

ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

SCUOLA DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA

DICAM

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA CIVILE

TESI DI LAUREA

in

Costruzioni Ferroviarie ed Aeroportuali M

**LA VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA
DEGLI UTENTI DEBOLI IN PROSSIMITÀ
DEGLI ATTRAVERSAMENTI PEDONALI: IL
CONTRIBUTO DEL MOBILE EYE DETECTOR**

Candidata:

MARICA CASSANI

Relatore:

Dott. Ing. VALERIA VIGNALI

Correlatori:

Dott. Ing. CLAUDIO LANTIERI

Dott. Ing. FRANCESCO MAZZOTTA

Dott. Ing. RICCARDO LAMPERTI

Anno Accademico 2013/ 2014

Sessione II

PAROLE CHIAVE:

- Sicurezza stradale
- Attraversamento pedonale
- Vulnerabilità
- Utente debole
- V-Box
- Mobile Eye Detector

Indice

Introduzione	1
1. L'interazione tra veicolo e utente debole.....	5
1.1. Premessa	5
1.2. I dati di incidentalità	7
1.3. I veicoli e le strade urbane	10
1.3.1. Il deflusso veicolare	10
1.3.2. La visione del conducente alla guida.....	12
1.4. Il pedone e il contesto urbano	17
1.4.1. Il deflusso pedonale	17
1.4.2. La visione del pedone	20
1.5. La promiscuità dei flussi.....	21
1.5.1. La promiscuità longitudinale.....	21
1.5.2. La promiscuità trasversale: gli attraversamenti pedonali	22
1.5.2.1. Comportamento del conducente del veicolo	25
1.5.2.2. Comportamento del pedone	27
1.6. La moderazione del traffico	28
1.6.1. Metodologia di applicazione degli elementi di moderazione del traffico	30
1.6.2. La moderazione del traffico per le intersezioni pedonali e semaforiche	31
2. La SP26 “Valle del Lavino”	35
2.1. Premessa	35
2.2. Dati di traffico	36
2.3. Dati di incidentalità	43
2.4. Dati meteo.....	45
2.5. Tronco stradale in oggetto	47
2.5.1. Road Safety Review e problematiche riscontrate.....	47

3. La strumentazione.....	51
3.1. Premessa	51
3.2. La strumentazione V-Box.....	52
3.2.1. L'elaborazione dei dati	55
3.3. Mobile Eye.....	57
3.3.1. Nozioni di Eye-Tracking.....	61
3.3.1.1. Caratteristiche principali dell'occhio umano	61
3.3.1.2. Nozioni base di Eye-Tracking	63
3.3.2. Operazioni della Display/Transmit Unit	66
3.3.3. Sequenze di operazioni tipiche dello strumento.....	68
3.3.4. Eye Vision processing software	71
3.3.5. ASL Result Software	78
4. La sperimentazione	79
4.1. Premessa	79
4.2. Campo prova.....	80
4.2.1. Sessioni di prova.....	80
4.2.2. Gruppo di rilievo e partecipanti alla prova	80
4.2.3. Veicoli utilizzati per la sperimentazione.....	81
4.2.4. Strumentazione	84
4.3. Il percorso di prova.....	89
4.4. Analisi degli attraversamenti pedonali presenti lungo il percorso	91
4.5. Analisi dei dati raccolti dalla sperimentazione	104
5. L'analisi cinematica	107
5.1. Premessa	107
5.2. Distanza minima di arresto	108
5.3. Analisi dei dati V-box	112
5.4. Analisi delle velocità in relazione alla distanza di arresto.....	114
5.5. Analisi delle velocità per classi di attraversamento	119
5.5.1. Analisi della classe C 1	122
5.5.2. Analisi della classe C 2.a	125
5.5.3. Analisi della classe C 2.b.....	131

5.5.4. Analisi della classe C 3	140
5.5.5. Analisi della classe C 4	149
5.5.6. Analisi della classe C 5	152
5.5.6. Considerazioni sui risultati di velocità	155
6. L'analisi della visione	157
6.1. Premessa	157
6.2. Analisi dei dati video	158
6.3. Analisi della visione in relazione alla distanza di percezione	163
6.4. Analisi della visione per classi di attraversamento	169
6.4.1. Analisi della classe C 1	169
6.4.2. Analisi della classe C 2.a	172
6.4.3. Analisi della classe C 2.b	176
6.4.4. Analisi della classe C 3	179
6.4.5. Analisi della classe C 4	183
6.4.6. Analisi della classe C 5	186
6.4.7. Confronto fra le classi C 2.a, C 2.b e C 3	189
6.5. Influenza del pedone	190
Conclusioni	193
Bibliografia	197
Ringraziamenti	203
Appendice A	205
Appendice B	215

Introduzione

L'uso dei veicoli è parte integrante del nostro quotidiano: l'auto, infatti, è il primo mezzo a cui si pensa per effettuare uno spostamento.

Gli odierni volumi di traffico si distribuiscono su di una fitta maglia di infrastrutture viarie, alcune abbastanza recenti, altre di carattere "storico". La quantità di veicoli che interessano le strade, in particolare quelle urbane, è proporzionale alla densità abitativa e, nella maggior parte dei casi, è in numero ancora più elevato rispetto a quanto ci si potrebbe aspettare. La maggior parte delle infrastrutture stradali a disposizione è stata progettata da almeno settant'anni, per volumi di traffico ben inferiori a quelli odierni e per tipologie di mezzi inferiormente dotati.

Nei centri urbani, in una giornata tipo, è naturale imbattersi nell'interazione fra il flusso veicolare e quello pedonale: per i conducenti è diventata oramai abitudine attendere, in coda, che il traffico si decongestioni, mentre per i pedoni è diventato normale, molte volte anche compiendo una gincana tra i veicoli stessi, attraversare non in corrispondenza degli appositi attraversamenti abiti al transito pedonale. Quanto esposto è sintomo che, le infrastrutture, ormai datate, non sono più in grado di assorbire, garantendone la sicurezza, la domanda veicolare e non, sempre in aumento. I tracciati urbani, così concepiti, prevedono una maggior promiscuità fra gli occupanti della strada, portando così ad avere spazi che divengono sempre più luogo di conflitti: conflitti fra veicoli stessi, conflitti fra veicolo e pedone.

In questa tesi si prenderà in considerazione proprio l'interazione che si riscontra, lungo la via, tra flusso veicolare e pedonale, andando a evidenziare quelle che sono le problematiche maggiori, focalizzando l'attenzione sugli attraversamenti pedonali e sulla loro sicurezza in relazione alla vulnerabilità dell'utente debole della strada, il pedone, rispetto al veicolo, riconosciuto invece l'utente forte.

Scopo di questa tesi sarà, dunque, mettere in evidenza quelli che sono i passaggi

pedonali meno idonei, ricercando una correlazione fra l'ubicazione delle intersezioni e il comportamento degli utenti alla guida dei veicoli. Con questa finalità è stata programmata ed eseguita una campagna di prove su strada che ha coinvolto un campione di 10 utenti, aventi determinati requisiti di base, posti alla guida di un veicolo lungo il percorso concordato ed ha previsto l'utilizzo di metodologie innovative, quali il V-Box e il Mobile Eye Detector, che tengono conto del comportamento degli utenti alla guida. Lo studio effettuato si inserisce all'interno di una collaborazione tra il DICAM e la Provincia di Bologna ed ha come obiettivo l'analisi di sicurezza della SP26 "Valle del Lavino", poichè risulta la terza tratta stradale a maggior costo sociale di tutta la rete provinciale.

La tesi è articolata in 6 capitoli con lo scopo di descrivere nel dettaglio il problema già accennato. Nel primo capitolo si metterà in luce il deflusso sia veicolare sia pedonale, andando ad analizzare la visione, rispettivamente, dell'utente forte della strada, il conducente alla guida del veicolo, e quella dell'utente debole, il pedone. Si cercherà di descrivere come questi interagiscono nel contesto urbano, introducendo il problema della promiscuità dei flussi e focalizzando l'attenzione sulla promiscuità trasversale: l'attraversamento pedonale.

Il secondo capitolo sarà una presentazione dell'infrastruttura oggetto di studio, la strada provinciale SP26 "Valle del Lavino". Verrà, dapprima, descritto il suo andamento plano-altimetrico compreso fra il comune di Zola Predosa e quello di Monte San Pietro, in provincia di Bologna; si analizzeranno poi i dati di traffico, i dati di incidentalità e quelli meteo, sottolineando la necessità di interventi di adeguamento e messa in sicurezza poichè, come già esposto precedentemente, risulta la terza tratta stradale a maggior costo sociale di tutta la rete provinciale. Al termine si evidenzierà il tronco della SP26 sottoposto alla sperimentazione, compreso tra la progressiva 0+000, in comune di Zola Predosa, e la progressiva 19+200, in località Badia.

Nel terzo capitolo, poi, verrà introdotta nel dettaglio la strumentazione utilizzata durante le sessioni di prova, necessaria per l'acquisizione dei dati e la successiva elaborazione dei risultati: saranno descritti i due dispositivi innovativi adottati, il Video V-Box e il Mobile Eye Detector.

Il quarto capitolo descriverà innanzitutto le modalità con le quali sono state eseguite le sessioni di prova lungo il tratto stradale oggetto della tesi; successivamente si esplicherà

il percorso di prova, individuando tutti gli attraversamenti pedonali presenti ed operando una distinzione tra quelli del tratto di andata e quelli del tratto di ritorno. Al termine sarà introdotta la classifica utilizzata per raggruppare le singole intersezioni pedonali e semaforizzate in funzione degli elementi di corredo, fondamentale per le analisi operate nei due successivi capitoli.

Nel capitolo quinto, si esporrà in maniera dettagliata l'elaborazione dei dati relativi alle velocità ottenuti grazie al contributo del V-Box: l'analisi cinematica. Si andrà quindi ad analizzare, lavorando con la velocità media, ogni singolo attraversamento relazionandolo alla distanza di visibilità necessaria per l'arresto. In seconda fase, si esamineranno le intersezioni raggruppate per classi, evidenziando, per ciascuna di esse, gli attraversamenti meno sicuri e mal posizionati, relazionandone l'andamento della velocità con la loro ubicazione spaziale e con la geometria dell'infrastruttura.

Infine, il sesto capitolo riporterà l'analisi dei dati ottenuti con il Mobile Eye Detector, in grado di restituire informazioni relative al punto di vista del conducente alla guida. In primo luogo, sarà operata un'analisi in funzione della distanza di percezione, individuando quegli attraversamenti mal ubicati che, entrando nel campo visivo del conducente a una distanza inferiore a quella necessaria per un arresto in sicurezza, sono considerati meno sicuri. In seconda battuta, saranno esaminate separatamente le singole classi di attraversamento, individuando per ognuna, sulla base dei dati relativi alla visione dei 10 partecipanti alla prova, le percentuali di visualizzazione e non, specificando quale elemento di corredo è quello che maggiormente viene visualizzato per primo. Dal confronto poi fra i risultati ottenuti per le singole classi, sarà possibile individuare qual è la classe più sicura e di conseguenza quale insieme di elementi di corredo fa sì che un attraversamento pedonale sia più visibile dagli utenti alla guida. Infine, sulla base dei casi in cui si è presentato il pedone in corrispondenza degli attraversamenti pedonali, sarà valutata l'influenza del pedone sul comportamento del conducente alla guida.

Per completezza, in appendice A e in appendice B sono state riportate le tabelle, rispettivamente, dei dati cinematici e dei dati visivi, realizzate per poter operare le analisi ed elaborare i risultati.

1. L'interazione tra veicolo e utente debole della strada

1.1. Premessa

Il traffico è in continua evoluzione ed assume definizioni differenti. L'Organizzazione Mondiale della Sanità ne studia le sue singole componenti, ad esempio in relazione al rumore e ai suoi effetti nocivi sulla salute; il Codice della Strada lo esamina al fine di ridurre i costi economici, sociali ed ambientali, derivanti dal traffico stesso; è invece in costante osservazione da parte dei professionisti, deputati alla progettazione degli elementi geometrici e costruttivi della sede stradale. Oggi i sistemi di monitoraggio dell'ambiente stradale a disposizione di tecnici e progettisti sono differenti dal passato: si è passati dall'uomo che materialmente contava per ore i veicoli e tentava di codificarne la tipologia, ai moderni mezzi forniti dai satelliti, fino alle più innovative applicazioni che in un prossimo futuro potrebbero portare ad avere veicoli in grado di muoversi nel traffico senza l'ausilio costante dell'uomo.

Nel mondo l'incremento dell'utilizzo dei veicoli a motore, quali ciclomotori, motocicli e autoveicoli in generale, ha causato e sta causando sempre più un forte impatto sull'ambiente di vita e di lavoro con la conseguente necessità di ridurre i costi sociali dovuti agli incidenti stradali che coinvolgono da un lato i veicoli a motore, sopra descritti, e dall'altra gli utenti definiti deboli, quali pedoni e ciclisti.

Con la presente tesi si vuole porre l'attenzione alle componenti deboli ammesse sulla "piattaforma" stradale che sono definite le più vulnerabili, ossia pedoni e ciclisti ed oggi anche motociclisti (secondo la Commissione Europea). I pedoni sono però indubbiamente gli utenti più vulnerabili in caso di collisione: statistiche alla mano evidenziano come questi ultimi abbiano il maggior indice di mortalità e di lesioni più

gravi, in rapporto al numero di eventi, rappresentando inoltre per ogni singolo evento il maggior costo sociale atteso.

Sotto il profilo storico, in Europa e più in generale nel mondo così detto avanzato, il problema della gestione del traffico urbano si è presentato già alla fine dell'800, correlato ai primi flussi di mezzi a trazione animale, ed è evoluto al pari dello sviluppo tecnico, in relazione all'incremento della popolazione e alla concentrazione di questa nelle città.

L'economia e le esigenze tecniche hanno sempre privilegiato maggiormente i bisogni del traffico motorizzato, garantendo una circolazione veloce ai veicoli a motore e ponendo invece in secondo piano le esigenze degli utenti più vulnerabili della strada. Le regole e le tecniche costruttive non soddisfano quindi a pieno le aspettative di sicurezza di tutte le singole tipologie di utenza della strada, a scapito soprattutto dei pedoni e dei ciclisti, portando oggi le strade ad essere luogo di probabili e quotidiani conflitti.

Anche se camminare è una modalità di trasporto sempre meno popolare, resta comunque la maniera di viaggiare maggiormente impiegata: la gente di quasi tutte le età, di entrambi i sessi e di tutte le estrazioni sociali si ritrova a camminare in un contesto caratterizzato dal costante aumento del numero dei veicoli e del traffico. È comunque la modalità di trasporto che consente nei brevi spostamenti di essere più rapidi rispetto che con altri mezzi e di raggiungere il luogo esattamente richiesto.

Una città, cosiddetta vivibile, dovrebbe garantire la fruizione degli spazi urbani in sicurezza a tutte le classi di utenza. Diventa pertanto quasi inevitabile, nell'utilizzo a piedi del territorio urbano, il dovere attraversare una strada: la traiettoria percorsa dal pedone entra sistematicamente in conflitto con quella dei veicoli a motore che, con una velocità più elevata e una minore vulnerabilità garantita dalla massa e dalle dimensioni, pone l'utente più debole, il pedone, di fronte ad un rischio, in alcuni casi anche ad esito mortale.

Il problema della sicurezza stradale in ambito urbano è quindi di forte attualità: la crescente incidentalità stradale non può più essere trattata con la sola imposizione di limiti alla circolazione ed alla velocità. Tra gli obiettivi primari della ricerca in ambito dei trasporti, è quindi diventata di fondamentale importanza l'esigenza di occuparsi delle categorie di utenti più deboli, più vulnerabili, incoraggiando una corretta progettazione e l'adozione di accorgimenti mirati all'aumento della sicurezza del

pedone in particolare in fase di attraversamento sugli appositi attraversamenti pedonali. La stessa Unione Europea ha proposto una maggiore attenzione sugli incidenti stradali in generale ed in particolare a quelli che coinvolgono il pedone. Al termine del terzo Programma di azione per la sicurezza stradale, la Commissione ha pubblicato degli orientamenti sulla sicurezza stradale che forniscono un quadro generale delle azioni che possono essere avviate a livello europeo, nazionale, regionale o locale dal 2011 al 2020. I nuovi orientamenti sul tema della sicurezza in generale e dei pedoni in particolare, prevedono al terzo punto di migliorare la sicurezza degli utenti vulnerabili della strada tra i quali si colloca il pedone.

1.2. I dati di incidentalità

Di seguito vengono riportati i dati Istat relativamente agli incidenti stradali registrati per l'anno 2012: in particolare si pone l'attenzione ai dati relativi all'investimento di pedone come evento incidentale (Istat, 2013).

Nel 2012 gli incidenti stradali con lesioni a persone rilevati in Italia sono stati 186.726 e hanno causato il decesso di 3.653 persone, mentre altre 264.716 sono rimaste ferite. Ogni giorno, durante il 2012, si sono verificati in media 512 incidenti stradali, che hanno comportato lesioni alle persone e, in particolare, la morte di 10 individui e il ferimento di altri 725. Rispetto al 2011, si riscontra comunque una diminuzione del numero di incidenti (-9,2%), feriti (-9,3%) e morti (-5,4%). In Italia, continua infatti il trend discendente del numero dei morti, già registrato nella precedente decade: tra il 2001 e il 2012, gli incidenti stradali con lesioni a persone sono passati da 263.100 a 186.726, con un calo complessivo del 29%; i morti sono passati da 7.096 a 3.653 (-48,5%) e i feriti da 373.286 a 264.716 (-29,1%).

Per proseguire l'azione di miglioramento e sensibilizzazione promossa dall'Unione Europea per la decade 2001-2010 attraverso il Libro Bianco del 2001, l'Assemblea Generale delle Nazioni Unite e la Commissione Europea hanno proclamato nel 2010 un nuovo decennio (2011-2020) di iniziative per la Sicurezza Stradale. L'obiettivo è quello di dimezzare ulteriormente il numero di decessi da incidenti stradali in Europa e nel mondo e diminuire il numero di feriti gravi. Tra gli altri obiettivi c'è anche il

miglioramento della sicurezza dei veicoli e delle infrastrutture e la sensibilizzazione degli utenti della strada a comportamenti corretti e responsabili. Nel 2013, la Seconda Settimana Mondiale della Sicurezza Stradale (6-12 maggio 2013), lanciata dalle Nazioni Unite, è stata proprio dedicata alla sicurezza del pedone.

La maggior parte degli incidenti stradali avviene tra due o più veicoli (73,4%) mentre i restanti casi (26,6%) vedono coinvolti veicoli isolati.

Nell'ambito degli incidenti tra veicoli, la tipologia di incidente più diffusa è lo scontro frontale-laterale, che registra 63.560 casi con 842 morti e 93.670 feriti, seguita dal tamponamento, che invece registra 33.777 casi con 325 morti e 55 persone ferite.

È proprio tra gli incidenti a veicoli isolati che l'investimento del pedone rappresenta l'evento più diffuso (10,1% degli incidenti) con 18.915 casi, in cui hanno perso la vita 534 persone e 21.400 sono rimaste ferite. La fuoriuscita o sbandamento del veicolo (9,2% sul totale incidenti) rappresenta la seconda tipologia di incidente tra quelle a veicoli isolati, con 17.098 casi, in cui sono decedute 724 persone e 21.396 sono rimaste ferite. L'indice di mortalità, rapporto tra il numero dei morti e il numero degli incidenti con lesioni a persone moltiplicato 100, mostra come lo scontro frontale sia la tipologia più pericolosa (5,22 decessi ogni 100 incidenti), seguita dalla fuoriuscita di strada (4,23 decessi ogni 100 incidenti), dall'urto con ostacolo accidentale (3,81 decessi ogni 100 incidenti) e dall'investimento di pedone (2,82 decessi ogni 100 incidenti) (figura 1.1).

NATURA DELL'INCIDENTE	Valori assoluti			Valori percentuali			Indice di mortalità (a)
	Incidenti	Morti	Feriti	Incidenti	Morti	Feriti	
Scontro frontale	11.284	589	19.028	6,1	16,2	7,2	5,22
Scontro frontale-laterale	63.560	842	93.670	34,0	23,0	35,4	1,32
Scontro laterale	22.251	174	29.151	11,9	4,8	11,0	0,78
Tamponamento	33.777	325	55.447	18,1	8,9	20,9	0,96
Urto con veicolo in momentanea fermata o arresto	6.245	78	8.501	3,3	2,1	3,2	1,25
Totale incidenti tra veicoli	137.117	2.008	205.797	73,4	55,0	77,7	1,46
Investimento di pedone	18.915	534	21.400	10,1	14,6	8,2	2,82
Urto con veicolo in sosta	2.066	36	2.429	1,1	1,0	0,9	1,74
Urto con ostacolo accidentale	7.778	296	9.661	4,2	8,1	3,6	3,81
Urto con treno	9	0	11	0,0	0,0	0,0	0,00
Fuoriuscita	17.098	724	21.396	9,2	19,8	8,1	4,23
Frenata improvvisa	768	5	857	0,4	0,1	0,3	0,65
Caduta da veicolo	2.975	50	3.165	1,6	1,4	1,2	1,68
Totale incidenti a veicoli isolati	49.609	1.645	58.919	26,6	45,0	22,3	3,32
Totale	323.843	3.653	264.716	100,0	100,0	100,0	1,13

Figura 1.1: Prospetto Istat relativo agli incidenti stradali con lesioni e persone infortunate secondo natura per l'anno 2012

Per l'anno 2012 le circostanze accertate o presunte alla base degli incidenti stradali con lesioni a persone si presentano sostanzialmente invariate rispetto all'anno precedente. Nell'ambito dei comportamenti errati di guida, il mancato rispetto delle regole di precedenza, la guida distratta e la velocità troppo elevata sono le prime tre cause di incidente (escludendo il gruppo residuale delle cause di natura imprecisata). I tre gruppi costituiscono complessivamente il 44,0% dei casi.

Il comportamento scorretto del pedone (8.028 casi) pesa per il 3,5% sul totale delle cause di incidente: percentuale superiore rispetto a quella registrata per la causa relativa alla mancata precedenza concessa ai pedoni sugli appositi attraversamenti, che invece registrata una percentuale pari al 2,8% sul totale (figura 1.2).

DESCRIZIONE CAUSE	Strade urbane		Strade extraurbane		Totale	
	Valori assoluti	%	Valori assoluti	%	Valori assoluti	%
Procedeva con guida distratta o andamento indeciso	27.381	15,8	11.051	19,2	38.432	16,6
Procedeva senza rispettare le regole della precedenza o il semaforo	32.896	19,0	4.505	7,8	37.401	16,2
- procedeva senza rispettare lo stop	11.025	6,4	1.887	3,3	12.912	5,6
- procedeva senza dare la precedenza al veicolo proveniente da destra	9.158	5,3	1.055	1,8	10.213	4,4
- procedeva senza rispettare il segnale di dare precedenza	10.752	6,2	1.434	2,5	12.186	5,3
- procedeva senza rispettare le segnalazioni semaforiche o dell'agente	1.961	1,1	129	0,2	2.090	0,9
Procedeva con velocità troppo elevata	16.340	9,4	9.567	16,6	25.907	11,2
- procedeva con eccesso di velocità	15.705	9,0	9.218	16,0	24.923	10,8
- procedeva senza rispettare i limiti di velocità	635	0,4	349	0,6	984	0,4
Procedeva senza mantenere la distanza di sicurezza	15.781	9,1	7.674	13,4	23.455	10,2
Manovrava irregolarmente	14.608	8,4	3.194	5,6	17.802	7,7
Svoltava irregolarmente	5.712	3,3	897	1,6	6.609	2,9
Procedeva contromano	3.651	2,1	1.702	3,0	5.353	2,3
Sorpassava irregolarmente	3.323	1,9	1.254	2,2	4.577	2,0
Non dava la precedenza al pedone sugli appositi attraversamenti	6.334	3,6	117	0,2	6.451	2,8
Ostacolo accidentale	3.573	2,1	2.262	3,9	5.835	2,5
Veicolo fermo in posizione irregolare urtato	2.358	1,4	392	0,7	2.750	1,2
Veicolo fermo evitato	1.569	0,9	1.928	3,4	3.497	1,5
Buche, ecc. evitato	893	0,5	635	1,1	1.528	0,7
Circostanza imprecisata	18.052	10,4	4.560	7,9	22.612	9,8
Altre cause relative al comportamento nella circolazione	6.593	3,8	1.987	3,5	8.580	3,7
Comportamento scorretto del pedone	7.500	4,3	528	0,9	8.028	3,5
Cause imputabili al comportamento scorretto del conducente e del pedone nella circolazione	166.564	96,0	52.253	90,9	218.817	94,7
Altre cause	7.028	4,0	5.228	9,1	12.256	5,3
Totale cause	173.592	100,0	57.481	100,0	231.073	100,0

Figura 1.2: Prospetto Istat relativo alle cause accertate o presunte di incidente per la categoria della strada per l'anno 2012

Il pedone è senza dubbio uno dei soggetti più deboli fra le persone coinvolte in incidenti stradali. Il rischio di infortunio, causato da investimento stradale, è particolarmente alto per la popolazione anziana, più frequentemente coinvolta nel ruolo di pedone sulla

strada. Il valore massimo si registra nella fascia di età compresa tra 80 e 84 anni (92) per quanto riguarda i morti, mentre per i feriti (1.544) in quella tra 75 e 79 anni (figura 1.3). Si segnala infine che risultano in aumento i decessi di pedoni di sesso maschile, rispetto al 2011, (da 333 a 357, pari a +6,7%) nonostante il calo complessivo dei pedoni vittime della strada (- 4,4% rispetto al 2011). Tale aumento, per gli uomini, riguarda soprattutto le classi di età 75-79 e 80-84 anni. Sempre fra i pedoni, diminuisce anche il numero dei feriti (-1,7% rispetto al 2011).

CLASSI DI ETÀ	Morti			Feriti		
	Maschi	Femmine	Totale M e F	Maschi	Femmine	Totale M e F
0-4	-	2	2	238	159	397
5-9	3	1	4	388	293	681
10 -14	2	3	5	569	512	1.081
15 -19	5	5	10	577	653	1.230
20 -24	8	3	11	528	569	1.097
25 -29	8	10	18	538	562	1.100
30 -34	8	6	14	554	553	1.107
35 -39	22	4	26	563	630	1.193
40 -44	14	8	22	604	643	1.247
45 -49	13	5	18	588	761	1.349
50 -54	12	9	21	542	763	1.305
55 -59	16	8	24	425	715	1.140
60 -64	21	11	32	508	703	1.211
65 -69	20	11	31	517	753	1.270
70 -74	37	24	61	633	855	1.488
75 -79	59	31	90	693	851	1.544
80 -84	56	36	92	563	675	1.238
85 -89	37	27	64	279	334	613
90 -94	9	2	11	85	73	158
95 -99	3	-	3	15	3	18
Imprecisata o non indicata	4	1	5	162	123	285
Totale	357	207	564	9.569	11.183	20.752

Figura 1.3: Prospetto Istat relativo ai pedoni morti e feriti per sesso e classe di età per l'anno 2012

1.3. I veicoli e le strade urbane

1.3.1. Il deflusso veicolare

I veicoli circolano con l'obbligo di rispettare un insieme definito di regole e convenzioni. I conducenti non scelgono le traiettorie a loro piacimento, ma si attengono a percorsi definiti e delimitati: le carreggiate. Specifiche regole di circolazione riguardano gli archi, elementi lineari della rete di trasporto (per esempio le strade), ed i vertici, elementi puntuali della rete di trasporto (per esempio le intersezioni). La

sicurezza è generalmente affidata alla marcia a vista, cioè il conducente giudica le condizioni in cui si ritrova, valuta le distanze che lo separano dagli altri, pondera le velocità relative e decide di conseguenza quali manovre siano o meno opportune. In condizioni di strada sgombra, ossia veicolo che procede sulla carreggiata come unico elemento, il conducente si sente libero di scegliere la propria velocità in funzione di tre parametri principali:

- caratteristiche del veicolo;
- caratteristica dell'infrastruttura sulla quale si transita;
- caratteristiche di chi è ospitato nell'abitacolo della vettura.

Tale velocità è definibile come velocità desiderata, V_d , per uno stesso punto lungo l'arco: i diversi valori registrabili per V_d hanno una distribuzione gaussiana abbastanza ampia. Si assume come valore V_d per l'insieme del flusso di circolazione il valore di picco della distribuzione gaussiana che è il più probabile. Se al primo veicolo se ne aggiunge un altro, i due di solito assumono distanze relative tali da non interferire con le rispettive V_d . Restando in questi ambiti, si definisce come densità della circolazione δ il rapporto:

$$\delta = \frac{\text{numero di veicoli}}{\text{lunghezza traiettoria da essi occupata}} \quad (1)$$

La circolazione è detta “a densità libera” quando, in corrispondenza di un vertice, i veicoli possano circolare liberamente sugli archi, che dal vertice si diramano, senza particolari autorizzazioni o limitazioni; viceversa, si parla di “densità controllata” quando al veicolo serve una preventiva autorizzazione (esempio semaforo verde).

Quando, lungo un arco di traiettoria, al singolo veicolo, si aggiungono uno o più mezzi, si è osservato che i conducenti tendono a mantenere reciproche V_d e proporzionate distanze di sicurezza. Resta invariata la dispersione della distribuzione gaussiana delle V_d , pur aumentando il valore di δ . Con l'accesso libero di altri veicoli, la condizione relativa alle distanze reciproche non può essere più rispettata. I conducenti sono quindi costretti ad adottare velocità di marcia $V < V_d$. Indicando con δ_d il valore di densità soglia oltre il quale le velocità saranno inferiori a V_d , possiamo dire che il condizionamento reciproco impone, per $\delta > \delta_d$, velocità condizionate ma non

necessariamente uguali tra loro.

Si avranno cioè nuove distribuzioni gaussiane la cui dispersione, per effetto del condizionamento, sarà inferiore. La velocità del flusso circolatorio, al crescere della densità, diminuisce fino al valore limite $V=0$ (cui corrisponde la densità limite δ_M) (figura 1.4).

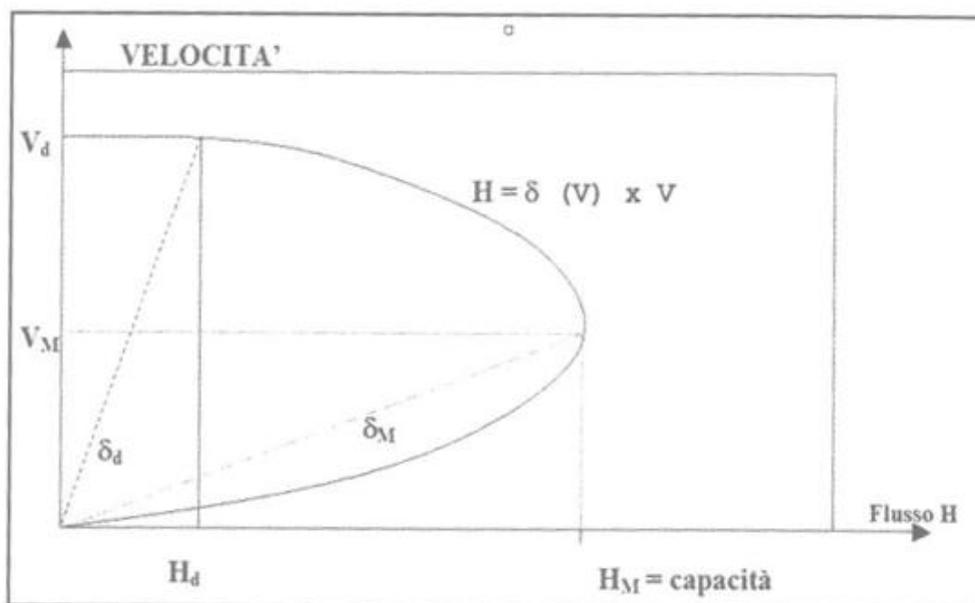


Figura 1.4: Curva di deflusso di un arco di infrastruttura stradale

1.3.2. La visione del conducente alla guida

Studi effettuati sulla capacità visiva necessaria per l'attività di guida mostrano l'importanza dell'acuità visiva (percezione dei dettagli delle immagini), della percezione del movimento e del campo visivo di ciascun occhio. Per determinare la composizione della vista e i confini del campo visivo, è necessario conoscere dove gli occhi sono orientati nello spazio. Ogni guidatore ha una visione diversa della strada. Da studi condotti nel Regno Unito è possibile evincere che l'altezza da terra degli occhi di un guidatore varia in un intervallo compreso tra 0,87 m ed 1,28 m con una media di 1,14 m. Quando si trattano problemi di visione in campo automobilistico, più che di linea di vista è necessario parlare di campo visivo, in quanto il guidatore per la conduzione del veicolo sfrutta la possibilità offerta dalla visione periferica. Il campo visivo bioculare umano nel piano orizzontale ha un'ampiezza di circa 120°, ma la

visione è nitida su una piccola area (Fovea Centralis) in prossimità della “linea di vista” (figura 1.5).

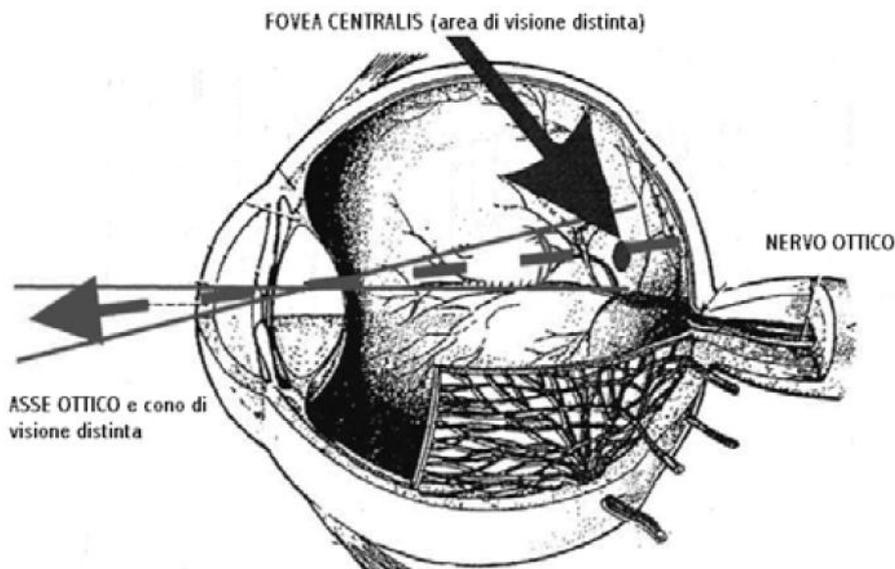


Figura 1.5: Cono di visione distinta corrispondente alla Fovea Centralis

In condizioni dinamiche l'ampiezza del campo visivo deve essere correlata con la velocità di percorrenza. Poiché la possibilità di messa a fuoco di un oggetto non è istantanea (in un soggetto normale occorrono circa 0,9 secondi), il guidatore tenderà, all'aumentare della velocità, a spostare la sua attenzione verso oggetti più lontani, in modo che per lui possano considerarsi come fissi e possano rappresentare un punto di riferimento fermo o comunque dotato di velocità relativa bassa rispetto al veicolo; ciò gli consentirà di trascurare la visione di quegli oggetti posti lateralmente all'abitacolo che avrebbero velocità relativa elevata e concentrare la sua attenzione su alcuni punti utili come riferimento per la guida.

La caratteristica del campo visivo umano è possibile esprimerla mediante due grandezze:

- la distanza di accodamento, ossia la distanza misurata tra l'occhio dell'osservatore e l'elemento su cui si fissa l'immagine;
- l'ampiezza del campo visivo, ossia la grandezza del cono visivo su cui il guidatore focalizza la sua attenzione.

Ambedue le grandezze che definiscono il campo visivo in condizioni dinamiche risultano variabili con la velocità.

L'utente alla guida infatti, all'aumentare della velocità, sarà portato a fissare lo sguardo su punti via via più lontani in quanto, per effetto della velocità, il campo di visione è contemporaneamente più ridotto. Graficamente, come si vede in figura 1.6, la visione del pilota, da un'auto che procede a 60 km/h, è focalizzata nei primi 300 metri ed ha un cono visivo di 38° di apertura; se l'auto procede ad 80 km/h, il conducente è portato ad indagare lo spazio fino a 400 metri avanti ed il cono ottico si restringe a 29° di apertura; quando poi la vettura raggiunge i 100 km/h, lo spazio indagato arriva fino a 600 metri avanti ed il cono visuale è ulteriormente ristretto ai 20° di apertura; e così via aumentando la velocità.

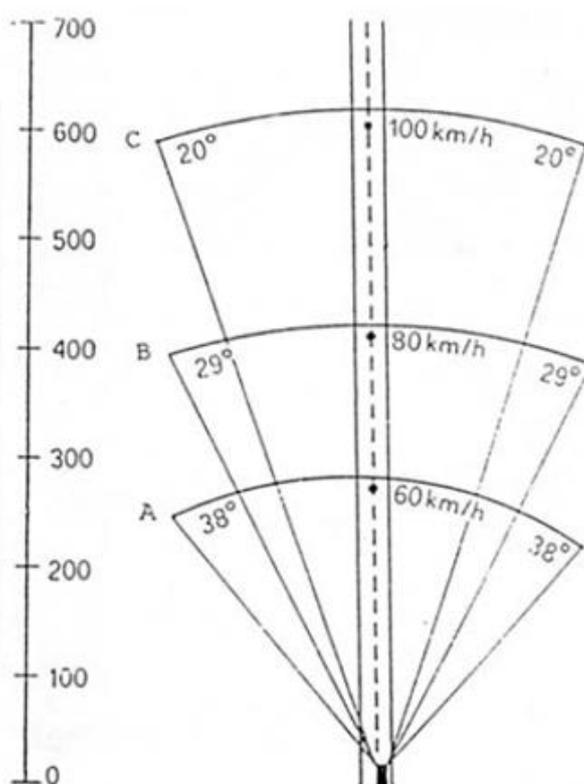


Figura 1.6: Comportamento ottico del conducente al variare della velocità

La condizione ideale per progettisti ed utenti della strada sarebbe quella di avere strade “self-explaining” (Theeuwes, Godthelp, 1992), cioè che si “spieghino da sole” grazie alle sole caratteristiche progettuali. Sfortunatamente, però, la maggior parte delle strade non possiede tale requisito. Quando le strade non sono “self-explaining” il comportamento dei piloti è maggiormente condizionato dalla propria attitudine, dal fattore umano, dalla esperienza che si ha della guida stessa.

I conducenti, durante la guida, cercano di carpire la maggior quantità di informazioni possibili: esse sono ricavabili sia dall'ambiente circostante, l'andamento della strada per esempio, sia da cartelli posti lungo il tracciato contenenti informazioni brevi di immediata comprensione. Il pilota alla guida cerca continuamente informazioni, sia quando la strada è poco frequentata, sia quando la densità di traffico veicolare e pedonale è elevata. L'accesso alle informazioni può essere non agevole, condizionato da fattori quali l'oscurità, le condizioni meteorologiche, l'abbagliamento dovuto al sole durante l'alba ed il tramonto, ecc. E' accertato che gli utenti classificano le strade durante la guida e impostano le loro reazioni temporali sulla base della loro esperienza di guida (Theeuwes e Diks, 1995).

La modalità con la quale il pilota cerca l'informazione è abbastanza semplice: "scansiona" l'ambiente stradale di fronte a sé, cercando le informazioni più significative, necessarie per quella particolare posizione spaziale e temporale che esso occupa. Il modo in cui si analizza l'ambiente, dipende dalla presenza o assenza di potenziali situazioni di pericolo; in generale il conducente cerca informazioni nell'ambiente stradale, per tutta la durata del viaggio. In figura 1.7 è schematizzata la sequenza di scansione operata dal conducente nell'atto della guida. Alla posizione I, il pilota osserva l'ambiente stradale e le condizioni di traffico, coglie le informazioni significative per quell'istante e per quella posizione e valuta le azioni per il controllo del veicolo (Tignor, 2006). Arrivati alla posizione I+1 lo schema si ripete, con conseguente rigenerazione delle informazioni salienti. La profondità del passo di scansione, come pure la velocità, non è costante ma varia da utente ad utente, in funzione del tipo di operazione che si sta effettuando, delle caratteristiche stradali e dell'ambiente circostante.

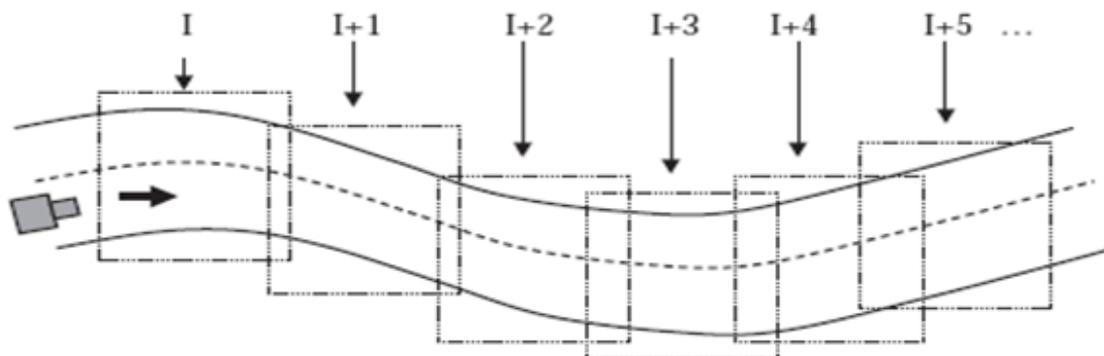


Figura 1.7: Il guidatore scansione la strada in settori per leggere il tracciato

Si riportano in tabella 1.1 le variabili che influenzano la lettura dello spazio da parte dei conducenti. Da notare che alcuni di essi sono strettamente connessi con il soggetto alla guida, altri sono dipendenti dall'ambiente.

Fattore	Variabili	
Utente	Età del conducente Abilità cognitiva Familiarità col tracciato	Esperienza Visione
Operazioni	Velocità Tipo di veicolo Densità di traffico	Carreggiata a senso unico Carreggiata a doppio senso
Infrastruttura	Classe funzionale Tipo di pavimentazione Larghezza della carreggiata Larghezza della banchina Bordo strada	Curvatura Condizioni proprie Assetto Spazio percepibile
Condizioni ambientali	Condizioni climatiche Presenza di pedoni Momento della giornata Luminosità	Strada urbana Strada rurale Presenza di pedoni

Tabella 1.1: Variabili di scansionamento

Se l'ambiente non presenta attività percepite dall'utente come minacciose, allora la velocità di scansione può essere più lenta e il conducente può avere anche il tempo per ammirare il panorama. Altre volte la velocità di scansione visiva può essere più alta a causa di una maggiore attività nell'ambiente stradale.

Le prime ricerche sulla scansione dell'ambiente durante la guida furono condotte da Mourant, Rockwell and Rackoff (1969), i quali affermano che gli utenti della strada possono ricevere ed elaborare in un breve periodo di tempo solo una quantità limitata di informazioni e non un insieme infinito di queste.

Per descrivere il tempo di percezione e reazione (perception-reaction time), Johansson e Rumar (1971) usarono una scala da 0 a 6 bit di informazione attesa ed inattesa che l'utente stradale può elaborare per secondo. Riscoprirono che il soggetto medio elabora circa 1 bit di informazioni per secondo, in situazioni impreviste, e 1,5 bit di informazioni per secondo, in situazioni previste. Poterono quindi affermare che più difficili sono i compiti con i quali l'utente deve confrontarsi, più lenta è la sua velocità di reazione.

In accordo con questa conclusione è l'ente statunitense *AASHTO*, secondo cui per situazioni impreviste molti conducenti richiedono tempi di reazione di 2,7 secondi (*AASHTO*, 2011). Perciò, i progettisti stradali e gli ingegneri del traffico devono pianificare e sviluppare l'ambiente stradale in relazione a questi tempi ed in accordo con le capacità di scansione degli utenti della strada. I progettisti usano spesso criteri basati sulla relazione distanza-velocità (distanza per l'arresto, per il sorpasso, per la visibilità delle intersezioni) per specificare gli elementi di progetto e nel posizionamento di dispositivi di gestione del traffico (semafori, ecc.), ma i criteri sulla distanza sono sempre basati sul tempo e su come i guidatori lo usano.

1.4. Il pedone e il contesto urbano

1.4.1. Il deflusso pedonale

Il comportamento dei pedoni è prevalentemente legato a fattori umani, la scelta dei percorsi è casuale, più legata al soggetto attore, che alle caratteristiche funzionali e fisiche delle infrastrutture stesse.

In generale non è possibile creare moduli di comportamento e reazione per il pedone, se non in scenari ben definiti nei quali le azioni possibili siano vincolate ad un'unica scelta possibile. Anche in quel caso comunque la reazione del soggetto potrebbe essere altamente variabile, imprevedibile. Paradossalmente è più plausibile attendere reazioni "standardizzate", quindi ipotizzabili, quando si pensa al gruppo di pedoni.

Fattori condizionanti il comportamento dei pedoni, intesi come gruppo omogeneo di utenti, che ne caratterizzano cioè i flussi e determinano la scelta dei percorsi, sono:

- età;
- condizioni di salute;
- sesso;
- trasporto di carichi;
- condizioni atmosferiche;
- lunghezza dello spostamento;
- pendenza o esistenza di dislivelli;

- condizioni della pavimentazione;
- peculiarità insediative delle zone attraversate;
- entità del flusso presente sulle infrastrutture.

L'età influisce certamente sulla velocità di camminata, con valori che variano da 0,6 m/s per utenti di 3 o 4 anni, ai circa 1,6 m/s per utenti di circa 20 anni.

La velocità media del pedone è stimata intorno a 1,34 m/s. A parità di condizioni, inoltre, la popolazione maschile ha una velocità media superiore del 10% rispetto a quella femminile. A basse temperature si registrano velocità medie più elevate.

I pedoni hanno la possibilità di scegliere la velocità, come gli automobilisti in condizioni di strada sgombra, possono effettuare sorpassi, spostarsi ed effettuare manovre senza conflitti, optare per brusche variazioni di velocità di camminata. La percezione della qualità del servizio di una infrastruttura pedonale è legata strettamente a comfort e sicurezza.

Sono quindi elementi importanti lo stato della pavimentazione, pendenze affrontabili e misurate, la presenza di ripari per la pioggia, gli elementi di separazione tra traffico veicolare e flusso pedonale, l'illuminazione dei percorsi. Analogamente a quanto visto per i veicoli, anche per i pedoni possiamo parlare di velocità V , densità δ e ricavare un analogo diagramma che metta in relazione velocità e densità (figura 1.8).

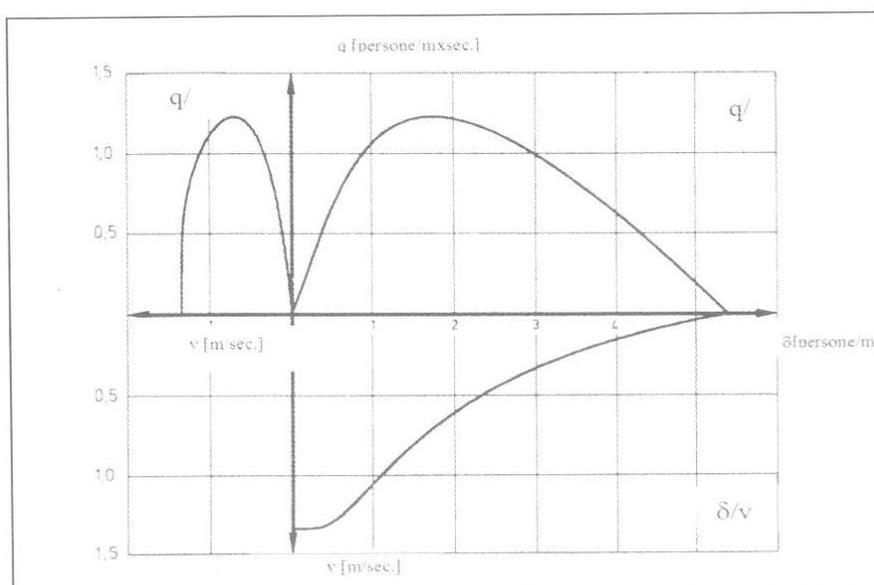


Figura 1.8: Curva di deflusso di un arco di infrastruttura pedonale

Ancora emerge che all'aumentare del flusso e della densità delle correnti pedonali, decrescono velocità e facilità al movimento.

Al superamento di un valore critico di δ , flusso e velocità decrescono rapidamente. Il numero di persone che, nell'unità di tempo t , attraversano una sezione di larghezza B è dato da:

$$N = \delta V B t \quad (2)$$

da cui segue che il flusso Q , in termini di persone al secondo, ed il flusso specifico Q_s , in termini di persone al secondo per unità di larghezza della sezione da attraversare, sono date da:

$$Q = \frac{N}{t} = \delta V B \quad (3)$$

$$Q_s = \frac{Q}{B} = \delta V \quad (4)$$

La relazione fondamentale tra flusso specifico Q_s e densità δ per una strada pedonale soggetta a flusso unidirezionale, definita sperimentalmente, assume la seguente forma:

$$Q_s = V_0 \delta \left(1 - e^{-1,913 \left(\frac{1}{\delta} \frac{1}{\delta_{max}} \right)} \right) \quad (5)$$

dove: V_0 è la velocità media in piano, posta pari a 1,34 m/s; δ_{max} è la densità massima, considerata pari a 5,4 persone per m^2 . Il massimo flusso specifico Q_s associato a tale relazione sperimentale è risultato pari a 1,2 persone per metro al secondo e si è raggiunto con una $\delta_{max}=1,75$ persone a m^2 , aventi una velocità di 0,7 m/s.

Nel caso di scalinate o pendenze, le relazioni appena illustrate saranno distinte tra salita e discesa, e differiranno da quelle piane in termini di velocità, che sarà inferiore; le conseguenti curve di deflusso saranno più schiacciate. Nel caso in cui il flusso attraversa

la sezione ipotetica considerata, sia bidirezionale, avremo una ulteriore diminuzione, proporzionale al restringimento dello spazio utile alla marcia, quindi alla capacità effettiva dell'infrastruttura per senso di marcia.

1.4.2. La visione del pedone

Le percezioni olfattive ed uditive tra pedone e automobilista, sono invece profondamente diverse. L'automobilista è immerso in un contesto privato, i rumori esterni sono ovattati e distanti, difficilmente colpiscono l'attenzione del pilota. Da notare inoltre che spesso chi è alla guida è coinvolto in un dialogo tra gli occupanti della vettura, o ascolta la radio.

Ognuno di noi è un pedone. Il più sensibile ai cambiamenti dello spazio urbano, colui che più è a contatto con la città, ne vive le evoluzioni, ne soffre i degradi. Rispetto ad automobilisti e ciclisti, percepisce gli spazi più lentamente e proprio per questo, la sua lettura degli elementi dell'ambiente circostante è maggiore e a sua disposizione ci sono molte informazioni. Il suo lento incedere permette di misurare la città, lo spazio, la sua visione prospettica è ampia, l'angolo prospettico visuale abbraccia gli immediati dintorni ed è molto variabile, può cogliere anche gli aspetti più nascosti dell'ambito urbano.

Tale percezione è però soggettiva e vincolata a fattori spesso aleatori; basta porsi lungo una strada cittadina all'ora di punta, per cogliere l'effetto negativo del traffico veicolare sull'utente pedone: la visione è impedita, quindi parziale, e dedicata ad elementi che spesso colpiscono l'attenzione individuale agendo su fattori anche psicologici, non solo oggettivi. Le emissioni sono sgradevoli e portano il pedone ha il desiderio di allontanarsi velocemente, spesso senza effettuare una lettura approfondita dei possibili pericoli.

I richiami acustici disturbano la concentrazione, coinvolgono il soggetto pedone, suo malgrado, in situazioni che non lo riguardano nell'immediato, distogliendo però la sua attenzione dai pericoli o dalla lettura dello spazio a sé immediato e raggiungibile. Il soggetto pedone quindi, attore nella strada, interagisce col traffico veicolare mediante vista, olfatto, udito, propria esperienza maturata in ambito stradale, propria capacità di reazione di fronte agli stimoli esterni, il pericolo per esempio. Quest'ultimo fattore acquisisce notevole importanza in soggetti anziani, in soggetti molto giovani e in utenze

portatrici di handicap.

Dal punto di vista visivo, il traffico pedonale non è così diverso da quello veicolare: non vi è differenza tra una strada invasa da pedoni ed una invasa da automobili, la percezione è limitata agli spazi adiacenti e quindi è alterata, le informazioni disponibili vengono colte in quantità inferiore.

1.5. La promiscuità dei flussi

La diffusa promiscuità dei flussi nelle aree urbane deriva dalla combinazione di svariati fattori, primi fra tutti, gli assetti urbanistici e la distribuzione dell'offerta di trasporto. A seguito della crescente promiscuità di traffico, soprattutto nelle aree urbane, l'incidente pedonale è diventato uno dei problemi più gravi del sistema dei trasporti, comportando spesso perdita di vite ed enormi costi sociali. La gestione della contemporanea presenza di flussi pedonali ed autoveicoli è particolarmente complessa. In relazione alle direzioni di marcia dei flussi, si individuano:

- promiscuità longitudinale;
- promiscuità trasversale.

Si descrivono di seguito i due tipi di promiscuità e la loro conseguente gestione, dando maggiore rilievo alla promiscuità trasversale, ossia l'interazione tra veicolo e pedone in corrispondenza degli attraversamenti pedonali, oggetto di studio della tesi.

1.5.1. La promiscuità longitudinale

Le interazioni longitudinali sono associate fisicamente al deflusso parallelo tra autovetture e pedoni lungo il marciapiede o la carreggiata.

In genere tali interazioni sono generate da problemi di ridotta capacità, o totale assenza, delle infrastrutture pedonali in relazione ai flussi che le percorrono, da comportamenti anomali che i pedoni stessi possono assumere o ancora da usi promiscui di aree, quali i centri storici, dove la sede è utilizzata contemporaneamente da mezzi a motore e pedoni. L'interazione longitudinale tra pedoni e veicoli genera un deflusso instabile in entrambe le correnti di traffico, con frequenti manovre di diversione, frenata ed arresto. Sul tratto

di carreggiata a regime promiscuo, la marcia è caratterizzata da basse velocità di percorrenza, con frequenti manovre di accelerazione ed arresto. Anche in presenza di ridotta densità veicolare, il regime di marcia può risultare fortemente instabile in relazione al numero di pedoni presenti. Il raggiungimento del valore di densità critica lungo il tratto promiscuo, corrispondente alla capacità, è individuabile in corrispondenza di bassi flussi veicolari e flussi pedonali di media entità.

Le interazioni longitudinali, poiché derivanti da un improprio uso delle infrastrutture, richiedono azioni volte ad eliminarle. Saranno quindi da adottarsi come misure efficaci, gli interventi di ampliamento dei marciapiedi, la pedonalizzazione di aree a forte densità pedonale, magari studiando nuovi percorsi per il flusso veicolare e l'installazione di elementi di separazione "para-pedoni".

1.5.2. La promiscuità trasversale: gli attraversamenti pedonali

La promiscuità trasversale è rappresentata dagli attraversamenti pedonali. In letteratura è dato ampio spazio all'analisi dei conflitti tra pedoni e veicoli in prossimità dei passaggi pedonali, questo per via della capillare diffusione degli attraversamenti, soprattutto in aree urbane, e per il sempre maggiore numero di incidenti che coinvolgono la parte debole di utenza. La difficoltà di attraversamento ed i conseguenti ritardi, sono influenzati oltre che dalle caratteristiche del soggetto pedone, anche dall'entità del flusso di veicoli che transita sul passaggio pedonale, dalla sua densità e dal numero dei pedoni stessi (Hunt, Abduljabbar, 1993; Russel, Hine, 1996). Il ritardo medio del pedone è funzione del volume di traffico e della larghezza della carreggiata: maggiore è la densità di veicoli, maggiore è il ritardo del pedone ad eseguire l'attraversamento; maggiore è la larghezza della strada, maggiore è il tempo necessario ad attraversare e conseguentemente maggiore deve essere lo spazio tra i veicoli che procedono perché l'attraversamento sia possibile per il pedone.

Le intersezioni trasversali, come quelle longitudinali, non sono di facile gestione: non è possibile eliminarle, né è concepibile, almeno in un contesto urbano, la netta separazione tra i flussi. Esse vanno gestite pensando all'utente debole fra le tipologie di flussi che interagiscono: il pedone (Cappelli, Luongo, Mallano, Petruccelli, 2001).

Si dovranno considerare nella progettazione delle intersezioni pedonali la velocità del traffico reale ed imposta, la sua densità, la larghezza della carreggiata (parametro

determinante per i tempi di attraversamento), le posizioni in cui sono ubicati gli attraversamenti pedonali nei confronti della rete viaria, la necessità che il conducente visioni interamente l'intersezione durante l'avvicinamento, l'illuminazione dei luoghi di rischio. E' importante precisare che l'intersezione deve essere visibile da una distanza di almeno 50 metri, necessari per la diminuzione di velocità e l'arresto di un veicolo che proceda entro i limiti consentiti, e nelle più sfavorevoli condizioni atmosferiche e di luminosità.

Il fattore velocità è quello maggiormente influente fra quelli elencati: un veicolo che procede a 50 km/h, dopo una frenata di 23 metri, ha ancora una velocità di 35 km/h, sufficiente per ferire gravemente o uccidere un passante. La probabilità di morte è quindi chiaramente proporzionale alla velocità di arrivo dei veicoli (Anderson, McLean, Farmer, Lee, Brooks, 1997) (figura 1.9).

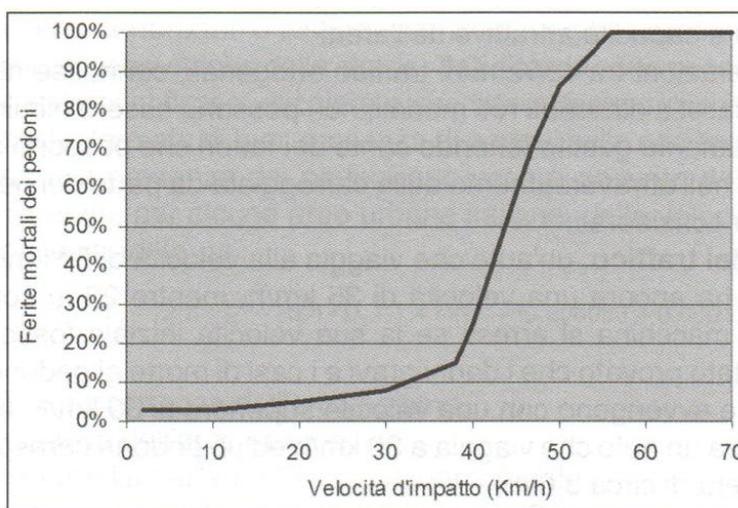


Figura 1.9: Probabilità di ferite mortali in relazione alle velocità di impatto

In riferimento alla figura 1.10, assunta la velocità media di 1,4 m/s per il pedone, in una carreggiata di larghezza 8 metri, servono 3 secondi perché colui che attraversa, procedendo dal marciapiede sinistro, raggiunga il punto di conflitto sulla carreggiata. La distanza critica tra un veicolo in arrivo ed un pedone sul marciapiede sinistro, è compresa tra i 56 ed i 28 metri per una velocità di 50 km/h (Busi, Tiboni, 2003).

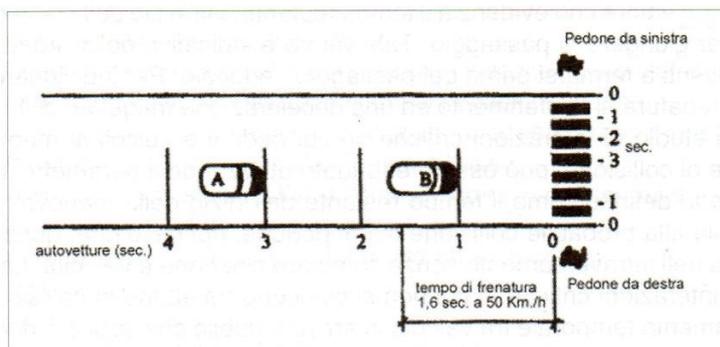


Figura 1.10: Tempo per veicoli e pedoni per raggiungere il punto d'incontro

Una maggiore sicurezza per i pedoni richiede quindi una corretta progettazione degli attraversamenti in termini di ubicazione degli stessi in rapporto ai punti di attrazione sul territorio, la buona indicazione ai veicoli dei punti di passaggio per i flussi pedonali, la disponibilità di distanze visive di contatto tra veicolo e pedoni di almeno 50 metri, la gestione delle velocità dei veicoli prossimi all'attraversamento pedonale.

L'analisi di questa interazione è complicata per l'apparente mancanza di una chiara comprensione legislativa del diritto di passaggio. Anche se molti stati (come l'Italia) hanno una legislazione in atto che impone ai veicoli di dare la precedenza ai pedoni in attraversamento sulle strisce pedonali, le osservazioni sul campo rendono evidente che il rispetto di tale norma non sempre è applicato.

Il comportamento degli utenti, oltre che dai flussi in gioco, risulta condizionato dalle caratteristiche funzionali del nodo che costituisce l'intersezione delle traiettorie tra pedone e veicolo. Ciò comporta evidenti difficoltà nel definire un comportamento ideale e generale in corrispondenza di tali nodi.

Esiste, inoltre, una mutua influenza tra i comportamenti dei pedoni e dei conducenti dei veicoli in base a valutazioni di parametri percettivi e fisico-dinamici fatte da quegli utenti della strada che si trovano in un potenziale conflitto.

I conducenti e i pedoni usano metodi di comunicazione non verbale per determinare la priorità di attraversamento. La disponibilità del conducente del veicolo di cedere la precedenza e la grinta con cui un pedone attraversa sulle strisce pedonali sono due dei molti fattori che possono influenzare questa interazione. Altri fattori possono essere la sezione trasversale della strada, il tipo di attraversamento o il livello generale di congestione in corrispondenza della posizione dell'attraversamento. Questi processi comportamentali vengono trattati di seguito.

1.5.2.1. Comportamento del conducente del veicolo

La sicurezza dei pedoni agli attraversamenti è fortemente legata al comportamento di guida del conducente del veicolo e, in particolare, all'adattamento della velocità del mezzo meccanico in relazione alla posizione del pedone sulla carreggiata o sul marciapiede.

Nell'interazione pedone-veicolo, quindi, si prevede che il veicolo ceda la precedenza quando è legalmente tenuto a farlo.

Nelle valutazioni riguardanti gli attraversamenti pedonali non semaforizzati è usuale utilizzare come fattore discriminante la percentuale di conducenti che cedono la precedenza ai pedoni. Recenti studi sul comportamento dei veicoli in prossimità degli attraversamenti hanno mostrato che la disponibilità dei conducenti a cedere la precedenza ai pedoni è alquanto bassa (si parla del 30%). Al contrario spesso i conducenti assumono atteggiamenti non conformi al Codice della Strada, aumentando la velocità in corrispondenza degli attraversamenti zebrati al fine di ridurre i perditempo connessi al rallentamento.

Diversi studi hanno cercato di individuare i fattori che contribuiscono al processo del cedere precedenza.

Geruschat ha trovato che la probabilità che gli automobilisti diano la precedenza ai pedoni è una funzione della velocità del veicolo in avvicinamento. Anche Varhely aveva individuato come la percentuale di cui prima, cresce se le velocità d'arrivo all'attraversamento sono basse, evidenziando come la presenza dei pedoni sul marciapiede non influenzi significativamente la riduzione dell'andamento dei veicoli. Nello stesso studio si evidenzia come variazioni del comportamento del conducente si siano riscontrate nei casi di pedoni che attraversano contemporaneamente o in presenza di plotoni di veicoli.

Harrell ha rilevato che i conducenti del veicolo sono più propensi a cedere la precedenza a pedoni con abiti dai colori vivaci o coloro che sono più intraprendenti, quindi pedoni che sono già in attraversamento piuttosto che passivamente sul bordo del marciapiede.

Secondo Sun, i conducenti anziani sono più propensi a cedere la precedenza rispetto ai più giovani, che gli utenti di sesso maschile danno precedenza in proporzione maggiore rispetto a quelli femminili, e che i conducenti di veicoli pesanti cedono la precedenza molto più spesso rispetto a quelli di autovetture. Quest'ultimo dato può essere attribuito

ad una elevata percentuale di veicoli di trasporto pubblico inseriti nella classe dei veicoli pesanti. Infine, gli autori hanno trovato che la probabilità che un veicolo ceda la precedenza ad un pedone aumenta se è già presente un atteggiamento simile da parte di un veicolo adiacente.

Anche le caratteristiche dell'area urbana possono condizionare l'atteggiamento del conducente del veicolo. Diverse esperienze e studi sul campo mostrano che la percentuale dei conducenti che rispettano le norme di precedenza agli attraversamenti pedonali non semaforizzati può variare in modo significativo tra siti differenti e per i diverse configurazioni di attraversamento. Una configurazione caratterizzata dalla presenza di più attraversamenti posti a distanze ravvicinate, può portare ad una scarsa disponibilità a cedere il passaggio ai pedoni che devono quindi forzare l'attraversamento, costringendo l'altro utente ad una frenata più o meno brusca.

Allo stesso tempo, è probabile che venga data precedenza anche in luoghi senza demarcazione delle strisce pedonali, rendendo le procedure HCM2000 (Highway Capacity Manual) inapplicabili in molte località. Nella nuova versione del manuale che si sta sviluppando attualmente, questa limitazione purtroppo non è stata sufficientemente trattata, rendendo persistente il problema.

Concettualmente, il comportamento in presenza dei pedoni è simile a quello che può nascere a seguito del segnale di "giallo" nel caso di intersezione semaforica, dove si riconosce che la capacità di un conducente di fermarsi è funzione del tempo di reazione e del valore di decelerazione assunto.

Di conseguenza, un comportamento corretto da parte del conducente è possibile solo se la velocità di viaggio, la distanza dalla zona di conflitto e la decelerazione massima possibile permette di reagire in maniera ragionevole all'arrivo di un pedone a causa della rapidità di viaggio del veicolo, la distanza dalla zona di conflitto, e la massima velocità di decelerazione per il singolo conducente.

Il capitolo pedonale in HCM afferma che in caso di attraversamenti con sole strisce pedonali, la procedura per il calcolo del ritardo pedonale "non si applica, in quanto i pedoni hanno il diritto di passaggio". Il metodo assume piena conformità alla legislazione che richiede ai conducenti di veicoli di cedere la precedenza ai pedoni in attraversamento pedonale.

1.5.2.2. Comportamento del pedone

Per valutare correttamente il varco di tempo accettabile perché l'attraversamento avvenga in sicurezza, occorre spostare l'analisi dal punto di vista del pedone. La popolazione dei pedoni deve essere trattata in modo molto diverso da quella veicolare. I pedoni non hanno tragitti rigidamente canalizzati, la loro velocità può variare in base all'età e alle condizioni fisiche, possono incrociare le loro traiettorie in maniera casuale e hanno profili di accelerazione/decelerazione quasi istantanei.

Risulta necessario, quindi, valutare preliminarmente la natura eterogenea della popolazione pedonale. Infatti, mentre per i conducenti del veicolo il varco accettabile è fortemente legato alla capacità di accelerazione del mezzo, le decisioni dei pedoni dipendono da attività e da attributi individuali. Una popolazione tipica include studenti, anziani, pedoni non vedenti, bambini e persone con passeggini. Vi sono differenze drastiche nelle capacità e nella volontà decisionale di questi sottogruppi. E' verosimile, infatti, supporre che il divario minimo accettabile sia più basso per i più giovani che per gli anziani. Alcune ricerche su attraversamenti pedonali lungo i tronchi stradali hanno trovato che i pedoni tendono a mostrare un comportamento meno paziente e, di conseguenza, più rischioso quando aspettano più di 30 secondi. Di conseguenza, la HCM prevede un rischio crescente con l'aumentare del ritardo nell'attraversamento del pedone. Il fenomeno del mancato rispetto della precedenza potrebbe essere interpretato anche nell'ottica di un adeguamento del divario critico ad una soglia più bassa, sollevando la questione della dipendenza del varco accettabile in funzione del tempo di attesa. D'altra parte, Sun ha trovato un aumento del divario medio accettabile quando i tempi di attesa aumentano. Gli autori hanno spiegato questa tendenza, considerando che i pedoni in procinto di attraversare, dopo lunghi tempi di attesa, tendono ad essere più attenti e quindi ad accettare divari sempre meno brevi o rischiosi.

E', inoltre, naturale pensare che un pedone modificherà il proprio atteggiamento se si trova di fretta rispetto a quando è rilassato variando la propria velocità. Ad esempio, il capitolo HCM sui pedoni raccomanda una velocità di camminata di 3,9 piedi/sec (1,2 m/sec), con una velocità ridotta a 3,1 piedi/sec (1 m/sec) se la percentuale dei pedoni anziani supera il 30%. Bennett ha studiato le velocità pedonali in corrispondenza di attraversamenti posti su intersezione e su tronchi stradali e hanno trovato velocità medie più lente in corrispondenza delle seconde. Fitzpatrick raccomanda, in un recente

rapporto NCHRP, di abbassare la velocità di cammino del pedone a 3,5 ft / s (1,1 m/sec), ma riconosce inoltre che velocità ancora più basse possono essere opportune in determinati casi. Infatti la variabilità della velocità del pedone è un fattore determinante quando si parla di problemi legati all'attraversamento poiché è direttamente proporzionale al tempo richiesto per superare una determinata distanza.

1.6. La moderazione del traffico

I sistemi di moderazione del traffico entrano quindi in gioco quando è necessario ridurre il conflitto tra diverse tipologie di utenti stradali, garantendo in assoluto la sicurezza degli individui e abbassando sensibilmente le criticità locali. Essi devono favorire l'utilizzo della strada in modo vario senza costituire pericolo per le classi di utenza e senza sovraccaricare l'ambiente con segnaletica superflua. Vanno però opportunamente segnalati per poter essere percepiti come elemento anomalo della circolazione, consentendo quindi al conducente di adeguare il proprio stile di guida a ciò che dovrà affrontare.

L'applicazione degli elementi di moderazione del traffico deve essere accuratamente studiata nell'interezza del contesto urbano cui va applicata. Non può essere progettata come intervento isolato, ma, affinché sia efficace, deve essere un intervento omogeneo in una definita area, meglio se di ampie proporzioni. L'esperienza tedesca ci insegna che l'intervento puntuale isolato genera la deviazione del flusso veicolare verso percorsi urbani alternativi. Risolve cioè il problema nel punto di applicazione, spostandolo però in altre aree; soluzione inaccettabile (Busi, Zavanella, 2003). L'uso di interventi puntuali deve quindi essere diffuso all'interno di un contesto urbano, ciò consente di abituare il conducente ad una andatura moderata, fornendo contemporaneamente una percezione immediata della gerarchia stradale in cui esso transita. Troveremo sistemi di moderazione del traffico nei punti di accesso a zone a traffico limitato o moderato, in corrispondenza di intersezioni pedonali e stradali, lungo l'asse viario della carreggiata.

Le strategie di moderazione possono essere suddivise in due grandi categorie: una finalizzata alla riduzione dei volumi di traffico, l'altra dedicata alla riduzione della velocità di marcia.

Secondo i modelli forniti dagli esempi europei, la moderazione della velocità si attua tramite:

- interventi puntuali;
- interventi lungo l'asse viario;
- interventi coordinati.

Le realizzazioni puntuali corrispondono ad una particolare azione o ad un preciso trattamento della sede stradale, realizzato in ambito ridotto, la cui funzione principale è quella di indurre negli automobilisti il comportamento corretto. Gli interventi puntuali agiscono sia a favore della diminuzione di velocità, sia nella limitazione delle possibilità di accesso a determinate e circoscritte aree (ZTL, Zone30, per esempio). Le tipologie più diffuse di interventi puntuali, la cui adozione e scelta è prerogativa del progettista, riguardano:

- la segnaletica orizzontale e verticale (attraversamenti pedonali rialzati per esempio);
- gli sfalsamenti altimetrici in rilievo sulla pavimentazione (dossi, pedane rialzate, cuscini berlinesi, ecc.);
- gli sfalsamenti planimetrici (restringimenti di carreggiata, chicane, isole salvagente, isole salva-pedone, avanzamento dei marciapiedi, ecc.);
- i trattamenti superficiali (vernici a contrasto, bande sonore, bande ottiche, ecc.);
- interventi lungo l'asse stradale e nei tronchi intermedi, dove devono essere messi in evidenza punti potenzialmente pericolosi.

Gli interventi lungo l'asse viario, riguardano un tratto esteso di strada e sono volti a rompere la continuità prospettica della stessa, mediante inserimento di ostacoli alla visuale. Si esegue cioè un disegno progettuale programmato, funzione degli obiettivi attesi, e si dispongono interventi puntuali a costituire nell'insieme l'intervento lungo l'asse. Quest'ultimo può interessare i percorsi residenziali o anche, ad esempio, le Zone30. Questo tipo di intervento non tende all'unico risultato di migliorare la sicurezza del traffico, ma è volto a scoraggiare il flusso in transito per garantire minore disturbo all'area urbana, minore congestione dei parcheggi, garantire la mobilità di ciclisti e pedoni.

Gli interventi coordinati si utilizzano per la creazione di percorsi protetti (ad esempio percorsi casa-scuola, piste ciclabili, zone ad abbattimento totale delle barriere

architettoniche, ecc.); essi rappresentano quella classe di interventi riferiti a situazioni complesse.

1.6.1. Metodologia di applicazione degli elementi di moderazione del traffico

La metodologia per l'inserimento degli elementi di moderazione del traffico è costituita da tre fasi:

- Prima fase: le indagini;
- Seconda fase: lo stato di fatto;
- Terza fase: il progetto.

La fase di indagine serve per identificare la funzione svolta dalla strada nell'ambiente urbano in cui è inserita. Si individua quindi la classe funzionale della strada o, nel caso in cui l'Amministrazione Comunale non avesse adottato un piano urbano del traffico, se ne individua una opportuna. Si evidenziano i punti attrattori di traffico esistenti nell'area di indagine o ad essa adiacenti, si analizzano quantitativamente e qualitativamente i tipi di flussi che interessano i percorsi viari nell'area in esame (sarebbe utile conoscere anche le velocità nei tratti) e si valuta la geometria dei percorsi possibili. Da questa indagine dovrebbero emergere gli itinerari più idonei.

Sempre in questa prima fase, si valutano le aree di rischio, le dinamiche di incidente, le cause ricorrenti, se ce ne sono, andando a ricercare tra gli incidenti avvenuti negli ultimi anni. E' importante localizzare gli incidenti in planimetria al fine di individuare quali siano le modalità frequenti con cui essi si presentano.

Nella seconda fase si rendono esplicite le diverse criticità e si individuano quali caratteristiche tecniche dovranno avere gli elementi infrastrutturali che si proporranno nella successiva fase di progetto. Si indagano, cioè, i vincoli dell'ambiente e le incompatibilità esistenti tra lo stato in essere e le effettive esigenze dei flussi ricercando, tra le possibili, le soluzioni più idonee.

Nella terza fase, scelti gli elementi di moderazione più opportuni, se ne fa il progetto effettivo. Importante è verificare che la scelta degli elementi moderatori, finalizzata a risolvere una problematica per una categoria di utenti della strada, non risulti poi dannosa ad altri utenti. Per esempio: le intersezioni pedonali rialzate alla quota dei marciapiedi, sono ottimali per chi ha difficoltà motorie, dissuasori della velocità dei

veicoli in arrivo, ma penalizzanti per i soggetti ipovedenti che in esse perdono i riferimenti (la differenza di quota per l'appunto).

E' da tenere presente che la normativa italiana è in notevole ritardo riguardo agli elementi di moderazione del traffico, non si hanno indicazioni precise riguardo ai dimensionamenti degli elementi infrastrutturali stradali urbani per gli interventi puntuali, ci si rifà alle raccomandazioni di altre nazioni europee. Alcune città europee, infatti, hanno da tempo optato per l'applicazione degli strumenti di moderazione del traffico nelle vie primarie del tessuto urbano ed hanno adottato sistemi per la misurazione di velocità e densità di flusso veicolare. Le normative dovrebbero fornire strumenti e regole per ottenere prodotti di qualità, lo sviluppo della moderazione del traffico in Europa e nel mondo, ha seguito le regole del buon senso e della sperimentazione, i vari paesi hanno emesso schede, esempi informativi e norme anche molto diverse. Esistono in merito quindi pubblicazioni di varia natura (libri, bollettini, pieghevoli, ecc.), redatte dai vari enti di ricerca nazionali, corredate di indicazioni geometriche, schemi, foto e testi esplicativi completi di commenti critici riguardanti l'esito dell'intervento (Francia, Danimarca). Anche in Italia però assistiamo ad esperienze di riqualificazione di strade esistenti con l'obiettivo di migliorare la mobilità valorizzando il sistema urbano attraversato e rispettandone le esigenze peculiari. Una maggiore attenzione è posta al tema della sicurezza, all'importanza dell'arredo urbano ed alla qualità dello spazio pubblico, alla convivenza di flussi promiscui in cui l'utenza debole è tutelata. La provincia di Bologna in particolare offre una ricchezza di soluzioni progettuali che si ricollegano alle migliori esperienze europee in ambito di riqualificazione stradale.

1.6.2. La moderazione del traffico per le intersezioni pedonali e semaforiche

La corretta disposizione degli attraversamenti pedonali lungo il tracciato stradale, può dare di per sé un buon contributo alla riduzione del tasso di criticità e quindi è già un elemento di moderazione del traffico. Il Codice della Strada definisce gli attraversamenti pedonali come quella *“parte della carreggiata, opportunamente segnalata ed organizzata, sulla quale i pedoni in transito dall'uno all'altro lato della*

strada godono della precedenza rispetto ai veicoli” (Articolo 3). L'Articolo 145 del Regolamento di attuazione, invece, ne definisce le caratteristiche geometriche. Interventi puntuali di moderazione del traffico per evidenziare la presenza degli attraversamenti pedonali, specie nelle intersezioni, ed indurre nei conducenti la consapevolezza di una zona di possibile pericolo in prossimità, potrebbero essere:

- applicazione di dissuasori;
- dimensionare la larghezza degli attraversamenti pedonali in funzione dei flussi reali o presunti, specie in corrispondenza di elementi attrattori (scuole, ospedali, ecc.);
- creare isole salvagente in caso di attraversamenti di lunghezza superiore ai 12 metri;
- dotare gli attraversamenti di segnali luminosi o renderli bene illuminati se esiste una illuminazione urbana stradale;
- realizzare gli attraversamenti pedonali con materiali di colore e forma contrastanti con il manto bituminoso, in modo da consentire al conducente di avvistare la zebra da notevole distanza, soprattutto nelle ore notturne ed in condizioni di scarsa luminosità.

Si considera inoltre una buona norma progettuale la distribuzione capillare degli attraversamenti pedonali in area urbana (almeno uno ogni 50 metri), in modo da spingere il pedone a scegliere il punto riservato all'attraversamento pedonale, che è ben evidenziato ai veicoli che sopraggiungono, piuttosto che la traiettoria dettata dal caso.

Si distinguono: attraversamenti pedonali sfalsati, semaforizzati e zebra, da utilizzarsi in base alle esigenze di progetto (tabella 1.2). In merito alle intersezioni semaforizzate, è bene sottolineare che esse presentano specifici valori minimi e massimi di capacità, è bene quindi in fase di progetto, valutare se i flussi di traffico da smaltire (sia veicolare che pedonale), giustificano l'installazione di un impianto semaforico e quale entità hanno.

Strada	Attraversamenti pedonali				
	Tipo	Ubicazione preferenziale	Distanza		Larghezza minima [m]
			Max	Min	
Primaria	Sfalsati		400		3.00
Di scorrimento	Sfalsati/semaforizzati	All'intersezione	200	150	3.00
Di quartiere	Semaforizzati/zebrati	All'intersezione	200	100	4.00
Locale	Zebrati	All'intersezione	200	100	3.00

Tabella 1.2: Classificazione degli attraversamenti pedonali in funzione della tipologia stradale

In rapporto alla durata del ciclo semaforico ipotetico, necessario allo smaltimento dei flussi pedonali, si ha la determinazione del tipo di attraversamento più opportuno da inserire nel progetto:

- per cicli semaforici di durata inferiore ai 30 secondi, quindi scarso flusso pedonale, non vale la pena di installare un impianto semaforico. Si opta per intersezioni a raso zebrate;
- per cicli semaforici di durata compresa tra i 30 ed i 120 secondi, quindi con flusso pedonale di media entità, si opta per intersezioni a raso semaforizzate;
- per cicli semaforici di durata superiore ai 120 secondi, quindi con flusso pedonale consistente, si può adottare una intersezione a livelli sfalsati.

In molti paesi europei si utilizzano vernici a contrasto cromatico sulla pavimentazione per evidenziare passaggi pedonali, limiti di velocità, strettoie, ecc. In Italia non esiste un riferimento normativo in proposito, appare lecito perciò che le sperimentazioni siano effettuabili. E' inoltre possibile riprodurre sulla pavimentazione le icone della segnaletica verticale: limite di velocità, pericolo attraversamento pedonale, frasi brevi come "scuola" o "scuole".

Un altro intervento puntuale che sta dando buoni frutti è rappresentato dagli attraversamenti pedonali rialzati. Costituiti da platee rialzate a quota intermedia tra marciapiede e carreggiata, costituiscono dei dossi trapezoidali collocati trasversalmente all'asse stradale che obbligano i veicoli ad un forte rallentamento. Tale accorgimento risulta efficace per delimitare gli accessi secondari alle zone residenziali. Il dimensionamento della piattaforma è in funzione del flusso pedonale che andrà a servire, le rampe di salita e discesa del veicolo vanno ben segnalate sia con l'uso di vernici, sia con la differenziazione dei materiali d'impiego. Questa tipologia di

attraversamento va utilizzata lungo tratti stradali in cui la massima velocità consentita siano i 50 km/h, nei parchi pubblici, nei centri commerciali. Quando non determinano eccessive irregolarità altimetriche possono essere realizzati anche su strade a media densità di traffico, strade locali di quartiere per esempio. L'efficacia di tale intervento dipende dal posizionamento regolare e frequente sul tracciato di detti elementi, in modo da obbligare i veicoli a velocità contenute e certe. E' vietato l'impiego di attraversamenti rialzati lungo percorsi di soccorso primari e se ne sconsiglia l'adozione lungo percorsi interessati dal passaggio di mezzi pesanti.

2. La SP26 “Valle del Lavino”

2.1. Premessa

La SP26 “Valle del Lavino” costituisce l’arteria principale per raggiungere i comuni di Monte San Pietro e Vergato, in provincia di Bologna (figura 2.1).

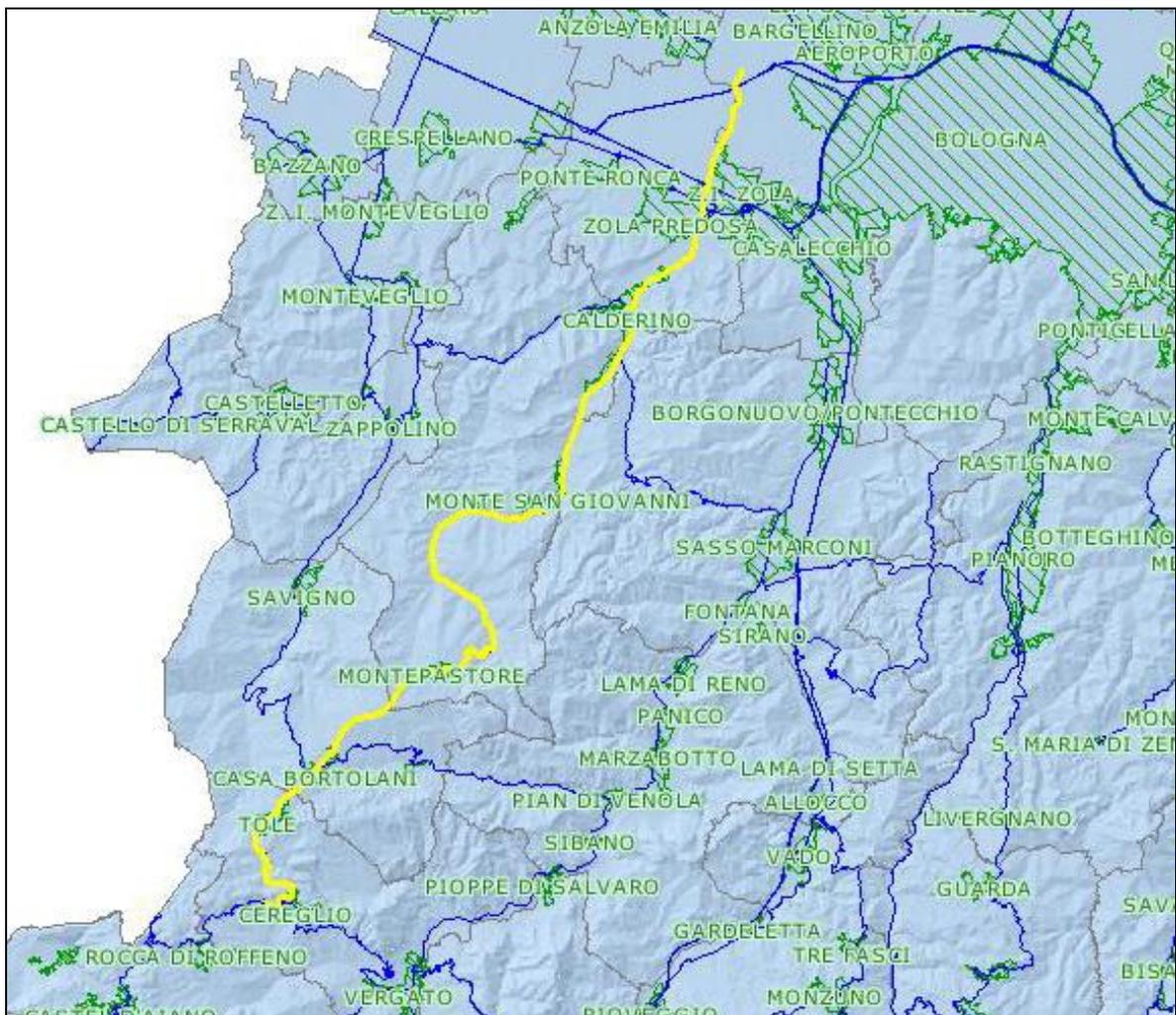


Figura 2.1: SP26 “Valle del Lavino”

Ha origine dalla SS9 “Via Emilia” ed attraversa il centro urbano di Zola Predosa, diramandosi in direzione sud-ovest raggiungendo le località di Gesso, Gessi, Rivabella fino ad arrivare al comune di Monte San Pietro, passando per le località di Calderino, Monte San Giovanni, Oca e Badia. Infine incontra il comune di Vergato toccando la località di Tolè.

La sezione stradale è a unica carreggiata, a doppio senso di marcia; è caratterizzata da un andamento plano-altimetrico piuttosto regolare, con una pendenza longitudinale media pari a 1,4%.

2.2. Dati di traffico

Lungo la SP 26 “Valle del Lavino” sono presenti tre postazioni per il rilievo del traffico, rispettivamente in corrispondenza dei km 0+730, 8+400 e 16+560.

La postazione 502 (km 0+730) è collocata nel tratto iniziale nel comune di Bologna, tra la località Pioppa e il viadotto dell'autostrada A1 (c/o Zola Predosa) (figura 2.2).



Figura 2.2: SP26 “Valle del Lavino”, postazione 502 (km 0+730)

La postazione 280 (km 8+400) è collocata nel comune di Zola Predosa, tra Gesso e Ponte Rivabella (figura 2.3).



Figura 2.3: SP 26 “Valle del Lavino”, postazione 280 (km 8+400)

La postazione 503 (km 16+560) è collocata nel comune di Monte San Pietro, tra le località di Monte San Giovanni e Oca (figura 2.4).



Figura 2.4: SP 26 “Valle del Lavino”, postazione 503 (km 16+560)

I flussi sono misurati in continuo da ottobre 2008, in entrambe le direzioni di marcia, e sono distinti secondo i seguenti parametri:

- tipo di veicolo transitante: pesanti e leggeri. Sono considerati veicoli leggeri i motoveicoli, auto e monovolume, anche con rimorchio, furgoncini e camioncini. Sono considerati veicoli pesanti i camion medi e grandi, autotreni autoarticolati e autobus. Nella categoria altri sono compresi mezzi speciali, trasporti eccezionali, mezzi agricoli, macchine operatrici, ecc.;
- orario di transito del mezzo: traffico diurno e notturno. La fascia diurna va dalle ore 7 alle 19, quella notturna dalle 19 alle 7;
- giorno di transito del veicolo: traffico feriale e festivo. Come giorni festivi si intendono quelli di sabato, domenica e festivi.

Secondo quanto elaborato dal Sistema Regionale di rilevazione dei flussi di traffico gestito dalla Regione Emilia Romagna, in funzione di ogni parametro è stato calcolato il traffico totale e quello giornaliero medio (TGM).

In tabella 2.1 sono riportati i transiti annuali totali per le tre postazioni per la direzione Bologna – Vergato e per quella Vergato - Bologna. Passando dal 2008 al 2013 i volumi di traffico si mantengono comunque elevati, a conferma dell'importanza della SP26 nella rete stradale del territorio bolognese. Il traffico, inoltre, si concentra nel tronco più vicino al margine cittadino, quello situato in comune di Zola Predosa, come testimoniato dai valori registrati dalla postazione numero 280 (figure 2.5 e 2.6).

Anno	Bologna - Vergato			Vergato - Bologna		
	502	280	503	502	280	503
2008	551.646	969.255	305.171	530.121	967.484	302.647
2009	2.148.486	3.651.229	1.173.785	2.036.071	3.647.768	1.170.303
2010	1.976.537	3.694.629	1.176.211	1.868.311	3.690.695	1.168.059
2011	2.173.226	3.683.817	1.160.729	2.066.202	3.676.726	1.152.823
2012	2.115.176	3.550.833	1.010.303	2.017.333	3.552.439	1.008.510
2013	2.076.515	3.550.673	1.092.976	1.967.172	3.544.724	1.086.950

Tabella 2.1: Transiti annuali totali

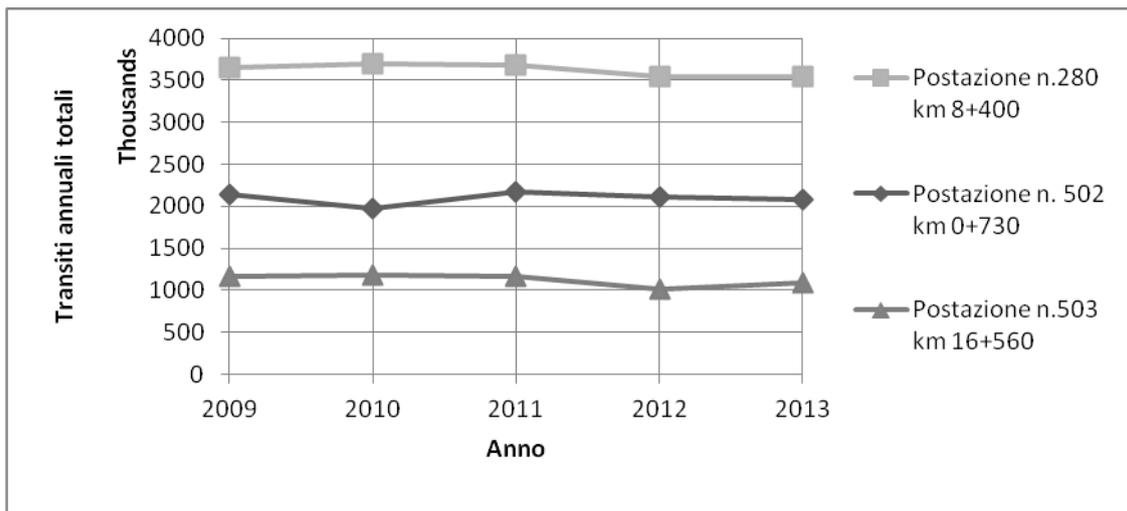


Figura 2.5: Transiti annuali totali direzione Vergato per postazione

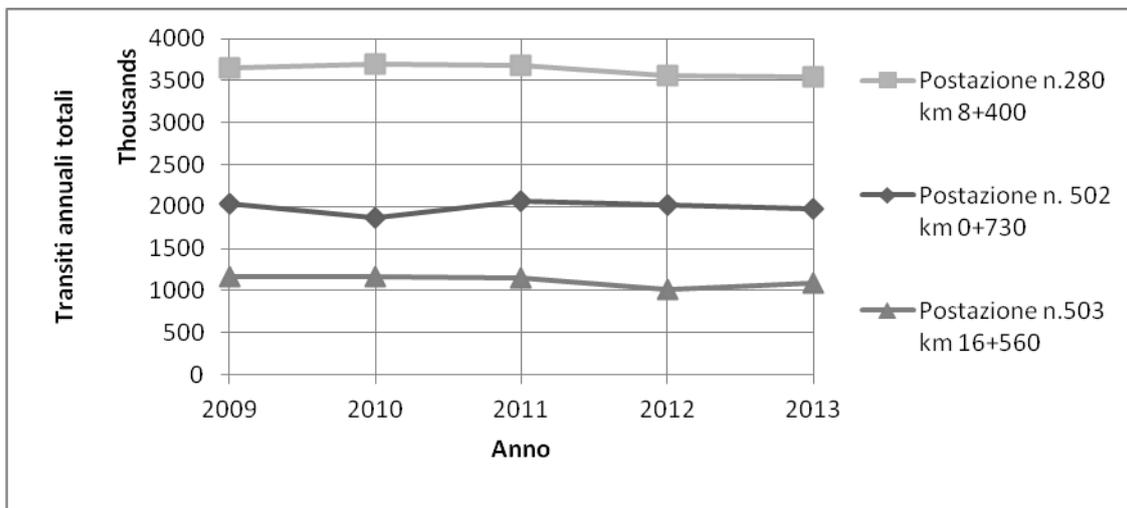


Figura 2.6: Transiti annuali totali direzione Bologna per postazione

Per tutte le postazioni, la maggior parte del traffico stradale è costituita da veicoli leggeri (tabelle 2.2 e 2.3). Quello pesante, in particolare, si concentra sulla parte iniziale della SP26 che si snoda dall'intersezione con la SS9 Via Emilia al comune di Zola Predosa.

Anno	Bologna - Vergato								
	502			280			503		
	Leggeri	Pesanti	% Pesanti	Leggeri	Pesanti	% Pesanti	Leggeri	Pesanti	% Pesanti
2008	512.786	38.846	7,04	947.217	22.014	2,27	299.339	5.822	1,91
2009	2.015.275	133.107	6,2	3.570.233	80.886	2,22	1.151.912	21.825	1,86
2010	1.853.248	123.190	6,23	3.611.377	83.149	2,25	1.154.264	21.901	1,86
2011	2.038.898	134.256	6,18	3.603.788	79.922	2,17	1.139.976	20.705	1,78
2012	1.983.812	131.297	6,21	3.478.980	71.782	2,02	992.894	17.369	1,72
2013	1.947.945	128.510	6,19	3.483.921	66.697	1,88	1.075.456	17.491	1,6

Tabella 2.2: Transiti annuali totali in funzione del tipo di veicolo transitante, dir. Bologna-Vergato

Anno	Vergato - Bologna								
	502			280			503		
	Leggeri	Pesanti	% Pesanti	Leggeri	Pesanti	% Pesanti	Leggeri	Pesanti	% Pesanti
2008	494.239	35.864	6,77	945.336	22.107	2,28	296.515	6.126	2,02
2009	1.914.177	121.792	5,98	3.567.315	80.313	2,2	1.147.539	22.721	1,94
2010	1.756.188	112.049	6	3.608.135	82.440	2,23	1.145.364	22.632	1,94
2011	1.939.668	126.435	6,12	3.597.175	79.407	2,16	1.130.807	21.962	1,91
2012	1.893.778	123.450	6,12	3.480.590	71.748	2,02	990.297	18.150	1,8
2013	1.844.879	122.232	6,21	3.478.458	66.194	1,87	1.068.379	18.514	1,7

Tabella 2.3: Transiti annuali totali in funzione del tipo di veicolo transitante, dir. Vergato-Bologna

Su tutta l'estensione stradale esaminata, la percentuale di traffico notturno si attesta su valori superiori al 20% (tabelle 2.4 e 2.5). La SP26, quindi, risulta una strada trafficata sia di giorno che di notte.

Anno	Bologna - Vergato								
	502			280			503		
	Diurno	Notturmo	% Notturmo	Diurno	Notturmo	% Notturmo	Diurno	Notturmo	% Notturmo
2008	424.691	126.955	23,01	683.058	286.197	29,53	221.733	83.438	27,34
2009	1.633.069	515.417	23,99	2.558.376	1.092.853	29,93	840.757	333.028	28,37
2010	1.543.752	432.785	21,9	2.596.936	1.097.693	29,71	843.052	333.159	28,32
2011	1.688.043	485.183	22,33	2.596.674	1.087.143	29,51	837.181	323.548	27,87
2012	1.659.065	456.111	21,56	2.507.456	1.043.377	29,38	727.191	283.112	28,02
2013	1.632.278	444.237	21,39	2.507.009	1.043.664	29,39	783.547	309.429	28,31

Tabella 2.4: Transiti annuali totali in funzione dell'orario di transito, dir. Bologna-Vergato

Anno	Vergato - Bologna								
	502			280			503		
	Diurno	Notturmo	% Notturmo	Diurno	Notturmo	% Notturmo	Diurno	Notturmo	% Notturmo
2008	403.310	126.811	23,92	760.878	206.606	21,35	235.298	67.349	22,25
2009	1.548.138	487.933	23,96	2.812.354	835.414	22,9	878.094	292.209	24,97
2010	1.453.554	414.757	22,2	2.861.002	829.693	22,48	877.376	290.683	24,89
2011	1.596.046	470.156	22,75	2.851.960	824.766	22,43	867.081	285.742	24,79
2012	1.569.785	447.548	22,19	2.768.066	784.373	22,08	765.745	242.765	24,07
2013	1.527.051	440.121	22,37	2.780.444	764.280	21,56	827.499	259.451	23,87

Tabella 2.5: Transiti annuali totali in funzione dell'orario di transito, dir. Vergato- Bologna

Su tutta l'estensione stradale esaminata, la percentuale di traffico festivo si attesta su valori superiori al 20% (tabelle 2.6 e 2.7). La SP26, quindi, risulta una strada trafficata in tutti i giorni dell'anno.

Anno	Bologna - Vergato								
	502			280			503		
	Feriali	Festivi	% Festivi	Feriali	Festivi	% Festivi	Feriali	Festivi	% Festivi
2008	417.470	134.176	24,32	697.689	271.566	28,02	202.782	102.389	33,55
2009	1.653.095	495.391	23,06	2.686.588	964.641	26,42	797.750	376.035	32,04
2010	1.536.947	439.590	22,24	2.726.870	967.759	26,19	808.024	368.187	31,3
2011	1.689.092	484.134	22,28	2.704.938	978.879	26,57	789.155	371.574	32,01
2012	1.647.460	467.716	22,11	2.610.259	940.574	26,49	693.854	316.449	31,32
2013	1.623.184	453.331	21,83	2.605.795	944.878	26,61	746.859	346.117	31,67

Tabella 2.6: Transiti annuali totali in funzione del giorno di transito, dir. Bologna-Vergato

Anno	Vergato - Bologna								
	502			280			503		
	Feriali	Festivi	% Festivi	Feriali	Festivi	% Festivi	Feriali	Festivi	% Festivi
2008	402.330	127.791	24,11	697.790	269.694	27,88	198.843	103.804	34,3
2009	1.573.291	462.780	22,73	2.694.232	953.536	26,14	788.660	381.643	32,61
2010	1.461.929	406.382	21,75	2.736.702	953.993	25,85	796.374	371.685	31,82
2011	1.613.572	452.630	21,91	2.715.287	961.439	26,15	781.085	371.738	32,25
2012	1.576.192	441.141	21,87	2.625.003	927.436	26,11	688.283	320.227	31,75
2013	1.541.148	426.024	21,66	2.615.266	929.458	26,22	738.547	348.403	32,05

Tabella 2.7: Transiti annuali totali in funzione del giorno di transito, dir. Vergato-Bologna

In tabella 2.8 sono riportati i transiti giornalieri medi rilevati da ogni postazione e divisi per direzione. I dati confermano l'importanza strategica della SP26 all'interno della rete stradale bolognese.

Anno	Bologna - Vergato			Vergato - Bologna		
	502	280	503	502	280	503
2008	5.997	10.535	3.317	5.762	10.516	3.290
2009	5.889	10.009	3.215	5.851	10.000	3.206
2010	5.921	10.125	3.221	5.598	10.114	3.198
2011	5.957	10.098	3.179	5.644	10.078	3.158
2012	5.777	9.696	3.003	5.510	9.700	2.997
2013	5.690	9.726	2.992	5.390	9.710	2.975

Tabella 2.8: Transiti giornalieri medi

2.3. Dati di incidentalità

I dati di incidentalità della SP26 a disposizione fanno riferimento ad un periodo di 10 anni, da gennaio 2002 a dicembre 2012. L'incidente stradale viene registrato se avvenuto su strada aperta alla pubblica circolazione, in seguito del quale, una o più persone sono rimaste ferite o sono morte e dove almeno un veicolo è rimasto coinvolto. Dall'elaborato "Analisi dell'incidentalità stradale nella Provincia di Bologna", pubblicato nell'agosto 2013 dal Servizio Studi per la programmazione e Settore Viabilità dell'Ufficio di statistica della Provincia di Bologna, è emerso che nell'anno 2012 la SP26 risulta la terza strada provinciale con il più alto numero di incidenti per km, con 41 incidenti, 62 feriti e un morto. Nella tabella 2.9 sono riportate le tratte urbane delle strade provinciali di Bologna, in cui si è registrato il maggior costo sociale per km. Si può notare che su 12 tratti, 4 riguardano la SP26, tra cui il primo. Il tratto con il maggior costo sociale risulta quello che comprende il centro abitato di Rivabella, seguito da Gessi, Zola Predosa e Calderino.

Strada	Comune	Centro abitato	Incidenti	Morti	Feriti	Costo sociale/km
SP26	Zola Predosa	Rivabella	2	1	4	3.803.959,00
SP253	Medicina	Fossatone	1	1	2	3.425.991,00
SP4	Argelato	Funò	10	1	19	1.931.828,00
SP7	Ozzano dell'Emilia	Mercatale	3	1	3	1.386.547,00
SP26	Zola Predosa	Gessi	3	0	6	1.359.342,00
SP26	Zola Predosa	Zola Predosa	12	0	17	858.523,00
SP65	Monghidoro	Cà del Costa	1	0	3	631.123,00
SP569	Crespellano	Crespellano	6	0	10	530.101,00
SP26	Monte San Pietro	Rivabella-Calderino	24	0	25	519.260,00
SP253	Castenaso	Villanova	8	0	11	496.896,00
SP4	Argelato	Funò	3	0	4	494.998,00
SP4	S. Pietro in Casale	S. Pietro in Casale	5	0	7	429.514,00

Tabella 2.9: Tratte urbane a maggior costo sociale per km nell'anno 2012

In figura 2.7 sono riportati il numero di incidenti, feriti e morti per anno verificatisi sulla SP26. Si vede come negli ultimi due anni ci sia stato un incremento del numero di incidenti nonostante una leggera diminuzione dei transiti annuali.

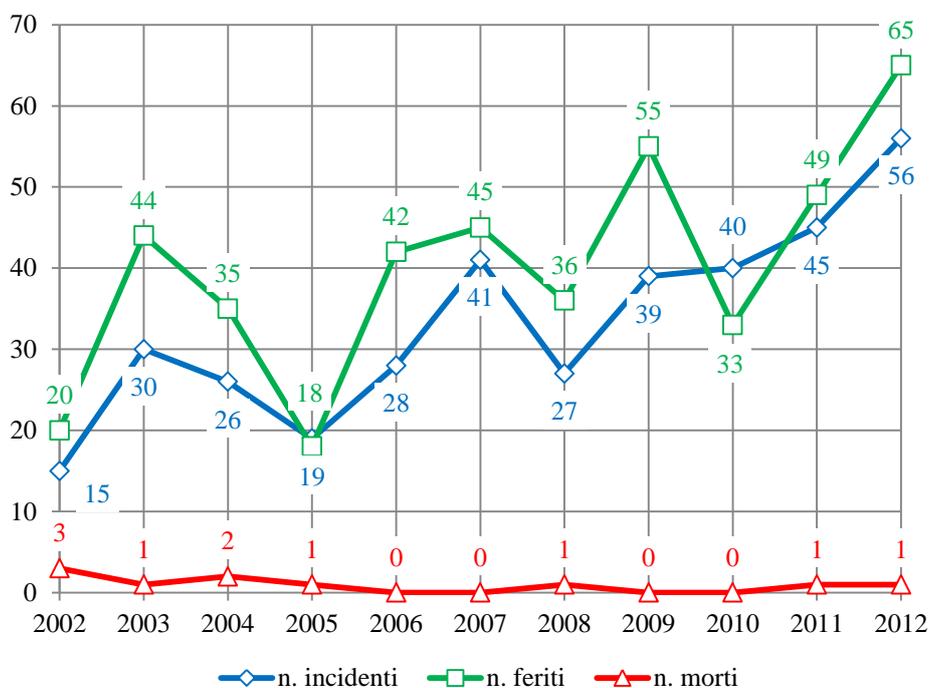


Figura 2.7: Numero incidenti, morti e feriti per anni

Il 77% degli incidenti è avvenuto entro il centro abitato e il 23% si è verificato in ambito extraurbano. Il 21% degli incidenti è avvenuto in fascia notturna (dalle 19 alle 7) e il 19% in fascia diurna (dalle 7 alle 19).

In figura 2.8 sono riportati i tipi di incidenti più frequenti. Il 40% degli incidenti avvenuti sulla SP26 sono scontri frontali o laterali, e il 31% sono tamponamenti.

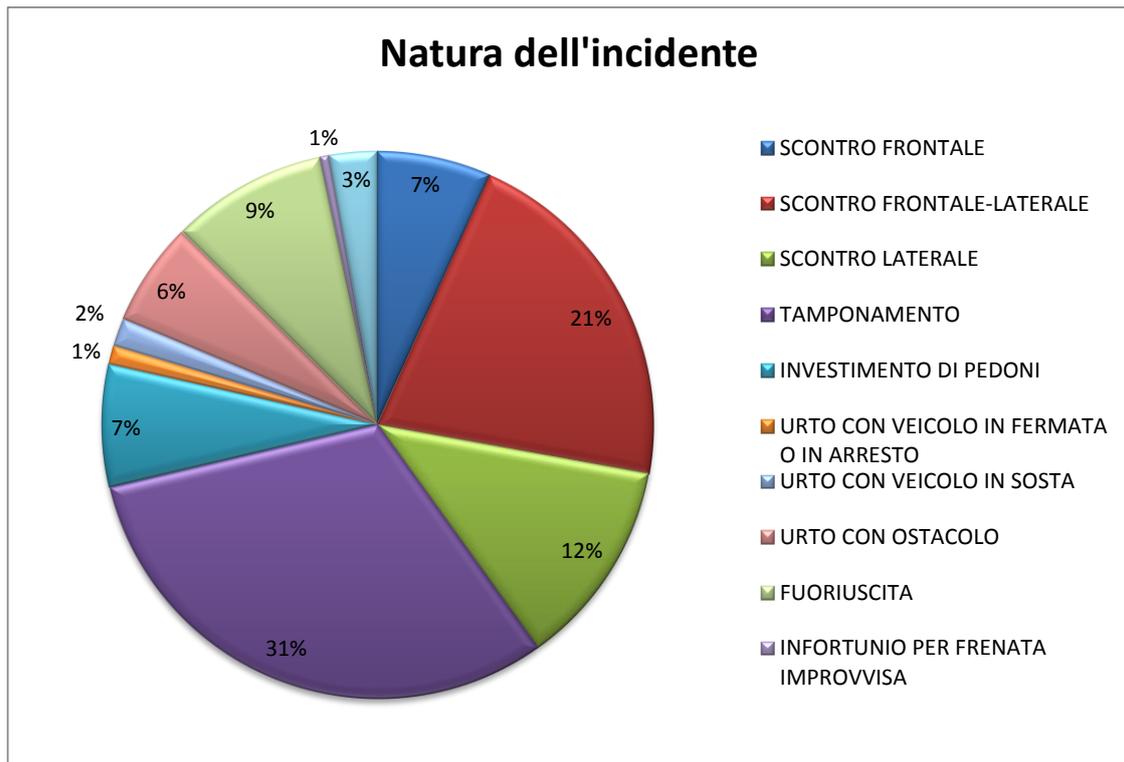


Figura 2.8: Natura degli incidenti sulla SP26

2.4. Dati meteo

I dati climatici fanno riferimento alla stazione meteorologica di Borgo Panigale, posta a pochi chilometri dalla SP26. Sono state analizzate le temperature minime, massime e medie, le precipitazioni, i giorni di pioggia e quelli di nebbia. I dati esaminati fanno riferimento a un arco temporale di 10 anni.

La temperatura massima registrata negli ultimi 10 anni è di 34,3°C e la minima di 3,4°C con una temperatura media di 14,0°C.

In media ci sono 107 giorni di pioggia all'anno con una precipitazione media mensile di

24,28 mm. I giorni di nebbia sono in media 61 all’anno.

In figura 2.9 sono riportate le medie dei giorni di pioggia degli ultimi 10 anni per mese, dalle quali si nota come il mese più piovoso sia aprile con 11,8 giorni di pioggia e quello meno piovoso sia luglio con 5,6 giorni di pioggia.



Figura 2.9: Media giorni di pioggia

In figura 2.10 sono riportati i giorni medi di nebbia degli ultimi 10 anni per mese, dai quali si nota come il mese con più giorni di nebbia sia gennaio con 14,7 giorni e quello con meno giorni di nebbia sia luglio con 0,1 giorni.

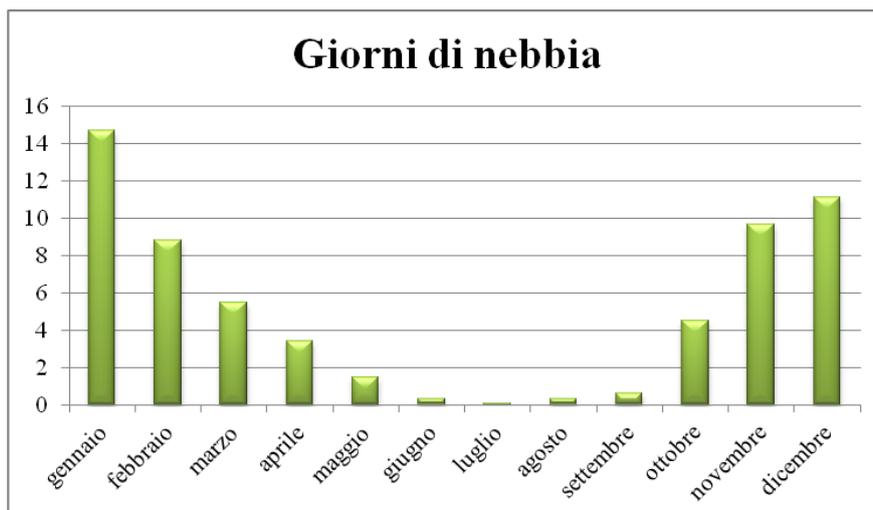


Figura 2.10: Media giorni di nebbia

2.5. Tronco stradale in oggetto

Il tronco stradale della SP “Valle del Lavino” oggetto di analisi si snoda dal km 0+000 al km 19+200, tra via Rigosa, in comune di Bologna, e la località di Badia, in comune di Monte San Pietro, attraversando le località di Zola Predosa, Gesso, Gessi, Rivabella, Calderino, Monte San Giovanni e Oca (figura 2.11).

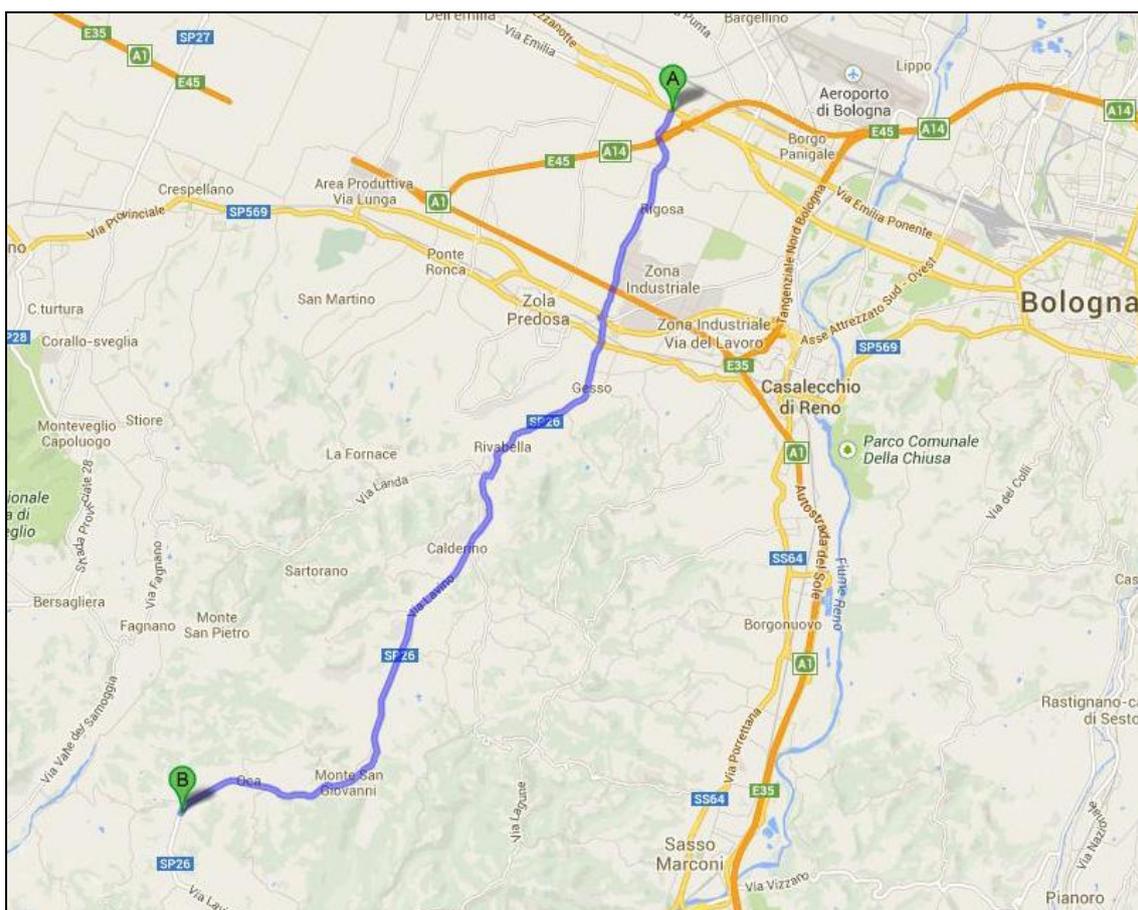


Figura 2.11: Localizzazione del tronco stradale oggetto di studio

Come già annunciato nel paragrafo 2.3, la strada richiede interventi di adeguamento e messa in sicurezza poiché risulta la terza tratta stradale a maggior costo sociale di tutta la rete provinciale.

2.5.1. Road Safety Review e problematiche riscontrate

Il tratto di strada in esame è stato precedentemente sottoposto all'analisi di sicurezza Road Safety Review, una metodologia operativa utilizzata per individuare le problematiche che compromettono la sicurezza stradale. L'analisi è stata svolta seguendo le indicazioni presenti nelle "Linee guida per la gestione della sicurezza delle infrastrutture stradali" emanate ai sensi dell'art.8 del D.Lgs n.35/2011.

La metodologia operativa ha previsto tre fasi:

- l'analisi preliminare del tratto di strada oggetto di studio, in cui sono state analizzati i dati di traffico, di incidentalità, meteo, ecc. (vedi paragrafi 2.1, 2.2 e 2.3);
- l'ispezione del sito;
- l'analisi delle problematiche e la redazione del rapporto di analisi (Road Safety Review).

L'ispezione in sito è stata svolta da un gruppo di analisi del Dipartimento DICAM-Strade dell'Università di Bologna. Nel complesso sono stati eseguiti due rilievi diurni, rispettivamente il primo in data 14/02/2014 dalle ore 13,00 e il secondo in data 16/05/2014 dalle ore 11,00, ed uno notturno in data 18/06/2014 dalle ore 19,00. I rilievi sono stati tutti condotti in condizioni atmosferiche buone, con pavimentazione asciutta e assenza di fenomeni, ad una temperatura di circa 15°C e con una visibilità media di 9 km.

Per effettuare i rilievi il gruppo di analisi si è organizzato su due automobili. Un primo rilievo è stato condotto a bordo di un'auto, a marcia normale, equipaggiata con strumentazione V-Box (vedi capitolo 3) in grado di filmare il tracciato e registrare i parametri fondamentali, come velocità, altitudine, distanza, accelerazione, ecc.; un secondo rilievo invece è stato condotto a bordo di un'altra automobile, anch'essa a marcia normale, dalla quale sono state scattate foto nei punti più significativi del percorso e compilate le liste di controllo. A tal fine il tronco stradale esaminato è stato preventivamente suddiviso in 19 sezioni omogenee mediante una preliminare distinzione, tra ambito urbano ed extraurbano, ed una secondaria, basata su altri elementi quali il contesto e l'inserimento ambientale, la classe funzionale della strada, le caratteristiche geometriche del tracciato e il traffico. Per ogni tratto è stata quindi compilata una scheda d'ispezione e i punti critici, emersi durante il sopralluogo, sono

stati dettagliati con foto e grafici e seguiti da opportune raccomandazioni.

Le principali problematiche individuate dall’analisi Road Safety Review riguardano:

- la sezione stradale: è stata riscontrata l’inadeguatezza o l’assenza delle banchine laterali sia in ambito urbano che extraurbano;
- gli attraversamenti pedonali: lungo l’intero tratto sono presenti diversi attraversamenti pedonali poco visibili, sia di giorno che di notte, e in discontinuità con i percorsi pedonali;
- la mancata percezione in entrata nei centri urbani in entrambi i sensi di marcia: il cartello di ingresso al centro abitato è installato in un ambiente stradale dalle tipiche caratteristiche extraurbane, notevolmente distante dall’inizio del centro abitato vero e proprio;
- le fermate per il trasporto pubblico: sono presenti numerose fermate per il trasporto pubblico dove, nella maggioranza dei casi, non c’è ne uno spazio adeguato alla sosta dei pedoni e ne attraversamenti pedonali che garantiscano una continuità dei percorsi pedonali;
- le intersezioni pericolose e gli accessi in curva: è stata riscontrata la presenza di alcune intersezioni e accessi in curva con scarsa visibilità dovuta ad una posizione scorretta dove non è soddisfare da distanza minima di visibilità;
- la segnaletica verticale, che in alcuni tratti non risulta correttamente installata e mal posizionata;
- le aree a lato della carreggiata che in diversi tratti non sono ne segnalate ne classificate ed alcune anche non asfaltate;
- i dispositivi di sicurezza che in molti tratti della strada mancano o sono inadeguati.

L’oggetto di studio dell’elaborato di tesi ha preso in esame nello specifico una delle problematiche emerse dalla Road Safety Review: gli attraversamenti pedonali.

Il conflitto tra veicolo e utente debole della strada è sicuramente tra tutti uno di quelli con esito più gravoso in ambito stradale. Il riscontro di molteplici attraversamenti pedonali lungo la SP26 con scarsa visibilità compromette altamente la sicurezza dei pedoni, aumentando il rischio d’incidente con esito negativo verso quest’ultimi; per di più il tracciato, articolandosi tra diversi centri abitati, prevede la presenza quasi costante di pedoni lungo il percorso.

I dati di incidentalità mettono la SP26 al terzo posto tra le strade della provincia di Bologna con il più alto numero di incidenti per km: l'analisi Road Safety Review conferma e supporta questo dato ponendo in evidenza le diverse problematiche. Analisi più dettagliate condotte sulle singole criticità permetteranno di individuarne le cause per poter poi successivamente intervenire mettendo in atto adeguamenti, atti a migliorare il livello di sicurezza della strada.

Lo studio prevede prima la valutazione dello stato di fatto degli attraversamenti pedonali presenti lungo la SP26, in termini di ubicazione lungo il tracciato, conseguente visibilità, e degli elementi di arredo che li caratterizzano; successivamente, avvalendosi del contributo fornito da due distinte strumentazioni, il V-Box e il Mobile Eye (vedi capitolo 3), e dall'analisi incrociata dei dati ottenuti da quest'ultime, si potrà valutare nel dettaglio la sicurezza degli attraversamenti pedonali presenti lungo il tracciato ed individuare quelli maggiormente pericolosi in termini di sicurezza per il pedone.

3. La strumentazione

3.1. Premessa

Le innovazioni tecnologiche più recenti ci dotano di svariati strumenti capaci di raccogliere ed elaborare, in un ampio ventaglio di tipologie, un considerevole numero di dati. Alcuni apparecchi, nati per le più disparate esigenze, hanno conosciuto negli anni, applicazioni molteplici e subito un'evoluzione dal punto di vista formale ed applicativo nella direzione degli scopi attesi. Ben noti ad esempio sono i progressi in campo topografico dati dall'invenzione e diffusione del sistema GPS, con il quale ad oggi passiamo dalla comune individuazione di riferimenti posizionali, al rilievo e tracciamento di configurazioni spaziali, alla determinazione di caratteristiche specifiche legate ai suddetti punti, quali velocità, accelerazione, ecc. Sempre nel campo della visione, ampio spazio di interesse è dedicato a sistemi di scansione dell'ambiente esterno coi quali simulare o analizzare in senso proprio la visione umana. Da apparecchiature voluminose e scarsamente utilizzabili in campo pratico, si conoscono oggi esempi di ritrovati tecnologici variamente fruibili, coi quali la visione dell'occhio umano è realmente monitorabile.

Di seguito si illustrano due strumenti in uso al DICAM (Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica, Ambientale e dei Materiali, scuola di ingegneria e architettura dell'università di Bologna), rappresentativi dei sistemi di scansione della visione umana e dell'utilizzo del sistema GPS, coi quali si è effettuata la sperimentazione lungo la SP26 "Valle del Lavino", oggetto di questa tesi.

3.2. La strumentazione V-Box

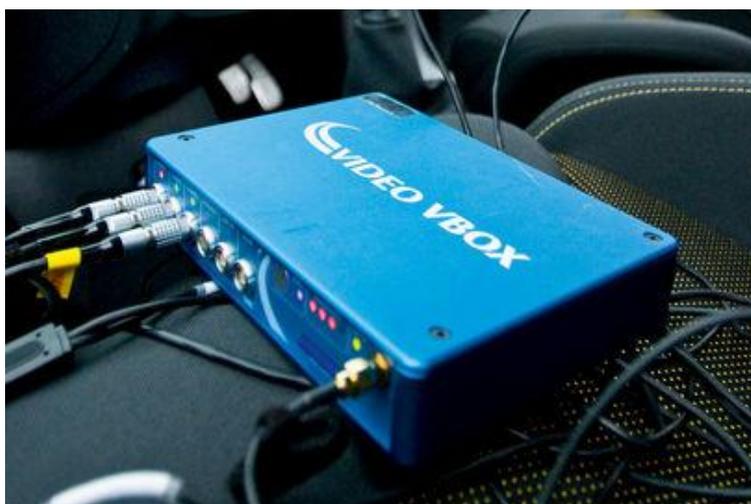
L'apparecchiatura V-Box è nata e sviluppata per gli sport motoristici. La si utilizza per registrare i dati relativi al moto di un veicolo durante un determinato tragitto. I dati forniti dallo strumento sono: velocità del veicolo, accelerazioni trasversali e longitudinali e tracciamento della posizione in un eventuale percorso predefinito quale, per esempio, il tracciato di gara. Nasce quindi per monitorare in continuo il moto dei veicoli di prova.

Per eseguire il rilievo dei dati campione il veicolo da testare va equipaggiato con un apparecchio video, il Video V-Box Pro, il quale combina un potente GPS con una multicamera ad alta qualità, costituita da due telecamere accoppiate che lavorano in sincrono (figura 3.1).



3.1: Video V-Box Pro

La strumentazione GPS va alloggiata all'interno del veicolo (figura 3.2), meglio se in prossimità del suo baricentro, mentre le due telecamere vanno posizionate all'esterno del veicolo, sul tetto al limitare della parte superiore del parabrezza, non centralmente ma lateralmente, quasi negli angoli (figura 3.3).



3.2: Strumentazione GPS posizionata all'interno del veicolo



3.3: Videocamere posizionate all'esterno del veicolo

I diversi parametri forniti in output dal GPS ed emessi con una frequenza pari a 10 Hz sono:

- la posizione lungo il circuito;
- i tempi sul giro;
- la velocità (precisione di $\pm 0,1$ km/h);
- l'accelerazione nelle sue componenti trasversale e longitudinale.

L'opzione a 32 canali interfaccia CAN invece recupera altri dati del veicolo, come l'angolo di sterzata e la pressione dei freni (figura 3.4).

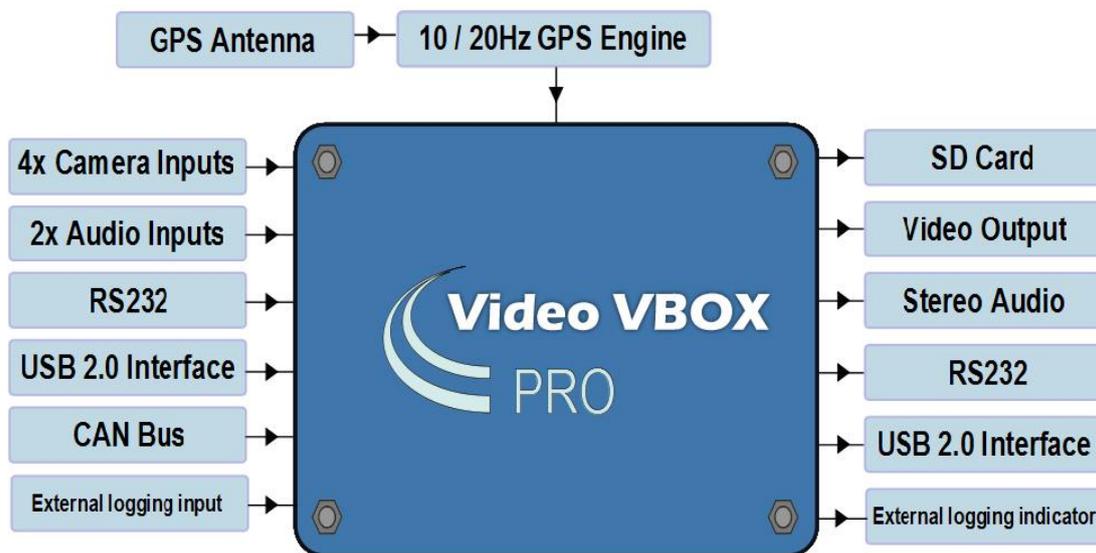


Figura 3.4: Video V-Box Pro, parametri di input e output

L'affidabilità della strumentazione è garantita dall'utilizzo di connettori di alta qualità Lemo, sottoposti, in fase di progettazione, a rigorosi test di vibrazione e dotati di una batteria ausiliaria che interviene durante temporanee interruzioni di alimentazione, evitando cadute di potenziale e garantendo così la continuità dei dati delle videoregistrazioni.

Le specifiche del sistema GPS a 10 Hz utilizzato nella sperimentazione sono elencate nella tabella 5 esposta di seguito.

Velocità		Distanza	
Precisione	0,2 km/h	Precisione	0,05%
Unità di misura	km/h o Mph	Unità di misura	metri/piedi
Update Rate	10 Hz	Risoluzione	1 cm
Velocità max	1600 km/h		
Velocità min	0,1 km/h		
Risoluzione	0,01 km/h		
Latenza	< 160 ms		
Posizione		Distanza	
Posizione 2D	±5m95% CEP	Precisione	0,05%
Altezza	+10m95% CEP	Massimo	4 g
		Risoluzione	0,01 g
Heading		Tempi al giro	
Risoluzione	0,01	Risoluzione	0,01 s
Precisione	0,2	Precisione	0,01 s

Tabella 3.1: Specifiche del sistema GPS a 10 Hz

3.2.1. L'elaborazione dei dati

L'analisi ed il successivo processamento dei dati rilevati mediante l'apparecchiatura Video V-Box Pro sono eseguiti utilizzando l'apposito software Performance Tools, che permette di elaborare le informazioni raccolte esaminando i parametri di interesse e monitorando, contemporaneamente, il video registrato durante la prova. L'interfaccia del programma (figura 3.5) ci da, oltre al video ed al grafico a cui abbiamo già accennato, anche la mappa del tracciato percorso e la selezione dei parametri disponibili.

Capitolo 3

La strumentazione

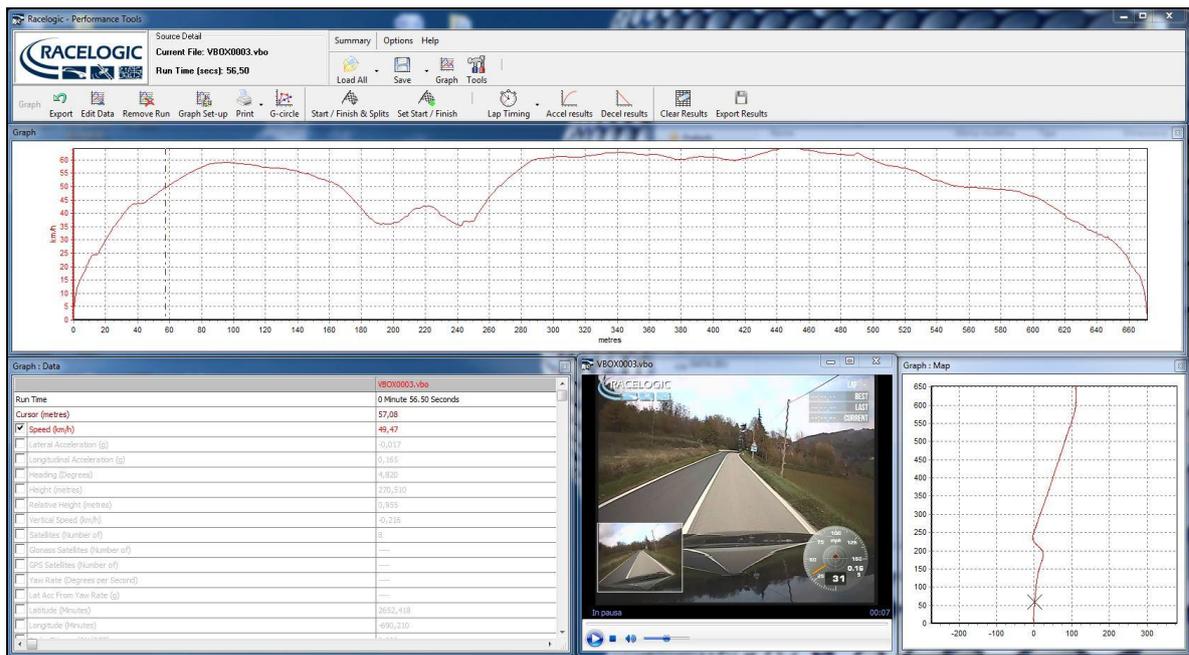


Figura 3.5: Interfaccia grafica del programma "Performance Tools"

Il software può analizzare in un diagramma l'andamento di una serie di variabili da noi scelte tra un elenco di possibilità (figura 3.6), in funzione del tempo o della distanza percorsa. In generale sono considerati come salienti i seguenti parametri:

- distanza percorsa e tempo impiegato;
- velocità longitudinale e trasversale;
- accelerazione longitudinale e trasversale;
- direzione del moto;
- quota ed altezza relativa;
- numero di satelliti visibili;
- latitudine e longitudine;
- raggio di curvatura e deviazione dalla linea centrale;
- combo G (rapporto tra accelerazione trasversale e longitudinale).

Parameter	Value
Run Time	42 Minutes 25.49 Seconds
Cursor (metres)	0,00
<input checked="" type="checkbox"/> Speed (km/h)	0,00
<input checked="" type="checkbox"/> Lateral Acceleration (g)	0,000
<input checked="" type="checkbox"/> Longitudinal Acceleration (g)	0,000
<input checked="" type="checkbox"/> Heading (Degrees)	0,000
<input checked="" type="checkbox"/> Height (metres)	0,000
<input checked="" type="checkbox"/> Relative Height (metres)	-0,014
<input checked="" type="checkbox"/> Vertical Speed (km/h)	0,000
<input checked="" type="checkbox"/> Satellites (Number of)	0
<input checked="" type="checkbox"/> Glonass Satellites (Number of)	----
<input checked="" type="checkbox"/> GPS Satellites (Number of)	----
<input checked="" type="checkbox"/> Yaw Rate (Degrees per Second)	----
<input checked="" type="checkbox"/> Lat Acc From Yaw Rate (g)	----
<input checked="" type="checkbox"/> Latitude (Minutes)	2671,734
<input checked="" type="checkbox"/> Longitude (Minutes)	-674,482
<input checked="" type="checkbox"/> Brake Trigger (ON/OFF)	0,000
<input checked="" type="checkbox"/> DGPS (ON/OFF)	0,000
<input checked="" type="checkbox"/> UTC Time ()	71034,10
<input checked="" type="checkbox"/> Distance (metres)	0,00
<input checked="" type="checkbox"/> Time (Seconds)	12,60
<input type="checkbox"/> Radius of Turn (metres)	0,00
<input type="checkbox"/> Drift (Degrees)	----

Figura 3.6: Schermata dei parametri selezionabili nel programma “Performance Tools”

Tra le grandezze elencate, quelle maggiormente utilizzate come parametri significativi ai fini dello studio dinamico del sistema tracciato-veicolo, sono:

- distanza percorsa e tempo trascorso;
- velocità longitudinale;
- accelerazione trasversale.

I dati interessanti possono poi essere esportati in formato Excel così da poterne disporre per successive rielaborazioni.

3.3. Mobile Eye

Il Mobile Eye (ME) è uno strumento progettato per il monitoraggio e il tracciamento dello sguardo dell'occhio umano. Si presenta all'utilizzatore come un elaborato paio di occhiali ed un insieme di altri componenti con i quali acquisire i dati (figura 3.7). La strumentazione è progettata per essere molto versatile e può per questo essere applicata a molteplici attività: nata per l'impiego in campo militare, vede utilizzazioni come in questo caso per la valutazione della sicurezza stradale, ma si hanno ulteriori esempi di applicazioni nella grande distribuzione organizzata ed in attività atletiche.



Figura 3.7: Apparecchiatura Mobile Eye XG della ASL Applied Science Group Company

Sue caratteristiche specifiche sono la leggerezza del visore alla pupilla, pesa poco più di un normale paio di occhiali, e la presenza di un solo collegamento a cavo che non limita la mobilità di chi lo indossa. La mobilità consentita da questo strumento riduce fortemente il condizionamento provato durante qualsiasi tipo di sperimentazione. In passato si hanno esempi di strumentazioni atte a monitorare e tracciare il punto di esatta visione di un soggetto osservatore ma la strumentazione era conformata in modo disagiata, condizionandone quindi i movimenti e l'istintività.

I componenti richiesti per la registrazione sul campo di prova sono la Spectacle Mounted Unit (SMU), composta da una telecamera dedicata al solo occhio e da una telecamera che riprende la scena dell'ambiente esterno, entrambe montate su appositi occhiali in dotazione, un piccolo display con unità di trasmissione, detto Display/Transmit Unit (DTU), e un computer portatile, ME PC, con installati i software necessari al tecnico per poter calibrare l'occhiale sul singolo utilizzatore ed elaborare i dati raccolti.

La Spectacle Mounted Unit si compone di due telecamere che vantano ridottissime dimensioni, una dedicata al solo occhio (eye camera) che registra la pupilla e l'altra dedicata alla scena esterna (scene camera) che registra l'ambiente circostante così come viene osservato dall'utente. In particolare, l'eye camera vede il riflesso dell'occhio da uno specchio caldo fissato sulla lente in grado di riflettere lo spettro dell'infrarosso ma

non la luce visibile, cosicché niente può oscurare il normale campo di vista del soggetto; la scene camera è rivolta invece direttamente in avanti.

Le componenti del sistema di scansione Mobile eye sono:

- Mobile Eye XG Spectacle Mounted Unit (SMU), include l'eye camera, la scene camera e lo specchio a caldo montato sugli occhiali (figura 3.8);



Figura 3.8: Mobile Eye XG Spectacle Mounted Unit

- Display/Transmit Unit (DTU), di piccole dimensioni e per questo facilmente trasportabile (Figura 3.9);

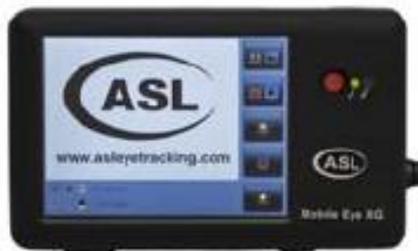


Figura 3.9: Display/Transmit Unit

- Mobile Eye PC (ME PC), ha le dimensioni di un normale computer portatile (mostrato in figura 3.10 unitamente alla DTU);



Figura 3.10: Mobile Eye PC

- Cavo CAT 5 (per il collegamento tra ME PC e DTU);
- Batteria DTU e carica batteria;
- Trasformatore di corrente per DTU;
- Licenza software con chiave USB da inserire quando si usa l'applicazione Eye Vision;
- SD card;
- Contenitori.

I componenti della strumentazione hanno buone caratteristiche di resistenza, non devono però essere sottoposti ad un trattamento tale da arrivare al loro danneggiamento. Nella figura 3.11 si riporta lo schema delle connessioni fra i vari elementi che compongono il Mobile Eye XG.

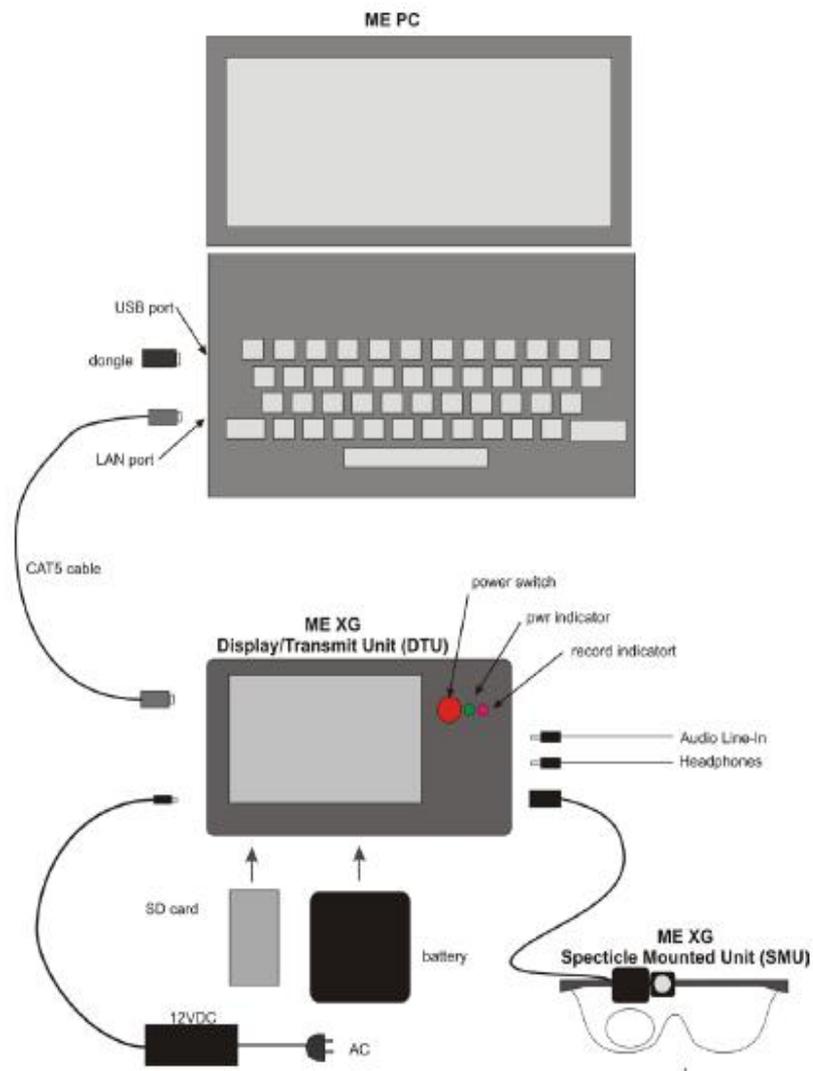


Figura 3.11: Interconnessioni fra i componenti

3.3.1. Nozioni di Eye Tracking

3.3.1.1. Caratteristiche principali dell'occhio umano

L'occhio ha la funzione di captare i segnali luminosi provenienti dall'esterno e trasformarli in segnali nervosi. Gli oggetti illuminati riflettono le radiazioni luminose che li colpiscono; le radiazioni riflesse raggiungono i recettori posti negli occhi, i quali inviano impulsi elettrici al cervello. L'occhio funziona come una macchina fotografica. Tutto il globo oculare è avvolto da un tessuto bianco molto resistente, la sclera, il cosiddetto "bianco dell'occhio" che, nella parte anteriore e centrale, per lasciare passare la luce diviene trasparente, si incurva a vetro da orologio e forma la cornea (figura 3.12).

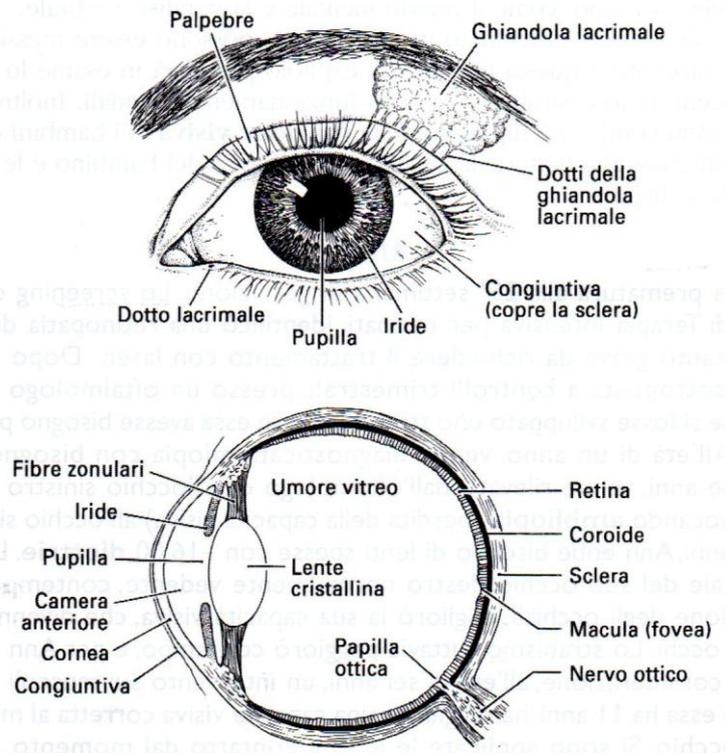


Figura 3.12: La struttura dell'occhio

La luce attraversa un foro, la pupilla, che come il diaframma della macchina fotografica si può dilatare o restringere a opera di fibre muscolari disposte circolarmente “a ciambella” attorno ad essa, in modo da regolare la quantità di luce che entra. Quando per esempio entriamo in una stanza buia provenendo da un ambiente illuminato, la pupilla si dilata. Queste fibre, insieme al tessuto connettivo che le unisce, formano l'iride, la parte che dà colore agli occhi.

Più internamente si trova una vera e propria lente, il cristallino, il quale si incurva o si appiattisce in modo da mettere a fuoco sulla retina l'immagine capovolta, come accade in una macchina fotografica per le note regole di rifrazione. Lo spazio tra il cristallino e la retina è occupato da un liquido gelatinoso, l'umore vitreo, che mantiene la forma del globo oculare. Nelle persone ipermetropi il globo oculare è più corto del normale e l'immagine viene messa a fuoco dietro la retina. Nei miopi, invece, il globo è più lungo e l'immagine viene messa a fuoco davanti alla retina.

In sintesi, il percorso della luce che giunge alla retina è il seguente:

Luce → Cornea → Pupilla → Cristallino → Retina

La retina, che registra l'immagine come una pellicola fotografica e la trasmette al cervello, è una membrana costituita da due tipi di ricettori della luce o fotorecettori: i coni e i bastoncelli. I bastoncelli, sensibili alla luce di bassa intensità, sono circa 120 milioni. Essi sono distribuiti abbastanza uniformemente su tutta la retina, eccetto che nella zona detta fovea centrale, dove è massima la concentrazione dei coni. I coni, sensibili alla luce intensa, sono anche responsabili della visione dei colori. In numero minore dei bastoncelli, circa 6 milioni, i coni non sono tutti uguali: alcuni di essi sono sensibili alla luce rossa, altri alla luce verde, altri ancora a quella blu: variamente stimolati, ci consentono la percezione dei colori. Il daltonismo, una malattia genetica che comporta l'incapacità di distinguere alcuni colori, è dovuta generalmente alla mancanza dei recettori del rosso o del verde. La luce che arriva sui fotorecettori li "impressiona" perché determina delle reazioni rapide e complesse dei pigmenti fotosensibili in essi contenuti. Nei bastoncelli, ad esempio, è contenuto un pigmento rosso, la rodopsina, che si forma a partire dalla vitamina A. Quando la luce colpisce le molecole di rodopsina, queste si modificano generando impulsi nervosi che, tramite il nervo ottico, arrivano al cervello. A differenza della pellicola fotografica, il pigmento dell'occhio non si esaurisce. Nell'occhio esiste infatti un sistema chimico complesso che riporta continuamente il pigmento alla struttura originaria: se non fosse così non potremmo più vedere. Durante il tempo necessario alla ricostituzione del pigmento l'occhio non è sensibile alla luce: è quello che succede quando restiamo abbagliati.

La visione è un processo complesso che richiede, da parte del cervello, un'elaborazione delle informazioni raccolte dall'occhio. Questa elaborazione ci consente di vedere come dritte, tridimensionali e ingrandite le immagini che sulla retina si formano capovolte, bidimensionali e piccole.

La presenza di due occhi posti frontalmente consente, infine, una visione stereoscopica. Essi percepiscono due immagini indipendenti della stessa scena e le inviano al cervello che, confrontandole, situa gli oggetti osservati in uno spazio tridimensionale.

3.3.1.2. Nozioni base di Eye Tracking

Il Mobile Eye usa una tecnica di tracciamento dell'occhio nota come tracciamento "Pupil to CR". Questo metodo utilizza la relazione tra due caratteristiche dell'occhio che sono il nero della pupilla e i riflessi speculari dalla superficie frontale della cornea (Corneal Reflections, in breve CRs) per computare lo sguardo all'interno della scena.

Un insieme di tre innocue luci, le cui bande di frequenza sono vicine a quelle dell'infrarosso (IR), è proiettato sull'occhio da un set di LEDs collocati sulla SMU. La luce vicino all'infrarosso non è visibile dall'utente, in tal modo non ne può essere distratto, ma comunque è visibile dalla telecamera dedicata all'occhio.

Il riflesso speculare di queste tre luci dalla superficie frontale della cornea appare nell'immagine della telecamera come l'insieme di tre punti disposti ai vertici di un triangolo, collocati a distanza fissa tra di loro, chiamato spot cluster (figura 3.13).



Figura 3.13: Spot cluster

Quando l'occhio ruota nella sua cavità orbitaria, il centro della pupilla si muove in maniera relativa allo Spot cluster. Valutando il vettore (considerati i parametri polari angolo e distanza) tra la pupilla ed una riflessione corneale (CRs) nello spot cluster, il sistema di tracciamento del movimento dell'occhio può calcolare la direzione di puntamento dell'occhio. Il sistema è poi in grado di relazione questi angoli con l'immagine della seconda telecamera che registra l'ambiente esterno, la scene camera, in modo da computare il punto di sguardo rispetto al campo visivo di quest'ultima.

È da notare che il Mobile Eye usa una luce non coerente, non facendo quindi uso di luce coerente, come i laser. La differenza tra questi due tipi di sorgenti di luce, dal punto di vista fisico, è che la luce incoerente è policromatica e non ha coerenza di fase, mentre la luce coerente (laser) è monocromatica, ha coerenza di fase, elevata densità di energia e

altamente direzionale, ovvero la fase di ciascun fotone viene mantenuta nello spazio e nel tempo (figure 3.14 e 3.15).

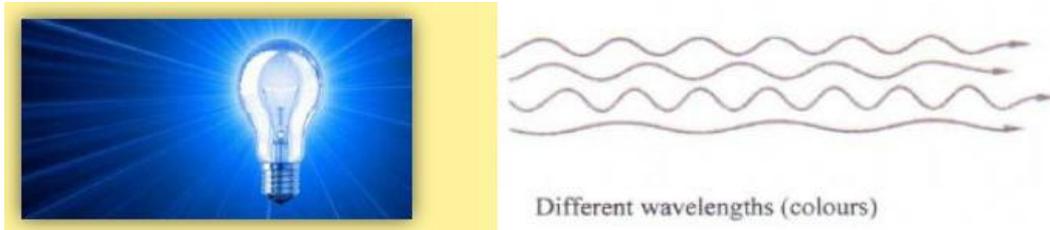


Figura 3.14: Luce incoerente

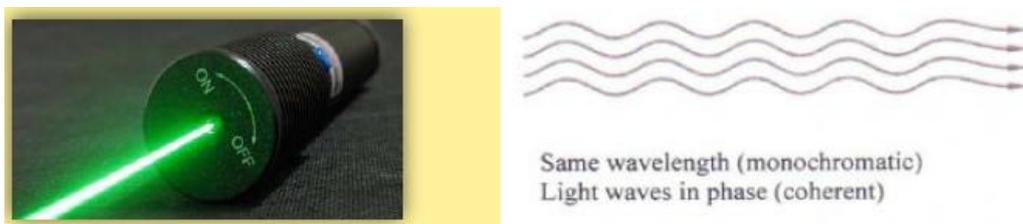


Figura 3.15: Luce coerente

Una delle fonti più complete e autorevoli sulla sicurezza delle sorgenti di luce è il manuale intitolato ‘Safety with Lasers and Other Optical Sources’, di David Sliney e Myron Wolbarsht, pubblicato per la prima volta nel 1980 dalla Plenum Press. Citando la pagina 147 di questo libro: “Comunque, valori di esposizione oculari croniche sicuri, in particolare per IR-A, probabilmente sono dell’ordine di 10 mW/cm^2 o inferiori”. IR-A si riferisce alla banda spettrale tra 760 e 1400 nanometri, l’intervallo in cui l’ASL Mobile Eye Optics Modules operano (figura 3.16).

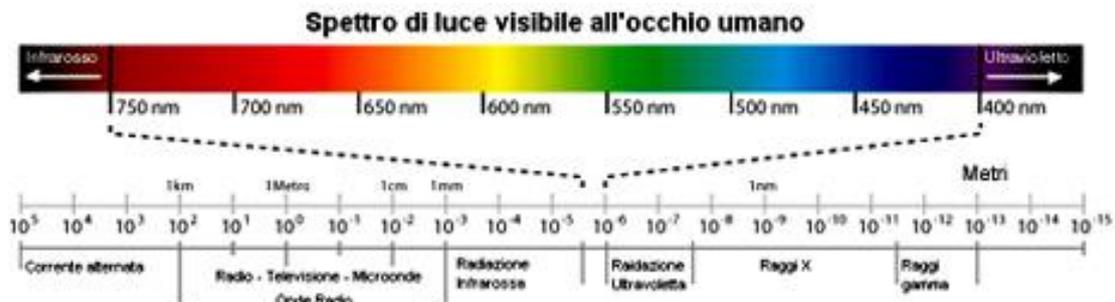


Figura 3.16: Spettro di luce

La ASL dichiara che non sono a conoscenza di dati più recenti che potrebbero mettere in discussione le conclusioni sopra citate. Per precauzione comunque le Mobile Eye Optics Modules operano almeno un ordine di grandezza sotto questo livello limite. La potenza dei LED utilizzati varia un pò da campione a campione: in ogni caso il valore più elevato di irradianza che potrà essere prodotto, e quindi utilizzato, con l'ASL Mobile Eye Optics è 0,50 – 0,60 mW/cm² (lunghezza d'onda 880nm) nel piano dell'occhio.

3.3.2. Operazioni della Display/Transmit Unit

La Display/Transmit Unit (DTU) ha uno schermo touch-screen: le funzioni appaiono a monitor sulla destra mediante un menù a scelta con 5 pulsanti, in basso a sinistra sono posizionate le icone di informazione mentre nella parte centrale, in una porzione di spazio prevalente, compare l'immagine di una delle due telecamere o, nel caso di tratti della schermata iniziale, il logo della casa produttrice, (figura 3.17).



Figura 3.17: Schermata iniziale della DTU

Dopo pochi secondi dall'accensione il logo ASL viene sostituito con l'immagine della telecamera che riprende l'occhio o, alternativamente, con l'immagine della telecamera che riprende la scena. La scelta tra la visione di una o dell'altra telecamera è a

discrezione dell'operatore ed intercambiabile agendo semplicemente sul pulsante Eye/Scene display, collocato nella fila di pulsanti a destra.

La DTU permette di lavorare in due modalità: la modalità live e la modalità playback. Il passaggio da una all'altra modalità è consentito mediante il pulsante live/playback: questa operazione rende la DTU del tutto autonoma dal computer ME PC, cosa importantissima nella fase di rilievo in quanto rende la strumentazione più versatile. Con la modalità live si può avviare la registrazione dei dati dell'occhio e della scena premendo semplicemente sul pulsante record. Questi files sono automaticamente nominati con la data e l'ora di registrazione e salvati con l'estensione “.avm”. La modalità playback invece permette di gestire i files registrati nella modalità live. Volendo quindi recuperare un filmato dalla cartella dati, si agisce sul pulsante file e si accede così alla cartella che contiene li contiene. Per riprodurre il file desiderato lo si deve semplicemente selezionare toccandolo sullo schermo, in modo da evidenziarlo, e di seguito premere sull'icona play, collocata in alto a sinistra nello schermo, per riprodurlo (figura 3.18).

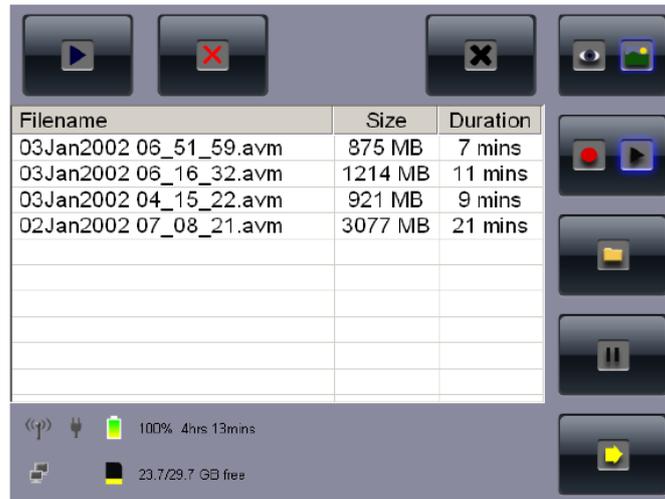


Figura 3.18: Modalità Playback

Nella figura 3.19 è possibile vedere il display in modalità playback. Tra i tasti a scelta c'è il pulsante X di colore rosso che consente di eliminare i file direttamente dalla DTU, in modo da liberare spazio nella scheda di memoria; il pulsante X di colore nero permette di chiudere la finestra dei files. Toccando invece il pulsante switch screen, collocato in basso e caratterizzato dalla freccia gialla, è possibile accedere ad ulteriori

icone. Il pulsante lock permette invece di bloccare i tasti della DTU. Il pulsante con la doppia freccia (double arrow) permette di mandare avanti o indietro la riproduzione dei video. Toccando il tasto con la chiave (wrench) è possibile accedere al menù “XG settings”. Da questo menù si può attivare e disattivare la connessione Wi-Fi e regolare la luminosità dello schermo. La qualità di compressione dei file è preimpostata e non può essere modificata dall’utente. Infine toccando il tasto in basso a destra è possibile ritornare alla schermata principale.

3.3.3. Sequenze di operazioni tipiche dello strumento

Si riportano di seguito le operazioni necessarie al funzionamento dello strumento:

Registrazione dell’immagine occhio e dell’immagine scena sulla Display/Transmit Unit (DTU) e successiva riproduzione con computer ME PC

Le operazioni preliminari sono di pura routine ed è sempre bene rispettarle al fine di condurre al meglio le prove ed evitare sprechi di tempo e mezzi. Si inizia con le seguenti fasi preliminari:

- assicurarsi che la batteria ME XG DTU sia carica e che la SD card sia installata;
- connettere il gruppo ottico ME Optics alla DTU;
- se necessario ai fini della piena mobilità del soggetto non usare il collegamento via cavo tra DTU ed il computer portatile ME PC;
- CAT5 tra la DTU ed il computer portatile ME PC.

Verificati i punti precedenti si prosegue con la regolazione dell’occhiale (ME Optics) aiutandosi con l’immagine visualizzata sulla DTU. A tal fine si agisce sul pulsante Eye/Scene display per visualizzare l’immagine ripresa dalla telecamera dell’occhio e successivamente, proprio con l’ausilio di questa immagine, regolare la telecamera insieme alla lente monocolare per ottenere una corretta immagine dell’occhio (figura 3.19).



Figura 3.19: ME Optics (SMU)

La regolazione dell'occhiale sull'utente, per allineare l'immagine dell'occhio sul monitor, prevede i seguenti passaggi:

- alzare la lente monoculare (figura 3.20).
- ruotare la lente monoculare (figura 3.21).
- muovere la lente finché i tre punti riflessi diventano visibili, come in figura (figura 3.22).
- controllare la messa a fuoco dell'immagine.



Figura 3.20



Figura 3.21

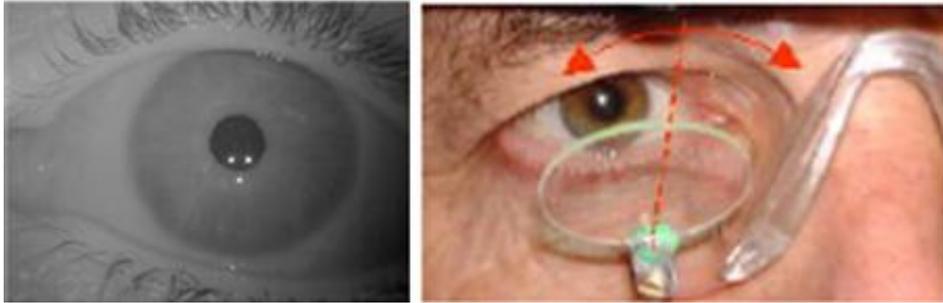


Figura 3.22

Si esegue inoltre una regolazione della telecamera di scena, per ottenere l'immagine di scena desiderata, dopo aver premuto il tasto Eye/Scene Display per visualizzazione l'immagine della scena sullo schermo. A questo punto si può continuare con le seguenti operazioni:

- iniziare a registrare i files dell'immagine occhio e dell'immagine scena toccando il pulsante record; durante la registrazione, il tasto record diventa il tasto stop;
- far sì che il display mostri la scena immagine così da poter controllare la fase della registrazione in cui il soggetto guarda parecchi punti che interessano tutto il campo visivo ripreso dalla scene camera; questi devono essere facilmente identificabili nella scena immagine (si consiglia pertanto di segnarli su un foglio) perché saranno utilizzati per la calibrazione durante la fase di riproduzione.

Il soggetto che si sottopone all'esperimento può iniziare la prova. Quando la prova è completata, premere il pulsante stop per finire la registrazione.

Riproduzione delleregistrazioni fattenel computer ME PC per elaborare i dati e determinare ove punta lo sguardo

Si inizia con le seguenti fasi preliminari:

- connettere DTU con il computer ME PC usando il cavo CAT5 oppure tramite collegamento Wi-Fi. Assicurarsi, inoltre, che la chiave che fornisce la licenza della ASL sia inserita nella porta USB del ME PC;
- aprire l'applicazione Eye Vision nel computer ME PC.

Fatto ciò, si passa alla modalità playback e si apre la cartella contenente i files registrati. Si seleziona il file desiderato e premendo sul tasto play si inizia la riproduzione del filmato. In questo modo il video, con le immagini dell'occhio e della scena, appare nel

programma Eye Vision, analogamente a quanto avviene quando la DTU è collegata al computer ME PC e il software riceve il video in diretta.

Precedentemente era stata descritta la fase in cui, durante la registrazione, il soggetto guardava dei punti facilmente identificabili. Questa fase è importante in quanto consente di eseguire la calibrazione con Eye Vision proprio sulla sezione di video in cui si guardavano i punti. Una volta eseguita la calibrazione questa sarà valida per tutto il video eseguito dal soggetto durante la prova. L'operazione di calibrazione sarà descritta più in dettaglio nel paragrafo 3.2.5. I video registrati possono essere messi in pausa, mandati avanti o indietro con i comandi presenti nella schermata della DTU.

Infine, importati i files, se si desidera il programma Eye Vision può fornire i dati correlati allo sguardo e il relativo video, rispettivamente nei formati “.csv” e “.avi”.

Copiare i video registrati sul portatile ME PC

La SD card della DTU può essere inserita direttamente nel computer ME PC, proprio come un qualsiasi dispositivo di archiviazione di massa: i files possono essere così copiati sul computer. A questo punto si può importare uno di questi file nel programma Eye Vision, cambiando la sorgente da DTU a File nel menù a tendina “source”. Altrimenti è possibile registrare i video dell'occhio e della scena direttamente sul computer ME PC usando Eye Vision: per far ciò la DTU ed il computer ME PC devono essere collegati via Wi-Fi o via cavo CAT5.

Computazione dello sguardo in tempo reale con la DTU collegata al portatile ME PC

Collegata la DTU al computer ME PC (in modalità live), con l'uso del programma Eye Vision è possibile, per ogni utente, riconoscere correttamente la pupilla ed i riflessi della cornea e calibrare il soggetto in tempo reale. Quest'operazione ha il vantaggio di evitare la sezione di video durante la registrazione in cui si guardavano dei punti notevoli, indispensabili per la calibrazione.

3.3.4. Eye Vision processing software

Tipi di file dell'applicazione Eye Vision

I tipi di file che il software Eye Vision è in grado di generare e di elaborare sono:

- User file (.evi) – dati di sistema e di calibrazione per ogni utente. Questi file potranno essere utilizzati, con la specifica calibrazione salvata, per usi successivi;
- Logged data Files (.csv) – dati occhio e scena generati dallo strumento Track Record in Eye Vision;
- Eye and Scene video data (.avm) – video originali relativi all’occhio e alla scena registrati dalla DTU sulla SD card;
- Video file (.avi) – registrazione video e audio con punto di sguardo generato dallo strumento Video Record in Eye Vision.

Interfaccia Eye Vision

La finestra del software Eye Vision è composta da 4 parti principali che sono: il display, l’insieme dei pulsanti, il pannello laterale e la barra di stato (figura 3.23).

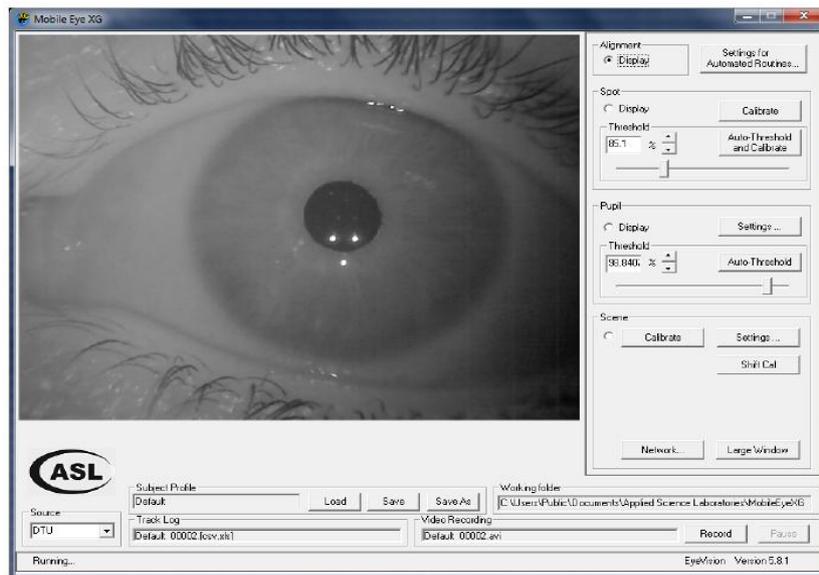


Figura 3.23: Interfaccia Eye Vision

Profili degli utenti

Quando si apre il programma Eye Vision, viene caricato il più recente profilo utente usato. Si può scegliere di creare un nuovo profilo utente, premendo sul pulsante “Save as”, oppure di usare un profilo salvato precedentemente, premendo il pulsante “Load” nella sezione subject profile.

Posizione dell'immagine occhio

Come precedentemente detto, se la DTU è connessa al computer ME PC durante la procedura di settaggio dei partecipanti, il display mostrato dal programma Eye Vision può essere usato per posizionare correttamente l'immagine dell'occhio. Ciò costituisce l'operazione preliminare alla successiva calibrazione. Il risultato della calibrazione può essere salvato per ogni utente, generando un file .evi. Selezionando "Display", sotto la voce "Allignment", la procedura di allineamento dell'immagine dell'occhio nel monitor può essere seguita guardando la schermata del computer. Per un buon posizionamento, il soggetto deve guardare dritto davanti a sé. È importante che tutti e tre i punti luminosi dello spot cluster siano visibili e che siano dentro o molto prossimi alla pupilla (figura 3.24).

Tutte le fasi successive richiedono che l'immagine dell'occhio sia ragionevolmente centrata nella finestra del display.



Figura 3.24: Allineamento immagine occhio

Riconoscimento della riflessione corneale (CR)

Lo spot cluster è importante per il tracciamento del centro pupilla: per questo è necessario fare una calibrazione dei tre punti CR per ogni utente. Si procede selezionando "Display" sotto la voce "Spot" nel pannello di destra della schermata di Eye Vision (figura 3.25). Cliccando su "Auto Threshold and Calibrate" il software

esegue la calibrazione dei tre punti di riflessione corneale automaticamente. I tre punti CR sono visibili su uno sfondo nero. Due di questi sono cerchiati in viola, mentre il terzo punto è contrassegnato da una croce. Il punto con la croce è il “Master” o “Primary spot”. È importante assicurarsi che il punto selezionato come master sia quello che, con minore probabilità, viene oscurato durante le operazioni svolte dall’utente. Le cause più probabili di perdita del punto nelle normali operazioni sono da ricercare in un movimento dell’occhio tale da far “cadere” i punti nella sclera (parte bianca dell’occhio) oppure nelle palpebre troppo chiuse che occudono l’occhio. Il punto scelto come master può essere facilmente cambiato cliccando su “settings”. Per i più esperti c’è la possibilità di fare un settaggio manuale.

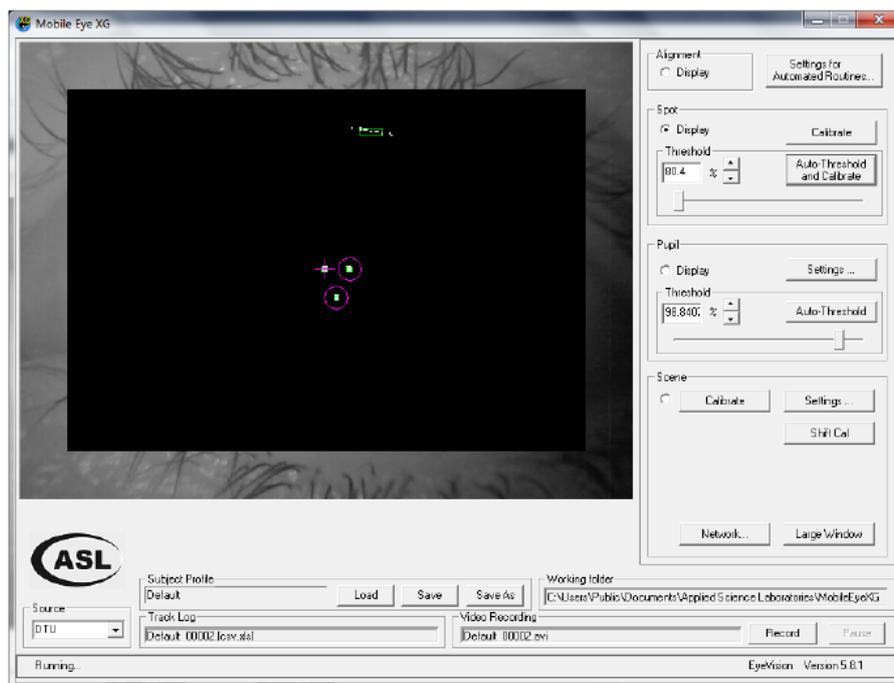


Figura 3.25: Spot Cluster

Riconoscimento della pupilla

Anche per la pupilla è necessaria una fase di ricognizione. Si procede cliccando su “Display”, sotto la voce “Pupil”, nel pannello di destra della schermata di Eye Vision (figura 3.26). Per eseguire un riconoscimento in automatico si clicca “Auto Threshold”, sotto la voce “Pupil”. Il bordo della pupilla verrà indicato da una linea bianca, formata da tanti punti bianchi di diverso spessore. Se l’oggetto descritto è riconosciuto come la pupilla, allora sarà indicato con un cerchio giallo, approssimativamente coincidente con

il contorno bianco e con una croce sempre gialla che indica il suo centro.

Il punteggio in alto a sinistra nel display è una misura dell'affidabilità della posizione della pupilla: se si scende al di sotto di un determinato limite, la posizione della pupilla per quel frame viene scartata. Se l'uso del settaggio automatico (Auto Threshold) non produce il risultato desiderato, sono possibili regolazioni manuali.

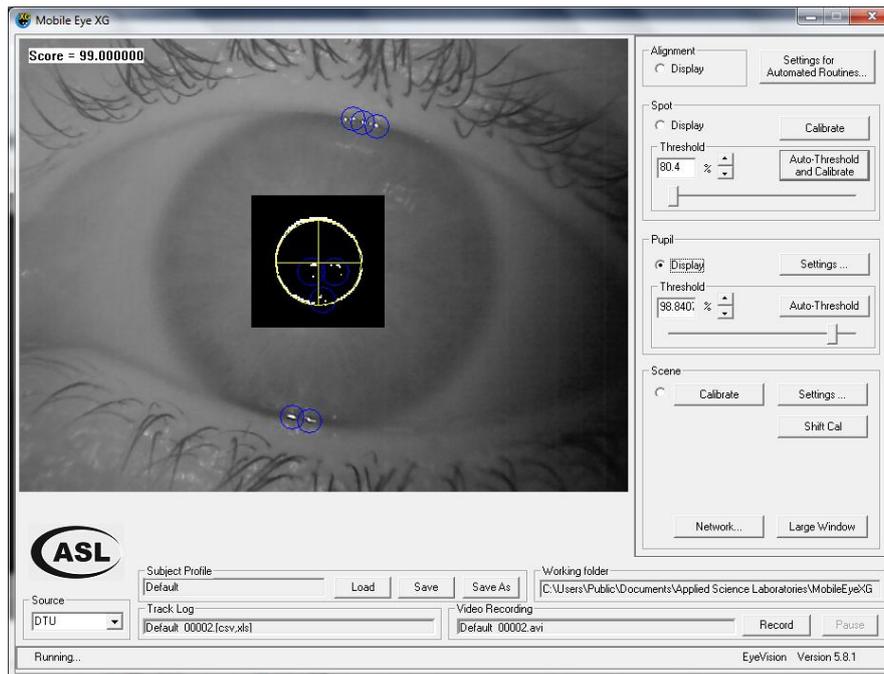


Figura 3.26: Riconoscimento pupilla

Calibrazione della scena

La funzione di calibrazione della scena serve per mappare i punti di sguardo sui dati della scena, correlando le posizioni delle caratteristiche dell'occhio (pupilla e spot cluster) a posizioni note dentro l'immagine scena. Si procede selezionando la sezione "Scene" nel pannello di destra del software Eye Vision. Il display mostrerà l'immagine proveniente dalla telecamera che riprende la scena (figura 3.27).

La procedura di calibrazione del punto di sguardo è necessaria affinché il sistema riesca a relazionare i movimenti dell'occhio con la direzione dello sguardo. Il software richiede un minimo di tre punti calibrati. Questa procedura può essere eseguita sia in diretta dalla DTU, mentre l'utente indossa il Mobile Eye, o con i dati pre-registrati messi in riproduzione dalla DTU. Se si utilizzano dati pre-registrati, l'operazione di calibrazione si esegue nello stesso modo durante la riproduzione del video registrato. Il

video verrà visualizzato nella finestra del display. La registrazione audio può essere spesso utilizzata come guida per trovare i punti che il partecipante sta guardando.

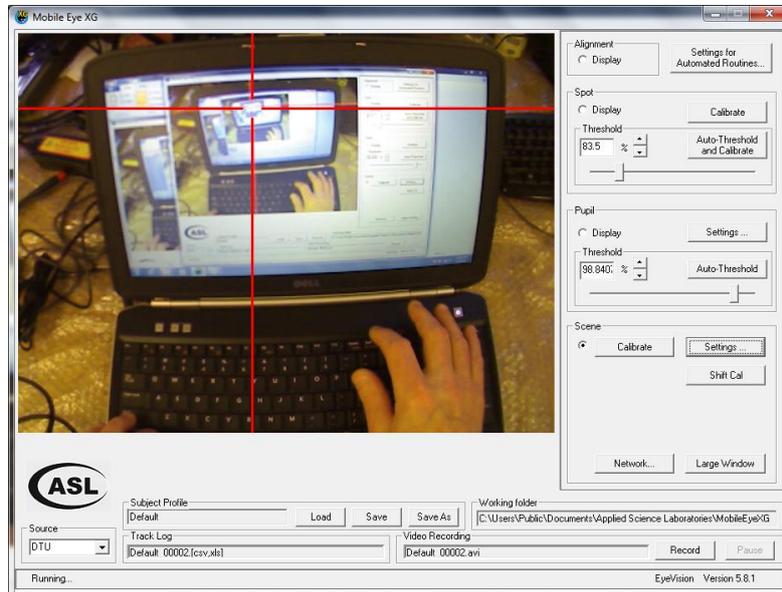


Figura 3.27: Calibrazione scena

Per iniziare la calibrazione selezionare il pulsante “Calibrate”. Si chiede all’utente, che indossa il Mobile Eye XG Spectacle Mounted Unit (SMU) ed è comodamente seduto al posto di guida, di puntare alcuni oggetti nell’ambiente circostante. Mentre l’utente guarda un determinato oggetto, l’operatore va a selezionare il corrispondente oggetto sull’immagine della scena. Un cursore a croce apparirà nell’immagine della scena: il cursore diventerà giallo mentre i dati vengono raccolti. Durante questo tempo l’utente deve mantenere la testa ferma e deve continuare a fissare l’oggetto. Quando l’elaborazione del punto di calibrazione è terminata, il cursore diventa verde (esito positivo) o rosso (esito negativo). Se l’elaborazione non va a buon fine significa che, probabilmente, una delle caratteristiche dell’occhio non è stata tracciata o che le posizioni delle caratteristiche oculari non erano coerenti nel periodo di raccolta dei dati. Se necessario, richiedere all’utente di muovere la testa in modo che le caratteristiche dell’occhio siano tracciate in modo più affidabile prima di riprovare. Questo processo va ripetuto per un certo numero di punti equamente distribuiti sulla scena. Il numero minimo di punti è tre: tuttavia più punti di riferimento si prendono, maggiore sarà la precisione del tracciamento (ASL consiglia di utilizzare 5-10 punti).

Le croci verdi dei punti di calibrazione avvenute con successo restano sullo schermo fino a quando la calibrazione di tutti i punti non sarà terminata (figura 3.28).



Figura 3.28: Calibrazione dei punti salienti

Per finire la calibrazione selezionare il pulsante “Finish”. Nell’immagine della scena appare ora una marcata croce rossa che mostra la posizione dell’effettivo puntamento dello sguardo (figura 3.29).



Figura 3.29: Corsore corrispondente al puntamento dello sguardo

Raccolta dei dati

Quando il sistema è settato e calibrato, Eye Vision può elaborare l'immagine dell'occhio e calcolare la posizione dello sguardo nel corrispondente campo della scena. L'output delle direzione dello sguardo è costituito da una croce sovrimpressa sul video della scena e un file dati in formato ASCII (.csv). Per ottenere questo output (video in formato .avi e il file dati .csv), per ogni utente è necessario cliccare "Record", mentre per terminare premere "Pause".

3.3.5. ASL Result software

L'ASL fornisce un ulteriore software chiamato ASL Result. Questo è progettato per aiutare ad elaborare e ad analizzare i dati raccolti con strumenti Eye Tracker del gruppo ASL. Esso può essere utilizzato per svariate funzioni, tra le quali: visualizzare i dati in grafici ed esportare dei dati in formato testo o in formato Excel.

Il progetto è organizzato per sezioni di dati chiamati "eventi", definiti da condizioni di inizio e fine specificate dall'utente. Un diagramma ad albero, nel pannello di sinistra della finestra principale del programma, mostra la gerarchia del progetto; su ogni nodo del diagramma sono elencate tutte le operazioni che possono essere eseguite su tale nodo e sui sotto-nodi.

ASL Result è in grado di elaborare i files forniti in output dal programma Eye Vision (file con estensione .csv).

4. La sperimentazione

4.1. Premessa

La sperimentazione ha lo scopo di valutare la sicurezza del tronco stradale in esame, compreso tra il km 0+000 e il km 19+200 della SP26 “Valle del Lavino”, concentrando l’analisi sugli attraversamenti pedonali e la sicurezza degli utenti deboli, i pedoni, in corrispondenza degli stessi, anche in relazione al punto di vista dei conducenti in prossimità degli attraversamenti. L’analisi Road Safety Review ha infatti evidenziato lungo la tratta esaminata diversi aspetti che compromettono la sicurezza stradale, tra cui gli attraversamenti pedonali, e che richiederebbero per questo idonei interventi di adeguamento.

Il Codice della Strada definisce gli attraversamenti pedonali come quella “parte della carreggiata, opportunamente segnalata ed organizzata, sulla quale i pedoni in transito dall’uno all’altro lato della strada godono della precedenza rispetto ai veicoli”: è proprio in questa parte della carreggiata che si assiste all’interazione tra l’utente forte della strada, il veicolo, e l’utente debole, il pedone. In ambito stradale la promiscuità dei flussi, veicolare e pedonale, è causa di conflitti tra utente forte e debole, molto spesso con esito anche mortale per il pedone. Risulta pertanto necessario valutare la sicurezza dell’utente debole in prossimità degli attraversamenti pedonali attraverso un’analisi complessiva delle relazioni che intercorrono tra i vari elementi del sistema, ovvero “utente alla guida-pedone-ambiente-infrastruttura”. L’utente alla guida riveste un ruolo importante in questo sistema: una percezione corretta da parte del conducente stesso delle informazioni, geometriche e gestionali, dell’infrastruttura stradale influenza in modo significativo l’eventuale rischio di incidentalità. Il corretto posizionamento dell’attraversamento pedonale lungo il tracciato e, di conseguenza, la corretta percezione ad una distanza di sicurezza permettono al conducente alla guida di prendere

le dovute precauzioni nel caso siano presenti o meno pedoni sulle strisce pedonali o in procinto di attraversare.

Di seguito si descriverà nel dettaglio la sperimentazione effettuata lungo la SP26 per la campagna di raccolti dati, fondamentali per un'analisi accurata del problema.

4.2. Campo prova

4.2.1. Sessioni di prova

La sperimentazione lungo la SP26 è stata svolta sottoponendo un campione di 10 utenti patentati scelti a caso, di cui 6 uomini e 4 donne di età compresa tra i 19 e i 49 anni, ad una prova su strada con l'ausilio della strumentazione V-Box e Mobile Eye (vedi capitolo 3), in dotazione presso il Dipartimento DICAM-Strade dell'Università di Bologna, fondamentale per l'acquisizione dei dati.

Le sessioni di prova si sono svolte in quattro distinte giornate, rispettivamente due nel mese di giugno, il 12/06/2014 e il 13/06/2014, e due nel mese di luglio, il 25/07/2014 e il 29/07/2014: la sperimentazione è stata quindi condotta durante il periodo estivo in condizioni di visibilità favorevoli. Per una migliore acquisizione dei dati la fascia oraria preferita per i rilievi è stata quella del mattino: si è infatti osservato che la troppa luminosità rende difficile la riflessione degli infrarossi sullo specchio dell'occhiale, generando così un segnale sporco in entrata e non elaborabile, con la conseguente perdita del tracciamento del punto di vista del conducente.

4.2.2. Gruppo di rilievo e partecipanti alla prova

Il gruppo di rilievo è sempre stato composto, per tutte le 4 sessioni di prova, da uno o due membri del Dipartimento DICAM-Strade, con il compito di coordinare la prova e controllare il corretto utilizzo della strumentazione, e da non più di tre partecipanti all'esperimento a causa delle tempistiche richieste per ogni singola prova: quest'ultima richiede, oltre al tempo necessario per percorrere il tratto esaminato in andata e in ritorno, anche il tempo necessario per la corretta calibrazione del ME su ogni singolo

utente.

Ai partecipanti è stato chiesto di guidare per l'intero tracciato della SP26 oggetto di analisi, in andata e in ritorno, indossando per tutta la durata della prova la strumentazione Mobile Eye, in grado di rilevare il tracciamento del punto di visualizzazione dell'occhio umano. In tabella 4.1 si riportano, in ordine alfabetico, i nomi dei 10 utenti sottoposti alla sperimentazione con i relativi dati riportanti età, categoria di patente e anno di conseguimento, un valore indicativo dei km percorsi all'anno e l'eventuale numero di sinistri compiuti e/o subiti.

Partecipante alla prova	Sesso	Età	Categoria patente	Anno patente	km/anno	Sinistri
Alberto	M	47	B	1986	15000	0
Claudio	M	33	B	1999	6000	0
Elsa	F	49	B	1983	10000	0
Luca	M	20	B	2012	7000	0
Michele	M	19	B	2013	30000	0
Nicola	M	29	C	2003	40000	0
Patrizia	F	49	B	1983	18000	0
Riccardo	M	28	A - B	2004	5000	0
Sara	F	26	B	2006	10000	1
Valeria	F	36	B	1996	25000	0

Tabella 4.1: Caratteristiche dei partecipanti alla prova

I 10 soggetti selezionati a caso erano del tutto ignari dell'obiettivo che si voleva perseguire, ne avevano mai avuto esperienza dell'apparecchiatura Mobile Eye. Hanno inoltre dichiarato di non avere mai percorso il tracciato in esame, altro fattore importante per valutare l'effettiva reazione alla prima visione del quadro urbano ed extraurbano.

4.2.3. Veicoli utilizzati per la sperimentazione

Le vetture utilizzate per la sperimentazione nel complesso sono state 5. Nessuna di queste appartiene ad uno dei partecipanti: questa scelta è stata operata per evitare fenomeni di eccessiva confidenza col mezzo che potrebbero inficiare i dati di percezione visiva che, invece, rivestono un importante valore per il caso di studio.

Il primo veicolo utilizzato è stata una BMW modello Serie 1 (figura 4.1), con

alimentazione a diesel e trasmissione manuale, utilizzata da Nicola, Riccardo e Sara per le prove condotte nella prima sessione di rilievi, il 12 giugno 2014.



Figura 4.1: Veicolo utilizzato nella prima sessione di prova

Il secondo veicolo è stata una Renault modello Megane GT (figura 4.2) con alimentazione a diesel e trasmissione manuale, utilizzata da Michele e Patrizia nella seconda giornata di rilievi, il 13 giugno 2014.



Figura 4.2: Veicolo utilizzato nella seconda sessione di prova

I rilievi condotti il 25 luglio 2014 hanno visto l'uso di due distinte vetture: prima un Audi serie 1 con alimentazione a benzina e trasmissione manuale, utilizzata da Luca, e poi una Toyota Yaris con alimentazione a benzina e trasmissione manuale, utilizzata da Claudio e Valeria (figura 4.3).



Figura 4.3: Veicoli utilizzati nella terza sessione di prova

Infine l'ultimo campo prova effettuato il 29 luglio 2014 ha previsto l'utilizzo della Volkswagen Up con alimentazione a benzina e trasmissione manuale, sia per la prova di Alberto che per quella di Elsa (figura 4.4).



Figura 4.4: Veicolo utilizzato nella quarta sessione di prova

4.2.4. Strumentazione

Per ogni sessione di rilievi condotta, l'auto utilizzata è stata opportunamente equipaggiata con la strumentazione V-Box con il compito di rilevare i dati di velocità, accelerazione e posizione del veicolo (coordinate fornite dal GPS). In particolare, sopra al tetto del veicolo, al limitare della parte superiore del parabrezza, sono state posizionate le due telecamere (figura 4.5), dotate di apposite ventose per un corretto fissaggio e posizionamento, mentre all'interno del veicolo è stato alloggiato il GPS (figura 4.6).



Figura 4.5: Telecamere V-Box posizionate sul tetto del veicolo di prova



Figura 4.6: GPS posizionato all'interno dell'auto di prova

Oltre al V-Box con cui è stato equipaggiato il veicolo di prova, la sperimentazione ha previsto l'utilizzo della strumentazione Mobile Eye Detector. Ad ogni partecipante è stato richiesto di indossare per tutta la durata delle prova l'occhiale necessario al tracciamento dello sguardo umano, il quale richiede preliminarmente un'accurata procedura di calibrazione sul singolo soggetto. Prima di tutto ad ogni partecipante è stato chiesto di posizionarsi comodamente all'interno della vettura, di regolare la seduta e gli specchietti a loro gradimento e di indossare l'occhiale per poter procedere con la calibrazione (figura 4.7).



Figura 4.7:Partecipante seduto al posto di guida con indosso l'occhiale Mobile Eye

La procedura di calibrazione, descritta più dettagliatamente nel capitolo 3, ha previsto che il partecipante, a richiesta dall'operatore, ponesse lo sguardo su precisi punti presenti all'interno del campo visivo. L'operatore, altrettanto seduto all'interno del veicolo, ha cercato di selezionare i punti, di volta in volta richiesti di fissare al soggetto, sulla schermata del computer ME (figura 4.8). Quando il cursore diventa verde c'è coincidenza tra il punto guardato e quello selezionato dall'operatore pertanto si ritiene valido e si può proseguire con la calibrazione di altri punti. La procedura è ritenuta completata solo con la calibrazione di almeno una decina punti disposti in maniera omogenea all'interno del campo visivo (figura 4.9).



Figura 4.8: Calibrazione Mobile Eye



Figura 4.9: Punti calibrati correttamente

Una volta completata la calibrazione e avviata preventivamente la registrazione del ME e del V-Box, per ogni partecipante è iniziata la prova di guida sul tratto in esame della SP26.

L'impatto dell'apparecchiatura Mobile Eye Detector sui piloti è stato molto buono: i

soggetti hanno trovato la strumentazione poco più pesante di un normale paio di occhiali. Inoltre lo strumento consente piena mobilità del capo e l'osservazione di punti non strettamente pertinenti al tracciato, come per esempio il panorama o il contachilometri (figura 4.10). Da ricordare che alcuni di essi, al termine della prova, dopo aver trascorso almeno quaranta minuti alla guida con indosso gli occhiali, si sono detti un po' stanchi dell'oggetto.

È necessario precisare che l'occhiale Mobile Eye fornisce risultati attendibili solo se indossato da utenti privi di dispositivi di correzione della vista (occhiali da vista, lenti a contatto).

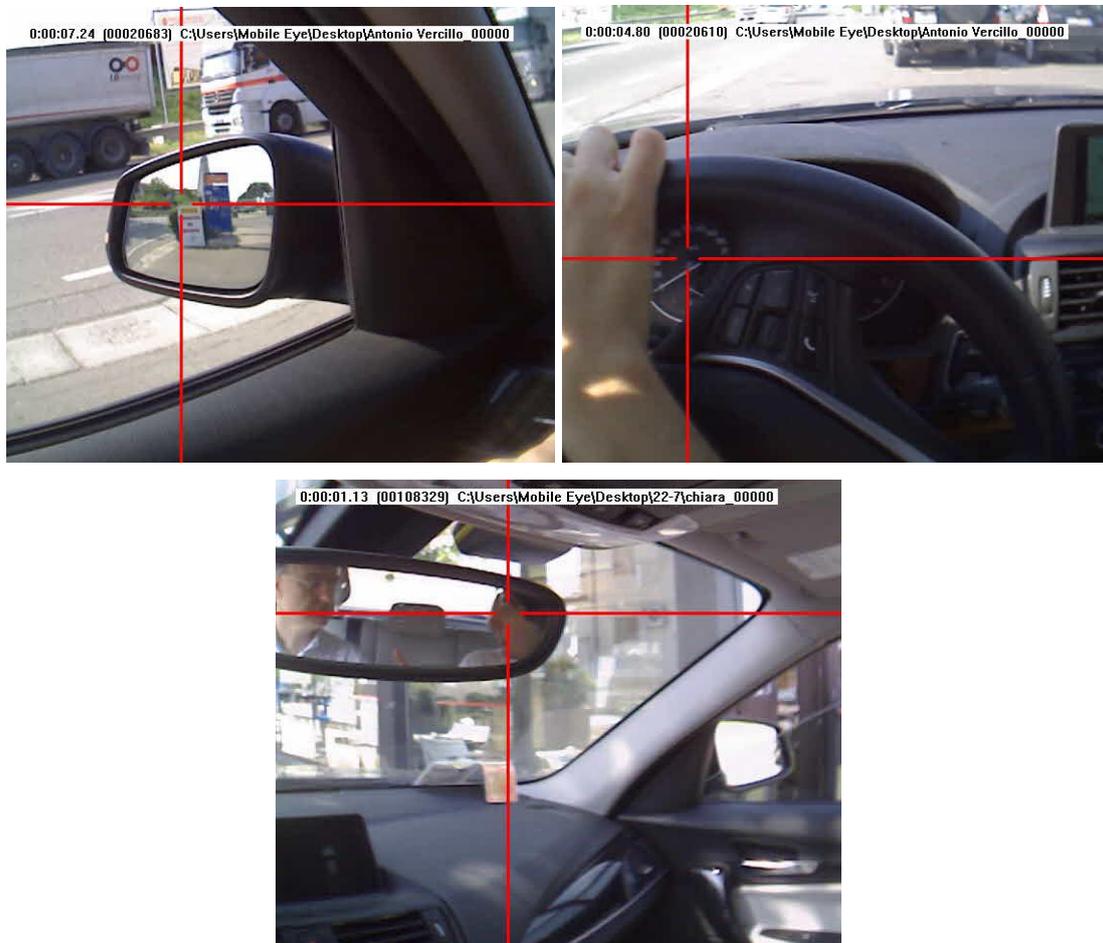


Figura 4.10: Esempi di frame in cui il pilota sfrutta la piena mobilità consentita dallo strumento

4.3. Il percorso di prova

Il percorso di prova (figura 4.11) è rappresentato dal tratto stradale della SP26 “Valle del Lavino”, compreso tra il km 0+000 e il km 19+200, che si sviluppa da via Rigosa (punto A), in comune di Bologna, fino alla località di Badia (punto B), in comune di Monte San Pietro.

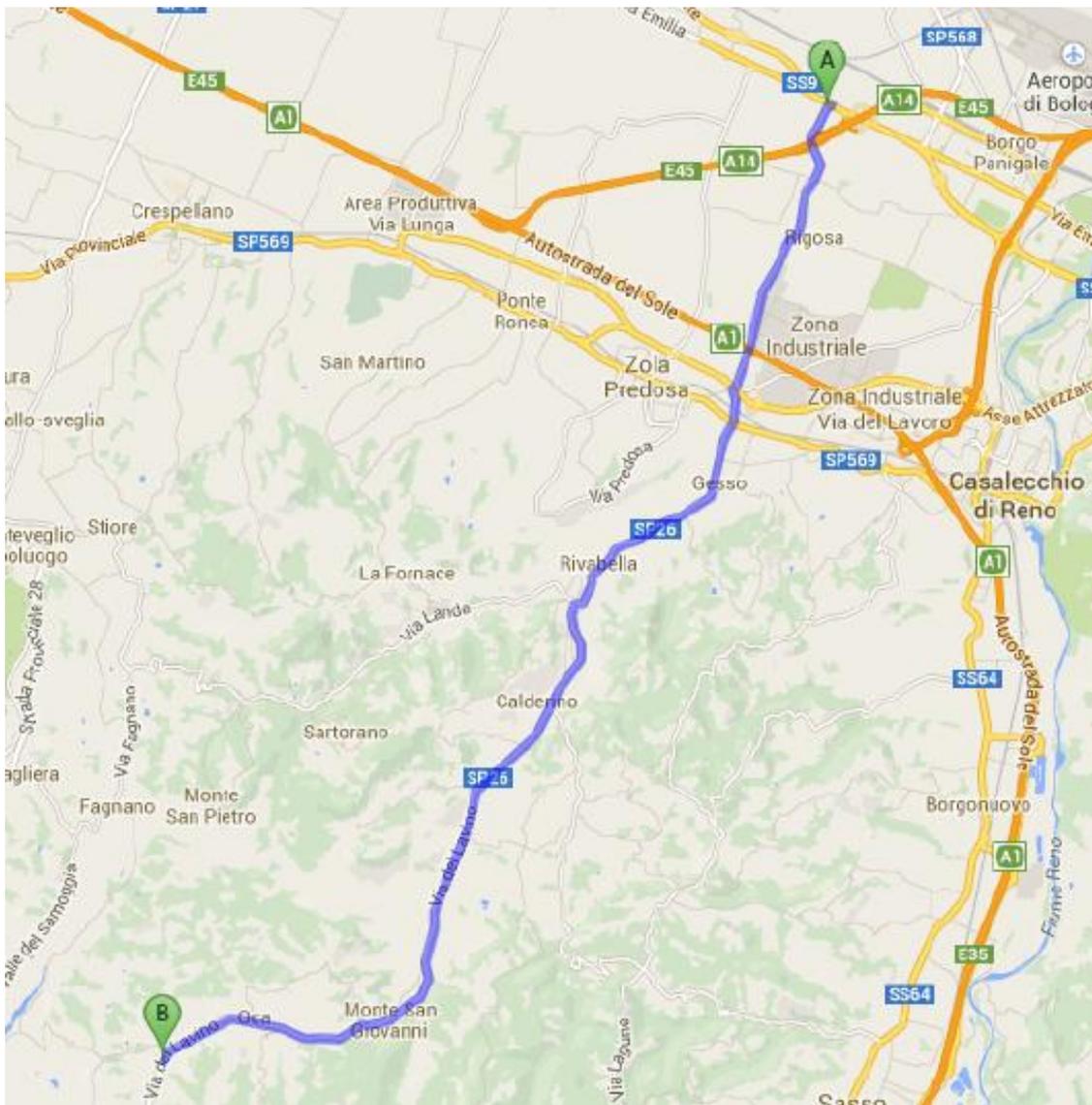


Figura 4.11: Tratto in esame della SP26 “Valle del Lavino”

Completata la calibrazione, ogni partecipante ha iniziato la propria prova di guida. La sperimentazione è stata condotta partendo da un’area di rifornimento, sosta e ristoro posta lungo la SS9 “Via Emilia”, a circa 100 m dalla rotonda da cui si diparte la via

Rigosa, punto di partenza del tracciato in esame: questa scelta è stata fatta per poter compiere le operazioni preliminari in un'area meno trafficata. Da qui ogni pilota ha condotto il veicolo per l'intera tratta di andata di 19,2 km, attraversando in successione le località di Zola Predosa, Gesso, Gessi, Rivabella, Calderino, Monte San Giovanni, Oca fino ad arrivare a Badia. Arrivati a Badia tutti i partecipanti hanno proseguito oltre il cartello di fine centro abitato, per non più di 500 m, per trovare un luogo idoneo a compiere l'inversione di marcia. Fatto ciò, è stato ripercorso lo stesso tratto in ritorno fino al punto di partenza, attraversando i centri abitati sopra elencati ma in ordine inverso. Si considera come tratto di andata, il percorso che va dal punto A al punto B, e come tratto di ritorno, il percorso inverso, dal punto B al punto A.

La lunghezza totale del percorso, complessivamente di andata e ritorno, è di esattamente 38,4 km: lo sviluppo del tracciato prevede l'alternanza di centri urbani a media/elevata densità abitativa a tratti extraurbani immersi in aree rurali.

In figura 4.12 sono posti in evidenza, oltre al tracciato stradale esaminato, compreso tra il punto A e il punto B, i centri abitati presenti lungo il percorso.

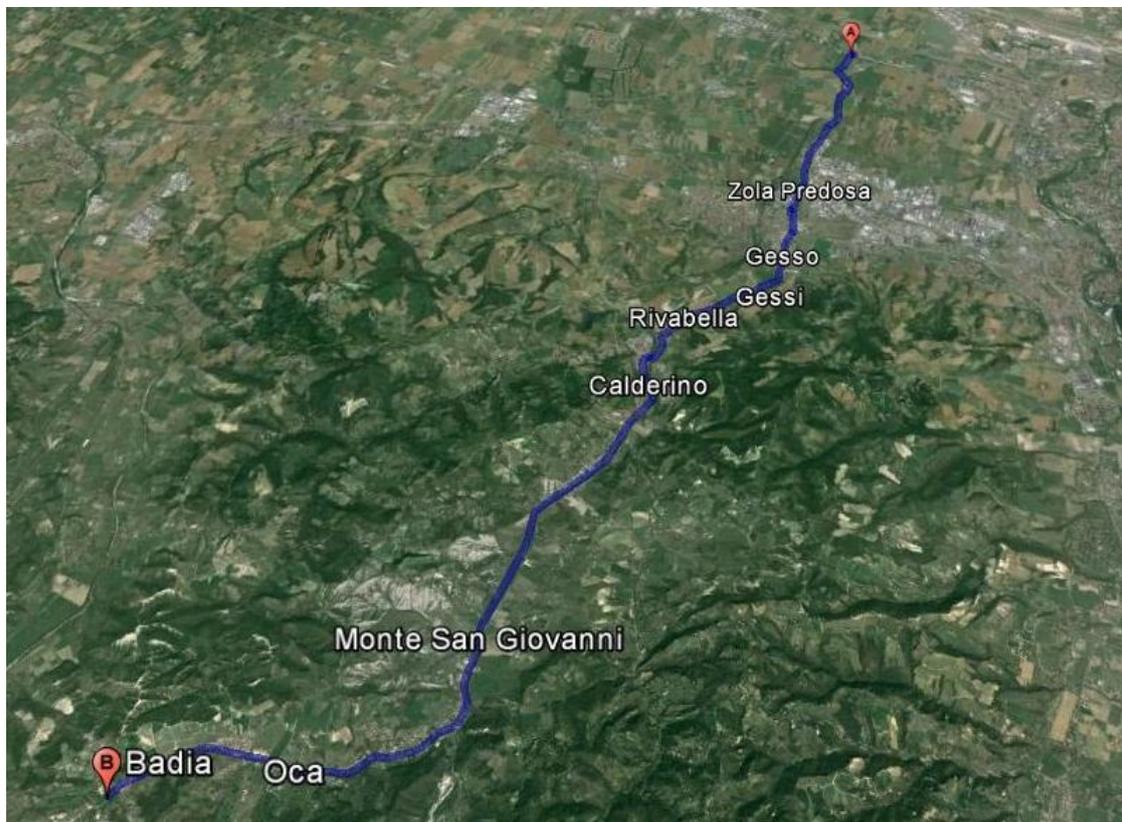


Figura 4.12: Vista aerea del campo prove attraverso Google Maps

4.4. Analisi degli attraversamenti pedonali presenti lungo il percorso

Percorrendo il tracciato posto sotto esame e distinguendo il tratto di andata da quello di ritorno, si individuano:

- 27 attraversamenti pedonali e 2 attraversamenti pedonali semaforizzati all'andata;
- 26 attraversamenti pedonali e 2 attraversamenti pedonali semaforizzati al ritorno.

In tabella 4.2 sono schematizzati il totale degli attraversamenti pedonali e il totale di quelli semaforizzati presenti lungo l'intero tracciato.

Attraversamenti pedonali	
Attraversamenti pedonali di "andata"	27
Attraversamenti pedonali di "ritorno"	26
Attraversamenti pedonali totali	53
Attraversamenti pedonali semaforizzati	
Attraversamenti ped. semaforizzati "di andata"	2
Attraversamenti ped. semaforizzati "di ritorno"	2
Attraversamenti ped. semaforizzati totali	4

Tabella 4.2: Totale attraversamenti pedonali

Per una migliore individuazione e una migliore comprensione in fase di analisi, si fa ricorso ad una numerazione progressiva degli attraversamenti pedonali presenti lungo il percorso. Seguendo l'ordine sequenziale di incontro degli attraversamenti pedonali, partendo da via Rigosa (punto A), arrivando a Badia (punto B) e facendo ritorno di nuovo fino al punto A, si individua con "A.P.", seguito dal numero, gli attraversamenti pedonali e con "SEM.", anch'esso seguito dal numero, gli attraversamenti pedonali semaforizzati. La progressione numerica degli attraversamenti pedonali va da "A.P. 1", che corrisponde al primo attraversamento pedonale incontrato sul percorso di prova nel tratto di andata, fino ad "A.P. 53", che corrisponde all'ultimo presente sul tratto di ritorno prima di fare di nuovo ritorno al punto di partenza. Gli attraversamenti pedonali semaforizzati prevedono invece una numerazione a parte: in totale sull'intero tracciato

ne sono presenti solo 4, di cui 2 in andata e 2 in ritorno, per cui la progressione numerica va semplicemente da “SEM. 1” a “SEM. 4”.

Di seguito, nelle figure 4.13, 4.14 e 4.15 sono riportati i 27 attraversamenti pedonali e i 2 semaforizzati incontrati percorrendo il tracciato dal punto A al punto B: in particolare la progressione numerica degli attraversamenti pedonali va da A.P. 1 ad A.P. 27.

Il tratto di andata è scomposto in tre figure per comodità rappresentative: la figura 4.13 riporta il tracciato a partire dal punto A fino alla località di Rivabella, la figura 4.14 mostra il tracciato in corrispondenza di Calderino e infine la figura 4.15 riporta l'ultimo tratto del percorso di andata da Monte San Giovanni a Badia.

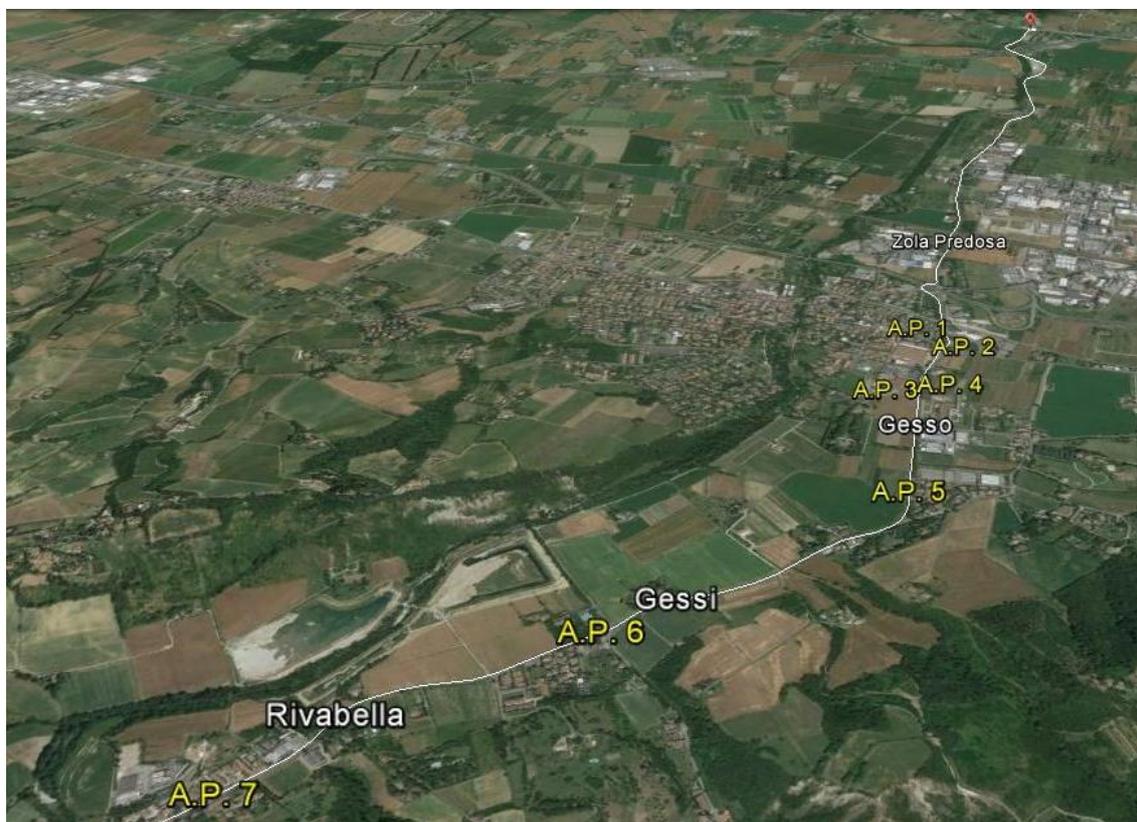


Figura 4.13: Vista aerea da Google Maps degli attraversamenti presenti nel tratto di andata dal punto A fino alla località di Rivabella



Figura 4.14: Vista aerea da Google Maps degli attraversamenti presenti nel tratto di andata in corrispondenza della località di Calderino

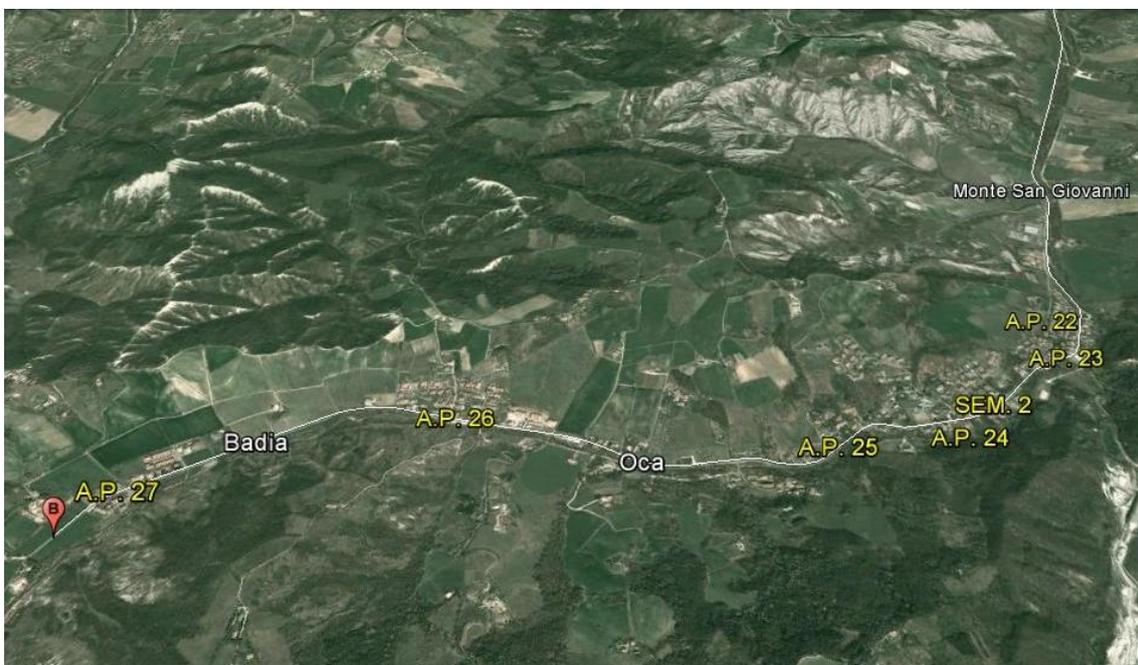


Figura 4.15: Vista aerea da Google Maps degli attraversamenti presenti nel tratto di andata dalla località di Monte San Giovanni fino al punto B

Nelle figure 4.16, 4.17 e 4.18 sono riportati i 26 attraversamenti pedonali e i 2 semaforizzati incontrati percorrendo il tracciato di ritorno dal punto B al punto A. In questo caso la numerazione progressiva degli attraversamenti pedonali va da A.P. 28 ad A.P. 53.

Analogamente a quanto fatto per il tratto di andata, il tratto di ritorno è scomposto in tre figure per comodità rappresentative: la figura 4.16 riporta il tracciato a partire dal punto B fino alla località di Monte San Giovanni, la figura 4.17 mostra il tracciato in corrispondenza di Calderino e infine la figura 4.18 riporta l'ultimo tratto del percorso di ritorno da Rivabella fino al punto A.

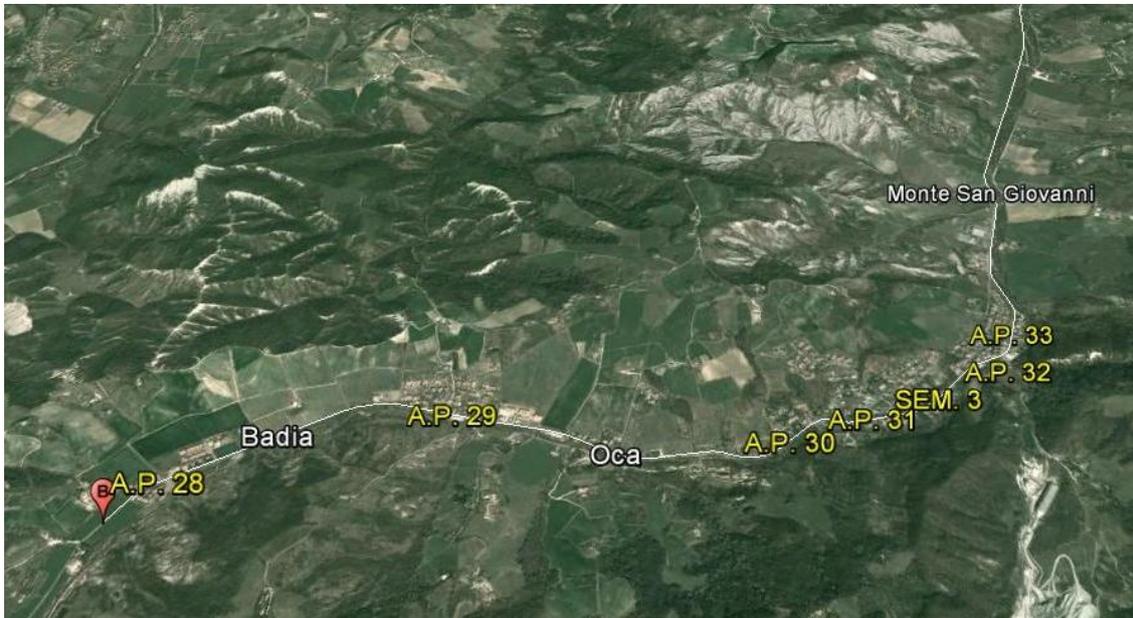


Figura 4.16: Vista aerea da Google Maps degli attraversamenti presenti nel tratto di ritorno dal punto B fino alla località di Monte San Giovanni

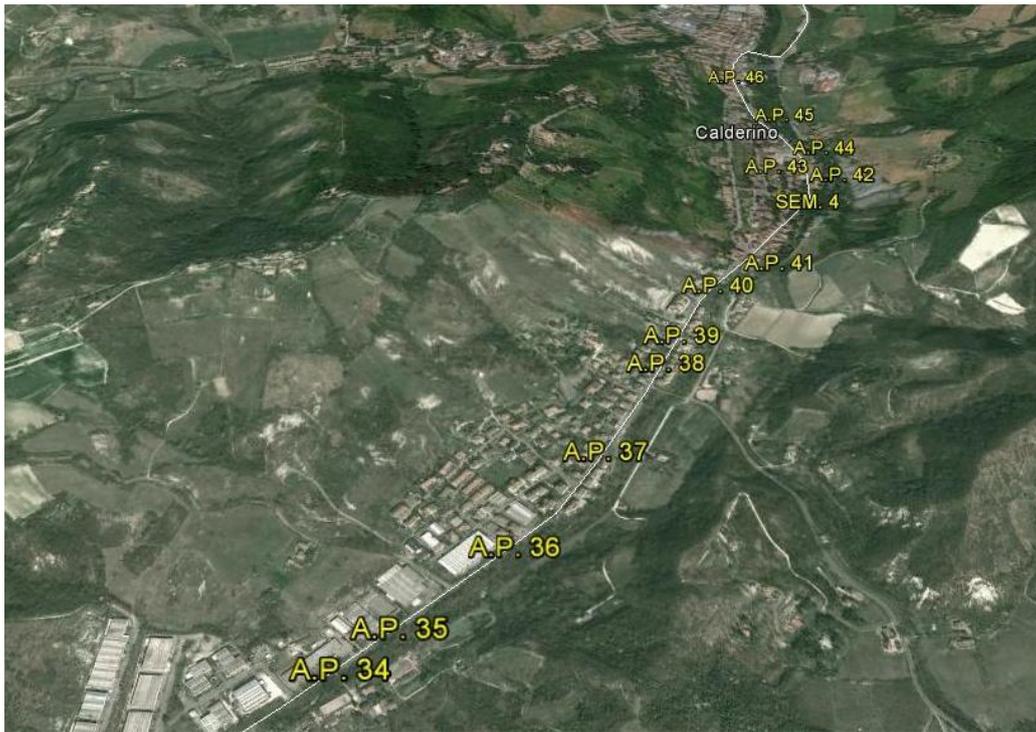


Figura 4.17: Vista aerea da Google Maps degli attraversamenti presenti nel tratto di ritorno in corrispondenza della località di Calderino

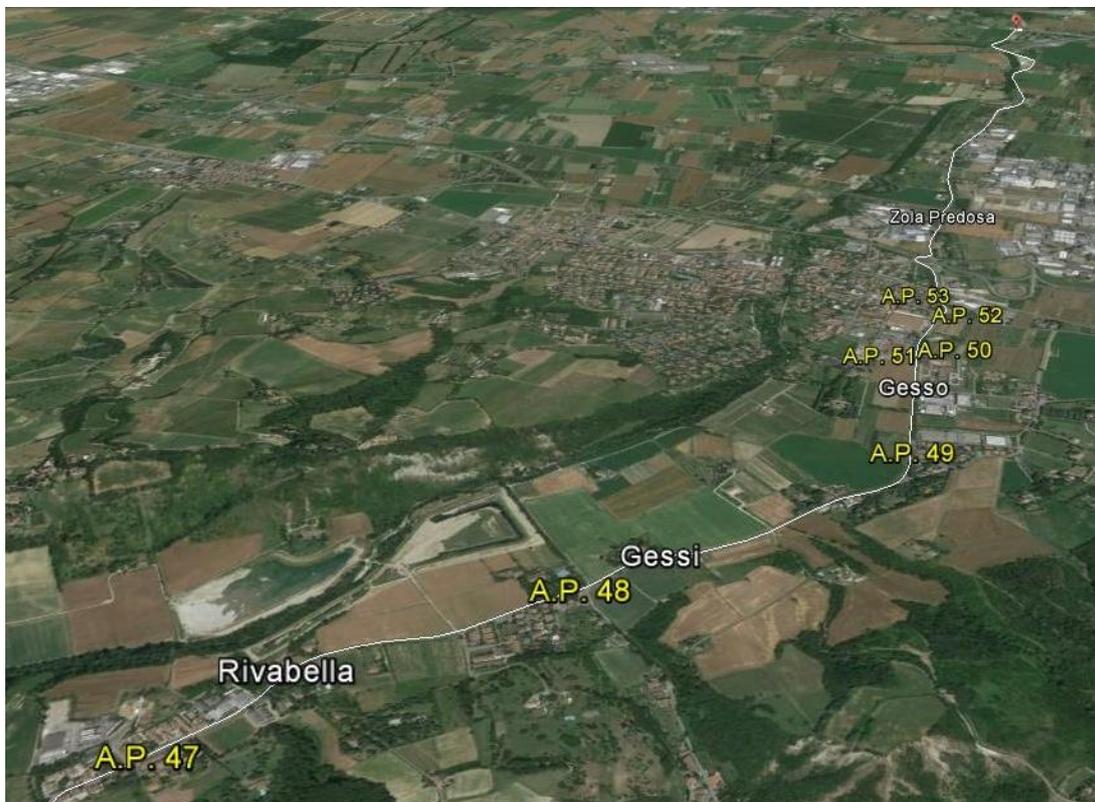


Figura 4.18: Vista aerea da Google Maps degli attraversamenti presenti nel tratto di ritorno dalla località di Rivabella fino al punto A

Il numero degli attraversamenti pedonali “di andata” differisce di un’unità dal numero di quelli “di ritorno”. Questa differenza è dovuta all’attraversamento A.P. 8 del tratto di andata che non presenta il suo corrispettivo nel tratto di ritorno: ciò è dovuto alla viabilità che si presenta all’entrata di Calderino, intesa per gli utenti provenienti da Zola Predosa. Come evidenziato in figura 4.19, il percorso di andata (riportato in nero), in cui è presente l’attraversamento A.P. 8, differisce da quello di ritorno (riportato in azzurro), in cui non è presente il corrispettivo attraversamento.



Figura 4.19: Attraversamento pedonale n.8 in località Calderino

Gli attraversamenti pedonali presenti lungo il tracciato sono tutti inseriti all’interno di un contesto urbano, pertanto non è presente alcun attraversamento pedonale nei tratti extraurbani. Le tabelle 4.3 e 4.4 riportano gli attraversamenti pedonali presenti rispettivamente nel tratto di andata e nel tratto di ritorno: per ognuno si specifica la progressiva chilometrica e il centro abitato urbano in cui si trovano.

Si osserva che il primo attraversamento pedonale presente sul tracciato lo si incontra solo alla progressiva 4+850, in località Zola Predosa, quasi a 5 km di distanza dal punto di partenza. Anche se il percorso di andata differisce da quello di ritorno per un attraversamento in più, è Calderino la località con il maggior numero di attraversamenti pedonali, seguita da Monte San Giovanni e Zola Predosa. Agli altri centri abitati, Gesso, Gessi, Rivabella, Oca e Badia, compete un solo attraversamento pedonale.

Tratto di andata: Zola Predosa -> Badia		
Intersezione	Progressiva	Centro abitato
A.P. 1	km 4+850	Zola Predosa
A.P. 2	km 5+020	Zola Predosa
A.P. 3	km 5+230	Zola Predosa
A.P. 4	km 5+290	Zola Predosa
A.P. 5	km 5+830	Gesso
A.P. 6	km 6+930	Gessi
A.P. 7	km 7+880	Rivabella
A.P. 8	km 8+650	Calderino
A.P. 9	km 8+790	Calderino
A.P. 10	km 9+000	Calderino
A.P. 11	km 9+200	Calderino
A.P. 12	km 9+300	Calderino
A.P. 13	km 9+400	Calderino
Semaforo 1	km 9+470	Calderino
A.P. 14	km 9+800	Calderino
A.P. 15	km 9+920	Calderino
A.P. 16	km 10+040	Calderino
A.P. 17	km 10+230	Calderino
A.P. 18	km 10+530	Calderino
A.P. 19	km 10+830	Calderino
A.P. 20	km 11+090	Calderino
A.P. 21	km 11+210	Calderino
A.P. 22	km 14+830	Monte San Giovanni
A.P. 23	km 15+190	Monte San Giovanni
Semaforo 2	km 15+620	Monte San Giovanni
A.P. 24	km 15+710	Monte San Giovanni
A.P. 25	km 16+100	Monte San Giovanni
A.P. 26	km 17+550	Oca
A.P. 27	km 18+770	Badia

Tabella 4.3: Attraversamenti del tratto di andata

Tratto di andata: Badia -> Zola Predosa		
Intersezione	Progressiva	Centro abitato
A.P. 28	km 18+770	Badia
A.P. 29	km 17+550	Oca
A.P. 30	km 16+100	Monte San Giovanni
A.P. 31	km 15+710	Monte San Giovanni
Semaforo 3	km 15+620	Monte San Giovanni
A.P. 32	km 15+190	Monte San Giovanni
A.P. 33	km 14+830	Monte San Giovanni
A.P. 34	km 11+210	Calderino
A.P. 35	km 11+090	Calderino
A.P. 36	km 10+830	Calderino
A.P. 37	km 10+530	Calderino
A.P. 38	km 10+230	Calderino
A.P. 39	km 10+040	Calderino
A.P. 40	km 9+920	Calderino
A.P. 41	km 9+800	Calderino
Semaforo 4	km 9+470	Calderino
A.P. 42	km 9+400	Calderino
A.P. 43	km 9+300	Calderino
A.P. 44	km 9+200	Calderino
A.P. 45	km 9+000	Calderino
A.P. 46	km 8+790	Calderino
A.P. 47	km 7+880	Rivabella
A.P. 48	km 6+930	Gessi
A.P. 49	km 5+830	Gesso
A.P. 50	km 5+290	Zola Predosa
A.P. 51	km 5+230	Zola Predosa
A.P. 52	km 5+020	Zola Predosa
A.P. 53	km 4+850	Zola Predosa

Tabella 4.4: Attraversamenti del tratto di ritorno

Le tabelle 4.5 e 4.6 riportano invece per ciascun attraversamento pedonale gli elementi che li caratterizzano. Gli unici elementi di corredo che emergono dall'analisi di tutti gli attraversamenti pedonali presenti lungo il percorso di prova sono:

- strisce pedonali (zebrate orizzontali);
- cartello verticale;
- cartello a portale.

Gli attraversamenti pedonali semaforizzati individuati presentano solo le strisce pedonali degli elementi sopra elencati, oltre alla ovvia lampada semaforica che può essere o singola, laterale, o doppia, laterale e centrale.

Nelle tabelle seguenti (tabella 4.5 e 4.6), la presenza di ciascun elemento di corredo è segnalata con il simbolo “✓” riportato nella casella corrispondente. Si considera la presenza del cartello verticale in corrispondenza di un attraversamento pedonale se quest'ultimo è posto sulla parte destra della carreggiata, in quanto l'analisi viene fatta distinguendo gli attraversamenti pedonali incontrati nel tratto di andata da quelli incontrati nel tratto di ritorno.

È necessario precisare che quanto riportato nelle precedenti tabelle, 4.3 e 4.4, e in quelle successive, 4.5 e 4.6, corrisponde allo stato attuale di fatto degli attraversamenti. Tra la seconda e la terza sessione di prove infatti sono state attuate delle modifiche agli attraversamenti pedonali corrispondenti a A.P. 15 e A.P. 16 nel tratto di andata e di conseguenza dei loro corrispettivi nel tratto di ritorno, ossia rispettivamente A.P. 40 e A.P. 39.

Per quanto riguarda l'attraversamento pedonale posto alla progressiva chilometrica 9+920, in località Calderino, corrispondente all'attraversamento A.P. 15 in andata e A.P. 40 in ritorno, agli elementi di corredo già presenti, ossia strisce pedonali e cartello verticale, è stato aggiunto il cartello a portale.

Discorso diverso è quello riguardante l'attraversamento A.P. 16 in andata e rispettivo A.P. 39 in ritorno: le sole strisce pedonali che lo caratterizzavano sono state spostate di circa 40 m, in corrispondenza della progressiva 10+040, dove si trovava già installato un cartello a portale, diventando così un attraversamento corredato di strisce e cartello a portale.

Tratto di andata: Zola Predosa -> Badia					
Intersezione	Strisce pedonali	Cartello A.P. verticale dx	Cartello A.P. a portale	Lampada semaforica	
				centrale	laterale
A.P. 1	✓				
A.P. 2	✓	✓			
A.P. 3	✓	✓	✓		
A.P. 4	✓		✓		
A.P. 5	✓	✓			
A.P. 6	✓	✓	✓		
A.P. 7	✓	✓			
A.P. 8	✓	✓			
A.P. 9	✓	✓	✓		
A.P. 10	✓		✓		
A.P. 11	✓	✓	✓		
A.P. 12	✓		✓		
A.P. 13	✓		✓		
Semaforo 1	✓				✓
A.P. 14	✓		✓		
A.P. 15	✓	✓	✓		
A.P. 16	✓		✓		
A.P. 17	✓		✓		
A.P. 18	✓		✓		
A.P. 19	✓	✓			
A.P. 20	✓	✓	✓		
A.P. 21	✓	✓			
A.P. 22	✓		✓		
A.P. 23	✓	✓	✓		
Semaforo 2	✓			✓	✓
A.P. 24	✓	✓	✓		
A.P. 25	✓	✓			
A.P. 26	✓		✓		
A.P. 27	✓		✓		

Tabella 4.5: Elementi di corredo presenti negli attraversamenti del tratto di andata

Tratto di ritorno: Badia -> Zola Predosa					
Intersezione	Strisce pedonali	Cartello A.P. verticale dx	Cartello A.P. a portale	Lampada semaforica	
				centrale	laterale
A.P. 28	✓		✓		
A.P. 29	✓	✓	✓		
A.P. 30	✓	✓			
A.P. 31	✓	✓	✓		
Semaforo 3	✓			✓	✓
A.P. 32	✓	✓	✓		
A.P. 33	✓		✓		
A.P. 34	✓	✓			
A.P. 35	✓	✓	✓		
A.P. 36	✓	✓			
A.P. 37	✓		✓		
A.P. 38	✓		✓		
A.P. 39	✓		✓		
A.P. 40	✓	✓	✓		
A.P. 41	✓		✓		
Semaforo 4	✓				✓
A.P. 42	✓		✓		
A.P. 43	✓		✓		
A.P. 44	✓	✓	✓		
A.P. 45	✓	✓	✓		
A.P. 46	✓	✓	✓		
A.P. 47	✓	✓			
A.P. 48	✓	✓	✓		
A.P. 49	✓	✓			
A.P. 50	✓		✓		
A.P. 51	✓	✓	✓		
A.P. 52	✓	✓			
A.P. 53	✓				

Tabella 4.6: Elementi di corredo presenti negli attraversamenti del tratto di ritorno

Dai dati emerge che gli attraversamenti pedonali maggiormente segnalati sono quelli in cui sono presenti contemporaneamente tutti e 3 gli elementi di corredo individuati; al contrario, gli attraversamenti più sguarniti sono quelli che presentano le sole strisce pedonali, ossia A.P. 1 nel tratto di andata e A.P. 53 nel tratto di ritorno.

Una volta individuati tutti i 57 attraversamenti pedonali, di cui 4 semaforizzati, specificando per ognuno gli elementi di corredo presenti, per la successiva analisi dei dati ottenuti dalla sperimentazioni, per una migliore comprensione dei risultati, li si raggruppa per classi. Gli attraversamenti vengono così classificati in funzione degli elementi che li caratterizzano. La tabella 4.7 riporta le diverse classi individuate con i rispettivi elementi di corredo, gli attraversamenti che ad ogni classe competono e la percentuale degli attraversamenti che competono a quella classe sul totale dei 57 attraversamenti riscontrati sul tracciato.

Per quanto concerne gli attraversamenti pedonali se ne possono individuare di quattro tipologie: attraversamenti con solo strisce pedonali, attraversamenti con strisce e cartello a portale, attraversamenti con strisce e cartello verticale e attraversamenti con tutti e tre gli elementi, ossia strisce, cartello verticale e cartello a portale. Il criterio adottato per la nomenclatura delle classi vuole che il numero accanto alla lettera “C” corrisponda al numero di elementi di corredo presenti per quella classe. Si distinguono con C 2.a e C 2.b le classi che presentano entrambe 2 elementi.

Discorso a parte è quello riguardante gli attraversamenti pedonali semaforizzati: se ne individuano solo 4 lungo l'intero percorso e presentano, come elementi di corredo, solo strisce pedonali e lampada semaforica. Si definisce con C 4 la classe con strisce pedonali e lampada laterale mentre con C 5 la classe con strisce ed entrambe le lampade, centrale che laterale.

Classe di attraversamento pedonale	Elementi di corredo	Attraversamenti pedonali corrispondenti		% sul totale degli attraversamenti
C 1	Strisce pedonali	A.P. 1	A.P. 53	3,50%
C 2.a	Strisce pedonali Cartello a portale	A.P. 4 A.P. 10 A.P. 12 A.P. 13 A.P. 14 A.P. 16 A.P. 17 A.P. 18 A.P. 22 A.P. 26	A.P. 27 A.P. 28 A.P. 33 A.P. 37 A.P. 38 A.P. 39 A.P. 41 A.P. 42 A.P. 43 A.P. 50	35,10%
C 2.b	Strisce pedonali Cartello verticale	A.P. 2 A.P. 5 A.P. 7 A.P. 8 A.P. 19 A.P. 21 A.P. 25	A.P. 30 A.P. 34 A.P. 36 A.P. 47 A.P. 49 A.P. 52	22,80%
C 3	Strisce pedonali Cartello verticale Cartello a portale	A.P. 3 A.P. 6 A.P. 9 A.P. 11 A.P. 15 A.P. 20 A.P. 23 A.P. 24 A.P. 29	A.P. 31 A.P. 32 A.P. 35 A.P. 40 A.P. 44 A.P. 45 A.P. 46 A.P. 48 A.P. 51	31,60%
C 4	Strisce pedonali Lampada laterale	SEM. 1 SEM. 4		3,50%
C 5	Strisce pedonali Lampada laterale Lampada centrale	SEM. 2 SEM. 3		3,50%

Tabella 4.7: Classificazione degli attraversamenti pedonali

La classe C 2.a è quella con il maggiore numero di attraversamenti: lungo l'intero percorso di prova si incontrano 20 attraversamenti corredati da strisce pedonali e cartello a portale, con una percentuale del 35,10% sul totale dei 57 attraversamenti presenti sul tracciato. A seguire la classe C 3 con una percentuale di poco inferiore, pari al 31,60%, alla quale competono 18 attraversamenti pedonali caratterizzati da tutti e tre gli elementi di corredo, e la classe C 2.b che conta 13 attraversamenti con strisce e cartello verticale. Infine, alla classe più sguarnita, la classe C 1, competono solo 2 attraversamenti pedonali.

4.5. Analisi dei dati raccolti dalla sperimentazione

Al termine della sperimentazione, i dati ottenuti dal campo prove, ossia i dati raccolti dal V-Box e quelli raccolti dal Mobile Eye Detector, sono stati opportunamente elaborati ed analizzati.

I dati raccolti dal V-Box (velocità, accelerazione, progressiva, ecc.) durante le 10 prove di guida condotte per la sperimentazione sono stati analizzati attraverso il software Performance Tool (figura 4.19): quest'ultimo permette di diagrammare su un piano cartesiano, in funzione o del tempo o dello spazio, uno o più parametri a scelta tra quelli registrati dallo strumento. La schermata del programma prevede inoltre il video registrato dalle due telecamere poste sopra al veicolo, una finestra in cui sono riportati i valori puntuali di ogni parametro e un'altra dove invece è possibile visualizzare l'andamento planimetrico del tracciato con sovrainpressa una "X" in corrispondenza del punto selezionato.

I dati cinematici di interesse per le analisi, relativi in particolare a progressiva e velocità, sono stati esportati dal programma in formato .exe ed opportunamente elaborati con Excel.

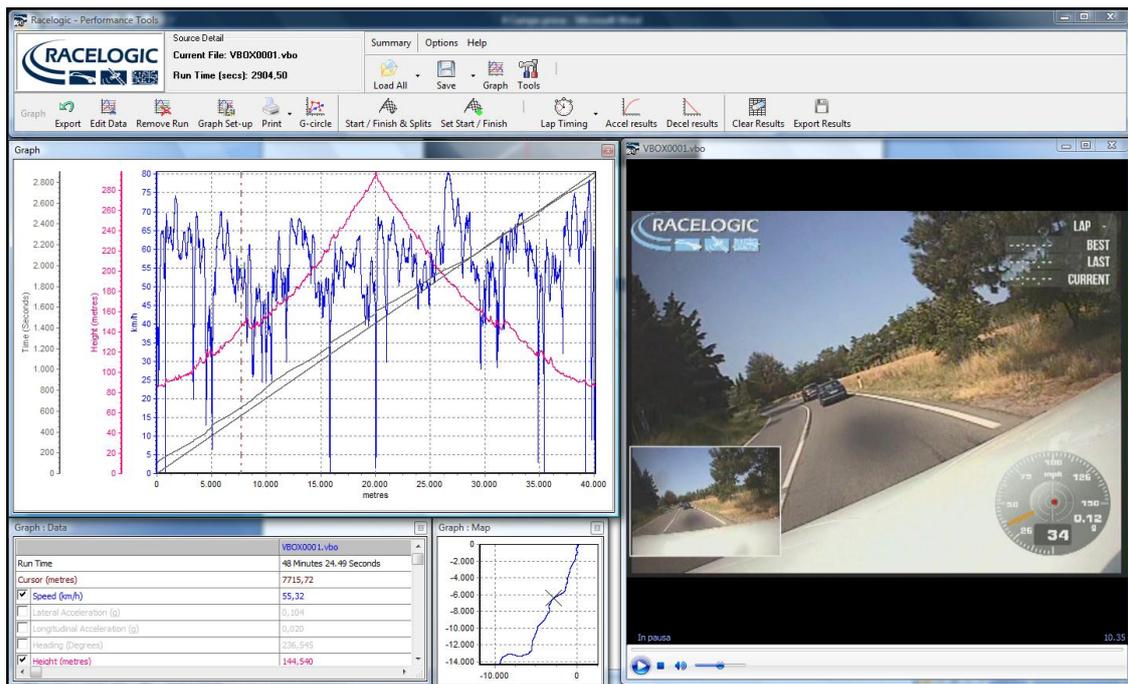


Figura 4.20: Schermata Performance Tools

La strumentazione Mobile Eye Detector ha restituito, per ognuno dei partecipanti alla sperimentazione, un filmato del percorso di prova con sovrainpresso il puntatore a croce rossa che rappresenta il punto esatto in cui il soggetto mira lo sguardo durante la guida.

I dati registrati dal V-Box relativi alla velocità sono stati estrapolati dal programma Performance Tools ed elaborati opportunamente per condurre l'analisi cinematica del problema; quelli relativi alla progressiva sono invece stati elaborati integrandoli con i dati ottenuti dal Mobile Eye, relativamente al punto di osservazione durante la guida di ciascun partecipante.

L'analisi dei filmati è stata condotta focalizzando l'attenzione sul puntatore in prossimità degli attraversamenti pedonali per poter comprendere se e quanto quest'ultimi vengono percepiti dagli utenti alla guida (figura 4.21). Per poter integrare in modo preciso i dati del V-Box con quelli del Mobile Eye si sono presi dei punti di riferimento ben individuabili dai video disposti lungo il tracciato, come ad esempio la segnaletica verticale o altri elementi di corredo presenti sul percorso.

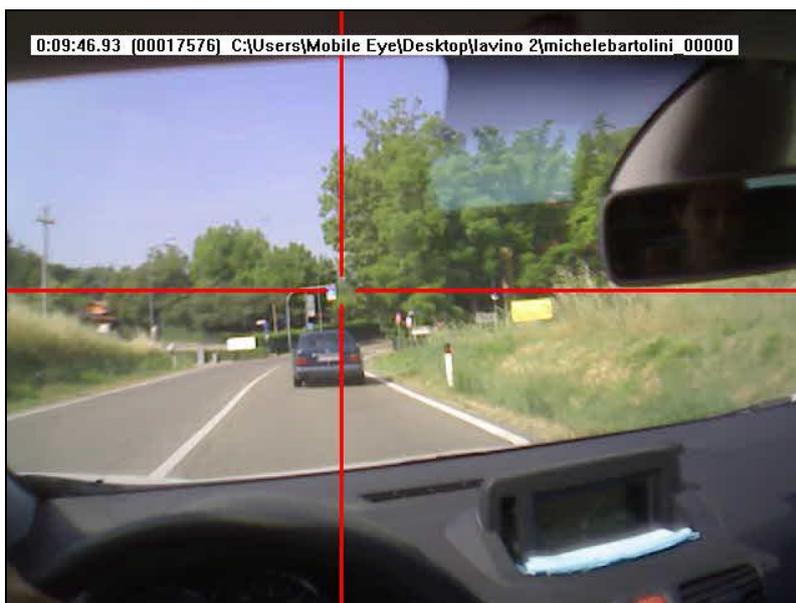


Figura 4.21: Fotogramma estratto dai video del Mobile Eye

Nei seguenti capitoli 5 e 6 si descrive dettagliatamente l'elaborazione e l'analisi dei dati ottenuti con la sperimentazione.

5. L'analisi cinematica

5.1. Premessa

Fino ad ora è stato introdotto il problema della promiscuità dei flussi in ambito stradale, con particolare attenzione a due tipologie di punti sensibili dei tracciati urbani: le intersezioni pedonali e semaforizzate.

Si è esposto un caso reale, SP 26 “Valle del Lavino”, in cui la promiscuità dei flussi ha generato, dati alla mano, condizioni sfavorevoli di conflitti ad esito anche mortale tra utenti deboli, i pedoni, ed utenti forti, i veicoli.

Nel capitolo precedente è stata inizialmente trattata la sperimentazione, descrivendo il campo prove con i relativi partecipanti, i veicoli utilizzati per le guide e la strumentazione utilizzata durante ogni sessione di prova (il Sistema Video V-Box e il Mobile Eye); sono state presentate le attrezzature ed i software necessari per la fase di elaborazione dei dati ed è stato introdotto, e poi analizzato nel dettaglio, il percorso di prova. Successivamente, si sono presentati, numerandoli in ordine crescente, tutti i 57 attraversamenti pedonali incontrati percorrendo il tratto di strada in questione, in fase di andata e di ritorno. Essi sono stati suddivisi, in prima istanza, tra attraversamenti pedonali (53), e attraversamenti pedonali semaforizzati (4). Successivamente in funzione degli elementi di corredo, sono state introdotte 4 classi per quelli pedonali e solo 2 classi per quelli semaforizzati. Come già specificato nel capitolo precedente, dal totale di tutti gli attraversamenti, per l'elaborazione dei dati, sono stati eliminati due passaggi pedonali, per l'esattezza A.P. 15 e A.P. 16 nel tratto di andata e i corrispettivi nel tratto di ritorno (A.P. 39 e A.P. 40), in quanto hanno subito delle modifiche strutturali in fase di raccolta dati, tra la seconda sessione di prova e la terza.

In questo capitolo si esporrà la fase di analisi dei dati riguardanti la velocità: l'analisi cinematica. Si cercherà di capire se, corrispondentemente alla percezione e visione

dell'attraversamento pedonale sul tracciato, vi siano delle variazioni di velocità e di quale entità esse siano. È necessario sottolineare che, il tratto di strada in questione non ha ancora subito dei lavori di riqualificazione e quindi, c'è un'alta probabilità che, l'elaborazione dei dati riscontri una mancata variazione di velocità in corrispondenza degli attraversamenti pedonali. È proprio in corrispondenza di quelle intersezioni che risultano essere quelle maggiormente pericolose, che sarebbe necessario prevedere degli interventi di adeguamento atti ad ottenere una diminuzione di velocità, per garantire la sicurezza della parte debole di utenza.

5.2. Distanza minima di arresto

Il Decreto ministeriale numero 6792 del 5 novembre 2001 "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade" definisce alcuni parametri specifici cui si farà ricorso per la fase di analisi che segue. Si cita testualmente: *"L'esistenza di opportune visuali libere costituisce primaria ed inderogabile condizione di sicurezza della circolazione. Per distanza di visuale libera si intende la lunghezza del tratto di strada che il conducente riesce a vedere davanti a sé senza considerare l'influenza del traffico, delle condizioni atmosferiche e di illuminazione della strada. Lungo il tracciato stradale la distanza di visuale libera deve essere confrontata, in fase di progettazione ed a seconda dei casi successivamente precisati, con le seguenti distanze:*

- distanza di visibilità per l'arresto, che è pari allo spazio minimo necessario perché un conducente possa arrestare il veicolo in condizione di sicurezza davanti ad un ostacolo imprevisto;
- distanza di visibilità per il sorpasso, che è pari alla lunghezza del tratto di strada occorrente per compiere una manovra di completo sorpasso in sicurezza, quando non si possa escludere l'arrivo di un veicolo in senso opposto;
- distanza di visibilità per la manovra di cambiamento di corsia, che è pari alla lunghezza del tratto di strada occorrente per il passaggio da una corsia a quella ad essa adiacente nella manovra di deviazione in corrispondenza di punti singolari (intersezioni, uscite, ecc.)."

Viene contestualmente fornita una formula per il calcolo della distanza di visibilità

necessaria per l'arresto del veicolo:

$$D_A = D_1 + D_2 \quad (1)$$

dove D_1 è lo spazio percorso nel tempo τ , D_2 è lo spazio necessario alla frenata. Esplicitandola, otteniamo:

$$D_A = \left(\frac{V_0}{3.6}\right)\tau - \frac{1}{(3.6)^2} \int_{V_0}^{V_1} \frac{V}{g \left(f_1(V) \pm \frac{i}{100}\right) + \frac{R_a(V)}{m} + r_0(V)} dV \quad (2)$$

dove:

- V_0 è la velocità del veicolo all'inizio della frenatura [km/h];
- V_1 è la velocità finale del veicolo, in caso di arresto $V_1 = 0$ [km/h];
- i è la pendenza longitudinale del tracciato [%];
- τ è il tempo complessivo di reazione del conducente [s];
- g è l'accelerazione di gravità [m/s²];
- R_a è la resistenza aerodinamica [N];
- m è la massa del veicolo [kg];
- f_1 è la quota limite del coefficiente di aderenza longitudinale da considerarsi per la frenata;
- r_0 è la resistenza unitaria al rotolamento, termine generalmente trascurabile

La resistenza aerodinamica R_a si valuta con la seguente espressione:

$$R_a = \frac{1}{2(3.6)^2} \rho C_x S V^2 \quad (3)$$

dove: C_x è il coefficiente aerodinamico, S è la superficie resistente, ρ la massa volumica dell'aria in condizioni standard [kg/m³]. Per f_1 possono adottarsi i valori di seguito riportati, il primo riferito alle autostrade e l'altro valido per tutti gli altri tipi di strade (Tabella 5.1). Tali valori sono compatibili anche con superficie stradale leggermente bagnata (spessore velo idrico 0,5 mm).

VELOCITA' km/h	25	40	60	80	100	120	140
f ₁ Autostrade	-	-	-	0.44	0.40	0.36	0.34
f ₁ Altre strade	0,45	0.43	0.35	0.30	0.25	0.21	-

Tabella 5.1: Quota limite del coefficienta di aderenza per strade ed autostrade

Per le autostrade sono stati adottati valori di f₁ maggiori in considerazione del fatto che su tale tipo di vie, caratterizzate da standard geometrici elevati nonché da piani viabili di qualità, l'utente tende ad impegnare l'aderenza disponibile in misura maggiore. I valori di f₁ riferiti alle autostrade possono essere adottati per le strade extraurbane (categoria B) qualora le qualità del piano viabile risultino paragonabili a quelle delle strade di tipo A (autostrade) e siano mantenute tali nel tempo.

Per il tempo complessivo di reazione si assumono valori linearmente decrescenti con la velocità: da 2,6 s per 20 km/h, a 1,4 s per 140 km/h., in considerazione della attenzione più concentrata alle alte velocità.

$$\tau = 2.8 - 0.01 V \quad [s] \quad V \text{ in km/h}$$

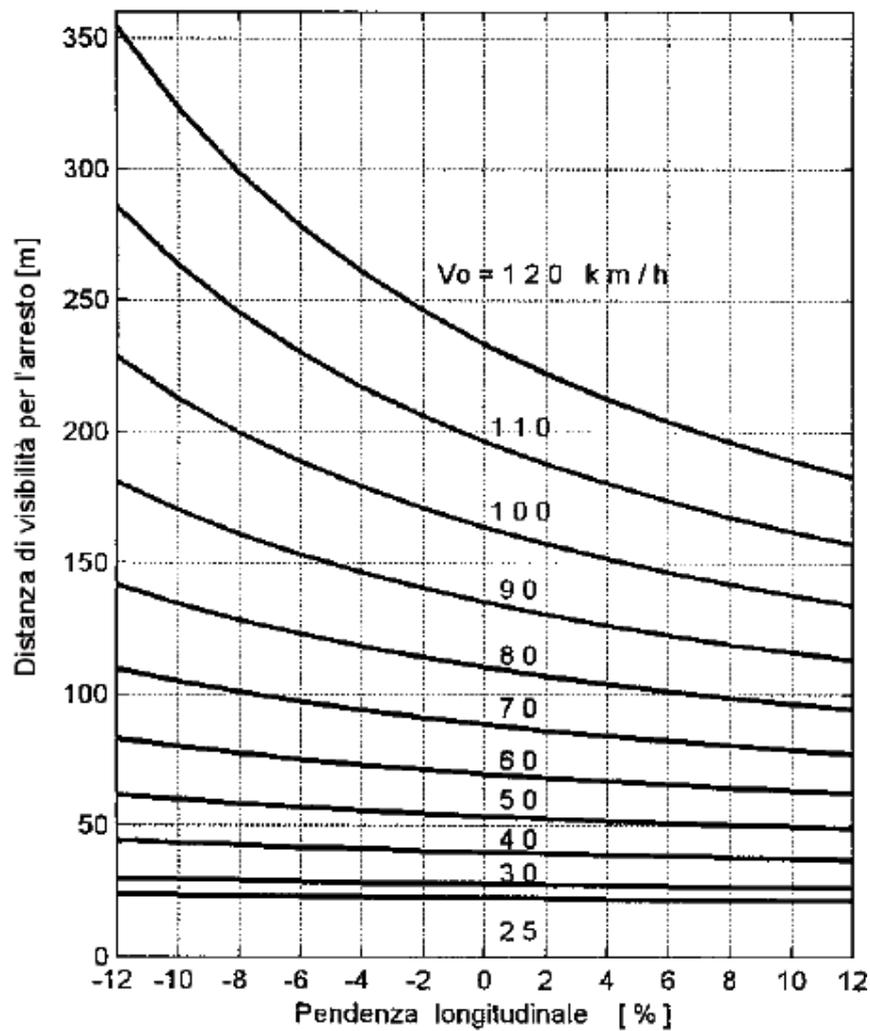


Tabella 5.2: Distanza di arresto in funzione della velocità e della pendenza longitudinale per le strade comuni

Nella tabella 5.2 si riportano le distanze di visibilità per l'arresto calcolate per il caso di arresto di una autovettura le cui caratteristiche di resistenza aerodinamica (con riferimento ad una autovettura media) sono precisate di seguito:

- C_x = coefficiente aerodinamico = 0,35
- S = superficie resistente = 2,1 [m²]
- m = massa del veicolo = 1250 [kg]
- ρ = massa volumica dell'aria in condizioni standard = 1,15 [kg/m³]

Con queste condizioni e V espressa in km/h si ottiene :

$$\frac{R_a}{m} = 2,61 \times 10^{-5} \times V^2 \quad [\text{N/kg}]$$

Utilizzando l'abaco (tabella 5.2) si è ricavata per via grafica la distanza di arresto per il centro urbano ove vige il limite dei 50 km/h con una pendenza media del tracciato pari a 1,4%, ottenendo un valore approssimativo di poco superiore ai 50 m. Più precisamente, si è calcolata la distanza di visibilità per l'arresto anche attraverso la formulazione aritmetica (2), ottenendo un valore pari a 54,8 m.

Nelle analisi successive si farà riferimento, ponendosi a favore di sicurezza, al valore di 50 m come distanza necessaria per l'arresto.

5.3. Analisi dei dati V-Box

Nel capitolo precedente si è descritto il metodo di utilizzazione dello strumento ed ora si considerano quelli che sono i filmati ed i dati registrati con il video V-Box relativi alle caratteristiche cinematiche.

Il filmato, estratto dalla visione della prima telecamera, si presenta come in figura 5.1 nella quale sono indicate, in basso a destra la velocità in miglia orarie e l'accelerazione trasversale, parametri che si sono scelti anticipatamente come descritto nel capitolo 3; nell'angolo in basso a sinistra, invece, è visibile il video della seconda telecamera, anch'essa collocata all'esterno del veicolo, sul tetto al limite della parte superiore del parabrezza.



Figura 5.1: Fotogramma dei vide ottenuti con il V-BOX

I dati, raccolti dal V-Box (velocità, accelerazione, progressiva, ecc.) durante le 10 prove di guida condotte per la sperimentazione, sono stati analizzati attraverso il software Performance Tool, come esposto nel capitolo 3.

I dati cinematici di interesse per le analisi, relativi in particolare a progressiva e velocità, sono stati esportati dal programma in formato .exe ed opportunamente elaborati con Excel. Infatti, per ogni utente, si è scomposto ogni singolo attraversamento in tre fasi, avvicinamento, superamento ed allontanamento, identificandole con le progressive - 200 m, - 150 m, - 100 m, - 50 m, 0 m, 50 m, 100 m, 150 m, 200 m. Si sono dunque ricavate le velocità in corrispondenza delle stesse, ottenendo, per ogni utente, una tabella che schematizza tutte le velocità di percorrenza in prossimità di ogni intersezione (vedi tabelle di riferimento in Appendice A). Conseguentemente, per fare un'analisi statistica dei dati, si sono realizzate 57 tabelle, cioè una per ogni attraversamento pedonale e semaforizzato, in cui si sono raggruppati i valori delle velocità rilevate per tutti i 10 utenti in corrispondenza di ogni passaggio pedonale. Da queste, si è poi ricavato il valore massimo, minimo e medio in corrispondenza di ogni progressiva, e si è realizzato un grafico che ne rappresentasse l'andamento. È importante sottolineare che, per ogni tabella relativa ad ogni singola intersezione, i valori, estrapolati dal

software, sono stati ripuliti dei dati poco attendibili; più volte si sono infatti riscontrate delle decelerazioni dovute a delle interferenze o a degli eventi casuali che risultano fuorvianti ai fini dell'elaborazione. Per l'analisi puntuale che segue si è lavorato utilizzando la media, pesata sempre sul campione dei 10 utenti, come unico dato rilevante.

5.4. Analisi delle velocità in relazione alla distanza di arresto

Per quanto esposto in merito alla distanza di arresto, affinché la guida avvenga in sicurezza, i partecipanti alla prova dovrebbero tenere un'andatura pari a 50 km/h a 50 m dall'attraversamento in modo tale da avere una distanza sufficiente per arrestarsi nel caso in cui l'attraversamento sia impegnato dal passaggio di un pedone.

La tabella 5.3 espone i risultati ottenuti dall'analisi dei dati, presentando l'elenco di tutti gli attraversamenti del tracciato. Sono evidenziate in arancione quelle intersezioni in cui la velocità media in corrispondenza della progressiva 50 m supera il valore di 50 km/h, risultando poco sicure.

Intersezione e nel tratto di andata	Velocità media a 50 m (km/h)	Intersezione nel tratto di ritorno	Velocità media a 50 m (km/h)
A.P. 1	45	A.P. 53	38
A.P. 2	49	A.P. 52	52
A.P. 3	52	A.P. 51	58
A.P. 4	54	A.P. 50	58
A.P. 5	64	A.P. 49	62
A.P. 6	56	A.P. 48	60
A.P. 7	63	A.P. 47	56
A.P. 8	28		
A.P. 9	43	A.P. 46	48
A.P. 10	54	A.P. 45	51
A.P. 11	55	A.P. 44	53
A.P. 12	51	A.P. 43	48
A.P. 13	48	A.P. 42	43
Semaforo 1	48	Semaforo 4	50
A.P. 14	51	A.P. 41	53
A.P. 15	50	A.P. 40	49
A.P. 16	49	A.P. 39	43
A.P. 17	47	A.P. 38	44
A.P. 18	55	A.P. 37	54
A.P. 19	60	A.P. 36	61
A.P. 20	64	A.P. 35	62
A.P. 21	64	A.P. 34	67
A.P. 22	62	A.P. 33	56
A.P. 23	56	A.P. 32	62
Semaforo 2	62	Semaforo 3	57
A.P. 24	58	A.P. 31	61
A.P. 25	65	A.P. 30	67
A.P. 26	63	A.P. 29	61
A.P. 27	55	A.P. 28	53

Tabella 5.3: Velocità dei veicoli a 50 m dagli attraversamenti pedonali

Dall'analisi dei dati risulta che per 41 attraversamenti su 55 la velocità di percorrenza è superiore a 50 km/h a 50 m dagli stessi; come è visibile dalle tabelle precedenti, il valore massimo si registra in corrispondenza degli attraversamenti A.P. 30 e A.P. 34, i quali sono attraversati in entrambi i casi ad una velocità media pari a 67 km/h .

I valori di picco in corrispondenza dell'A.P. 30, seguendo una valutazione puntuale dei dati, si incontrano in tre piloti i quali sopraggiungono ad una velocità pari a 80 km/h, 76 km/h e 73 km/h. E' già stato precisato, nell'introduzione al capitolo, che il tratto di strada in analisi non è ancora stato soggetto a degli interventi di riqualifica degli attraversamenti pedonali e, nel caso specifico, l'intersezione è decisamente poco percepibile. Essa è disposta in un tratto rettilineo ed è il primo attraversamento pedonale che si incontra in entrata nel centro urbano di Monte San Giovanni.

L'altro attraversamento che registra una velocità di arrivo elevata è l'attraversamento A.P. 34. L'insieme dei valori di picco di questo punto del tracciato, sono relativi a quattro piloti che attraversano l'intersezione ad una velocità di 80 km/h, 74 km/h, 73 km/h e 69 km/h. Anche in questo caso l'attraversamento pedonale in questione è disposto in un rettilineo, in cui i soggetti di prova sono portati a mantenere una velocità elevata; si colloca circa dopo 1 km dall'entrata nel centro urbano di Calderino, ma resta comunque il primo attraversamento di questa località.

In tutto il percorso, come dimostrato dai dati stessi, il passaggio tra i tratti extraurbani e quelli urbani e viceversa, è sempre poco visibile e mal segnalato e il pilota risulta essere poco portato ad adeguare la velocità al contesto in cui si trova. Infatti in corrispondenza di tutto il tratto di strada analizzato, se non solo per l'ultima località che si incontra, Badia, l'inizio del centro urbano è segnalato con il solo cartello verticale, collocato al margine della carreggiata, che, nella maggior parte dei casi, risulta non essere per nulla percepito dai conducenti. A prova di quanto esposto, si riportano di seguito due tabelle, nell'ordine tabella 4.4 e 4.5, che schematizzano la suddivisione del tracciato in funzione dei centri abitati. Correlandole con la tabella 5.3, si può notare come anche in corrispondenza delle intersezioni A.P. 5, primo attraversamento del centro urbano di Gesso, A.P. 20 e A.P. 21, ultimi due attraversamenti di Calderino, la velocità media risulta eccessivamente elevata in quanto in tutti e tre i casi è pari a 64 km/h.

I restanti trentasei casi registrano velocità comprese tra 51 km/h e 63 km/h.

Tratto di andata	Progressiva	Distanza geometrica
Cartello di inizio ZOLA PREDOSA	km 3+920	930 m
A.P. 1	km 4+850	
A.P. 2	km 5+020	
A.P. 3	km 5+230	
A.P. 4	km 5+290	
Cartello di inizio GESSO	km 5+440	390 m
A.P. 5	km 5+830	
Cartello di inizio GESSI	km 6+710	220 m
A.P. 6	km 6+930	
Cartello di inizio RIVABELLA	km 7+590	290 m
A.P. 7	km 7+880	
Cartello di inizio CALDERINO	km 8+470	180 m
A.P. 8	km 8+650	
A.P. 9	km 8+790	
A.P. 10	km 9+000	
A.P. 11	km 9+200	
A.P. 12	km 9+300	
A.P. 13	km 9+400	
Semaforo 1	km 9+470	
A.P. 14	km 9+800	
A.P. 15	km 9+920	
A.P. 16	km 10+040	
A.P. 17	km 10+230	
A.P. 18	km 10+530	
A.P. 19	km 10+830	
A.P. 20	km 11+090	
A.P. 21	km 11+210	
Cartello di inizio MONTE SAN GIOVANNI	km 13+790	1040 m
A.P. 22	km 14+830	
A.P. 23	km 15+190	
Semaforo 2	km 15+620	
A.P. 24	km 15+710	
A.P. 25	km 16+100	
Cartello di inizio OCA	km 16+820	730 m
A.P. 26	km 17+550	
Cartello di inizio BADIA	km 18+500	270 m
A.P. 27	km 18+770	

Tabella 5.4: Progressive del tratto di andata

Tratto di andata	Progressiva	Distanza geometrica
Cartello di inizio BADIA	km 19+020	250 m
A.P. 28	km 18+770	
Cartello di inizio OCA	km 18+000	450 m
A.P. 29	km 17+550	
Cartello di inizio MONTE SAN GIOVANNI	km 16+330	230 m
A.P. 30	km 16+100	
A.P. 31	km 15+710	
Semaforo 3	km 15+620	
A.P. 32	km 15+190	
A.P. 33	km 14+830	
Cartello di inizio CALDERINO	km 12+190	980 m
A.P. 34	km 11+210	
A.P. 35	km 11+090	
A.P. 36	km 10+830	
A.P. 37	km 10+530	
A.P. 38	km 10+230	
A.P. 39	km 10+040	
A.P. 40	km 9+920	
A.P. 41	km 9+800	
Semaforo 4	km 9+470	
A.P. 42	km 9+400	
A.P. 43	km 9+300	
A.P. 44	km 9+200	
A.P. 45	km 9+000	
A.P. 46	km 8+790	
Cartello di inizio RIVABELLA	km 8+130	250 m
A.P. 47	km 7+880	
Cartello di inizio GESSI	km 7+230	300 m
A.P. 48	km 6+930	
Cartello di inizio GESSO	km 6+330	500 m
A.P. 49	km 5+830	
Cartello di inizio ZOLA PREDOSA	km 5+440	150 m
A.P. 50	km 5+290	
A.P. 51	km 5+230	
A.P. 52	km 5+020	
A.P. 53	km 4+850	

Tabella 5.5: Progressive del tratto di ritorno

5.5. Analisi delle velocità per classi di attraversamento

Recuperando ora la suddivisione in classi operata nel precedente capitolo, evitando quindi una trattazione puntuale fuorviante, si procede con l'analisi cinematica che ha lo scopo di evidenziare o meno una diminuzione di velocità in corrispondenza della percezione o della visualizzazione effettiva degli attraversamenti lungo il percorso di prova. Si cerca cioè di sottolineare quelle che sono le intersezioni maggiormente problematiche in cui sarebbe necessario intervenire con dei lavori di riqualificazione.

Di seguito si riporta la tabella 5.6 con l'esclusiva finalità di richiamare la suddivisione in classi descritta in maniera approfondita nel capitolo precedente.

Classe di attraversamento pedonale	Elementi di corredo	Attraversamenti pedonali corrispondenti		% sul totale degli attraversamenti
		A.P. 1	A.P. 53	
C 1	Strisce pedonali	A.P. 1	A.P. 53	3,50%
C 2.a	Strisce pedonali Cartello a portale	A.P. 4 A.P. 10 A.P. 12 A.P. 13 A.P. 14 A.P. 17 A.P. 18 A.P. 22 A.P. 26	A.P. 27 A.P. 28 A.P. 33 A.P. 37 A.P. 38 A.P. 41 A.P. 42 A.P. 43 A.P. 50	35,10%
C 2.b	Strisce pedonali Cartello verticale	A.P. 2 A.P. 5 A.P. 7 A.P. 8 A.P. 19 A.P. 21 A.P. 25	A.P. 30 A.P. 34 A.P. 36 A.P. 47 A.P. 49 A.P. 52	22,80%
C 3	Strisce pedonali Cartello verticale Cartello a portale	A.P. 3 A.P. 6 A.P. 9 A.P. 11 A.P. 20 A.P. 23 A.P. 24 A.P. 29	A.P. 31 A.P. 32 A.P. 35 A.P. 44 A.P. 45 A.P. 46 A.P. 48 A.P. 51	31,60%
C 4	Strisce pedonali Lampada laterale	SEM. 1 SEM. 4		3,50%
C 5	Strisce pedonali Lampada laterale Lampada centrale	SEM. 2 SEM. 3		3,50%

Tabella 5.6: Classificazione degli attraversamenti pedonali

Si descrive l'analisi cinematica relativa ad ogni singola classe di attraversamenti pedonali e semaforizzati. Per ognuna di esse, si procede con il mettere in evidenza un primo grafico che rappresenta l'andamento della velocità media della classe considerata, ottenuto come somma dei contributi dei passaggi pedonali che la costituiscono; ed un secondo grafico in cui vengono descritte le velocità medie registrate. È in relazione al secondo grafico che è opportuno fare una precisazione: per la sola classe di attraversamenti pedonali C 1 e per entrambe le classi di attraversamenti pedonali semaforizzati, C 4 e C 5, sono state graficate le velocità medie del singolo attraversamento; mentre per le restanti classi C 2.a, C 2.b e C 3, il cui numero di attraversamenti è elevato e l'analisi dei singoli potrebbe risultare fuorviante, si è deciso di rappresentare i sottogruppi aventi comportamenti tra di loro simili.

5.5.1. Analisi della classe C 1

<p>Attraversamenti pedonali di classe C 1</p> <p>Strisce pedonali</p> <p>Totale attraversamenti: 2</p>	
--	--

Classe C.1

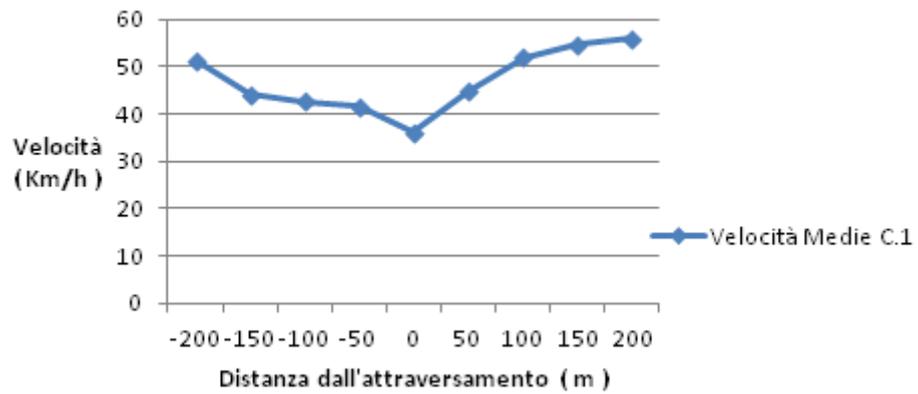


Grafico 5.1

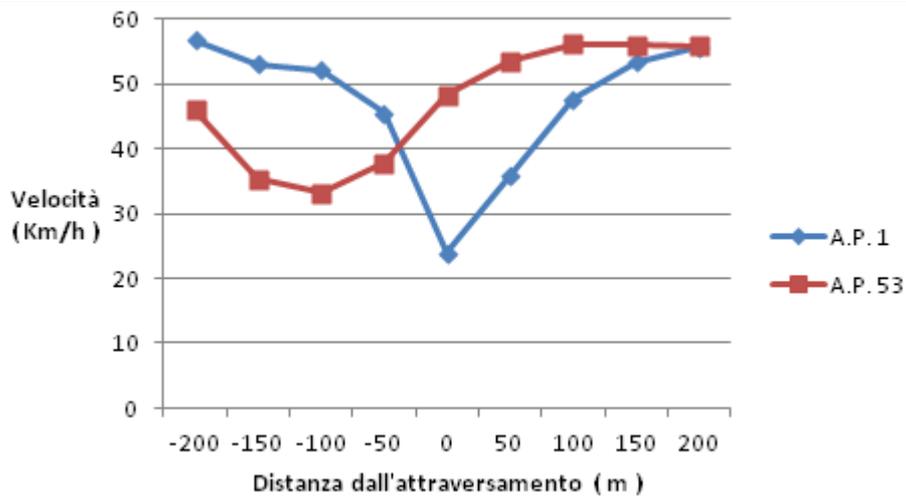


Grafico 5.2

Tabella 5.7: Velocità medie relative alla classe C 1

Distanza dall'A.P. (m)	A.P. 1 Velocità medie (km/h)	A.P. 53 Velocità medie (km/h)	Velocità media totale fra tutti gli attraversamenti (km/h)
200	57	46	51
150	53	35	44
100	52	33	43
50	45	38	42
0	24	48	36
Velocità media totale	46	40	43
Diminuzione velocità %	33%	2%	15%

Tabella 5.8: Velocità medie per singolo attraversamento, classe C 1

Osservando l'andamento del grafico della velocità media della classe (tabella 4.7 - Grafico 5.1) può sembrare che i soggetti di prova adeguino la velocità in funzione dell'attraversamento, rallentando in prossimità di esso e poi accelerando una volta superato. In realtà, invece, i dati sono fuorviati a causa della collocazione dell'intersezione.

La classe C 1 è composta da un solo passaggio pedonale, definito nel tratto di andata A.P. 1 mentre in quello di ritorno A.P. 53; esso è collocato in prossimità di una rotatoria ed è rappresentato dalle sole strisce pedonali: oltre ad essere l'unico elemento di arredo, esse sono scolorite e poco visibili.

Analizzando nel dettaglio i singoli attraversamenti, come si evince dal grafico 5.2 e dalla tabella 5.10, si può notare che nel caso dell'A.P. 1 si verifica una netta decelerazione in prossimità dell'intersezione; si passa infatti da un valore medio di 57 km/h a 24 km/h, con una diminuzione di velocità pari al 33% (tabella 5.8). Questo dato è la conseguenza, come già anticipato, della presenza di una rotatoria a pochi metri di distanza dall'attraversamento stesso. È infatti necessario sottolineare che, i partecipanti alla prova rallentano per dare la precedenza ai veicoli che stanno già impegnando la rotatoria stessa, e non come conseguenza della presenza dell'attraversamento (Figura 5.2).

Per l'attraversamento A.P. 53, che si colloca nel tratto di ritorno, si può notare come, in corrispondenza dei 150 m e 100 m dal passaggio pedonale si verifica una brusca

decelerazione, mentre in corrispondenza della progressiva 0 m i veicoli sono già in fase di accelerazione, ottenendo quindi solo una decelerazione media totale del 2%. Questo comportamento è la dimostrazione del fatto che i partecipanti alla prova rallentano in uscita dalla rotonda, per poi accelerare senza tener conto, quindi, della presenza dell'attraversamento che risulta essere, in conclusione, mal posizionato e soprattutto mal segnalato (Figura 5.3).



Figura 5.2: Attraversamento classe C 1 mal segnalato (tratto di andata)



Figura 5.3: Attraversamento classe C 1 mal segnalato (tratto di ritorno)

5.5.2. Analisi della classe C 2.a

<p>Attraversamenti pedonali di classe C 2.a</p> <p>Strisce pedonali Cartello a portale</p> <p>Totale attraversamenti: 18</p>	
--	--

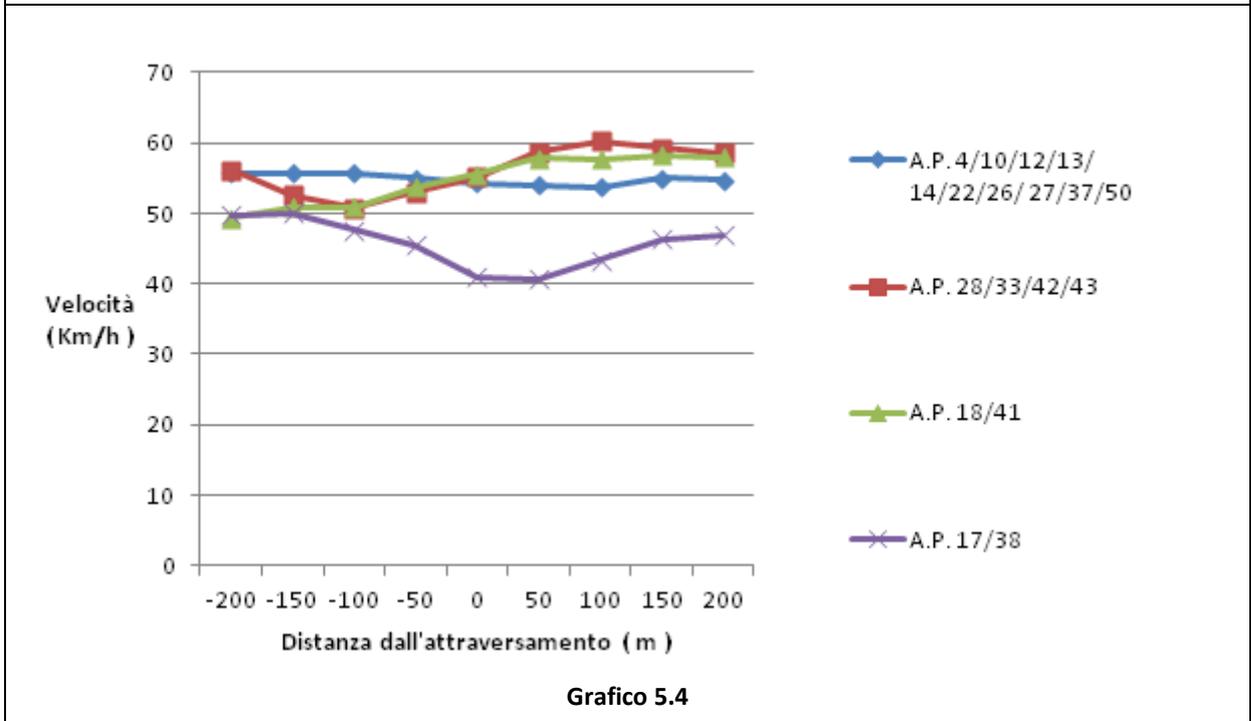
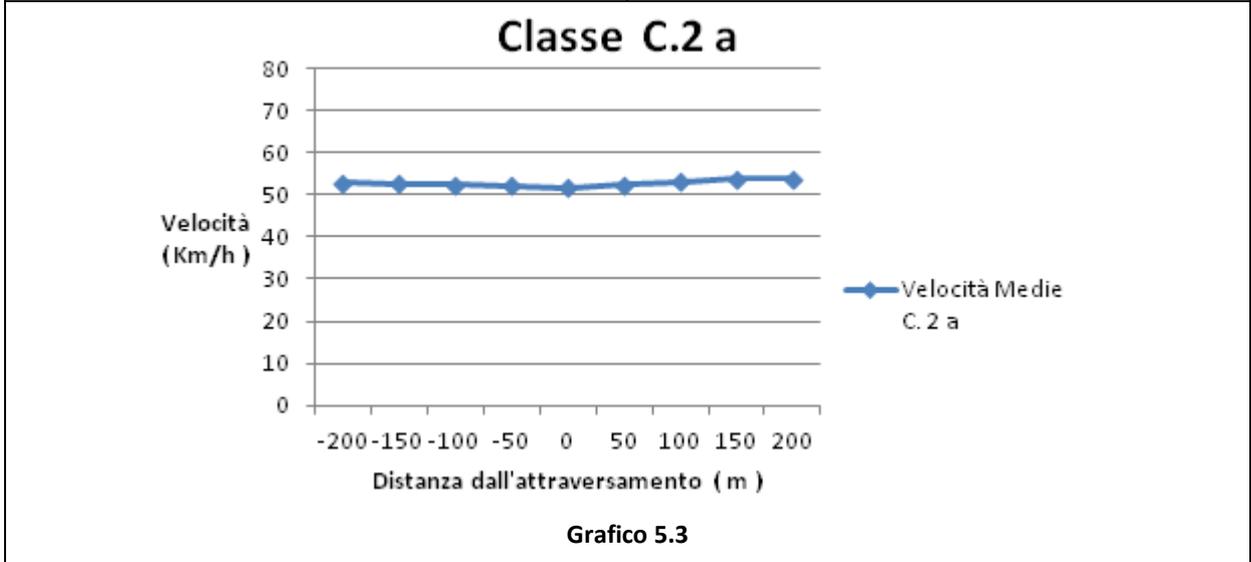


Tabella 5.9: Velocità medie relative alla classe C 2.a

Distanza dall'A.P. (m)	Velocità media totale fra tutti gli attraversamenti (km/h)
200	53
150	53
100	52
50	52
0	52
Velocità media totale	52
Diminuzione velocità %	1%

Tabella 5.10: Velocità media totale fra tutti gli attraversamenti, classe C 2.a

Per la classe C 2.a appare evidente, osservando il grafico 5.3 che rappresenta l'andamento medio di tutti gli attraversamenti che competono a questa categoria, che la velocità con cui in media tutti gli utenti sopraggiungono è superiore alla velocità limite consentita per il centro urbano; questa si mantiene più o meno costante durante tutta la fase di avvicinamento, superamento ed allontanamento dall'attraversamento, presentando una leggera diminuzione in prossimità dell'attraversamento stesso. Infatti la velocità media passa da 53 km/h a 200 m a 52 km/h in corrispondenza dell'intersezione con una riduzione di solo 1% (tabella 5.10).

La classe C 2.a comprende i 18 attraversamenti, dislocati nel tratto di andata e di ritorno, caratterizzati dagli elementi di corredo quali strisce pedonali e cartello a portale; essendo questa classe molto numerosa, è necessario, per effettuare una valutazione che non risulti fuorviante al lettore, raggruppare i passaggi pedonali in funzione del loro andamento. Utilizzando quindi questo criterio di analisi si è realizzato il grafico 5.4 nel quale sono rappresentate 4 categorie:

- la prima categoria, identificata con la linea blu, raggruppa i 10 attraversamenti in prossimità dei quali i partecipanti alla prova non hanno variato in nessun modo la loro andatura; essi sono: A.P. 4, A.P. 12, A.P. 13, A.P. 14, A.P. 22, A.P. 26, A.P. 27, A.P. 37 e A.P. 50;

- la seconda categoria, rappresentata con la linea rossa, identifica i 4 attraversamenti in cui i conducenti hanno decelerato in prossimità dell'intersezione per poi accelerare in corrispondenza della stessa; essi sono : A.P. 28, A.P. 33, A.P. 42 e A.P. 43;
- la terza categoria, identificata con la linea verde, comprende i 2 attraversamenti in cui si rileva un'accelerazione progressiva, che sono nell'ordine A.P. 18 e A.P.41;
- e infine la quarta categoria, rappresentata con la linea viola, raggruppa i 2 attraversamenti nei quali si è verificata una decelerazione più o meno costante al sopraggiungere dell'intersezione, A.P. 17 e A.P. 38.

Di seguito, mantenendo le suddivisioni appena elencate, si determina un'analisi relativa ad ogni singola categoria e in corrispondenza di essa si riporta anche una tabella che schematizza la velocità media progressiva e la variazione di velocità in percentuale di ciascun attraversamento: è identificata con il segno positivo una decelerazione mentre con quello negativo un'accelerazione.

Correlando i dati relativi alle velocità dei singoli passaggi pedonali dei raggruppamenti con le loro collocazioni lungo il percorso, si può notare come anche l'ubicazione influisce in maniera molto rilevante sull'andatura del veicolo.

A questo proposito, prendendo in esame il primo raggruppamento (tabella 5.11), cioè quello che comprende i 10 attraversamenti per i quali i soggetti di prova non hanno modificato l'andatura, tutte le intersezioni sono posizionate in corrispondenza di un rettilineo nel quale l'utente forte della strada è maggiormente portato a mantenere una velocità elevata e a non rallentare in prossimità del passaggio pedonale. Infatti all'interno di questa tipologia per 3 attraversamenti quali, A.P. 4, A.P. 10, A.P. 22, si rileva un aumento della velocità del 2 %; per altri 3, che sono nell'ordine A.P. 26, A.P. 37 e A.P. 50, non si verifica alcuna variazione di velocità e solo per i restanti 5 attraversamenti è evidente una decelerazione, con un valore massimo del 5 % per A.P. 12, A.P. 13, A.P. 14, che si attesta però sempre comunque sopra il limite di legge.

Distanza dall' A.P. (m)	A.P. 4 Velocità medie (km/h)	A.P. 10 Velocità medie (km/h)	A.P. 12 Velocità medie (km/h)	A.P. 13 Velocità medie (km/h)	A.P. 14 Velocità medie (km/h)
200	55	50	55	51	53
150	53	55	55	51	53
100	53	54	54	50	53
50	54	54	51	48	51
0	57	51	50	46	48
Velocità media totale	54	53	53	49	52
Diminuzione velocità %	-2%	-1%	5%	5%	5%

Distanza dall' A.P. (m)	A.P. 22 Velocità medie (km/h)	A.P. 26 Velocità medie (km/h)	A.P. 27 Velocità medie (km/h)	A.P. 37 Velocità medie (km/h)	A.P. 50 Velocità medie (km/h)
200	59	63	59	55	58
150	56	63	57	54	60
100	60	63	56	54	61
50	62	63	55	54	58
0	61	63	54	55	58
Velocità media totale	59	63	56	55	59
Diminuzione velocità %	-2%	0%	5%	0%	0%

Tabella 5.11: Velocità medie dei singoli attraversamenti che appartengono alla prima categoria

Analizzando il secondo raggruppamento, cioè quello che comprende i 4 attraversamenti per i quali i partecipanti alla prova effettuano una decelerazione nella fase di avvicinamento per poi accelerare in prossimità dell'intersezione, si può notare come per due attraversamenti si riscontra un dato positivo di diminuzione di velocità complessiva del 4% mentre per gli altri 2 si rileva un leggero aumento dell'andatura, con il valore massimo di 2% (tabella 5.12).

Distanza dall'A.P. (m)	A.P. 28 Velocità medie (km/h)	A.P. 33 Velocità medie (km/h)	A.P. 42 Velocità medie (km/h)	A.P. 43 Velocità medie (km/h)
200	60	60	52	47
150	56	56	50	41
100	52	51	50	44
50	53	56	43	48
0	56	62	46	48
Velocità media totale	55	57	48	46
Diminuzione velocità %	4%	-2%	4%	-1%

Tabella 5.12: Velocità medie dei singoli attraversamenti che appartengono alla seconda categoria

La percentuale di incremento più significativa, dato negativo in termini di diminuzione della velocità, riguarda l'A.P. 18 (tabella 5.13) che appartiene alla terza tipologia di raggruppamento; in esso infatti c'è un aumento di velocità media pari al 13%: si passa dai 43 km/h ai 56 km/h. Anche questo attraversamento è posto in un tratto rettilineo ed in più è collocato dopo una serie molto ravvicinata di altri attraversamenti perciò l'utente è portato ad aumentare la velocità sopraggiungendo alla progressiva 50 m con una velocità maggiore di 50 km/h, per l'esattezza a 55 km/h: questo dato attesta la scarsa sicurezza dell'intersezione in questione in quanto, come evidenziato nel paragrafo relativo alla distanza di arresto, affinché un veicolo sia in grado di fermarsi in uno spazio di 50 m è necessario che esso proceda con una velocità non superiore ai 50 km/h.

Distanza dall'A.P. (m)	A.P. 18 Velocità medie (km/h)	A.P. 41 Velocità medie (km/h)
200	43	44
150	49	49
100	51	52
50	55	53
0	56	51
Velocità media totale	51	50
Diminuzione velocità %	-13%	-7%

Tabella 5.13: Velocità medie dei singoli attraversamenti che appartengono alla terza categoria

Infine i valori più significativi in termini di diminuzione della velocità, si presentano in relazione alla quarta categoria che comprende l'attraversamento, A.P. 17 e A.P. 38 : in prossimità di essi i soggetti di prova riducono le velocità nell'ordine di 3% e 14 % (tabella 5.14). Si evidenzia dunque un picco di decelerazione in corrispondenza dell'attraversamento pedonale A.P. 38 in quanto esso è ubicato pochi metri dopo una deflessione del tracciato altimetrico e in corrispondenza di una immissione di una strada secondaria e quindi, il conducente è portato ad adeguare la velocità al contesto in cui si trova, diminuendo la sua andatura.

Distanza dall'A.P. (m)	A.P. 17 Velocità medie (km/h)	A.P. 18 Velocità medie (km/h)
200	44	43
150	48	49
100	48	51
50	47	55
0	41	56
Velocità media totale	46	51
Diminuzione velocità %	3%	-13%

Tabella 5.14: Velocità medie dei singoli attraversamenti che appartengono alla quarta categoria

5.5.3. Analisi classe C 2.b

**Attraversamenti pedonali
di classe C 2.b**

Strisce pedonali
Cartello verticale

Totale attraversamenti: 13



Classe C.2 b

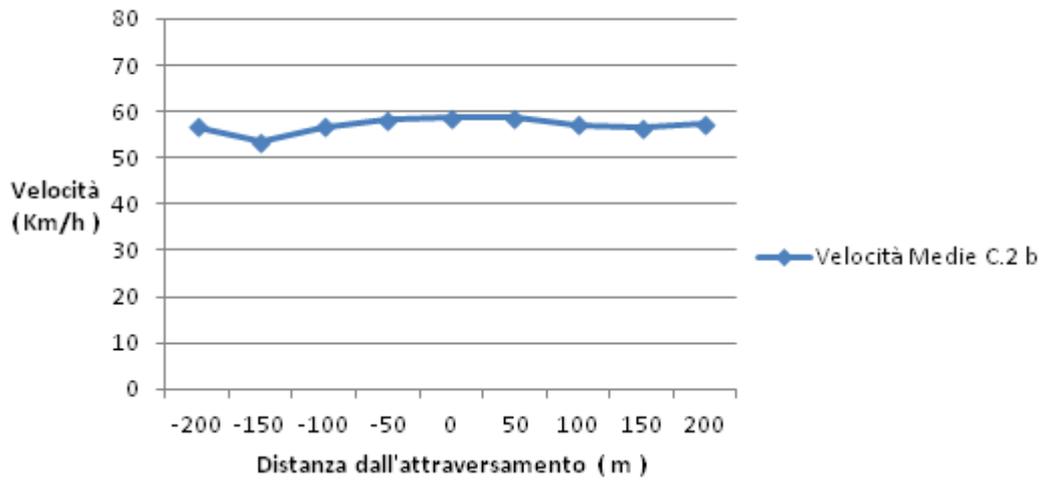


Grafico 5.5

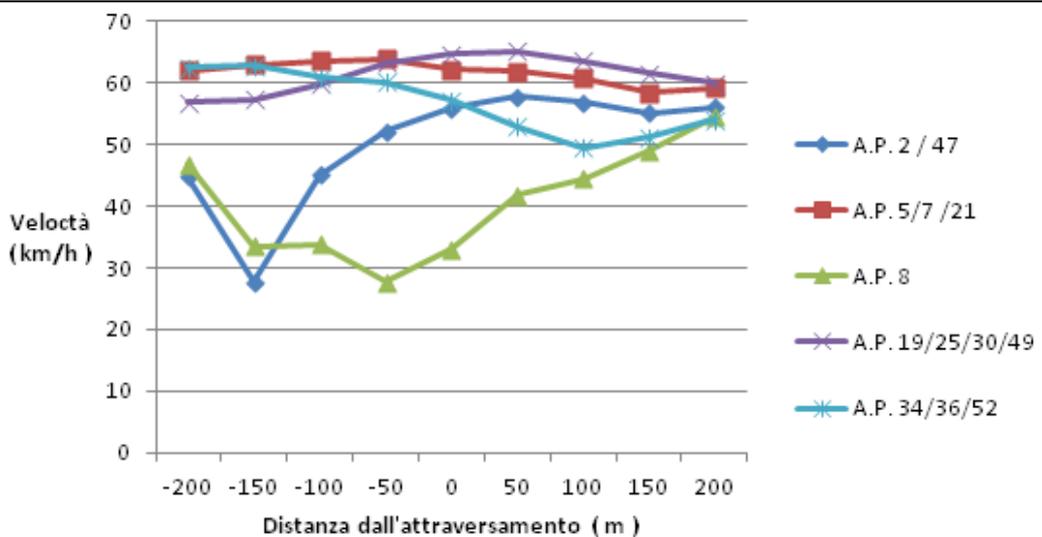


Grafico 5.6

Tabella 5.15: Velocità medie relative alla classe C 2.b

Distanza dall'A.P. (m)	Velocità media totale fra tutti gli attraversamenti (km/h)
200	57
150	53
100	57
50	58
0	59
Velocità media totale	57
Diminuzione velocità %	-2%

Tabella 5.16: Velocità media totale fra tutti gli attraversamenti, classe C 2.b

Anche per la classe C 2.b appare evidente, osservando il grafico 5.5 che rappresenta l'andamento medio di tutti gli attraversamenti che competono a questa categoria, che la velocità con cui in media tutti gli utenti sopraggiungono è nettamente superiore alla velocità limite concessa per il centro urbano. Anche prendendo in esame questa classe, si può riscontrare come l'andamento complessivo di tutte le velocità medie mantenga un valore più o meno costante in prossimità del passaggio pedonale con una leggera accelerazione in corrispondenza dello stesso: si passa, infatti, da una velocità di 57 km/h a 200 m dall'attraversamento a 59 km/h ad una progressiva di 0 m, determinando un aumento della velocità del 2% (tabella 5.16).

La classe C 2.b racchiude in se 13 passaggi pedonali, dislocati nel tratto di andata e di ritorno, caratterizzati da solo due elementi di corredo quali le strisce pedonali ed il cartello verticale. Essendo molto elevato il numero degli attraversamenti, risulta più efficace, anche in questo caso come già svolto per la classe C 2.a, raggruppare i passaggi pedonali in funzione del loro andamento. Utilizzando quindi questo criterio di analisi si è realizzato il grafico 2 nel quale sono rappresentate 5 categorie:

- la prima categoria, identificata dalla linea blu, comprende i due attraversamenti che presentano una brusca decelerazione alla progressiva 150 m; essi sono: A.P. 2 e A.P. 47;
- la seconda categoria, rappresentata dalla linea rossa, raggruppa le tre intersezioni in prossimità delle quali i conducenti non hanno variato la loro andatura,

mantenendola dunque più o meno costante fuori dai limiti di legge; essi sono : A.P. 5, A.P. 7 e A.P. 21;

- la terza categoria, identificata in questo caso dalla linea verde, rappresenta un solo attraversamento, A.P. 8, il quale presenta un andamento molto discordante da tutti gli altri della stessa classe e quindi può sembrare opportuno valutarlo separatamente;
- la quarta categoria, raffigurata dalla linea viola, è la più numerosa in quanto comprende quattro attraversamenti in prossimità dei quali si rileva un'accelerazione progressiva; essi sono nell'ordine A.P. 19, A.P. 25, A.P. 30 e A.P.49;
- e infine la quinta categoria, rappresentata con la linea azzurra, raggruppa i 3 attraversamenti nei quali si è verificata una decelerazione più o meno costante al sopraggiungere dell'intersezione; essi sono: A.P. 34, A.P. 36 e A.P. 52.

Esattamente come già svolto per la classe C 2.a, di seguito si descrive un'analisi relativa ad ogni singola categoria e in corrispondenza di essa si riporta sempre la tabella che schematizza la velocità media progressiva e la variazione di velocità in percentuale di ciascun attraversamento.

Risulta opportuno, ancora una volta, mettere in relazione i dati cinematici relativi ai singoli passaggi pedonali dei raggruppamenti con le loro collocazioni lungo il percorso, in quanto, come già evidenziato nell'analisi precedente della classe C 2.a, anche l'ubicazione è un fattore molto rilevante per determinare l'andatura del veicolo.

A testimonianza di quanto esposto, prendendo in esame la prima categoria, cioè quella che raggruppa i due attraversamenti per i quali si verifica una decelerazione in corrispondenza dei 150 m, è evidente come questa anomalia nell'andamento sia proprio la conseguenza della loro collocazione. Infatti, come dimostrato dalla tabella 5.17, in entrambi i casi, A.P. 2 e A.P. 47, si rileva una netta diminuzione di velocità alla progressiva 150 m, susseguita da un'elevata accelerazione. Nel caso dell'A.P. 2, si passa da una velocità media di 42 km/h a 200 m, che cala fino a 16 km/h alla progressiva dei 150 m, per poi tornare ad aumentare fino a 54 km/h in corrispondenza della zebratura, con un incremento della velocità del 13 %. La brusca decelerazione è conseguenza del fatto che l'attraversamento pedonale è collocato un centinaio di metri

dopo una rotatoria; il conducente della strada, dunque, è portato a rallentare non per la presenza dell'intersezione bensì a causa della geometria dell'infrastruttura (Figura 5.4).

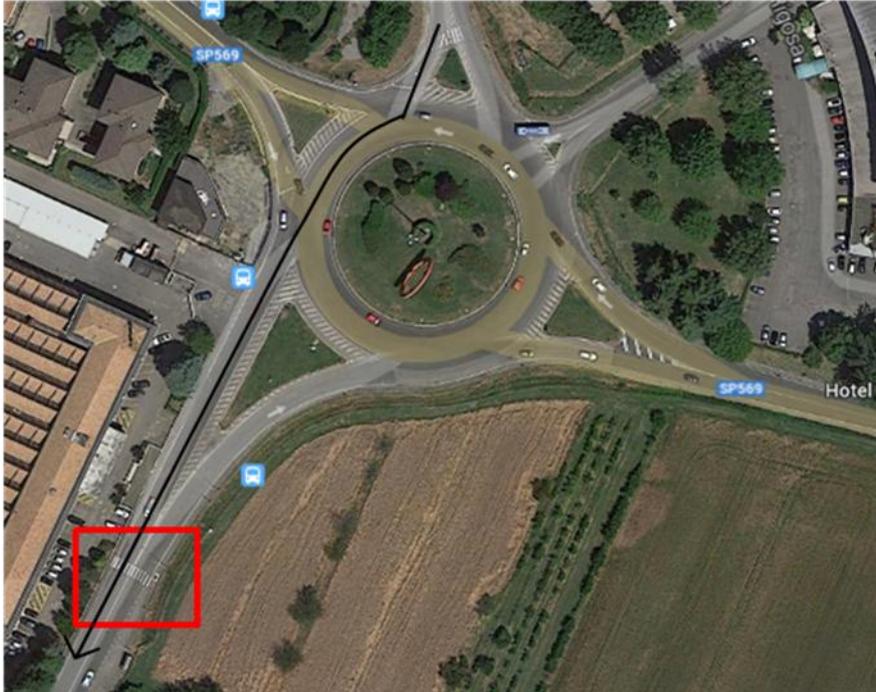


Figura 5.4: Dettaglio aereo dell'attraversamento A.P. 2

Mentre per l'A.P. 47 la velocità passa da 47 km/h a 39 km/h fino a 58 km/h in corrispondenza, nell'ordine, delle progressive 200 m, 150 m e 0 m, con un aumento percentuale dell'11% . Anche in questo caso, la riduzione della velocità a 150 m è correlata alla geometria della strada: infatti a 150 m dall'attraversamento si presenta una curva; i soggetti di prova sono dunque costretti a rallentare, per poi accelerare una volta terminata: è proprio in questo tratto che si colloca l'A.P. 47 (Figura 5.5).

Dai dati appena analizzati, risulta evidente come, la riduzione della velocità in prossimità dell'attraversamento sia dovuta, non tanto alla presenza dell'intersezione stessa, quanto alla configurazione progettuale del percorso.



Figura 5.5: Dettaglio aereo dell'attraversamento A.P. 47

Tuttavia la collocazione di questi due passaggi pedonali, risulta essere efficace in quanto, gli utenti alla guida, costretti a rallentare, hanno il tempo tecnico per elaborare le informazioni e, una volta deciso che non vige alcun pericolo, si sentono autorizzati a procedere speditamente.

Distanza dall'A.P. (m)	A.P. 2 Velocità medie (km/h)	A.P. 47 Velocità medie (km/h)
200	42	47
150	16	39
100	39	51
50	49	56
0	54	58
Velocità media totale	40	50
Diminuzione velocità %	-12%	-11%

Tabella 5.17: Velocità medie dei singoli attraversamenti che appartengono alla prima categoria

Per quanto concerne alla seconda categoria, composta di 3 attraversamenti lungo i quali l'utente mantiene un'andatura circa costante, tutte le intersezioni sono poste in corrispondenza di un rettilineo nel quale l'utente forte della strada è portato a viaggiare con una velocità elevata e a non rallentare in prossimità del passaggio pedonale. Infatti fra i tre passaggi pedonali, si evidenzia: l'A.P. 7 la cui velocità passa da 59 km/h a 200 m a 61 km/h a 0 m, presentando un aumento della velocità del 2%; l'A.P. 21, in corrispondenza del quale la velocità rimane costante attestandosi sempre sui 64 km/h; infine solo per l'A.P. 5 si ha una diminuzione della velocità del 3%, passando però da 64 km/h a 61 km/h (tabella 5.18).

Distanza dall'A.P. (m)	A.P. 5 Velocità medie (km/h)	A.P. 7 Velocità medie (km/h)	A.P. 21 Velocità medie (km/h)
200	64	59	64
150	65	60	64
100	66	61	64
50	64	63	64
0	61	61	64
Velocità media totale	64	61	64
Diminuzione velocità %	3%	-2%	0%

Tabella 5.18: Velocità medie dei singoli attraversamenti che appartengono alla seconda categoria

Il valore più significativo in termine di diminuzione della velocità, si presenta in relazione alla terza categoria, alla quale appartiene un solo attraversamento, l'A.P. 8. Anche in questo caso c'è una relazione evidentissima fra l'andamento della velocità e la collocazione dell'intersezione. Infatti l'attraversamento in questione è ubicato nel centro della località di Calderino; in prossimità di esso, la geometria dell'infrastruttura risulta parecchio articolata: si incontra un viadotto, al di sotto del quale scorre il fiume Lavino, susseguito da una curva a gomito sulla sinistra; superata la curva la strada si dirama in due direzioni, quella che si mantiene sulla sinistra che permette ai veicoli di invertire il senso di marcia, e quella che si mantiene sulla destra che prosegue lungo il tracciato in esame. È proprio in corrispondenza di questo svincolo che si colloca l'attraversamento.

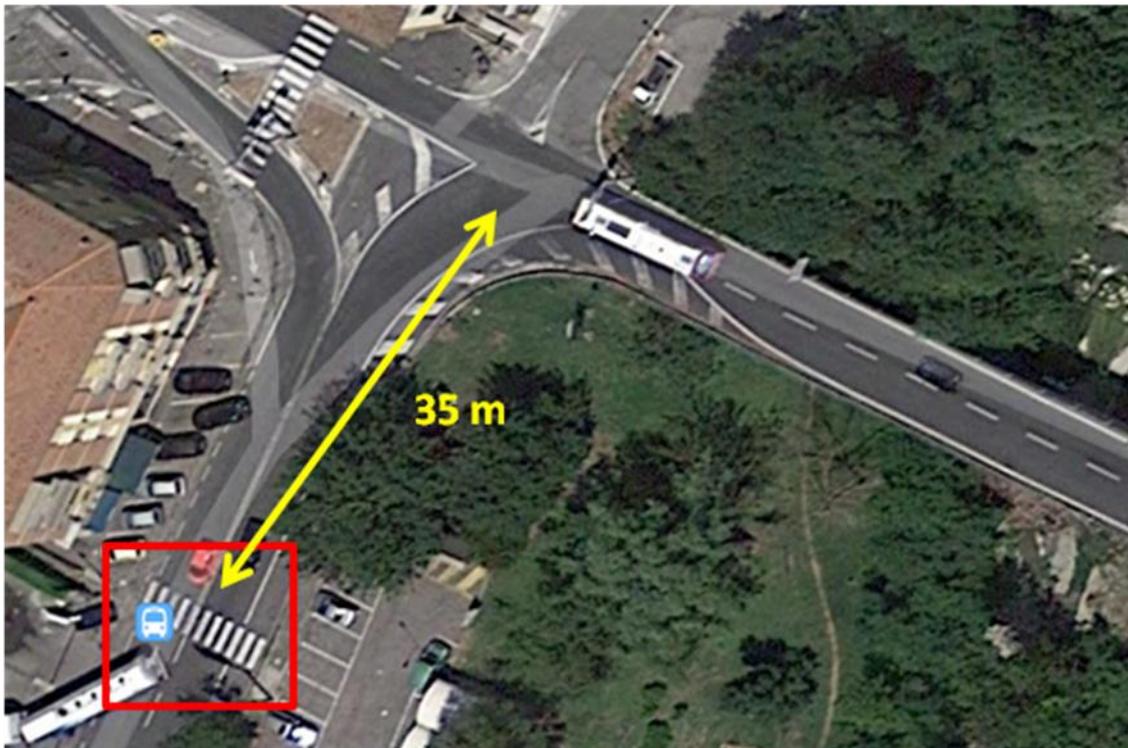


Figura 5.6: Dettaglio aereo dell'attraversamento A.P. 8

È necessario sottolineare che, sempre in questo punto, il flusso veicolare che proviene dal viadotto si fonde con un flusso di veicoli che sopraggiungono da una strada sulla destra. Come conseguenza della complessità della via, i dati rilevano una decelerazione importante in prossimità dell'attraversamento passando da una velocità di 47 km/h alla progressiva 200 m fino a 33 km/h in corrispondenza dell'intersezione, ottenendo una diminuzione di velocità del 13 % (tabella 5.19). All'apparenza il passaggio pedonale potrebbe sembrare ben posizionato in quanto i partecipanti alla prova sono costretti ad adattare la loro andatura, diminuendola, alla geometria del tracciato. In realtà, considerando anche i dati ricavati con l'attrezzatura Mobile Eye, essendo questo attraversamento posizionato in corrispondenza di un bivio, i conducenti sono maggiormente attenti a visualizzare lo specchietto laterale, per comprendere il comportamento delle altre autovetture presenti sulla strada, piuttosto che focalizzare l'attenzione sulla presenza o meno di pedoni in procinto di attraversare.

Distanza dall'A.P. (m)	A.P. 8 Velocità medie (km/h)
200	47
150	33
100	34
50	28
0	33
Velocità media totale	35
Diminuzione velocità %	14%

Tabella 5.19: Velocità medie dei singoli attraversamenti che appartengono alla terza categoria

La quarta categoria è quella che comprende i quattro attraversamenti in corrispondenza dei quali si rileva una progressiva accelerazione; è proprio in questo raggruppamento infatti, che si riscontrano i valori più significativi in termini di aumento della velocità. Tutti i quattro passaggi pedonali sono collocati in un tratto rettilineo in cui il conducente è portato, a causa degli spazi prospettici ampi, a mantenere una velocità molto elevata considerando il contesto urbano. Per questa categoria, può sembrare opportuno riprendere la valutazione già effettuata nel paragrafo precedente relativa alla distanza di arresto; il passaggio tra i tratti extraurbani e quelli urbani e viceversa, è sempre poco visibile e mal segnalato e, come conseguenza, il soggetto di prova non ritiene necessario adeguare la velocità. A testimonianza di quanto esposto, i quattro attraversamenti di questa categoria sono rispettivamente: il terzultimo passaggio pedonale di Calderino nel tratto di andata (A.P. 22); l'ultimo attraversamento di Monte San Giovanni nel tratto di andata (A.P. 25); il primo sempre della stessa località ma del tratto di ritorno (A.P. 30) e infine l'unico attraversamento di Gesso (A.P. 49). Il valore più significativo di aumento di velocità si riscontra in corrispondenza dell'attraversamento A.P. 25, in corrispondenza del quale la velocità passa da 51 km/h a 66 km/h evidenziando un aumento percentuale del 15 % (tabella 5.20).

Distanza dall'A.P. (m)	A.P. 19 Velocità medie (km/h)	A.P. 25 Velocità medie (km/h)	A.P. 30 Velocità medie (km/h)	A.P. 49 Velocità medie (km/h)
200	55	51	63	59
150	57	51	63	58
100	58	59	64	59
50	60	65	67	62
0	61	66	68	63
Velocità media totale	58	58	65	60
Diminuzione velocità %	-6%	-15%	-5%	-4%

Tabella 5.20: Velocità medie dei singoli attraversamenti che appartengono alla quarta categoria

Infine la quinta categoria raggruppa i tre attraversamenti nei quali si verifica una decelerazione più o meno costante al sopraggiungere dell'intersezione. Il valore più significativo è relativo all'A.P. 52 nel quale si rileva una diminuzione della velocità dell'8%, passando da 55 km/h a 200 m a 47 km/h a 50 m (tabella 5.21). È necessario evidenziare che, nonostante si verifichi un adeguamento della velocità in presenza del passaggio pedonale, in tutti e tre i casi le velocità sono superiori a 50 km/h a 50 m dall'intersezione: questo dato, come evidenziato nel paragrafo della distanza di arresto, rende gli attraversamenti poco sicuri.

Distanza dall'A.P. (m)	A.P. 34 Velocità medie (km/h)	A.P. 36 Velocità medie (km/h)	A.P. 52 Velocità medie (km/h)
200	70	62	55
150	69	62	57
100	68	62	53
50	67	61	52
0	66	60	47
Velocità media totale	68	62	53
Diminuzione velocità %	4%	2%	8%

Tabella 5.21: Velocità medie dei singoli attraversamenti che appartengono alla quinta categoria

5.5.4. Analisi della classe C 3

<p>Attraversamenti pedonali di classe C 3</p> <p>Strisce pedonali Cartello verticale Cartello a portale</p> <p>Totale attraversamenti: 16</p>	
---	--

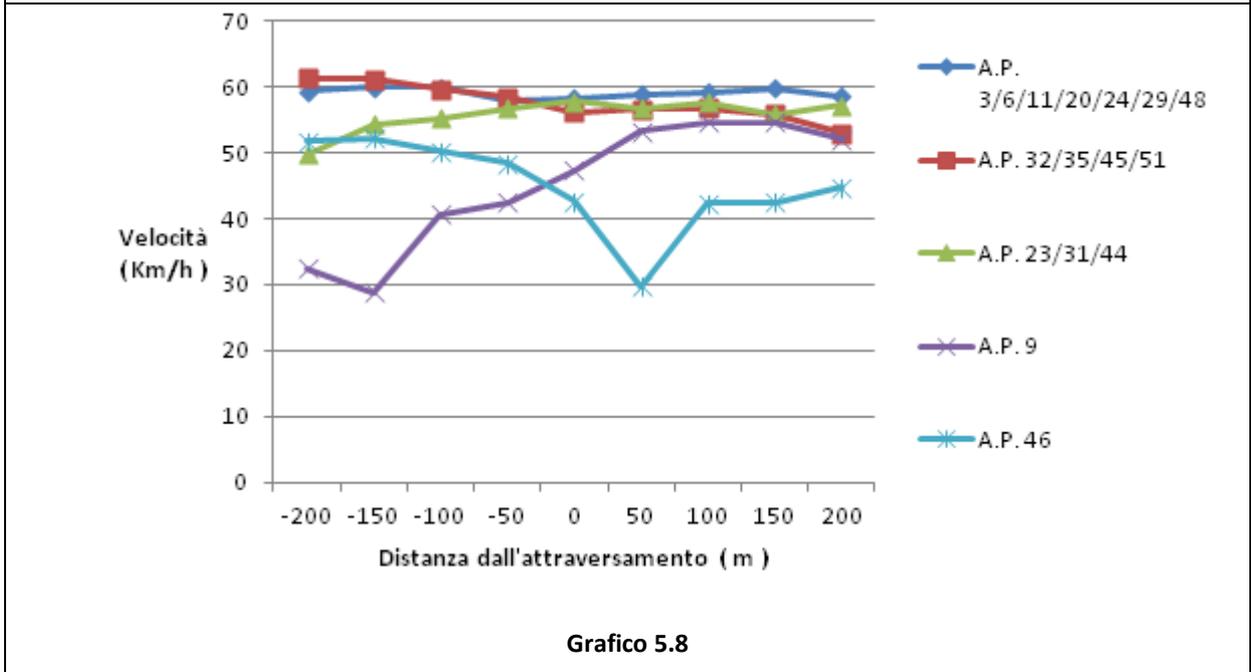
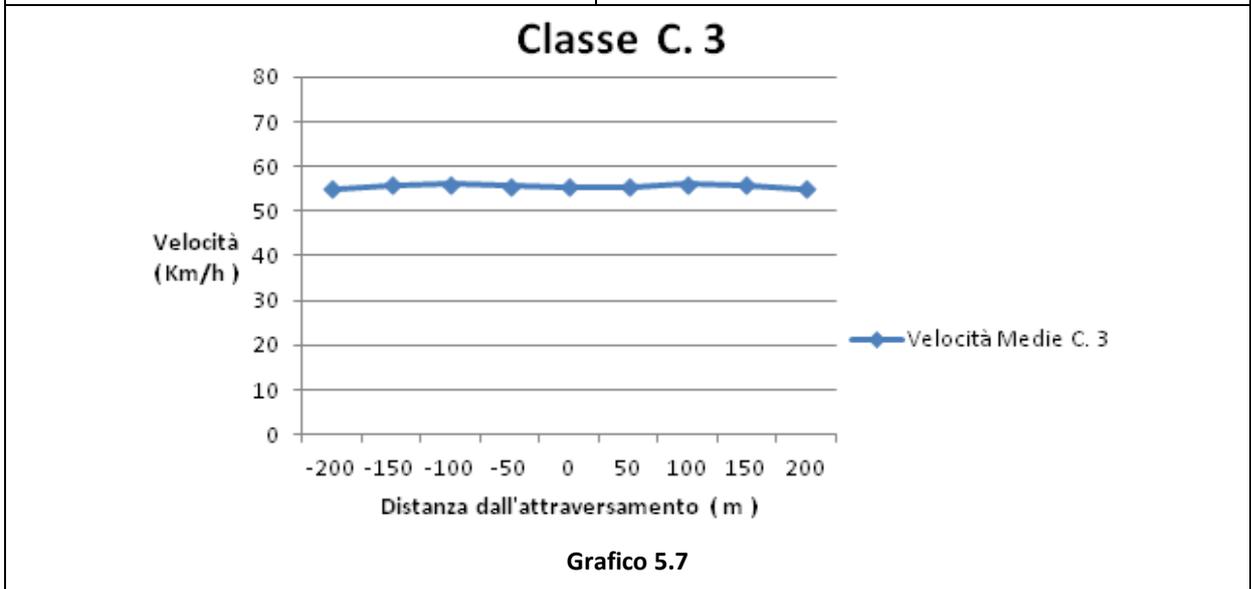


Tabella 5.22: Velocità medie relative alla classe C 3

Distanza dall'A.P. (m)	Velocità media totale fra tutti gli attraversamenti (km/h)
200	55
150	56
100	56
50	56
0	56
Velocità media totale	56
Diminuzione velocità %	-1%

Tabella 5.23: Velocità media totale fra tutti gli attraversamenti, classe C 3

Anche per la classe C 3, osservando il grafico 5.7 che rappresenta l'andamento medio di tutti gli attraversamenti che competono a questa categoria, appare ancora più evidente che la velocità con cui in media tutti gli utenti sopraggiungono è superiore alla velocità limite consentita per il centro urbano e questa si mantiene più o meno costante durante tutta la fase di avvicinamento, superamento ed allontanamento dall'attraversamento. Infatti la velocità media passa da 55 km/h a 200 m a 56 km/h in corrispondenza dell'intersezione con un aumento del solo 1% (tabella 5.23).

La classe C 3 comprende 16 attraversamenti, collocati nel tratto di andata e di ritorno, che risultano essere quelli più completi dal punto di vista degli elementi di corredo; presentano infatti: le strisce pedonali, il cartello verticale e il cartello a portale. Come già ampiamente descritto per i casi precedenti, essendo la classe C 3 molto numerosa, risulta più efficace raggruppare i passaggi pedonali in funzione del loro andamento. Utilizzando quindi questo criterio di analisi si è realizzato il grafico 5.8 nel quale sono rappresentate 5 categorie:

- la prima categoria, identificata dalla linea blu, è la più numerosa in quanto comprende sette intersezioni in prossimità delle quali i conducenti non hanno variato la loro andatura, mantenendola dunque più o meno costante fuori dai limiti di legge; essi sono : A.P. 3, A.P. 6, A.P. 11, A.P. 20, A.P. 24, A.P. 29, A.P. 48;

- la seconda categoria, rappresentata con la linea rossa, raggruppa i quattro attraversamenti nei quali si è verificata una decelerazione più o meno costante al sopraggiungere dell'intersezioni; essi sono: A.P. 32, A.P. 35, A.P. 45 e A.P.51;
- la terza categoria, raffigurata dalla linea verde, comprende tre attraversamenti in prossimità dei quali si rileva un'accelerazione progressiva; essi sono nell'ordine A.P. 23, A.P. 31 e A.P.44;
- la quarta categoria, identificata dalla linea viola, è formata da un solo attraversamento, A.P. 9, il quale presenta una brusca accelerazione in prossimità dell'attraversamento;
- e infine la quinta categoria, rappresentata con la linea azzurra, anch'essa comprende un solo passaggio pedonale, A.P. 46, caratterizzato da un andamento che subisce una netta decelerazione in fase di superamento dell'attraversamento.

Non è mai superfluo ricordare ancora una volta che, nell'analisi che segue, si cerca di correlare i dati relativi alle velocità con la collocazione spaziale degli attraversamenti.

Si descrive un'analisi relativa ad ogni singola categoria e in corrispondenza di essa si riporta sempre la tabella che schematizza la velocità media progressiva e la variazione di velocità in percentuale di ciascun attraversamento.

Per quanto riguarda la prima categoria, composta da sette attraversamenti lungo i quali l'utente mantiene un'andatura più o meno costante, anche per questa classe come per quelle precedentemente analizzate, C 2.a e C 2.b, tutte le intersezioni sono posizionate in corrispondenza di un rettilineo nel quale il conducente è portato a viaggiare con una velocità elevata e a non rallentare in prossimità del passaggio pedonale. Infatti fra i sette passaggi pedonali, se ne individuano quattro, quali A.P. 3, A.P. 6, A.P. 24 e A.P. 29, in cui le velocità aumentano in fase di avvicinamento all'intersezione, presentando un valore di picco del 4 % relativo all'A.P.6; per altri due, che sono nell'ordine A.P. 20 e A.P. 48, non si verifica alcuna variazione di velocità e solo per il restante attraversamento è evidente una decelerazione che si attesta però sempre comunque sopra il limite di legge, con un valore massimo del 3% (tabella 5.24).

Distanza dall' A.P. (m)	A.P. 3 Velocità medie (km/h)	A.P. 6 Velocità medie (km/h)	A.P. 11 Velocità medie (km/h)	A.P. 20 Velocità medie (km/h)	A.P. 24 Velocità medie (km/h)	A.P. 29 Velocità medie (km/h)	A.P. 48 Velocità medie (km/h)
200	55	61	51	64	60	66	59
150	56	60	52	64	62	66	60
100	56	58	55	64	63	64	61
50	52	56	55	64	58	61	60
0	54	57	54	64	58	63	59
Velocità media totale	54	58	53	64	60	64	60
Diminuzione velocità %	2%	4%	-3%	0%	2%	3%	0%

Tabella 5.24: Velocità medie dei singoli attraversamenti che appartengono alla prima categoria

La seconda categoria raggruppa i quattro attraversamenti nei quali si verifica una decelerazione più o meno costante al sopraggiungere dell'intersezione. Il valore più significativo è relativo all'A.P. 32 nel quale si rileva una diminuzione della velocità dell'6%, passando da 68 km/h a 200 m a 62 km/h a 50 m (tabella 5.25). È necessario evidenziare che, nonostante si verifichi un adeguamento della velocità in presenza del passaggio pedonale, in tutti e quattro i casi le velocità sono superiori a 50 km/h a 50 m dall'intersezione. Affinché la guida avvenga in sicurezza, come evidenziato nel paragrafo relativo alla distanza di arresto, i partecipanti alla prova dovrebbero tenere un'andatura non superiore a 50 km/h a 50 m dall'attraversamento in modo tale da avere una distanza sufficiente per arrestarsi nel caso in cui l'attraversamento sia impegnato dal passaggio di un pedone. Ciò mette in luce, la scarsa sicurezza di questa categoria di intersezioni.

Distanza dall'A.P. (m)	A.P. 32 Velocità medie (km/h)	A.P. 35 Velocità medie (km/h)	A.P. 45 Velocità medie (km/h)	A.P. 51 Velocità medie (km/h)
200	62	68	55	60
150	64	66	54	60
100	64	65	53	57
50	62	62	51	58
0	58	62	51	55
Velocità media totale	62	65	53	58
Diminuzione velocità %	4%	6%	4%	5%

Tabella 5.25: Velocità medie dei singoli attraversamenti che appartengono alla seconda categoria

La terza categoria è quella che raggruppa i quattro attraversamenti in corrispondenza dei quali si rileva una progressiva accelerazione; è proprio in questo raggruppamento infatti, che si riscontrano i valori più significativi in termini di aumento della velocità. Anche in questo caso, come già evidenziato per altre categorie delle classi precedenti, tutti i quattro passaggi pedonali sono collocati in un tratto rettilineo in cui il conducente è portato, a causa degli spazi prospettici ampi, a mantenere un'andatura elevata. I valori più significativi si individuano in corrispondenza degli attraversamenti A.P. 31 e A.P. 44: nel primo la velocità passa da 52 km/h a 200 m, a 60 km/h in fase di superamento della zebratura, determinando un aumento percentuale dell'8 %; nel secondo passa da 44 km/h a 200 m, a 55 km/h a 0 m, determinando un aumento percentuale dell'11 % (tabella 5.26). Anche in questo caso, può sembrare opportuno mettere in evidenza la collocazione spaziale degli attraversamenti sopra elencati all'interno della località a cui competono: Monte San Giovanni e Calderino. Infatti, l'intersezione A.P. 31 corrisponde al secondo passaggio pedonale dopo l'entrata nella località di Monte San Giovanni, mentre l'attraversamento A.P. 44 è il terzultimo di Calderino. A causa del paesaggio particolarmente rurale e della scarsa segnaletica che determina una divisione fra contesto urbano e contesto extraurbano, i partecipanti alla guida non hanno ritenuto necessario adeguare la velocità.

Distanza dall'A.P. (m)	A.P. 23 Velocità medie (km/h)	A.P. 31 Velocità medie (km/h)	A.P. 40 Velocità medie (km/h)	A.P. 44 Velocità medie (km/h)
200	53	52	45	44
150	57	58	44	48
100	58	60	44	48
50	56	61	49	53
0	58	60	51	55
Velocità media totale	56	58	47	50
Diminuzione velocità %	-5%	-8%	-6%	-11%

Tabella 5.26: Velocità medie dei singoli attraversamenti che appartengono alla terza categoria

Ciascuna delle ultime due categorie comprende un solo passaggio pedonale, ma in entrambe l'andamento caratteristico dell'attraversamento è da relazionare con la geometria dell'infrastruttura.

Infatti la quarta categoria è individuata dall'attraversamento A.P. 46; l'andamento della velocità in corrispondenza di esso presenta una decelerazione che ha inizio alla progressiva di 200 m con un valore della velocità di 52 km/h, che continua a ridurre la velocità arrivando a 43 km/h al superamento delle strisce pedonali, e che presenta una brusca decelerazione 50 m dopo l'attraversamento (tabella 5.27 e grafico 5.9).

Distanza dall'A.P. (m)	A.P. 46 Velocità medie (km/h)
200	52
150	52
100	50
50	48
0	43
Velocità media totale	49
Diminuzione velocità %	9%

Tabella 5.27: Velocità medie dei singoli attraversamenti che appartengono alla quarta categoria

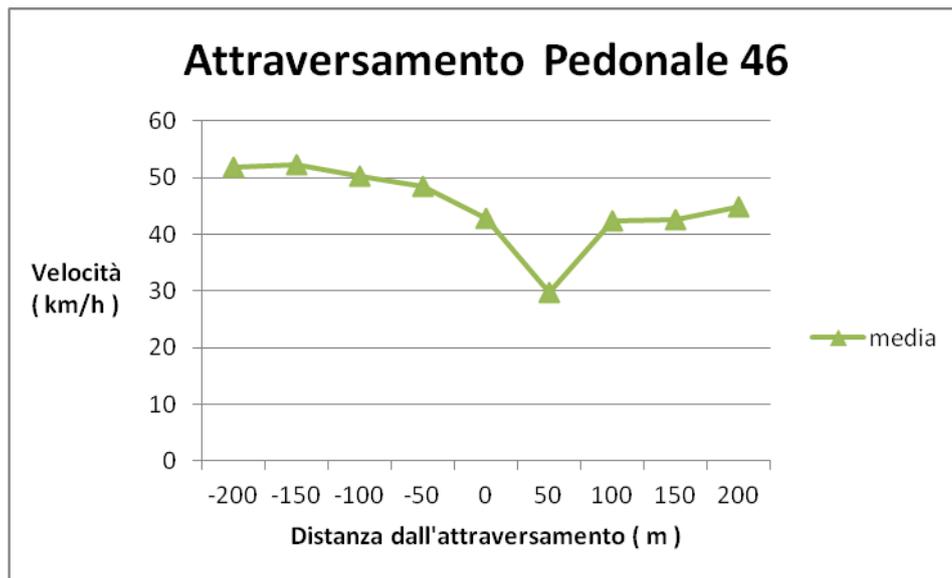


Grafico 5.9: Andamento della velocità media nelle tre fasi dell'attraversamento : avvicinamento, superamento e allontanamento

Come già accennato in precedenza, l'andamento dell'attraversamento è determinato dalla sua collocazione, infatti esso è posizionato pochi metri prima di una svolta a destra obbligata (figura 5.7).

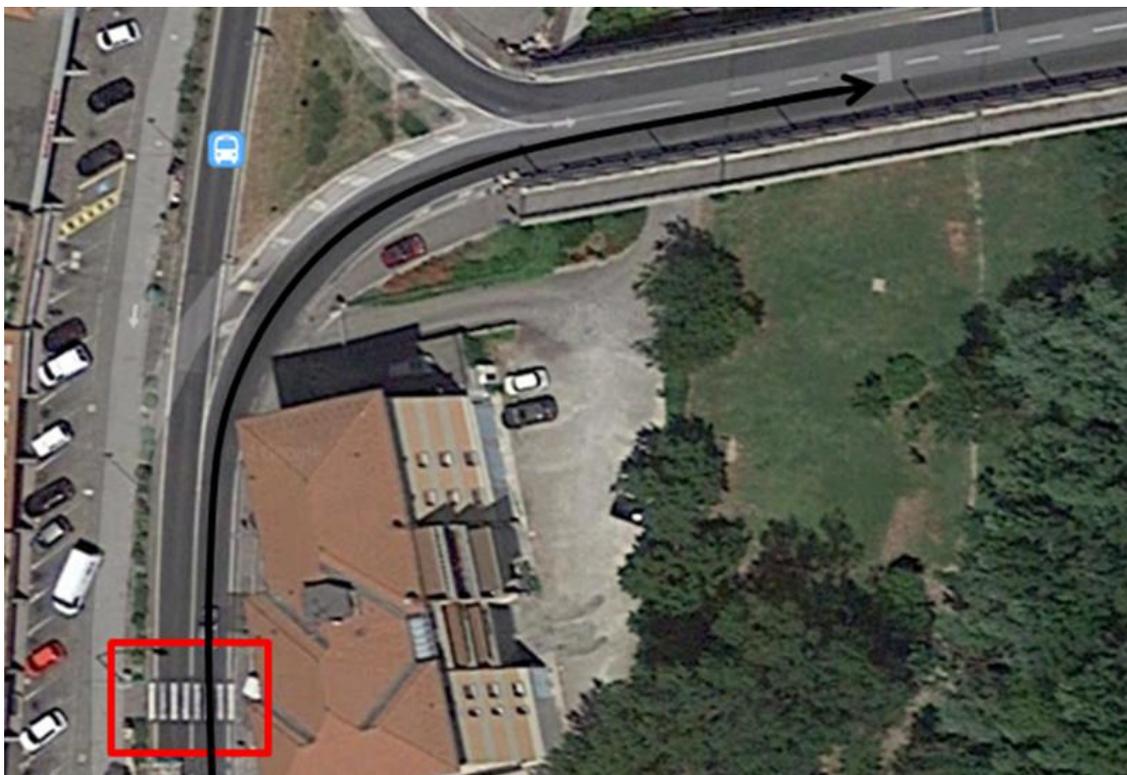


Figura 5.7: Dettaglio aereo dell'attraversamento A.P. 8

Il guidatore è costretto a rallentare a causa della geometria della strada e, in questo caso, è maggiormente predisposto ad arrestarsi nel caso in cui si verifichi la presenza di un pedone in prossimità del passaggio.

Infine la quinta categoria, è determinata dall'attraversamento A.P. 9. Per questa intersezione, l'andamento è esattamente opposto a quello precedente; infatti si passa da un valore medio di 32 km/h a 200 m, che cala fino al valore minimo di 29 km/h a 150 m, per poi aumentare fino a 47 km/h in corrispondenza delle strisce pedonali, ottenendo un aumento in percentuale del 15 % (tabella 5.28 e grafico 5.10) .

Distanza dall'A.P. (m)	A.P. 9 Velocità medie (km/h)
200	32
150	29
100	41
50	43
0	47
Velocità media totale	38
Diminuzione velocità %	-15%

Tabella 5.28: Velocità medie dei singoli attraversamenti che appartengono alla quinta categoria

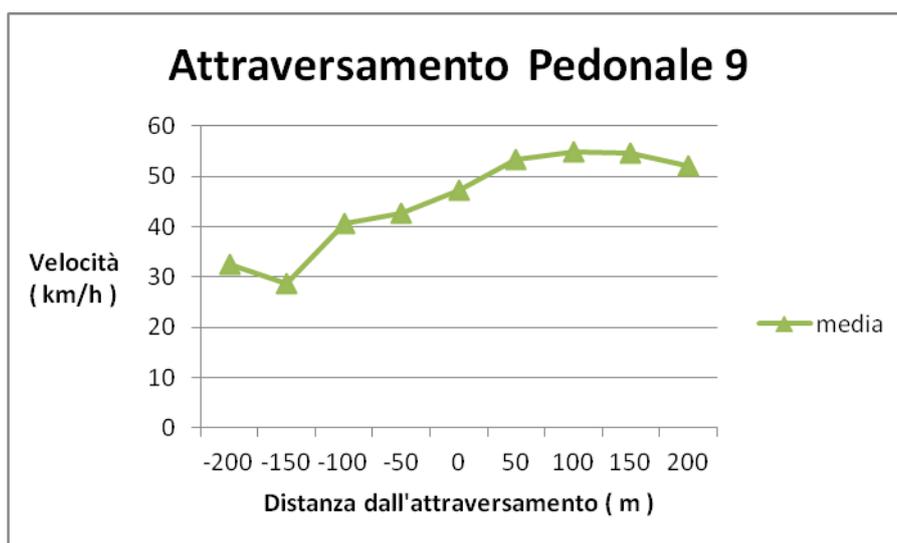


Grafico 5.10: Andamento della velocità media nelle tre fasi dell'attraversamento : avvicinamento, superamento e allontanamento

Il passaggio pedonale in questione è collocato una decina di metri dopo lo svincolo centrale di Calderino, ampiamente descritto in riferimento all'attraversamento A.P. 8 nell'analisi della classe C 2.b.



Figura 5.8: Dettaglio aereo dell'attraversamento A.P. 9 in relazione con l'A.P. 8

È proprio la sua collocazione che porta a spiegare l'andamento della velocità; infatti si evidenzia una netta decelerazione 150 m prima dell'attraversamento, dovuta all'interazione del veicolo con gli altri sulla strada che sopraggiungono dalla carreggiata di destra (figura 5.8). I conducenti, una volta superato questo punto cruciale in cui sono costretti a rallentare, rimanendo sulla destra per continuare lungo il tracciato, hanno il tempo tecnico per elaborare le informazioni e, una volta deciso che non vige alcun pericolo, si sentono autorizzati a procedere speditamente.

5.5.5. Analisi della classe C 4

**Attraversamenti pedonali
di classe C 4**

Strisce pedonali
Lampada laterale

Totale attraversamenti: 2



Classe C 4

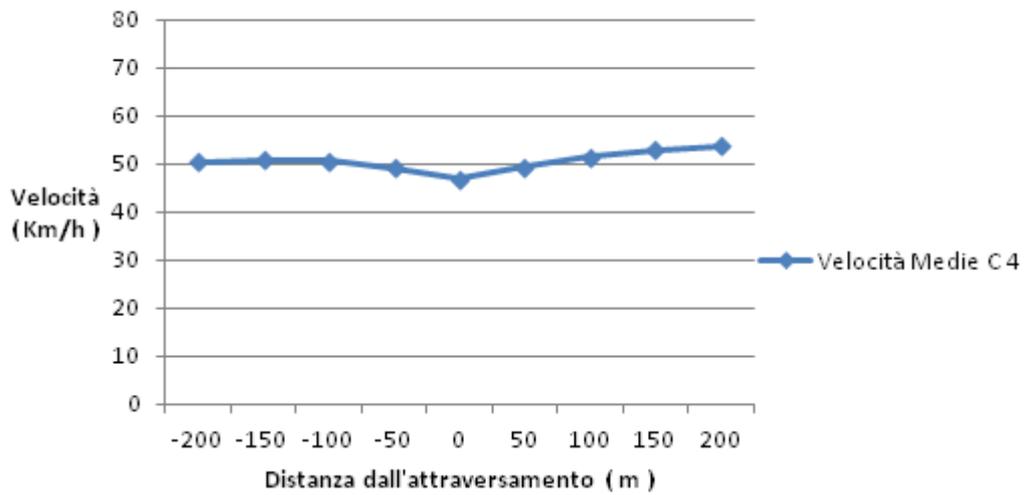


Grafico 5.11

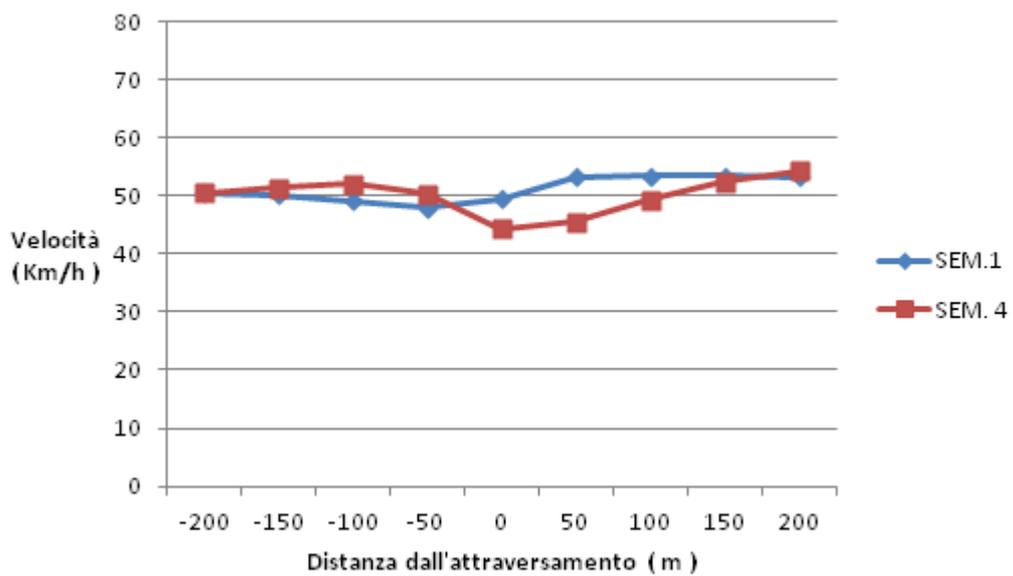


Grafico 5.12

Tabella 5.29: Velocità medie relative alla classe C 4

Distanza dall' A.P. (m)	SEM. 1 Velocità medie (km/h)	SEM. 4 Velocità medie (km/h)	Velocità media totale fra tutti gli attraversamenti (km/h)
200	50	50	50
150	50	51	51
100	49	52	51
50	48	50	49
0	50	44	47
Velocità media totale	49	50	50
Diminuzione velocità %	0%	6%	3%

Tabella 5.30: Velocità medie per singolo attraversamento semaforizzato, classe C 4

La classe C 4 comprende, a differenza di quelle analizzate in precedenza, un attraversamento pedonale semaforizzato, che, incontrandolo sia nel tratto di andata che in quello di ritorno, prende il nome, rispettivamente, di SEM. 1 e SEM. 4.

L'intersezione in questione, come elementi di corredo prevede: le strisce pedonali e la lampada laterale; è importante sottolineare che è collocata in corrispondenza di una curva ad ampio raggio.

Osservando l'andamento della velocità media della classe C 4, rappresentato nel grafico 5.11, si evince che, in questo caso, proprio come conseguenza della sua ubicazione, gli utenti percepiscono maggiormente l'intersezione, decelerando in corrispondenza della stessa. Quanto esposto è avvalorato anche dai dati schematizzati nella tabella 5.30, in cui è evidente una diminuzione della velocità totale del 3 %, in quanto passa da 50 km/h a 200 m a 47 km/h a 0 m. Di fondamentale importanza risulta essere che in corrispondenza di quest'intersezione, sia nel tratto in andata sia in quello di ritorno, la velocità non supera mai il valore massimo di legge.

Essendo questa classe rappresentata da una sola intersezione, si è ritenuto opportuno graficare separatamente i due andamenti, come da grafico 5.12.

Per l'attraversamento pedonale semaforizzato, SEM. 1, rappresentato dalla linea blu, si evidenzia una decelerazione, causa della sua collocazione in curva, alla progressiva 150 m, 100 m e 50 m, con la velocità che passa, nell'ordine, da 50 km/h, 49 km/h a 48 km/h; dopodiché, una volta che i partecipanti alla prova si sono accertati del colore della

lampada, si verifica un leggero aumento di velocità che torna ad essere pari a 50 km/h in corrispondenza delle strisce pedonali (tabella 5.30).

Per quanto riguarda invece l'attraversamento del ritorno, SEM. 4, si nota, sempre dalla tabella 5.30, una diminuzione di velocità più importante, pari al 6 %. In questo caso, la decelerazione è maggiore in quanto l'attraversamento semaforizzato è posto in corrispondenza di una curva ad ampio raggio, proprio nella fase di imbocco curva. Anche per l'intersezione semaforica, SEM. 4, gli utenti sopraggiungono a una velocità inferiore ai limiti di legge, passando da 50 km/h a 200 m a 44 km/h alla progressiva 0 m (figura 5.9).



Figura 5.9: Dettaglio dell'attraversamento semaforizzato della classe C 4, in nero è rappresentato il tratto di andata e in giallo quello di ritorno

5.5.6. Analisi della classe C 5

<p>Attraversamenti pedonali di classe C 5</p> <p>Strisce pedonali Lampada laterale Lampada centrale</p> <p>Totale attraversamenti: 2</p>	
--	--

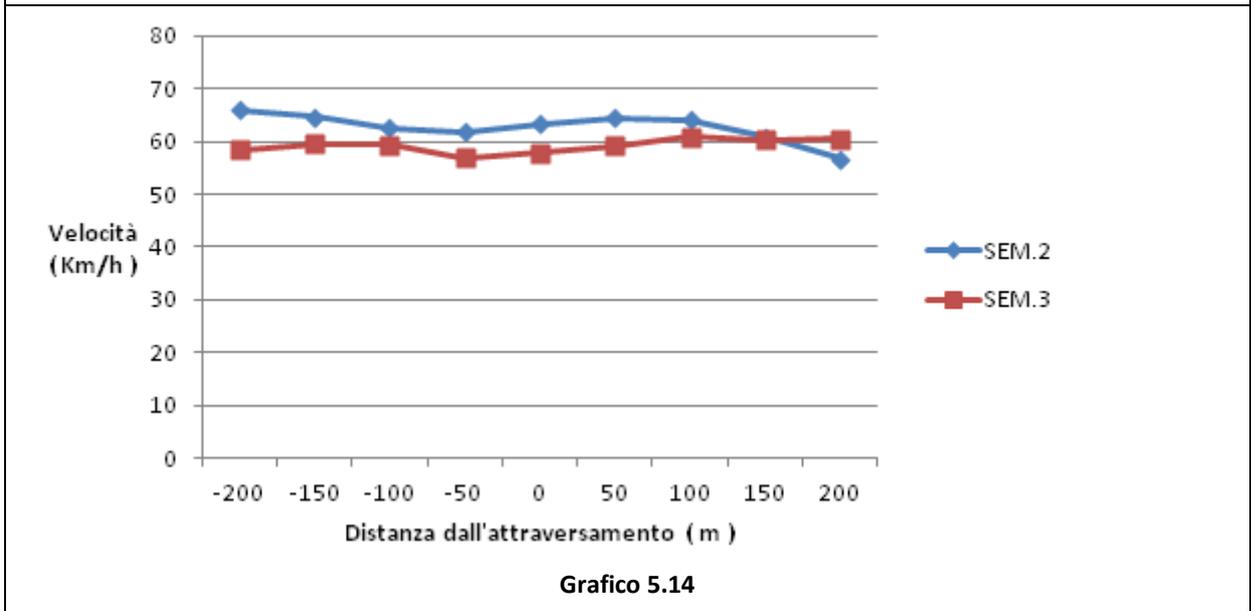
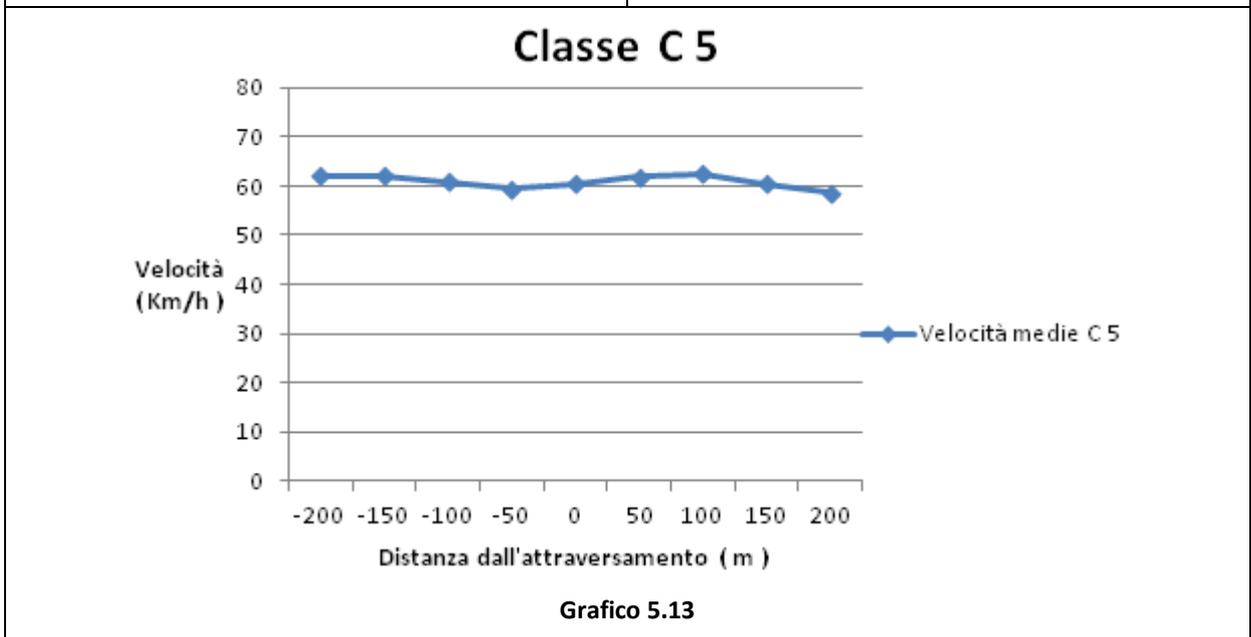


Tabella 5.31: Velocità medie relative alla classe C 5

Distanza dall'A.P. (m)	SEM. 2 Velocità medie (km/h)	SEM. 3 Velocità medie (km/h)	Velocità media totale fra tutti gli attraversamenti (km/h)
200	66	58	62
150	65	60	62
100	63	59	61
50	62	57	59
0	63	58	61
Velocità media totale	64	58	61
Diminuzione velocità %	3%	0%	1%

Tabella 5.32: Velocità medie per singolo attraversamento semaforizzato, classe C 5

La classe C 5 è l'ultima classe presa in esame. Anch'essa, come la precedente, comprende un solo attraversamento pedonale semaforizzato, denominato nel tratto di andata SEM. 2 mentre in quello di ritorno SEM. 3. L'intersezione in questione è caratterizzata dalla lampada, centrale e laterale, e dalle strisce pedonali.

Osservando l'andamento della velocità media della classe C 5, rappresentato nel grafico 5.13, è evidente come, anche se si è in presenza di un attraversamento semaforizzato, la velocità si mantiene sempre al di sopra dei limiti di legge vigenti ed ha un andamento più o meno costante lungo tutta la fase di avvicinamento all'intersezione. Come appare dalla tabella 5.32, la velocità passa da 62 km/h a 200 m a 61 km/h in corrispondenza della lampada, compiendo quindi una riduzione del solo 1%.

Come svolto in precedenza, essendo anche questa classe rappresentata da una sola intersezione, si è ritenuto opportuno graficare separatamente i due andamenti, grafico 5.14.

Analizzando nel dettaglio l'attraversamento nel tratto di andata, SEM. 2, si può notare una riduzione della velocità al sopraggiungere dell'intersezione: riduzione che ha inizio alla progressiva 100 m con un valore medio finale del 3%. Tenendo anche in considerazione in parte i dati ricavati con la strumentazione Mobile eye, quanto specificato è conseguenza della collocazione lungo il tracciato dell'attraversamento. Infatti è ubicato all'uscita di una curva che, pur avendo un raggio molto ampio, impedisce una corretta visione del tracciato: il conducente percepisce per la prima volta la presenza dell'intersezione solo a circa 100 metri da essa. Quanto appena descritto,

mette in evidenza la poca sicurezza di questo attraversamento in quanto, osservando la velocità media del campione degli utenti, i veicoli si approssimano al passaggio pedonale semaforizzato con una velocità di 62 km/h a 50 m.

Anche nel caso dello stesso attraversamento nel tratto di ritorno, SEM. 3, l'andamento mette in evidenza una velocità troppo elevata che si attesta in media sui 58 km/h, non presentando alcun tipo di adattamento in presenza dell'intersezione (tabella 5.32). Quest'ultima è collocata in corrispondenza di un rettilineo e i soggetti di prova non hanno ritenuto necessario rallentare in prossimità dell'attraversamento. Si può desumere che i conducenti, una volta percepito l'attraversamento, hanno il tempo tecnico per elaborare le informazioni e, una volta appurato che non vige alcun pericolo, si sentono autorizzati a procedere speditamente (figura 5.10).

È necessario sottolineare che i dati analizzati sono stati depurati di quei valori che testimoniano una decelerazione evidente causata dalla lampada semaforica rossa.



Figura 5.10: Dettaglio aereo dell'attraversamento semaforizzato della classe C 5, in nero è rappresentato il tratto di andata e in giallo quello di ritorno

5.6. Considerazioni sui risultati di velocità

In questo capitolo si è esposta l'analisi dei dati relativi alla velocità dei veicoli durante le prove su strada effettuate.

Una prima analisi dei dati è stata condotta evidenziando le velocità che i veicoli hanno ad una distanza di 50 m dagli attraversamenti, distanza definita dalla normativa come quella necessaria per l'arresto del veicolo se esso procede ai 50 km/h, limite di velocità in zona urbana. Come primo risultato è emerso che per il 72 % degli attraversamenti, 41 su 57, il rapporto distanza-velocità è oltre il valore di soglia; in particolare gli attraversamenti che danno i risultati peggiori sono quelli posti in corrispondenza del passaggio fra contesto urbano ed extraurbano e viceversa.

Una seconda elaborazione dei dati è stata effettuata ricorrendo alla suddivisione per classi introdotta nel terzo capitolo, si sono cioè ricavati i valori medi di velocità dei vari gruppi e si sono evidenziate, per ciascuna classe, quelle che sono le categorie con cui è stata eseguita l'analisi. Sono state messe in evidenza le problematiche riscontrate all'interno di ciascuna classe, tenendo in considerazione che il tracciato in questione non è ancora stato sottoposto a degli interventi di riqualificazione degli attraversamenti. Proprio in relazione a quanto esposto, si è ricercata una correlazione tra l'andamento della velocità in corrispondenza dell'intersezione e l'ubicazione spaziale della stessa.

Per la classe C 1, quella che comprende un solo elemento di corredo determinato dalle strisce pedonali, si è riscontrato un legame molto forte fra geometria dell'infrastruttura e andamento della velocità, evidenziando una decelerazione in corrispondenza dell'attraversamento.

Per le classi C 2.a, C 2.b e C 3, cioè per tutte le restanti classi che raggruppano gli attraversamenti pedonali, si è rilevato un valore medio di velocità sempre superiore al limite di legge vigente. In tutti e tre i casi, la velocità media totale in corrispondenza di tutti gli attraversamenti presenta un andamento più o meno costante, evidenziando quindi la scarsa percezione dell'intersezione. In particolare per la classe C 2.a si è rilevata una minima diminuzione di velocità del solo 1 %; per la classe C 2.b è apparso un aumento della velocità del 2 %, in quanto si passa da 57 km/h a 59 km/h; e infine anche per la classe C 3, si è riscontrato un aumento di velocità dell'ordine dell'1 %. Si è evidenziata, per tutte le classi e in particolare per la classe C 2.b, una velocità ben al di sopra dei 50 km/h, richiedendo quindi spazi di arresto per il veicolo superiori ai 50 m.

Le intersezioni semaforizzate, nell'ordine classe C 4 e C 5, infine, danno in media i massimi valori percentuali di diminuzione della velocità, a conferma del fatto che le lampade semaforiche sono punto di attrazione nell'attenzione di chi è alla guida.

6. L'analisi della visione

6.1. Premessa

La sperimentazione ha previsto l'utilizzo di due distinte strumentazioni, il V-Box, per l'acquisizione dei dati cinematici, e il Mobile Eye Detector, per il tracciamento del punto di vista dell'occhio umano.

Nel capitolo 5 è stata affrontata l'analisi cinematica dei dati ottenuti con il V-Box, analizzando le velocità con cui i partecipanti alla guida del veicolo di prova sono sopraggiunti e transitati in prossimità degli attraversamenti pedonali presenti sull'intero tracciato e traendo successivamente delle conclusioni, sulla base dei risultati ottenuti, in merito alla sicurezza degli utenti deboli in prossimità degli attraversamenti pedonali.

Il presente capitolo pone invece l'attenzione ai dati video ottenuti mediante la strumentazione Mobile Eye Detector, che riportano il punto di vista del conducente alla guida del veicolo: prima di tutto è stata effettuata una dettagliata analisi dei 10 filmati ottenuti e successivamente, dall'elaborazione dei dati estrapolati, è stato possibile fare delle valutazioni sulla sicurezza degli attraversamenti in funzione di ciò che l'occhio umano guarda in prossimità degli attraversamenti pedonali.

Il Mobile Eye Detector, concepito inizialmente come strumento con finalità di marketing, ha visto successivamente il suo impiego in svariati ambiti tra cui quello della sicurezza stradale. La sperimentazione vuole studiare e capire, in aggiunta ai dati cinematici, che elemento/i catturano maggiormente l'attenzione del conducente alla guida di un veicolo in prossimità degli attraversamenti pedonali e individuare quali tra questi, per gli elementi di corredo che presentano, sono maggiormente individuati e, di conseguenza, risultano essere più sicuri per il pedone che vi transita.

6.2. Analisi dei dati video

I 10 partecipanti alla sperimentazione per tutta la durata della prova hanno indossato l'occhiale Mobile Eye permettendo così di ottenere, per ognuno di loro, un filmato del tracciato percorso, ripreso dalla telecamera di scena posta sopra l'occhiale, con sovrainpresso un cursore rosso corrispondente al punto di vista del conducente alla guida (figura 6.1).

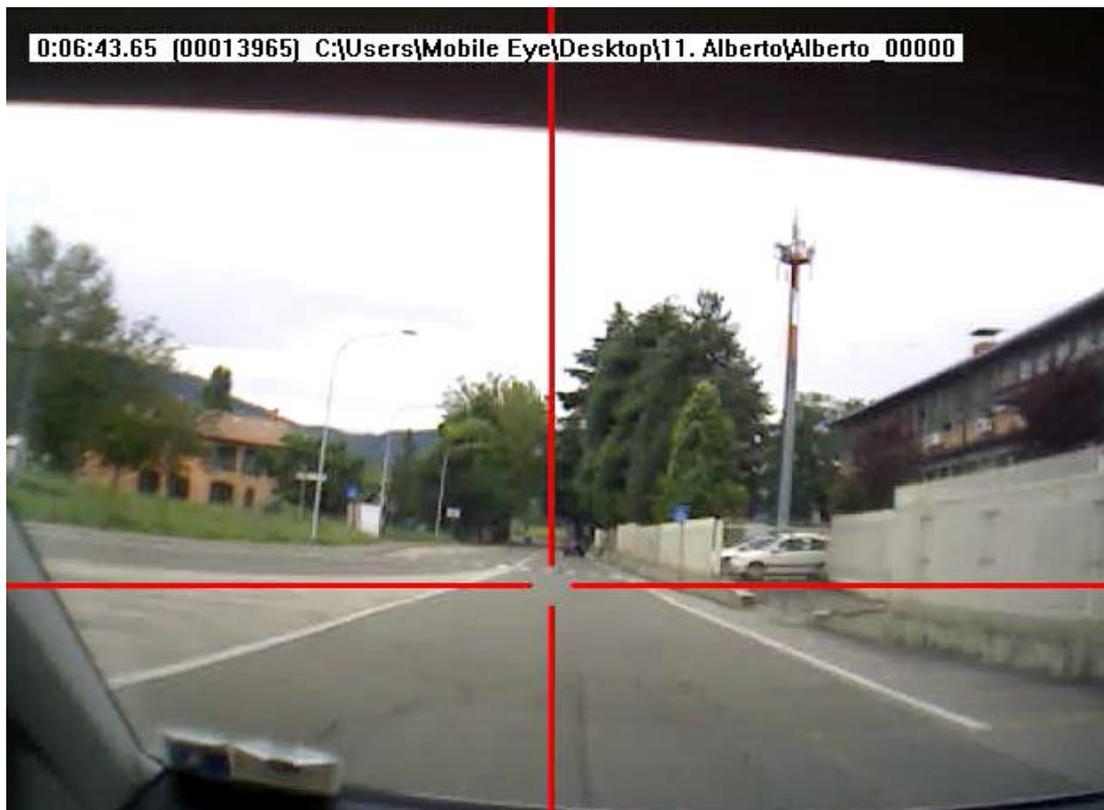


Figura 6.1: Frame estratto dal filmato relativo al pilota Alberto

Sono stati analizzati tutti e 10 i filmati, uno per uno, realizzando per ogni partecipante una tabella in Excel riportante il suo nome e l'elenco di tutti gli attraversamenti pedonali censiti lungo il tracciato di prova. In corrispondenza di ognuno di essi sono stati riportati i seguenti dati:

- le condizioni di traffico presenti nel momento in cui il partecipante sopraggiunge in corrispondenza dell'intersezione pedonale, riconducibili a tre possibili distinte situazioni quali veicoli che precedono molto distanti (strada sgombra), veicoli che precedono a distanza di sicurezza o veicoli che precedono

che limitano la visuale;

- l'eventuale attenzione catturata da elementi o azioni che si presentano lungo il tracciato, specificando più in dettaglio nell'ultima colonna ciò che ha destato attenzione;
- la distanza di percezione dell'attraversamento, intesa come la distanza alla quale l'attraversamento pedonale entra nel campo visivo del conducente alla guida del veicolo, in condizioni di veicoli che precedono molto distanti o a distanza di sicurezza;
- la distanza di visualizzazione dell'attraversamento, intesa come la distanza alla quale il partecipante visualizza per la prima volta un elemento di corredo dell'attraversamento pedonale;
- l'elemento dell'attraversamento visualizzato per primo;
- l'eventuale presenza di pedoni in corrispondenza dell'attraversamento, indicandone il numero e la posizione in cui si trovano;
- l'eventuale assenza di segnale dello strumento;
- le note, se necessarie al fine dell'elaborazione dei dati.

Per completezza, nell'allegato B, sono state riportate tutte e 10 le tabelle realizzate, fondamentali per giungere all'elaborazione dei risultati.

Il filmato realizzato con il Mobile Eye Detector ci permette di visualizzare il tracciato, individuando le condizioni di traffico che si presentano al conducente e ciò che quest'ultimo guarda durante la guida. Per ricavare e riportare in tabella le distanze relativamente alla percezione e alla visualizzazione dell'attraversamento, è stato necessario visualizzare contemporaneamente il video del Mobile Eye e del V-Box: una volta individuato il punto di interesse ai fini dei calcoli della distanza, o di percezione o di visualizzazione, si ferma il video del Mobile Eye e quello del V-Box in corrispondenza dello stesso punto, ricavando la progressiva mediante il software Performance Tools. Nota la progressiva dell'attraversamento pedonale in esame e nota quella del punto da cui si vuole calcolare la distanza, quest'ultima la si ricava per semplice differenza.

I dati riportati nelle 10 tabelle sono stati poi ripartiti in 57 tabelle, una per ognuno degli attraversamenti pedonali: tali tabelle prevedono 10 righe, ognuna riportante il contributo del singolo partecipante.

Come descritto nel capitolo 4 ed operato nell'analisi cinematica, sono stati esclusi dalla trattazione gli attraversamenti A.P. 15 e A.P. 16 nel tratto di andata ed i corrispettivi nel tratto di ritorno, ossia A.P. 39 e A.P. 40, in quanto hanno subito modifiche in fase di sperimentazione.

Di seguito, in tabella 6.1 e 6.2, si riporta per ogni attraversamento il numero esatto di utenti campioni: attraversamento per attraversamento si è scelto di escludere dall'analisi i dati relativi a utenti che hanno evidenziato o assenza di segnale in corrispondenza dell'attraversamento, o condizioni di traffico/visibilità sfavorevoli, includendo anche l'eventuale attenzione catturata da altri fattori, se fortemente forviante ai fini dei risultati. Pertanto se in tabella in corrispondenza di un attraversamento pedonale compare il numero 10 in corrispondenza degli utenti campionati, significa che per l'analisi di quell'attraversamento è stato utilizzato il contributo di tutti e 10 i partecipanti alla prova. Si può osservare come in corrispondenza della colonna "mancanza di segnale" siano riportati pochi casi in cui ciò si è verificato, sottolineando la buona riuscita delle sessioni di rilievi.

Intersezione	Numero utenti campionati	Numero utenti non campionati	
		Mancanza di segnale	Condizioni di visuale/traffico sfavorevoli
A.P. 1	8	2	
A.P. 2	8	2	
A.P. 3	10		
A.P. 4	9		1
A.P. 5	10		
A.P. 6	8	1	1
A.P. 7	9	1	
A.P. 8	7		3
A.P. 9	10		
A.P. 10	10		
A.P. 11	9		1
A.P. 12	7		3
A.P. 13	8		2
Semaforo 1	7	1	2
A.P. 14	9	1	
A.P. 15	-	-	-
A.P. 16	-	-	-
A.P. 17	8		2
A.P. 18	9		1
A.P. 19	10		
A.P. 20	9		1
A.P. 21	9	1	
A.P. 22	10		
A.P. 23	9	1	
Semaforo 2	9		1
A.P. 24	10		
A.P. 25	10		
A.P. 26	10		
A.P. 27	7		3

Tabella 6.1: Tabella relativa al numero di utenti campionati per ogni singolo attraversamento pedonale del tratto di andata

Intersezione	Numero utenti campionati	Numero utenti non campionati	
		Mancanza di segnale	Condizioni di visuale/traffico sfavorevoli
A.P. 28	10		
A.P. 29	6	3	1
A.P. 30	10		
A.P. 31	8		2
Semaforo 3	10		
A.P. 32	10		
A.P. 33	9	1	
A.P. 34	8	1	1
A.P. 35	7	1	2
A.P. 36	7	2	1
A.P. 37	8	1	1
A.P. 38	8		2
A.P. 39	-	-	-
A.P. 40	-	-	-
A.P. 41	9		1
Semaforo 4	10		
A.P. 42	7		3
A.P. 43	9		1
A.P. 44	8	2	
A.P. 45	10		
A.P. 46	8	1	1
A.P. 47	8	1	1
A.P. 48	9		1
A.P. 49	8		2
A.P. 50	9		1
A.P. 51	8		2
A.P. 52	9		1
A.P. 53	8		2

Tabella 6.2: Tabella relativa al numero di utenti campionati per ogni singolo attraversamento pedonale del tratto di ritorno

6.3. Analisi della visione in relazione alla distanza di percezione

La distanza di percezione è stata assunta come la distanza alla quale l'attraversamento pedonale entra nel campo visivo del conducente che percorre il tracciato alla guida del veicolo, in condizioni di traffico favorevole, cioè senza che vi siano veicoli o mezzi che precedono che oscurano la visuale.

In figura 6.2 è stata graficata e indicata la distanza di percezione per l'A.P. 28, il primo presente nel tratto di ritorno, il quale entra nel campo visivo del pilota solo ad una distanza di 70 m, in quanto ubicato poco dopo una curva.



Figura 6.2: Distanza di percezione per l'A.P. 28

In tabella 6.3 e 6.4, per ognuno degli attraversamenti pedonali ad esclusione delle 4 intersezioni non trattate, è stata individuata la distanza geometrica, intesa come la distanza che separa l'attraversamento in questione da quello posto precedentemente sul tracciato, e la distanza di percezione.

Intersezione	Distanza geometrica	Distanza di percezione
A.P. 1	$d > 200$ m	$d \approx 130$ m
A.P. 2	$d < 200$ m	$d \approx 115$ m
A.P. 3	$d \approx 200$ m	$d \approx 140$ m
A.P. 4	$d \approx 60$ m	$d \approx 140$ m
A.P. 5	$d > 200$ m	$d \approx 200$ m
A.P. 6	$d > 200$ m	$d \approx 150$ m
A.P. 7	$d > 200$ m	$d \approx 150$ m
A.P. 8	$d > 200$ m	$d \approx 35$ m
A.P. 9	$d > 100$ m	$d \approx 100$ m
A.P. 10	$d > 200$ m	$d \approx 210$ m
A.P. 11	$d \approx 200$ m	$d \approx 110$ m
A.P. 12	$d \approx 100$ m	$d \approx 100$ m
A.P. 13	$d \approx 100$ m	$d \approx 115$ m
Semaforo 1	$d \approx 60$ m	$d \approx 120$ m
A.P. 14	$d > 200$ m	$d \approx 215$ m
A.P. 15	-	-
A.P. 16	-	-
A.P. 17	$d \approx 200$ m	$d \approx 160$ m
A.P. 18	$d > 200$ m	$d \approx 190$ m
A.P. 19	$d > 200$ m	$d \approx 100$ m
A.P. 20	$d > 200$ m	$d \approx 230$ m
A.P. 21	$d > 100$ m	$d \approx 140$ m
A.P. 22	$d > 200$ m	$d \approx 155$ m
A.P. 23	$d > 200$ m	$d \approx 90$ m
Semaforo 2	$d > 200$ m	$d \approx 95$ m
A.P. 24	$d \approx 100$ m	$d \approx 150$ m
A.P. 25	$d > 200$ m	$d \approx 150$ m
A.P. 26	$d > 200$ m	$d \approx 250$ m
A.P. 27	$d > 200$ m	$d \approx 250$ m

Tabella 6.3: Tabella relativa agli A.P. del tratto di andata, con le relative distanze geometriche e di percezione

Intersezione	Distanza geometrica	Distanza di percezione possibile
A.P. 28	$d > 200$ m	$d \approx 70$ m
A.P. 29	$d > 200$ m	$d \approx 220$ m
A.P. 30	$d > 200$ m	$d \approx 120$ m
A.P. 31	$d > 200$ m	$d \approx 120$ m
Semaforo 3	$d \approx 100$ m	$d \approx 200$ m
A.P. 32	$d > 200$ m	$d \approx 200$ m
A.P. 33	$d > 200$ m	$d \approx 100$ m
A.P. 34	$d > 200$ m	$d \approx 240$ m
A.P. 35	$d > 100$ m	$d \approx 230$ m
A.P. 36	$d > 200$ m	$d \approx 180$ m
A.P. 37	$d > 200$ m	$d \approx 190$ m
A.P. 38	$d > 200$ m	$d \approx 190$ m
A.P. 39	-	-
A.P. 40	-	-
A.P. 41	$d > 100$ m	$d \approx 150$ m
Semaforo 4	$d > 200$ m	$d \approx 170$ m
A.P. 42	$d \approx 60$ m	$d \approx 60$ m
A.P. 43	$d \approx 100$ m	$d \approx 140$ m
A.P. 44	$d \approx 100$ m	$d \approx 90$ m
A.P. 45	$d \approx 200$ m	$d \approx 150$ m
A.P. 46	$d > 200$ m	$d \approx 190$ m
A.P. 47	$d > 200$ m	$d \approx 140$ m
A.P. 48	$d > 200$ m	$d \approx 130$ m
A.P. 49	$d > 200$ m	$d \approx 150$ m
A.P. 50	$d > 200$ m	$d \approx 240$ m
A.P. 51	$d \approx 60$ m	$d \approx 210$ m
A.P. 52	$d \approx 200$ m	$d \approx 130$ m
A.P. 53	$d \approx 200$ m	$d \approx 50$ m

Tabella 6.4: Tabella relativa agli A.P. del tratto di ritorno, con le relative distanze geometriche e di percezione

Le distanze di percezione presenti in tabella corrispondono al valore puntuale calcolato in corrispondenza di ciascun attraversamento. Successivamente sono stati effettuati dei sottogruppi in base alla distanza di percezione: in particolare, sono state individuate 5 categorie che raggruppano gli attraversamenti in base alla distanza di percezione, rispettivamente minore o uguale a 50 m, 100 m, 150 m, 200 m e infine l'ultima con

distanza di percezione maggiore di 200 m.

La scelta dei valori limite, in particolare per la prima categoria che prevede una distanza di percezione minore o uguale a 50 m, è stata fatta sulla base delle considerazioni relative alla distanza minima di visibilità per l'arresto in sicurezza, trattata più nel dettaglio nel capitolo 5. Si è considerato, infatti, che un conducente che viaggia ad una velocità massima di circa 50 km/h, limite ultimo in ambito urbano, richiede una distanza di visibilità di 50 m per effettuare un arresto in sicurezza (nel caso specifico per consentire l'attraversamento di un pedono in attesa).

Effettuato il raggruppamento per i 53 attraversamenti pedonali, di cui 4 semaforizzati, si può individuare visivamente dal grafico in figura 6.3 che il 4% degli attraversamenti pedonali presenti sul tracciato di prova prevede una di distanza di percezione inferiore o uguale ai 50 m. Questa percentuale corrisponde per l'esattezza a 2 attraversamenti pedonali, esattamente l'A.P. 8 e l'A.P. 53, il primo presente nel tratto di andata in località Calderino ed il secondo nel tratto di ritorno in località Zola Predosa.

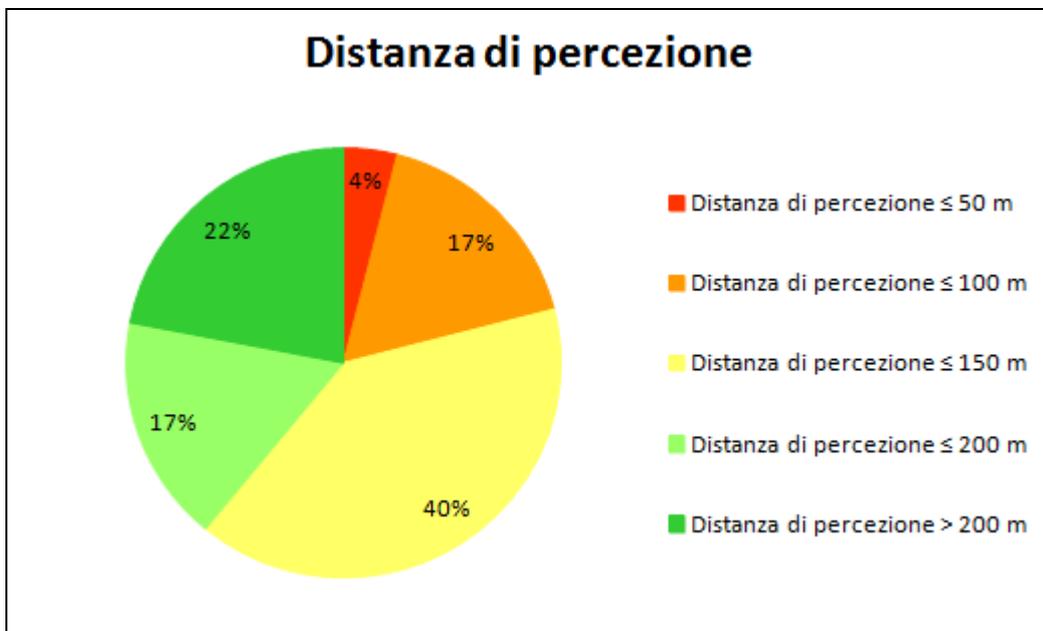


Figura 6.3: Raggruppamento in base alla distanza di percezione

L'attraversamento pedonale A.P. 8 è percepibile ad una distanza massima di 35 m in quanto posto a seguito di una curva (figura 6.4). Nonostante dall'analisi cinematica sia emerso che la media dei partecipanti è transitata con una velocità pari a 35 km/h,

pertanto entro i limiti in zona urbana, l'ubicazione non è favorevole alla visione corretta dell'attraversamento ad una distanza di sicurezza. A maggior ragione, poco prima dell'attraversamento si ha la confluenza di due correnti veicolari, relativamente alla figura 6.4, una proveniente da destra, dalla quale giungono i partecipanti alla prova, e una proveniente da sinistra. Inoltre subito dopo l'attraversamento si ha una diramazione del flusso veicolare in due correnti, una che prosegue dritto, quella del percorso di prova, e una che svolta a sinistra. L'attraversamento pedonale è quindi ubicato in una posizione dove l'attenzione del conducente alla guida è fortemente rivolta agli altri veicoli presenti in quel momento sul tracciato in modo da non entrare in collisione con essi.

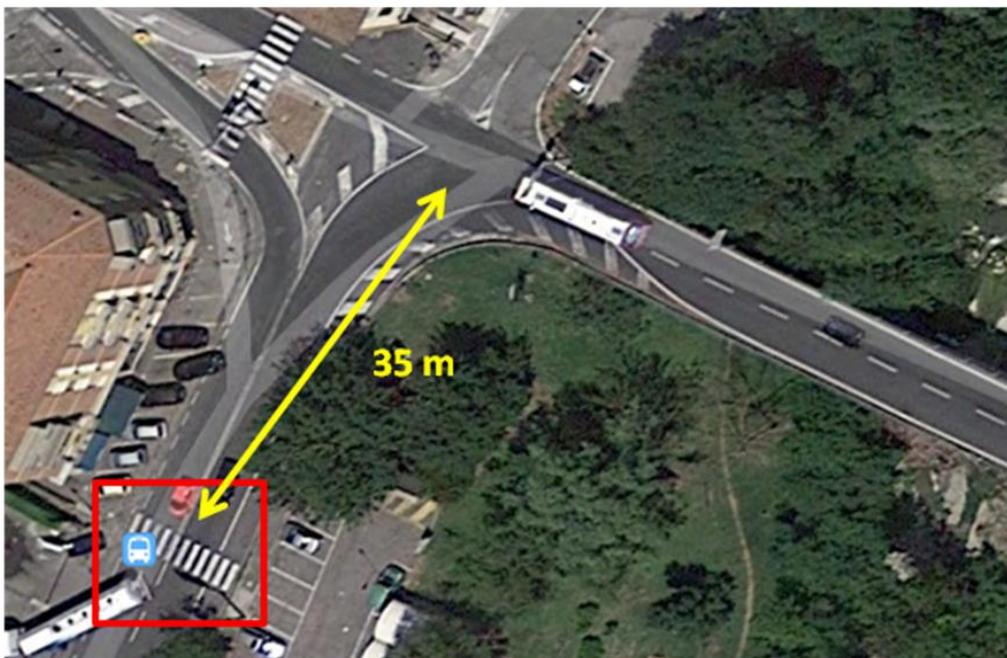


Figura 6.4: Distanza di percezione relativamente all'A.P. 8

Discorso quasi analogo può essere fatto per l'A.P. 53, l'ultimo attraversamento presente sul tracciato di prova, ubicato in uscita dalla rotatoria con una distanza di percezione di circa 50 m (figura 6.5). I conducenti affrontano la rotatoria a una velocità ridotta e in uscita da questa sono portati ad aumentare la velocità quasi in corrispondenza dell'ubicazione dell'attraversamento. La distanza di percezione è di circa 50 m e inoltre, in questo caso specifico, la visualizzazione delle sole strisce pedonali, l'unico elemento che connota l'attraversamento pedonale, non è in alcun modo favorita in quanto le

strisce pedonali stesse sono in stato di ammaloramento, quasi impercettibili (figura 6.6).

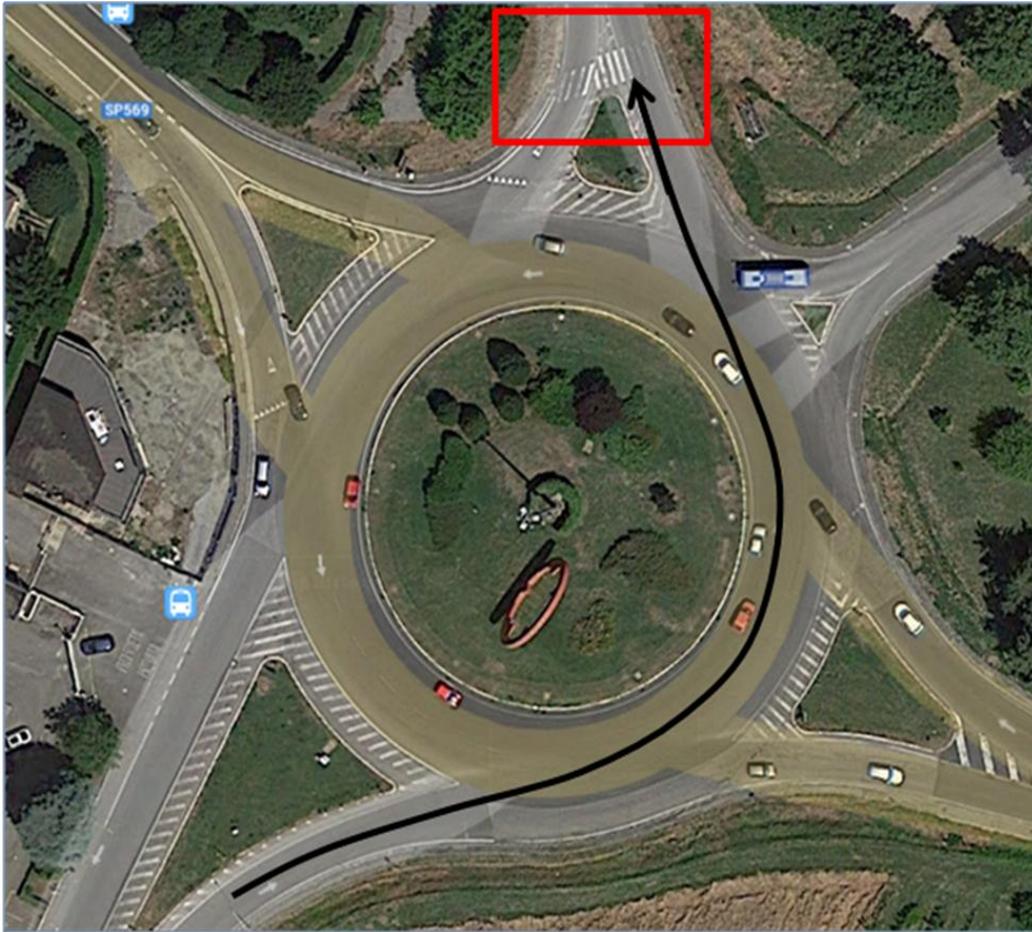


Figura 6.5: Ubicazione dell'A.P. 53 con relativo percorso di ritorno



Figura 6.6: Attraversamento pedonale A.P. 53

6.4. Analisi della visione per classi di attraversamento

L'analisi della visione presentata di seguito riprende la classificazione effettuata in fase di individuazione degli attraversamenti pedonali presenti lungo l'intero tracciato di prova: si sono infatti raggruppati i 57 attraversamenti pedonali, di cui 4 semaforizzati, in base agli elementi di corredo che li caratterizzano, individuando così 6 classi, di cui 4 per gli attraversamenti pedonali e 2 per quelli semaforizzati. L'analisi della visione, a maggior ragione, richiede una distinzione secondo queste classi in quanto si cerca di comprendere come i diversi elementi influenzino la minore o maggiore visualizzazione di una classe di attraversamenti rispetto ad un'altra.

All'interno di ogni classe è stata effettuata un'analisi preliminare per ogni singolo attraversamento, valutando la percentuale di utenti che hanno visualizzato un elemento dell'attraversamento stesso e la percentuale di coloro che invece non hanno visto alcun elemento. Successivamente, si è valutata la percentuale con cui i vari elementi che connotano l'attraversamento sono stati visti come primo elemento visualizzato dell'attraversamento. In terza battuta, si è ricercato come la percentuale che compete a ciascun elemento si è ripartita tra gli utenti, in base cioè a coloro che l'hanno visto come primo elemento a una distanza maggiore di 50 m e coloro invece che l'hanno visto come primo elemento a una distanza minore o uguale di 50 m.

All'interno di ogni classe è stata poi operata un media in base al numero di attraversamenti pedonali che la compongono.

Dettagliatamente, di seguito, si riportano le analisi per le singole classi.

6.4.1. Analisi della classe C 1

La classe C 1 è composta dagli attraversamenti pedonali A.P. 1 e A.P. 53, che corrispondono alla stessa intersezione pedonale, rispettivamente però il primo nel tratto di andata e il secondo nel tratto di ritorno. La classe C 1 si presenta come la più sguarnita in termini di elementi di corredo in quanto presenta le sole strisce pedonali: per di più, l'intersezione pedonale in questione presenta, sia per il tratto di andata che per quello di ritorno, strisce pedonali in stato di ammaloramento avanzato, particolarmente scolorite, e pertanto difficili da visualizzare. La tabella 6.5 evidenzia questo stato di fatto, mettendo in risalto che nel 63% dei casi gli utenti non hanno

visualizzato gli attraversamenti di classe C 1. Solo nel 37% dei casi gli utenti hanno visualizzato l'unico elemento possibile, le strisce pedonali, di cui ben un 25% a distanza inferiore o uguale a 50 m.

Classe C 1	% di utenti che non hanno visualizzato l'A.P.	% di utenti che hanno visualizzato l'A.P.	% di utenti che hanno visto le strisce pedonali a $d > 50 \text{ m}$	% di utenti che hanno visto le strisce pedonali a $d \leq 50 \text{ m}$
A.P. 1	50%	50%	25%	25%
A.P. 53	75%	25%	0%	25%
Media classe C 1	63%	37%	12%	25%

Tabella 6.5: Classe C 1

I dati presentati in tabella 6.5 sono stati rappresentati mediante un grafico a torta in tabella 6.6 per una migliore visualizzazione dei risultati.

<p style="text-align: center;">Attraversamenti pedonali di classe C 1</p> <p style="text-align: center;">Strisce pedonali</p> <p style="text-align: center;">Totale attraversamenti: 2</p>	
--	--

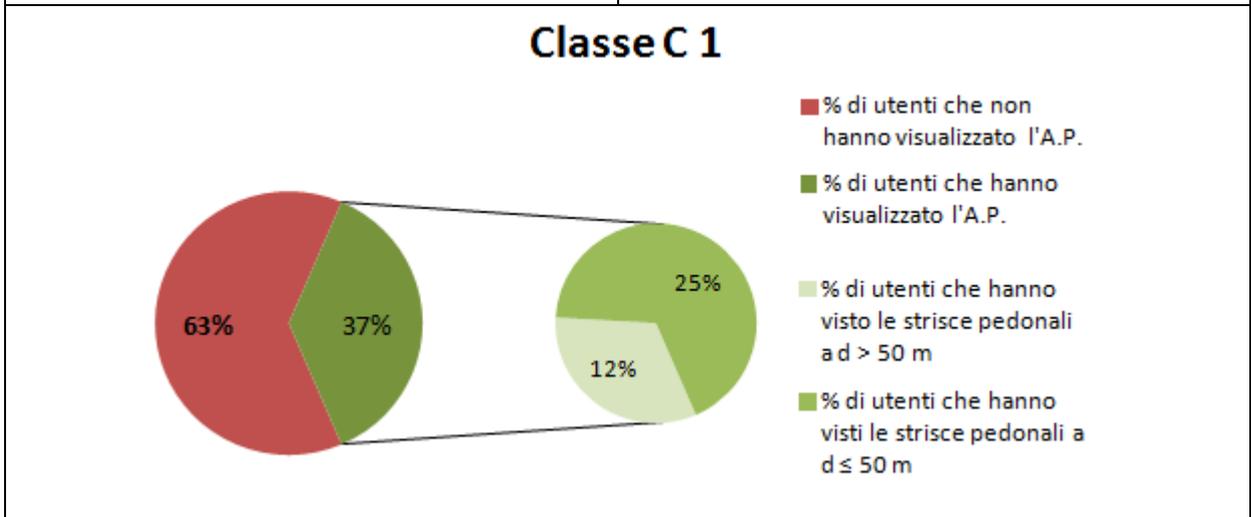


Tabella 6.6: Tabella riassuntiva classe C 1

6.4.2. Analisi della classe C 2.a

La classe C 2.a comprende 18 attraversamenti pedonali (avendo già escluso dalla trattazione gli attraversamenti A.P. 16 e A.P. 39 in quanto hanno subite modifiche durante il periodo di svolgimento dei rilievi). La classe raggruppa tutti quegli attraversamenti corredati, oltre che da strisce pedonali, dal cartello a portale. In tabella 6.7, per ogni attraversamento è stata riportata la percentuale di utenti che non hanno visualizzato l'intersezione e di quelli che invece l'hanno visualizzata. Successivamente si è operata una media, sui 18 attraversamenti che competono alla classe, delle percentuali di non visualizzazione e di quelle di visualizzazione.

Classe C 2.a	% di utenti che non hanno visualizzato l'A.P.	% di utenti che hanno visualizzato l'A.P.
A.P. 4	22%	78%
A.P. 10	0%	100%
A.P. 12	29%	71%
A.P. 13	0%	100%
A.P. 14	11%	89%
A.P. 16	-	-
A.P. 17	0%	100%
A.P. 18	0%	100%
A.P. 22	0%	100%
A.P. 26	0%	100%
A.P. 27	0%	100%
A.P. 28	0%	100%
A.P. 33	0%	100%
A.P. 37	0%	100%
A.P. 38	25%	75%
A.P. 39	-	-
A.P. 41	0%	100%
A.P. 42	29%	71%
A.P. 43	0%	100%
A.P. 50	0%	100%
Media classe C 2.a	6%	94%

Tabella 6.7: Classe C 2.a

Dai valori riportati in tabella 6.7 in ultima riga si riscontra che solo nel 6% dei casi gli utenti non visualizzato gli attraversamenti di classe C 2.a, mentre nel 94% dei casi gli utenti visualizzato almeno un elemento dell'intersezione.

In seconda analisi sono state individuate, per ogni attraversamento, le percentuali con cui le strisce pedonali e il cartello a portale sono stati il primo elemento visualizzato dell'attraversamento (tabella 6.8). Infine, è stato individuato come ognuna delle rispettive percentuali si ripartisce tra coloro che hanno visualizzato l'elemento ad una distanza maggiore di 50 m dall'attraversamento e coloro che invece l'hanno visto ad una distanza minore o uguale a 50 m. In tabella 6.8, in ultima riga, si osserva che nel 69% dei casi il primo elemento che cattura l'attenzione dei conducenti in prossimità degli attraversamenti di classe C 2.a è il cartello a portale, di cui una quota parte pari ben al 59% lo visualizza a una distanza maggiore di 50 m. Le strisce, invece, sono percepite come primo elemento nel 31% dei casi, di cui un 23% a distanza minore o uguale a 50 m.

Classe C 2.a	Cartello a portale	% di utenti che hanno visto il cartello a portale a $d > 50$ m	% di utenti che hanno visto il cartello a portale a $d \leq 50$ m	Strisce pedonali	% di utenti che hanno visto le strisce pedonali a $d > 50$ m	% di utenti che hanno visto le strisce pedonali a $d \leq 50$ m
A.P. 4	43%	14%	29%	57%	14%	43%
A.P. 10	60%	60%	0%	40%	10%	30%
A.P. 12	20%	0%	20%	80%	40%	40%
A.P. 13	63%	38%	25%	37%	0%	37%
A.P. 14	87%	87%	0%	13%	0%	13%
A.P. 16	-	-	-	-	-	-
A.P. 17	100%	100%	0%	0%	0%	0%
A.P. 18	67%	67%	0%	33%	11%	22%
A.P. 22	60%	60%	0%	40%	10%	30%
A.P. 26	100%	100%	0%	0%	0%	0%
A.P. 27	71%	71%	0%	29%	14,5%	14,5%
A.P. 28	60%	50%	10%	40%	0%	40%
A.P. 33	78%	67%	11%	22%	0%	22%
A.P. 37	100%	100%	0%	0%	0%	0%
A.P. 38	83%	50%	33%	17%	0%	17%
A.P. 39	-	-	-	-	-	-
A.P. 41	78%	56%	22%	22%	11%	11%
A.P. 42	20%	0%	20%	80%	0%	80%
A.P. 43	44%	44%	0%	56%	34%	22%
A.P. 50	100%	100%	0%	0%	0%	0%
Media classe C 2.a	69%	59%	10%	31%	8%	23%

Tabella 6.8: Classe C 2.a

In tabella 6.9 si rappresentano graficamente i risultati ottenuti in tabella 6.7 e 6.8.

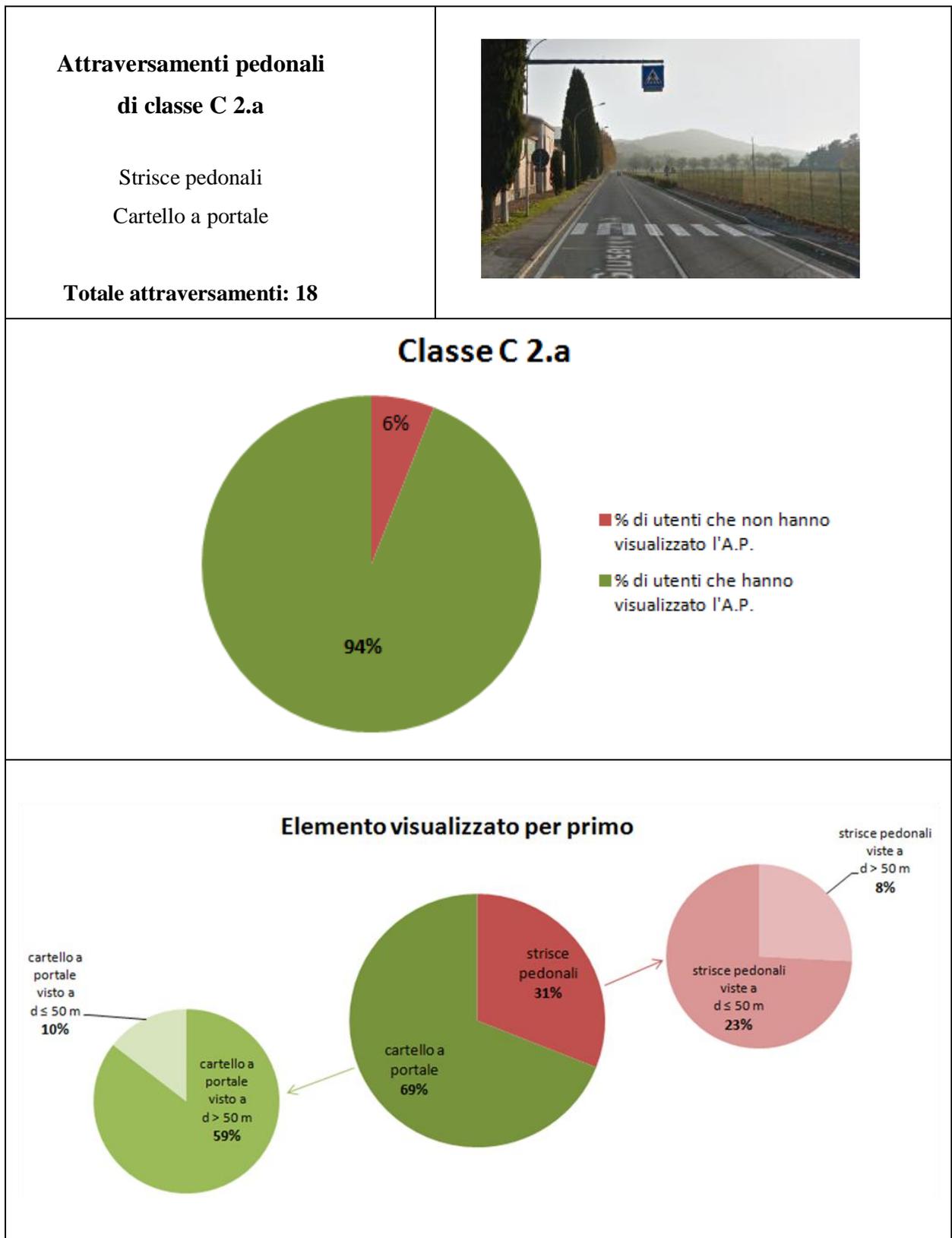


Tabella 6.9: Tabella riassuntiva classe C 2.a

6.4.3. Analisi della classe C 2.b

La classe C 2.b comprende 13 attraversamenti pedonali corredati da strisce pedonali e cartello verticale (posto sul lato destro della carreggiata). Inizialmente, per tutti e 13 gli attraversamenti inizialmente sono state valutate le singole percentuali relativamente agli utenti che non hanno visualizzato o a quelli che hanno visualizzato l'attraversamento. Successivamente è stata operata una media delle percentuali sui 13 attraversamenti che competono alla classe, riscontrando che nel 20% dei casi gli utenti non visualizza alcun elemento, mentre nell'80% dei casi gli utenti visualizzano un elemento dell'attraversamento (tabella 6.10).

Classe C 2.b	% di utenti che non hanno visualizzato l'A.P.	% di utenti che hanno visualizzato l'A.P.
A.P. 2	37%	63%
A.P. 5	50%	50%
A.P. 7	0%	100%
A.P. 8	0%	100%
A.P. 19	10%	90%
A.P. 21	22%	78%
A.P. 25	30%	70%
A.P. 30	30%	70%
A.P. 34	0%	100%
A.P. 36	0%	100%
A.P. 47	0%	100%
A.P. 49	25%	75%
A.P. 52	56%	44%
Media classe C 2.b	20%	80%

Tabella 6.10: Classe C 2.b

La tabella 6.11 evidenzia che nel 51% dei casi il primo elemento dell'attraversamento pedonale visto sono le strisce pedonali, mentre nel 49% dei casi il cartello verticale.

Come per la classe C 2.a, anche per questa classe, il 51% dei casi che vedono come primo elemento le strisce pedonali registra una quota parte, pari al 45%, di visualizzazione ad una distanza minore o uguale a 50 m dall'attraversamento.

Classe C 2.b	Cartello verticale	% di utenti che hanno visto il cartello verticale a $d > 50$ m	% di utenti che hanno visto il cartello verticale a $d \leq 50$ m	Strisce pedonali	% di utenti che hanno visto le strisce pedonali a $d > 50$ m	% di utenti che hanno visto le strisce pedonali a $d \leq 50$ m
A.P. 2	20%	20%	0%	80%	0%	80%
A.P. 5	80%	40%	40%	20%	0%	20%
A.P. 7	33%	22%	11%	67%	11%	56%
A.P. 8	0%	0%	0%	100%	0%	100%
A.P. 19	44%	22%	22%	56%	0%	56%
A.P. 21	29%	14,5%	14,5%	71%	0%	71%
A.P. 25	71%	71%	0%	29%	0%	29%
A.P. 30	57%	43%	14%	43%	14%	29%
A.P. 34	50%	0%	50%	50%	0%	50%
A.P. 36	71%	43%	28%	29%	29%	0%
A.P. 47	50%	37%	13%	50%	13%	37%
A.P. 49	33%	33%	0%	67%	17%	50%
A.P. 52	100%	25%	75	0%	0%	0%
Media classe C 2.b	49%	29%	20%	51%	6%	45%

Tabella 6.11: Classe C 2.b

In tabella 6.12 si visualizzano graficamente, in analogia con quanto svolto per le precedenti classi, i risultati ottenuti riportati in tabella 6.10 e 6.11.

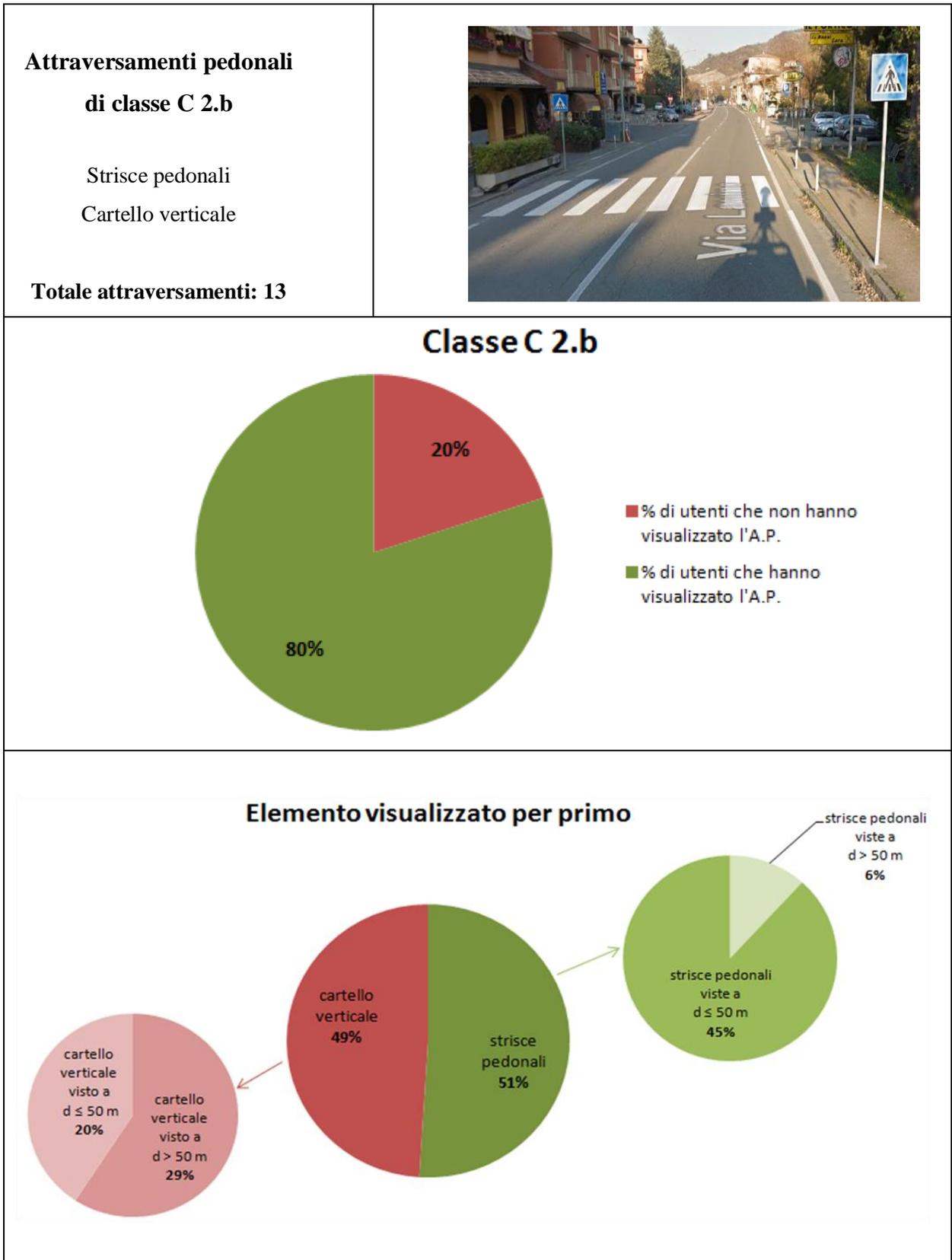


Tabella 6.12: Tabella riassuntiva classe C 2.b

6.4.4. Analisi classe C 3

La classe C 3 raggruppa tutti quegli attraversamenti presenti lungo il tracciato di prova corredati da 3 elementi, quali strisce pedonali, cartello verticale e cartello a portale. La classe racchiude 16 di attraversamenti di questo tipo che risultano essere peraltro i più corredati tra quelli presenti lungo il percorso di prova (considerando distintamente le classi di attraversamenti pedonali da quelle degli attraversamenti pedonali semaforizzati).

Dai dati riportati in tabella 6.13 in corrispondenza di ogni attraversamento ed effettuando una media delle percentuali sui 16 attraversamenti che competono alla classe, si osserva che solo nel 3% dei casi gli utenti non visualizzano gli attraversamenti di classe C 3, mentre ben nel 97% dei casi, ossia quasi la loro totale, è visualizzata almeno un elemento dell'attraversamento (tabella 6.13).

Classe C 3	% di utenti che non hanno visualizzato l'A.P.	% di utenti che hanno visualizzato l'A.P.
A.P. 3	0%	100%
A.P. 6	0%	100%
A.P. 9	10%	90%
A.P. 11	0%	100%
A.P. 15	-	-
A.P. 20	0%	100%
A.P. 23	0%	100%
A.P. 24	10%	90%
A.P. 29	0%	100%
A.P. 31	0%	100%
A.P. 32	0%	100%
A.P. 35	0%	100%
A.P. 40	-	-
A.P. 44	20%	80%
A.P. 45	0%	100%
A.P. 46	13%	87%
A.P. 48	0%	100%
A.P. 51	0%	100%
Media classe C 3	3%	97%

Tabella 6.13: Classe C 3

È particolarmente interessante, all'interno di questa classe, dove sono presenti tutti e 3 gli elementi di corredo contemporaneamente, valutare quale tra questa cattura per primo l'attenzione dei conducenti alla guida. Si registra che nel 57% dei casi il primo elemento dell'attraversamento visto è il cartello a portale, con una quota parte pari al 51%, che è visualizzato a una distanza maggiore di 50 m dall'attraversamento. Seguono le strisce pedonali che nel 30% dei casi sono viste come primo elemento, registrando anche in questo caso come nelle due classi precedenti una maggior visualizzazione a distanza minore o uguale di 50 m dall'attraversamento (23% su 30%). Infine, solo nel 13% dei casi il cartello verticale è visto come primo elemento dell'attraversamento pedonale (tabella 6.14).

Classe C 3	Cartello a portale	% di utenti che hanno visto il cartello a portale a $d > 50$ m	% di utenti che hanno visto il cartello a portale a $d \leq 50$ m	Cartello verticale	% di utenti che hanno visto il cartello verticale a $d > 50$ m	% di utenti che hanno visto il cartello verticale a $d \leq 50$ m	Strisce pedonali	% di utenti che hanno visto le strisce pedonali a $d > 50$ m	% di utenti che hanno visto le strisce pedonali a $d \leq 50$ m
A.P. 3	20%	20%	0%	20%	10%	10%	60%	0%	60%
A.P. 6	87%	87%	0%	0%	0%	0%	13%	0%	13%
A.P. 9	34%	34%	0%	22%	0%	22%	44%	22%	22%
A.P. 11	0%	0%	0%	56%	34%	22%	44%	11%	33%
A.P. 15	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A.P. 20	78%	67%	11%	22%	0%	22%	0%	0%	0%
A.P. 23	22%	11%	11%	22%	11%	11%	56%	0%	56%
A.P. 24	56%	34%	22%	11%	11%	0%	33%	11%	22%
A.P. 29	33%	33%	0%	0%	0%	0%	67%	17%	50%
A.P. 31	75%	75%	0%	0%	0%	0%	25%	12,5%	12,5%
A.P. 32	50%	50%	0%	20%	10%	10%	30%	10%	20%
A.P. 35	86%	86%	0%	14%	14%	0%	0%	0%	0%
A.P. 40	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A.P. 44	75%	63%	12%	0%	0%	0%	25%	12,5%	12,5%
A.P. 45	50%	40%	10%	30%	30%	0%	20%	0%	20%
A.P. 46	100%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
A.P. 48	67%	45%	22%	0%	0%	0%	33%	22%	11%
A.P. 51	75%	75%	0%	0%	0%	0%	25%	0%	25%
Media classe C 3	57%	51	6%	13%	7%	6	30%	7%	23%

Tabella 6.14: Classe C 3

Analogamente ai casi precedenti, si graficano i dati ottenuti in tabella 6.15.

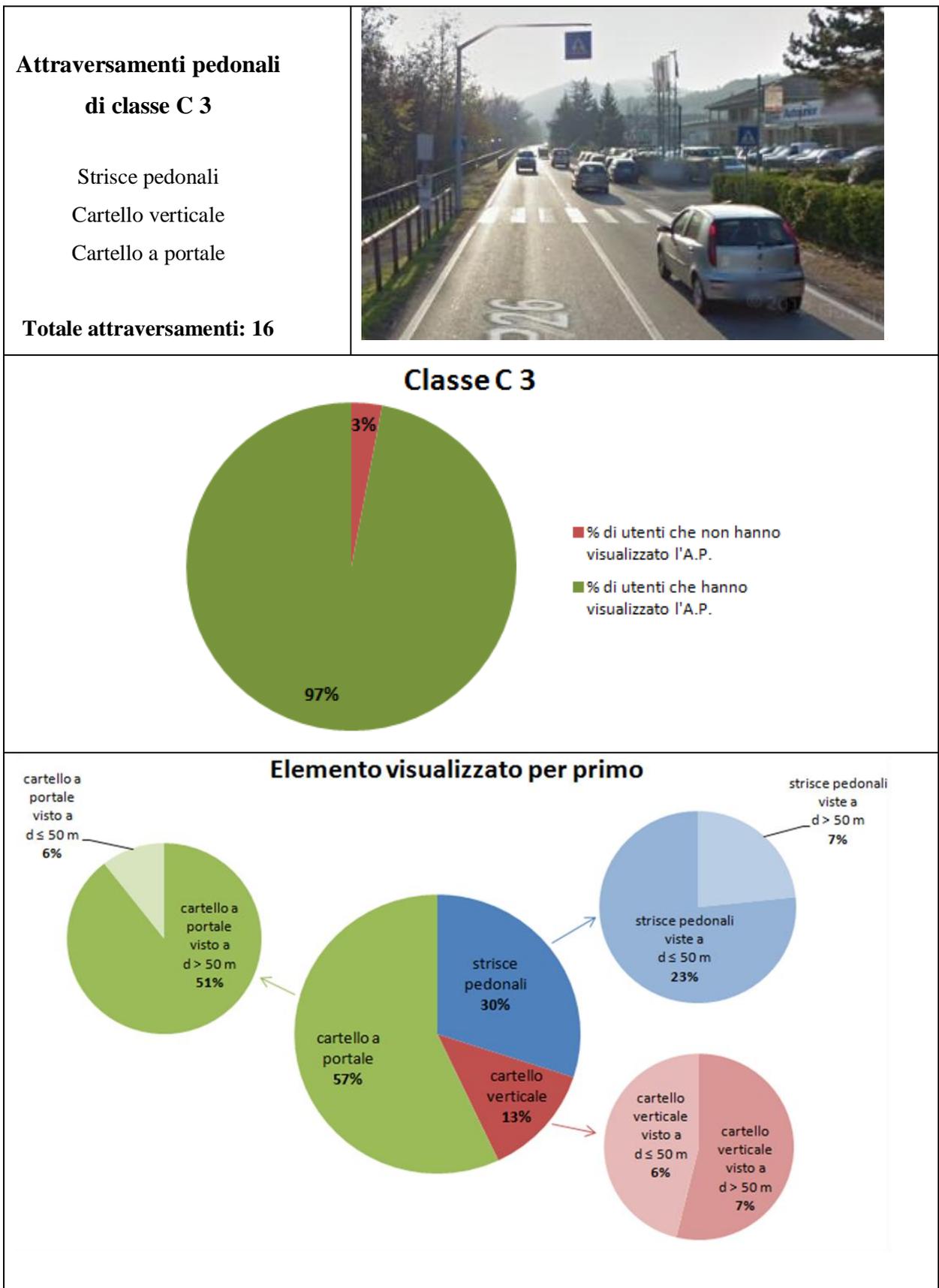


Tabella 6.15: Tabella riassuntiva classe C 3

6.4.5. Analisi classe C 4

La classe C 4 raggruppa gli attraversamenti pedonali semaforizzati che prevedono la presenza della sola lampada laterale, oltre alle strisce pedonali. Sull'intero tracciato sono presenti solo due intersezioni semaforizzate corredate da lampada laterale, rispettivamente, SEM. 1, nel tratto di andata, e SEM. 4, nel tratto di ritorno.

Le percentuali individuate precedentemente per le classi di attraversamenti pedonali non possono essere comparate con quelle delle classi che prevedono la lampada semaforica, in quanto la luce del semaforo è ben più visibile non solo di notte, ma anche di giorno, rispetto ad un qualsiasi altro cartello, sia esso un cartello a portale o un cartello verticale.

Nelle tabelle 6.16 e 6.17 sono riportate le percentuali relative ai due soli singoli casi di attraversamenti pedonali semaforizzati dotati di lampada laterale presenti sul tracciato di prova e le percentuali medie della classe.

Classe C 4	% di utenti che non hanno visualizzato l'A.P.	% di utenti che hanno visualizzato l'A.P.
SEM. 1	14%	86%
SEM. 4	0%	100%
Media classe C 4	7%	93%

Tabella 6.16: Classe C 4

Classe C 4	Lampada laterale	% di utenti che hanno visto la lampada laterale a $d > 50$ m	% di utenti che hanno visto la lampada laterale a $d \leq 50$ m	Strisce pedonali	% di utenti che hanno visto le strisce pedonali a $d > 50$ m	% di utenti che hanno visto le strisce pedonali a $d \leq 50$ m
SEM. 1	50%	0%	50%	50%	0%	50%
SEM. 4	100%	70%	30%	0%	0%	0%
Media classe C 4	75%	35%	40%	25%	0%	25%

Tabella 6.17: Classe C 4

Si ritiene opportuno effettuare una considerazione su ognuno dei due casi.

Il SEM. 4 viene visto dalla totalità degli utenti e, in particolare, tutti visualizzano come primo elemento la lampada laterale.

Il caso del SEM. 1 riscontra invece che il 14% degli utenti non visualizza l'intersezione semaforizzata e il primo elemento visualizzato non è per tutti gli utenti la lampada laterale, ma un 25% di essi vede come primo elemento le strisce pedonali. La motivazione del risultato emerso dal caso del SEM. 1 è da ricercare nel contesto in cui si trova ubicata l'intersezione semaforizzata stessa. Come si vede in figura 6.7, l'attraversamento pedonale semaforizzato è posto in prossimità di una curva ad ampio raggio e immediatamente dopo un arresto semaforizzato, dotato di lampada centrale e lampada laterale. Proprio la presenza di un semaforo poco prima dell'intersezione pedonale semaforizzata SEM. 1 fa sì che l'attenzione dei conducenti sia maggiormente catturata dal semaforo posto precedentemente, in particolare dalla lampada centrale. Inoltre, la lampada laterale destra, essendo l'intersezione SEM. 1 posta in curva, compare agli utenti alla guida solo in fase di immissione in curva.



Figura 6.7: Attraversamento pedonale semaforizzato SEM. 1

Come per ogni classe, anche per la presente, si realizzata una tabella dove si rappresentano mediante i grafici a torta i risultati ottenuti (tabella 6.18).

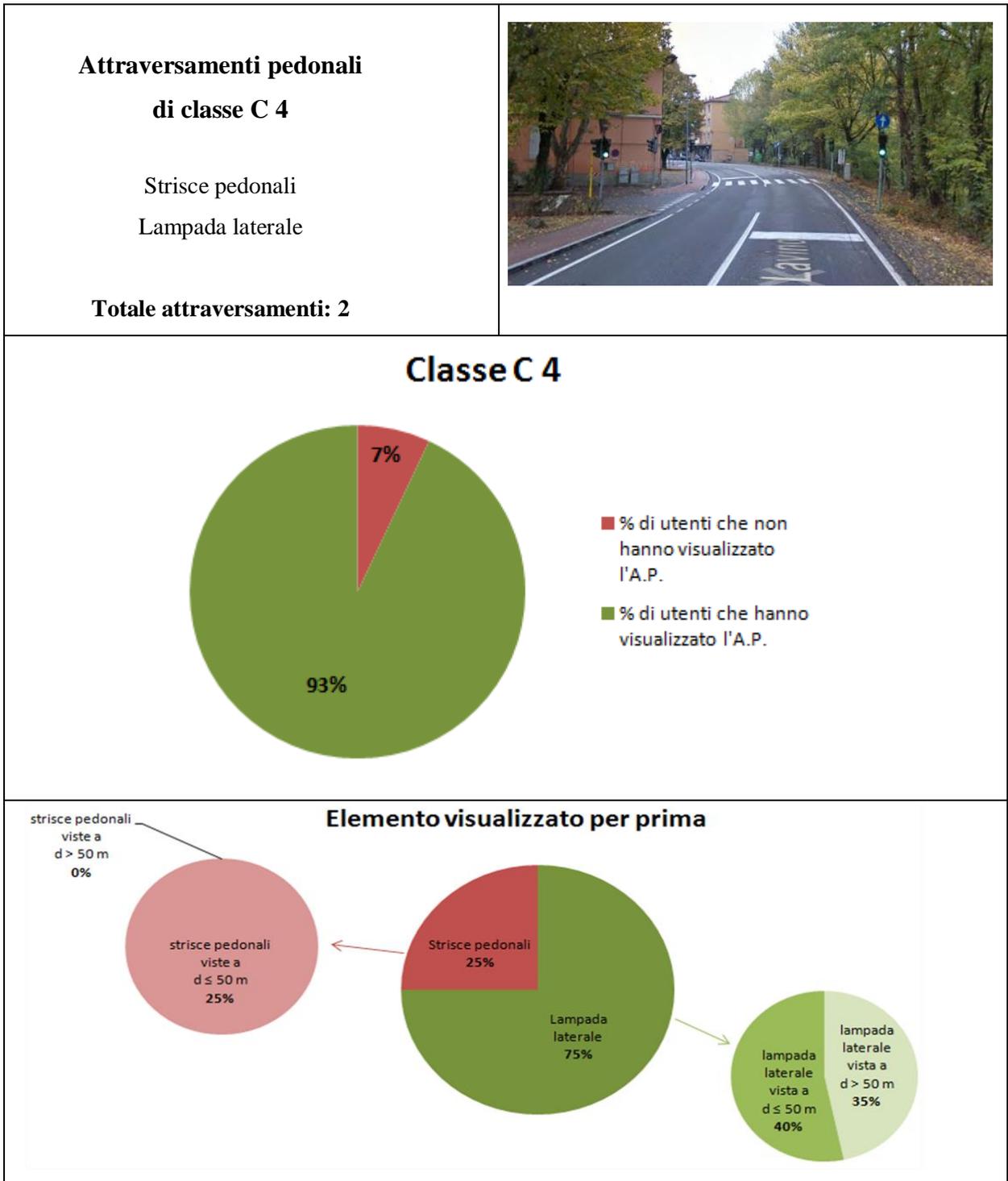


Tabella 6.18: Tabella riassuntiva classe C 4

6.4.6. Analisi della classe C 5

La classe C 5 raggruppa gli attraversamenti pedonali semaforizzati che prevedono sia la lampada centrale che la lampada laterale, oltre ovviamente alle strisce pedonali. Sull'intero tracciato sono presenti solo due intersezioni semaforizzate di questo tipo, rispettivamente, SEM. 2, nel tratto di andata, e SEM. 3, nel tratto di ritorno.

In tabella 6.19 sono riportate, per i due attraversamenti in questioni, le percentuali di visualizzazione, mentre in tabella 6.20 le percentuali con cui si ripartisce la visualizzazione del primo elemento. Anche in questo caso, come per la classe precedente, è necessario fare un'analisi dettagliata.

Classe C 5	% di utenti che non hanno visualizzato l'A.P.	% di utenti che hanno visualizzato l'A.P.
SEM. 2	11%	89%
SEM. 3	0%	100%
Media classe C 5	5%	95%

Tabella 6.19: Classe C 5

Classe C5	Lampada centrale	% di utenti che hanno visto la lampada centrale a $d > 50$ m	% di utenti che hanno visto la lampada centrale a $d \leq 50$ m	Lampada laterale	% di utenti che hanno visto la lampada laterale a $d > 50$ m	% di utenti che hanno visto la lampada laterale a $d \leq 50$ m	Strisce pedonali	% di utenti che hanno visto le strisce pedonali a $d > 50$ m	% di utenti che hanno visto le strisce pedonali a $d \leq 50$ m
SEM. 2	63%	63%	0%	37%	37%	0%	0%	0%	0%
SEM. 3	60%	60%	0%	40%	40%	0%	0%	0%	0%
Media classe C 5	61%	61%	0%	39%	39%	0%	0%	0%	0%

Tabella 6.20: Classe C 5

Il SEM. 3 viene visualizzato dal 100% degli utenti. L'elemento maggiormente visualizzato per primo è la lampada centrale con una percentuale del 60%, seguito dalla lampada laterale con una percentuale pari al 40%. Nessun partecipante visualizza le strisce pedonali come primo elemento dell'intersezione.

Il SEM. 2, nonostante la presenza della lampada centrale oltre alla lampada laterale, evidenzia che l'11% degli utenti non visualizza l'attraversamento. La mancata visualizzazione dell'intersezione va commentata, analogamente al caso del SEM. 1, in relazione alla sua ubicazione: per gli utenti che stanno percorrendo il tratto di andata (linea nera), l'attraversamento pedonale semaforizzato in questione è posto immediatamente dopo una curva, come riportato in figura 6.8, che ne impedisce una corretta visualizzazione.



Figura 6.8: Attraversamento pedonale semaforizzato SEM 2

Si osserva infine, in tabella 6.20, che per la classe C 5, la presenza contemporanea sia della lampada laterale che di quella centrale fa sì che le strisce pedonali non vengano mai viste come primo elemento dell'attraversamento. Confrontando invece tra di loro la lampada centrale e la lampada laterale si riscontra con un 61% che l'elemento maggiormente visto per primo è la lampada centrale. Si osserva che sia la lampada centrale sia la lampada laterale sono state viste rispettivamente come primo elemento ad una distanza maggiore di 50 m dall'attraversamento, sottolineando la migliore visibilità della lampada semaforica da debita distanza.

In tabella 6.21 sono rappresentati i risultati ottenuti per la classe C 5.

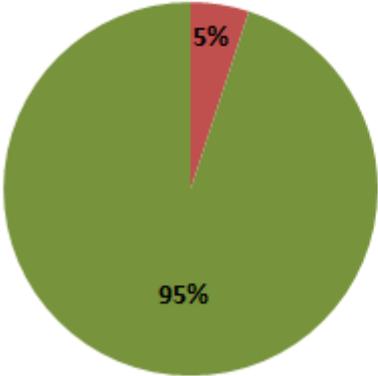
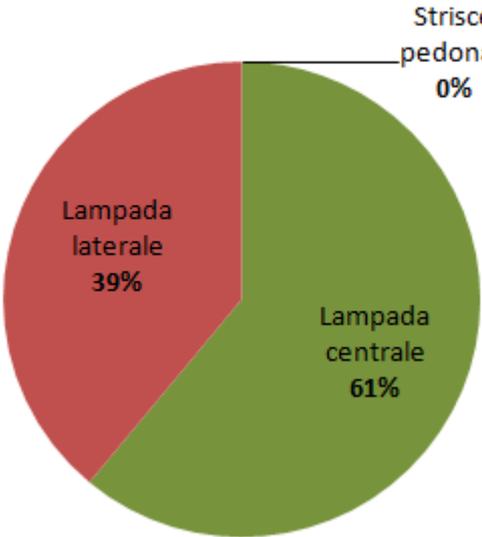
<p>Attraversamenti pedonali di classe C 5</p> <p>Strisce pedonali Lampada laterale Lampada centrale</p> <p>Totale attraversamenti: 2</p>	
<p style="text-align: center;">Classe C 5</p>  <p style="text-align: right;"> ■ % di utenti che non hanno visualizzato l'A.P. ■ % di utenti che hanno visualizzato l'A.P. </p>	
<p style="text-align: center;">Elemento visualizzato per primo</p> 	

Tabella 6.21: Tabella riassuntiva classe C 5

6.4.7. Confronto fra la classe C 2.a, C 2.b e C 3

Gli attraversamenti pedonali presenti sul tracciato sono stati raggruppati in 4 distinte classi in base agli elementi di corredo che li caratterizzano. La classe C 1 prevede attraversamenti con solo strisce pedonali e sul tracciato in esame sono presenti soltanto due attraversamenti di questo tipo: l'attraversamento A.P. 1 in andata e l'attraversamento A.P. 53 in ritorno (corrispondono alla medesima intersezione). Le classi che raggruppano gli attraversamenti pedonali corredati oltre che da strisce anche da ulteriori elementi sono la classe C 2.a, con strisce e cartello a portale, la classe C 2.b con strisce e cartello verticale e infine la classe C 3 con strisce, cartello a portale e cartello verticale.

Per la sola presenza delle strisce pedonali come elemento di corredo negli attraversamenti di classe C 1 e per essere presenti solo due attraversamenti di questo tipo lungo l'intero percorso, questa classe non viene tenuta in considerazione in un confronto tra più classi.

Rilevante è invece ciò che emerge dal confronto tra le classi C 2.a, C 2.b e C 3. Prendendo in esame, per ognuna delle tre classi, la percentuale relativa di non visualizzazione e mettendole a confronto si riscontra che la classe meno visualizzata dai 10 partecipanti sottoposti alla prova è la C 2.b, con una percentuale pari al 69%; segue la classe C 2.a, con una percentuale del 21%, e infine la classe C 3, con il 10% (figura 6.9). Il grafico a torta evidenzia come la classe di attraversamenti caratterizzati da strisce pedonali e cartello verticale sia la meno vista dagli utenti e per questo risulti essere la meno in sicurezza. Con una percentuale ampiamente inferiore si attesta la classe C 2.a, caratterizzata da strisce e cartello a portale, alla quale segue la classe C 3, caratterizzata da strisce, cartello verticale e cartello a portale, che risulta essere, con tre elementi di corredo, la classe più visualizzata e pertanto la più sicura presente sul percorso di prova.

Ponendo ulteriormente a confronto solamente le classi C 2.a e C 3, sia che siano presenti, rispettivamente, due o tre elementi di corredo, si osserva che in entrambi i casi l'elemento che viene visualizzato maggiormente per primo è il cartello a portale. Si può pertanto dedurre che la discrepanza tra le percentuali delle due suddette classi e quella della classe C 2.b sia dovuta alla mancanza del cartello a portale negli attraversamenti con solo strisce e cartello verticale.

Classe meno visualizzata

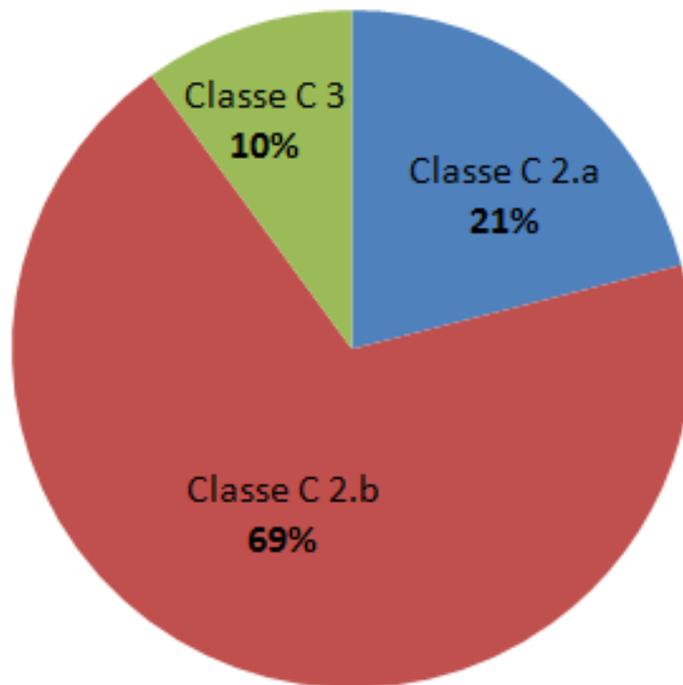


Figura 6.9: Confronto tra la classe C 2.a, C 2.b e C 3

6.5. Influenza del pedone

L'analisi dei video registrati dal Mobile Eye Detector ha permesso inoltre di individuare l'eventuale presenza del pedone in corrispondenza di una determinata intersezione, sia esso già in fase di attraversamento sulle strisce o ancora in attesa di attraversare.

Si evidenzia la presenza del pedone in 13 casi, di cui 7 in cui il pedone si trova in corrispondenza delle strisce pedonali in attesa di poter attraversare, mentre nei restanti 6 in cui il pedone è già in fase di attraversamento. In quest'ultima circostanza il partecipante alla prova, sopraggiungendo in corrispondenza dell'intersezione, rallenta per consentire al pedone di terminare l'attraversamento. Se si considerano, invece, i 7 casi in cui il pedone è in attesa di ricevere la precedenza dai veicoli, si riscontra che solo in un caso il conducente non vede il pedone e pertanto non si ferma. Nei restanti casi invece il pedone viene visto dal conducente, il quale lo visualizza anche più di una volta senza però mai fermarsi per consentirgli di attraversare.

Quest'ultimo dato emerso è stato analizzato più dettagliatamente, riportando in tabella 6.22 i 6 casi e specificando per ognuno di essi il nome del partecipante alla guida, l'intersezione pedonale in corrispondenza della quale si presenta il pedone, il numero e la posizione del pedone e la distanza di visualizzazione di quest'ultimo. Si riscontra, facendo una media sui 6 casi della distanza di visualizzazione, che il pedone viene visto a circa 30 m di distanza dall'attraversamento. A questi dati sono stati poi affiancati quelli estrapolati dall'analisi della visione e delle velocità: sono infatti stati riportati caso per caso la distanza a cui viene visualizzato un elemento dell'intersezione, l'elemento visualizzato e la velocità in prossimità dell'A.P., ottenuta come media tra la velocità a 50 m dall'intersezione e la velocità in corrispondenza dell'intersezione stessa. Si è scelto di operare questa media e considerare tale valore di velocità in quanto si riscontra che il pedone viene visto in media ad una distanza compresa tra i 50 m di distanza dall'attraversamento e l'attraversamento stesso.

Partecipante	Intersezione	Pedone	Distanza di visualizzazione del pedone	Distanza di visualizzazione di un elemento dell'A.P.	Elemento visualizzato	Velocità in prossimità dell'A.P.
Claudio	A.P. 9	1, DX	$d \approx 35$ m	$d \approx 60$ m	strisce pedonali	40 km/h
Luca	A.P. 41	2, SN	$d \approx 15$ m	$d \approx 50$ m	cartello a portale	30 km/h
Michele	A.P. 17	1, DX	$d \approx 40$ m	$d = 0$		35 km/h
Nicola	A.P. 9	1, SN	$d \approx 35$ m	$d \approx 55$ m	cartello a portale	40 km/h
Patrizia	A.P. 3	1, SN	$d \approx 30$ m	$d \approx 90$ m	cartello a portale	55 km/h
Riccardo	A.P. 28	1, SN	$d \approx 30$ m	$d \approx 60$ m	cartello a portale	50 km/h
			$d \approx 30$ m			43 km/h

Tabella 6.22: Dati relativi ad ogni singolo caso in cui si presenta il pedone ma questo non viene lasciato passare dal conducente alla guida

Dai dati riportati in tabella 6.22 si riscontra che sono in un caso, quello del partecipante Michele, quest'ultimo non ha visualizzato alcun elemento dell'attraversamento.

Operando una media delle velocità ottenute in prossimità dell'A.P., in analogia con quanto operato per le distanze di visualizzazione del pedone, si riscontra che la velocità media è pari a 43 km/h.

Riprendendo quanto esposto nel capitolo 5 relativamente alla distanza di visibilità per l'arresto, in funzione della velocità e della pendenza longitudinale, facendo uso del

diagramma in figura 6.10 si osserva che, considerando una pendenza longitudinale media pari a 1,4% e una velocità media pari a circa 43 km/h, risultano necessari all'incirca 45 m per compiere un arresto in sicurezza. Considerando che in media il pedone viene visto dai 6 utenti a circa 30 m di distanza dall'attraversamento e che questi viaggiano ad una velocità di circa 43 km/h, da quanto emerge dal diagramma non c'è lo spazio necessario a compiere un arresto in sicurezza per permettere al pedone l'attraversamento.

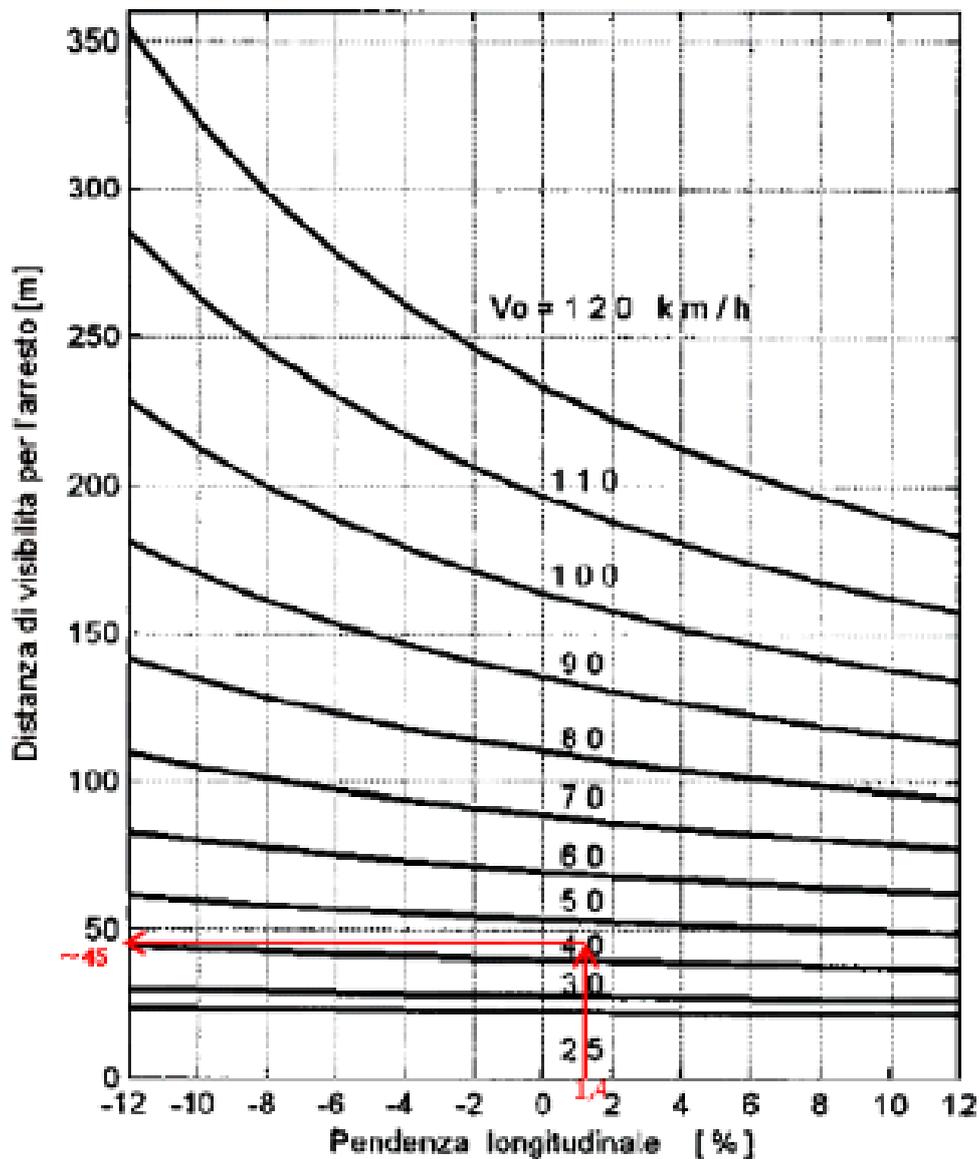


Figura 6.10: Distanza di arresto in funzione della velocità e della pendenza longitudinale per le strade comuni

Conclusioni

Le analisi illustrate in questo elaborato hanno permesso di analizzare la sicurezza di un'infrastruttura esistente, focalizzando l'attenzione sugli attraversamenti pedonali, mediante l'impiego di metodologie innovative, quali il V-Box e il Mobile Eye Detector, che tengono conto del comportamento degli utenti durante la guida.

Il lavoro rappresenta uno dei diversi step di un più ampio progetto di messa in sicurezza della SP26 "Valle del Lavino", poichè quest'ultima risulta la terza tratta stradale a maggior costo sociale di tutta la rete provinciale bolognese: il rapporto di analisi redatto a seguito del Road Safety Review ha infatti messo in evidenza tra i numerosi deficit in termini di sicurezza dell'infrastruttura gli attraversamenti pedonali, primo luogo di conflitto della strada tra l'utente debole, il pedone, ed il veicolo.

Il V-Box e il Mobile Eye, restituendo dati relativi, rispettivamente, a velocità e visione dei piloti alla guida, hanno permesso di valutare il comportamento degli utenti alla guida in prossimità degli attraversamenti pedonali, valutando così la sicurezza, allo stato attuale dei fatti, di tali intersezioni. A tale scopo è stata condotta una campagna di prove sul tronco della SP26 compreso tra la progressiva 0+000, in comune di Zola Predosa, e la progressiva 19+200, in località Badia (comune di Monte San Pietro). Sono stati selezionati a campione 10 partecipanti, ciascuno dei quali ignari dello scopo della prova e inesperti del tracciato in esame, i quali hanno condotto un veicolo, non di loro proprietà, per l'intero percorso di prova in andata e in ritorno: al partecipante è stato richiesto di indossare per tutta la durata della guida gli occhiali Mobile Eye, dai quali sono state ottenute le informazioni relative alla visione, mentre i dati relativi all'andamento della velocità sono stati registrati dal Video V-Box, con la cui strumentazione è stata equipaggiata l'auto di prova.

Sono stati individuati gli attraversamenti pedonali presenti sul tracciato in esame, nel complesso 57, di 4 semaforizzati. Per una migliore analisi dei dati e comprensione dei

risultati elaborati, è stata operata prima di tutto una classifica raggruppando le intersezioni in funzione degli elementi di corredo che presentano: sono state definite 4 classi per gli attraversamenti pedonali e 2 per quelli semaforizzati. La nomenclatura adottata per definire le classi di attraversamento ha previsto, affianco alla lettera “C” di classe, un numero corrispondente a quello degli elementi di corredo presenti; pertanto la classe C 1 ha racchiuso gli unici due attraversamenti pedonali corredati da sole strisce pedonali, la classe C 2 è stata suddivisa in C 2.a, attraversamenti con strisce pedonali e cartello di avviso a portale, e C 2.b, attraversamenti con strisce pedonali e cartello verticale. La classe più completa presente sul tracciato è la classe C 3, corredata da strisce, cartello a portale e cartello verticale. I quattro attraversamenti pedonali semaforizzati, per la presenza della lampada semaforica che risulta essere di maggior visibilità rispetto ad un qualsiasi cartello stradale, sono stati raggruppati a parte in ulteriori due classi, C 4 e C 5, e i risultati ottenuti non sono stati comparati con quelli delle classi di attraversamento pedonale.

Dall’analisi cinematica è emerso che le principali problematiche di sicurezza della SP26, in relazione alle velocità registrate, sono riconducibili alla geometria dell’infrastruttura e al fatto che questa è caratterizzata da una frequente alternanza di centri urbani e zone extraurbane, poco percepita dai conducenti dei veicoli. Questi ultimi, infatti, non si rendono conto di entrare nei centri abitati e mantengono una condotta di guida inadeguata per l’ambiente stradale attraversato. Ciò è causato dal fatto che i cartelli verticali di inizio centro abitato sono spesso installati lontani dal centro urbano vero e proprio e sono poco visibili. Lungo il tracciato si incontrano diversi attraversamenti mal collocati a causa della configurazione plano-altimetrica della strada, caratterizzata spesso da lunghi rettifili che inducono gli utenti ad accelerare, oppure da curve a raggio più o meno ampio, in corrispondenza delle quali il conducente avvista l’intersezione troppo in prossimità della stessa. Lo studio delle velocità rilevate in sito, in relazione agli attraversamenti, confermano che i soggetti di prova tendono a non rallentare in corrispondenza degli attraversamenti pedonali, mentre sono più portati, in parte, ad adeguare la velocità in prossimità delle intersezioni semaforizzate. La velocità resta comunque in entrambi i casi superiore ai limiti di legge vigenti.

L’analisi della visione, invece, ha messo in evidenza, confrontando tra loro le tre classi di attraversamento pedonale corredate, oltre che da strisce pedonali anche da altri

cartelli di avviso, che la classe meno visualizzata lungo il percorso è quella caratterizzata da strisce pedonali e cartello verticale. Si riscontra invece che l'insieme di elementi che rende più visibile l'attraversamento pedonale è quello formato da strisce pedonali, cartello a portale e cartello verticale, seguito dall'insieme che prevede solo strisce pedonali e cartello a portale. La classe C 2.b evidenzia con una percentuale del 69% la sua scarsa o mancata visibilità da parte dei conducenti alla guida, mentre le classi C 2.a e C 3 registrano rispettivamente una percentuale pari a 21% e 10%. Elemento che accomuna le ultime due classi, ma non la classe C 2.b, è il cartello di avviso a portale: ne risulta pertanto che l'elemento dell'intersezione pedonale che meglio cattura l'attenzione dei conducenti alla guida è proprio il cartello a portale, che, nelle due classi in cui è previsto, è l'elemento maggiormente visualizzato, anche a debita distanza dall'attraversamento.

La classe C 1, essendo composta da solo due intersezioni pedonali, corredate esclusivamente da strisce pedonali, per di più in stato in ammaloramento, non viene messa a confronto con le altre 3 classi.

Gli attraversamenti pedonali semaforizzati, come già introdotto, per la presenza della lampada semaforica, vengono trattati a parte in ulteriori due classi, separatamente dalle semplici intersezioni pedonali: entrambe le classi, C 4 e C 5, risultano essere visualizzate da quasi la totalità dei partecipanti ed a debita distanza.

Bibliografia

- Istat, “Incidenti stradali in Italia – anno 2012”, 6/11/2013.
- Theeuwes J., Godthelp J., “Self-Explaining Roads” (IZF 1992 C-8 (in Dutch)). Soesterberg, The Netherlands: TNO Human Factors Research Institute, 1992.
- Theeuwes J., Diks G., “Subjective Road Categorization and Speed Choice” (TNO-TM 1995 B-16). Soesterberg, The Netherlands: TNO Human Factors Research Institute, 1995.
- Tignor S., “Driver visual search of objects in and near the roadway. Transportation Research Board 85th Annual Meeting”, Compendium of Papers, 2006.
- AASHTO, “A policy on Geometric Design of Highway and Streets”, Washington DC, 2011.
- Hunt J.G., Abduljabbar J., “Crossing the road: a method of assessing pedestrian crossing difficulty”, Traffic Engineering Control, 34, pp526-532, 1993.
- Russel J., Hine J., “The impact of traffic on pedestrian behaviour”, Traffic Engineering Control, pp 16-18, 1996.
- Cappelli A., Luongo A.S., Mallano D., Petruccelli U., “Strumenti e metodologie per la gestione del sistema stradale urbano”, Franco Angeli, Milano, 2001.

- Anderson R.W.G., McLean A.J., Farmer M.J.B., Lee B.H., Brooks C.G., “Vehicle travel speeds and the incidence of fatal pedestrian crashes”, *Accident Analysis and Prevention*, 29, pp 667-674, 1997.
- Busi R., Tiboni M., “Tecniche per la sicurezza in ambito urbano - Integrazione tra autoveicoli e traffico non motorizzato.”, Egaf edizioni, Forlì, 2003.
- Busi R., Zavanella L., “Tecniche per la sicurezza in ambito urbano – Le normative europee per la moderazione del traffico”, Egaf edizioni, Forlì, 2003.
- Ministero dei lavori pubblici, “Definizione dei principali temi di ricerca per il miglioramento della sicurezza delle infrastrutture nel breve, medio e lungo periodo, scheda 1: Impatti della segnaletica sulla sicurezza”, Napoli, 09/10/2000.
- Ministero dei lavori pubblici, “Definizione dei principali temi di ricerca per il miglioramento della sicurezza delle infrastrutture nel breve, medio e lungo periodo, scheda 7: Linee guida per gli interventi per la riduzione dell’incidentalità delle utenze deboli”, Napoli, 09/10/2000.
- Manuale di Sicurezza Stradale per l’Utenza Vulnerabile, Università degli studi di Roma la Sapienza, 2009.
- Manuale d’uso ASL Mobile Eye XG, ASL group.
- Cafiso S., Montella A., Mauriello F., Pappalardo G., Cavarra R., “Valutazione dei fattori di rischio degli attraversamenti pedonali mediante analisi di sicurezza e analisi dei conflitti”, 17° Convegno Nazionale SIIV, 2008.
- Busi R., Zavanella L., “La protezione del pedone negli attraversamenti stradali”, Egaf edizioni, Forlì, 2002.

- Manterini G., Zavanella L., “La tecnica di moderazione del traffico, in circolazione e sicurezza stradale”, n.3/2001, Editrice La Fiaccola, 2001.
- Rinelli S., “Intersezioni stradali semaforizzate”, UTET libreria s.r.l., 2000.
- Sirocco L., “Traffico e spazio Urbano – Interazioni percettive tra l’utente della Strada e l’ambiente costruito”, Università di Trieste, 2000.
- Valenti, “Impatti, tendenze e strategie di intervento nel settore del traffico urbano”, Sellerio editore, Palermo, 1998.
- Chattington M., Wilson M., Ashford D., Marple – Horvat, D.E., “Eye - Steering coordination in natural driving”. Springer - Verlag, 2007.
- Land M.F., Tatler B.W., “Looking and Acting, vision and eye movements in natural behavior”, Oxford, university press, 2009.
- Mourant R.R., Rockwell T.H., Rackoff N.J., “Drivers’ eye movements and visual workload”, Highway Research Record, 299, 1 - 10, 1969.
- Fuller R., Santos J.A., “Human Factors for Highway Engineers”, Elsevier Science, Oxford, 2002.
- Hughens P.K., Cole B.L., “The effect of attentional demand on eye movement behaviour when driving”, In vision in vehicles 2, Amsterdam, 1988.
- Mourant R.R., and Rockwell, T.H., “Strategies of visual search by novice and experienced drivers. Human Factors”, 14, 325–335, 1972.
- Bundesministerium für Verkehr, “Anlagen für den Fußgängerverkehr, Verfahren für die Berechnung der Leistungsfähigkeit und Qualität des Verkehrsablaufes auf Straßen”, Heft 669, 1994.

- Jenkins S., “An investigation into the nature and physical determinants of visual conspicuity”, Melbourne: university press (PhD thesis), 1979.
- Cavarra R., “Valutazione della sicurezza degli attraversamenti pedonali con la tecnica del conflitto di traffico”, Tesi di Dottorato. Università degli studi di Catania. Facoltà di Ingegneria. Corso di laurea in ingegneria civile e ambientale. Relatore Prof. Ing. Salvatore Cafiso, 2011.

Normativa di riferimento

- Linee guida per la gestione della sicurezza delle infrastrutture stradali, Decreto legislativo n. 35/11, 2012.
- Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade, Decreto ministeriale delle infrastrutture e dei trasporti n. 6792, 5/11/01.
- Nuovo codice della strada, Decreto legislativo n. 285, 30/04/1992, e successive modifiche ed integrazioni.
- Analisi dell'incidentalità stradale nella Provincia di Bologna, Servizio Studi per la programmazione e Settore Viabilità dell'Ufficio di statistica della Provincia di Bologna.
- Linee guida attraversamenti pedonali, ACI, 2011.
- Norme sull'arredo funzionale delle strade urbane, Bollettino Ufficiale n. 150/1992, Consiglio Nazionale delle Ricerche.

Webgrafia

- www.mit.gov.it
- earth.google.com
- maps.google.com
- www.asleyetracking.com

Ringraziamenti

Il primo e più grande grazie va all'Ing. Valeria Vignali, l'Ing. Claudio Lantieri, l'Ing. Francesco Mazzotta e l'Ing. Riccardo Lamperti per i preziosi insegnamenti che mi hanno trasmesso, per l'estrema disponibilità e cortesia dimostratemi e l'aiuto fornitomi durante la stesura della tesi.

Un grazie immenso alla mia famiglia, i miei genitori, i miei nonni e mio zio, che hanno sempre creduto in me, sostenendomi ed incoraggiandomi, sempre presenti al mio fianco. Un doveroso grazie a mio zio Alberto per essersi prestato gentilmente alla sperimentazione in sito. Un grazie affettuoso va al mio migliore amico, a quattro zampe, il mio Winnie, che è sempre stato presente al mio fianco, soprattutto nelle lunghe giornate di studio in preparazioni agli esami, come a volermi sostenere ed incoraggiare con la sua presenza costante affianco alla mio tavolo di studio.

Grazie di cuore a tutti i miei amici perchè, oltre a condividere insieme bellissimi momenti, sanno ascoltarmi ed aiutarmi nei momenti un pò più duri e darmi sempre preziosi consigli. Spero nel mio piccolo di riuscire a fare altrettanto per ognuno di loro.

Grazie ai miei compagni di corso con cui ho condiviso questa bellissima esperienza universitaria: abbiamo saputo farci forza a vicenda, sostenendoci ed incoraggiandoci, ed ora, esame dopo l'altro, siamo arrivati alla fine di questo percorso di cui conserverò tutti questi anni ricchi di momenti e sensazioni sempre con me.

Grazie a tutti quelli che in questi anni mi sono stati vicini, anche con un semplice "in bocca al lupo", e hanno creduto in me.

E per finire, un grazie dal profondo del cuore a Enrico, che mi è sempre stato vicino con il suo amore e il suo prezioso supporto, fondamentali per me giorno dopo giorno. Anche se un pò di chilometri di distanza ancora ci separano fisicamente, da cinque anni e mezzo ogni giorno sei partecipe della mia vita.

Questo percorso universitario è iniziato spinto da una grande forza di volontà e voglia di farcela, e fare bene, nonostante tanti mi avvertissero che non sarebbe stato facile soprattutto per me che provenivo da un liceo linguistico. Ma passo dopo passo, se pur con tante difficoltà iniziali, è arrivato il primo grande traguardo della laurea triennale, per altro raggiunto insieme alla mia grande compagna di viaggio e amica, Elena. Come in quell'occasione, anche in questo caso devo a lei un immenso grazie perchè si sa, l'unione fa la forza, e questo è stato il nostro caso in tutti questi anni di studi universitari. Ora, giunta al termine di questo percorso, mi volto indietro e ripercorrendo tutti i momenti vissuti penso che li conserverò nitidi nella mia mente e nel mio cuore perchè non è stato solo un prezioso percorso formativo ma una vera e propria scuola di vita.

Un semplice ma immenso grazie dal cuore a TUTTI.