

PROVINCIA DI
VENEZIA

REGIONE
VENETO

COMUNE DI
CAMPOLONGO MAGGIORE

PROGETTAZIONE INCROCI SEMAFORICI COMUNALI

FASE DI PROGETTAZIONE SISTEMI DI REGOLAZIONE SEMAFORICA



RELAZIONE TECNICA

Fase di progettazione

Committente:

Consulente



**COMUNE DI
CAMPOLONGO MAGGIORE**

Via Roma, 68
30010 Campolongo Maggiore (VE)
tel 049 5849111



Piazza della Serenissima, 20
31033 Castelfranco Veneto (TV)
tel 0423 720203 - fax 0423 720203



Agosto 2014

Revisione 0

INDICE

1 PREMESSA.....	2
2 INTERSEZIONE LIETTOLI CENTRO	4
2.1 STATO DI FATTO	5
2.2 STATO DI PROGETTO.....	9
2.2.1 <i>Dati di traffico</i>	<i>10</i>
2.2.2 <i>Sequenza delle fasi.....</i>	<i>12</i>
2.2.3 <i>Determinazione della durata dei tempi di tutto rosso.....</i>	<i>14</i>
2.2.3.1 <i>Premessa tecnica.....</i>	<i>14</i>
2.2.3.2 <i>Calcolo matematico</i>	<i>14</i>
2.2.4 <i>Determinazione della durata dei tempi di giallo</i>	<i>18</i>
2.2.4.1 <i>Premessa tecnica.....</i>	<i>18</i>
2.2.4.2 <i>Calcolo matematico</i>	<i>18</i>
2.2.5 <i>Piani semaforici di progetto.....</i>	<i>22</i>
2.2.6 <i>Posizionamento dei dispositivi di rilevamento automatico delle infrazioni.....</i>	<i>24</i>
3 INTERSEZIONE BOJON	26
3.1 STATO DI FATTO	27
3.2 STATO DI PROGETTO.....	31
3.2.1 <i>Dati di traffico</i>	<i>32</i>
3.2.2 <i>Sequenza delle fasi.....</i>	<i>34</i>
3.2.3 <i>Determinazione della durata dei tempi di tutto rosso.....</i>	<i>35</i>
3.2.3.1 <i>Premessa tecnica.....</i>	<i>35</i>
3.2.3.1 <i>Calcolo matematico</i>	<i>36</i>
3.2.4 <i>Determinazione della durata dei tempi di giallo</i>	<i>40</i>
3.2.4.1 <i>Premessa tecnica.....</i>	<i>40</i>
3.2.4.2 <i>Calcolo matematico</i>	<i>40</i>
3.2.5 <i>Piani semaforici di progetto.....</i>	<i>44</i>
3.2.6 <i>Posizionamento dei dispositivi di rilevamento automatico delle infrazioni.....</i>	<i>46</i>

1 PREMESSA

A seguito della preventiva analisi, identificata come “Fase preliminare”, relativa alle condizioni di sicurezza della circolazione correlata alle principali intersezioni semaforizzate del territorio Comunale di Campolongo Maggiore (VE), era emerso come i vari approcci stradali presentassero diverse criticità. Risultava pertanto opportuno predisporre idonei interventi di natura infrastrutturale o gestionale al fine di eliminare o ridurre quanto più le problematiche riscontrate. Nella Fase B di “Caratterizzazione geometrica delle intersezioni” è stato confermato come la connotazione urbana delle aree di intersezione e la particolare configurazione geometrica degli incroci, dimostrata in dettaglio dai rilievi topografici effettuati, limita le possibilità di intervento per la messa in sicurezza dei vari approcci. Appaiono infatti di difficile realizzazione eventuali riqualificazioni geometriche, quali ridefinizioni planimetriche o plano-altimetriche, proprio a causa della presenza di numerosi vincoli fisici caratterizzanti la linea perimetrale di ciascun incrocio. Alla luce di queste due fasi preventive la Giunta Comunale, con provvedimento n. 76 del 29.07.2014, ha stabilito di procedere con l'installazione e l'avvio operativo di dispositivi per il controllo automatico delle infrazioni per il passaggio con il rosso semaforico. Nello specifico, sulla base dell'ordine di priorità per la messa in sicurezza indicato nella precedente fase, ha deliberato l'installazione delle apparecchiature su Via XXV Aprile e su Via IV Novembre – per quanto riguarda l'intersezione di Bojon – e su Via Trentino e Via Veneto – per quanto riguarda l'intersezione di Liettoli centro. Ha chiesto quindi allo Scrivente Studio di *“portare a conclusione l'attività di progettazione in essere relativamente alle due intersezioni semaforiche suindicate e, allo scopo di garantire la massima sicurezza degli utenti della strada, di rideterminare la sequenza delle fasi delle luci gialla e rossa, e la loro durata, in coerenza con la decisione giuntale di cui sopra”*.

Appare infatti evidente che la messa in sicurezza degli incroci non può prescindere dalla funzionalità degli stessi anche alla luce del volume di traffico che interessa i nodi viari oggetto di analisi e dell'importanza delle direttrici stradali che li caratterizza.

La Fase C di “Progettazione”, oggetto della presente relazione, riguarderà pertanto tutti gli aspetti di funzionamento dell'intersezione semaforizzata di seguito elencati:

1. Definizione di diversi piani semaforici adatti alle diverse ore del giorno;
2. Calcolo della durata del tempo di giallo;
3. Calcolo della durata del tempo di tutto rosso;
4. Definizione della durata del verde delle fasi che compongono i vari piani;
5. Definizione della tabella di selezione di piano oraria e giornaliera;
6. Indicazione della posizione delle apparecchiature di rilevamento automatico delle infrazioni.

Per espletare al meglio tutte le attività descritte, verranno utilizzati i dati di traffico e i rilievi planoaltimetrici delle intersezioni che sono già stati presentati nelle precedenti fasi e che risultano essere elementi fondamentali per la definizione quantitativa dei vari aspetti tecnici che si andranno a trattare.

La progettazione sarà inoltre preceduta da una descrizione dell'attuale funzionamento del centralino semaforico nella quale verranno presentati e commentati brevemente i diagrammi delle luci ad oggi in essere e la tabella di selezione dei programmi orari sulla base di quanto contenuto della documentazione trasmessa dai tecnici della Provincia di Venezia.

Per i nodi viari di Liettoli centro e Bojon, a partire dalla descrizione del funzionamento attuale, si procederà a definire tutti i singoli elementi del ciclo semaforico e alla trattazione delle modalità di installazione dei dispositivi di controllo previsti per la messa in sicurezza.

2 INTERSEZIONE LIETTOLI CENTRO

L'Amministrazione Comunale, dopo aver analizzato i precedenti documenti di studio, ha deciso di procedere con la messa in sicurezza degli approcci di Via Trentino e Via Veneto mediante installazione di n.2 apparecchiature di rilevamento automatico delle infrazioni di attraversamento della linea di stop con luce semaforica rossa.



Figura 2.1 – Intersezione Liettoli centro

Questo tipo di intervento non può prescindere da una revisione progettuale del funzionamento dell'impianto semaforico che verrà presentata nei paragrafi seguenti. Si specifica che la presente relazione fa riferimento ad una serie di dati presentati nelle precedenti fasi di analisi per i cui dettagli si rimanda alla relativa documentazione.

Come già più volte rimarcato il contesto urbano in cui è situato il nodo viario oggetto di analisi non permette di effettuare modifiche geometriche delle corsie di attestazione; la fase progettuale si focalizzerà pertanto sulla definizione di una serie di cicli semaforici efficienti e sicuri.

Tutte le modifiche previste saranno inoltre compatibili con l'attuale centralino semaforico e saranno realizzabili a costi contenuti, secondo quanto indicato espressamente dalla committenza, in modo da risultare attuabili con tempistiche ridotte.

Nelle pagine successive verranno presentate separatamente l'analisi dello stato di fatto e di progetto dell'intersezione semaforizzata.

2.1 STATO DI FATTO

L'attuale funzionamento dell'intersezione semaforizzata prevede un sistema attuato dal traffico caratterizzato da tre diversi cicli semaforici denominati rispettivamente "Morbida", "Notturmo" e "Punta" il cui nome rimanda alle differenti condizioni di traffico che si verificano nell'arco della giornata. In tutti i diagrammi sono previste tre fasi: nella prima hanno il verde gli approcci di Via Alto Adige e Via Trentino, nella seconda Via Veneto e Piazza Milani mentre la terza è riservata agli attraversamenti pedonali.

Nomi vie : Incrocio Liettoli via Veneto Via Alto Adige Via Trentino Piazza Milani

Tipologia Incrocio : Due fasi pedoni indipendenti

Incrocio numero : zona 1 impianto num 6

Funzionamento a colori : sempre a colori

Funzionamento : Attuato

DIAGRAMMA DEI TEMPI

PROGRAMMA "1(morbida)"

PASSI	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Tot ciclo
Via Alto Adige													
Via Trentino													
Via Veneto													
Piazza Milani													
Pedoni													
Ingressi attivi						S2				P3			
	Fase 1				Fase 2				Fase 3				
Verde Minimo					*								
Verde Massimo con spira						*							
Tempo del passo	30		5	4	5	20	5	4	2	10	6	1	93 sec.
Bloccato in attesa di attuazione		*											
Fase a Soppressione					*	*	*	*	*	*	*	*	
Fase a Prolungamento						*							

Note : Se la fase tre compare nel ciclo semaforico (Chiamata da parte dei pedoni) il passo 8 viene saltato
Ed al suo posto viene eseguito il passo 9

Figura 2.2 – Intersezione Liettoli centro: ciclo semaforico attuale programma 1

Come si evince dalla figura nel programma 1 "Morbida" il tempo massimo riservato alle due fasi veicolari risulta comparabile ma il verde concesso a Via Veneto e Piazza Milani è comandato da spire ad induzione magnetica che rilevano la presenza di veicoli in attestazione riducendo la durata della fase nel caso non vengano più rilevati veicoli in transito.

DIAGRAMMA DEI TEMPI

PROGRAMMA "2(notturno)"

PASSI	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Tot ciclo
Via Alto Adige													
Via Trentino													
Via Veneto													
Piazza Milani													
Pedoni													
Ingressi attivi						S2				P3			
	Fase 1				Fase 2				Fase 3				
Verde Minimo					*								
Verde Massimo con spira						*							
Tempo del passo	25		5	4	5	10	5	4	2	8	6	1	71 sec.
Bloccato in attesa di attuazione		*											
Fase a Soppressione					*	*	*	*	*	*	*	*	
Fase a Prolungamento						*							

Note : Se la fase tre compare nel ciclo semaforico (Chiamata da parte dei pedoni) il passo 8 viene saltato
Ed al suo posto viene eseguito il passo 9

Figura 2.3 – Intersezione Liettoli centro: ciclo semaforico attuale programma 2

Il programma notturno si differenzia da quello di morbida per una riduzione della durata delle diverse fasi: in questo caso il verde della prima fase (Via Alto Adige, Via Trentino) è pari a 25s mentre quello della seconda (Via Veneto, Piazza Milani) è ridotto a 15s. Differenze minime interessano infine il tempo di verde pedonale che passa da 10s a 8s.

Il programma n.3, pensato per le ore di punta, ripropone la medesima struttura già vista per il programma delle ore di morbida aumentando però la durata delle due fasi veicolari fino a 45s, riducendo il giallo pedonale da 6s a 5s e riportando il tempo di verde a 10s.

DIAGRAMMA DEI TEMPI

PROGRAMMA "3(Punta)"

PASSI	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Tot ciclo
Via Alto Adige													
Via Trentino													
Via Veneto													
Piazza Milani													
Pedoni													
Ingressi attivi						S2				P3			
	Fase 1				Fase 2				Fase 3				
Verde Minimo					*								
Verde Massimo con spira						*							
Tempo del passo	45		5	4	10	35	5	4	2	10	5	4	125 sec.
Bloccato in attesa di attuazione		*											
Fase a Soppressione					*	*	*	*	*	*	*	*	
Fase a Prolungamento						*							

Note : Se la fase tre compare nel ciclo semaforico (Chiamata da parte dei pedoni) il passo 8 viene saltato
Ed al suo posto viene eseguito il passo 9

Figura 2.4 – Intersezione Liettoli centro: ciclo semaforico attuale programma 3

Come si evince dal confronto dei tre piani presentati i tempi che potremmo definire “di sicurezza” (il giallo ed il tutto rosso) rimangono di fatto immutati (ad eccezione del pedonale) in tutti i cicli.

Il criterio utilizzato per la definizione dei diversi piani selezionati durante l’orario diurno, programmi 1 e 3, consiste nell’associare alle due fasi veicolari lo stesso tempo di verde massimo utilizzando però lungo la direttrice viaria della SP 14 (Via Veneto, Piazza Milani) dove effettivamente si registra il minor traffico una serie di spire ad induzione magnetica in modo da ridurre la durata della fase nel caso in cui non siano presenti veicoli in attesa di attraversare l’intersezione.

I tre differenti piani sono utilizzati durante orari predefiniti nei diversi giorni della settimana secondo una tabella di selezione programmata.

Lunedì		Martedì		Mercoledì		Giovedì		Venerdì		Sabato		Domenica	
Ora	Prg	Ora	Prg	Ora	Prg	Ora	Prg	Ora	Prg	Ora	Prg	Ora	Prg
06:00	3	06:00	3	06:00	3	06:00	3	06:00	3	06:00	1	06:00	1
09:00	1	09:00	1	09:00	1	09:00	1	09:00	1	23:00	3	23:00	2
17:00	3	17:00	3	17:00	3	17:00	3	17:00	3				
19:30	1	19:30	1	19:30	1	19:30	1	19:30	1				
23:00	2	23:00	2	23:00	2	23:00	2	23:00	2				

Tabella 2.1 – Intersezione Liettoli centro: tabella selezione programmi orari stato di fatto

Osservando la tabella, che mostra la programmazione dei cicli semaforici nell'arco delle diverse giornate della settimana, notiamo come il programma notturno viene utilizzato dalle 23.00 alle 6.00 in tutte le giornate (fatta eccezione per il sabato) mentre il ciclo relativo alle ore di punta è utilizzato solamente durante i giorni feriali nelle fasce orarie 6.00-9.00 e 17.00-19.30. Durante tutti i restanti orari viene attuato il programma di morbida.

2.2 STATO DI PROGETTO

Per quanto concerne lo stato di progetto, sulla base del materiale prodotto grazie alle precedenti fasi di analisi, oltre a proporre l'installazione dei dispositivi di rilevamento automatico delle infrazioni, si presenteranno una serie di indicazioni atte a migliorare l'attuale funzionamento dell'intersezione semaforizzata sia in termini di funzionalità che di sicurezza.

In particolare appare evidente come i dati di traffico raccolti, grazie a rilievi di traffico sia automatici che manuali, risultano fondamentali sia per determinare l'ottimale sequenza delle fasi semaforiche e ottimizzare le relative durate, sia per determinare correttamente le fasce orarie in cui utilizzare i diversi cicli semaforici. Per calcolare i tempi di sicurezza cioè il giallo e il tutto rosso sono invece necessarie le velocità di transito dei veicoli ed il rilievo planimetrico dell'intersezione con l'indicazione precisa della posizione delle linee di stop e le traiettorie di marcia dei veicoli.

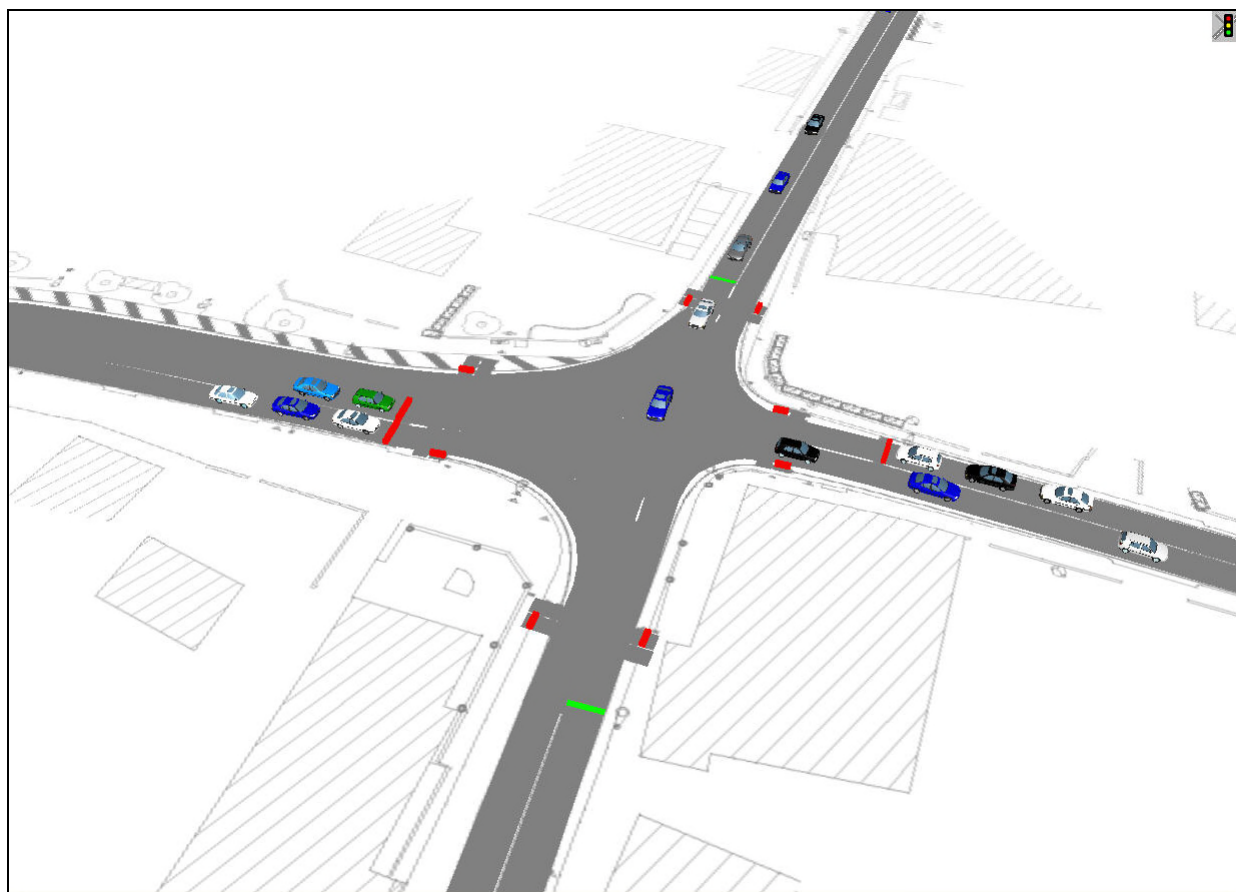


Figura 2.5 – Intersezione Liettoli centro: microsimulazione ciclo semaforico di progetto

La progettazione dei cicli semaforici che si andranno a proporre partirà quindi dalla presentazione dei volumi di traffico che caricano questo nodo viario nelle varie ore della giornata.

2.2.1 Dati di traffico

Per una corretta progettazione del funzionamento dell'intersezione semaforizzata occorre in primo luogo prendere in considerazione i dati di traffico che la caricano; nel caso del nodo viario in oggetto i dati di traffico ottenuti grazie ai rilievi automatici mostrano come, in un giorno feriale medio, i volumi di traffico espressi in termini di veicoli equivalenti risultano essere i seguenti:

	Via Trentino Veic. Equivalenti	Piazza Milano Veic. Equivalenti	Via Alto Adige Veic. Equivalenti	Via Veneto Veic. Equivalenti	TOT. NODO Veic. Equivalenti
0.00-1.00	42	14	15	13	84
1.00-2.00	17	11	10	7	45
2.00-3.00	12	4	2	4	22
3.00-4.00	3	5	5	13	26
4.00-5.00	10	9	6	21	46
5.00-6.00	27	15	32	57	131
6.00-7.00	78	42	96	181	397
7.00-8.00	233	101	165	328	827
8.00-9.00	269	146	195	261	871
9.00-10.00	200	125	130	186	641
10.00-11.00	206	108	141	137	592
11.00-12.00	237	114	119	136	606
12.00-13.00	246	127	179	146	698
13.00-14.00	222	102	137	156	617
14.00-15.00	235	82	122	147	586
15.00-16.00	235	143	149	177	704
16.00-17.00	267	124	156	145	692
17.00-18.00	372	163	250	172	957
18.00-19.00	426	208	271	176	1 081
19.00-20.00	327	138	210	143	818
20.00-21.00	182	97	118	118	515
21.00-22.00	113	51	50	85	299
22.00-23.00	73	38	49	42	202
23.00-24.00	59	25	25	26	135
TOT	4 091	1 992	2 632	2 877	11 592

Tabella 2.2 – Intersezione Liettoli centro: flussi veicolari giornalieri

La tabella è riferita ai soli veicoli in avvicinamento all'intersezione espressi in termini di veicoli equivalenti ed aggregati con intervallo temporale orario. Risulta così immediato analizzare l'andamento dei volumi di traffico dei diversi approcci nell'arco della giornata e determinare quali siano le ore di punta del traffico.

Le variazioni dei volumi di traffico sono ancora più evidenti osservando l'istogramma disegnato sulla base dei volumi di traffico totali dell'intersezione.

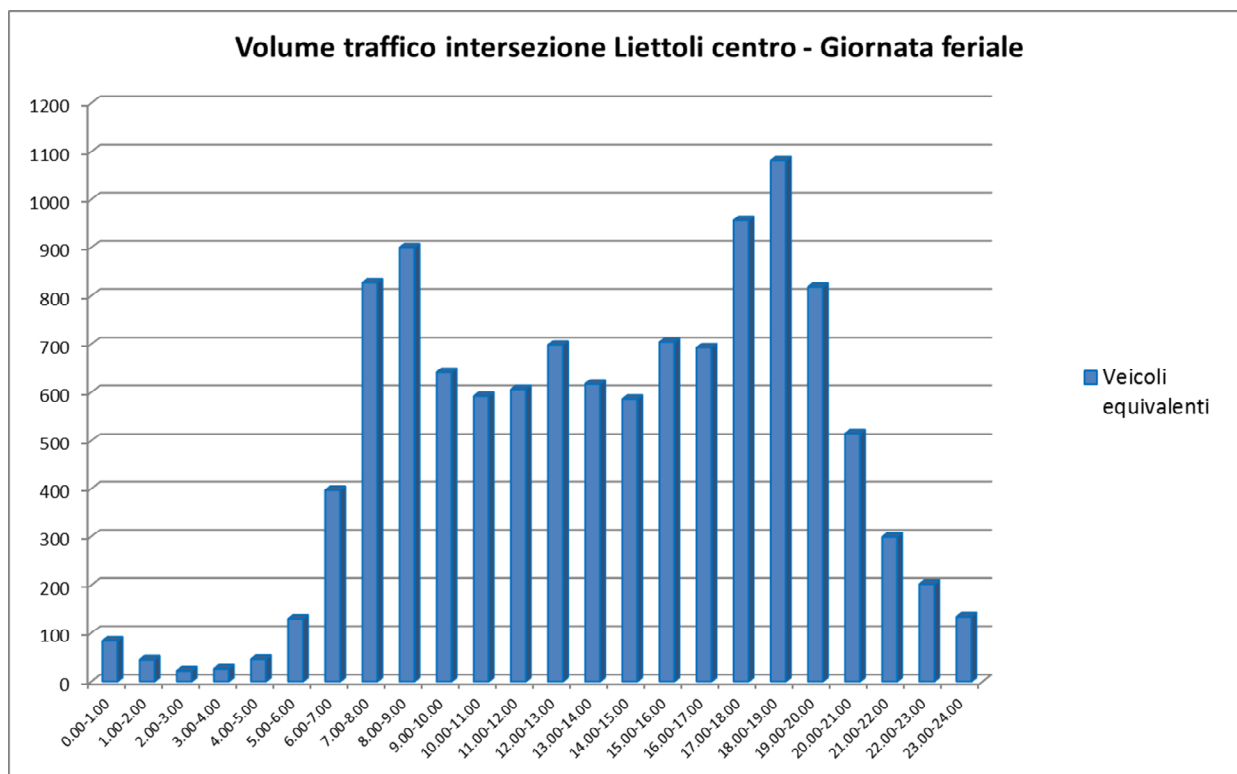


Figura 2.6 – Intersezione Liettoli centro: andamento volume di traffico giornata feriale

Come si evince dalla figura l'ora di punta risulta essere dalle 18.00 alle 19.00 anche se si potrebbero individuare indicativamente due fasce orarie, rispettivamente 7.00-9.00 e 17.00-20.00 in cui si osserva un incremento generalizzato dei volumi di traffico. Durante i periodi della giornata esterni a queste due fasce temporali, il traffico diminuisce e si attesta su valori pressoché costanti mentre si riduce notevolmente durante le ore notturne.

Alla luce di quanto emerso dai rilievi di traffico automatici, eseguiti nel mese di maggio 2014 è stato possibile predisporre un rilievo manuale del traffico durante la fascia di punta serale atto a determinare la ripartizione percentuale dei flussi veicolari in avvicinamento all'intersezione tra le possibili manovre di svolta. Il rilievo manuale è stato ritenuto necessario in quanto la strumentazione radar utilizzata per effettuare i rilievi automatici è in grado di conteggiare solo i veicoli in ingresso e in uscita dai vari rami dell'intersezione ma non di ricostruire la matrice Origine-Destinazione (OD) del nodo viario.

Ai fini della corretta progettazione del piano semaforico risulta infatti di fondamentale importanza conoscere l'entità delle svolte a sinistra in quanto questo tipo di manovra, in assenza di corsia dedicata, risulta spesso di difficile gestione e può facilmente produrre effetti negativi sulle restanti correnti veicolari che ne condividono l'approccio.

INTERSEZIONE 1: P.zza Milani Partigiano - Via Alto Adige - Via Trento - Via Veneto

intervallo orario: 18.00-19.00

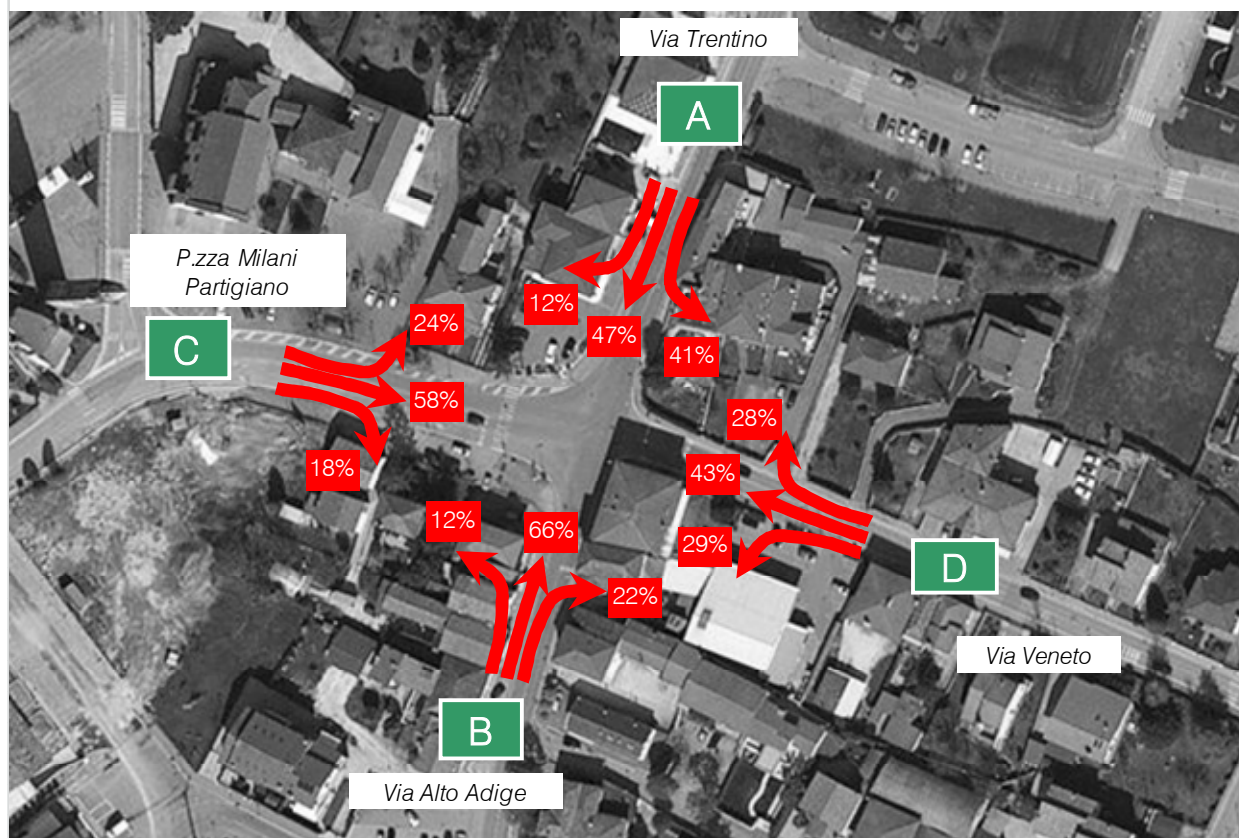


Figura 2.7 – Intersezione Liettoli centro: ripartizione percentuale svolte

I rilievi manuali sono stati eseguiti nella fascia oraria 17.00-19.00; la figura inserita mostra la ripartizione relativa alla fascia oraria 18.00-19.00 dalla quale si evince che l'approccio potenzialmente critico è quello di Via Trentino che, oltre ad essere quello maggiormente utilizzato, è anche quello che presenta la percentuale più alta di svolte a sinistra. La problematica può comunque essere risolta inserendo, al termine della prima fase semaforica una coda di verde per Via Trentino e bloccando i veicoli provenienti da Via Alto Adige, che risultano comunque inferiori per numero. Osservando, la planimetria dell'intersezione si nota inoltre che lungo la SP12, pur non essendoci corsie dedicate alle svolte a sinistra, la manovra avviene in un'area dove, nel caso di ridotti volumi di traffico come quello in esame, è di fatto possibile per i veicoli che si muovono lungo questa direttrice superare i veicoli fermi al centro dell'intersezione in attesa di effettuare la manovra di svolta.

2.2.2 Sequenza delle fasi

A seguito dell'analisi dei dati di traffico ricavati grazie ai rilievi automatici e manuali si ritiene sostanzialmente corretta l'attuale fasatura del semaforo con due distinte fasi veicolari ed una riservata ai pedoni. Come già

accennato al paragrafo precedente questa impostazione è tuttavia migliorabile inserendo, dopo la prima fase che prevede il verde per l'asse viario della SP12, un'estensione di verde per Via Trentino.

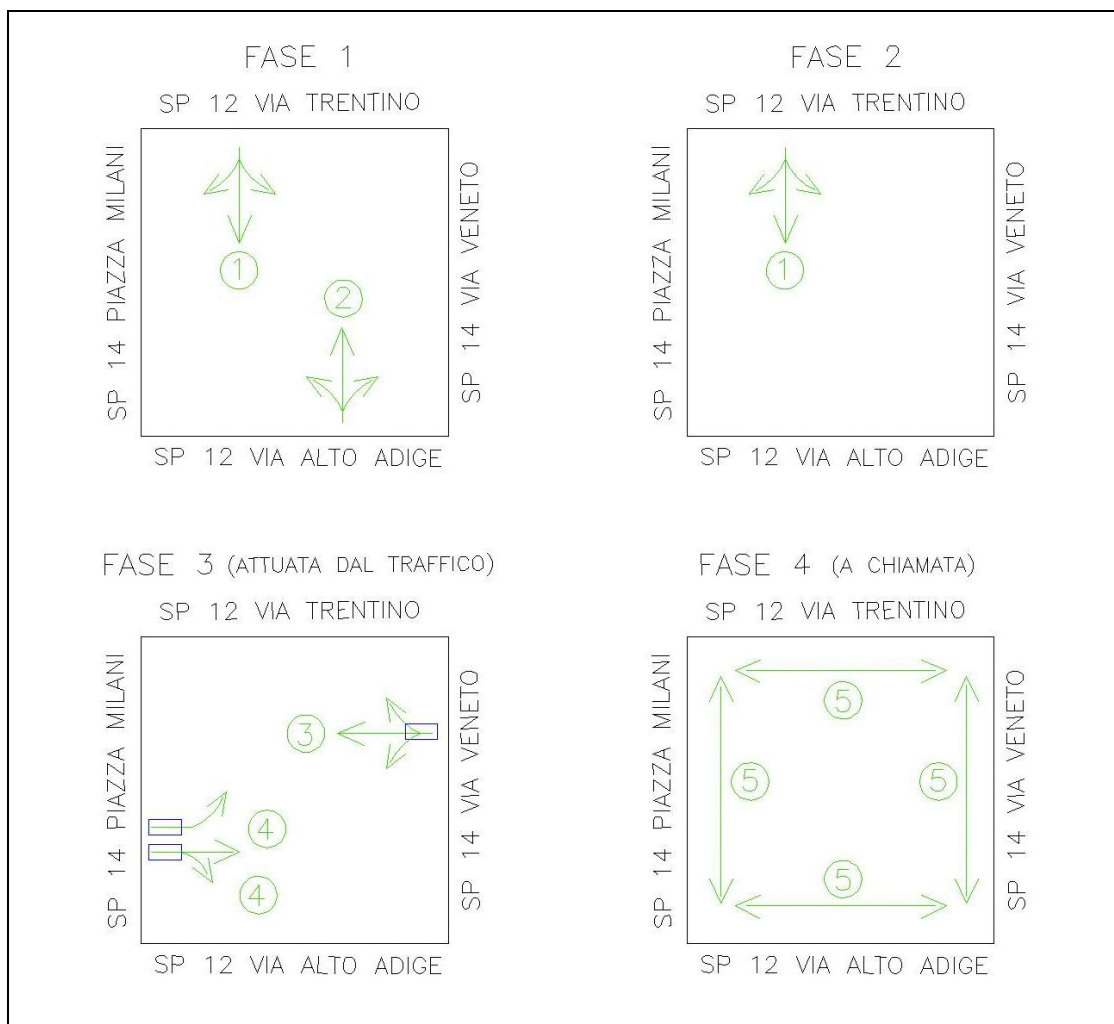


Figura 2.8 – Intersezione Liettoli centro: sequenza fasi semaforiche proposta

Osservando la tabella presentata nei paragrafi precedenti contenente i dati di traffico orari distinti per i diversi approcci del nodo viario, si nota infatti che il volume di traffico di Via Trentino è superiore a quello di Via Alto Adige praticamente in tutte le fasce orarie giornaliere.

Dai rilievi manuali, eseguiti in corrispondenza della fascia oraria di punta serale si riscontra inoltre una elevata percentuale di svolte a sinistra per i veicoli che provengono da Via Trentino che verrebbe agevolata dalla coda di verde proposta.

2.2.3 *Determinazione della durata dei tempi di tutto rosso*

2.2.3.1 *Premessa tecnica*

In tutti gli impianti semaforici, lo spegnimento del segnale giallo (e l'accensione di quello rosso) per una determinata corrente veicolare non avviene simultaneamente all'accensione del verde di un'altra corrente veicolare antagonista, ma per motivi di sicurezza, prima dell'accensione del verde successivo, è interposto un intervallo temporale della durata di alcuni secondi in cui le lanterne veicolari di entrambi gli approcci presentano il segnale rosso.

Questo intervallo temporale, chiamato "tutto rosso" o "total red", è utilizzato per evitare rischi di collisione fra i veicoli che devono sgomberare l'area di conflitto (che hanno attraversato la linea di arresto alla fine del verde o con il giallo) e i veicoli della corrente antagonista che partono all'inizio del verde.

L'intervallo di tutto rosso è sempre necessario indipendentemente dalla durata del giallo: con qualsiasi durata della luce gialla avremo infatti sempre la possibilità che un veicolo oltrepassi la linea di arresto proprio prima della soglia del segnale giallo e si trovi al momento in cui scatta il rosso a dover sgomberare l'intera area di intersezione.

Pertanto il tempo di tutto rosso, che è un tempo di sicurezza, deve essere calcolato sulla base della geometria dell'intersezione utilizzando ipotesi cautelative sulle velocità con cui i veicoli escono dall'intersezione alla fine del giallo e rispettivamente entrano nell'intersezione all'inizio del verde.

Una corretta temporizzazione del tutto rosso è determinante per la sicurezza dell'intersezione: un tempo troppo breve potrebbe favorire collisioni tra i veicoli di correnti antagoniste mentre un tutto rosso troppo lungo potrebbe portare una parte degli utenti abituali a forzare l'attraversamento impegnando l'intersezione anche a fronte di un segnale semaforico rosso, certi di riuscire a passare prima che partano i veicoli della corrente successiva.

È bene puntualizzare che anche una durata eccessiva del segnale di giallo può indurre una parte degli utenti abituali ad accelerare cercando di impegnare l'intersezione senza considerare che la luce gialla implicherebbe l'ordine di arresto della vettura (se possibile farlo in condizioni di sicurezza).

Ricordiamo infine che il tempo di giallo è indipendente dalla geometria dell'intersezione ma dipende solo dalla velocità dei veicoli in transito e dalla loro tipologia (che ne determina la capacità frenante) mentre il tempo di tutto rosso generalmente aumenta all'aumentare delle dimensioni dell'area di intersezione.

2.2.3.2 *Calcolo matematico*

Il "tutto rosso" viene calcolato individuando i punti di conflitto che si determinano dall'intersecazione tra le possibili coppie di traiettorie percorse dai veicoli in uscita e in ingresso.

Nello specifico, dopo aver tracciato tutte le possibili traiettorie dei veicoli in uscita e in ingresso si individuano i punti di conflitto e per ciascuno di questi si calcola:

- A - il tempo T1 che un ipotetico veicolo passato sulla linea d'arresto alla fine del giallo impiega (a partire dall'istante in cui supera la linea di arresto) a raggiungere e superare completamente il sopraccitato punto (con tutto il veicolo)
- B - il tempo T2 che impiega il veicolo che parte con il verde (a partire dall'istante in cui supera la linea di arresto) a raggiungere il medesimo punto con la parte anteriore del veicolo.

La differenza dei questi due tempi determina il valore del tutto rosso; in formule abbiamo:

$$\text{Tempo di tutto rosso} = T1 - T2$$

Dove

$T1 = (\text{Spazio percorso dal veicolo uscente fino al punto di conflitto} + \text{lunghezza veicolo}) / \text{Velocità veicolo in uscita}$

$T2 = \text{Spazio percorso dal veicolo entrante fino al punto di conflitto} / \text{Velocità veicolo in entrata}$

Nota: gli spazi sono da misurarsi a partire dalla linea di arresto.

Le velocità da utilizzare nei calcoli sono da intendersi come velocità medie e devono tener conto per quanto riguarda i veicoli uscenti della riduzione della velocità durante la manovra di svolta e della possibile presenza di veicoli all'interno dell'area di intersezione e per i veicoli entranti del fatto che gli stessi partono da fermi.

Le velocità medie dei veicoli in ingresso ed uscita utilizzate sono state di 30 Km/h (8,33m/s).

Ricordiamo che un veicolo che passa alla fine del giallo è solitamente in fase di accelerazione e difficilmente, visti i diagrammi di fasatura degli impianti semaforici e le ridotte distanze dei punti di conflitto dalle linee d'arresto si troverà accodato a veicoli che procedono lentamente in attesa di svoltare; occorre inoltre notare che una situazione di questo tipo sarebbe facilmente percepibile dai veicoli in partenza con il verde che quindi eviterebbero la collisione.

L'aver assunto una velocità media dei veicoli entranti pari a 30Km/h visto che questi partono da fermi e l'aver utilizzato come ingombro del veicolo il valore di 16,5m (limite di lunghezza autoarticolato) sono tutti elementi estremamente cautelativi.

Alla luce della sequenza delle fasi proposta per lo stato di progetto risulta necessario definire i tempi di tutto rosso che dovranno essere interposti tra la fase 2 e la fase 3 e tra la fase 3 e la fase 1 (in assenza di chiamata pedonale).

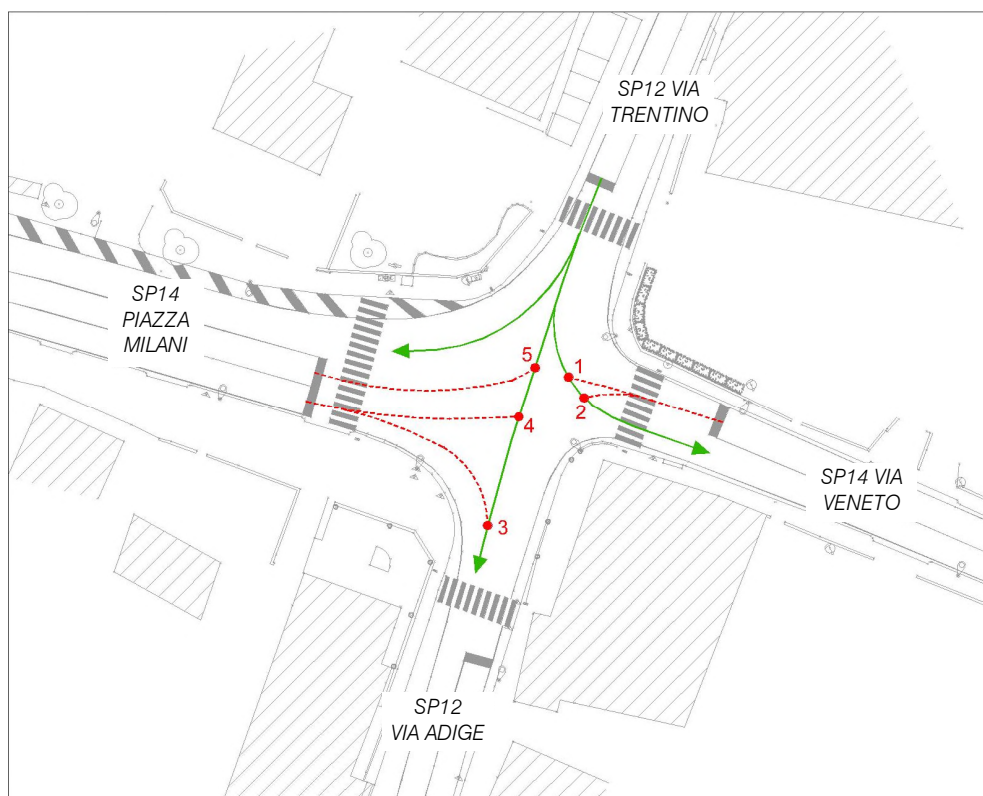


Figura 2.9 – Traiettorie utilizzate per il calcolo del tempo di tutto rosso da fase 2 a fase 3

La durata del tempo di tutto rosso interposto tra la fase 2 e la fase 3 è stata calcolata sulla base delle traiettorie dei veicoli provenienti da Via Trentino dato che la fase 2 risulta essere un prolungamento del verde della fase 1 per i soli veicoli provenienti da quest'approccio. Non è pertanto necessario un analogo calcolo dei tempi di tutto rosso sulla base delle traiettorie dei veicoli provenienti da Via Adige.

Punti di Conflitto	Distanza dalla linea di arresto di Via Trentino (m)	Lunghezza mezzo pesante (m)	Distanza dalla linea di arresto di Via Veneto (m)	Distanza dalla linea di arresto di Piazza Milano (m)	T1 (s)	T2 (s)	Total Red
1	23,55	16,5	18,06	-	4,81	2,17	2,64
2	26,41	16,5	16,14	-	5,15	1,94	3,21
3	41,25	16,5	-	26,98	6,93	3,24	3,69
4	28,66	16,5	-	24,06	5,42	2,89	2,53
5	22,65	16,5	-	25,50	4,70	3,06	1,64

Velocità veicoli assunta durante le manovre: 8,33 ms (30Km/h)

Tabella 2.3 – Calcolo tempi di tutto rosso da fase 2 a fase 3

Alla luce delle ipotesi cautelative utilizzate si ritiene che un tempo di tutto rosso tra la fase 2 e la fase 3 della durata di 4s risulti adeguato alla geometria del nodo viario

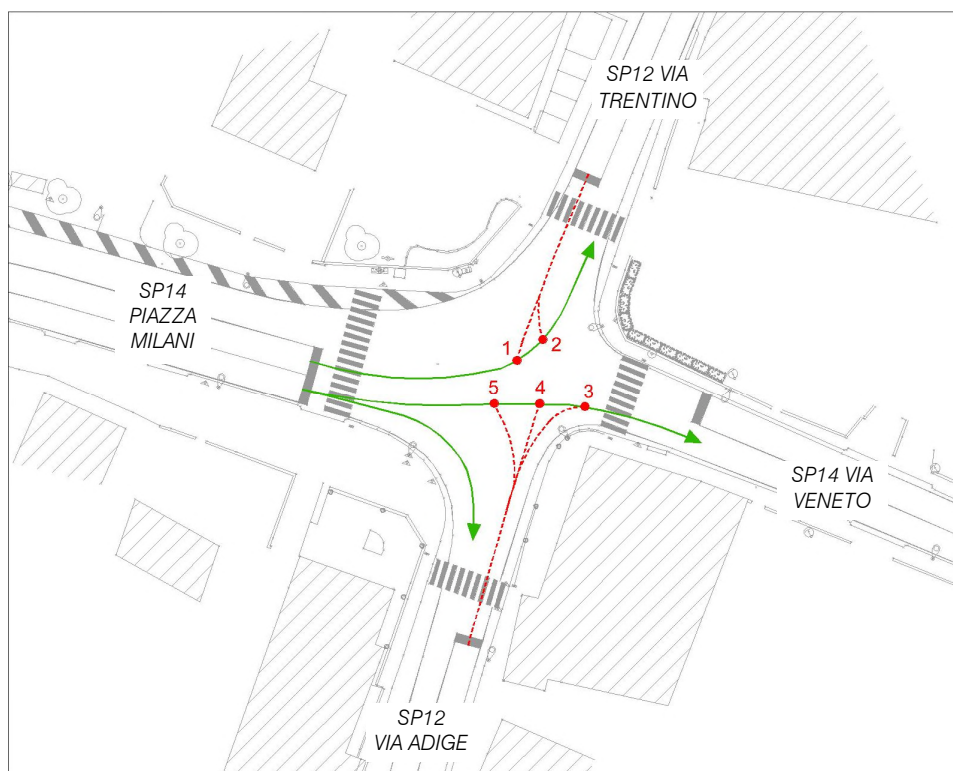


Figura 2.10 – Traiettorie utilizzate per il calcolo del tempo di tutto rosso da fase 3 a fase 1

La durata del tempo di tutto rosso interposto tra la fase 3 e la fase 1 (in assenza della fase di verde pedonale) è stata calcolata sulla base delle traiettorie dei veicoli provenienti Piazza Milano dato che la linea di arresto di questo approccio risulta essere più arretrata rispetto a quella di Via Veneto e i valori calcolati saranno quindi superiori poiché i veicoli che si trovano ad una distanza maggiore dal centro dell'incrocio impiegheranno ovviamente un tempo maggiore per sgomberare l'area di intersezione. Pertanto non risulta necessario un analogo calcolo dei tempi di tutto rosso sulla base delle traiettorie dei veicoli provenienti da Via Veneto.

Punti di Conflitto	Distanza dalla linea di arresto di Piazza Milano (m)	Lunghezza mezzo pesante (m)	Distanza dalla linea di arresto di Via Trentino (m)	Distanza dalla linea di arresto di Via Adige (m)	T1 (s)	T2 (s)	Total Red
1	24,5	16,5	23,19	-	4,92	2,78	2,14
2	28,44	16,5	20,45	-	5,39	2,45	2,94
3	33,06	16,5	-	32,48	5,95	3,90	2,05
4	27,73	16,5	-	29,19	5,31	3,50	1,81
5	22,51	16,5	-	29,20	4,68	3,51	1,18

Velocità veicoli assunta durante le manovre: 8,33 ms (30Km/h)

Tabella 2.4 – Calcolo tempi di tutto rosso da fase 3 a fase 1

Alla luce delle ipotesi cautelative utilizzate si ritiene che un tempo di tutto rosso tra la fase 3 e la fase 1 della durata di 3s risulti adeguato alla geometria del nodo viario; tuttavia, in presenza di chiamata della fase dedicata all'attraversamento pedonale, si ritiene opportuno aumentare tale tempo di sicurezza a 4s.

2.2.4 Determinazione della durata dei tempi di giallo

2.2.4.1 Premessa tecnica

Il tempo di giallo interposto tra due fasi semaforiche deve essere determinato in modo che *"in qualsiasi posizione si trovi il veicolo al momento dell'accensione della luce gialla lo stesso deve poter arrestarsi in condizioni di sicurezza oppure attraversare l'intersezione mantenendo la sua andatura costante"*.

Tale affermazione, basata sull'articolo 41 del Codice della Strada, può anche essere espressa con la seguente formulazione: *"non deve esistere alcuna posizione in cui il veicolo si possa trovare al momento dell'accensione della luce gialla in cui lo stesso non possa o arrestarsi in condizioni di sicurezza o attraversare l'intersezione mantenendo la sua andatura costante"*.

L'espressione "attraversare l'intersezione" è da intendersi come attraversamento della linea d'arresto durante il periodo di accensione della luce gialla e sgombero dell'area di intersezione sfruttando il tempo di tutto rosso.

2.2.4.2 Calcolo matematico

Partendo da quanto enunciato e considerato che il limite di velocità per tutti gli approcci è di 50Km/h possiamo procedere con il calcolo dello spazio necessario all'arresto in condizioni di sicurezza.

Il tempo di frenata è la somma di tre termini:

- A) Tempo psicotecnico di percezione e azionamento del freno da parte del guidatore*
- B) Ritardo meccanico di messa in funzione dell'impianto frenante*
- C) Tempo di decelerazione fino all'arresto della vettura in frenata.*

Al tempo di arresto del veicolo in condizioni di sicurezza così calcolato corrisponde uno spazio di arresto:

$$\text{Tempo (arresto in sicurezza)} = T(A) + T(B) + T(C)$$

$$\text{Spazio (arresto in sicurezza)} = S(A) + S(B) + S(C)$$

I valori da attribuire ai tre termini sono:

$$T(A) = 1,10s$$

$$T(B) = 0,36s$$

$$T(C) = 2,83s$$

Note: **Termine A:** il valore indicato è desunto da uno studio che la Regione Piemonte nel 2007, attraverso la Società Consepi – Guida Sicura (Ente Regionale), ha finanziato nell'ambito di un programma di prevenzione dell'incidentalità stradale nella popolazione over 65.

Il Dipartimento di Sanità Pubblica dell'Università di Torino ha aderito all'iniziativa partecipando alla definizione dell'intervento. Il valore utilizzato è risultato essere il valor medio del campione su specifici test mirati a stimare il tempo di reazione dei guidatori. Considerando l'età del campione (composto da soggetti oltre i 65 anni) il dato presentato è da considerarsi cautelativo.

Termine B: è stato preso il valore limite di omologazione delle vetture di tipo M1. Tale termine è la somma del tempo attribuibile al ritardo di natura meccanica di attivazione dei freni più metà del tempo di messa in pressione dell'impianto frenante cioè del tempo che il dispositivo frenante impiega per arrivare ad applicare la massima forza frenante che l'impianto può sviluppare.

Termine C: è stato calcolato utilizzando un coefficiente di aderenza pari a 0,5 facilmente raggiungibile anche con asfalto bagnato e non in perfette condizioni da una vettura non equipaggiata di ABS.

Il limite di aderenza per asfalto in buone condizioni è di 0,85 con asfalto asciutto e di 0,65 con asfalto bagnato (livello d'acqua 0,2mm).

La formula utilizzata è stata la seguente: $T_c = \text{Velocità}/\text{decelerazione}$

Considerando che il veicolo si muova a una velocità costante di 50 Km/h (13,88m/s) numericamente si ha:

$$T(C) = 13,88 / (0,5 \times 9,81)$$

Ricordiamo comunque che qualora la vettura si trovasse in condizioni particolari (pneumatici usurati o asfalto bagnato) il guidatore dovrebbe tenerne conto diminuendo la sua velocità al fine di garantire la circolazione in sicurezza non solo del proprio mezzo ma anche degli altri utenti della strada.

I tre termini corrispondono ai seguenti spazi:

$$S(A) = V_o \times T(A) = 15,27 \text{ m} \quad (13,88\text{m/s} \times 1,10\text{s})$$

$$S(B) = V_o \times T(B) = 5,00 \text{ m} \quad (13,88\text{m/s} \times 0,36\text{s})$$

$$S(C) = 1/2 a \times T(C)^2 + V_o \times T(C) = 19,64 \text{ m} \quad (-1/2 \times 0,5 \times 9,81\text{m/s}^2 \times 8,01\text{s}^2 + 13,88\text{m/s} \times 2,83\text{s})$$

Nel calcolo di S_c si esplicita che: $a = -\mu \times g$

dove μ = coefficiente di aderenza; g = accelerazione di gravità

Il segno meno sta per l'effetto di frenata; il valore assegnato a μ è di 0,5 (vedi note Termine C, il valore di g è di $9,81\text{m/s}^2$.)

Pertanto lo spazio di arresto del veicolo in condizioni di sicurezza risulta essere:

Spazio (arresto in sicurezza) = 15,27 + 5,00 + 19,64 = 39,91m

La normativa vigente in materia di omologazione delle vetture, in base al StVZO, alla direttiva Ue 71/320 CEE e al regolamento ECE 13, prevede che per veicoli di tipologia M1 (autovetture) in qualsiasi condizione di carico per una frenata da 50Km/h:

$$S(B) + S(C) \leq 21,61m$$

Pertanto per un calcolo utilizzando i valori limite indicati dalla normativa:

$$\text{Spazio (arresto in sicurezza-valori limite normativa)} = 15,27 + 21,61 = 36,88m$$

Il valore calcolato è dunque più cautelativo di quello imposto dalla normativa.

Pertanto, se il veicolo si trova a meno di 39,91m dalla linea d'arresto al momento dell'accensione della luce gialla esso dovrà mantenere la sua andatura e passare non avendo a disposizione lo spazio per arrestarsi in condizioni di sicurezza, se invece si trova a 39,91m o una distanza maggiore dalla linea di stop potrà frenare ed arrestarsi senza problemi.

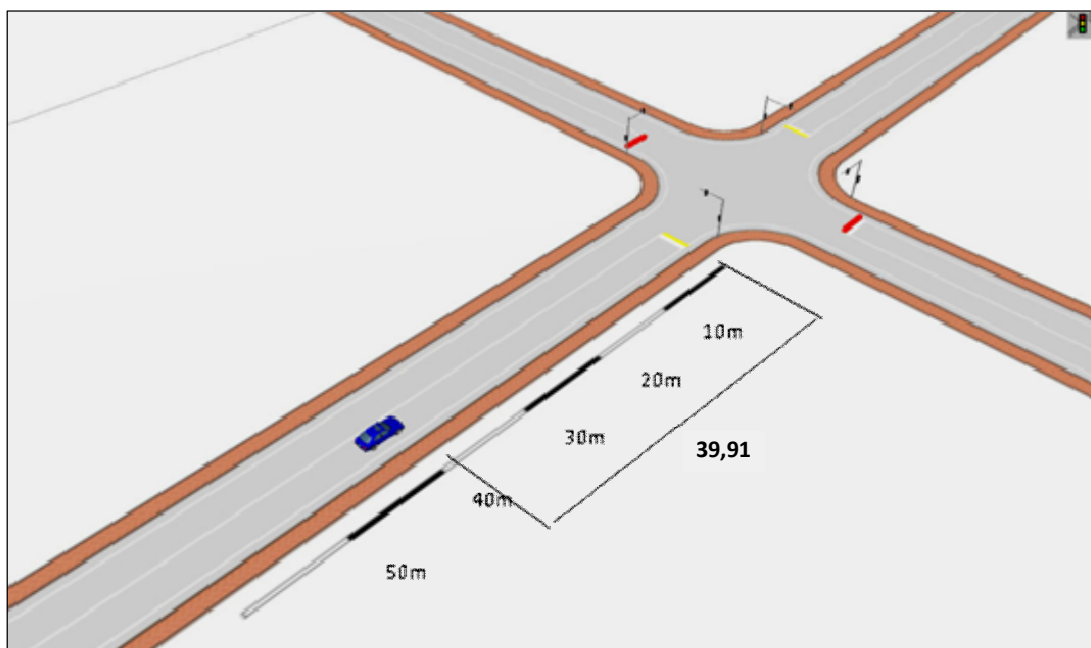


Figura 2.11 – Posizione limite per attraversare l'intersezione allo scattare del giallo

Il tempo di giallo minimo risulta quindi essere quello che consente al veicolo di percorrere 39,91m e cioè:

$$39,91m = T(\text{giallo minimo}) * 13,88 \text{ m/s} \rightarrow T(\text{giallo minimo}) = 2,88s \rightarrow \underline{\underline{3s}}$$

Puntualizziamo che questo tempo è stato calcolato sulla base di un veicolo che si muove alla velocità di 50Km/h; questa situazione risulta essere quella più cautelativa dato che per velocità inferiori si ridurrebbe notevolmente lo spazio necessario all'arresto in condizioni di sicurezza.

Per poter tener conto di altre variabili aleatorie, quali presenza di veicoli accodati o possibili distrazioni determinate dal comportamento anomalo di altri veicoli, non considerate nella presente trattazione tecnica **si ritiene a favore di sicurezza utilizzare un tempo di giallo della durata di 5s.**

Dalla metodologia di calcolo presentata si evince che, con un giallo di 5s, il guidatore del mezzo ha teoricamente a disposizione un ulteriore tempo di 2,12s (5s-2,88s) che va a sommarsi a quello di $T(A)=1,1s$ presentato per decidere se iniziare la frenata o proseguire a velocità costante

I risultato ricavato è in linea con quello presentato nello studio del CNR del 10 settembre 2001 cap. 6.7.4.

A conclusione dei calcoli presentati si può affermare che, per un autovettura che procede alla velocità di 50 km/h e con una durata del giallo pari a 5s abbiamo che:

- se il veicolo al momento dell'accensione del giallo si trova a meno di 39,91m dalla linea di arresto esso dovrà impegnare l'intersezione non avendo più a disposizione lo spazio per arrestarsi in condizioni di sicurezza e potrà farlo;
- se il veicolo si trova a più di 69,4m ($13,88m/s \times 5s$) dalla linea d'arresto al momento dell'accensione del giallo esso dovrà arrestarsi e potrà farlo avendo a disposizione lo spazio necessario;
- se il veicolo si trova in un punto compreso tra le distanze di 39,91m e 69,4m dalla linea di arresto il guidatore avrà la possibilità sia di arrestarsi in condizioni di sicurezza sia di attraversare la linea di arresto mantenendo la sua velocità costante.

Viene così dimostrato che, con l'adozione del tempo di giallo pari a 5 secondi in qualsiasi posizione si trovi il veicolo al momento dell'accensione della luce gialla lo stesso può o arrestarsi in condizioni di sicurezza oppure attraversare l'intersezione mantenendo la sua andatura costante.

2.2.5 Piani semaforici di progetto

I piani semaforici di progetto riprendono la struttura di quelli attuali inserendo al termine della prima fase un prolungamento di verde riservata ai veicoli provenienti da Via Trentino.

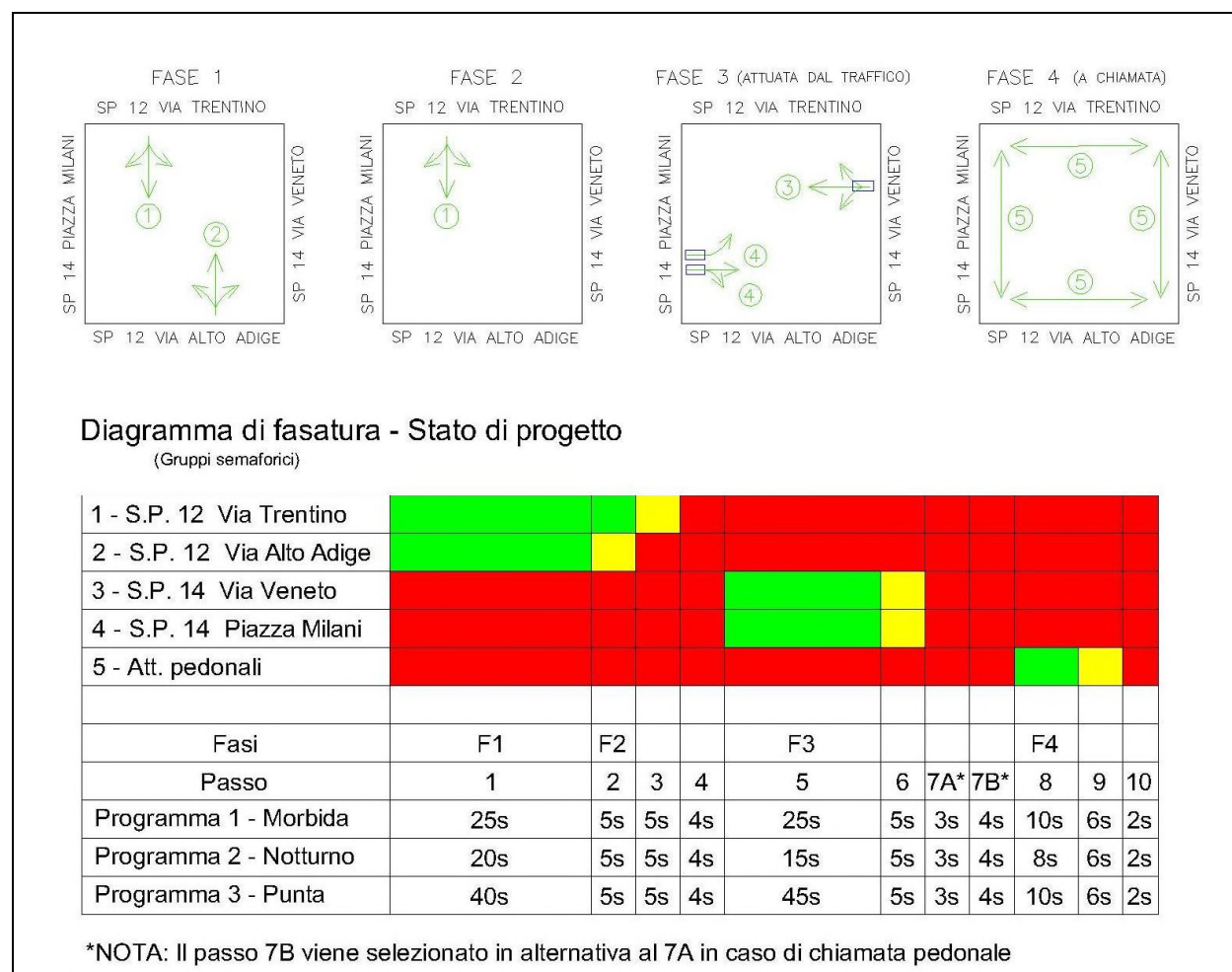


Figura 2.12 – Intersezione Liettoli centro: programmi semaforici proposti

Per quanto concerne i tempi di sicurezza, uguali per tutti i programmi, sulla base dei calcoli effettuati si è optato per l'utilizzo di un giallo veicolare di 5s e di un tempo di tutto rosso successivo alle fasi 2 e 3 rispettivamente di 4s e 3s (4s in caso di chiamata pedonale). Il tutto rosso successivo alla fase di attraversamento pedonale è invece ridotto a 2s dato che i pedoni, diversamente dai veicoli, non devono impegnare l'attraversamento con il segnale giallo che è da intendersi invece come il tempo necessario per lo sgombero da parte dei pedoni dell'area di intersezione. Il calcolo della fase pedonale, peraltro analoga a quella dello stato di fatto prevista dei Tecnici della Provincia, è stato effettuato ai sensi del Codice della Strada ponendo inoltre attenzione a fornire dei tempi di verde sufficienti ad attraversare e dei tempi di attesa non eccessivi, al fine di evitare comportamenti pericolosi da parte dei pedoni indotti ad attraversare

ugualmente quando capiscono che i tempi di giallo e tutto rosso sono eccessivamente lunghi (come evidenziato anche nel documento (cfr. *“Test degli attraversamenti pedonali 2009”* – progetto EPCA - European Pedestrian Crossing Assessment - ideato e condotto dall’Automobile Club d’Italia, nell’ambito delle iniziative EuroTest).

Nonostante non sia espressamente indicato nella figura contenente lo schema dei piani semaforici di progetto, si precisa che la fase di verde di Via Veneto e Piazza Milano dovrà continuare ad essere attuata dal traffico grazie all'utilizzo delle spire ad induzione magnetica in modo da ridurre la durata qualora non vi siano più veicoli in procinto di attraversare l'intersezione.

Analogamente a quanto avviene oggi si propone l'utilizzo di 3 diversi programmi semaforici i cui tempi di verde risultano simili a quelli attuali puntando pertanto ad un affinamento dei cicli.

Per quanto concerne la selezione dei diversi programmi nell'arco delle fasce orarie delle varie giornate settimanali grazie ai dati ottenuti dai rilievi del traffico automatici è stato possibile associare i piani semaforici ai diversi orari sulla base della reale entità dei volumi di traffico.

Lunedì		Martedì		Mercoledì		Giovedì		Venerdì		Sabato		Domenica	
Ora	Prg	Ora	Prg	Ora	Prg	Ora	Prg	Ora	Prg	Ora	Prg	Ora	Prg
06:00	1	06:00	1	06:00	1	06:00	1	06:00	1	06:00	1	06:00	1
07:00	3	07:00	3	07:00	3	07:00	3	07:00	3	23:00	3	23:00	2
09:00	1	09:00	1	09:00	1	09:00	1	09:00	1				
17:00	3	17:00	3	17:00	3	17:00	3	17:00	3				
20:00	1	20:00	1	20:00	1	20:00	1	20:00	1				
21:00	2	21:00	2	21:00	2	21:00	2	21:00	2				

Tabella 2.5 – Intersezione Liettoli centro: tabella selezione programmi orari stato di progetto

Durante le giornate feriali si ritiene opportuno utilizzare il programma notturno dalle ore 21.00 alle 6.00 e quello relativo alle ore di punta nelle fasce orarie 7.00-9.00 e 17.00-20.00 durante le quali si registrano i maggiori volumi di traffico. Nelle restanti ore della giornata (fatta eccezione per l'intervallo 23.00-6.00 del sabato) verrà infine utilizzato il programma di morbida.

La selezione dei programmi rimane invariata rispetto a quella attuale nelle giornate di sabato e domenica.

Anche in riferimento alla tabella di selezione dei programmi quindi il presente studio presenta un perfezionamento della programmazione in essere e non una completa ridefinizione della stessa.

Per verificare la funzionalità dei cicli semaforici proposti è stata inoltre eseguita con esito positivo una microsimulazione del deflusso veicolare del nodo viario in oggetto mediante l'utilizzo del software specialistico Vissim.

2.2.6 Posizionamento dei dispositivi di rilevamento automatico delle infrazioni

Visti i risultati delle precedenti fasi di analisi riguardanti la sicurezza dei vari approcci dell'intersezione e le indicazioni fornite dall'Amministrazione si è deciso per il posizionamento di dispositivi di rilevamento automatico delle infrazioni di passaggio della linea di stop con luce semaforica rossa in corrispondenza degli approcci di Via Trentino e Via Veneto per i quali sono state effettivamente riscontrate le percentuali più elevate di veicoli transitanti con velocità superiori al limite.

Si ritiene opportuno che le apparecchiature vengano posizionate prima della linea di arresto dei due approcci ad una distanza ed altezza tale da consentire una visione globale dell'intersezione anche in condizioni di veicoli accodati; in questo modo sarà possibile individuare agevolmente situazioni anomale che potrebbero perturbare le normali condizioni di deflusso veicolare ed evitare così di sanzionare un guidatore nel caso in cui il suo comportamento "scorretto" sia determinato da fattori esterni di forza maggiore quali ad esempio il superamento della linea di stop per consentire il passaggio di un mezzo di soccorso o per effettuare il sorpasso di un veicolo in panne.



Figura 2.13 – Approccio Via Trentino

I supporti dei dispositivi potranno essere sia verticali che a sbraccio e dovranno essere ubicati in posizione visibile ai guidatori dei veicoli ma tale da non costituire un ostacolo per i veicoli in sosta o un possibile elemento di distrazione, disturbo o pericolo per la circolazione.

Nello specifico la situazione più problematica risulta quella dell'approccio di Via Trentino dove si rileva la presenza di alcuni stalli di sosta sul lato destro della carreggiata proprio in prossimità della linea di arresto.

I dispositivi che verranno installati dovranno essere regolarmente omologati e dovranno consentire l'identificazione della targa dei mezzi in transito anche in condizioni di scarsa visibilità o di particolari condizioni di illuminazione solare (abbagliamento).



Figura 2.14 – Approccio Via Veneto

Per garantire un effettivo miglioramento delle condizioni di sicurezza degli approcci la presenza dei dispositivi di rilevamento automatico delle infrazioni dovrà essere segnalata da specifica segnaletica verticale ai veicoli in avvicinamento all'intersezione in modo tale che questi siano portati ad un rispetto sia dei limiti di velocità, che dei segnali dalle lanterne semaforiche.

3 INTERSEZIONE BOJON

L'Amministrazione Comunale, dopo aver analizzato i precedenti documenti di studio, ha deciso di procedere con la messa in sicurezza degli approcci di Via XXV Aprile e Via IV Novembre mediante installazione di n.2 apparecchiature di rilevamento automatico delle infrazioni di attraversamento della linea di stop con luce semaforica rossa. E' stato quindi indicato, come priorità, l'asse viario della SP 13.



Figura 3.1 – Intersezione Bojon

Questo tipo di intervento non può prescindere da una revisione progettuale del funzionamento dell'impianto semaforico che verrà presentata nei paragrafi seguenti. Si specifica che la presente relazione richiama una serie di dati desunti dalle precedenti fasi di analisi per i cui dettagli si rimanda alla relativa documentazione.

Come già detto più volte in precedenza il contesto urbano in cui è situato il nodo viario oggetto di analisi non permette di effettuare modifiche geometriche delle corsie di attestazione; la fase progettuale si focalizzerà pertanto sulla definizione di una serie di cicli semaforici efficienti e sicuri.

Tutte le modifiche previste saranno inoltre compatibili con l'attuale centralino semaforico e saranno realizzabili a costi contenuti, secondo quanto indicato espressamente dalla committenza, in modo da risultare attuabili con tempistiche ridotte.

Nelle pagine successive verranno presentate separatamente l'analisi dello stato di fatto e di progetto dell'intersezione semaforizzata.

3.1 STATO DI FATTO

L'attuale funzionamento dell'intersezione semaforizzata prevede un sistema attuato dal traffico caratterizzato da tre diversi cicli semaforici denominati rispettivamente "Morbida", "Punta" e "Notturmo" il cui nome rimanda alle differenti condizioni di traffico che si riscontrano nell'arco della giornata. In tutti i diagrammi sono previste quattro fasi: nella prima hanno il verde gli approcci della SP13 (Via XXV Aprile e Via IV Novembre), nella seconda scatta il verde per gli approcci della SP 14 (Via Lova e Via Villa). La terza fase si configura come un'estensione di verde per i veicoli provenienti da Via Villa mentre la fase 4 è riservata agli attraversamenti pedonali.

Incrocio numero : zona 1 impianto num 11

Funzionamento a colori : sempre a colori

Funzionamento : Attuato

DIAGRAMMA DEI TEMPI

PROGRAMMA "1(morbida)"

PASSI	1	2	3	4	5	5	6	8	9	10	11	12					Tot ciclo
SP 13																	
Via Lova																	
SP 14																	
Pedoni																	
	FASE 1				FASE 2			FASE 3			FASE 4						
Ingressi attivi																	
Verde Minimo					*												
Verde Massimo con spira						*											
Tempo del passo	30		4	4	5	20	4	4	3	8	5	1					88 sec.
Bloccato in attesa di attuazione		*															
Fase a Soppressione					*	*	*	*	*	*	*	*					
Fase a Prolungamento						*											

Figura 3.2 – Intersezione Bojon: ciclo semaforico attuale programma 1

Si precisa che per maggiore chiarezza di trattazione nel seguito verranno considerate 4 fasi sebbene in realtà, dal punto di vista tecnico, l'impianto di regolazione sia caratterizzato da 3 fasi con un prolungamento di verde per la fase 2. Come si evince dalla figura sopra riportata, nel programma 1 "Morbida" il tempo massimo riservato alle due correnti veicolari della SP 13 ed SP 14 risulta comparabile (30s contro 29s) anche se il verde riservato all'asse viario della SP 13 è gestito mediante una sola fase mentre quello riservato alla SP 14 risulta gestito in due fasi dato (essendo presente un prolungamento di verde per Via Villa). Lungo ques'asse viario sono inoltre presenti spire ad induzione magnetica che rilevano la presenza di veicoli in attestazione riducendo la durata della fase nel caso non vengano più rilevati veicoli in transito. Il verde pedonale (fase 4) risulta essere pari ad 8 secondi che sono seguiti da un giallo della durata di 5s.

DIAGRAMMA DEI TEMPI

PROGRAMMA "2(punta)"

PASSI	1	2	3	4	5	5	6	7	8	9	10	11	12					Tot ciclo
SP 13	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■					
Via Lova	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■					
SP 14	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■					
Pedoni	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■					
	FASE 1				FASE 2		FASE 3			FASE 4								
Ingressi attivi																		
Verde Minimo					*													
Verde Massimo con spira						*		*										
Tempo del passo	35		4	4	5	45	4	6	4	3	8	5	1					124 sec.
Bloccato in attesa di attuazione		*																
Fase a Soppressione					*	*	*	*	*	*	*	*						
Fase a Prolungamento						*												

Figura 3.3 – Intersezione Bojon: ciclo semaforico attuale programma 2

Il programma dell'ora di punta riprende la medesima struttura di quello dell'ora di morbida dal quale si differenzia per una maggiore durata del verde delle fasi veicolari. In particolare la fase 1 risulta avere una

durata di 35s mentre aumentano in modo più marcato le durate delle fasi 2 e 3 che passano rispettivamente da 25s a 50s e da 4s a 10s.

Nel programma dell'ora di punta il verde riservato all'asse stradale della SP 13, pari a 35s, risulta sensibilmente inferiore a quello assegnato alla SP 14 che risulta essere di 60s (fase 2+fase 3). Rimane invece invariata la durata della fase pedonale.

Il programma n.3, pensato per le ore notturne, ripropone la medesima struttura già vista nei due programmi precedenti e risulta molto simile al programma utilizzato per le ore di morbida. Rispetto a questo osserviamo una riduzione di 5s della fase 2 che determina quindi una durata di 20s e del tempo di verde pedonale che passa da 8 a 6 secondi.

DIAGRAMMA DEI TEMPI

PROGRAMMA "3(notturno)"

PASSI	1	2	3	4	5	5	6	8	9	10	11	12						Tot ciclo
SP 13																		
Via Lova																		
SP 14																		
Pedoni																		
	FASE 1				FASE 2		FASE 3			FASE 4								
Ingressi attivi																		
Verde Minimo					*													
Verde Massimo con spira						*												
Tempo del passo	30		4	4	5	15	4	4	2	6	5	1						80 sec.
Bloccato in attesa di attuazione		*																
Fase a Soppressione					*	*	*	*	*	*	*	*						
Fase a Prolungamento						*												

Figura 3.4 – Intersezione Bojon: ciclo semaforico attuale programma 3

Come si evince dal confronto dei tre piani presentati i tempi che potremmo definire “di sicurezza” (il giallo e il tutto rosso) rimangono di fatto immutati (ad eccezione del tutto rosso successivo alla fase 3) in tutti i cicli.

La logica utilizzata per la definizione dei diversi piani selezionati è stata quella di assegnare un tempo di verde veicolare comparabile agli assi stradali della SP 13 ed SP 14 nelle ore di morbida e di favorire l'asse viario composto da Via Lova e Via Villa durante le ore di punta e quello di Via XXV Aprile e Via IV Novembre nelle ore notturne. Si sottolinea però che in tutti i piani i tempi di verde dell'asse stradale della SP 14 risultano sempre controllati da una serie di spire ad induzione magnetica in modo da ridurre la durata della fase in caso non ci siano più veicoli in attesa di attraversare l'intersezione.

I tre differenti piani sono utilizzati durante orari predefiniti nei vari giorni della settimana secondo una tabella di selezione predefinita.

Lunedì		Martedì		Mercoledì		Giovedì		Venerdì		Sabato		Domenica	
Ora	Prg	Ora	Prg	Ora	Prg	Ora	Prg	Ora	Prg	Ora	Prg	Ora	Prg
07:00	2	07:00	2	07:00	2	07:00	2	07:00	2	07:00	2	07:00	1
09:00	1	09:00	1	09:00	1	09:00	1	09:00	1	09:00	1	23:00	3
17:00	2	17:00	2	17:00	2	17:00	2	17:00	2	17:00	2		
20:00	1	20:00	1	20:00	1	20:00	1	20:00	1	20:00	1		
23:00	3	23:00	3	23:00	3	23:00	3	23:00	3	23:00	3		

Tabella 3.1 – Intersezione Bojon: tabella selezione programmi orari stato di fatto

Osservando la tabella che mostra la programmazione dei cicli semaforici nell'arco delle diverse giornate settimanali notiamo come il programma notturno venga utilizzato dalle 23.00 alle 7.00 in tutte le giornate mentre il ciclo relativo alle ore di punta è utilizzato da lunedì a sabato nelle fasce orarie 7.00-9.00 e 17.00-20.00. Durante tutti i rimanenti intervalli orari viene invece attuato il programma di morbida.

3.2 STATO DI PROGETTO

Per quanto concerne lo stato di progetto, sulla base del materiale prodotto grazie alle precedenti fasi di analisi, oltre a proporre l'installazione dei dispositivi di rilevamento automatico delle infrazioni, si presenteranno una serie di indicazioni atte a migliorare l'attuale funzionamento dell'intersezione semaforizzata sia in termini di funzionalità che di sicurezza.

In particolare appare evidente come i dati di traffico raccolti, grazie a rilievi di traffico sia automatici che manuali, risultano fondamentali sia per determinare l'ottimale sequenza delle fasi semaforiche e ottimizzare le relative durate, sia per determinare correttamente le fasce orarie in cui utilizzare i diversi cicli semaforici. Per calcolare i tempi di sicurezza cioè il giallo e il tutto rosso sono invece necessarie le velocità di transito dei veicoli ed il rilievo planimetrico dell'intersezione con l'indicazione precisa della posizione delle linee di stop dei diversi approcci e le traiettorie di marcia dei veicoli.

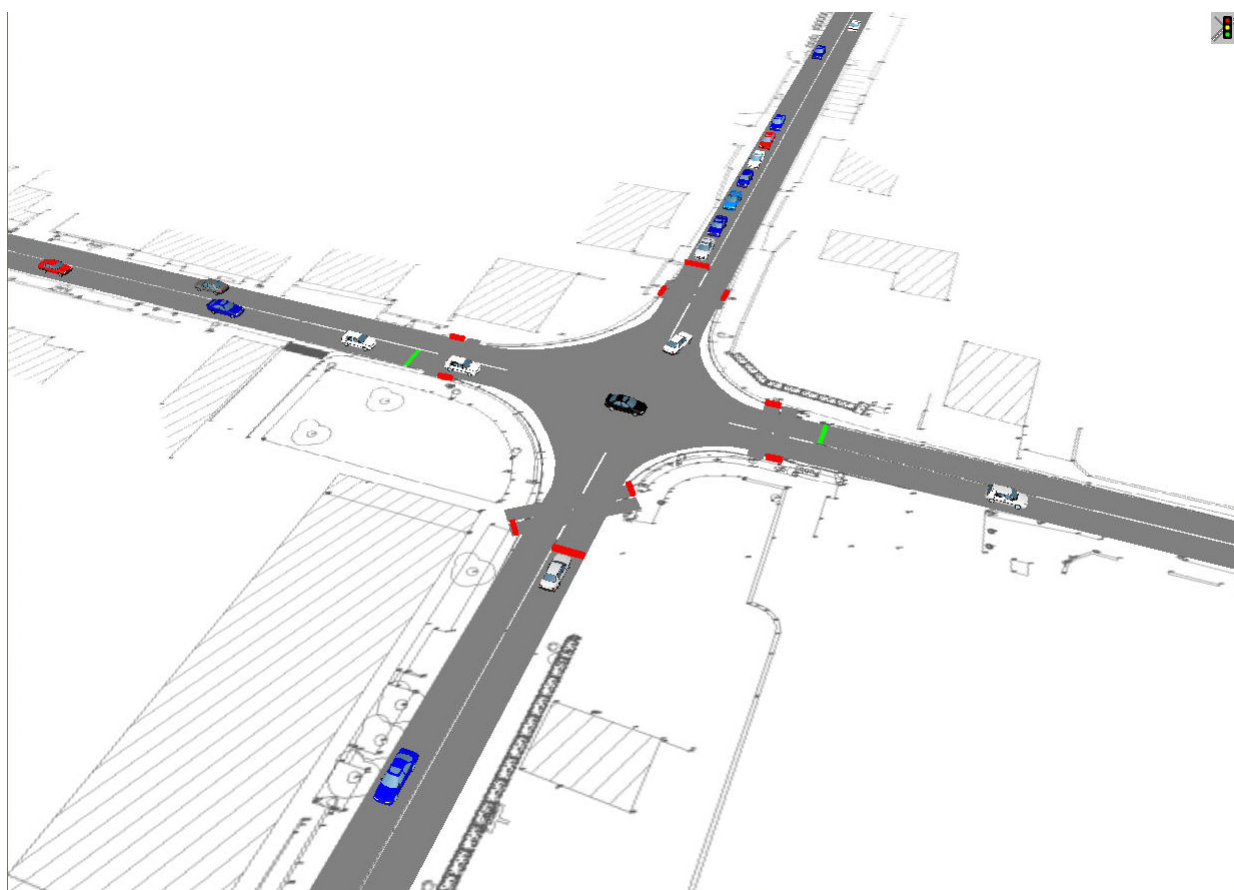


Figura 3.5 – Intersezione Bojon: microsimulazione ciclo semaforico di progetto

La progettazione dei cicli semaforici che si andranno proporre partirà quindi dalla presentazione dei volumi di traffico che utilizzano questo nodo viario nelle varie ore della giornata.

3.2.1 Dati di traffico

Per una corretta progettazione del funzionamento dell'intersezione semaforizzata occorre in primo luogo prendere in considerazione i dati di traffico che la caricano; nel caso del nodo viario in oggetto i dati di traffico ottenuti grazie ai rilievi automatici mostrano come, in un giorno feriale medio, i volumi di traffico espressi in termini di veicoli equivalenti risultano essere i seguenti:

	Via XXV Aprile Veic. Equivalenti	Via Villa Veic. Equivalenti	Via IV Novembre Veic. Equivalenti	Via Lova Veic. Equivalenti	TOT. NODO Veic. Equivalenti
0.00-1.00	39	51	28	18	136
1.00-2.00	20	23	17	12	72
2.00-3.00	9	16	9	7	41
3.00-4.00	6	12	5	5	28
4.00-5.00	12	17	10	4	43
5.00-6.00	32	62	27	26	147
6.00-7.00	104	211	127	112	554
7.00-8.00	272	358	226	235	1.091
8.00-9.00	268	441	232	241	1.182
9.00-10.00	256	358	158	217	989
10.00-11.00	224	371	151	199	945
11.00-12.00	261	327	155	212	955
12.00-13.00	261	351	204	217	1.033
13.00-14.00	251	335	158	146	890
14.00-15.00	252	300	152	155	859
15.00-16.00	249	320	172	188	929
16.00-17.00	258	422	174	201	1.055
17.00-18.00	353	425	248	278	1.304
18.00-19.00	356	377	242	250	1.225
19.00-20.00	287	318	215	190	1.010
20.00-21.00	198	235	149	107	689
21.00-22.00	109	148	95	52	404
22.00-23.00	100	113	68	68	349
23.00-24.00	62	88	58	39	247
TOT	4.239	5.679	3.080	3.179	16.177

Tabella 3.2 – Intersezione Bojon: flussi veicolari giornalieri

La tabella è riferita ai soli veicoli in avvicinamento all'intersezione espressi in termini di veicoli equivalenti ed aggregati con intervallo temporale orario. Risulta così immediato analizzare l'andamento dei volumi di traffico dei diversi approcci nell'arco della giornata e determinare quali siano le ore di punta del traffico.

Le variazioni dei volumi di traffico sono ancora più evidenti osservando l'istogramma disegnato sulla base dei volumi di traffico totali dell'intersezione.

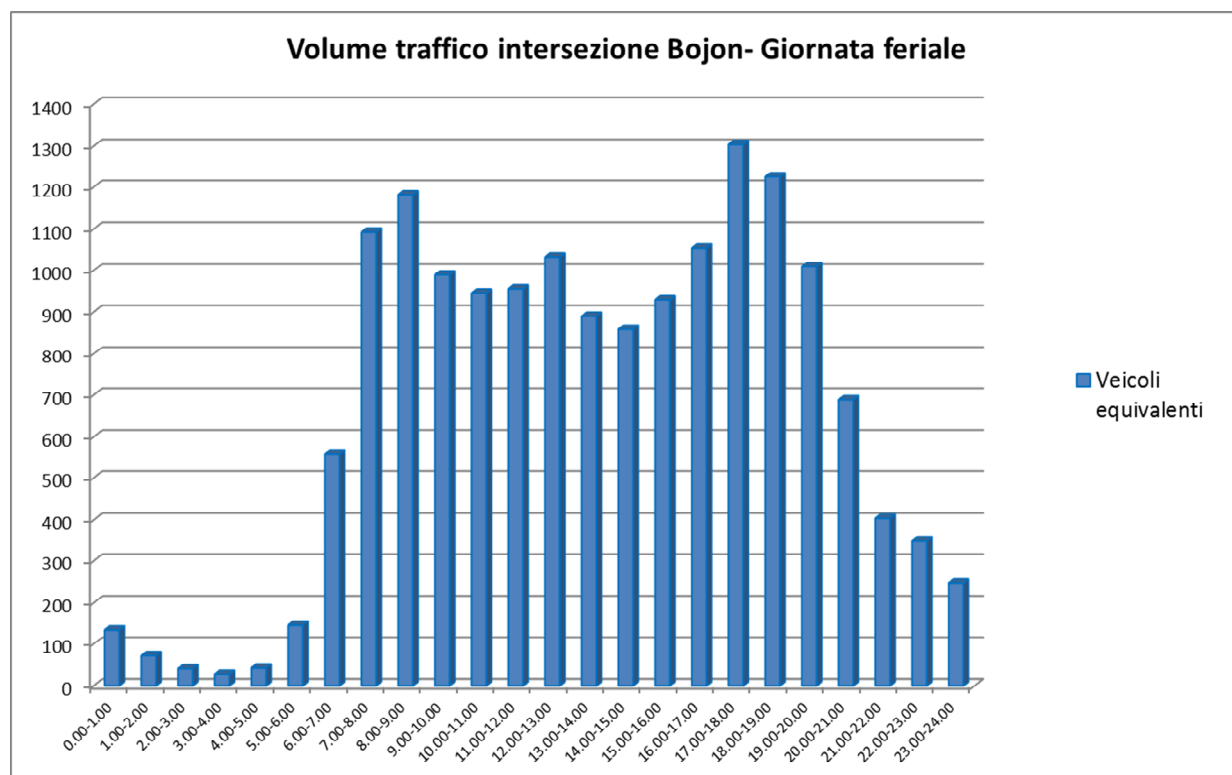


Figura 3.6 – Intersezione Bojon: andamento volume di traffico giornata ferialle

Come si evince dalla figura l'ora di punta risulta essere dalle 17.00 alle 18.00 anche se si potrebbero individuare indicativamente due fasce orarie, rispettivamente 7.00-9.00 e 17.00-19.00 in cui si osserva un incremento generalizzato dei volumi di traffico. Durante il periodo della giornata compreso tra queste due fasce il traffico diminuisce e si attesta su valori pressoché costanti mentre si riduce notevolmente durante le ore notturne.

Alla luce di quanto emerso dai rilievi di traffico automatici, eseguiti nel mese di maggio 2014, è stato possibile predisporre un rilievo manuale del traffico durante la fascia di punta serale atto a determinare la ripartizione percentuale dei flussi veicolari in avvicinamento all'intersezione tra le possibili manovre di svolta. Il rilievo manuale si è ritenuto necessario in quanto la strumentazione radar utilizzata per effettuare i rilievi automatici è in grado di conteggiare solo i veicoli in ingresso e in uscita dai vari rami dell'intersezione ma non di ricostruire la matrice Origine-Destinazione (OD) del nodo viario.

Ai fini della corretta progettazione del piano semaforico risulta di fondamentale importanza conoscere l'entità delle svolte a sinistra in quanto questo tipo di manovra, in assenza di corsia dedicata, risulta spesso di difficile gestione e può facilmente produrre effetti negativi sulle restanti correnti veicolari che ne condividono l'approccio.

INTERSEZIONE 2: Via Villa - Via IV Novembre - Via Lova - Via XXV Aprile

intervallo orario: 18.00-19.00



Figura 3.7 – Intersezione Bojon: ripartizione percentuale svolte

I rilievi manuali sono stati eseguiti nella fascia oraria 17.00-19.00; la figura inserita mostra la ripartizione relativa alla fascia oraria 18.00-19.00 (che risulta comunque comparabile a quella della fascia oraria 17.00-18.00) dalla quale si evince che la percentuale di veicoli che effettua la svolta a sinistra risulta di circa il 10% per l'approccio di Via XXV Aprile e di poco superiore al 20% per i tre restanti approcci. Alla luce della ripartizione tra le varie manovre e dei volumi veicolari orari dei diversi approcci si può quindi ipotizzare una problematica per i veicoli provenienti da Via Villa e da Via XXV Aprile dato che questi sono i due approcci che presentano i flussi veicolari maggiori per i rispettivi assi stradali (SP14 ed SP13). Il potenziale problema relativo a Via Villa viene tuttavia già risolto allo stato attuale mediante l'adozione in tutti i piani semaforici di un'estensione dedicata di verde (fase 3).

3.2.2 Sequenza delle fasi

A seguito dell'analisi dei dati di traffico monitorati mediante dei rilievi automatici e manuali, si ritiene sostanzialmente corretta l'attuale fasatura del semaforo con tre distinte fasi veicolari ed una riservata ai

pedoni. L'impostazione di base oggi utilizzata è tuttavia migliorabile inserendo, dopo la prima fase, che prevede il verde per l'asse viario della SP 13, una coda di verde per i veicoli provenienti da via XXV Aprile.

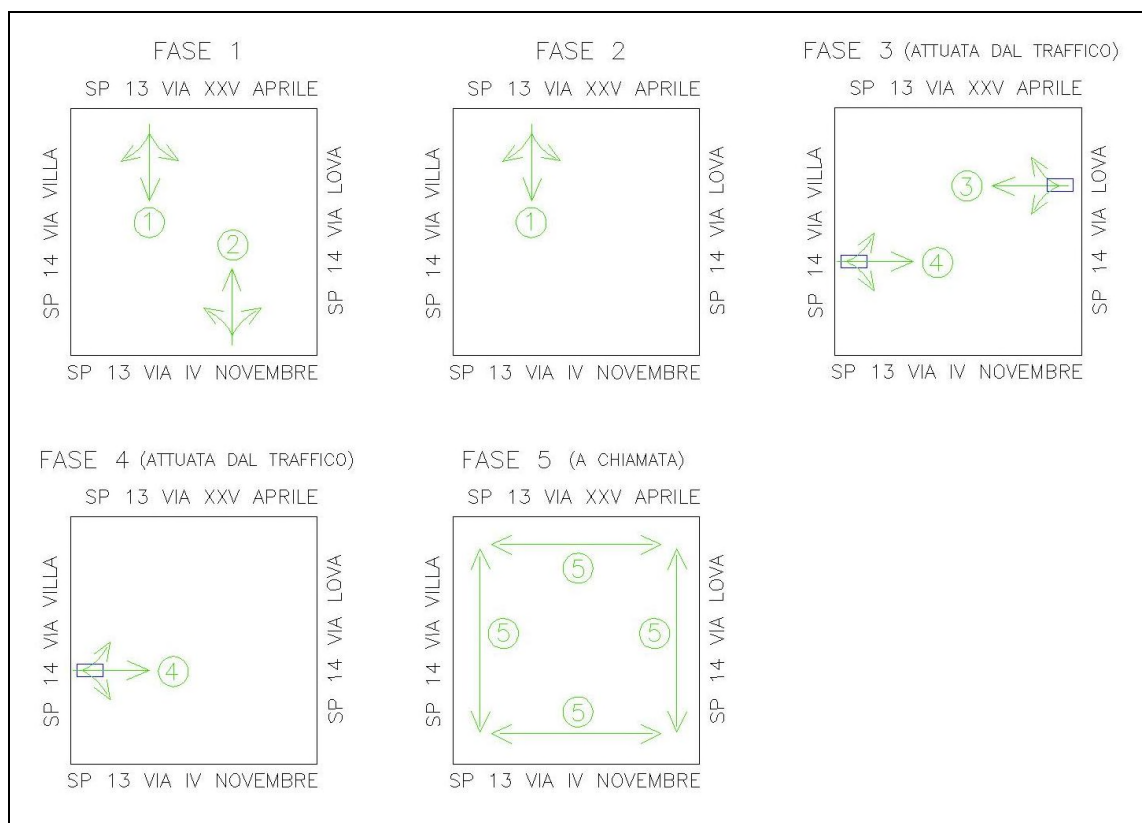


Figura 3.8 – Intersezione Bojon: sequenza fasi semaforiche proposta

Osservando la tabella presentata nei paragrafi precedenti e contenente i dati di traffico orari distinti per i diversi approcci del nodo viario osserviamo infatti che il volume di traffico di Via XXV Aprile è superiore a quello di Via IV Novembre praticamente in tutte le fasce orarie giornaliere.

Il prolungamento di verde proposto potrebbe comunque avere una durata ridotta dato che i rilievi manuali, eseguiti in corrispondenza della fascia oraria di punta serale mostrano una percentuale di svolte a sinistra per i veicoli che provengono da Via XXV Aprile non particolarmente significativa

3.2.3 Determinazione della durata dei tempi di tutto rosso

3.2.3.1 Premessa tecnica

In tutti gli impianti semaforici, lo spegnimento del segnale giallo (e l'accensione di quello rosso) per una determinata corrente veicolare non avviene simultaneamente all'accensione del verde di un'altra corrente

veicolare antagonista, ma per motivi di sicurezza, prima dell'accensione del verde successivo, è interposto un intervallo temporale della durata di alcuni secondi in cui le lanterne veicolari di entrambi gli approcci presentano il segnale rosso.

Questo intervallo temporale, chiamato "tutto rosso" o "total red", è utilizzato per evitare rischi di collisione fra i veicoli che devono sgomberare l'area di conflitto (che hanno attraversato la linea di arresto alla fine del verde o con il giallo) e i veicoli della corrente antagonista che partono all'inizio del verde.

L'intervallo di tutto rosso è sempre necessario indipendentemente dalla durata del giallo: con qualsiasi durata della luce gialla avremo infatti sempre la possibilità che un veicolo oltrepassi la linea di arresto proprio prima della soglia del segnale giallo e si trovi al momento in cui scatta il rosso a dover sgomberare l'intera area di intersezione.

Pertanto il tempo di tutto rosso, che è un tempo di sicurezza, deve essere calcolato sulla base della geometria dell'intersezione utilizzando ipotesi cautelative sulle velocità con cui i veicoli escono dall'intersezione alla fine del giallo e rispettivamente entrano nell'intersezione all'inizio del verde.

Una corretta temporizzazione del tutto rosso è determinante per la sicurezza dell'intersezione: un tempo troppo breve potrebbe favorire collisioni tra i veicoli di correnti antagoniste mentre un tutto rosso troppo lungo potrebbe portare una parte degli utenti abituali a forzare l'attraversamento impegnando l'intersezione anche a fronte di un segnale semaforico rosso, certi di riuscire a passare prima che partano i veicoli della corrente successiva.

È bene puntualizzare che anche una durata eccessiva del segnale di giallo può indurre una parte degli utenti abituali ad accelerare cercando di impegnare l'intersezione senza considerare che la luce gialla implicherebbe l'ordine di arresto della vettura (se possibile farlo in condizioni di sicurezza).

Ricordiamo infine che il tempo di giallo è indipendente dalla geometria dell'intersezione ma dipende solo dalla velocità dei veicoli in transito e dalla loro tipologia (che ne determina la capacità frenante) mentre il tempo di tutto rosso generalmente aumenta all'aumentare delle dimensioni dell'area di intersezione.

3.2.3.1 *Calcolo matematico*

Il "tutto rosso" viene calcolato individuando i punti di conflitto che si determinano dall'intersecazione tra le possibili coppie di traiettorie percorse dai veicoli in uscita e in ingresso.

Nello specifico, dopo aver tracciato tutte le possibili traiettorie dei veicoli in uscita e in ingresso si individuano i punti di conflitto e per ciascuno di questi si calcola:

- A - il tempo T_1 che un ipotetico veicolo passato sulla linea d'arresto alla fine del giallo impiega (a partire dall'istante in cui supera la linea di arresto) a raggiungere e superare completamente il sopraccitato punto (con tutto il veicolo)

B - il tempo T2 che impiega il veicolo che parte con il verde (a partire dall'istante in cui supera la linea di arresto) a raggiungere il medesimo punto con la parte anteriore del veicolo.

La differenza dei questi due tempi determina il valore del tutto rosso; in formule abbiamo:

$$\text{Tempo di tutto rosso} = T1 - T2$$

Dove

$T1 = (\text{Spazio percorso dal veicolo uscente fino al punto di conflitto} + \text{lunghezza veicolo}) / \text{Velocità veicolo in uscita}$

$T2 = \text{Spazio percorso dal veicolo entrante fino al punto di conflitto} / \text{Velocità veicolo in entrata}$

Nota: gli spazi sono da misurarsi a partire dalla linea di arresto.

Le velocità da utilizzare nei calcoli sono da intendersi come velocità medie e devono tener conto per quanto riguarda i veicoli uscenti della riduzione della velocità durante la manovra di svolta e della possibile presenza di veicoli all'interno dell'area di intersezione e per i veicoli entranti del fatto che gli stessi partono da fermi.

Le velocità medie dei veicoli in ingresso ed uscita utilizzate sono state di 30 Km/h (8,33m/s).

Ricordiamo che un veicolo che passa alla fine del giallo è solitamente in fase di accelerazione e difficilmente, visti i diagrammi di fasatura degli impianti semaforici e le ridotte distanze dei punti di conflitto dalle linee d'arresto si troverà accodato a veicoli che procedono lentamente in attesa di svoltare; occorre inoltre notare che una situazione di questo tipo sarebbe facilmente percepibile dai veicoli in partenza con il verde che quindi eviterebbero la collisione.

L'aver assunto una velocità media dei veicoli entranti pari a 30Km/h visto che questi partono da fermi e l'aver utilizzato come ingombro del veicolo il valore di 16,5m (limite di lunghezza autoarticolato) sono tutti elementi estremamente cautelativi.

Alla luce della sequenza delle fasi proposta per lo stato di progetto risulta necessario definire i tempi di tutto rosso che dovranno essere interposti tra la fase 2 e la fase 3 e tra la fase 4 e la fase 1 (in assenza di chiamata pedonale).

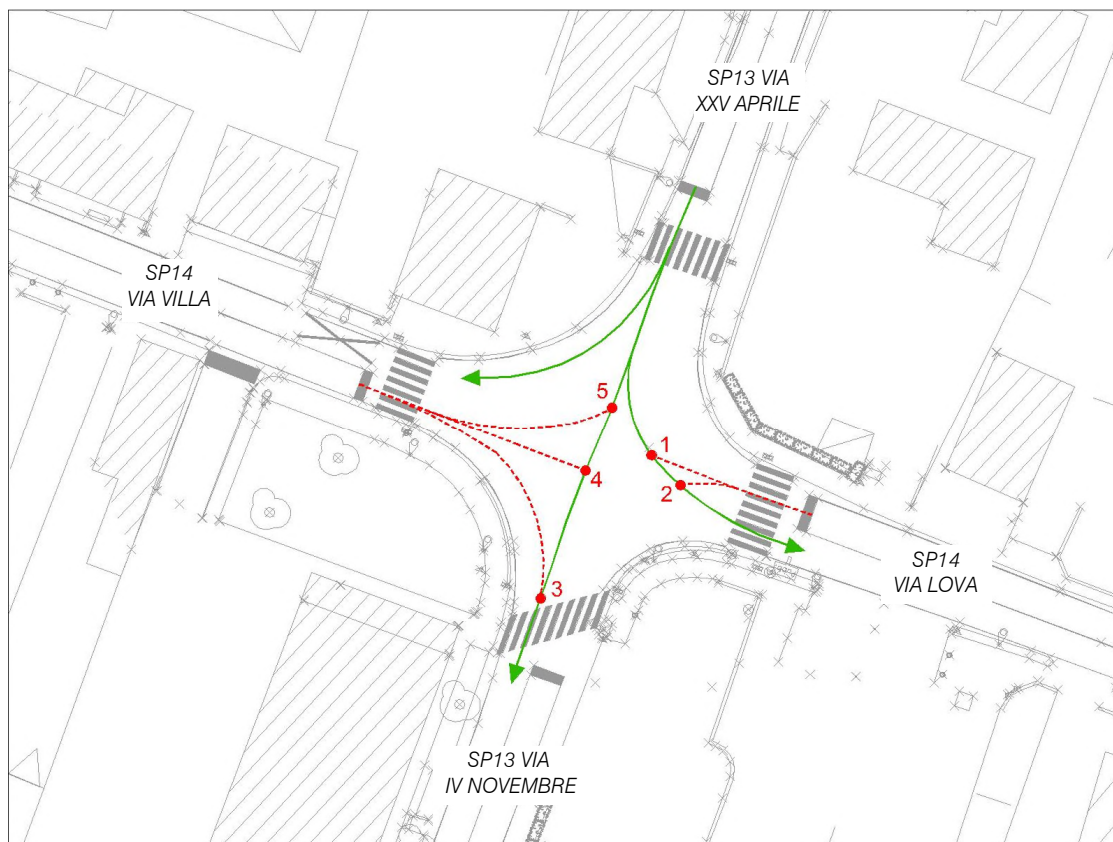


Figura 3.9 – Traiettorie utilizzate per il calcolo del tempo di tutto rosso da fase 2 a fase 3

La durata del tempo di tutto rosso interposto tra la fase 2 e la fase 3 è stata calcolata sulla base delle traiettorie dei veicoli provenienti da Via XXV Aprile dato che la fase 2 risulta essere un prolungamento del verde della fase 1 per i soli veicoli provenienti da quest'approccio. Pertanto non risulta necessario un analogo calcolo dei tempi di tutto rosso sulla base delle traiettorie dei veicoli provenienti da IV Novembre.

Punti di Conflitto	Distanza dalla linea di arresto di Via XXV Aprile (m)	Lunghezza mezzo pesante (m)	Distanza dalla linea di arresto di Via Lova (m)	Distanza dalla linea di arresto di Via Villa (m)	T1 (s)	T2 (s)	Total Red
1	28,86	16,5	17,34	-	5,45	2,08	3,36
2	31,17	16,5	14,45	-	5,72	1,73	3,99
3	44,49	16,5	-	31,68	7,32	3,80	3,52
4	30,76	16,5	-	24,43	5,67	2,93	2,74
5	23,85	16,5	-	26,5	4,84	3,18	1,66

Velocità veicoli assunta durante le manovre: 8,33 ms (30Km/h)

Tabella 3.3 – Calcolo tempi di tutto rosso da fase 2 a fase 3

Alla luce delle ipotesi cautelative utilizzate si ritiene che un tempo di tutto rosso tra la fase 2 e la fase 3 della durata di 4s risulti adeguato alla geometria del nodo viario

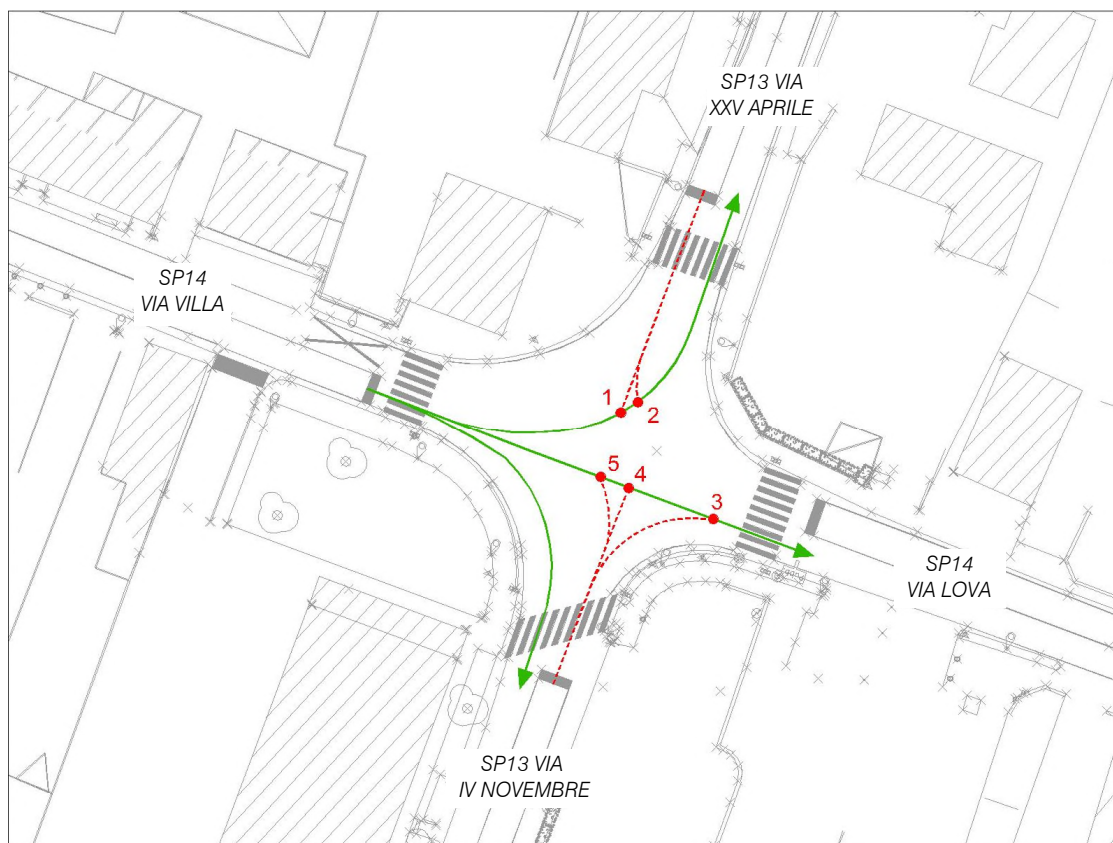


Figura 3.10 – Traiettorie utilizzate per il calcolo del tempo di tutto rosso da fase 4 a fase 1

La durata del tempo di tutto rosso interposto tra la fase 4 e la fase 1 (in assenza della fase di verde pedonale) è stata calcolata sulla base delle traiettorie dei veicoli provenienti da Via Villa dato che la fase 4 risulta essere un prolungamento del verde della fase 3 per i soli veicoli provenienti da quest'approccio.

Non risulta pertanto necessario un analogo calcolo dei tempi di tutto rosso sulla base delle traiettorie dei veicoli provenienti da Lova.

Punti di Conflitto	Distanza dalla linea di arresto di Via Villa (m)	Lunghezza mezzo pesante (m)	Distanza dalla linea di arresto di Via XXV Aprile (m)	Distanza dalla linea di arresto di Via IV Novembre	T1 (s)	T2 (s)	Total Red
1	26,77	16,5	23,88	-	5,19	2,87	2,33
2	28,77	16,5	22,63	-	5,43	2,72	2,72
3	35,18	16,5	-	26,89	6,20	3,23	2,98
4	28,27	16,5	-	21,14	5,37	2,54	2,84
5	25,23	16,5	-	21,99	5,01	2,64	2,37

Velocità veicoli assunta durante le manovre: 8,33 ms (30Km/h)

Tabella 3.4 – Calcolo tempi di tutto rosso da fase 4 a fase 1

Alla luce delle ipotesi cautelative utilizzate si ritiene che un tempo di tutto rosso tra la fase 4 e la fase 1 della durata di 3s risulti adeguato alla geometria del nodo viario; tuttavia, in presenza di chiamata della fase dedicata all'attraversamento pedonale, si ritiene opportuno aumentare tale tempo di sicurezza a 4s.

3.2.4 Determinazione della durata dei tempi di giallo

3.2.4.1 Premessa tecnica

Il tempo di giallo interposto tra due fasi semaforiche deve essere determinato in modo che *"in qualsiasi posizione si trovi il veicolo al momento dell'accensione della luce gialla lo stesso deve poter arrestarsi in condizioni di sicurezza oppure attraversare l'intersezione mantenendo la sua andatura costante"*.

Tale affermazione, basata sull'articolo 41 del Codice della Strada, può anche essere espressa con la seguente formulazione: *"non deve esistere alcuna posizione in cui il veicolo si possa trovare al momento dell'accensione della luce gialla in cui lo stesso non possa o arrestarsi in condizioni di sicurezza o attraversare l'intersezione mantenendo la sua andatura costante"*.

L'espressione "attraversare l'intersezione" è da intendersi come attraversamento della linea d'arresto durante il periodo di accensione della luce gialla e sgombero dell'area di intersezione sfruttando il tempo di tutto rosso.

3.2.4.2 Calcolo matematico

Partendo da quanto enunciato e considerato che il limite di velocità per tutti gli approcci è di 50Km/h possiamo procedere con il calcolo dello spazio necessario all'arresto in condizioni di sicurezza.

Il tempo di frenata è la somma di tre termini:

- A) Tempo psicotecnico di percezione e azionamento del freno da parte del guidatore*
- B) Ritardo meccanico di messa in funzione dell'impianto frenante*
- C) Tempo di decelerazione fino all'arresto della vettura in frenata.*

Al tempo di arresto del veicolo in condizioni di sicurezza così calcolato corrisponde uno spazio di arresto:

$$\text{Tempo (arresto in sicurezza)} = T(A) + T(B) + T(C)$$

$$\text{Spazio (arresto in sicurezza)} = S(A) + S(B) + S(C)$$

I valori da attribuire ai tre termini sono:

$$T(A) = 1,10s$$

$$T(B) = 0,36s$$

$$T(C) = 2,83s$$

Note: **Termine A:** il valore indicato è desunto da uno studio che la Regione Piemonte nel 2007, attraverso la Società Consepi – Guida Sicura (Ente Regionale), ha finanziato nell'ambito di un programma di prevenzione dell'incidentalità stradale nella popolazione over 65.

Il Dipartimento di Sanità Pubblica dell'Università di Torino ha aderito all'iniziativa partecipando alla definizione dell'intervento. Il valore utilizzato è risultato essere il valor medio del campione su specifici test mirati a stimare il tempo di reazione dei guidatori. Considerando l'età del campione (composto da soggetti oltre i 65 anni) il dato presentato è da considerarsi cautelativo.

Termine B: è stato preso il valore limite di omologazione delle vetture di tipo M1. Tale termine è la somma del tempo attribuibile al ritardo di natura meccanica di attivazione dei freni più metà del tempo di messa in pressione dell'impianto frenante cioè del tempo che il dispositivo frenante impiega per arrivare ad applicare la massima forza frenante che l'impianto può sviluppare.

Termine C: è stato calcolato utilizzando un coefficiente di aderenza pari a 0,5 facilmente raggiungibile anche con asfalto bagnato e non in perfette condizioni da una vettura non equipaggiata di ABS.

Il limite di aderenza per asfalto in buone condizioni è di 0,85 con asfalto asciutto e di 0,65 con asfalto bagnato (livello d'acqua 0,2mm).

La formula utilizzata è stata la seguente: $T_c = \text{Velocità}/\text{decelerazione}$

Considerando che il veicolo si muova a una velocità costante di 50 Km/h (13,88m/s) numericamente si ha:

$$T(C) = 13,88 / (0,5 \times 9,81)$$

Ricordiamo comunque che qualora la vettura si trovasse in condizioni particolari (pneumatici usurati o asfalto bagnato) il guidatore dovrebbe tenerne conto diminuendo la sua velocità al fine di garantire la circolazione in sicurezza non solo del proprio mezzo ma anche degli altri utenti della strada.

I tre termini corrispondono ai seguenti spazi:

$$S(A) = V_o \times T(A) = 15,27 \text{ m} \quad (13,88\text{m/s} \times 1,10\text{s})$$

$$S(B) = V_o \times T(B) = 5,00 \text{ m} \quad (13,88\text{m/s} \times 0,36\text{s})$$

$$S(C) = 1/2 a \times T(C)^2 + V_o \times T(C) = 19,64 \text{ m} \quad (-1/2 \times 0,5 \times 9,81\text{m/s}^2 \times 8,01\text{s}^2 + 13,88\text{m/s} \times 2,83\text{s})$$

Nel calcolo di S_c si esplicita che: $a = -\mu \times g$

dove μ = coefficiente di aderenza; g = accelerazione di gravità

Il segno meno sta per l'effetto di frenata; il valore assegnato a μ è di 0,5 (vedi note Termine C, il valore di g è di $9,81\text{m/s}^2$.)

Pertanto lo spazio di arresto del veicolo in condizioni di sicurezza risulta essere:

Spazio (arresto in sicurezza) = 15,27 + 5,00 + 19,64 = 39,91m

La normativa vigente in materia di omologazione delle vetture, in base al StVZO, alla direttiva Ue 71/320 CEE e al regolamento ECE 13, prevede che per veicoli di tipologia M1 (autovetture) in qualsiasi condizione di carico per una frenata da 50Km/h:

$$S(B) + S(C) \leq 21,61m$$

Pertanto per un calcolo utilizzando i valori limite indicati dalla normativa:

$$\text{Spazio (arresto in sicurezza-valori limite normativa)} = 15,27 + 21,61 = 36,88m$$

Il valore calcolato è dunque più cautelativo di quello imposto dalla normativa.

Pertanto, se il veicolo si trova a meno di 39,91m dalla linea d'arresto al momento dell'accensione della luce gialla esso dovrà mantenere la sua andatura e passare non avendo a disposizione lo spazio per arrestarsi in condizioni di sicurezza, se invece si trova a 39,91m o una distanza maggiore dalla linea di stop potrà frenare ed arrestarsi senza problemi.

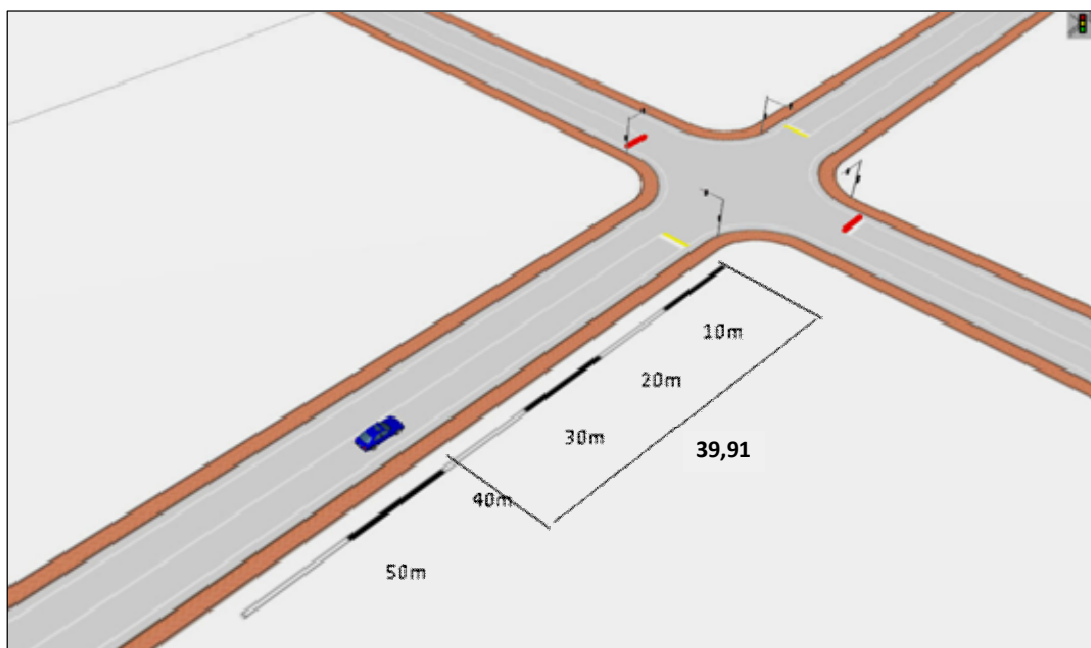


Figura 3.11 – Posizione limite per attraversare l'intersezione allo scattare del giallo

Il tempo di giallo minimo risulta quindi essere quello che consente al veicolo di percorrere 39,91m e cioè:

$$39,91m = T(\text{giallo minimo}) * 13,88 \text{ m/s} \rightarrow T(\text{giallo minimo}) = 2,88s \rightarrow \underline{\underline{3s}}$$

Puntualizziamo che questo tempo è stato calcolato sulla base di un veicolo che si muove alla velocità di 50Km/h; questa situazione risulta essere quella più cautelativa dato che per velocità inferiori si ridurrebbe notevolmente lo spazio necessario all'arresto in condizioni di sicurezza.

Per poter tener conto di altre variabili aleatorie, quali presenza di veicoli accodati o possibili distrazioni determinate dal comportamento anomalo di altri veicoli, non considerate nella presente trattazione tecnica **si ritiene a favore di sicurezza utilizzare un tempo di giallo della durata di 5s.**

Dalla metodologia di calcolo presentata si evince che, con un giallo di 5s, il guidatore del mezzo ha teoricamente a disposizione un ulteriore tempo di 2,12s (5s-2,88s) che va a sommarsi a quello di $T(A)=1,1s$ presentato per decidere se iniziare la frenata o proseguire a velocità costante

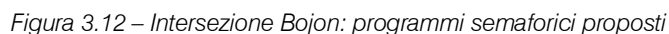
I risultato ricavato è in linea con quello presentato nello studio del CNR del 10 settembre 2001 cap. 6.7.4.

A conclusione dei calcoli presentati si può affermare che, per un autovettura che procede alla velocità di 50 km/h e con una durata del giallo pari a 5s abbiamo che:

- se il veicolo al momento dell'accensione del giallo si trova a meno di 39,91m dalla linea di arresto esso dovrà impegnare l'intersezione non avendo più a disposizione lo spazio per arrestarsi in condizioni di sicurezza e potrà farlo;
- se il veicolo si trova a più di 69,4m ($13,88m/s \times 5s$) dalla linea d'arresto al momento dell'accensione del giallo esso dovrà arrestarsi e potrà farlo avendo a disposizione lo spazio necessario;
- se il veicolo si trova in un punto compreso tra le distanze di 39,91m e 69,4m dalla linea di arresto il guidatore avrà la possibilità sia di arrestarsi in condizioni di sicurezza sia di attraversare la linea di arresto mantenendo la sua velocità costante.

Viene così dimostrato che, con l'adozione del tempo di giallo pari a 5 secondi in qualsiasi posizione si trovi il veicolo al momento dell'accensione della luce gialla lo stesso può o arrestarsi in condizioni di sicurezza oppure attraversare l'intersezione mantenendo la sua andatura costante.

I piani semaforici di progetto riprendono la struttura di quelli attuali inserendo al termine della prima fase una coda di verde riservata ai veicoli provenienti da Via XXV Aprile.



Per quanto concerne i tempi di sicurezza, uguali per tutti i programmi, sulla base dei calcoli effettuati si è optato per l'utilizzo di un giallo veicolare di 5s e di un tempo di tutto rosso successivo alle fasi 2 e 3 rispettivamente di 4s e 3s (4s in caso di chiamata pedonale). Il tutto rosso successivo alla fase di attraversamento pedonale è invece ridotto a 2s dato che i pedoni, diversamente dai veicoli, non devono impegnare l'attraversamento con il segnale giallo che è da intendersi invece come il tempo necessario per lo sgombero da parte dei pedoni dell'area di intersezione. Il calcolo della fase pedonale, peraltro analoga a quella dello stato di fatto prevista dei Tecnici della Provincia, è stato effettuato ai sensi del Codice della Strada ponendo inoltre attenzione a fornire dei tempi di verde sufficienti ad attraversare e dei tempi di attesa non eccessivi, al fine di evitare comportamenti pericolosi da parte dei pedoni indotti ad attraversare ugualmente quando capiscono che i tempi di giallo e tutto rosso sono eccessivamente lunghi (cfr. *"Test*

degli attraversamenti pedonali 2009” – progetto EPCA - European Pedestrian Crossing Assessment - ideato e condotto dall'Automobile Club d'Italia, nell'ambito delle iniziative EuroTest).

Nonostante non sia espressamente indicato nella figura contenente lo schema dei piani semaforici di progetto si precisa che le fasi di verde di Via Villa e Via Lova dovranno continuare ad essere attuate dal traffico grazie all'utilizzo delle spire ad induzione magnetica in modo da ridurre la durata qualora non vi siano più veicoli in procinto di attraversare l'intersezione.

Analogamente a quanto avviene oggi si propone l'utilizzo di 3 diversi programmi semaforici i cui tempi di verde risultano simili a quelli attuali seppur con un affinamento dei cicli sulla base dei flussi veicolari che percorrono le direttrici viarie della SP 13 e SP 14.

Per quanto concerne la selezione dei diversi programmi nell'arco delle fasce orarie delle giornate settimanali grazie ai dati ottenuti dai rilievi automatici di traffico è stato possibile associare i piani semaforici agli orari sulla base della reale entità dei volumi di traffico.

Lunedì		Martedì		Mercoledì		Giovedì		Venerdì		Sabato		Domenica	
Ora	Prg	Ora	Prg	Ora	Prg	Ora	Prg	Ora	Prg	Ora	Prg	Ora	Prg
07:00	2	07:00	2	07:00	2	07:00	2	07:00	2	07:00	2	07:00	1
09:00	1	09:00	1	09:00	1	09:00	1	09:00	1	09:00	1	23:00	3
17:00	2	17:00	2	17:00	2	17:00	2	17:00	2	17:00	2		
19:00	1	19:00	1	19:00	1	19:00	1	19:00	1	19:00	1		
21:00	3	21:00	3	21:00	3	21:00	3	21:00	3	21:00	3		

Tabella 3.5 – Intersezione Bojon: tabella selezione programmi orari stato di progetto

Durante le giornate feriali e nella giornata di sabato si ritiene opportuno utilizzare il programma notturno dalle ore 21.00 alle 7.00 e quello relativo alle ore di punta nelle fasce orarie 7.00-9.00 e 17.00-19.00 nelle quali si registrano i maggiori volumi di traffico. Nelle restanti ore della giornata verrà infine utilizzato il programma di morbida.

La selezione dei programmi rimane invariata rispetto a quella attuale alla domenica. Anche in riferimento alla tabella di selezione dei programmi quindi il presente studio presenta un perfezionamento della programmazione in essere e non uno stravolgimento della stessa.

Per verificare la funzionalità dei cicli semaforici proposti è stata inoltre eseguita con esito positivo una microsimulazione del deflusso veicolare del nodo viario in oggetto mediante l'utilizzo del software specialistico Vissim.

3.2.6 Posizionamento dei dispositivi di rilevamento automatico delle infrazioni

Visti i risultati delle precedenti fasi di analisi riguardanti la sicurezza dei vari approcci dell'intersezione e le indicazioni fornite dall'Amministrazione si è deciso per il posizionamento di dispositivi di rilevamento automatico delle infrazioni di passaggio della linea di stop con luce semaforica rossa in corrispondenza degli approcci di Via XXV Aprile e Via IV Novembre in cui sono state riscontrate elevate percentuali di veicoli transitanti con velocità superiori al limite.

Si ritiene opportuno che le apparecchiature vengano posizionate prima della linea di arresto dei due approcci ad una distanza ed altezza tale da consentire una visione globale dell'intersezione anche in condizioni di veicoli accodati; in questo modo sarà possibile individuare agevolmente situazioni anomale che potrebbero perturbare le normali condizioni di deflusso veicolare ed evitare così di sanzionare un guidatore nel caso in cui il suo comportamento "scorretto" sia determinato da fattori esterni di forza maggiore quali ad esempio il superamento della linea di stop per consentire il passaggio di un mezzo di soccorso o per effettuare il sorpasso di un veicolo in panne.



Figura 3.13 – Approccio Via XXV Aprile

I supporti dei dispositivi potranno essere sia verticali che a sbraccio e dovranno essere ubicati in posizione visibile ai guidatori dei veicoli ma tale da non costituire un ostacolo per i veicoli in sosta o un possibile elemento di distrazione, disturbo o pericolo per la circolazione.

Nello specifico per quanto concerne Via XXV Aprile il supporto non dovrà recare disturbo alla sosta laterale né costituire impedimento per il transito pedonale mentre per Via IV Novembre particolare attenzione dovrà essere posta alle aree di ingresso/uscita del distributore di carburanti.

I dispositivi che verranno installati dovranno essere regolarmente omologati e dovranno consentire l'identificazione della targa dei mezzi in transito anche in condizioni di scarsa visibilità o di particolari condizioni di illuminazione solare (abbagliamento).



Figura 3.14 – Approccio Via IV Novembre

Per garantire un effettivo miglioramento delle condizioni di sicurezza degli approcci la presenza dei dispositivi di rilevamento automatico delle infrazioni dovrà essere segnalata da specifica segnaletica verticale ai veicoli in avvicinamento all'intersezione in modo tale che questi siano portati ad un rispetto dei limiti di velocità e dei segnali delle lanterne semaforiche.

INDICE DELLE FIGURE

<i>Figura 2.1 – Intersezione Liettoli centro.....</i>	<i>4</i>
<i>Figura 2.2 – Intersezione Liettoli centro: ciclo semaforico attuale programma 1.....</i>	<i>5</i>
<i>Figura 2.3 – Intersezione Liettoli centro: ciclo semaforico attuale programma 2.....</i>	<i>6</i>
<i>Figura 2.4 – Intersezione Liettoli centro: ciclo semaforico attuale programma 3.....</i>	<i>7</i>
<i>Figura 2.5 – Intersezione Liettoli centro: microsimulazione ciclo semaforico di progetto</i>	<i>9</i>
<i>Figura 2.6 – Intersezione Liettoli centro: andamento volume di traffico giornata ferial e</i>	<i>11</i>
<i>Figura 2.7 – Intersezione Liettoli centro: ripartizione percentuale svolte.....</i>	<i>12</i>
<i>Figura 2.8 – Intersezione Liettoli centro: sequenza fasi semaforiche proposta</i>	<i>13</i>
<i>Figura 2.9 – Traiettorie utilizzate per il calcolo del tempo di tutto rosso da fase 2 a fase 3.....</i>	<i>16</i>
<i>Figura 2.10 – Traiettorie utilizzate per il calcolo del tempo di tutto rosso da fase 3 a fase 1.....</i>	<i>17</i>
<i>Figura 2.11 – Posizione limite per attraversare l'intersezione allo scattare del giallo.....</i>	<i>20</i>
<i>Figura 2.12 – Intersezione Liettoli centro: programmi semaforici proposti</i>	<i>22</i>
<i>Figura 2.13 – Approccio Via Trentino</i>	<i>24</i>
<i>Figura 2.14 – Approccio Via Veneto</i>	<i>25</i>
<i>Figura 3.1 – Intersezione Bojon.....</i>	<i>26</i>
<i>Figura 3.2 – Intersezione Bojon: ciclo semaforico attuale programma 1.....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 3.3 – Intersezione Bojon: ciclo semaforico attuale programma 2.....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 3.4 – Intersezione Bojon: ciclo semaforico attuale programma 3.....</i>	<i>29</i>
<i>Figura 3.5 – Intersezione Bojon: microsimulazione ciclo semaforico di progetto.....</i>	<i>31</i>
<i>Figura 3.6 – Intersezione Bojon: andamento volume di traffico giornata ferial e</i>	<i>33</i>
<i>Figura 3.7 – Intersezione Bojon: ripartizione percentuale svolte.....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 3.8 – Intersezione Bojon: sequenza fasi semaforiche proposta</i>	<i>35</i>
<i>Figura 3.9 – Traiettorie utilizzate per il calcolo del tempo di tutto rosso da fase 2 a fase 3.....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 3.10 – Traiettorie utilizzate per il calcolo del tempo di tutto rosso da fase 4 a fase 1.....</i>	<i>39</i>

<i>Figura 3.11 – Posizione limite per attraversare l'intersezione allo scattare del giallo.....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 3.12 – Intersezione Bojon: programmi semaforici proposti</i>	<i>44</i>
<i>Figura 3.13 – Approccio Via XXV Aprile.....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 3.14 – Approccio Via IV Novembre.....</i>	<i>47</i>

INDICE DELLE TABELLE

<i>Tabella 2.1 – Intersezione Liettoli centro: tabella selezione programmi orari stato di fatto</i>	<i>8</i>
<i>Tabella 2.2 – Intersezione Liettoli centro: flussi veicolari giornalieri</i>	<i>10</i>
<i>Tabella 2.3 – Calcolo tempi di tutto rosso da fase 2 a fase 3</i>	<i>16</i>
<i>Tabella 2.4 – Calcolo tempi di tutto rosso da fase 3 a fase 1</i>	<i>17</i>
<i>Tabella 2.5 – Intersezione Liettoli centro: tabella selezione programmi orari stato di progetto</i>	<i>23</i>
<i>Tabella 3.1 – Intersezione Bojon: tabella selezione programmi orari stato di fatto</i>	<i>30</i>
<i>Tabella 3.2 – Intersezione Bojon: flussi veicolari giornalieri</i>	<i>32</i>
<i>Tabella 3.3 – Calcolo tempi di tutto rosso da fase 2 a fase 3</i>	<i>38</i>
<i>Tabella 3.4 – Calcolo tempi di tutto rosso da fase 4 a fase 1</i>	<i>39</i>
<i>Tabella 3.5 – Intersezione Bojon: tabella selezione programmi orari stato di progetto</i>	<i>45</i>