



Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Civile

TESI DI LAUREA MAGISTRALE

***INDAGINE SPERIMENTALE AL SIMULATORE DI GUIDA
SUL COMPORTAMENTO DEI CONDUCENTI IN TERMINALI
CURVI DI RAMPE AUTOSTRADALI***

Relatore

prof. Marco Bassani

Candidato

Alberto Portera

Anno Accademico 2019-2020

SOMMARIO

RIASSUNTO	vii
ABSTRACT	ix
1. INTRODUZIONE	1
2. ATTIVITÀ SPERIMENTALE	5
2.1 STRUMENTI E METODI.....	5
2.1.1 Simulatore di guida	5
2.1.2 Hardware	6
2.1.3 Software	6
2.2 FATTORI DELL'ESPERIMENTO	8
2.2.1 Raggio autostradale	8
2.2.2 Lunghezza del terminale	9
2.2.3 Condizione di flusso.....	11
2.3 CONCEZIONE DEL TRACCIATO	13
2.3.1 Tratto [0] Piazzola di sosta.....	15
2.3.2 Tratto [1] Strada di Cat. C	15
2.3.3 Tratto [2] Rampa Idx.....	15
2.3.4 Tratto [3] Autostrada	15
2.3.5 Tratto [4] Rampa Udx	15
2.3.6 Tratto [5] Strada di Cat. C	15
2.3.7 Tratto [6] Rampa Isx	15
2.3.8 Tratto [7] Autostrada	15
2.3.9 Tratto [8] Rampa Usx.....	15
2.3.10 Tratto [9] Strada Cat. C	15
2.4 COMBINAZIONE DEI FATTORI E CONFIGURAZIONI	17
2.5 SPERIMENTAZIONE	18

2.5.1	Guidatori	18
2.5.2	Protocollo.....	20
2.5.3	Questionario pre-guida	21
2.5.4	Test cognitivi pre-guida	22
2.5.5	Guida al simulatore.....	22
2.5.6	Test cognitivi post-guida	22
2.5.7	Questionario post-guida.....	22
2.6	STUDIO PILOTA	23
3.	RISULTATI	24
3.1	QUESTIONARI	24
3.1.1	Test cognitivi	24
3.1.2	Sintomi post guida	26
3.1.3	Valutazioni e impressioni sull'ambiente virtuale	27
3.2	RACCOLTA DATI.....	29
3.3	AGGREGAZIONE DEI DATI	30
3.4	TEST DI NORMALITÀ	32
4.	ANALISI DATI.....	35
4.1	EFFETTI DEL RAGGIO AUTOSTRADALE NEL SITO A.....	36
4.2	LUNGHEZZA DEL TERMINALE, FLUSSO VEICOLARE E RAGGIO AUTOSTRADALE.....	39
4.1.1	Terminale di Immissione Continuo (Idx)	40
4.1.2	Terminale di Immissione Inflesso (Isx).....	43
4.1.3	Terminale di Deviazione Continuo (Udx).....	46
4.1.4	Terminale di Deviazione Inflesso (Usx)	48
4.3	CONTROLLO DELLA TRAIETTORIA NELLE CLOTOIDI DI CONTINUITÀ E DI FLESSO.....	50
4.4	ANALISI DELLA VARIANZA (ANOVA).....	53

5. ANALISI DEI RISULTATI E CONCLUSIONI.....	57
BIBLIOGRAFIA.....	63
ALLEGATI.....	66
A. PROGETTAZIONE GEOMETRICA DEL CIRCUITO	66
B. PROGETTO DEL.....	70
C. MODULO DI PRESENTAZIONE DELL'ESPERIMENTO	74
D. QUESTIONARIO PRE-GUIDA	77
E. TEST COGNITIVI	78
F. QUESTIONARIO POST-GUIDA	79
G. ORGANIZZAZIONE DEGLI ESPERIMENTI.....	83
H. RISULTATI DEI TESTI COGNITIVI	84
I. TEST DRIVER.....	86
J. DATI DELLE SIMULAZIONI.....	88
K. TEST DI NORMALITÀ	104

ELENCO DELLE FIGURE

Figura 1 Il simulatore di guida presente al Politecnico di Torino	6
Figura 2 Visualizzazione della schermata principale di SCANeR Studio 1.7	7
Figura 3 Scelta dei valori del raggio autostradale	9
Figura 4 Le quattro diverse tipologie di rampa di uno stesso circuito	10
Figura 5 (a) Terminale Idx, (b) Terminale Udx, (c) Terminale Usx, (d) Terminale Isx	11
Figura 6 Categorie di strade adottate.....	13
Figura 7 Tracciati dell'esperimento	14
Figura 8 Tratti significativi del tracciato stradale	16
Figura 9 Contestualizzazione del tracciato all'interno di un ambiente dinamico	18
Figura 10 Esempio di programmazione settimanale degli esperimenti	21
Figura 11 Fasi e tempi dell'esperimento	23
Figura 12 Corsia Specializzata di accelerazione e posizione del Sito A,B,C	31
Figura 13 Corsia Specializzata di decelerazione e posizione del Sito A,B,C	31
Figura 14 Posizione dell'origine per le corsie specializzate di accelerazione e decelerazione	40
Figura 15 Terminale di immissione continuo	40
Figura 16 Terminale di immissione inflesso	43
Figura 17 Terminale di diversione continuo	46
Figura 18 Terminale di diversione Inflesso.....	48
Figura 19 Standard deviation of lateral position (SDLP).....	50

ELENCO DELLE TABELLE

Tabella 1 Fattori dell'esperimento	9
Tabella 2 Lunghezze del terminale	10
Tabella 3 Categorie di strada adottate nella concezione del circuito.....	14
Tabella 4 Larghezza degli elementi modulari degli svincoli	14
Tabella 5 Fattori dell'esperimento	17
Tabella 6 Combinazione dei fattori	17
Tabella 7 Numero di patenti in Italia per fascia d'età.....	19
Tabella 8 Percentuale di patentati in Italia per fascia d'età e per genere.....	19
Tabella 9 Suddivisione in classi.....	19
Tabella 10 Suddivisione dei 48 guidatori proporzionale alle classi d'età ed al sesso ..	19
Tabella 11 Informazioni sul campione di guidatori aggregate per classi d'età	20
Tabella 12 Risultati del KS-test.....	34
Tabella 13 Test t-student sulle velocità nel sito B tra terminale Idx e Isx.....	45
Tabella 14 F- e t-test tra i valori di SDLP sulle clotoidi di continuità e flesso.....	52
Tabella 15 ANOVA sui fattori che influenzano la Velocità nel Sito A (R=Raggio, Traff= condizione di traffico, Clot=tipologia di Clotoide).....	54
Tabella 16 ANOVA sui fattori che influenzano la Velocità nel Sito B (R=Raggio, Traff= condizione di traffico, Clot=tipologia di Clotoide).....	54
Tabella 17 ANOVA sui fattori che influenzano la Velocità nel Sito C (R=Raggio, Traff= condizione di traffico, Clot=tipologia di Clotoide, Term=lunghezza del terminale).....	55
Tabella 18 ANOVA sui fattori che influenzano l'Ascissa del Sito B (Clot=tipologia di Clotoide, Rampa=tipologia di rampa).....	56
Tabella 19 ANOVA sui fattori che influenzano la SDPL (standard deviation of lateral positon).....	56

RIASSUNTO

Introduzione. Un'intersezione a livelli sfalsati è costituita da un sistema di rampe che connettono strade mantenendo i livelli delle correnti principali su due piani separati. Le rampe sono connesse alla strada principale con corsie specializzate di accelerazione e decelerazione. Ai progettisti viene chiesto di definire le caratteristiche geometriche delle rampe e dei terminali che meglio facilitano le operazioni di scambio. I fattori che si considerano per la loro progettazione sono i volumi di traffico e le velocità di progetto che si desiderano garantire. Si devono inoltre rendere agevoli e sicure le manovre per coloro che provenendo dalle rampe si immettono nella corsia principale, e per coloro che uscendo dalla strada principale si immettono nella rampa. In generale devono essere evitate situazioni in cui i guidatori sono costretti a ridurre rapidamente la loro velocità o incrementarla in brevi distanze. I manuali e le norme forniscono indicazioni su come evitare tali situazioni, e suggerendo, ove possibile, la realizzazione delle intersezioni in tratti rettilinei delle strade intersecanti. Tuttavia, sono frequenti i casi in cui i terminali devono essere costruiti in tratti curvilinei, dove i criteri progettuali possono risultare inefficaci nel garantire la sicurezza per la circolazione.

Obiettivi della ricerca. Le norme tecniche attualmente impiegate nella progettazione delle intersezioni non tengono adeguatamente conto dei casi in cui i terminali di rampa sono disposti su tratti curvi. La letteratura scientifica, inoltre, non presenta un quadro completo che possa essere di riferimento per esprimere adeguate scelte nella loro progettazione. Questo lavoro è

finalizzato allo studio del comportamento dei guidatori impegnati in manovre di immissione e uscita su terminali di rampa curvi. Il metodo seguito è di tipo sperimentale e prevede l'uso del simulatore di guida del DIATI. Nell'esperimento, sono stati considerati come fattori la curvatura delle traiettorie nel passaggio dalla corsia al terminale (inflessa o continua), il raggio di curvatura (964 e 437 m) e la lunghezza dei terminali, nonché il volume di traffico nella corsia di immissione o uscita (1000 e 3000 veicoli/h).

Metodologia. Le simulazioni di guida hanno permesso di collezionare dati sul comportamento di guida longitudinale (velocità, accelerazioni e decelerazioni medie) e trasversale (media e deviazione standard della posizione laterale – SDLP) dei guidatori in risposta alla variazione dei fattori dell'esperimento. Sono stati selezionati 48 guidatori con caratteristiche confrontabili alla popolazione italiana per genere ed età. Ognuno ha guidato su tre circuiti assegnati casualmente tra i dodici ottenuti combinando i fattori dell'esperimento (2 raggi $\times$ 3 lunghezze del terminale $\times$ 2 direzioni della curva $\times$ 2 condizioni di traffico). Infine, sui dati raccolti è stata eseguita l'analisi della varianza (ANOVA) con il fine di comprendere l'effetto dei fattori dell'esperimento sugli indicatori comportamentali dell'utenza.

Risultati e discussione. Il raggio del terminale, condizionato dalla curva autostradale, non ha condizionato in modo significativo la velocità dei guidatori sia nel caso di rampe di ingresso sia in quelle di uscita. Nella manovra di immissione, al crescere del flusso cresce la lunghezza del tratto di terminale utilizzato dai guidatori per completare la manovra. Viceversa, nella manovra di uscita il traffico non condiziona le operazioni dei veicoli. L'utenza ha un comportamento differente a seconda che il terminale sia di tipo continuo o inflesso e se sia di ingresso o di uscita. Questa osservazione è confermata dai risultati dell'ANOVA. Si nota, che nel caso di terminale di immissione inflesso i valori di ascissa a cui i guidatori entrano in autostrada sono superiori rispetto al terminale continuo. Nel caso di uscita si osserva un comportamento opposto. Infine, la SDLP indica che i guidatori che percorrono clotoidi di continuità mantengono meglio il controllo della traiettoria del veicolo rispetto al caso di clotoidi di flesso.

Conclusioni, Implicazioni e ricerche future. Questo lavoro ha evidenziato l'importante effetto che la curvatura del terminale ha sulle manovre di immissione e di uscita, nello specifico le manovre in cui è presente una traiettoria inflessa inducono l'utenza a ritardare l'ingresso/uscita. Ulteriori approfondimenti si rendono necessari per generalizzare i risultati sin qui conseguiti. In particolare, lo studio dell'effetto di una ridotta visibilità causata dalla presenza di ostruzioni come le barriere di sicurezza e la presenza di diverse condizioni di traffico lungo le rampe.

ABSTRACT

Introduction and problem statement. An interchange is a system of roadways that connect motorways and arterials with one or more grade separations. It consists of ramps connected to the carriageways via a series of acceleration and deceleration terminals. Road designers are asked to define the geometric characteristics of the ramps and terminals which would best facilitate acceptable traffic operations. They also need to avert any safety issues arising when traffic from ramps merges into the carriageway, or when vehicles exiting from the main traffic use an off-ramp. Hence, situations in which drivers are forced to reduce their speed very quickly or increase it over short distances are to be avoided. Manuals and standards provide indications on how to avoid such situations, suggesting that interchanges be built along straight roadway sections. However, design criteria may be ineffective when there is no alternative to terminals being designed along curved roadways.

Research question. The case of terminals along curved roadways has not been fully investigated in literature. In particular, it is not known how drivers behave and react when they negotiate curved segments having different radius values, negotiate terminals which are longer or shorter than the standard length, drive along continuity and inflected ramps (which depend on the curve direction of the main carriageway), and have to deal with variable traffic conditions (free flow vs. conditioned).

Methodology. Driving simulations were performed with the aim of collecting data reflecting the longitudinal (i.e. speeds, acceleration and deceleration rates) and transversal (i.e., average and standard deviation of lateral position - SDLP) driver behaviour in response to experimental factor variations. The simulation was performed at the DIATI fixed-base driving simulator (Politecnico di Torino). 48 drivers were selected to provide a representative sample of the Italian population and subdivided on the basis of age and gender. Each one drove along three randomly assigned circuits with direct on- and off-ramps obtained by combining the afore-mentioned experimental factors (2 radii $\times$ 3 ramp lengths $\times$ 2 curve directions $\times$ 2 traffic conditions). Finally, variance analysis (ANOVA) was performed on the collected data in order to understand the effect of the factors of the experiment on the behavioural indicators of users.

Results and discussion. The freeway radius does not significantly affect the speed of drivers at terminals in either merging or diverging manoeuvres. In the case of merging manoeuvres, when the flow increases - the length of the terminal section used by drivers increases as well. In the exit manoeuvre the traffic does not affect vehicle operations. The user has a different behaviour depending on whether the terminal is continuous or inflected and whether it is entry or exit.

This observation is confirmed by the results of ANOVA. It should be noted that in the case of an inflected entry terminal the abscissa values at which drivers enter in the motorway are higher than at the continuous terminal. In the case of an exit terminal the opposite behavior is observed. SDLP indicates that drivers along terminals located in continuity curve maintain better control of the vehicle trajectory than in inflected terminals.

Conclusions, Implications, and Future Needs. This work presents a series of results which serve to update the current knowledge of driver behaviour along curved terminals. It has shown the important effect that the curvature of the terminal has on the manoeuvres of entry and exit. In particular, the manoeuvres in which is present an inflection trajectory induces the user to delay the entry/exit. Further studies need to be performed into the effects of reduced visibility caused by the presence of sight obstructions such as traffic barriers. They should also include different traffic conditions along the ramps to strengthen and generalize these findings.

1. INTRODUZIONE

Le *intersezioni a livelli sfalsati* sono costituite da rampe e corsie specializzate che permettono alle correnti veicolari di scambiare tra strade poste a due o più livelli. In Italia, tali intersezioni sono le uniche ammesse quando almeno una delle due strade è di categoria primaria (autostrada) o principale (extraurbana o urbana di scorrimento).

La prima normativa italiana sulla progettazione delle intersezioni stradali risale al 1960. Fu emessa attraverso una “Circolare ANAS”, aggiornata poi nel 1963 e dal titolo “Sistemazione degli accessi alle strade statali – Intersezioni semplici a T a Y a X”. Negli anni successivi seguirono diverse norme del Consiglio Nazionale delle Ricerche (C.N.R.), per giungere ai nostri giorni con la normativa tecnica emanata attraverso il D.M.19/04/2006. Questo è un documento sintetico, a carattere cogente, in cui sono definite le regole fondamentali per la progettazione delle nuove intersezioni stradali urbane ed extraurbane.

Gli elementi principali di un’intersezione a livelli sfalsati sono le rampe e le corsie specializzate, detti anche terminali di rampa. Le *rampe* sono tronchi stradali di collegamento tra i rami principali di un’intersezione. Le *corsie specializzate* (o *terminali*) servono ai veicoli in manovre per entrare (terminali di immissione) e uscire (terminali di diversione) dai rami principali.

Il D.M. 19/04/2006 fornisce indicazioni tecniche per risolvere da un punto di vista progettuale gli interrogativi di cui sopra. In particolare, il testo normativo vigente suggerisce di realizzare le intersezioni lungo tratti rettilinei della strada principale, ma lascia la possibilità di realizzarle anche lungo tratti curvilinei a patto che siano soddisfatte le condizioni minime di visibilità, ciò al fine di rendere comunque sicure le manovre del guidatore. Tuttavia, quando a causa di vincoli territoriali, catastali, paesaggistici o ambientali il progettista trova possibile inserire i terminali in soli tratti curvi, le norme tecniche non forniscono alcun indirizzo su come

compensare le maggiori difficoltà di controllo del veicolo attraverso una specifica progettazione dei terminali.

Pertanto, la progettazione di rampe in tratti curvilinei presenta criticità, e richiede specifici accorgimenti per assicurare un pari livello di sicurezza previsto dalle attuali norme tecniche per i terminali in rettilineo. Lo studio del comportamento dei guidatori lungo questi elementi stradali permetterebbe, in linea di principio, di accrescere il livello di conoscenza utile ad applicare la norma tecnica in modo più consapevole, guidando le decisioni del progettista laddove i margini di scelta risultino ampi e non meglio definiti.

La letteratura tecnico-scientifica in questo ambito è piuttosto limitata, e l'unico contributo significativo si deve a Colonna e Delcarminé (1997a, 1997b). Questi autori affrontarono gli aspetti critici del dimensionamento dei terminali di accelerazione e decelerazione in tratti curvi di intersezioni a livelli sfalsati. L'indagine prevedeva una fase osservazionale con registrazioni video da un cavalcavia autostradale delle lunghezze delle traiettorie di immissione e uscita dei veicoli. Per un campione più piccolo di veicoli osservati, furono inoltre determinati la curvatura, l'accelerazione longitudinale e trasversale e il contraccolpo lungo le traiettorie rilevate.

Nelle manovre di uscita, gli autori osservarono le traiettorie tipiche delle cosiddette "curva di frenatura" a curvatura decrescente; essi osservarono inoltre che i valori delle accelerazioni trasversali lungo tali traiettorie erano condizionate dalla curvatura, mentre il contraccolpo si rivelò spesso sopra i limiti previsti per la progettazione geometrica. I dati delle osservazioni relativi alle immissioni evidenziarono che le traiettorie dei veicoli erano approssimabili a una successione di due curve di frenatura, inoltre la tipologia di terminale consigliata è quella ad ago, poiché il caso studiato ha dimostrato che oltre il 90% degli utenti utilizza soltanto gli ultimi 15-20 m di corsia parallela.

Come detto, la tecnica utilizzata per lo studio di Colonna e Delcarminé (1997a, 1997b) è di tipo osservazionale. Le osservazioni in campo presentano una serie di limitazioni: ciò che si osserva è condizionato da variabili ambientali di cui non si ha il controllo, gli strumenti richiedono una fase di calibrazione e il dato raccolto può essere affetto da rumore, con difficoltà di interpretazione. Infine, la quantità di dati raccolti può essere limitata e non sufficiente a formare un campione di dati significativo ed interpretabile attraverso la calibrazione di modelli.

A differenza delle tecniche di tipo osservazionale quelle di tipo sperimentale, come la simulazione di guida, possono essere maggiormente proficue poiché permettono il pieno controllo dei fattori indipendenti, e consentono l'acquisizione di un numero sufficiente di dati in totale sicurezza per gli operatori e per i guidatori. Dagli esperimenti è possibile generalizzare le implicazioni dei fattori che caratterizzano il fenomeno (es. la geometria dei terminali di

rampa come la lunghezza, la larghezza, la curvatura). Con la simulazione di guida è possibile osservare i cambiamenti di comportamento del guidatore (o in alternativa le sue prestazioni) in scenari progettati combinando i fattori geometrici della sede stradale.

Lo studio delle caratteristiche e delle prestazioni dei guidatori sulle corsie di accelerazione e decelerazione con l'ausilio del simulatore di guida è stato affrontato da Calvi et al. (2011, 2012) con due diversi esperimenti. Va detto che tali esperienze si riferivano esclusivamente a terminali su tratti autostradali assolutamente rettilinei.

Il primo esperimento riguardava l'analisi del comportamento dei guidatori su differenti corsie di accelerazione e in diverse condizioni di traffico. In particolare, furono simulati tre differenti volumi di traffico combinati con due lunghezze della corsia di accelerazione. In questo esperimento furono coinvolti 30 partecipanti (17 uomini e 13 donne; età media di 25 anni ed età dei test driver tra i 22 e i 29 anni). Fu osservato che il comportamento dei guidatori durante la manovra di immissione era significativamente influenzata dal flusso di traffico presente sulla strada principale; la lunghezza della corsia di accelerazione non influenzava particolarmente la velocità, la traiettoria e l'accelerazione dei guidatori. All'aumentare del volume di traffico, aumentava la lunghezza della traiettoria nella corsia di accelerazione impiegata per concludere la manovra di immissione.

Nel secondo esperimento, Calvi e De Blasis (2012) osservarono le prestazioni dei guidatori sulle corsie di decelerazione. Furono simulati tre differenti scenari di traffico per analizzare l'influenza del flusso veicolare sulle prestazioni di guida e coinvolti 30 guidatori, collezionando dati sulla posizione laterale, la velocità e la decelerazione. I risultati evidenziarono differenze considerabili tra le assunzioni dei modelli generalmente utilizzati per la progettazione delle corsie di decelerazione e le osservazioni. In particolare, i guidatori che dovevano effettuare la manovra deceleravano ancora prima di arrivare alla corsia di decelerazione, causando interferenze con il flusso principale. Inoltre, le velocità registrate alla fine della corsia di decelerazione erano superiori a quelle per cui la rampa era stata progettata.

La letteratura presenta quindi un evidente vuoto di conoscenza riguardo l'analisi del comportamento dei guidatori su terminali di rampa curvi. In questi tratti, il guidatore deve misurarsi con un compito aggiuntivo rispetto al caso dei terminali lineari: la gestione della traiettoria, che va mantenuta curva nell'immissione e nell'uscita dalla rampa. In più, tale traiettoria può essere a curvatura continua o inflessa. Questo compito aggiuntivo richiede un maggior impegno cognitivo per la necessità di elaborare più informazioni, e quindi più tempo. In più, nei terminali di ingresso, il guidatore non possiede una visione completa sulla corsia nella quale si immette a causa della curvatura del tracciato, con ulteriori difficoltà nel percepire

la presenza di veicoli ai quali dare la precedenza. In ragione di tali premesse, ci si chiede se i terminali di accelerazione e decelerazione possano funzionare con una lunghezza stimata in base ai metodi impiegati per i terminali rettilinei, o se debbano essere dimensionati in modo da offrire più tempo, e quindi più spazio, per completare la manovra.

L'obiettivo di questa tesi è di valutare le prestazioni dei guidatori su terminali di accelerazione e decelerazione curvi. L'analisi, di tipo sperimentale, è stata condotta con l'ausilio del simulatore di guida del Laboratorio di Sicurezza Stradale del Dipartimento di Ingegneria dell'Ambiente, del Territorio e delle Infrastrutture del Politecnico di Torino. L'esperimento è stato somministrato ad un campione di 48 test driver, rappresentativo della popolazione italiana in possesso di patente. I guidatori sono stati stratificati in funzione del genere e dell'età.

Le simulazioni hanno permesso di collezionare dati sul comportamento longitudinale (velocità, accelerazioni e decelerazioni medie) e trasversale (media e deviazione standard della posizione laterale) dei guidatori coinvolti in risposta alla variazione dei fattori dell'esperimento: il raggio e la lunghezza del terminale, la curvatura del terminale (continua e inflessa), e le condizioni di traffico sulla sezione autostradale. Ogni conducente ha guidato su tre circuiti assegnati casualmente tra i 12 ottenuti combinando i fattori dell'esperimento ($2 \text{ raggi} \times 3 \text{ lunghezze del terminale} \times 2 \text{ direzioni della curva} \times 2 \text{ condizioni di traffico}$).

La tesi si articola in cinque capitoli. Il primo è introduttivo. Il capitolo 2 descrive la strumentazione adottata, le variabili dell'esperimento, la concezione del tracciato, il campione dei test driver, il protocollo sperimentale impiegato. Il capitolo 3 presenta i risultati ottenuti attraverso la somministrazione dei questionari ai guidatori, e alla raccolta dei dati sulle variabili dipendenti dell'esperimento. Il capitolo 4 è dedicato all'analisi dati: sono dapprima studiati l'influenza del raggio autostradale sulle velocità del guidatore, la lunghezza a cui i guidatori si immettono o escono dall'autostrada e il valore della deviazione standard della posizione laterale. Infine, attraverso l'analisi della varianza si deduce quali fattori indipendenti influenzano le variabili dipendenti. Il capitolo 5 riassume le conclusioni del lavoro, le implicazioni e le raccomandazioni nel caso di future attività di ricerca.

2. ATTIVITÀ SPERIMENTALE

2.1 STRUMENTI E METODI

2.1.1 Simulatore di guida

Per la realizzazione dell'esperimento è stata utilizzata la strumentazione disponibile presso il Laboratorio di Sicurezza Stradale e Simulazione di Guida del Dipartimento di Ingegneria dell'Ambiente, del Territorio e delle Infrastrutture (DIATI, Politecnico di Torino). Il laboratorio nasce nel 2015 e coordina le attività di ricerca del Settore Scientifico Disciplinare ICAR-04 (Strade, Ferrovie, Aeroporti) riguardanti la progettazione geometrica delle infrastrutture, con specifico riferimento ai temi della sicurezza della circolazione di ogni categoria di utenti (guidatori e passeggeri, ciclisti e pedoni). Il simulatore (Figura 1) in dotazione al laboratorio è un prodotto *Oktal*, azienda francese che realizza hardware e software per la simulazione in campo stradale, ferroviario e aeroportuale. È un simulatore “compatto” che offre ai guidatori un'interfaccia di guida realistica e un largo campo di visuale. Esso è composto da:

- tre schermi Samsung LCD 16:9 da 32” Full HD che permettono di raffigurare la realtà virtuale con un angolo di visuale di 130°. I due schermi laterali sono inclinati di circa 25° rispetto allo schermo centrale e permettono la visione periferica dello scenario;
- uno schermo da 9” che riporta il quadro strumenti (tachimetro, conta-giri e marcia);
- un cambio a sei marce manuale;
- un pannello di comando con tasto di accensione, clacson e freno a mano;
- tre pedali (frizione, freno e acceleratore);
- uno sterzo a controllo di forza in grado di vibrare.



Figura 1 | Il simulatore di guida presente al Politecnico di Torino

Le pareti del laboratorio sono nere e le finestre completamente oscurabili. Questo permette ai guidatori, durante la simulazione, di trascurare tutto ciò che li circonda, così da evitare che qualcosa possa limitare l'insorgere di malessere da simulazione (*simulator sickness*).

2.1.2 Hardware

Il simulatore è controllato da due computer tra loro connessi tramite un *hub*: il primo (*superior*) gestisce gli scenari della simulazione e registra i dati di output, il secondo (*client*) permette di visualizzare a schermo i tracciati e gestisce la componentistica del simulatore. Il *superior* possiede un processore basato su tecnologia Intel® Xeon®, monta un E5-1620 v2 da 3,70 GHz, scheda grafica NVIDIA GTX 780 Ti, RAM da 8GB, Hard Disk da 512 GB. Il *client* monta un E5-1620 v3 da 3.50 GHz, una scheda grafica NVIDIA GTX 780 Ti, una memoria RAM da 8GB e un Hard Disk da 512 GB.

La riproduzione degli effetti sonori avviene grazie agli altoparlanti stereo 3D, 150 W, Dolby Surround 5.1 che emettono un suono realistico del motore e dell'ambiente stradale.

2.1.3 Software

Il software di controllo del simulatore è SCANeR™studio. È una suite software completa dedicata alla simulazione automobilistica con moduli supplementari per la simulazione dei sistemi di assistenza alla guida (i cosiddetti *Advanced Driver-Assistance Systems* - ADAS) e la

visione degli scenari in ambiente virtuale. Il software (Figura 2) contiene gli strumenti e i modelli necessari per costruire scenari virtuali realistici comprendenti l'infrastruttura, l'ambiente stradale, il veicolo, e il traffico.

SCANeR™ è diviso in cinque macro-sezioni: *terrain* che permette la progettazione geometrica dell'infrastruttura e la modellazione del terreno circostante; *vehicle*, che consente il controllo delle prestazioni del veicolo; *scenario* per la gestione degli oggetti 3D dello scenario, ivi compresi i veicoli autonomi e le condizioni ambientali (condizioni meteorologiche e di illuminamento). Attraverso *trigger* sviluppati in linguaggio di programmazione Python, è possibile comunicare al guidatore messaggi di testo o comandi (indicazioni dell'itinerario da seguire), modificare le condizioni meteorologiche, attivare o disattivare componenti del traffico, modificare il comportamento dei veicoli autonomi, e altro ancora. La macro-sezione *simulation* controlla gli eventi della simulazione, mentre l'*analysis* permette l'estrazione dei dati registrati sulla dinamica del veicolo e le azioni del guidatore.



Figura 2 | Visualizzazione della schermata principale di SCANeR Studio 1.7

2.2 FATTORI DELL'ESPERIMENTO

Le variabili indipendenti (detti “fattori dell’esperimento”) sono l’insieme delle grandezze geometriche, ambientali, e di flusso che variano nell’esperimento per generare una risposta nelle variabili dipendenti che identificano il comportamento dei guidatori. A livello teorico, una variabile è indipendente da altre se non esiste una relazione che le collega.

In questo studio, al fine di confrontare i risultati con quelli di Calvi et al. (2011, 2012) relativi ai terminali ingresso e di uscita in tratti rettilinei, sono stati considerati come fattori indipendenti: (i) la lunghezza del terminale, e (ii) il flusso presente sulla strada principale. Considerando la particolare configurazione delle rampe, è stato considerato tra i fattori dell’esperimento anche (iii) il raggio autostradale. I fattori e i relativi valori assunti sono sintetizzati in Tabella 1.

2.2.1 Raggio autostradale

Trattando rampe il cui terminale è parallelo a tratti curvi, il primo fattore esaminato è il raggio autostradale. In questo esperimento sono stati considerati i seguenti valori:

- 964 m, che secondo la normativa Italiana (Figura 3) rappresenta il valore minimo di raggio (denominato R^*) a cui è possibile viaggiare alla massima velocità di progetto pari a 140 km/h (denominata $V_{p,max}$).
- 437 m, che per la stessa normativa (Figura 3) è dimensionato per una velocità di 100 km/h.

I due valori sono stati selezionati tenendo conto della possibile influenza sulle velocità di percorrenza. Va considerato che il simulatore utilizzato per gli esperimenti è di tipo statico, per cui è difficile per il guidatore percepire piccole differenze nei valori di raggio poiché queste non danno un riscontro percettivo nell’apparato vestibolare¹ e nei sensori corporei. L’unica sensazione offerta al conducente è quella di natura visiva. La variazione di questo fattore è pertanto fondamentale per comprendere la sua influenza su velocità e traiettoria.

¹ La funzione del vestibolo è di rilevare l'accelerazione di gravità, le accelerazioni dovute a movimenti della testa diretti in su e in giù e i movimenti di oscillazione come i movimenti di beccheggio e rollio. I vestiboli sono due e collocati nell’orecchio interno. Tali apparati sono simmetrici e lavorano insieme per la percezione dei movimenti e della posizione della testa e per stabilire i movimenti riflessi tra l'equilibrio del corpo e la fissità dello sguardo. Fonte: Gray, H., & Goss, C. M. (1974). *Anatomy of the human body. American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, 53(6), 293.

Tabella 1 | Fattori dell'esperimento

Fattori	Valori/condizioni		
Raggio autostradale	R*	R1	
Lunghezza del terminale	Corta	Standard	Lunga
Condizione di flusso	Libero	Condizionato	

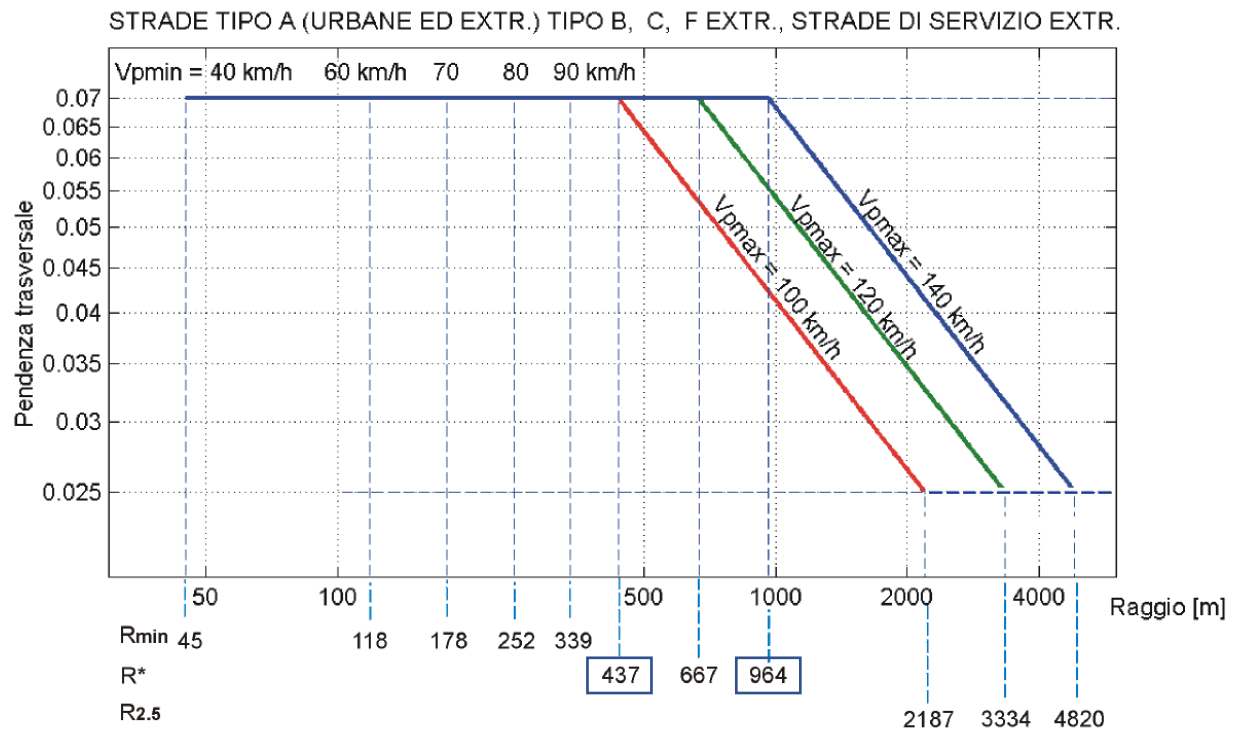


Figura 3 | Scelta dei valori del raggio autostradale

2.2.2 Lunghezza del terminale

A seconda che la corsia sia di accelerazione o di decelerazione, le lunghezze di progetto risultano tra loro diverse. In più, trattandosi di un fattore sperimentale, rispetto alla lunghezza definita “standard” ($L_{standard}$) poiché derivante dal dimensionamento secondo i metodi fissati dalle norme tecniche, sono stati considerati i seguenti casi:

- terminale lungo, con lunghezza $L = L_{standard} + 75$ m
- terminale corto, con lunghezza $L = L_{standard} - 50$ m

La lunghezza “standard” è stata determinata con i metodi descritti nel D.M. 19 aprile 2006. In Tabella 2 si riportano i valori adottati frutto del calcolo riportato in **Allegato B**.

2. ATTIVITÀ SPERIMENTALE

Tabella 2 | Lunghezze del terminale

Tipologia di Corsia	Tipologia di clotoide	Lunghezza del terminale standard (m)
Immissione (I)	Continuità (Idx)	360
	Flesso (Isx)	
Diversione (U)	Continuità (Udx)	250
	Flesso (Usx)	

Sono stati considerati quattro differenti casi (Figura 4): (i) la curva autostradale destrorsa, con rampa di ingresso destrorsa (Idx); (ii) la curva autostradale destrorsa, con rampa di uscita destrorsa (Udx); (iii) la curva autostradale sinistrorsa; con rampa di ingresso sinistrorsa (Isx); e infine (iv) la curva autostradale sinistrorsa; con rampa di uscita sinistrorsa (Usx). Le figure seguenti mostrano in dettaglio la geometria dei quattro terminali di rampa.

È da notare che le rampe Idx e Udx si collegano ai terminali tramite archi di clotoide di continuità, mentre le rampe Isx e Usx si congiungono al terminale con archi di clotoide di flesso. La curvatura del terminale, in continuità tra le curve a cui è agganciata, o con un flesso, può provocare difficoltà nella manovra e, di conseguenza, richiedere una lunghezza della corsia di accelerazione o decelerazione superiore o inferiore. Per ulteriori informazioni sulla geometria delle rampe si rimanda all'**Allegato A**.

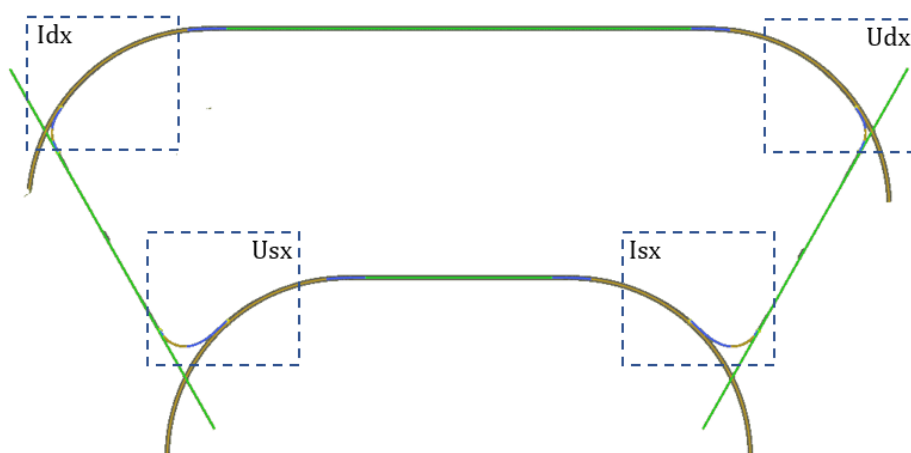


Figura 4 | Le quattro diverse tipologie di rampa di uno stesso circuito

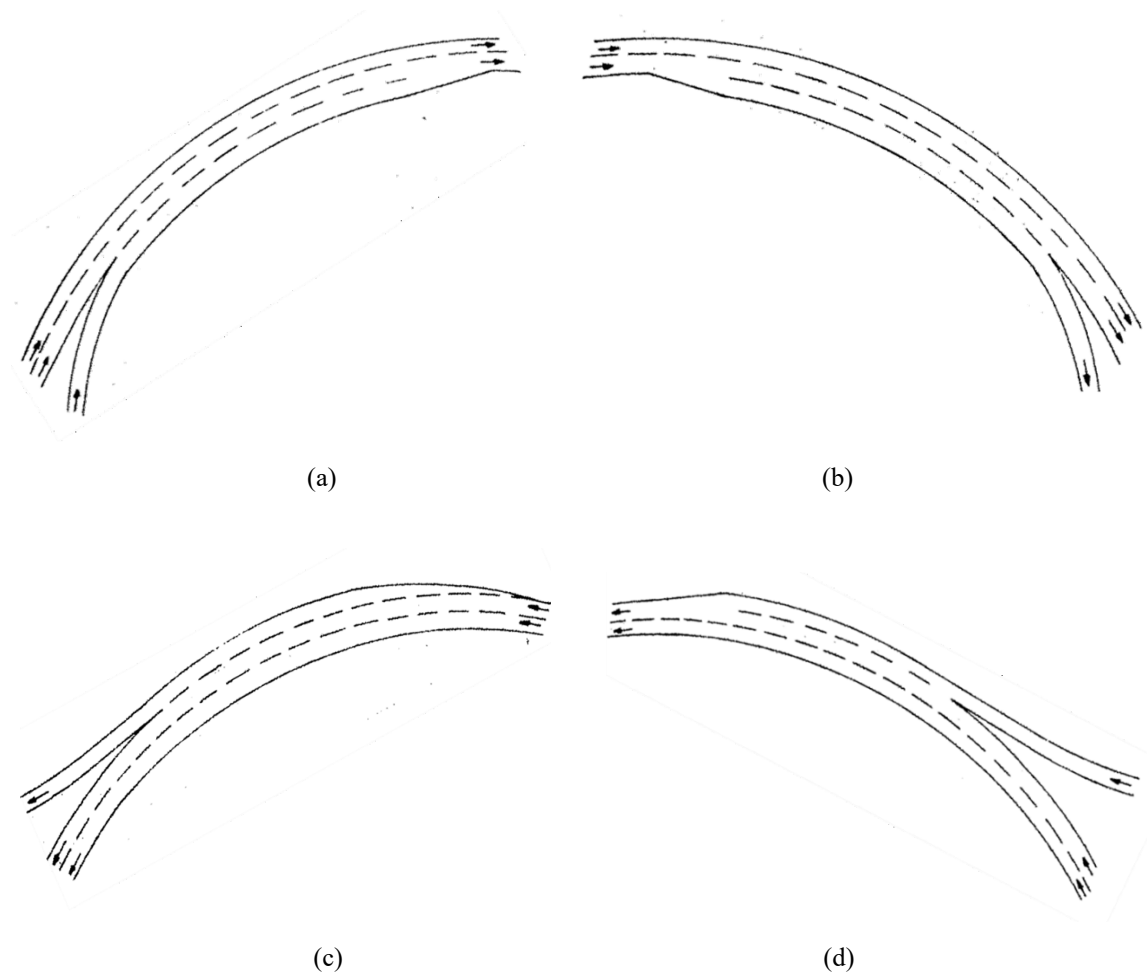


Figura 5 | (a) Terminale Idx, (b) Terminale Udx, (c) Terminale Usx, (d) Terminale Isx

2.2.3 Condizione di flusso

Allo scopo di verificare quanto la manovra possa essere condizionata dal traffico, gli scenari sono stati progettati inserendo due diversi valori di flusso di traffico che rispecchiano i livelli di servizio A e C (indicati nella letteratura anglosassone come *level of service* - LOS) secondo la codifica dell'HCM (2010).

Il traffico è stato generato sulle sole carreggiate autostradali, mentre non è stato simulato alcun traffico sulle rampe, ciò al fine di misurare sulle rampe la sola influenza della geometria sul comportamento dei guidatori impegnati nella manovra di immissione e diversione. Il considerare i veicoli autonomi lungo le rampe sarà l'obiettivo di future sperimentazioni.

Il software SCANeRStudio non consente di scegliere il livello di servizio da imporre al traffico, ma richiede un volume di traffico in veh/h attraverso la funzione *source*. Si è reso così necessario il calcolo del volume di traffico corrispondente ai LOS A e C. Calvi e De Blasis (2011) adottarono tre diversi valori di densità misurati come spazio tra veicoli che viaggiano nella stessa direzione (nello specifico furono considerate condizione di traffico intenso quelle

2. ATTIVITÀ SPERIMENTALE

con veicoli distanziati di circa 40 m, traffico medio con distanziamento di 80 m, basso traffico con distanziamento di 120 m).

Il flusso in veh/h deriva dalla densità in base alla seguente equazione:

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

in cui D è la densità [veh/km], V il flusso [veh/h], ed S la velocità [km/h]. Da questa, è stato derivato il flusso per i tre valori di densità di seguito indicati:

- $D_1 = 25 \text{ veh/km}$, $V_1 = 25 \cdot 130 = 3250 \text{ veh/h}$,
- $D_2 = 12,5 \text{ veh/km}$, $V_2 = 12,5 \cdot 130 = 1625 \text{ veh/h}$,
- $D_3 = 8,33 \text{ veh/km}$, $V_3 = 6,25 \cdot 130 = 1083 \text{ veh/h}$.

Come precedentemente indicato, sono stati scelti due valori di flusso, in particolare V_1 (LOS C) e V_3 (LOS A). Le due correnti veicolari sulla sede autostradale sono state assunte pari a 1000 veh/h e 3000 veh/h. La generazione dei veicoli eseguita dal software è indicata nel Grafico 1. I dati sono stati interpretati attraverso la funzione di distribuzione Gamma, i cui parametri sono riportati nello stesso grafico.

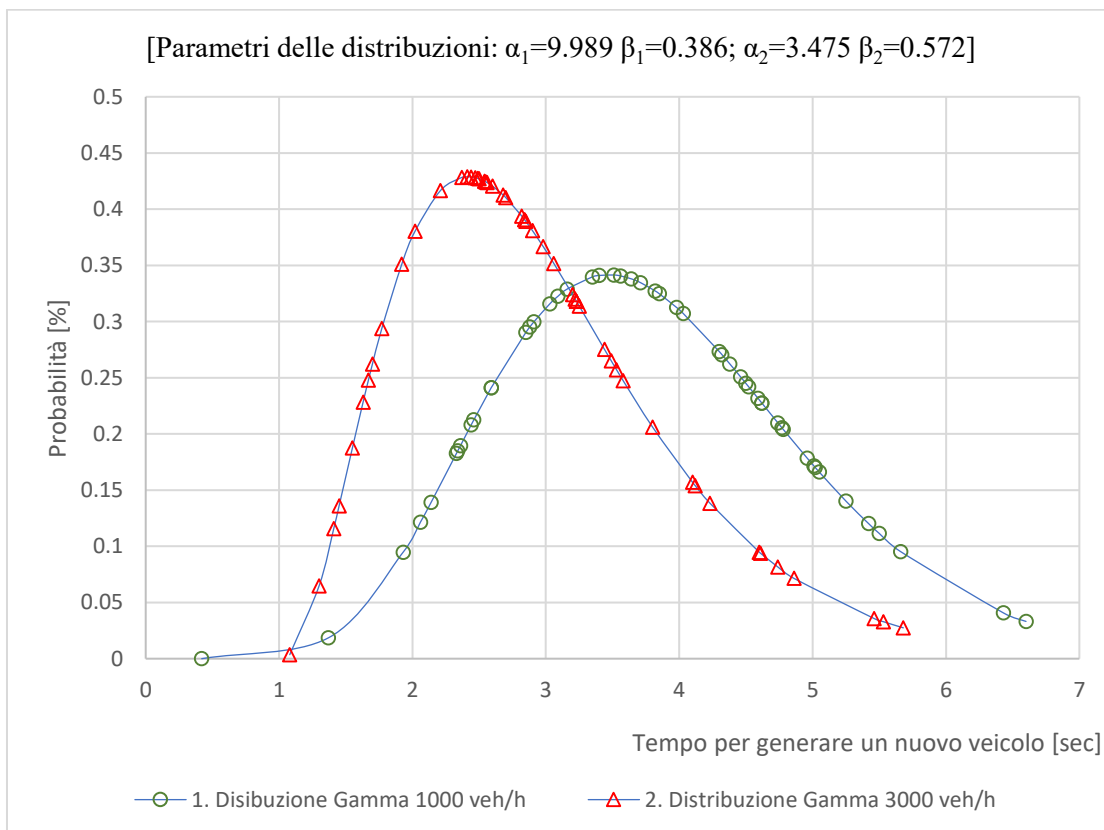


Grafico 1 | Distribuzioni gamma della probabilità semplice di generazione dei veicoli per i livelli di traffico di 1000 veh/h e 3000 veh/h.

2.3 CONCEZIONE DEL TRACCIATO

I tracciati sono stati studiati al fine di combinare rampe di ingresso e di uscita, preservando la casualità con cui le caratteristiche geometriche di detti elementi si presentavano ai guidatori. È stato scelto un circuito chiuso con quattro rampe, due tratti autostradali e due tratti di strada extraurbana secondaria (Figura 6). L'**Allegato A** contiene i dettagli relativi alla progettazione geometrica del circuito.

I due tratti autostradali e i due di strada extraurbana secondaria (Cat. C) sono stati connessi a rampe di ingresso e uscita (Figura 4). Le quattro rampe sono state identificate con i codici di seguito indicati: (i) Idx è una rampa di ingresso con curvatura concorde alla curvatura dell'autostrada; (ii) Udx è una rampa di uscita con curvatura concorde alla curvatura dell'autostrada; (iii) Idx è una rampa di ingresso in autostrada con curvatura discorde alla curvatura dell'autostrada; infine (iv) Idx è una rampa di uscita con curvatura discorde alla curvatura dell'autostrada.

Le dimensioni adottate per la modellazione geometrica delle carreggiate sono quelle dettate dalla norma tecnica, in particolare sono state utilizzati i valori riportati in Tabella 3.

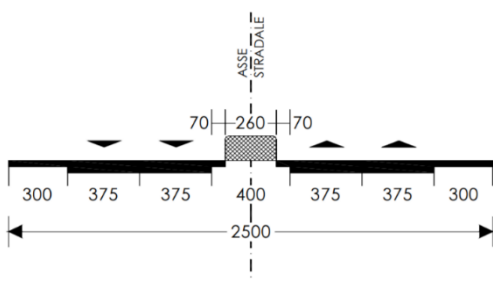
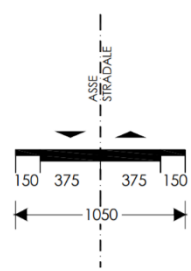
Categoria A Autostrade Soluzione base a 2+2 corsie per senso di marcia	
	Vp min. 90 Vp max.140
Categoria C Extraurbane Secondarie Soluzione base 2 corsie di marcia	
	Vp min. 60 Vp max.100

Figura 6 | Categorie di strade adottate

2. ATTIVITÀ SPERIMENTALE

Tabella 3 | Categorie di strada adottate nella concezione del circuito

Tipi secondo il codice	Ambito territoriale			Larghezza della corsia (m)	Larghezza dello spartitraffico (m)	Larghezza della banchina in sinistra (m)	Larghezza della banchina in destra (m)	Larghezza della corsia di emergenza (m)
AUTOSTRADA	A	EXTRAURB.	Strada principale	3,75	2,60	0,70	2,50	3,00
EXTRAURB. SECONDARIA	C	EXTRAURB.	C1	3,75	-	-	1,50	-

Per il disegno geometrico delle rampe si è fatto riferimento al D.M. 19/04/2006. I parametri fondamentali sono indicati nella Tabella 11 delle stesse norme.

La velocità di progetto delle rampe è stata fissata in 60 km/h, e il raggio prescelto è di 150 m per tutte e quattro le rampe del circuito. Per la determinazione della larghezza degli elementi modulari degli svincoli ci si è riferiti sempre alla normativa italiana, in particolare alla Tabella 4.

Le dimensioni adottate per la modellazione geometrica delle carreggiate sono quelle dettate dalla norma tecnica. Sono stati utilizzati i valori riportati in Tabella 3. Ciascun circuito è composto di diversi tratti, raffigurati in Figura 8 e qui di seguito descritti.

Tabella 4 | Larghezza degli elementi modulari degli svincoli

Strade extraurbane				
Elemento modulare	Tipo di strada principale	Larghezza corsie (m)	Larghezza banchina in destra (m)	Larghezza banchina in sinistra (m)
Rampe monodirezionali	A	1 corsia: 4,00m	1,00	1,00

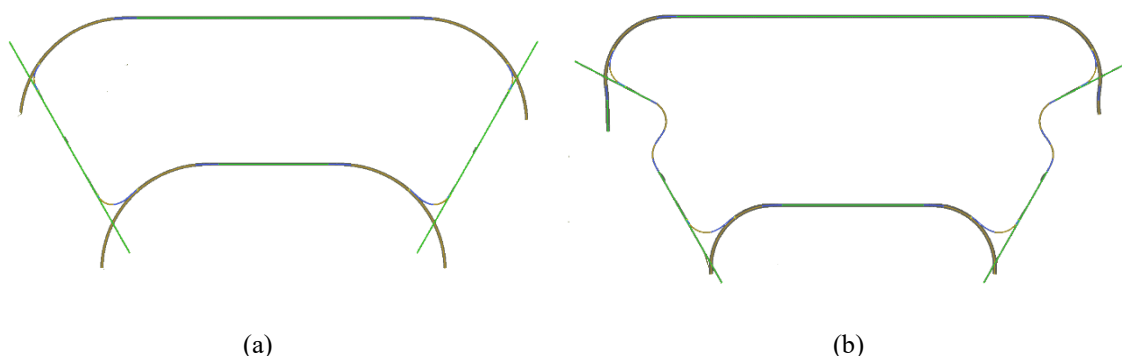


Figura 7 | Tracciati dell'esperimento

2.3.1 Tratto [0] | Piazzola di sosta

Essa è stata utilizzata per iniziare e terminare la guida, allo scopo di simulare il più possibile la realtà. Lo scenario si apre con il veicolo parcheggiato nella piazzola di sosta e pronto per immettersi in strada.

2.3.2 Tratto [1] | Strada di Cat. C

Dalla piazzola di sosta il veicolo si immette in una strada extraurbana principale. La presenza di questo tratto permette ai guidatori di giungere alla rampa di accesso per l'autostrada.

2.3.3 Tratto [2] | Rampa Idx

Questo tratto consente al guidatore di accedere al tratto autostradale. È composto dalla rampa e dalla corsia specializzata di immissione.

2.3.4 Tratto [3] | Autostrada

Conclusa la manovra di immissione il veicolo si ritrova in autostrada. Si percorre questo tratto per circa 3000 m. Successivamente il guidatore affronta la manovra di diversione, per tale motivo il tratto autostradale deve avere una lunghezza minima tale da permettere a chi guida di raggiungere una buona velocità e mantenerla per un certo periodo.

2.3.5 Tratto [4] | Rampa Udx

Questo tratto permette al guidatore di uscire dall'autostrada. È composto dalla corsia specializzata di diversione e dalla rampa.

2.3.6 Tratto [5] | Strada di Cat. C

Il guidatore si trova ancora in un tratto di Cat. C, questo permette di arrivare nuovamente ad una rampa che conduce ad un altro tratto autostradale.

2.3.7 Tratto [6] | Rampa Isx

Questo tratto consente l'immissione in autostrada. È composto dalla rampa con curvatura discorde a quella dell'autostrada e dalla corsia specializzata di immissione.

2.3.8 Tratto [7] | Autostrada

Il veicolo si immette in autostrada. Questo tratto è lungo circa 1000m. Si ha una nuova indicazione che obbliga i guidatori ad uscire tramite una corsia specializzata di diversione.

2.3.9 Tratto [8] | Rampa Usx

Questo tratto consente la diversione. È composto dalla corsia specializzata di immissione e dalla rampa con curvatura discorde a quella dell'autostrada.

2.3.10 Tratto [9] | Strada Cat. C

Il percorso si conclude sulla strada di categoria C dove sarà fornita un'indicazione ai guidatori che li obbliga ad accostarsi alla piazzola di sosta per concludere la simulazione.



[0]



[1]



[2]



[3]



[4]



[5]



[6]



[7]



[8]



[9]

Figura 8 | Tratti significativi del tracciato stradale

2.4 COMBINAZIONE DEI FATTORI E CONFIGURAZIONI

Nel combinare i fattori sui circuiti stradali progettati e realizzati per l'esperimento, è stato considerato l'effetto di confusione tra i guidatori. Ciò si realizza combinando i fattori di uno stesso scenario modificandone l'ordine di somministrazione ai diversi guidatori coinvolti, ciò al fine di evitare che la risposta comportamentale sia in un certo senso condizionata dall'ordine con cui si presentano agli individui dello stesso campione. La Tabella 5 e la Tabella 6 riassumono la combinazione dei fattori assegnati alle 12 diverse configurazioni.

Ognuno dei dodici scenari è stato corredato di elementi ambientali che contribuiscono a rendere realistica la simulazione. Sono stati pertanto inseriti elementi 3D come alberi, vegetazione, edifici, sovrappassi autostradali, segnaletica orizzontale e verticale. Il terreno è stato modellato con caratteristiche prevalentemente collinari. Le condizioni atmosferiche adottate per tutti i circuiti presentano condizioni ideali con assenza di vento e pioggia, luce diurna e ottima visibilità (Figura 9).

Tabella 5 | Fattori dell'esperimento

Fattori	Livello		
	-1	0	1
Raggio autostradale	R*	R1	
Lunghezza del terminale	Corto	Standard	Lungo
Condizione di flusso	Libero	Condizionato	

Tabella 6 | Combinazione dei fattori

Conf.	Raggio autostrada	Flusso autostrada [tratto 3]	Flusso autostrada [tratto 7]	Lunghezza terminale Idx	Lunghezza terminale Udx	Lunghezza terminale Isx	Lunghezza terminale Usx
1A	-1	-1	0	-1	0	1	-1
1B	-1	-1	0	0	1	-1	0
1C	-1	-1	0	1	-1	0	1
2A	-1	0	-1	0	1	-1	0
2B	-1	0	-1	1	-1	0	1
2C	-1	0	-1	-1	0	1	-1
3A	0	-1	0	1	-1	0	1
3B	0	-1	0	-1	0	1	-1
3C	0	-1	0	0	1	-1	0
4A	0	0	-1	1	1	-1	0
4B	0	0	-1	0	-1	1	-1
4C	0	0	-1	-1	0	0	1



Figura 9 | Contestualizzazione del tracciato all'interno di un ambiente dinamico

Si è tenuto conto delle conclusioni della tesi svolta da Andrea Carle (2016), che ha evidenziato la necessità di ridurre al minimo i dettagli visibili nello scenario al fine di limitare il flusso ottico delle immagini, responsabile in parte dei fenomeni di malessere da simulazione cui sono soggetti i test driver (capogiro, nausea, stanchezza visiva, mal di testa e altri sintomi). Per tale motivo si è evitato di inserire in zone prossime alla sede stradale elementi quali la vegetazione e le barriere di sicurezza sul lato destro del guidatore. È stato deciso di mantenere le sole barriere sul lato sinistro dei tratti autostradali che delimitano il margine interno.

2.5 SPERIMENTAZIONE

2.5.1 Guidatori

La numerosità del campione di guidatori deve essere in grado di garantire un significativo numero di dati per ciascuno dei tracciati da somministrare nella sperimentazione. Dalle configurazioni progettate e dalle prove effettuate è possibile constatare che: (i) il numero di circuiti con diverse caratteristiche è pari a dodici; (ii) il tempo di percorrenza di ogni circuito è di circa sette minuti (misurato nel corso dei test pilota); (iii) ogni individuo è in grado di guidare per non più di 30 minuti per evitare l'insorgere di effetti legati alla fatica.

Da queste considerazioni, fissato a 12 il numero di dati minimo per circuito, si è stabilito in 48 individui il numero di test driver da coinvolgere nell'esperimento. Il campione è stato stratificato per classi d'età e genere, rispettando le caratteristiche della popolazione di guidatori italiani. Le informazioni riguardanti la popolazione italiana sono state reperite sul sito del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti (MIT) ⁽²⁾. I dati di sintesi delle patenti in Italia,

² <http://www.mit.gov.it/comunicazione/news/patenti-dataset-online>

aggiornate al 26 maggio 2017 sono riportate in Tabella 7, mentre la Tabella 8 fornisce le statistiche divise per genere.

La Tabella 9 riporta la distribuzione della popolazione dei guidatori in tre classi, mentre la Tabella 10 riporta detta suddivisione ai 48 guidatori coinvolti nell'esperimento. Ai test driver sono stati assegnati in modo casuale tre specifici scenari di guida. L'**Allegato G** presenta la suddivisione dei guidatori per tutte le 12 configurazioni. L'età dei *test driver* selezionati varia tra i 19 e 61 anni. I valori caratteristici del campione sono riassunti in Tabella 11.

Tabella 7 | Numero di patenti in Italia per fascia d'età

< 25 anni	3 083 172	7,69 %
25 - 34 anni	5 679 399	14,66 %
35 - 44 anni	7 415 976	19,14 %
45 - 64 anni	15 067 898	38,9 %
≥ 65 anni	7 484 681	19,33 %

Tabella 8 | Percentuale di patentati in Italia per fascia d'età e per genere

Fascia d'età	Totale	Uomini [55,56%]	Donne [44,44%]
< 25 anni	7,69 %	4,27 %	3,42 %
25 - 34 anni	14,66 %	8,14 %	6,51 %
35 - 44 anni	19,14 %	10,63 %	8,51 %
45 - 64 anni	38,9 %	21,61 %	17,29 %
≥ 65 anni	19,33 %	10,74 %	8,59 %

Tabella 9 | Suddivisione in classi

Classe	Fascia d'età	Uomini [%]	Donne [%]
I	<25 anni	5,50 %	4,40 %
II	25-44 anni	23,28 %	18,62 %
III	> 45 anni	26,78%	21,42 %

Tabella 10 | Suddivisione dei 48 guidatori proporzionale alle classi d'età ed al sesso

Classe	Fascia d'età	Uomini	Donne [%]	Tot.
I	<25 anni	3	2	5
II	25-44 anni	11	9	20
III	> 45 anni	13	10	23
	Tot.	27	21	48

2. ATTIVITÀ SPERIMENTALE

Tabella 11 | Informazioni sul campione di guidatori aggregate per classi d'età

		Età (anni)	Esperienza di guida (anni)	Km percorsi (annui)	Numero di incidenti
Classe I	Media	21,4	3,0	5 000	0,20
	Dev. Standard	1,7	2,0	3 082	0,45
Classe II	Media	33,2	15,0	11 500	0,60
	Dev. Standard	6,1	6,3	10 001	0,75
Classe III	Media	53,8	34,8	15 635	1,81
	Dev. Standard	4,0	4,6	11 887	2,34
Tot.	Media	41,4	22,8	12 615	1,11
Campione	Dev. Standard	12,9	12,8	10 787	1,77

2.5.2 Protocollo

I partecipanti sono stati invitati mediante lettera spedita via e-mail nel mese di novembre 2019 (**Allegato C**). L'invito conteneva anche informazioni riguardo le modalità di svolgimento della prova e i tempi richiesti per completare la simulazione di guida. Inoltre, furono fornite informazioni sul trattamento dei dati raccolti, ricordando che i dati, in accordo con l'informativa sulla privacy, sarebbero state gestite in forma anonima.

Ricevuta conferma di partecipazione, i test driver su base esclusivamente volontaria e non retribuita, sono stati contattati telefonicamente per raccogliere le loro disponibilità nel partecipare all'esperimento. Ogni test driver ha svolto il compito assegnatogli in due distinti appuntamenti distanziati tra loro di almeno una settimana.

La gestione degli appuntamenti è stata condotta tramite *Google Calendar*, una piattaforma *cloud* progettata per la programmazione di attività. I test driver sono stati contattati e resi liberi di scegliere uno slot di orario tra quelli disponibili. La settimana tipo durante la fase di sperimentazione è illustrata in Figura 10.

Il giorno antecedente l'appuntamento, ai test driver è stato ricordato l'appuntamento con un messaggio (SMS o WhatsApp), ricordando l'orario dell'appuntamento e le raccomandazioni e precauzioni da seguire prima di presentarsi in laboratorio. In particolare, il promemoria conteneva le seguenti informazioni: (i) orario di svolgimento della simulazione; (ii) la necessità di moderare il consumo di cibo prima della guida; e (iii) la necessità di evitare l'assunzione di bevande eccitanti e/o alcoliche (*energy drink*, caffè o derivati ecc..) almeno tre ore prima della guida.

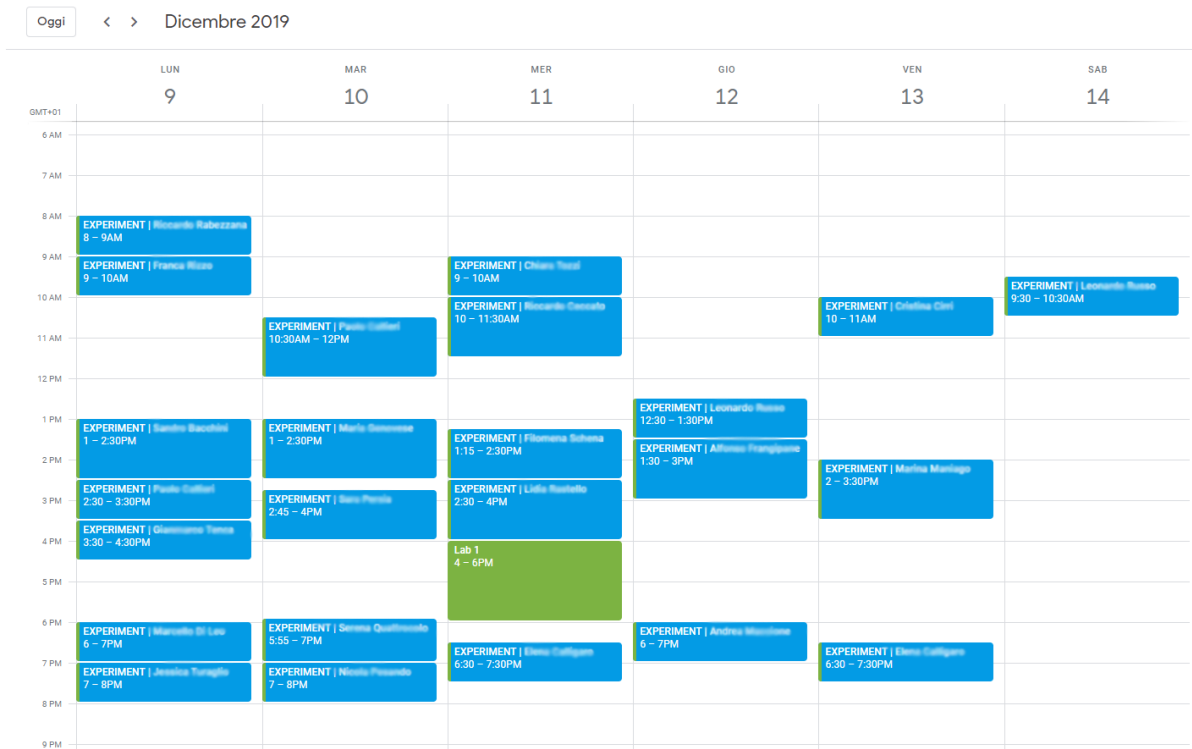


Figura 10 | Esempio di programmazione settimanale degli esperimenti

Il rispetto delle regole alimentari è fondamentale per evitare di amplificare il malessere da simulazione (*simulation sickness*). L'assunzione di cibo e/o di bevande eccitanti, in alcuni soggetti, può aumentare lo stato di malessere che inficerebbe il risultato della prova e la salute del guidatore. Ogni test driver coinvolto nell'esperimento è stato sottoposto alla stessa procedura divisa nelle seguenti fasi:

1. questionario pre-guida;
2. test cognitivi pre-guida;
3. guida al simulatore;
4. test cognitivi post-guida;
5. questionario post-guida.

2.5.3 Questionario pre-guida

Con il questionario pre-guida sono state raccolte informazioni sui test driver riguardanti lo stato di salute, l'assunzione di medicinali nelle ultime 24 ore, il tempo trascorso dall'ultimo pasto, l'assunzione di bevande eccitanti e, se presenti, il tipo di dispositivo indossato per la correzione visiva.

2.5.4 Test cognitivi pre-guida

Nel caso in esame, i test cognitivi sono stati utilizzati per comprendere se l'utilizzo del simulatore comportasse un abbassamento dell'attenzione e delle prestazioni cognitive. I test driver sono stati sottoposti a due diverse prove cognitive: un test di attenzione visiva e uno di attenzione uditiva. Questi test sono stati somministrati tramite applicativi online sulla pagina web dedicata ⁽³⁾.

Il test visivo (*visual reaction time*) misura il tempo di reazione tra la comparsa di uno stimolo visivo (pallino verde sul monitor) e la reazione sulla barra spaziatrice della tastiera. Nel test è necessario azionare il più velocemente possibile la barra spaziatrice una volta ricevuto lo stimolo. Il test uditivo (*auditory reaction time*) misura il tempo di reazione tra un impulso audio e l'azione dell'uomo sulla barra spaziatrice della tastiera.

2.5.5 Guida al simulatore

La guida prevedeva l'utilizzo del simulatore mantenendo fisse le impostazioni relative al veicolo. A ogni guidatore è stato somministrato l'esperimento dopo avere preso familiarità con i comandi (pedali, volante e cambio) lungo un circuito di prova. Ogni guidatore ha guidato tre diversi scenari. Durante la guida l'ambiente attorno al simulatore era totalmente oscurato, utilizzando sempre la stessa intensità di luce artificiale.

2.5.6 Test cognitivi post-guida

A valle della guida ai test driver sono stati sottoposti i test cognitivi su descritti.

2.5.7 Questionario post-guida

Con il questionario post guida sono state raccolte informazioni legate all'esperienza dei guidatori in fase di simulazione. I dati dei questionari sono stati impiegati per derivare informazioni su eventuali aspetti che possono essere migliorati per successive attività di ricerca.

Il questionario presentava quesiti sui seguenti punti: (i) sensazioni, (ii) conseguenze dell'esperimento, (iii) immersione, (iv) interazione con dispositivi audio-visivi e meccanici, (v) presenza, (vi) rampe autostradali di ingresso/uscita, (vii) comfort nell'eseguire la manovra, (viii) difficoltà percepite. I risultati dei questionari post guida sono trattati nel paragrafo 3.1.

³ www.cognitivefun.net

La Figura 11 descrive sinteticamente il processo di somministrazione dell'esperimento in funzione dei tempi richiesti da ogni fase della prova.

2.6 STUDIO PILOTA

Prima dell'avvio della raccolta dati, è stato effettuato lo studio pilota per verificare il funzionamento dei sistemi componenti il simulatore. Al riguardo sono stati invitati quattro guidatori occasionali (studenti del Politecnico). Alla fine della guida è stato chiesto loro di esprimere un giudizio sulla qualità dell'immagine, sulla veridicità dello scenario, sul traffico, sulle sensazioni di guida e sullo stato di malessere. Non essendo emersi particolari problemi, è stato possibile iniziare gli esperimenti utilizzando la procedura già descritta al paragrafo 2.5.2.

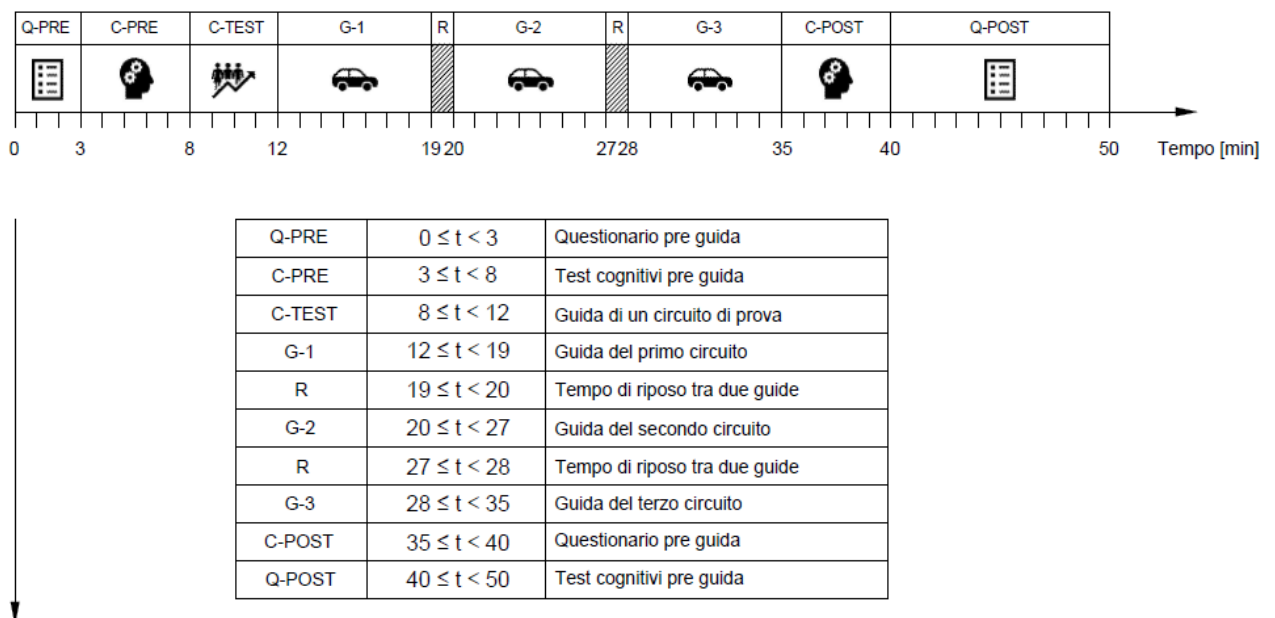


Figura 11 | Fasi e tempi dell'esperimento

3. RISULTATI

In questo capitolo vengono presentati i risultati ottenuti durante la fase di sperimentazione. Una grande quantità di dati è stata estratta: dati relativi ai questionari, dati relativi ai test cognitivi e dati registrati dal simulatore. La parte di dati utile allo studio è stata raccolta e opportunamente organizzata per la fase di analisi dei dati.

3.1 QUESTIONARI

3.1.1 Test cognitivi

I risultati dei test cognitivi (Grafico 2 e Grafico 3) rivelano che la simulazione non ha mediamente affaticato i test driver. Dai grafici si evince che la media dei valori del tempo di percezione e reazione agli stimoli uditivi e visivi nei test eseguiti prima e dopo la simulazione sono simili. Questo effetto è confermato dall' F - e dal t -test effettuati sui risultati ottenuti (Visivi: $F(47,47)=0.728$, $p=0.14$; $t(94)=-0.463$, $p=0.644$ | Uditivi: $F(47,47)=1.018$, $p=0.475$; $t(94)=0.087$, $p=0.93$). Questo dà conferma al fatto che la simulazione non ha alterato le capacità cognitive dei test driver.

Analizzando il comportamento dei singoli test driver è possibile osservare che, per il test visivo, i guidatori 5, 6, 7, 16, 27, 39 hanno registrato un valore del tempo di risposta più alto nel post guida rispetto al pre-guida. I test statistici, su questa sottoclasse del campione forniscono i seguenti risultati: $F(5,5)=1.283$, $p=0.396$; $t(10)=-3.56$, $p=0.005$. Tale effetto è riconducibile principalmente a due cause: la prima è che per la metà di essi era la prima esperienza di simulazione di guida. Come più volte ribadito il simulatore può causare malessere e quindi abbassamento dei riflessi e dell'attenzione. La seconda è che tutti i test driver considerati appartengono alla classe III, vale a dire di età superiore a 45 anni. È naturale che

all'aumentare dell'età il livello di concentrazione diminuisca e quindi a sua volta si riscontrino dei valori risposta superiore dopo aver effettuato un'attività impegnativa.

Guidatori "anomali" per il test uditivo sono invece 6,33 e34. I motivi di tale irregolarità, confermati dai test statistici ($F(2,2)=0.156$, $p=0.135$; $t(4)=-2.05$, $p=0.05$), sono gli stessi riscontrati nel caso del test visivo.

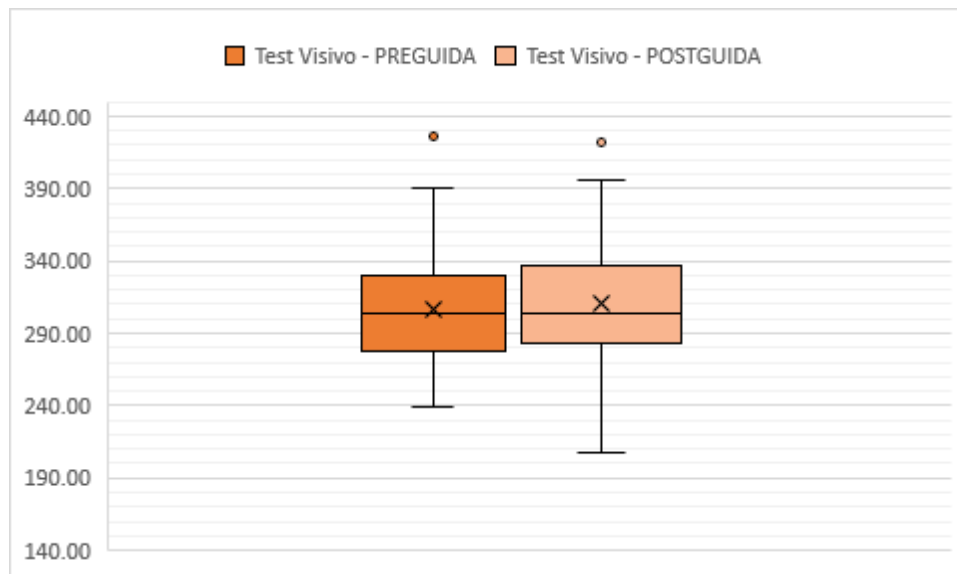


Grafico 2 | Risultati Visual Reaction Time

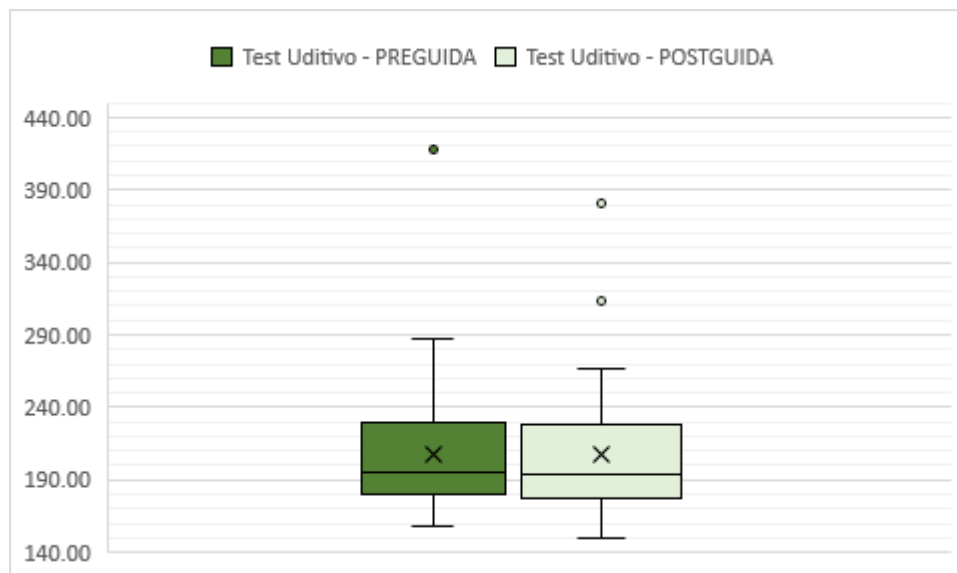


Grafico 3 | Risultati Auditory Reaction Time

3. RISULTATI

3.1.2 Sintomi post guida

La prima parte del questionario post guida è basata sulle sensazioni fisiche. Ad ogni conducente è stato chiesto di indicare se fosse stato percepito qualche sintomo tra quelli proposti. Il risultato dell'indagine è presentato nel Grafico 4.

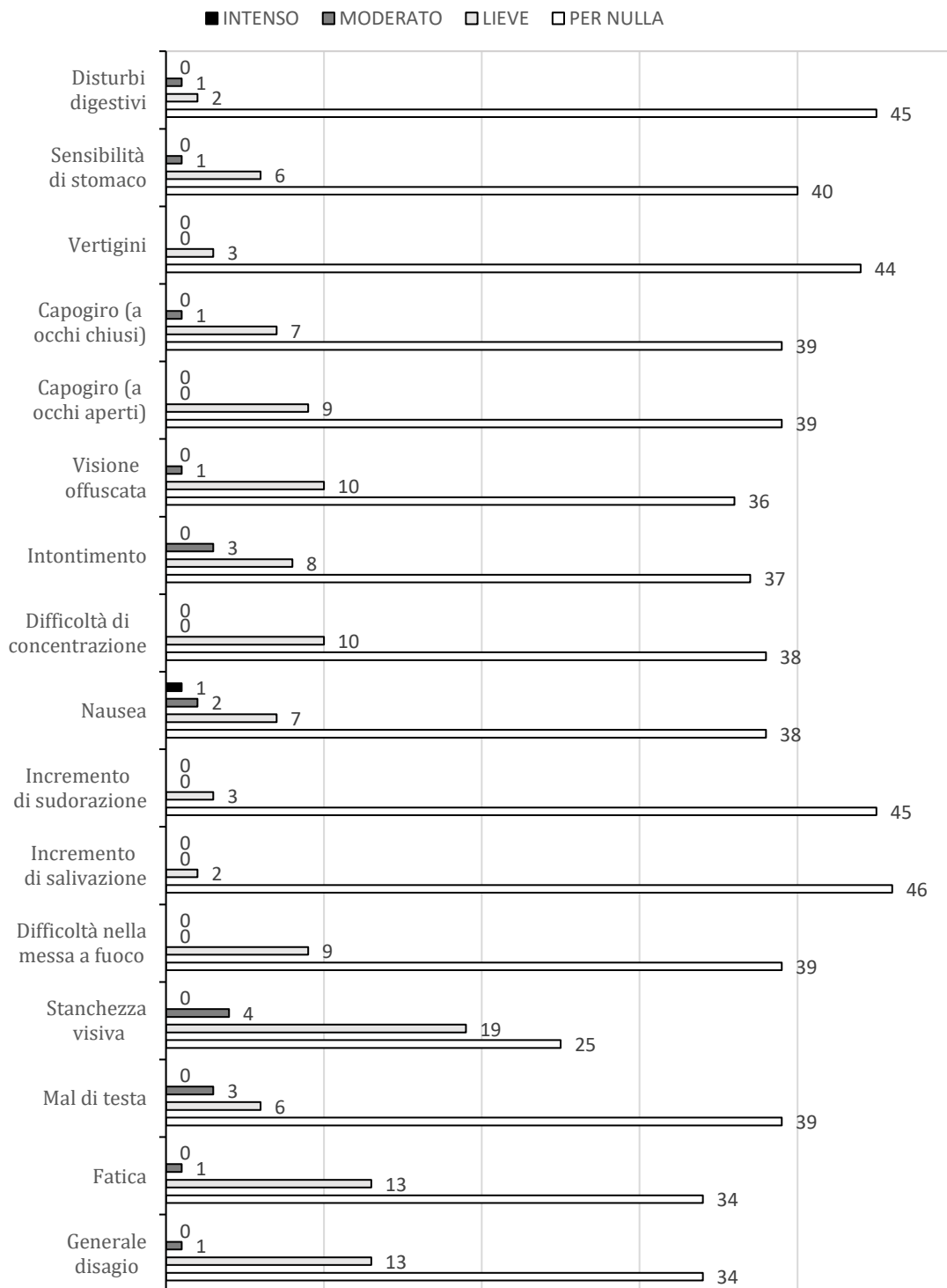


Grafico 4 | Conseguenze dell'esperimento

L'esperimento nella quasi per la totalità dei casi non ha creato particolari disturbi. Questo dato è molto significativo perché conferma la qualità dei dati raccolti, poiché i guidatori che non hanno manifestato alcun malessere hanno conservato le loro prestazioni nel corso dell'esperimento.

3.1.3 Valutazioni e impressioni sull'ambiente virtuale

La seconda parte del questionario verte sulle percezioni che il guidatore ha avuto relativamente alla guida nell'ambiente virtuale e la realtà dello scenario.

Ogni conducente ha espresso un giudizio sui seguenti aspetti:

- Presenza
- Sensazioni
- Immersione

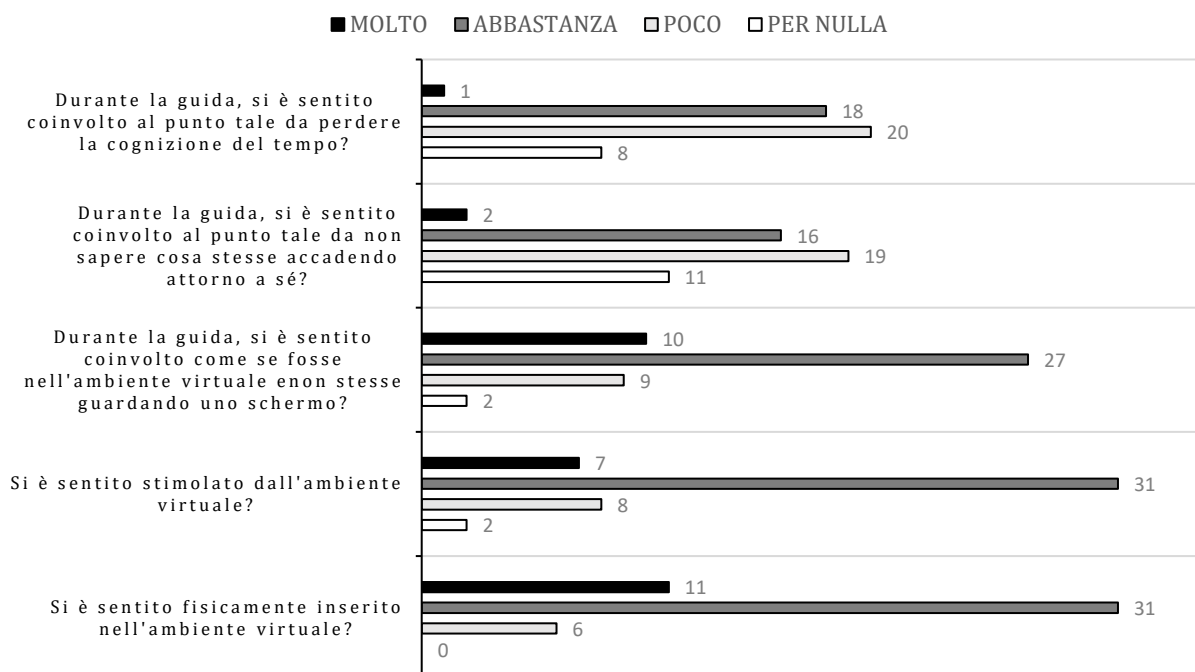


Grafico 5 | Presenza

3. RISULTATI

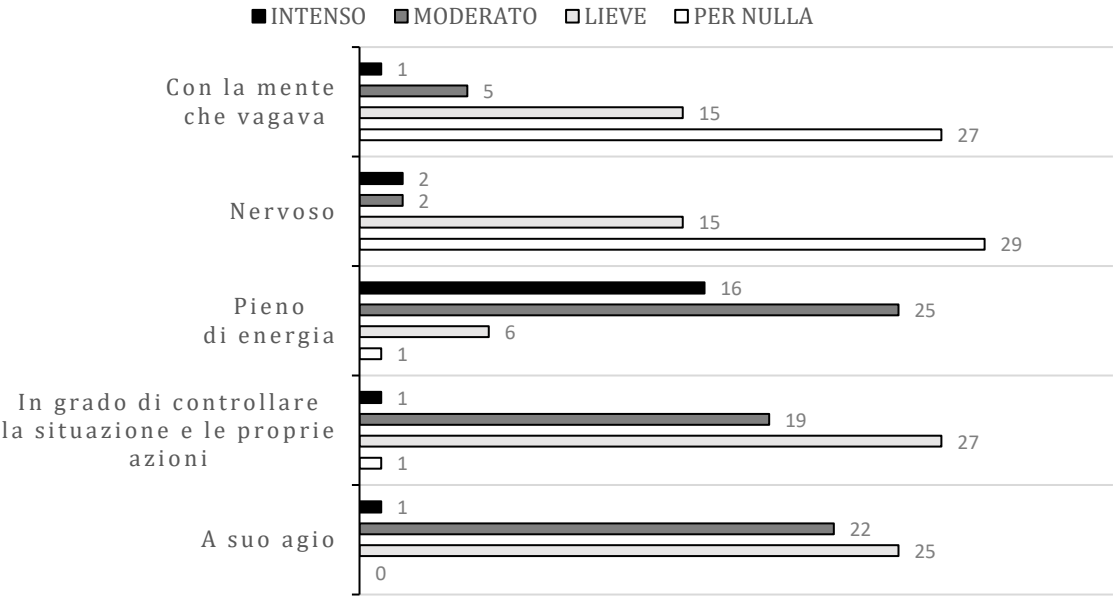


Grafico 6 | Sensazioni

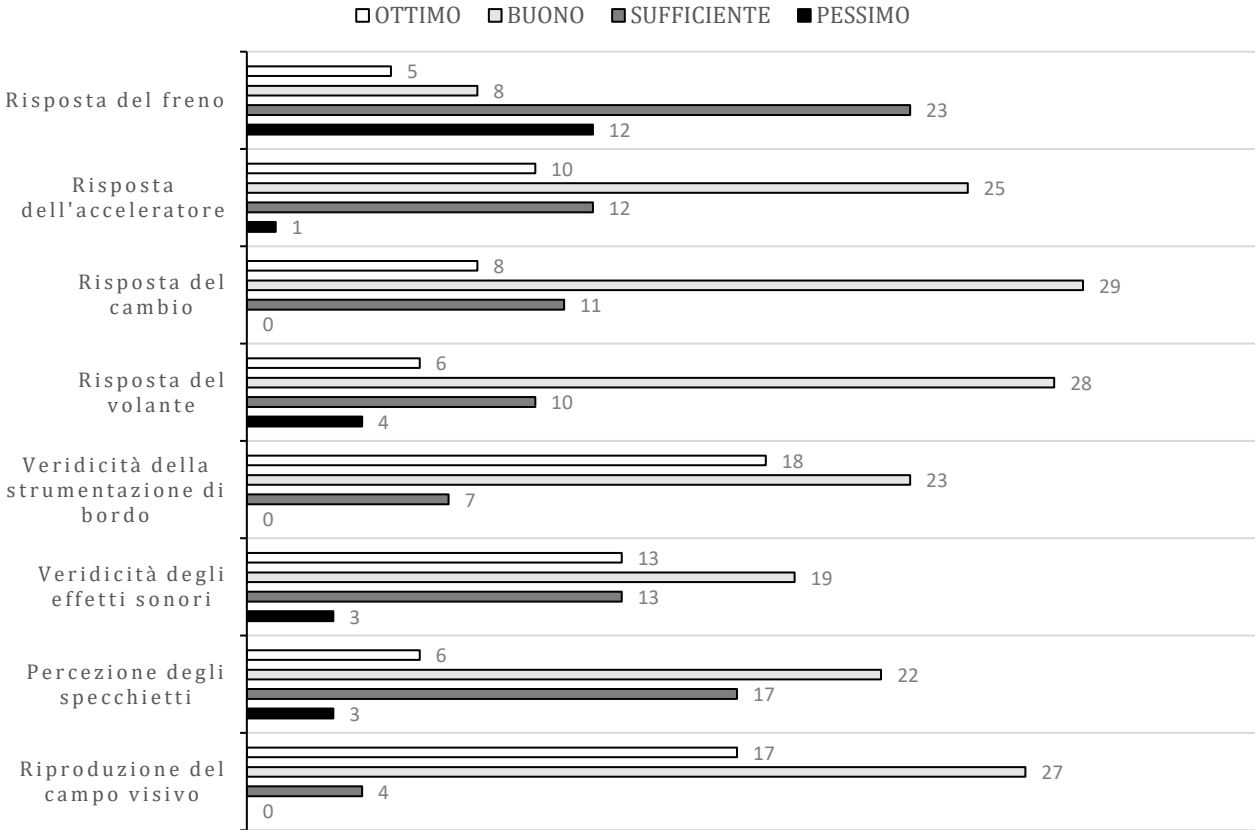


Grafico 7 | Immersione | Interazione con i dispositivi audio visivi e meccanici

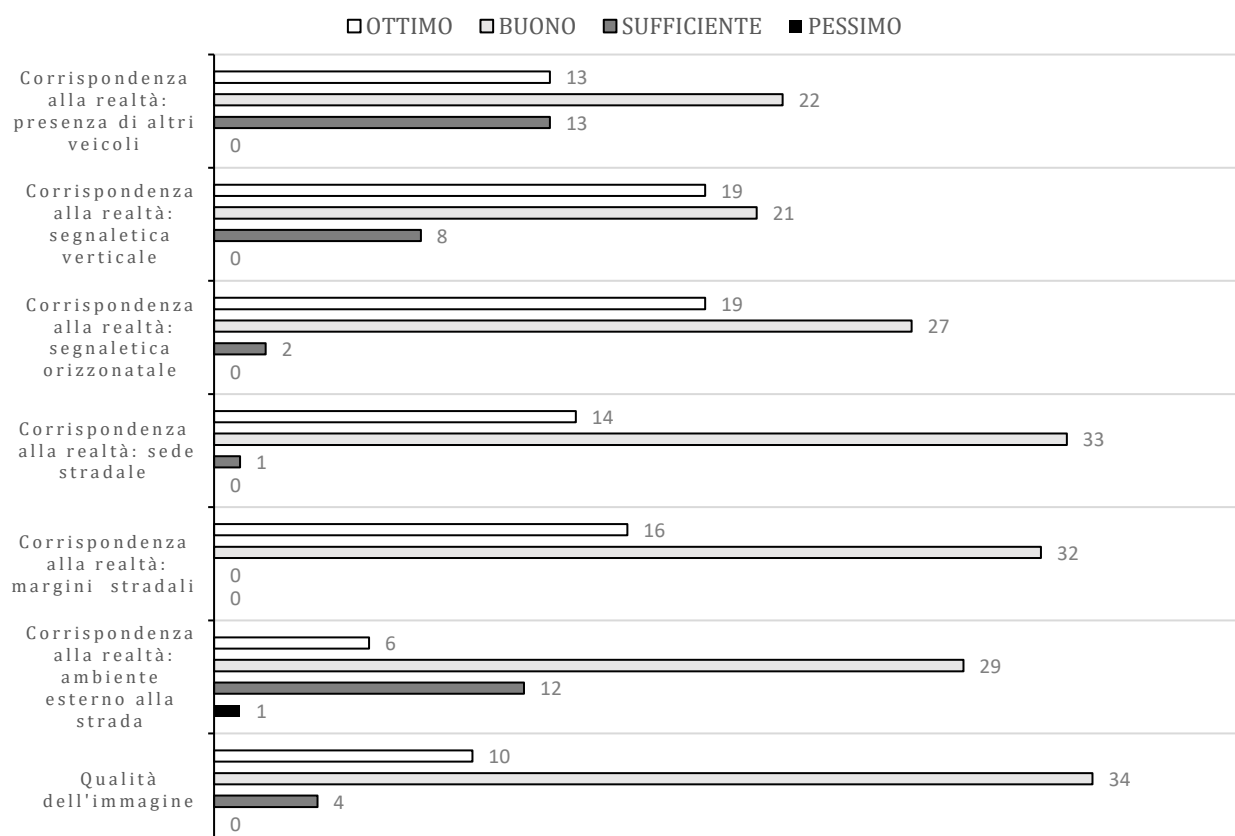


Grafico 8 | Immersione | Veridicità dello scenario stradale

I disturbi maggiormente avvertiti nel corso della guida simulata sono la stanchezza visiva, la fatica, e la visione offuscata. Tali malesseri sono stati riscontrati circa dal 25% del campione di test driver, disagi che comunque risultano di intensità lieve e quindi accettabili ai fini dell'esperimento poiché avvertiti per brevi periodi di tempo.

In linea generale, è possibile affermare che gli scenari somministrati al gruppo di test driver coinvolti non hanno causato problemi tali da invalidare i risultati raccolti nelle guide al simulatore. Quando ciò sia avvenuto, le occasioni sono state sporadiche e gli effetti limitati.

3.2 RACCOLTA DATI

La registrazione dei dati avviene nella sezione *analysis* di SCANeR™ studio. Questa modalità permette di estrarre informazioni come grafici, fogli di calcolo e video, con dati distinti per singoli test driver e con frequenza di acquisizione di 10 Hz.

Il software registra i dati in funzione del tempo e li distingue in relazione all'elemento del tracciato stradale in cui sono stati raccolti. Infatti, il dato spaziale non è riferito a un unico sistema di riferimento, ma è diverso per ogni tratto di strada costruito nella modalità *terrain*. In particolare, ogni volta che termina una sezione l'ascissa si annulla e riprende a crescere e così

via. Per avere il dato rispetto ad un unico sistema di riferimento bisognerebbe ogni volta aggiornare l'ascissa considerata con la somma delle lunghezze di tutti i tratti precedenti.

Questo modo di acquisizione del dato mette in difficoltà coloro che hanno bisogno di riferire i dati ad una determinata progressiva o posizione lungo l'asse di tracciamento.

La costruzione dello scenario ha portato a dover inserire molteplici sezioni per poter inserire le rampe vista la loro complessa geometria. Per tale ragione, la ricerca del dato è stata condotta attraverso la ricerca delle coordinate del centro di massa del veicolo. La modalità di acquisizione del dato è descritta al Paragrafo 3.3.

I dati raccolti dal simulatore e utili allo studio sono: (i) la velocità del veicolo, (ii) le ascisse relative alle singole sezioni (*road abscissa*), (iii) la posizione laterale rispetto all'asse della strada (*lane gap*), (iv) l'identificativo del tratto stradale (*road id*) e, come anticipato, (v) le coordinate del centro di massa del veicolo.

La velocità è la variabile di riferimento delle analisi di questo lavoro. L'ascissa relativa alla sezione riguarda la singola sezione (o tronco) di strada. Il *Lane gap* indica la distanza trasversale del centro di gravità del veicolo rispetto all'asse della corsia considerata. È utile nell'analisi del controllo della traiettoria del veicolo da parte dei guidatori. Il *Road id* individua il tronco stradale in cui il veicolo si trova. In questo studio, è stato utilizzato per determinare l'ascissa in cui il veicolo passa dalla strada principale alla corsia di decelerazione o dalla corsia di accelerazione alla strada principale. Infine, le coordinate del centro di gravità sono state utilizzate per la raccolta dei dati. Le coordinate sono riferite ad un unico sistema di riferimento locale, fissato nella fase di progettazione nella sezione *terrain*.

3.3 AGGREGAZIONE DEI DATI

I dati di posizione, ovvero le coordinate x e y dei punti della traiettoria riferiti al sistema di riferimento locale prescelto, sono stati utilizzati per poter determinare la traiettoria del veicolo. Le traiettorie sono state riprodotte graficamente tramite AutoCAD2018. Per ogni coordinata è stato possibile associare tutte le caratteristiche cinematiche sopra descritte.

Per ognuna delle quattro tipologie di rampa oggetto di indagine sono stati estratti i dati in tre siti specifici.

Per la corsia specializzata di accelerazione sono stati considerati: (i) il sito A corrispondente alla sezione in cui termina il tratto clotoidico della rampa; (ii) il sito B diverso per ogni test driver, corrispondente alla sezione in cui il guidatore lascia la corsia di accelerazione per passare alla corsia autostradale; (iii) il sito C corrispondente alla sezione in

cui termina l'ago di manovra. La Figura 12 mostra la posizione dei siti all'interno del terminale di accelerazione.

Per la corsia specializzata di decelerazione sono stati considerati: (i) il sito A, corrispondente alla sezione in cui inizia l'ago di manovra; (ii) il sito B, diverso per ogni test driver, corrispondente alla sezione in cui il guidatore lascia la strada principale per immettersi nella corsia di decelerazione; (iii) il sito C come la sezione in cui inizia il tratto clotoidico della rampa. La Figura 13 mostra la posizione dei siti all'interno del terminale di decelerazione.

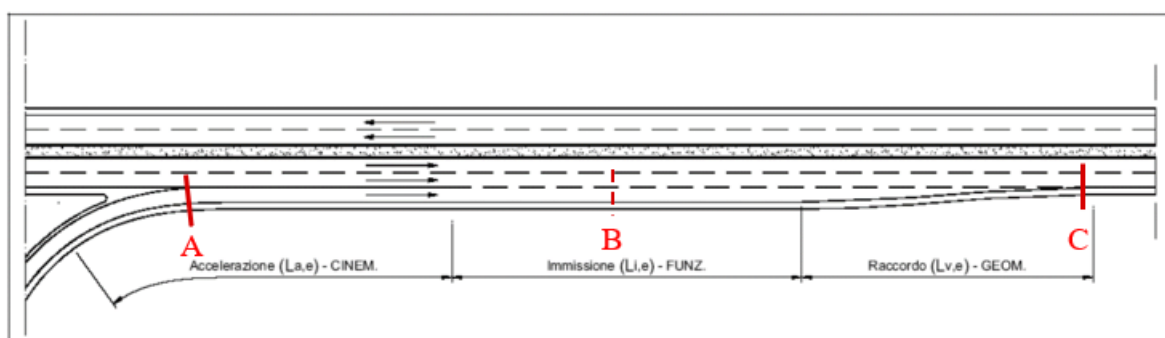


Figura 12 | Corsia Specializzata di accelerazione e posizione del Sito A,B,C

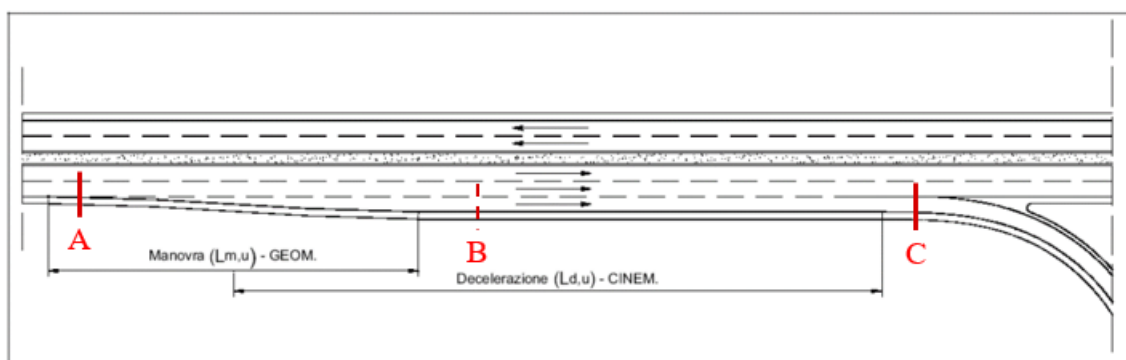


Figura 13 | Corsia Specializzata di decelerazione e posizione del Sito A,B,C

3.4 TEST DI NORMALITÀ

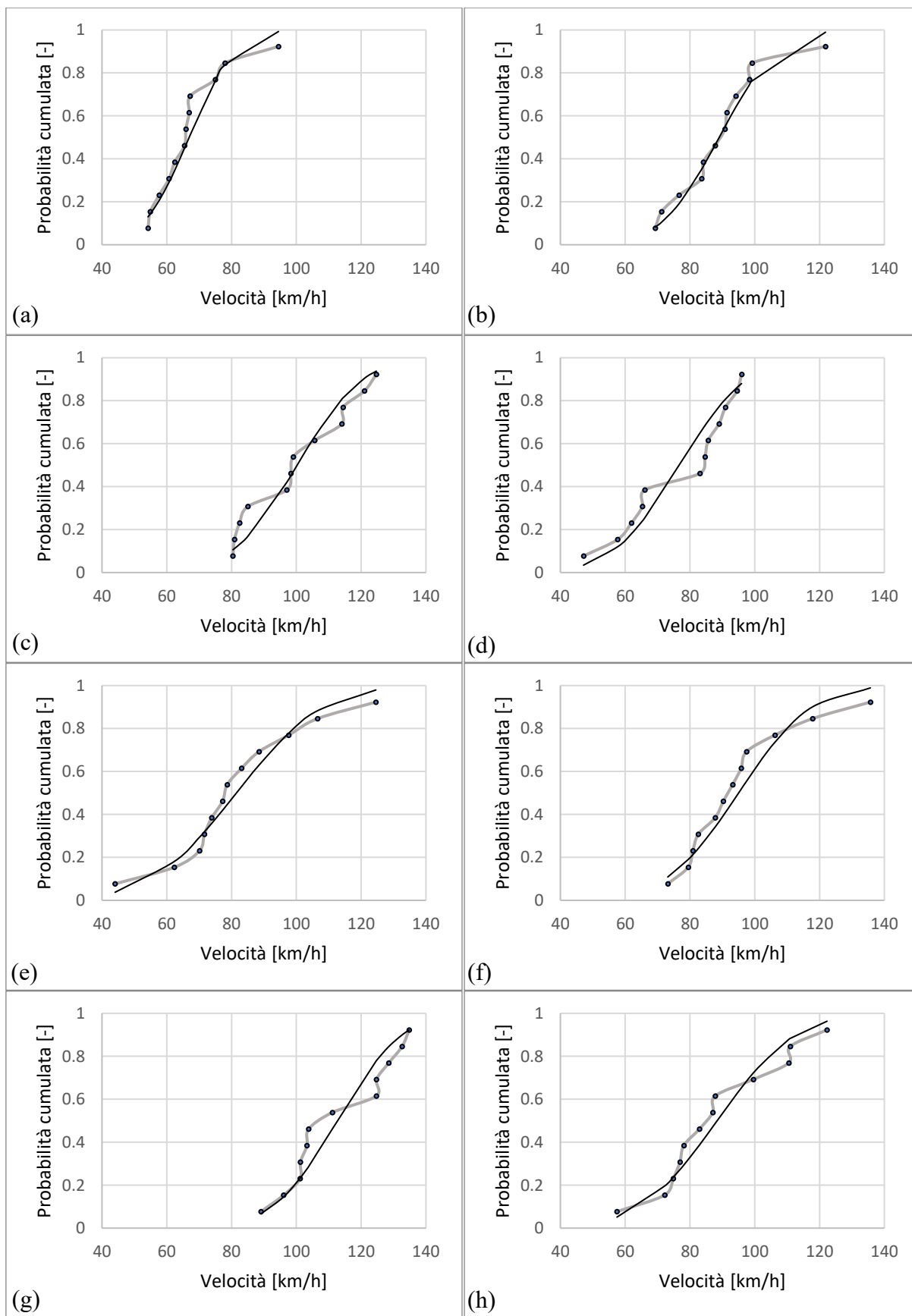
I dati aggregati nella forma descritta in precedenza, sono stati sottoposti al test statistico di Kolmogorov-Smirnov (KS-test). Questo test statistico permette di verificare l'ipotesi che la forma di una distribuzione empirica coincida con quella di una distribuzione campionaria. Nel caso in ispecie, il KS-test è stato utilizzato per confrontare le distribuzioni dei campioni di dati empirici con la distribuzione gaussiana determinata attraverso la media e la deviazione di quella empirica (sperimentale).

In astratto, data una variabile aleatoria X con funzione di distribuzione cumulativa $F(x)$ ed un campione $x_1, \dots, x_n$, ci si chiede se $x_1, \dots, x_n$ provenga ragionevolmente da X oppure no. Si avranno due funzioni cumulate di probabilità: quella sperimentale del campione $\hat{F}(x)$ e quella gaussiana $F(x)$. Si esegue la differenza delle due cumulate per ogni dato $D_i = \text{abs}(\hat{F}(x_i) - F(x_i))$. Se il valore massimo di D_i risulta inferiore ad un valore di significatività del 95%, allora il test può considerarsi superato. In caso contrario il test è rigettato. Il valore critico può essere espresso approssimativamente dalla seguente equazione:

$$D_{crit,0.05} = \frac{1.36}{\sqrt{n}}$$

dove n è la numerosità del campione.

Di seguito, a titolo esemplificativo, vengono riportati alcuni grafici che rappresentano il confronto tra la distribuzione teorica e quella sperimentale dei campioni di velocità sottoposti al test-KS (Grafico 9). Inoltre, si riporta la tabella dei risultati dei test. Tutti i test effettuati sono consultabili all'**Allegato K**.



—●— Distribuzione Empirica — Distribuzione Gaussiana

Grafico 9 | Test di Kolmogorov-Smirov

3. RISULTATI

La Tabella 12 riassume i risultati dei test relativi alle distribuzioni del Grafico 9. È possibile notare che tutti i test sono stati superati. La massima differenza tra la funzione cumulata sperimentale e la funzione teorica è sempre inferiore al valore critico. Da questo risultato si può affermare che i dati raccolti seguono una distribuzione normale e che possano essere sottoposti all'analisi della varianza (ANOVA).

I dati analizzati per determinare il comportamento dei guidatori sulle rampe sono: la velocità nei siti A, B e C, l'ascissa a cui il guidatore si è immesso o è uscito dalla strada principale e la distanza trasversale del veicolo rispetto all'asse della corsia. L'auto ha un ingombro, per cui la traiettoria considerata deve essere riferita ad uno specifico punto, per semplicità si è scelto il centro di gravità del veicolo. Tutte le analisi sono state fatte in riferimento a quel punto.

Prima di iniziare l'analisi anche i dati di ascissa e lane gap sono stati sottoposti al KS-test. I campioni sono stati comparati con una gaussiana e i risultati ottenuti presentano un risultato positivo al test (**Allegato K**).

Tabella 12 | Risultati del KS-test

Campione	Massima differenza $\hat{F}(\hat{x}_i) - F(x_i)$	$D_{crit,0.05}$	RISULTATO TEST
(a) <i>Vel.A Idx</i>	0,181	0.393	Superato
(b) <i>Vel.C Idx</i>	0,083		Superato
(c) <i>Vel.A Udx</i>	0,137		Superato
(d) <i>Vel.C Udx</i>	0,187		Superato
(e) <i>Vel.A Isx</i>	0,092		Superato
(f) <i>Vel.C Isx</i>	0,138		Superato
(g) <i>Vel.A Usx</i>	0,174		Superato
(h) <i>Vel.C Usx</i>	0,128		Superato

4. ANALISI DATI

Questo capitolo è dedicato alla discussione dei risultati ottenuti dalla sperimentazione. L'obiettivo principale di questo lavoro è di comprendere se la particolare geometria delle rampe influisca in qualche modo sul comportamento e sulle prestazioni dei guidatori. Sono stati analizzati separatamente i dati dei terminali di ingresso da quelli di uscita. Come evidenziato dall'ANOVA (Paragrafo 4.4) la tipologia di rampa (ingresso/uscita) incide significativamente sulla variabilità dei dati, per tale motivo è possibile rendere indipendenti le due analisi.

Dal punto di vista progettuale, si vuole comprendere se la progettazione dei terminali su tratti rettilinei può essere adottata anche per le rampe su tratti curvilinei. Sia per i terminali di ingresso sia per quelli di uscita sono stati approfonditi tre aspetti.

La prima analisi è quella relativa al raggio autostradale. Il collegamento geometrico tra la rampa e l'autostrada è influenzato dal raggio autostradale, in particolare la clotoide che collega il cerchio della rampa con il terminale ha una geometria diversa se i valori di raggio autostradale sono diversi e se la curvatura è positiva (verso destra nella direzione di marcia) o negativa (verso sinistra). La seconda analisi ha lo scopo di determinare il comportamento adottato dai guidatori quando la lunghezza del terminale è pari a quella minima suggerita dalle norme (lunghezza standard), oppure è incrementata o diminuita di un certo valore. Lo studio è stato condotto tenendo in considerazione la presenza di flussi di traffico sulla carreggiata autostradale per simulare la realtà. La terza analisi intende studiare le implicazioni del tipo di raccordo, di continuità o di flesso, nel controllo della traiettoria dei veicoli.

4.1 EFFETTI DEL RAGGIO AUTOSTRADALE NEL SITO A

Attraverso questa analisi si vogliono investigare gli effetti del raggio autostradale sul comportamento adottato dai guidatori nel tratto terminale della rampa. Il metodo utilizzato analizza i dati di velocità in una specifica sezione, dato uno specifico valore di raggio, e li confronta con i dati di velocità nello stesso segmento, ma con un valore di raggio differente.

La sezione esaminata è il sito A. Si ricorda che per sito A si intende la posizione in cui termina la clotoide della rampa (nel caso di rampa di ingresso) e la sezione in cui inizia l'ago di manovra (nel caso di diversione dall'autostrada), vedi Figura 12 e Figura 13.

Come descritto al paragrafo 3.3, sono stati aggregati i dati dei circuiti progettati con raggio R^* (1A, 1B, 1C, 2A, 2B, 2C) e i dati dei tracciati con raggio $R1$ (3A, 3B, 3C, 4A, 4B, 4C). Da ogni configurazione (che identifica uno specifico tracciato) possono essere estratte le velocità su ognuna delle quattro rampe presenti (I_{dx} , U_{dx} , I_{sx} , U_{sx}). Per ogni tipologia di rampa sono stati raccolti i dati di velocità (sito A). I valori sono mostrati sinteticamente con l'ausilio di box plot.

Il Grafico 10 e il Grafico 11 riportano i risultati dell'analisi rispettivamente per la rampa di ingresso avente curvatura destrorsa (I_{dx}) e per la rampa di ingresso avente curvatura sinistrorsa (I_{sx}). Per ogni grafico sono presenti due box: il primo rappresenta i dati di velocità osservati nel sito A con autostrada di raggio R^* pari a 964 m; il secondo box rappresenta i dati di velocità osservati nel sito A con autostrada di raggio $R1$ pari a 437 m.

I grafici permettono di osservare che per un raggio pari a 437 m ($R1$) i valori di velocità medi sono leggermente inferiori rispetto al caso di raggio 964 m (R^*). Nel caso del raggio $R1$ molti più guidatori si sono mantenuti sotto, o al più leggermente sopra, il limite imposto di 60 km/h. È possibile affermare che per le rampe di immissione con curvatura sia concorde (I_{dx}) che discorde (I_{sx}) a quella del tratto di strada principale, il raggio autostradale incide sulla velocità che i guidatori adottano in corrispondenza dell'inizio della corsia di immissione. Nel caso di rampa di immissione con clotoide di continuità (I_{dx}) le velocità al variare del raggio autostradale risultano significativamente diverse ($F(71,71)=1.063$, $p=0.398$; $t(142)=2.08$, $p=0.038$). Al contrario, nel caso di rampa di immissione con clotoide di flesso non si registrano significative differenze di velocità ($F(71,71)=1.186$, $p=0.236$; $t(142)=1.758$, $p=0.08$). Le differenze tra i due casi non sono eccessive per cui è possibile affermare che anche l'utilizzo di raggi di curvatura inferiori a R^* è ammesso, senza influire sulla sicurezza, anzi provocano un leggero abbassamento della velocità adottata.

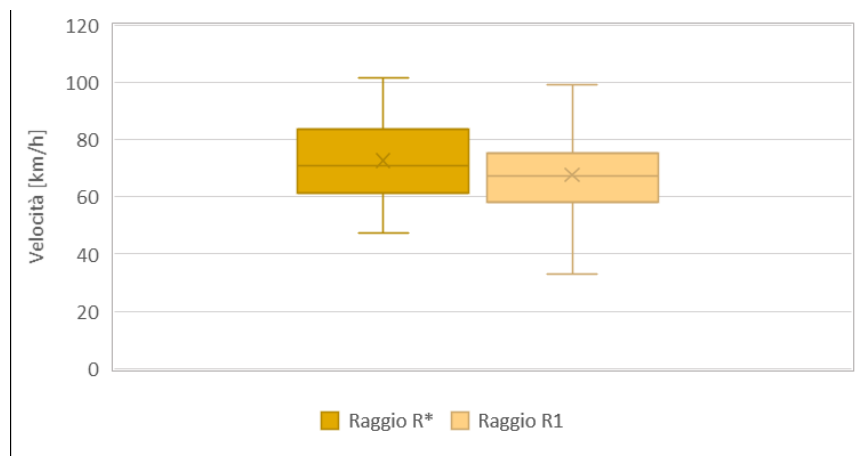


Grafico 10 | Velocità adottata dai guidatori nel Sito A | Rampa Idx (Immissione con clotoide di continuità)

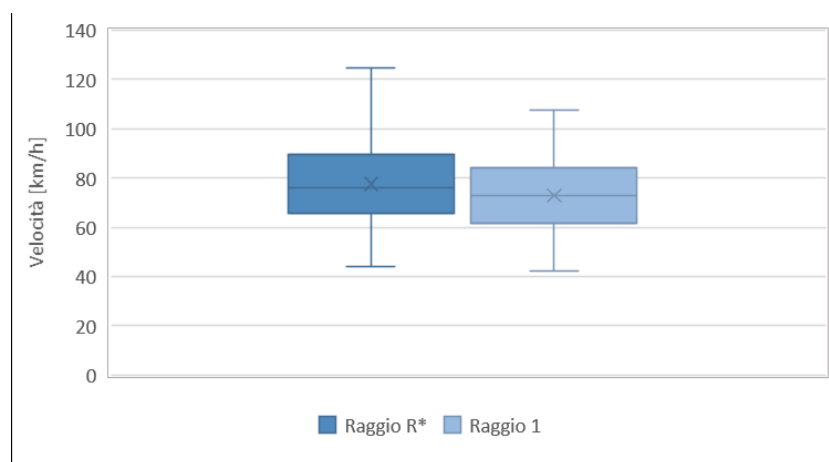


Grafico 11 | Velocità adottata dai guidatori nel Sito A | Rampa Isx (Immissione con clotoide di flessio)

Lo stesso tipo di analisi è stata effettuata per la manovra di diversione. Anche in questo si è analizzato il sito A e sono state aggregate le configurazioni che presentano raggio R* (964 m) e quelle con raggio R1 (437 m). In tutte le configurazioni il sito è preceduto da un tratto autostradale, quindi i dati non sono influenzati dalla lunghezza dei terminali né dalle condizioni di flusso, ma soltanto dal raggio autostradale. Per le rampe di uscita il sito A coincide con l'inizio dell'ago di manovra presente nella corsia specializzata di uscita.

Il Grafico 12 e il Grafico 13 riportano i risultati dell'analisi rispettivamente per la rampa di uscita avente curvatura destrorsa (Udx) e per la rampa di ingresso avente curvatura sinistrorsa (Usx). Sono presenti due box, il primo rappresenta i dati di velocità osservati nel sito A con autostrada di raggio R* pari a 964 m. Il secondo box rappresenta i dati di velocità osservati nel sito A con autostrada di raggio R1 pari a 437 m.

4. ANALISI DATI

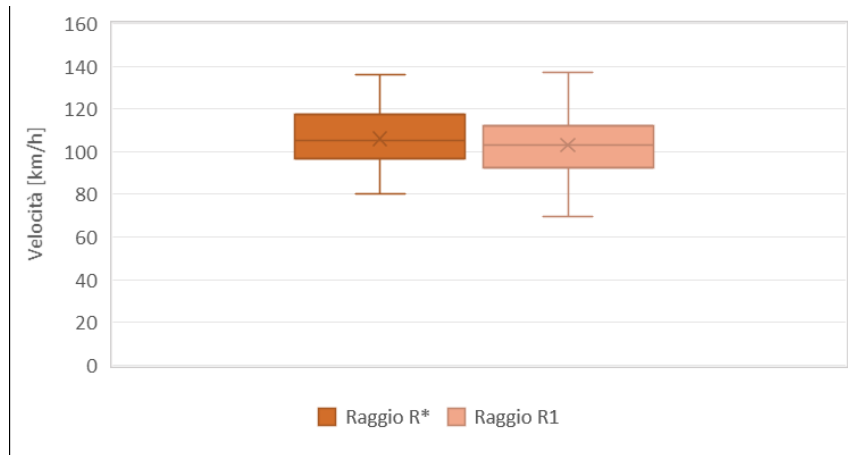


Grafico 12 | Velocità adottata dai guidatori nel Sito A | Rampa Udx (Diversione con clotoide di continuità)

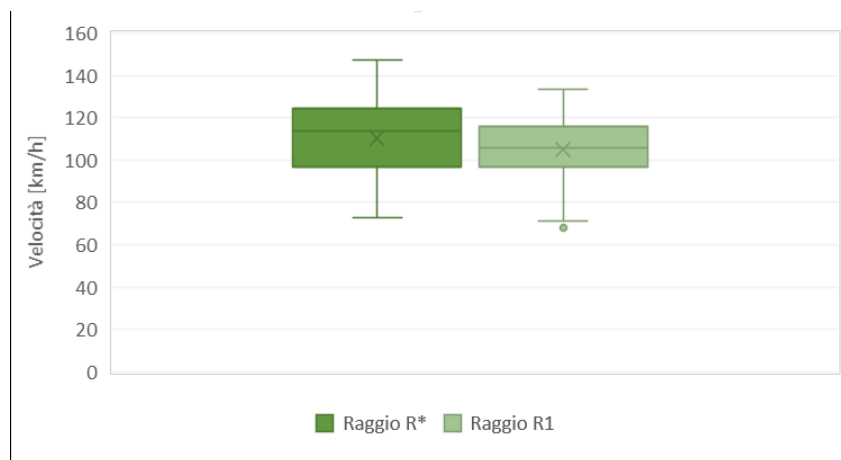


Grafico 13 | Velocità adottata dai guidatori nel Sito A | Rampa Usx (Diversione con clotoide di flesso)

Nel caso della manovra di diversione è possibile notare che in tutti i casi la velocità media adottata è sempre inferiore a 130 km/h. Questo fenomeno è già stato osservato da Calvi e De Blasis (2011). Si nota che i guidatori diminuiscono la loro velocità ancora prima dell'inizio dell'ago di manovra. Questo comportamento, quando accompagnato da brusche decelerazioni, può risultare pericoloso per i conducenti che si trovano dietro al veicolo che si appresta ad effettuare la manovra di diversione e che proseguono lungo la corsia autostradale. Quello che i guidatori notano è un veicolo che inizia a frenare ancora nel tratto autostradale. Tuttavia, se la fase di decelerazione avviene in contemporanea all'accensione dell'indicatore di direzione questo comportamento può ritenersi sicuro per chi segue.

Analizzando il comportamento del guidatore in funzione del raggio si osservano delle leggere differenze tra le velocità medie adottate quando il raggio è R* e le velocità medie adottate quando il raggio è R1. Anche nel caso di diversione è possibile affermare che il raggio influisce sulla velocità che il guidatore adotta all'inizio della fase di diversione, ma non in modo

significativo. I risultati dei t-test effettuati mostrano che per la rampa Udx il p-value è maggiore del 5% ($F(71,71)=0.895$, $p=0.321$; $t(142)=1.200$, $p=0.232$), quindi le differenze delle medie non risultano significative. Per la rampa Usx, invece, le differenze appaiono statisticamente significative ($F(71,71)=1.358$, $p=0.100$; $t(142)=2.137$, $p=0.034$).

In linea generale, sia per rampe di ingresso che di uscita valori di raggio inferiori a R^* provocano un lieve abbassamento delle velocità rispettivamente in ingresso e in uscita.

Ciò nonostante, i dati osservati fin ora non sono sufficienti a stabilire in assoluto l'influenza del raggio autostradale sulle rampe in curva. Bisogna analizzare il comportamento in tratti successivi all'inizio della corsia specializzata di accelerazione (nel caso di ingresso) e in tratti successivi all'inizio della corsia specializzata di decelerazione (nel caso di uscita).

Altri due fattori dell'esperimento possono influenzare il comportamento dei guidatori: la lunghezza del terminale e la condizione di traffico sull'autostrada, questi vengono analizzati nel paragrafo successivo.

4.2 LUNGHEZZA DEL TERMINALE, FLUSSO VEICOLARE E RAGGIO AUTOSTRADALE

Si valuta adesso il comportamento dei guidatori sull'intero sviluppo del terminale al variare delle lunghezze (dei terminali), del flusso veicolare e del raggio autostradale.

Per effettuare questa analisi sono stati registrati i dati del punto in cui il guidatore si immette nella corsia principale (sito B), nel caso di immissione, e i dati del punto in cui il guidatore si sposta nella corsia di decelerazione, nel caso di diversione. Il dato è riferito ad un sistema di riferimento locale. Nel caso di ingresso, l'origine è posizionata alla fine della clotoide della rampa. Nel caso di uscita, l'origine si trova all'inizio del tratto di manovra (Figura 14).

I grafici ottenuti, oltre a riportare l'ascissa a cui il guidatore ha effettuato il passaggio tra la corsia specializzata e la strada principale o viceversa, mostrano le velocità adottate nei tre siti e le accelerazioni o decelerazioni medie tra sito A e B e tra sito B e sito C.

Le quattro tipologie di rampa sono analizzate separatamente. Successivamente si riporta il confronto tra le due categorie di terminali di immissione e tra le due dei terminali di uscita.

Le traiettorie del veicolo che sono state considerate sono quelle generate dal centro di gravità dell'auto. Attraverso le coordinate si è risaliti alle traiettorie dei veicoli e si sono potute osservare e registrare i dati nelle sezioni di inizio e fine terminale (siti A e C) e nel punto in cui il guidatore effettua il cambio di corsia (sito B).

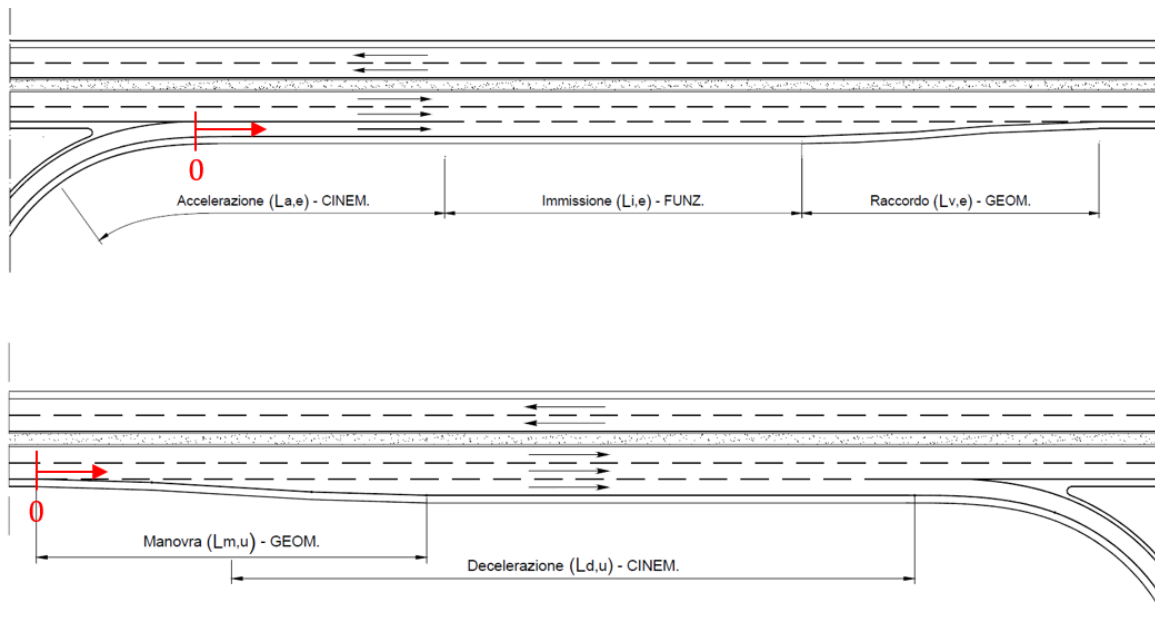


Figura 14 | Posizione dell'origine per le corsie specializzate di accelerazione e decelerazione

Al variare del raggio autostradale, della lunghezza dei terminali e del flusso veicolare, i grafici permettono di confrontare: il valore di ascissa corrispondente al punto in cui i guidatori effettuano la manovra di immissione o diversione; le velocità adottate in sezioni tipiche del terminale (siti A, B e C), le accelerazioni o decelerazioni medie tra i siti A-B e B-C.

4.1.1 Terminale di Immissione Continuo (Idx)

Nel seguente paragrafo si descrivono i dati registrati sul terminale di immissione, in cui la curvatura del raggio autostradale è concorde a quella della rampa (Figura 15). Il conducente inizia la manovra di immissione con lo sterzo orientato verso destra, in quanto segue la curvatura destrorsa dell'asse stradale. Per eseguire il passaggio dalla corsia di accelerazione alla carreggiata autostradale, egli dovrà gradualmente ruotare lo sterzo verso sinistra. La traiettoria risultante sarà simile a quella della linea rossa riportata in Figura 15.

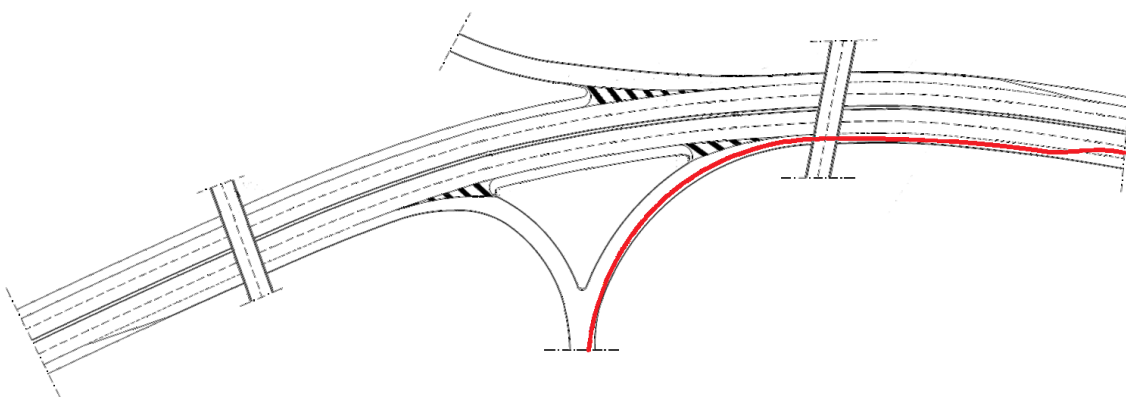


Figura 15 | Terminale di immissione continuo

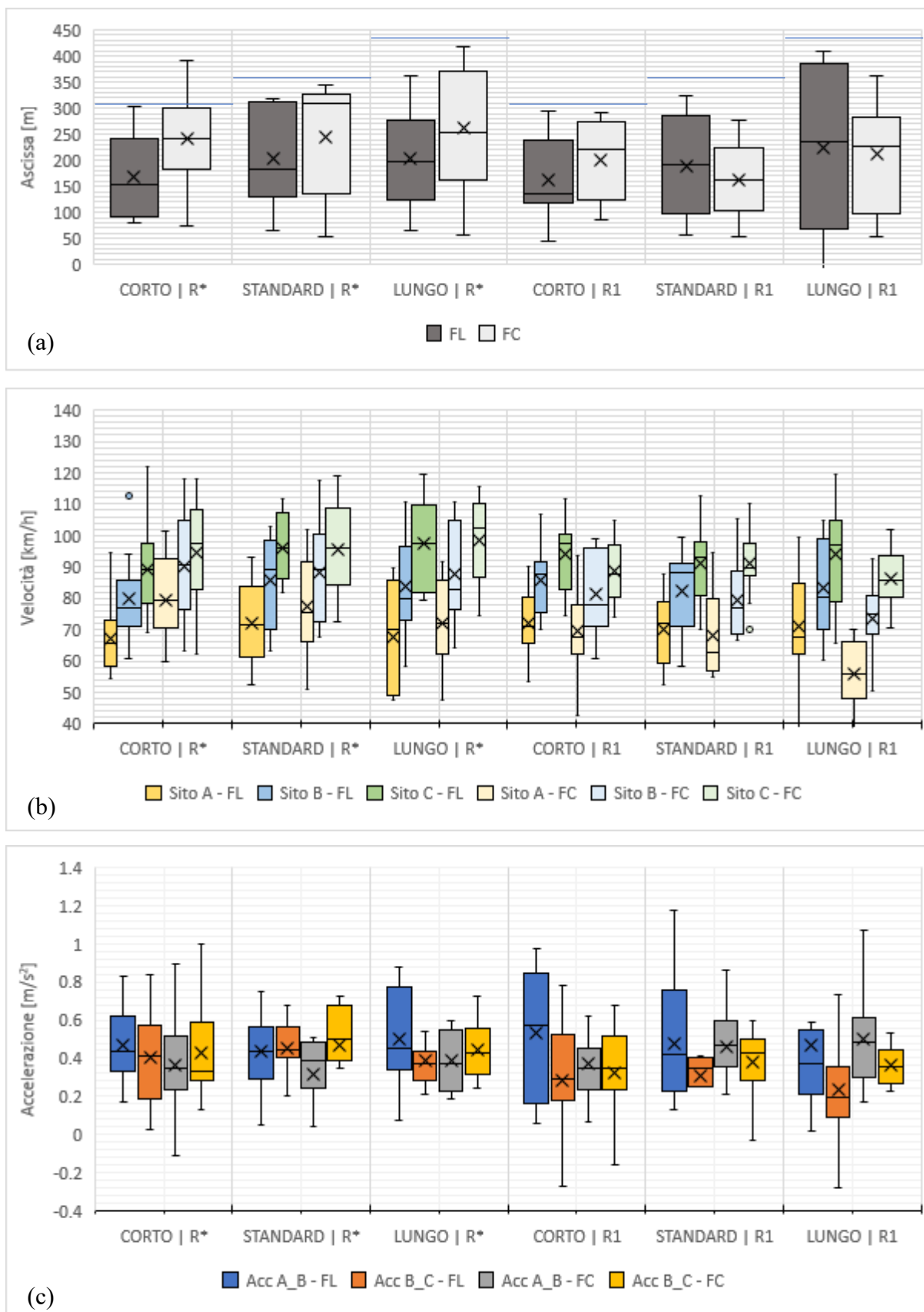


Grafico 14 | Terminale di immissione continuo | (a) Ascissa di immissione $R^*=964$ m e $R1=437$ m, (b) Velocità nei siti A,B,C $R^*=964$ m, e $R1=437$ m, (c) Accelerazioni medie tra i siti A-B e B-C $R^*=964$ m, $R1=437$ m

Nella manovra di immissione con lunghezza del terminale corto (310 m) e flusso libero, tutti i guidatori riescono ad inserirsi in autostrada prima del termine dell'ago di manovra. Quando il flusso è condizionato, parte dei *test driver* non riesce a completare la manovra entro i 310 m ed è quindi costretto a proseguire lungo la banchina dell'autostrada, riuscendo ad immettersi soltanto più avanti. Questa risulta una manovra molto rischiosa dal punto di vista della sicurezza, pertanto situazioni di questo tipo devono essere necessariamente evitate.

Nel caso di lunghezza del terminale standard (360 m), con flusso libero e condizionato, i conducenti concludono la manovra di immissione entro la fine del terminale, eseguendo un ingresso in autostrada sicuro.

Una dimensione del terminale lunga (435 m) spinge i guidatori ad utilizzare una maggiore lunghezza del terminale per effettuare l'immissione. Tuttavia, essi riescono a concludere la manovra entro la lunghezza disponibile in entrambe le condizioni di flusso.

In generale, quando il flusso è condizionato, i guidatori restano per un tempo maggiore sul terminale, immettendosi in autostrada ad ascisse maggiori rispetto al caso di flusso libero. Questa tendenza si inverte nei terminali standard e lungo in cui il raggio è pari a 437 m. La geometria più complessa ed un flusso condizionante inducono il guidatore ad avere un comportamento più attento. Ciò spinge il conducente a immettersi alla prima occasione disponibile per paura di non riuscire a completare la manovra facilmente.

In termini di velocità, si osservano differenze comportamentali al variare del raggio autostradale. Per il raggio R^* (964 m) le velocità adottate dai guidatori risultano significativamente più elevate in presenza di flusso condizionato rispetto al flusso libero ($F(11,11)=0.68$, $p=0.27$; $t(22)=-2.47$, $p=0.02$). Quando il flusso è libero, i conducenti tendono a scegliere la velocità indipendentemente da quella del flusso veicolare, in quanto le possibilità di immissione sono più elevate rispetto ad un alto flusso di traffico. Viceversa, in presenza di un flusso condizionato, i guidatori assumono velocità più elevate per potersi inserire più facilmente all'interno del flusso principale. Nei tracciati in cui il raggio autostradale è pari a $R1$ (437 m), si verifica un'inversione di tendenza. La velocità nel caso di flusso condizionato risulta significativamente inferiore rispetto al caso di flusso libero ($F(11,11)=1.88$, $p=0.15$; $t(22)=2.67$, $p=0.01$). Questo comportamento può essere giustificato dalla presenza di un raggio autostradale più piccolo che condiziona la geometria del terminale. In questa situazione i conducenti avvertono una maggiore difficoltà dell'effettuare la manovra di immissione, adottano un comportamento prudente e quindi tendono ad assumere velocità inferiori.

In riferimento alle accelerazioni medie, in presenza del raggio R^* si verificano differenze comportamentali al variare del flusso veicolare. Nel caso di flusso libero le accelerazioni sul tratto A-B (sul terminale) risultano superiori (ma non significativamente) rispetto al tratto B-C (sulla corsia autostradale) ($F(11,11)=3.29$, $p=0.03$; $t(22)=1.47$, $p=0.16$). Da ciò si può dedurre che i guidatori accelerano maggiormente lungo il terminale per effettuare la manovra di immissione. Dopo l'ingresso in autostrada, essi potranno regolare la loro velocità senza essere influenzati dal flusso veicolare, registrando accelerazioni più basse nella sezione B-C rispetto al tratto A-B.

In presenza di flusso condizionato si verifica un'inversione di tendenza. Le accelerazioni su B-C sono più grandi rispetto ad A-B ($F(11,11)=0.61$, $p=0.22$; $t(22)=-1.61$, $p=0.11$). I guidatori sul tratto B-C sono fortemente influenzati dalle velocità adottate dai veicoli autonomi. Si registrano accelerazioni maggiori, in quanto i conducenti sono vincolati dal flusso sull'autostrada che mediamente viaggia a 130 km/h. Dovranno quindi raggiungere velocità elevate in un minor tempo.

Nel caso di raggio R1 il comportamento dei guidatori si inverte, in quanto risulta più condizionante la geometria rispetto al flusso.

4.1.2 Terminale di Immissione Inflesso (Isx)

In questa sezione si interpretano i dati registrati sul terminale di immissione, in cui la curvatura del raggio autostradale è discorde a quella della rampa (Figura 16. A titolo di esempio in rosso è riportata una traiettoria della manovra di immissione).

Il conducente inizia la manovra di immissione con lo sterzo già orientato nella stessa direzione della curvatura (sinistrorsa) dell'asse stradale. Per effettuare il passaggio dalla corsia di accelerazione alla carreggiata autostradale, egli dovrà solamente incrementare l'angolo di sterzata.

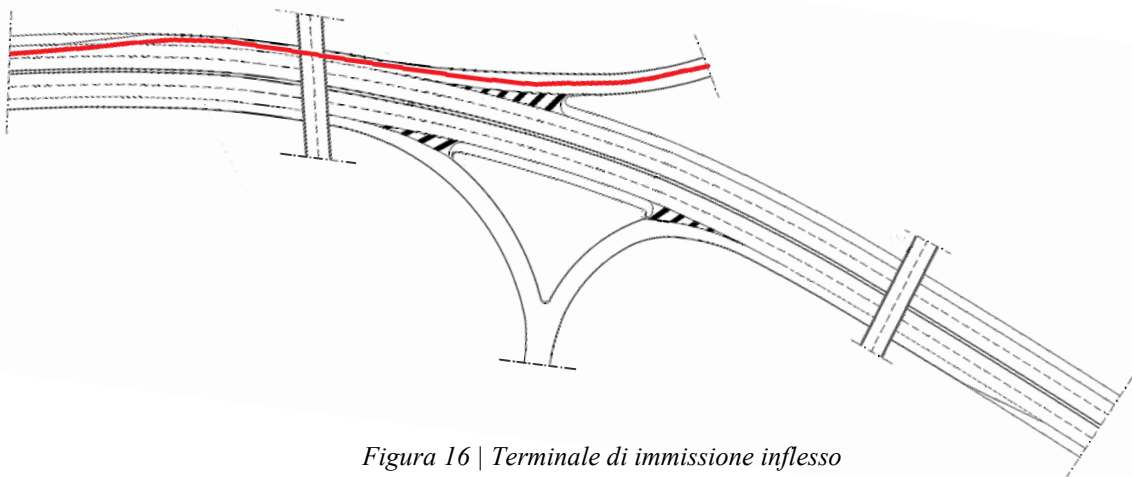


Figura 16 | Terminale di immissione inflesso

4. ANALISI DATI

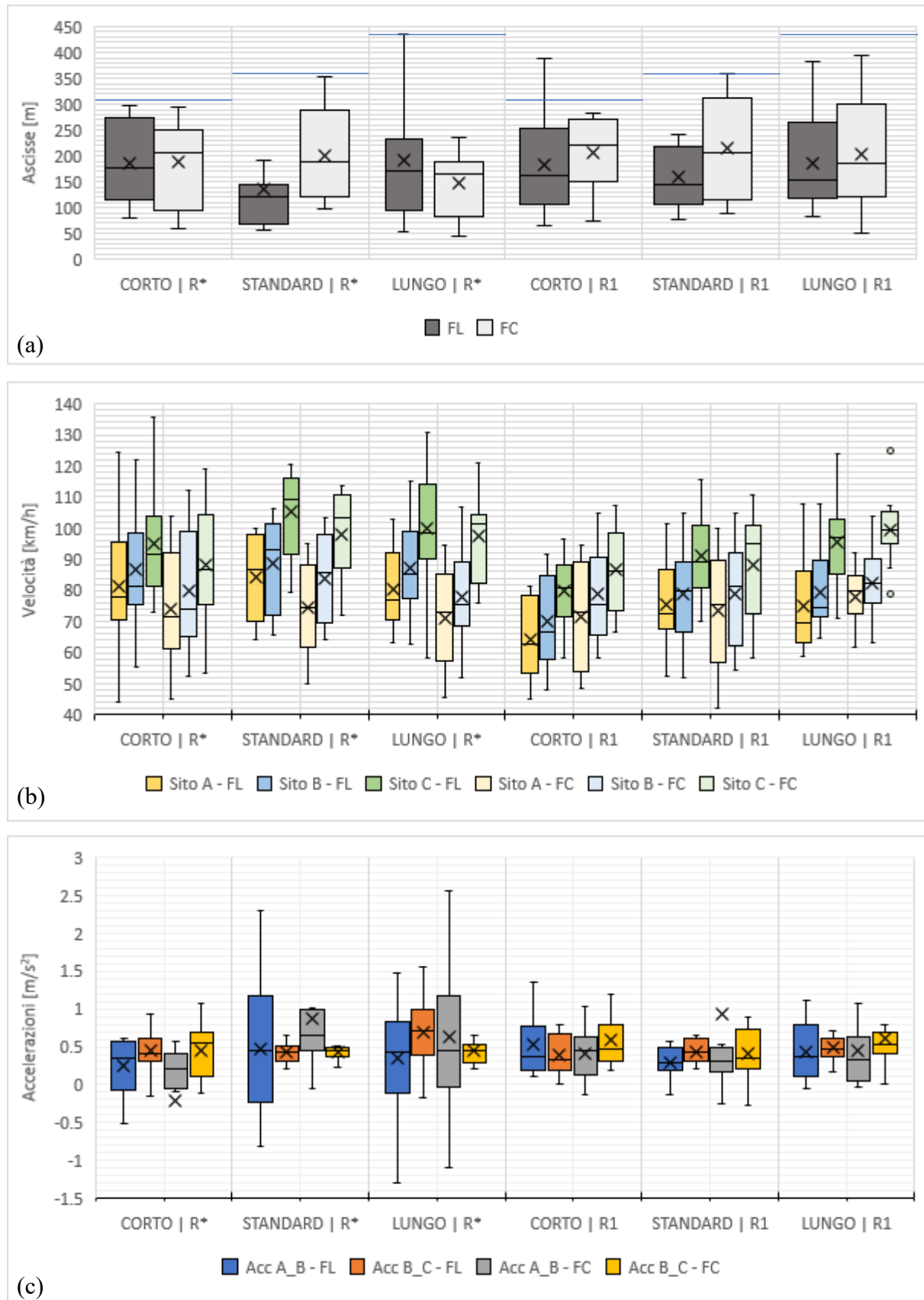


Grafico 15 | Terminale di immissione Inflexso | (a) Ascissa di immissione $R^*=964$ m e $R1=437$ m, (b) Velocità nei siti A,B,C $R^*=964$ m, e $R1=437$ m, (c) Accelerazioni medie tra i siti A-B e B-C $R^*=964$ m, $R1=437$ m

Il grafico rappresentante le ascisse a cui il guidatore effettua il cambio di corsia mostra dei valori di lunghezza di immissione superiori quando il flusso veicolare è condizionato indipendentemente dal raggio autostradale considerato.

Nel caso di raggio 964 m, i conducenti riescono a concludere la manovra di immissione entro la fine dell'ago di manovra sia nel caso di lunghezza del terminale corta che standard. Nel caso di raggio 437 m non tutti i guidatori riescono a concludere la manovra entro i 310 m (terminale corto). Tuttavia, in generale, si nota un abbassamento dei box plot che rappresentano l'ascissa del punto di immissione in autostrada, rispetto al caso di terminale di immissione continuo (Idx Figura 15). Ciò indica una maggiore facilità nell'effettuare la manovra di immissione quando il terminale è inflesso rispetto a quando è continuo.

Questo può essere giustificato dal fatto che il guidatore effettua la sterzata da destra verso sinistra lungo l'inflessione, prima di immettersi nel terminale. Al contrario, lungo il terminale continuo (Idx) la sterzata deve avvenire in contemporanea all'immissione. Dover effettuare contemporaneamente due operazioni (immissione e doppia sterzata) provoca difficoltà ai guidatori, richiedendo un maggior impegno cognitivo. Per tale ragione, essi avranno bisogno di più tempo per immettersi in autostrada e quindi maggiore spazio.

Confrontando i dati di velocità dei terminali Idx e Isx nel sito B, cioè nel punto in cui i guidatori si immettono nella strada principale, non si registrano differenze significative tra i valori di velocità nei due terminali. Tale assunzione è stata rafforzata con l'ausilio del test statistico t-student (Tabella 13).

Tabella 13 | Test t-student sulle velocità nel sito B tra terminale Idx e Isx

Raggio autostradale	Flusso	Lunghezza terminale	F(11,11)	p(F ≤ f)	t(22)	P(T ≤ t)
R*	Libero	Corto	0.48	0.12	-1.03	0.31
		Standard	0.93	0.45	-0.56	0.58
		Lungo	1.10	0.44	-0.51	0.62
	Condizionato	Corto	0.81	0.37	1.41	0.17
		Standard	1.26	0.36	0.74	0.47
		Lungo	1.08	0.45	1.44	0.16
R1	Libero	Corto	0.55	0.18	3.03	0.01
		Standard	0.86	0.41	0.56	0.58
		Lungo	1.47	0.27	0.71	0.48
	Condizionato	Corto	0.69	0.28	0.41	0.69
		Standard	0.56	0.18	0.11	0.92
		Lungo	1.12	0.43	-1.84	0.08

4.1.3 Terminale di Diversione Continuo (Udx)

In questa sezione si esaminano i dati registrati sul terminale di diversione, in cui la curvatura del raggio autostradale è concorde a quella della rampa (Figura 17).

Il conducente inizia la manovra di uscita con lo sterzo già orientato nella stessa direzione della curvatura (destrorsa) dell'asse stradale. Per effettuare il passaggio dalla corsia dell'autostrada alla corsia di decelerazione, egli dovrà solamente incrementare l'angolo di sterzata.

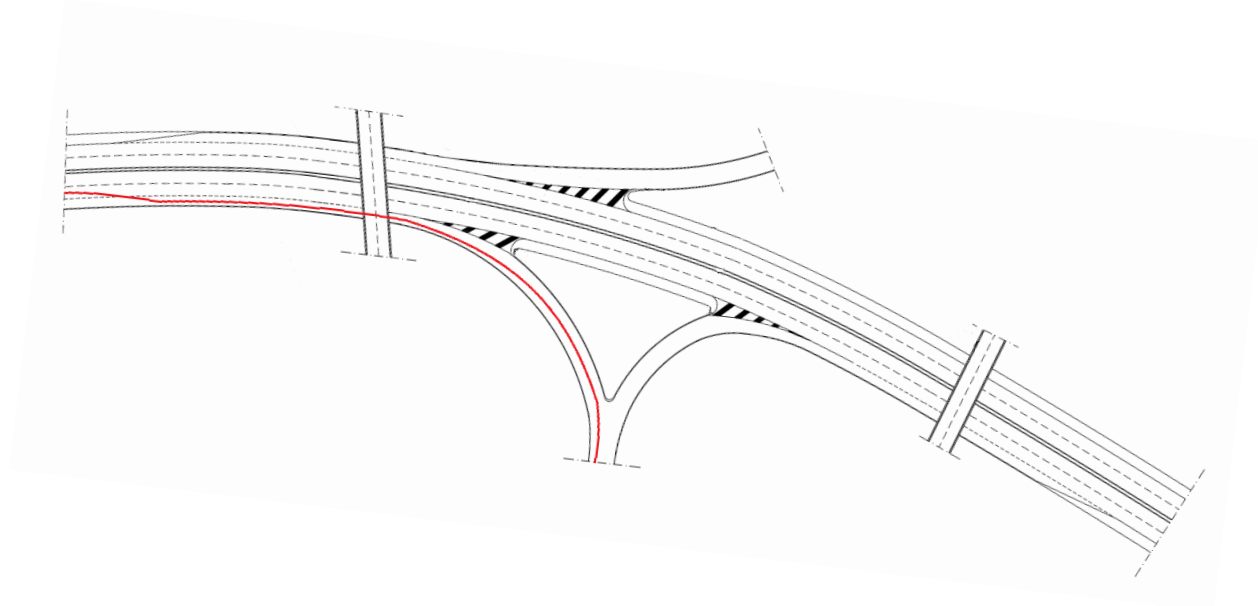


Figura 17 | Terminale di diversione continuo

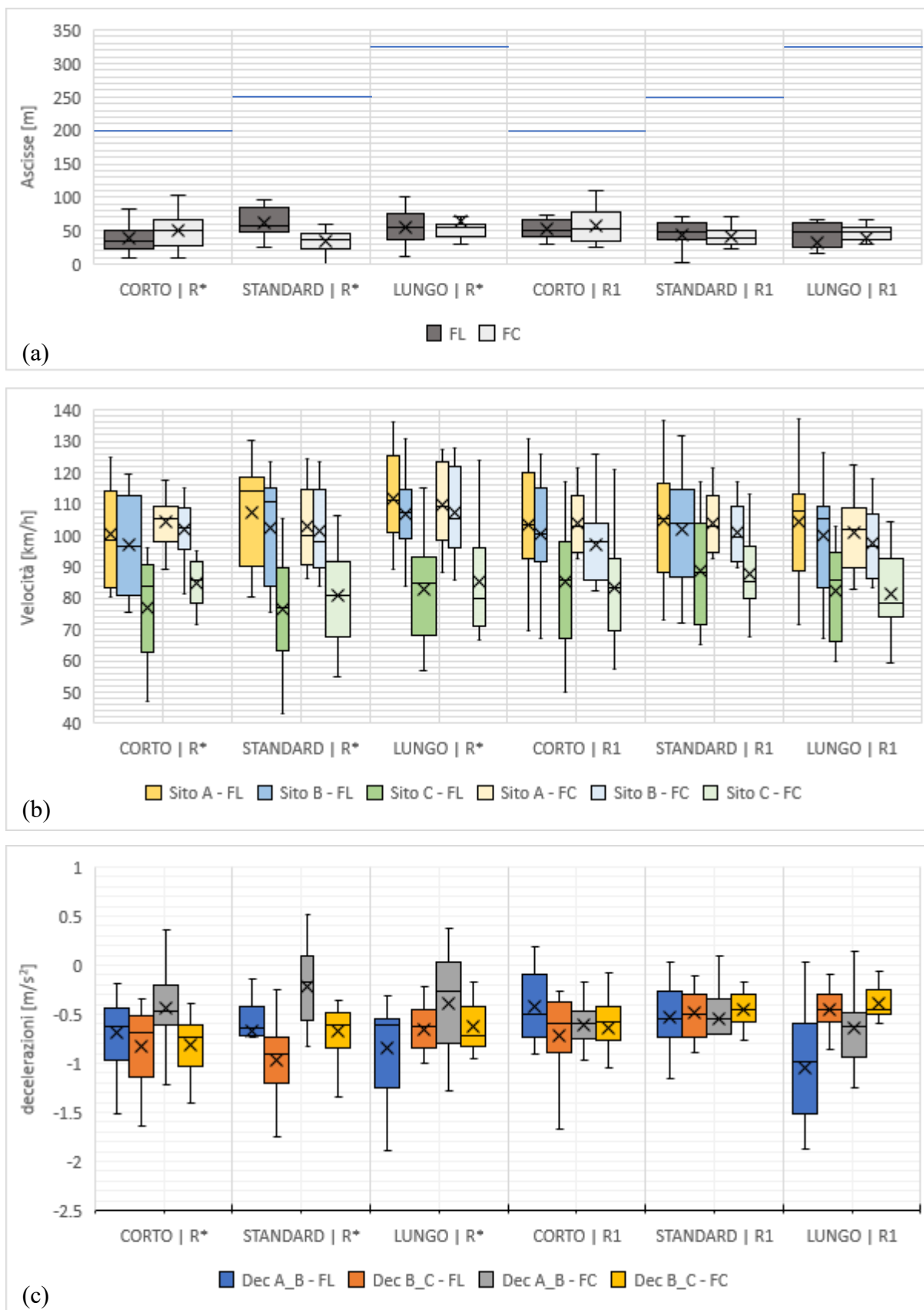


Grafico 16 | Terminale di Deviazione Continuo | (a) Ascissa di diversione $R^*=964$ m e $R1=437$ m, (b) Velocità nei siti A,B,C $R^*=964$ m, e $R1=437$ m, (c) Decelerazioni medie tra i siti A-B e B-C $R^*=964$ m, $R1=437$ m

La prima osservazione riguarda il flusso veicolare. Esso non ha un'influenza sul comportamento dei guidatori che si apprestano ad effettuare una manovra di diversione ($F(11,11)=0.57$, $p=0.19$; $t(22)=-1.31$, $p=0.20$). I veicoli autonomi viaggiano soltanto nel tratto autostradale, quindi la loro influenza sulla manovra è ridotta. Anche la lunghezza del terminale e il raggio autostradale non influiscono sulle prestazioni dei conducenti ($F(11,11)=0.54$, $p=0.16$; $t(22)=0.63$, $p=0.53$), tutti i guidatori divergono dalla carreggiata autostradale entro 100 m dall'inizio del terminale di uscita.

Analizzando le velocità, indipendentemente dai tre fattori dell'esperimento, i guidatori iniziano a rallentare successivamente all'immissione nel terminale. Le velocità nel sito A e B sono molto simili tra di loro ($M_A=104,7$ km/h, $SD_A=14,5$ km/h; $M_B=101,1$ km/h, $SD_B=14,4$ km/h), invece nel sito C la velocità è nettamente inferiore ($M_C=82,9$ km/h, $SD_C=15,6$ km/h).

Questo comportamento si nota anche analizzando le decelerazioni medie. Per i tratti corto e standard del terminale, le decelerazioni sono superiori (in valore assoluto) nel tratto B-C rispetto al tratto A-B. Viceversa, quando il terminale è lungo, essendo il tratto B-C molto esteso le decelerazioni medie registrate sono più basse (in valore assoluto) perché i guidatori hanno più spazio per frenare. Tuttavia, le uscite nei tratti corti e standard restano sicure perché i valori di decelerazione sono nettamente inferiori a 3 m/s^2 (valore suggerito dalla norma italiana).

4.1.4 Terminale di Diversione Inflesso (Usx)

In questa sezione si esaminano i dati registrati sul terminale di diversione, in cui la curvatura del raggio autostradale è discorde a quella della rampa (Figura 18).

Il conducente inizia la manovra di uscita con lo sterzo orientato nella direzione della curvatura (sinistrorsa) dell'asse stradale. Per effettuare il passaggio dalla corsia dell'autostrada alla corsia di decelerazione, egli dovrà gradualmente ruotare lo sterzo verso destra.

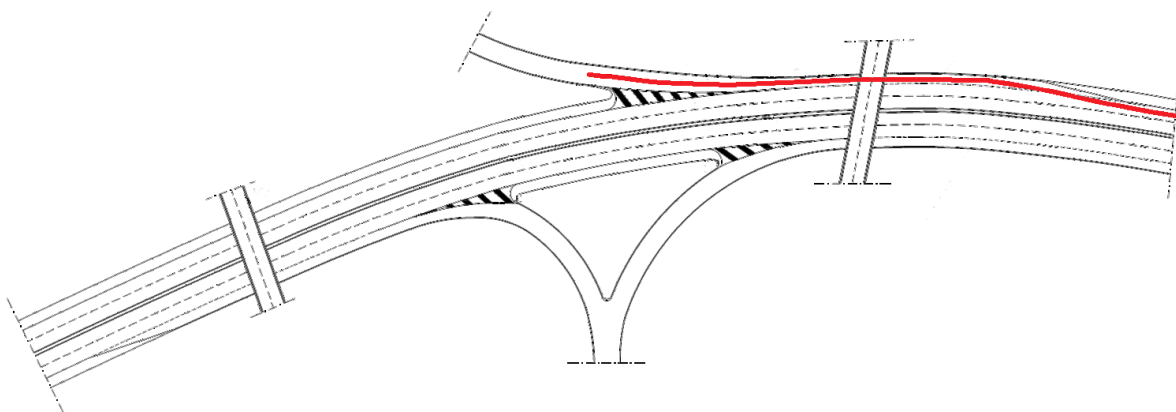


Figura 18 | Terminale di diversione Inflesso

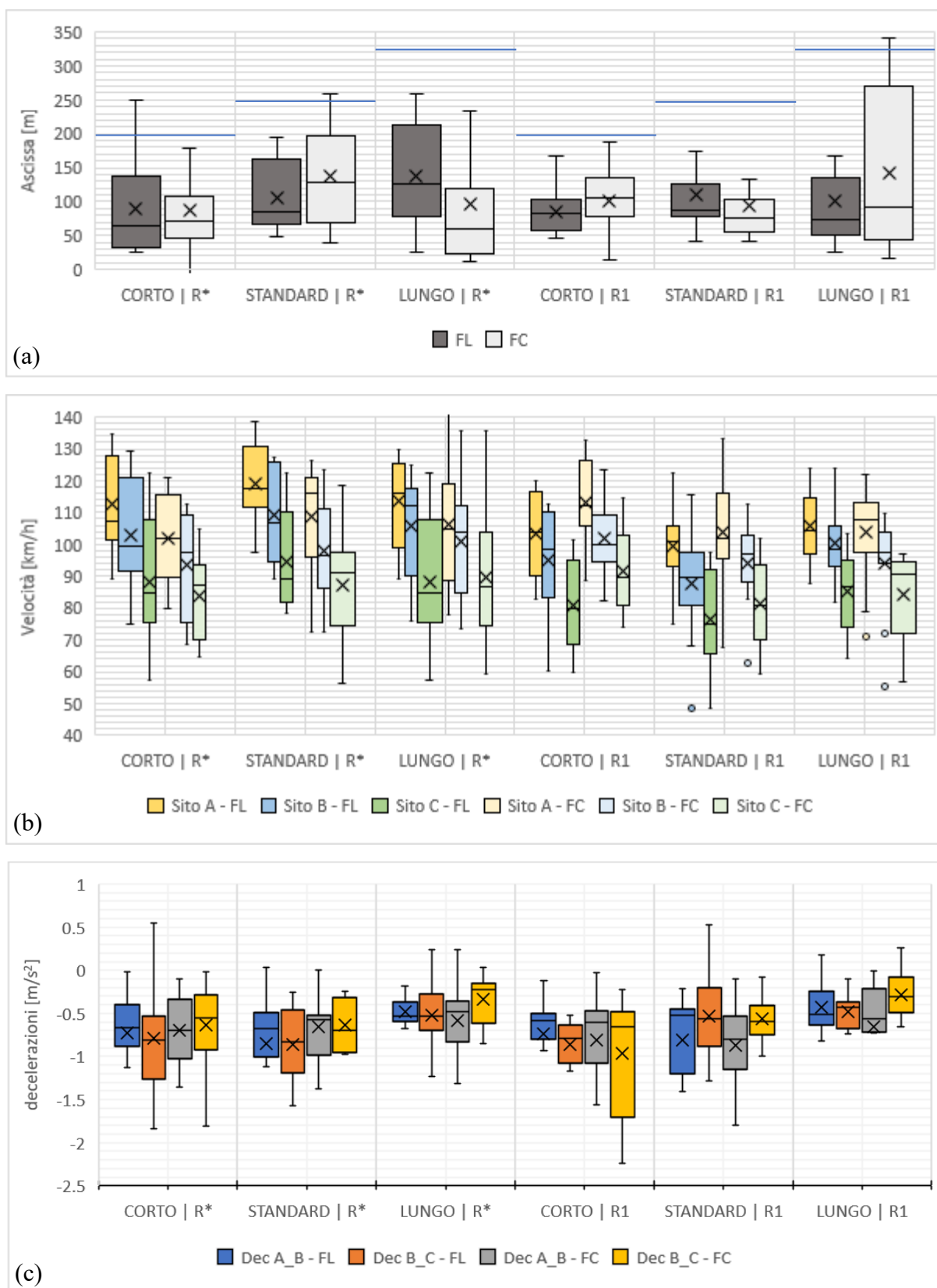


Grafico 17 | Terminale di Deviazione Inflexso | (a) Ascissa di diversione $R^*=964$ m e $R1=437$ m, (b) Velocità nei siti A,B,C $R^*=964$ m, e $R1=437$ m, (c) Decelerazioni medie tra i siti A-B e B-C $R^*=964$ m, $R1=437$ m

Come nel caso dell'uscita Udx, il flusso veicolare non influenza il comportamento dei conducenti. Fondamentale è il confronto tra il comportamento dei guidatori che si accingono ad effettuare la manovra di uscita sul terminale continuo (Udx) e quelli che affrontano la stessa manovra sul terminale inflesso (Usx).

Si nota, che i valori di ascissa del punto in cui i guidatori escono dalla carreggiata autostradale, risultano più elevati nel caso di terminale inflesso. Ciò testimonia una maggiore difficoltà ad uscire in un terminale inflesso rispetto ad un terminale continuo. Questa tendenza si riscontra perché i guidatori che affrontano la diversione su terminale inflesso devono effettuare un cambio di curvatura, a differenza del caso continuo in cui non si deve effettuare un cambio di curvatura.

Analizzando il Grafico 17(b), si nota che i guidatori iniziano a diminuire la loro velocità prima di immettersi sul terminale. Al contrario, sul terminale di diversione continuo i guidatori frenano dopo essere entrati nella corsia di decelerazione.

4.3 CONTROLLO DELLA TRAIETTORIA NELLE CLOTIDI DI CONTINUITÀ E DI FLESSO

Questa analisi si effettua attraverso il calcolo della deviazione standard della posizione laterale (SDLP). Tale misura esprime la quantità di oscillazione (in inglese *weaving*) del veicolo e in quanto tale dà la misura della capacità di controllo della traiettoria del veicolo da parte del guidatore. La Figura 19 illustra due esempi i cui valori di SDLP individuano due traiettorie con diverso grado di controllo del guidatore.

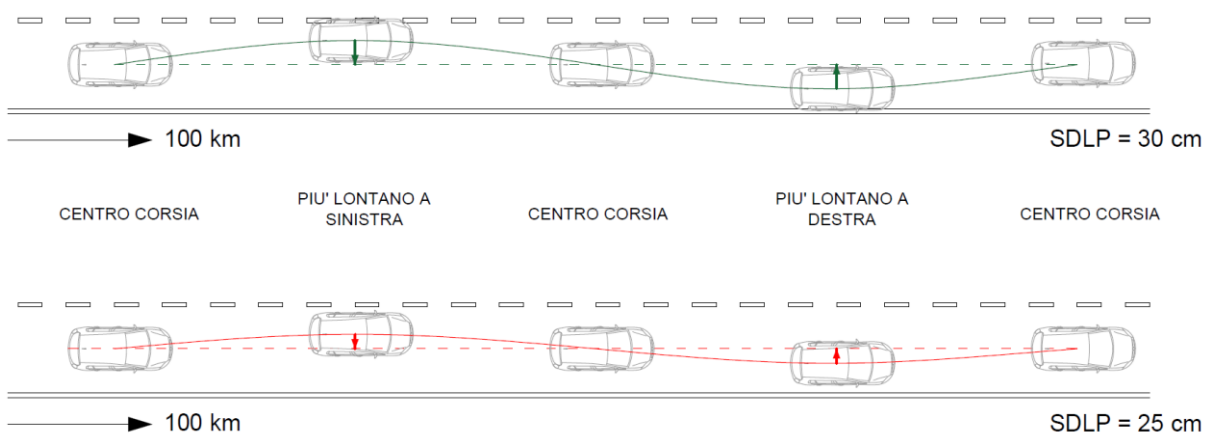


Figura 19 | Standard deviation of lateral position (SDLP)

Il collegamento tra la rampa e il terminale presenta una geometria differente se le curvature della rampa e del raggio autostradale sono concordi oppure discordi. Se le curvature dei due tratti sono concordi in collegamento è una clotoide di continuità, viceversa il collegamento è una clotoide di flesso.

La geometria delle clotoidi può influire sul controllo del veicolo, provocando ai guidatori una maggiore o minore facilità a mantenere una traiettoria corretta. Per tale motivo, in queste sezioni, per ogni guidatore, è stata calcolata la SDLP (deviazione standard della posizione laterale). Questo valore esprime il controllo della traiettoria da parte dei guidatori nell'affrontare la manovra. Valori alti di SDLP evidenziano difficoltà nel seguire una traiettoria conforme alla geometria d'asse della corsia, e indicano un'elevata oscillazione del veicolo al suo interno. Valori bassi indicano piccole oscillazioni e quindi una maggiore controllo del veicolo e di conseguenza maggiore controllo della traiettoria di guida. In quanto tale, la SDLP non fornisce un dato assoluto, ma relativo utile al confronto tra traiettorie anche di diverso sviluppo. I seguenti grafici esprimono i valori della SDLP nella manovra di immissione e diversione a seconda della clotoide e al variare del raggio dell'autostrada.

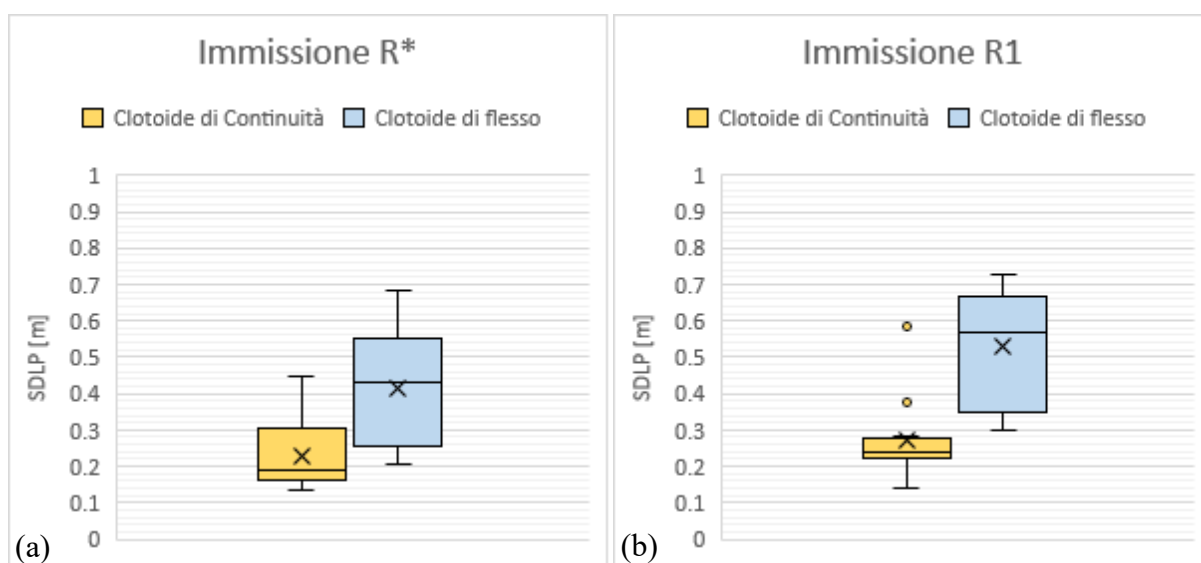


Grafico 18 | (a) SDLP nel caso di immissione e raggio R*, (b) SDLP nel caso di immissione e raggio R1

4. ANALISI DATI

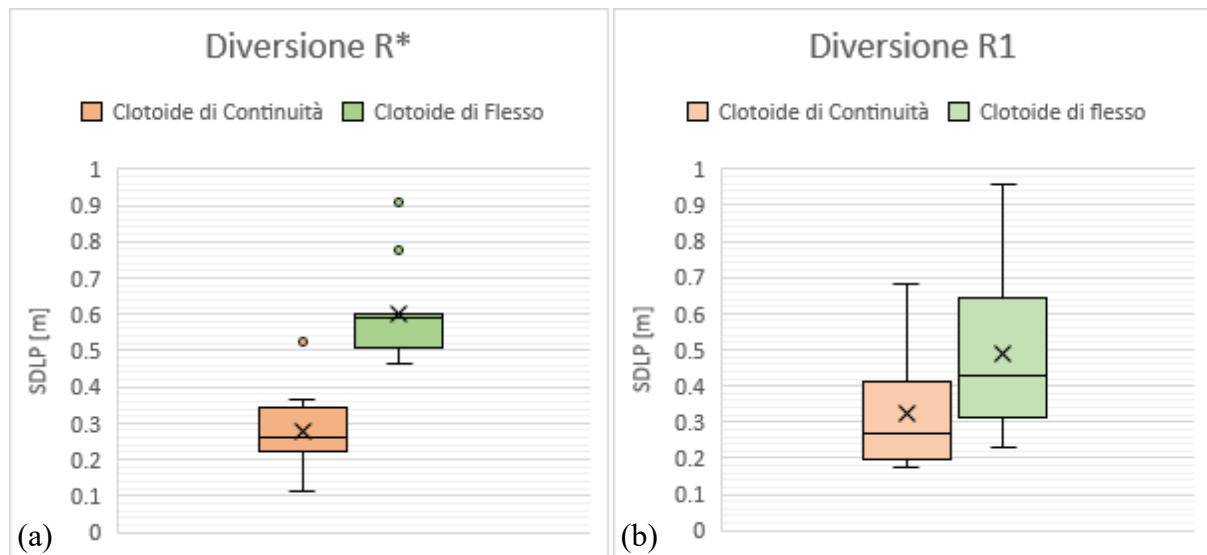


Grafico 19 | (a) SDLP nel caso di diversione e raggio R*, (b) SDLP nel caso di diversione e raggio R1

I grafici Grafico 18 e Grafico 19 permettono di affermare che la clotoide di flesso, sia nel caso di immissione che di diversione, crea maggiori difficoltà ai guidatori nel controllo della traiettoria.

Per determinare se i valori di SDLP sulle clotoidi di continuità e di flesso sono significativamente differenti sono stati effettuati l’F- e il t-test. I risultati sono mostrati in Tabella 14.

Tabella 14 | F- e t-test tra i valori di SDLP sulle clotoidi di continuità e flesso

Raggio Autostradale	Tipologia di Manovra	F(11,11)	p(F≤f)	t(22)	P(T≤t)
R*=964 m	Immissione	0.37	0.06	-3.46	0.002
R1=437 m		0.51	0.14	-4.67	<0.001
R*=964 m	Diversione	0.74	0.31	-6.70	<0.001
R1=437 m		0.47	0.11	-2.07	0.049

4.4 ANALISI DELLA VARIANZA (ANOVA)

L'ANOVA esprime quanto una serie di fattori indipendenti siano in grado di spiegare la varianza della variabile che dipende da questi. Il risultato del test serve a stabilire se l'ipotesi nulla (H_0) che i dati di tutti i gruppi abbiano la stessa origine, quindi la stessa distribuzione stocastica e che le differenze che si osservano tra i gruppi siano dovute al caso, sia accettata o rigettata. L'ipotesi H_0 è rigettata se la probabilità di accadimento di quanto su indicato sia sufficientemente bassa ($p < 0.05$). Per un valore di $p < 0.05$ associato ad una variabile indica che la stessa variabile indipendente influisce sulla variabile dipendente.

In questa analisi le tutte le variabili dipendenti eccetto la SDLP sono state analizzate separatamente in funzione dei seguenti parametri indipendenti: (i) raggio autostradale (964 m e 437 m), (ii) lunghezza del terminale (corto, standard e lungo), (iii) condizione di traffico (1000 veh/h e 3000 veh/h), (iv) tipologia di clotoide (continuità e flesso), (v) tipologia di rampa (ingresso e uscita).

La variabile dipendente SDLP è stata analizzata in funzione di tre parametri indipendenti: (i) raggio autostradale (964 m e 437 m), (ii) tipologia di clotoide (continuità e flesso), (iii) tipologia di rampa (ingresso e uscita). Le tabelle seguenti mostrano i risultati del test ANOVA.

La Tabella 15 mostra i fattori che influenzano la velocità dei guidatori all'inizio del terminale di ingresso o uscita (Sito A). L'ANOVA rivela la significatività del raggio autostradale ($F(1,113777) = 17.50$, $p < 0.05$, $\eta^2 = 0.00975$), della tipologia di clotoide ($F(1,113777) = 11.12$, $p < 0.05$, $\eta^2 = 0.00823$) e della tipologia di rampa ($F(1,113777) = 744.07$, $p < 0.05$, $\eta^2 = 0.55091$), mentre gli effetti della lunghezza del terminale e della condizione di traffico non influiscono sulla velocità nel sito A così come ci si può facilmente aspettare. Inoltre vi è un altro fattore che influisce, in particolare l'interazione tra raggio autostradale, livello di traffico e tipologia di clotoide conduce ad una significativa variabilità dei campioni ($F(1,113777) = 17.57$, $p < 0.05$, $\eta^2 = 0.01301$).

Per la velocità nel sito B l'ANOVA (Tabella 16) mostra gli stessi effetti del caso precedente. Le variabili indipendenti che influenzano la velocità nel sito B sono il raggio autostradale ($F(1,117842) = 16.53$, $p < 0.05$, $\eta^2 = 0.02097$), la tipologia di clotoide ($F(1,117842) = 3.86$, $p < 0.05$, $\eta^2 = 0.00489$) e la tipologia di rampa ($F(1,117842) = 200.24$, $p < 0.05$, $\eta^2 = 0.25408$).

4. ANALISI DATI

Tabella 15 | ANOVA sui fattori che influenzano la Velocità nel Sito A (R =Raggio, $Traff$ = condizione di traffico, $Clot$ =tipologia di Clotoide)

Numero di obs.	576					
Root MSE	14.6795					
Source	Partial SS	df	MS	F	Prob>F	η^2
Model	177262.3	47	3771.54	17.50	0.0000	
Main Effects						
<i>Raggio</i>	2838.1	1	2838.14	17.17	0.0003	0.00975
<i>Lungh. Terminale</i>	262.5	2	131.25	0.61	0.5442	0.00090
<i>Cond. Traffico</i>	410.79	1	410.79	1.91	0.1680	0.00141
<i>Tipologia Clotoide</i>	2395.8	1	2395.83	11.12	0.0009	0.00823
<i>Tipologia Rampa</i>	160337.7	1	160337.70	744.07	0.0000	0.55091
Interaction						
<i>R · Traff · Clot</i>	3786.4	1	3786.37	17.57	0.0000	0.01301
Residual	113777.5	528	215.49			
Total	291039.8	575	506.16			

Tabella 16 | ANOVA sui fattori che influenzano la Velocità nel Sito B (R =Raggio, $Traff$ = condizione di traffico, $Clot$ =tipologia di Clotoide)

Numero di obs.	576					
Root MSE	14.9394					
Source	Partial SS	df	MS	F	Prob>F	η^2
Model	58048.8	47	1235.08	5.53	0.0000	
Main Effects						
<i>Raggio</i>	3689.1	1	3689.11	16.53	0.0001	0.02097
<i>Lungh. Terminale</i>	269.6	2	134.78	0.60	0.5471	0.00153
<i>Cond. Traffico</i>	220.3	1	220.29	0.99	0.3209	0.00125
<i>Tipologia Clotoide</i>	861.8	1	861.84	3.86	0.0499	0.00489
<i>Tipologia Rampa</i>	44691.9	1	44691.87	200.24	0.0000	0.25408
Interaction						
<i>R · Traff · Clot</i>	3053.5	1	3053.50	13.68	0.0002	0.01736
Residual	117842.3	528	223.19			
Total	175891.2	575	305.90			

I fattori che influenzano la velocità nel sito C sono in raggio autostradale ($F(1,116657) = 7.61$, $p < 0.05$, $\eta^2 = 0.01177$), la lunghezza del terminale ($F(2,116657) = 3.18$, $p < 0.05$, $\eta^2 = 0.00984$) e la tipologia di rampa ($F(1,116657) = 49.8$, $p < 0.05$, $\eta^2 = 0.07713$). Per questa variabile gli effetti di interazione tra i fattori indipendenti sono più forti. Tre diverse interazioni sono significative $R \cdot Traff \cdot Clot$ ($F(1,116657) = 9.23$, $p < 0.05$, $\eta^2 = 0.01428$), $R \cdot Term \cdot Clot$ ($F(1,116657) = 3.53$, $p < 0.05$, $\eta^2 = 0.01093$) e $R \cdot Clot$ ($F(1,116657) = 6.17$, $p < 0.05$, $\eta^2 = 0.00955$).

Tabella 17 | ANOVA sui fattori che influenzano la Velocità nel Sito C (*R*=Raggio, *Traff*= condizione di traffico, *Clot*=tipologia di Clotoide, *Term*=lunghezza del terminale)

Numero di obs.	576					
Root MSE	14.8641					
Source	Partial SS	df	MS	F	Prob>F	η^2
Model	25988.8	47	552.95	2.50	0.0000	
Main Effects						
<i>Raggio</i>	1680.3	1	1680.31	7.61	0.0060	0.01177
<i>Lungh. Terminale</i>	1403.6	2	701.83	3.18	0.0425	0.00984
<i>Cond. Traffico</i>	3.0	1	3.05	0.01	0.9066	0.00002
<i>Tipologia Clotoide</i>	596.9	1	596.90	2.70	0.1008	0.00418
<i>Tipologia Rampa</i>	11003.1	1	11003.09	49.80	0.0000	0.07713
Interaction						
<i>R · Traff · Clot</i>	2038.3	1	2038.32	9.23	0.0025	0.01428
<i>R · Term · Clot</i>	1559.2	2	779.59	3.53	0.0300	0.01093
<i>R · Clot</i>	1363.2	1	1363.16	6.17	0.0133	0.00955
Residual	116657.7	528	220.94			
Total	142646.5	575	248.08			

La Tabella 18 mostra i fattori che influenzano significativamente l'ascissa a cui il guidatore si inserisce o esce dalla corsia specializzata di accelerazione/decelerazione. Dai risultati dell'ANOVA l'ipotesi H_0 viene rigettata per la variabile condizione di traffico ($F(1,3211488) = 4.19$, $p < 0.05$, $\eta^2 = 0.00471$), tipologia di clotoide ($F(1,3211488) = 14.94$, $p < 0.05$, $\eta^2 = 0.01682$) e tipologia di rampa ($F(1,3211488) = 127.24$, $p < 0.05$, $\eta^2 = 0.14332$). Bisogna considerare inoltre l'effetto combinato *Clot · Rampa* ($F(1,3211488) = 169.09$, $p < 0.05$, $\eta^2 = 0.19045$).

In Tabella 19 sono mostrati i risultati del test. La SDLP può variare in funzione del raggio autostradale, della tipologia di clotoide e tipologia di rampa. L'ANOVA rivela che un apporto significativo alla variazione dei dati è dato dalla tipologia di clotoide ($F(1,1.93) = 59.99$, $p < 0.05$, $\eta^2 = 0.37449$) e dalla tipologia di rampa ($F(1,1.93) = 3.98$, $p < 0.05$, $\eta^2 = 0.02487$). L'interazione tra *R · Clot · Rampa* è inoltre significativa ($F(1,1.93) = 3.65$, $p < 0.05$, $\eta^2 = 0.02276$).

4. ANALISI DATI

Tabella 18 | ANOVA sui fattori che influenzano l'Ascissa del Sito B (Clot=tipologia di Clotoide, Rampa=tipologia di rampa)

Numero di obs.	576					
Root MSE	77.9895					
Source	Partial SS	df	MS	F	Prob>F	η^2
Model	2188405.9	47	46561.83	7.66	0.0000	
Main Effects						
Raggio	4635.8	1	4635.80	0.76	0.3830	0.00086
Lungh. Terminale	17853.5	2	8926.75	1.47	0.2314	0.00330
Cond. Traffico	25475.75	1	25475.75	4.19	0.0412	0.00471
Tipologia Clotoide	90864.6	1	90864.6	14.94	0.0001	0.01682
Tipologia Rampa	773931.9	1	773931.92	127.24	0.0000	0.14332
Interaction						
Clot · Rampa	1028456.3	1	1028456.3	169.09	0.0000	0.19045
Residual	3211488.2	528	6082.36			
Total	5399894.12	575	9391.12			

Tabella 19 | ANOVA sui fattori che influenzano la SDPL (standard deviation of lateral positon)

Numero di obs.	96					
Root MSE	0.148192					
Source	Partial SS	df	MS	F	Prob>F	η^2
Model	1.5855	7	0.2265	10.31	0.0000	
Main Effects						
Raggio	0.0142	1	0.0142	0.65	0.4227	0.00403
Tipologia Clotoide	1.3175	1	1.3175	59.99	0.0000	0.37449
Tipologia Rampa	0.0875	1	0.0875	3.98	0.0490	0.02487
Interaction						
R · Clot · Rampa	0.0801	1	0.0801	3.65	0.0594	0.02276
Residual	1.9325	88	0.0219			
Total	3.5181	95	0.0370			

5. ANALISI DEI RISULTATI E CONCLUSIONI

Il presente lavoro di tesi si proponeva di comprendere i fattori che condizionano il comportamento dei guidatori nell'affrontare i terminali di rampa curvi negli svincoli autostradali. I terminali curvi, rispetto a quelli lineari, pongono particolari difficoltà nel guidatore poiché è impegnato nella gestione di traiettorie continuamente curve in fasi di guida che richiedono anche una significativa variazione della velocità (in accelerazione o decelerazione). A tale scopo è stato predisposto un esperimento al simulatore di guida del Politecnico di Torino con il coinvolgimento di quarantotto guidatori, stratificati per età e genere al pari della popolazione italiana.

Negli esperimenti, alcuni fattori indipendenti relativi alla geometria delle rampe di ingresso e di uscita, e alle condizioni di traffico variavano in modo da creare diversi scenari successivamente somministrati in modo randomizzato ai guidatori coinvolti. Lo scopo è determinare se tali fattori apportino differenze statisticamente significative sulle prestazioni dei guidatori, per comprendere quali correzioni eventualmente apportare alla geometria delle rampe e dei terminali per garantire la sicurezza delle manovre e il pieno controllo del veicolo da parte del guidatore. Nell'esperimento, le variabili indipendenti considerate sono: (i) il raggio autostradale (con due valori pari a 437 e 964 m); (ii) la tipologia di collegamento tra rampa e terminale (con raccordi di continuità e di flesso); (iii) la lunghezza del terminale di rampa (con un valore corrispondente al minimo richiesto dalle norme tecniche, e rispetto a questo un valore inferiore di 50 m e uno superiore di 75 m); e infine (iv) le condizioni di traffico (libero e condizionato).

La combinazione di questi fattori indipendenti ha comportato la realizzazione di dodici diversi scenari di guida. Ognuno dei quarantotto test driver ha guidato su tre di questi scenari, per un totale di 144 guide. In ogni esperimento sono stati raccolti dati alla frequenza di 10 Hz,

le variabili dipendenti misurate sono la velocità e la posizione laterale nella corsia, oltre alle variabili necessarie per localizzare i dati raccolti (ascissa lungo il terminale e coordinate rispetto a un sistema di riferimento locale).

A ciascuno dei guidatori sono stati somministrati due test cognitivi, uno visivo e uno uditivo, prima e dopo la guida al simulatore, per misurare il cambiamento di prestazione cognitiva indotto dall'esperimento. Sono stati somministrati anche questionari per rilevare informazioni su eventuali difficoltà di gestione dell'esperimento, con particolare riguardo al malessere da simulazione e l'affaticamento visivo e percettivo. Dalle suddette indagini si è rilevato quanto segue:

- l'esperimento, quasi per la totalità dei casi non ha creato fenomeni di malessere significativi; i guidatori non sono stati influenzati da stati di malessere fisico significativo, e hanno potuto eseguire l'esperimento garantendo parità di prestazioni cognitive nel corso della prova;
- tra i disturbi avvertiti sono risultati lievi segnali di stanchezza visiva, fatica, disagio, e visione offuscata; essi sono stati riscontrati in circa il 25% del campione; tali disagi non sono risultati di intensità elevata e le prestazioni dei guidatori, come detto al punto precedente, non sono variate in modo statisticamente significativo prima e dopo l'esperimento.

I dati delle variabili dipendenti sono stati opportunamente trattati e organizzati per il confronto tra gli scenari, e verificare l'insorgenza di cambiamenti comportamentali dovuti ai fattori indipendenti dell'esperimento.

Influenza dei fattori sperimentali

La prima osservazione riguarda l'influenza del raggio autostradale sui guidatori che imboccano il terminale di rampa. Questo studio dimostra che i raggi investigati (437 e 964 m) tipici della progettazione di tratti autostradali, producono leggere differenze non significative sulle prestazioni di guida dei conducenti che si trovano all'inizio del terminale di ingresso o uscita.

Per osservare effetti significativi sulla velocità si dovrebbero adottare valori di raggio inferiori al minimo qui considerato (437 m), cosa possibile in caso di costruzione di rampe e terminali su tratti autostradali di vecchia concezione, progettati secondo regole diverse da quelle attualmente in vigore.

Una seconda valutazione ha riguardato la posizione lungo il terminale in cui il guidatore si immette o esce dall'autostrada, e le velocità adottate dai guidatori durante le manovre. La lunghezza dei terminali di ingresso gioca un ruolo chiave. I risultati evidenziano che lunghezze inferiori a quelle previste dalla normativa tecnica inducono in alcuni guidatori comportamenti non prudenti. A causa della ridotta lunghezza del terminale una parte di essi non completa la manovra entro lo spazio disponibile e prosegue rimanendo all'interno della banchina dell'autostrada creando una situazione altamente insicura. La lunghezza standard ha permesso ai guidatori di completare la manovra di immissione. È da rilevare il diverso comportamento dei guidatori quando affrontano terminali di immissione continui e inflessi. Si riscontrano dei valori di ascissa di immissione superiori quando il terminale è continuo rispetto al terminale inflesso. Queste differenze sono risultate statisticamente significative. Nella manovra di diversione in terminali curvi, tutti i guidatori hanno completato l'uscita in presenza di terminale corto. Anche in questo caso si è riscontrata una differenza di comportamento nei guidatori che affrontavano terminali di uscita inflessi e continui. Nei terminali inflessi i valori medi dell'ascissa di immissione nella corsia autostradale sono risultati superiori rispetto al caso di terminale continuo.

Si sono inoltre osservati gli effetti prodotti dalle differenti condizioni di traffico sulla corsia autostradale. È la manovra di accelerazione che risente in modo significativo del livello di traffico, poiché i veicoli uscenti dalla rampa devono immettersi nei varchi spazio-temporali disponibili nel flusso della corsia autostradale adiacente il terminale. I risultati confermano quanto già evidenziato in letteratura, e cioè che un flusso condizionato incrementa il tempo in cui i guidatori restano sul terminale di ingresso e spostano in avanti l'ascissa in cui transitano dal terminale alla corsia di marcia.

Questo aspetto non si riscontra nei terminali di diversione, in quanto il traffico non condiziona significativamente il comportamento dei guidatori. I conducenti escono dalla carreggiata autostradale secondo manovre del tutto indipendenti dal flusso autostradale.

Infine, l'analisi relativa alla *standard deviation of lateral position* (SDLP) indica che i guidatori impegnati su clotoidi di continuità controllano meglio la traiettoria del veicolo rispetto al caso delle clotoidi di flesso.

L'analisi della varianza (ANOVA), eseguita al termine delle analisi ha evidenziato l'influenza dei fattori indipendenti quali (i) il raggio autostradale; (ii) la tipologia di

collegamento (continua o inflessa) tra rampa e terminale; (iii) la lunghezza del terminale di rampa; (iv) le condizioni di traffico; e infine (v) la tipologia di manovra (ingresso e uscita) sulla varianza dei fattori dipendenti (velocità nei siti A, B e C ed ascissa di immissione/diversione). La prima osservazione riguarda la tipologia di rampa. Questo fattore crea delle differenze statisticamente significative su tutte le variabili dipendenti esaminate. Le velocità nel sito A e B risultano significativamente influenzate dal diverso raggio autostradale e dalla tipologia di clotoide. La velocità nel sito C, presenta delle differenze statisticamente significative per valori differenti della lunghezza del terminale e del raggio autostradale. Infine, l'ascissa di immissione o diversione assume valori significativamente differenti quando variano la tipologia di clotoide e le condizioni di traffico.

Confrontando le ascisse del punto di immissione in autostrada con terminale continuo e terminale inflesso si nota che nel caso di terminale continuo di immissione il valore di ascissa risulta mediamente superiore rispetto al terminale inflesso. Si riscontra questo comportamento a causa della diversa manovra che i guidatori devono effettuare nei due casi. Sul terminale continuo (Idx) il guidatore si trova con lo sterzo ruotato verso destra e mantiene questa posizione fin quando non decide di immettersi in autostrada. Per completare la manovra egli dovrà ruotare lo sterzo nel senso opposto e contemporaneamente immettersi in autostrada. Questa manovra richiede una doppia operazione, che induce il guidatore a completare l'immissione ad ascisse superiori rispetto al caso di immissione con terminale inflesso (Isx). In quel caso, il cambio di angolo di sterzata avviene prima del punto di immissione, ed esattamente sulla clotoide di flesso. Il guidatore deve solo immettersi con lo sterzo già rivolto nel senso della curvatura e la manovra risulterà più semplice, richiedendo un minore spazio.

Quando la manovra è di diversione si osserva un comportamento opposto. L'ascissa a cui i guidatori escono risulta inferiore nel caso di terminale continuo rispetto al caso di terminale inflesso. Nell'uscita con terminale inflesso la curvatura verso sinistra, discorde rispetto a quella della corsia di diversione, costringe l'automobilista a ritardare l'uscita in modo da rettificare al massimo la traiettoria e quindi attenuare l'effetto della doppia curvatura.

Implicazioni dello studio

I risultati ottenuti evidenziano la necessità di migliorare il quadro normativo vigente riguardante la progettazione di terminali curvi. A tal proposito le norme non tengono conto degli effetti comportamentali dei guidatori che affrontano rampe di immissione e uscita i cui terminali sono

posizionato in tratti curvi della strada principale. Si auspica pertanto che future edizioni della norma tecnica relativi alla progettazione delle intersezioni stradali colgano i frutti di questa sperimentazione per suggerire quanto segue. Tuttavia, i risultati qui conseguiti possono essere impiegati come istruzioni tecniche per supportare le scelte progettuali.

Nella progettazione di corsie specializzate di immissione collegate alla rampa con una clotoide di flesso (rampa Isx) non è necessario incrementare la lunghezza suggerita dalla normativa. Quando il terminale è continuo (caso Idx) si suggerisce di incrementare opportunamente la lunghezza calcolata secondo le prescrizioni normative a causa del maggior impegno che affrontano i guidatori rispetto ai corrispondenti terminali rettilinei.

Nel caso di diversione in curva (con curvatura dell'autostrada concorde a quella della rampa) si può adottare una lunghezza corrispondente alle prescrizioni tecniche attuali prevista per i terminali rettilinei. Nel caso di diversione con curvature discordi tra autostrada e rampa è necessaria una lunghezza del terminale maggiore rispetto a quella prevista dalle attuali istruzioni tecniche.

La manovra di immissione risulta più semplice nei terminali inflessi, l'uscita invece è facilitata nei terminali continui. Si consiglia pertanto il ricorso a terminali curvi quando si verificano queste due condizioni, nel rispetto delle indicazioni sopra riportate. Si sconsiglia invece l'uso di terminali curvi quando la clotoide che collega la rampa al terminale di ingresso è di continuità e quando il terminale di uscita è inflesso per via della maggiore difficoltà da parte dei guidatori nel controllo del veicolo. Qualora non se ne potesse fare a meno, si suggerisce di allungare il terminale per compensare le maggiori difficoltà di controllo del veicolo.

Limitazioni e future indagini

Questa tesi colma parte del vuoto di conoscenza riguardante il comportamento dei guidatori che si apprestano a compiere manovre di immissione e uscita in terminali curvi. In letteratura, studi comportamentali di questo tipo sono stati condotti solo su terminali rettilinei.

Bisogna comunque ricordare che i risultati ottenuti provengono da esperimenti effettuati in un simulatore statico i cui limiti principali sono legati al minor rischio percepito dai conducenti durante la guida e dall'assenza totale di forza che in una simulazione sul campo verrebbero percepite. Inoltre, sono stati considerati soltanto alcuni dei fattori capaci di condizionare la guida e quindi i risultati potrebbero variare se venissero considerati ulteriori fattori come ad esempio l'inserimento di diverse condizioni di traffico all'interno delle rampe, e la presenza di

barriere di sicurezza sulle stesse rampe, fattori che alterano la percezione del rischio e il comportamento dei guidatori. Nelle applicazioni pratiche si suggerisce di compensare queste limitazioni in modo da tenere conto dei diversi condizionamenti che distinguono la guida reale da quella simulata.

BIBLIOGRAFIA

- **Bassani, M; Catani, L; Ignazzi, A; Piras, M. (2018).** Validation of a Fixed-Base Driving Simulator to Assess Behavioural Effects of Road Geometrics - *Proceedings of the Driving Simulation and VR. DSC 2018 EUROPE 101-108, Antibes, France on 5-7 September 2018.*
- **Bassani, M. & Melotti (2012).** Tracciamento di una clotoide di continuità. *Didattica Polito*
- **Bassani, M. & Melotti (2012).** Tracciamento di una clotoide di flesso. *Didattica Polito*
- **Bella, F., Garcia, A., Solves, F., & Romero, M. A. (2007).** *Driving simulator validation for deceleration lane design* (No. 07-0894).
- **Benedetto, C., De Blasiis, M. R., & Benedetto, A. (2003).** Driving simulation-based approach for quality control of road projects. *Advances in Transportation Studies*, 1(1).
- **Calvi, A., & De Blasiis, M. R. (2011).** Driver behavior on acceleration lanes: driving simulator study. *Transportation research record*, 2248(1), 96-103.
- **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., Bella, F., & D'Amico, F. (2015).** Diverging driver performance along deceleration lanes: driving simulator study. *Transportation Research Record*, 2518(1), 95-103.
- **Carle, A. (2016).** Indagine sperimentale sulla valutazione degli effetti di disagio percepiti nella guida simulata. *Biblioteca Polito*

-
- **Chen, H., Liu, P., Lu, J.J., Behzadi, B., (2009).** Evaluating the safety impacts of the number and arrangement of lanes on freeway exit ramps. *Accident Analysis and Prevention* 41, 543–551.
 - **Colonna, P., & Delcarmine, P. (1994).** Il problema delle corsie di accelerazione e di decelerazione in corrispondenza di curve planimetriche. Criteri per la definizione delle traiettorie dei veicoli. *Dimensione strada, Novembre-Dicembre 1994*.
 - **Colonna, P., & Delcarmine, P. (1997 a).** Indicazioni progettuali, desunte da un'indagine sperimentale, per le corsie di decelerazione in curva. *Atti del convegno SIIV-Roma, 20, 21*.
 - **Colonna, P., & Delcarmine, P. (1997 b).** Le corsie di accelerazione in curva: analisi di rilevamenti sperimentali con suggerimenti progettuali.
 - **Conklin, R.D., (1959).** A comparison of vehicle operating characteristics between parallel lane and direct taper types of freeway off-ramps. *Traffic Engineering* 30,13–17.
 - **Daamen, W., Loot, M., & Hoogendoorn, S. P. (2010).** Empirical analysis of merging behavior at freeway on-ramp. *Transportation Research Record*, 2188(1), 108-118.
 - **Fisher, R. L., & Loutzenheiser, D. W. (1948).** Traffic performance on acceleration and deceleration lanes and discussion. *Highway Research Abstracts, Vol. 18, No. 4, 1948, pp. 121-125*.
 - **Livneh, M., Polus, A., Factor, J., (1988).** Vehicle behavior on deceleration lanes. *Journal of Transportation Engineering* 114, 706–717.
 - **MIT (2001).** Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade (in Italian). Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, D.M. no. 6792 of November 5th.
 - **MIT (2006).** Norme Funzionali e Geometriche per la Costruzione delle Intersezioni Stradali [Functional and Geometrical Standards for Road Constructions]. *Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti: Rome, Italy*, D.M. no. 170 of April 19th.
 - **Transportation Research Board (2010).** HCM 2010-Highway capacity manual. *National Research Council*.
 - **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.
 - **Worrall, R. D., Coutts, D. W., Echterhoff-hammerschmid, H., & Berry, D. S. (1967).** Merging behavior at freeway entrance ramps: Some elementary empirical considerations. *highway research record*, (157).

 <https://www.istat.it/>

 <http://cognitivefun.net/test/>

 <https://www.avsimulation.com/scanerstudio/>

 <https://www.avsimulation.com/compact-simulator/>

 <http://www.mit.gov.it/comunicazione/news/patenti-dataset-online>

ALLEGATI

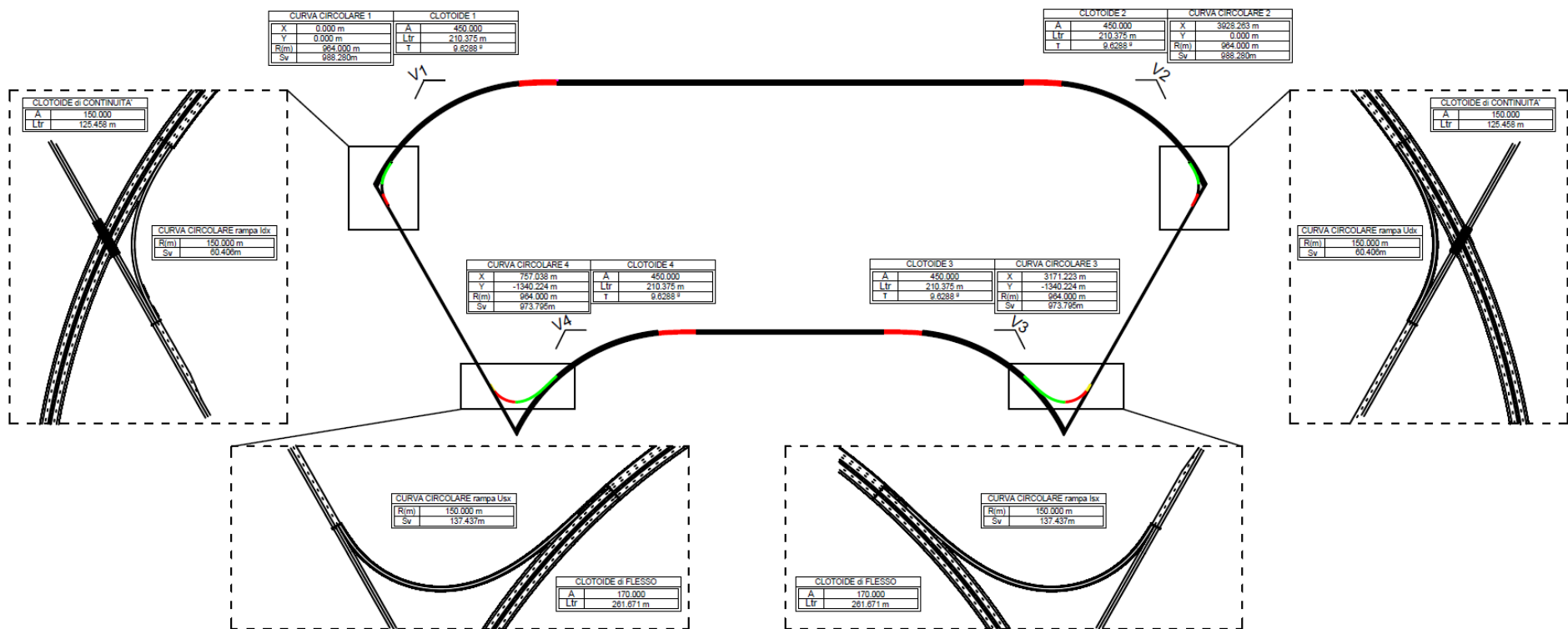
A. PROGETTAZIONE GEOMETRICA DEL CIRCUITO

Il circuito è scomposto in diversi tratti e categorie di strada. Il primo passo per la costruzione è stato quello di inserire due tratti paralleli di strada di Cat. A. Il secondo step ha riguardato l'inserimento dei tratti autostradali curvilinei e le clotoidi di transizione che unissero i rettifili con i cerchi. Successivamente sono stati disegnati i tratti di Cat. C, utili per l'inserimento delle rampe di ingresso/uscita e delle corsie specializzate di accelerazione/decelerazione.

Le caratteristiche geometriche del tracciato con raggio $R^*=964\text{m}$ sono raccolte in tabella 1.

Tratto	Categoria	Elemento	Lunghezza [m]	Raggio [m]	Fattore di scala A [m]
1	-	Piazzola	70.00	-	-
2	Strada Cat. C	-	997.50	-	-
3	Rampa di Ingresso	Clotoide rampa	66.06	-	-
		Cerchio rampa	60.41	150.00	-
		Clotoide continuità rampa	125.46	-	150.00
		Corsia specializzata di accelerazione	variabile	964.00	-
4	Strada Cat. A	cerchio	988.28	964.00	-
		clotoide	210.38	-	450.00
		rettifilo	2495.88	-	-
		clotoide	210.38	-	450.00
		cerchio	988.28	964.00	-
5	Rampa di Uscita	Corsia specializzata di decelerazione	variabile	964.00	-
		Clotoide continuità rampa	125.46	-	150.00
		Cerchio rampa	60.41	150.00	-
		Clotoide rampa	66.06	-	-
6	Strada Cat. C	-	1550.00	-	-
7	Rampa di Ingresso	Clotoide rampa	36.01	-	-
		Cerchio rampa	137.44	150.00	-
		Clotoide di flesso rampa	261.67	-	170.00
		Corsia specializzata di accelerazione	variabile	964.00	-
8	Strada Cat. A	Cerchio	973.80	964.00	-
		Clotoide	210.38	-	450.00
		Rettifilo	1000.00	-	-
		Clotoide	210.38	-	450.00
		cerchio	973.80	964.00	-
9	Rampa di Uscita	Corsia specializzata di decelerazione	variabile	964.00	-
		Clotoide di flesso rampa	261.67	-	170.00
		Cerchio rampa	137.44	150.00	-
		Clotoide rampa	36.01	-	-
10	Strada Cat. C	-	482.50	-	-
11	-	Piazzola	70.00	-	-

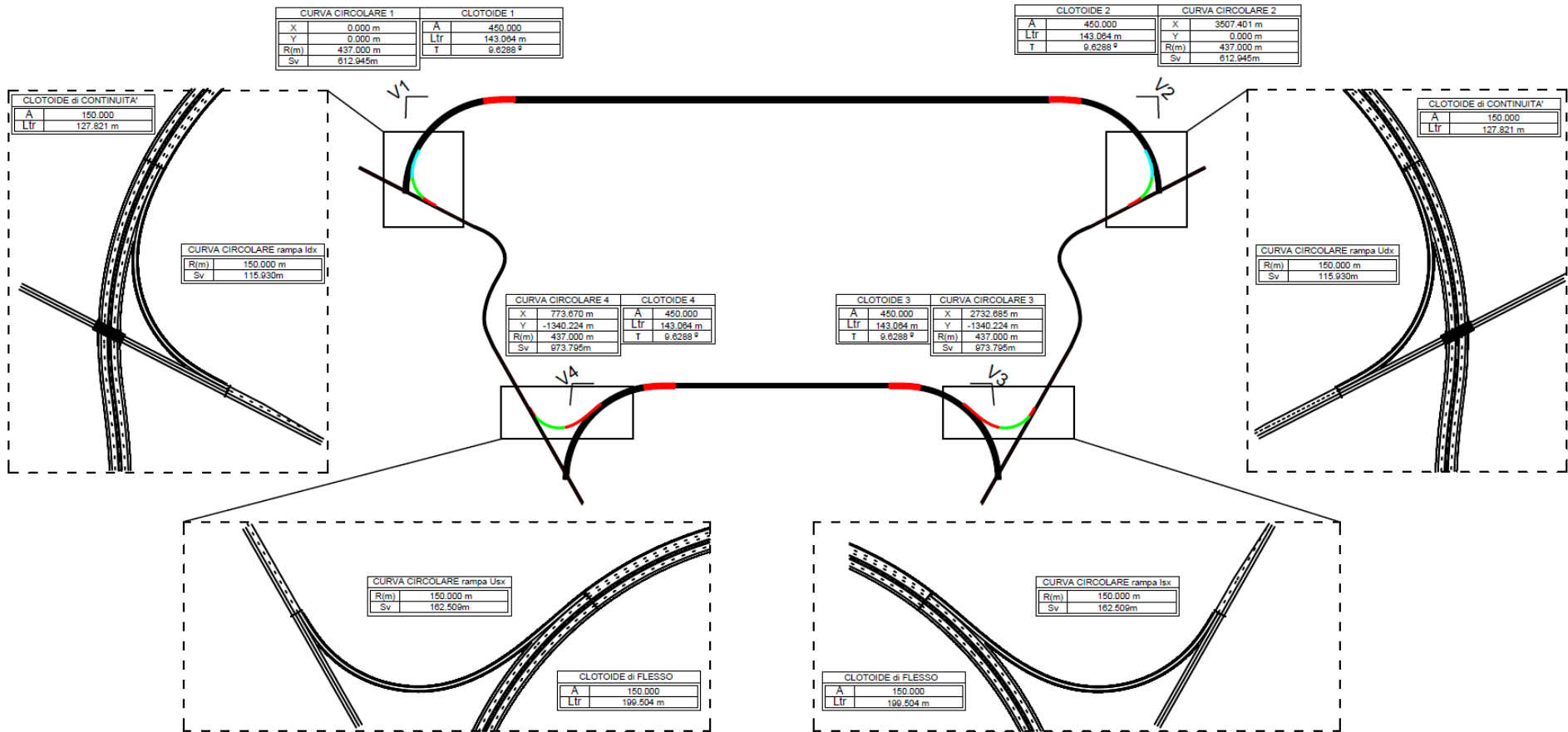
Rappresentazione grafica del circuito con raggio $R^*=964\text{m}$.



Le caratteristiche geometriche del tracciato con raggio $R1=437m$ sono raccolte in tabella 2.

Tratto	Categoria	Elemento	Lunghezza [m]	Raggio [m]	Fattore di scala A [m]
1	-	Piazzola	70.00	-	-
2	Strada Cat. C	-	1205.41	-	-
3	Rampa di Ingresso	Clotoide rampa	66.06	-	-
		Cerchio rampa	115.93	150.00	-
		Clotoide continuità rampa	127.82	-	150.00
		Corsia specializzata di accelerazione	variabile	437.00	-
4	Strada Cat. A	cerchio	612.95	437.00	-
		clotoide	143.06	-	450.00
		rettifilo	2495.88	-	-
		clotoide	143.06	-	450.00
		cerchio	612.95	437.00	-
5	Rampa di Uscita	Corsia specializzata di decelerazione	variabile	437.00	-
		Clotoide continuità rampa	127.82	-	150.00
		Cerchio rampa	115.93	150.00	-
		Clotoide rampa	66.06	-	-
6	Strada Cat. C	-	2095.41	-	-
7	Rampa di Ingresso	Clotoide rampa	42.52	-	-
		Cerchio rampa	162.51	150.00	-
		Clotoide di flesso rampa	199.50	-	150.00
		Corsia specializzata di accelerazione	variabile	437.00	-
8	Strada Cat. A	Cerchio	612.95	437.00	-
		Clotoide	143.06	-	450.00
		Rettifilo	1000.00	-	-
		Clotoide	143.06	-	450.00
		cerchio	612.95	437.00	-
9	Rampa di Uscita	Corsia specializzata di decelerazione	variabile	437.00	-
		Clotoide di flesso rampa	199.50	-	150.00
		Cerchio rampa	162.51	150.00	-
		Clotoide rampa	42.52	-	-
10	Strada Cat. C	-	820.00	-	-
11	-	Piazzola	70.00	-	-

Rappresentazione grafica del circuito con raggio $R1=437\text{m}$.



B. PROGETTO DEI TERMINALI

Le corsie di entrata sono composte dai seguenti tratti: (i) tratti di *accelerazione* di lunghezza $L_{a,e}$; (ii) tratti di *immissione* di lunghezza $L_{i,e}$; (iii) elemento di *raccordo* di lunghezza $L_{v,e}$. Le corsie di uscita sono composte dai seguenti elementi: (i) tratto di *manovra* di lunghezza $L_{m,u}$; (ii) tratto di *decelerazione* di lunghezza $L_{d,u}$, che nel caso in esame è stato scelto parallelo all'asse principale.

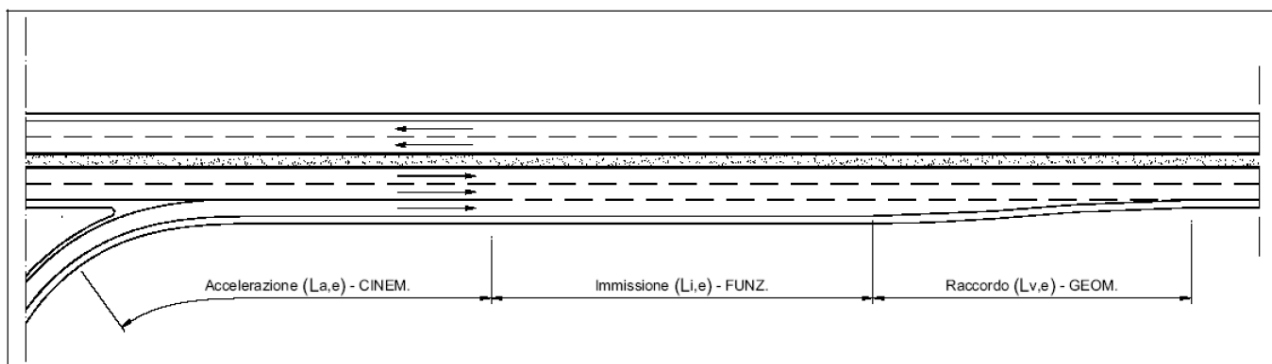


Figura 20 | Terminale di immissione

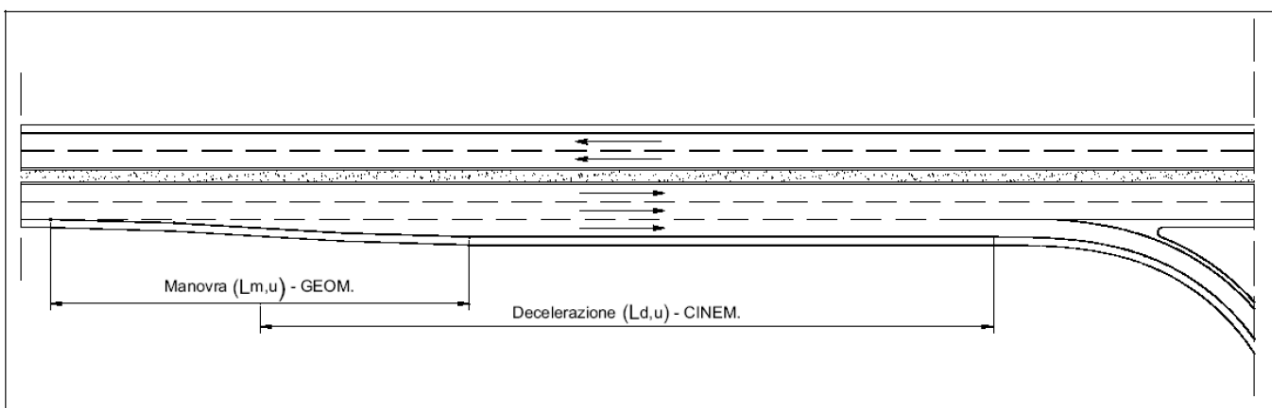


Figura 21 | Terminale di diversione

Le lunghezze $L_{a,e}$ (tratto di accelerazione della corsia di entrata) e $L_{d,u}$ (tratto di decelerazione della corsia di uscita) vanno dimensionate con *criteri cinematici*. Le lunghezze $L_{v,e}$ (tratto di raccordo della corsia di entrata) e $L_{m,u}$ (tratto di manovra della corsia di uscita) vanno dimensionate con *criteri geometrici*.

ELEMENTI DA DIMENSIONARE LONGITUDINALMENTE - CRITERI CINEMATICI

Il calcolo della lunghezza (L) degli elementi da dimensionare con criteri cinematici avviene con la formula dello spazio percorso nel moto uniformemente accelerato:

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

Dove:

v_1 (m/s) è la velocità di ingresso nel tratto di decelerazione/accelerazione;

v_2 (m/s) è la velocità di uscita nel tratto di decelerazione/accelerazione.

ON-RAMP	
Acceleration lane	
v_1 [m/s]	16.6
v_2 [m/s] (80%)	31.1
a [m/s ²]	1
$L_{a,e}$ [m]	345.0

OFF-RAMP	
Deceleration lane	
v_1 [m/s]	16.6
v_2 [m/s]	38.8
a [m/s ²]	3
$L_{d,e}$	205.0

ELEMENTI DA DIMENSIONE LONGITUDINALMENTE - CRITERI GEOMETRICI

Tratto di raccordo delle corsie di entrata nelle intersezioni a livelli sfalsati

I valori della lunghezza del tratto di raccordo delle corsie di entrata $L_{v,e}$ nelle intersezioni a livelli sfalsati sono stabiliti in funzione della velocità di progetto della strada principale. Questi valori sono espressi nella seguente tabella:

Velocità di progetto V_p (km/h)	Lunghezza del tratto di raccordo $L_{v,e}$ (m)
$V_p \geq 80$	75
$V_p < 80$	50

Tabella 7 – Lunghezza del tratto di raccordo delle corsie di entrata

Tratto di manovra delle corsie di uscita nelle intersezioni a livelli sfalsati

I valori della lunghezza del tratto di raccordo delle corsie di entrata $L_{v,e}$ nelle intersezioni a livelli sfalsati sono stabiliti in funzione della velocità di progetto della strada principale. Questi valori sono espressi nella seguente tabella:

Velocità di progetto V_p (km/h)	Lunghezza del tratto di manovra $L_{m,u}$ (m)
40	20
60	40
80	60

Tabella 8 – Valori della lunghezza del tratto di manovra delle corsie di uscita nelle intersezioni a livelli sfalsati ($L_{m,u}$).

ON-RAMP tratto di raccordo	
$L_{v,e}$ [m]	75
OFF-RAMP tratto di manovra	
$L_{m,u}$ [m]	90

La norma non prevede dei metodi funzionali per il calcolo del tratto di immissione nella corsia di accelerazione. Per tale motivo si ricorre a metodi alternativi presenti nei manuali come quello dell’HCM 2010 (Highway capacity manual).

CALCOLO LUNGHEZZA DELLA CORSIA SPECIALIZZATA DI ACCELERAZIONE

L’HCM permette di calcolare la lunghezza del tratto di accelerazione $L_{a,HCM}$. Questa lunghezza è la somma del tratto di immissione, tratto di raccordo e del tratto di accelerazione non comprendente la clotoide della rampa.

$$L_{a,HCM} = (L_{a,e} - L_{tr}) + L_{i,e} + L_{v,e}$$

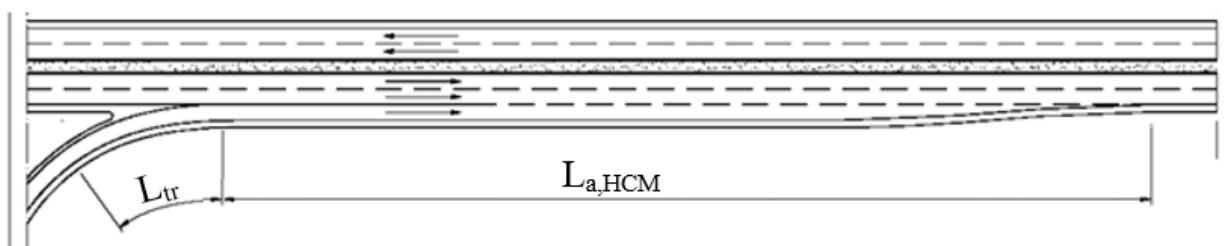


Figura 22 | Lunghezza del tratto di accelerazione $L_{a,HCM}$

Dalla formula inversa è possibile derivare il valore della lunghezza di immissione.

$$L_{i,e} = L_{a,HCM} - (L_{a,e} - L_{tr}) - L_{v,e}$$

Gli step per determinare la lunghezza di accelerazione (HCM) sono i seguenti:

- Si calcola il flusso in autostrada a monte della rampa imponendo un livello di servizio
- Considerata la geometria dell'autostrada la velocità di flusso libero (FFS) risulta 74 mi/h.
- Si calcola il flusso in autostrada (v_p), moltiplicando la densità corrispondente al LOS e la velocità
- Si determina V_f [veh/h]
- Dalla formula inversa della densità si determina $L_{a, HCM}$

STEP 1: FLOW RATE	
vf freeway demand volume	1086.34
vr (from C to A) [pc/h]	200.00
STEP 2: DEMAND FLOW	
Pfm[n. lanes=4]	1.00
Flow rate 1 and 2 lane [pc/h]	1086.34
vav12 [pc/h/ln]	543.17
STEP 3: CHECK CAPACITIES	
Capacity freeway (exhibit 13-8)	
Capacity of ramp (exhibit 13-10)	
STEP 4: CALCULATION OF DENSITY	
Dr (LOS A nella rampa)	8.00
Vr	200.00
v12	1086.34
Total length of the acc. lane (La) [ft]	1182.85
Total length of the acc. lane (La) [m]	360.00

C. MODULO DI PRESENTAZIONE DELL'ESPERIMENTO



**POLITECNICO
DI TORINO**

Dipartimento di Ingegneria dell'Ambiente, del Territorio e delle Infrastrutture
Laboratorio di Sicurezza Stradale e Simulazione
Corso Duca degli Abruzzi, 24 – 10129, Torino
tel. 011-5645635, 335-1300230, marco.bassani@polito.it

prof. Marco BASSANI

PRESENTAZIONE DELL'ATTIVITA' DI RICERCA

Torino, novembre 2019

Gentilissimo/a,

ti contatto in relazione alla tua partecipazione al 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).

Nei prossimi mesi abbiamo in programma alcuni esperimenti che necessitano del tuo supporto. La sperimentazione in oggetto prevede in giorni e orari a te più comodi, l'esperimento di durata 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 compilati recentemente 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 dal seguente studente per definire nel dettaglio l'appuntamento:

- **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,



**POLITECNICO
DI TORINO**

Dipartimento di Ingegneria dell'Ambiente, del Territorio e delle Infrastrutture
Corso Duca degli Abruzzi, 24 – 10129, Torino
Tel. 011-5645635, 335-1300230, marco.bassani@polito.it

TESI DI LAUREA MAGISTRALE | Studente Alberto Portera

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 sì, quali? ☐ Occhiali ☐ Lenti a contatto

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

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



**POLITECNICO
DI TORINO**

Dipartimento di Ingegneria dell'Ambiente, del Territorio e delle Infrastrutture
Corso Duca degli Abruzzi, 24 – 10129, Torino
Tel. 011-5645635, 335-1300230, marco.bassani@polito.it

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, li

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.

D. QUESTIONARIO PRE-GUIDA



**POLITECNICO
DI TORINO**

Dipartimento di Ingegneria dell'Ambiente, del Territorio e delle Infrastrutture
Corso Duca degli Abruzzi, 24 – 10129, Torino
Tel. 011-5645635, 335-1300230, marco.bassani@polito.it

TESI DI LAUREA MAGISTRALE | Studente **Alberto Portera**

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 sì, 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)?oreminuti

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 dormito la notte precedente?

Utilizza dispositivi per la correzione visiva? ☐ SI ☐ NO

Attualmente li indossa? ☐ SI ☐ NO

Se sì, quali? ☐ Occhiali ☐ Lenti a contatto

E. TEST COGNITIVI



**POLITECNICO
DI TORINO**

Dipartimento di Ingegneria dell'Ambiente, del Territorio e delle Infrastrutture
Corso Duca degli Abruzzi, 24 – 10129, Torino
Tel. 011-5645635, 335-1300230, marco.bassani@polito.it

TESI DI LAUREA MAGISTRALE | Studente Alberto Portera

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

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				

F. QUESTIONARIO POST-GUIDA



POLITECNICO DI TORINO

Dipartimento di Ingegneria dell'Ambiente, del Territorio e delle Infrastrutture
Laboratorio di Sicurezza Stradale e Simulazione
Corso Duca degli Abruzzi, 24 – 10129, Torino
tel. 011-5645635, 335-1300230, marco.bassani@polito.it

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 sintomi¹:

- | | | | | |
|----------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| - 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



**POLITECNICO
DI TORINO**

Dipartimento di Ingegneria dell'Ambiente, del Territorio e delle Infrastrutture
Corso Duca degli Abruzzi, 24 – 10129, Torino
Tel. 011-5645635, 335-1300230, marco.bassani@polito.it

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? | | | | |


**POLITECNICO
DI TORINO**

Dipartimento di Ingegneria dell'Ambiente, del Territorio e delle Infrastrutture
Corso Duca degli Abruzzi, 24 – 10129, Torino
Tel. 011-5645635, 335-1300230, marco.bassani@polito.it

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 svincoli 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)
☐ Lunghezza del tratto in ingresso/uscita delle rampe
☐ Raggio delle curve autostradali
☐ Altro

Nell'eseguire le manovre di ingresso e uscita dall'autostrada, lo spostamento dalla corsia di marcia alla corsia di accelerazione/decelerazione è stato eseguito in condizioni di comfort? (Cioè: non sono state percepite particolari difficoltà dell'affrontare la manovra. È sembrata una manovra già affrontata durante l'esperienza di guida reale).

- ☐ per nulla ☐ poco ☐ abbastanza ☐ molto

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

- ☐ Visiva ☐ a Sterzare (cioè a cambiare l'inclinazione dello sterzo)
☐ Controllo della velocità ☐ Comprensione della geometria della rampa
☐ Mantenere la posizione del veicolo all'interno della corsia ☐ di Frenatura
☐ Scelta della traiettoria
☐ Altro



**POLITECNICO
DI TORINO**

Dipartimento di Ingegneria dell'Ambiente, del Territorio e delle Infrastrutture
Corso Duca degli Abruzzi, 24 – 10129, Torino
Tel. 011-5645635, 335-1300230, marco.bassani@polito.it

Considerando l'intero tracciato, le è rimasta impressa una situazione particolare?

☐ SI ☐ NO

Se SI, ne fornisca una breve descrizione.

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

Consigli e suggerimenti per le esperienze di ricerca future

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

In relazione all'esperienza avuta, parteciperebbe ad altri esperimenti di simulazione?

☐ NO

☐ SI

G. ORGANIZZAZIONE DEGLI ESPERIMENTI

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

H. RISULTATI DEI TESTI COGNITIVI

Anagrafe					MEDIA			
ID	Sesso	Anno di Nascita	Età	Classe Età	PREGUIDA		POST GUIDA	
					Test Visivo	Test Uditivo	Test Visivo	Test Uditivo
1	M	1992	27	II	349.00	418.50	316.40	177.40
2	M	1973	46	III	292.40	191.40	284.60	176.40
3	M	1999	20	I	292.70	167.10	282.60	162.00
4	M	1963	56	III	244.20	198.10	253.00	172.30
5	F	1962	57	III	342.20	249.80	391.30	250.10
6	F	1965	54	III	324.70	217.90	375.00	264.10
7	M	1983	36	II	294.00	164.60	351.40	173.00
8	M	1968	51	III	349.10	199.30	289.80	184.20
9	F	1984	35	II	269.50	162.70	264.10	181.80
10	F	1990	29	II	285.10	191.50	296.80	202.50
11	M	1990	29	II	278.60	165.20	289.40	163.00
12	M	1990	29	II	305.70	194.20	296.70	182.40
13	M	1961	58	III	321.50	239.70	293.50	179.50
14	F	1997	22	I	283.80	185.50	308.70	182.80
15	F	1972	47	III	239.10	157.80	234.30	156.90
16	M	1958	61	III	334.00	188.40	394.20	226.60
17	M	1962	57	III	306.20	178.80	286.40	182.10
18	M	1974	45	II	286.80	170.20	269.80	165.20
19	M	1962	57	III	272.40	174.10	268.60	159.10
20	F	1988	31	II	340.20	238.40	345.10	261.50
21	M	1962	57	III	294.40	201.70	277.10	202.20
22	M	1963	56	III	271.10	222.70	303.40	199.40
23	F	1965	54	III	426.30	192.20	363.10	252.30
24	F	1986	33	II	273.70	188.50	301.90	186.40
25	M	1965	54	III	289.20	190.60	341.00	192.30
26	F	1999	20	I	352.30	203.80	289.10	228.80
27	F	1962	57	III	373.80	285.00	421.40	211.90
28	M	1973	46	III	314.80	194.70	308.10	149.40
29	F	1984	35	II	327.80	205.70	322.10	226.40
30	M	2000	19	I	323.60	221.50	305.60	194.40
31	F			III	307.50	236.90	322.80	257.40
32	M	1982	37	II	298.90	207.60	207.60	204.80
33	F	1983	36	II	390.00	258.70	396.30	314.00
34	M	1993	26	II	341.90	257.60	368.70	381.30
35	F	1975	44	II	330.90	240.80	337.60	262.20
36	M	1989	30	II	265.70	159.50	271.80	172.70
37	F	1964	55	III	317.20	213.70	333.40	206.30
38	M	1995		II	326.50	231.70	304.70	193.40
39	F	1966	53	III	344.00	287.30	384.10	259.30
40	M	1993	26	II	278.10	189.80	285.70	186.50
41	M	1967	52	III	327.00	213.90	308.50	228.70
42	F	1965	54	III	258.90	185.80	278.60	192.70
43	M	1982	37	II	255.90	164.70	266.10	170.10
44	M	1994		I	248.90	170.60	250.50	179.40
45	F	1992	27	II	273.30	184.10	294.80	198.90
46	F	1982	37	II	302.80	187.90	323.10	218.20
47	F	1968	51	III	314.40	243.80	335.30	266.20
48	M	1976	43	II	286.20	176.70	321.40	193.80

Anagrafe					DEVIAZIONE STANDARD			
ID	Sesso	Anno di Nascità	Età	Classe Età	PREGUIDA		POST GUIDA	
					Test Visivo	Test Uditivo	Test Visivo	Test Uditivo
1	M	1992	27	II	73.62	522.48	42.40	17.78
2	M	1973	46	III	48.05	69.51	42.88	14.42
3	M	1999	20	I	63.29	15.89	67.02	16.01
4	M	1963	56	III	37.68	22.00	35.35	12.24
5	F	1962	57	III	31.23	83.21	89.81	33.00
6	F	1965	54	III	28.76	46.88	70.91	98.39
7	M	1983	36	II	47.36	32.60	98.52	29.01
8	M	1968	51	III	124.31	18.71	40.67	29.78
9	F	1984	35	II	19.55	14.06	30.01	26.48
10	F	1990	29	II	44.64	34.56	69.89	33.93
11	M	1990	29	II	77.42	17.48	89.36	15.64
12	M	1990	29	II	41.99	17.74	77.76	25.78
13	M	1961	58	III	53.27	57.12	68.82	26.99
14	F	1997	22	I	30.04	19.18	75.02	33.24
15	F	1972	47	III	44.88	29.23	24.87	30.09
16	M	1958	61	III	78.12	22.33	195.73	116.66
17	M	1962	57	III	53.65	51.45	31.89	44.75
18	M	1974	45	II	29.90	15.45	35.04	29.17
19	M	1962	57	III	38.45	21.24	71.41	14.99
20	F	1988	31	II	34.94	40.20	41.51	37.64
21	M	1962	57	III	59.64	26.94	26.99	54.69
22	M	1963	56	III	24.77	89.40	98.44	27.32
23	F	1965	54	III	256.39	35.57	115.95	89.33
24	F	1986	33	II	44.11	38.18	91.57	20.29
25	M	1965	54	III	59.33	44.63	111.45	30.81
26	F	1999	20	I	118.36	13.13	43.07	34.78
27	F	1962	57	III	63.82	86.68	112.25	21.77
28	M	1973	46	III	50.15	39.92	76.97	16.87
29	F	1984	35	II	61.36	42.12	59.06	35.56
30	M	2000	19	I	42.77	17.87	44.11	31.76
31	F			III	40.06	27.26	31.43	29.24
32	M	1982	37	II	23.76	34.82	34.82	27.56
33	F	1983	36	II	76.27	26.23	38.55	32.62
34	M	1993	26	II	79.86	73.21	100.06	170.48
35	F	1975	44	II	59.41	44.85	78.02	41.45
36	M	1989	30	II	25.25	17.21	21.58	24.78
37	F	1964	55	III	45.57	28.08	69.34	45.54
38	M	1995		II	68.99	56.07	70.69	25.71
39	F	1966	53	III	42.58	52.67	41.85	33.83
40	M	1993	26	II	41.70	21.67	60.24	28.13
41	M	1967	52	III	56.52	65.87	61.82	61.20
42	F	1965	54	III	18.44	47.15	37.60	48.97
43	M	1982	37	II	28.82	21.54	20.28	13.80
44	M	1994		I	19.30	38.03	26.95	21.30
45	F	1992	27	II	19.10	39.37	24.70	25.62
46	F	1982	37	II	24.12	29.79	28.58	28.54
47	F	1968	51	III	59.19	34.30	52.35	45.56
48	M	1976	43	II	73.46	26.88	73.05	22.27

I. TEST DRIVER

ID	Sesso	Anno di nascita	Età	Classe	Inseguimento patente	Anni esperienza di guida	Km/anno	Incidenti	Istruzione
1	M	1992	27	II	2010	9	25000	0	Laurea I livello
2	M	1973	46	III	-	-	-	-	-
3	M	1999	20	I	2018	1	5000	1	Diploma
4	M	1963	56	III	1981	38	30000	3	Diploma
5	F	1962	57	III	1982	37	2000	0	Laurea II livello
6	F	1965	54	III	-	-	10000	2	Master - Dottorato
7	M	1983	36	II	2001	18	40000	1	-
8	M	1968	51	III	1987	32	20000	3	Diploma
9	F	1984	35	II	2004	15	15000	0	Diploma
10	F	1990	29	II	2009	10	3000	0	Laurea II livello
11	M	1990	29	II	2009	10	13000	1	Laurea I livello
12	M	1990	29	II	2008	11	10000	1	Laurea II livello
13	M	1961	58	III	1980	39	20000	0	Master - Dottorato
14	F	1997	22	I	2016	3	3000	0	Laurea I livello
15	F	1972	47	III	1991	28	-	1	Laurea II livello
16	M	1958	51	III	1976	43	35000	4	Master - Dottorato
17	M	1962	57	III	1981	38	15000	3	Laurea Magistrale
18	M	1974	45	II	1992	27	5000	0	Master - Dottorato
19	M	1962	57	III	1981	38	8000	2	Diploma
20	F	1988	31	II	2007	12	500	0	Laurea II livello
21	M	1962	57	III	1982	37	25000	0	Diploma
22	M	1963	56	III	1993	26	10000	0	Laurea II livello
23	F	1965	54	III	1983	36	20000	2	Licenza Media
24	F	1986	33	II	2005	14	18000	1	Laurea II livello
25	M	1965	54	III	1985	34	20000	2	Diploma
26	F	1999	20	I	2018	1	5000	0	Diploma
27	F	1962	57	III	1982	37	10000	10	Laurea II livello
28	M	1973	46	III	1992	27	40000	0	Laurea II livello
29	F	1984	35	II	2003	16	10000	2	Laurea II livello
30	M	2000	19	I	2018	1	2000	0	Diploma
31	F	-	-	III	-	-	100	0	Diploma
32	M	1982	37	II	2000	19	2000	1	Laurea II livello
33	F	1983	36	II	2001	18	20000	0	Diploma
34	M	1993	26	II	-	-	20000	0	Laurea I livello
35	F	1975	44	II	1993	26	10000	2	Master - Dottorato
36	M	1989	30	II	2008	11	8000	2	Laurea II livello
37	F	1964	55	III	1990	29	24000	3	Laurea I livello
38	M	1995	-	II	2014	5	5000	0	Laurea I livello
39	F	1966	53	III	1985	34	1500	0	Laurea II livello
40	M	1993	26	II	2011	8	500	0	Diploma
41	M	1967	52	III	1986	33	25000	3	Laurea II livello

42	F	1965	54	III	1987	32	15000	3	Licenza Media
43	M	1982	37	II	2000	19	5000	1	Laurea II livello
44	M	1994	-	I	2012	-	10000	0	Laurea I livello
45	F	1992	27	II	-	-	-	-	-
46	F	1982	37	II	2000	19	5000	1	Master - Dottorato
47	F	1968	51	III	1988	31	600	0	Laurea II livello
48	M	1976	43	II	1995	24	20000	0	Laurea I livello

J. DATI DELLE SIMULAZIONI

Velocità [km/h] nel Sito A Idx			
RAGGIO AUTOSTRADALE 964 m (R*)		RAGGIO AUTOSTRADALE 437 m (R1)	
65.9246	94.9449	76.5756	54.2024
67.2406	89.2135	80.2861	56.6233
54.9257	71.5732	99.3861	53.7521
66.9183	75.3585	88.4104	38.0424
57.6554	64.3669	60.5574	65.5332
54.2087	50.8016	65.5239	55.5408
74.9935	101.668	86.2455	32.8453
62.4533	92.4824	69.5227	46.162
94.4905	64.923	65.9164	70.1576
60.711	76.7918	37.539	61.1634
77.9961	70.5043	61.8966	67.9093
65.4763	75.8912	62.6946	66.5722
79.8768	60.9662	84.0707	56.2543
93.1175	66.0368	72.3725	58.7835
66.6863	75.5207	71.9001	69.8539
54.7937	77.6704	53.5047	94.6319
61.9559	89.8378	90.0295	54.8104
60.9058	91.7283	65.1779	59.3521
83.8666	65.7851	70.5946	66.1174
76.3442	58.1362	66.9371	90.1827
52.2735	70.1232	82.1152	57.0293
83.6645	88.1137	75.151	68.3976
84.9098	47.3962	63.7885	82.9026
66.7286	73.6985	69.8296	56.8701
87.3785	71.0436	57.9485	79.7655
72.7499	60.1186	80.1065	60.6805
70.4225	70.332	75.1867	55.8602
80.5296	83.7368	52.6357	66.4257
88.8396	93.4487	86.9332	67.7378
47.7132	89.233	52.3586	42.821
69.3306	101.224	75.3476	87.1521
49.2196	96.1176	69.4911	93.6402
48.849	70.5232	68.0533	67.9115
60.0754	79.4763	63.4578	66.9809
89.6131	79.6206	87.7791	73.254
49.1741	59.8176	74.3598	70.3068

Velocità [km/h] nel Sito A Udx			
RAGGIO AUTOSTRADALE 964 m (R*)		RAGGIO AUTOSTRADALE 437 m (R1)	
117.949	127.346	120.546	87.5953
112.59	127.508	130.783	91.3751
102.719	88.6127	107.781	102.823
88.3522	103.206	102.852	101.205
80.5133	88.2763	91.5116	114.421
81.5352	105.28	121.413	88.7593
116.529	123.239	118.748	82.9658
95.6758	123.125	96.222	101.569
125.127	97.3666	98.142	122.493
115.56	100.981	69.6228	110.72
130.378	112.995	103.439	102.107
118.931	119.57	76.9948	103.734
103.454	104.286	136.52	103.743
127.114	117.548	108.562	94.2014
114.172	101.222	111.814	94.5242
104.387	108.004	72.904	97.3532
99.7329	111.096	103.958	102.918
96.0463	108.605	89.408	85.0445
127.165	96.6303	87.5174	101.973
120.516	89.3188	87.3608	127.081
89.3029	105.887	118.349	107.835
114.486	109.373	132.841	113.918
136.073	95.5626	106.64	104.493
107.718	105.197	100.778	87.3133
98.2946	99.255	94.7037	93.0453
124.678	86.1386	132.939	107.109
99.0405	86.5158	84.7806	96.6334
114.41	115.915	87.6867	92.5023
114.042	124.177	137.071	105.038
80.9181	100.575	71.7788	94.7049
80.4134	124.176	112.164	121.506
85.0574	110.877	111.702	116.386
105.698	87.9011	92.3168	94.4299
97.0388	98.5854	108.945	101.111
121.045	101.462	106.091	107.967
82.4682	98.0131	113.711	114.264

Velocità [km/h] nel Sito A Isx			
RAGGIO AUTOSTRADALE 964 m (R*)		RAGGIO AUTOSTRADALE 437 m (R1)	
87.8306	124.543	80.8489	68.684
45.5757	106.559	91.084	51.305
62.5256	73.883	93.1523	54.9643
53.3022	78.6551	100.033	53.2063
72.6848	62.3137	53.722	60.0593
55.7624	44.0457	65.9722	65.7411
73.445	88.4663	84.4939	45.0787
61.1958	97.6593	83.1234	55.4934
94.3048	77.2309	67.7779	81.2449
76.6639	83.1316	42.2915	79.6702
87.3377	71.6226	69.8166	77.5609
79.1618	70.096	50.5397	78.4241
72.7491	74.7162	92.1876	76.7731
104.016	90.9594	80.804	58.8265
70.504	81.3057	74.0281	68.9006
59.7254	89.5215	62.3326	90.5052
45.3371	100.028	83.5004	62.1819
65.2756	98.1435	79.0849	65.6289
86.2176	68.4956	61.5243	70.561
74.9595	65.4003	88.055	107.631
49.7772	83.8313	76.943	64.9187
96.8166	98.0777	81.0106	88.3205
94.2005	64.0171	71.9244	79.7308
68.0728	96.7468	85.0639	62.7827
88.209	69.709	48.3947	73.1976
90.3054	66.2753	93.9707	52.4864
68.9899	72.8728	78.6348	72.2575
83.8159	78.9994	53.7898	60.889
88.1235	102.75	89.8259	68.7188
60.6261	74.8163	56.1371	67.4589
65.6945	93.822	87.7995	101.597
50.2296	92.7431	50.183	88.1303
69.9135	74.6891	67.0633	79.1211
78.6683	89.746	53.9618	70.3344
94.87	82.462	94.5023	83.1871
55.6028	63.3045	85.3058	90.1361

Velocità [km/h] nel Sito A Usx			
RAGGIO AUTOSTRADALE 964 m (R*)		RAGGIO AUTOSTRADALE 437 m (R1)	
115.858	126.868	113.517	102.497
104.138	132.114	121.749	96.9856
89.1023	115.944	107.39	89.4283
91.4191	119.275	110.322	96.3738
92.6175	97.7734	104.074	100.712
82.1245	97.5587	112.357	91.8374
99.154	134.264	116.633	74.8102
79.8045	127.21	95.0395	106.391
121.028	112.09	106.894	108.322
109.712	113.453	78.8478	122.251
120.251	111.297	107.894	100.991
115.027	138.369	71.0289	104.857
105.397	90.8869	132.703	115.92
125.44	129.391	106.327	91.5176
120.918	129.769	105.705	89.5323
96.3856	124.021	115.901	117.377
93.0756	125.038	105.652	84.6593
72.5543	125.607	99.9873	82.5996
116.588	117.026	88.9116	105.779
115.96	89.2659	108.153	116.869
95.5999	111.161	116.493	113.383
120.458	114.172	131.553	119.776
116.055	95.0923	128.962	101.897
126.584	114.657	119.122	99.8408
101.211	103.298	88.7316	109.543
147.313	89.0797	116.811	106.224
88.0912	96.069	94.7744	96.4621
116.107	111.128	97.7628	95.1028
124.745	124.742	133.216	115.33
91.0413	132.661	67.8293	87.8262
99.1541	134.808	112.038	123.889
77.8911	128.533	101.928	123.776
108.132	103.808	98.2389	97.6163
119.27	101.256	102.243	102.226
118.211	124.716	121.9	111.888
85.8916	101.185	113.201	98.2985

ASCISSA [m] IN CUI IL VEICOLO SI IMMETTE NELLA RAMPA Idx | Raggio R*

Lunghezza del terminale: CORTO		Lunghezza del terminale: STANDARD		Lunghezza del terminale: LUNGO	
Flusso libero	Flusso condizionato	Flusso libero	Flusso condizionato	Flusso libero	Flusso condizionato
267.9322	208.2897	152.5064	97.6337	276.049	57.3144
102.721	295.6182	135.46	345.0505	143.543	264.691
156.6734	313.6453	318.3426	132.585	260.043	417.3286
131.896	141.772	129.343	307.3326	215.1013	239.164
88.2997	174.588	135.085	149.483	134.937	225.3986
302.9496	391.3312	211.5769	254.543	276.446	349.093
251.2529	302.4939	317.2692	331.1635	98.572	149.966
86.9043	287.6126	117.783	54.2874	363.2748	377.2789
190.2995	246.5002	65.2189	310.7293	181.2906	372.1316
78.4625	75.2928	316.1904	325.5803	64.7543	362.3378
149.507	238.3872	243.1608	315.0333	311.263	199.6151
217.2888	206.0582	302.4908	326.4608	119.384	144.95

ASCISSA [m] IN CUI IL VEICOLO DIVERGE NELLA RAMPA Udx | Raggio R*

Lunghezza del terminale: CORTO		Lunghezza del terminale: STANDARD		Lunghezza del terminale: LUNGO	
Flusso libero	Flusso condizionato	Flusso libero	Flusso condizionato	Flusso libero	Flusso condizionato
10.2871	8.45487	60.0128	34.5949	36.7201	72.1491
64.4553	53.5658	96.77748	21.0983	72.0275	54.8899
83.1888	68.9031	47.7469	33.0199	75.3831	30.4742
17.3371	50.046	50.2825	12.7926	43.5203	39.317
40.127	41.4584	61.0576	59.2227	15.5608	57.7257
24.9539	24.9657	91.71765	30.3968	40.4958	43.1082
28.0007	37.5587	87.5985	40.8719	99.63918	59.1958
23.5035	103.8935	55.6973	0.816908	53.6306	53.4896
42.2165	94.09304	25.3504	39.2034	55.8319	45.8075
53.7537	55.4443	51.3554	46.1354	66.7962	38.06
42.7635	24.0267	73.7142	59.1857	100.783	56.1627
24.7834	51.8393	48.0016	43.7636	11.4581	214.609

ASCISSA [m] IN CUI IL VEICOLO SI IMMETTE NELLA RAMPA Isx | Raggio R*

Lunghezza del terminale: CORTO		Lunghezza del terminale: STANDARD		Lunghezza del terminale: LUNGO	
Flusso libero	Flusso condizionato	Flusso libero	Flusso condizionato	Flusso libero	Flusso condizionato
138.3695	80.0399	55.3771	296.813	391.1356	190.274
276.5841	241.5856	110.5391	107.1315	52.3913	96.76086
79.0388	58.3454	146.0696	353.3924	436.7485	185.9354
130.7588	140.6362	398.2701	96.60001	240.102	122.6986
111.1421	293.3577	67.4286	225.539	210.583	235.134
99.3582	196.789	192.949	293.235	193.116	45.4487
298.7186	251.5933	97.273	123.3695	147.9166	76.302
169.3325	212.929	67.9514	269.95	79.1011	165.3131
188.077	78.5635	71.189	120.3885	154.97	162.1689
262.114	227.52251	130.9617	230.14	144.5793	226.891
183.5865	193.962	142.9115	152.086	73.3033	170.2546
278.4924	280.4548	136.9109	141.9532	186.2119	76.48

ASCISSA [m] IN CUI IL VEICOLO SI IMMETTE NELLA RAMPA Usx | Raggio R*

Lunghezza del terminale: CORTO		Lunghezza del terminale: STANDARD		Lunghezza del terminale: LUNGO	
Flusso libero	Flusso condizionato	Flusso libero	Flusso condizionato	Flusso libero	Flusso condizionato
82.6651	53.383	108.5547	162.1171	175.3422	12.1649
249.6935	-9.42	72.2237	197.882	90.0025	353.8895
63.3109	70.1558	131.9701	193.262	160.5446	85.5303
30.2152	110.2333	173.056	40.0063	76.3696	24.7253
37.8301	44.6095	77.6435	49.2924	216.811	233.412
219.2253	244.4055	65.7452	68.5248	199.752	22.0952
65.2283	67.3606	194.679	259.6367	26.2648	67.41
27.9286	41.7351	47.6951	69.8454	217.296	54.0697
66.9324	177.5643	87.7391	188.059	259.71	108.9359
25.4132	78.0154	47.3892	74.0318	88.703	123.1517
156.9453	70.6516	83.2781	94.86959	85.7365	49.084
57.2204	102.4446	179.5485	243.021	66.5602	13.7408

ASCISSA [m] IN CUI IL VEICOLO SI IMMETTE NELLA RAMPA Idx | Raggio R1

Lunghezza del terminale: CORTO		Lunghezza del terminale: STANDARD		Lunghezza del terminale: LUNGO	
Flusso libero	Flusso condizionato	Flusso libero	Flusso condizionato	Flusso libero	Flusso condizionato
117.493	290.0366	74.5474	100.612	362.0156	282.273
293.3318	241.2326	226.748	239.677	265.089	200.459
159.94	126.71	325.1509	52.2124	206.882	216.908
117.633	110.257	55.3677	167.432	109.69	73.2854
44.8085	201.451	322.5791	275.39	408.9542	347.562
138.371	85.9683	154.869	156.487	325.352	236.066
128.593	269.7024	259.375	166.014	404.5431	52.4442
178.775	135.295	97.2703	276.963	49.8681	363.4462
110.592	238.7837	227.61	74.1312	95.4719	279.118
259.99	124.185	293.2776	143.591	393.576	161.083
262.1004	273.9703	101.92	174.354	59.2063	74.3868
135.319	290.8595	106.877	108.318	-8.6402	251.855

ASCISSA [m] IN CUI IL VEICOLO DIVERGE NELLA RAMPA Udx | Raggio R1

Lunghezza del terminale: CORTO		Lunghezza del terminale: STANDARD		Lunghezza del terminale: LUNGO	
Flusso libero	Flusso condizionato	Flusso libero	Flusso condizionato	Flusso libero	Flusso condizionato
63.4572	25.7069	62.0795	39.1821	21.5621	39.5061
65.8515	85.6552	47.0129	60.7654	66.5079	51.5498
38.5645	40.2743	64.0986	40.5	60.7237	51.4696
45.9636	70.2008	59.7342	41.3881	42.4861	30.5358
67.4855	36.0506	2.37056	41.3395	64.1672	35.3104
72.9647	32.6401	48.6477	39.6281	46.499	-52.6865
41.8529	72.326	17.7538	71.3663	40.7709	49.779
53.139	79.0014	38.8705	39.132	61.8429	45.2381
43.3847	54.7722	48.798	28.2848	-139.922	65.4125
28.901	110.845	35.4029	27.6357	55.3644	37.9763
72.0977	49.7522	39.3056	52.9324	51.2542	55.805
44.902	26.2452	71.4618	24.1179	16.6547	66.2117

ASCISSA [m] IN CUI IL VEICOLO SI IMMETTE NELLA RAMPA Isx | Raggio R1

Lunghezza del terminale: CORTO		Lunghezza del terminale: STANDARD		Lunghezza del terminale: LUNGO	
Flusso libero	Flusso condizionato	Flusso libero	Flusso condizionato	Flusso libero	Flusso condizionato
65.4329	145.3325	103.273	298.9473	100.253	238.946
140.8007	239.84	76.0206	117.42	157.862	51.029
113.213	74.7667	230.6677	316.8707	155.774	90.571
103.353	258.137	133.672	195.6301	151.727	126.782
123.422	101.314	240.6796	359.2329	382.5148	363.5484
260.9998	281.8242	220.9179	178.6318	319.0441	394.328
96.011	275.1095	142.496	217.9017	264.0676	124.855
182.0808	230.8291	148.553	87.714	83.1782	195.424
257.9762	279.58	111.961	264.9401	122.376	117.745
236.6841	208.2257	200.5911	325.8902	126.332	174.669
387.4846	206.7678	209.3818	114.265	117.547	315.8381
219.76418	161.0308	80.005	94.141	262.23	252.2643

ASCISSA [m] IN CUI IL VEICOLO DIVERGE NELLA RAMPA Usx | Raggio R1

Lunghezza del terminale: CORTO		Lunghezza del terminale: STANDARD		Lunghezza del terminale: LUNGO	
Flusso libero	Flusso condizionato	Flusso libero	Flusso condizionato	Flusso libero	Flusso condizionato
48.0868	187.0032	111.215	72.1695	166.32	149.818
77.0224	93.352	41.7755	58.4337	356.8289	334.2897
72.1979	31.5315	80.83472	99.074	73.0842	36.6538
168.2993	101.9325	82.78879	76.1862	74.8365	17.1684
83.38577	78.8409	75.953	274.9314	148.745	189.177
106.0345	76.9564	126.633	52.6274	60.7556	341.5858
104.272	14.4494	173.8274	45.874	64.2074	60.863
53.2308	123.2564	126.786	40.5506	78.633	30.126
85.69587	120.0699	89.65343	133.924	25.6245	66.8669
82.94339	109.2862	84.96768	73.882	31.1026	71.77
45.3999	138.2054	45.0841	105.908	93.414	110.554
101.6777	139.306	275.1052	85.24635	47.3125	296.2985

TERMINALE Idx						
	Flusso Libero			Flusso Condizionato		
	vel.A	vel.B	vel.C	vel.A	vel.B	vel.C
CORTO R*	65.9246	80.4448	84.1133	71.0436	82.6162	91.1841
	67.2406	75.0552	91.4091	60.1186	63.8467	64.2199
	54.9257	69.6641	76.6181	70.332	63.3513	62.1912
	66.9183	77.6333	99.1709	83.7368	94.3537	101.093
	57.6554	60.9342	69.2707	93.4487	106.412	110.868
	54.2087	71.1175	71.2485	89.233	100.852	99.4552
	74.9935	94.0084	94.1936	101.224	118.037	118.218
	62.4533	75.9935	87.7531	96.1176	106.162	107.474
	94.4905	112.424	121.833	70.5232	90.9095	95.9616
	60.711	71.0251	90.7721	79.4763	89.7464	108.711
	77.9961	87.3866	98.3218	79.6206	90.559	93.8133
	65.4763	80.9512	83.6089	59.8176	74.2779	80.0089
	79.8768	89.8023	95.6897	94.9449	101.48	118.809
STANDARD R*	93.1175	99.5867	111.776	89.2135	100.612	101.817
	66.6863	95.4	96.8395	71.5732	81.5118	99.356
	54.7937	69.7406	85.8601	75.3585	87.8059	90.3588
	61.9559	66.763	82.0525	64.3669	71.249	85.0635
	60.9058	71.8831	87.9037	50.8016	76.7156	84.1873
	83.8666	86.3034	88.9879	101.668	117.529	116.872
	76.3442	88.3731	107.905	92.4824	95.2781	110.539
	52.2735	63.2615	84.7727	64.923	67.6762	73.8358
	83.6645	103.01	105.584	76.7918	68.0054	72.3645
	84.9098	99.801	108.171	70.5043	90.5144	92.8335
	66.7286	92.1606	95.9118	75.8912	100.328	102.583
LUNGO R*	87.3785	109.976	119.609	60.9662	64.3462	91.2397
	72.7499	80.367	97.0965	66.0368	75.9327	94.4133
	70.4225	73.807	84.9775	75.5207	110.109	111.435
	80.5296	93.131	102.866	77.6704	97.8832	105.689
	88.8396	97.7868	111.217	89.8378	106.424	115.346
	47.7132	72.6767	79.7761	91.7283	100.525	105.627
	69.3306	83.974	97.3903	65.7851	79.4608	102.85
	49.2196	76.8248	79.2955	58.1362	78.5066	80.7816
	48.849	79.1135	104.258	70.1232	82.4621	85.4193
	60.0754	70.6333	96.1955	88.1137	110.565	114
	89.6131	110.794	114.92	47.3962	63.9798	74.5895
	49.1741	58.5026	81.0007	73.6985	82.9833	101.868
CORTO R1	84.0707	97.9104	111.465	79.7655	94.2783	93.8837
	72.3725	75.3591	74.6679	60.6805	71.2536	73.957
	71.9001	75.7813	81.7335	55.8602	66.0616	76.7259
	53.5047	70.104	93.5569	66.4257	76.0313	88.099
	90.0295	91.4339	97.8888	67.7378	80.194	86.0961
	65.1779	87.9568	100.468	42.821	60.7415	85.0398
	70.5946	72.6489	78.5137	87.1521	96.8119	98.2016
	66.9371	91.7008	97.5122	93.6402	97.5902	104.971

	82.1152	90.0823	100.095	67.9115	70.8966	79.0277
	75.151	106.801	105.196	66.9809	74.8932	87.6538
	63.7885	83.4952	85.3026	73.254	98.8667	101.269
	69.8296	87.3935	99.2933	70.3068	88.4694	88.1957
STANDARD R1	57.9485	70.2207	84.9629	56.2543	72.3446	94.2795
	80.1065	89.404	96.8654	58.7835	78.7122	89.5421
	75.1867	87.9699	86.528	69.8539	77.7602	98.7583
	52.6357	58.2458	73.0552	94.6319	90.6907	89.8522
	86.9332	92.9962	94.8437	54.8104	67.1573	70.2827
	52.3586	60.0592	70.0582	59.3521	74.2496	88.9818
	75.3476	91.936	95.4466	66.1174	76.4793	89.3997
	69.4911	88.2899	109.914	90.1827	105.074	110.063
	68.0533	73.7647	79.702	57.0293	66.43	86.4905
	63.4578	87.9688	91.5411	68.3976	82.5157	94.2176
	87.7791	99.5066	112.468	82.9026	95.9459	103.521
	74.3598	84.7331	98.5495	56.8701	66.4716	78.3853
	76.5756	100.206	101.054	54.2024	72.2749	80.4863
LUNGO R1	80.2861	96.322	100.752	56.6233	68.7214	80.7719
	99.3861	99.9277	119.504	53.7521	80.7801	93.2359
	88.4104	93.2478	103.441	38.0424	56.1689	84.447
	60.5574	74.7809	75.7583	65.5332	87.9064	93.4181
	65.5239	75.7913	76.7676	55.5408	68.3387	76.3718
	86.2455	104.922	105.264	32.8453	50.3592	70.482
	69.5227	73.1484	85.4528	46.162	81.1441	86.8401
	65.9164	85.261	93.3688	70.1576	92.3956	102.022
	37.539	67.7969	65.6681	61.1634	76.8878	92.0248
	61.8966	68.7815	108.542	67.9093	74.9646	94.1598
	62.6946	60.3792	90.2396	66.5722	74.5295	82.1131

Terminale Udx						
	Flusso Libero			Flusso Condizionato		
	vel.A	vel.B	vel.C	vel.A	vel.B	vel.C
CORTO R*	98.2946	98.0498	88.9709	104.286	103.002	78.1175
	124.678	119.706	95.9316	117.548	114.965	92.1217
	99.0405	95.2552	85.638	101.222	102.013	88.8743
	114.41	113.202	84.617	108.004	105.628	83.589
	114.042	111.096	90.952	111.096	110.375	95.0973
	80.9181	75.5683	47.1369	108.605	109.672	75.2572
	80.4134	78.4372	66.0347	96.6303	92.626	83.2943
	85.0574	83.4319	65.3044	89.3188	81.2821	71.3054
	105.698	100.102	57.6618	105.887	100.685	90.0388
	97.0388	93.7222	83.05	109.373	105.28	93.7146
	121.045	113.865	94.5328	95.5626	93.5434	79.5681
	82.4682	80.0066	61.939	105.197	101.361	87.5246
STANDARD R*	117.949	114.544	84.6679	99.255	98.4713	74.1569
	112.59	111.066	87.7309	86.1386	86.5469	55.1184
	102.719	98.5492	63.0327	86.5158	87.6962	69.43
	88.3522	83.0291	63.4293	115.915	115.756	89.7464
	80.5133	76.4721	68.0421	124.177	123.195	92.5193
	81.5352	75.4591	43.3634	100.575	97.2991	83.1994
	116.529	110.184	68.9575	124.176	121.6	106.313
	95.6758	85.48	58.9698	110.877	110.927	100.174
	125.127	123.429	105.146	87.9011	83.8655	66.9746
	115.56	112.723	90.181	98.5854	95.8021	78.3356
	130.378	119.732	88.7511	101.462	101.238	86.3796
	118.931	115.055	92.8374	98.0131	95.25	66.7616
LUNGO R*	103.454	100.906	92.6084	127.346	128.03	123.73
	127.114	124.752	115.009	127.508	120.142	88.1322
	114.172	109.389	95.1275	88.6127	90.2879	66.5888
	104.387	99.1424	73.2435	103.206	101.982	70.5885
	99.7329	98.6021	78.2942	88.2763	85.7417	72.6375
	96.0463	88.6439	56.9395	105.28	98.2884	67.2223
	127.165	115.483	86.7646	123.239	122.419	96.1034
	120.516	112.764	82.3243	123.125	123.617	96.0013
	89.3029	83.9674	61.1861	97.3666	95.4618	74.5142
	114.486	111.009	90.3576	100.981	96.7354	80.4356
	136.073	130.54	93.3984	112.995	109.025	79.3545
	107.718	105.079	66.278	119.57	114.768	105.128
CORTO R1	120.546	115.563	86.3617	93.0453	102.252	92.8774
	130.783	125.885	116.833	107.109	82.0702	68.0553
	107.781	106.412	94.7901	96.6334	91.7044	80.0865
	102.852	103.978	98.2473	92.5023	93.082	91.6465
	91.5116	90.7048	85.5784	105.038	99.9436	74.4842
	121.413	120.6	111.702	94.7049	82.1108	57.5794
	118.748	114.512	96.8952	121.506	96.3652	86.3964
	96.222	95.9576	85.3501	116.386	125.653	120.81

	98.142	95.1731	53.6759	94.4299	104.095	75.6463
	69.6228	66.9785	50.1305	101.111	104.883	97.863
	103.439	96.5487	80.6466	107.967	99.606	86.4505
	76.9948	72.7699	62.5442	114.264	84.0227	67.9742
STANDARD R1	136.52	131.821	116.847	93.0453	90.328	84.7729
	108.562	105.003	90.9296	107.109	104.907	95.2654
	111.814	106.838	84.4952	96.6334	93.9964	78.8519
	72.904	71.7966	68.056	92.5023	89.6122	75.1941
	103.958	103.798	99.9617	105.038	101.873	85.3753
	89.408	86.2513	65.0518	94.7049	90.9334	67.7559
	87.5174	87.6108	76.2717	121.506	116.055	103.808
	87.3608	80.4693	70.175	116.386	116.827	112.912
	118.349	117.199	105.36	94.4299	95.7491	87.3861
	132.841	130.16	109.843	101.111	96.5876	83.0412
	106.64	103.978	89.8197	107.967	104.081	83.3337
	100.778	96.0486	86.1278	114.264	110.392	97.0451
LUNGO R1	94.7037	91.9171	63.6196	87.5953	83.6261	79.8524
	132.939	125.991	102.689	91.3751	83.0483	73.8419
	84.7806	80.4533	74.2053	102.823	99.3208	81.1178
	87.6867	77.5116	59.5874	101.205	99.0025	75.0208
	137.071	126.374	101.098	114.421	111.893	93.9313
	71.7788	67.0821	61.5062	88.7593	92.2469	89.0579
	112.164	105.228	84.0645	82.9658	84.1101	59.3404
	111.702	105.029	90.8568	101.569	94.0687	71.8255
	92.3168	105.919	87.5338	122.493	117.82	104.395
	108.945	98.8148	75.4055	110.72	109.201	95.7313
	106.091	106.313	95.7579	102.107	94.4756	76.6314
	113.711	110.096	89.6716	103.734	98.4254	75.3028

Terminale Isx						
	Flusso Libero			Flusso Condizionato		
	vel.A	vel.B	vel.C	vel.A	vel.B	vel.C
CORTO R*	124.543	121.72	135.69	72.7491	73.6813	80.9403
	106.559	116.545	117.857	104.016	112.216	119.205
	73.883	78.1079	97.4411	70.504	71.0286	91.388
	78.6551	82.9172	90.2832	59.7254	63.5799	79.1946
	62.3137	65.2019	73.1408	45.3371	52.5048	53.5735
	44.0457	55.5658	79.4403	65.2756	69.9583	71.4109
	88.4663	93.1829	93.1549	86.2176	99.2966	98.6815
	97.6593	99.7631	106.209	74.9595	84.0102	93.1858
	77.2309	74.5023	80.8995	49.7772	58.8339	82.3203
	83.1316	93.999	95.7789	96.8166	100.453	106.812
	71.6226	80.0962	87.7928	94.2005	97.9321	105.961
	70.096	79.384	82.5732	68.0728	74.3604	73.9534
STANDARD R*	74.7162	74.8468	88.0286	88.209	100.233	107.703
	90.9594	98.3886	116.136	90.3054	93.1767	112.45
	81.3057	91.9985	114.508	68.9899	65.9397	72.0176
	89.5215	106.216	107.638	83.8159	86.7794	105.252
	100.028	101.547	120.467	88.1235	103.405	107.71
	98.1435	94.1235	104.715	60.6261	78.2559	86.8875
	68.4956	70.8412	101.515	65.6945	72.0446	95.0028
	65.4003	65.8595	79.2636	50.2296	68.7148	75.235
	83.8313	85.8014	110.833	69.9135	84.3564	113.869
	98.0777	101.02	116.26	78.6683	88.3885	101.858
	64.0171	71.2343	85.4501	94.87	99.8879	111.529
	96.7468	103.776	116.564	55.6028	64.0732	87.6555
LUNGO R*	69.709	89.7507	91.891	87.8306	99.1389	112.18
	66.2753	66.2528	82.412	45.5757	52.2121	101.744
	72.8728	62.8362	58.4161	62.5256	75.9004	90.3038
	78.9994	86.7539	99.7796	53.3022	75.3082	103.987
	102.75	115.29	120.719	72.6848	70.8881	77.7412
	74.8163	82.5691	94.7101	55.7624	55.3365	75.8604
	93.822	105.47	130.804	73.445	74.9726	102.082
	92.7431	94.1556	112.899	61.1958	67.9018	79.7288
	74.6891	82.936	104.13	94.3048	106.998	121.158
	89.746	100.437	114.223	76.6639	87.0289	100.933
	82.462	84.0567	96.9793	87.3377	89.8616	104.553
	63.3045	75.9738	89.324	79.1618	81.0429	97.691
CORTO R1	68.684	68.1994	75.7759	48.3947	62.3844	82.0092
	51.305	55.5213	64.5479	93.9707	104.681	106.648
	54.9643	62.7364	86.042	78.6348	78.2608	90.4666
	53.2063	56.3024	75.4687	53.7898	58.3835	68.4376
	60.0593	65.3959	88.7192	89.8259	90.9022	98.6339
	65.7411	70.055	70.1755	56.1371	65.2108	66.7039
	45.0787	48.0139	58.2153	87.7995	84.2393	86.1247
	55.4934	63.1329	78.8604	50.183	72.6655	86.0479

	81.2449	90.3573	92.638	67.0633	68.6987	71.7458
	79.6702	91.4827	96.4801	53.9618	66.2086	78.3867
	77.5609	85.0675	82.9532	94.5023	104.85	107.03
	78.4241	84.0561	87.5304	85.3058	90.1646	98.4663
STANDARD R1	73.1976	74.775	98.9915	80.8489	90.9677	95.0377
	52.4864	51.926	70.152	91.084	92.2097	101.334
	72.2575	78.2333	87.2316	93.1523	97.6665	101.351
	60.889	62.6472	75.2894	100.033	104.648	110.781
	68.7188	83.406	87.9989	53.722	58.467	58.5472
	67.4589	64.0062	78.9205	65.9722	69.5245	74.7071
	101.597	104.665	115.807	84.4939	79.0624	92.0146
	88.1303	91.0813	102.193	83.1234	83.8657	98.3915
	79.1211	81.1365	89.0427	67.7779	83.9342	95.0321
	70.3344	77.926	89.5728	42.2915	59.9374	58.517
	83.1871	86.9631	99.6127	69.8166	71.8225	99.2949
	90.1361	90.1482	101.515	50.5397	54.3167	71.4708
	76.7731	79.2078	100.474	92.1876	91.5515	106.857
LUNGO R1	58.8265	64.865	95.8977	80.804	78.7391	101.131
	68.9006	74.3536	89.092	74.0281	74.9843	96.193
	90.5052	91.7809	98.2816	62.3326	67.5902	100.082
	62.1819	65.6323	71.1646	83.5004	95.4452	95.5652
	65.6289	74.471	84.0377	79.0849	78.3707	87.0745
	70.561	73.3114	89.001	61.5243	63.4233	79.1222
	107.631	107.655	123.848	88.055	103.858	124.716
	64.9187	71.0845	98.3623	76.943	79.8458	100.421
	88.3205	91.765	110.728	81.0106	84.2991	107.352
	79.7308	83.818	103.497	71.9244	86.6999	94.7108
	62.7827	74.1526	83.8045	85.0639	85.0035	98.7216

Terminale Usx						
	Flusso Libero			Flusso Condizionato		
	vel.A	vel.B	vel.C	vel.A	vel.B	vel.C
CORTO R*	103.298	97.4908	87.0229	115.858	109.871	91.3405
	89.0797	75.1549	76.9127	104.138	105.097	88.0609
	96.069	89.833	57.4588	89.1023	74.0437	68.8142
	111.128	107.086	87.7642	91.4191	73.4254	73.1121
	124.742	124.683	110.965	92.6175	89.6239	76.0636
	132.661	76.6337	74.837	82.1245	68.3898	68.5746
	134.808	129.294	122.3	99.154	95.7831	86.4527
	128.533	126.592	110.489	79.8045	79.1234	64.5671
	103.808	99.1377	72.1635	121.028	109.739	104.828
	101.256	99.1305	82.9223	109.712	108.475	100.234
	124.716	109.34	99.5366	120.251	112.778	94.3586
	101.185	99.2632	78.0863	115.027	98.8554	88.8005
STANDARD R*	126.868	126.106	122.408	105.397	94.4604	87.0245
	132.114	124.426	90.6985	125.44	123.294	118.754
	115.944	98.0275	85.4508	120.918	105.189	98.1537
	119.275	101.37	89.5473	96.3856	88.6597	73.2044
	97.7734	89.3322	79.0218	93.0756	85.3561	77.634
	97.5587	93.1863	80.5809	72.5543	72.5453	63.4039
	134.264	121.43	113.358	116.588	98.651	95.1197
	127.21	127.397	101.179	115.96	111.464	98.5139
	112.09	106.964	87.7874	95.5999	80.7863	56.2005
	113.453	92.7306	78.4651	120.458	115.16	95.8879
	111.297	106.303	89.2305	116.055	110.305	94.7274
	138.369	126.076	117.058	126.584	89.6555	86.9881
LUNGO R*	90.8869	76.1122	87.0229	101.211	101.582	91.2908
	129.391	124.672	76.9127	147.313	135.723	135.628
	129.769	118.501	57.4588	88.0912	83.5552	76.2127
	124.021	121.17	87.7642	116.107	111.522	104.25
	125.038	113.013	110.965	124.745	110.783	102.737
	125.607	113.504	74.837	91.0413	89.5559	59.3104
	117.026	115.244	122.3	99.1541	86.8244	82.1702
	89.2659	83.4204	110.489	77.8911	73.5705	66.3671
	111.161	89.7347	72.1635	108.132	105.762	80.3003
	114.172	108.503	82.9223	119.27	112.529	96.8061
	95.0923	92.1016	99.5366	118.211	114.966	106.671
	114.657	111.566	78.0863	85.8916	83.9884	73.9873
CORTO R1	115.92	111.401	89.6523	132.703	100.211	97.1253
	91.5176	60.3761	67.0726	106.327	99.5581	90.6313
	89.5323	83.7109	72.7204	105.705	103.32	89.1071
	117.377	104.73	101.63	115.901	82.3751	73.9964
	84.6593	83.1359	67.9518	105.652	105.336	98.9218
	82.5996	74.3097	59.5933	99.9873	94.0485	85.6047
	105.779	97.786	81.5369	88.9116	88.8186	82.5673
	116.869	112.554	100.36	108.153	95.4028	79.6868

	113.383	107.735	70.7258	116.493	110.611	103.916
	119.776	111.044	96.9251	131.553	123.292	104.641
	101.897	98.9595	85.4296	128.962	120.237	114.576
	99.8408	92.802	77.9854	119.122	99.7869	80.2522
STANDARD R1	102.497	80.3862	74.2228	88.7316	82.8386	68.3843
	96.9856	93.9259	73.0047	116.811	112.533	97.7094
	89.4283	48.5905	68.215	94.7744	87.2659	79.0308
	96.3738	90.7249	75.7474	97.7628	90.3512	60.499
	100.712	95.8183	92.2616	133.216	99.3022	101.769
	91.8374	87.1529	83.7906	67.8293	62.6741	59.333
	74.8102	68.0256	48.4358	112.038	102.032	82.4407
	106.391	82.7326	64.5916	101.928	97.2443	78.3291
	108.322	101.878	93.904	98.2389	96.3955	89.9954
	122.251	115.561	97.5992	102.243	90.7553	75.086
	100.991	98.0381	52.8397	121.9	103.038	86.6769
	104.857	88.8563	90.8609	113.201	103.633	94.4275
	109.543	98.2753	90.0614	113.517	103.318	89.7933
LUNGO R1	106.224	94.4173	96.0445	121.749	94.4563	94.5174
	96.4621	94.0286	84.4372	107.39	104.363	92.1424
	95.1028	90.2611	71.2856	110.322	109.913	95.1936
	115.33	106.355	92.2367	104.074	103.864	94.7072
	87.8262	81.8687	64.242	112.357	96.733	97.1463
	123.889	120.495	98.5158	116.633	100.317	91.0932
	123.776	123.808	103.122	95.0395	94.7766	76.9104
	97.6163	98.2327	82.3067	106.894	93.8371	66.2358
	102.226	99.3005	69.9476	78.8478	71.932	70.2879
	111.888	104.842	82.9165	107.894	97.8098	88.8691
	98.2985	93.0662	89.2565	71.0289	55.4168	57.1011

K. TEST DI NORMALITÀ

TERMINALE Idx				KS-test		
CAMPIONE (Velocità sui siti A, B, C)						
Sito	Raggio	Lunghezza	Flusso	Massima Differenza	D _{crit, 0.05}	Risultato test
A	R*	Corta	Libero	0.181	0.393	Superato
B	R*	Corta	Libero	0.156		
C	R*	Corta	Libero	0.084		
A	R*	Corta	Condizionato	0.118		
B	R*	Corta	Condizionato	0.107		
C	R*	Corta	Condizionato	0.120		
A	R*	Standard	Libero	0.119		
B	R*	Standard	Libero	0.142		
C	R*	Standard	Libero	0.135		
A	R*	Standard	Condizionato	0.131		
B	R*	Standard	Condizionato	0.092		
C	R*	Standard	Condizionato	0.076		
A	R*	Lunga	Libero	0.249		
B	R*	Lunga	Libero	0.149		
C	R*	Lunga	Libero	0.309		
A	R*	Lunga	Condizionato	0.113		
B	R*	Lunga	Condizionato	0.151		
C	R*	Lunga	Condizionato	0.135		
A	R1	Corta	Libero	0.105		
B	R1	Corta	Libero	0.130		
C	R1	Corta	Libero	0.167		
A	R1	Corta	Condizionato	0.106		
B	R1	Corta	Condizionato	0.141		
C	R1	Corta	Condizionato	0.132		
A	R1	Standard	Libero	0.094		
B	R1	Standard	Libero	0.209		
C	R1	Standard	Libero	0.078		
A	R1	Standard	Condizionato	0.192		
B	R1	Standard	Condizionato	0.141		
C	R1	Standard	Condizionato	0.111		
A	R1	Lunga	Libero	0.102		
B	R1	Lunga	Libero	0.154		
C	R1	Lunga	Libero	0.133		
A	R1	Lunga	Condizionato	0.127		
B	R1	Lunga	Condizionato	0.096		
C	R1	Lunga	Condizionato	0.122		

TERMINALE Udx						
CAMPIONE (Velocità sui siti A, B, C)				KS-test		
Sito	Raggio	Lunghezza	Flusso	Massima Differenza	D _{crit, 0.05}	Risultato test
A	R*	Corta	Libero	0.138	0.393	Superato
B	R*	Corta	Libero	0.132		
C	R*	Corta	Libero	0.187		
A	R*	Corta	Condizionato	0.110		
B	R*	Corta	Condizionato	0.148		
C	R*	Corta	Condizionato	0.097		
A	R*	Standard	Libero	0.164		
B	R*	Standard	Libero	0.216		
C	R*	Standard	Libero	0.143		
A	R*	Standard	Condizionato	0.155		
B	R*	Standard	Condizionato	0.127		
C	R*	Standard	Condizionato	0.081		
A	R*	Lunga	Libero	0.272		
B	R*	Lunga	Libero	0.314		
C	R*	Lunga	Libero	0.191		
A	R*	Lunga	Condizionato	0.135		
B	R*	Lunga	Condizionato	0.124		
C	R*	Lunga	Condizionato	0.143		
A	R1	Corta	Libero	0.110		
B	R1	Corta	Libero	0.091		
C	R1	Corta	Libero	0.118		
A	R1	Corta	Condizionato	0.147		
B	R1	Corta	Condizionato	0.109		
C	R1	Corta	Condizionato	0.064		
A	R1	Standard	Libero	0.099		
B	R1	Standard	Libero	0.090		
C	R1	Standard	Libero	0.092		
A	R1	Standard	Condizionato	0.147		
B	R1	Standard	Condizionato	0.135		
C	R1	Standard	Condizionato	0.132		
A	R1	Lunga	Libero	0.085		
B	R1	Lunga	Libero	0.146		
C	R1	Lunga	Libero	0.121		
A	R1	Lunga	Condizionato	0.129		
B	R1	Lunga	Condizionato	0.120		
C	R1	Lunga	Condizionato	0.122		

TERMINALE Isx						
CAMPIONE (Velocità sui siti A, B, C)				KS-test		
Sito	Raggio	Lunghezza	Flusso	Massima Differenza	D _{crit, 0.05}	Risultato test
A	R*	Corta	Libero	0.093	0.393	Superato
B	R*	Corta	Libero	0.117		
C	R*	Corta	Libero	0.138		
A	R*	Corta	Condizionato	0.095		
B	R*	Corta	Condizionato	0.153		
C	R*	Corta	Condizionato	0.086		
A	R*	Standard	Libero	0.132		
B	R*	Standard	Libero	0.139		
C	R*	Standard	Libero	0.136		
A	R*	Standard	Condizionato	0.127		
B	R*	Standard	Condizionato	0.108		
C	R*	Standard	Condizionato	0.150		
A	R*	Lunga	Libero	0.126		
B	R*	Lunga	Libero	0.107		
C	R*	Lunga	Libero	0.151		
A	R*	Lunga	Condizionato	0.091		
B	R*	Lunga	Condizionato	0.091		
C	R*	Lunga	Condizionato	0.140		
A	R1	Corta	Libero	0.160		
B	R1	Corta	Libero	0.141		
C	R1	Corta	Libero	0.091		
A	R1	Corta	Condizionato	0.184		
B	R1	Corta	Condizionato	0.122		
C	R1	Corta	Condizionato	0.107		
A	R1	Standard	Libero	0.110		
B	R1	Standard	Libero	0.088		
C	R1	Standard	Libero	0.107		
A	R1	Standard	Condizionato	0.117		
B	R1	Standard	Condizionato	0.109		
C	R1	Standard	Condizionato	0.205		
A	R1	Lunga	Libero	0.151		
B	R1	Lunga	Libero	0.190		
C	R1	Lunga	Libero	0.069		
A	R1	Lunga	Condizionato	0.107		
B	R1	Lunga	Condizionato	0.059		
C	R1	Lunga	Condizionato	0.128		

TERMINALE Usx						
CAMPIONE (Velocità sui siti A, B, C)				KS-test		
Sito	Raggio	Lunghezza	Flusso	Massima Differenza	D _{crit, 0.05}	Risultato test
A	R*	Corta	Libero	0.175	0.393	Superato
B	R*	Corta	Libero	0.121		
C	R*	Corta	Libero	0.128		
A	R*	Corta	Condizionato	0.125		
B	R*	Corta	Condizionato	0.141		
C	R*	Corta	Condizionato	0.119		
A	R*	Standard	Libero	0.110		
B	R*	Standard	Libero	0.176		
C	R*	Standard	Libero	0.215		
A	R*	Standard	Condizionato	0.209		
B	R*	Standard	Condizionato	0.097		
C	R*	Standard	Condizionato	0.132		
A	R*	Lunga	Libero	0.156		
B	R*	Lunga	Libero	0.241		
C	R*	Lunga	Libero	0.128		
A	R*	Lunga	Condizionato	0.089		
B	R*	Lunga	Condizionato	0.123		
C	R*	Lunga	Condizionato	0.100		
A	R1	Corta	Libero	0.156		
B	R1	Corta	Libero	0.109		
C	R1	Corta	Libero	0.107		
A	R1	Corta	Condizionato	0.111		
B	R1	Corta	Condizionato	0.096		
C	R1	Corta	Condizionato	0.082		
A	R1	Standard	Libero	0.082		
B	R1	Standard	Libero	0.104		
C	R1	Standard	Libero	0.126		
A	R1	Standard	Condizionato	0.081		
B	R1	Standard	Condizionato	0.113		
C	R1	Standard	Condizionato	0.086		
A	R1	Lunga	Libero	0.124		
B	R1	Lunga	Libero	0.152		
C	R1	Lunga	Libero	0.110		
A	R1	Lunga	Condizionato	0.199		
B	R1	Lunga	Condizionato	0.268		
C	R1	Lunga	Condizionato	0.243		

TERMINALE Idx					
CAMPIONE (Ascissa di immissione)			KS-test		
Raggio	Lunghezza	Flusso	Massima Differenza	D _{crit} , 0.05	Risultato test
R*	Corta	Libero	0.112	0.393	Superato
R*	Corta	Condizionato	0.095		
R*	Standard	Libero	0.172		
R*	Standard	Condizionato	0.258		
R*	Lunga	Libero	0.267		
R*	Lunga	Condizionato	0.160		
R1	Corta	Libero	0.165		
R1	Corta	Condizionato	0.179		
R1	Standard	Libero	0.174		
R1	Standard	Condizionato	0.121		
R1	Lunga	Libero	0.150		
R1	Lunga	Condizionato	0.137		

TERMINALE Udx					
CAMPIONE (Ascissa di diversione)			KS-test		
Raggio	Lunghezza	Flusso	Massima Differenza	D _{crit} , 0.05	Risultato test
R*	Corta	Libero	0.143	0.393	Superato
R*	Corta	Condizionato	0.131		
R*	Standard	Libero	0.141		
R*	Standard	Condizionato	0.086		
R*	Lunga	Libero	0.310		
R*	Lunga	Condizionato	0.306		
R1	Corta	Libero	0.151		
R1	Corta	Condizionato	0.118		
R1	Standard	Libero	0.090		
R1	Standard	Condizionato	0.216		
R1	Lunga	Libero	0.252		
R1	Lunga	Condizionato	0.231		

TERMINALE Isx					
CAMPIONE (Ascissa di immissione)			KS-test		
Raggio	Lunghezza	Flusso	Massima Differenza	D _{crit} , 0.05	Risultato test
R*	Corta	Libero	0.150	0.393	Superato
R*	Corta	Condizionato	0.145		
R*	Standard	Libero	0.221		
R*	Standard	Condizionato	0.172		
R*	Lunga	Libero	0.150		
R*	Lunga	Condizionato	0.141		
R1	Corta	Libero	0.133		
R1	Corta	Condizionato	0.124		
R1	Standard	Libero	0.145		
R1	Standard	Condizionato	0.147		
R1	Lunga	Libero	0.234		
R1	Lunga	Condizionato	0.142		

TERMINALE U _{sx}					
CAMPIONE (Ascissa di diversione)			KS-test		
Raggio	Lunghezza	Flusso	Massima Differenza	D _{crit, 0.05}	Risultato test
R*	Corta	Libero	0.235	0.393	Superato
R*	Corta	Condizionato	0.172		
R*	Standard	Libero	0.174		
R*	Standard	Condizionato	0.171		
R*	Lunga	Libero	0.283		
R*	Lunga	Condizionato	0.164		
R1	Corta	Libero	0.117		
R1	Corta	Condizionato	0.083		
R1	Standard	Libero	0.163		
R1	Standard	Condizionato	0.190		
R1	Lunga	Libero	0.229		
R1	Lunga	Condizionato	0.181		

SDLP					
CAMPIONE			KS-test		
Raggio	Terminale	Manovra	Massima Differenza	D _{crit, 0.05}	Risultato test
R*	Idx (continuità)	Immissione	0.251	0.393	Superato
R*	Isx (inflessione)		0.174	0.393	Superato
R*	Udx (continuità)	Diversione	0.101	0.393	Superato
R*	Usx (inflessione)		0.260	0.393	Superato
R1	Idx (continuità)	Immissione	0.688	0.393	X
R1	Isx (inflessione)		0.336	0.393	Superato
R1	Udx (continuità)	Diversione	0.204	0.393	Superato
R1	Usx (inflessione)		0.470	0.393	X