



**Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Civile  
Tesi di Laurea Magistrale**

**Effetti comportamentali indotti dall'uso di un  
sistema di controllo della velocità dei veicoli basato  
sulla distanza di visibilità disponibile**

**Relatori**

**prof. Marco Bassani**

**ing. Abrar Hazoor**

**Candidato**

**Terrafino Alberto**

**Marzo 2021**



## Indice

Indice .....	I
Riassunto.....	III
Abstract .....	V
1. INTRODUZIONE .....	1
1.1. Sistemi intelligenti di controllo della velocità .....	2
1.2. Distanze di visibilità .....	3
1.3. Adattamento della velocità alle condizioni di visibilità.....	6
1.4. Obiettivo della tesi .....	9
2. ATTIVITÀ SPERIMENTALE .....	11
2.1. Disegno sperimentale.....	11
2.2. Simulatore di guida .....	14
2.3. Scenari sperimentali .....	17
2.3.1. Concezione geometrica del tracciato .....	17
2.3.2. Studio delle ostruzioni ottiche.....	20
2.3.3. Dettagli progettuali .....	22
2.4. Varianti del sistema ISA.....	23
2.4.1. ISA-1 Informative e ISA-2 Warning.....	23
2.4.2. ISA-3 Intervening .....	26
2.5. Partecipanti .....	27
2.6. Protocollo sperimentale .....	30
2.7. Trattamento dei dati .....	31
2.8. Variabili dipendenti e analisi dei dati.....	32
3. RISULTATI E ANALISI.....	36
3.1. Comportamento longitudinale .....	36
3.1.1. Velocità in ingresso in curva.....	36
3.1.1.1. T-test .....	36
3.1.1.2. Modello lineare misto .....	44
3.1.2. Velocità in uscita dalla curva .....	46
3.1.2.1. T-test .....	46
3.1.2.2. Modello lineare misto .....	48
3.2. Comportamento trasversale (SDLP).....	50
3.2.1. SDLP nei tratti curvi.....	50
3.2.1.1. T-test.....	50

---

3.2.1.2. Modello lineare misto .....	52
4. CONCLUSIONI .....	55
BIBLIOGRAFIA .....	58
Indice delle figure .....	61
Indice delle tabelle .....	67
Ringraziamenti.....	69
ALLEGATI.....	70
ALLEGATO A: Tracciato planimetrico .....	70
ALLEGATO B: Campioni di guidatori.....	71
ALLEGATO C: Documentazione attività sperimentale .....	74
ALLEGATO D: Profili di velocità .....	80
ALLEGATO E: Profili di Lane Gap.....	85
ALLEGATO F: Risultati dei modelli lineari ( <i>LMM</i> ) .....	90
ALLEGATO G: Risultati test statistici ( <i>t-test</i> ) .....	93
ALLEGATO H: Analisi dati velocità ingresso in curva .....	97
ALLEGATO I: Analisi dati velocità in uscita dalla curva.....	104
ALLEGATO J: Analisi dati SDLP .....	108

## Riassunto

**Introduzione.** La sicurezza stradale è condizionata dalla velocità dei veicoli. I sistemi di assistenza alla guida che permettono di adeguare la velocità alle condizioni geometriche e di traffico possono contribuire alla riduzione della frequenza incidentale e la severità degli impatti. L'informazione data al guidatore sul limite di velocità è già oggi fornita da sistemi intelligenti di controllo denominati ISA (*intelligent speed adaptation*). Tuttavia, in molti casi il solo rispetto del limite non è sufficiente a garantire la sicurezza della circolazione. Ad esempio, le curve dove la distanza di visuale libera (ASD – *available sight distance*) è inferiore allo spazio necessario per arrestare in sicurezza il veicolo di fronte ad un ostacolo (SSD – *stopping sight distance*), determinano condizioni di rischio intrinseco rispetto alle quali sono necessarie specifiche contromisure. Inoltre, va considerato che nella rete stradale in esercizio i casi in cui  $ASD < SSD$  sono numerosi, ciò a causa di situazioni in cui ASD è ridotta per effetto di ostruzioni ottiche lungo il tracciato, o per eccessive velocità di esercizio.

**Obiettivi e metodo.** Questo studio è finalizzato alla messa a punto di un nuovo ISA che considera le condizioni di visibilità lungo un tracciato. Sono state sviluppate tre varianti denominate: *Informative (ISA-1)*, *Warning (ISA-2)* e *Intervening (ISA-3)*. Le prime due informano il guidatore con un segnale visivo o sonoro dell'eccessiva velocità che comporta  $ASD < SSD$ ; la terza interviene automaticamente sulla velocità per ottenere  $ASD \geq SSD$ . Lo studio indaga gli effetti comportamentali conseguenti all'uso di questa tecnologia. In particolare, si vuole capire se il sistema ISA possa migliorare le prestazioni e la sicurezza del guidatore nell'affrontare condizioni di guida oggettivamente rischiose per mancanza di sufficiente visibilità. L'attività è stata eseguita al simulatore di guida coinvolgendo 60 guidatori suddivisi in due gruppi (sperimentale e di controllo) stratificati in base all'età e al genere. Il disegno sperimentale ha permesso di valutare gli effetti sul comportamento longitudinale (velocità) e trasversale (posizione laterale e traiettoria) prodotti dai sistemi di controllo della velocità qui sviluppati.

**Risultati e conclusioni.** Nell'ingresso in curva, i risultati mostrano una risposta positiva dei guidatori al supporto ricevuto dagli ISA. Solamente nei tratti di strada con limitata ASD, prevalentemente curve di raggio piccolo, i sistemi ISA-1 e ISA-2 non permettono di adeguare completamente la velocità al limite di sicurezza. Risultati decisamente positivi sono invece stati ottenuti con l'ISA-3 che interviene automaticamente dove necessario. In

uscita dalle curve di piccolo raggio, l'ISA-3 induce un comportamento più aggressivo per compensare la perdita di velocità nell'ingresso in curva. Si osserva inoltre che i sistemi ISA non influenzano la capacità di controllo laterale del veicolo da parte dei guidatori. Ulteriori indagini si rendono necessarie per valutare la capacità di adattamento e l'accettazione dei guidatori nell'interazione con gli ISA proposti. Altre verifiche di funzionamento in contesti diversi (es. ambito urbano) e con diverse condizioni di traffico, oltre alla possibilità di integrare il nuovo ISA con altre componenti tecnologiche di supporto alla guida (ADAS), saranno condotti in un prossimo futuro.

## Abstract

**Introduction.** Road safety is influenced by speed. Driving assistance technologies that allow speed adjustment considering road geometric and traffic conditions can reduce the crash frequency and severity. The information of speed limit is now given to the driver through intelligent control systems called ISA (intelligent speed adaptation technologies). However, the compliance with the posted speed alone is not sufficient to ensure adequate safety levels like in curves with limited visibility, where the available sight distance (ASD) is lower than the distance needed to safely stop the vehicle in front of an obstacle (SSD – stopping sight distance). In the road network, the condition for which  $ASD < SSD$  is frequent due to a number sight obstruction along the path, or for high operating speeds.

**Objectives and Methodology.** This study is aimed at the development of a new ISA that considers visibility conditions along a roadway. Three variants have been developed called: Informative (ISA-1), Warning (ISA-2) and Intervening (ISA-3). The first two informs the driver with a visual or acoustic signal of the excessive speed based on  $ASD < SSD$ ; the third intervenes automatically on the speed to obtain  $ASD \geq SSD$ . The study investigates the behavioural effects resulting from the use of this system. In particular, the study intends to evaluate if the ISA system can improve the performance and safety of the driver dealing with poor visibility conditions. The activity was performed at the driving simulator involving 60 drivers divided into two groups (experimental and control) stratified according to age and gender. The experimental design allowed to evaluate the effects produced by the speed control system on longitudinal (speed) and transversal (lateral position and trajectory) behaviour.

**Results and Conclusions.** At curve approaches, the results show a positive response from the drivers who interact with the ISA system. However, in the case of small radius curves with limited values of ASD, the drivers using ISA-1 and ISA-2 were not fully able to reduce the speed up to the threshold speed limit. On the other hand, positive results have been obtained with the ISA-3, which automatically intervenes when drivers tend to increase the speed over the limit threshold. Additionally, speeds at the curve exit were analysed to understand whether the intervention of the ISA-3 can induce a more aggressive behaviour

to compensate the lower speed at curve entry. This evidence was found only along small radius curves. Finally, it was observed that ISA variants do not affect the ability to control the lateral position of the vehicle. Further investigations are necessary to assess the driver adaptation and acceptance of the proposed system. Moreover, testing the system in the urban environment and with different traffic conditions could be of certain interest. In addition, the integration of the new ISA with other Advanced Driver Assistance System (ADAS) modules will be studied in the near future.

## 1. INTRODUZIONE

Il controllo e la gestione della velocità è uno dei principali problemi che più impattano sulla progettazione, la circolazione e la sicurezza stradale. Nella letteratura scientifica, è stata ripetutamente evidenziata la relazione che lega la velocità con la frequenza e la severità degli incidenti [1]. Al crescere della velocità aumenta la probabilità di accadimento di un evento incidentale, poiché la distanza richiesta al veicolo per fermarsi ed evitare lo scontro con altri veicoli o ostacoli fissi è maggiore, mentre è conseguentemente minore la probabilità di evitare l'impatto [2,3].

Per tale motivo, negli anni sono state messe in atto diverse soluzioni per limitare le velocità operative attraverso l'introduzione di dispositivi di rilevamento della velocità per il sanzionamento delle infrazioni (es., autovelox), interventi sulla segnaletica orizzontale e verticale, l'adozione di strisce rumorose e dossi rallentatori [4]. Nonostante la massiccia introduzione di queste misure, la letteratura evidenzia una limitata efficacia alla zona circoscritta dall'intervento [5,6]. In particolare, gli studi condotti da Christie et al. (2003) e Mountain et al. (2005) hanno verificato l'esistenza dell'effetto di "migrazione" in risposta all'utilizzo dei sistemi per il controllo della velocità. È stato osservato infatti che i guidatori riducono la velocità nei tratti di strada a ridosso degli autovelox, ma poi compensano tale riduzione incrementandola dopo averli superati. Ciò determina anche un aumento degli incidenti stradali immediatamente a monte o a valle della zona di intervento [7,8].

Al contrario, le soluzioni tecnologiche a bordo veicolo operano in continuo, e se mantenute attive permettono un migliore condizionamento. Diversi studi hanno confermato i grandi benefici che deriverebbero nell'usare i sistemi di assistenza alla guida (ADAS – *Advanced driver assistance systems*) in particolare i sistemi intelligenti di controllo della velocità denominati ISA (*Intelligent speed adaptation*) [9].

## 1.1. Sistemi intelligenti di controllo della velocità

*Intelligent Speed Adaptation* (ISA) è il termine dato a una serie di dispositivi che aiutano i conducenti nella scelta di velocità adeguate e nel rispetto dei limiti imposti dal Codice della Strada. Un sistema ISA può essere configurato in vari modi a seconda del livello di intervento desiderato per il controllo della velocità da parte del conducente: esso può informare o avvisare (*informative/warning ISA*) il guidatore della necessità di ridurre la velocità, o intervenire direttamente sui comandi (*intervening ISA*) [10]. L'idea di assistere i guidatori attraverso il controllo della velocità risale ai primi anni '80 quando furono introdotti i primi limitatori di velocità che erano impostati direttamente dal conducente [11]. Durante gli anni '90, si è iniziato a lavorare su sistemi di bordo capaci di riconoscere i limiti di velocità. Prove su larga scala ebbero luogo in Svezia, dove quasi 5000 auto equipaggiate con varie forme di ISA furono testate. La maggior parte di queste aveva un ISA informativo, ma quasi 300 di esse erano dotate di un sistema di intervento che consisteva in un acceleratore tattile noto come *Active Accelerator Pedal* (AAP) [12,13].

I nuovi sistemi ISA riconoscono la posizione del veicolo nella rete stradale e da qui derivano il limite di velocità. Ciò avviene attraverso i dispositivi di navigazione di bordo (tipicamente GPS) e un database di mappe con il quale l'ISA confronta la velocità del veicolo con il limite previsto [14]. I conducenti ricevono la stessa informazione presente sui segnali verticali presenti sul ciglio della strada, in modo da ricordare costantemente il limite di velocità legale lungo l'intero viaggio. Oggi, le tecnologie ISA interagiscono con il guidatore in modalità che vanno dalla semplice informazione visiva o auditiva, fino all'intervento diretto sui comandi del veicolo per supportare il conducente nel mantenere una condotta di marcia corretta e sicura [15].

Queste modalità di assistenza alla guida hanno comportato una significativa riduzione della frequenza degli eventi incidentali (18% per l'ISA informativo e 37% per l'ISA automatico nel Regno Unito), come dimostrato dallo studio condotto da Carsten e Tate (2005) [16]. Poiché al guidatore è data la possibilità di disattivare tali sistemi, alcune ricerche evidenziano sensibili differenze di comportamento tra chi ha deciso di guidare con l'ISA attivo e chi invece ha preferito non utilizzarlo. Lai e Carsten (2012) ad esempio, hanno dimostrato che i guidatori che disattivano tali sistemi sono coloro che otterrebbero i maggiori benefici qualora li utilizzassero [17].

Il limite di velocità generale indicato nel Codice della Strada può essere ridotto qualora dovessero presentarsi fattori di rischio specifici come la visibilità limitata, la conflittualità con altri utenti o una condizione permanente non rimovibile dell'infrastruttura (es. limitata larghezza della corsia o della banchina, presenza di ostacoli fissi prossimi alla carreggiata, ecc.) [18,19]. Tuttavia, altri fattori caratterizzanti la sede stradale, tra cui una maggior larghezza della corsia, e anche ottime condizioni meteorologiche e di visibilità possono

comportare la riduzione della percezione del rischio del guidatore che può reagire con maggiore aggressività e/o velocità, in coerenza con il principio di omeostasi del rischio [20]. Adeguare il funzionamento degli ISA ai fattori di rischio specifici sopracitati può condurre a un miglioramento del livello della sicurezza stradale, poiché il conducente riceve informazioni del contesto e adotta velocità coerenti non soltanto al limite legale ma anche alle condizioni di traffico e alle caratteristiche geometriche della strada.

## 1.2. Distanze di visibilità

Uno dei principali aspetti che influenza la velocità è la visibilità disponibile lungo la traiettoria. In molti casi, la presenza di un'ostruzione visiva fissa o temporanea limita la visuale libera disponibile del guidatore (in inglese ASD – *Available sight distance*), il quale adatta la velocità per mantenere uno spazio sufficiente in caso di frenata, noto come distanza di visibilità per l'arresto (in inglese SSD – *Stopping sight distance*). Quando  $SSD < ASD$  il veicolo si muove in sicurezza. Le regole di progettazione stradale impongono che il conducente debba poter compiere la manovra di arresto sempre, di sorpasso e di cambio corsia dove consentito e in completa sicurezza. Per tale motivo è richiesto che lo spazio di visuale libera sia superiore a quello necessario per compiere le suddette manovre [20,21]. La ASD è definita come la massima distanza lungo la futura traiettoria che il guidatore può vedere tenendo conto della presenza di elementi che ostacolano la visibilità, quali la vegetazione, le barriere di sicurezza, le recinzioni e gli edifici che costeggiano l'infrastruttura. Tra le varie caratteristiche longitudinali e trasversali che definiscono un tracciato stradale, i raggi delle curve circolari e la distanza dell'ostacolo visivo rispetto all'asse stradale, condizionano fortemente i valori di ASD e di conseguenza il rischio associato nel percorrere questi tratti.

Secondo le norme geometriche stradali [21,22] in Figura 1 è rappresentata la linea di visuale (in inglese *line of sight*) e la distanza di visibilità disponibile convenzionale, cioè riferita all'asse della corsia, per entrambi i sensi di marcia lungo una curva orizzontale, dove:

- $R$  è il raggio dell'asse stradale;
- $r_1$  e  $r_2$  sono i raggi delle traiettorie di svolta a destra e a sinistra rispettivamente;
- $D_1$  e  $D_2$  sono le distanze dell'ostacolo visivo dalle traiettorie di svolta a destra e a sinistra rispettivamente;
- $d$  è la distanza dell'ostacolo visivo dal bordo della strada;
- $sw$  è la larghezza della banchina;
- $ASD_1$  e  $ASD_2$  sono le distanze visive disponibili dalle traiettorie a destra e a sinistra rispettivamente.

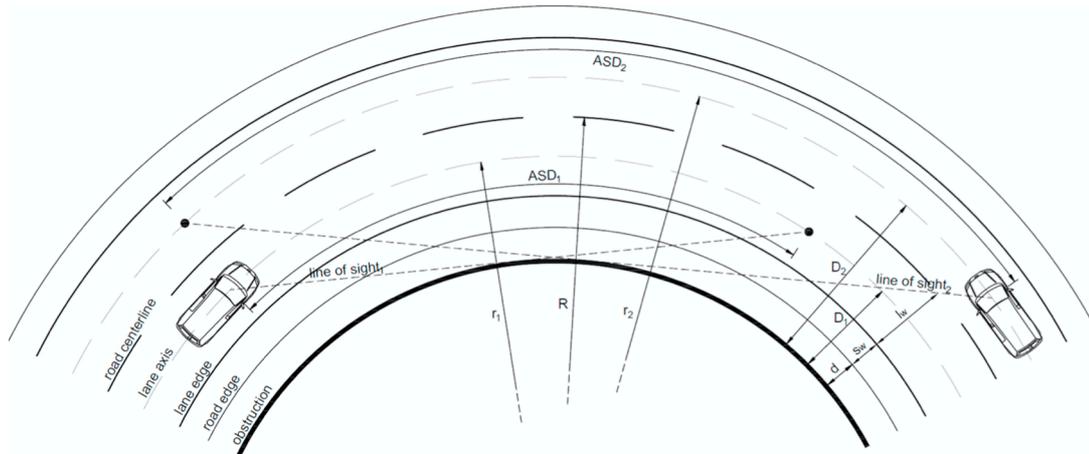


Fig. 1 - Rappresentazione ASD per curva destrorsa e sinistrorsa di raggio R (Bassani et al. 2019a)

Nella Figura 1, il pedice "1" è usato per identificare il veicolo che si muove da sinistra a destra, mentre il pedice "2" denota quello che viaggia da destra a sinistra. Seguendo una traiettoria circolare di raggio  $r_i$  (con  $i = 1, 2$ ) con un ostacolo visivo posto a una distanza costante  $D_i$  dalla stessa traiettoria, i conducenti che viaggiano lungo la curva verso destra ( $i = 1$ ) e verso sinistra ( $i = 2$ ) beneficiano di un  $ASD_i$  uguale a:

$$ASD_i = 2r_i \cdot \arcsin \left[ 1 - \frac{D_i}{r_i} \right]$$

Tuttavia, la prescrizione tecnica che impone  $ASD > SSD$  non è considerata nel momento in cui il responsabile dell'esercizio di una strada stabilisce il limite di velocità per un particolare tratto di strada. Per tale motivo, vi è un'elevata probabilità che il guidatore si ritrovi a guidare in una condizione non sicura nonostante stia rispettando i limiti di velocità [23]. Diversi studi dimostrano che a una visibilità ridotta corrisponda un incremento significativo del numero di eventi incidentali e della loro severità [24,25].

Bassani et al. (2019a) hanno valutato l'effetto della ASD sul comportamento dei guidatori in esperimenti al simulatore di guida, progettando scenari stradali con diverse combinazioni di raggi di curva e posizione delle ostruzioni visive laterali, costituite da muri continui lungo l'intero tratto curvo. La diversa posizione del muro nella sezione trasversale associata a diversi raggi di curva ha dato luogo a valori della ASD nell'intervallo compreso tra 56,6 m e 187,4 m. I risultati hanno dimostrato che all'aumentare della ASD, i guidatori percorrono le curve a velocità sempre più elevate [26].

In uno studio successivo, gli stessi autori hanno osservato che i guidatori adottano diverse strategie di compensazione in risposta al rischio percepito nel percorrere curve con limitata visibilità laddove  $ASD < SSD$ . In particolare, alcuni conducenti hanno ridotto la velocità e ciò ha comportato una minore distanza d'arresto, altri hanno scelto di spostarsi lateralmente nella corsia per aumentare la distanza di visuale libera. Tuttavia, i risultati

dimostrano che una significativa porzione di guidatori non ha adottato nessuna compensazione del rischio e quindi ha affrontato le curve con velocità eccessive e ha viaggiato in condizioni, del tutto o in parte, non sicure [27]. La Tabella 1 riporta i valori percentuali delle condizioni di visibilità e delle diverse strategie adottate nell'affrontare il rischio percepito durante l'attraversamento delle curve.

Tabella 1 - Combinazioni delle strategie di compensazione del rischio scelte dai guidatori considerando le condizioni di limitata visibilità lungo le curve (Bassani et al. 2019b)

Condizione di visibilità	Strategia			
	Spostamento laterale	Riduzione della velocità	Entrambe	Nessuna
Sicura ( $ASD > SSD$ )	11.5%	36.9%	3.6%	48.1%
Parzialmente sicura	18.9%	40.3%	6.6%	34.1%
Non sicura ( $ASD < SSD$ )	5.8%	49.3%	26.1%	18.8%
Totale	14.0%	38.8%	5.9%	41.3%

Per condizioni di visibilità si intende [Figura 2]:

- I. "sicura" quando  $ASD > SSD$  lungo l'intera traiettoria in curva;
- II. "parzialmente sicura" quando  $ASD > SSD$  limitatamente a un tratto dell'intera curva;
- III. "insicura" quando  $ASD < SSD$  lungo l'intera traiettoria in curva.

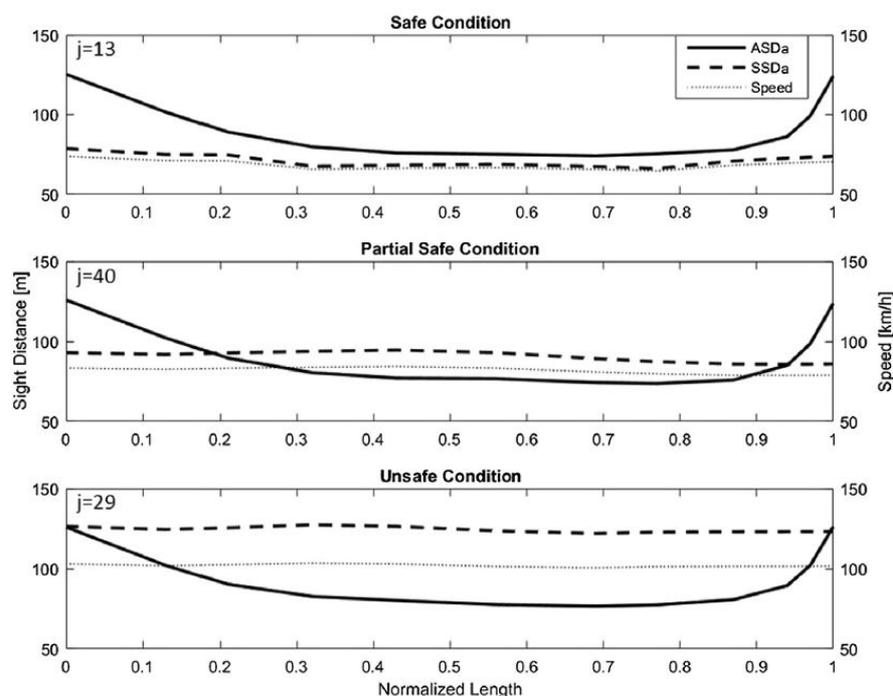


Fig. 2 Confronto fra i profili di ASD e SSD per tre diversi guidatori (j) lungo la stessa curva (Bassani et al. 2019b)

### 1.3. Adattamento della velocità alle condizioni di visibilità

La possibilità di supportare l'azione del guidatore in base alle condizioni di visibilità è stata sviluppata nello studio al simulatore di guida di Hazoor et al. (2021) [28]. Lo scopo dello studio è stato quello di progettare un nuovo sistema ISA basato su un algoritmo in grado di suggerire al guidatore la velocità in modo che  $ASD \geq SSD$ . Questo avviene grazie al rilevamento della ASD nel modello virtuale e alla stima della SSD in base alla velocità.

In questo studio, il nuovo ISA è proposto in tre varianti: (i) *informative* e (ii) *warning* che consentono al conducente di mantenere una velocità di sicurezza tramite l'attivazione di segnali visivi o acustici ogni qualvolta viene superato il limite di velocità, e (iii) *intervening* dove la velocità del veicolo è controllata automaticamente attraverso l'azione degli organi di controllo longitudinale per impedire che sia superato il limite di velocità. L'applicazione per veicoli reali di questa nuova tecnologia ISA è possibile grazie ai lavori di ricerca svolti sulla valutazione dinamica della distanza visiva disponibile. Jung et al. (2018), ad esempio, hanno utilizzato tecniche di telerilevamento LIDAR (*Light Detection and Ranging*) per ricostruire lo spazio 3D osservabile da un conducente in movimento.

Il software usato per la ricerca, *SCANeR Studio*®, ha fornito gli strumenti necessari per la simulazione di un sensore virtuale nell'ambiente simulato. La valutazione della distanza di visibilità disponibile in ogni sezione del tracciato è stata eseguita attraverso l'implementazione di punti di misura (in inglese *road markers*) disposti lungo l'asse della corsia di marcia e riconoscibili dal sensore virtuale, posizionato sul veicolo simulato. La distanza tra il punto di misura più lontano visibile dal sensore e il veicolo è stata analizzata nel software di programmazione *MATLAB Simulink*® per il calcolo della ASD [Figura 3a]. La dinamica del veicolo, l'ambiente stradale e i dati del sensore sono trasferiti in tempo reale da *SCANeR Studio*® a *Simulink*®, dove avviene l'analisi dei dati e la valutazione della velocità di sicurezza secondo il requisito di visibilità  $ASD \geq SSD$ . Infine, sono restituiti al software di simulazione le informazioni utili per l'attivazione delle tre varianti ISA [Figura 3b].

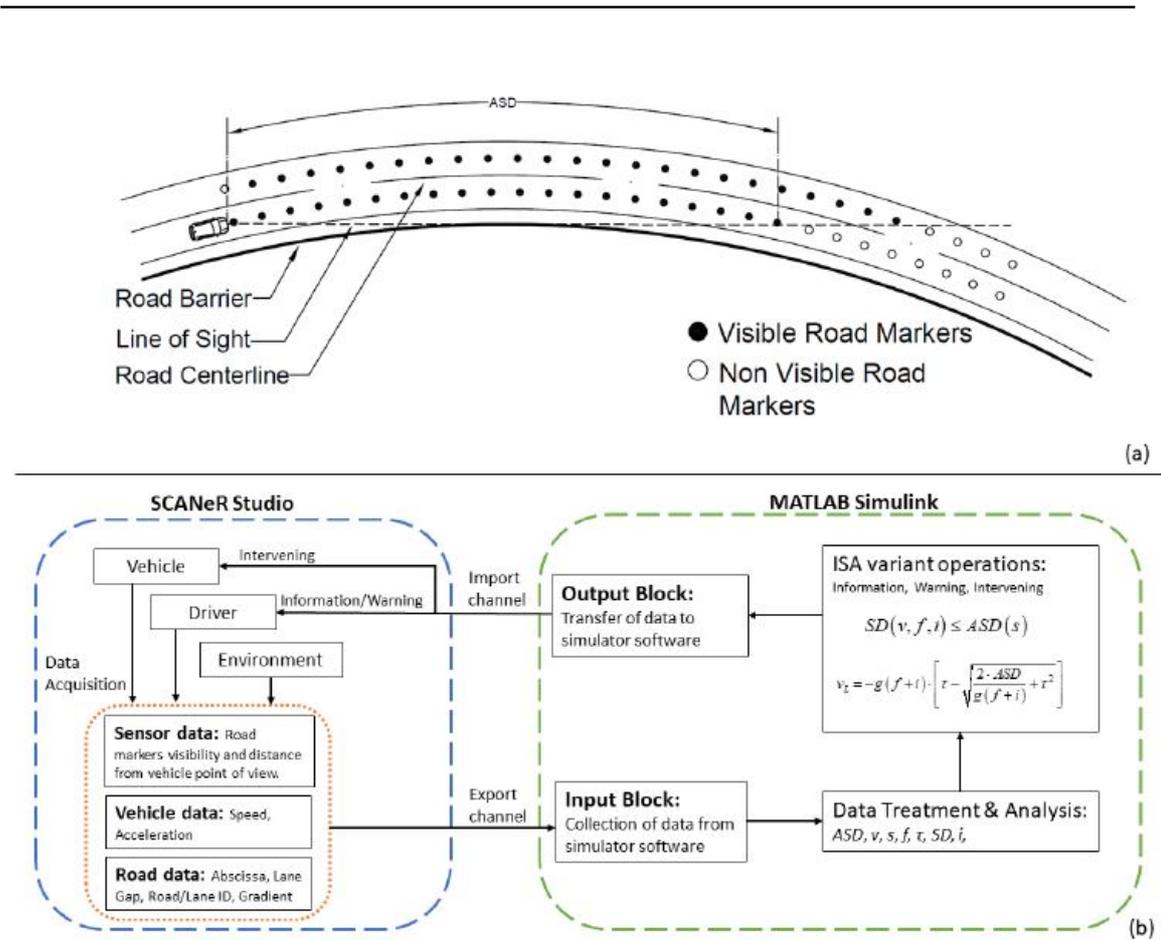


Fig. 3 - Riconoscimento della ASD in base ai punti di misura rilevati dal sensore a bordo veicolo (a), e interazione tra i software SCANer Studio® e MATLAB Simulink® (b) (Hazaar et al. 2021)

Le prime due varianti ISA operano confrontando i valori di ASD e SSD. Il valore di SSD è calcolato in tempo reale introducendo in *Simulink*® l'equazione per il calcolo della distanza richiesta per l'arresto:

$$SSD = v \cdot \tau + \frac{v^2}{2g \cdot (f \pm i)}$$

L'equazione è costituita da due componenti: la distanza percorsa nel tempo di percezione e reazione ( $\tau$ ), e la distanza percorsa per arrestare il veicolo in funzione del coefficiente di attrito fra pneumatico-pavimentazione ( $f$ ), della accelerazione di gravità ( $g$ ) e della pendenza longitudinale della strada ( $i$ ). Nel caso della variante *informative* un'icona mostrata sul display del simulatore consiglia al guidatore di ridurre la velocità qualora  $ASD < SSD$ , mentre nel caso *warning* il conducente è avvertito attraverso un allarme sonoro. La terza variante ISA opera impedendo al guidatore di superare un valore di velocità di sicurezza ( $v_L$ ) calcolata imponendo il valore della ASD nell'equazione di calcolo della distanza di visibilità per l'arresto:

$$v_L = -g(f + i) \cdot \left[ \tau - \sqrt{\frac{2 \cdot ASD}{g(f + i)} + \tau^2} \right]$$

Il tracciato stradale considerato per testare il sistema ISA si compone di una serie di tratti curvilinei di diverso raggio e con visibilità limitata per la presenza di un ostacolo laterale continuo alto 0.95 m posizionato in corrispondenza della banchina interna alla curva. Le sezioni trasversali del tracciato nei tratti curvilinei destrorsi e sinistrorsi sono riportate in Figura 4.

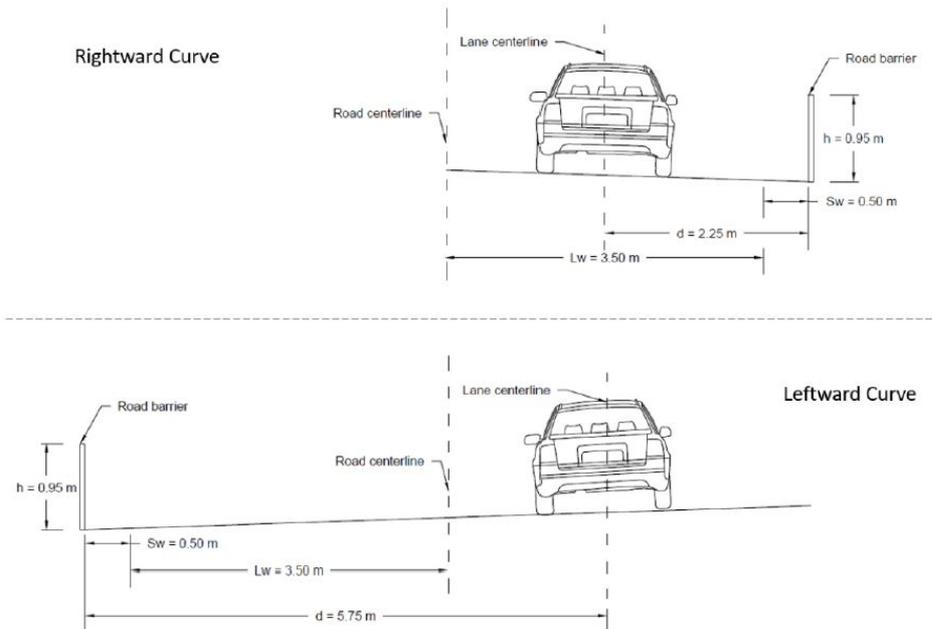


Fig. 4 Sezioni trasversali del tracciato stradale per curve destrorse e sinistrorse (Hazoor et al. 2021)

In Figura 5 sono riportati i profili di SSD, uno per ogni variante ISA, e il profilo della distanza di visibilità disponibile lungo l'intero tracciato stradale.

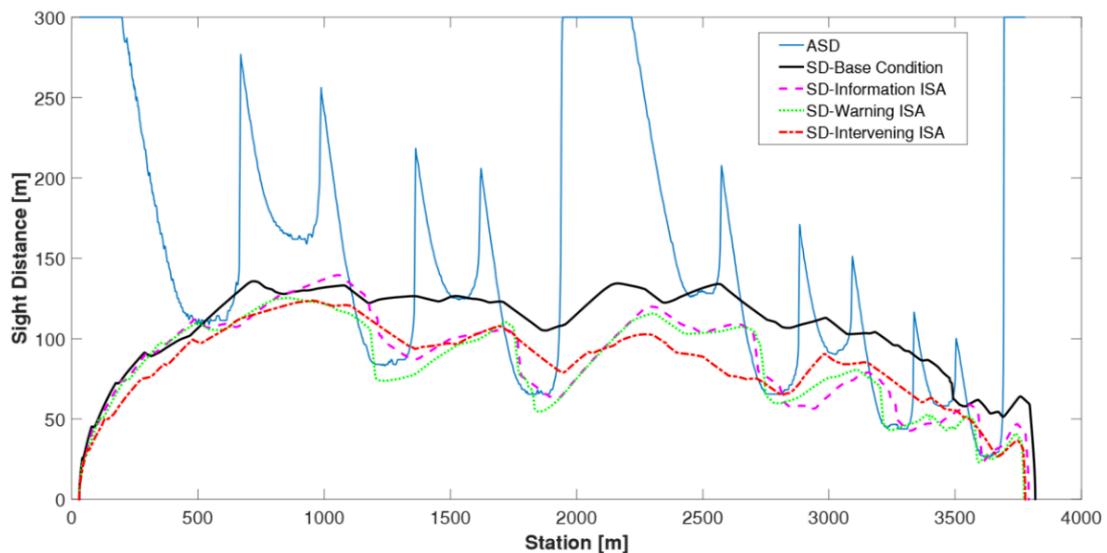


Fig. 5 Confronto tra i profili di ASD e SSD ottenuti in quattro guide diverse con e senza l'intervento dei sistemi ISA (Hazoor et al. 2021)

In Figura 6 sono riportati i profili di velocità del veicolo nelle 4 guide testate, cioè senza assistenza del sistema (*Base Condition*) e sfruttando le tre varianti ISA, confrontati con il profilo della velocità di sicurezza (*safe speed*).

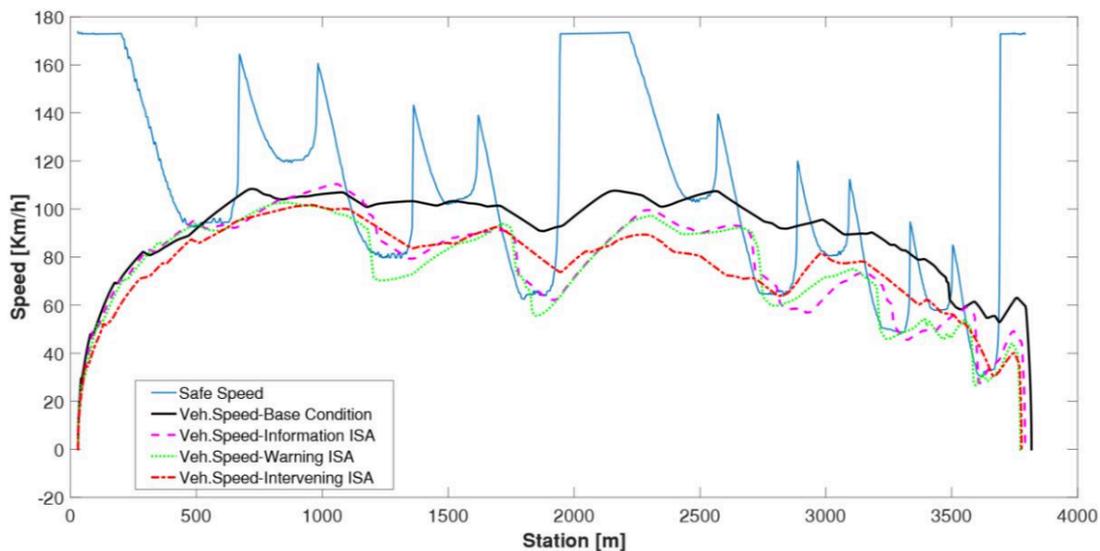


Fig. 6 Confronto tra i valori di velocità di sicurezza e i profili di velocità ottenuti in quattro guide diverse con e senza l'intervento dei sistemi ISA (Hazaar et al. 2021)

Si osserva che in caso di curve di raggio maggiore l'interazione con i sistemi ISA è minima in quanto i valori di ASD sono elevati, mentre al diminuire del raggio e di conseguenza della ASD il conducente riceve più frequentemente il supporto dall'ISA, con conseguente diminuzione della velocità. I risultati ottenuti mostrano il corretto funzionamento dei sistemi, i quali riescono ad informare e avvertire il guidatore del livello di sicurezza di guida o ad intervenire automaticamente quando la velocità adottata non è compatibile con la visibilità disponibile.

Sulla base degli studi di letteratura finora descritti, appare evidente l'importanza della valutazione delle prestazioni di utenti che percorrono tratti stradali in curva con visuale limitata. Uno dei campi della ricerca ancora in fase di sviluppo riguarda l'interazione tra il guidatore, l'infrastruttura e le tecnologie di assistenza alla guida, per migliorare la sicurezza in campo stradale e mitigare i rischi connessi all'eccesso di velocità. L'applicazione dei sistemi ISA basati sulle diverse condizioni di visibilità amplia il campo di conoscenza.

#### 1.4. Obiettivo della tesi

In questo lavoro di tesi sono indagati gli effetti comportamentali derivanti dall'uso delle tre varianti ISA, basate sulla conoscenza della distanza di visibilità disponibile. Lo scopo dello studio è di testare l'efficacia del nuovo ISA garantendo al conducente prestazioni di guida sicure, inducendolo a mantenere una velocità coerente con le condizioni di visibilità lungo il tracciato stradale. L'analisi del comportamento longitudinale è stata svolta concentrando

l'attenzione nel tratto precedente l'ingresso della curva poiché l'ASD tende a ridursi man mano che le caratteristiche geometriche della strada diventano più penalizzanti, e dunque è lì che l'ISA assiste il conducente. Questo ha permesso di valutare il modo con cui il guidatore ha affrontato la curva, ha interagito o meno con il sistema e se ha mantenuto una velocità di sicurezza lungo il percorso, riducendo il rischio e quindi la probabilità di incorrere in un evento incidentale.

Per valutare la comparsa di effetti migratori con un eccesso di velocità nelle zone immediatamente successive all'attivazione dell'ISA, si è indagato l'andamento della velocità anche in tratti privi di ostruzioni ottiche dove il guidatore può adottare velocità superiori. Nonostante il sistema di controllo della velocità operi prevalentemente sulla gestione del comportamento longitudinale del veicolo, un'ulteriore analisi è stata eseguita per valutare un possibile effetto secondario indotto dalle tre varianti ISA sul controllo della posizione laterale del veicolo in corsia (*lane gap*). Ciò per capire se il guidatore sia stato distratto o abbia avuto difficoltà nel mantenere una traiettoria corretta durante i momenti in cui la guida è stata influenzata dall'attivazione degli ISA.

Nell'indagine sperimentale è stata costruita una strada extraurbana di categoria C1 lunga 13 km, pianeggiante, composta da una serie di tratti curvi di diverso raggio e con visibilità limitata per la presenza di ostruzioni ottiche laterali. Sono stati formati due campioni di guidatori rappresentativi della popolazione italiana di patentati, entrambi composti da 30 *test driver* di età compresa tra 21 e 59 anni.

Il primo gruppo di guidatori (*control group*) ha guidato senza l'assistenza degli ISA (*Base condition*). I guidatori del secondo gruppo (*experimental group*), hanno preso parte a 4 guide di cui una senza supporto dal sistema e nelle altre interagendo con le tre varianti del sistema ISA. Questo ha permesso di eseguire un confronto sia tra i due campioni sia all'interno dello stesso (*experimental*) per indagare le diverse prestazioni di guida assunte dagli utenti.

Lo studio sperimentale è stato condotto al simulatore di guida del DIATI (Dipartimento di Ingegneria dell'Ambiente, Territorio e Infrastrutture) del Politecnico di Torino. Test di validazione dello strumento sono stati eseguiti negli anni passati (Bassani et al. 2018, Bassani et al. 2019c). L'attività di simulazione per questo tipo di ricerche è ricorrente poiché consente di abbattere qualsiasi rischio per i guidatori coinvolti negli esperimenti e inoltre permette la completa gestione di tutti i fattori in essa coinvolti [29,30].

## 2. ATTIVITÀ SPERIMENTALE

### 2.1. Disegno sperimentale

L'attività sperimentale è stata organizzata per studiare l'efficacia del nuovo sistema di controllo della velocità basato sulla distanza di visuale libera disponibile ASD (*Available sight distance*). Per comprendere i possibili benefici del supporto fornito da questa tecnologia di assistenza alla guida, si è deciso di indagare il comportamento longitudinale e trasversale dei guidatori nelle situazioni di guida maggiormente influenzate dall'attivazione dell'ISA per valutare i fenomeni alla base di questo studio:

- i. riduzione della velocità in avvicinamento e nell'affrontare curve con limitata visibilità in risposta all'attivazione del nuovo sistema ISA;
- ii. effetto migratorio di eccesso di velocità nelle zone immediatamente a valle dell'attivazione del nuovo sistema ISA;
- iii. influenza sul controllo della posizione laterale del veicolo durante l'attivazione del nuovo sistema ISA

In Figura 7 è riportato lo schema riassuntivo del lavoro di tesi.

La progettazione del tracciato stradale è stata condotta all'interno del software di simulazione di guida, *SCANeR Studio*®, così come lo sviluppo dei modelli di funzionamento delle varianti del sistema ISA che hanno richiesto anche l'uso del software di programmazione *MATLAB Simulink*®. La cooperazione fra i due software ha permesso al guidatore di interagire in tempo reale con la tecnologia ISA durante la simulazione. Lungo le curve del tracciato sono state disposte ostruzioni ottiche laterali a diversa distanza dalla banchina interna della curva per sottoporre il guidatore a condizioni variabili di visibilità. In questo modo si è analizzato un numero elevato di casi di interazione tra utente, sistema ISA e infrastruttura dato l'ampio spettro di valori di ASD compreso tra 68 e 300 m. Le tre varianti ISA sono state così denominate:

- ISA-1 (*Information*)
- ISA-2 (*Warning*)
- ISA-3 (*Intervening*)

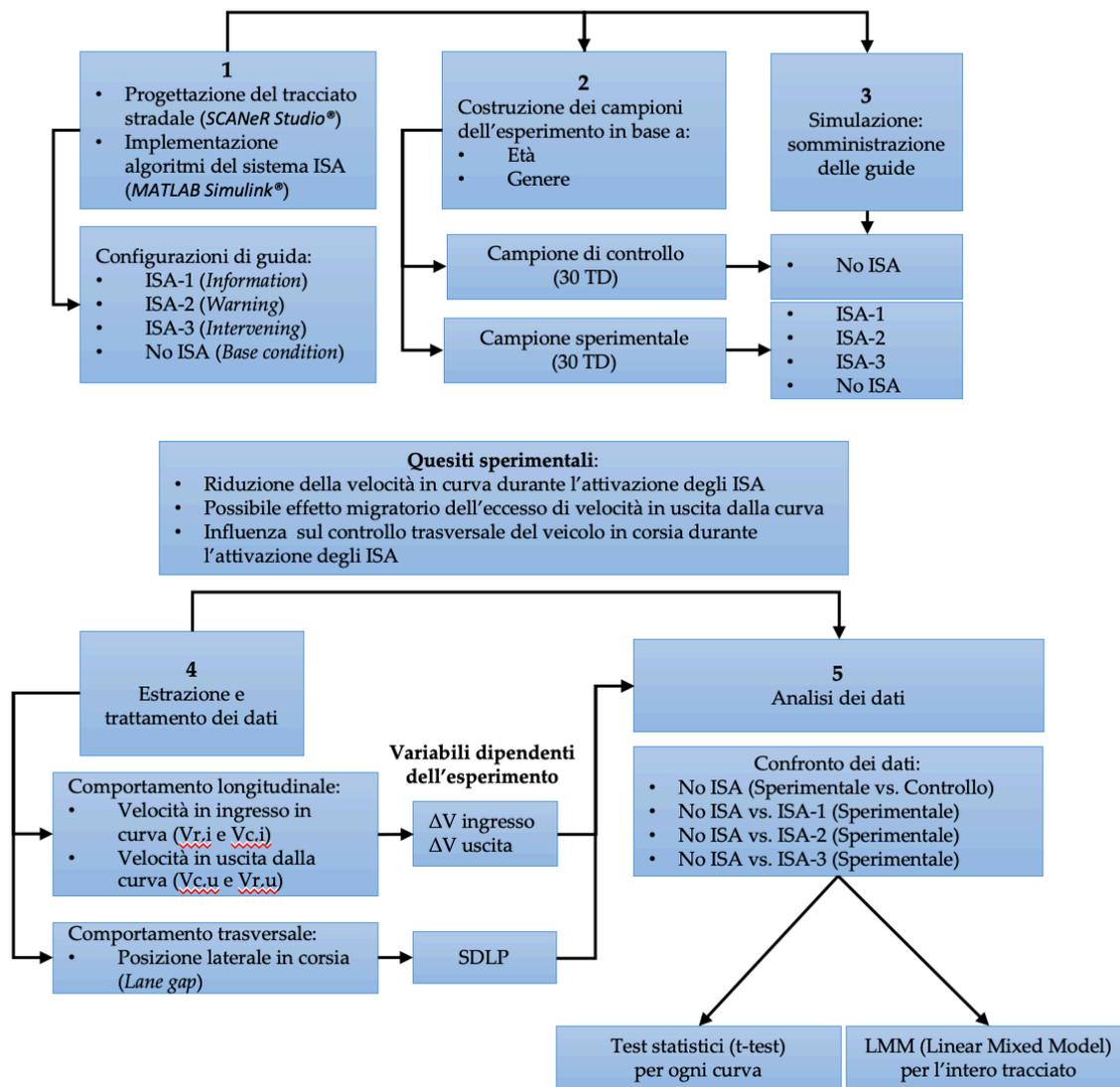


Fig. 7 Schema generale dell'esperimento

Nell'esperimento sono stati coinvolti 60 guidatori, suddivisi in due gruppi, stratificati in base all'età e al genere proporzionalmente alla distribuzione dei patentati italiani. Per indagare le differenze comportamentali di guida legate all'utilizzo o meno del supporto sul controllo della velocità ottenuto dall'ISA, il gruppo di guidatori che ha testato le tre modalità di assistenza, denominato sperimentale, ha anche guidato nella condizione di riferimento, cioè senza ISA (*Base condition*). Un ulteriore confronto si è reso necessario per valutare possibili differenze di prestazione fra chi è stato messo al corrente dello sviluppo del nuovo sistema ISA e chi ne era ignaro, per questo motivo è stato creato un secondo gruppo di guidatori, denominato di controllo.

Per ogni simulazione, sono stati estratti i dati di velocità e posizione laterale rispetto all'asse della corsia (*Lane gap*). Partendo dai dati di velocità si è deciso di indagare il comportamento longitudinale in prossimità della generica curva cieca, per capire se vi fosse stata

un'eventuale riduzione di velocità in risposta all'informazione/intervento dell'ISA nei casi in cui  $ASD < SSD$ . In particolare, sono stati scelti i seguenti dati:

- velocità in ingresso nel tratto di rettilineo precedente la generica curva:  $V_{r,i}$ ;
- velocità in ingresso nel punto centrale della generica curva:  $V_{c,i}$

Inoltre, si è resa necessaria la valutazione della velocità in uscita dalle curve per capire se l'uso di questa tecnologia possa indurre il guidatore ad assumere una guida aggressiva nei tratti successivi all'attivazione del sistema ISA, per compensare la riduzione di velocità imposta durante la percorrenza delle zone affette da poca visibilità. In questo caso, i dati scelti sono:

- velocità in uscita nel tratto finale della generica curva:  $V_{c,u}$ ;
- velocità in uscita nel rettilineo successivo alla generica curva:  $V_{r,u}$

Infine, è stato esaminato anche il comportamento trasversale tramite la valutazione della deviazione standard della posizione laterale SDLP (*Standard deviation of lateral position*) lungo l'intera traiettoria della generica curva. Questo dato è utile per comprendere se la traiettoria del veicolo sia stata influenzata durante l'interazione tra guidatore e sistema ISA. Per comprendere meglio il significato di questo indice di comportamento trasversale in Figura 8 è riportata la rappresentazione di due traiettorie di guida caratterizzate da diverse oscillazioni attorno all'asse della corsia, a cui sono associati i rispettivi valori di SDLP [31].

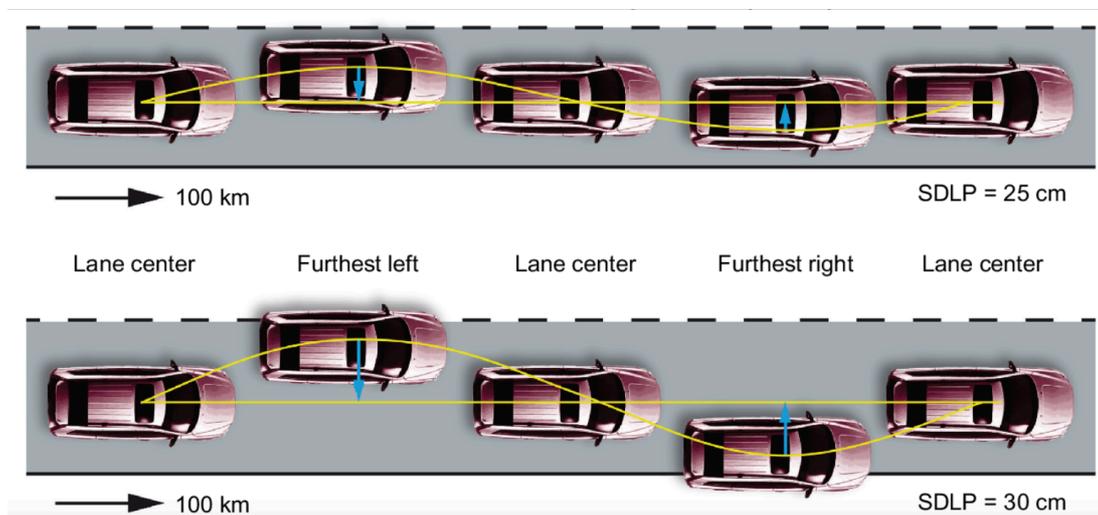


Fig. 8 Standard deviation of lateral position (Verster et al. 2011)

L'analisi dei dati è stata condotta attraverso l'esecuzione di test e la costruzione di modelli interpretativi per valutare la significatività statistica e il grado di influenza dei fattori sperimentali sulle variabili comportamentali. In particolare, si è deciso di svolgere un'analisi di dettaglio mediante il *t-test*, in cui sono state confrontate le medie dei campioni di dati estratti nel corso dell'indagine.

Per l'analisi globale invece, relativa all'intero percorso di guida, è stato calibrato un modello lineare misto LMM (*Linear mixed model*), una tecnica statistica che valuta l'influenza e la significatività che i fattori dell'esperimento, suddivisi sia in fissi che casuali, hanno sulla variabile dipendente di interesse e misurata nel corso dell'indagine. In forma matriciale un modello lineare misto presenta la seguente struttura:

$$y = X \cdot \beta + Z \cdot u + \epsilon$$

dove:

- $y$  è il vettore delle misure;
- $\beta$  è il vettore incognito relativo ai fattori fissi dell'esperimento;
- $u$  è il vettore incognito relativo ai fattori casuali dell'esperimento;
- $\epsilon$  è il vettore incognito degli errori di modello;
- $X$  e  $Z$  sono le matrici di progetto relative alle misure  $y$  per valutare l'effetto di  $\beta$  e  $u$

Attraverso l'esecuzione del modello lineare misto, si è voluto indagare l'influenza dei principali fattori che hanno caratterizzato le guide durante la simulazione, fra cui:

- tipologia di ISA usato,
- raggio delle curve,
- direzione delle curve,
- distanza di visibilità disponibile (ASD),
- età e genere dei guidatori.

Trai i fattori fissi che hanno condizionato le guide simulate, la tipologia di ISA utilizzata rappresenta quello di maggior interesse per valutare l'effetto dei sistemi di controllo di velocità sulle prestazioni di guida. Per tale motivo è stato svolto un confronto a coppie delle variabili dipendenti fra la condizione di guida di riferimento rispetto a quelle in cui è stato utilizzato l'ISA.

## 2.2. Simulatore di guida

L'attività di ricerca è stata condotta all'interno del Laboratorio di Sicurezza Stradale e di Simulazione di Guida del DIATI presso il Politecnico di Torino. La strumentazione utilizzata per l'esperimento è costituita da un simulatore di guida dell'azienda francese *AV Simulation (Oktal)* che fornisce prodotti hardware e software in campo stradale, ferroviario e aeroportuale per la simulazione di guida [Figura 9].



Fig. 9 Simulatore di guida, DIATI, Politecnico di Torino

Il simulatore è composto da:

- tre schermi Samsung Full HD da 32" di cui uno centrale e due laterali, che ricoprono una visuale di 130°. I due schermi laterali sono inclinati di 25° rispetto a quello centrale in modo da garantire una visione coerente con la realtà virtuale rappresentata;
- sedile regolabile provvisto di cintura di sicurezza;
- sterzo con controllo di forza che simula il passaggio delle ruote sulla pavimentazione stradale ed eventuali urti, a cui sono collegati i comandi per l'azionamento degli indicatori di direzione e dei tergicristalli;
- schermo da 12" che permette di visualizzare il tachimetro, il contagiri e la marcia inserita;
- cambio a sei marce e retromarcia;
- pedali (frizione, freno e acceleratore);
- pannello di comando con tasto di accensione, clacson e freno di stazionamento;
- impianto audio.

La parte hardware del simulatore è costituita da tre computer:

- **Superior**, il quale si occupa della parte di simulazione e gestione dei dati di output;
- **Visual**, il quale consente la riproduzione dello scenario di progetto nei tre schermi;
- **Virtual reality**, il quale consente la riproduzione dello scenario in un ambiente virtuale mediante l'uso del visore.

La parete del laboratorio davanti al simulatore è completamente nera e inoltre è presente una tenda in grado di oscurare le finestre per non alterare la conduzione di guida ed evitare l'insorgere di effetti di malessere per il guidatore. La riproduzione degli effetti sonori dell'ambiente stradale e del veicolo avviene attraverso cinque altoparlanti posti al di sotto dei tre schermi e del sedile del simulatore.

Il software utilizzato per la progettazione del tracciato, la realizzazione dello scenario e la gestione degli esperimenti è *SCANeR Studio® version 1.8*. Questo software consente di ricostruire in maniera dettagliata le componenti dell'infrastruttura, l'ambiente stradale, il traffico e la dinamica del veicolo attraverso una serie di moduli di lavoro suddivisi nelle seguenti cinque categorie:

- **Terrain**: in cui è possibile costruire la geometria della infrastruttura e modellare l'ambiente stradale che la circonda;
- **Vehicle**: in cui è possibile controllare la dinamica e le prestazioni del veicolo;
- **Scenario**: che consente di gestire le componenti del traffico simulato e gli oggetti 3D, tra cui edifici e strutture, vegetazione, animali e altri elementi di contesto dello scenario. Mediante l'uso di *trigger* è possibile controllare determinate azioni di altri veicoli oppure comunicare al guidatore informazioni utili durante la guida (in caso di svolta in una determinata direzione o di parcheggio in apposita zona). Queste informazioni sono implementate nello scenario all'interno della sezione *Main script* dove è possibile scrivere stringhe di comando.
- **Simulation**: che gestisce la simulazione attraverso una serie di comandi tra cui: *sensors, record e traffic tools*.
- **Analysis**: modulo di lavoro che consente l'estrazione dei dati registrati durante la simulazione per eseguire le analisi sui parametri dell'esperimento.

## 2.3. Scenari sperimentali

### 2.3.1. Concezione geometrica del tracciato

Il tracciato stradale è stato progettato seguendo le regole contenute nella normativa italiana [22]. In particolare, è stata scelta la categoria stradale di tipo C1, extraurbana secondaria costituita da 1 corsia per senso di marcia di larghezza 3,75 m ed una banchina di 1,5 m posta su entrambi i lati della sede stradale [Figura 10].

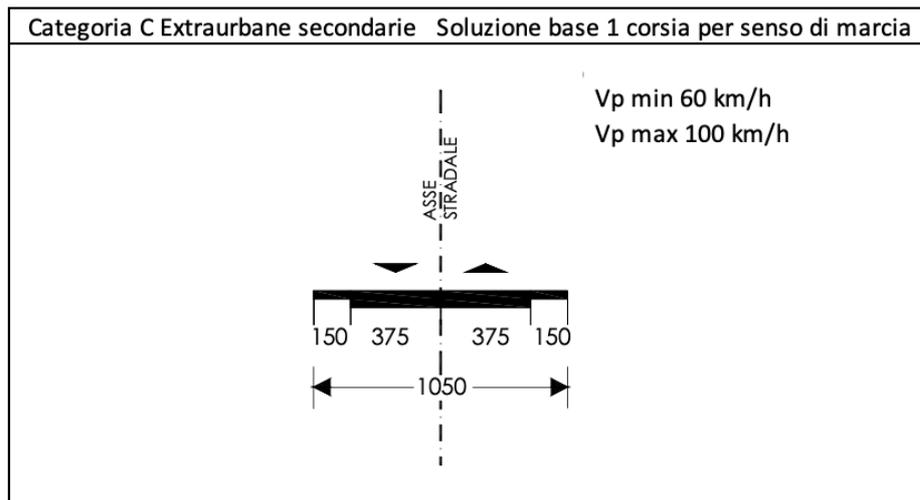


Fig. 10 - Categoria di strada scelta per il tracciato (MIT, Norme Funzionali e Geometriche per la Costruzione delle Strade 2001)

Il tracciato si compone di 40 tratti, di cui 19 costituiti da clotoide di ingresso, curva circolare di raggio  $R$  e clotoide d'uscita. I raggi assegnati alle curve circolari sono quattro: 120, 225, 300, e 430 m. Ciascun tratto curvo è seguito da un rettifilo di lunghezza sufficiente per far sì che la prestazione di guida del guidatore non venga condizionata dalle precedenti curve di caratteristiche diverse. L'andamento altimetrico è stato assunto pianeggiante in modo da non influenzare ulteriormente la risposta comportamentale. La lunghezza complessiva è di 12.886,4 m, e le caratteristiche geometriche sono riportate in Tabella 2.

Tabella 2 - Caratteristiche geometriche degli elementi del tracciato planimetrico. I valori negativi di  $R$  indicano curve sinistrorse, quelli positivi indicano curve destrorse.

Tratto	Elemento	Raggio [m]	Fattore di scala [m]	Lunghezza [m]	Progressiva iniziale [m]	Progressiva finale [m]
1	Rettifilo			153.70	0.00	153.70
2	Clotoide			51.82	153.70	205.52
	Curva 0			318.69	205.52	524.21
3	Clotoide			51.50	524.21	575.71
	Rettifilo			341.85	575.71	917.55
4	Clotoide		78	50.81	917.55	968.36
	Curva 1	-120		124.62	968.36	1092.99
	Clotoide		79	51.67	1092.99	1144.66
5	Rettifilo			110.03	1144.66	1254.69
	Clotoide		78	50.73	1254.69	1305.42
6	Curva 2	120		188.50	1305.42	1493.92
	Clotoide		78	50.66	1493.92	1544.57
7	Rettifilo			110.02	1544.57	1654.59
	Clotoide		108	51.83	1654.59	1706.42
8	Curva 3	-225		294.54	1706.42	2000.96
	Clotoide		108	51.84	2000.96	2052.80
9	Rettifilo			220.03	2052.80	2272.83
	Clotoide		132	58.06	2272.83	2330.89
10	Curva 4	300		314.19	2330.89	2645.07
	Clotoide		132	58.06	2645.07	2703.14
11	Rettifilo			289.98	2703.14	2993.12
	Clotoide		164	62.55	2993.12	3055.67
12	Curva 5	-430		675.47	3055.67	3731.14
	Clotoide		164	62.53	3731.14	3793.68
13	Rettifilo			290.00	3793.68	4083.68
	Clotoide		164	62.57	4083.68	4146.25
14	Curva 6	-430		562.88	4146.25	4709.13
	Clotoide		164	62.52	4709.13	4771.65
15	Rettifilo			290.03	4771.65	5061.68
	Clotoide		132	58.07	5061.68	5119.75
16	Curva 7	-300		314.13	5119.75	5433.88
	Clotoide		132	58.13	5433.88	5492.01
17	Rettifilo			219.99	5492.01	5712.00
	Clotoide		108	51.80	5712.00	5763.80
18	Curva 8	225		353.43	5763.80	6117.23
	Clotoide		108	51.85	6117.23	6169.08
19	Rettifilo			110.03	6169.08	6279.10
	Clotoide		78	50.69	6279.10	6329.79
20	Curva 9	-120		125.65	6329.79	6455.44
	Clotoide		78	50.73	6455.44	6506.17
21	Rettifilo			109.99	6506.17	6616.16
	Clotoide		78	50.68	6616.16	6666.84
22	Curva 10	120		188.49	6666.84	6855.34
	Clotoide		78	50.70	6855.34	6906.04
23	Rettifilo			110.03	6906.04	7016.07
	Clotoide		108	51.77	7016.07	7067.84
24	Curva 11	225		294.57	7067.84	7362.41
	Clotoide		108	51.83	7362.41	7414.23
25	Rettifilo			220.03	7414.23	7634.27
	Clotoide		132	58.02	7634.27	7692.29
26	Curva 12	-300		471.28	7692.29	8163.57
	Clotoide		132	58.09	8163.57	8221.66
27	Rettifilo			290.00	8221.66	8511.66
	Clotoide		164	62.54	8511.66	8574.20
28	Curva 13	-430		450.31	8574.20	9024.51
	Clotoide		164	62.52	9024.51	9087.03

Tabella 2 – (Continua)

Tratto	Elemento	Raggio [m]	Fattore di scala [m]	Lunghezza [m]	Progressiva iniziale [m]	Progressiva finale[m]
29	Rettifilo			290.04	9087.03	9377.07
	Clotoide		132	58.06	9377.07	9435.13
30	Curva 14	-300		471.25	9435.13	9906.38
	Clotoide		132	58.04	9906.38	9964.43
31	Rettifilo			290.04	9964.43	10254.47
	Clotoide		164	62.53	10254.47	10317.00
32	Curva 15	430		562.89	10317.00	10879.88
	Clotoide		164	62.52	10879.88	10942.41
33	Rettifilo			290.03	10942.41	11232.44
	Clotoide		132	58.09	11232.44	11290.53
34	Curva 16	-300		392.69	11290.53	11683.22
	Clotoide		132	58.07	11683.22	11741.28
35	Rettifilo			220.02	11741.28	11961.30
	Clotoide		108	51.80	11961.30	12013.11
36	Curva 17	-225		235.63	12013.11	12248.73
	Clotoide		108	51.83	12248.73	12300.56
37	Rettifilo			110.02	12300.56	12410.58
	Clotoide		78	50.70	12410.58	12461.28
38	Curva 18	120		157.10	12461.28	12618.38
	Clotoide		78	50.70	12618.38	12669.08
39	Rettifilo			152.32	12669.08	12821.39
40	piazzola di sosta			65.00	12821.39	12886.39

Nel tratto terminale del tracciato è stata inserita una piazzola di sosta di lunghezza 65 m per consentire l'arresto del veicolo al termine della guida [Figura 11]. L'allegato A contiene le informazioni relative all'andamento planimetrico del tracciato.

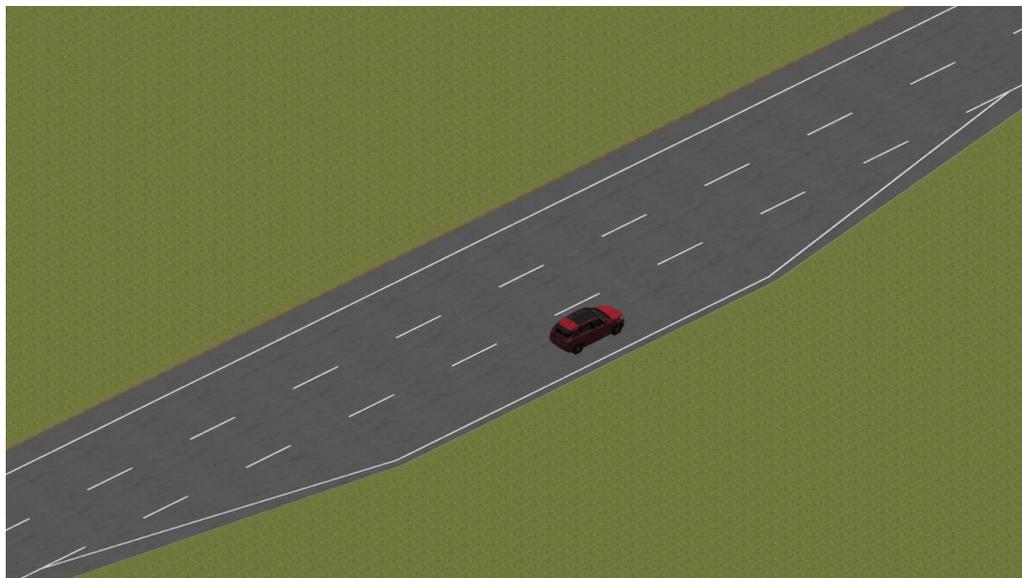


Fig. 11 - Piazzola di sosta

### 2.3.2. Studio delle ostruzioni ottiche

Al fine di limitare la visibilità sono stati inseriti dei muri a una distanza  $d$  dalla banchina interna della curva considerata. L'altezza del muro è stata dimensionata affinché il guidatore non abbia la possibilità di vedere il resto del tracciato, e dunque per limitare completamente la visibilità in curva. Nelle curve sinistrorse si è tenuto conto della sopraelevazione trasversale che è stata assunta pari al 7%. L'altezza dei muri è stata fissata in 2 m. Le distanze assegnate agli elementi di ostruzione sono tre: 0, 1,5, e 3 m. Pertanto, le possibili configurazioni geometriche risultano essere pari a sei (3 distanze per 2 direzioni delle curve) [Figura 12].

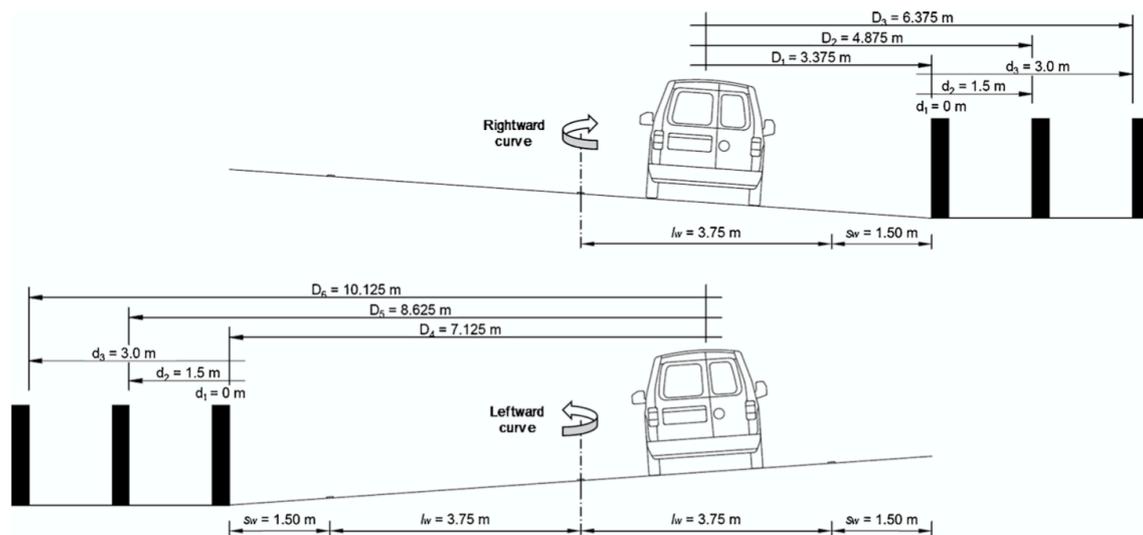


Fig. 12 Sezione trasversale dei tratti curvilinei destrorsi e sinistrorsi (Bassani et al. 2019a)

Sulla base del raggio  $R$  e della distanza  $d$  dell'ostacolo, ad ogni tratto curvilineo è associato un valore di distanza di visibilità disponibile convenzionale, cioè riferita alla posizione del guidatore in corrispondenza dell'asse della corsia di marcia, valutata attraverso la seguente equazione:

$$ASD = 2R \cdot \arccos \left[ 1 - \frac{D}{R} \right] \quad [Eq. 1]$$

Delle 19 curve, la prima (Curva 0) non è stata analizzata. Inoltre, in 3 curve non è stata inserita alcuna ostruzione ottica laterale.

La ASD associata a curve prive di ostruzione ottica laterale è stata assunta convenzionalmente pari a 300 m. In Tabella 3 sono riportati i valori delle distanze dell'elemento di ostruzione laterale e dell'ASD corrispondente per ogni curva del tracciato planimetrico.

Tabella 3 - Valori di distanza dell'elemento di ostruzione laterale e ASD corrispondente per ogni curva del tracciato planimetrico

Elemento [-]	R [m]	d [m]	ASD convenzionale [m]
Curva 1	120	INF	300
Curva 2	120	3	77.97
Curva 3	225	1.5	125.52
Curva 4	300	3	123.53
Curva 5	430	INF	300
Curva 6	430	0	157.11
Curva 7	300	0	131.43
Curva 8	225	1.5	93.46
Curva 9	120	INF	300
Curva 10	120	1.5	68.11
Curva 11	225	3	106.93
Curva 12	300	1.5	144.67
Curva 13	430	1.5	172.91
Curva 14	300	3	156.81
Curva 15	430	3	147.95
Curva 16	300	1.5	144.67
Curva 17	225	0	114.02
Curva 18	120	1.5	68.11

Le immagini seguenti sono state estratte dal software di simulazione e mostrano l'effetto dell'ostruzione visiva prodotta dai muri laterali nelle diverse combinazioni geometriche precedentemente descritte [Figura 13-14].

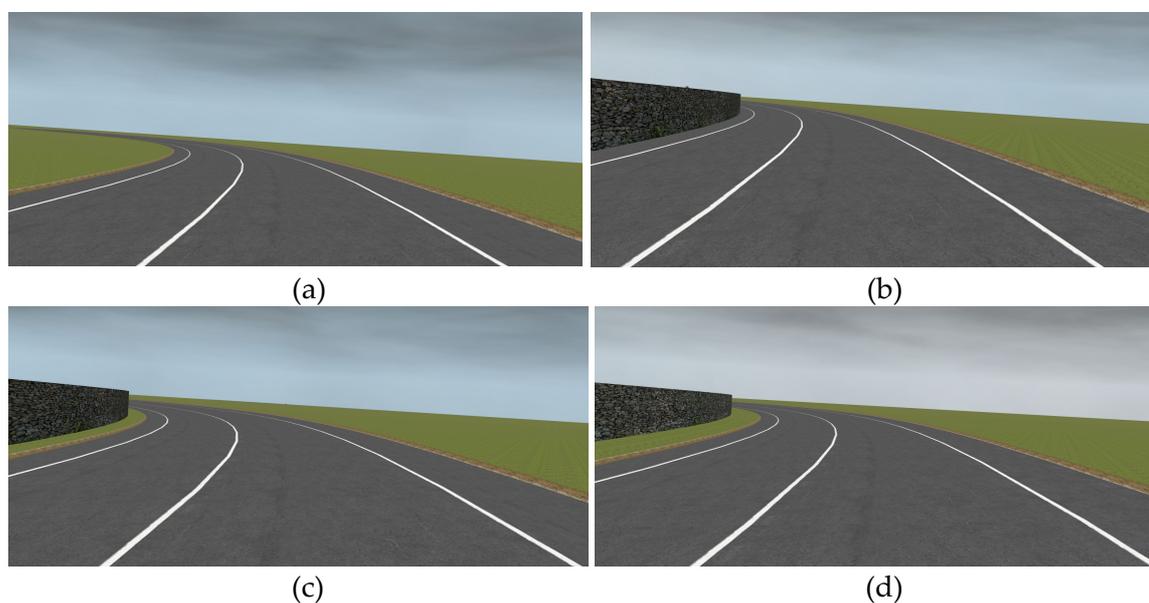


Fig. 13 - Rappresentazione delle condizioni di visibilità in curva sinistrorsa: (a)  $R=430\text{ m}$ ,  $d = \text{INF}$ , (b)  $R=430\text{ m}$ ,  $d = 0\text{ m}$ , (c)  $R=430\text{ m}$ ,  $d = 1.5\text{ m}$ , (d)  $R=300\text{ m}$ ,  $d = 3\text{ m}$



Fig. 14 Rappresentazione delle condizioni di visibilità in curva destrorsa: (a)  $R=225\text{ m}$ ,  $d = 1.5\text{ m}$ , (b)  $R=225\text{ m}$ ,  $d = 3\text{ m}$

### 2.3.3. Dettagli progettuali

Lungo i tratti di rettilineo sono stati simulati veicoli in transito per aumentare la veridicità dello scenario [Figura 15].



Fig. 15 Traffico simulato

Per permettere ai guidatori di adottare valori di velocità coerenti con il proprio stile di guida, non è stato inserito alcun segnale verticale contenente limitazioni della velocità. L'unica informazione fornita con la segnaletica è stata quella di curva pericolosa prima dell'ingresso nei tratti curvilinei di raggio 120 e 225 m. Inoltre, per rendere più realistica l'esperienza di guida, nell'ambiente simulato sono stati introdotti edifici, alberi e vegetazione varia, posizionati ad adeguata distanza dall'infrastruttura per evitare fenomeni di distrazione [Figura 16].



Fig. 16 Rappresentazione dell'ambiente virtuale

## 2.4. Varianti del sistema ISA

I sistemi di assistenza alla guida testati in questa indagine sperimentale sono classificati in: (i) ISA-1 *Informative*, (ii) ISA-2 *Warning*, e (iii) ISA-3 *Intervening*.

Lo scopo di questi sistemi è quello di garantire al guidatore una condizione di guida sicura mantenendo una velocità in grado di assicurare il rispetto del requisito di visibilità richiesto da normativa ( $SSD < ASD$ ), dunque far sì che il guidatore mantenga una distanza di visibilità tale da consentirgli di frenare e arrestare il veicolo prima che collida con l'eventuale ostacolo presente lungo la traiettoria. La conoscenza delle condizioni di visibilità del tracciato stradale è garantita dall'uso di sensori virtuali, presenti nel software di simulazione, posizionati nella parte anteriore del veicolo, in grado di ricoprire una visuale di  $120^\circ$  in orizzontale e di  $60^\circ$  in verticale.

### 2.4.1. ISA-1 Informative e ISA-2 Warning

Il funzionamento dei sistemi ISA-1 e ISA-2 è basato sul confronto in tempo reale dei valori di ASD, calcolati con l'equazione 1, e i valori di SSD ottenuti tramite *MATLAB Simulink* cooperante con *SCANeR Studio*®, attraverso la seguente equazione:

$$SSD = v \cdot \tau + \frac{v^2}{2g \cdot (f \pm i)} \quad [Eq. 2]$$

Tale calcolo è basato su due contributi, il primo tiene conto del tempo di percezione e reazione del guidatore, il secondo rappresenta il valore di distanza necessaria per fermare completamente il veicolo in base alla velocità di guida ( $v$ ), al coefficiente di aderenza tra pneumatico e pavimentazione ( $f$ ) e alla pendenza longitudinale della strada ( $i$ ). Nota la posizione del veicolo nel tracciato e la velocità assunta dall'utente, i due software cooperano in modo da elaborare il livello di sicurezza di guida in ogni sezione: (i) guida sicura quando  $ASD \geq SSD$ ; (ii) guida non sicura quando  $ASD < SSD$ .

La modalità di trasmissione dell'informazione in merito alla diversa condizione di guida è diversa nei due sistemi ISA. In particolare, nel caso dell'ISA-1, il guidatore è informato sulla sua condizione di guida attraverso una banda colorata, posizionata nella parte inferiore dei tre schermi del simulatore per evitare di distrarlo durante la guida.

La colorazione della banda cambia in base all'andamento della relazione ASD-SSD:

- verde quando  $ASD - SSD > 20$  m (guida completamente sicura);
- giallo quando  $ASD - SSD \leq 20$  m (guida parzialmente sicura);
- rosso quando  $ASD < SSD$  (guida completamente insicura).

A titolo di esempio, in Figura 17 è riportato il grafico con i profili di visibilità (ASD e SSD), lungo la curva 10 e relativi alla guida del *test driver* 1, condotta con l'ausilio dell'ISA-1.

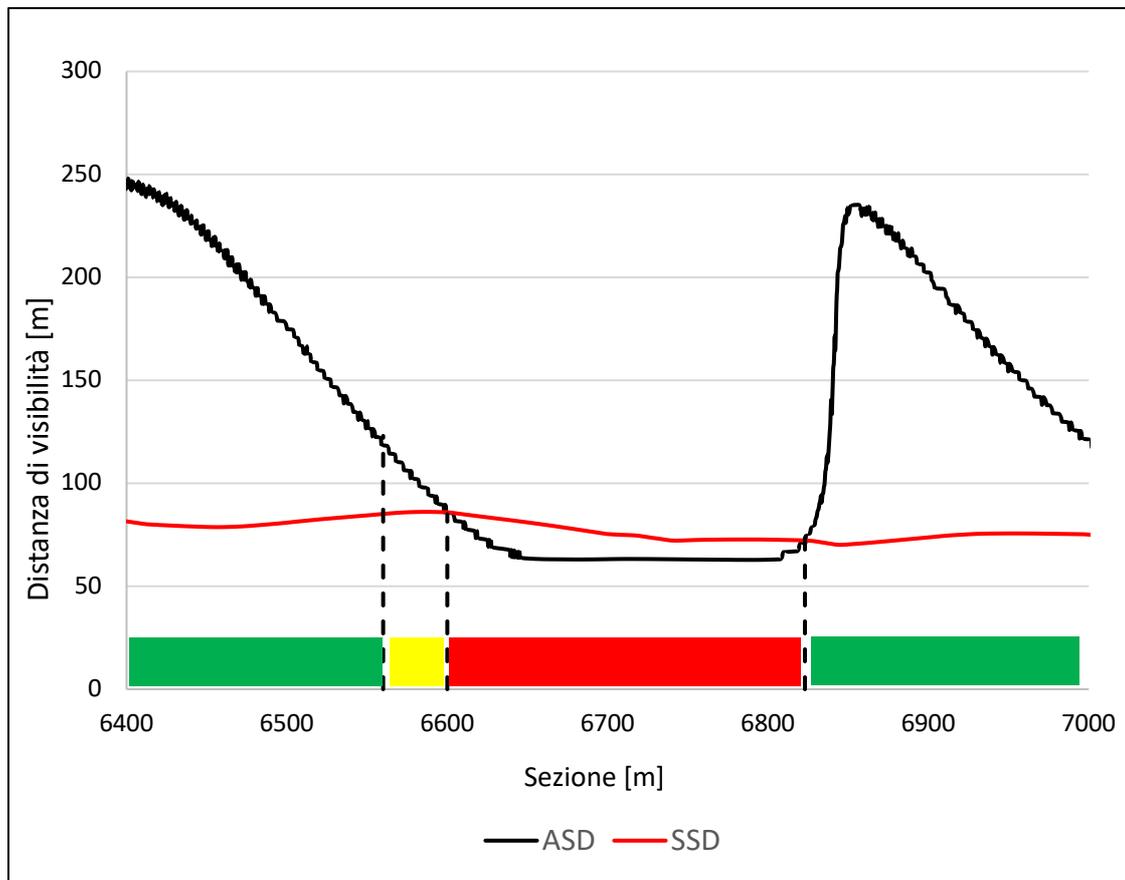


Fig. 17 Attivazione ISA-1 (Curva 10 TD1)

La Figura 18 mostra il *test driver* interfacciarsi nelle tre diverse condizioni di funzionamento del sistema ISA-1 nel percorrere una curva con visibilità limitata.



(a)



(b)



(c)

Fig. 18 Sequenza di intervento dell'ISA-1: (a) Interfaccia verde (guida sicura), (b) interfaccia gialla (guida parzialmente sicura), (c) interfaccia rossa (guida non sicura)

La variante ISA-2 informa il guidatore attraverso un segnale acustico con due tonalità sonore: (i) tono basso nel caso in cui  $ASD-SSD \leq 20$  m (guida parzialmente sicura); (ii) tono alto nel caso in cui  $ASD < SSD$  (guida completamente insicura).

Nel caso di guida completamente sicura l'informazione è indiretta perché non viene attivato alcun suono dato che il guidatore non corre nessun rischio.

### 2.4.2. ISA-3 Intervening

Il funzionamento del sistema ISA-3 è basato sulla valutazione del valore di velocità limite ottenuto dall'equazione 2, sostituendo alla SSD il valore della ASD misurato in tempo reale da *MATLAB Simulink* per soddisfare il requisito di visibilità ( $ASD > SSD$ ). Il sistema impone una velocità non superiore a questo limite, garantendo una condizione di guida sicura. La comunicazione con il guidatore avviene ancora attraverso una banda colorata, la quale è (i) verde nel caso in cui  $v_{guidatore} < v_{limite}$ , (ii) blu nel caso in cui  $v_{guidatore}$  superi il valore  $v_{limite}$ .

In questo secondo caso il sistema ISA-3 interviene in modo automatico sui pedali del simulatore secondo la seguente modalità: (i) se  $5 < v_{limite} - v_{guidatore} < 15$  km/h il pedale dell'acceleratore è disattivato; (ii) se  $v_{limite} - v_{guidatore} < 5$  km/h il pedale del freno è attivato con una decelerazione di  $2.5 \text{ m/s}^2$ .

In Figura 19 è riportato il grafico rappresentativo dell'andamento della velocità limite e di quella assunta dal *test driver* 1, lungo la curva 10 del tracciato stradale, durante la guida condotta con l'ausilio dell'ISA-3.

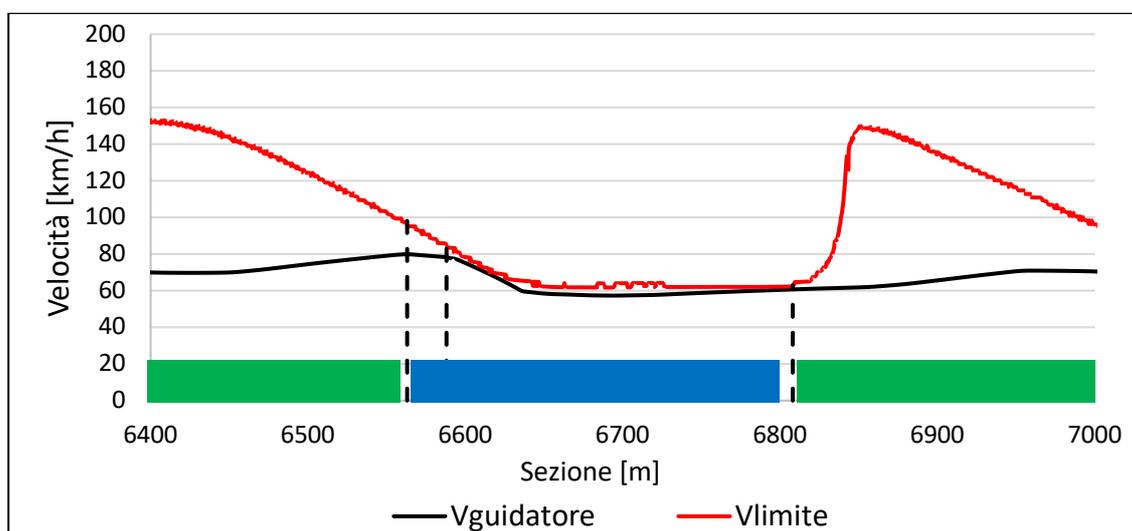


Fig. 19 Attivazione ISA-3 (Curva 10 TD1)

La figura 20 mostra il *test driver* interfacciarsi nelle due diverse condizioni di funzionamento del sistema ISA-3 nel percorrere la curva con visibilità limitata.



(a)



(b)

Fig. 20 Sequenza di intervento dell'ISA-3: (a) Interfaccia verde (guida sicura), (b) interfaccia blu (guida controllata)

## 2.5. Partecipanti

I *test driver* coinvolti nell'attività sperimentale sono stati scelti da una lista di persone che hanno risposto positivamente all'invito di partecipazione e da un database di nominativi che avevano già preso parte ad esperienze di guida. Per studiare le differenze comportamentali di guida tra chi ha interagito con le tre varianti ISA e chi invece senza alcuna assistenza sul controllo della velocità, si è deciso di costruire due distinti campioni di guidatori, uno sperimentale e uno di controllo, costituiti da 30 *test driver* ciascuno. Nel campione sperimentale, i *test driver* hanno preso parte a quattro guide, tre delle quali con l'ausilio dei sistemi ISA. Nel campione di controllo, i *test driver* hanno guidato senza

l'ausilio degli ISA. La costruzione dei due campioni è stata fatta sulla base dei dati del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti [32] che delineano le caratteristiche della popolazione dei patentati in Italia. La stratificazione dei due campioni è avvenuta considerando il genere e la fascia d'età, suddivise in tre distinte classi:

- Classe I, per età inferiore ai 25 anni;
- Classe II, per età compresa tra i 25 e i 44 anni;
- Classe III, per età compresa tra i 45 e i 65 anni.

La Tabella 4 riporta la distribuzione percentuale della popolazione dei guidatori italiani in base alle tre classi precedentemente elencate e al genere, mentre la Tabella 5 riporta la stessa distribuzione nei due campioni.

*Tabella 4 - Percentuali patentati italiani per età e genere*

Classe	Età	Uomini [55.56%]	Donne [44.44%]	Percentuale
I	<25	5.48	4.39	9.87
II	25-45	23.29	18.62	41.91
III	45-64	26.79	21.43	48.22

*Tabella 5 - Distribuzione dei 30 test driver proporzionale all'età e al genere*

Classe	Età	Uomini	Donne	Totale
I	<25	2	1	3
II	25-45	7	6	13
III	45-64	8	6	14
Totale		17	13	30

A ogni guidatore è stato attribuito un identificativo #TD in modo da rendere anonimi i dati raccolti. L'assegnazione dell'ordine di somministrazione delle quattro guide ai *test driver* del campione sperimentale è stata casuale secondo lo schema di Tabella 6. La Tabella 7 mostra l'organizzazione degli esperimenti per i due campioni di guidatori per un totale di 150 osservazioni.

Tabella 6 - Matrice di assegnazione delle configurazioni di guida al campione sperimentale

TD #	Guida 1	Guida 2	Guida 3	Guida 4
1	ISA-1	ISA-2	Base	ISA-3
2	Base	ISA-1	ISA-3	ISA-2
3	ISA-1	ISA-3	Base	ISA-2
4	Base	ISA-1	ISA-2	ISA-3
5	ISA-3	ISA-2	ISA-1	Base
6	ISA-2	Base	ISA-1	ISA-3
7	ISA-3	ISA-2	ISA-1	Base
8	ISA-2	Base	ISA-3	ISA-1
9	ISA-3	ISA-1	ISA-2	Base
10	ISA-3	Base	ISA-2	ISA-1
11	Base	ISA-3	ISA-1	ISA-2
12	ISA-2	ISA-3	Base	ISA-1
13	ISA-3	ISA-1	Base	ISA-2
14	ISA-1	Base	ISA-3	ISA-2
15	ISA-1	Base	ISA-2	ISA-3
16	ISA-1	ISA-2	ISA-3	Base
17	Base	ISA-2	ISA-3	ISA-1
18	Base	ISA-2	ISA-3	ISA-1
19	ISA-1	ISA-2	Base	ISA-3
20	ISA-2	ISA-1	ISA-3	Base
21	Base	ISA-2	ISA-1	ISA-3
22	ISA-2	ISA-3	Base	ISA-1
23	ISA-2	ISA-3	ISA-1	Base
24	Base	ISA-3	ISA-2	ISA-1
25	ISA-1	ISA-3	ISA-2	Base
26	ISA-3	ISA-1	Base	ISA-2
27	ISA-2	ISA-1	Base	ISA-3
28	Base	ISA-1	ISA-3	ISA-2
29	Base	ISA-3	ISA-2	ISA-1
30	ISA-3	Base	ISA-1	ISA-2

Tabella 7 - Distribuzione delle osservazioni in ogni configurazione di guida

Campione	Sperimentale			
Guida	Base	ISA-1	ISA-2	ISA-3
Osservazioni	30	30	30	30
Campione	Controllo			
Guida	Base			
Osservazioni	30			

La Tabelle 8 e la Tabella 9 riportano le variabili statistiche di media e deviazione standard corrispondenti alle tre classi d'età rispettivamente nel campione sperimentale e di controllo. La Tabella 10 mostra i risultati ottenuti dall'analisi statistica (*t-test*) sulle caratteristiche dei guidatori fra i due campioni, in cui si osserva che non ci sono differenze statisticamente significative e che pertanto si tratta di campioni equamente comparabili per eseguire le analisi svolte durante l'indagine sperimentale. **L'allegato B** contiene le informazioni relative alla costruzione dei campioni e alle caratteristiche dei *test driver*.

Tabella 8 - Variabili statistiche dei test driver del campione sperimentale

Classe Età	Variabili statistiche	Età	Esperienza di guida [anni]	Km annui	Numero incidenti
I	Media	24.00	5.3	13633	0.33
	Deviazione standard	0.00	0.6	22834	0.58
II	Media	32.15	13.8	6154	0.62
	Deviazione standard	4.85	4.8	5261	1.19
III	Media	50.64	30.9	14500	1.14
	Deviazione standard	4.07	3.5	10136	1.41
Totale	Media	39.97	20.9	10957	0.83
	Deviazione standard	11.22	10.6	10612	1.26

Tabella 9 - Variabili statistiche dei test driver del campione di controllo

Classe Età	Variabili statistiche	Età	Esperienza di guida [anni]	Km annui	Numero incidenti
I	Media	22.33	3.7	5000	0.33
	Deviazione standard	1.15	0.6	4359	0.58
II	Media	31.00	13.2	8917	0.69
	Deviazione standard	5.77	6.1	9036	0.95
III	Media	50.93	31.4	15643	2.14
	Deviazione standard	3.99	9.7	7880	2.57
Totale	Media	39.43	20.3	11759	1.33
	Deviazione standard	12.12	12.1	8964	1.99

Tabella 10 - t-test sulle caratteristiche dei due campioni dell'esperimento

	Statistica	gradi di libertà	p-value
Età	-0.1769	58	0.860
Km annui	0.3124	54	0.756
Numero incidenti	1.1629	49	0.251

## 2.6. Protocollo sperimentale

I *test driver* scelti per l'indagine sperimentale sono stati invitati tramite una mail, contenente le informazioni generali sull'attività di ricerca svolta. È stato chiesto di compilare un questionario contenente domande sui dati personali in merito al livello di istruzione, all'anno di conseguimento della patente, ai km annui percorsi, al numero di incidenti nei quali si è stati coinvolti e alla familiarità con l'uso di software di guida. Sono state riportate alcune raccomandazioni da seguire prima di effettuare le guide al simulatore per limitare il fenomeno della *simulator sickness*. Ai guidatori è stato chiesto di dare il consenso al trattamento dei dati personali, attraverso la firma relativa all'informativa sulla privacy. Nella mail sono state inviate anche le informazioni relative alle misure di prevenzione e agli obblighi da rispettare in merito al contenimento della diffusione del contagio da COVID-19. Si è provveduto infatti a sanificare il simulatore prima e dopo ogni guida, a mantenere un adeguato distanziamento sociale ed a utilizzare i dispositivi di protezione individuale nel rispetto delle regole emanate dal Politecnico.

Dopo aver ricevuto risposta positiva a partecipare, i guidatori sono stati contattati telefonicamente per organizzare gli appuntamenti in base alle disponibilità. Per i *test driver* appartenenti al campione sperimentale, si è deciso di dividere l'esperimento in due sessioni a distanza di una settimana per evitare di affaticare i partecipanti.

Giunti in laboratorio, ai guidatori è stato chiesto di compilare tre documenti:

- il questionario per l'attività di ricerca con l'uso del simulatore di guida e informativa sulla privacy (nel caso in cui non fossero stati compilati online al momento della ricezione della mail d'invito);
- l'informativa COVID-19;
- il questionario pre-guida.

Il questionario pre-guida contiene domande in merito alle condizioni generali di salute, all'assunzione di medicinali, ai pasti precedentemente effettuati e all'uso di dispositivi per la correzione visiva.

I *test driver* con poca familiarità con l'uso del simulatore di guida hanno guidato su un percorso di prova per circa 3-4 minuti in modo da acquisire confidenza con i comandi e abituarsi all'ambiente simulato.

L'allegato C contiene la documentazione dell'esperimento.

## 2.7. Trattamento dei dati

La sezione *Analysis* del software *SCANeR Studio*® contiene la lista di tutte le simulazioni eseguite durante gli esperimenti e consente di estrarre dati in merito al comportamento longitudinale e trasversale dei guidatori. Il software è in grado di misurare i parametri con una frequenza di campionamento di 10 Hz e di restituirli in funzione del tempo e in base alla singola sezione del tracciato stradale (rettifilo, clotoide o curva) in formato elettronico .csv. I dati raccolti in funzione del tempo sono stati convertiti in funzione della posizione attraverso un codice scritto in *Microsoft Excel*. Prima di procedere alla conversione, è stato necessario riferire il dato ad un unico sistema di riferimento tenendo conto dei seguenti parametri:

- *Road ID*, un numero assegnato ad ogni sezione del tracciato stradale che aumenta progressivamente a partire da 1;
- *Road abscissa*, la progressiva in metri assegnata in ogni misurazione nell'istante  $t$ ;
- *Road length*, valore della lunghezza associata ad ogni sezione del tracciato.

Combinando queste informazioni è stato ricavato il dato riferito all'ascissa continua (*Continuous road abscissa*), dunque rispetto all'intero tracciato e non alla singola sezione. L'ultima fase della conversione dei dati riguarda l'estrazione dei dati con passo 0.5 m per ridurre la mole di dati raccolti.

Per le analisi comportamentali dei guidatori sono stati estratti dati in merito alla velocità (*Speed/X*) e alla posizione laterale del veicolo rispetto all'asse della corsia di marcia (*Lane gap*) per ognuna delle 150 osservazioni sperimentali eseguite, suddivisi in base alle quattro guide (Base, ISA-1, ISA-2 e ISA-3) e ai campioni di guidatori (sperimentale e controllo). Tali dati sono stati aggregati in fogli di calcolo in formato .xlsx per eseguire le analisi e i test statistici utili alle indagini.

## 2.8. Variabili dipendenti e analisi dei dati

Per comprendere l'effetto degli ISA sulle prestazioni dei guidatori in merito al comportamento longitudinale e trasversale sono state eseguite analisi sui dati di velocità, nei tratti curvi del tracciato stradale in ingresso e in uscita, e sui dati di spostamento laterale rispetto all'asse della corsia. Gli **allegati D ed E** contengono i profili di velocità e lane gap nelle cinque configurazioni di guida analizzate.

Per l'analisi riguardante l'interazione tra ISA e guidatore nei tratti in ingresso alle curve, sono stati estratti i dati medi di velocità, relativi ai 30 *test driver* di ogni campione, per ogni configurazione di guida, in due sezioni del tracciato [Figura 21]:

- Sezione 1: 50 metri prima del punto corrispondente al passaggio tra rettilo e clotoide di ingresso alla curva circolare (in inglese *TS - Tangent to Spiral point*);
- Sezione 2: punto corrispondente al centro della curva circolare.

Noti i valori di velocità  $V_{r,i}$  (velocità nel rettilo in ingresso) e  $V_{c,i}$  (velocità nella curva in ingresso) è stata valutata la loro differenza media in ogni curva, per capire se fosse concorde con il livello di sicurezza richiesto dagli ISA, in base al valore di ASD e quindi di velocità limite ad essa corrispondente (*safe speed*).

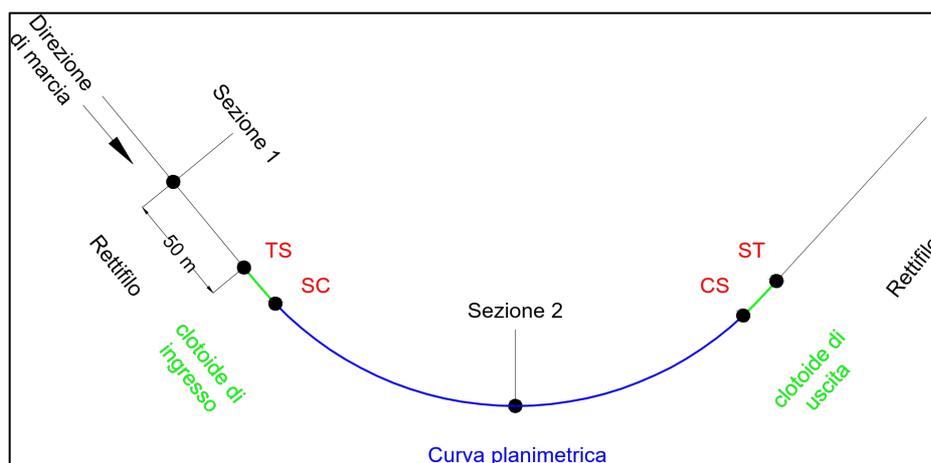


Fig. 21 Sezioni in cui sono stati analizzati i dati di velocità in ingresso delle curve

Una seconda analisi è stata condotta nei tratti in uscita delle curve per valutare l'esistenza dell'effetto migratorio della velocità. Sono stati quindi estratti i dati medi di velocità, in due ulteriori sezioni del tracciato stradale [Figura 22]:

- Sezione 3: 50 metri prima del punto corrispondente al passaggio tra la curva circolare e clotoide di uscita (in inglese CS – *Curve to spiral point*);
- Sezione 4: punto rappresentativo del rettifilo, considerando il 40% della sua lunghezza totale.

Quest'ultimo punto è stato scelto per evitare di considerare porzioni di rettifilo condizionati dalla curva successiva, soprattutto nel caso di curve con raggio corto. Sono state quindi escluse dall'analisi tutte le curve di raggio 120 m e la curva 17 poiché seguita immediatamente da un rettifilo troppo corto per poter fare valutazioni in merito al potenziale aumento indotto dall'ISA-3.

A partire dai dati  $V_{c,u}$  (velocità in curva in uscita) e  $V_{r,u}$  (velocità nel rettifilo in uscita) è stato valutato il potenziale aumento di velocità attraverso la differenza tra i due valori.

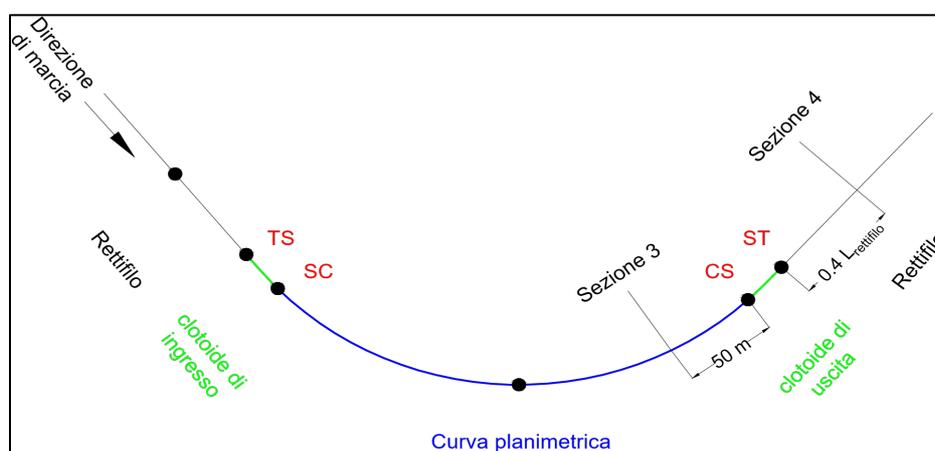


Fig. 22 Sezioni in cui sono stati analizzati i dati di velocità in uscita dalle curve

Per lo studio del comportamento trasversale è stato considerato, per ogni curva, il tratto di strada compreso tra gli ultimi 50 metri del rettifilo in entrata e la fine della clotoide in uscita. Partendo dai dati di *lane gap* sono stati calcolati i valori di SDLP (*Standard Deviation of Lateral Position*) relativi a ciascun *test driver*.

I dati di velocità e SDLP considerati sono stati sottoposti a test statistici (*t-test*) per comprendere la significatività delle differenze tra i dati raccolti nelle cinque condizioni di guida dell'esperimento (ISA-1, ISA-2, ISA-3, Base per il gruppo sperimentale e Base per il gruppo di controllo).

L'output dell'analisi statistica è rappresentato dal *p-value*, un valore di probabilità che indica la significatività statistica delle differenze fra le medie dei due campioni. Questo parametro è confrontato con il livello di confidenza scelto, generalmente assunto pari a 0.95. Un *p-value* maggiore di 0.05 indica che non ci sono differenze significative tra le medie dei due campioni messi a confronto.

Si è resa anche necessaria l'analisi mediante l'utilizzo di modelli di regressione lineare denominati LMM (*Linear Mixed Model*) al fine di valutare la significatività dei fattori dell'esperimento sulle variabili comportamentali scelte, e per comprendere il comportamento dei guidatori che hanno interagito con il nuovo sistema di controllo della velocità ISA.

I modelli sono stati calibrati per mezzo del software di calcolo statistico *Jamovi*, all'interno del quale sono stati importati i dati relativi ad ogni *test driver* e per ogni configurazione di guida. Le variabili comportamentali dipendenti inserite nel modello sono le seguenti:

- Differenza di velocità in ingresso in curva ( $V_{r,i}-V_{c,i}$ );
- Differenza di velocità in uscita dalla curva ( $V_{r,u}-V_{c,u}$ );
- Deviazione standard della posizione laterale (SDLP).

I fattori indipendenti dell'esperimento considerati nel modello sono:

1. tipologia di sistema ISA usato durante la guida;
2. raggio della generica curva;
3. direzione della generica curva;
4. distanza dell'ostruzione ottica;
5. genere del guidatore;
6. distanza di visuale libera disponibile (ASD);
7. età del guidatore.

Per l'esecuzione del modello LMM è stato necessario raggruppare i primi 5 fattori in diverse categorie sotto forma di testo, la cui divisione è riportata nelle Tabelle [11-15].

Tabella 11 - Divisione in categorie della tipologia di ISA

Tipologia ISA	
Categoria	testo
1	ISA-1
2	ISA-2
3	ISA-3
4	Base

Tabella 12 - Divisione in categorie del raggio della curva

Raggio curva	
Categoria	testo
1	120m
2	225m
3	300m
4	430m

Tabella 13 - Divisione in categorie della direzione della curva

Direzione curva	
Categoria	testo
1	Destrorsa
2	sinistrorsa

Tabella 14 - Divisione in categorie della distanza dell'ostruzione ottica

Distanza ostruzione ottica	
Categoria	Testo
1	d=0m
2	d=1.5m
3	d=3m
4	d=infinito

Tabella 15 - Divisione in categorie del genere dei guidatori

Genere	
Categoria	testo
1	U
2	D

Le variabili ASD ed età dei guidatori sono state inserite nel modello come continue, dunque appartenenti alla categoria covariate (*covariates*), mentre nella sezione *cluster variables* è stata riportata la variabile rappresentativa degli effetti casuali, che nello specifico è quella legata al generico *test driver (TD id)*. Per ogni variabile dipendente considerata, è stato valutato il confronto a coppie fra la guida di riferimento (*Base*) e le guide fatte con il sistema ISA e il modello ha restituito i valori di significatività (*p-value*) corrispondenti.

In **allegato F** sono riportati i risultati completi dei modelli LMM eseguiti sulle tre variabili dipendenti dell'esperimento.

## 3. RISULTATI E ANALISI

### 3.1. Comportamento longitudinale

L'analisi delle velocità è stata eseguita secondo due livelli di confronto:

- I. valutazione delle differenze di comportamento longitudinale tra chi ha utilizzato il nuovo sistema di controllo della velocità e chi invece ha guidato nella condizione di riferimento (*Base*);
- II. valutazione delle differenze di comportamento longitudinale tra i due campioni di guidatori (sperimentale e di controllo) avendo guidato entrambi senza l'uso del sistema ISA. Questo confronto è utile per capire se esistono differenze di prestazioni di guida tra chi è consapevole dell'esistenza dell'ISA, senza averlo però utilizzato o avendolo utilizzato in guide precedenti, e chi invece non lo conosce affatto.

#### 3.1.1. Velocità in ingresso in curva

##### 3.1.1.1. T-test

La Tabella 16 e la Tabella 17 riportano i valori di media (M) e deviazione standard (SD) delle velocità nei tratti in ingresso in ogni curva, rispettivamente 50 metri prima del punto TS ( $V_{r,i}$ ) e nelle sezioni centrali di ogni curva ( $V_{c,i}$ ), differenziati in base alla presenza o meno dell'ISA, con l'indicazione del limite di sicurezza associato al valore di ASD.

Il confronto condotto mediante *t-test* ha permesso di valutare la significatività dell'influenza del sistema ISA sui guidatori coinvolti nell'esperimento sia attraverso il confronto dei dati di velocità, raccolti nelle sezioni del tracciato e nel corso della stessa guida (confronto tra  $V_{r,i}$  e  $V_{c,i}$  nelle 5 tipologie di guide sottoposte ai guidatori), sia attraverso il confronto tra le guide condotte senza ISA (*Base*) fra i due gruppi di *test driver*.

I risultati dell'analisi statistica eseguita mediante i *t-test* sono integralmente riportati in **allegato G**.

Tabella 16 - Media (M) e deviazione standard (SD) dei dati di velocità in ingresso in curva ( $V_{r,i}$ ) nelle diverse configurazioni di guida sottoposte ai test driver.

CURVA	$V_{limite}$ [km/h]	ISA-1		ISA-2		ISA-3		Base (Sperimentale)		Base (Controllo)	
		M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD
1	172.9	87.80	16.11	88.98	12.80	94.31	16.67	92.15	14.23	82.95	13.45
2	69.1	84.19	14.13	83.41	13.36	85.37	11.73	86.81	13.08	77.05	12.38
3	99.85	80.01	14.63	78.15	10.35	77.27	8.13	86.86	13.43	78.73	13.21
4	98.62	93.42	15.49	91.77	11.13	95.25	12.54	95.83	13.15	88.59	13.05
5	172.9	98.98	15.74	97.67	10.35	99.70	12.84	102.36	14.29	96.15	14.82
6	117.05	108.23	20.36	105.73	16.56	109.46	15.79	105.75	19.08	100.12	15.11
7	105.03	107.74	17.37	107.07	15.20	106.24	12.67	106.49	19.81	101.79	15.00
8	83.32	102.78	15.09	99.73	13.69	97.08	9.63	103.76	17.68	100.07	12.39
9	172.9	91.94	15.57	90.30	14.73	86.91	7.46	99.39	18.04	99.08	13.01
10	64.98	88.99	13.40	86.00	10.71	86.41	9.04	91.14	13.27	87.60	11.22
11	89.48	81.64	14.40	78.70	13.40	74.28	8.05	88.23	13.22	85.55	11.61
12	108.59	96.05	13.34	94.20	10.71	94.77	11.28	100.37	13.90	95.55	11.92
13	123.79	104.59	14.87	104.37	15.03	105.81	13.25	108.63	17.99	102.80	15.07
14	115.33	107.76	18.77	107.07	15.45	108.97	15.15	110.03	18.55	103.09	16.19
15	111.11	107.96	16.79	104.58	16.67	108.23	14.46	108.41	18.46	105.66	14.44
16	108.59	110.13	16.22	107.10	13.16	107.82	13.45	109.74	21.54	107.38	18.25
17	94.36	107.67	17.38	105.66	12.82	103.82	11.75	109.78	18.97	105.43	16.53
18	64.79	96.43	13.98	92.07	14.26	88.92	8.46	98.50	17.73	96.58	13.28

Tabella 17 - Media (M) e deviazione standard (SD) dei dati di velocità nel punto centrale della curva ( $V_{c,i}$ ) nelle diverse configurazioni di guida sottoposte ai test driver.

CURVA	$V_{limite}$ [km/h]	ISA-1		ISA-2		ISA-3		Base (Sperimentale)		Base (Controllo)	
		M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD
1	172.9	80.58	14.98	79.58	12.49	84.63	14.42	83.05	13.43	74.26	11.37
2	69.1	74.87	13.78	72.53	12.80	66.23	3.45	81.84	13.69	75.87	12.50
3	99.85	84.76	13.41	83.06	10.74	86.34	10.09	90.07	14.55	83.02	12.45
4	98.62	91.04	12.54	87.37	10.36	88.97	8.29	95.09	14.68	90.63	13.78
5	172.9	103.08	19.00	99.57	14.41	104.06	14.92	103.07	17.38	97.62	12.14
6	117.05	102.99	16.40	101.25	14.47	102.78	11.75	103.78	18.64	98.52	13.62
7	105.03	97.53	14.44	96.03	11.88	94.13	9.98	100.66	18.24	97.70	13.05
8	83.32	87.84	14.62	86.26	14.50	77.64	3.98	98.34	17.95	97.86	13.12
9	172.9	85.96	14.71	81.28	11.28	85.14	13.05	88.94	13.58	87.05	12.54
10	64.98	75.75	16.47	73.18	14.35	61.62	2.27	85.45	13.65	83.96	11.07
11	89.48	86.35	11.28	83.13	10.63	81.04	8.02	92.35	15.06	90.23	10.71
12	108.59	98.19	13.06	96.49	11.75	97.00	12.04	103.23	16.95	98.13	12.73
13	123.79	103.83	15.87	102.84	15.28	105.17	14.91	106.56	19.67	102.94	14.19
14	115.33	101.40	16.50	101.98	12.69	102.59	13.53	104.48	18.64	101.04	15.08
15	111.11	103.90	14.39	102.07	14.11	100.68	11.24	107.27	21.78	106.08	15.81
16	108.59	101.40	13.65	99.95	10.96	100.56	12.15	104.91	19.87	103.72	16.53
17	94.36	94.14	12.77	91.69	12.10	87.65	8.93	99.99	19.03	98.10	14.53
18	64.79	79.11	16.94	75.92	17.15	61.45	2.81	87.71	15.66	87.79	12.67

Si è deciso di analizzare sette delle diciotto curve del tracciato stradale, vista la ripetitività dei risultati ottenuti per curve geometricamente e con condizioni di visibilità simili. In particolare, sono state scelte:

- Curva 2, ASD = 77.97 m
- Curva 3, ASD = 125.52 m
- Curva 6, ASD = 157.11 m
- Curva 7, ASD = 131.43 m
- Curva 8, ASD = 93.46 m
- Curva 10, ASD = 68.11 m
- Curva 17, ASD = 114.02 m

Per ognuna di queste curve, nelle Figure [23-29] sono riportati i valori medi di  $\Delta(V_{r,i}-V_{c,i})$  per le quattro tipologie di guida a cui sono stati sottoposti i *test driver* del gruppo sperimentale ed i *p-value* relativi al confronto fra la guida di riferimento e le guide ISA.

Il primo dato significativo che emerge dal confronto è una netta riduzione di velocità da parte dei guidatori nell'affrontare le curve con ridotta visibilità, specialmente quelle in cui i valori di ASD sono limitati (68.11 - 114.02 m).

L'analisi statistica eseguita per mezzo del *t-test* dimostra infatti una elevata significatività tra le differenze dei valori medi di  $\Delta(V_{r,i}-V_{c,i})$  fra la condizione base e le altre tre situazioni di guida ( $p < 0.05$  per le curve 2, 8, 10 e 17), ad eccezione del confronto Base-ISA-1 per la curva 17 ( $p = 0.081$ ). Le curve caratterizzate da valori di ASD elevati (Curve 6 e 7) mostrano risultati pressoché simili, in cui  $\Delta(V_{r,i}-V_{c,i})$  è minore rispetto ai casi precedenti e ciò a causa della naturale necessità del guidatore di rallentare laddove il raggio della curva lo richieda.

Risulta evidente il contributo fornito dall'ISA-3 nell'abbattere le velocità in ingresso alla curva in modo da raggiungere livelli di sicurezza coerenti alle distanze di visibilità disponibili. In particolare, si osserva la riduzione di velocità di 19.13 km/h, 19.44 km/h e 24.78 km/h rispettivamente nelle curve 2, 8 e 10, la cui differenza è statisticamente significativa rispetto alla condizione base ( $p < 0.001$  nelle tre curve). Le varianti ISA-1 e ISA-2, invece, non sono sufficienti nel suggerire al guidatore ad assumere il comportamento adatto tale da giungere a una condizione di guida pienamente sicura. Ciò accade soprattutto quando il valore limite di sicurezza della velocità è basso (come, ad esempio, per i valori di 65-83 km/h per le curve 2, 8 e 10). Fa eccezione la curva 17, in cui la riduzione osservata è tale da mantenere la guida al di sotto del livello di rischio.

L'analisi della Curva 3 mostra una tendenza diversa rispetto alle curve precedenti, in tutte le condizioni di guida considerate, in cui si osserva un aumento della velocità durante l'attraversamento della curva stessa. Questa evidenza è attribuita al fatto che i guidatori

sapevano di trovarsi in una condizione di guida sicura nel momento in cui affrontano la curva grazie alle indicazioni fornite dall'ISA, e dunque consapevoli che una velocità maggiore non avrebbe prodotto rischi. Un altro motivo che può giustificare questo tipo di comportamento è legato alla presenza di curve precedenti caratterizzate da valori limitati di ASD che costringe i guidatori ad affrontare le curve successive a velocità più basse. Questa osservazione è stata riscontrata anche in altre curve come la 5, la 11 e la 12.

La rappresentazione dei valori medi di velocità ( $V_{r,i}$  e  $V_{c,i}$ ), con indicazione della deviazione standard e della velocità limite di sicurezza per ogni tipo di guida e i *p-value* associati ai diversi confronti, è mostrata in **Allegato H** in cui sono riportati i grafici delle diciotto curve del tracciato stradale.

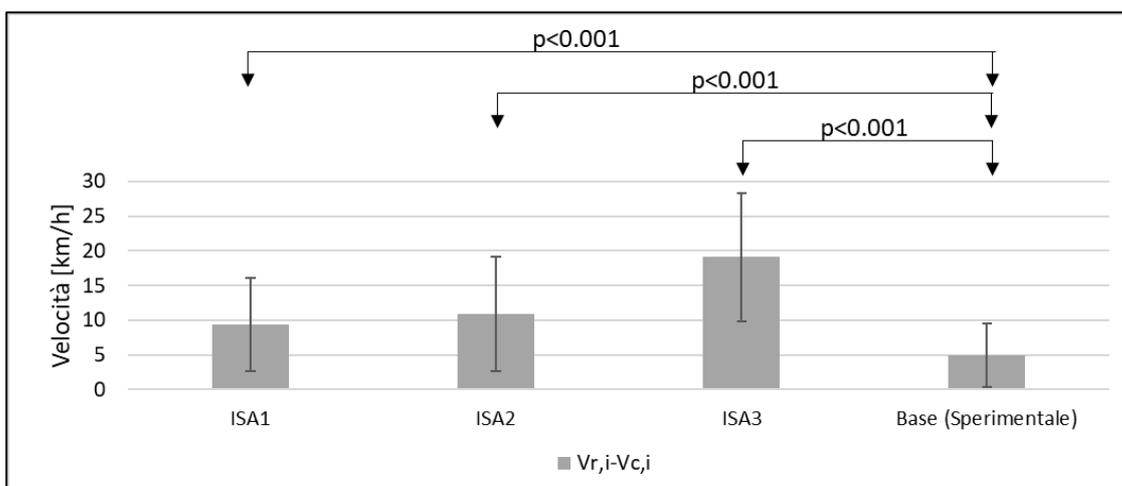


Fig. 23 - Confronto dei valori  $\Delta(V_{r,i}-V_{c,i})$  per la Curva 2 tra ISA e condizione Base con indicazione dei *p-value*

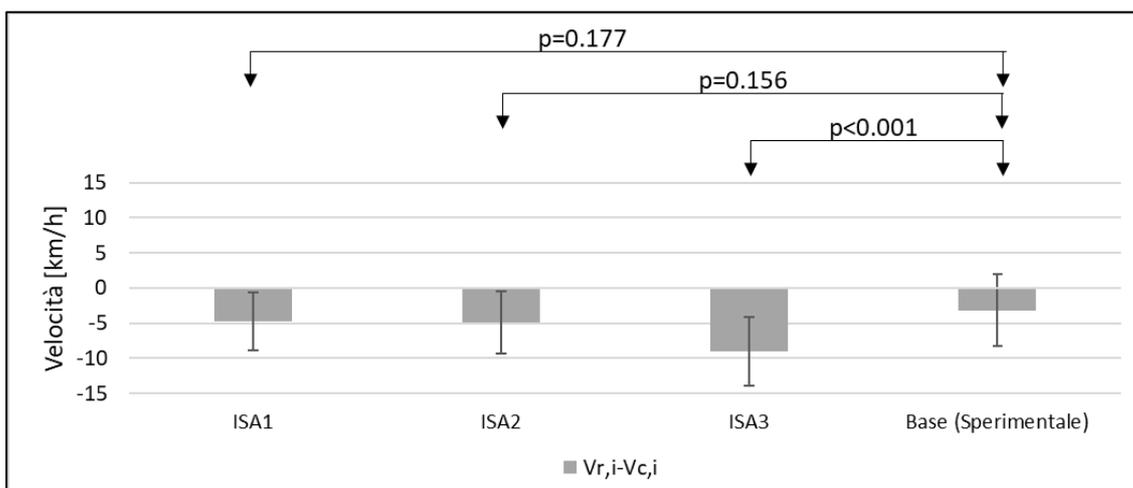


Fig. 24 - Confronto dei valori  $\Delta(V_{r,i}-V_{c,i})$  per la Curva 3 tra ISA e condizione Base con indicazione dei *p-value*

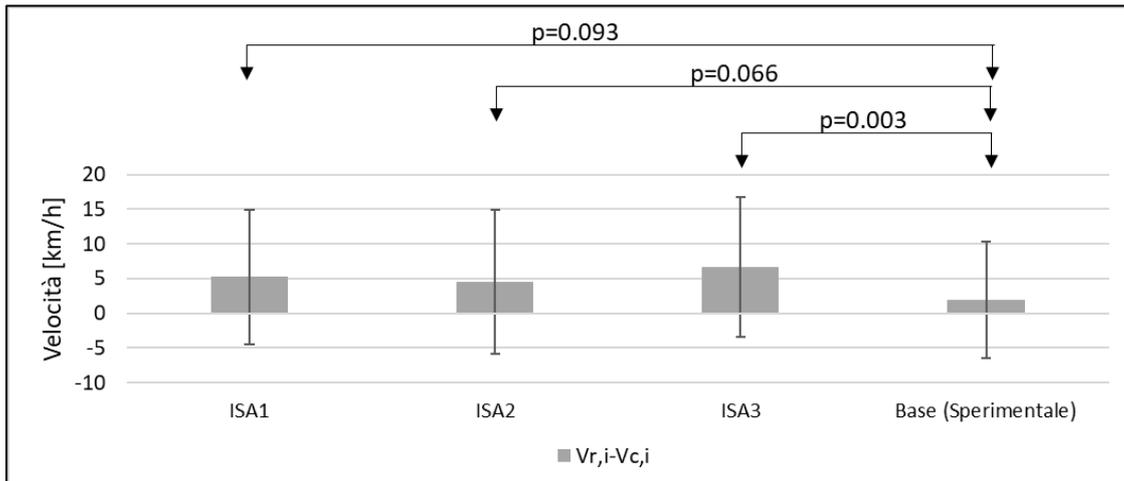


Fig. 25 - Confronto dei valori  $\Delta(V_{r,i}-V_{c,i})$  per la Curva 6 tra ISA e condizione Base con indicazione dei p-value

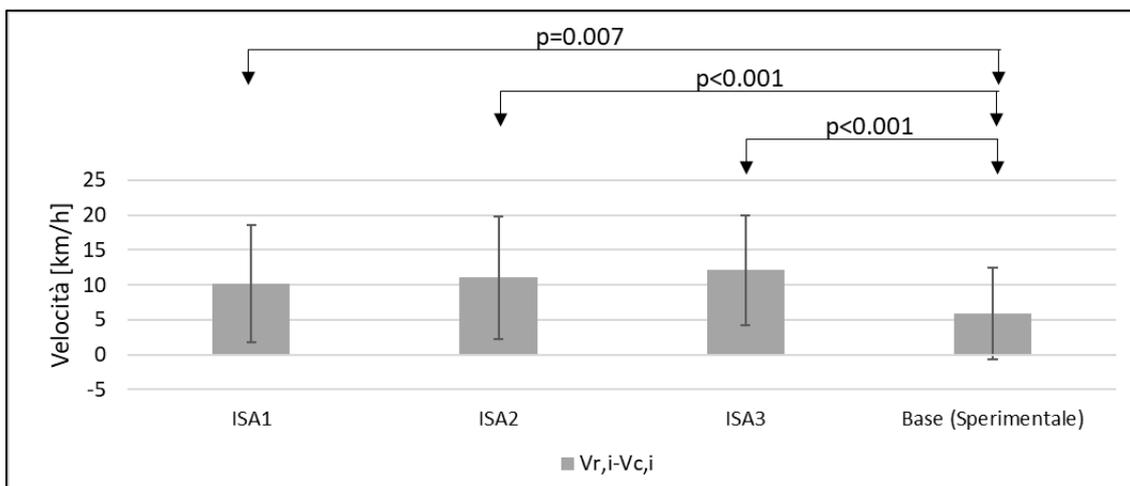


Fig. 26 - Confronto dei valori  $\Delta(V_{r,i}-V_{c,i})$  per la Curva 7 tra ISA e condizione Base con indicazione dei p-value

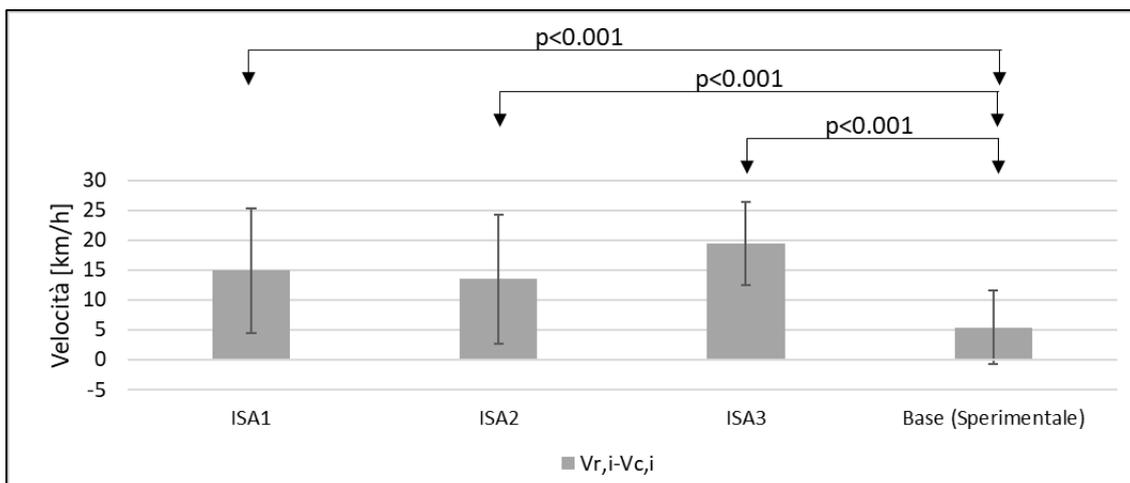


Fig. 27 - Confronto dei valori  $\Delta(V_{r,i}-V_{c,i})$  per la Curva 8 tra ISA e condizione Base con indicazione dei p-value

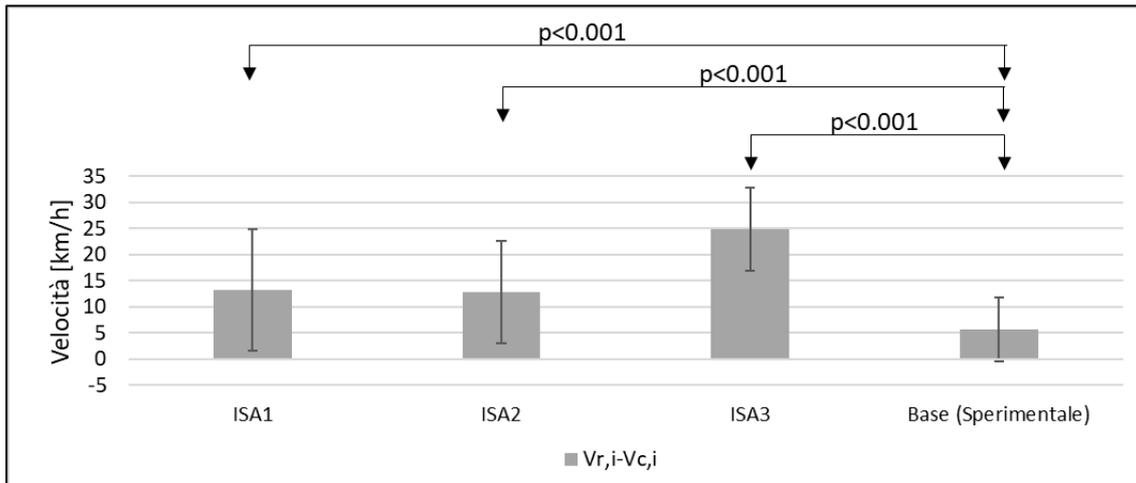


Fig. 28 Confronto dei valori  $\Delta(V_{r,i}-V_{c,i})$  per la Curva 10 tra ISA e condizione Base con indicazione dei  $p$ -value

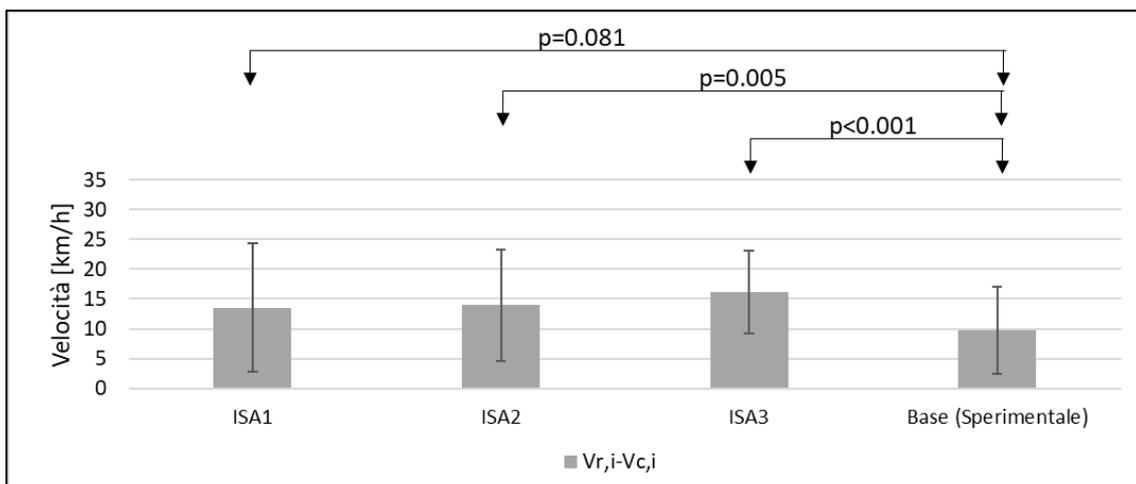


Fig. 29 Confronto dei valori  $\Delta(V_{r,i}-V_{c,i})$  per la Curva 17 tra ISA e condizione Base con indicazione dei  $p$ -value

Nelle Figure successive [30-36] sono riportati i valori medi di  $V_{r,i}$  e  $V_{c,i}$  relativi alle due guide senza l'utilizzo dell'ISA e i relativi  $p$ -value ottenuti dai test statistici. Dal confronto fra le guide (*Base*) dei due campioni di guidatori si osserva la tendenza del gruppo sperimentale ad adottare velocità maggiori sia in avvicinamento alla curva ( $V_{r,i}$ ) sia durante l'attraversamento della stessa ( $V_{c,i}$ ) rispetto ai guidatori del gruppo di controllo. Tuttavia questo riscontro non trova pieno supporto dall'analisi statistica poiché soltanto in due delle sette curve analizzate, in particolare la Curva 2 e la Curva 3, sono state ottenute rispettivamente per  $V_{r,i}$  ( $p=0.004$  e  $p=0.021$ ) e per  $V_{c,i}$  ( $p=0.083$  e  $p=0.048$ ) differenze dei valori medi statisticamente significative. Si deve tener conto di un ulteriore fattore che ha influenzato i guidatori del gruppo sperimentale, ovvero quello dell'adattamento al tracciato e dunque ad un livello di maggiore familiarità e confidenza rispetto a quelli del gruppo di controllo.

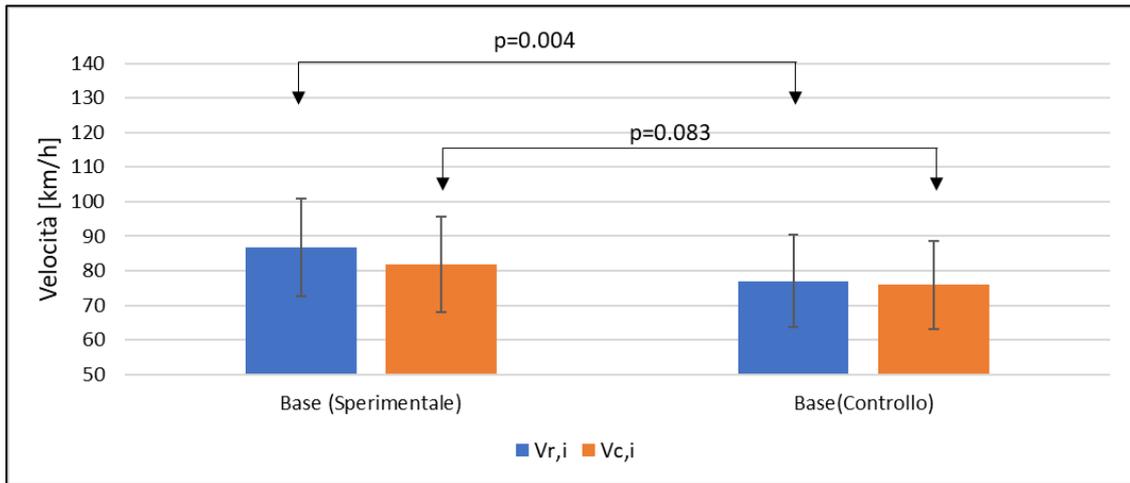


Fig. 30 Confronto dei valori  $V_{r,i}$  e  $V_{c,i}$  per la Curva 2 tra le condizioni Base con indicazione dei  $p$ -value

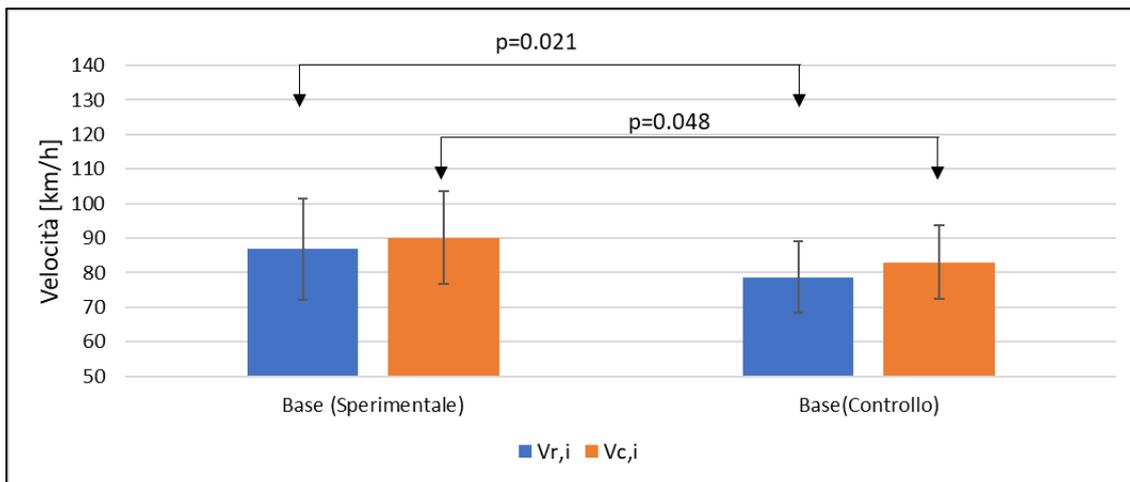


Fig. 31 Confronto dei valori  $V_{r,i}$  e  $V_{c,i}$  per la Curva 3 tra le condizioni Base con indicazione dei  $p$ -value

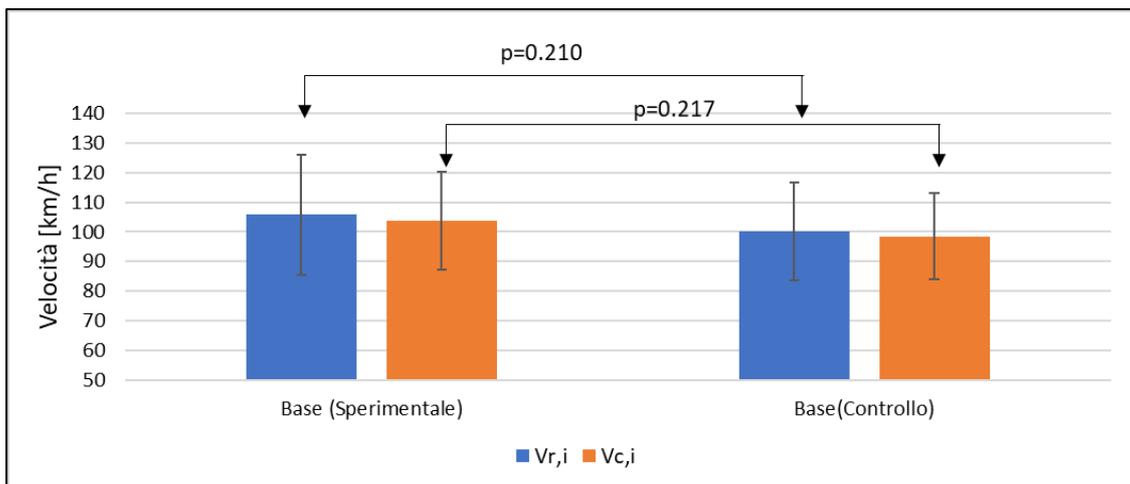


Fig. 32 Confronto dei valori  $V_{r,i}$  e  $V_{c,i}$  per la Curva 6 tra le condizioni Base con indicazione dei  $p$ -value

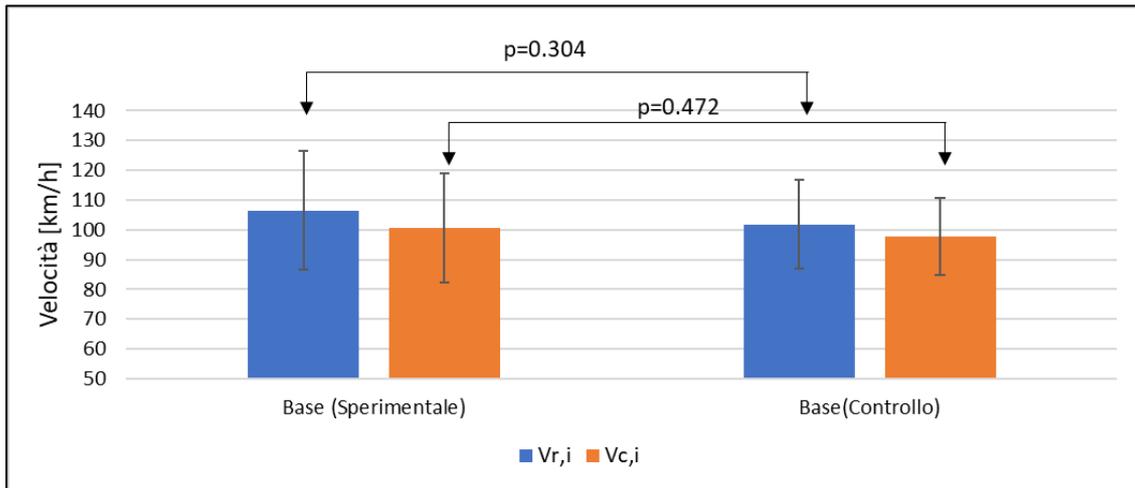


Fig. 33 Confronto dei valori  $V_{r,i}$  e  $V_{c,i}$  per la Curva 7 tra le condizioni Base con indicazione dei  $p$ -value

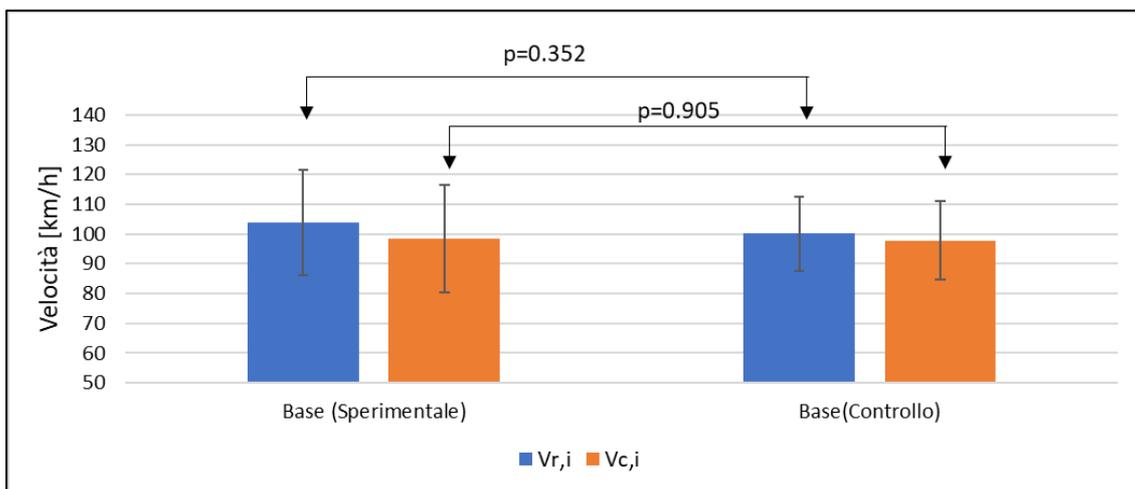


Fig. 34 Confronto dei valori  $V_{r,i}$  e  $V_{c,i}$  per la Curva 8 tra le condizioni Base con indicazione dei  $p$ -value

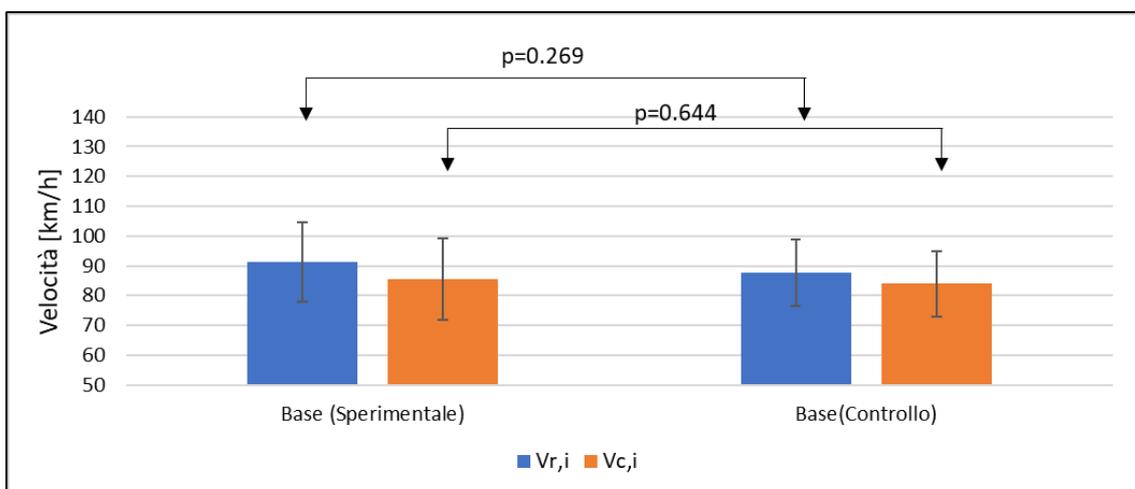


Fig. 35 Confronto dei valori  $V_{r,i}$  e  $V_{c,i}$  per la Curva 10 tra le condizioni Base con indicazione dei  $p$ -value

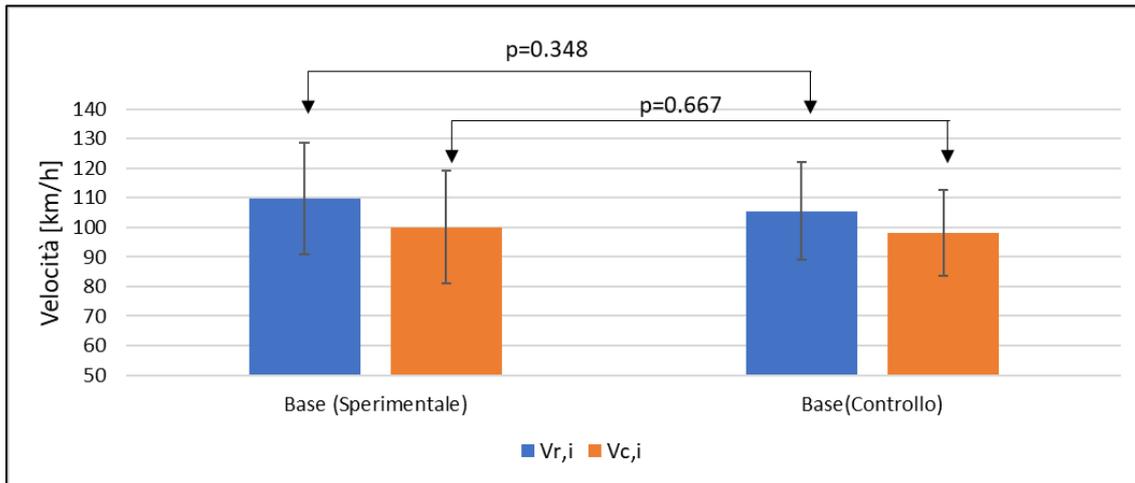


Fig. 36 Confronto dei valori  $V_{r,i}$  e  $V_{c,i}$  per la Curva 17 tra le condizioni Base con indicazione dei  $p$ -value

### 3.1.1.2. Modello lineare misto

La calibrazione di modelli di regressione lineari misti è stata condotta per valutare l'effetto e la significatività statistica dei fattori indipendenti dell'esperimento. Le informazioni generali relative alla variabile dipendente studiata  $\Delta(V_{r,i}-V_{c,i})$ , ai criteri di selezione del modello (AIC *Akaike Information Criterion* e BIC *Bayesian Information Criterion*) e ai fattori coinvolti nell'esperimento sono riportate in Tabella 18. Uno strumento statistico utile per descrivere la capacità predittiva del modello utilizzato è il coefficiente di determinazione  $R^2$  che rappresenta la varianza totale della variabile studiata. Quando  $R^2$  è prossimo ad 1 i fattori inseriti nel modello descrivono perfettamente i dati a disposizione della variabile dipendente. Per tener conto dell'effetto combinato dei fattori fissi e casuali, l'output di modello elabora due distinti coefficienti di determinazione: (i)  $R^2$  marginale, il quale restituisce solamente il contributo dato dai fattori fissi e (ii)  $R^2$  condizionale che considera entrambe le tipologie di fattori coinvolti nella regressione. Si osserva che la differenza tra i due coefficienti di determinazione è minima. Tuttavia, il fattore casuale (*TD id*) ha un'incidenza sulla calibrazione del modello condotto su  $\Delta(V_{r,i}-V_{c,i})$  come riportato nella tabella relativa ai *random effect* in **allegato F**.

Tabella 18 - Informazioni del modello lineare misto condotto sulla variabile  $\Delta(V_{r,i}-V_{c,i})$

Model Info	
Estimate	Linear mixed model fit by REML
Call	$\Delta V$ in ingresso in curva [km/h] ~ 1 + ASD + ISA + Età + Raggio curva + Direzione curva + Genere + Distanza ostruzione ottica+( 1   TD id)
AIC	15489.367
BIC	15583.833
LogLikel.	-7730.493
R-squared Marginal	0.264
R-squared Conditional	0.376
Converged	yes

In Tabella 19 è riportata la lista dei sette fattori coinvolti nella valutazione della variabile  $\Delta(V_{r,i}-V_{c,i})$  e il relativo valore di probabilità (*p-value*). Si osserva che l'influenza maggiore sulla differenza di velocità in ingresso in curva è data prevalentemente dai fattori geometrici, quali il raggio della curva, la distanza dell'ostruzione ottica laterale e la ASD, e dalla diversa tipologia di ISA utilizzato durante la guida e ciò è in linea con quanto osservato nell'analisi di dettaglio eseguita su ogni singola curva. Infatti, il guidatore cambia modo di affrontare una situazione di rischio in base a come viene assistito durante la guida e alla maggiore o minore difficoltà del tratto di strada che sta attraversando, come ad esempio un raggio di curva molto stretto. L'età e il genere dei guidatori invece risultano poco significative ai fini della valutazione del  $\Delta(V_{r,i}-V_{c,i})$ , essendo i *p-value* superiori al valore di confidenza di 0.05. Quest'ultimo risultato è plausibile dato che il pericolo percepito durante l'attraversamento di curve cieche condiziona la totalità degli utenti della strada, i quali reagiscono allo stesso modo seppur con tempistiche differenti.

Tabella 19 - Risultati sulla significatività delle variabili incluse nel modello lineare misto relativo alla variabile  $\Delta(V_{r,i}-V_{c,i})$

Fixed Effect	F	p
ASD	50.07	< .001
ISA	21.82	< .001
Età	9.11E-04	0.976*
Raggio curva	80.37	< .001
Direzione curva	1.82	0.178*
Genere	2.69	0.112*
Distanza ostruzione ottica	67.7	< .001

\* $p > 0.05$  bassa significatività statistica

Il confronto fra la guida senza assistenza degli ISA rispetto a quella derivata dall'uso delle diverse tipologie di ISA è riportato in Tabella 20 dove emerge chiaramente un notevole impatto del sistema di assistenza sulla capacità del guidatore di gestire la velocità nelle curve con visibilità limitata (*p-value* < 0.001). Tale risultato lo si osserva graficamente in Figura [37] ed in particolare la guida con l'uso dell'ISA-3 cambia notevolmente rispetto alla guida base dato che l'intervento automatico sul veicolo impone sempre una riduzione di velocità concorde alle condizioni di visibilità disponibili lungo le curve.

Tabella 20 - Analisi post-hoc sul fattore ISA sulla variabile  $\Delta(V_{r,i}-V_{c,i})$

Post Hoc Comparisons - ISA				
ISA		t	df	$p_{holm}$
ISA-1	Base	3.865	2119	< .001
ISA-2	Base	4.378	2119	< .001
ISA-3	Base	8.074	2119	< .001

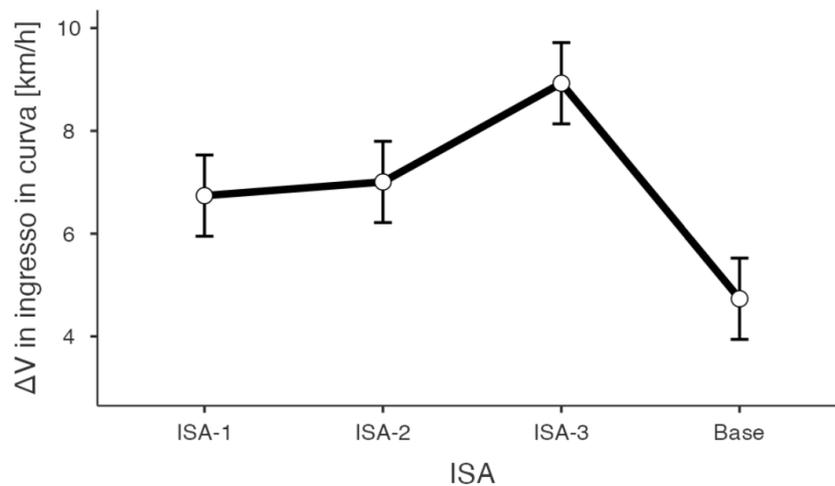


Fig. 37 Valori di  $\Delta(V_{r,i}-V_{c,i})$  nelle quattro guide ISA del gruppo sperimentale

### 3.1.2. Velocità in uscita dalla curva

#### 3.1.2.1. T-test

La Tabella 21 e la Tabella 22 riportano i valori medi (M) e di deviazione standard (SD) delle velocità nei tratti in uscita delle curve, rispettivamente nelle sezioni terminali dalla curva circolare (50 metri prima del punto CS) e nella sezione dell'elemento di rettifilo considerando il 40% della lunghezza, differenziati in base alle condizioni di guida simulate, con l'indicazione della velocità limite associata.

I risultati dell'analisi statistica eseguita con i *t-test* sono riportati in **allegato G**.

Tabella 21 - Media (M) e deviazione standard (SD) dei dati di velocità in uscita dalla curva ( $V_{c,u}$ ) nelle diverse configurazioni di guida sottoposte ai test driver.

CURVA	$V_{limite}$ [km/h]	ISA-1		ISA-2		ISA-3		Base (Sperimentale)		Base (Controllo)	
		M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD
3	99.85	87.07	13.53	85.64	11.15	89.51	10.48	95.87	14.01	88.39	13.61
4	98.62	92.36	12.33	89.53	10.52	91.18	8.88	102.13	14.02	96.11	14.12
5	172.9	107.23	21.52	103.86	16.98	108.56	17.54	108.62	18.99	102.14	13.63
6	117.05	106.01	17.46	104.74	14.35	105.77	13.38	108.75	19.19	102.97	14.76
7	105.03	98.80	14.14	97.25	12.62	96.64	10.36	104.74	18.35	101.42	12.04
8	83.32	88.56	15.18	86.61	14.97	78.59	4.10	99.71	18.15	99.40	13.02
11	89.48	89.14	11.63	85.99	10.49	83.41	8.14	99.75	14.69	95.68	12.01
12	108.59	101.01	14.15	100.21	13.06	100.18	13.01	110.34	16.87	104.47	14.25
13	123.79	106.33	17.17	107.14	15.65	108.42	15.88	112.85	18.89	107.27	14.73
14	115.33	103.64	16.61	104.69	14.05	104.72	13.79	110.32	16.98	104.73	14.57
15	111.11	106.61	15.18	102.97	13.54	103.98	12.26	112.14	20.97	108.96	17.47
16	108.59	104.05	14.61	103.26	11.29	102.85	12.61	110.69	18.34	106.73	16.08

Tabella 22 - Media (M) e deviazione standard (SD) dei dati di velocità nel rettilineo in uscita dalla curva ( $V_{r,u}$ ) nelle diverse configurazioni di guida sottoposte ai test driver.

CURVA	$V_{limite}$ [km/h]	ISA-1		ISA-2		ISA-3		Base (Sperimentale)		Base (Controllo)	
		M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD
3	99.85	92.81	15.03	91.65	11.00	96.09	12.93	95.9	14.0	88.4	13.6
4	115.33	97.79	14.23	96.96	9.71	98.63	11.05	102.1	14.0	96.1	14.1
5	172.9	109.49	20.99	108.01	17.32	112.05	18.68	108.6	19.0	102.1	13.6
6	117.05	108.79	17.23	109.91	13.69	109.16	13.95	108.8	19.2	103.0	14.8
7	105.03	103.25	14.24	101.65	13.11	101.41	12.18	104.7	18.3	101.4	12.0
8	83.32	92.16	15.35	90.39	14.70	86.22	6.93	99.7	18.2	99.4	13.0
11	89.48	94.38	12.85	93.23	10.13	92.31	10.82	99.8	14.7	95.7	12.0
12	108.59	104.83	14.73	106.84	12.74	105.93	12.85	110.3	16.9	104.5	14.3
13	123.79	110.30	18.79	111.47	15.04	112.33	16.50	112.8	18.9	107.3	14.7
14	115.33	108.11	16.26	108.10	13.36	110.05	14.58	110.3	17.0	104.7	14.6
15	111.11	110.27	16.38	108.60	13.30	108.88	13.15	112.1	21.0	109.0	17.5
16	108.59	107.88	16.30	107.36	12.35	107.20	13.94	110.7	18.3	106.7	16.1

L'analisi è stata condotta per le sole curve di raggio  $R=225$  m nelle quali emergono risultati più significativi, i cui grafici sono mostrati nelle Figure [38-40]. In particolare, si è osservato che l'aumento di velocità in uscita dalla curva nel caso ISA-3 risulta maggiore rispetto alle guide assistite con le tre varianti ISA, specialmente la Curva 11 in cui nonostante si esca dalla curva con un valore medio di velocità (83.41 km/h) più basso dei casi ISA-1 (89.14 km/h) e ISA-2 (85.99 km/h), nella sezione di rettilineo si registrano valori medi di velocità simili (94.38 km/h ISA-1, 93.23 km/h ISA-2 e 92.31 ISA-3). Differenze statisticamente significative si osservano dal confronto dei valori  $\Delta(V_{r,u}-V_{c,u})$  fra la guida base e la guida con l'uso del sistema ISA-3 nelle tre curve analizzate ( $p=0.025$  curva 3,  $p<0.001$  curva 8 e  $p=0.004$  curva 11).

I valori medi di velocità, con indicazione della deviazione standard sono riportati in **Allegato I** nei grafici rappresentativi dell'analisi eseguita sulle diverse curve del tracciato.

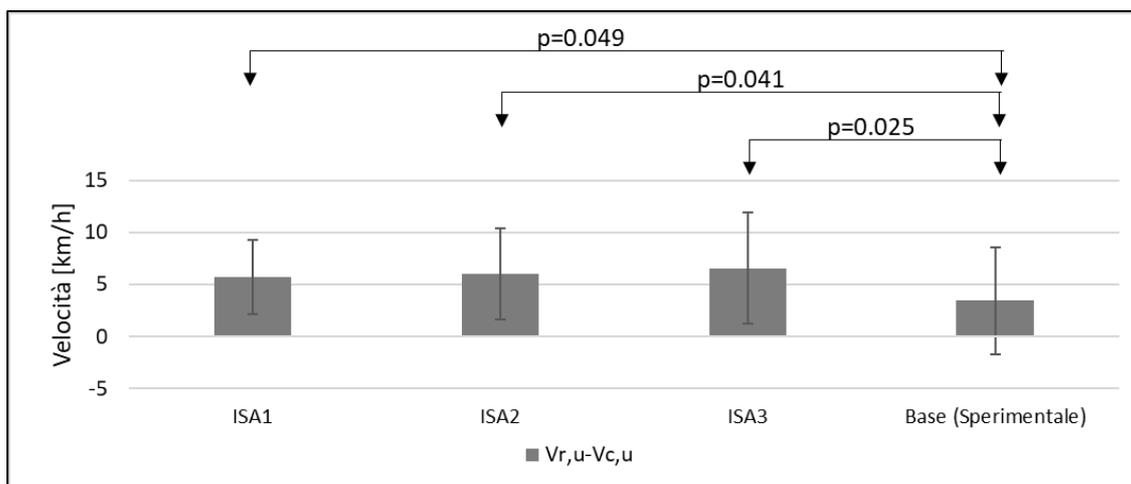


Fig. 38 Confronto dei valori  $\Delta(V_{r,u}-V_{c,u})$  per la Curva 3 tra ISA e condizione Base con indicazione dei p-value

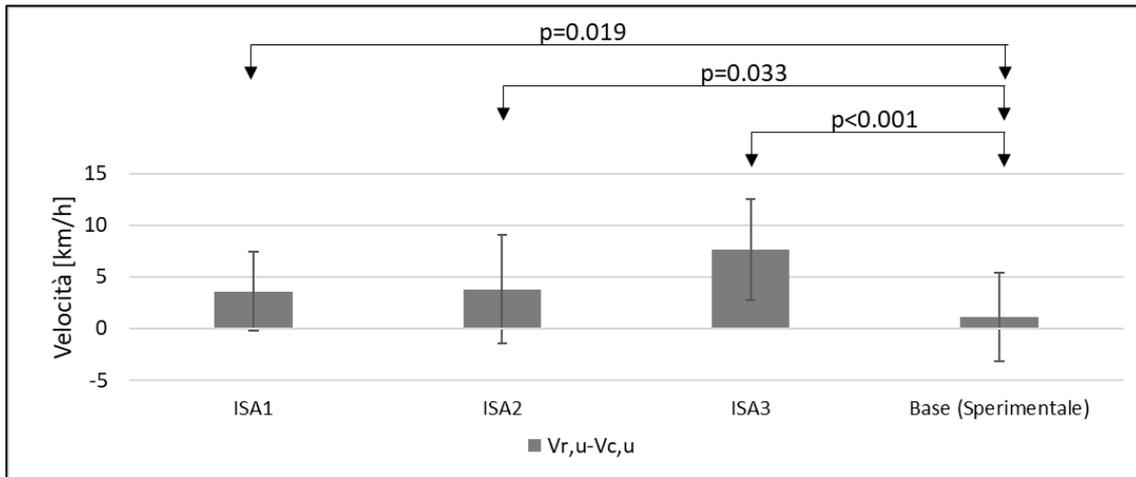


Fig. 39 Confronto dei valori  $\Delta(V_{r,u}-V_{c,u})$  per la Curva 8 tra ISA e condizione Base con indicazione dei p-value

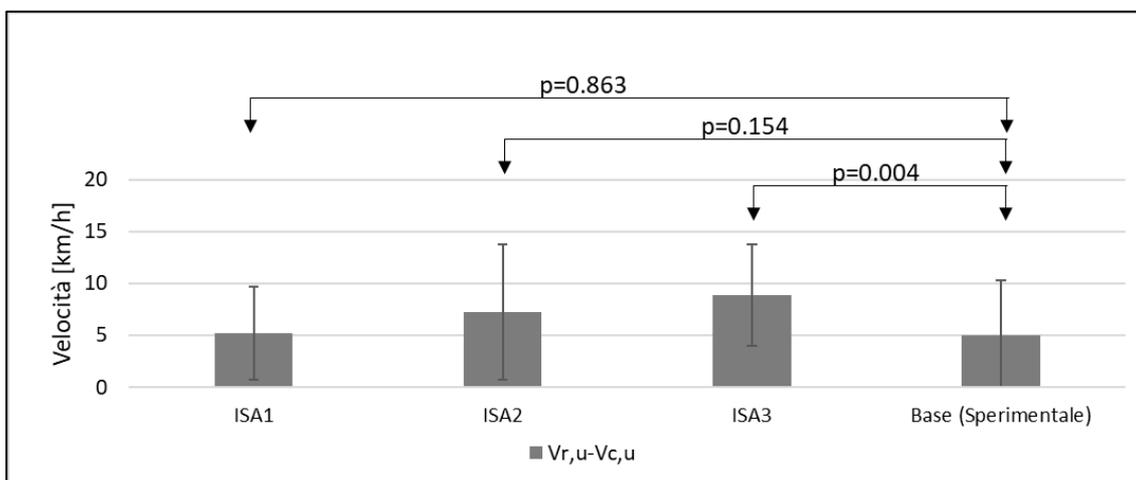


Fig. 40 Confronto dei valori  $\Delta(V_{r,u}-V_{c,u})$  per la Curva 11 tra ISA e condizione Base con indicazione dei p-value

### 3.1.2.2. Modello lineare misto

Le informazioni generali relative alla variabile dipendente studiata  $\Delta(V_{r,u}-V_{c,u})$ , ai criteri di selezione del modello (AIC *Akaike Information Criterion* e BIC *Bayesian Information Criterion*) e ai fattori coinvolti nell'esperimento sono riportate Tabella 23. L'influenza del fattore casuale (*TD id*) è evidente dal confronto fra i due coefficienti di determinazione  $R^2$  (0.084 marginale e 0.328 condizionale).

Tabella 23 - Informazioni del modello lineare misto condotto sulla variabile  $\Delta(V_{r,u}-V_{c,u})$ 

Model Info	
Estimate	Linear mixed model fit by REML
Call	$\Delta V$ in uscita dalla curva [km/h] ~ 1 + ASD + ISA + Età + Raggio curva + Direzione curva + Genere + Distanza ostruzione ottica+( 1   TD id)
AIC	13178.8264
BIC	13286.3945
LogLikel.	-6581.7743
R-squared Marginal	0.084
R-squared Conditional	0.328
Converged	yes

I risultati dell'analisi statistica condotta sulla variabile  $\Delta(V_{r,u}-V_{c,u})$  eseguita tramite il modello lineare misto, sono riportati in Tabella 24 ed evidenziano un'alta significatività di alcuni fattori dell'esperimento, tra cui la tipologia di ISA utilizzato, il raggio della curva e la distanza dell'ostruzione ottica laterale. L'ASD di riferimento della specifica curva non è risultata significativa. Quest'ultimo risultato è plausibile dato che il guidatore guadagna visibilità man mano che affronta un tratto in uscita da una curva cieca. Anche in questa seconda analisi l'età e il genere dei guidatori risultano poco significative ai fini della valutazione del  $\Delta(V_{r,u}-V_{c,u})$ , essendo i *p-value* corrispondenti superiori al valore di confidenza di 0.05.

Tabella 24 - Risultati sulla significatività delle variabili incluse nel modello lineare misto relativo alla variabile  $\Delta(V_{r,u}-V_{c,u})$ 

Fixed Effect	F	p
ASD	0.805	0.37*
ISA	36.768	< .001
Età	0.758	0.392*
Raggio curva	2.847	0.036
Direzione curva	0.221	0.638*
Genere	1.404	0.246*
Distanza ostruzione ottica	21.766	< .001

\* $p > 0.05$  bassa significatività statistica

Il confronto fra la guida priva di assistenza rispetto a quella condotta con le diverse tipologie di ISA è riportato in Tabella 25. In essa si osserva che le guide eseguite sotto l'influenza dell'ISA portano a risultati significativamente diversi rispetto alla guida priva di assistenza se la differenza tra i valori di  $\Delta(V_{r,u}-V_{c,u})$  è di soli pochi km/h, come meglio evidenziato in Figura 41 in cui si osserva nuovamente un divario tra le guide base-ISA-3.

Tabella 25 - Analisi post-hoc sul fattore ISA sulla variabile  $\Delta(V_{r,u}-V_{c,u})$ 

Post Hoc Comparisons - ISA				
ISA		t	df	$p_{holm}$
ISA-1	Base	3.13	2119	0.003
ISA-2	Base	6.11	2119	< .001
ISA-3	Base	10.06	2119	< .001

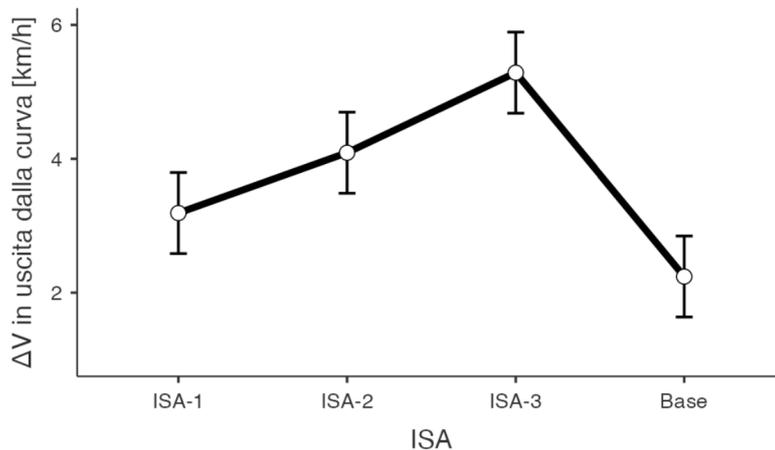


Fig. 41 Valori di  $\Delta(V_{r,u}-V_{c,u})$  nelle quattro guide ISA del gruppo sperimentale

## 3.2. Comportamento trasversale (SDLP)

### 3.2.1. SDLP nei tratti curvi

#### 3.2.1.1. T-test

In Tabella 26 sono riportati i valori medi (M) e di deviazione standard (SD) del parametro SDLP nelle varie tipologie di guida per ogni curva del tracciato stradale. Le Figure [42-45] mostrano i valori ottenuti per quattro curve, ognuna rappresentativa di un diverso valore di raggio.

In **Allegato J** sono riportati i grafici dell'analisi eseguita sulle restanti curve del tracciato sperimentale.

Tabella 26 - Media (M) e deviazione standard (SD) dei dati SDLP nelle diverse configurazioni di guida sottoposte ai test driver.

CURVA	Raggio [m]	ISA-1		ISA-2		ISA-3		Base (Sperimentale)		Base (Controllo)	
		M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD
1	120	0.42	0.14	0.45	0.16	0.40	0.17	0.47	0.17	0.42	0.20
2	120	0.34	0.10	0.40	0.15	0.38	0.12	0.45	0.18	0.39	0.14
3	225	0.33	0.12	0.32	0.12	0.32	0.10	0.37	0.15	0.32	0.10
4	300	0.30	0.11	0.32	0.10	0.28	0.10	0.33	0.13	0.32	0.13
5	430	0.30	0.09	0.29	0.08	0.31	0.09	0.33	0.11	0.26	0.08
6	430	0.25	0.11	0.30	0.10	0.26	0.10	0.28	0.11	0.26	0.09
7	300	0.29	0.12	0.31	0.11	0.29	0.10	0.31	0.15	0.28	0.10
8	225	0.36	0.13	0.36	0.13	0.35	0.11	0.38	0.16	0.38	0.12
9	120	0.43	0.15	0.42	0.15	0.40	0.14	0.44	0.20	0.45	0.26
10	120	0.36	0.13	0.43	0.13	0.37	0.14	0.43	0.18	0.41	0.16
11	225	0.34	0.14	0.37	0.14	0.37	0.16	0.38	0.16	0.38	0.16
12	300	0.34	0.13	0.31	0.10	0.31	0.09	0.33	0.10	0.29	0.09
13	430	0.31	0.13	0.32	0.13	0.32	0.11	0.32	0.12	0.30	0.11
14	300	0.32	0.10	0.33	0.13	0.34	0.15	0.31	0.14	0.32	0.10
15	430	0.30	0.12	0.29	0.11	0.29	0.10	0.30	0.15	0.30	0.12
16	300	0.34	0.12	0.34	0.12	0.34	0.10	0.35	0.14	0.31	0.10
17	225	0.36	0.13	0.37	0.12	0.35	0.12	0.35	0.17	0.34	0.11
18	120	0.42	0.15	0.42	0.17	0.37	0.16	0.42	0.16	0.44	0.14

In generale si rileva una bassa influenza delle varianti ISA sulla capacità di controllo del veicolo, poiché nella totalità dei casi (83.3% Base-ISA-1 e Base-ISA-3 e 94.4 % Base-ISA-2) la significatività delle differenze dei valori medi di SDLP fra le guide a confronto è bassa ( $p < 0.001$ ), ad eccezione della curva 2, in cui la sola significatività è evidente nel confronto tra Base-ISA-1 ( $p < 0.001$ ) e Base-ISA-3 ( $p = 0.021$ ). Tuttavia, quest'ultimo risultato è attribuibile anche alla geometria della curva poiché quando il raggio diminuisce vi è una maggiore difficoltà nel mantenere una traiettoria corretta del veicolo lunga la corsia di marcia.

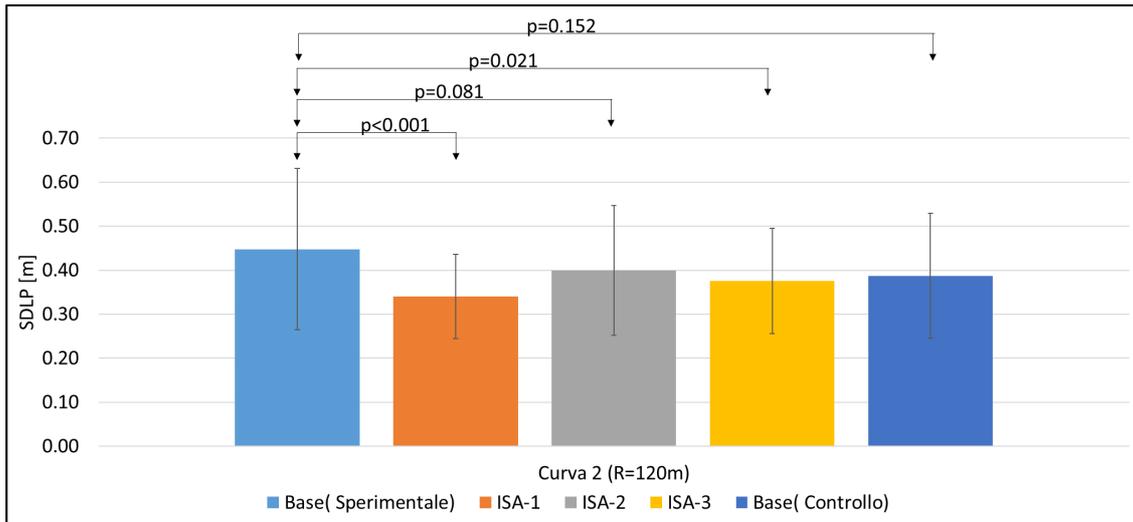


Fig. 42 Rappresentazione dei valori di SDLP per la Curva 2, con indicazione della SD e dei p-value corrispondenti per le diverse configurazioni di guida

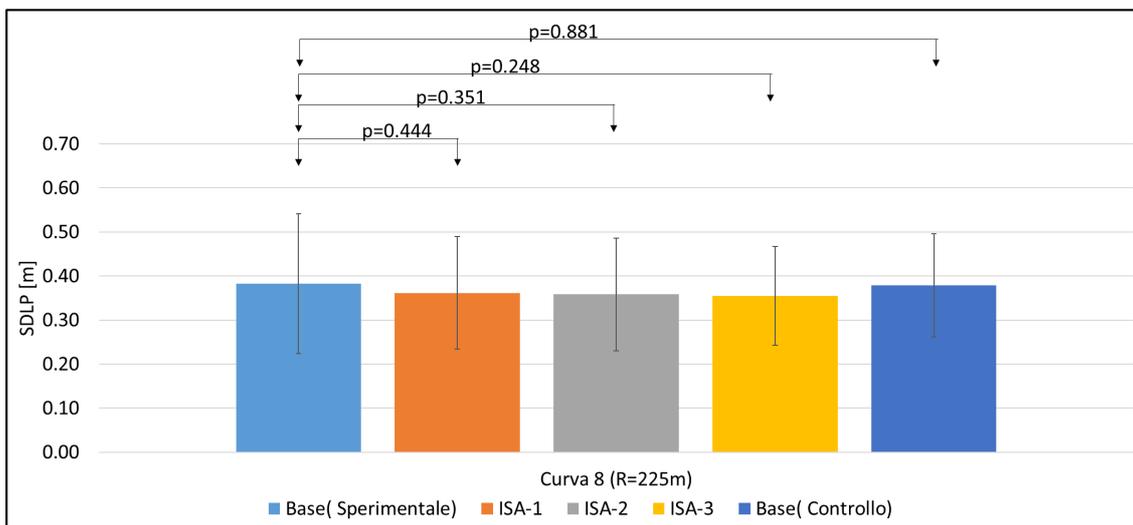


Fig. 43 - Rappresentazione dei valori di SDLP per la Curva 8, con indicazione della SD e dei p-value corrispondenti per le diverse configurazioni di guida

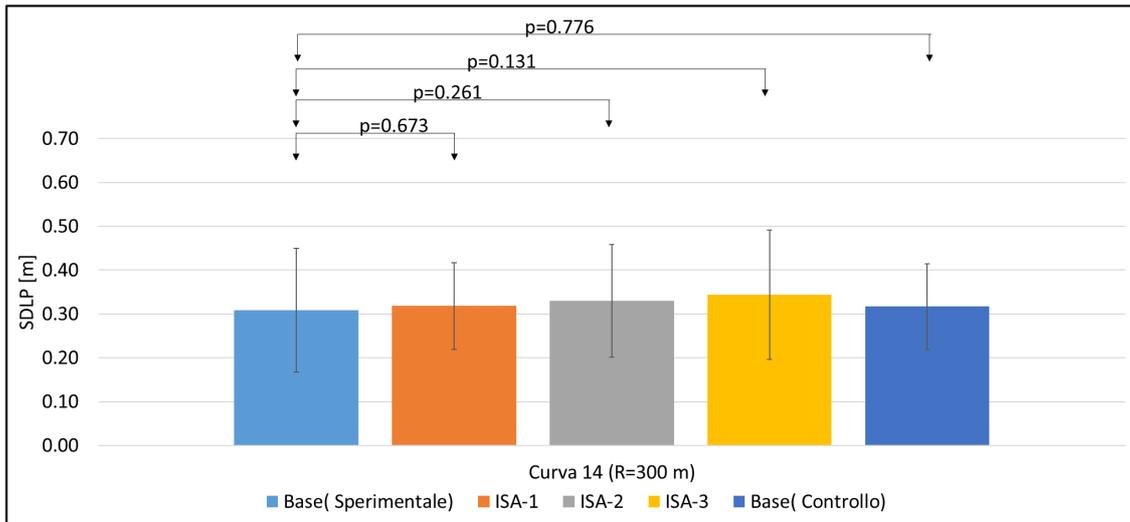


Fig. 44 Rappresentazione dei valori di SDLP per la Curva 14, con indicazione della SD e dei p-value corrispondenti per le diverse configurazioni di guida

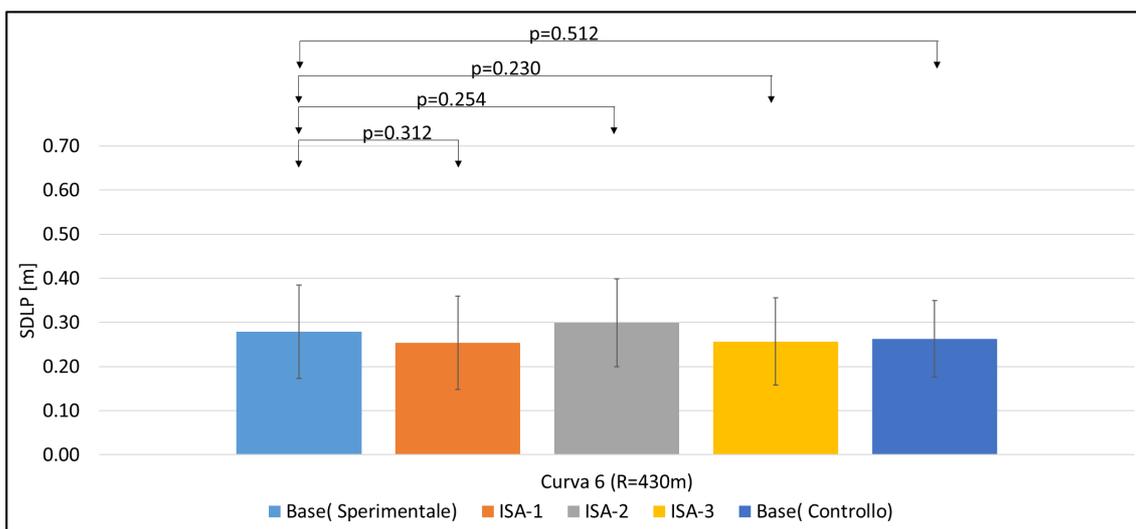


Fig. 45 Rappresentazione dei valori di SDLP per la Curva 6, con indicazione della SD e dei p-value corrispondenti per le diverse configurazioni di guida

### 3.2.1.2. Modello lineare misto

Le informazioni generali relative alla variabile dipendente studiata SDLP, ai criteri di selezione del modello (AIC *Akaike Information Criterion* e BIC *Bayesian Information Criterion*) e ai fattori coinvolti nell'esperimento sono riportate in Tabella 27. L'influenza del fattore casuale risulta evidente dal confronto fra i due coefficienti di determinazione  $R^2$  (0.136 marginale e 0.465 condizionale) anche se in entrambi i casi il valore risulta di molto inferiore all'unità e ciò è indice di una bassa capacità predittiva del modello nel calibrare i dati della variabile SDLP in base ai valori dei fattori indipendenti ottenuti dalle simulazioni di guida.

Tabella 27 - Informazioni del modello lineare misto condotto sulla variabile SDLP

Model Info	
Estimate	Linear mixed model fit by REML
Call	SDLP [m] ~ 1 + ASD + ISA + Età + Raggio curva + Direzione curva + Genere + Distanza ostruzione ottica+( 1   TD id)
AIC	-3551.406
BIC	-3336.838
LogLikel.	1729.842
R-squared Marginal	0.136
R-squared Conditional	0.465
Converged	yes

I risultati dell'analisi statistica condotta sulla SDLP eseguita tramite il modello lineare misto sono riportati in Tabella 28 ed evidenziano una significatività a livello globale di soli tre fattori, l'ISA, il raggio della curva e seppur al limite ( $p=0.044$ ) la distanza dell'ostruzione ottica.

Tabella 28 - Risultati sulla significatività delle variabili incluse nel modello lineare misto relativo alla variabile SDLP

Fixed Effect	F	p
ASD	3.0476	0.081*
ISA	8.4439	< .001
Età	1.6796	0.206*
Raggio curva	44.2274	< .001
Direzione curva	0.0155	0.901*
Genere	1.2608	0.271*
Distanza ostruzione ottica	2.7115	0.044

\* $p>0.05$  bassa significatività statistica

Nonostante il tipo di ISA influenzi il comportamento trasversale del guidatore e i risultati dell'analisi post-hoc sui confronti a coppie delle diverse guide di Tabella 29 evidenziano differenze significative tra guida Base vs. ISA-1 e guida Base vs. ISA-3 ad eccezione dell'ISA-2 il cui  $p$ -value corrispondente è  $> 0.05$ , il grafico in Figura 46 mostra che i valori di SDLP associati alle diverse guide sono estremamente simili e ciò conferma quanto osservato nell'analisi di dettaglio eseguita per mezzo dei test statistici ( $t$ -test), vale a dire che l'effetto dell'ISA è poco incisivo sul controllo della traiettoria del veicolo in corsia.

Tabella 29 - Analisi post-hoc sul fattore ISA sulla variabile SDLP

Post Hoc Comparisons - ISA				
ISA		t	df	$p_{holm}$
ISA-1	Base	-4.074	2119	< .001
ISA-2	Base	-2.195	2119	0.121*
ISA-3	Base	0.319	2119	< .001

\* $p>0.05$  bassa significatività statistica

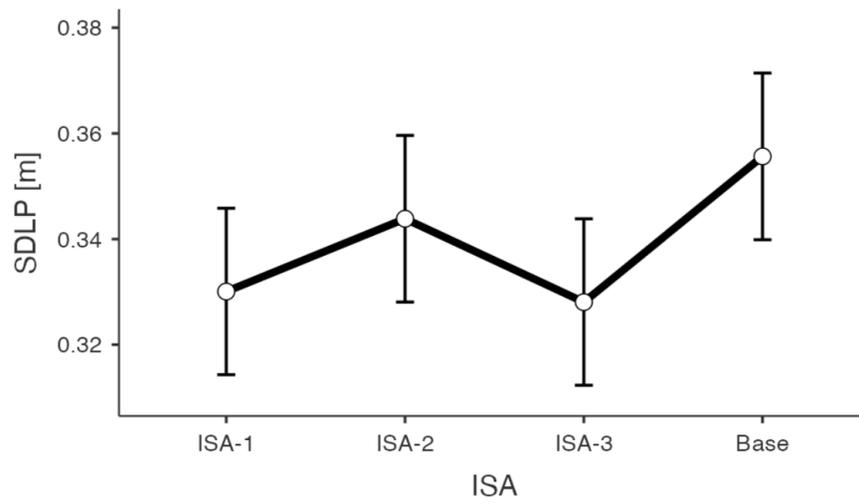


Fig. 46 Valori di SDLP nelle quattro guide ISA del gruppo sperimentale

## 4. CONCLUSIONI

L'eccesso di velocità costituisce un problema rilevante nell'ambito della sicurezza stradale essendo intimamente legato alla frequenza e alla severità degli eventi incidentali. Il miglioramento della percezione del guidatore nell'affrontare situazioni di guida condizionate dalla geometria della strada e dal contesto nel quale egli è inserito, può essere raggiunto mediante diverse soluzioni. L'uso di tecnologie a bordo veicolo rappresenta una valida tecnica per l'assistenza alla guida. In particolare, i sistemi intelligenti di controllo della velocità (ISA - *Intelligent speed adaptation systems*) consentono al guidatore di acquisire consapevolezza sull'esistenza e sul rispetto del limite di velocità. Tuttavia, questa informazione può risultare inadeguata, specialmente in tratti di curva con visibilità limitata per la presenza di ostruzioni ottiche laterali, in cui la distanza di visibilità disponibile (ASD - *Available sight distance*) risulta inferiore allo spazio necessario per arrestare in sicurezza il veicolo (SSD - *Stopping sight distance*) ed evitare l'impatto con potenziali ostacoli lungo la corsia di marcia. Informare il guidatore costantemente sul valore di velocità da adottare coerentemente con il requisito di visibilità richiesto dalle norme progettuali ( $ASD > SSD$ ), è fondamentale per mantenere livelli di sicurezza tali da ridurre l'incidentalità stradale. Nell'ambito dell'attività di ricerca condotta presso il Politecnico di Torino, è stato sviluppato un nuovo sistema ISA basato sulla distanza di visuale libera disponibile in grado di interagire con il guidatore e di assisterlo secondo tre modalità: *Informative (ISA-1)*, *Warning (ISA-2)* e *Intervening (ISA-3)*.

Questo studio ha avuto l'obiettivo di valutare gli effetti comportamentali indotti sui guidatori nell'utilizzare le tre varianti del sistema ISA e stabilire se il loro impiego possa migliorare le prestazioni e aiutarli nel percepire condizioni di guida rischiose dovute a limitazioni della visibilità lungo la marcia. Lo studio sperimentale è stato condotto al simulatore di guida del DIATI (Politecnico di Torino) coinvolgendo 60 persone suddivise in due gruppi, sperimentale e di controllo, ciascuno di 30 guidatori. Lo scenario di guida è stato progettato considerando un tracciato planimetrico costituito da una serie di curve orizzontali caratterizzate da valori di raggio  $R$  differenti (120, 225, 300 e 430 m) e da ostacoli laterali continui posti a distanza variabile dalla corsia di marcia  $d$  (0, 1.5 e 3 m) per valutare le prestazioni in condizioni di visibilità differenti. I guidatori appartenenti al gruppo sperimentale hanno guidato nello stesso scenario di guida quattro volte, una per ogni

---

variante ISA sviluppata e nella condizione di base senza alcun supporto da parte del sistema. I guidatori del gruppo di controllo hanno guidato nella sola condizione base. Sono stati quindi analizzati i dati di velocità e di posizione laterale rispetto all'asse della corsia di marcia (*lane gap*) per valutare gli effetti indotti rispettivamente sul comportamento longitudinale e trasversale. In particolare, si è deciso di analizzare i tratti precedenti le curve per valutare la variazione di velocità, a seguito dell'informazione o dell'intervento dell'ISA in risposta alle diverse condizioni di visibilità proposte nelle curve. Si è anche analizzato il comportamento in uscita dalle stesse curve per valutare l'eventuale maggior incremento come reazione alla riduzione nell'ingresso in curva. Nonostante il sistema ISA operi direttamente sulla velocità, una terza analisi è stata condotta sui dati di *lane gap* (distanza del baricentro del veicolo dall'asse della corsia), da cui sono stati calcolati i valori della deviazione standard della posizione laterale (SDLP).

Il modello lineare misto (*LMM*) utilizzato per valutare la significatività statistica del tipo di ISA conferma l'influenza del sistema di controllo sul comportamento longitudinale. L'output del modello mostra una influenza significativa da parte del raggio  $R$  delle curve, della distanza  $d$  dell'ostruzione ottica e della ASD. Ciò significa che queste caratteristiche geometriche incidono fortemente sulla percezione del rischio dei guidatori. Anche lo stile di guida di ciascun *test-driver* è risultato essere significativo, a differenza di altri caratteri quali l'età e il genere.

I risultati ottenuti dall'analisi eseguita nei tratti in ingresso nelle curve hanno permesso di evidenziare un sostanziale effetto positivo prodotto da tutti gli ISA investigati. In particolare, le varianti ISA-1 e ISA-2 informano i guidatori sulle condizioni di pericolo, e li spingono ad adottare velocità prossime ai limiti di sicurezza. Tuttavia, la risposta comportamentale nelle curve con raggio piccolo non appare sufficiente nell'assecondare il compito del guidatore, il quale riduce la velocità ma non è in grado di mantenerla al di sotto del limite di sicurezza. Al contrario, la variante ISA-3 assiste il guidatore in qualunque curva tra quelle investigate, garantendo quel livello di sicurezza coerente con le condizioni di visibilità.

Nei tratti stradali in uscita dalle curve, lo studio ha inteso verificare se all'eccessiva riduzione di velocità in ingresso i guidatori potessero aver reagito con un maggior incremento della velocità in uscita. Dal confronto eseguito per mezzo dei test statistici (*t-test*) emerge che l'incremento di velocità più rilevante è limitato alle curve di raggio più piccolo nel caso di guide con l'utilizzo dell'ISA-3 e che le differenze statisticamente significative si osservano per i valori di incremento di velocità in uscita dalle curve fra la guida base e la guida con l'uso del sistema ISA-3 nelle curve analizzate in dettaglio ( $p=0.025$  curva 3,  $p<0.001$  curva 8 e  $p=0.004$  curva 11); nel resto dei casi non sono state osservate differenze significative per tutte le varianti ISA.

Il modello lineare misto (*LMM*) utilizzato per valutare l'impatto del tipo di ISA sul comportamento trasversale dei guidatori indica che le varianti ISA non hanno alcuna influenza sul controllo della traiettoria poiché non si registrano differenze significative di SDLP ( $p > 0.05$ ).

In generale, i risultati confermano le ipotesi sperimentali alla base di questo lavoro di tesi. L'uso di un sistema di assistenza della velocità basato sulla distanza di visuale libera disponibile consente di migliorare la sicurezza nell'affrontare situazioni di guida in cui  $ASD < SSD$ . In particolare, la variante ISA-3, in grado di condizionare automaticamente la velocità agendo sui pedali (acceleratore e freno), consente di mantenere una velocità sempre inferiore al limite di sicurezza, azzerando così la probabilità di collisione per un arresto di emergenza di fronte a un ostacolo imprevisto. Le varianti di tipo informativo (ISA-1 e ISA-2) invece, sono meno efficaci poiché lasciano libertà al guidatore di ridurre la velocità, il quale non è in grado di ricondurla a valori inferiori al limite di sicurezza. Nessuno dei tre sistemi ISA ha prodotto effetti negativi sul controllo della traiettoria in curva. Questo è un risultato positivo, poiché l'uso degli ISA proposti non produce effetti secondari indesiderati sulla capacità di controllo del guidatore.

I risultati del presente studio sono da considerare limitati al solo tipo di strada extraurbana e alle condizioni di traffico analizzate. In esperimenti futuri si dovrà esaminare il funzionamento degli ISA anche in altri ambiti (es. urbano) e in condizioni di visibilità diverse da quelle qui considerate allo scopo di ampliare l'indagine a diverse condizioni operative.

Ulteriori indagini serviranno per valutare il nuovo sistema di controllo della velocità anche dal punto di vista dell'accettazione, del livello di soddisfazione e del carico di lavoro mentale e fisico del guidatore manifestati durante l'uso e l'interazione con le tre varianti ISA qui proposte. Si rende necessaria, infine, una specifica indagine volta a valutare l'interazione dell'ISA sviluppato con altre tecnologie di assistenza alla guida appartenenti alla famiglia dei sistemi ADAS (*Advanced Driver Assistance Systems*).

---

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Aarts, L., and Van Schagen, I. (2006). Driving speed and the risk of road crashes: A review. *Accident Analysis and Prevention*, 38(2):215-224.
- [2] Nilsson, G. (2004). Traffic safety dimensions and the power model to describe the effect of speed on safety (Doctoral dissertation, Univ.).
- [3] Hauer, E. (2009). Speed and safety. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2103(1):10-17.
- [4] Li, H., Zhu, M., Graham, D. J., and Zhang, Y. (2020). Are multiple speed cameras more effective than a single one? Causal analysis of the safety impacts of multiple speed cameras. *Accident Analysis and Prevention*, 139:105488.
- [5] Comte, S. L., and Jamson, A.H. (2000). Traditional and innovative speed-reducing measures for curves: an investigation of driver behaviour using a driving simulator. *Safety Science*, 36(3):137-150.
- [6] Høye, A. (2014). Speed cameras, section control, and kangaroo jumps—a meta-analysis. *Accident Analysis and Prevention*, 73:200-208.
- [7] Christie, S.M., Lyons, R.A., Dunstan, F.D., Jones, S.J., 2003. Are mobile speed cameraseffective? A controlled before and after study. *Inj. Prev.* 9, 302–306.
- [8] Mountain, L. J., Hirst, W. M., and Maher, M. J. (2005). Are speed enforcement cameras more effective than other speed management measures? The impact of speed management schemes on 30 mph roads. *Accident Analysis and Prevention*, 37(4):742-754.
- [9] Young, K. L., Regan, M. A., Triggs, T. J., Jontof-Hutter, K., and Newstead, S. (2010). Intelligent speed adaptation—Effects and acceptance by young inexperienced drivers. *Accident Analysis and Prevention*, 42(3):935-943.
- [10] Carsten, O., 2002. European Research on ISA: Where Are We Now and What Remains to be Done. ICTCT, Nagoya, May.
- [11] Saad, F., Malaterre, G., 1982. La regulation de la vitesse: Analyse des aides au controle de la vitesse (Regulation of speed: an analysis of aides to control the speed). ONSER, France.
- [12] Biding, T., Lind, G., 2002. Intelligent Speed Adaptation (ISA): Results of Large-scale Trials in Borlänge, Lidköping, Lund, and Umeå during 1999–2002. Swedish National Road Administration, Borlange, Sweden.

- 
- [13] Hjalmdahl, M., Várhelyi, A., 2004. Speed regulation by in-car active accelerator pedal – effects on driver behaviour. *Transportation Research Part F* 7, 77–94.
- [14] ETSC (2006). Intelligent speed assistance – Myths and reality. ETSC report (ISBN 9076024235).
- [15] Spyropoulou, I. K., Karlaftis, M. G., and Reed, N. (2014). Intelligent Speed Adaptation and driving speed: Effects of different system HMI functionalities. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 24:39-49.
- [16] Carsten, O. M., and Tate, F. N. (2005). Intelligent speed adaptation: accident savings and cost–benefit analysis. *Accident Analysis and Prevention*, 37(3):407-416.
- [17] Lai, F., and Carsten, O. (2012). What benefit does Intelligent Speed Adaptation deliver: A close examination of its effect on vehicle speeds. *Accident Analysis and Prevention*, 48:49.
- [18] OECD (2006). *Speed Management*. Paris: OECD. Joint Transport Research Committee, Paris.
- [19] Gayah, V. V., Donnell, E. T., Yu, Z., and Li, L. (2018). Safety and operational impacts of setting speed limits below engineering recommendations. *Accident Analysis and Prevention*, 121:43-52.
- [20] Wilde GJSRisk homeostasis theory: an overview *Injury Prevention* 1998;4:89-91.
- [21] AASHTO, 2018. *A policy on geometric design of highways and streets*. Washington D.C.
- [22] Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, 2001. *Norme Funzionali e Geometriche per la Costruzione delle Strade*. Italia.
- [23] Gargoum, S. A., El-Basyouny, K., and Sabbagh, J. (2018). Assessing stopping and passing sight distance on highways using mobile LiDAR data. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 32(4):04018025.
- [24] Castro, M., De Santos-Berbel, C., 2015. Spatial analysis of geometric design consistency and road sight distance. *Int. J. Geogr. Inf. Sci.* 29, 2061–2074.
- [25] Steinauer, B., Trapp, R., & Boker, E., 2002. Verkehrssicherheit in Kurven auf Autobahnen. *Straßenverkehrstechnik*.
- [26] Bassani, M., Catani, L., Salussolia, A., Yang, C.Y.D., 2019a. A driving simulation study to examine the impact of available sight distance on driver behavior along rural highways. *Accid. Anal. Prev.* 131, 200–212. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2019.07.003>

- [27] Bassani, M., Hazoor, A., Catani, L., 2019b. What's around the curve? A driving simulation experiment on compensatory strategies for safe driving along horizontal curves with sight limitations. *Transp. Res. Part F Psychol. Behav.* 66, 273–291. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2019.09.011>
- [28] Hazoor, A., Bassani, M., Lioi, A., 2021. Development of a novel intelligent speed adaptation system based on available sight distance. *Transp. Res. Record.*
- [29] Bassani, M., Catani, L., Ignazzi, A., Piras, M., 2018. Kinematic Validation of a Driving Simulator with Continuous Speed Profiles. In: DSC 2018 EUROPE (VR) Driving Simulation & Virtual Reality Conference & Exhibition (Antibes, France, 5-7 September 2018).
- [30] Bassani, M., Catani, L., 2019c. Anticipatory Distance, Curvature, and Curvature Change Rate in Compound Curve Negotiation: a Comparison Between Real and Simulated Driving. In: 98th TRB Annual Meeting, (Washington D.C., US, 13-17 January 2019).
- [31] Verster JC, Roth T. Standard operation procedures for conducting the on-the-road driving test, and measurement of the standard deviation of lateral position (SDLP). *Int J Gen Med.* 2011;4:359-371. doi:10.2147/IJGM.S19639
- [32] <https://www.mit.gov.it/comunicazione/news/patenti-dataset-online>

## Indice delle figure

Fig. 1 - Rappresentazione ASD per curva destrorsa e sinistrorsa di raggio R (Bassani et al. 2019a).....	4
Fig. 2 Confronto fra i profili di ASD e SSD per tre diversi guidatori (j) lungo la stessa curva (Bassani et al. 2019b) .....	5
Fig. 3 - Riconoscimento della ASD in base ai punti di misura rilevati dal sensore a bordo veicolo (a), e interazione tra i software SCANeR Studio® e MATLAB Simulink® (b) (Hazoor et al. 2021).....	7
Fig. 4 Sezioni trasversali del tracciato stradale per curve destrorse e sinistrorse (Hazoor et al. 2021) .....	8
Fig. 5 Confronto tra i profili di ASD e SSD ottenuti in quattro guide diverse con e senza l'intervento dei sistemi ISA (Hazoor et al. 2021).....	8
Fig. 6 Confronto tra i valori di velocità di sicurezza e i profili di velocità ottenuti in quattro guide diverse con e senza l'intervento dei sistemi ISA (Hazoor et al. 2021) .....	9
Fig. 7 Schema generale dell'esperimento.....	12
Fig. 8 Standard deviation of lateral position (Verster et al. 2011) .....	13
Fig. 9 Simulatore di guida, DIATI, Politecnico di Torino.....	15
Fig. 10 - Categoria di strada scelta per il tracciato (MIT, Norme Funzionali e Geometriche per la Costruzione delle Strade 2001) .....	17
Fig. 11 - Piazzola di sosta.....	19
Fig. 12 Sezione trasversale dei tratti curvilinei destrorsi e sinistrorsi (Bassani et al. 2019a) .....	20
Fig. 13 - Rappresentazione delle condizioni di visibilità in curva sinistrorsa: (a) R=430 m, d = INF, (b) R=430 m, d = 0 m, (c) R=430 m, d = 1.5 m, (d) R=300 m, d = 3 m .....	21
Fig. 14 Rappresentazione delle condizioni di visibilità in curva destrorsa: (a) R=225 m, d = 1.5 m, (b) R=225 m, d = 3 m .....	22
Fig. 15 Traffico simulato .....	22
Fig. 16 Rappresentazione dell'ambiente virtuale.....	22

Fig. 17 Attivazione ISA-1 (Curva 10 TD1) .....	24
Fig. 18 Sequenza di intervento dell'ISA-1: (a)Interfaccia verde (guida sicura), (b) interfaccia gialla (guida parzialmente sicura), (c) interfaccia rossa (guida non sicura) .....	25
Fig. 19 Attivazione ISA-3 (Curva 10 TD1) .....	26
Fig. 20 Sequenza di intervento dell'ISA-3: (a)Interfaccia verde (guida sicura), (b) interfaccia blu (guida controllata) .....	27
Fig. 21 Sezioni in cui sono stati analizzati i dati di velocità in ingresso delle curve .....	32
Fig. 22 Sezioni in cui sono stati analizzati i dati di velocità in uscita dalle curve.....	33
Fig. 23 - Confronto dei valori $\Delta(V_{r,i}-V_{c,i})$ per la Curva 2 tra ISA e condizione Base con indicazione dei p-value .....	39
Fig. 24 - Confronto dei valori $\Delta(V_{r,i}-V_{c,i})$ per la Curva 3 tra ISA e condizione Base con indicazione dei p-value .....	39
Fig. 25 - Confronto dei valori $\Delta(V_{r,i}-V_{c,i})$ per la Curva 6 tra ISA e condizione Base con indicazione dei p-value .....	40
Fig. 26 - Confronto dei valori $\Delta(V_{r,i}-V_{c,i})$ per la Curva 7 tra ISA e condizione Base con indicazione dei p-value .....	40
Fig. 27 - Confronto dei valori $\Delta(V_{r,i}-V_{c,i})$ per la Curva 8 tra ISA e condizione Base con indicazione dei p-value .....	40
Fig. 28 Confronto dei valori $\Delta(V_{r,i}-V_{c,i})$ per la Curva 10 tra ISA e condizione Base con indicazione dei p-value .....	41
Fig. 29 Confronto dei valori $\Delta(V_{r,i}-V_{c,i})$ per la Curva 17 tra ISA e condizione Base con indicazione dei p-value .....	41
Fig. 30 Confronto dei valori $V_{r,i}$ e $V_{c,i}$ per la Curva 2 tra le condizioni Base con indicazione dei p-value .....	42
Fig. 31 Confronto dei valori $V_{r,i}$ e $V_{c,i}$ per la Curva 3 tra le condizioni Base con indicazione dei p-value .....	42
Fig. 32 Confronto dei valori $V_{r,i}$ e $V_{c,i}$ per la Curva 6 tra le condizioni Base con indicazione dei p-value .....	42
Fig. 33 Confronto dei valori $V_{r,i}$ e $V_{c,i}$ per la Curva 7 tra le condizioni Base con indicazione dei p-value .....	43
Fig. 34 Confronto dei valori $V_{r,i}$ e $V_{c,i}$ per la Curva 8 tra le condizioni Base con indicazione dei p-value .....	43
Fig. 35 Confronto dei valori $V_{r,i}$ e $V_{c,i}$ per la Curva 10 tra le condizioni Base con indicazione dei p-value .....	43

Fig. 36 Confronto dei valori $V_{r,i}$ e $V_{c,i}$ per la Curva 17 tra le condizioni Base con indicazione dei p-value .....	44
Fig. 37 Valori di $\Delta(V_{r,i}-V_{c,i})$ nelle quattro guide ISA del gruppo sperimentale.....	46
Fig. 38 Confronto dei valori $\Delta(V_{r,u}-V_{c,u})$ per la Curva 3 tra ISA e condizione Base con indicazione dei p-value .....	47
Fig. 39 Confronto dei valori $\Delta(V_{r,u}-V_{c,u})$ per la Curva 8 tra ISA e condizione Base con indicazione dei p-value .....	48
Fig. 40 Confronto dei valori $\Delta(V_{r,u}-V_{c,u})$ per la Curva 11 tra ISA e condizione Base con indicazione dei p-value .....	48
Fig. 41 Valori di $\Delta(V_{r,u}-V_{c,u})$ nelle quattro guide ISA del gruppo sperimentale .....	50
Fig. 42 Rappresentazione dei valori di SDLP per la Curva 2, con indicazione della SD e dei p-value corrispondenti per le diverse configurazioni di guida.....	51
Fig. 43 - Rappresentazione dei valori di SDLP per la Curva 8, con indicazione della SD e dei p-value corrispondenti per le diverse configurazioni di guida .....	51
Fig. 44 Rappresentazione dei valori di SDLP per la Curva 14, con indicazione della SD e dei p-value corrispondenti per le diverse configurazioni di guida .....	52
Fig. 45 Rappresentazione dei valori di SDLP per la Curva 6, con indicazione della SD e dei p-value corrispondenti per le diverse configurazioni di guida.....	52
Fig. 46 Valori di SDLP nelle quattro guide ISA del gruppo sperimentale.....	54
Fig. 47 Immagine planimetrica del tracciato stradale simulato con indicazione delle caratteristiche geometriche delle curve.....	70
Fig. 48 Profilo di velocità: ISA-1 .....	80
Fig. 49 Profilo di velocità: ISA-2 .....	81
Fig. 50 Profilo di velocità: ISA-3 .....	82
Fig. 51 Profilo di velocità: Guida base (Campione sperimentale) .....	83
Fig. 52 Profilo di velocità: Guida base (Campione di controllo).....	84
Fig. 53 Profili di Lane gap: ISA-1.....	85
Fig. 54 Profili di Lane gap: ISA-2.....	86
Fig. 55 Profili di Lane gap: ISA-3.....	87
Fig. 56 Profili di Lane gap: Guida base (Campione sperimentale).....	88
Fig. 57 Profili di Lane gap: Guida base (Campione di controllo) .....	89
Fig. 58 Output dell'analisi LMM condotta sulla variabile $\Delta(V_{r,i}-V_{c,i})$ .....	90
Fig. 59 Output dell'analisi LMM condotta sulla variabile $\Delta(V_{r,u}-V_{c,u})$ .....	91

---

Fig. 60 Output dell'analisi LMM condotta sulla variabile SDLP.....	92
Fig. 61 Rappresentazione dei valori $V_{r,i}$ e $V_{c,i}$ per la Curva 1, con indicazione della SD per le diverse configurazioni di guida .....	97
Fig. 62 Rappresentazione dei valori $V_{r,i}$ e $V_{c,i}$ per la Curva 2, con indicazione della SD e della velocità limite di sicurezza per le diverse configurazioni di guida .....	97
Fig. 63 Rappresentazione dei valori $V_{r,i}$ e $V_{c,i}$ per la Curva 3, con indicazione della SD e della velocità limite di sicurezza per le diverse configurazioni di guida .....	98
Fig. 64 Rappresentazione dei valori $V_{r,i}$ e $V_{c,i}$ per la Curva 4, con indicazione della SD e della velocità limite di sicurezza per le diverse configurazioni di guida .....	98
Fig. 65 Rappresentazione dei valori $V_{r,i}$ e $V_{c,i}$ per la Curva 5, con indicazione della SD per le diverse configurazioni di guida .....	98
Fig. 66 Rappresentazione dei valori $V_{r,i}$ e $V_{c,i}$ per la Curva 6, con indicazione della SD e della velocità limite di sicurezza per le diverse configurazioni di guida .....	99
Fig. 67 Rappresentazione dei valori $V_{r,i}$ e $V_{c,i}$ per la Curva 7, con indicazione della SD e della velocità limite di sicurezza per le diverse configurazioni di guida .....	99
Fig. 68 Rappresentazione dei valori $V_{r,i}$ e $V_{c,i}$ per la Curva 8, con indicazione della SD e della velocità limite di sicurezza per le diverse configurazioni di guida .....	99
Fig. 69 Rappresentazione dei valori $V_{r,i}$ e $V_{c,i}$ per la Curva 9, con indicazione della SD per le diverse configurazioni di guida .....	100
Fig. 70 Rappresentazione dei valori $V_{r,i}$ e $V_{c,i}$ per la Curva 10, con indicazione della SD e della velocità limite di sicurezza per le diverse configurazioni di guida .....	100
Fig. 71 Rappresentazione dei valori $V_{r,i}$ e $V_{c,i}$ per la Curva 11, con indicazione della SD e della velocità limite di sicurezza per le diverse configurazioni di guida .....	100
Fig. 72 Rappresentazione dei valori $V_{r,i}$ e $V_{c,i}$ per la Curva 12, con indicazione della SD e della velocità limite di sicurezza per le diverse configurazioni di guida .....	101
Fig. 73 Rappresentazione dei valori $V_{r,i}$ e $V_{c,i}$ per la Curva 13, con indicazione della SD e della velocità limite di sicurezza per le diverse configurazioni di guida .....	101
Fig. 74 Rappresentazione dei valori $V_{r,i}$ e $V_{c,i}$ per la Curva 14, con indicazione della SD e della velocità limite di sicurezza per le diverse configurazioni di guida .....	101
Fig. 75 Rappresentazione dei valori $V_{r,i}$ e $V_{c,i}$ per la Curva 15, con indicazione della SD e della velocità limite di sicurezza per le diverse configurazioni di guida .....	102
Fig. 76 Rappresentazione dei valori $V_{r,i}$ e $V_{c,i}$ per la Curva 16, con indicazione della SD e della velocità limite di sicurezza per le diverse configurazioni di guida .....	102
Fig. 77 Rappresentazione dei valori $V_{r,i}$ e $V_{c,i}$ per la Curva 17, con indicazione della SD e della velocità limite di sicurezza per le diverse configurazioni di guida .....	102
Fig. 78 Rappresentazione dei valori $V_{r,i}$ e $V_{c,i}$ per la Curva 18, con indicazione della SD e della velocità limite di sicurezza per le diverse configurazioni di guida .....	103

---

Fig. 79 Rappresentazione dei valori $V_{c,u}$ e $V_{r,u}$ per la Curva 3, con indicazione della SD per le diverse configurazioni di guida .....	104
Fig. 80 Rappresentazione dei valori $V_{c,u}$ e $V_{r,u}$ per la Curva 4, con indicazione della SD per le diverse configurazioni di guida .....	104
Fig. 81 Rappresentazione dei valori $V_{c,u}$ e $V_{r,u}$ per la Curva 5, con indicazione della SD per le diverse configurazioni di guida .....	104
Fig. 82 Rappresentazione dei valori $V_{c,u}$ e $V_{r,u}$ per la Curva 6, con indicazione della SD per le diverse configurazioni di guida .....	105
Fig. 83 Rappresentazione dei valori $V_{c,u}$ e $V_{r,u}$ per la Curva 7, con indicazione della SD per le diverse configurazioni di guida .....	105
Fig. 84 Rappresentazione dei valori $V_{c,u}$ e $V_{r,u}$ per la Curva 8, con indicazione della SD per le diverse configurazioni di guida .....	105
Fig. 85 Rappresentazione dei valori $V_{c,u}$ e $V_{r,u}$ per la Curva 11, con indicazione della SD per le diverse configurazioni di guida .....	106
Fig. 86 Rappresentazione dei valori $V_{c,u}$ e $V_{r,u}$ per la Curva 12, con indicazione della SD per le diverse configurazioni di guida .....	106
Fig. 87 Rappresentazione dei valori $V_{c,u}$ e $V_{r,u}$ per la Curva 13, con indicazione della SD per le diverse configurazioni di guida .....	106
Fig. 88 Rappresentazione dei valori $V_{c,u}$ e $V_{r,u}$ per la Curva 14, con indicazione della SD per le diverse configurazioni di guida .....	107
Fig. 89 Rappresentazione dei valori $V_{c,u}$ e $V_{r,u}$ per la Curva 15, con indicazione della SD per le diverse configurazioni di guida .....	107
Fig. 90 Rappresentazione dei valori $V_{c,u}$ e $V_{r,u}$ per la Curva 16, con indicazione della SD per le diverse configurazioni di guida .....	107
Fig. 91 Rappresentazione dei valori di SDLP per la Curva 1, con indicazione della SD per le diverse configurazioni di guida .....	108
Fig. 92 Rappresentazione dei valori di SDLP per la Curva 9, con indicazione della SD per le diverse configurazioni di guida .....	108
Fig. 93 Rappresentazione dei valori di SDLP per la Curva 10, con indicazione della SD per le diverse configurazioni di guida .....	109
Fig. 94 Rappresentazione dei valori di SDLP per la Curva 18, con indicazione della SD per le diverse configurazioni di guida .....	109
Fig. 95 Rappresentazione dei valori di SDLP per la Curva 3, con indicazione della SD per le diverse configurazioni di guida .....	110
Fig. 96 Rappresentazione dei valori di SDLP per la Curva 11, con indicazione della SD per le diverse configurazioni di guida .....	110

Fig. 97 Rappresentazione dei valori di SDLP per la Curva 17, con indicazione della SD per le diverse configurazioni di guida .....	111
Fig. 98 Rappresentazione dei valori di SDLP per la Curva 4, con indicazione della SD per le diverse configurazioni di guida .....	111
Fig. 99 Rappresentazione dei valori di SDLP per la Curva 7, con indicazione della SD per le diverse configurazioni di guida .....	112
Fig. 100 Rappresentazione dei valori di SDLP per la Curva 12, con indicazione della SD per le diverse configurazioni di guida .....	112
Fig. 101 Rappresentazione dei valori di SDLP per la Curva 16, con indicazione della SD per le diverse configurazioni di guida .....	113
Fig. 102 Rappresentazione dei valori di SDLP per la Curva 5, con indicazione della SD per le diverse configurazioni di guida .....	113
Fig. 103 Rappresentazione dei valori di SDLP per la Curva 13, con indicazione della SD per le diverse configurazioni di guida .....	114
Fig. 104 Rappresentazione dei valori di SDLP per la Curva 15, con indicazione della SD per le diverse configurazioni di guida .....	114

## Indice delle tabelle

Tabella 1 - Combinazioni delle strategie di compensazione del rischio scelte dai guidatori considerando le condizioni di limitata visibilità lungo le curve (Bassani et al. 2019b)..	5
Tabella 2 - Caratteristiche geometriche degli elementi del tracciato planimetrico. I valori negativi di R indicano curve sinistrorse, quelli positivi indicano curve destrorse.....	18
Tabella 3 - Valori di distanza dell'elemento di ostruzione laterale e ASD corrispondente per ogni curva del tracciato planimetrico .....	21
Tabella 4 - Percentuali patentati italiani per età e genere.....	28
Tabella 5 - Distribuzione dei 30 test driver proporzionale all'età e al genere .....	28
Tabella 6 - Matrice di assegnazione delle configurazioni di guida al campione sperimentale .....	29
Tabella 7 - Distribuzione delle osservazioni in ogni configurazione di guida.....	29
Tabella 8 - Variabili statistiche dei test driver del campione sperimentale .....	30
Tabella 9 - Variabili statistiche dei test driver del campione di controllo.....	30
Tabella 10 - t-test sulle caratteristiche dei due campioni dell'esperimento .....	30
Tabella 11 - Divisione in categorie della tipologia di ISA.....	34
Tabella 12 - Divisione in categorie del raggio della curva.....	34
Tabella 13 - Divisione in categorie della direzione della curva .....	35
Tabella 14 - Divisione in categorie della distanza dell'ostruzione ottica .....	35
Tabella 15 - Divisione in categorie del genere dei guidatori.....	35
Tabella 16 - Media (M) e deviazione standard (SD) dei dati di velocità in ingresso in curva ( $V_{r,i}$ ) nelle diverse configurazioni di guida sottoposte ai test driver. ....	37
Tabella 17 - Media (M) e deviazione standard (SD) dei dati di velocità nel punto centrale della curva ( $V_{c,i}$ ) nelle diverse configurazioni di guida sottoposte ai test driver. ....	37
Tabella 18 - Informazioni del modello lineare misto condotto sulla variabile $\Delta(V_{r,i}-V_{c,i})$ .	44

Tabella 19 - Risultati sulla significatività delle variabili incluse nel modello lineare misto relativo alla variabile $\Delta(V_{r,i}-V_{c,i})$ .....	45
Tabella 20 - Analisi post-hoc sul fattore ISA sulla variabile $\Delta(V_{r,i}-V_{c,i})$ .....	45
Tabella 21 - Media (M) e deviazione standard (SD) dei dati di velocità in uscita dalla curva ( $V_{c,u}$ ) nelle diverse configurazioni di guida sottoposte ai test driver.....	46
Tabella 22 - Media (M) e deviazione standard (SD) dei dati di velocità nel rettilo in uscita dalla curva ( $V_{r,u}$ ) nelle diverse configurazioni di guida sottoposte ai test driver. ....	47
Tabella 23 - Informazioni del modello lineare misto condotto sulla variabile $\Delta(V_{r,u}-V_{c,u})$ .....	49
Tabella 24 - Risultati sulla significatività delle variabili incluse nel modello lineare misto relativo alla variabile $\Delta(V_{r,u}-V_{c,u})$ .....	49
Tabella 25 - Analisi post-hoc sul fattore ISA sulla variabile $\Delta(V_{r,u}-V_{c,u})$ .....	49
Tabella 26 - Media (M) e deviazione standard (SD) dei dati SDLP nelle diverse configurazioni di guida sottoposte ai test driver.....	50
Tabella 27 - Informazioni del modello lineare misto condotto sulla variabile SDLP.....	53
Tabella 28 - Risultati sulla significatività delle variabili incluse nel modello lineare misto relativo alla variabile SDLP.....	53
Tabella 29 - Analisi post-hoc sul fattore ISA sulla variabile SDLP .....	53
Tabella 30 - Distribuzione patentati italiani in base alla fascia d'età .....	71
Tabella 31 - Caratteristiche dei test driver del campione sperimentale .....	72
Tabella 32 - Caratteristiche dei test driver del campione di controllo.....	73
Tabella 33 - P-value sui valori di velocità $V_{r,i}$ e $V_{c,i}$ nelle diverse configurazioni di guida .....	93
Tabella 34 - P-value sui valori di velocità $V_{r,i}$ nelle due configurazioni di guida Base.....	93
Tabella 35 - P-value sui valori di velocità $V_{c,i}$ nelle due configurazioni di guida Base .....	94
Tabella 36 - P-value sui valori di $\Delta(V_{r,i}-V_{c,i})$ tra la configurazione Base e quelle ISA.....	94
Tabella 37 - P-value sui valori di velocità $V_{c,u}$ e $V_{r,u}$ nelle diverse configurazioni di guida .....	95
Tabella 38 - P-value sui valori di $\Delta(V_{r,u}-V_{c,u})$ tra la configurazione Base e le ISA.....	95
Tabella 39 - P-value sui valori di SDLP tra la configurazione Base e quelle ISA.....	96

## **Ringraziamenti**

Desidero ringraziare in primo luogo il mio relatore di tesi di laurea, il prof Marco Bassani per avermi dato la possibilità di sviluppare questa attività di ricerca con costante impegno e profonda passione in tutti questi mesi di lavoro.

Un ringraziamento speciale lo dedico al mio correlatore Abrar Hazoor, per essere stato sempre presente e per avermi spronato fino all'ultimo a non perdermi d'animo durante le infinite giornate di lavoro passate davanti allo schermo. Thanks!

Ringrazio infinitamente la mia famiglia per tutti i sacrifici fatti nel darmi la possibilità di studiare lontano da casa in questi tre anni a Torino. Dedico questa "vittoria" personale a loro.

Grazie soprattutto a Monica, la persona che mi ha fatto riscoprire l'amore, che da tempo ormai è al mio fianco e mi ha sostenuto sempre con le sue parole, i suoi abbracci e le infinite videochiamate fatte a distanza.

Ringrazio i miei due compagni di avventure Matteo e Antonio. Nonostante questa pandemia ci abbia tenuti a distanza per tanto tempo abbiamo sempre cercato di rimanere in contatto e di sostenerci a vicenda.

Un grazie di cuore a Francesco, Alberto e Alessandra, colleghi ma soprattutto grandi amici conosciuti durante questi mesi di lavoro di tesi in laboratorio, senza i quali non sarei riuscito a portare a termine la mia carriera universitaria.

Ringrazio infine tutti i miei parenti che nel loro piccolo hanno contribuito a darmi la forza per raggiungere questo importante traguardo della mia vita professionale.

# ALLEGATI

## ALLEGATO A: Tracciato planimetrico

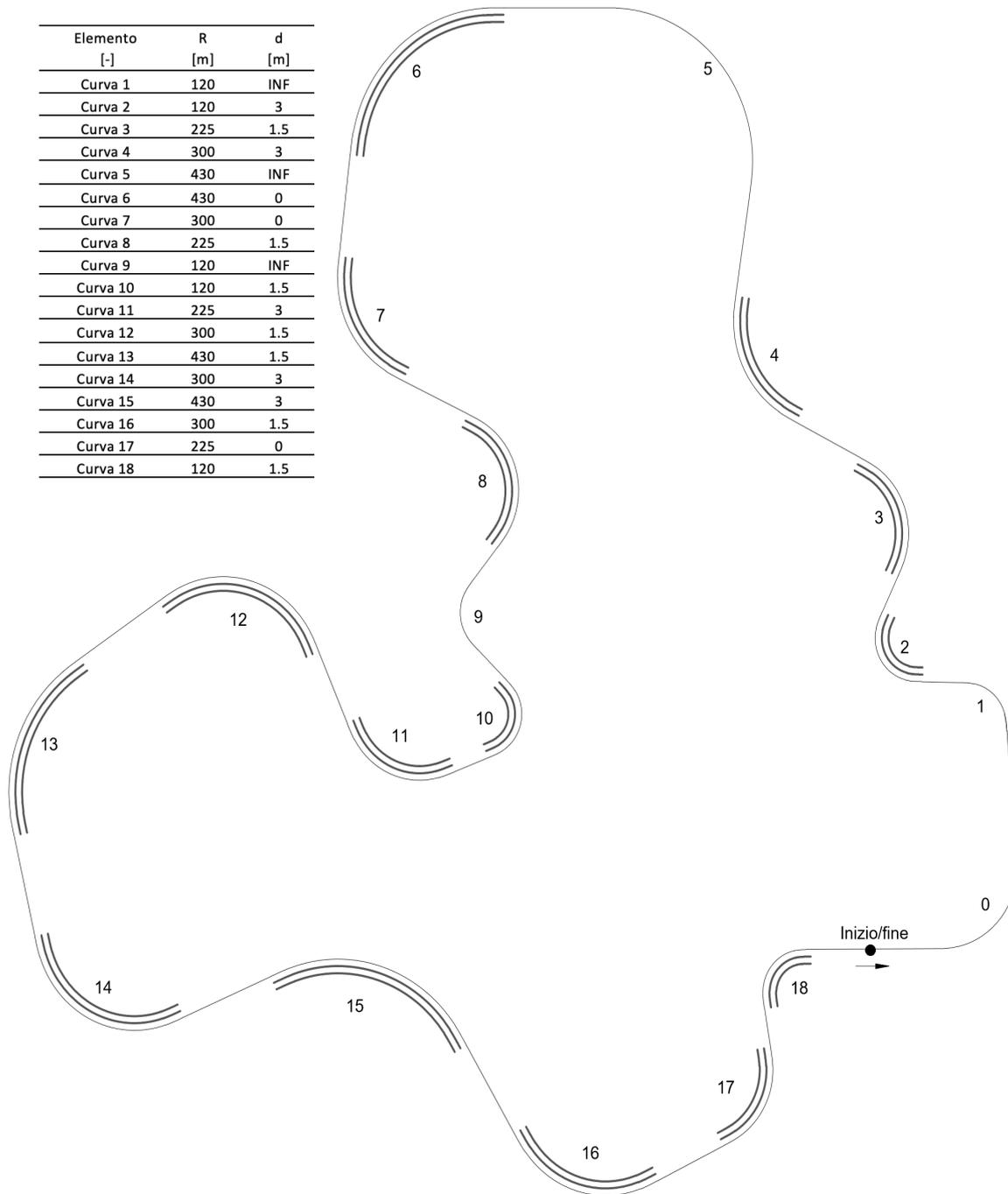


Fig. 47 Immagine planimetrica del tracciato stradale simulato con indicazione delle caratteristiche geometriche delle curve

## ALLEGATO B: Campioni di guidatori

Per scegliere come stratificare i *test driver* appartenenti ai due campioni di guidatori sono stati considerati i dati resi disponibili su sito del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti [32], sul quale vengono riportate le percentuali dei patentati italiani divisi in base all'età [Tabella 30].

Tabella 30 - Distribuzione patentati italiani in base alla fascia d'età

Classe	Età	Popolazione	Percentuale
1	< 25	3083172	7.96
2	25 - 34	5679399	14.66
3	35 - 44	7415976	19.15
4	45 - 64	15067898	38.9
5	> 65	7484601	19.32

Partendo da questa classificazione si è deciso di realizzare i campioni di guidatori secondo 3 classi d'età, non considerando le persone anziane oltre i 65 anni, vista la poca disponibilità e le problematiche connesse all'uso del simulatore per questa categoria di persone (*simulator sickness*). Aggregando le classi 2 e 3 della Tabella 30 e ripartendo la classe 5 nelle altre sono state ottenute le percentuali finali mostrate nella Tabella 4.

Nelle Tabelle 31 e 32 sono contenute le informazioni generali dei *test driver* dei due campioni, in cui si riporta l'indicazione del genere, della classe d'età di appartenenza e dell'esperienza di guida, quest'ultima in termini di km annui percorsi e numero di incidenti.

Tabella 31 - Caratteristiche dei test driver del campione sperimentale

TD #	Sesso	Età	Classe Età	Esperienza di guida [anni]	Km annui	Numero incidenti
1	U	30	II	12	10000	0
2	D	34	II	15	18000	1
3	U	25	II	7	1000	0
4	U	57	III	38	40000	1
5	D	31	II	13	10000	1
6	D	52	III	34	10000	0
7	D	33	II	18	850	0
8	U	57	III	27	10000	0
9	U	30	II	10	2000	0
10	U	46	III	28	5000	0
11	D	45	III	27	10000	2
12	U	24	I	5	500	0
13	U	24	I	5	40000	1
14	D	54	III	29	10000	0
15	U	29	II	11	5000	0
16	U	52	III	33	20000	2
17	U	30	II	11	2000	0
18	U	31	II	12	5000	4
19	U	31	II	12	N/D	0
20	D	42	II	23	2000	2
21	U	52	III	33	12000	2
22	U	49	III	31	30000	0
23	U	46	III	28	9000	5
24	U	46	III	28	20000	2
25	D	48	III	29	2000	0
26	D	30	II	12	10000	0
27	D	42	II	23	8000	0
28	D	54	III	36	10000	1
29	D	51	III	32	15000	1
30	D	24	I	6	400	0

Tabella 32 - Caratteristiche dei test driver del campione di controllo

TD #	Sesso	Età	Classe Età	Esperienza di guida [anni]	Km annui	Numero incidenti
1	U	25	II	7	1000	0
2	D	25	II	7	500	0
3	D	25	II	7	500	0
4	U	23	I	4	10000	1
5	D	26	II	7	10000	0
6	D	23	I	4	2000	0
7	U	21	I	3	3000	0
8	U	40	II	22	20000	1
9	U	26	II	8	N/D	1
10	U	38	II	19	12000	3
11	U	38	II	20	2000	1
12	D	33	II	13	5000	1
13	U	59	III	40	20000	3
14	U	53	III	34	25000	3
15	U	31	II	20	30000	0
16	D	38	II	20	5000	0
17	D	30	II	12	6000	2
18	U	49	III	30	20000	1
19	U	28	II	9	15000	0
20	U	49	III	N/D	25000	10
21	D	49	III	31	8000	0
22	D	48	III	28	5000	1
23	D	51	III	31	10000	1
24	D	56	III	37	12000	1
25	U	54	III	36	30000	3
26	U	51	III	24	8000	0
27	D	45	III	24	15000	1
28	U	55	III	37	15000	3
29	U	47	III	28	20000	0
30	D	47	III	28	6000	3

## ALLEGATO C: Documentazione attività sperimentale

### Lettera 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 2020

Gentilissimo/a,

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

Nei prossimi mesi abbiamo in programma alcuni esperimenti che necessitano del tuo supporto. La sperimentazione in oggetto prevede che in giorni e orari a te più comodi tu possa venire in laboratorio per un tempo non superiore ai trenta minuti.

Se tu fossi interessato/a a partecipare, ti chiederei cortesemente di restituirmi via email i due moduli di pagina 2 e 3 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 da uno dei due studenti per definire i dettagli dell'appuntamento:

- Francesco Angioi (telefono: 349-1240428)
- Alberto Terrafino (telefono: 351-2034174)

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 al Politecnico e ai locali del Laboratorio ti sarà consentito solamente se accompagnato/a da personale autorizzato. Ti trasmetto copia del documento rilasciato dal Politecnico per l'accesso ai laboratori dal titolo: "PROCEDURA PER IL CONTRASTO E IL CONTENIMENTO DELLA DIFFUSIONE DEL COVID 19".

Preciso, infine, che la partecipazione a questa attività è del tutto volontaria, e non è soggetta ad alcun compenso.

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

## Questionario per attività di ricerca con l'uso del simulatore



**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

**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:**

- se utilizzi lenti a contatto, per cortesia indossale il giorno dell'esperimento,
- consuma pasti (colazione e/o pranzo) leggeri prima della guida,
- non assumere bevande alcoliche e/o eccitanti (caffè, energy drink, o simili) almeno 4 ore prima.

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

il giorno lunedì – martedì – mercoledì – giovedì – venerdì alle ore 9 - 12 12 - 15 15 - 18 oppure

il giorno lunedì – martedì – mercoledì – giovedì – venerdì alle ore 9 - 12 12 - 15 15 - 18 oppure

il giorno lunedì – martedì – mercoledì – giovedì – venerdì alle ore 9 - 12 12 - 15 15 - 18

(cerchiare o spuntare il giorno e l'orario preferiti)

Luogo e data ..... Firma .....

## Informativa sulla privacy



**POLITECNICO  
DI TORINO**

Dipartimento di Ingegneria dell'Ambiente, del Territorio e delle Infrastrutture  
Corso Duca degli Abruzzi, 24 – 10129, Torino  
Tel. 011-9645635, 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](mailto:marco.bassani@polito.it), oppure [marco.bassani@pec.polito.it](mailto: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.

## Informativa COVID-19

**ATTO DI IMPEGNO E DICHIARAZIONE**

Il sottoscritto \_\_\_\_\_

Nato a \_\_\_\_\_ il \_\_\_\_\_

Residente a \_\_\_\_\_

Documento identità n. \_\_\_\_\_ rilasciato da

\_\_\_\_\_ il \_\_\_\_\_

**DICHIARA**

- di aver preso visione, di aver compreso e di accettare le misure di sicurezza e tutela della salute adottate dal Politecnico;

**SI IMPEGNA**

- ad adottare, durante la permanenza nelle sedi dell'Ateneo, tutte le misure di contenimento necessarie alla prevenzione e contenimento del contagio da COVID-19.

Il Sottoscritto, consapevole delle conseguenze penali previste in caso di dichiarazioni mendaci ai sensi degli artt. 47 e 76 del DPR 445/2000,

**dichiara sotto la propria responsabilità:**

- di non essere sottoposto alla misura della quarantena in quanto contatto stretto di caso confermato COVID-19 o per ingresso / rientro recente dall'estero;
- di non essere sottoposto ad isolamento domiciliare fiduciario in quanto risultato positivo alla ricerca del virus SARS-COV-2;
- di non presentare febbre > 37.5 °C o sintomatologia simil-influenzale (ad es. tosse, alterata percezione dei sapori e degli odori, disturbi intestinali, ecc.);

La presente Dichiarazione viene rilasciata quale misura di prevenzione correlata con l'emergenza pandemica del SARS CoV 2.

Allega copia fotostatica del documento di identità.

**FIRMA**

\_\_\_\_\_, il \_\_\_\_\_

Il Politecnico di Torino, in qualità di Titolare del trattamento, ti informa che tratterà i tuoi dati personali per la finalità istituzionale connessa all'evento nonché per la prevenzione dal contagio da COVID-19 in conformità al Regolamento EU 2016/679 ("GDPR") e al D.Lgs. 196/2003 e s.m.i. ("Codice Privacy"). I dati rilasciati con il presente modulo verranno conservati per il tempo strettamente necessario alle attività di contact tracing.

L'informativa completa è disponibile alla pagina: [www.polito.it/privacy](http://www.polito.it/privacy)



## MISURE DI PREVENZIONE

### SI INFORMA CHE:

- in presenza di febbre > 37.5°C e/o altri sintomi influenzali (es. tosse, rinorrea, difficoltà respiratorie) è obbligatorio per chiunque rimanere al proprio domicilio e chiamare il proprio medico di famiglia e l'autorità sanitaria;
- è vietato l'accesso a chiunque sia entrato in contatto negli ultimi 14 giorni con persone risultate positive al virus SARS CoV-2;
- all'ingresso della sede è necessario presentarsi muniti di mascherina e sottoporsi alla misurazione della temperatura corporea. Nel caso in cui questa risulti >37.5°C e/o siano presenti sintomi influenzali, l'accesso alla sede sarà negato;
- nel caso in cui la febbre e/o i sintomi influenzali si manifestino successivamente all'ingresso nella sede, è necessario porsi in isolamento e chiamare il **numero di emergenza interno** per l'attivazione delle corrette procedure di intervento;
- per aiutare a combattere l'epidemia di COVID-19, è stata creata l'**APP Immuni**, che invitiamo a scaricare e mantenere attiva durante tutta la permanenza all'interno delle sedi dell'Ateneo.

### ALL'INTERNO DELLA SEDE È FATTO OBBLIGO DI:

- **Indossare sempre la mascherina** negli spazi comuni e in tutte le situazioni di compresenza all'interno dei locali;
- rispettare la **distanza di sicurezza di 2 metri**, laddove possibile in funzione dell'attività svolta e comunque nelle aree comuni di passaggio e in caso di accodamenti;
- rispettare, ove presente, la **segnaletica orizzontale** a pavimento indicante il distanziamento minimo;
- rispettare le indicazioni riportate nei **cartelli informativi** e i messaggi trasmessi dai monitor e tramite diffusione sonora;
- osservare **comportamenti corretti sul piano dell'igiene**, in particolare:
  - o segnalare al numero di emergenza interno della Portineria eventuali situazioni anomale riscontrate (es. situazioni di affollamento, presenza di persone con sintomi influenzali, mancato rispetto delle norme di igiene, etc.).
  - o lavare frequentemente le mani con acqua e sapone o con i prodotti a base alcolica presenti nei dispenser dislocati nelle aree comuni;
  - o evitare di toccarsi occhi, naso e bocca con le mani;
  - o tossire e/o starnutire coprendo bocca e naso con un fazzoletto o con la piega del gomito;
- segnalare al **numero di emergenza interno della Portineria** eventuali situazioni anomale riscontrate (es. situazioni di affollamento, presenza di persone con sintomi influenzali, mancato rispetto delle norme di igiene, etc.).

## Questionario pre-guida

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

## QUESTIONARIO PRE-GUIDA

Nome e Cognome .....#TD.....

Giorno ..... Ora.....

È in buona salute?  SI  NO  
 Se no, di cosa soffre? .....

Ha assunto medicinali nelle ultime 24h?  SI  NO  
 Se si, quali? (è sufficiente la categoria)

È affetto da malattie croniche (asma, diabete, ansia, allergia...)?  SI  NO  
 Se si, quali? (è sufficiente la categoria)

Quanto tempo fa ha consumato l'ultimo pasto? .....ore .....minuti

Come definirebbe il pasto consumato?  Leggero  Ordinario  AbbondanteHa assunto bevande alcoliche nelle due ore precedenti la guida?  SI  NO

Ha assunto bevande eccitanti (caffè, energy drink) nelle 2 ore precedenti la guida?  
 SI  NO

Utilizza dispositivi per la correzione visiva?  SI  NOAttualmente li indossa?  SI  NOSe si, quali?  Occhiali  Lenti a contatto

Luogo e data ..... Firma .....

## ALLEGATO D: Profili di velocità

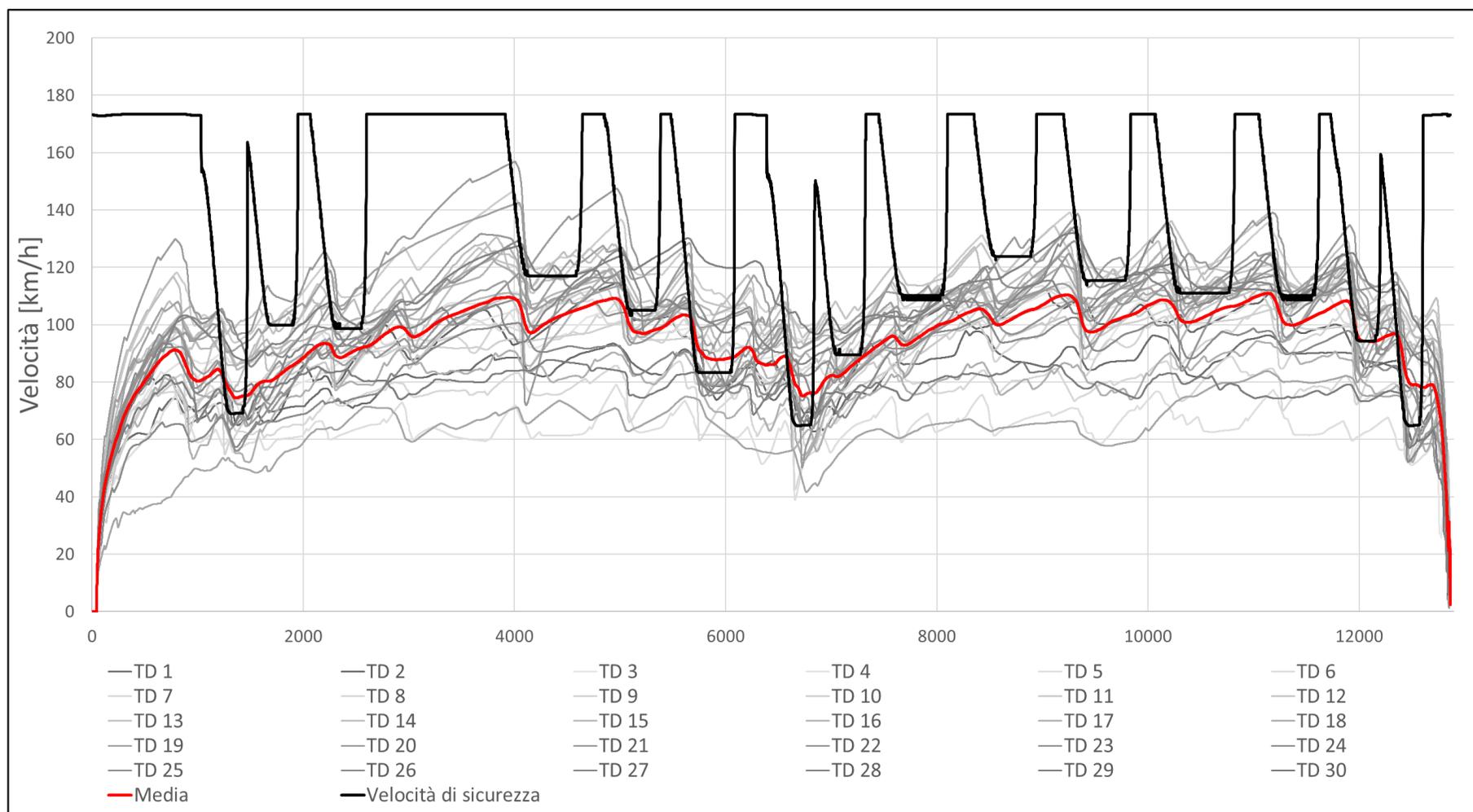


Fig. 48 Profilo di velocità: ISA-1

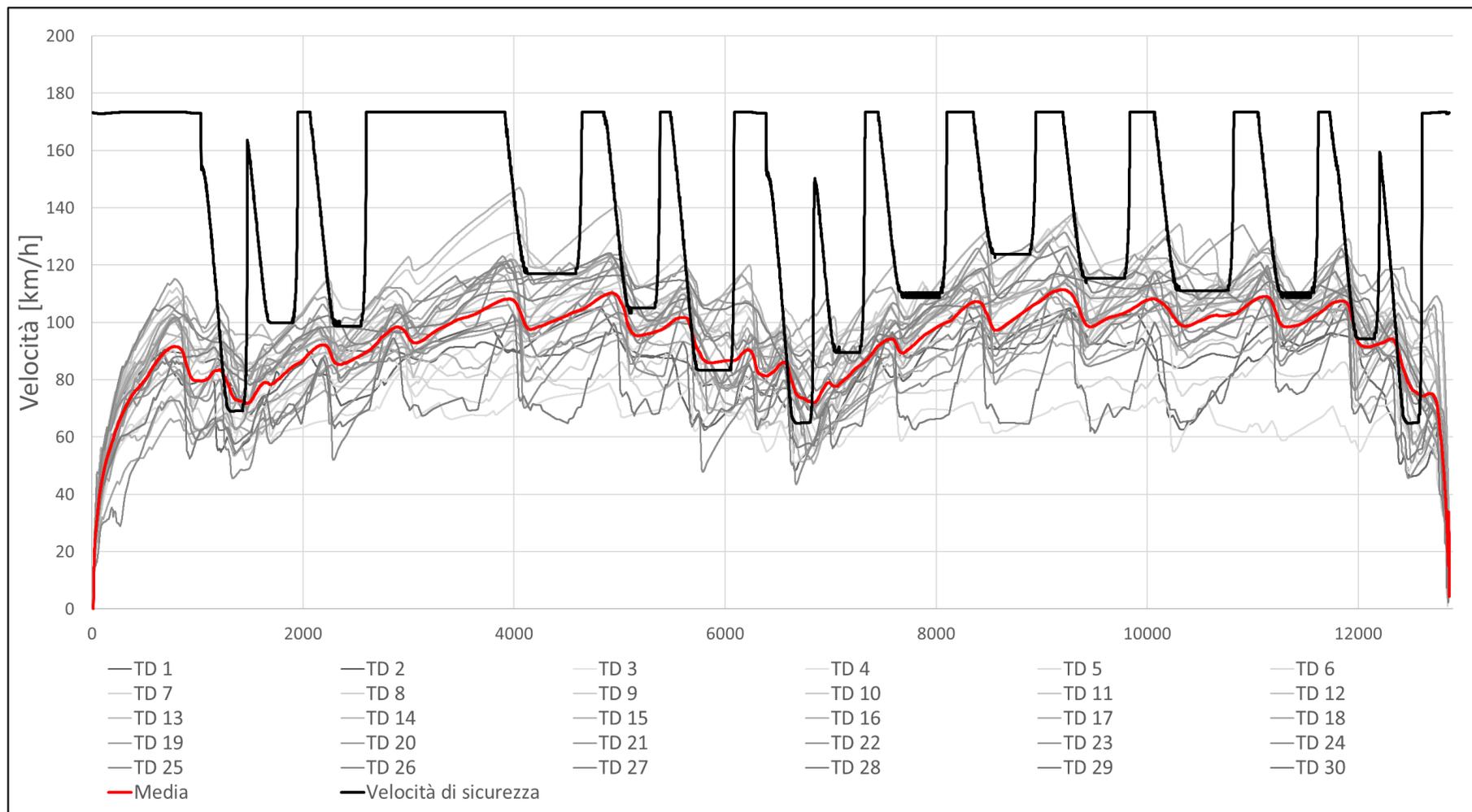


Fig. 49 Profilo di velocità: ISA-2

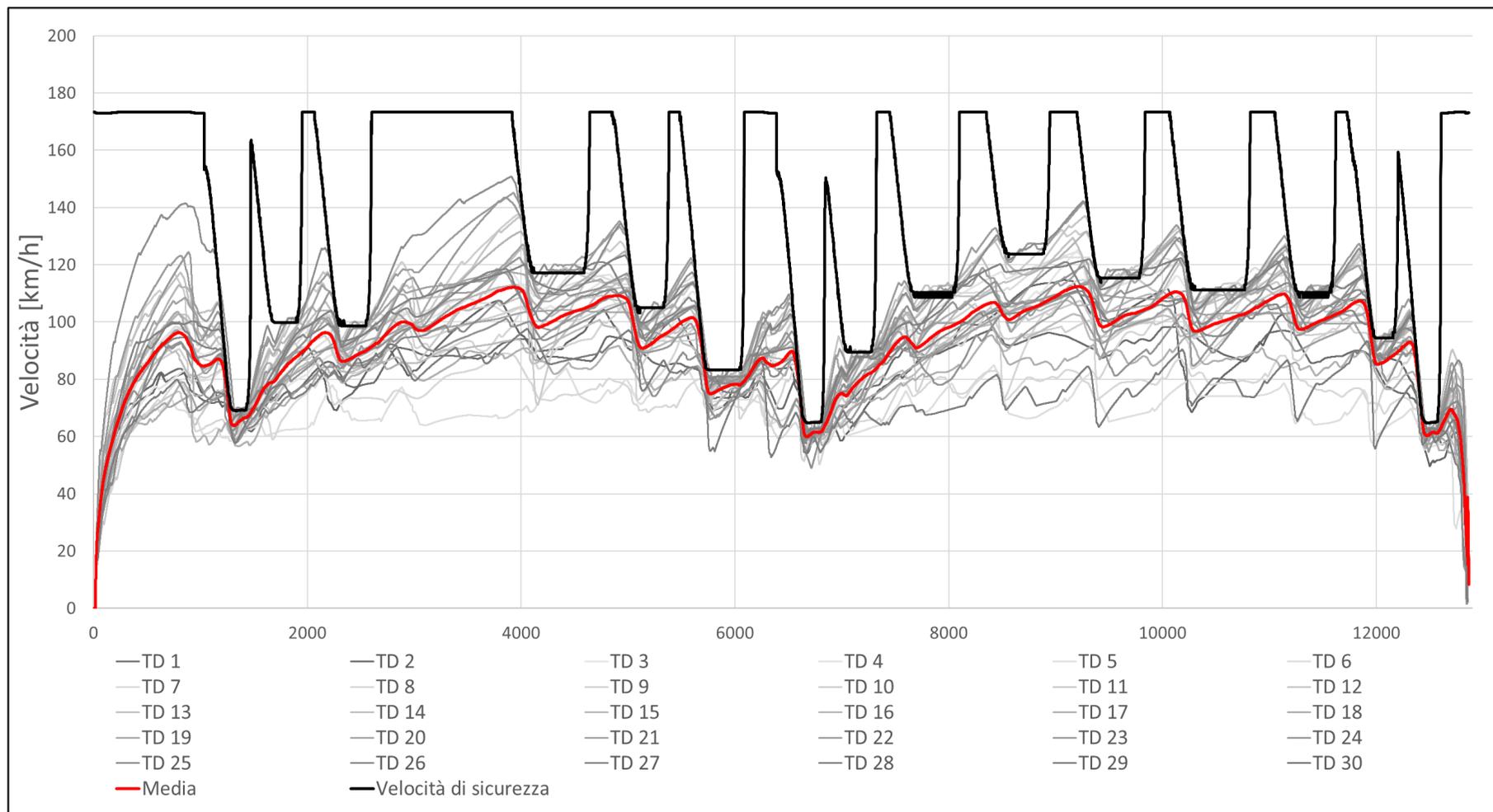


Fig. 50 Profilo di velocità: ISA-3

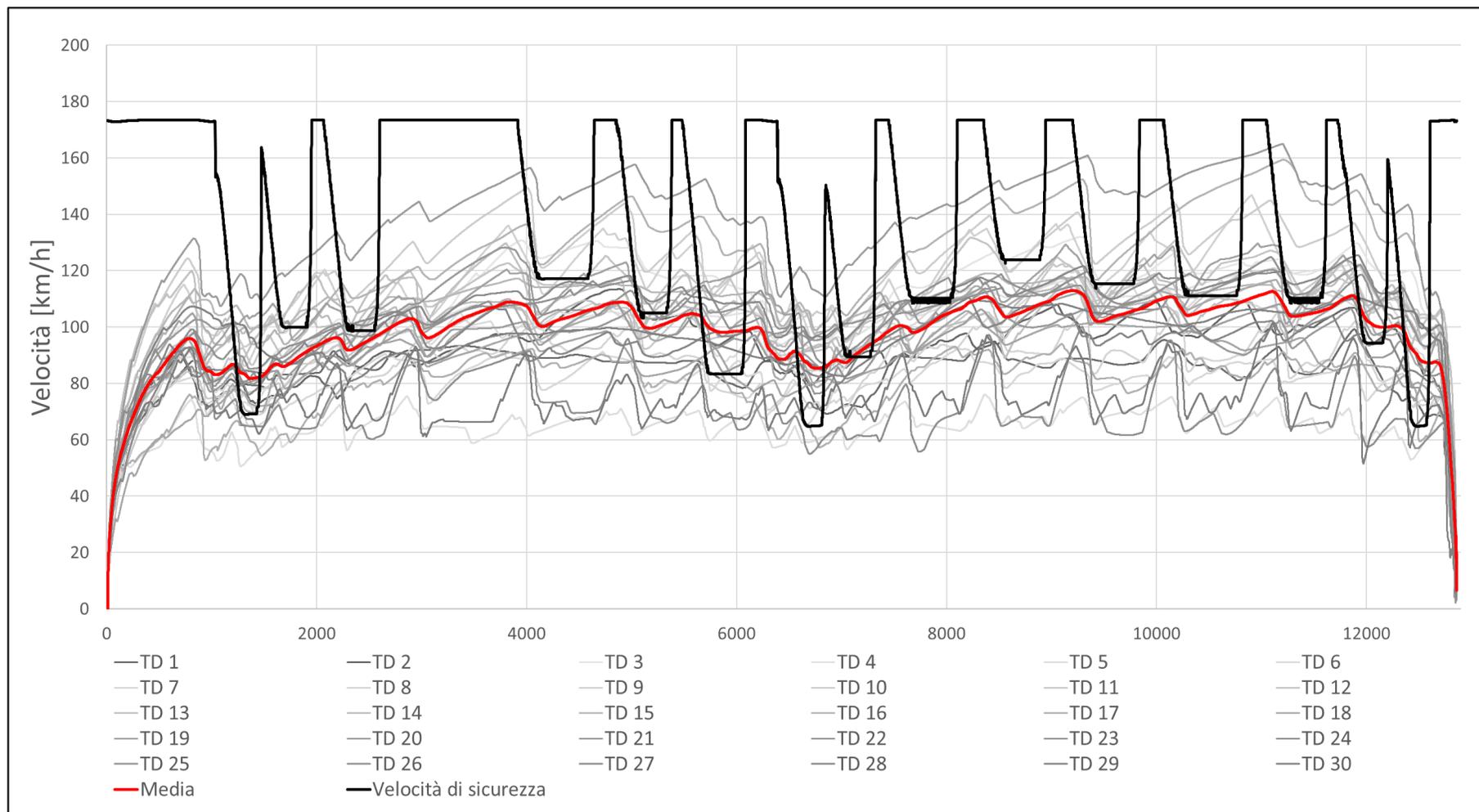


Fig. 51 Profilo di velocità: Guida base (Campione sperimentale)

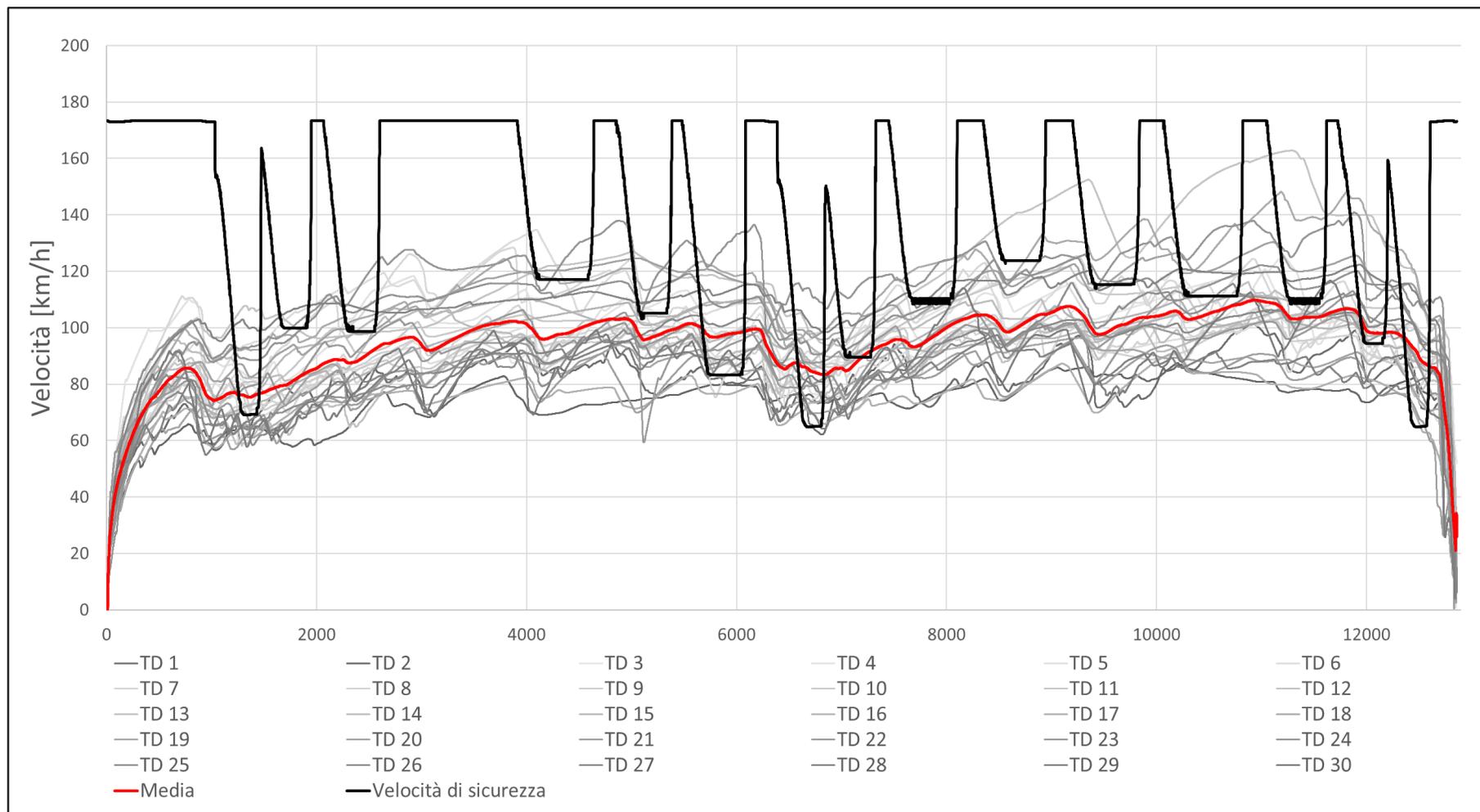


Fig. 52 Profilo di velocità: Guida base (Campione di controllo)

## ALLEGATO E: Profili di Lane Gap

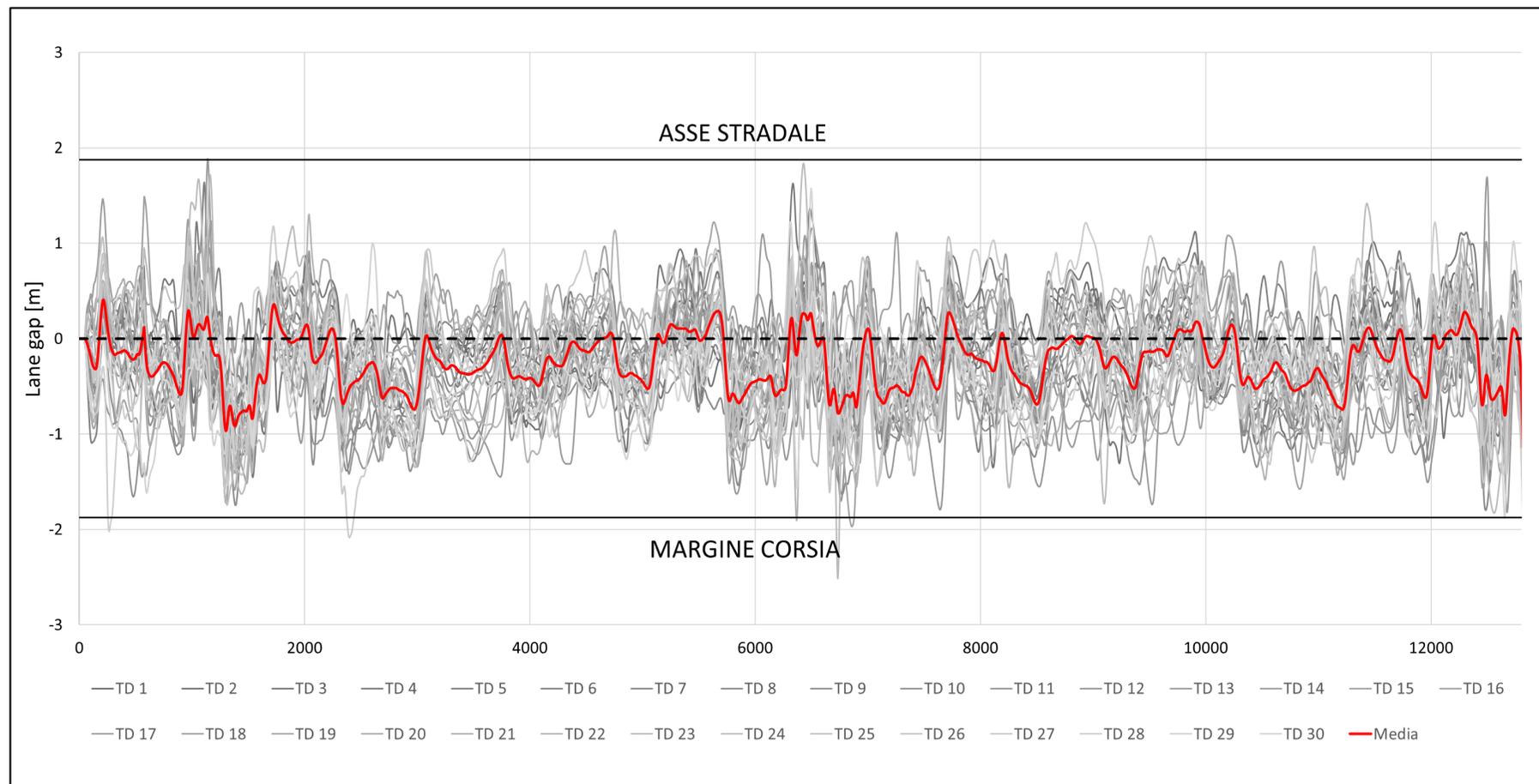


Fig. 53 Profili di Lane gap: ISA-1

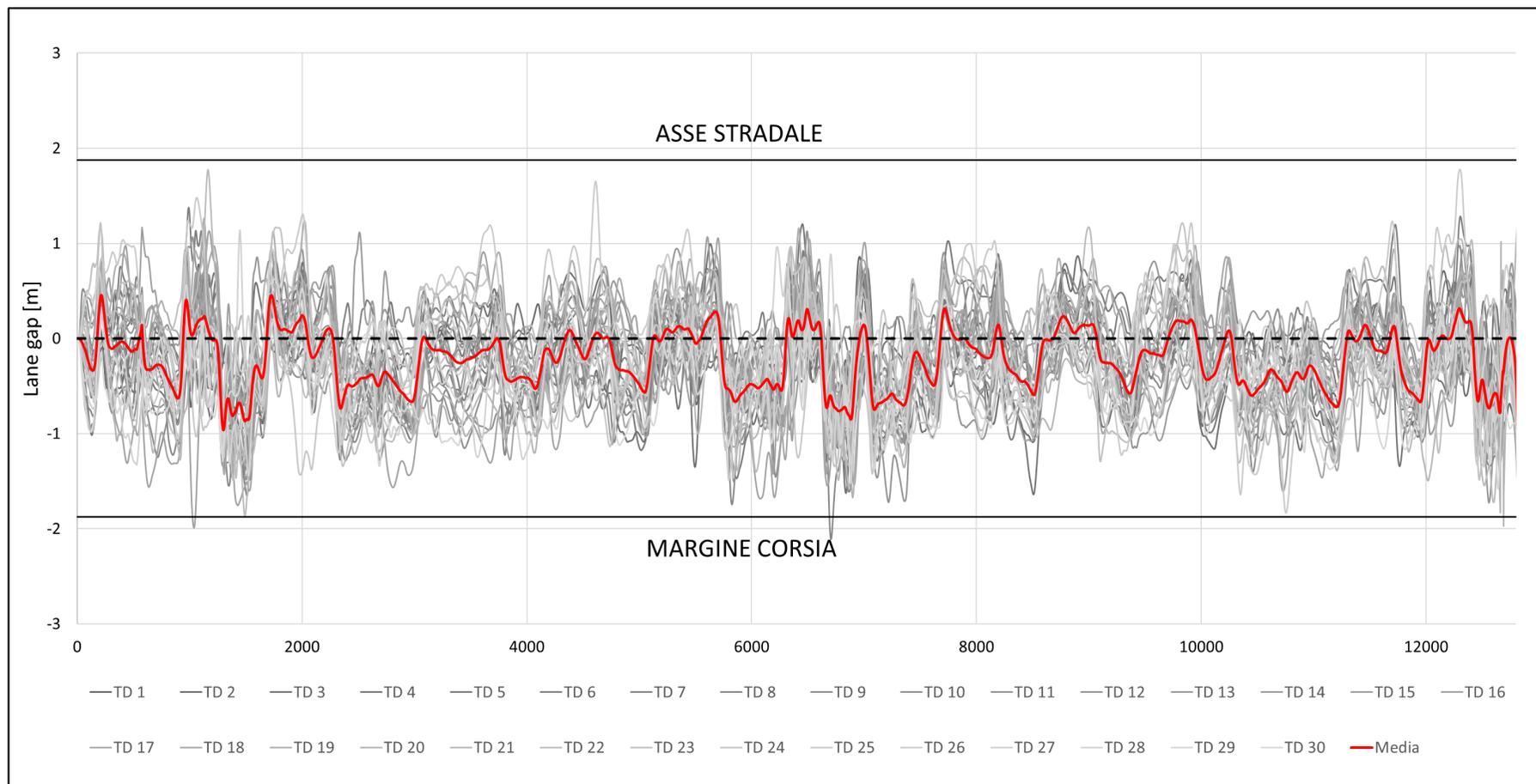


Fig. 54 Profili di Lane gap: ISA-2

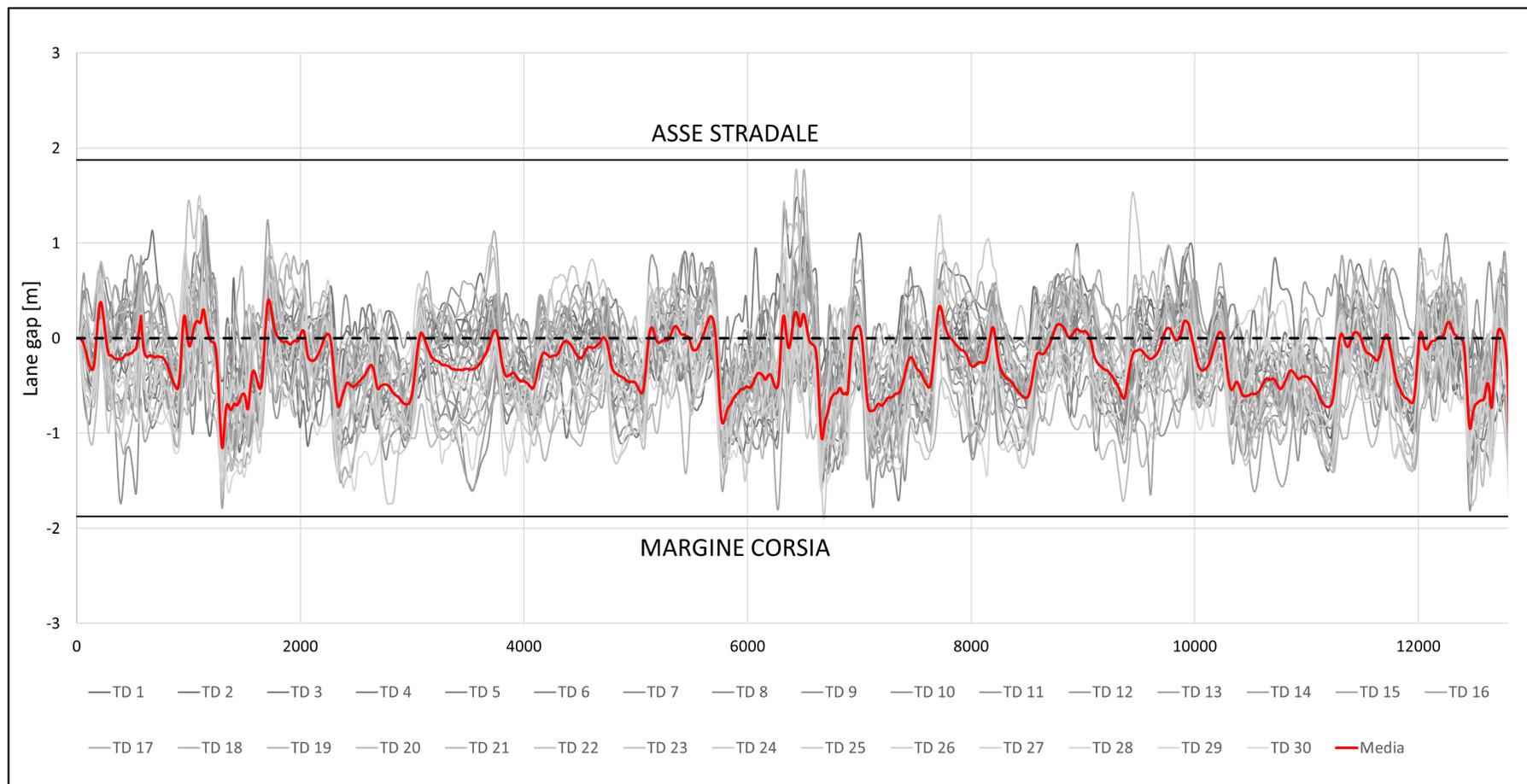


Fig. 55 Profili di Lane gap: ISA-3

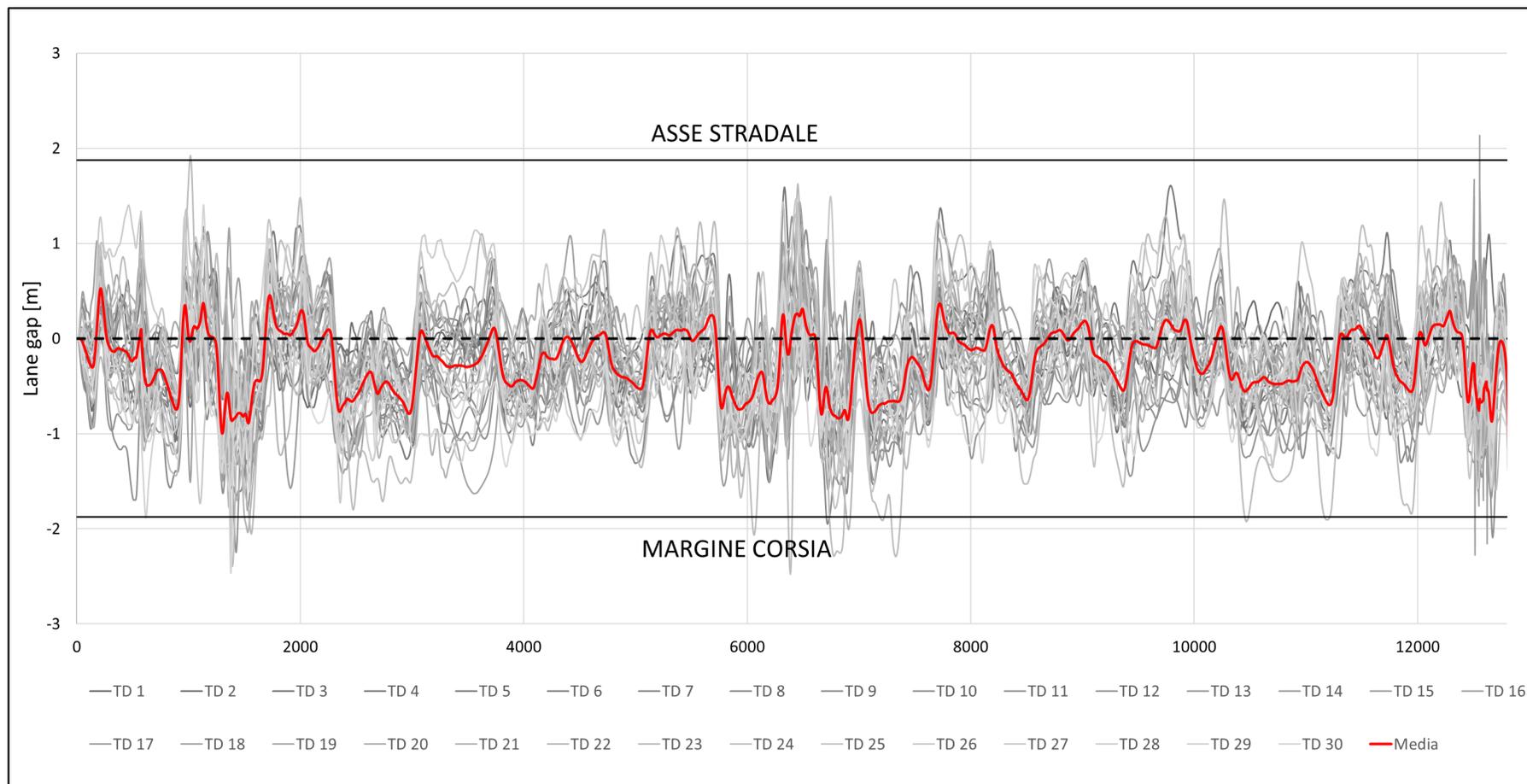


Fig. 56 Profili di Lane gap: Guida base (Campione sperimentale)

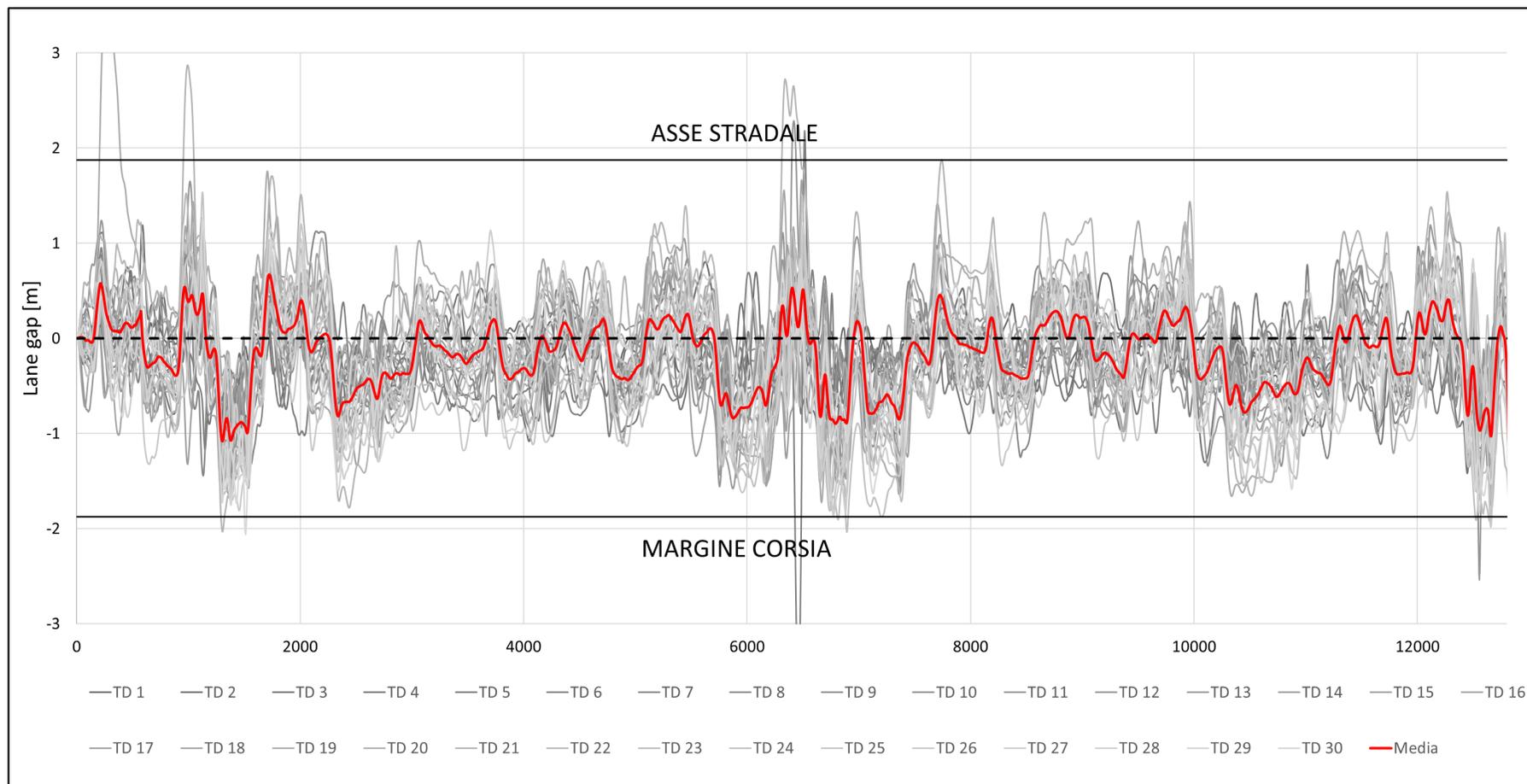


Fig. 57 Profili di Lane gap: Guida base (Campione di controllo)

## ALLEGATO F: Risultati dei modelli lineari (LMM)

### Mixed Model

#### Model Info

Info	
Estimate	Linear mixed model fit by REML
Call	$\Delta V$ in ingresso in curva [km/h] ~ 1 + ASD + ISA + Età + Raggio curva + Direzione curva + Genere + Distanza ostruzione ottica+( 1   TD id )
AIC	15489.367
BIC	15583.833
LogLikel.	-7730.493
R-squared Marginal	0.264
R-squared Conditional	0.376
Converged	yes
Optimizer	bobyqa

### Model Results

#### Fixed Effect Omnibus tests

	F	Num df	Den df	p
ASD	50.07	1	2119.0	<.001
ISA	21.82	3	2119.0	<.001
Età	9.11e-4	1	27.0	0.976
Raggio curva	80.37	3	2119.0	<.001
Direzione curva	1.82	1	2119.0	0.178
Genere	2.69	1	27.0	0.112
Distanza ostruzione ottica	67.70	3	2119.0	<.001

Note. Satterthwaite method for degrees of freedom

#### Random Components

Groups	Name	SD	Variance	ICC
	(Intercept)	3.61	13.1	0.152
	Residual	8.53	72.8	

Note. Number of Obs: 2160 , groups: TD id 30

#### Random Effect LRT

Test	N. par	AIC	LRT	df	p
(1   TD id)	15.0	15743	252	1.00	<.001

### Post Hoc Tests

#### Post Hoc Comparisons - ISA

Comparison		ISA	ISA	Difference	SE	t	df	Pholm
ISA-1	- Base			2.007	0.519	3.865	2119	<.001
ISA-1	- ISA-2			-0.267	0.519	-0.513	2119	0.608
ISA-1	- ISA-3			-2.187	0.519	-4.210	2119	<.001
ISA-2	- Base			2.274	0.519	4.378	2119	<.001
ISA-2	- ISA-3			-1.920	0.519	-3.696	2119	<.001
ISA-3	- Base			4.194	0.519	8.074	2119	<.001

### Effects Plots

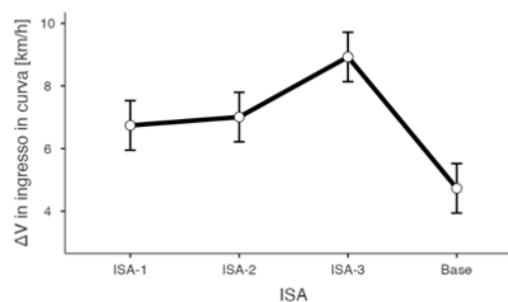


Fig. 58 Output dell'analisi LMM condotta sulla variabile  $\Delta(V_{r,i}-V_{c,i})$

## Mixed Model

### Model Info

Info	
Estimate	Linear mixed model fit by REML
Call	$\Delta V$ in uscita dalla curva [km/h] ~ 1 + ASD + ISA + Età + Raggio curva + Direzione curva + Genere + Distanza ostruzione ottica+( 1   TD id )
AIC	13178.8264
BIC	13286.3945
LogLikel.	-6581.7743
R-squared Marginal	0.0840
R-squared Conditional	0.3280
Converged	yes
Optimizer	bobyqa

## Model Results

### Fixed Effect Omnibus tests

	F	Num df	Den df	p
ASD	0.805	1	2119.0	0.370
ISA	36.768	3	2119.0	<.001
Età	0.758	1	27.0	0.392
Raggio curva	2.847	3	2119.0	0.036
Direzione curva	0.221	1	2119.0	0.638
Genere	1.404	1	27.0	0.246
Distanza ostruzione ottica	21.766	3	2119.0	<.001

Note. Satterthwaite method for degrees of freedom

### Random Components

Groups	Name	SD	Variance	ICC
TD id	(Intercept)	3.00	8.99	0.266
	Residual	4.98	24.76	

Note. Number of Obs: 2160 , groups: TD id 30

### Random Effect LRT

Test	N. par	AIC	LRT	df	p
(1   TD id)	15.0	13714	521	1.00	<.001

## Post Hoc Tests

### Post Hoc Comparisons - ISA

Comparison		Difference	SE	t	df	P <sub>holm</sub>
ISA-1	- Base	0.949	0.303	3.13	2119	0.003
ISA-1	- ISA-2	-0.901	0.303	-2.98	2119	0.003
ISA-1	- ISA-3	-2.096	0.303	-6.92	2119	<.001
ISA-2	- Base	1.850	0.303	6.11	2119	<.001
ISA-2	- ISA-3	-1.195	0.303	-3.95	2119	<.001
ISA-3	- Base	3.045	0.303	10.06	2119	<.001

### Effects Plots

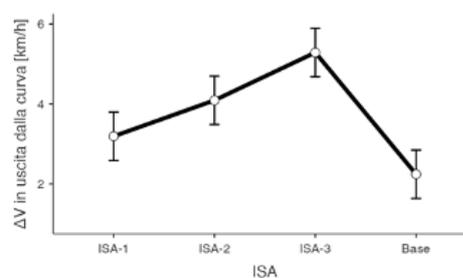


Fig. 59 Output dell'analisi LMM condotta sulla variabile  $\Delta(V_{r,u}-V_{c,u})$

## Mixed Model

### Model Info

Info	
Estimate	Linear mixed model fit by REML
Call	SDLP [m] ~ 1 + ASD + ISA + Età + Raggio curva + Direzione curva + Genere + Distanza ostruzione ottica+( 1   TD id )
AIC	-3551.406
BIC	-3336.838
LogLikel.	1729.842
R-squared Marginal	0.136
R-squared Conditional	0.465
Converged	yes
Optimizer	bobyqa

### Model Results

#### Fixed Effect Omnibus tests

	F	Num df	Den df	p
ASD	3.0476	1	2119.0	0.081
ISA	8.4439	3	2119.0	<.001
Età	1.6796	1	27.0	0.206
Raggio curva	44.2274	3	2119.0	<.001
Direzione curva	0.0155	1	2119.0	0.901
Genere	1.2608	1	27.0	0.271
Distanza ostruzione ottica	2.7115	3	2119.0	0.044

Note. Satterthwaite method for degrees of freedom

#### Random Components

Groups	Name	SD	Variance	ICC
TD id	(Intercept)	0.0809	0.00654	0.381
	Residual	0.1031	0.01064	

Note. Number of Obs: 2160 , groups: TD id 30

#### Random Effect LRT

Test	N. par	AIC	LRT	df	p
(1   TD id)	15.0	-2582	847	1.00	<.001

### Post Hoc Tests

#### Post Hoc Comparisons - ISA

Comparison		Difference	SE	t	df	P <sub>holm</sub>
ISA	ISA					
ISA-1	- Base	-0.02557	0.00628	-4.074	2119	<.001
ISA-1	- ISA-2	-0.01378	0.00628	-2.195	2119	0.085
ISA-1	- ISA-3	0.00200	0.00628	0.319	2119	0.750
ISA-2	- Base	-0.01180	0.00628	-1.879	2119	0.121
ISA-2	- ISA-3	0.01578	0.00628	2.514	2119	0.048
ISA-3	- Base	-0.02757	0.00628	-4.393	2119	<.001

#### Effects Plots

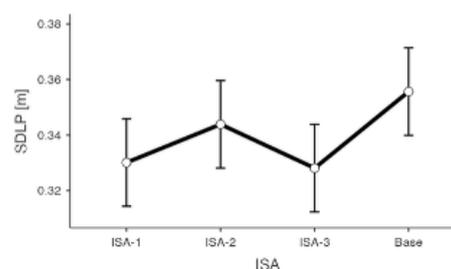


Fig. 60 Output dell'analisi LMM condotta sulla variabile SDLP

## ALLEGATO G: Risultati test statistici (*t-test*)

### Analisi di velocità in ingresso in curva

La Tabella 33 riporta i valori di *p-value* ottenuti dal confronto tra i valori  $V_{r,i}$  e  $V_{c,i}$  per ogni guida. La Tabella 34 e la Tabella 35 riportano i valori di *p-value* ottenuti rispettivamente dal confronto dei valori  $V_{r,i}$  e  $V_{c,i}$  tra la condizione Base (Sperimentale) e la condizione Base (Controllo). La Tabella 36 infine riporta i valori di *p-value* ottenuti dal confronto dei valori  $\Delta(V_{r,i}-V_{c,i})$  tra la condizione Base e le tre condizioni ISA.

Tabella 33 - *P-value sui valori di velocità  $V_{r,i}$  e  $V_{c,i}$  nelle diverse configurazioni di guida*

CURVA	ISA-1	ISA-2	ISA-3	BASE (Sperimentale)	BASE (Controllo)
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.160*
3	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000
4	0.077*	0.001	0.000	0.545*	0.061*
5	0.003	0.175*	0.001	0.563*	0.164*
6	0.006	0.025	0.001	0.210*	0.244*
7	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004
8	0.000	0.000	0.000	0.000	0.010
9	0.000	0.000	0.246*	0.000	0.000
10	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
11	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000
12	0.087*	0.200*	0.079*	0.024	0.024
13	0.520*	0.333*	0.555*	0.137*	0.892*
14	0.000	0.014	0.000	0.003	0.126*
15	0.018	0.091*	0.000	0.422*	0.757*
16	0.000	0.000	0.000	0.001	0.008
17	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
18	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

*\* $p > 0.05$  bassa significatività statistica*

Tabella 34 - *P-value sui valori di velocità  $V_{r,i}$  nelle due configurazioni di guida Base*

CURVA	BASE (Sperimentale) vs. BASE (Controllo)
1	0.013
2	0.004
3	0.021
4	0.037
5	0.104*
6	0.210*
7	0.304*
8	0.352*
9	0.939*
10	0.269*
11	0.407*
12	0.155*
13	0.178*
14	0.128*
15	0.524*
16	0.648*
17	0.348*
18	0.638*

*\* $p > 0.05$  bassa significatività statistica*

Tabella 35 - P-value sui valori di velocità  $V_{c,i}$  nelle due configurazioni di guida Base

CURVA	BASE (Sperimentale) vs. BASE (Controllo)
1	0.008
2	0.083*
3	0.048
4	0.230*
5	0.164*
6	0.217*
7	0.472*
8	0.905*
9	0.577*
10	0.644*
11	0.532*
12	0.193*
13	0.417*
14	0.435*
15	0.809*
16	0.802*
17	0.667*
18	0.982*

\* $p > 0.05$  bassa significatività statistica

Tabella 36 - P-value sui valori di  $\Delta(V_{r,i} - V_{c,i})$  tra la configurazione Base e quelle ISA

CURVA	BASE (Sperimentale) vs. ISA-1	BASE (Sperimentale) vs. ISA-2	BASE (Sperimentale) vs. ISA-3
1	0.239*	0.847*	0.703*
2	0.000	0.000	0.000
3	0.177*	0.156*	0.000
4	0.265*	0.009	0.001
5	0.042	0.412*	0.038
6	0.093*	0.066*	0.003
7	0.007	0.001	0.000
8	0.000	0.001	0.000
9	0.030	0.354*	0.000
10	0.000	0.000	0.000
11	0.668*	0.819*	0.045
12	0.654*	0.691*	0.661*
13	0.319*	0.722*	0.305*
14	0.613*	0.787*	0.583*
15	0.132*	0.438*	0.002
16	0.030	0.113*	0.049
17	0.081*	0.006	0.000
18	0.000	0.015	0.000

\* $p > 0.05$  bassa significatività statistica

## Analisi di velocità in uscita dalla curva

La tabella 37 riporta i valori di *p-value* ottenuti dal confronto tra i dati  $V_{c,u}$  e  $V_{r,u}$  per ogni configurazione di guida. La tabella 38 riporta invece i valori di *p-value* ottenuti dal confronto dei valori  $\Delta(V_{r,u}-V_{c,u})$  tra la condizione Base e le tre condizioni ISA.

Tabella 37 - *P-value sui valori di velocità  $V_{c,u}$  e  $V_{r,u}$  nelle diverse configurazioni di guida*

CURVA	ISA-1	ISA-2	ISA-3	BASE (Sperimentale)	BASE (Controllo)
3	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5	0.056*	0.009	0.001	0.000	0.180*
6	0.023	0.002	0.000	0.001	0.135*
7	0.001	0.000	0.002	0.000	0.000
8	0.171*	0.000	0.000	0.000	0.141*
11	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
12	0.002	0.000	0.000	0.000	0.018
13	0.004	0.000	0.003	0.000	0.001
14	0.008	0.000	0.034	0.000	0.214*
15	0.010	0.000	0.000	0.000	0.749*
16	0.000	0.000	0.001	0.000	0.022

*\* $p>0.05$  bassa significatività statistica*

Tabella 38 - *P-value sui valori di  $\Delta(V_{r,u}-V_{c,u})$  tra la configurazione Base e le ISA*

CURVA	BASE (Sperimentale) vs. ISA-1	BASE (Sperimentale) vs. ISA-2	BASE (Sperimentale) vs. ISA-3
3	0.049	0.041	0.025
4	0.642*	0.101*	0.061*
5	0.630*	0.091*	0.102*
6	0.643*	0.029	0.352*
7	0.092*	0.209*	0.048
8	0.019	0.033	0.000
11	0.863*	0.154*	0.004
12	0.804*	0.160*	0.255*
13	0.877*	0.739*	0.900*
14	0.678*	0.855*	0.302*
15	0.581*	0.082*	0.158*
16	0.771*	0.937*	0.920*

*\* $p>0.05$  bassa significatività statistica*

## Analisi del controllo laterale in corsia

In Tabella 39 sono riportati i risultati dei test statistici, sotto forma di *p-value*, condotti sulla deviazione standard della posizione laterale tra la condizione di riferimento (*Base*) e le tre condizioni ISA.

Tabella 39 - *P-value sui valori di SDLP tra la configurazione Base e quelle ISA*

CURVA	BASE (Sperimentale) vs. ISA-1	BASE (Sperimentale) vs. ISA-2	BASE (Sperimentale) vs. ISA-3	BASE (Sperimentale) vs. Base (Controllo)
1	0.057*	0.515*	0.007	0.270*
2	0.001	0.081*	0.021	0.152*
3	0.021	0.075*	0.093*	0.079*
4	0.126*	0.417*	0.026	0.711*
5	0.052*	0.004	0.262*	0.010
6	0.312*	0.254*	0.230*	0.512*
7	0.389*	0.838*	0.514*	0.409*
8	0.444*	0.352*	0.248*	0.881*
9	0.653*	0.394*	0.219*	0.850*
10	0.026	0.844*	0.114*	0.553*
11	0.170*	0.715*	0.844*	0.829*
12	0.683*	0.367*	0.485*	0.132*
13	0.822*	0.874*	0.967*	0.577*
14	0.673*	0.261*	0.131*	0.776*
15	0.961*	0.744*	0.707*	0.947*
16	0.798*	0.637*	0.782*	0.223*
17	0.768*	0.522*	0.998*	0.753*
18	0.954*	0.933*	0.138*	0.609*

*\*p>0.05 bassa significatività statistica*

## ALLEGATO H: Analisi dati velocità ingresso in curva

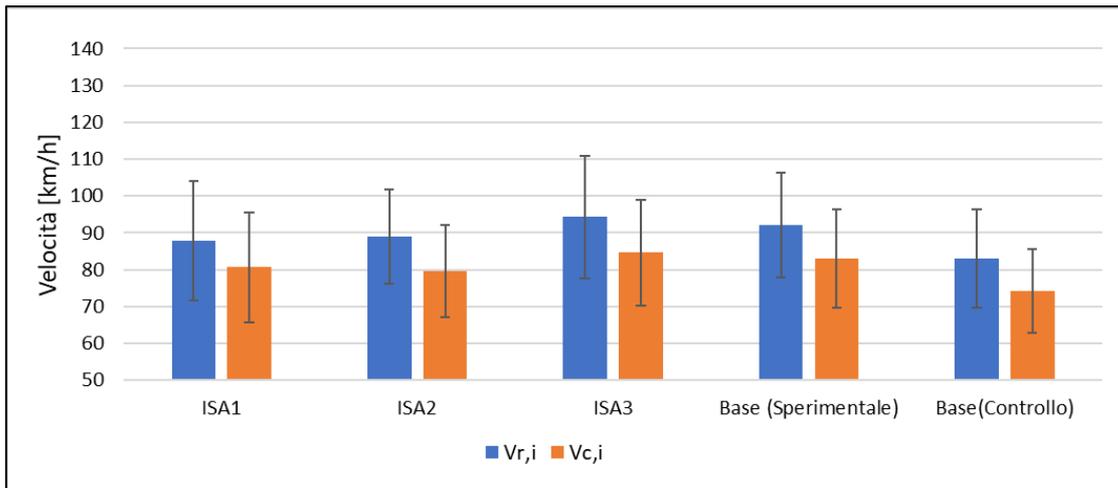


Fig. 61 Rappresentazione dei valori  $V_{r,i}$  e  $V_{c,i}$  per la Curva 1, con indicazione della SD per le diverse configurazioni di guida

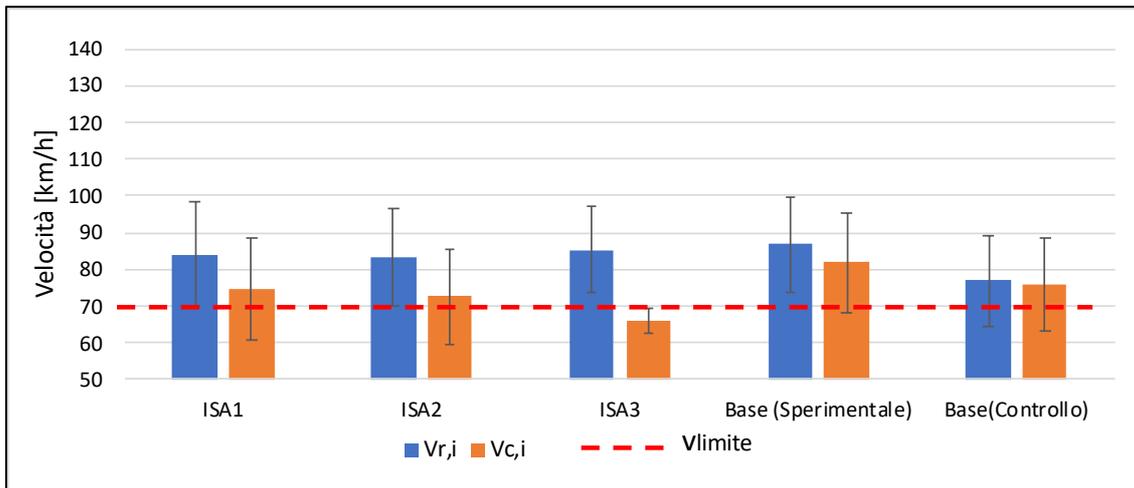


Fig. 62 Rappresentazione dei valori  $V_{r,i}$  e  $V_{c,i}$  per la Curva 2, con indicazione della SD e della velocità limite di sicurezza per le diverse configurazioni di guida

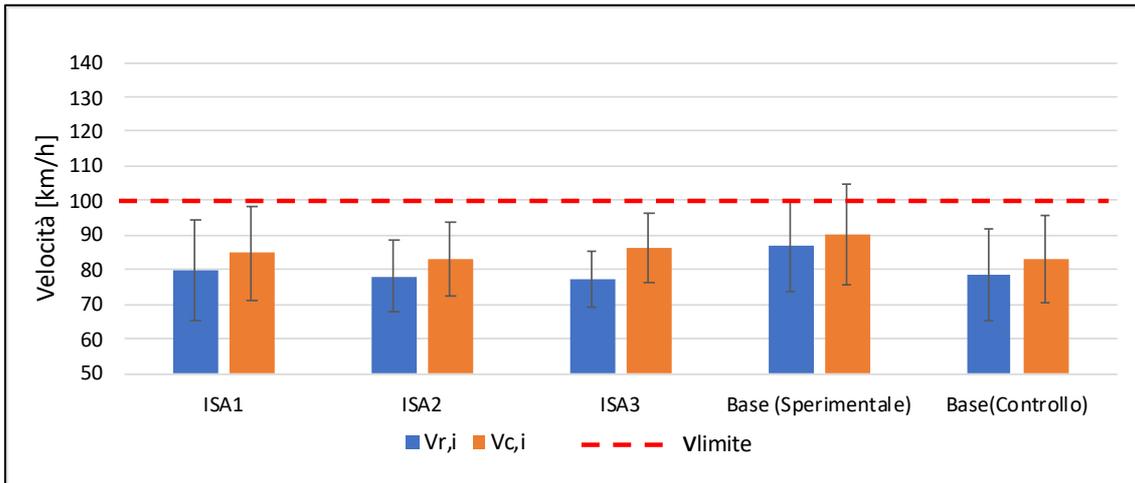


Fig. 63 Rappresentazione dei valori  $V_{r,i}$  e  $V_{c,i}$  per la Curva 3, con indicazione della SD e della velocità limite di sicurezza per le diverse configurazioni di guida

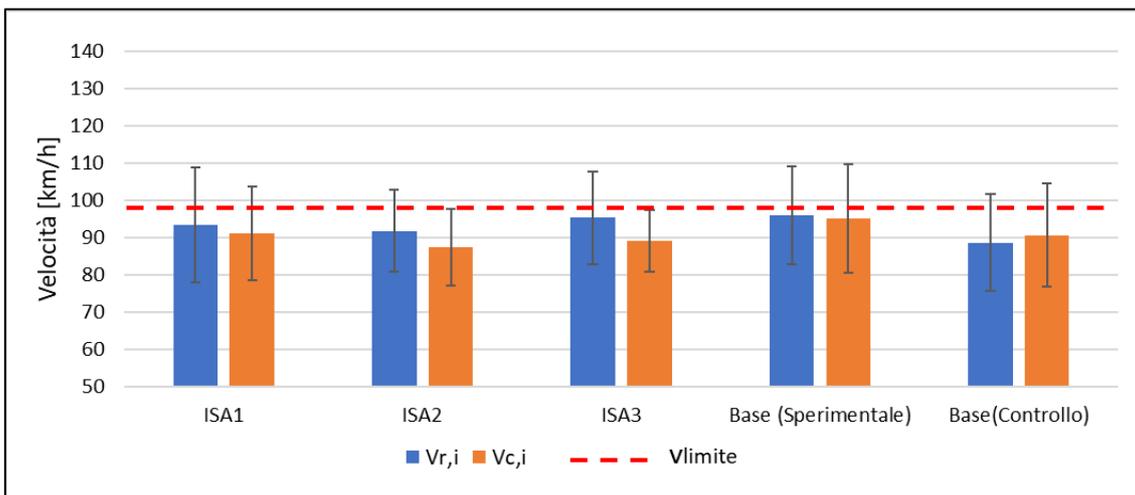


Fig. 64 Rappresentazione dei valori  $V_{r,i}$  e  $V_{c,i}$  per la Curva 4, con indicazione della SD e della velocità limite di sicurezza per le diverse configurazioni di guida

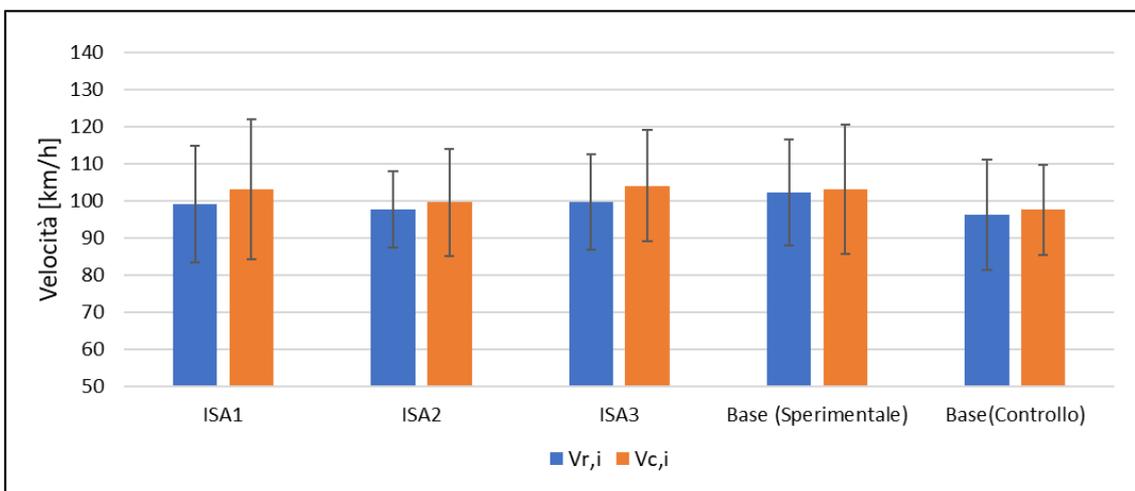


Fig. 65 Rappresentazione dei valori  $V_{r,i}$  e  $V_{c,i}$  per la Curva 5, con indicazione della SD per le diverse configurazioni di guida

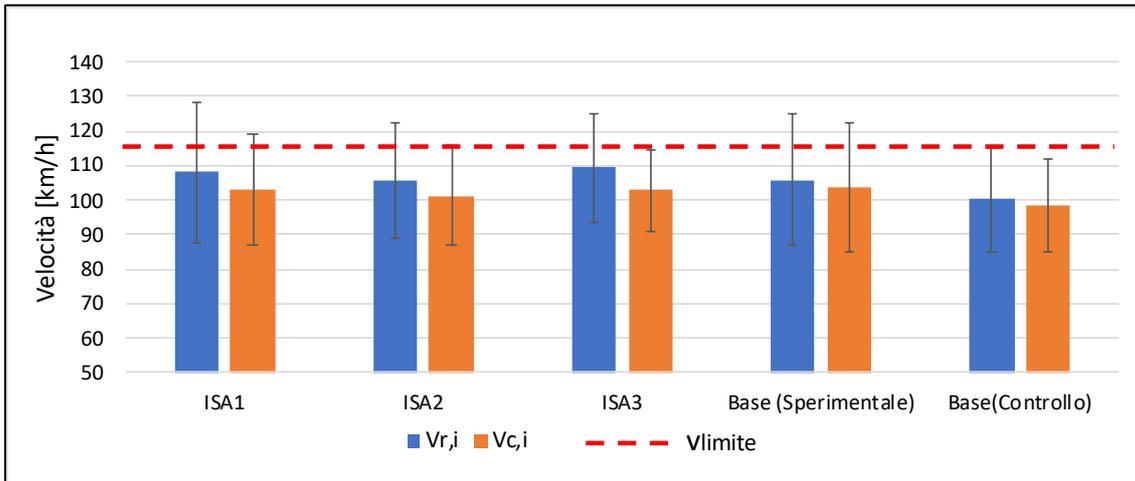


Fig. 66 Rappresentazione dei valori  $V_{r,i}$  e  $V_{c,i}$  per la Curva 6, con indicazione della SD e della velocità limite di sicurezza per le diverse configurazioni di guida

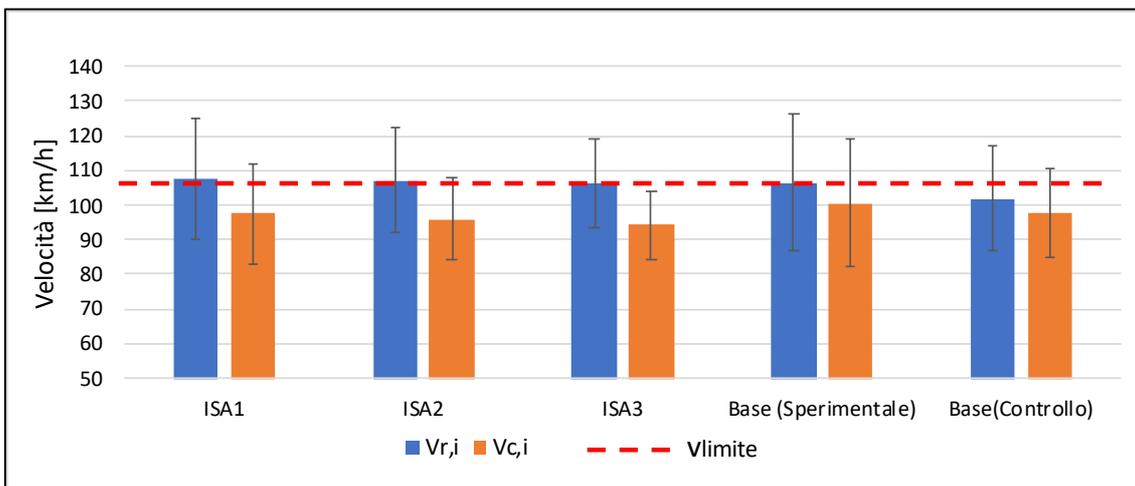


Fig. 67 Rappresentazione dei valori  $V_{r,i}$  e  $V_{c,i}$  per la Curva 7, con indicazione della SD e della velocità limite di sicurezza per le diverse configurazioni di guida

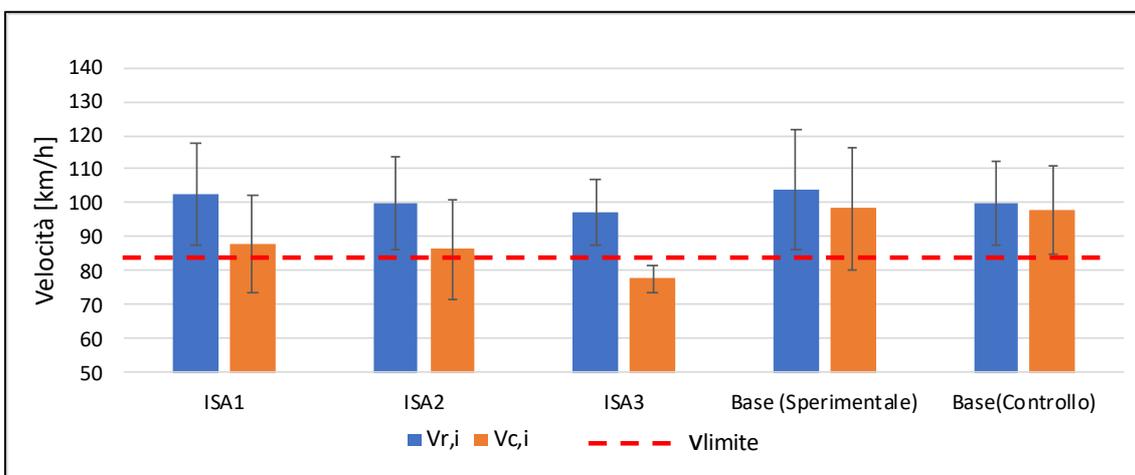


Fig. 68 Rappresentazione dei valori  $V_{r,i}$  e  $V_{c,i}$  per la Curva 8, con indicazione della SD e della velocità limite di sicurezza per le diverse configurazioni di guida

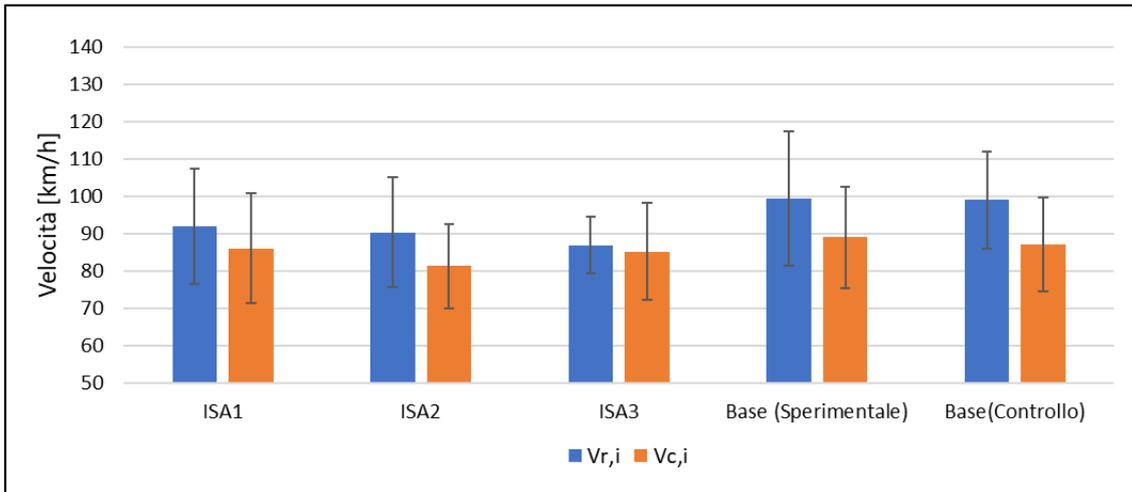


Fig. 69 Rappresentazione dei valori  $V_{r,i}$  e  $V_{c,i}$  per la Curva 9, con indicazione della SD per le diverse configurazioni di guida

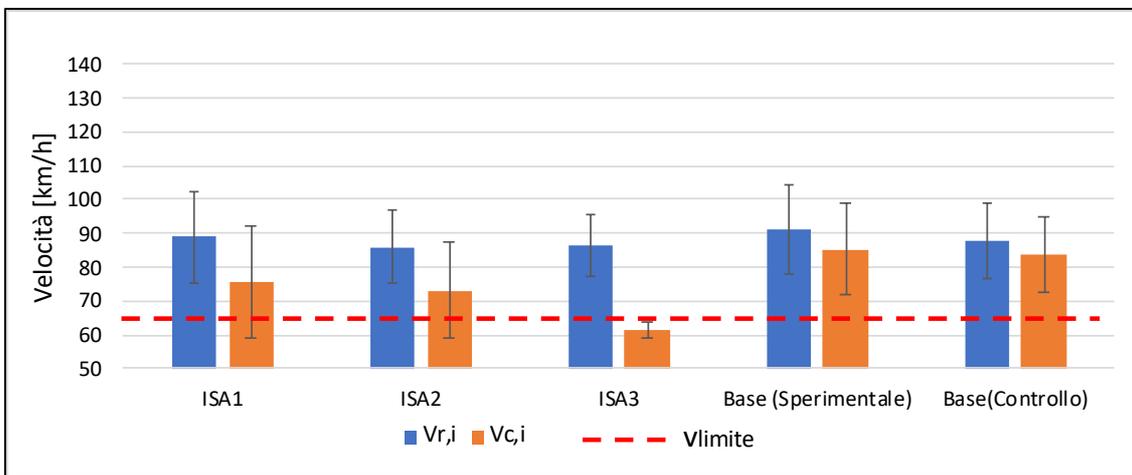


Fig. 70 Rappresentazione dei valori  $V_{r,i}$  e  $V_{c,i}$  per la Curva 10, con indicazione della SD e della velocità limite di sicurezza per le diverse configurazioni di guida

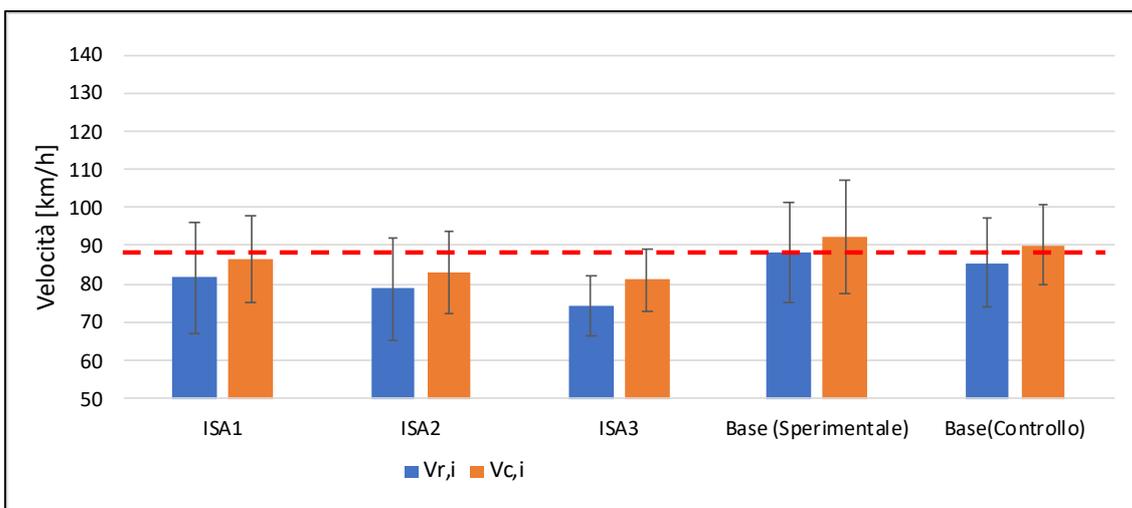


Fig. 71 Rappresentazione dei valori  $V_{r,i}$  e  $V_{c,i}$  per la Curva 11, con indicazione della SD e della velocità limite di sicurezza per le diverse configurazioni di guida

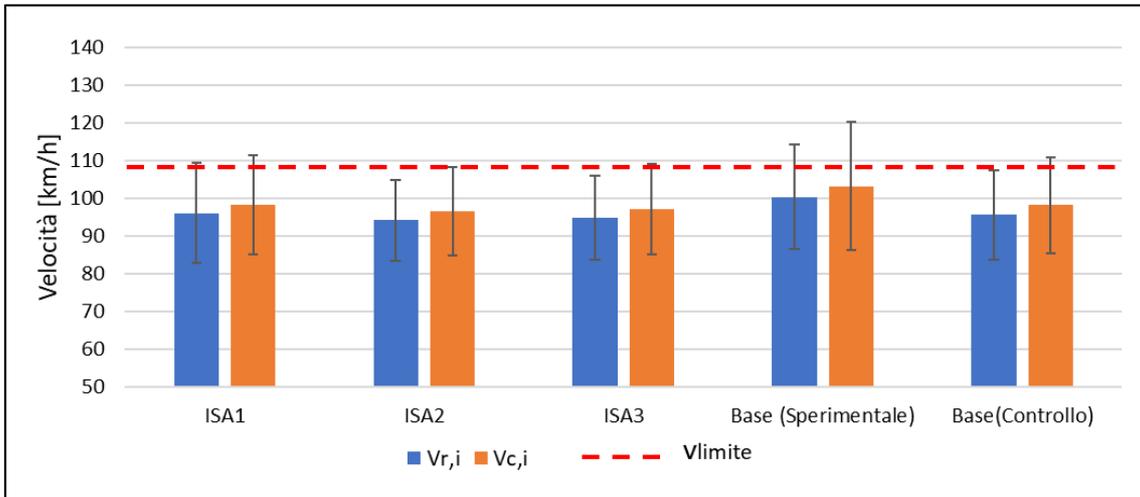


Fig. 72 Rappresentazione dei valori  $V_{r,i}$  e  $V_{c,i}$  per la Curva 12, con indicazione della SD e della velocità limite di sicurezza per le diverse configurazioni di guida

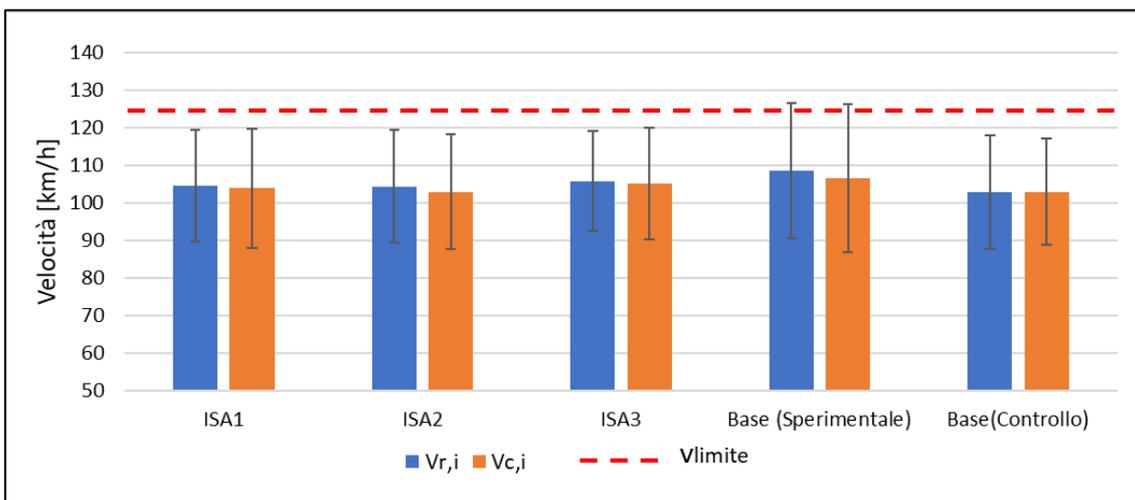


Fig. 73 Rappresentazione dei valori  $V_{r,i}$  e  $V_{c,i}$  per la Curva 13, con indicazione della SD e della velocità limite di sicurezza per le diverse configurazioni di guida

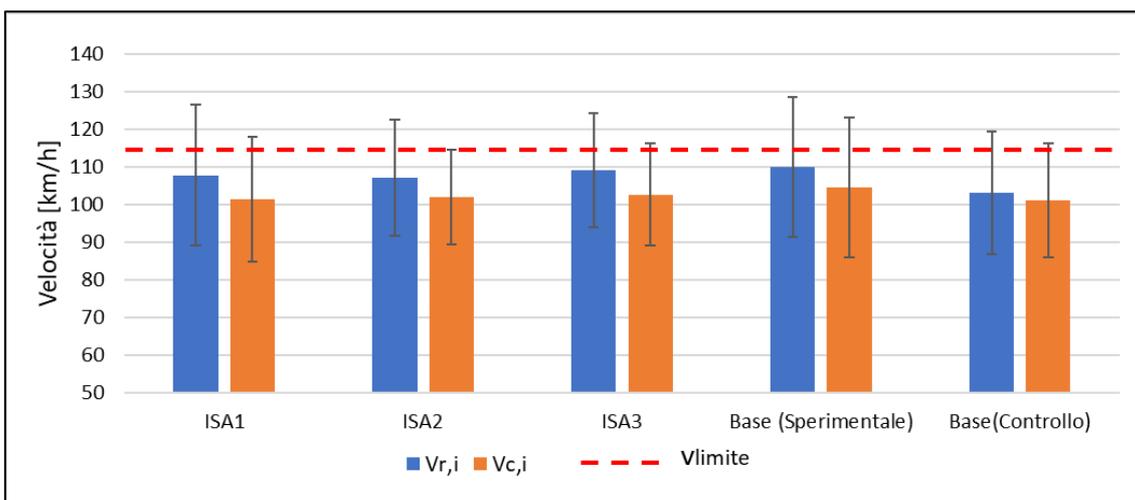


Fig. 74 Rappresentazione dei valori  $V_{r,i}$  e  $V_{c,i}$  per la Curva 14, con indicazione della SD e della velocità limite di sicurezza per le diverse configurazioni di guida

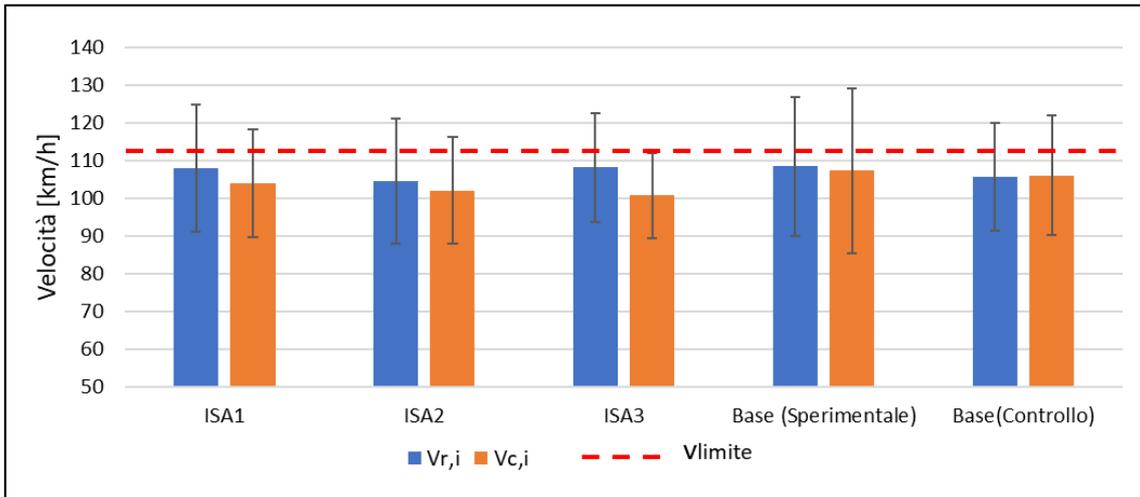


Fig. 75 Rappresentazione dei valori  $V_{r,i}$  e  $V_{c,i}$  per la Curva 15, con indicazione della SD e della velocità limite di sicurezza per le diverse configurazioni di guida

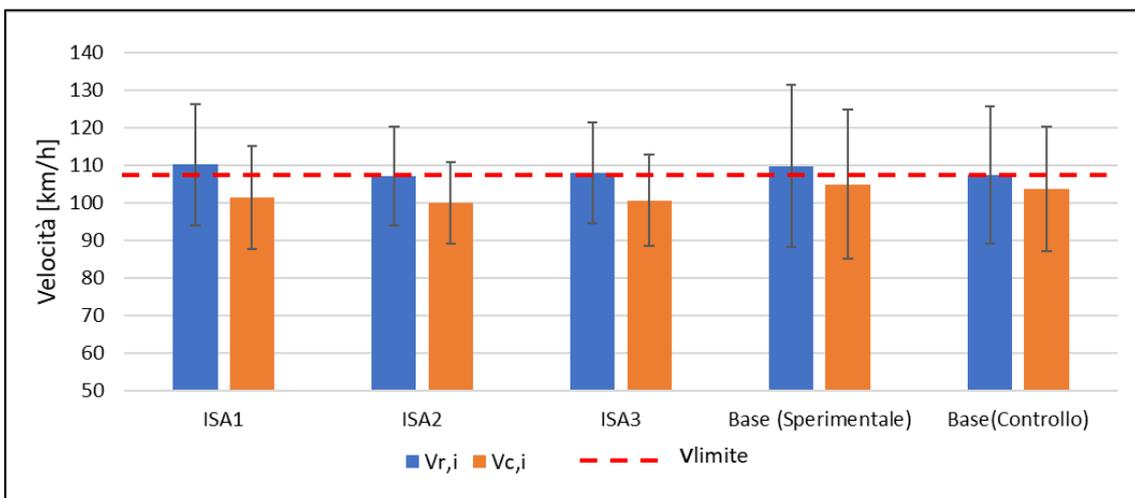


Fig. 76 Rappresentazione dei valori  $V_{r,i}$  e  $V_{c,i}$  per la Curva 16, con indicazione della SD e della velocità limite di sicurezza per le diverse configurazioni di guida

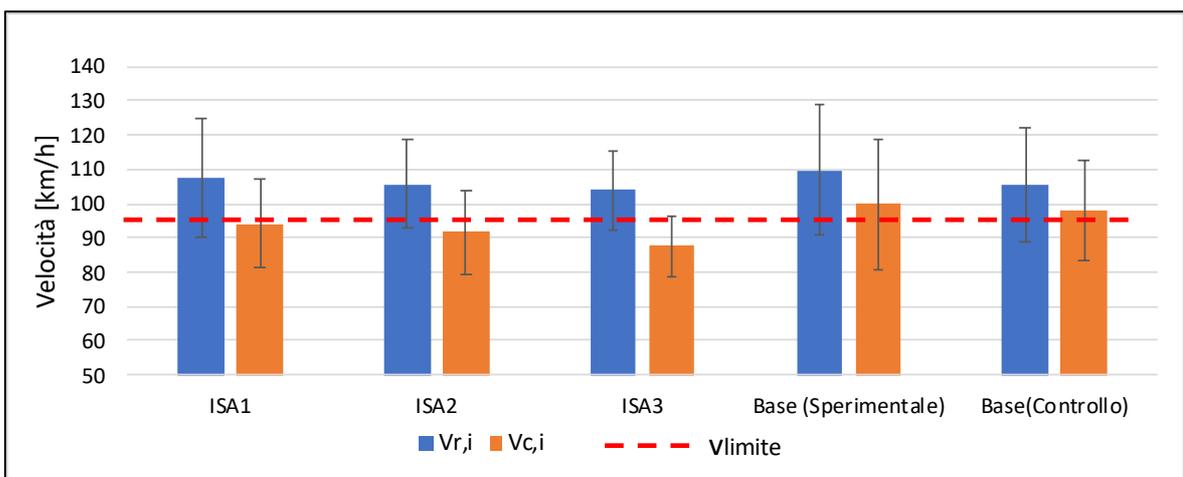


Fig. 77 Rappresentazione dei valori  $V_{r,i}$  e  $V_{c,i}$  per la Curva 17, con indicazione della SD e della velocità limite di sicurezza per le diverse configurazioni di guida

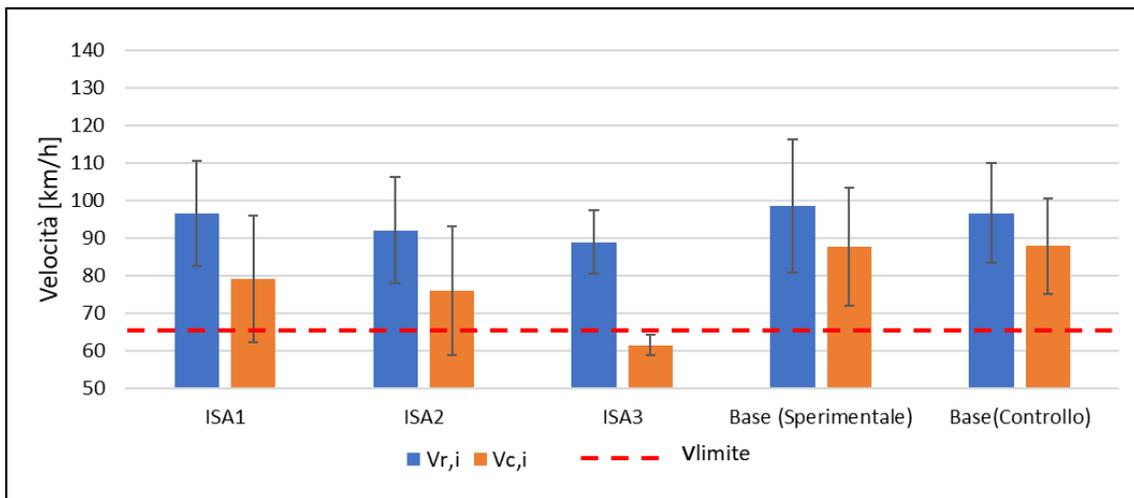


Fig. 78 Rappresentazione dei valori  $V_{r,i}$  e  $V_{c,i}$  per la Curva 18, con indicazione della SD e della velocità limite di sicurezza per le diverse configurazioni di guida

## ALLEGATO I: Analisi dati velocità in uscita dalla curva

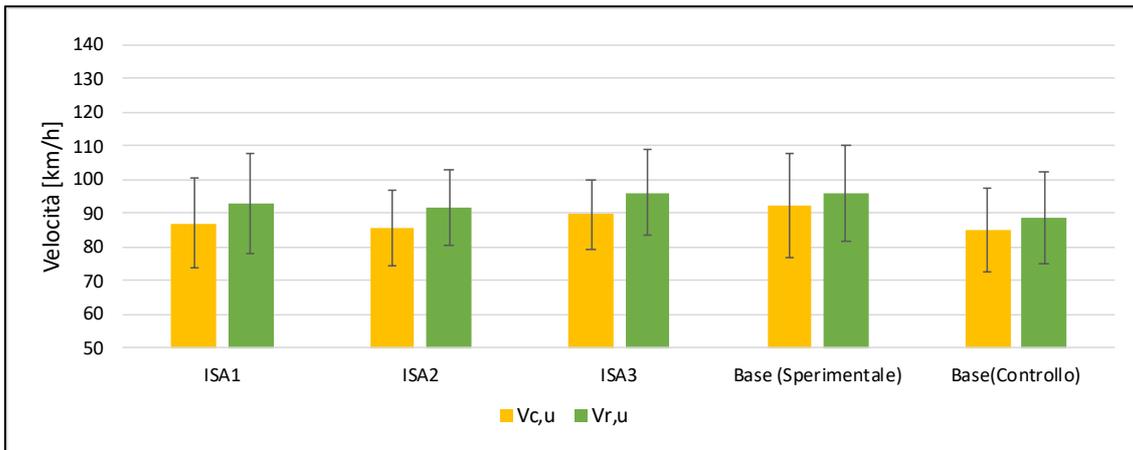


Fig. 79 Rappresentazione dei valori  $V_{c,u}$  e  $V_{r,u}$  per la Curva 3, con indicazione della SD per le diverse configurazioni di guida

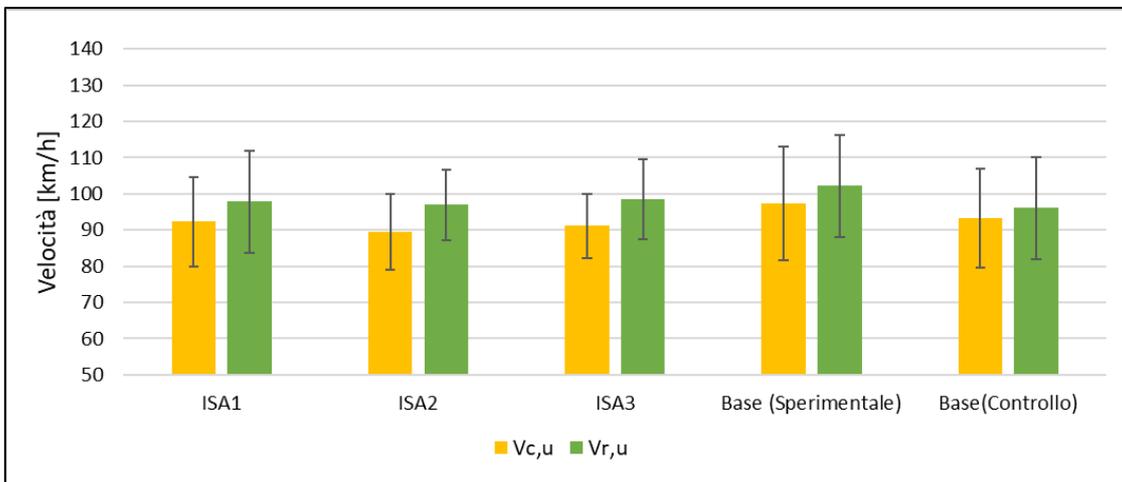


Fig. 80 Rappresentazione dei valori  $V_{c,u}$  e  $V_{r,u}$  per la Curva 4, con indicazione della SD per le diverse configurazioni di guida

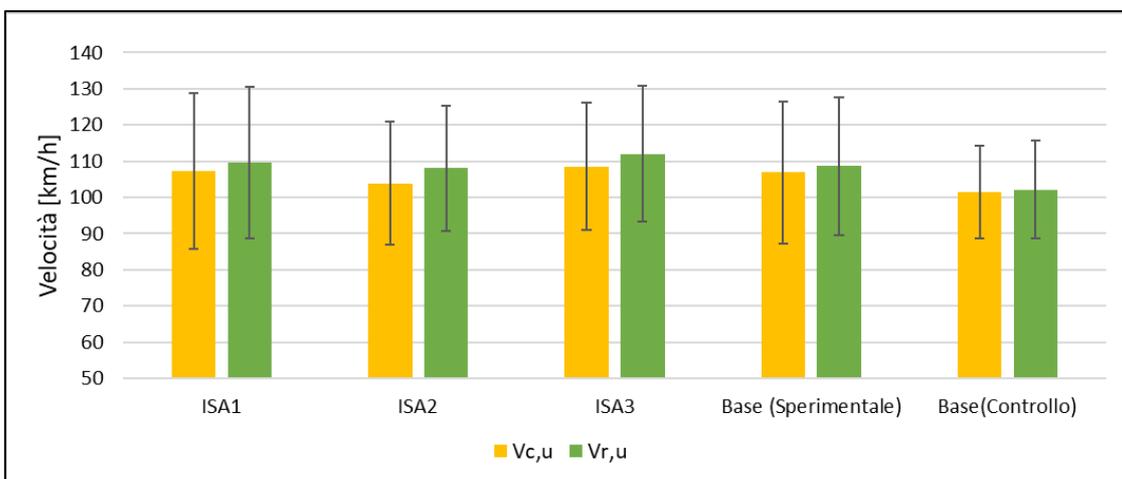


Fig. 81 Rappresentazione dei valori  $V_{c,u}$  e  $V_{r,u}$  per la Curva 5, con indicazione della SD per le diverse configurazioni di guida

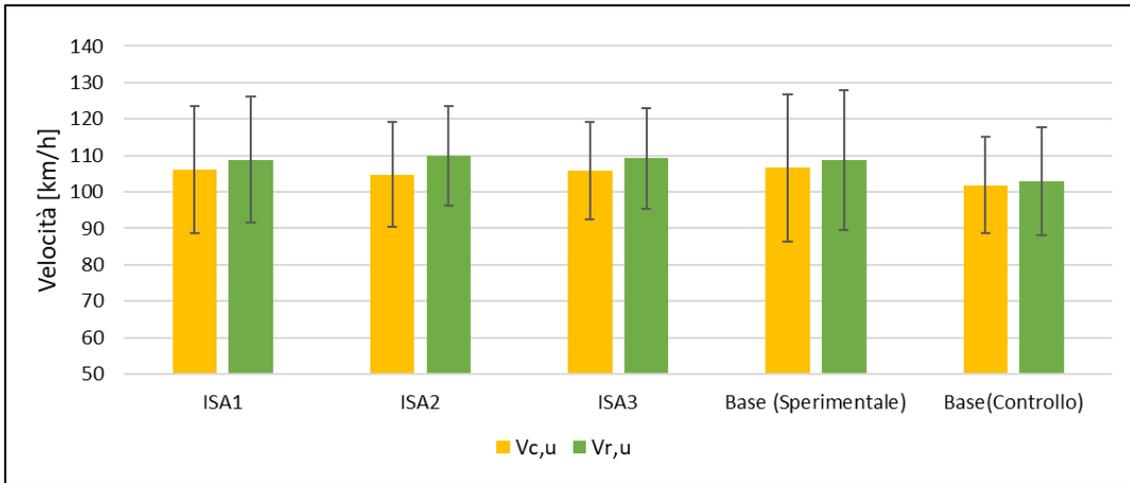


Fig. 82 Rappresentazione dei valori  $V_{c,u}$  e  $V_{r,u}$  per la Curva 6, con indicazione della SD per le diverse configurazioni di guida

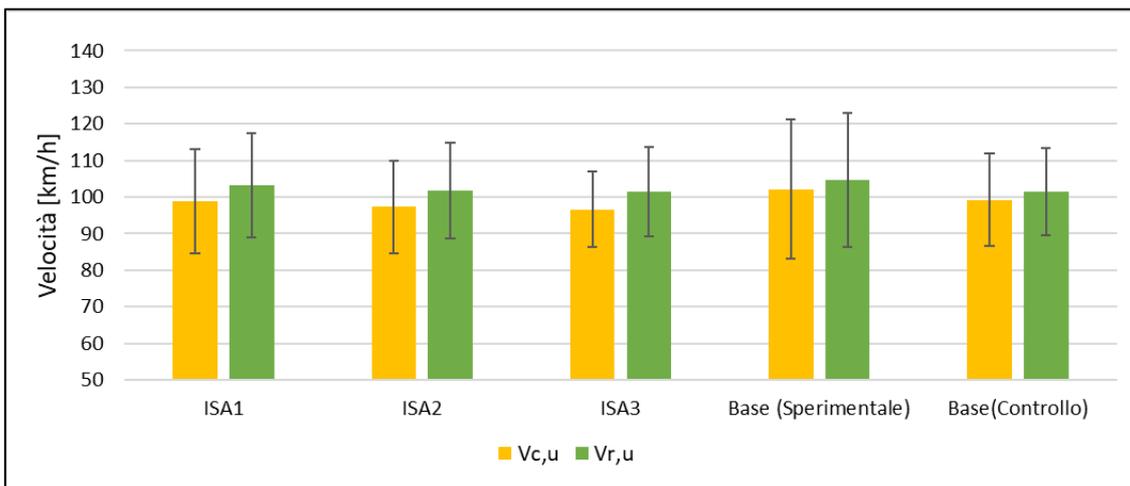


Fig. 83 Rappresentazione dei valori  $V_{c,u}$  e  $V_{r,u}$  per la Curva 7, con indicazione della SD per le diverse configurazioni di guida

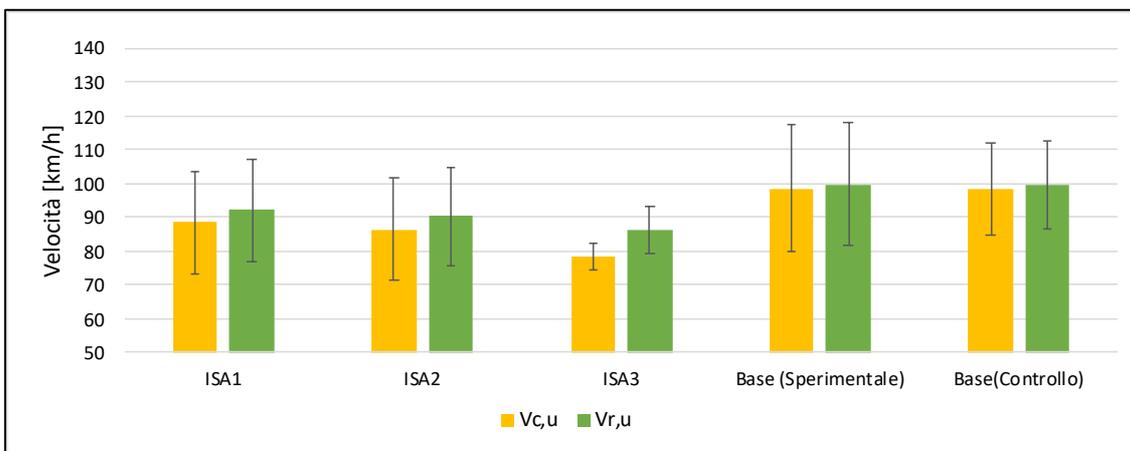


Fig. 84 Rappresentazione dei valori  $V_{c,u}$  e  $V_{r,u}$  per la Curva 8, con indicazione della SD per le diverse configurazioni di guida

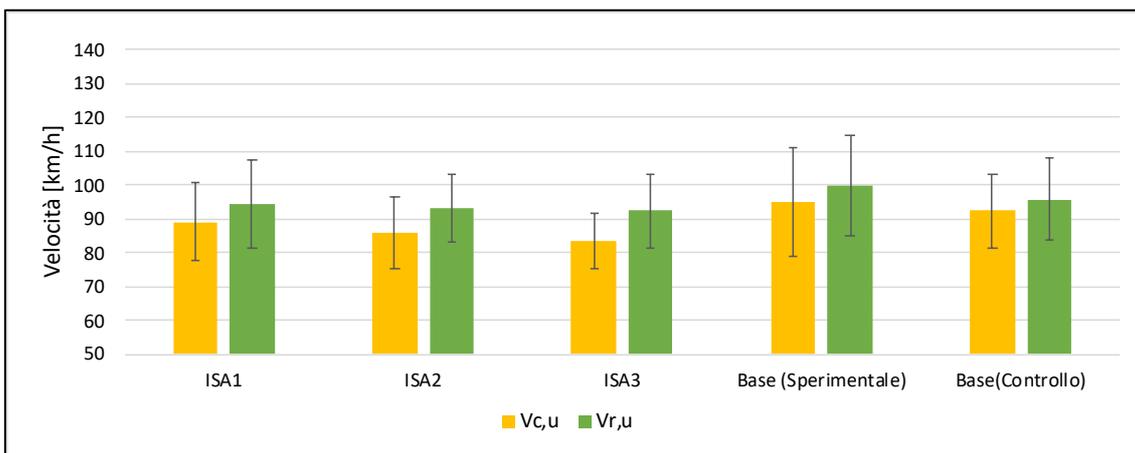


Fig. 85 Rappresentazione dei valori  $V_{c,u}$  e  $V_{r,u}$  per la Curva 11, con indicazione della SD per le diverse configurazioni di guida

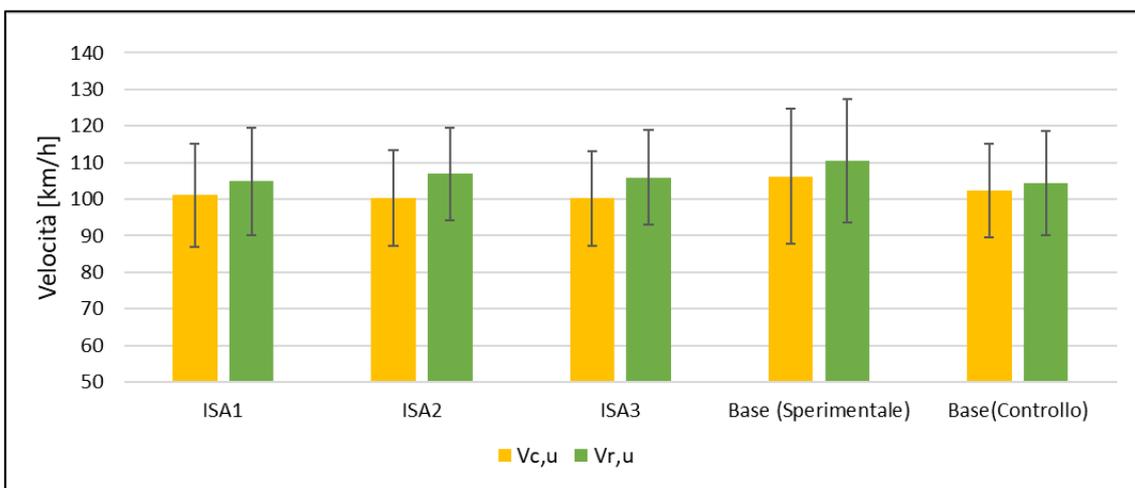


Fig. 86 Rappresentazione dei valori  $V_{c,u}$  e  $V_{r,u}$  per la Curva 12, con indicazione della SD per le diverse configurazioni di guida

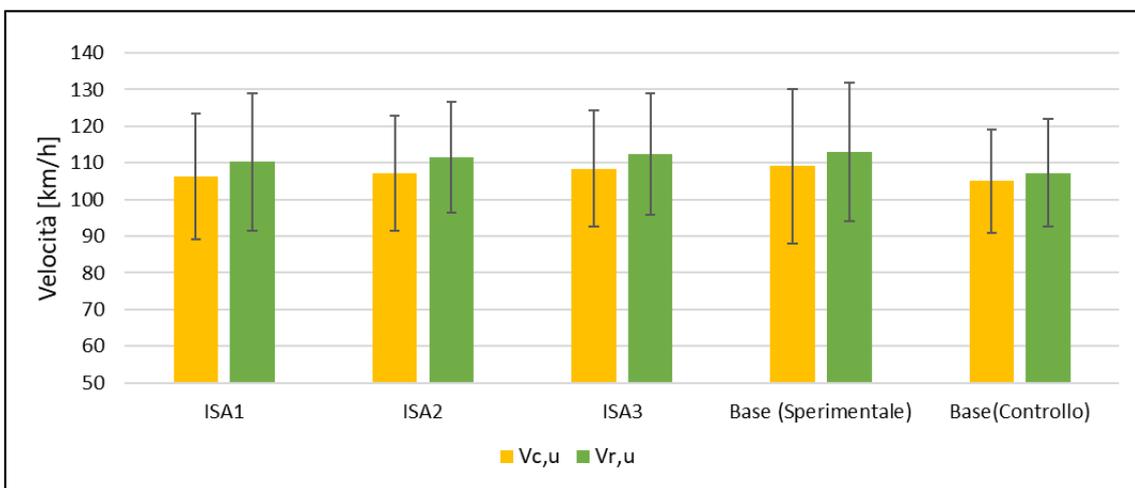


Fig. 87 Rappresentazione dei valori  $V_{c,u}$  e  $V_{r,u}$  per la Curva 13, con indicazione della SD per le diverse configurazioni di guida

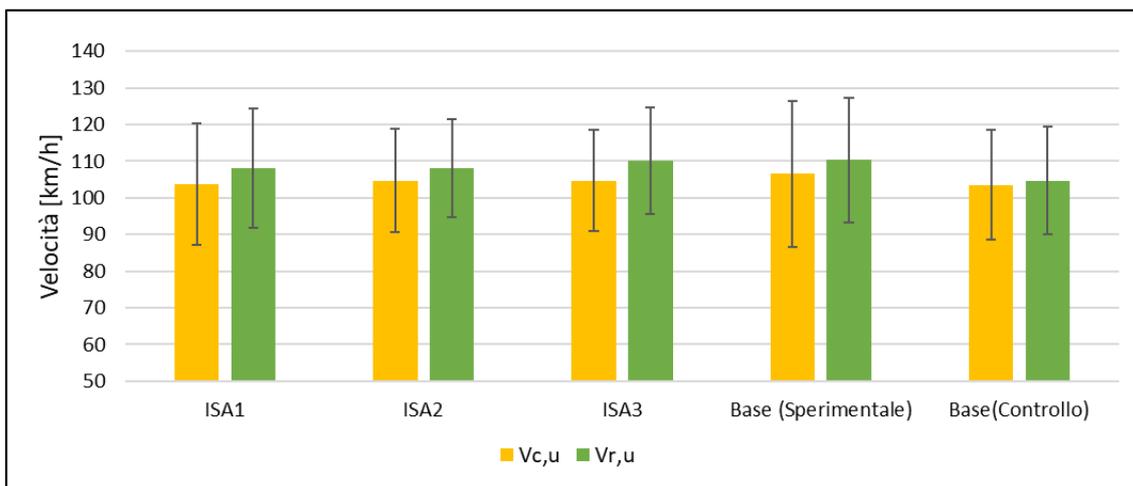


Fig. 88 Rappresentazione dei valori  $V_{c,u}$  e  $V_{r,u}$  per la Curva 14, con indicazione della SD per le diverse configurazioni di guida

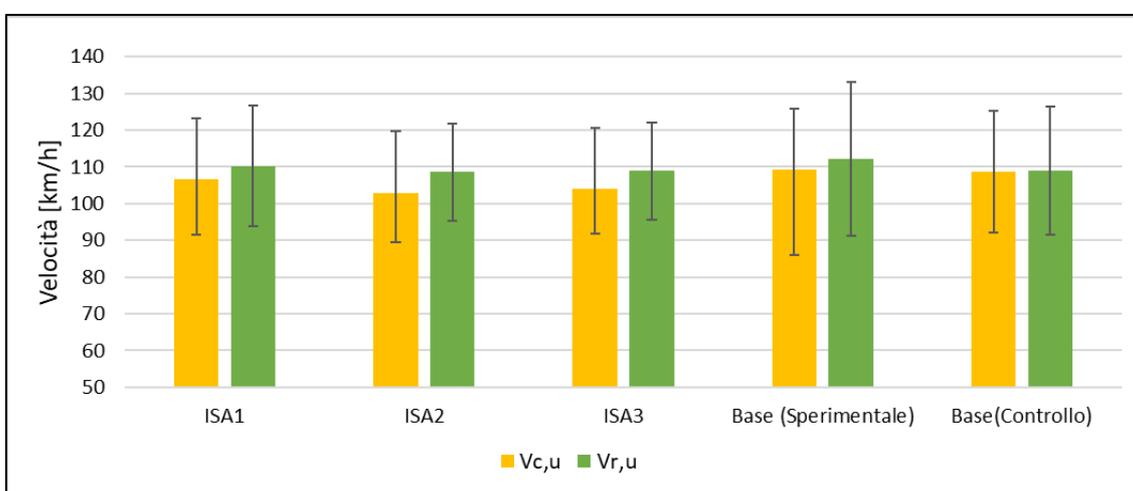


Fig. 89 Rappresentazione dei valori  $V_{c,u}$  e  $V_{r,u}$  per la Curva 15, con indicazione della SD per le diverse configurazioni di guida

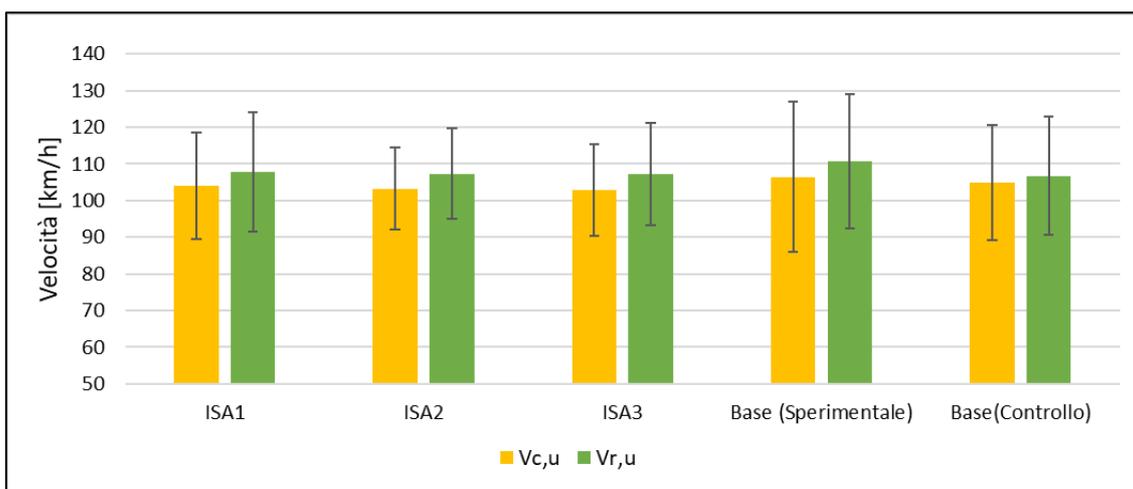


Fig. 90 Rappresentazione dei valori  $V_{c,u}$  e  $V_{r,u}$  per la Curva 16, con indicazione della SD per le diverse configurazioni di guida

## ALLEGATO J: Analisi dati SDLP

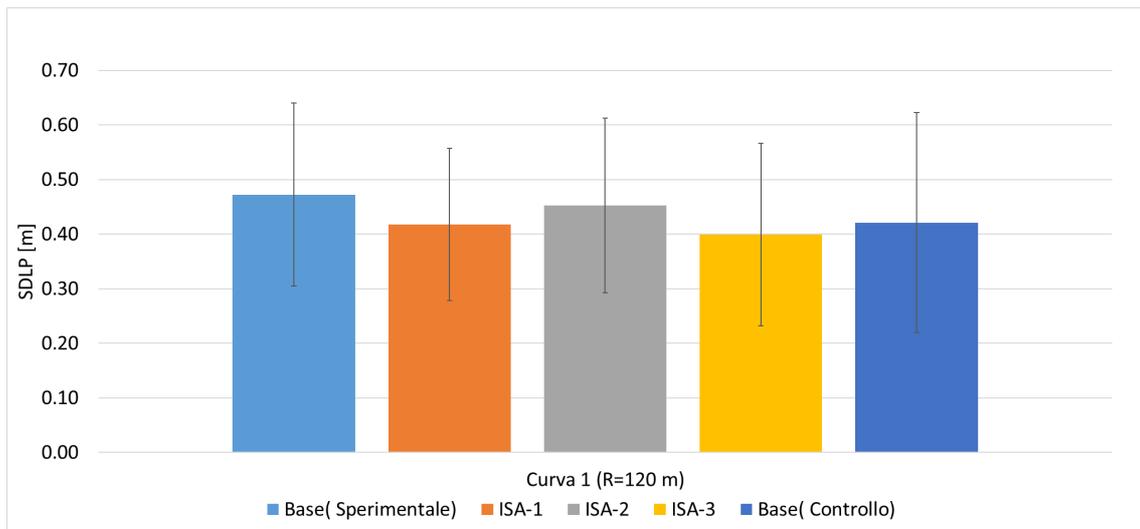


Fig. 91 Rappresentazione dei valori di SDLP per la Curva 1, con indicazione della SD per le diverse configurazioni di guida

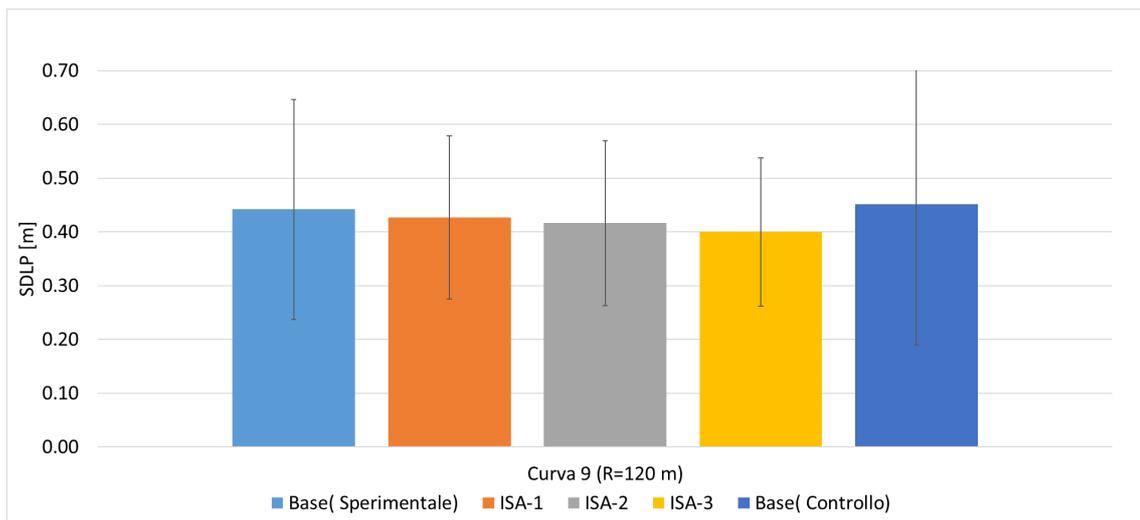


Fig. 92 Rappresentazione dei valori di SDLP per la Curva 9, con indicazione della SD per le diverse configurazioni di guida

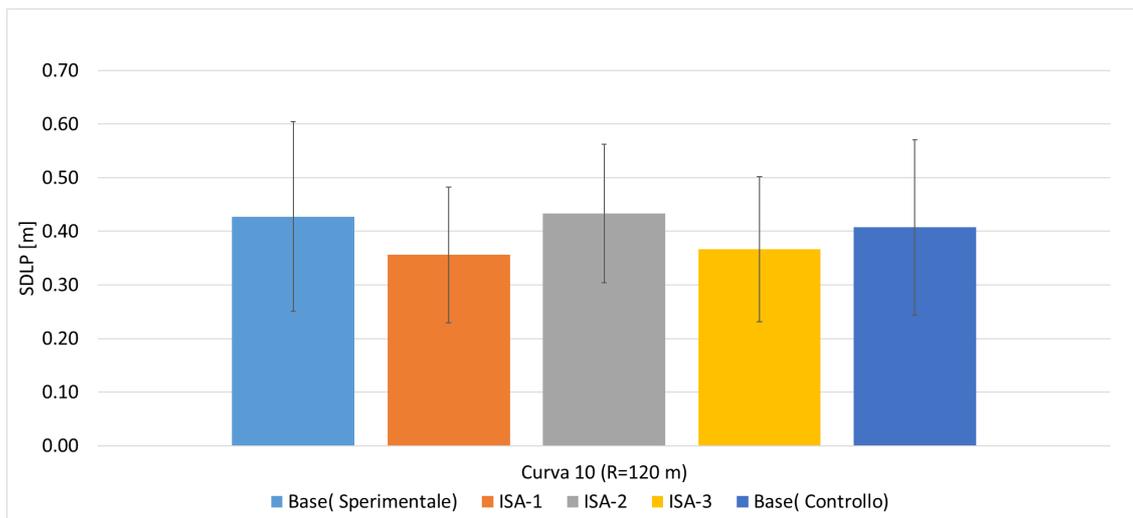


Fig. 93 Rappresentazione dei valori di SDLP per la Curva 10, con indicazione della SD per le diverse configurazioni di guida

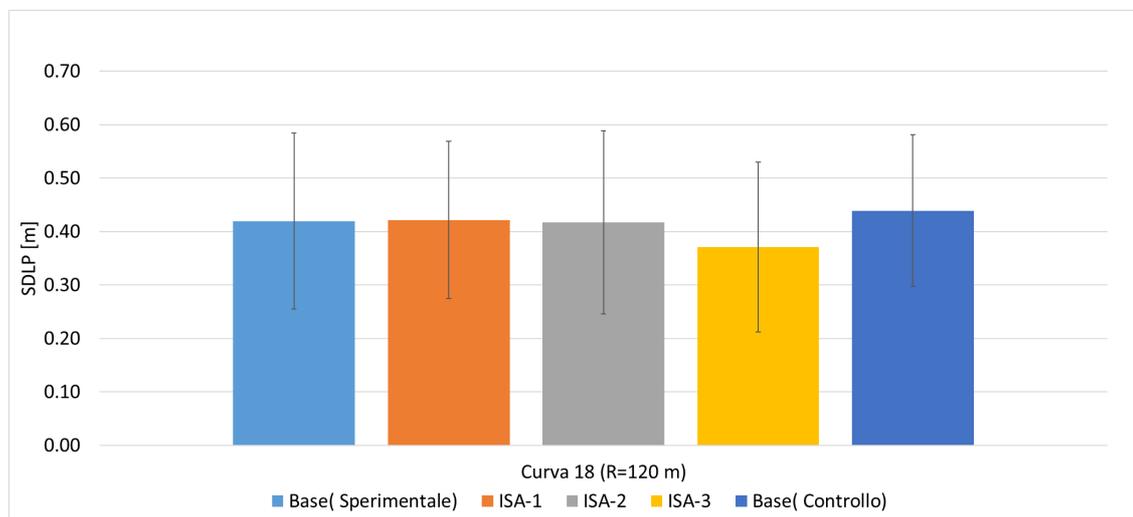


Fig. 94 Rappresentazione dei valori di SDLP per la Curva 18, con indicazione della SD per le diverse configurazioni di guida

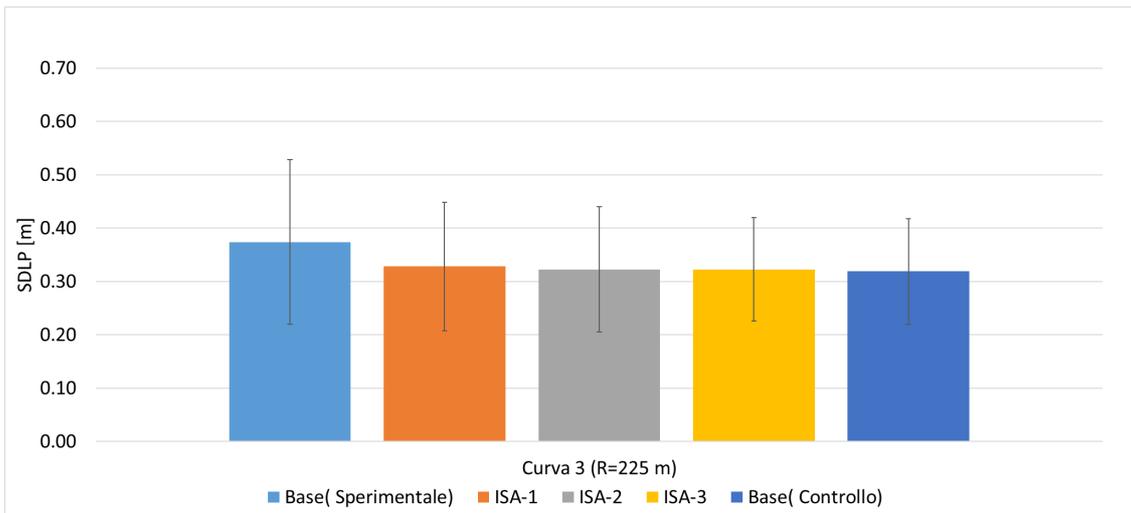


Fig. 95 Rappresentazione dei valori di SDLP per la Curva 3, con indicazione della SD per le diverse configurazioni di guida

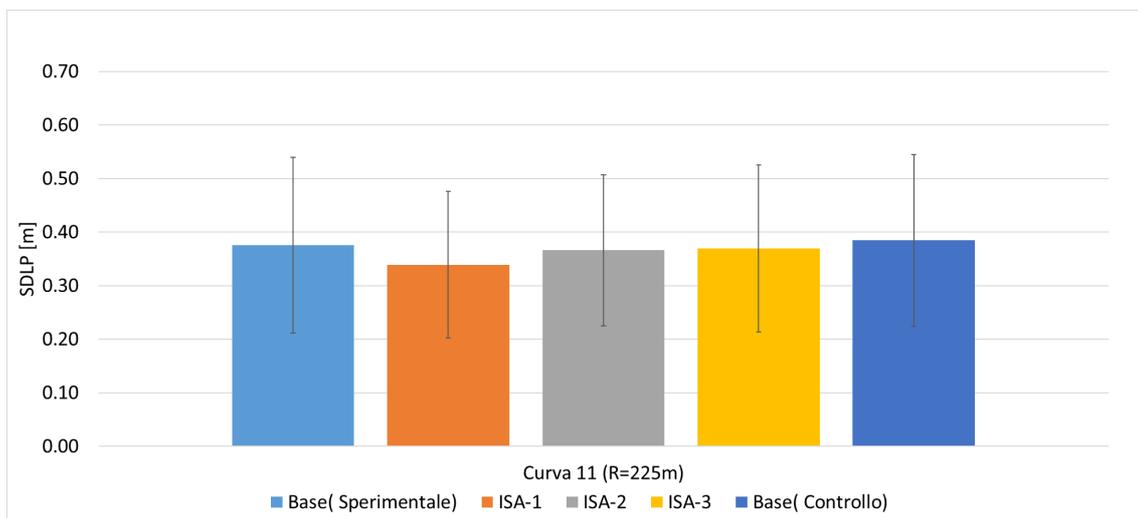


Fig. 96 Rappresentazione dei valori di SDLP per la Curva 11, con indicazione della SD per le diverse configurazioni di guida

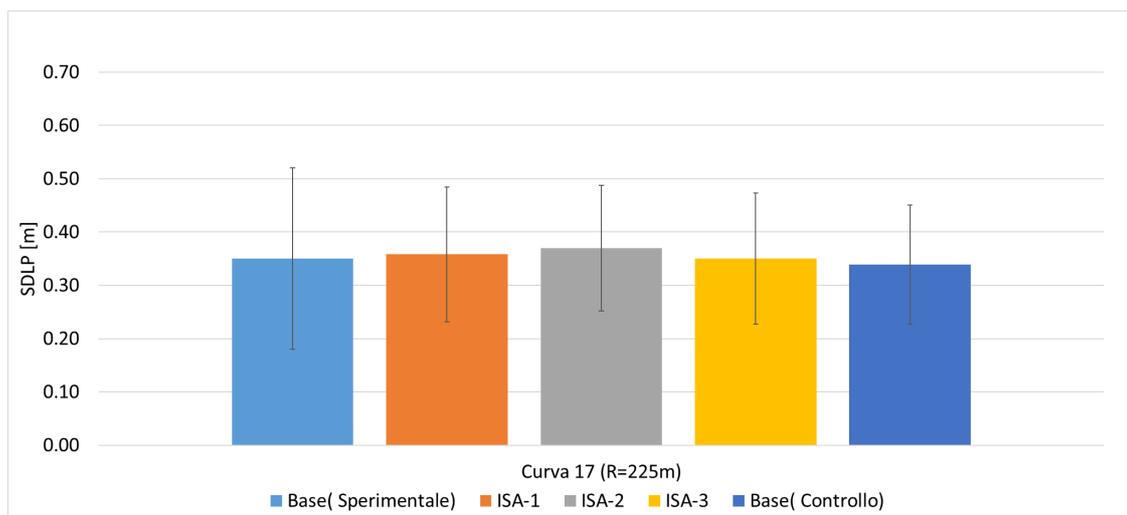


Fig. 97 Rappresentazione dei valori di SDLP per la Curva 17, con indicazione della SD per le diverse configurazioni di guida

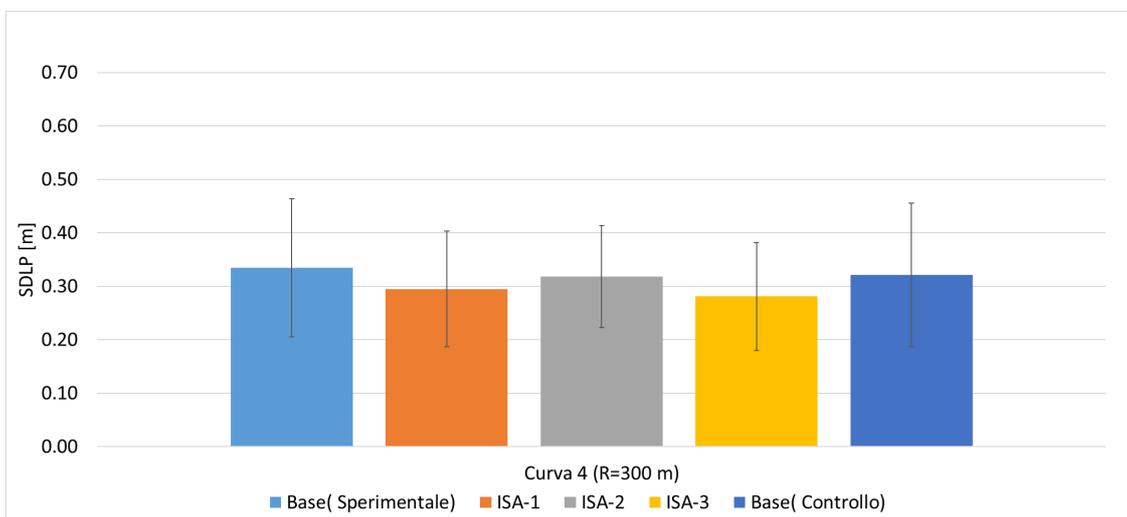


Fig. 98 Rappresentazione dei valori di SDLP per la Curva 4, con indicazione della SD per le diverse configurazioni di guida

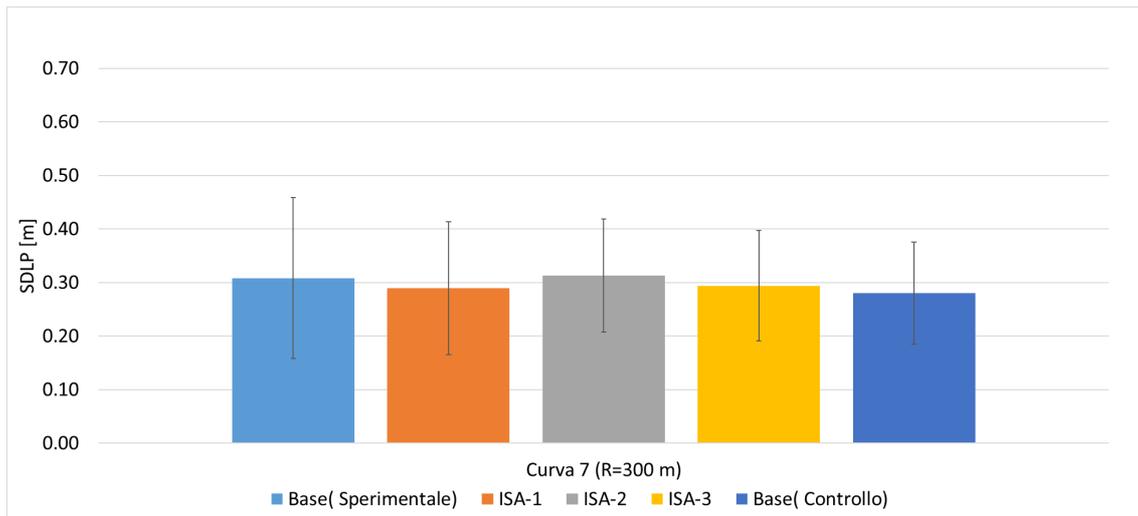


Fig. 99 Rappresentazione dei valori di SDLP per la Curva 7, con indicazione della SD per le diverse configurazioni di guida

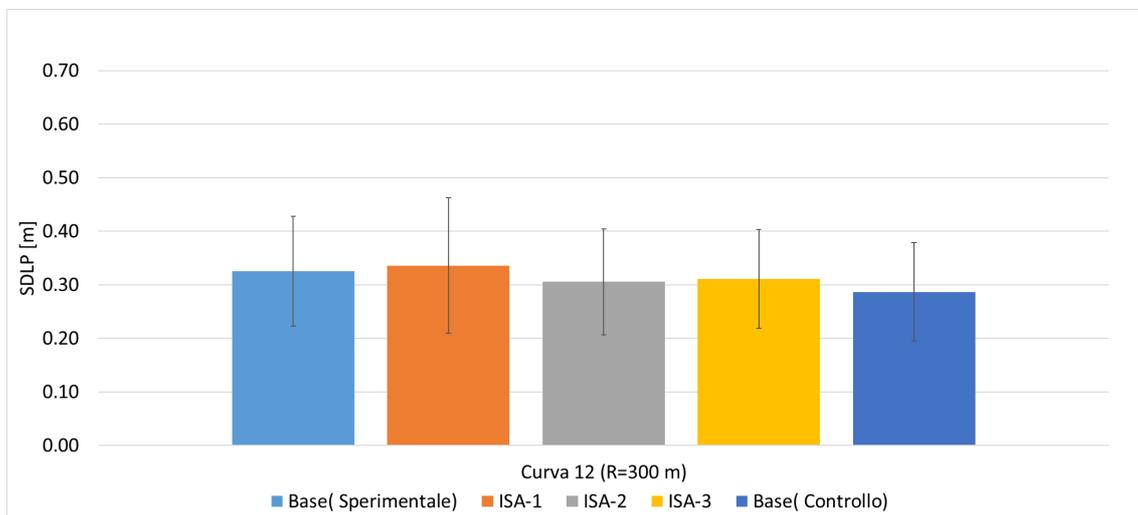


Fig. 100 Rappresentazione dei valori di SDLP per la Curva 12, con indicazione della SD per le diverse configurazioni di guida

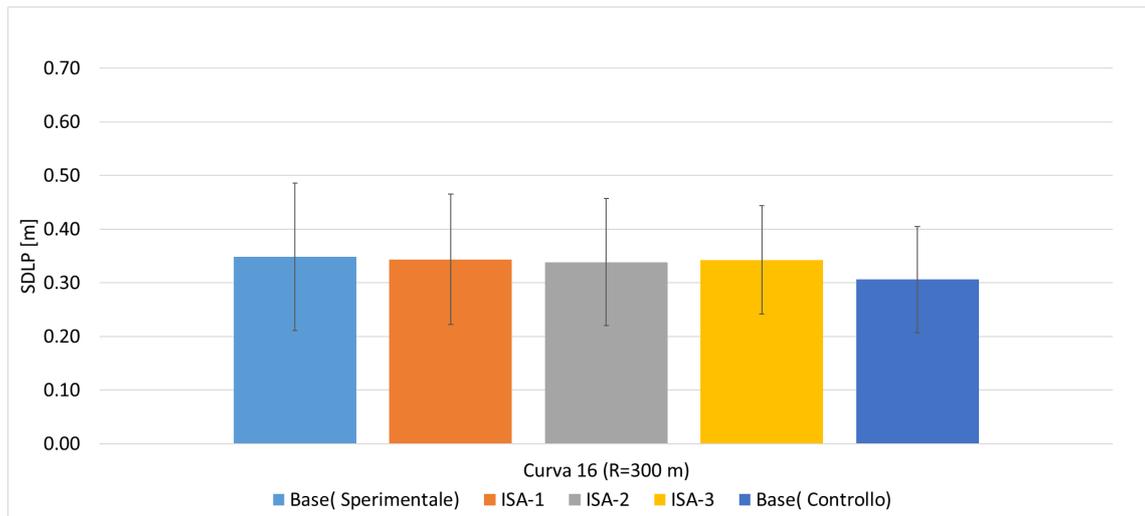


Fig. 101 Rappresentazione dei valori di SDLP per la Curva 16, con indicazione della SD per le diverse configurazioni di guida

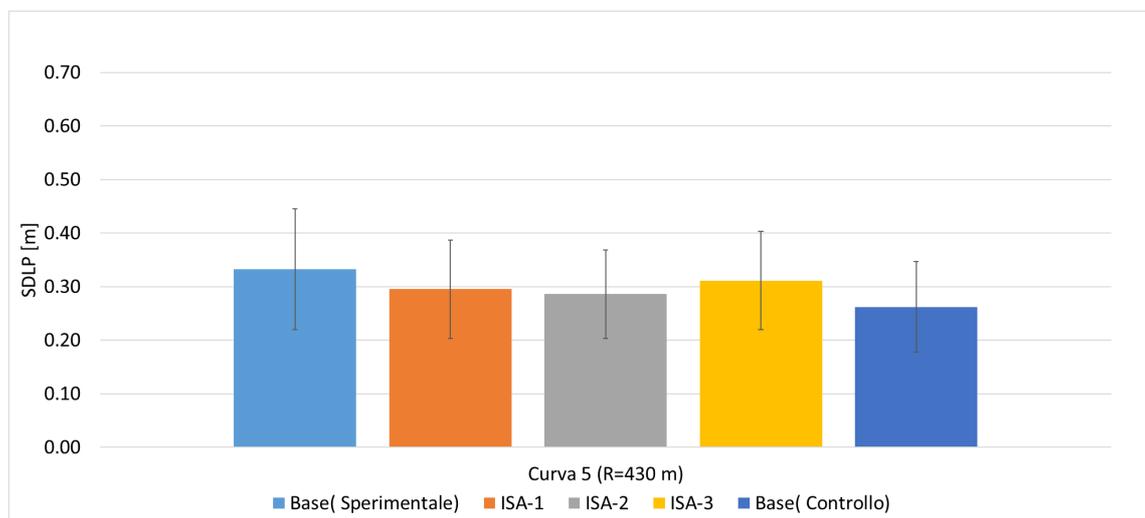


Fig. 102 Rappresentazione dei valori di SDLP per la Curva 5, con indicazione della SD per le diverse configurazioni di guida

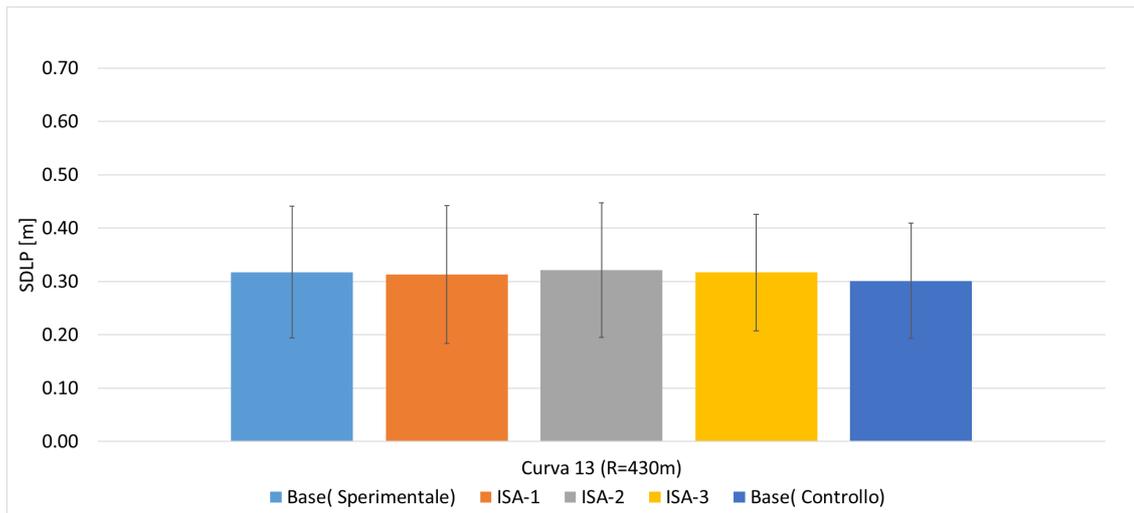


Fig. 103 Rappresentazione dei valori di SDLP per la Curva 13, con indicazione della SD per le diverse configurazioni di guida

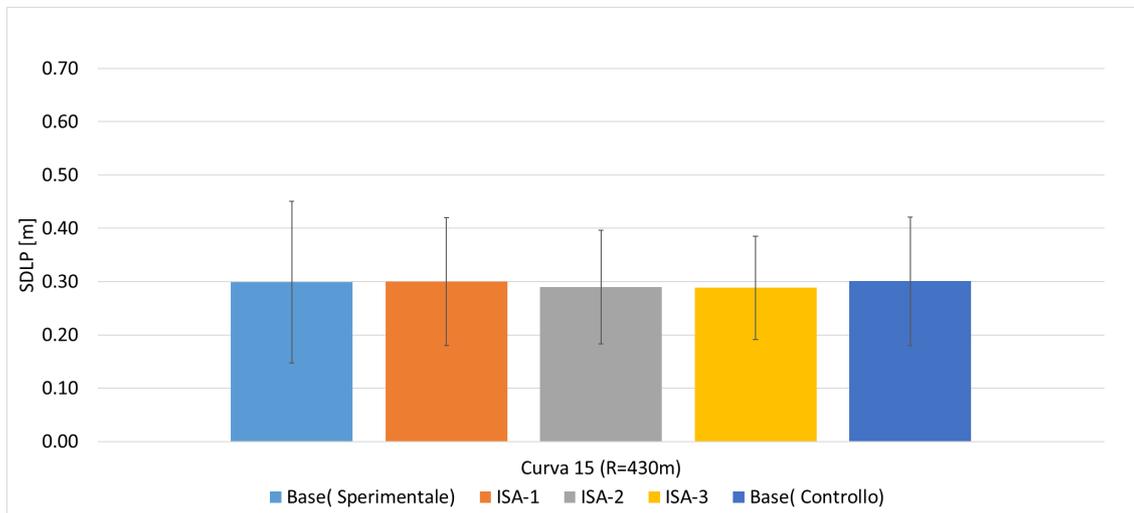


Fig. 104 Rappresentazione dei valori di SDLP per la Curva 15, con indicazione della SD per le diverse configurazioni di guida