confrontabili con quelli osservati nel caso della segnaletica S2. Solo nel caso di rampe di diversione, la segnaletica S3 ha avuto un miglior effetto sull'utenza in termini di controllo del veicolo, riportando valori di SDLP inferiori rispetto a quelli dati da S1, ma in misura meno efficace rispetto alla S2.

Per tutti i tipi di rampa, durante le ore notturne, l'inserimento di una segnaletica alternativa (S2 e S3) ha comportato bassi valori di SDLP che riflettono un miglior controllo del veicolo da parte dei guidatori coinvolti. Durante la notte, la segnaletica ordinaria comporta maggiori oscillazioni della traiettoria, più ridotte invece nel caso di segnaletica innovativa.

Questo studio apporta un contributo sperimentale sugli effetti derivati dall'uso delle tecniche percettive utilizzate nel settore stradale e che attengono ai fenomeni di interazione tra guidatore e infrastruttura. Le tecniche di condizionamento della percezione sono impiegate per suscitare nel guidatore una diversa dimensione dello spazio stradale. Quando il guidatore è sottoposto a una alterazione percettiva della larghezza della corsia, o a una alterazione della percezione della velocità, egli reagisce in modo da compensare il rischio percepito. Questa reazione è conseguenza del fenomeno di omeostasi del rischio secondo cui un guidatore, a una modifica delle condizioni ambientali, adatta il proprio comportamento mantenendo il rischio percepito sotto una soglia accettata (Wilde, 1998).

Questa ricerca dimostra l'efficacia delle tecniche percettive impiegate in questi specifici ambiti della progettazione stradale, dove il guidatore risulta impegnato nella gestione di velocità e traiettoria del veicolo in circostanze dove questi fattori variano rapidamente in specifiche condizioni ambientali (traffico e illuminamento ambientale).

Negli studi sin qui condotti e reperiti nella letteratura scientifica di settore, queste tecniche percettive per il tramite della segnaletica orizzontale sono state usate in tratti rettilinei molto lunghi (≃2000 m). In questi casi, la loro efficacia è garantita grazie a un tempo di

esposizione superiore rispetto ai casi studio analizzati in questo lavoro di tesi (le rampe e i relativi terminali non superano la lunghezza di 500 m).

Lo studio dimostra che anche in questi casi una segnaletica innovativa può migliorare le prestazioni del guidatore e l'interazione tra questo e l'ambiente stradale, con importanti ricadute sulla sicurezza. Sebbene non sia codificato dall'attuale Codice della Strada, l'uso sperimentale di tale segnaletica, e in particolare di quella tipo S2 con applicazioni a casi reali, è auspicabile in un prossimo futuro.

Il lavoro svolto presenta delle limitazioni dovute alla possibile variazione di alcuni fattori non considerati nell'esperimento. Ad esempio, il raggio autostradale ($R_a$ = 964 m) è molto ampio e non comporta particolari difficoltà nei tratti di immissione e uscita dalla corsia stradale. Considerando una geometria stradale più condizionante, ad esempio con raggi autostradali più piccoli, si potrebbero alterare i comportamenti degli utenti e di conseguenza ottenere risultati differenti da quelli qui trovati. Anche le diverse condizioni ambientali o i differenti livelli di traffico potrebbero comportare diversi risultati. Condizioni atmosferiche avverse, come la neve o la nebbia, potrebbero ridurre i benefici operativi e comportamentali attesi. Anche la presenza di traffico lungo la rampa è un fattore che non è stato considerato in questo esperimento, e che necessiterebbe di opportuni approfondimenti in futuro.

Per superare i limiti di questo studio, future indagini dovranno analizzare l'effetto combinato della segnaletica in presenza delle barriere di sicurezza lungo le rampe.

# RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

**Bassani & Melotti (2012).** Tracciamento di una clotoide di flesso. *Didattica PoliTo.*

**Bassani & Melotti (2012).** Tracciamento di una clotoide di continuità. *Didattica PoliTo.*

**Charlton, S. G., & Starkey, N. J. (2017).** Driving on urban roads: How we come to expect the 'correct'speed. *Accident Analysis & Prevention*, *108*, 251-260.

**Charlton, S. G., Mackie, H. W., Baas, P. H., Hay, K., Menezes, M., & Dixon, C. (2010).** Using endemic road features to create self-explaining roads and reduce vehicle speeds. *Accident Analysis & Prevention*, *42*(6), 1989-1998.

**Charlton, S. G. (2007).** The role of attention in horizontal curves: A comparison of advance warning, delineation, and road marking treatments. *Accident Analysis & Prevention*, *39*(5), 873-885.

**Charlton, S. G., Starkey, N. J., & Malhotra, N. (2018).** Using road markings as a continuous cue for speed choice. *Accident Analysis & Prevention*, *117*, 288-297.

**Calvi, A., Benedetto, A., & De Blasiis, M. R. (2012).** A driving simulator study of driver performance on deceleration lanes. *Accident Analysis & Prevention*, *45*, 195-203.

**Calvi, A., & De Blasiis, M. R. (2011).** Driver behavior on acceleration lanes: driving simulator study. *Transportation research record*, *2248*(1), 96-103.

**Carle, A. (2016)**. Indagine Sperimentale Sulla Valutazione Degli Effetti Di Disagio Percepiti Nella Guida Simulata. *Biblioteca PoliTo*.

**Colonna, P., & Delcarmine, P. (1997).** Le corsie di accelerazione in curva: analisi di rilevamenti sperimentali con suggerimenti progettuali.

**Colonna, P., & Delcarmine, P. (1997).** Indicazioni progettuali, desunte da un'indagine sperimentale, per le corsie di decelerazione in curva. *Atti del convegno SIIV-Roma*, *20*, 21.

**Denton, G. G. (1980**). The influence of visual pattern on perceived speed. *Perception*, 9(4), 393-402.

**Decreto Ministeriale 5 novembre 2001**, n. 6792 (S.O. n.5 alla G.U. n.3. del 4.1.02) Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade.

**Decreto Ministeriale 19 Aprile 2006,** (G.U. n. 170 del 24.7.06) Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle intersezioni stradali.

**Ding, H., Zhao, X., Rong, J., & Ma, J. (2013).** Experimental research on the effectiveness of speed reduction markings based on driving simulation: A case study. *Accident Analysis & Prevention*, *60*, 211-218.

**DPR 16 Dicembre 1992,** n. 495. Costruzione e tutela delle strade. (Art.42 Cod. Str.) *Delineatori Normali di Margine.*

**DPCM 11 Febbraio 2014,** n. 72 (GU n.105 del 8.5.2014). *Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti.*

**Dunn, D.S. (2001).** *Statistics and data analysis for the behavioral sciences*, McGraw-Hill.

**Engmann, S., Cousineau, D., 2011.** Comparing distributions: the two-sample Anderson-Darling test as an alternative to the Kolmogorov-Smirnoff test. *Journal of applied quantitative methods* 6(3), 1-17.

**Fildes, B.N., Lee, S., 1993.** The Speed Review: Road Environment, Behaviour, Speed Limits, Enforcement and Crashes (Report No. CR127). Federal Office of Road Safety, Department of Transport & Communication, Canberra, Australia.

**Godley, S.T., Fildes, B.N., Triggs, T.J., Brown, L.J., 1999**. Perceptual Countermeasures: Experimental Research. Report Number CR 182. Monash University Accident Research Centre, Clay, Victoria.

**Godley, S.T., Triggs, T.J., Fildes, B.N., 2004.** Perceptual lane width, wide perceptual road centre markings and driving speeds. Ergonomics 47 (3), 237–256.

**Hassani, H., Silva, E.S., 2015**. A Kolmogorov-Smirnov based test for comparing the predictive accuracy of two sets of forecasts. *Econometrics* 3(3), 590-609.

**Highway capacity manual, 2010**. Transportation Research Board of National Academy of Sciences.

**Hunter, M., Boonsiripant, S., Guin, A., Rodgers, M. O., & Jared, D. (2010).** Evaluation of effectiveness of converging chevron pavement markings in reducing speed on freeway ramps. *Transportation research record*, *2149*(1), 50-58.

**Kanji, G.K., 2006.** *100 statistical tests*. Sage.

**Lilliefors, H.W., 1967**. On the Kolmogorov-Smirnov test for normality with mean and variance unknown. *Journal of the American statistical Association* 62(318), 399-402.

**Meyer, E. (2001).** A new look at optical speed bars. *Institute of Transportation Engineers. ITE Journal*, *71*(11), 44.

**Montella, A., Aria, M., D'Ambrosio, A., Galante, F., Mauriello, F., & Pernetti, M. (2011).** Simulator evaluation of drivers' speed, deceleration and lateral position at rural intersections in relation to different perceptual cues. *Accident Analysis & Prevention*, *43*(6), 2072-2084.

**Verster, J. C., & Roth, T. (2011).** Standard operation procedures for conducting the on-the-road driving test, and measurement of the standard deviation of lateral position (SDLP). *International journal of general medicine*, *4*, 359.

**Wilde, G. J. (1998).** Risk homeostasis theory: an overview. *Injury prevention*, *4*(2), 89-91.

**Zaidel, D., Hakkert, A. S., & Barkan, R. A. C. H. E. L. (1986).** Rumble strips and paint stripes at a rural intersection. *Transportation Research Record*, *1069*, 7-13.

**Sitografia:** http://dati.mit.gov.it/catalog/dataset/patenti ; http://cognitivefun.net/

# Elenco delle figure

FIGURA 1"ATTENTIONAL" & "PERCEPTUAL" MARKINGS; (CHARLTON, ET AL., 2018) ..... 3
FIGURA 2 IMMAGINI RELATIVE AGLI SCENARI SPERIMENTATI IN (DING, ET AL., 2013): SEGNALETICA ORDINARIA (NO SRMS), SEGNALETICA SPECIALE LONGITUDINALE (LSRMS), E SEGNALETICA SPECIALE TRASVERSALE (TSRMS). ..... 4
FIGURA 3 SIMULATORE DI GUIDA, DIATI (POLITECNICO DI TORINO) ..... 8
FIGURA 4 SEGNALETICA ORDINARIA, IMMAGINE DAL SOFTWARE SCANER™STUDIO ..... 9
FIGURA 5 A) SEGNALETICA A BANDE INTERNE S2 – B) SEGNALETICA CON ZEBRATURA ESTERNA S3, PER RAMPE DI DIVERSIONE ..... 10
FIGURA 6 DETTAGLI SUL DIMENSIONAMENTO DELLA SEGNALETICA S2 E S3 ..... 10
FIGURA 7 SCENARIO DIURNO ..... 12
FIGURA 8 SCENARIO NOTTURNO ..... 12
FIGURA 9 TRACCIATO DELL'ESPERIMENTO ..... 13
FIGURA 10 A) SEZIONE STRADA DI CAT A | B) SEZIONE STRADA DI CAT C (D.M., 5/11/01) ..... 14
FIGURA 11 RAMPA DI IMMISSIONE, IMMAGINE DAL SOFTWARE SCANER™STUDIO ..... 21
FIGURA 12 TRATTO DI STRADA DI CATEGORIA C, IMMAGINE DAL SOFTWARE SCANER™STUDIO ..... 21
FIGURA 13 A) PERCENTUALE DI UOMINI E DONNE NEL CAMPIONE – B) PERCENTUALE NELLE TRE CLASSI DI ETÀ ..... 23
FIGURA 14 ASSE TEMPORALE DELLE ATTIVITÀ COMPONENTI L'ESPERIMENTO ..... 25
FIGURA 15 TEST COGNITIVI: TEMPO DI REAZIONE VISIVO ..... 25
FIGURA 16 TEST COGNITIVI: TEMPO DI REAZIONE UDITIVO ..... 26
FIGURA 17 RAMPA DI IMMISSIONE CON TERMINALE CONTINUO | CLT = CLOTOIDE DI TRANSIZIONE; R150 = CERCHIO DI RAGGIO 150 M; CLC = CLOTOIDE DI CONTINUITÀ; R964 = CERCHIO DI RAGGIO 964 M ..... 28
FIGURA 18 RAMPA DI DIVERSIONE CON TERMINALE CONTINUO | R964 = CERCHIO DI RAGGIO 964 M; CLC = CLOTOIDE DI CONTINUITÀ; R150 = CERCHIO DI RAGGIO 150 M; CLT = CLOTOIDE DI TRANSIZIONE ..... 28
FIGURA 19 RAMPA DI DIVERSIONE E CON TERMINALE INFLESSO | R964 = CERCHIO DI RAGGIO 964 M; CLF = CLOTOIDE DI FLESSO; R150 = CERCHIO DI RAGGIO 150 M ..... 29
FIGURA 20 RAMPA DI IMMISSIONE CON TERMINALE INFLESSO | R150 = CERCHIO DI RAGGIO 150 M; CLF = CLOTOIDE DI FLESSO; R964 = CERCHIO DI RAGGIO 964 M ..... 29
FIGURA 21 VISUAL REACTION TIME (F(47,47) = 0.728, P=0.14; T(94) =-0.463, P=0.64) ..... 32
FIGURA 22 AUDITIVE REACTION TIME (F(47,47)=1.018, P=0.475; T(94)=0.087, P=0.93) ..... 32
FIGURA 23 (A) VT CLASSE III | (B) AT CLASSE III | (C) VT CLASSE II | (D) AT CLASSE II | (E) VT CLASSE I | (F) AT CLASSE I ..... 33
FIGURA 24 RAMPA IDX CONF1 CON SEGNALETICA S1 ..... 36
FIGURA 25 RAMPA IDX CONF1 CON SEGNALETICA S2 ..... 36

FIGURA 26 RAMPA IDX CONF1 CON SEGNALETICA S3 ..... 37
FIGURA 27 ANDAMENTO DELLE VELOCITÀ PER SEGNALETICA S1 (ORDINARIA), S2 (A BANDE INTERNE), S3 (CON ZEBRATURE ESTERNE) | FLUSSO LIBERO; FLUSSO CONDIZIONATO | GIORNO ..... 40
FIGURA 28 ANDAMENTO DELLE VELOCITÀ PER SEGNALETICA S1 (ORDINARIA), S2 (A BANDE INTERNE), S3 (CON ZEBRATURE ESTERNE) | FLUSSO LIBERO; FLUSSO CONDIZIONATO | NOTTE ..... 40
FIGURA 29 ANDAMENTO DELLO SPOSTAMENTO LATERALE PER SEGNALETICA S1 (ORDINARIA), S2 (A BANDE INTERNE), S3 (CON ZEBRATURE ESTERNE) | FLUSSO LIBERO; FLUSSO CONDIZIONATO | GIORNO ..... 43
FIGURA 30 ANDAMENTO DELLO SPOSTAMENTO LATERALE PER SEGNALETICA S1 (ORDINARIA), S2 (A BANDE INTERNE), S3 (CON ZEBRATURE ESTERNE) | FLUSSO LIBERO; FLUSSO CONDIZIONATO | NOTTE ..... 43
FIGURA 31 SDLP | RAMPA IDX | CONFRONTO S1, S2, S3 | GIORNO; NOTTE ..... 45
FIGURA 32 ANDAMENTO DELLE VELOCITÀ PER SEGNALETICA S1 (ORDINARIA), S2 (A BANDE INTERNE), S3 (CON ZEBRATURE ESTERNE) | FLUSSO LIBERO; FLUSSO CONDIZIONATO | GIORNO ..... 48
FIGURA 33 ANDAMENTO DELLE VELOCITÀ PER SEGNALETICA S1 (ORDINARIA), S2 (A BANDE INTERNE), S3 (CON ZEBRATURE ESTERNE) | FLUSSO LIBERO; FLUSSO CONDIZIONATO | NOTTE ..... 48
FIGURA 34 ANDAMENTO DELLO SPOSTAMENTO LATERALE PER SEGNALETICA S1 (ORDINARIA), S2 (A BANDE INTERNE), S3 (CON ZEBRATURE ESTERNE) | FLUSSO LIBERO; FLUSSO CONDIZIONATO | GIORNO ..... 51
FIGURA 35 ANDAMENTO DELLO SPOSTAMENTO LATERALE PER SEGNALETICA S1 (ORDINARIA), S2 (A BANDE INTERNE), S3 (CON ZEBRATURE ESTERNE) | FLUSSO LIBERO; FLUSSO CONDIZIONATO | NOTTE ..... 51
FIGURA 36 SDLP | RAMPA ISX | CONFRONTO S1, S2, S3 | GIORNO; NOTTE ..... 53
FIGURA 37 ANDAMENTO DELLE VELOCITÀ PER SEGNALETICA S1 (ORDINARIA), S2 (A BANDE INTERNE), S3 (CON ZEBRATURE ESTERNE) | FLUSSO LIBERO; FLUSSO CONDIZIONATO | GIORNO ..... 56
FIGURA 38 ANDAMENTO DELLE VELOCITÀ PER SEGNALETICA S1 (ORDINARIA), S2 (A BANDE INTERNE), S3 (CON ZEBRATURE ESTERNE) | FLUSSO LIBERO; FLUSSO CONDIZIONATO | NOTTE ..... 56
FIGURA 39 ANDAMENTO DELLO SPOSTAMENTO LATERALE PER SEGNALETICA S1 (ORDINARIA), S2 (A BANDE INTERNE), S3 (CON ZEBRATURE ESTERNE) | FLUSSO LIBERO; FLUSSO CONDIZIONATO | GIORNO ..... 59
FIGURA 40 ANDAMENTO DELLO SPOSTAMENTO LATERALE PER SEGNALETICA S1 (ORDINARIA), S2 (A BANDE INTERNE), S3 (CON ZEBRATURE ESTERNE) | FLUSSO LIBERO; FLUSSO CONDIZIONATO | NOTTE ..... 59
FIGURA 41 SDLP | RAMPA UDX | CONFRONTO S1, S2, S3 | GIORNO; NOTTE ..... 61
FIGURA 42 ANDAMENTO DELLE VELOCITÀ PER SEGNALETICA S1 (ORDINARIA), S2 (A BANDE INTERNE), S3 (CON ZEBRATURE ESTERNE) | FLUSSO LIBERO; FLUSSO CONDIZIONATO | GIORNO ..... 64
FIGURA 43 ANDAMENTO DELLE VELOCITÀ PER SEGNALETICA S1 (ORDINARIA), S2 (A BANDE INTERNE), S3 (CON ZEBRATURE ESTERNE) | FLUSSO LIBERO; FLUSSO CONDIZIONATO | NOTTE ..... 64
FIGURA 44 ANDAMENTO DELLO SPOSTAMENTO LATERALE PER SEGNALETICA S1 (ORDINARIA), S2 (A BANDE INTERNE), S3 (CON ZEBRATURE ESTERNE) | FLUSSO LIBERO; FLUSSO CONDIZIONATO | GIORNO ..... 67

FIGURA 45 ANDAMENTO DELLO SPOSTAMENTO LATERALE PER SEGNALETICA S1 (ORDINARIA), S2 (A BANDE INTERNE), S3 (CON ZEBRATURE ESTERNE) | FLUSSO LIBERO; FLUSSO CONDIZIONATO | NOTTE ..... 67
FIGURA 46 SDLP | RAMPA USX | CONFRONTO S1, S2, S3 | GIORNO; NOTTE ..... 69
FIGURA 47 CONFRONTO TRA I FATTORI DI SCALA A DATI DA UN $R_A$= 964 M E UN $R_R$=150 M ..... 89
FIGURA 48 INDICAZIONI GEOMETRICHE PER IL DISEGNO DELLA CLOTOIDE DI FLESSO (BASSANI, ET AL., 2012) 89
FIGURA 49 INDICAZIONI GEOMETRICHE PER IL DISEGNO DELLA CLOTOIDE DI CONTINUITÀ (BASSANI, ET AL., 2012) ..... 90
FIGURA 50 CORSIE DI ENTRATA (D.M., 19/04/06) ..... 93
FIGURA 51 PIAZZOLA DI SOSTA (D.M., 19/04/06) ..... 94
FIGURA 52 RISULTATI POST SIMULAZIONE: ELEMENTI CONDIZIONANTI IL COMPORTAMENTO ALLA GUIDA .. 112
FIGURA 53 RISULTATI POST SIMULAZIONE: EFFETTO DI S2 SULLA VELOCITÀ ..... 114
FIGURA 54 RISULTATI POST SIMULAZIONE: EFFETTO DI S2 SULLA TRAIETTORIA ..... 114
FIGURA 55 RISULTATI POST SIMULAZIONE: EFFETTO DI S2 SU ACCELERAZIONE E FRENATURA ..... 114
FIGURA 56 RISULTATI POST SIMULAZIONE: EFFETTO DI S3 SULLA VELOCITÀ ..... 115
FIGURA 57 RISULTATI POST SIMULAZIONE: EFFETTO DI S3 SULLA TRAIETTORIA ..... 115
FIGURA 58 RISULTATI POST SIMULAZIONE: EFFETTO DI S3 SU ACCELERAZIONE E FRENATURA ..... 115
FIGURA 59 ANDAMENTO DELLA DISTRIBUZIONE TEORICA E SPERIMENTALE PER I DATI DI VELOCITÀ ..... 129
FIGURA 60 AGHI DI MANOVRA | RAMPA IDX | GIORNO ..... 132
FIGURA 61 AGHI DI MANOVRA | RAMPA IDX | NOTTE ..... 132
FIGURA 62 AGHI DI MANOVRA | RAMPA UDX | GIORNO ..... 133
FIGURA 63 AGHI DI MANOVRA | RAMPA UDX | NOTTE ..... 133
FIGURA 64 AGHI DI MANOVRA | RAMPA ISX | GIORNO ..... 134
FIGURA 65 AGHI DI MANOVRA | RAMPA ISX | NOTTE ..... 134
FIGURA 66 AGHI DI MANOVRA | RAMPA USX | GIORNO ..... 135
FIGURA 67 AGHI DI MANOVRA | RAMPA USX | NOTTE ..... 135

# Elenco delle tabelle

TABELLA 1 PARAMETRI SCELTI PER IL PROGETTO DELLE RAMPE ..... 14
TABELLA 2 LUNGHEZZA DELLE CORSIE DI ACCELERAZIONE | IDX = IMMISSIONE CON CLOTOIDE DI CONTINUITÀ | ..... 15
TABELLA 3 LUNGHEZZA DELLE CORSIE DI DECELERAZIONE | UDX = DIVERSIONE CON CLOTOIDE DI CONTINUITÀ | ..... 15
TABELLA 4 FATTORI DELL'ESPERIMENTO ..... 16
TABELLA 5 COMBINAZIONE DEI FATTORI DELL'ESPERIMENTO | S1 = SEGNALETICA ORDINARIA; S2 = SEGNALETICA A BANDE INTERNE; S3 = SEGNALETICA CON ZEBRATURA ESTERNA | G = GIORNO; N = NOTTE | ..... 18
TABELLA 6 CIRCUITI ASSEGNATI AI TEST DRIVER ..... 19
TABELLA 7 STRATIFICAZIONE DEL CAMPIONE DI GUIDATORI PER GENERE E CLASSI D'ETÀ ..... 23
TABELLA 8 INFORMAZIONI SUL CAMPIONE DI GUIDATORI AGGREGATE PER CLASSI DI ETÀ ..... 23
TABELLA 9 ATTIVITÀ COMPONENTI L'ESPERIMENTO ..... 25
TABELLA 10 TEST KS CON N=24 ..... 34
TABELLA 11 TEST KS CON N=12 ..... 35
TABELLA 12 COMBINAZIONE DEI FATTORI DELL'ESPERIMENTO | IDX | G=GIORNO (ORE 12:00); N=NOTTE (ORE 23:00); L=LIBERO (1000 VEH/H); C=CONDIZIONATO (3000 VEH/H) ..... 38
TABELLA 13 MEDIA E SD DELLA VELOCITÀ PER LE RAMPE DI INGRESSO A DESTRA ..... 39
TABELLA 14 MEDIA E SD DELLO SCOSTAMENTO LATERALE PER LE RAMPE DI IMMISSIONE A DESTRA ..... 42
TABELLA 15 VALORI DI SDLP | RAMPA IDX | GIORNO; NOTTE | VALORI MEDI RIPORTATI NELLA PENULTIMA RIGA IN GRASSETTO| KS-TEST RIPORTATO NELL'ULTIMA RIGA ..... 45
TABELLA 16 COMBINAZIONE DEI FATTORI DELL'ESPERIMENTO | ISX | G=GIORNO (ORE 12:00); N=NOTTE (ORE 23:00); L=LIBERO (1000 VEH/H); C=CONDIZIONATO (3000 VEH/H) ..... 46
TABELLA 17 MEDIA E SD DELLA VELOCITÀ PER LE RAMPE DI INGRESSO A SINISTRA ..... 47
TABELLA 18 MEDIA E SD DELLO SCOSTAMENTO LATERALE PER LE RAMPE DI INGRESSO A SINISTRA ..... 50
TABELLA 19 SDLP | RAMPA ISX | GIORNO; NOTTE | VALORI MEDI RIPORTATI NELLA PENULTIMA RIGA IN GRASSETTO| KS RIPORTATO NELL'ULTIMA RIGA ..... 53
TABELLA 20 COMBINAZIONE DEI FATTORI DELL'ESPERIMENTO | UDX | G=GIORNO (ORE 12:00); N=NOTTE (ORE 23:00); L=LIBERO (1000 VEH/H); C=CONDIZIONATO (3000 VEH/H) ..... 54
TABELLA 21 MEDIA E SD DELLA VELOCITÀ PER LE RAMPE DI USCITA A DESTRA ..... 55
TABELLA 22 MEDIA E SD DELLO SCOSTAMENTO LATERALE PER LE RAMPE DI USCITA DESTRORSE ..... 58
TABELLA 23 SDLP | RAMPA UDX | GIORNO; NOTTE | VALORI MEDI RIPORTATI NELLA PENULTIMA RIGA IN GRASSETTO |KS RIPORTATO NELL'ULTIMA RIGA ..... 60

TABELLA 24 COMBINAZIONE DEI FATTORI DELL'ESPERIMENTO | USX | G=GIORNO (ORE 12:00); N=NOTTE (ORE 23:00); L=LIBERO (1000 VEH/H); C=CONDIZIONATO (3000 VEH/H) ..... 62
TABELLA 25 MEDIA E SD DELLA VELOCITÀ PER LE RAMPE DI USCITA A SINISTRA ..... 63
TABELLA 26 MEDIA E SD DELLO SCOSTAMENTO LATERALE PER LE RAMPE DI USCITA A SINISTRA ..... 66
TABELLA 27 SDLP | RAMPA USX| VALORI MEDI RIPORTATI NELLA PENULTIMA RIGA IN GRASSETTO |KS RIPORTATO NELL'ULTIMA RIGA ..... 69
TABELLA 28 (D.M., 19/04/06) LARGHEZZE DEGLI ELEMENTI MODULARI ..... 86
TABELLA 29 (D.M., 19/04/06) PARAMETRI FONDAMENTALI PER IL DISEGNO GEOMETRICO ..... 86
TABELLA 30 PROGETTO CLOTOIDE DI TRANSIZIONE AUTOSTRADALE ..... 88
TABELLA 31 PROGETTO CLOTOIDE DI TRANSIZIONE TRA RETTIFILO CAT C E CURVE DELLA RAMPA ..... 88
TABELLA 32 LUNGHEZZE $L_{V,E}$ (D.M., 19/04/06) ..... 91
TABELLA 33 LUNGHEZZE $L_{M,U}$ (D.M., 19/04/06) ..... 92
TABELLA 34 LUNGHEZZE $L_{A,E}$ $L_{V,E}$ $L_{I,E}$ ON-RAMP CAT C ..... 92
TABELLA 35 LUNGHEZZE $L_{A,E}$ $L_{V,E}$ ON-RAMP CAT A ..... 92
TABELLA 36 $L_{I,E}$ PER CLOTOIDE DI CONTINUITÀ ..... 93
TABELLA 37 $L_{I,E}$ PER CLOTOIDE DI FLESSO ..... 93
TABELLA 38 $L_{D,E}$ $L_{M,U}$ OFF-RAMP CAT A ..... 94
TABELLA 39 $L_{D,E}$ $L_{M,U}$ OFF-RAMP CAT C ..... 94
TABELLA 40 SUDDIVISIONE IN FASCE DI ETÀ PROPOSTA DAL MIT ..... 99
TABELLA 41 SUDDIVISIONE IN FASCE DI ETÀ ..... 99
TABELLA 42 SUDDIVISIONE PER GENERE ..... 99
TABELLA 43 STRATIFICAZIONE DELLA POPOLAZIONE PER FASCE D'ETÀ E GENERE ..... 100
TABELLA 44 RISULTATI POST SIMULAZIONE: ELEMENTI CHE HANNO CONDIZIONATO IL COMPORTAMENTO ALLA GUIDA ..... 113
TABELLA 45 EFFETTO DI S2 SULLA VELOCITÀ ..... 114
TABELLA 46 EFFETTO DI S2 SULLA TRAIETTORIA ..... 114
TABELLA 47 EFFETTO DI S2 SU ACCELERAZIONE E FRENATURA ..... 114
TABELLA 48 EFFETTO DI S3 SULLA VELOCITÀ ..... 115
TABELLA 49 EFFETTO DI S3 SULLA TRAIETTORIA ..... 115
TABELLA 50 EFFETTO DI S3 SU ACCELERAZIONE E FRENATURA ..... 115
TABELLA 51 MODULO PER TEST COGNITIVI ..... 116
TABELLA 52 RISULTATI DEI TEST KS | RAMPA IDX | SITO 1 – CIRCUITI 1A E 2C ..... 123
TABELLA 53 RISULTATI DEI TEST KS | RAMPA IDX | SITO 2 – CIRCUITI 1A E 2C ..... 123
TABELLA 54 RISULTATI DEI TEST KS | RAMPA IDX | SITO 3 – CIRCUITI 1A E 2C ..... 124
TABELLA 55 RISULTATI DEI TEST KS | RAMPA IDX | SITO 1 – CIRCUITI 1B E 2A ..... 125

TABELLA 56 RISULTATI DEI TEST KS | RAMPA IDX | SITO 2– CIRCUITI 1B E 2A ..... 125
TABELLA 57 RISULTATI DEI TEST KS | RAMPA IDX | SITO 3 – CIRCUITI 1B E 2A ..... 126
TABELLA 58 RISULTATI DEI TEST KS | RAMPA IDX | SITO 1 – CIRCUITI 1C E 2B ..... 127
TABELLA 59 RISULTATI DEI TEST KS | RAMPA IDX | SITO 2 – CIRCUITI 1C E 2B ..... 127
TABELLA 60 RISULTATI DEI TEST KS | RAMPA IDX | SITO 3 – CIRCUITI 1C E 2B ..... 128

# ALLEGATI

## A. Calcolo del flusso di traffico

Il flusso di traffico è un fattore variabile dell'esperimento, per questo motivo è stato implementato all'interno del software andando a calcolare la densità di traffico e di conseguenza la distanza tra i veicoli corrispondente al livello di servizio scelto.
Considerando una velocità limite in autostrada di 130 [km/h] e una condizione di traffico elevata si è ottenuto il numero di veicoli al chilometro:

$$D = \frac{3000 \left[\frac{veh}{h}\right]}{130 \left[\frac{km}{h}\right]} = 23.08 \left[\frac{veh}{km}\right]$$

Si può quindi determinare la distanza tra i veicoli da imporre al software:

$$distanza\ tra\ i\ veicoli = \frac{1000\ [m]}{23.08 \left[\frac{veh}{h}\right]} \cong 40\ m$$

Considerando invece una condizione di traffico media, si ottiene il seguente numero di veicoli al chilometro:

$$D = \frac{1000 \left[\frac{veh}{h}\right]}{130 \left[\frac{km}{h}\right]} = 7.7 \left[\frac{veh}{km}\right]$$

La distanza tra i veicoli da imporre al software è quindi:

$$distanza\ tra\ i\ veicoli = \frac{1000\ [m]}{7.7 \left[\frac{veh}{h}\right]} \cong 120\ m$$

## B. Parametri geometrici

Le larghezze degli elementi modulari degli svincoli sono determinate in funzione della strada di livello gerarchico superiore, tra quelle confluenti nel nodo. Tali valori sono indicati in Tabella 28.

*Tabella 28 (D.M., 19/04/06) Larghezze degli elementi modulari*

| Strade extraurbane | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **elemento modulare** | **Tipo di strada principale** | **Larghezza corsie (m)** | **Larghezza banchina in destra (m)** | **Larghezza banchina in sinistra (m)** |
| Corsie specializzate di uscita e di immissione | A | 3,75 | 2.50 | - |
| | B | 3,75 | 1.75 | - |
| Rampe monodirezionali | A | 1 corsia: 4,00<br>2 corsie: 2 x 3,50 | 1.00 | 1.00 |
| | B | 1 corsia: 4,00<br>2 corsie: 2 x 3,50 | 1.00 | 1.00 |
| Rampe bidirezionali | A | 1 corsia: 3,50 | 1.00 | - |
| | B | 1 corsia: 3,50 | 1.00 | - |

| Strade urbane | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **elemento modulare** | **Tipo di strada principale** | **Larghezza corsie (m)** | **Larghezza banchina in destra (m)** | **Larghezza banchina in sinistra (m)** |
| Corsie specializzate di uscita e di immissione | A | 3,75 | 2.50 | - |
| | D | 3,25 | 1.00 | - |
| Rampe monodirezionali | A | 1 corsia: 4,00<br>2 corsie: 2 x 3,50 | 1.00 | 1.00 |
| | D | 1 corsia: 4,00<br>2 corsie: 2 x 3,50 | 1.00 | 1.00 |
| Rampe bidirezionali | A | 1 corsia: 3,50 | 1.00 | - |
| | D | 1 corsia: 3,50 | 1.00 | - |

Per rampe monodirezionali e per un tipo di strada principale di Cat A, si è scelto di utilizzare per la realizzazione della sezione trasversale delle rampe una sola corsia di larghezza 4 m con banchina a destra e sinistra di 1 m.

I parametri fondamentali per il disegno geometrico delle rampe sono indicati in Tabella 29.

*Tabella 29 (D.M., 19/04/06) parametri fondamentali per il disegno geometrico*

| **Velocità di progetto** | **(km/h)** | **30** | **40** | **50** | **60** | **70** | **80** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Raggio planimetrico minimo** | **(m)** | 25 | 45 | 75 | 120 | 180 | 250 |
| **Pendenza max salita** | **(%)** | 10 | 7,0 | | 5,0 | | |
| **Pendenza max discesa** | **(%)** | 10 | 8,0 | | 6,0 | | |
| **Raggi minimi verticali convessi** | **(m)** | 500 | 1000 | 1500 | 2000 | 2800 | 4000 |
| **Raggi minimi verticali concavi** | **(m)** | 250 | 500 | 750 | 1000 | 1400 | 2000 |
| **Pendenza trasversale minima** | **(%)** | 2,5 | | | | | |
| **Pendenza trasversale max** | **(%)** | 7,0 | | | | | |
| **Distanza di visuale minima** | **(m)** | 25 | 35 | 50 | 70 | 90 | 115 |

Impostando una velocità di progetto sulla rampa pari a 60 km/h, il raggio planimetrico è stato scelto pari a 150 m.

Conoscendo il valore del raggio autostradale ($R_a$ =964 m) e il valore del raggio della rampa ($R_r$ =150 m) si è determinato il fattore di scala A della clotoide, utilizzando i 3 criteri fondamentali (limitazione del contraccolpo, sovrapendenza longitudinale e criterio ottico), forniti dalla normativa:

- **<u>Criterio 1</u> (Limitazione del contraccolpo)**

Affinché lungo un arco di clotoide si abbia una graduale variazione dell'accelerazione trasversale non compensata nel tempo (contraccolpo c), fra il parametro A e la massima velocità V (km/h), desunta dal diagramma di velocità, per l'elemento di clotoide deve essere verificata la relazione:

$$A \geq A_{min1} = 0{,}021 \cdot V^2$$

Con V *velocità* in km/h.

- **<u>Criterio 2</u> (Sovrapendenza longitudinale delle line di estremità della carreggiata)**

Nelle sezioni di estremità di un arco di clotoide la carreggiata stradale presenta differenti assetti trasversali, che vanno raccordati longitudinalmente, introducendo una sovrapendenza nelle linee di estremità della carreggiata rispetto alla pendenza dell'asse di rotazione.

Nel caso in cui il raggio iniziale sia di valore infinito (rettilineo o punto di flesso), il parametro deve verificare la seguente disuguaglianza:

$$A \geq A_{min2} = \sqrt{\frac{R}{\Delta i_{max}} \cdot 100 \cdot B \cdot (q_f - q_i)}$$

Con B [m] *distanza tra l'asse di rotazione e il ciglio della carreggiata nella sezione iniziale della curva a raggio variabile*; $\Delta i_{max}$ *sovrapendenza longitudinale massima della linea costituita dai punti che distano B dall'asse di rotazione;* $q_i$ *pendenza trasversale iniziale;* $q_f$ *pendenza trasversale finale.*

Nel caso in cui anche il raggio iniziale sia di valore finito (continuità) il parametro deve verificare la seguente disuguaglianza:

$$A \geq A_{min2} = \sqrt{\frac{B \cdot (q_f - q_i)}{\left(\frac{1}{R_i} - \frac{1}{R_f}\right) \cdot \frac{\Delta i_{max}}{100}}}$$

Con $R_i$ [m] *raggio nel punto iniziale della curva a raggio variabile*; $R_f$[m] *raggio nel punto terminale della curva a raggio variabile*.

- **<u>Criterio 3</u> (Ottico)**

Per garantire la percezione ottica del raccordo deve essere verificata la relazione

$$A_{min3} \geq \frac{R}{3}$$

Inoltre, per garantire la percezione dell'arco di cerchio alla fine della clotoide, deve essere:

$$A_{max} \leq R$$

**Progetto Clotoidi**

Nella Tabella 30 e Tabella 31 sono riassunti i parametri geometrici delle clotoidi di transizione che si sviluppano rispettivamente tra la curva autostradale e il rettifilo autostradale e tra il rettifilo della strada di Cat C e la curva della rampa:

***Tabella 30 Progetto clotoide di transizione autostradale***

| | V [km/h] | qf [%] | qi [%] | Δimax | B [m] | Amin1 | Amin2 | Amin3 | Amax | Amin | **A** | ΔR |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Clotoide | 140 | 0.07 | 0.025 | 0.48 | 3.75 | 412 | 266 | 318 | 955 | 412 | **450** | 1.965 |

| | R [m] |
|---|---|
| Cerchio | 964 |

***Tabella 31 Progetto clotoide di transizione tra rettifilo Cat C e curve della rampa***

| | V [km/h] | qf [%] | qi [%] | Δimax | B [m] | Amin1 | Amin2 | Amin3 | Amax | Amin | **A** | ΔR |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Clotoide | 60 | 0.025 | 0.061 | 0.6 | 2 | 75.6 | 65 | 50 | 150 | 75.6 | **100** | 1.235 |

| | R [m] |
|---|---|
| Cerchio | 150 |

Per il disegno delle clotoidi di transizione su AutoCad è stata utilizzata la tabella della clotoide unitaria.

Il progetto delle clotoidi che si trovano tra la curvatura destrorsa della rampa e la curvatura sinistrorsa dell'autostrada, sono clotoidi di flesso che vengono progettate diversamente dalle transizioni, in quanto utilizzano l'abaco di Osteloch per trovare il gap D tra i due cerchi e poterli rappresentare graficamente.

Si procede calcolando i fattori di scala con i criteri forniti dalla normativa per entrambi i raggi di curvatura di interesse. Si otterranno così due valori differenti di A, uno per il raggio Ra=964 m e uno per Rr=150 m. Per facilitare la rappresentazione si opta per un flesso simmetrico scegliendo uno stesso fattore di scala che rientri contemporaneamente nei range tra Amin e Amax di entrambi i raggi di curvatura (Figura 47).

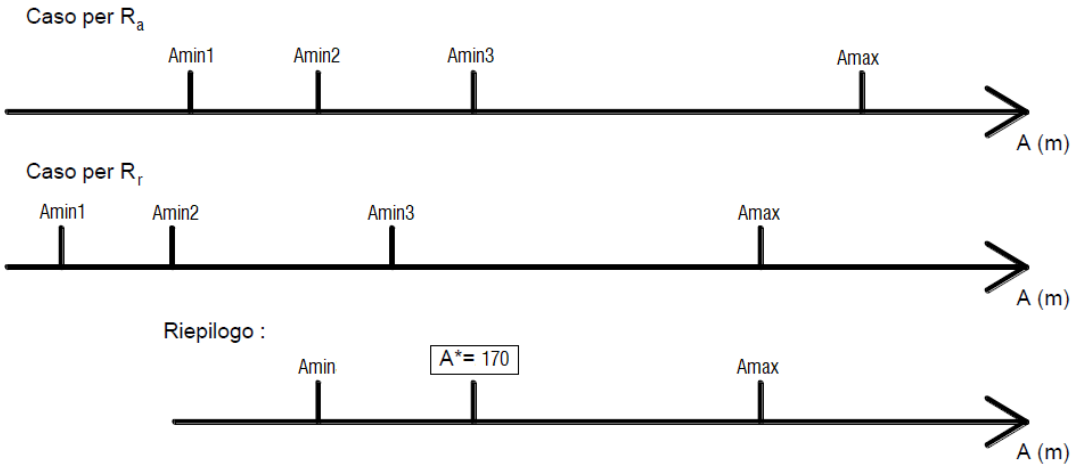



*Figura 47 Confronto tra i fattori di scala A dati da un $R_a$= 964 m e un $R_r$=150 m*

È ora possibile procedere con il dimensionamento della clotoide di flesso, come viene riportato in Figura 48.

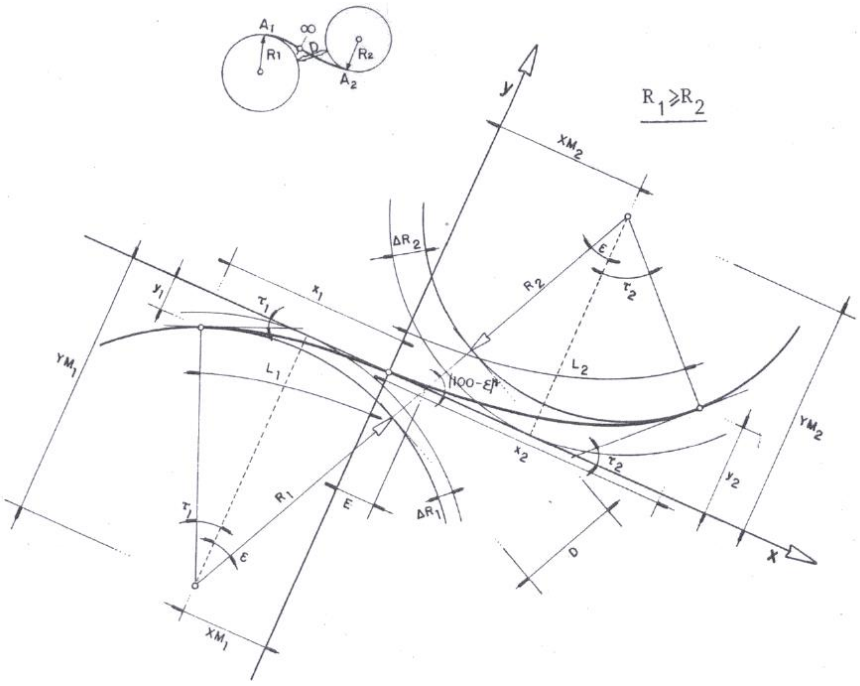



*Figura 48 Indicazioni geometriche per il disegno della clotoide di flesso (Bassani, et al., 2012)*

Tramite l'abaco di Osterloch, conoscendo il fattore di scala e i raggi di curvatura viene trovato il gap D tra i due cerchi. Si utilizzano infine le tabelle della clotoide unitaria per trovare tutti i parametri fondamentali ($x_M$, $y_M$, $x_F$, $y_F$, $\tau$) al dimensionamento e al disegno grafico della clotoide di flesso.

Lo stesso procedimento viene utilizzato per progettare le clotoidi di continuità che si trovano tra la curvatura destrorsa della rampa e la curvatura destrorsa dell'autostrada. Per la rappresentazione grafica e quindi per il dimensionamento geometrico ci si avvale di uno schema differente, come riportato in Figura 49.

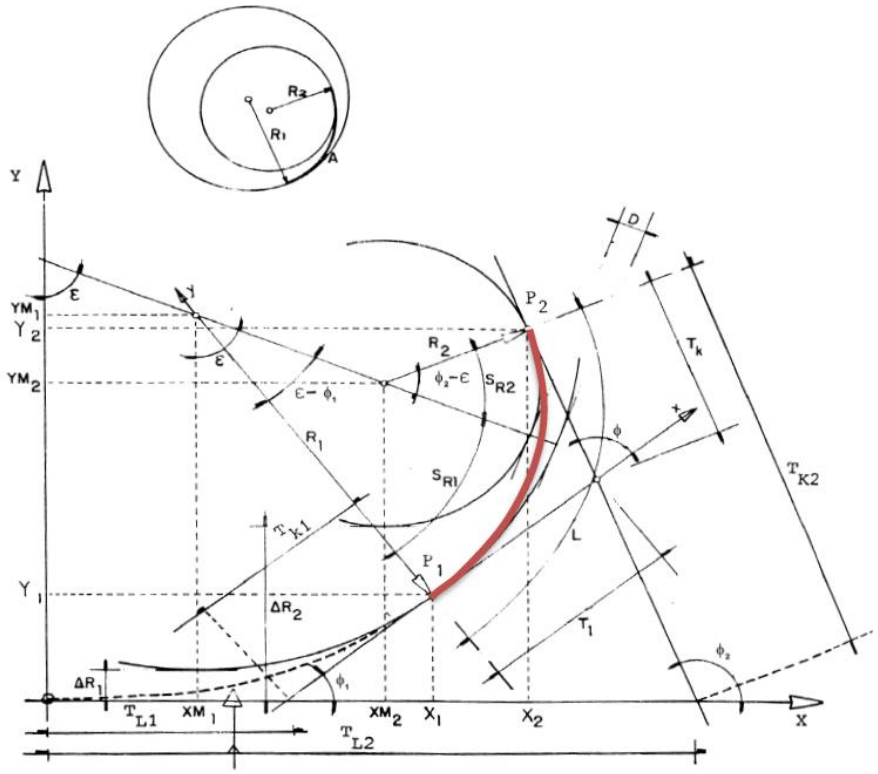



*Figura 49 Indicazioni geometriche per il disegno della clotoide di continuità (Bassani, et al., 2012)*

## C. Progetto delle corsie di accelerazione e decelerazione

Le corsie di accelerazione e decelerazione si sviluppano in affiancamento alla strada principale, seguendo esattamente l'andamento dell'asse stradale.

Le corsie di immissione sono composte da tre tratti elementari:

- Tratto di accelerazione La,e;
- Tratti di immissione o tratto funzionale Li,e;
- Elemento di raccordo Lv,e;

Le corsie di uscita sono composte da due tratti elementari:

- Tratto di manovra Lm,u;
- Tratto di decelerazione Ld,u.

Per determinare la lunghezza dei tratti di accelerazione e di decelerazione è stata utilizzata la seguente equazione cinematica fornita dal DM del 19 Aprile 2006:

$$L = \frac{v_1^2 - v_2^2}{2 \cdot a}$$

Dove $v_1$è la *velocità iniziale*, $v_2$ è la *velocità finale* e *a* è l'*accelerazione* nel caso di corsie di entrata o la *decelerazione* nel caso di corsie di uscita.

Per i terminali di rampa sia nel caso di corsie di accelerazione che di decelerazione viene utilizzato un metodo geometrico.

Per i terminali delle rampe di accelerazione si sceglie una lunghezza Lv,e in funzione della velocità di progetto della strada principale sulla quale si immette la rampa. I valori da utilizzare vengono indicati in Tabella 32.

***Tabella 32 Lunghezze $L_{v,e}$ (D.M., 19/04/06)***

| Velocità di progetto $V_p$ [km/h] | Lunghezza del tratto di raccordo $L_{v,e}$ [m] |
|---|---|
| $V_p > 80$ | 75 |
| $V_p \leq 80$ | 50 |

Per i terminali delle rampe di decelerazione si sceglie una lunghezza Lm,u in funzione della velocità di progetto della strada da cui si dirama la rampa. I valori sono indicati nella Tabella 33 fornita dal DM del 19 Aprile 2006.

*Tabella 33 Lunghezze $L_{m,u}$ (D.M., 19/04/06)*

| Velocità di progetto $V_p$ [km/h] | Lunghezza del tratto di manovra $L_{m,u}$ [m] |
|---|---|
| 40 | 20 |
| 60 | 40 |
| 80 | 60 |
| 100 | 75 |
| ≥ 120 | 90 |

Di seguito vengono riportati i valori trovati nei diversi casi:

- Corsie di immissione in strada di Cat C:

*Tabella 34 Lunghezze La,e Lv,e Li,e ON-RAMP Cat C*

| Corsia di accelerazione | |
|---|---|
| v1 [m/s] | 16,67 |
| v2 [m/s] | 22,22 |
| a [m/s²] | 1 |
| La,e [m] | 108 |
| Lunghezza Raccordo | |
| Lv,e [m] | 75 |
| Lunghezza Immissione | |
| Li,e [m] | 50 |

Per le corsie di immissione in strade di gerarchia più bassa come le strade di Cat C, l'Highway Capacity Manual (Highway Capacity Manual (HCM), 2010) fornisce un valore standard da adottare come lunghezza del tratto funzionale pari a 50 m

- Corsie di immissione in autostrada:

*Tabella 35 Lunghezze La,e Lv,e ON-RAMP Cat A*

| Corsia di accelerazione | |
|---|---|
| v1 [m/s] | 16,67 |
| v2 [m/s] | 31,11 |
| a [m/s²] | 1 |
| La,e [m] | 345 |
| Lunghezza Raccordo | |
| Lv,e [m] | 75 |

In questo caso per trovare il tratto immissione si seguono le prescrizioni fornite dall' Highway Capacity Manual (HCM). Il manuale descrive tutti i passaggi per trovare la lunghezza $L_{A,HCM}$ la quale comprende il tratto di accelerazione $L_{a,e}$ privato del tratto di clotoide, il tratto di immissione $L_{i,e}$ e il terminale di raccordo $L_{v,e}$ (Figura 50).

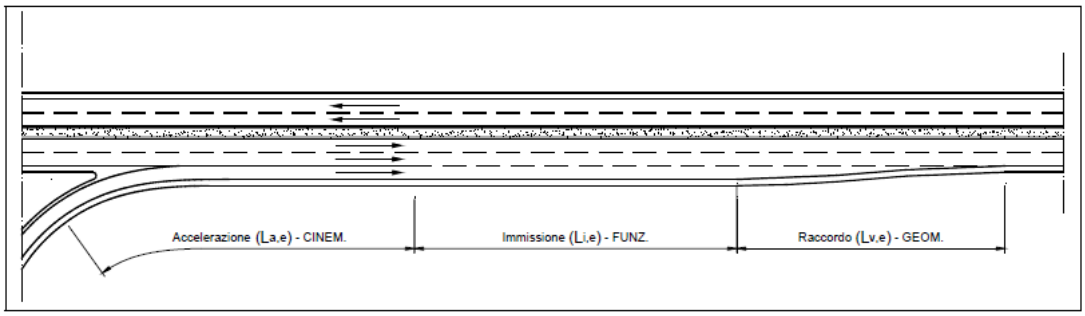



***Figura 50 Corsie di entrata (D.M., 19/04/06)***

Conoscendo il tratto di accelerazione La,e e la lunghezza del tratto di clotoide $L_{cl}$ (progettata precedentemente) si riesce a trovare il tratto funzionale Li,e per le corsie di immissione in autostrada:

$$L_{i,e} = L_{A,HACM} - \left(L_{a,e} - L_{cl}\right) - L_{v,e}$$

In Tabella 36 e Tabella 37 sono riportati i valori ottenuti che risultano differenti nel caso in cui i tratti di accelerazione sono costituite da clotoidi di continuità, dal caso in cui i tratti di accelerazione $L_{a,e}$ sono costituiti da clotoidi di flesso:

***Tabella 36 Li,e per clotoide di continuità***

| | |
|---|---|
| **$L_{A,HCM}$ [ft]** | 1183 |
| **$L_{A,HCM}$ [m]** | 361 |
| **La,e [m]** | 345 |
| **Lv,e [m]** | 75 |
| **Lcl,c [m]** | 125 |
| **Li,e [m]** | 65 |

***Tabella 37 Li,e per clotoide di flesso***

| | |
|---|---|
| **$L_{A,HCM}$ [ft]** | 864 |
| **$L_{A,HCM}$ [m]** | 263 |
| **La,e [m]** | 345 |
| **Lv,e [m]** | 75 |
| **Lcl,f [m]** | 263 |
| **Li,e [m]** | 106 |

- Corsie di uscita dall'autostrada:

*Tabella 38 Ld,e Lm,u OFF-RAMP Cat A*

| Corsia di decelerazione | |
|---|---|
| v1 [m/s] | 16,67 |
| v2 [m/s] | 38,89 |
| a [m/s²] | 3 |
| Ld,e | 206 |
| Lunghezza manovra | |
| Lm,u [m] | 90 |

- Corsie di uscita da strada di Cat C:

*Tabella 39 Ld,e Lm,u OFF-RAMP Cat C*

| Corsia di decelerazione | |
|---|---|
| v1 [m/s] | 16,67 |
| v2 [m/s] | 27,78 |
| a [m/s²] | 3 |
| Ld,e | 82 |
| Lunghezza manovra | |
| Lm,u [m] | 75 |

Le piazzole di sosta sono state realizzate sulle due strade di categoria C rispettando le dimensioni minime dettate dal D.M. 05/11/2001 (Figura 51)

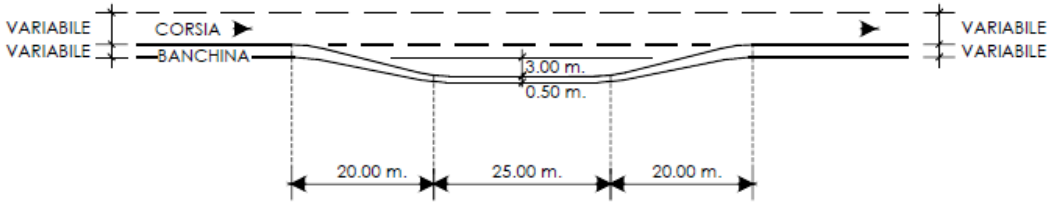
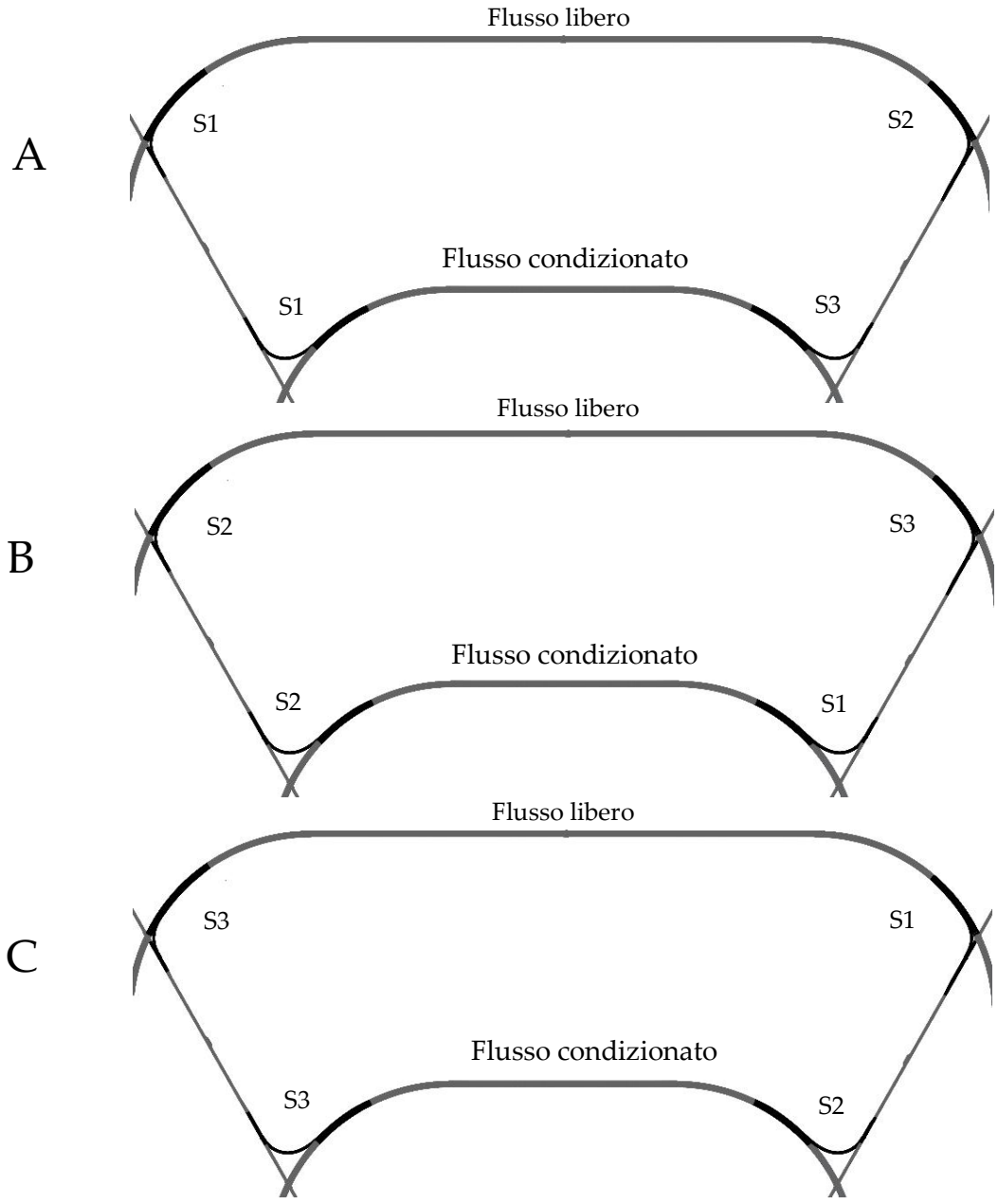



*Figura 51 Piazzola di sosta (D.M., 19/04/06)*

## D. Ripartizione dei fattori variabili dell'esperimento

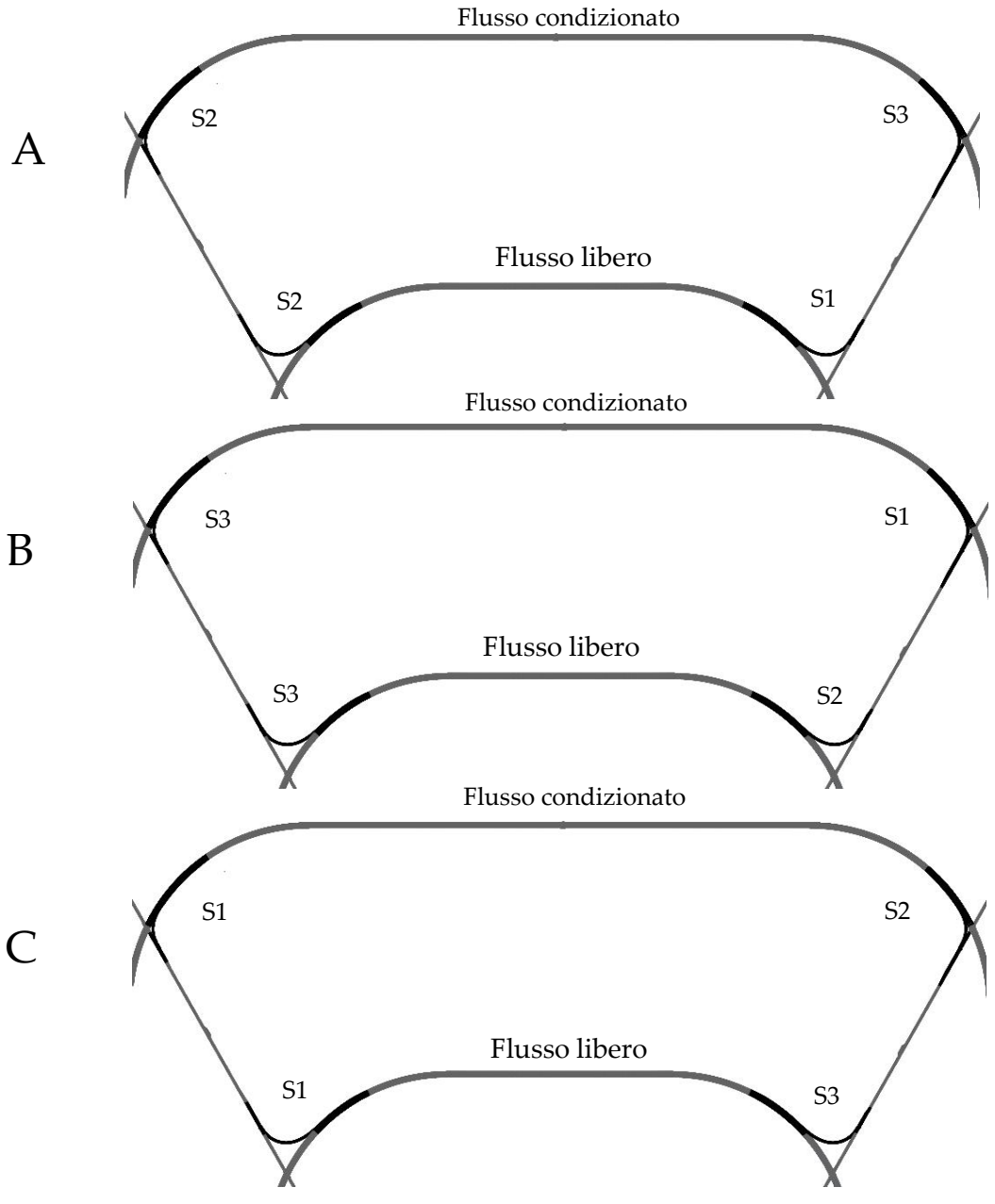
CONF. 1

| | |
|---|---|
| SEGNALETICA ORIZZONTALE | S1 ǀ S2 ǀ S3 |
| CONDIZIONI DI LUCE | Ore 12:00 |
| CONDIZIONE DI FLUSSO | LIBERO ǀ CONDIZIONATO |



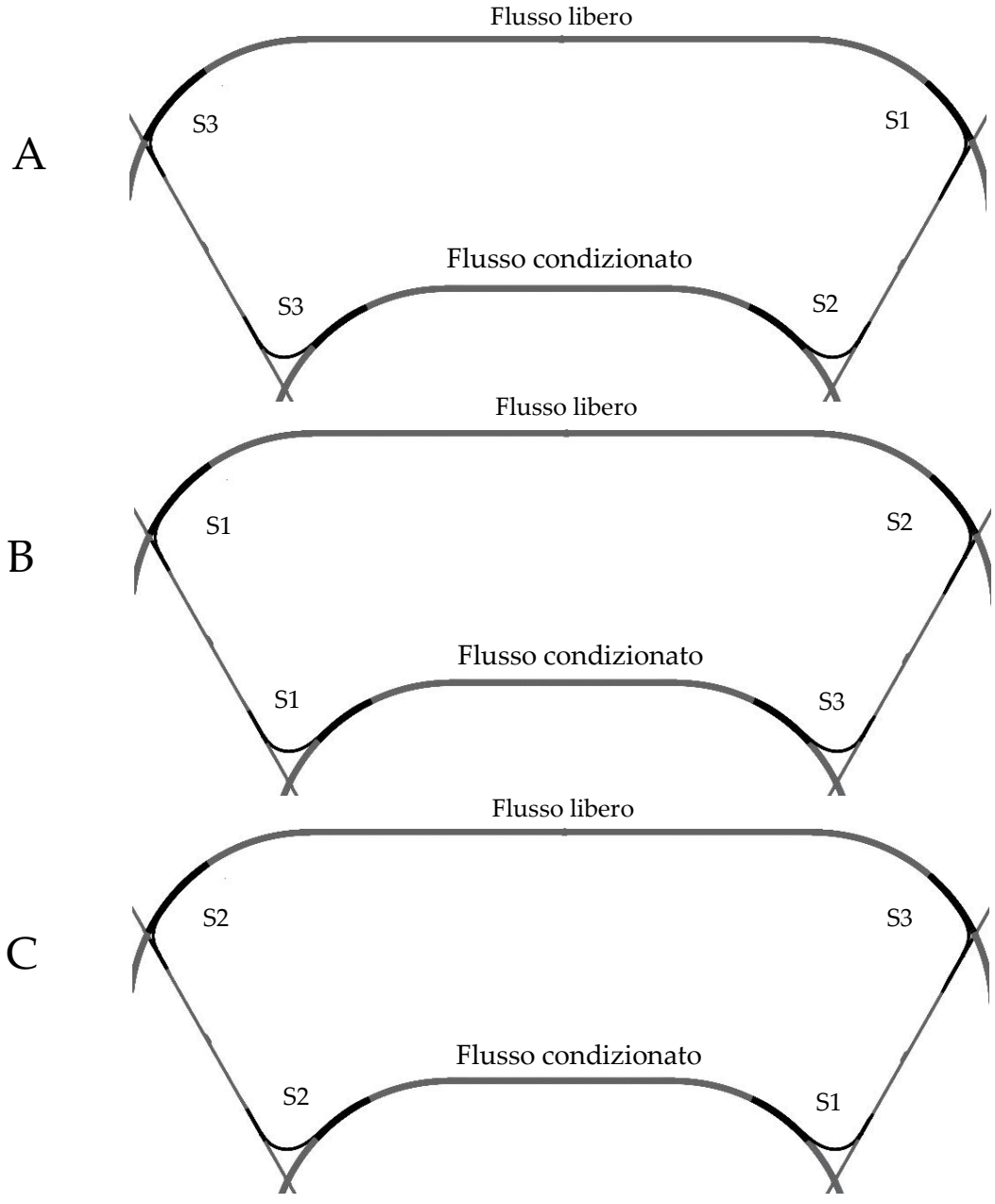
CONF. 2

| | |
|---|---|
| SEGNALETICA ORIZZONTALE | S1 ǀ S2 ǀ S3 |
| CONDIZIONI DI LUCE | Ore 12:00 |
| CONDIZIONE DI FLUSSO | CONDIZIONATO ǀ LIBERO |



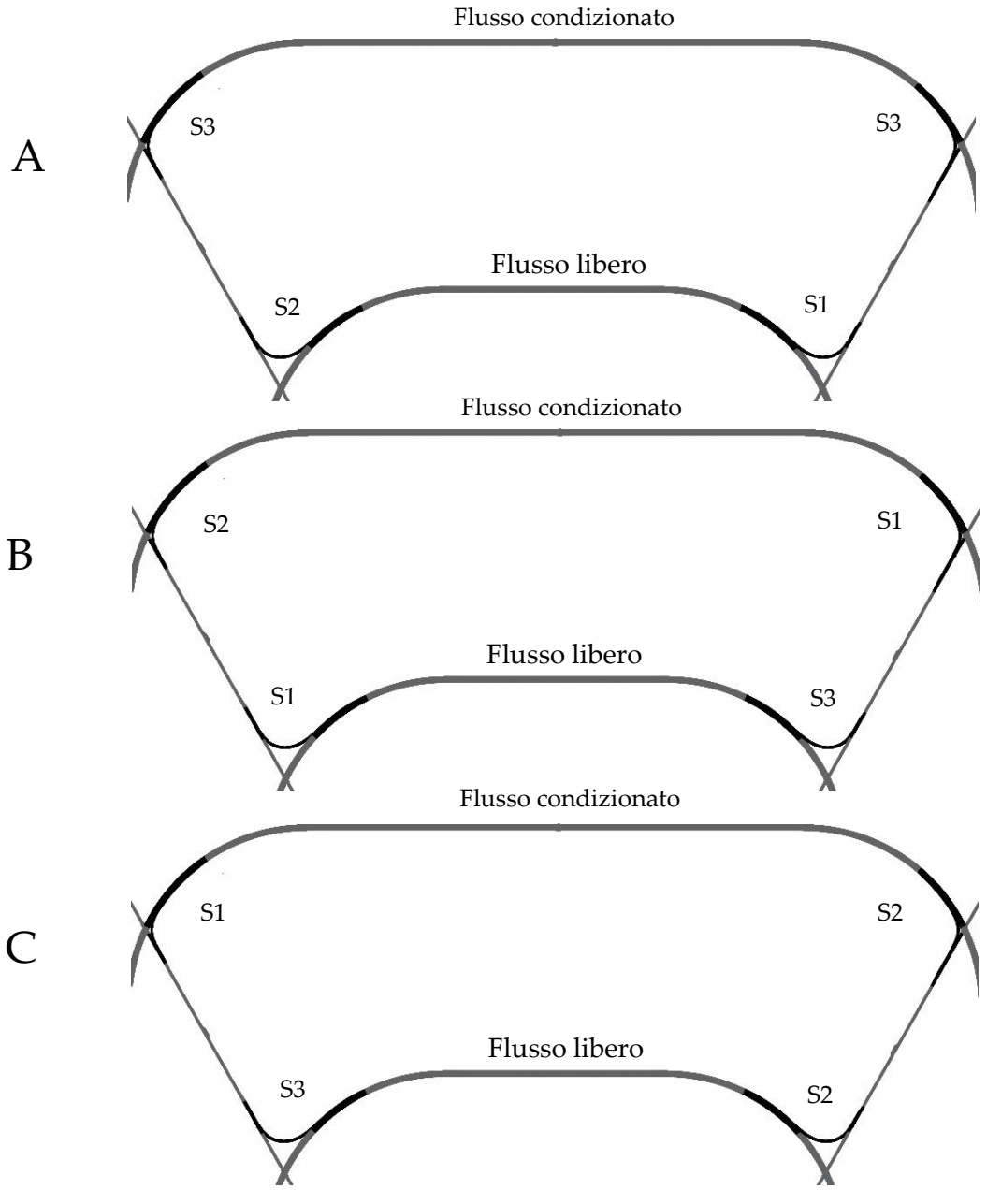
CONF. 3

| | |
|---|---|
| SEGNALETICA ORIZZONTALE | S1 ǀ S2 ǀ S3 |
| CONDIZIONI DI LUCE | Ore 23:00 |
| CONDIZIONE DI FLUSSO | LIBERO ǀ CONDIZIONATO |



CONF. 4

| | |
|---|---|
| SEGNALETICA ORIZZONTALE | S1 ǀ S2 ǀ S3 |
| CONDIZIONI DI LUCE | Ore 23:00 |
| CONDIZIONE DI FLUSSO | CONDIZIONATO ǀ LIBERO |



# E. Studio conoscitivo del campione

Affinchè si abbia un campione rappresentativo è stato effettuato uno studio conoscitivo della popolazione italiana di guidatori utilizzando le informazioni sulle licenze di guida presenti sul sito del Ministero dei Trasporti (MIT). Il MIT proponeva la seguente divisione per fasce di età dei patentati in Italia, riportata in Tabella 40.

*Tabella 40 Suddivisione in fasce di età proposta dal MIT*

| Classe | Fascia di età | [%] | Totale |
|---|---|---|---|
| **A** | < 25 anni | 7,69 | 3,083,172 |
| **B** | 25 – 34 anni | 14,66 | 5,679,399 |
| **C** | 35 – 44 anni | 19,14 | 7,415,976 |
| **D** | 45 – 65 anni | 38,9 | 15,067,898 |
| **E** | > 65 | 19,33 | 7,484,601 |

Essendosi presentata la difficoltà di trovare test drivers di età superiore ai 65 anni, il MIT propose un'altra suddivisione, eliminando la classe E e ripartendo proporzionalmente la percentuale di questa classe nelle altre classi. Inoltre, per comodità vennero utilizzate solamente tre fasce di età e unendo la classe B con la C venne formata un'unica classe, come si può vedere in Tabella 41

*Tabella 41 Suddivisione in fasce di età*

| | Fascia di età | [%] | Totale |
|---|---|---|---|
| **I** | < 25 anni | 9,9 | 3,083,172 |
| **II** | 25 – 44 anni | 41,9 | 13,095,375 |
| **III** | 45 – 65 anni | 48,2 | 15,067,898 |

Il portale ministeriale presenta inoltre i dati relativi al numero di uomini e donne dotati di patente (Tabella 42).

*Tabella 42 Suddivisione per genere*

| Genere | [%] | Totale |
|---|---|---|
| **Maschi** | 55.14 | 20.583.900 |
| **Femmine** | 44.76 | 16.708.252 |

Da questo studio conoscitivo è stato possibile costruire un campione che abbia le stesse caratteristiche della popolazione reale. Inizialmente è stata effettuata una stratificazione della popolazione, considerando come variabili stratificate l'età e il sesso (Tabella 43)

***Tabella 43 Stratificazione della popolazione per fasce d'età e genere***

| **Classe** | **Fascia d'età** | **% di persone che rientra in quella fascia** | **% UOMINI con patente in Italia [55,56%]** | **% DONNE con patente in Italia [44,44%]** |
|---|---|---|---|---|
| I | <25 anni | 9.90% | **5.50%** | **4.40%** |
| II | 25-44 anni | 41.90% | **23.28%** | **18.62%** |
| III | 45-64 anni | 48.20% | **26.78%** | **21.42%** |

Queste percentuali sono state ottenute moltiplicando la % di uomini con patente in Italia (55,56 %) con la percentuale di persone che rientrano in quella determinata fascia di età. Stessa cosa è stata effettuata per ottenere la percentuale di donne con patente nelle differenti classi di età.

# F. Elenco e caratteristiche dei guidatori

| ID | Sesso | Età | Classe Età | Esperienza di guida (anni) | Km annui percorsi | Numero incidenti |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **#1** | F | 33 | II | 14 | 18000 | 1 |
| **#2** | F | 55 | III | 29 | 24000 | 3 |
| **#3** | M | 58 | III | 39 | 20000 | 0 |
| **#4** | F | 54 | III | 36 | 20000 | 2 |
| **#5** | F | 47 | III | 28 | 15000 | 1 |
| **#6** | M | 56 | III | 26 | 10000 | 0 |
| **#7** | M | 45 | II | 27 | 5000 | 0 |
| **#8** | M | 21 | I | 1 | 2000 | 0 |
| **#9** | M | 24 | I | 6 | 10000 | 0 |
| **#10** | M | 37 | II | 19 | 5000 | 1 |
| **#11** | F | 29 | II | 10 | 3000 | 0 |
| **#12** | M | 36 | II | 18 | 40000 | 1 |
| **#13** | M | 26 | II | 8 | 20000 | 0 |
| **#14** | M | 29 | II | 10 | 13000 | 1 |
| **#15** | M | 25 | II | 5 | 5000 | 0 |
| **#16** | F | 36 | II | 18 | 20000 | 0 |
| **#17** | F | 53 | III | 35 | 1500 | 0 |
| **#18** | M | 61 | III | 43 | 35000 | 4 |
| **#19** | F | 54 | III | 36 | 10000 | 2 |
| **#20** | F | 57 | III | 39 | 2000 | 0 |
| **#21** | F | 35 | II | 17 | 10000 | 2 |
| **#22** | F | 31 | II | 13 | 500 | 0 |
| **#23** | M | 43 | II | 25 | 20000 | 0 |
| **#24** | M | 46 | III | 28 | 15000 | 0 |
| **#25** | M | 57 | III | 39 | 8000 | 2 |
| **#26** | M | 20 | I | 2 | 5000 | 1 |
| **#27** | M | 27 | II | 9 | 25000 | 0 |
| **#28** | M | 56 | III | 38 | 30000 | 3 |
| **#29** | F | 22 | I | 4 | 3000 | 0 |
| **#30** | M | 52 | III | 34 | 25000 | 3 |
| **#31** | F | 54 | III | 36 | 15000 | 3 |
| **#32** | F | 51 | III | 33 | 600 | 0 |
| **#33** | F | 50 | III | 32 | 100 | 0 |
| **#34** | M | 37 | II | 19 | 2000 | 1 |
| **#35** | M | 30 | II | 12 | 8000 | 2 |
| **#36** | M | 46 | III | 28 | 40000 | 0 |
| **#37** | F | 20 | I | 2 | 5000 | 0 |
| **#38** | M | 57 | III | 39 | 15000 | 3 |
| **#39** | F | 27 | II | 9 | 20000 | 0 |
| **#40** | M | 29 | II | 11 | 5000 | 0 |
| **#41** | M | 51 | III | 33 | 1500 | 0 |
| **#42** | F | 37 | II | 19 | 5000 | 1 |
| **#43** | F | 44 | II | 26 | 10000 | 2 |
| **#44** | M | 26 | II | 8 | 500 | 0 |
| **#45** | F | 35 | II | 17 | 15000 | 0 |
| **#46** | M | 54 | III | 36 | 20000 | 2 |
| **#47** | F | 57 | III | 39 | 10000 | 10 |
| **#48** | M | 57 | III | 39 | 25000 | 0 |

# G. Lettera di invito

**PRESENTAZIONE DELL'ATTIVITA' DI RICERCA**

*Torino, novembre 2019*

Gentilissimo/a,

ti contatto in quanto componente del gruppo di *test driver* che supporta le attività del *Laboratorio di Sicurezza Stradale e Simulazione di Guida* del Politecnico di Torino (Dipartimento di Ingegneria dell'Ambiente, del Territorio e delle Infrastrutture - DIATI).

Nelle prossime settimane abbiamo in programma alcuni esperimenti che necessitano del tuo supporto. La sperimentazione in oggetto richiede, in giorni e orari a te più comodi, un impegno non superiore ai trenta minuti.

**Se tu fossi interessato/a a partecipare, ti chiederei cortesemente di restituirmi via email i due moduli di pagina 3 e 4 compilati (i campi si possono riempire direttamente con Adobe Acrobat Reader – Compila e firma).**

**Nel caso li avessi già recentemente compilati non è necessario che li rinvii nuovamente, abbiamo bisogno solo di un tuo messaggio di conferma di partecipazione.**

Qualora disponibile, ti chiederei di seguire alcune utili raccomandazioni che troverai nel questionario stesso, così da non alterare l'esito dell'esperimento. Al ricevimento della tua documentazione o messaggio di accettazione, sarai contattato telefonicamente da uno dei seguenti studenti per definire nel dettaglio l'appuntamento:

- **Giorgia Raimondo** (telefono: 331-5877615)
- **Alessandra Lioi** (telefono: 347-6088838)
- **Alberto Portera** (telefono: 328-8037889)

I dati raccolti saranno diffusi in forma aggregata e del tutto anonima (v. "Informativa sulla privacy", pagina 4). I risultati saranno divulgati per soli scopi scientifici senza fini di lucro, e potranno essere presentati in convegni, pubblicati su tesi di Laurea, o in articoli di riviste scientifiche sempre in forma aggregata e rigorosamente anonima.

L'accesso ai locali del Laboratorio ti sarà consentito solamente se accompagnato/a da personale autorizzato. Preciso, infine, che la partecipazione a questa attività è del tutto volontaria, e non è soggetta ad alcun compenso.

Ti ringrazio in anticipo per l'attenzione che presterai a questa iniziativa, e della gentile disponibilità che ci vorrai riservare,

**QUESTIONARIO PER ATTIVITA' DI RICERCA CON L'USO DEL SIMULATORE DI GUIDA**

Nome e Cognome ……

Sesso ☐ M ☐ F

Anno di nascita ……

Telefono (cellulare) …… e-mail ……

Livello di istruzione
☐ licenza media inferiore ☐ qualifica professionale triennale
☐ diploma scuole superiori ☐ laurea 1° livello o diploma universitario
☐ laurea 2° livello o vecchio ordinamento
☐ specializzazioni/master post laurea 2° livello/dottorato

Anno di conseguimento della patente di guida ……

km percorsi in un anno (media) ……

n° di incidenti in cui si è stati coinvolti ……

Familiarità con l'uso di software di guida (es. videogiochi) ☐ SI ☐ NO

Utilizzi dispositivi per la correzione visiva? ☐ SI ☐ NO

Se si, quali? ☐ Occhiali ☐ Lenti a contatto

Precedenti episodi di crisi epilettiche? ☐ SI ☐ NO
(o epilessie in trattamento farmacologico)

Raccomandazioni da seguire prima di effettuare le guide al simulatore:

- chi li utilizza, indossi le lenti a contatto, il sistema di tracciamento oculare non consente di tenere i propri occhiali,
- consumare pasto (colazione e/o pranzo) leggeri prima della guida,
- non assumere bevande alcoliche e/o eccitanti (caffè, *energy drink*, o simili) almeno 2 ore prima.

Il sottoscritto si rende disponibile a effettuare l'addestramento e il test con il simulatore di guida presso il *Laboratorio di Sicurezza Stradale e Simulazione di Guida* – DIATI (ingresso 2, piano terreno):

il giorno lunedì – martedì – mercoledì – giovedì – venerdì alle ore 9 - 12 12 - 15 15 - 18 oppure
il giorno lunedì – martedì – mercoledì – giovedì – venerdì alle ore 9 - 12 12 - 15 15 - 18 oppure
il giorno lunedì – martedì – mercoledì – giovedì – venerdì alle ore 9 - 12 12 - 15 15 - 18
*(cerchiare o spuntare il giorno e l'orario preferiti)*

Luogo e data …… Firma ……

## Informativa resa ai sensi degli articoli 13-14 del GDPR 2016/679 (General Data Protection Regulation)

Gentile Signore/a,

ai sensi dell'art. 13 del Regolamento UE 2016/679 ed in relazione alle informazioni di cui si entrerà in possesso, ai fini della tutela delle persone e altri soggetti in materia di trattamento di dati personali, si informa quanto segue:

1. FINALITÀ DEL TRATTAMENTO

I dati da Lei forniti saranno utilizzati per scopi di ricerca scientifica, consentendo ai soggetti autorizzati al trattamento di costruire un campione di guidatori con caratteristiche idonee all'attività in esame.

2. MODALITÀ DEL TRATTAMENTO

Il trattamento dei dati sarà effettuato sia manualmente, con supporti cartacei, sia con l'ausilio di mezzi informatizzati. I dati saranno conservati sia in archivi cartacei sia in archivi elettronici. In ogni caso il trattamento dei dati avverrà con logiche strettamente correlate alle finalità indicate e con modalità che garantiscano la sicurezza e la riservatezza dei dati medesimi, attraverso l'adozione di misure idonee ad impedire l'alterazione, la cancellazione, la distruzione, l'accesso non autorizzato o il trattamento non consentito o non conforme alle finalità della raccolta.

3. CONFERIMENTO DEI DATI

Il conferimento dei dati per le finalità di cui al punto 1 sono obbligatori e l'eventuale rifiuto dell'autorizzazione comporta l'esclusione dall'attività di ricerca.

4. COMUNICAZIONE E DIFFUSIONE DEI DATI

I dati forniti saranno comunicati ai soggetti autorizzati: ricercatori, responsabili e incaricati del trattamento. In ogni caso, i dati forniti non saranno soggetti a comunicazione né a diffusione. Come espresso all'art. 162 del Regolamento UE n. 2016/679, "*La finalità statistica implica che il risultato del trattamento per finalità statistiche non siano dati personali, ma dati aggregati, e che tale risultato o i dati personali non siano utilizzati a sostegno di misure o decisioni riguardanti persone fisiche specifiche*".

5. TITOLARE DEL TRATTAMENTO

Il titolare del trattamento dei dati personali è il prof. Marco Bassani, Politecnico di Torino, Dipartimento di Ingegneria dell'Ambiente, del Territorio e delle Infrastrutture, corso Duca degli Abruzzi, 24 – 10129 Torino.

6. DIRITTI DELL'INTERESSATO

In ogni momento, Lei potrà esercitare, ai sensi degli articoli dal 15 al 22 del Regolamento UE n. 2016/679, il diritto di:

a) chiedere la conferma dell'esistenza o meno di propri dati personali;
b) ottenere le indicazioni circa le finalità del trattamento, le categorie dei dati personali e, quando possibile, il periodo di conservazione;
c) ottenere la limitazione del trattamento;
d) ottenere la rettifica e la cancellazione dei dati.

Può esercitare i Suoi diritti con richiesta scritta inviata al titolare del trattamento, all'indirizzo mail marco.bassani@polito.it, oppure marco.bassani@pec.polito.it.

Io sottoscritto/a dichiaro di aver ricevuto l'informativa che precede.

Torino, lì …… Firma ……

Io sottoscritto/a alla luce dell'informativa ricevuta

☐ esprimo il consenso ☐ NON esprimo il consenso al trattamento dei miei dati personali e, espressamente, al trattamento di eventuali dati sensibili, per il conseguimento delle su esposte finalità.

☐ esprimo il consenso ☐ NON esprimo il consenso al trattamento dei risultati delle esperienze di guida svolte e alla loro pubblicazione su tesi di Laurea Magistrale e/o pubblicazioni scientifiche in forma aggregata e rigorosamente anonima.

# H. Questionario pre-guida

**QUESTIONARIO PER ATTIVITA' DI RICERCA CON L'USO DEL SIMULATORE DI GUIDA**

**QUESTIONARIO PRE-GUIDA**

Nome e Cognome …… Numero identificativo del TD ……

Giorno …… Ora ……

È attualmente in buona salute? ☐ SI ☐ NO

Se no, di cosa soffre?

……

Ha assunto medicinali nelle precedenti 24h? ☐ SI ☐ NO

Se si, quali? (è sufficiente la categoria)

……..……

……..

È affetto da malattie croniche (asma, diabete, ansia, allergia…)? ☐ SI ☐ NO

Se sì, quali?

……

Precedenti episodi di crisi epilettica (o epilessia in trattamento farmacologico) ☐ SI ☐ NO

Quanto tempo fa ha consumato l'ultimo pasto (colazione e/o pranzo)? ……ore ……minuti

Come lo definirebbe? ☐ Abbondante ☐ Moderato ☐ Leggero

Ha assunto bevande alcoliche e/o eccitanti (caffè, energy drink) nelle ultime 2 h? ☐ SI ☐ NO

Ha assunto bevande alcoliche nelle precedenti 24h? ☐ SI ☐ NO

Quante ore ha è dormito la notte precedente? ……

Utilizza dispositivi per la correzione visiva? ☐ SI ☐ NO

Attualmente li indossa? ☐ SI ☐ NO

Se si, quali? ☐ Occhiali ☐ Lenti a contatto

# I. Questionario post-guida

**QUESTIONARIO PER ATTIVITA' DI RICERCA CON L'USO DEL SIMULATORE DI GUIDA**

**QUESTIONARIO DI POST-SIMULAZIONE**

Nome e Cognome …… Numero identificativo del TD ……

Giorno …… Ora ……

**SENSAZIONI.** Durante la guida nell' ambiente virtuale si è sentito:

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| - A suo agio | ☐ per nulla | ☐ lieve | ☐ moderato | ☐ intenso |
| - In grado di controllare la situazione e le proprie azioni | ☐ per nulla | ☐ lieve | ☐ moderato | ☐ intenso |
| - Pieno di energia | ☐ per nulla | ☐ lieve | ☐ moderato | ☐ intenso |
| - Nervoso | ☐ per nulla | ☐ lieve | ☐ moderato | ☐ intenso |
| - Con la mente che vagava | ☐ per nulla | ☐ lieve | ☐ moderato | ☐ intenso |

Sarebbe disposto a guidare ancora?

☐ SI ☐ NO

Se SI per quanto tempo?

☐ <15min ☐ < 30min ☐ < 45min ☐ >1h

**CONSEGUENZE DELL' ESPERIMENTO.** Indicare se attualmente percepisce uno o più dei seguenti sintomi[1]:

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| - Generale disagio | ☐ per nulla | ☐ lieve | ☐ moderato | ☐ intenso |
| - Fatica | ☐ per nulla | ☐ lieve | ☐ moderato | ☐ intenso |
| - Mal di testa | ☐ per nulla | ☐ lieve | ☐ moderato | ☐ intenso |
| - Stanchezza visiva | ☐ per nulla | ☐ lieve | ☐ moderato | ☐ intenso |
| - Difficoltà nella messa a fuoco | ☐ per nulla | ☐ lieve | ☐ moderato | ☐ intenso |
| - Incremento di salivazione | ☐ per nulla | ☐ lieve | ☐ moderato | ☐ intenso |
| - Incremento di sudorazione | ☐ per nulla | ☐ lieve | ☐ moderato | ☐ intenso |
| - Nausea | ☐ per nulla | ☐ lieve | ☐ moderato | ☐ intenso |
| - Difficoltà di concentrazione | ☐ per nulla | ☐ lieve | ☐ moderato | ☐ intenso |
| - Intontimento | ☐ per nulla | ☐ lieve | ☐ moderato | ☐ intenso |
| - Visione offuscata | ☐ per nulla | ☐ lieve | ☐ moderato | ☐ intenso |
| - Capogiro (a occhi aperti) | ☐ per nulla | ☐ lieve | ☐ moderato | ☐ intenso |
| - Capogiro (a occhi chiusi) | ☐ per nulla | ☐ lieve | ☐ moderato | ☐ intenso |
| - Vertigini | ☐ per nulla | ☐ lieve | ☐ moderato | ☐ intenso |
| - Sensibilità di stomaco | ☐ per nulla | ☐ lieve | ☐ moderato | ☐ intenso |
| - Disturbi digestivi | ☐ per nulla | ☐ lieve | ☐ moderato | ☐ intenso |
| - Altro | | | | |

……

[1] *Simulator Sickness Questionnaire*

**IMMERSIONE.** Esprima un giudizio sulla veridicità dello scenario stradale:

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| - Qualità dell'immagine | ☐ pessimo | ☐ sufficiente | ☐ buono | ☐ ottimo |
| - Corrispondenza alla realtà | | | | |
| - Ambiente esterno alla strada (edifici, panorama, vegetazione) | ☐ pessimo | ☐ sufficiente | ☐ buono | ☐ ottimo |
| o Margini stradali | ☐ pessimo | ☐ sufficiente | ☐ buono | ☐ ottimo |
| o Sede stradale | ☐ pessimo | ☐ sufficiente | ☐ buono | ☐ ottimo |
| o Segnaletica orizzontale | ☐ pessimo | ☐ sufficiente | ☐ buono | ☐ ottimo |
| o Segnaletica verticale | ☐ pessimo | ☐ sufficiente | ☐ buono | ☐ ottimo |
| o Presenza di altri veicoli | ☐ pessimo | ☐ sufficiente | ☐ buono | ☐ ottimo |

Esprima un giudizio sull'interazione con i dispositivi audio-visivi e meccanici:

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| - Riproduzione del campo visivo | ☐ pessimo | ☐ sufficiente | ☐ buono | ☐ ottimo |
| - Percezione degli specchietti | ☐ pessimo | ☐ sufficiente | ☐ buono | ☐ ottimo |
| - Veridicità degli effetti sonori | ☐ pessimo | ☐ sufficiente | ☐ buono | ☐ ottimo |
| - Veridicità della strumentazione di bordo | ☐ pessimo | ☐ sufficiente | ☐ buono | ☐ ottimo |
| - Risposta del volante | ☐ pessimo | ☐ sufficiente | ☐ buono | ☐ ottimo |
| - Risposta del cambio | ☐ pessimo | ☐ sufficiente | ☐ buono | ☐ ottimo |
| - Percezione dell'acceleratore | ☐ pessimo | ☐ sufficiente | ☐ buono | ☐ ottimo |
| - Percezione del freno | ☐ pessimo | ☐ sufficiente | ☐ buono | ☐ ottimo |

**PRESENZA.** È lo stato di coscienza legato al "senso di trovarsi lì", è il senso psicologico di trovarsi nell' ambiente virtuale. Risponda ai seguenti quesiti:

- Si è sentito fisicamente inserito nell'ambiente virtuale?

  ☐ per nulla ☐ poco ☐ abbastanza ☐ molto

- Si è sentito stimolato dall'ambiente virtuale?

  ☐ per nulla ☐ poco ☐ abbastanza ☐ molto

- Durante la guida, si è sentito coinvolto come se fosse dentro l'ambiente virtuale e non stesse guardando uno schermo o utilizzando le componenti del simulatore?

  ☐ per nulla ☐ poco ☐ abbastanza ☐ molto

- Durante la guida, si è sentito coinvolto al punto tale da non sapere cosa stesse accadendo attorno a se?

  ☐ per nulla ☐ poco ☐ abbastanza ☐ molto

- Durante la guida, si è sentito coinvolto dall'ambiente virtuale al punto da perdere la cognizione del tempo?

  ☐ per nulla ☐ poco ☐ abbastanza ☐ molto

- Quanto pensa sia durata la guida? ……..

Di quali elementi/strumenti si è servito per valutare la velocità di marcia?

☐ Contachilometri ☐ Vegetazione e oggetti a lato della strada

☐ Rumore del motore ☐ Non ho prestato attenzione alla velocità

☐ Altro: …….

**SULLE RAMPE AUTOSTRADALI DI INGRESSO/USCITA.**

Ha notato che gli svincolo autostradali erano posizionati in punti dove l'autostrada presenta una curva?

☐ SI ☐ NO

Quali elementi hanno condizionato la sua velocità e traiettoria?

☐ Presenza di altri veicoli (traffico)
☐ Presenza della segnaletica orizzontale
☐ Ambiente diurno o ambiente notturno
☐ Altro

……..…...

……

……

Nel percorrere le rampe di ingresso e uscita dall' autostrada, la presenza di una segnaletica orizzontale non convenzionale ha suscitato condizioni di discomfort? (Cioè: la presenza della segnaletica ha provocato fastidi nell' affrontare la manovra).

☐ per nulla ☐ poco ☐ abbastanza ☐ molto

Qualora avesse riscontrato discomfort nell' eseguire la manovra, quali difficoltà ha maggiormente percepito?

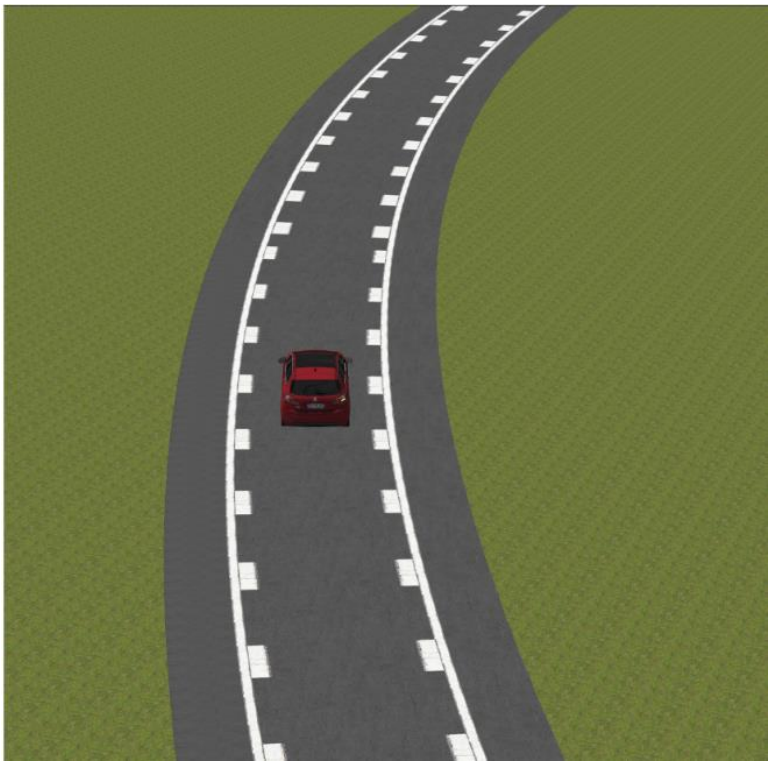
☐ Visiva
☐ Mantenere la posizione del veicolo all' interno della corsia
☐ Controllo della velocità
☐ di Frenatura
☐ Scelta della traiettoria
☐ Altro

……..…...

……

……

Il seguente tipo di segnaletica sulla rampa:



Ha condizionato la velocità da lei scelta nel percorrere la rampa?

☐ per nulla ☐ poco ☐ abbastanza ☐ molto

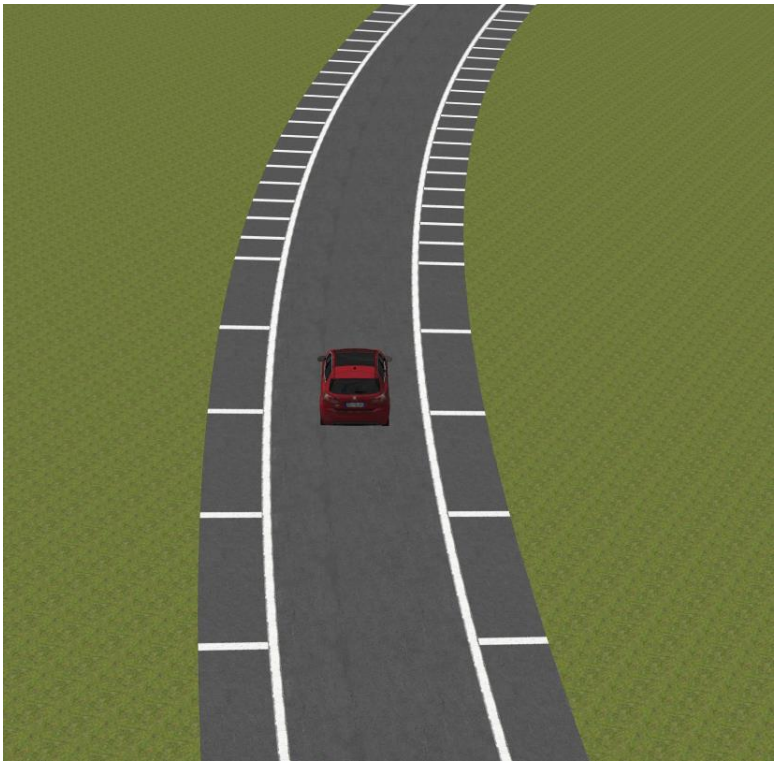
Ha condizionato il controllo della traiettoria nella corsia?

☐ per nulla ☐ poco ☐ abbastanza ☐ molto

Ha in qualche modo condizionato la fase di accelerazione e/o frenatura in ingresso e/o in uscita dall'autostrada?

☐ per nulla ☐ poco ☐ abbastanza ☐ molto

Il seguente tipo di segnaletica sulla rampa:



Ha condizionato la velocità da lei scelta nel percorrere la rampa?

☐ per nulla ☐ poco ☐ abbastanza ☐ molto

Ha condizionato il controllo della traiettoria nella corsia?

☐ per nulla ☐ poco ☐ abbastanza ☐ molto

Ha in qualche modo condizionato la fase di accelerazione e/o frenatura in ingresso e/o in uscita dall'autostrada?

☐ per nulla ☐ poco ☐ abbastanza ☐ molto

Secondo il suo parere, essere guidati da una segnaletica orizzontale aumenta la sicurezza stradale o confonde troppo il guidatore?

☐ Aumenta la sicurezza stradale ☐ Confonde il guidatore

Considerando l'intero tracciato, le è rimasta impressa una situazione particolare? ☐ SI ☐ NO

Se sì, ne fornisca una breve descrizione.

……

## J. Risultati post simulazione

Dal questionario post-simulazione sono state estratte alcune informazioni riguardanti il comportamento dei test drivers alla guida. Tra le domande poste ai partecipanti alcune risultano fondamentali per capire se ciò che i guidatori hanno percepito duramente la simulazione, coincide con il comportamento che essi hanno effettivamente assunto.

Di seguito vengono riportate le risposte date dai test drivers alle domande poste nel questionario post simulazione:

1) ***Da quali elementi è stato condizionato il suo comportamento alla guida?***

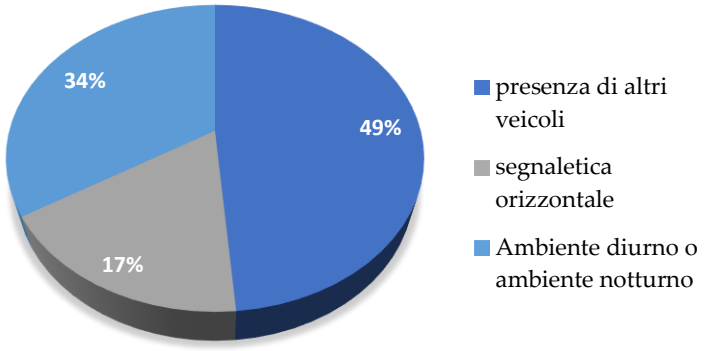



***Figura 52 Risultati post simulazione: elementi condizionanti il comportamento alla guida***

Gli utenti hanno percepito maggiormente la presenza di traffico e si sono sentiti condizionati più da questo che dalla segnaletica orizzontale. I risultati mostrano che in realtà in corrispondenza delle rampe la segnaletica a bande interne S2 ha condizionato il comportamento del guidatore, mentre il traffico è stato un elemento condizionante soprattutto in corrispondenza dei terminali delle corsie di accelerazione. Durante la manovra di uscita invece il traffico è stato poco condizionante.

In Tabella 44 si possono visualizzare le risposte date da parte dei guidatori alla domanda: "***Da quali elementi è stato condizionato il suo comportamento alla guida?***"

*Tabella 44 Risultati post simulazione: elementi che hanno condizionato il comportamento alla guida*

| ID | Presenza di altri veicoli | Segnaletica orizzontale | Ambiente diurno o ambiente notturno |
|---|---|---|---|
| **#1** | ✓ | | |
| **#2** | | | ✓ |
| **#3** | ✓ | | |
| **#4** | ✓ | | |
| **#5** | ✓ | | |
| **#6** | ✓ | ✓ | ✓ |
| **#7** | ✓ | | |
| **#8** | ✓ | | ✓ |
| **#9** | | | ✓ |
| **#10** | | | ✓ |
| **#11** | | | ✓ |
| **#12** | ✓ | | |
| **#13** | ✓ | ✓ | ✓ |
| **#14** | | | ✓ |
| **#15** | ✓ | ✓ | ✓ |
| **#16** | ✓ | | ✓ |
| **#17** | ✓ | ✓ | ✓ |
| **#18** | ✓ | ✓ | ✓ |
| **#19** | ✓ | ✓ | ✓ |
| **#20** | | ✓ | |
| **#21** | ✓ | | |
| **#22** | | ✓ | |
| **#23** | | | |
| **#24** | ✓ | | ✓ |
| **#25** | ✓ | | ✓ |
| **#26** | ✓ | | ✓ |
| **#27** | ✓ | | ✓ |
| **#28** | ✓ | | |
| **#29** | ✓ | ✓ | |
| **#30** | ✓ | | |
| **#31** | ✓ | | |
| **#32** | ✓ | | ✓ |
| **#33** | | | |
| **#34** | ✓ | | |
| **#35** | | | ✓ |
| **#36** | ✓ | | |
| **#37** | ✓ | | |
| **#38** | ✓ | ✓ | ✓ |
| **#39** | ✓ | ✓ | ✓ |
| **#40** | ✓ | | ✓ |
| **#41** | ✓ | | |
| **#42** | ✓ | ✓ | |
| **#43** | ✓ | | |
| **#44** | | | |
| **#45** | | ✓ | |
| **#46** | ✓ | | ✓ |
| **#47** | ✓ | | ✓ |
| **#48** | ✓ | | ✓ |

2) *La segnaletica S2 sulla rampa:*

- *Ha condizionato la velocità da lei scelta nel percorrere la rampa?*

*Tabella 45 Effetto di S2 sulla velocità*

| | |
|---|---|
| per nulla | 26 |
| poco | 16 |
| abbastanza | 5 |
| molto | 1 |

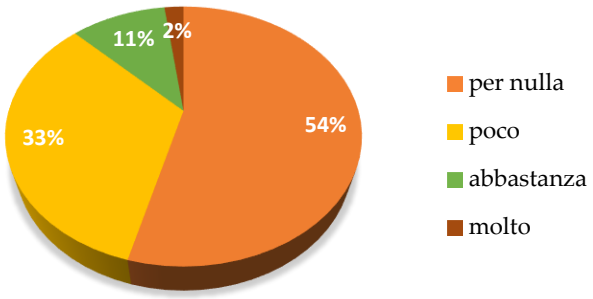



*Figura 53 Risultati post simulazione: effetto di S2 sulla velocità*

- *Ha condizionato il controllo della traiettoria nella corsia?*

*Tabella 46 Effetto di S2 sulla traiettoria*

| | |
|---|---|
| per nulla | 14 |
| poco | 17 |
| abbastanza | 11 |
| molto | 6 |

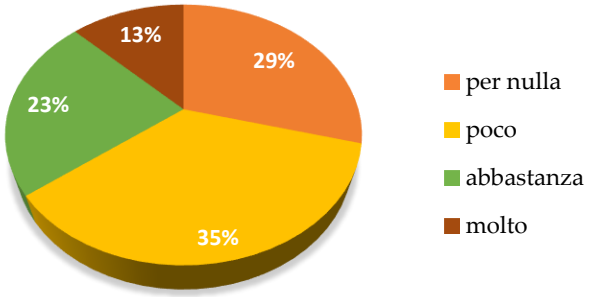



*Figura 54 Risultati post simulazione: effetto di S2 sulla traiettoria*

- *Ha in qualche modo condizionato la fase di accelerazione e/o frenatura in ingresso e/o frenatura in ingresso e/o in uscita dall'autostrada?*

*Tabella 47 Effetto di S2 su accelerazione e frenatura*

| | |
|---|---|
| per nulla | 26 |
| poco | 13 |
| abbastanza | 7 |
| molto | 2 |

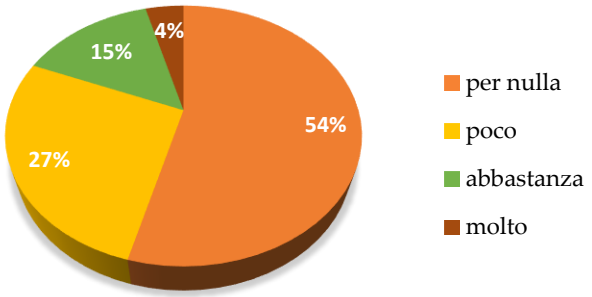



*Figura 55 Risultati post simulazione: effetto di S2 su accelerazione e frenatura*

3) *La segnaletica S3 sulla rampa:*

- *Ha condizionato la velocità da lei scelta nel percorrere la rampa?*

*Tabella 48 Effetto di S3 sulla velocità*

| | |
|---|---|
| per nulla | 24 |
| poco | 19 |
| abbastanza | 3 |
| molto | 2 |

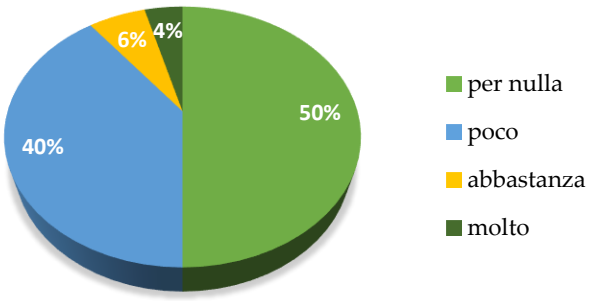



*Figura 56 Risultati post simulazione: effetto di S3 sulla velocità*

- *Ha condizionato il controllo della traiettoria nella corsia?*

*Tabella 49 effetto di S3 sulla traiettoria*

| | |
|---|---|
| per nulla | 20 |
| poco | 16 |
| abbastanza | 8 |
| molto | 4 |

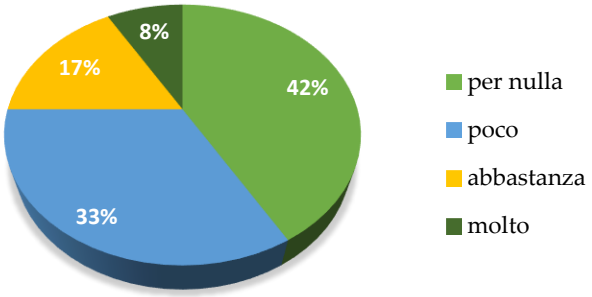



*Figura 57 Risultati post simulazione: effetto di S3 sulla traiettoria*

- *Ha in qualche modo condizionato la fase di accelerazione e/o frenatura in ingresso e/o frenatura in ingresso e/o in uscita dall'autostrada?*

*Tabella 50 Effetto di S3 su accelerazione e frenatura*

| | |
|---|---|
| per nulla | 25 |
| poco | 17 |
| abbastanza | 3 |
| molto | 3 |

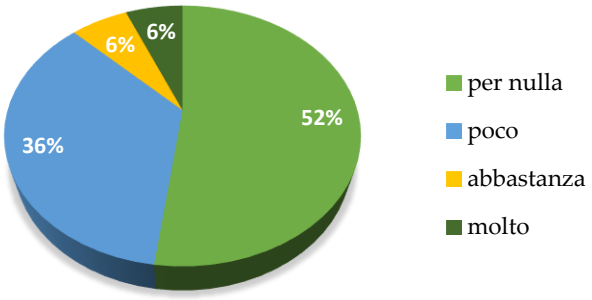



*Figura 58 Risultati post simulazione: effetto di S3 su accelerazione e frenatura*

## K. Modulo per Test Cognitivi

**QUESTIONARIO PER ATTIVITA' DI RICERCA CON L'USO DEL SIMULATORE DI GUIDA**

**MONITORAGGIO PERFORMANCE: TEST COGNITIVI**

Nome e Cognome…… Numero identificativo del TD……

ORA Pre-Guida …….. ORA Post-Guida..……...

*Tabella 51 Modulo per Test Cognitivi*

| n. Prova | PRE-GUIDA | | POST-GUIDA | |
|---|---|---|---|---|
| | Test Visivo | Test Uditivo | Test Visivo | Test Uditivo |
| 1 | | | | |
| 2 | | | | |
| 3 | | | | |
| 4 | | | | |
| 5 | | | | |
| 6 | | | | |
| 7 | | | | |
| 8 | | | | |
| 9 | | | | |
| 10 | | | | |
| 11 | | | | |
| 12 | | | | |
| 13 | | | | |
| 14 | | | | |
| 15 | | | | |
| 16 | | | | |
| 17 | | | | |
| Tempo Medio | | | | |

# L. Codice MATLAB

```
%chiude tutte le figure
close all;
%cancella tutte le variabili salvate
clear;
%cancella tutto ciò che è stato
plottato
clc;

%PERSONA 1
coordinate=load(sprintf('CONF1A_ID1.
txt'));
gp=coordinate(:,2);
swa=coordinate(:,3);
bp=coordinate(:,4);
v=coordinate(:,5);
x=coordinate(:,6);
y=coordinate(:,7);
li=coordinate(:,8);
lg=coordinate(:,9);
ra=coordinate(:,10);
rg=coordinate(:,11);
ri=coordinate(:,12);
sws=coordinate(:,13);
cont=1;
u=0;


% coordinate sezione 1
xa=-375.6822;
ya=-365.8562;
xb=-372.1393;
yb=-364.2582;
flag=0;


for ii=1:length(coordinate)

    if (y(ii))>ya   &   (y(ii))<yb   &
(x(ii))>xa   &   (x(ii))<xb   & flag==0
        gp_u(cont)=gp(ii);
        swa_u(cont)=swa(ii);
        bp_u(cont)=bp(ii);
        v_u(cont)=v(ii);
        x_u(cont)=x(ii);
        y_u(cont)=y(ii);
        li_u(cont)=li(ii);
        lg_u(cont)=lg(ii);
        ra_u(cont)=ra(ii);
        rg_u(cont)=rg(ii);
        ri_u(cont)=ri(ii);
        sws_u(cont)=sws(ii);
        cont=cont+1;
        flag=1;

    end

end

if flag==0
    u=1
end
```

```
%PERSONA 2
coordinate=load(sprintf('CONF1A_ID4.
txt'));
gp=coordinate(:,2);
swa=coordinate(:,3);
bp=coordinate(:,4);
v=coordinate(:,5);
x=coordinate(:,6);
y=coordinate(:,7);
li=coordinate(:,8);
lg=coordinate(:,9);
ra=coordinate(:,10);
rg=coordinate(:,11);
ri=coordinate(:,12);
sws=coordinate(:,13);


flag=0;


for ii=1:length(coordinate)

    if (y(ii))>ya   &   (y(ii))<yb   &
(x(ii))>xa   &   (x(ii))<xb   & flag==0

        gp_u(cont)=gp(ii);
        swa_u(cont)=swa(ii);
        bp_u(cont)=bp(ii);
        v_u(cont)=v(ii);
        x_u(cont)=x(ii);
        y_u(cont)=y(ii);
        li_u(cont)=li(ii);
        lg_u(cont)=lg(ii);
        ra_u(cont)=ra(ii);
        rg_u(cont)=rg(ii);
        ri_u(cont)=ri(ii);
        sws_u(cont)=sws(ii);
        cont=cont+1;
        flag=1;

    end

end

if flag==0
    u=2
end


%PERSONA 3
coordinate=load(sprintf('CONF1A_ID5.
txt'));
gp=coordinate(:,2);
swa=coordinate(:,3);
bp=coordinate(:,4);
v=coordinate(:,5);
x=coordinate(:,6);
y=coordinate(:,7);
li=coordinate(:,8);
lg=coordinate(:,9);
ra=coordinate(:,10);
rg=coordinate(:,11);
ri=coordinate(:,12);
sws=coordinate(:,13);
```

```
flag=0;

for ii=1:length(coordinate)

    if (y(ii))>ya   &   (y(ii))<yb   &
(x(ii))>xa   &   (x(ii))<xb   & flag==0
        gp_u(cont)=gp(ii);
        swa_u(cont)=swa(ii);
        bp_u(cont)=bp(ii);
        v_u(cont)=v(ii);
        x_u(cont)=x(ii);
        y_u(cont)=y(ii);
        li_u(cont)=li(ii);
        lg_u(cont)=lg(ii);
        ra_u(cont)=ra(ii);
        rg_u(cont)=rg(ii);
        ri_u(cont)=ri(ii);
        sws_u(cont)=sws(ii);
        cont=cont+1;
        flag=1;

    end

end

if flag==0
    u=3
end


%PERSONA 4
coordinate=load(sprintf('CONF1A_ID6.
txt'));
gp=coordinate(:,2);
swa=coordinate(:,3);
bp=coordinate(:,4);
v=coordinate(:,5);
x=coordinate(:,6);
y=coordinate(:,7);
li=coordinate(:,8);
lg=coordinate(:,9);
ra=coordinate(:,10);
rg=coordinate(:,11);
ri=coordinate(:,12);
sws=coordinate(:,13);

flag=0;

for ii=1:length(coordinate)
if  (y(ii))>ya    &    (y(ii))<yb    &
(x(ii))>xa   &   (x(ii))<xb   & flag==0
        gp_u(cont)=gp(ii);
        swa_u(cont)=swa(ii);
        bp_u(cont)=bp(ii);
        v_u(cont)=v(ii);
        x_u(cont)=x(ii);
        y_u(cont)=y(ii);
        li_u(cont)=li(ii);
        lg_u(cont)=lg(ii);
        ra_u(cont)=ra(ii);
        rg_u(cont)=rg(ii);
        ri_u(cont)=ri(ii);
        sws_u(cont)=sws(ii);
        cont=cont+1;
        flag=1;
    end

end

if flag==0
    u=4
end


%PERSONA 5
coordinate=load(sprintf('CONF1A_ID9.
txt'));
gp=coordinate(:,2);
swa=coordinate(:,3);
bp=coordinate(:,4);
v=coordinate(:,5);
x=coordinate(:,6);
y=coordinate(:,7);
li=coordinate(:,8);
lg=coordinate(:,9);
ra=coordinate(:,10);
rg=coordinate(:,11);
ri=coordinate(:,12);
sws=coordinate(:,13);

flag=0;

for ii=1:length(coordinate)

    if (y(ii))>ya   &   (y(ii))<yb   &
(x(ii))>xa   &   (x(ii))<xb   & flag==0
        gp_u(cont)=gp(ii);
        swa_u(cont)=swa(ii);
        bp_u(cont)=bp(ii);
        v_u(cont)=v(ii);
        x_u(cont)=x(ii);
        y_u(cont)=y(ii);
        li_u(cont)=li(ii);
        lg_u(cont)=lg(ii);
        ra_u(cont)=ra(ii);
        rg_u(cont)=rg(ii);
        ri_u(cont)=ri(ii);
        sws_u(cont)=sws(ii);
        cont=cont+1;
        flag=1;

    end

end

if flag==0
    u=5
end

%PERSONA 6
coordinate=load(sprintf('CONF1A_ID26
.txt'));
gp=coordinate(:,2);
swa=coordinate(:,3);
bp=coordinate(:,4);
v=coordinate(:,5);
x=coordinate(:,6);
y=coordinate(:,7);
li=coordinate(:,8);
lg=coordinate(:,9);
ra=coordinate(:,10);
```

```
rg=coordinate(:,11);
ri=coordinate(:,12);
sws=coordinate(:,13);


flag=0;


for ii=1:length(coordinate)

    if (y(ii))>ya   &   (y(ii))<yb   &
(x(ii))>xa   &   (x(ii))<xb   & flag==0
        gp_u(cont)=gp(ii);
        swa_u(cont)=swa(ii);
        bp_u(cont)=bp(ii);
        v_u(cont)=v(ii);
        x_u(cont)=x(ii);
        y_u(cont)=y(ii);
        li_u(cont)=li(ii);
        lg_u(cont)=lg(ii);
        ra_u(cont)=ra(ii);
        rg_u(cont)=rg(ii);
        ri_u(cont)=ri(ii);
        sws_u(cont)=sws(ii);
        cont=cont+1;
        flag=1;

    end

end

if flag==0
    u=6
end


%PERSONA 7
coordinate=load(sprintf('CONF1A_ID28
.txt'));
gp=coordinate(:,2);
swa=coordinate(:,3);
bp=coordinate(:,4);
v=coordinate(:,5);
x=coordinate(:,6);
y=coordinate(:,7);
li=coordinate(:,8);
lg=coordinate(:,9);
ra=coordinate(:,10);
rg=coordinate(:,11);
ri=coordinate(:,12);
sws=coordinate(:,13);


flag=0;


for ii=1:length(coordinate)

    if (y(ii))>ya   &   (y(ii))<yb   &
(x(ii))>xa   &   (x(ii))<xb   & flag==0
        gp_u(cont)=gp(ii);
        swa_u(cont)=swa(ii);
        bp_u(cont)=bp(ii);
        v_u(cont)=v(ii);
        x_u(cont)=x(ii);
        y_u(cont)=y(ii);
        li_u(cont)=li(ii);
        lg_u(cont)=lg(ii);
        ra_u(cont)=ra(ii);
        rg_u(cont)=rg(ii);
        ri_u(cont)=ri(ii);
        sws_u(cont)=sws(ii);
        cont=cont+1;
        flag=1;

    end

end

if flag==0
    u=7
end


%PERSONA 8
coordinate=load(sprintf('CONF1A_ID33
.txt'));
gp=coordinate(:,2);
swa=coordinate(:,3);
bp=coordinate(:,4);
v=coordinate(:,5);
x=coordinate(:,6);
y=coordinate(:,7);
li=coordinate(:,8);
lg=coordinate(:,9);
ra=coordinate(:,10);
rg=coordinate(:,11);
ri=coordinate(:,12);
sws=coordinate(:,13);


flag=0;


for ii=1:length(coordinate)

    if (y(ii))>ya   &   (y(ii))<yb   &
(x(ii))>xa   &   (x(ii))<xb   & flag==0
        gp_u(cont)=gp(ii);
        swa_u(cont)=swa(ii);
        bp_u(cont)=bp(ii);
        v_u(cont)=v(ii);
        x_u(cont)=x(ii);
        y_u(cont)=y(ii);
        li_u(cont)=li(ii);
        lg_u(cont)=lg(ii);
        ra_u(cont)=ra(ii);
        rg_u(cont)=rg(ii);
        ri_u(cont)=ri(ii);
        sws_u(cont)=sws(ii);
        cont=cont+1;
        flag=1;

    end

end

if flag==0
    u=8
end
%PERSONA 9
```

```
coordinate=load(sprintf('CONF1A_ID39
.txt'));
gp=coordinate(:,2);
swa=coordinate(:,3);
bp=coordinate(:,4);
v=coordinate(:,5);
x=coordinate(:,6);
y=coordinate(:,7);
li=coordinate(:,8);
lg=coordinate(:,9);
ra=coordinate(:,10);
rg=coordinate(:,11);
ri=coordinate(:,12);
sws=coordinate(:,13);


flag=0;


for ii=1:length(coordinate)

    if (y(ii))>ya   &   (y(ii))<yb   &
(x(ii))>xa   &   (x(ii))<xb   & flag==0
        gp_u(cont)=gp(ii);
        swa_u(cont)=swa(ii);
        bp_u(cont)=bp(ii);
        v_u(cont)=v(ii);
        x_u(cont)=x(ii);
        y_u(cont)=y(ii);
        li_u(cont)=li(ii);
        lg_u(cont)=lg(ii);
        ra_u(cont)=ra(ii);
        rg_u(cont)=rg(ii);
        ri_u(cont)=ri(ii);
        sws_u(cont)=sws(ii);
        cont=cont+1;
        flag=1;

    end

end

if flag==0
    u=9
end

%PERSONA 10
coordinate=load(sprintf('CONF1A_ID40
.txt'));
gp=coordinate(:,2);
swa=coordinate(:,3);
bp=coordinate(:,4);
v=coordinate(:,5);
x=coordinate(:,6);
y=coordinate(:,7);
li=coordinate(:,8);
lg=coordinate(:,9);
ra=coordinate(:,10);
rg=coordinate(:,11);
ri=coordinate(:,12);
sws=coordinate(:,13);


flag=0;


for ii=1:length(coordinate)

    if (y(ii))>ya   &   (y(ii))<yb   &
(x(ii))>xa   &   (x(ii))<xb   & flag==0
        gp_u(cont)=gp(ii);
        swa_u(cont)=swa(ii);
        bp_u(cont)=bp(ii);
        v_u(cont)=v(ii);
        x_u(cont)=x(ii);
        y_u(cont)=y(ii);
        li_u(cont)=li(ii);
        lg_u(cont)=lg(ii);
        ra_u(cont)=ra(ii);
        rg_u(cont)=rg(ii);
        ri_u(cont)=ri(ii);
        sws_u(cont)=sws(ii);
        cont=cont+1;
        flag=1;

    end

end

if flag==0
    u=10
end

%PERSONA 11
coordinate=load(sprintf('CONF1A_ID41
.txt'));
gp=coordinate(:,2);
swa=coordinate(:,3);
bp=coordinate(:,4);
v=coordinate(:,5);
x=coordinate(:,6);
y=coordinate(:,7);
li=coordinate(:,8);
lg=coordinate(:,9);
ra=coordinate(:,10);
rg=coordinate(:,11);
ri=coordinate(:,12);
sws=coordinate(:,13);
flag=0;


for ii=1:length(coordinate)

    if (y(ii))>ya   &   (y(ii))<yb   &
(x(ii))>xa   &   (x(ii))<xb   & flag==0
        gp_u(cont)=gp(ii);
        swa_u(cont)=swa(ii);
        bp_u(cont)=bp(ii);
        v_u(cont)=v(ii);
        x_u(cont)=x(ii);
        y_u(cont)=y(ii);
        li_u(cont)=li(ii);
        lg_u(cont)=lg(ii);
        ra_u(cont)=ra(ii);
        rg_u(cont)=rg(ii);
        ri_u(cont)=ri(ii);
        sws_u(cont)=sws(ii);
        cont=cont+1;
        flag=1;

    end
end
```

```
if flag==0
    u=11
end


%PERSONA 12
coordinate=load(sprintf('CONF1A_ID44
.txt'));
gp=coordinate(:,2);
swa=coordinate(:,3);
bp=coordinate(:,4);
v=coordinate(:,5);
x=coordinate(:,6);
y=coordinate(:,7);
li=coordinate(:,8);
lg=coordinate(:,9);
ra=coordinate(:,10);
rg=coordinate(:,11);
ri=coordinate(:,12);
sws=coordinate(:,13);


flag=0;


for ii=1:length(coordinate)

    if (y(ii))>ya   &   (y(ii))<yb   &
(x(ii))>xa   &   (x(ii))<xb   & flag==0
        gp_u(cont)=gp(ii);
        swa_u(cont)=swa(ii);
        bp_u(cont)=bp(ii);
        v_u(cont)=v(ii);
        x_u(cont)=x(ii);
        y_u(cont)=y(ii);
        li_u(cont)=li(ii);
        lg_u(cont)=lg(ii);
        ra_u(cont)=ra(ii);
        rg_u(cont)=rg(ii);
        ri_u(cont)=ri(ii);
        sws_u(cont)=sws(ii);
        cont=cont+1;
        flag=1;

    end

end

if flag==0
    u=12
end

v_utili=v_u';
lg_utili=lg_u';
x_utili=x_u';
y_utili=y_u';
li_utili=li_u';
```

## M. Test di normalità di Kolmogorov - Smirnov

Il test di Kolmogorov e Smirnov viene effettuato per verificare se il campione appartiene alla funzione di distribuzione Normale. Il test si basa infatti sul confronto tra la *frequenza cumulativa relativa* dei dati e la *funzione di distribuzione* di una variabile continua. Per effettuare il test, si considera la gaussiana avente media e deviazione standard pari a quelle sperimentali del campione, e si esegue il test di KS tra il campione e quella teorica.

In generale, dato un campione $x_1$, ….,$x_n$, si ordina dal più piccolo al più grande quest'ultimo ottenendo $x_1'$, ….,$x_n'$ e si calcola la F(x)

$$F(x) = \Sigma_{k=1}^{n} \left(\frac{k}{n+1}\right)$$

Si effettua poi la differenza tra la cumulata relativa dei dati e la funzione di distribuzione:

$$d = |F(x) - f_{c,i}|$$

In fine si considera il massimo dei valori trovati e si verifica che quest'ultimo sia sempre inferiore ad un valore critico che dipende dal livello di significatività $\alpha$.

Scelto il livello di significatività $\alpha$ pari a 0.05, il valore critico $D_{crit}$ si calcola come:

$$D_{crit} = \frac{1.36}{\sqrt{n}}$$

Di seguito vengono riportati i calcoli effettuati per alcuni siti di interesse. Il test è stato effettuato sia accorpando due rampe che presentino le stesse caratteristiche (n=24), sia sulla singola rampa (n=12), per valutare se il test risulta superato in entrambi i casi. In particolare, vengono riportati alcuni esempi in cui il test è stato effettuato sui valori di velocità nei siti 1, 2 e 3 delle rampe di immissione con curvatura destrorsa. Dalla Tabella 52 alla Tabella 60 sono riportati i calcoli del test KS eseguito su 24 valori, in quanto le due rampe presentano lo stesso tipo di segnaletica e le stesse condizioni di luce. Il traffico in questo caso non viene considerato perché nei siti 1 2 e 3 non vi è interazione con esso.

*Tabella 52 Risultati dei test KS | rampa Idx | sito 1 – circuiti 1A e 2C*

| Idx\| CONF 1A-2C\| sito 1 \| S1 \| G | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Dato** | **Velocità [km/h]** | **F(x)** | **$fc_{,i}$** | **d** |
| 1 | 50.266 | 0.04 | 0.051 | 0.011 |
| 2 | 54.358 | 0.08 | 0.107 | 0.027 |
| 3 | 55.255 | 0.12 | 0.123 | 0.003 |
| 4 | 55.351 | 0.16 | 0.125 | 0.035 |
| 5 | 56.705 | 0.2 | 0.153 | 0.047 |
| 6 | 56.823 | 0.24 | 0.156 | 0.084 |
| 7 | 59.969 | 0.28 | 0.238 | 0.042 |
| 8 | 60.584 | 0.32 | 0.256 | 0.064 |
| 9 | 60.995 | 0.36 | 0.269 | 0.091 |
| 10 | 64.418 | 0.4 | 0.386 | 0.014 |
| 11 | 64.546 | 0.44 | 0.390 | 0.050 |
| 12 | 66.382 | 0.48 | 0.458 | 0.022 |
| 13 | 68.260 | 0.52 | 0.529 | 0.009 |
| 14 | 69.678 | 0.56 | 0.582 | 0.022 |
| 15 | 70.679 | 0.6 | 0.619 | 0.019 |
| 16 | 71.241 | 0.64 | 0.639 | 0.001 |
| 17 | 71.911 | 0.68 | 0.663 | 0.017 |
| 18 | 75.439 | 0.72 | 0.775 | 0.055 |
| 19 | 75.695 | 0.76 | 0.782 | 0.022 |
| 20 | 76.570 | 0.8 | 0.805 | 0.005 |
| 21 | 77.607 | 0.84 | 0.831 | 0.009 |
| 22 | 80.431 | 0.88 | 0.890 | 0.010 |
| 23 | 87.106 | 0.92 | 0.969 | 0.049 |
| 24 | 89.380 | 0.96 | 0.981 | 0.021 |

| | |
|---|---|
| **Media** | 67.485 |
| **DS** | 10.546 |
| **Dcrit** | 0.278 |
| **max (d)** | 0.091 |
| **max (d) < Dcrit** ✓ | |

*Tabella 53 Risultati dei test KS | rampa Idx | sito 2 – circuiti 1A e 2C*

| Idx\| CONF 1A-2C \| sito 2 \| S1 \|G | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Dato** | **Valore** | **F(x)** | **fc,i** | **d** |
| 1 | 50.133 | 0.04 | 0.082 | 0.042 |
| 2 | 51.162 | 0.08 | 0.098 | 0.018 |
| 3 | 52.489 | 0.12 | 0.120 | 0.000 |
| 4 | 53.824 | 0.16 | 0.147 | 0.013 |
| 5 | 54.369 | 0.2 | 0.159 | 0.041 |
| 6 | 56.154 | 0.24 | 0.202 | 0.038 |
| 7 | 57.064 | 0.28 | 0.227 | 0.053 |
| 8 | 57.375 | 0.32 | 0.236 | 0.084 |
| 9 | 57.393 | 0.36 | 0.236 | 0.124 |
| 10 | 58.652 | 0.4 | 0.273 | 0.127 |
| 11 | 58.900 | 0.44 | 0.281 | 0.159 |
| 12 | 63.782 | 0.48 | 0.449 | 0.031 |

| | |
|---|---|
| **Media** | 65.164 |
| **DS** | 10.810 |
| **Dcrit** | 0.278 |
| **max (d)** | 0.159 |
| **max (d) < Dcrit** ✓ | |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 13 | 70 | 0.55 | 0.590 | 0.032 |
| 14 | 68 | 0.56 | 0.590 | 0.030 |
| 15 | 68 | 0.6 | 0.610 | 0.010 |
| 16 | 71 | 0.64 | 0.692 | 0.052 |
| 17 | 72 | 0.68 | 0.733 | 0.053 |
| 18 | 73 | 0.72 | 0.774 | 0.054 |
| 19 | 74 | 0.76 | 0.801 | 0.041 |
| 20 | 75 | 0.8 | 0.823 | 0.023 |
| 21 | 77 | 0.84 | 0.854 | 0.014 |
| 22 | 78 | 0.88 | 0.873 | 0.007 |
| 23 | 86 | 0.92 | 0.971 | 0.051 |
| 24 | 87 | 0.96 | 0.977 | 0.017 |

*Tabella 54 Risultati dei test KS | rampa Idx | sito 3 – circuiti 1A e 2C*

| **Idx\| CONF 1A-2C \| sito 3 \| S1 \|G** | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Dato** | **Valore** | **F(x)** | **fc,i** | **d** |
| 1 | 47.013 | 0.04 | 0.048 | 0.008 |
| 2 | 51.127 | 0.08 | 0.099 | 0.019 |
| 3 | 53.489 | 0.12 | 0.142 | 0.022 |
| 4 | 54.565 | 0.16 | 0.166 | 0.006 |
| 5 | 54.674 | 0.2 | 0.168 | 0.032 |
| 6 | 56.735 | 0.24 | 0.220 | 0.020 |
| 7 | 57.432 | 0.28 | 0.239 | 0.041 |
| 8 | 57.816 | 0.32 | 0.250 | 0.070 |
| 9 | 58.094 | 0.36 | 0.258 | 0.102 |
| 10 | 58.514 | 0.4 | 0.271 | 0.129 |
| 11 | 60.878 | 0.44 | 0.347 | 0.093 |
| 12 | 61.594 | 0.48 | 0.372 | 0.108 |
| 13 | 62.496 | 0.52 | 0.403 | 0.117 |
| 14 | 64.110 | 0.56 | 0.461 | 0.099 |
| 15 | 68.548 | 0.6 | 0.621 | 0.021 |
| 16 | 72.784 | 0.64 | 0.757 | 0.117 |
| 17 | 73.589 | 0.68 | 0.779 | 0.099 |
| 18 | 73.827 | 0.72 | 0.786 | 0.066 |
| 19 | 74.084 | 0.76 | 0.793 | 0.033 |
| 20 | 77.065 | 0.8 | 0.862 | 0.062 |
| 21 | 78.122 | 0.84 | 0.882 | 0.042 |
| 22 | 78.822 | 0.88 | 0.894 | 0.014 |
| 23 | 82.390 | 0.92 | 0.943 | 0.023 |
| 24 | 86.436 | 0.96 | 0.974 | 0.014 |

| | |
|---|---|
| **Media** | 65.175 |
| **DS** | 10.923 |
| **Dcrit** | 0.278 |
| **max (d)** | 0.129 |
| **max (d) < Dcrit** ✓ | |

*Tabella 55 Risultati dei test KS | rampa Idx | sito 1 – circuiti 1B e 2A*

| Idx\| CONF 1B-2A\| sito 1 \| S2 \|G | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Dato** | **valore** | **F(x)** | **fc,i** | **d** |
| 1 | 50.167 | 0.04 | 0.069 | 0.029 |
| 2 | 52.034 | 0.08 | 0.091 | 0.011 |
| 3 | 55.071 | 0.12 | 0.139 | 0.019 |
| 4 | 58.492 | 0.16 | 0.210 | 0.050 |
| 5 | 58.493 | 0.2 | 0.210 | 0.010 |
| 6 | 59.724 | 0.24 | 0.240 | 0.000 |
| 7 | 60.206 | 0.28 | 0.253 | 0.027 |
| 8 | 60.765 | 0.32 | 0.268 | 0.052 |
| 9 | 60.868 | 0.36 | 0.271 | 0.089 |
| 10 | 61.067 | 0.4 | 0.276 | 0.124 |
| 11 | 62.720 | 0.44 | 0.323 | 0.117 |
| 12 | 63.635 | 0.48 | 0.350 | 0.130 |
| 13 | 63.690 | 0.52 | 0.352 | 0.168 |
| 14 | 65.134 | 0.56 | 0.397 | 0.163 |
| 15 | 69.120 | 0.6 | 0.525 | 0.075 |
| 16 | 69.361 | 0.64 | 0.533 | 0.107 |
| 17 | 77.084 | 0.68 | 0.763 | 0.083 |
| 18 | 79.407 | 0.72 | 0.817 | 0.097 |
| 19 | 80.277 | 0.76 | 0.836 | 0.076 |
| 20 | 84.126 | 0.8 | 0.902 | 0.102 |
| 21 | 84.215 | 0.84 | 0.903 | 0.063 |
| 22 | 84.921 | 0.88 | 0.912 | 0.032 |
| 23 | 85.401 | 0.92 | 0.919 | 0.001 |
| 24 | 94.226 | 0.96 | 0.983 | 0.023 |

| | |
|---|---|
| **Media** | 68.342 |
| **DS** | 12.227 |
| **Dcrit** | 0.278 |
| **max (d)** | 0.168 |
| **max (d) < Dcrit** ✓ | |

*Tabella 56 Risultati dei test KS | rampa Idx | sito 2– circuiti 1B e 2A*

| Idx\| CONF 1B-2A\| sito 2 \| S2 \|G | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Dato** | **valore** | **F(x)** | **fc,i** | **d** |
| 1 | 47 | 0.04 | 0.039 | 0.001 |
| 2 | 54 | 0.08 | 0.128 | 0.048 |
| 3 | 54 | 0.12 | 0.131 | 0.011 |
| 4 | 56 | 0.16 | 0.180 | 0.020 |
| 5 | 58 | 0.2 | 0.223 | 0.023 |
| 6 | 58 | 0.24 | 0.226 | 0.014 |
| 7 | 58 | 0.28 | 0.241 | 0.039 |
| 8 | 59 | 0.32 | 0.252 | 0.068 |
| 9 | 59 | 0.36 | 0.265 | 0.095 |
| 10 | 60 | 0.4 | 0.272 | 0.128 |
| 11 | 62 | 0.44 | 0.364 | 0.076 |
| 12 | 63 | 0.48 | 0.387 | 0.093 |

| | |
|---|---|
| **Media** | 66.265 |
| **DS** | 11.052 |
| **Dcrit** | 0.278 |
| **max (d)** | 0.13 |
| **max (d) < Dcrit** ✓ | |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 13 | 64 | 0.52 | 0.408 | 0.112 |
| 14 | 64 | 0.56 | 0.430 | 0.130 |
| 15 | 66 | 0.6 | 0.495 | 0.105 |
| 16 | 70 | 0.64 | 0.627 | 0.013 |
| 17 | 74 | 0.68 | 0.745 | 0.065 |
| 18 | 75 | 0.72 | 0.780 | 0.060 |
| 19 | 77 | 0.76 | 0.826 | 0.066 |
| 20 | 80 | 0.8 | 0.886 | 0.086 |
| 21 | 80 | 0.84 | 0.891 | 0.051 |
| 22 | 82 | 0.88 | 0.924 | 0.044 |
| 23 | 84 | 0.92 | 0.946 | 0.026 |
| 24 | 88 | 0.96 | 0.974 | 0.014 |

*Tabella 57 Risultati dei test KS | rampa Idx | sito 3 – circuiti 1B e 2A*

| **Idx\| CONF 1B-2A\| sito 3 \| S2 \|G** | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **dato** | **valore** | **F(x)** | **fc,i** | **d** |
| 1 | 52.250 | 0.04 | 0.062 | 0.022 |
| 2 | 54.012 | 0.08 | 0.087 | 0.007 |
| 3 | 54.186 | 0.12 | 0.090 | 0.030 |
| 4 | 59.472 | 0.16 | 0.211 | 0.051 |
| 5 | 59.558 | 0.2 | 0.213 | 0.013 |
| 6 | 59.694 | 0.24 | 0.217 | 0.023 |
| 7 | 59.973 | 0.28 | 0.226 | 0.054 |
| 8 | 60.067 | 0.32 | 0.229 | 0.091 |
| 9 | 61.157 | 0.36 | 0.263 | 0.097 |
| 10 | 61.333 | 0.4 | 0.269 | 0.131 |
| 11 | 61.667 | 0.44 | 0.280 | 0.160 |
| 12 | 65.941 | 0.48 | 0.441 | 0.039 |
| 13 | 66.282 | 0.52 | 0.454 | 0.066 |
| 14 | 68.164 | 0.56 | 0.530 | 0.030 |
| 15 | 68.215 | 0.6 | 0.532 | 0.068 |
| 16 | 72.334 | 0.64 | 0.691 | 0.051 |
| 17 | 74.070 | 0.68 | 0.750 | 0.070 |
| 18 | 76.270 | 0.72 | 0.815 | 0.095 |
| 19 | 76.794 | 0.76 | 0.829 | 0.069 |
| 20 | 76.967 | 0.8 | 0.833 | 0.033 |
| 21 | 77.625 | 0.84 | 0.849 | 0.009 |
| 22 | 83.062 | 0.88 | 0.943 | 0.063 |
| 23 | 84.034 | 0.92 | 0.954 | 0.034 |
| 24 | 84.747 | 0.96 | 0.960 | 0.000 |

| | |
|---|---|
| **Media** | 67.412 |
| **DS** | 9.878 |
| **Dcrit** | 0.278 |
| **max (d)** | 0.159 |
| **max (d) < Dcrit** ✓ | |

*Tabella 58 Risultati dei test KS | rampa Idx | sito 1 – circuiti 1C e 2B*

| Idx\| CONF 1C-2B\| sito 1 \| S3 \|G | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **dato** | **valore** | **F(x)** | **fc,i** | **d** |
| 1 | 42.141 | 0.04 | 0.041 | 0.001 |
| 2 | 47.299 | 0.08 | 0.091 | 0.011 |
| 3 | 48.907 | 0.12 | 0.113 | 0.007 |
| 4 | 49.805 | 0.16 | 0.127 | 0.033 |
| 5 | 52.705 | 0.2 | 0.181 | 0.019 |
| 6 | 53.151 | 0.24 | 0.190 | 0.050 |
| 7 | 53.295 | 0.28 | 0.193 | 0.087 |
| 8 | 55.656 | 0.32 | 0.248 | 0.072 |
| 9 | 56.209 | 0.36 | 0.261 | 0.099 |
| 10 | 56.805 | 0.4 | 0.277 | 0.123 |
| 11 | 63.182 | 0.44 | 0.463 | 0.023 |
| 12 | 63.559 | 0.48 | 0.475 | 0.005 |
| 13 | 65.560 | 0.52 | 0.537 | 0.017 |
| 14 | 66.271 | 0.56 | 0.559 | 0.001 |
| 15 | 71.633 | 0.6 | 0.715 | 0.115 |
| 16 | 72.506 | 0.64 | 0.738 | 0.098 |
| 17 | 73.514 | 0.68 | 0.763 | 0.083 |
| 18 | 73.762 | 0.72 | 0.769 | 0.049 |
| 19 | 73.925 | 0.76 | 0.773 | 0.013 |
| 20 | 75.094 | 0.8 | 0.799 | 0.001 |
| 21 | 75.612 | 0.84 | 0.811 | 0.029 |
| 22 | 78.703 | 0.88 | 0.869 | 0.011 |
| 23 | 87.652 | 0.92 | 0.966 | 0.046 |
| 24 | 87.888 | 0.96 | 0.967 | 0.007 |

| | |
|---|---|
| **Media** | 64.368 |
| **DS** | 12.773 |
| **Dcrit** | 0.278 |
| **max (d)** | 0.123 |
| **max (d) < Dcrit** ✓ | |

*Tabella 59 Risultati dei test KS | rampa Idx | sito 2 – circuiti 1C e 2B*

| Idx\| CONF 1C-2B\| sito 2 \| S3 \|G | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Dato** | **valore** | **F(x)** | **fc,i** | **d** |
| 1 | 35 | 0.04 | 0.026 | 0.014 |
| 2 | 43 | 0.08 | 0.079 | 0.001 |
| 3 | 48 | 0.12 | 0.145 | 0.025 |
| 4 | 48 | 0.16 | 0.153 | 0.007 |
| 5 | 49 | 0.2 | 0.157 | 0.043 |
| 6 | 51 | 0.24 | 0.194 | 0.046 |
| 7 | 52 | 0.28 | 0.211 | 0.069 |
| 8 | 53 | 0.32 | 0.233 | 0.087 |
| 9 | 53 | 0.36 | 0.252 | 0.108 |
| 10 | 56 | 0.4 | 0.322 | 0.078 |
| 11 | 62 | 0.44 | 0.477 | 0.037 |
| 12 | 63 | 0.48 | 0.507 | 0.027 |

| | |
|---|---|
| **Media** | 62.946 |
| **DS** | 14.216 |
| **Dcrit** | 0.278 |
| **max (d)** | 0.113 |
| **max (d) < Dcrit** ✓ | |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 13 | 64 | 0.52 | 0.526 | 0.006 |
| 14 | 65 | 0.56 | 0.565 | 0.005 |
| 15 | 66 | 0.6 | 0.582 | 0.018 |
| 16 | 73 | 0.64 | 0.753 | 0.113 |
| 17 | 74 | 0.68 | 0.782 | 0.102 |
| 18 | 75 | 0.72 | 0.807 | 0.087 |
| 19 | 75 | 0.76 | 0.807 | 0.047 |
| 20 | 76 | 0.8 | 0.816 | 0.016 |
| 21 | 76 | 0.84 | 0.816 | 0.024 |
| 22 | 80 | 0.88 | 0.889 | 0.009 |
| 23 | 85 | 0.92 | 0.937 | 0.017 |
| 24 | 89 | 0.96 | 0.966 | 0.006 |

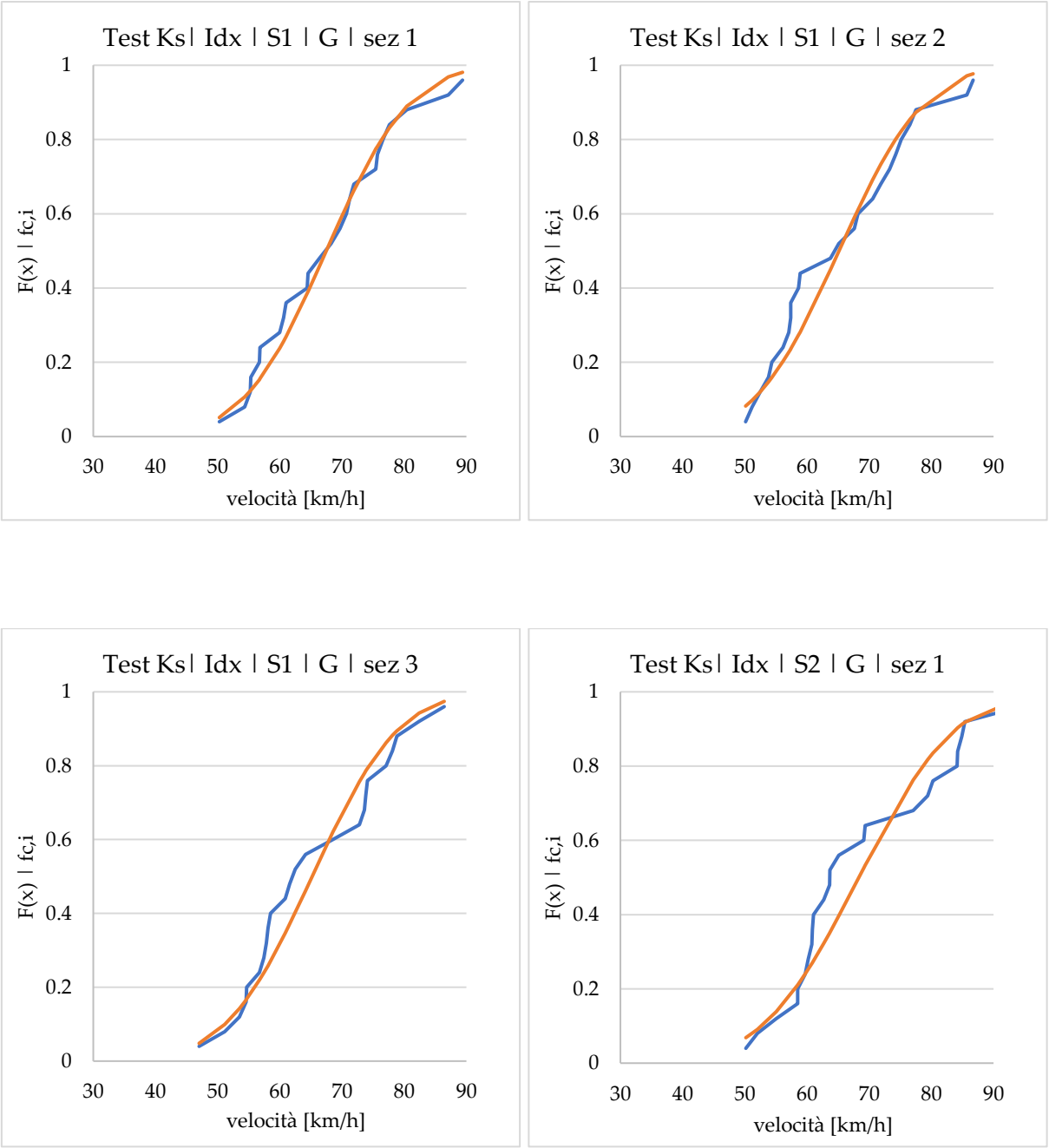
*Tabella 60 Risultati dei test KS | rampa Idx | sito 3 – circuiti 1C e 2B*

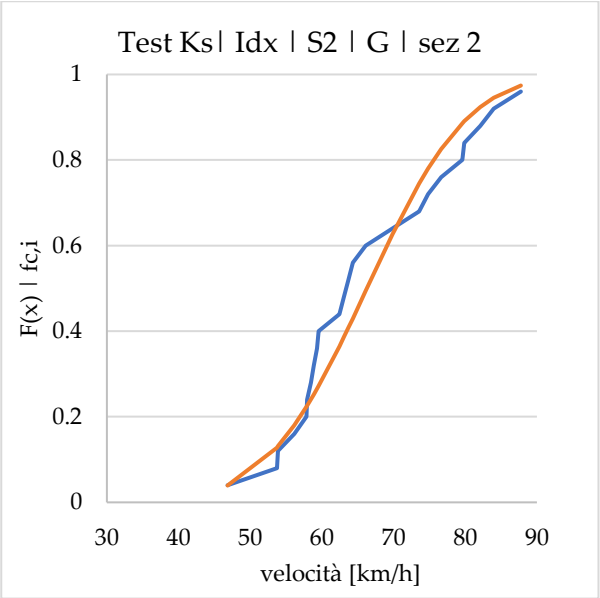
| Idx\| CONF 1C-2B\| sito 3 \| S3 \|G | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Dato** | **Valore** | **F(x)** | **fc,i** | **d** |
| 1 | 35.474 | 0.04 | 0.030 | 0.010 |
| 2 | 42.710 | 0.08 | 0.079 | 0.001 |
| 3 | 44.687 | 0.12 | 0.100 | 0.020 |
| 4 | 46.435 | 0.16 | 0.121 | 0.039 |
| 5 | 46.904 | 0.2 | 0.127 | 0.073 |
| 6 | 49.252 | 0.24 | 0.161 | 0.079 |
| 7 | 54.657 | 0.28 | 0.260 | 0.020 |
| 8 | 56.359 | 0.32 | 0.297 | 0.023 |
| 9 | 57.440 | 0.36 | 0.321 | 0.039 |
| 10 | 59.146 | 0.4 | 0.362 | 0.038 |
| 11 | 64.250 | 0.44 | 0.489 | 0.049 |
| 12 | 65.457 | 0.48 | 0.520 | 0.040 |
| 13 | 65.655 | 0.52 | 0.525 | 0.005 |
| 14 | 66.370 | 0.56 | 0.544 | 0.016 |
| 15 | 66.624 | 0.6 | 0.550 | 0.050 |
| 16 | 76.927 | 0.64 | 0.784 | 0.144 |
| 17 | 77.009 | 0.68 | 0.786 | 0.106 |
| 18 | 77.361 | 0.72 | 0.792 | 0.072 |
| 19 | 77.646 | 0.76 | 0.798 | 0.038 |
| 20 | 79.468 | 0.8 | 0.829 | 0.029 |
| 21 | 80.333 | 0.84 | 0.843 | 0.003 |
| 22 | 80.944 | 0.88 | 0.852 | 0.028 |
| 23 | 87.816 | 0.92 | 0.931 | 0.011 |
| 24 | 93.079 | 0.96 | 0.966 | 0.006 |

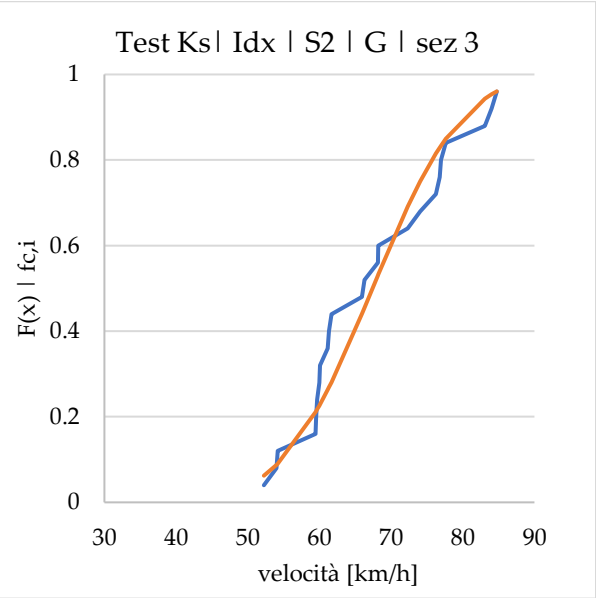
| | |
|---|---|
| **Media** | 64.667 |
| **DS** | 15.582 |
| **Dcrit** | 0.278 |
| **max (d)** | 0.144 |
| **max (d) < Dcrit** ✓ | |

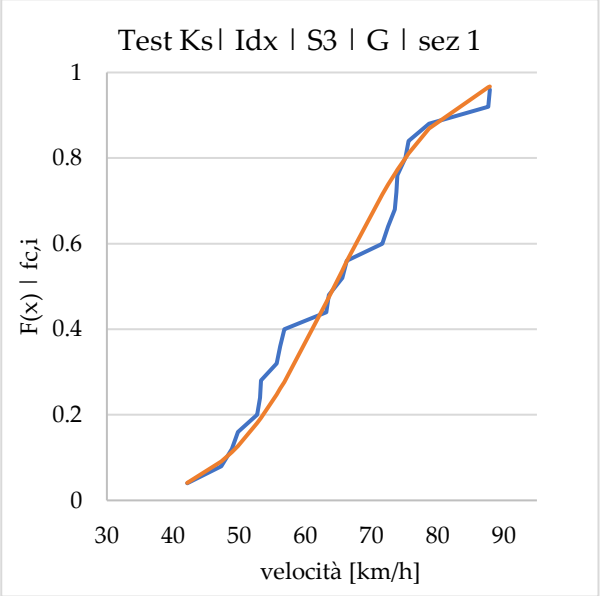
In Figura 59 è possibile valutare l'andamento della distribuzione teorica e quella sperimentale al variare delle velocità sulla rampa.

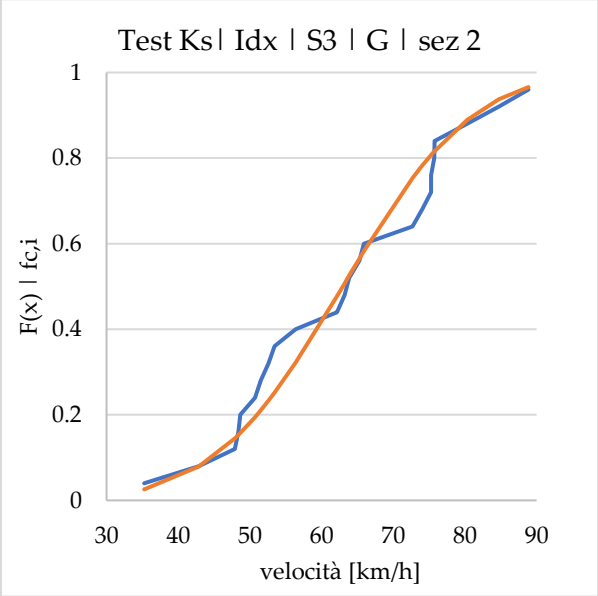
***Figura 59 Andamento della distribuzione teorica e sperimentale per i dati di velocità Rampa Idx\|sezione1; sezione2; sezione3***

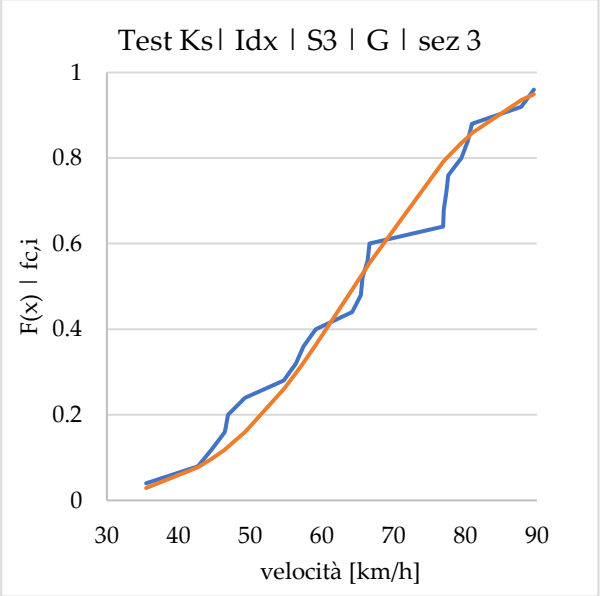



Test Ks| Idx | S2 | G | sez 2
F(x) | fc,i
velocità [km/h]


Test Ks| Idx | S2 | G | sez 3
F(x) | fc,i
velocità [km/h]


Test Ks| Idx | S3 | G | sez 1
F(x) | fc,i
velocità [km/h]


Test Ks| Idx | S3 | G | sez 2
F(x) | fc,i
velocità [km/h]


Test Ks| Idx | S3 | G | sez 3
F(x) | fc,i
velocità [km/h]

## N. Analisi sugli aghi di manovra

È stato studiato il comportamento degli utenti lungo i terminali di rampa, cioè in quelle sezioni in cui il veicolo si immette nella corsia autostradale nel caso di rampe di immissione, e quando il veicolo è impegnato nella manovra di diversione lungo le rampe di decelerazione. L'analisi è stata condotta attraverso il conteggio del numero di veicoli/guidatori che nelle sezioni terminali (vedi Figura 17, Figura 18, Figura 19 e Figura 20) occupavano la carreggiata autostradale o il terminale in ciascuna delle sezioni rappresentative considerate nell'analisi. Tale conteggio è stato fatto per ciascuna condizione derivante dalla combinazione del tipo di rampa, condizioni di flusso e condizioni di illuminamento ambientale. Lo scopo era capire se il tipo di segnaletica considerata in questo esperimento avesse portato ad un differente conteggio di guidatori sui terminali durante le due manovre (immissione e diversione).

Per le rampe di immissione con curvatura destrorsa in condizioni diurne (Figura 60) in presenza di flusso libero, nella sezione 6, la maggior parte degli utenti ha viaggiato sulla carreggiata autostradale in presenza di una segnaletica ordinaria, mentre nel caso di segnaletica S2 e S3 gli utenti sembrano rimandare l'ingresso in autostrada. Per le stesse rampe in presenza di flusso condizionato nella sezione 6, circa la metà degli utenti si trova ancora nel terminale di rampa. Nella sezione 7, qualcuno non è ancora riuscito ad immettersi in autostrada in presenza di un flusso condizionato.

In condizioni notturne per le rampe di immissione con curvatura destrorsa (Figura 61) nella sezione 6, gli utenti ritardano l'ingresso in autostrada in presenza di un flusso condizionato, rispetto al caso di flusso libero, ma il conteggio dei guidatori rimane molto simile in presenza di una segnaletica alternativa lungo il terminale o considerando una scarsa visibilità provocata dall'assenza di luce.

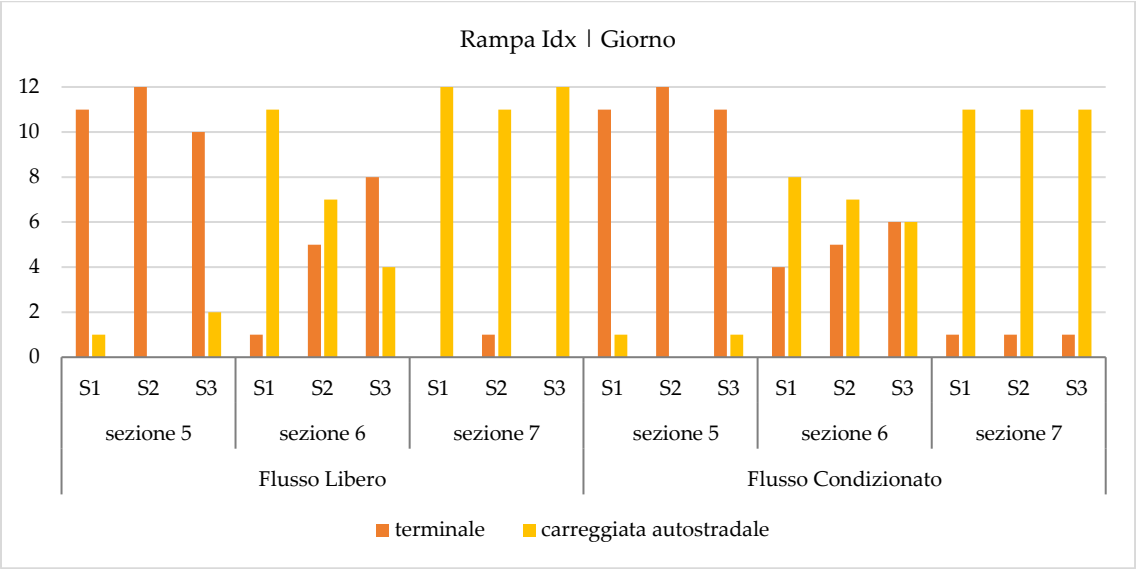



***Figura 60 Aghi di manovra | Rampa Idx | Giorno***

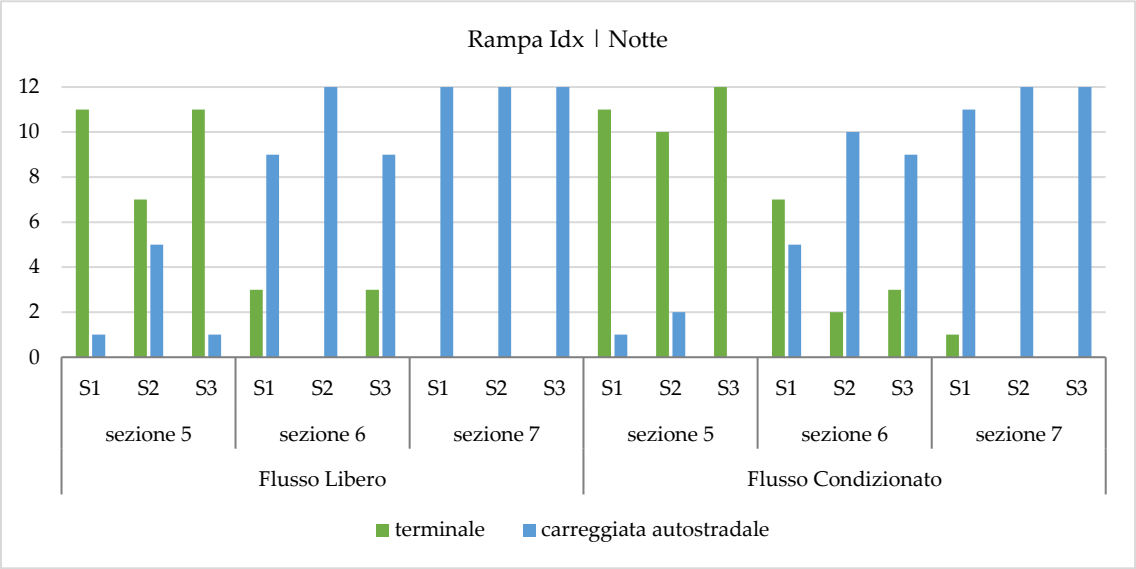



***Figura 61 Aghi di manovra | Rampa Idx | Notte***

Per le rampe di uscita con curvatura destrorsa (Figura 62 e Figura 63) in presenza di un flusso libero gli utenti nella sezione 2 riescono già ad immettersi nella corsia di decelerazione, ad eccezione di una piccola parte sottoposta alla segnaletica S1. Nel caso di flusso condizionato in condizioni notturne 1/6 dell'utenza nella sezione 2 deve ancora effettuare la manovra di diversione. Ad ogni modo si registra un numero simile di guidatori tra lo scenario notturno e lo scenario diurno al variare della segnaletica orizzontale sulla rampa. Nemmeno il flusso di traffico porta a un differente conteggio di guidatori nel caso di corsie di diversione con la stessa curvatura autostradale.

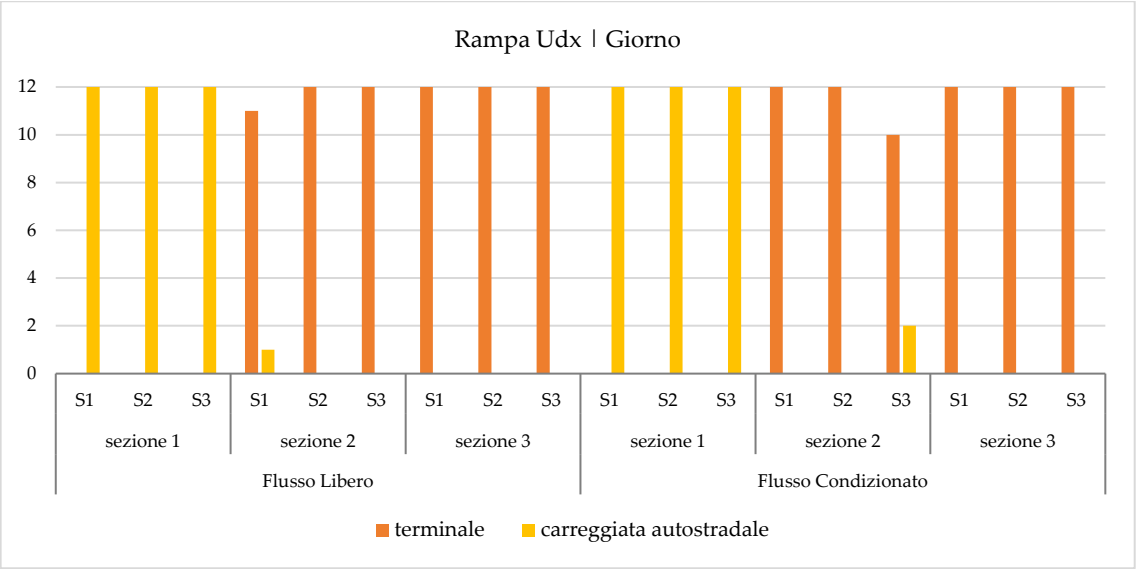



***Figura 62 Aghi di manovra | Rampa Udx | Giorno***

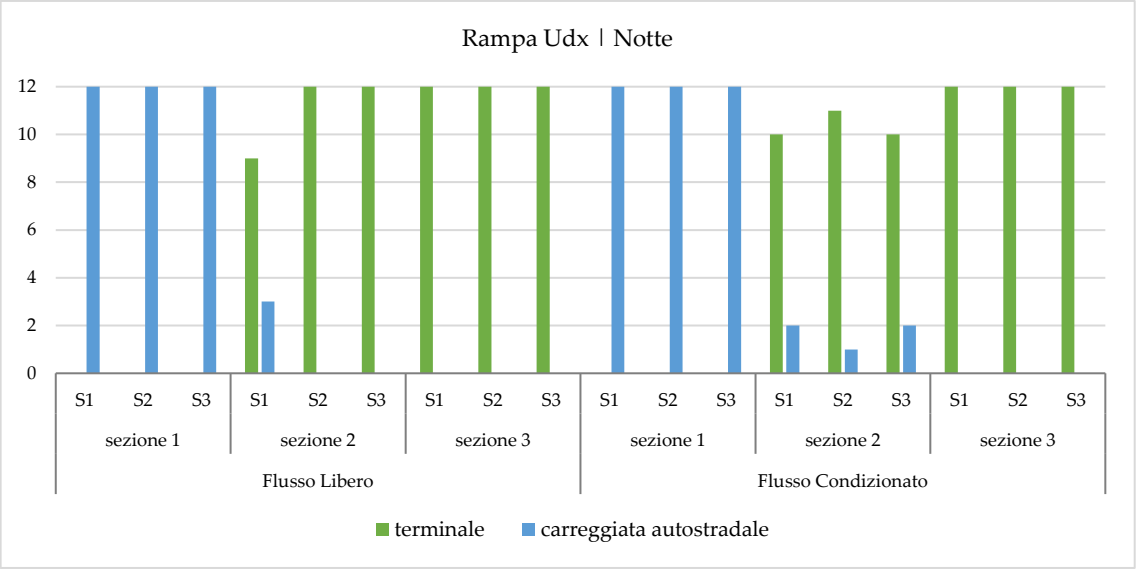



***Figura 63 Aghi di manovra | Rampa Udx | Notte***

Per le rampe di immissione con terminale inflesso in condizioni diurne (Figura 64), nonostante la presenza di un flusso condizionato, gli utenti sono riusciti già nella sezione 7 ad entrare in autostrada, facilitati forse dall'illuminazione diurna e dalla geometria della rampa che offriva una buona visibilità già a notevole distanza dal terminale.

In condizioni notturne per le stesse rampe (Figura 65) nella sezione 6 gli utenti riescono più facilmente ad immettersi nella carreggiata autostradale in presenza di un livello di traffico basso; l'ingresso in autostrada è ritardato invece per la stessa sezione nel caso di flusso condizionato, in presenza del quale più della metà degli utenti si trova ancora sul terminale di rampa. Il conteggio dei *test drivers* nelle diverse sezioni resta molto simile al variare dei differenti tipi di segnaletica sulla rampa.

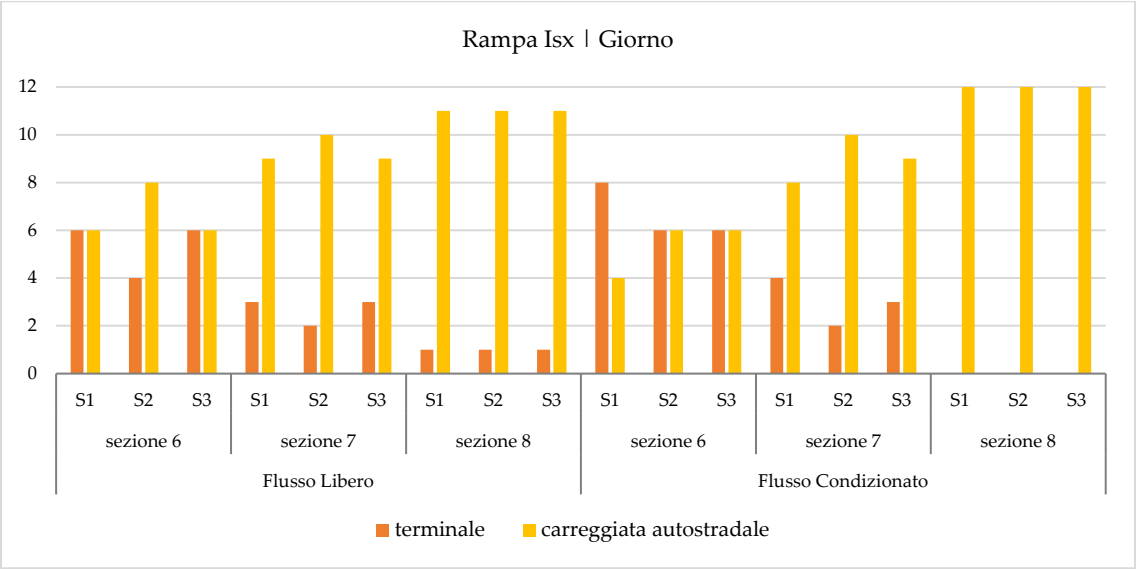



***Figura 64 Aghi di manovra | Rampa Isx | Giorno***

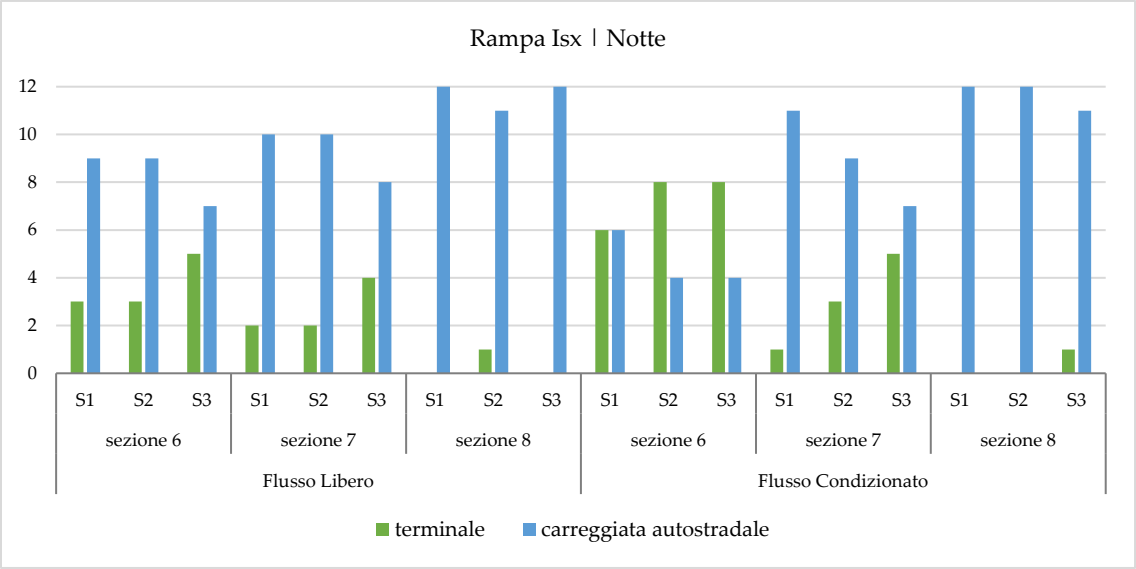



***Figura 65 Aghi di manovra | Rampa Isx | Notte***

Nel caso di rampe di uscita con curvatura sinistrorsa (Figura 66 e Figura 67) si registra un conteggio differente rispetto alle rampe di uscita destrorse (Figura 62 e Figura 63). Infatti, si nota che nella sezione 2 gli utenti si trovano ancora, per più della metà, sulla corsia di marcia autostradale, a differenza del caso destrorso in cui tutti gli utenti hanno già preso la corsia di decelerazione.

Lungo i terminali di rampa la segnaletica non ha portato a un differente conteggio di guidatori che, nelle sezioni considerate, si trovavano ancora sul terminale o erano già riusciti ad effettuare la manovra (di immissione o di diversione). Il conteggio cambia se si considerano distinte geometrie (terminale continuo o terminale inflesso) o un diverso flusso di traffico.

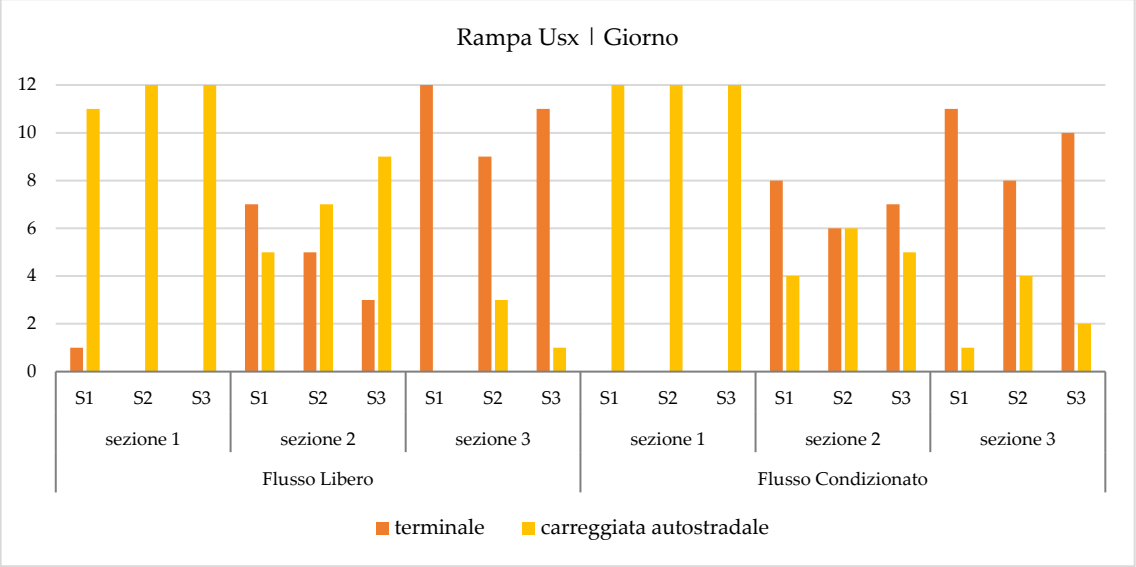



***Figura 66 Aghi di manovra | Rampa Usx | Giorno***

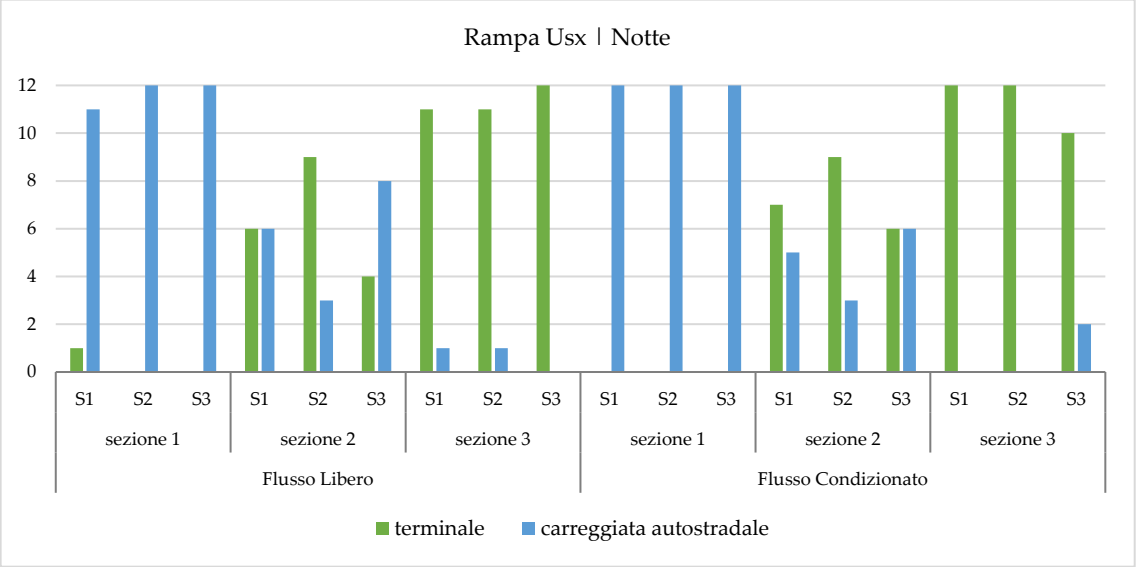



***Figura 67 Aghi di manovra | Rampa Usx | Notte***