POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale
in INGEGNERIA CIVILE

Tesi di Laurea Magistrale

ANALISI DEI FLUSSI PEDONALI NELLE INTERSEZIONI URBANE SEMAFORIZZATE: OSSERVAZIONE, LIVELLO DI SERVIZIO E SIMULAZIONE

Relatore
Prof. Francesco Deflorio

Candidato
Davide Di Rico

Correlatore
Ing. Laura Coconea

Settembre 2018

Sommario

Introduzione **9**

1 Tecnologia per il rilevamento dei flussi pedonali **11**
1.1 Stato dell'arte 11
1.1.1 Confronto fra le diverse tecniche di rilevamento 18
1.2 Rilievo automatico dei flussi pedonali 20
1.2.1 Specifiche tecniche del SW di analisi video 20
1.2.2 Esperimento di rilievo presso il Politecnico di Torino 20
1.2.3 Analisi dei risultati di conteggio 23

2 Misura del livello di servizio per i pedoni (LoS) **28**
2.1 Livello di Servizio Pedonale – Scopo della metodologia 28
2.2 Limiti spaziali 28
2.3 Misure di performance dell'intersezione 29
2.4 Limitazioni della metodologia 29
2.5 Flussi pedonali 30
2.6 Dati e fonti 31
2.6.1 Caratteristiche dei dati di traffico 32
2.6.2 Dati geometrici 34
2.6.3 Controllo semaforico 36
2.6.4 Overview della metodologia 38
2.6.5 Step computazionali 38

3 Analisi in simulazione **53**
3.1 Costruzione del modello 53
3.1.1 O/D Routes 54
3.1.2 Matrici O/D pedonali e veicolari 56
3.1.3 Controllo semaforico 57
3.2 Generazione degli scenari 58
3.2.1 Impostazioni degli scenari pre-simulazione 59
3.3 Risultati della simulazione 60
3.3.1 Crossing time (Legion) 60
3.3.2 Speed – output da Aimsun 61
3.3.3 Travel time – output da Aimsun 64
3.3.4 Distance 66

4 Sicurezza nelle intersezioni stradali **68**
4.1 Indici e analisi di sicurezza 68
4.1.1 PedISI 68
4.1.2 Analisi di sicurezza 69
4.1.3 Conflitti di traffico 71
4.2 Contromisure possibili da adottare 73
4.2.1 Controllo semaforico del traffico veicolare e pedonale 73
4.2.2 Posizionamento delle linee di STOP 78
4.2.3 Bottone di chiamata e tempo a disposizione 79
4.2.4 Segnalatori acustici 80
4.2.5 Puffin Crossing 81
4.2.6 Ulteriori segnalazioni 81
4.3 Valutazione degli aspetti di sicurezza 81
4.3.1 Determinazione degli scenari di traffico 81
4.3.2 Risultati implementazione SSAM 82

Conclusioni e sviluppi futuri **83**

Bibliografia **88**

Allegato 1 ..... **89**

Allegato 2 ..... **108**

Indice delle figure

Figura 1 - Conteggio manuale in sito. 11
Figura 2 - Registrazione flussi pedonali da videocamera. 12
Figura 3 - Conteggio automatico da video. 12
Figura 4 - Sensore a infrarossi passivi. 13
Figura 5 - Sensore a infrarossi attivi. 14
Figura 6 - Sensori piezoelettrici. 14
Figura 7 - Tecnologia onde radio. 15
Figura 8 - Termocamera e rilevazione di un pedone. 15
Figura 9 - Rilevazione pedonale con laser scanner. 16
Figura 10 - Sensori a rilevazione acustica o di pressione. 17
Figura 11 - Rilevazione tramite radar. 18
Figura 12 - Cortile interno Politecnico di Torino. 21
Figura 13 - Disposizione delle celle sull'area di interesse. 22
Figura 14 - Mancato riconoscimento prospettico. 23
Figura 15 - Sequenza 1. 24
Figura 16 - Sequenza 2. 25
Figura 17 - Sequenza 3. 25
Figura 18 - Attraversamento strada secondaria (*minor*) - Condizione 1. 30
Figura 19 - Attraversamento strada principale (*major*) - Condizione 2. 30
Figura 20 - Dati geometrici angolo intersezione. 35
Figura 21 - Attraversamento pedonale D sulla *major street.* 44
Figura 22 - Attraversamento pedonale C sulla *minor street.* 44
Figura 23 - Flussi di svolta - Attraversamento D. 51
Figura 24 - Flussi di svolta a sinistra "permessa" e svolta a destra con rosso. 51
Figura 25 - Mappa caricata in Aimsun per la costruzione del modello. 53
Figura 26 - Modello costruito in Aimsun. 54
Figura 27 - O/D routes. 55
Figura 28 - Profilo delle velocità UK commuters in Aimsun. 55
Figura 29 - Overview accessi all'intersezione. 56
Figura 30 - Matrice O/D pedonale scenario base. 57
Figura 31 - Controllo semaforico scenario base (rilievo). 57
Figura 32 - Controllo semaforico a ciclo ridotto (70s). 59
Figura 33 - Controllo semaforico a ciclo incrementato (110s). 59
Figura 34 - Costruzione scenario in Aimsun. 60
Figura 35 - Crossing time scenari base/stadio. 61
Figura 36 - Istogramma di frequenza scenario base. 62
Figura 37 - Speed (eventi registrati in Aimsun). 62
Figura 38 - Istogramma di frequenza scenario stadio Olimpico. 63
Figura 39 - Coppia O/D Nord-Est Scenario base. 64
Figura 40 - Coppia O/D Nord-Est Scenario stadio. 64
Figura 41 - Travel time pedoni/Ritardo veicoli. 65
Figura 42 - Travel time scenario base/stadio. 66
Figura 43 - Distanza percorsa movimento S-E. 67
Figura 44 - Step necessari per la valutazione della sicurezza pedonale 69
Figura 45 - Time to collision. 72
Figura 46 - Linea di stop lontana dall'attraversamento. 78

Figura 47 - Attraversamento pedonale largo. 79
Figura 48 - Disposizione segnalatori acustici. 80
Figura 49 - Intersezione urbana semaforizzata C.so Orbassano - Via Filadelfia. 89
Figura 50 - Orientamento e caratterizzazione degli attraversamenti. 89
Figura 51 - Flussi pedonali angolo NE intersezione Orbassano – Filadelfia rilevati. 90
Figura 52 - Flussi veicolari attraversamento "A" intersezione Orbassano – Filadelfia rilevati. 91
Figura 53 - Flussi veicolari attraversamento "B" intersezione Orbassano – Filadelfia rilevati. 91
Figura 54 - Effetto durata del ciclo sul corner circulation area – scenario base. 105
Figura 55 - Effetto durata del ciclo sul corner circulation area - scenario stadio. 106
Figura 56 - Effetto della durata del ciclo sul crossing circulation area. 106
Figura 57 - Effetto variazione geometria attraversamento sul crossing circulation area. 107
Figura 58 - Numerazione dei centroidi e identificazione degli attraversamenti. 108

Indice delle tabelle

Tabella 1 - Confronto fra le tecniche di rilevamento dei flussi pedonali. 19
Tabella 2 - Identificazione delle celle. 23
Tabella 3 - Risultati contatore POLICOUNT. 24
Tabella 4 - Risultati POLICOUNT celle 4c/5c. 26
Tabella 5 - Risultati POLICOUNT celle 1c/2c. 26
Tabella 6 - Tabella 19-9 HCM 2016 – LOS. 28
Tabella 7 - Traduzione tabella 19-28 HCM 2016 - Descrizione qualitativa dello spazio pedonale. 29
Tabella 8 - Dati e fonti. 32
Tabella 9 - Indici di rischio e livello di sicurezza. 70
Tabella 10 - Confronto fase esclusiva/simultanea. 77
Tabella 11 - Analisi dei conflitti fra veicoli 82
Tabella 12 - Tabella riassuntiva risultati ottenuti sull'intersezione Orbassano/Filadelfia. 105
Tabella 13 - Caratterizzazione dei centroidi. 108

Acronimi e definizioni

HCM	Highway Capacity Manual
LOS	Level of Service
PHF	Peak hour factor
RTOR	Right turn on red
O/D	Origin/Destination
TA	Time to accident
TTC	Time to collision
PET	Post encroachment time
LPI	Leading pedestrian interval

Introduzione

Nel corso degli ultimi anni il tema della mobilità sostenibile sta assumendo una rilevanza notevole. La crescita degli spostamenti effettuati con veicoli privati e di conseguenza del livello di traffico, induce un aumento del livello di congestione, oltre che del livello di inquinamento acustico e dell'aria, soprattutto nelle intersezioni urbane, interessate dal fenomeno di interruzione del traffico. Per tale ragione, c'è una tendenza da parte delle città a stimolare l'utilizzo di modi di spostamento alternativi all'autoveicolo, favorendo le opzioni di trasporto multimodali che prevedono la combinazione dell'utilizzo del trasporto pubblico, dei percorsi ciclabili e pedonali, nonché dei servizi di sharing, laddove disponibili.
In ogni caso, indipendentemente dalla tipologia di trasporto scelta, la componente pedonale dello spostamento è sempre presente in misura più o meno rilevante e le intersezioni urbane risultano i nodi critici per i flussi pedonali, che durante l'attraversamento devono condividere l'infrastruttura stradale con le altre componenti di traffico con potenziali conflitti da gestire.
Per poter ridurre la congestione a livello urbano e per ridurre i rischi legati alla vulnerabilità di un ambiente come quello dell'intersezione, si rende necessario analizzare contemporanemante tutte le modalità di trasporto interessate, calcolandone degli indici di prestazione e assegnando a quest'ultimi dei pesi proporzionali all'importanza che si vuole assegnare alle diverse opzioni di spostamento. Questa è una delle possibili leve, migliorando la qualità degli spostamenti pedonali, per indurre gli utenti verso una mobilità più sostenibile.
Considerando che generalmente le intersezione urbane sono regolate con tecniche e impianti semaforici prevalentemente orientati alla gestione dei flussi veicolari, data la loro rilevanza rispetto alle altre componenti, e considerando che il tema dei flussi pedonali diventerà in futuro sempre meno trascurabile, si è deciso di approfondire tale tema.
Questa tesi di laurea focalizza la propria attenzione, in particolare, sui flussi pedonali in un ambiente multimodale composto da veicoli e pedoni in corrispondenza di una intersezione urbana semaforizzata.
Lo scopo principale del lavoro risiede dapprima in un'estesa valutazione delle tecniche di rilevamento dei pedoni disponibili, e in seguito, nella valutazione dei fattori che incidono sul calcolo del livello di servizio e dei parametri rappresentativi del livello di sicurezza offerto ai pedoni, mediante osservazioni dirette sul campo e analisi di simulazione.
Per poter avere un'ampia visione delle tecniche a disposizione per il rilevamento della presenza e del movimento dei pedoni nei pressi di una intersezione si è reso necessario effettuare una ricerca di informazioni tecniche utilizzando articoli scientifici e materiale di divulgazione tecnico commerciale reso disponibile dagli stessi produttori di dispositivi. Questo ha permesso di ottenere delle informazioni utili al confronto fra le diverse tecniche e metodologie di misura.
La definizione del livello di servizio (LoS) offerto all'utenza pedonale fa riferimento alla procedura proposta nel manuale americano HCM redatto dalla Federal Highway Administration; i fattori considerati per lo sviluppo della procedura sono stati valutati sia mediante osservazioni dirette in un'intersezione semaforizzata presente nel comune di Torino, sia utilizzando i dati di output di un modello di simulazione costruito per la stessa intersezione. La stessa analisi in simulazione permette di valutare l'impatto di una possibile variazione dei flussi pedonali e della regolazione semaforica nell'intersezione considerata come ambiente di riferimento per gli esperimenti condotti.
Il tema della sicurezza, di notevole importanza negli attraversamenti stradali in particolare per il pedone, è trattato introducendo una serie di possibili tecniche di determinazione dei parametri identificativi del livello di sicurezza e fornendo alcuni rimedi utili alla riduzione del rischio. Le diverse tecniche possono essere utilizzate per la stima di indici riferiti alla priorità di intervento

per il miglioramento del livello di sicurezza, al rischio riconducibile all'esposizione dell'intersezione (illuminazione, segnaletica, localizzazione, visibilità, accessibilità) e alla valutazione dei conflitti veicolo-pedone (time to collision e post encroachment time).

Per poter analizzare in dettaglio le tematiche accennate, si è deciso di strutturare il lavoro di tesi organizzando gli argomenti per capitoli: (1) tecniche di osservazione dei flussi pedonali, (2) misurazione della qualità del servizio offerto all'utenza pedonale nei pressi di un attraversamento stradale, (3) analisi in simulazione, (4) valutazione del livello di sicurezza pedonale.
La valutazione delle diverse tecniche di osservazione disponibili, connesse alle tecnologie adottate (videocamera, infrarossi, radar, ecc.), ha permesso di effettuare un confronto utile per la definizione dei vantaggi ottenibili da ognuna di esse, come per esempio la definizione della direzione di movimento o la rilevazione della presenza del pedone in attraversamento. In seguito, è stato applicato un metodo di rilevamento automatico dei pedoni, mediante uno specifico software, facendo riferimento ad uno scenario simile ad un angolo di una intersezione, oggetto di analisi in questo lavoro di tesi. Durante la fase di implentazione di suddetta tecnologia sono stati analizzati i punti chiave relativi al posizionamento della telecamera, alle aree di conteggio dei pedoni, e della possibile tecnica di individuazione della direzione di movimento.
Individuate le diverse alternative, si è scelto di utilizzare una tecnica di conteggio manuale dei flussi utilizzando le immagini registrate in una intersezione nel comune di Torino. Non è stato possibile effettuare un calcolo automatico dei flussi pedonali in quanto le immagini disponibili ad oggi alla centrale di controllo del traffico della città sono di qualità non adeguata a quella richiesta dalla procedura di calcolo automatico adottata. Le videocamere, inoltre, visto il posizionamento, sono predisposte all'osservazione dei flussi veicolari piuttosto che quelli pedonali.
Le informazioni ricavate dal conteggio, sono state utilizzate per l'applicazione di un modello di calcolo del livello di servizio, implementato mediante foglio elettronico, consentendo l'applicazione del metodo HCM ad una intersezione reale. La stessa intersezione è stata poi presa come riferimento anche in Aimsun per l'analisi in simulazione, valutando scenari ipotetici sviluppati partendo dai dati effettivamente rilevati sul campo.
In ultimo, vengono proposte alcune soluzioni per il miglioramento dei livelli di sicurezza offerti all'utenza pedonale ed un esempio di calcolo di alcuni parametri identificativi della priorità di intervento, degli indici di rischio e di valutazione dei conflitti veicolo-pedone mediante indicatori che analizzano le traiettorie di veicoli.

1 Tecnologia per il rilevamento dei flussi pedonali

Il monitoraggio dei flussi pedonali assume un ruolo fondamentale nella valutazione dei rischi e della sicurezza stradale, considerati i possibili punti di conflitto con i veicoli in un ambiente quale l'intersezione urbana e per le possibili applicazioni abilitate da tale informazione. Infatti, il monitoraggio dell'utenza considerata più debole, può essere utilizzato per un'analisi mirata alla definizione di nuovi piani semaforici che tengano conto di un ambiente multimodale in cui l'utente si sposta, piuttosto che di un sistema di regolazione, come quello generalmente osservabile nelle città, in cui è il traffico veicolare assume il ruolo principale.

1.1 Stato dell'arte

Allo stato attuale, il monitoraggio dei flussi pedonali nei pressi di una intersezione urbana, può essere eseguito con diverse tecnologie e tipologie di sensori. Si riporta una descrizione delle diverse tecniche disponibili [1][2][3]:

- *Conteggio manuale in sito*: la rilevazione dei flussi pedonali è condotta manualmente da una o più persone contemporaneamente, a seconda della mole di dati da raccogliere e della grandezza dell'intersezione oggetto di esame. Il conteggio può essere eseguito utilizzando semplici supporti cartacei, contatori con click, app da smartphone e via di seguito. Un valore aggiunto derivante da suddetta tipologia di raccolta dati consiste nel possibile inserimento di informazioni dettagliate relative all'utenza interessata, quali per esempio sesso, età, comportamento nell'intersezione, direzione di marcia. I costi sono generalmente ridotti rispetto alle tecnologie illustrate nel seguito, sebbene le attività manuali siano consistenti, e l'analisi può essere estesa su più intersezioni nell'arco di una giornata.

Figura 1 - Conteggio manuale in sito.

- *Conteggio manuale da video*: i flussi pedonali possono essere ottenuti tramite conteggi manuali effettuati basandosi su registrazioni video provenienti da telecamere temporanee o permanenti installate nell'intersezione oggetto di analisi. Il vantaggio risiede nella possibilità di rivedere più volte le immagini, accertandosi di conseguenza che i conteggi risultino esatti e affidabili. Così come nel caso precedente, la registrazione del dato avviene su diverse tipologie di supporto (cartaceo, foglio elettronico, altro) e consente l'aggiunta di informazioni supplementari. I tempi di rilievo in sito sono ridotti notevolmente ma allo stesso tempo la durata della fase di

conteggio a posteriori dipende dalla quantità di dati da analizzare durante la fase di studio delle immagini registrate.

Figura 2 - Registrazione flussi pedonali da videocamera.

- *Conteggio automatico da video (videocamera):* il conteggio dei flussi pedonali può avvenire mediante una soluzione del tutto automatizzata, elidendo il conteggio manuale. Per far questo, si ricorre all'utilizzo di appositi algoritmi capaci di individuare tutte le tipologie di utenze interessate nell'intersezione (veicoli, trasporto pubblico/mezzi pesanti, pedoni, ciclisti). Contemporaneamente alla fase di individuazione, si possono ottenere informazioni aggiuntive relative alle direzioni di movimento e alle manovre di svolta. Un esempio, indicato nella figura a destra, è sviluppato dalla *Iteris* con il sistema PedTrax, capace di identificare e tracciare i pedoni nei pressi di una intersezione/attraversamento pedonale (https://www.iteris.com/products/pedestrian-and-cyclist/pedtrax).

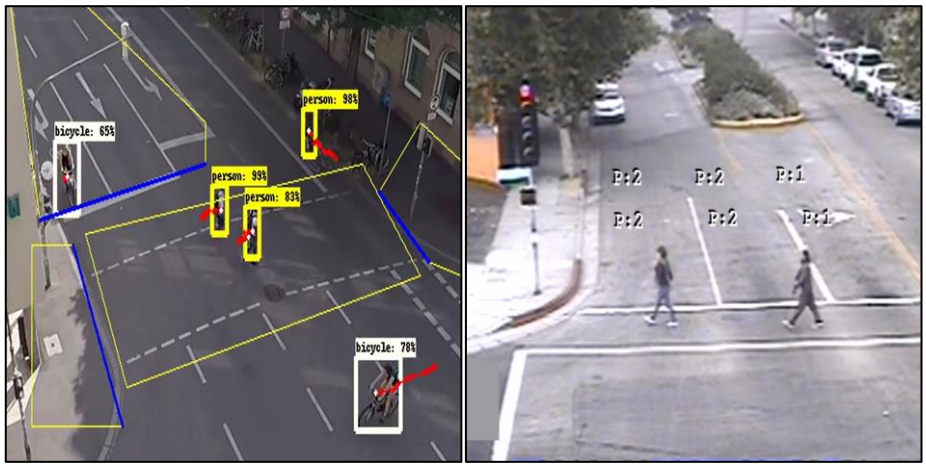


Figura 3 - Conteggio automatico da video.

Ulteriori esempi di rilevazione del traffico pedonale nei pressi di una intersezione sono quelli che fanno riferimento ai sensori sviluppati da *Traficon*, con i sensori *C-Walk e SafeWalk* [4], capaci di rilevare la presenza dei pedoni sia in attesa che in fase di attraversamento. Utilizzando queste informazioni si possono fare diverse operazioni con la regolazione semaforica, potendo gestire i tempi di verde sulla base di quello che accade ai flussi veicolari e pedonali, osservati in tempo reale.

- *Infrarossi passivi*: la tecnica ad infrarossi passivi è in grado di rilevare la radiazione emessa da un pedone di passaggio nei pressi del dispositivo; il pedone, infatti, possiede una temperatura superiore allo zero ed emette di conseguenza energia sotto forma di radiazione luminosa, individuabile dal sensore nel suo campo di vista. Il sensore (detto anche piroelettrico) è generalmente piccolo, portatile e facile da installare.
I dispositivi che utilizzano tale tecnica sono particolarmente adatti per una collezione dati permanente o comunque di durata pari ad alcune settimane, se alimentati da batterie. Questi sensori, non sono in grado di distinguere un passaggio di un pedone o di un ciclista e per far sì che il dato restituito risulti caratteristico di una certa classe, si possono adottare diverse strategie. Tra queste si può pensare di installare il sensore su percorsi riservati al transito dei soli pedoni (marciapiedi/passerelle) o dei soli ciclisti (corsie ciclabili), oppure utilizzare il sensore in sedi promiscue in combinazione con altre tecnologie per garantire risultati più accurati (i.e. si sottraggono i conteggi delle bici dai conteggi ottenuti da sensore ad infrarossi per ottenere i conteggi dei pedoni).
Un esempio di prodotto è quello appartenente alla gamma Pyro, consultabile al sito https://www.eco-compteur.com/it/prodotti/gamma-pyro/pyro-box , realizzato dall'azienda Eco-Contatore. Il dispositivo, che sfrutta appunto la tecnica ad infrarossi passivi, è in grado di conteggiare e rilevare la presenza di una o più persone su un determinato percorso, fornendo così l'informazione necessaria per eventuali analisi dei flussi pedonali.

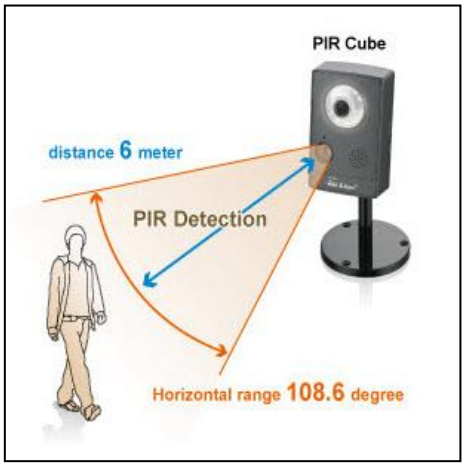


Figura 4 - Sensore a infrarossi passivi.

- *Infrarossi (attivi)*: l'altra tecnica ad infrarossi (attiva) sfrutta due strumenti, un emettitore ed un ricevitore. Il primo ha il compito di emettere un fascio di luce che viene a sua volta ricevuto dal secondo; qualora il fascio di luce dovesse essere interrotto, questo lascia intendere la presenza del pedone sul fascio emesso e di conseguenza conduce alla sua rilevazione.
Il sensore può essere posizionato, così come nel caso precedente, sia in corrispondenza di percorsi utilizzati contemporaneamente da pedoni e ciclisti, sia in percorsi riservati alle singole utenze. Analogamente al caso della tecnica ad infrarossi passivi, l'installazione è semplice e l'utilizzo può essere combinato ad altre tecniche di rilevazione al fine di ottenere un dato di notevole accuratezza, qualora si avesse la necessità di individuare la presenza dell'una o dell'altra utenza in ambienti comuni.

Figura 5 - Sensore a infrarossi attivi.

- *Sensori piezoelettrici*: questa tipologia di sensori è composta da materiali piezoelettrici generalmente installati nella pavimentazione. Ogni qual volta una persona è in movimento sul sensore, viene generato un impulso elettrico ed il corrispondente passaggio viene registrato. Il vantaggio principale di suddetta tecnica risiede nei bassi costi di manutenzione, nei livelli di consumo ridotto e nella possibilità di coprire aree estese. In parallelo, i sensori piezoelettrici presentano svantaggi in termini di costi di installazione e possibilità di mancata distinzione fra singole persone e gruppi di persone.
Suddetta tecnologia, qualora predisposta, può essere utilizzata anche per la localizzazione e il tracciamento degli spostamenti pedonali.
Per maggiori informazioni sui prodotti, uno dei siti consultabili è https://www.q-free.com/products/cycle-pedestrian-monitoring/ .

Figura 6 - Sensori piezoelettrici.

- *Onde radio*: così come per la tecnica ad infrarossi attivi, è prevista l'installazione di un emettitore ed un ricevitore: dal momento in cui l'onda radio viene interrotta, viene rilevato un oggetto, che nel caso in esame è un pedone, ma potrebbe essere anche un ciclista, a seconda della frequenza a cui si fa riferimento. I dispositivi devono essere posizionati esattamente l'uno di fronte all'altro in modo da poter avere una linea diretta di collegamento. Le onde emesse sono in grado

di oltrepassare oggetti di diversa natura (i.e. legno, plastica), per cui possono anche essere nascosti, evitando così di rimanere a vista e soggetti ad eventuali atti di vandalismo.

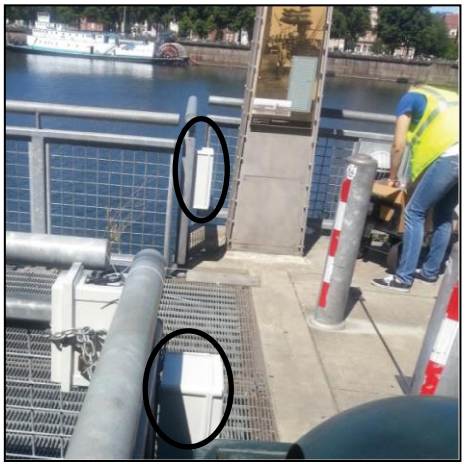


Figura 7 - Tecnologia onde radio.

- *Termocamere*: la presente tecnologia è in grado di rilevare la presenza di un oggetto/corpo sulla base della sua temperatura e del calore emesso. Così facendo riescono, oltre che a identificarli, anche a seguirne la traiettoria di movimento, fornendo un'informazione particolarmente utile ai fini dell'analisi. Un esempio di sensore che utilizza la termografia per rilevare la presenza di pedoni o ciclisti che si accingono ad impegnare l'incrocio, è quello proposto dalla FLIR (modello TrafiOne) [5]. Inoltre, la tecnologia proposta è in grado di acquisire i dati sul flusso di traffico monitorando gli indirizzi MAC dei dispositivi Wi-Fi, fornendo quindi ulteriori dati in corrispondenza degli incroci.

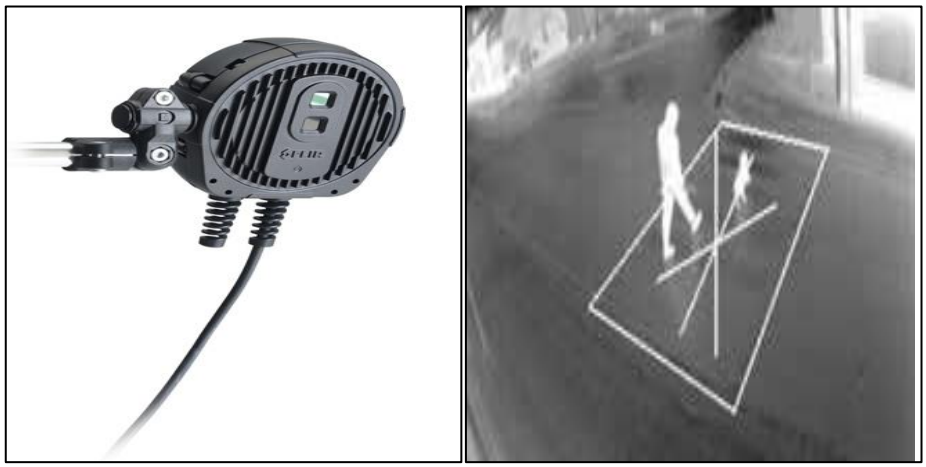


Figura 8 - Termocamera e rilevazione di un pedone.

- *Laser Scanner*: il sensore con tecnologia laser scanner rileva la presenza dei pedoni sulla base del fascio di luce riflessa; in questo caso, infatti, il laser scanner è in grado di emettere fasci di luce in diverse direzioni e, sulla base della luce riflessa, è in grado di rilevare la presenza di un pedone

nell'intersezione. I laser scanner possono essere utilizzati sia per la rilevazione in direzione verticale, sia per la rilevazione in direzione orizzontale; qualora risultino installati per un tempo indeterminato, necessitano di essere supportati elettricamente con un collegamento ben definito. Si richiede infine il posizionamento al di sopra dell'area sottoposta al rilevamento, evitando aree nella quale le persone preferiscono sostare (fermate del trasporto pubblico, angoli delle strade, ecc.).

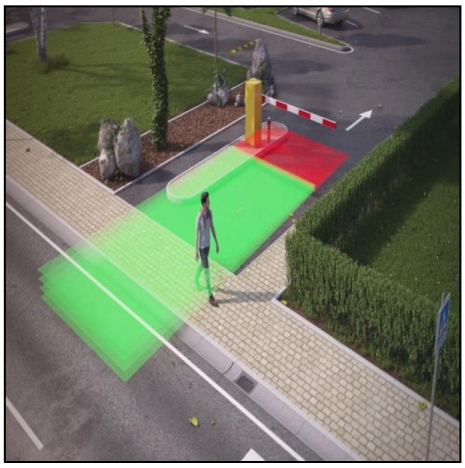


Figura 9 - Rilevazione pedonale con laser scanner.

- *Sensori a rilevazione acustica o di pressione*: i sensori a rilevazione acustica o di pressione, utilizzati soprattuto laddove non esistono superfici pavimentate, possono essere installati al di sotto della superficie interessata dal rilievo (ad una determinata profondità) o a filo terreno. Nel primo caso, relativo ai dispositivi a rilevamento acustico, il passaggio dei pedoni genera delle onde che si propagano all'interno del terreno. Nel secondo caso, la rilevazione del passaggio del pedone, avviene tramite la misurazione della variazione di pressione generata. L'installazione al di sotto di superfici pavimentate richiede la rimozione della stessa, imponendo di conseguenza uno sforzo economico maggiore.

Il sensore a rilevamento acustico, inoltre, è in grado di identificare solamente il passaggio dei pedoni, a differenza dei sensori a rilevazione di pressione capaci di distinguere il passaggio di un pedone da quello di un ciclista (vengono utilizzati infatti in ambienti misti). Qualora si ipotizzasse la marcia dei pedoni su diverse file, è richiesta l'installazione di più dispositivi posizionati parallelamente, così come in figura.

Figura 10 - Sensori a rilevazione acustica o di pressione.

- *Radar*: La tecnologia Radar trasmette radiazioni elettromagnetiche verso la zona di interesse tramite l'utilizzo di un'antenna. Quando un oggetto oltrepassa la radiazione trasmessa, parte di quest'ultima è riflessa verso l'antenna. Esistono due tipologie di sensori radar: uno trasmette onde a frequenza costante (in cui si sfrutta l'effetto Doppler[1]), mentre l'altro trasmette onde a frequenza variabile. Mentre nel primo caso si riesce solamente a stabilire la presenza di oggetti in movimento (non è possibile individuare oggetti immobili), nel secondo caso si riesce a stabilire sia la sola presenza sia il movimento.

La rilevazione del pedone tramite l'utilizzo dei radar posti in corrispondenza degli attraversamenti, può essere utilizzata come strumento di input per la regolazione semaforica dell'incrocio; infatti, qualora il radar non dovesse rilevare nessuna presenza pedonale, sarebbe in grado di trasferire l'informazione al controllo semaforico che garantirebbe il passaggio ai veicoli. Allo stesso tempo, può essere utilizzato come strumento che migliora la sicurezza dell'attraversamento (trattata in seguito), prolungando la fase semaforica semmai dovesse rilevare la presenza di un pedone sull'attraversamento [6].

Un esempio di prodotto presente ad oggi in commercio è quello proposto dalla *agd-system*, capace di rilevare il movimento bi-direzionale dei pedoni sull'area interessata dall'attraversamento [7].

[1] L'**effetto Doppler** è un fenomeno fisico che consiste nel cambiamento apparente, rispetto al valore originario, della frequenza o della lunghezza d'onda percepita da un osservatore raggiunto da un'onda emessa da una sorgente che si trovi in movimento rispetto all'osservatore stesso.

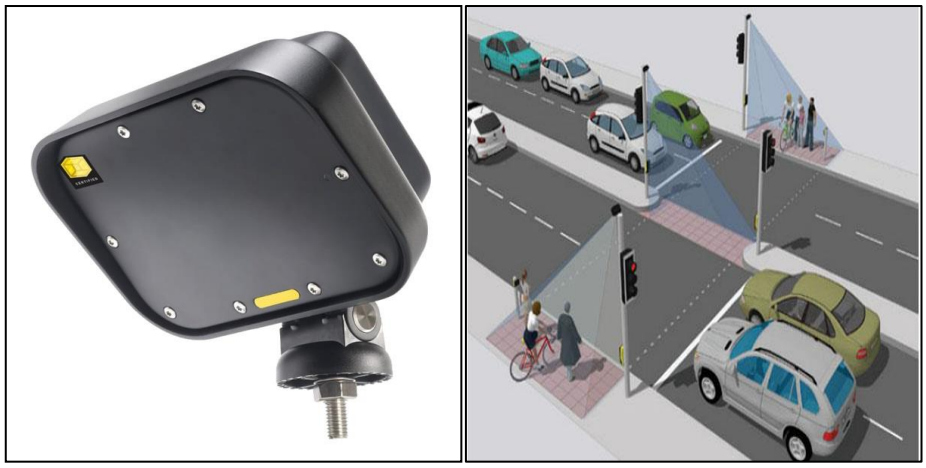


Figura 11 - Rilevazione tramite radar.

1.1.1 Confronto fra le diverse tecniche di rilevamento

Si riporta, sulla base dei riferimenti precedentemente citati, un confronto fra le diverse tecniche di rilevamento dei flussi pedonali.

CARATT.CHE	Conteggio manuale[2]	Conteggio automatico[3]	Infr. Passivi	Infr. Attivi	Sensori piezoel.	Onde radio	Termocam.	Laser scanner	Ril. Acustica/press.	Radar
Tipologia di utente rilevato										
Pedoni/Ciclisti	SI	SI	SI	SI	-	SI	SI	SI	-	SI
Solo Pedoni	SI	SI	SI	-	SI	SI	SI	-	Ril.acustici	SI
Distinzione pedone – ciclista	SI	SI	NO[4]	NO[4]	-	SI	SI[5]	NO	SI	SI
Caratteristiche rilevate										
Distinzione tipologia di pedone	SI	SI	-	-	NO	SI	-	NO	NO	NO
Direzione di spostamento	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	-	SI

[2] Conteggio manuale: tiene conto dei conteggi da video.
[3] Conteggio automatico: procedure completamente automatizzate con eventuali controlli manuali.
[4] Distinzione pedone-ciclista: può avvenire solo se utilizzato in combinazione con altro dispositivo.
[5] Distinzione – termocamera: esistono diverse tipologie di termocamere che permettono di rilevare pedoni, ciclisti e veicoli.

Caratteristiche pedone[6]	**SI**	**SI**	**NO**	**NO**	**NO**	**NO**	**NO**	**NO**	**NO**	**NO**
Tipologia di sito interessato										
Tracciato ad uso multiplo	**SI**	**SI**	**SI**	**SI**	-	**SI**	**SI**	-	**SI**	-
Marciapiede	**SI**	**SI**	**SI**	**SI**	-	**SI**	**SI**	**SI**	**SI**	**SI**
Tracciati condivisi	**SI**	**SI**	-	-	-	-	**SI**	-	**SI**	-
Attraversamento pedonale (dalla mezzeria)	**SI**	**SI**	-	**SI**	-	**SI**	**SI**	**SI**[7]	-	**SI**
Attraversamento pedonale (dalla fine)	**SI**	**SI**	-	-	-	-	**SI**	**NO**	-	**SI**
Movimento di svolta(intersezione)	**SI**	**SI**	-	-	-	-	**SI**	-	-	-
Possibili problemi										
Occlusione[8]	-	-	**X**	**X**	-	**X**	-	-	-	-
Condizioni meteorologiche/Illum.ne	-	**X**	**X**	**X**	-	-	**X**	-	**X**	-
Alimentazione										
Batteria	-	-	**X**	**X**	**X**	**X**	-	-	**X**	-
Dati rilevazione										
Volume[9]	+ +	+ + +	+ +	+ + +	+	+ +	+ + +	-	-	-
Larghezza zona rilevazione[10]	+ + +	+ + +	+ + +	+ + +	+ +	+	+ +	+ +	+ + +	+ + +
Durata[11]	+ +	+	+ + +	+ + +	+ + +	+ + +	+ + +	+ + +	+ + +	+ + +

Tabella 1 Confronto fra le tecniche di rilevamento dei flussi pedonali.

[6] Caratteristiche del pedone: età, sesso, comportamento, ecc.
[7] Attraversamento pedonale (dalla mezzeria): il raggio d'azione del Laser scanner è limitato, per cui si ipotizza che sia in grado di rilevare il pedone dalla mezzeria e non dal lato opposto dell'attraversamento.
[8] Occlusione: quando due o più pedoni sono allineati o il flusso pedonale è elevato, c'è la possibilità di non rilevare qualcuno di essi
[9] Volume: + : fino a 200 utenti/h; + +: fino a 600 utenti/h; + + + : oltre 600 utenti/h.
[10] Larghezza: +: fino a 4 metri; + +: fino a 6 metri; + + +: oltre 6 metri.
[11] Durata: +: fino a 48h; + +: non permanente ma superiore a 48h; + + +: permanente

1.2 Rilievo automatico dei flussi pedonali

Nel capitolo 1 sono state introdotte tutte le tecniche ad oggi utilizzabili per il rilevamento dei flussi pedonali. Fra queste vi è la tecnica di rilievo automatico da video, che permette la rilevazione dei movimenti dei pedoni e il loro conteggio nell'area oggetto d'interesse, elaborando una sequenza di immagini che possono essere acquisite in tempo reale o registrate.
Nel presente lavoro di tesi, si è deciso di utilizzare il software POLICOUNT, disponibile al Politecnico di Torino; nei paragrafi successivi verranno illustrate le specifiche del software e un esperimento effettuato in un ambiente interno all'Università (cortile) utilizzato da pedoni [14].

1.2.1 Specifiche tecniche del SW di analisi video

POLICOUNT è un software che permette di effettuare i conteggi degli oggetti in movimento in maniera del tutto automatica utilizzando delle videoriprese. Per poter lavorare in maniera corretta è necessario che la telecamera utilizzata per la registrazione delle immagini, rimanga in posizione fissa senza subire alcuna oscillazione.
Per l'utilizzo del software, è richiesto un video in formato AVI, con almeno 25 fotogrammi per secondo.
Gli oggetti in movimento vengono rilevati attraverso:

- Una campitura colorata;
- Un baricentro;
- Un numero che indica le dimensioni in pixel dell'oggetto.

Il software permette di impostare tre diverse soglie di pixel in modo da identificare diverse categorie di oggetti in movimento; per esempio, la rilevazione di un ciclista potrebbe essere effettuata imponendo una soglia minima più alta rispetto alla rilevazione di un singolo pedone (in quanto quest'ultimo molto probabilmente sarà identificato con un numero inferiore di pixel).
Il passaggio dell'oggetto viene rilevato all'interno di una cella (o eventualmente più celle) che dovrà essere costruita e posizionata in modo da evitare problemi di vista prospettica; infatti, in alcuni casi, data la prospettiva, l'errato posizionamento della cella potrebbe non rilevare il baricentro dell'oggetto in movimento e quindi causare il mancato conteggio dello stesso.
Il software, in origine, non permette la rilevazione secondo determinate direzioni di spostamento, ma effettua semplicemente il conteggio di qualsiasi oggetto dotato di baricentro, che rispetta la soglia minima di rilevamento, passante all'interno di una cella posizionata nell'area di interesse.
Una volta effettuato il conteggio, l'utente può decidere se esportare i dati in formato XLS o ACCESS (database); nei dati di output viene associato un ID ad ogni cella, e per ognuna di esse vengono forniti i dati relativi al conteggio, alle soglie minime e alle coordinate. Inoltre, si avranno a disposizione tante righe quanti sono gli oggetti rilevati nelle diverse celle disegnate, e ad ogni conteggio, oltre ad associare le coordinate saranno associati anche i tempi esatti di rilevamento e le dimensione delle campiture di rilevamento degli oggetti.

1.2.2 Esperimento di rilievo presso il Politecnico di Torino

Nel presente lavoro di tesi, considerate le normative vigenti in termini di privacy e per semplificare i processi autorizzativi, si è deciso di testare la procedura di conteggio automatico effettuando una

ripresa con videocamera GOPRO dal terzo piano del dipartimento DIATI, in modo da rendere le immagini utili per il conteggio degli oggetti in movimento (vista prevalentemente d*all'alto) ma allo stesso tempo inutilizzabili per l'individuazione dettagliata degli oggetti presenti (nessun pedone è riconoscibile ad occhio nudo).
Si riporta, in Figura 12, un'immagine della vista del cortile interno del Politecnico di Torino, preso come riferimento per l'analisi oggetto di studio in quanto la geometria è paragonabile ad un angolo di una intersezione urbana semaforizzata, in cui, come si vedrà, l'accesso/uscita alla struttura situato in alto a destra, può essere immaginato come l'ingresso/uscita di un attraversamento pedonale.

Figura 12 - Cortile interno Politecnico di Torino.

Una volta identificata l'area di interesse, si è passati alla ripresa tramite GOPRO, per una durata di circa 10 min. Il video è stato poi caricato su POLICOUNT per la successiva fase di analisi.

Considerata l'area a disposizione, si è deciso di costruire 5 celle, due nel corridoio superiore, due nel corridoio sulla destra ed una sulla porta d'ingresso in alto a destra (Figura 13). La scelta di posizionare due celle ravvicinate è adottata per poter sperimentare la possibilità di rilevare anche la direzione di movimento; infatti, se due celle ravvicinate rilevano a distanza di pochi secondi un oggetto, è possibile che quest'ultimo si stia muovendo in un certa direzione, che a sua volta potrebbe essere individuata facendo una differenza fra gli orari di rilevamento.

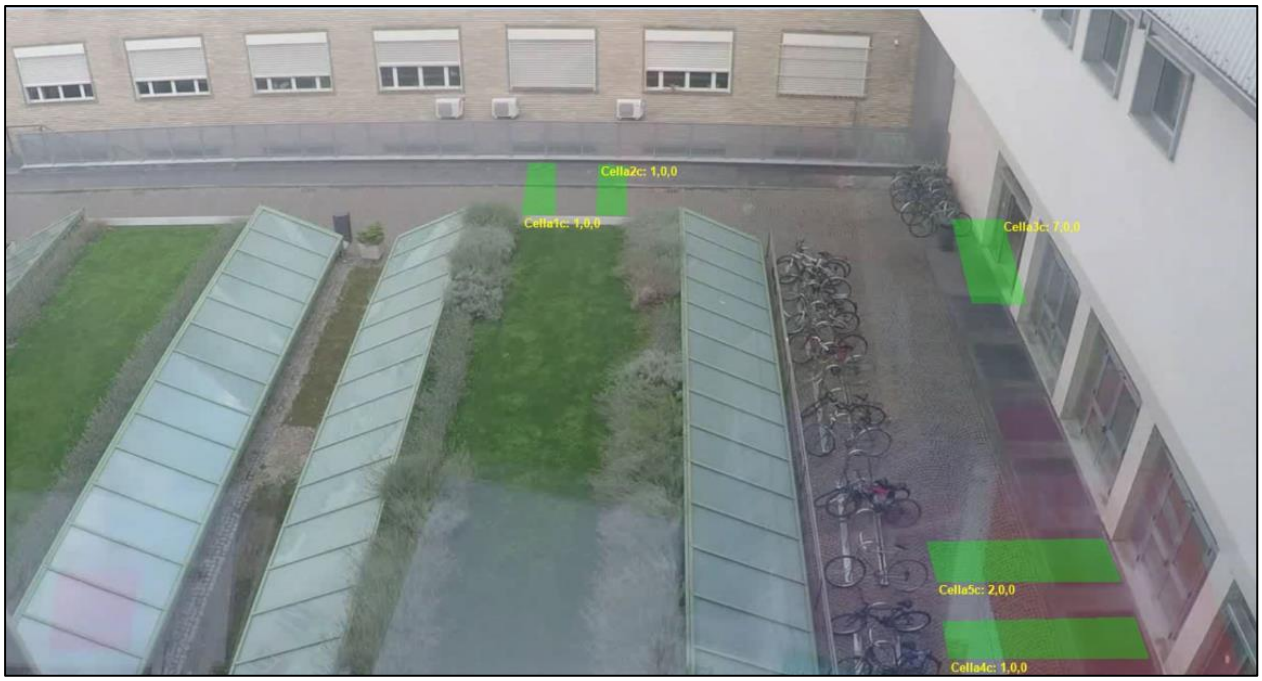


Figura 13 - Disposizione delle celle sull'area di interesse.

Costruite le celle, è stata impostata una soglia minima di rilevamento degli oggetti pari a 15 pixel, determinata per tentativi usando la modalità del software in fase di simulazione. In questo tipo di fase (il conteggio non viene registrato) si è osservato che tutti gli oggetti in transito sono stati rilevati con un numero di pixel superiore a 30, e per tale motivo si è scelto, in fase di conteggio, di impostare una soglia minima pari a 15 pixel.
Da come si può notare, la cella in alto a destra, non è stata disegnata esattamente davanti l'ingresso bensì ad una certa altezza; la vista prospettica infatti, potrebbe causare il mancato rilevamento del baricentro dell'oggetto, per cui si è deciso di posizionare la cella in una posizione in cui il baricentro sarebbe stato rilevato in maniera netta. Per le altre celle il problema della vista prospettica non è sorto in quanto tutti gli oggetti in movimento avrebbero calcato sicuramente una parte della cella disegnata.

Conclusa la sezione relativa al caricamento del video e alla costruzione delle celle utilizzate per il rilevamento degli oggetti in movimento, si è passati alla fase del conteggio.
Come accennato nel paragrafo precedente, l'algoritmo non è in grado di riconoscere la direzione di movimento, ma registra semplicemente in passaggio all'interno di una cella; la direzione dunque, rimane una grandezza derivata.
Durante la fase di simulazione è stato osservato un problema di riconiscimento dovuto al posizionamento della telecamera ; sul corridoio superiore, data la vista prospettica, non è stato possibile rilevare la presenza di due pedoni affiancati durante la marcia. E' stato individuato un solo baricentro, di conseguenza tale mancanza potrebbe essere un problema qualora, in eventuali analisi future, si dovesse prendere in considerazione tale tecnica di rilevamento dei flussi pedonali.
Si riporta di seguito una figura rappresentativa del problema appena esposto (Figura 14).

Figura 14 - Mancato riconoscimento prospettico.

Dalla figura si osserva chiaramente come le persone in movimento siano 2, identificate da un solo baricentro e da un numero di pixel relativamente alto (dovuto probabilmente al maggior ingombro dei due oggetti).

Conclusa la fase di conteggio, si passa all'analisi dei risultati ottenuti, illustrati nel paragrafo successivo.

1.2.3 Analisi dei risultati di conteggio

Una volta conclusa la fase di conteggio, il software memorizza i risultati ottenuti in un database (ACCESS) o in un foglio elettronico (EXCEL) a seconda delle preferenze scelte dall'utente; nel caso in esame si è deciso di utilizzare un output su database.
Si focalizza a questo punto l'attezione sui conteggi rilevati nelle diverse celle, identificate ognuna da un unico ID, come riportato in Tabella 2:

ID	Cella
74	1c
75	2c
76	3c
77	4c
78	5c

Tabella 2 - Identificazione delle celle.

Come accennato in precedenza, è stata impostata una sola soglia pari a 15 pixel per cui tutti gli oggetti in movimento rilevati hanno un baricentro e una dimensione superiore ai 15 pixel.
Si riporta, nella tabella di seguito, il risultato del contatore numero 1 (esiste un contatore per ogni soglia, ma avendone impostata solo 1, in questo caso gli altri due contatori hanno conteggio nullo).

ID	Cella	Contatore
74	1c	21
75	2c	22
76	3c	40
77	4c	12
78	5c	17

Tabella 3 - Risultati contatore POLICOUNT.

Facendo riferimento alla Figura 13, si può notare come 40 persone siano passate attraverso la porta d'ingresso posizionata in alto a destra nell'immagine (cella 3c), di cui però di primo acchitto non si conosce la direzione di spostamento. Da un confronto con un conteggio effettuato manualmente, si è osservato che il corridoio superiore è stato interessato dal movimento di 20 pedoni in ingresso/uscita, 1 pedone era già presente sulla cella 3c al primo secondo di registrazione, mentre il corridoio inferiore è stato interessato dal movimento di 12 pedoni. Il fatto che la somma, conteggiata automaticamente, non coincida con l'osservazine reale, può essere dovuto ad un sovracampionamento da parte del software di eventuali pedoni che si sono soffermati per più tempo su di una cella.

Per poter dimostrare la differenza in termini numerici fra la cella 4c e 5c, si riporta ora un esempio che prende in considerazione alcune immagini di simulazione in sequenza per poterle confrontare con una parte dei dati di output ottenuti.

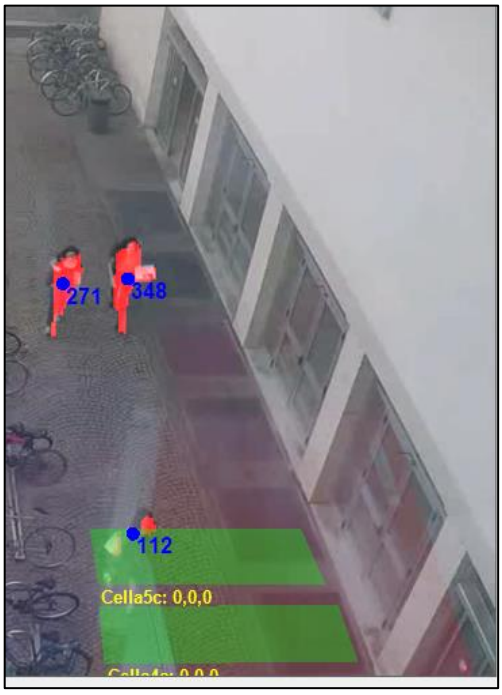


Figura 15 - Sequenza 1.

Figura 16 - Sequenza 2.

Figura 17 - Sequenza 3.

Si riporta ora, per completezza, il risultato registrato da POLICOUNT, relativo ai movimenti dei tre pedoni indicati nelle figure sopra riportate.

	ID	Cella	Ora rilevamento
Sequenza 1	77	4c	25/07/2018 11:37:02
	78	5c	25/07/2018 11:37:06
Sequenza 2	78	5c	25/07/2018 11:37:08
	78	5c	25/07/2018 11:37:27
	78	5c	25/07/2018 11:37:28
	78	5c	25/07/2018 11:37:29
	77	4c	25/07/2018 11:37:29
	78	5c	25/07/2018 11:37:31
	77	4c	25/07/2018 11:37:33
	77	4c	25/07/2018 11:37:35

Tabella 4 - Risultati POLICOUNT celle 4c/5c.

La Figura 15 rispecchia perfettamente quanto misurato, infatti il pedone che passa prima attraversa la cella 4c e poi attraverso la cella 5c (prime due righe della Tabella 4). Nella sequenza 2 (Figura 16), si può notare un incontro fra 3 pedoni; quest'ultimi decidono di spostarsi in seguito occupando nuovamente le celle 5c prima e 4c poi. Nonostante siano 3 pedoni, si registrano 4 passaggi consecutivi sulla cella 5c, poi un passaggio sulla cella 4c, di nuovo un passaggio sulla cella 5c e infine 2 passaggi sulla cella 4c. Al contrario, per un'esatta valutazione, il passaggio, seppur riferito a tre persone molto vicine, sarebbe dovuto essere rilevato 3 volte nella cella 5c e tre volte nella cella 4c, in qualsiasi ordine (si fa comunque riferimento a tempi molto vicini e persone affiancate). Questo confronto dimostra quindi come un pedone possa essere rilevato anche più di una volta nella stessa cella, generando così un'alterazione nei risultati finali.

Si riporta ora un esempio di studio della direzione di movimento a partire da alcuni risultati ottenuti.

ID	Cella	Ora rilevamento
74	1c	25/07/2018 11:33:45
75	2c	25/07/2018 11:33:48
74	1c	25/07/2018 11:33:58
75	2c	25/07/2018 11:33:55

Tabella 5 - Risultati POLICOUNT celle 1c/2c.

Per poter individuare la direzione di movimento di un pedone, si può ipotizzare di considerare due celle ravvicinate tali per cui, data una differenza di tempo molto piccola, si intuisce che lo stesso pedone ha prima varcato una cella e poi l'altra. La direzione può essere individuata facendo riferimento al posizionamento delle celle (Figura 13) e sottraendo l'ora di rilevamento di una cella con quella adiacente. In questo caso se si prendono le prima due righe della Tabella 5 si evince

che facendo la differenza dell'ora di rilevamento fra la cella 5c e la cella 4c si ottiene una differenza positiva, mentre se, considerando le ultime due righe, si fa la differenza dell'ora di rilevamento fra la cella 5c e la cella 4c, si ottiene una differenza negativa. Questo dimostra come le direzioni di movimento nei due casi siano opposte, per cui si potrebbe adottare tale metodo per l'individuazione della direzione.
Tale tecnica diventa però complessa quando in corripondenza di due celle ravvicinate si trovano 2 o più persone, per cui si potrebbero incontrare delle difficoltà sui riferimenti da considerare.
Suddetto problema potrebbe essere bypassato assegnando un preciso ID ad ogni pedone (al momento il software non lo permette), garantendo dunque la possibilità di seguirne il movimento.

In conclusione, si può sostenere che, il posizionamento della telecamera adottato e la disposizione delle celle, fanno sì che la procedura automatica riesca a generare dei risultati attendibili laddove i flussi pedonali siano ridotti e comunque non affiancati. Al contrario, laddove si presentino scenari particolari con presenza di più persone su più celle contemporanemante, o viste prospettiche particolari, le assunzioni fatte potrebbero generare dei valori non veritieri.
Contemporanemaente si può sostenere che il numero di pixel associato ad ogni oggetto in movimento risulta variabile a seconda della posizione occupata dall'oggetto; se, infatti, si fa riferimento alla Figura 15, il pedone situato più in basso è soggetto ad una vista meno prospettica rispetto agli altri due pedoni, per cui il numero di pixel è ridotto. Di conseguenza, lo stesso oggetto, risulta caratterizzato da un numero di pixel variabile durante il suo movimento.

2 Misura del livello di servizio per i pedoni (LoS)

2.1 Livello di Servizio Pedonale – Scopo della metodologia

Lo scopo della metodologia sviluppata nell'HCM (edizione 2016 – capitolo 19 del vol. 3) è quello di identificare la qualità del servizio (*LOS - Level Of Service*) percepita dal pedone in corrispondenza di un'*intersezione urbana semaforizzata*, a seconda dei tempi necessari per l' attraversamento della sede stradale e degli spazi a disposizione nell'intero contesto.
Suddetto indicatore, oltre che tener conto dei flussi pedonali e delle possibili interazioni fra essi, tiene conto di una serie di parametri rappresentativi del traffico veicolare circolante, delle caratteristiche geometriche dell'intera piattaforma e del controllo semaforico in atto.
La combinazione di detti parametri, secondo relazioni illustrate in seguito, conduce alla determinazione di un indice quantitativo denominato "*LOS SCORE* "; sulla base del risultato ottenuto, tale parametro può appartenere a determinate fasce, identificate con una precisa lettera dell'alfabeto variabile dalla A alla F, indicative del livello di servizio percepito (*LOS*).
Si riporta di seguito la relazione che intercorre fra i possibili valori assunti dal "*LOS SCORE*" e i corrispondenti livelli di servizio (Tabella 6).

LOS	LOS SCORE
A	≤ 1,50
B	> 1,50 - 2,50
C	> 2,50 - 3,50
D	> 3,50 - 4,50
E	> 4,50 - 5,50
F	> 5,50

Tabella 6 Tabella 19-9 HCM 2016 – LOS.

La lettera A rispecchia il miglior servizio offerto all'utenza pedonale, infatti, in queste circostanze, il pedone ha a disposizione lo spazio necessario per muoversi in completa libertà, senza modificare la propria traiettoria e alla velocità desiderata. Al contrario il livello di servizio F è identificativo della peggior qualità di servizio offerto, causata dalla mancanza dello spazio a disposizione ideale per il singolo pedone cui si aggiungono ridotte velocità di spostamento e cambi di traiettoria lungo il percorso desiderato.
Si riportano nei paragrafi successivi le condizioni e i dati richiesti per l'effettiva applicazione della metodologia.

2.2 Limiti spaziali

La performance dell'intersezione è valutata analizzando tutti gli attraversamenti pedonali, considerando di conseguenza tutti gli angoli che le appartengono. Tutte le variabili illustrate nei successivi paragrafi, ove non specificato, riguardano un singolo angolo dell'intersezione, raccordante uno o più attraversamenti. La metodologia assume inoltre che per ogni accesso dell'intersezione è previsto un attraversamento pedonale, salvo specifiche raccomandazioni da ordinanze locali (attraversamenti specificatamente proibiti).

2.3 Misure di performance dell'intersezione

Le misure di performance valide per l'utenza pedonale, includono (vengono riportate tra parentesi le variabili espresse nell'HCM):

- Area a disposizione del pedone nell'angolo dell'intersezione (*Corner circulation area)*;
- Area a disposizione del pedone lungo l'attraversamento pedonale (*Crosswalk circulation area)*;
- Ritardo (*Pedestrian delay)*;
- Punteggio del livello di servizio (*Pedestrian LOS Score)*.

Entrambe le misure di performance riferite all'area a disposizione del pedone sono basate sul concetto di spazio pedonale (*Pedestrian space*); la prima misura valuta lo spazio disponibile durante la fase di attesa nell'angolo dell'intersezione, la seconda indica il grado di affollamento sull'attraversamento pedonale ed è riconducibile alla possibilità di incrociare altri pedoni lungo il proprio percorso, inducendo quindi una modifica della traiettoria.
Si riporta la tabella proposta dal metodo HCM con una descrizione qualitativa dello spazio disponibile per il pedone (Tabella 7).

Spazio pedonale (ft^2/p)	Spazio pedonale (m^2/p)	Descrizione
> 60	> 5,5	Possibilità di muoversi lungo il percorso desiderato senza deviare la traiettoria
> 40 - 60	> 3,7 - 5,5	Occasionale necessità di deviare la traiettoria per evitare conflitti
> 24 - 40	> 2,2 - 3,7	Frequente necessità di deviare la traiettoria per evitare conflitti
> 15 - 24	> 1,4 - 2,2	Ridotta velocità e ridotta possibilità di superare i pedoni più lenti
> 8 - 15	> 0,7 - 1,4	Ridotta velocità e possibilità molto limitata di superare i pedoni più lenti
≤ 8	≤0,7	Velocità molto ridotta e frequente contatto con altri pedoni

Tabella 7 Traduzione tabella 19-28 HCM 2016 - Descrizione qualitativa dello spazio pedonale.

Da quanto è possibile osservare, al crescere dello spazio libero a disposizione del pedone, cresce l'abilità da parte dello stesso a muoversi lungo il percorso desiderato senza apporre modifiche alla traiettoria, favorendo così una migliore percezione dell'area interessata.

2.4 Limitazioni della metodologia

In relazione ad alcuni aspetti geometrici dell'intersezione, si riportano i seguenti vincoli da rispettare:

- Pendenze longitudinali inferiori al 2%;
- Assenza di attraversamenti ferroviari;
- Assenza di marciapiedi non pavimentati;
- Assenza di manovre di svolta a destra non controllate dal semaforo, con elevate velocità operative.

Se uno o più di un vincolo non dovesse essere rispettato, la metodologia non può essere applicata e l'analista dovrà quindi far riferimento a metodi o strumenti alternativi.

2.5 Flussi pedonali

La definizione dei flussi pedonali in un'intersezione è fondamentale per la costruzione e lo sviluppo della metodologia in esame. Oltre tale specificazione, si aggettivano le strade in arrivo all'intersezione come principali (*major*) e secondarie (*minor*) per descrivere in modo dettagliato le variabili prese in considerazione in seguito. Si riportano due figure (Figura 18 e Figura 19) tratte dal manuale HCM rappresentative dei flussi appena citati.

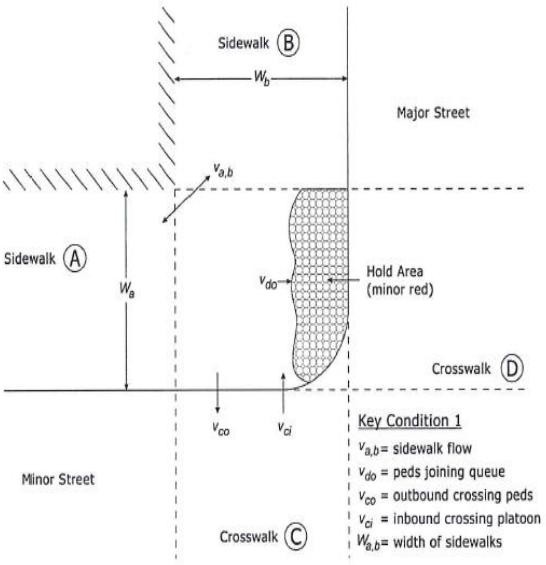


Figura 18 - Attraversamento strada secondaria (*minor*) - Condizione 1.

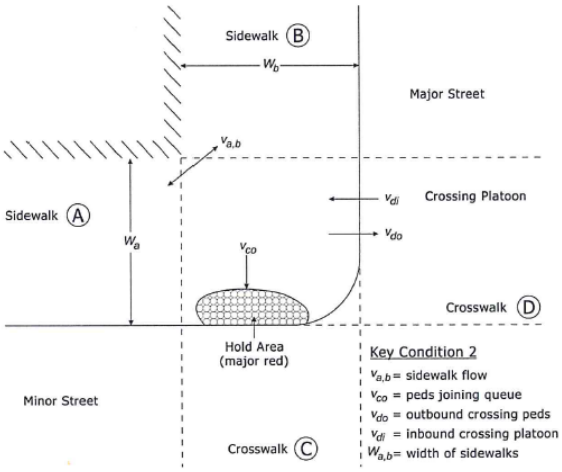


Figura 19 - Attraversamento strada principale (*major*) - Condizione 2.

Le due figure esposte rappresentano i due possibili scenari in corrispondenza di un angolo dell'intersezione durante un ciclo semaforico. La condizione 1 si verifica quando la fase che permette il passaggio dei veicoli sulla strada principale è attiva, al contrario la condizione 2 si verifica quando è attiva la fase che permette l'attraversamento dell'intersezione da parte dei veicoli provenienti dalla strada di minor importanza (secondaria). È di facile intuizione il fatto che nella condizione 1 i pedoni in attesa sono quelli interessati all'attraversamento della strada principale, mentre accade l'esatto contrario nella condizione 2, ovvero i pedoni interessati dal periodo di attesa sono quelli che transiteranno sull'attraversamento pedonale della strada secondaria. In ultimo, non è da omettere il flusso di pedoni di passaggio nell'angolo dell'intersezione e non interessati all'attraversamento pedonale in nessuna delle due direzioni (flusso pedonale $v_{a,b}$).

2.6 Dati e fonti

In questa sezione sono elencati e specificati singolarmente tutti i dati richiesti per l'applicazione della metodologia e le fonti per la definizione degli stessi. Tutti i dati dovrebbero essere valutati sul campo, nell'intersezione interessata dall'analisi; qualora un dato o più di uno non dovesse essere disponibile, si fa riferimento al valore di default suggerito dalla procedura. Si riportano in tabella le misure richieste (Tabella 8).

Dato e unità di misura	Livello di dettaglio	Fonte	Valore di default suggerito
Caratteristiche di traffico			
Flusso di domanda veicolare (veh/h)	M	Sul campo / Conteggi esistenti	Non applicabile, misura obbligatoria
Flusso di svolta a destra con semaforo rosso (veh/h)	A	Sul campo / Conteggi esistenti	Non applicabile, misura obbligatoria
Flusso di svolta a sinistra - permesso (veh/h)	M	Sul campo / Conteggi esistenti	Vedi dettagli
Velocità (85.imo percentile)	A	Sul campo	Limite di velocità
Flusso pedonale (ped/h)	M	Sul campo / Conteggi esistenti	Non applicabile, misura obbligatoria
Elementi geometrici			
Numero di corsie (ln)	L	Sul campo / Foto aeree	Non applicabile, misura obbligatoria
Numero di isole destinate alla svolta a destra (0, 1 o 2)	L	Sul campo / Foto aeree	0
Larghezza totale passerella/marciapiede (ft)	A	Sul campo / Foto aeree	Territorio uso commerciale: 9 ft Territorio residenziale o industriale: 11 ft
Larghezza attraversamento pedonale (ft)	L	Sul campo / Foto aeree	12 ft
Lunghezza attraversamento pedonale (ft)	L	Sul campo / Foto aeree	Non applicabile, misura obbligatoria
Raggio angolo intesezione (ft)	A	Sul campo / Foto aeree	Bus o Truck in manovra: 45 ft No Bus/Truck in manovra: 25 ft

Controllo semaforico			
Verde pedonale (*walk*) (s)	P	Sul campo	Adattativo: 7s Selezione di piano:
Giallo pedonale (*pedestrian clear)* (s)	P	Sul campo	Basato su velocità del pedone pari a 3.5 ft/s
Rest in walk (si o no)	P	Sul campo	Non disponibile
Lunghezza del ciclo (s)	I	Sul campo	Idem veicoli
Giallo + tutto rosso veicolare (*yellow change + red clearance)* (s)	P	Sul campo	4s
Durata della fase pedonale (s)	P	Sul campo	Idem veicoli
Presenza della lanterna semaforica pedonale (si o no)	P	Sul campo	Non applicabile, misura obbligatoria
Altro			
Durata del periodo di analisi(h)	I	Decisa dall'analista	0.25 h

Tabella 8 Dati e fonti.

Dove:

- M = Movimento: un valore per ogni manovra di svolta (sinistra, destra, attraversamento);
- A = Approccio: un valore per ogni accesso all'intersezione;
- L = Ramo: un valore per ramo dell'intersezione;
- P = Fase: un valore o condizione per ogni fase semaforica;
- I = Intersezione: un valore per l'intersezione.

2.6.1 Caratteristiche dei dati di traffico

In questa sezione si definiscono nel dettaglio tutti dati di traffico utili allo sviluppo della metodologia. Si descrivono le correnti di traffico che transitano nell'intersezione durante il periodo di analisi.

2.6.1.1 Flusso veicolare – Domanda

La domanda di flusso veicolare per un accesso di un'intersezione è definita come il rapporto tra i veicoli in arrivo all'intersezione dall'accesso durante il periodo d'osservazione e la durata dello stesso. Generalmente è espressa come flusso orario, ma potrebbe rappresentare anche periodi di analisi di durata inferiore.
Il numero di veicoli in arrivo all'intersezione è ottenuto tramite rilevazione diretta sul campo oppure tramite previsione degli arrivi ricavata da appositi modelli.
Quando i conteggi sono effettuati sul campo è necessario prestare particolare attenzione al punto in cui vengono effettuati; la domanda è basata sul conteggio effettuato a monte della coda formatasi nell'intersezione di interesse. La precisazione è dovuta all'eventuale sviluppo del fenomeno di congestione in cui i veicoli in uscita dall'intersezione potrebbero essere in numero minore rispetto a quelli in arrivo durante il periodo di analisi. Qualora si faccia riferimento ad un periodo di analisi di durata oraria e si voglia far riferimento al periodo di picco di durata 15 minuti, qualsiasi domanda (riferita ad ogni singolo movimento) dovrebbe essere divisa per il "*Peak Hour Factor*" (PHF) al fine di ottenere la domanda di traffico nei quindici minuti più caricati.

Allo stesso tempo, se si decidesse di analizzare la domanda in periodi temporali differenti nella giornata, è necessario avere a disposizione il dato della domanda per ogni singolo arco temporale scelto.
In ultimo, si precisa che devono essere forniti tutti i dati sui possibili movimenti di svolta nell'intersezione.

2.6.1.2 Svolta a destra con semaforo rosso

Il flusso di svolta a destra con semaforo rosso (indicato con *RTOR* nel manuale HCM) considera il numero di veicoli interessati dalla manovra di svolta a destra con lanterna semaforica rossa. Anche in questo caso il valore è espresso come flusso orario ma può far riferimento a periodi di analisi di durata inferiore.
È difficile prevedere o studiare tale quantità poiché dipende da una serie di fattori variabili fra le diverse intersezioni, tra cui:

- Tipologia corsia di approccio (condivisa o esclusiva per la svolta);
- Flusso di svolta a destra;
- Distanza di visibilità disponibile;
- Rapporto Volume-Capacità per movimenti in conflitto;
- Modelli di arrivo dei veicoli interessati dalla svolta durante il ciclo semaforico;
- Modelli di partenza dei movimenti in conflitto;
- Fase semaforica per la manovra di svolta a sinistra nei tratti interessati dai conflitti;
- Conflitti con le traiettorie dei pedoni.

Data la difficoltà di stima di suddetto flusso (*RTOR*), dovrebbe essere misurato direttamente sul campo laddove possibile. Nel caso in cui non si avessero a disposizione dati affidabili o provenienti da osservazioni dirette, si consiglia di assumere un valore di default pari a 0 vei/h.

2.6.1.3 Svolta a sinistra permessa

Detto flusso è definito come il numero di veicoli che compie la manovra di svolta a sinistra in modalità "permessa"[12] rapportato con la durata del periodo di analisi. Dato che la svolta a sinistra in un'intersezione semaforica può avvenire in modalità "permessa" o "protetta e permessa", suddetto flusso può essere analizzato sia nel primo che nel secondo caso. Qualora nell'intersezione la modalità di svolta a sinistra sia solamente permessa, il flusso in esame risulta essere uguale alla domanda.
Valori di *default* possono essere assunti nel momento in cui non si hanno a disposizione dati da campo oppure quando l'analisi è condotta su previsioni future. Nel caso la svolta sia progettata in

[12] La modalità permessa, generalmente attiva in tutti gli impianti semaforici, si distingue dalla modalità protetta in quanto in quest'ultima esiste una fase semaforica dedicata esclusivamente alla svolta a sinistra utile ad evitare l'incrocio con i flussi provenienti dalla direzione opposta.

modalità protetta-permessa il flusso da considerare nell'analisi è solo quello relativo agli arrivi durante il periodo in cui la fase è in modalità permessa[13].

2.6.1.4 Velocità (85.imo percentile)

L'85.imo percentile della velocità rappresenta il valore della velocità massima a cui si attiene l'85% degli utenti veicolari, o meglio la velocità che viene superata solo nel 15% dei casi. La velocità d'interesse è quella che si riferisce ai veicoli in arrivo all'intersezione dai diversi approcci ed è misurata ad una distanza sufficientemente lontana al punto da non essere influenzata dalle operazioni che avvengono al suo interno. Il valore misurato deve essere rappresentativo delle effettive condizioni di traffico presenti durante il periodo di analisi. In mancanza di un dato affidabile, si fa riferimento al valore di default posto pari al limite di velocità del ramo interessato.

2.6.1.5 Flusso pedonale

Il flusso pedonale si ottiene rapportando il numero di pedoni in transito nell'angolo interessato con la durata del periodo di analisi. Tale flusso è specificato per ogni movimento possibile; infatti, come ben noto, un angolo funge da raccordo per due attraversamenti pedonali perpendicolari fra loro; ne risulta che i flussi pedonali possono essere cinque. Dei cinque movimenti, quattro sono rappresentativi dei flussi in ingresso e in uscita dagli attraversamenti, mentre l'ultimo identifica i pedoni provenienti dalle due direzioni (si sommano i flussi) che non sono interessati all'attraversamento e girano semplicemente l'angolo (vedi figure 18 e 19).

2.6.2 Dati geometrici

In questa sezione si riportano i dettagli geometrici da considerare nell'analisi dell'intersezione. Oltre che influire sui movimenti del traffico veicolare, influenzano le prestazioni anche dal punto di vista pedonale.

2.6.2.1 Numero di corsie

Il parametro rappresenta il numero di corsie previste per ogni movimento possibile nell'intersezione. Per una manovra di svolta, il conteggio rappresenta il numero di corsie riservate per l'uso esclusivo dei veicoli che compiono la manovra; in questo caso si tiene conto sia della corsia interamente riservata alla svolta che della corsia utilizzata per la canalizzazione.
Le corsie interessate da due o più movimenti di svolta sono considerate come corsie di attraversamento e descritte come condivise.
Se non è prevista alcuna corsia dedicata alla svolta, si associa il valore zero.
Il numero di corsie per ogni approccio all'intersezione dipende dai volumi in arrivo e dalla regolazione semaforica. Generalmente si prevede una sola corsia dedicata alla svolta quando i

[13] L'HCM il flusso di svolta a sinistra facendo riferimento al tasso degli arrivi durante il tempo di rosso effettivo (q_r=(1-P)*q*C/r)

volumi di traffico risultano compresi tra i 100 e i 300 veicoli/ora, mentre si prevedono due corsie dedicate se i volumi eccedono i 300 veicoli/ora.

2.6.2.2 Isole – svolta a destra

La variabile in esame rappresenta il numero di isole di svolta incontrate dal pedone durante la fase di attraversamento. L'isola deve essere identificata per mezzo di un cordolo con dimensione sufficientemente grande al punto da assumere la funzione di eventuale rifugio. Il numero previsto per le strade urbane può essere pari a 0, 1 o 2.

2.6.2.3 Marciapiede, attraversamento e raggio angolare

La descrizione della geometria dei marciapiedi e degli attraversamenti è indispensabile per lo studio degli spazi a disposizione di cui dispone mediamente un pedone in ogni angolo dell'intersezione.
Gli elementi oggetto di descrizione in questo paragrafo sono:

- Larghezza della passerella/marciapiede (L);
- Larghezza e lunghezza dell'attraversamento pedonale (W);
- Raggio angolare di raccordo tra i due marciapiedi (R).

Si riporta una figura contenente i dati geometrici sopra citati (Figura 20).

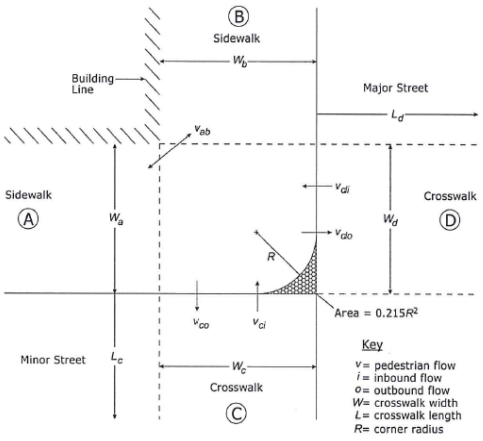


Figura 20 - Dati geometrici angolo intersezione.

Per larghezza totale del marciapiede si intende la distanza tra il bordo della pavimentazione (cordolo se presente) e il bordo del marciapiede (generalmente identificato da margini, pareti di edifici ecc.).
La larghezza dell'attraversamento è quella effettivamente osservata sulla pavimentazione (a meno di eventuali ostacoli rappresentati da ostruzioni quali pali di illuminazione pubblica, lanterne semaforiche ecc.).

La lunghezza dell'attraversamento è misurata come la distanza tra i due bordi esterni della pavimentazione (o distanza cordolo-cordolo ove presenti).
Infine, il raggio angolare non è altro che il valore del raggio della circonferenza che raccorda i due lati del marciapiede nei pressi dell'angolo dell'intersezione.

2.6.3 Controllo semaforico

In questa sezione si illustrano nel dettaglio tutti i dati inerenti al controllo semaforico e utili allo sviluppo della metodologia.

2.6.3.1 Verde pedonale (*Walk*)

Il tempo di verde pedonale è inteso come tempo necessario a percepire l'indicazione della lanterna semaforica e lasciare il marciapiede per attraversare la sede stradale prima che l'indicazione del giallo[14] appaia sulla lanterna. La metodologia proposta sostiene che nel caso in cui si abbia a che fare con fasi semaforiche adattative, il tempo di verde pedonale è fissato al tempo minimo dato dalla somma del tempo di percezione del segnale e del tempo necessario all'abbandono del marciapiede di partenza[15]. La metodologia inoltre assume che l'opzione *rest in walk* (trattata in seguito) non sia abilitata per fasi adattative o non coordinate.
Per le fasi pre-definite (*pretimed*), l'intervallo di verde pedonale è pari alla differenza tra il tempo di verde veicolare meno il tempo di giallo pedonale (*pedestrian clear*).
Per le fasi coordinate, il tempo di verde pedonale si ottiene detraendo dalla fase veicolare i tempi di giallo pedonale, giallo veicolare (*yellow change*) e rosso per tutte le fasi (*red clearance*).
Prevedendo i tempi di verde e giallo pedonale per il controllo semaforico in un'intersezione, si assume di conseguenza che sia prevista una lanterna semaforica dedicata ai pedoni. Laddove non prevista, il controllo semaforico di riferimento è quello veicolare.

2.6.3.2 Giallo pedonale (*Pedestrian Clear*)

Per tempo di giallo pedonale s'intende il tempo necessario al pedone per raggiungere l'estremo opposto della sede stradale dopo aver iniziato la fase di attraversamento con verde pedonale. In alcuni casi si ipotizza che la durata sia pari al tempo di attraversamento, ottenuto dividendo la distanza fra i due estremi della pavimentazione con la velocità media di attraversamento dei pedoni. In altri casi, invece, si sceglie di sottrarre il tempo di giallo dei veicoli e il tempo di tutto rosso al tempo di attraversamento.
Come espresso in una delle note precedenti, durante questo periodo, la lanterna semaforica dedicata ai pedoni può essere gialla oppure verde lampeggiante.

---

[14] In alcuni casi, qualora la lanterna non sia predisposta di un led apposito, il giallo viene sostituito dal verde lampeggiante.
[15] In alcuni casi si considerano 7 secondi, in altri 4, a seconda delle scelte progettuali. Durate maggiori dovrebbero essere considerate nei pressi di complessi scolastici e in aree con presenza di un elevato numero di anziani.

2.6.3.3 Rest in walk

Una fase con l'opzione di "*Rest in Walk"* attivata, è una fase in cui il verde pedonale rimane attivo fin quando non viene ricevuta una chiamata per la richiesta di passaggio nella direzione opposta. Generalmente non è abilitata e i tempi relativi al controllo semaforico pedonale fanno riferimento ai rispettivi settaggi.
Nella metodologia si richiede di specificare solamente se tale opzione è attiva o no nel controllo semaforico; questo dettaglio risulta necessario per il calcolo del tempo di verde effettivo che verrà illustrato successivamente.

2.6.3.4 Ciclo semaforico

La lunghezza del ciclo semaforico è predeterminata (lunghezza del ciclo costante) per controlli semaforici pre-impostati (*pretimed*) o coordinati-adattativi. Per controlli semi-adattativi o completamente adattativi in cui la lunghezza del ciclo è variabile durante il periodo di analisi, nella metodologia si assume una lunghezza media del ciclo fra tutti i cicli rilevati. Si rimanda all'analisi di sensitività (in fondo al capitolo) per valutare l'impatto causato dalla variazione del ciclo semaforico.

2.6.3.5 Giallo veicolare – tutto rosso (*yellow change* + *red clearance*)

L'indicazione del segnale di giallo segue l'indicazione verde ed ha l'obiettivo di preparare gli utenti in approccio all'intersezione al segnale di stop con lanterna semaforica rossa. La porzione iniziale di giallo è utilizzata come estensione del verde, mentre la restante parte può essere utilizzata per arrestare il veicolo nel caso in cui ci sia sufficiente spazio a disposizione o sgomberare l'incrocio qualora non sia possibile attestarsi prima della linea di arresto.
L'intervallo di tutto rosso segue il giallo e serve a garantire lo sgombero dell'intersezione dai veicoli di una fase prima dell'avvio dei veicoli dell'altra.

2.6.3.6 Fase pedonale - durata

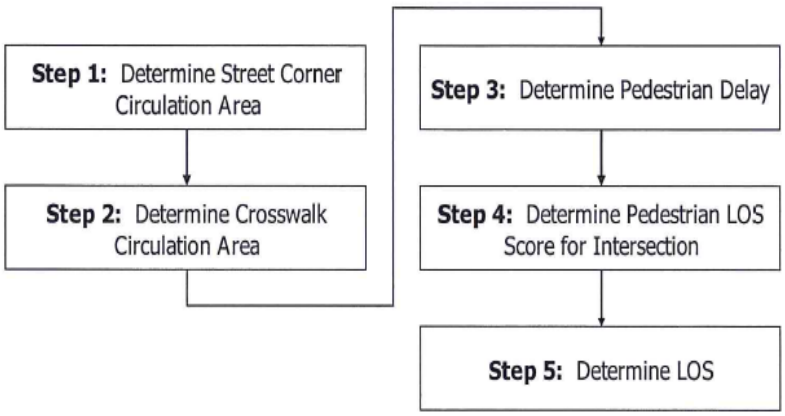
Considerato un attraversamento pedonale, la fase che serve il movimento pedonale su di esso, ha durata tipicamente pari alla durata della fase che serve le correnti veicolari il cui approccio all'intersezione segue la stessa direzione (parallelo). Tuttavia esiste la possibilità di anticipare di alcuni secondi, per motivi di sicurezza, la fase pedonale (vedi capitolo 4).

2.6.3.7 Presenza della lanterna semaforica pedonale

La presenza di un'indicazione di controllo riservata ai pedoni influenza il loro comportamento durante la fase di attraversamento. Si assume, infatti, che il pedone utilizzi lo stesso quando è attiva la luce verde oppure quella gialla (se non presente, verde lampeggiante). Al contrario, laddove non esiste una lanterna semaforica riservata ai pedoni, quest'ultimi attraverseranno facendo riferimento al verde veicolare attivo nella stessa direzione di avanzamento.

2.6.4 Overview della metodologia

La metodologia per la valutazione del livello di servizio pedonale in un'intersezione urbana semaforizzata prevede lo sviluppo di 5 Step, con l'obiettivo di determinare un punteggio (*LOS SCORE*) riconducibile alla qualità offerta all'utenza pedonale da un attraversamento pedonale.
Si riporta di seguito lo schema proposto dal metodo HCM.



2.6.5 Step computazionali

In questo paragrafo si illustrano in maniera dettagliata tutti gli step che conducono alla stima del livello di servizio per due attraversamenti pedonali collegati ad un angolo dell'intersezione. Nel seguito si riportano le grandezze e gli acronimi così come indicati originalmente nel manuale per consentire un rapido riferimento alla metodologia proposta in HCM.

2.6.5.1 Step 1: Street Corner Circulation Area

Il primo step descrive la procedura per la valutazione della disponibilità offerta da un angolo dell'intersezione per il movimento dei pedoni, ottenuta decurtando l'area utilizzata per l'attesa, la quale dipende dalla quantità di pedoni e dai parametri della regolazione semaforica.
L'analisi confronta gli spazi e i tempi a disposizione con l'effettiva domanda pedonale, combinando vincoli fisici e temporali. Il parametro di riferimento è il prodotto superficie-tempo.

Per definire la prestazione finale, è necessario determinare i seguenti parametri:

- *Available Time-Space;*
- *Holding-Area Waiting Time;*
- *Circulation Time Space;*
- *Pedestrian Corner Circulation Area.*

Available Time-Space

E' il prodotto tempo-spazio disponibile per la circolazione e formazione della coda (dei pedoni) nell'angolo dell'intersezione, tenendo conto dei vincoli geometrici relativi ai marciapiedi interessati e dei vincoli temporali riconducibili al ciclo semaforico in atto.

$$TS_{corner} = C(W_a W_b - 0.215R^2)$$

dove:

TS_{CORNER} = *available corner time-space* (tempo-spazio disponibile) – (ft^2-s)

C = *cycle length* (lunghezza del ciclo) – (s)

W_a = *total walkway width of Sidewalk A* (larghezza del marciapiede A) – (ft)

W_b = *total walkway width of Sidewalk B* (larghezza del marciapiede B) – (ft)

R = *radius of corner curb* (raggio angolare) – (ft)

Se il raggio angolare è maggiore rispetto alle grandezze W_a o W_b, allora R sarà pari al minimo tra W_a e W_b.

Holding-Area Waiting Time

Esso rappresenta il tempo di attesa medio per ogni pedone prima dell'attraversamento.

L'equazione per il calcolo di suddetto tempo assume che i pedoni arrivino all'intersezione distribuiti in maniera uniforme durante il ciclo semaforico.

Considerando che un angolo dell'intersezione è compreso tra due strade fra loro perpendicolari, all'interno di un ciclo possono verificarsi due condizioni:

- Attraversamento della *minor street* (condizione 1)*;*
- Attraversamento della *major street* (condizione 2).

La procedura illustrata fa riferimento alla condizione 1, per cui i pedoni in attesa sono quelli interessati all'attraversamento della strada principale (*major*). Considerando che il tempo medio di attesa si puà stimare come Rosso^2/2C, il valore complessivo si ottiene moltiplicando per il numero di utenti in arrivo durante il ciclo:

$$Q_{tdo} = \frac{N_{do}(C - g_{walk,mi})^2}{2C}$$

$$N_{do} = \frac{v_{do}}{3600} C$$

dove:

Q_{tdo} = *Total time spent by pedestrians waiting to cross the major street during one cycle* (tempo totale di attesa speso dai pedoni per attraversare la strada principale durante ogni ciclo) - (p-s);

N_{do} = *Number of pedestrians arriving at the corner during each cycle to cross the major street* (numero di pedoni in arrivo all'angolo dell'intersezione durante ogni ciclo e interessati all'attraversamento della strada principale) - (p);

$g_{walk, mi}$ = *Effective walk time for the phase serving the minor street though movement* (tempo di verde effettivo per la fase semaforica relativa alla strada secondaria) - (s);

C = *Cycle length* (lunghezza del ciclo semaforico) - (s);

V_{do} = *Flow rate of pedestrians arriving at the corner to cross the major street* (flusso pedonale in arrivo all'intersezione e interessato all'attraversamento della strada principale) - (p/h)

Secondo il manuale HCM, le ricerche indicano che i pedoni iniziano la fase di attraversamento pedonale anche durante i primi secondi di giallo (*pedestrian clear*), per cui il tempo di verde effettivo è maggiore rispetto al tempo di verde pedonale di cui si è discusso in precedenza.
La metodologia sviluppata propone un calcolo del tempo di verde effettivo in base alla tipologia di controllo utilizzata nell'intersezione interessata.
Se la fase relativa agli attraversamenti pedonali è "adattativa con presenza della lanterna semaforica pedonale e senza modalità *rest in walk* attivata" o "pre-definita (*pretimed*) con presenza di lanterna semaforica", allora si utilizza l'equazione:

$$g_{walk,mi} = Walk_{mi} + 4.0$$

Se la fase è "adattativa con presenza della lanterna semaforica pedonale e modalità *rest in walk* attivata", allora:

$$g_{walk,mi} = D_{p,mi} - Y_{mi} - R_{c,mi} - PC_{mi} + 4.0$$

Altrimenti (es., assenza della lanterna semaforica pedonale):

$$g_{walk,mi} = D_{p,mi} - Y_{mi} - R_{c,mi}$$

dove:

PC_{mi} = *Pededestrian clear setting for the phase serving the minor street through movement (*giallo pedonale) - (s)

Y_{mi} = *Yellow change interval of the phase serving the minor street through movement* (giallo veicolare) - (s)

DP_{mi} = *Duration of phase serving the minor street through movement* (durata della fase) - (s)

RC_{mi} = *Red clearance interval of the phase serving the minor-street through movement* (tutto rosso) - (s)

$WALK_{mi}$ = *Pedestrian walk setting for the phase serving the minor street through movement* (verde pedonale) - (s)

La stessa procedura appena illustrata può essere applicata considerando la condizione 2 semplicemente sostituendo i pedici *do* con *co* (relativi ai flussi) e *minor* con *major* (controllo semaforico).

Circulation Time Space

Il tempo-spazio disponibile per i pedoni in movimento è pari alla differenza tra il tempo-spazio totale disponibile meno il tempo-spazio occupato dai pedoni in attesa dell'attraversamento. Si ipotizza che ogni pedone utilizzi uno spazio di 5.0ft^2 (0.46 m^2) durante la fase di attesa, per cui:

$$TS_C = TS_{corner} - [5.0(Q_{tdo} + Q_{tco})]$$

dove:

TS_C = *Time space available for circulating pedestrians* (tempo-spazio a disposizione) - (ft^2-s)

Pedestrian Corner Circulation Area

Lo spazio richiesto dai pedoni in movimento è calcolato dividendo il tempo-spazio disponibile degli stessi con il tempo utilizzato durante il cammino nell'angolo dell'intersezione. Si ipotizza che il tempo medio per il movimento del pedone medio nell'angolo sia pari a 4 secondi. Si ha dunque:

$$M_{corner} = \frac{TS_C}{4.0N_{tot}}$$

$$N_{tot} = \frac{v_{ci} + v_{co} + v_{di} + v_{do} + v_{a,b}}{3600} C$$

dove:

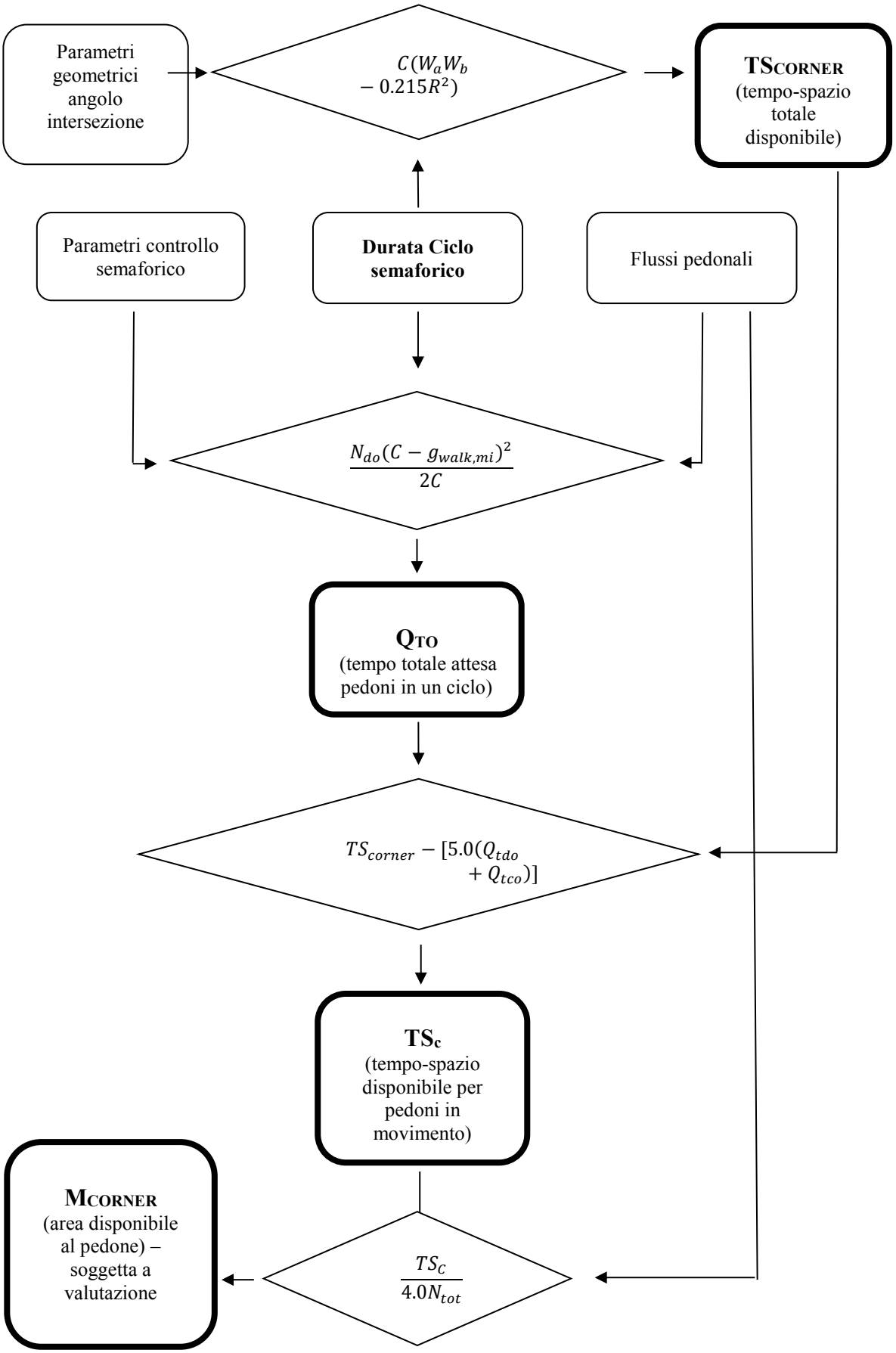
M_{corner} = *Corner circulation area per pedestrian* (area a disposizione del pedone nell'angolo dell'intersezione) – (ft^2/p)

N_{tot} = *Total number of circulating pedestrians who arrive each cycle* (numero di pedoni in arrivo ogni ciclo) – (p)

$V_{di/ci}$ = *Flow rate of pedestrian arriving at the corner after crossing the major/minor street* (flusso di pedoni in arrivo all'angolo dell'intersezione dopo aver atttraversato la carreggiata) – (p/h)

$V_{a,b}$ = *Flow rate of pedestrians traveling through the corner from Sidewalk A to Sidewalk B, or viceversa* (flusso di persone che gira l'angolo dell'intersezione e non interessata a nessun attraversamento – (p/h)

Tabella 7 per eventuali giudizi sulla prestazione garantita dall'angolo in esame.


Parametri geometrici angolo intersezione
$C(W_a W_b - 0.215R^2)$
TSCORNER (tempo-spazio totale disponibile)
Parametri controllo semaforico
Durata Ciclo semaforico
Flussi pedonali
$\frac{N_{do}(C - g_{walk,mi})^2}{2C}$
QTO (tempo totale attesa pedoni in un ciclo)
$TS_{corner} - [5.0(Q_{tdo} + Q_{tco})]$
TSc (tempo-spazio disponibile per pedoni in movimento)
$\frac{TS_C}{4.0N_{tot}}$
MCORNER (area disponibile al pedone) – soggetta a valutazione

2.6.5.2 Step 2 : Determine Crossowalk Circulation Area

Il secondo dei cinque step descrive la procedura per la valutazione della prestazione offerta dal singolo attraversamento pedonale.
Quanto segue fa riferimento all'attraversamento pedonale posto sulla strada principale (Figura 21). La procedura può essere ripetuta anche per l'attraversamento interessato in Figura 22, semplicemente cambiando le variabili. Di conseguenza i pedici "*do" e "di"* saranno sostituiti dai pedici "*co" e "ci",* così come le variabili geometriche saranno riferite all'attraversamento "C" piuttosto che all'attraversamento "D". Inoltre la notazione *minor* verrà sostituita con *major.*

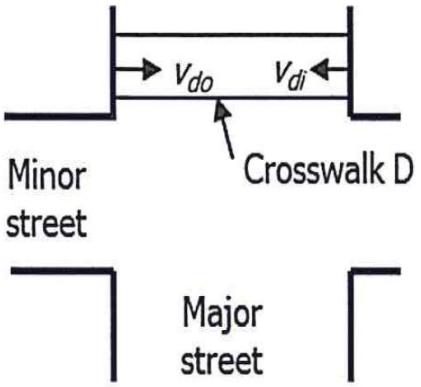


Figura 21 - Attraversamento pedonale D sulla *major street.*

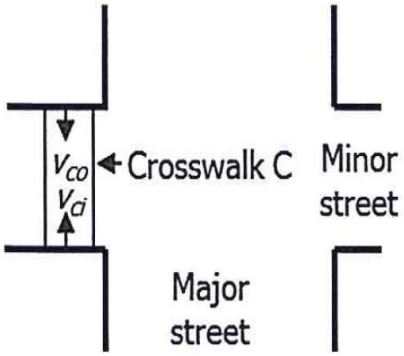


Figura 22 - Attraversamento pedonale C sulla *minor street.*

Establish Walking Speed

La velocità media di attraversamento è uno dei parametri principali per il calcolo della performance offerta dall'intersezione. Essa è influenzata sia dall'età media dei pedoni che dalla pendenza del marciapiede. Per la valutazione dell'intersezione, si considera una velocità di 4.0 ft/s se la presenza di pedoni con età uguale o superiore a 65 anni è compresa tra lo 0% e il 20%.

Qualora il limite superiore fosse superato (>20%) si assume una velocità di riferimento pari a 3.3 ft/s. Inoltre, una pendenza pari o superiore al 10% genera una riduzione di velocità pari a 0.3 ft/s.

Compute available Time-Space

Si riporta di seguito l'equazione utile al calcolo della disponibilità tempo-spazio sull'attraversamento.

$$TS_{cw} = L_d W_d g_{walk,mi}$$

dove:

TS_{cw} = *Available crosswalk time-space* (tempo-spazio disponibile sull'attraversamento) - (ft^2-s)

L_d = *Length of crosswalk D* (lunghezza dell'attraversamento D) – (ft)

W_d = *Effective width of crosswalk D* (larghezza dell'attraversamento D) – (s)

$g_{walk,mi/maj}$ = *Effective walk time for phase serving the minor/major street through movement* (tempo di verde effettivo per il movimento sulla strada secondaria/principale) – (s)

Compute effective available Time-Space

L'effettiva disponibilità tempo-spazio è modificata per tener conto dello spazio occupato dai veicoli che compiono la manovra di svolta durante la stessa fase che serve l'attraversamento pedonale. Si ha dunque:

$$TS^*_{cw} = TS_{cw} - TS_{tv}$$

$$TS_{tv} = 40 N_{tv} W_d$$

$$N_{tv} = \frac{v_{lt,perm} + v_{rt} + v_{rtor}}{3600} C$$

dove:

TS^*_{cw} = *Effective available crosswalk time-space* (tempo-spazio effettivo disponibile sull'attraversamento – (ft^2-s)

TS_{tv} = *Time-space occupied by turning vehicle* (tempo-spazio occupato dai veicoli in svolta) – (ft^2-s)

N_{tv} = *Number of turning vehicle during the walk and pedestrian clear intervals* (numero di veicoli in svolta durante i tempi di verde e giallo pedonale) – (veh)

$V_{lt,perm}$ = *Permitted left-turn demand flow rate* (flusso di svolta permessa a sinistra) - (veh/h)

V_{rt} = *Right turn demand flow rate* (flusso di svolta a destra) – (veh/h)

V_{rtor} = *Right turn on red flow rate* (flusso di svolta a destra con rosso) – (veh/h)

La costante 40, utilizzata nel calcolo, è il prodotto tra lo spazio occupato dal veicolo in corrispondenza dell'attraversamento (quantificato dal manuale pari a 8ft) e il tempo di occupazione dello stesso (indicato pari a 5s).

Computer Pedestrian Service Time

Il tempo di servizio pedonale è inteso come il tempo minimo per consentire ad un certo numero di pedoni di attraversare la strada in sicurezza ed è stimato come il tempo che intercorre tra l'istante in cui il primo pedone inizia l'attraversamento e l'istante in cui l'ultimo pedone arriva sul lato opposto dello stesso.
Se la larghezza dell'attraversamento è maggiore di 10 ft, si considera:

$$t_{ps,do} = 3.2 + \frac{L_d}{S_p} + 2.7\frac{N_{ped,do}}{W_d}$$

Altrimenti (minore o uguale a 10ft) si considerano circa 3 o 4 pedoni affiancati:

$$t_{ps,do} = 3.2 + \frac{L_d}{S_p} + 0.27N_{ped,do}$$

L'equazione sotto riportata definisce il numero di pedoni in fase di attraversamento sotto forma di gruppo, equivalenti al flusso di pedoni stimato durante il ciclo, moltiplicato per il tempo di rosso, durante il quale si è verificato l'accumulo prima di attraversare:

$$N_{ped,do} = N_{do}\frac{C - g_{walk,mi}}{C}$$

dove:

$t_{ps,do/co}$ = *Service time for pedestrian who arrive at the corner to cross the major/minor street* (tempo di servizio richiesto per l'attraversamento – (s)

$N_{ped,do/co}$ = *Number of pedestrians waiting at the corner to cross the major/minor street* (numero di pedoni in arrivo all'angolo dell'intersezione durante ogni ciclo e interessati all'attraversamento della strada) – (p)

Compute Crosswalk Occupancy Time

Il tempo di occupazione dell'attraversamento durante l'intero ciclo C è calcolato come il prodotto fra il tempo di servizio pedonale e il numero di pedoni che attraversa la sede stradale per le due fasi ipotizzate durante un ciclo semaforico.

$$T_{occ} = t_{ps,do}N_{do} + t_{ps,di}N_{di}$$

con:

$$N_{di} = \frac{v_{di}}{3600}C$$

dove:

T_{occ} = *Crosswalk occupancy time* (tempo di occupazione dell'attraversamento) – (p-s)

$N_{di/ci}$ = *Number of pedestrians arriving at the corner each cycle having crossed the major street (*numero di pedoni in arrivo all'angolo dell'intersezione dopo aver attraversato la carreggiata) – (p)

Compute Pedestrian Crosswalk Circulation Area

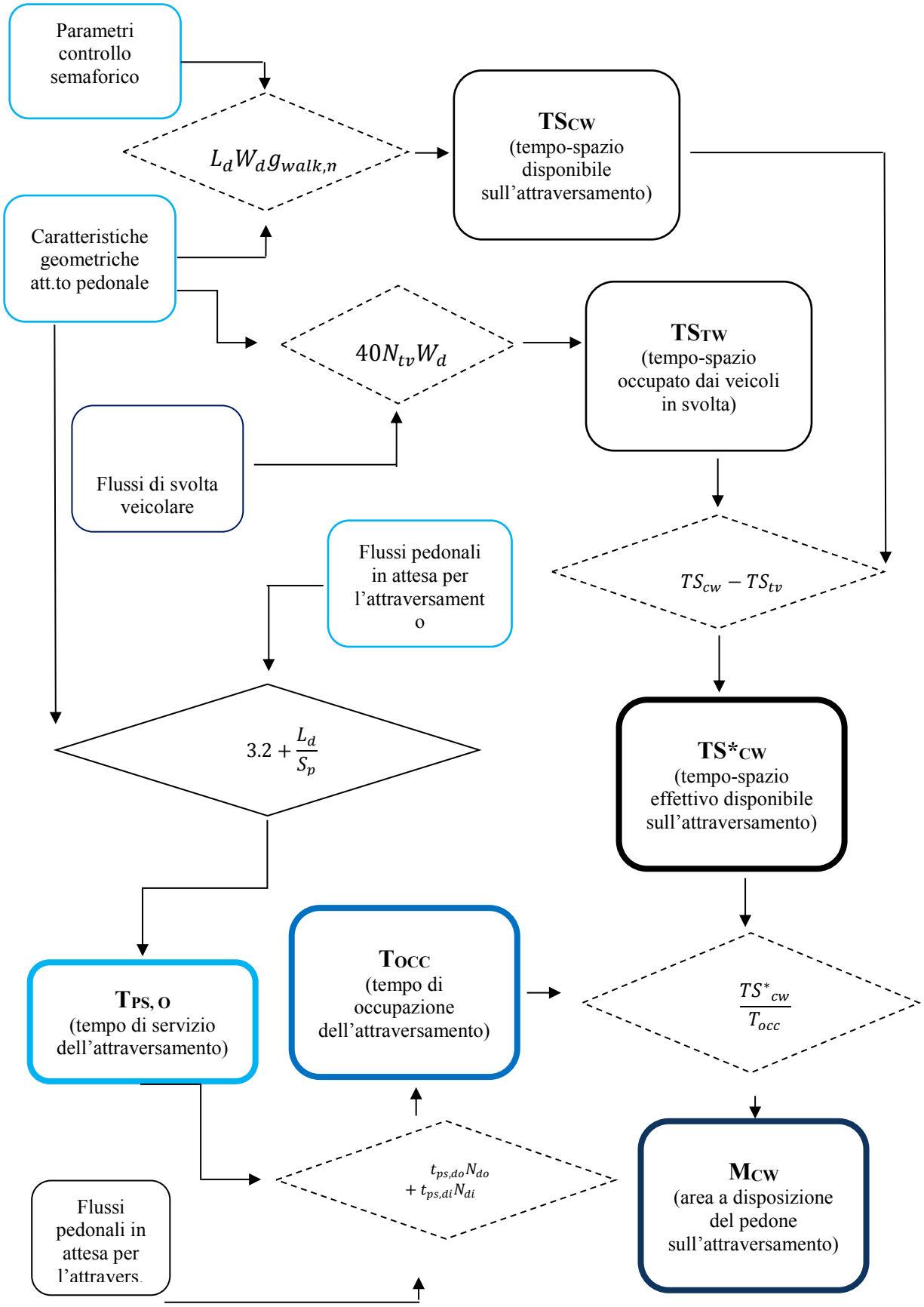
L'area a disposizione del pedone sull'attraversamento è calcolata come segue, considerando che TS_{cw}* rappresenta lo spazio-tempo complessivo l'attraversamento oggetto dello studio:

$$M_{cw} = \frac{TS_{cw}^{*}}{T_{occ}}$$

dove:

M_{cw} = *Crosswalk circulation area per pedestrian* (Area a disposizione del pedone sull'attraversamento) – (ft^2/p)

Suddetto parametro può essere confrontato con I valori precedentemente indicati e descritti in Tabella 7 per giudicare l'attraversamento in esame. Maggiore è lo spazio a disposizione del pedone, migliore sarà il giudizio da parte di quest'ultimo durante la fase di attraversamento.


Parametri controllo semaforico
$L_d W_d g_{walk,n}$
TSCW (tempo-spazio disponibile sull'attraversamento)
Caratteristiche geometriche att.to pedonale
$40 N_{tv} W_d$
TSTW (tempo-spazio occupato dai veicoli in svolta)
Flussi di svolta veicolare
Flussi pedonali in attesa per l'attraversament o
$TS_{cw} - TS_{tv}$
$3.2 + \frac{L_d}{S_p}$
TS*CW (tempo-spazio effettivo disponibile sull'attraversamento)
TPS, O (tempo di servizio dell'attraversamento)
TOCC (tempo di occupazione dell'attraversamento)
$\frac{TS^*_{cw}}{T_{occ}}$
$t_{ps,do} N_{do} + t_{ps,di} N_{di}$
MCW (area a disposizione del pedone sull'attraversamento)
Flussi pedonali in attesa per l'attravers.

2.6.5.3 Step 3 : Pedestrian Delay

La formulazione di quanto segue è utile per il calcolo del ritardo medio associato al singolo pedone. Il parametro è rappresentativo del tempo perso per l'attesa della luce verde, trascurando il ritardo dovuto all'accumulo di altri pedoni in attesa, a cui ci si deve accodare (lower bound = R^/2C) La formulazione riportata di seguito caratterizza l'attraversamento D, ma è possibile ottenere il dato relativo all'attraversamento C semplicemente considerando il tempo di verde effettivo relativo alla strada principale (*major*).

$$d_p = \frac{(C - g_{walk,mi})^2}{2C}$$

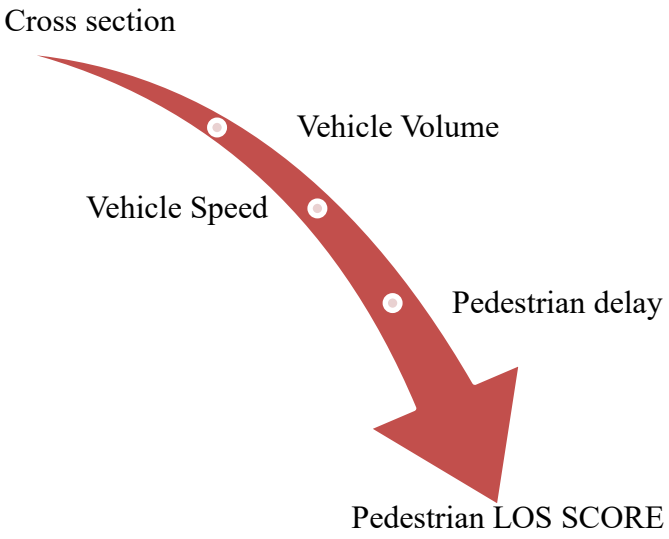
dove:

d_p = *Pedestrian delay* (ritardo del pedone) – (s)

Il valore del ritardo ottenuto è riferito all'attraversamento, per cui si assume esso sia valido per entrambe le direzioni di marcia.
Se l'attraversamento oggetto di studio dovesse essere chiuso, il ritardo da attribuire al pedone sarà pari alla somma dei ritardi dei due attraversamenti pedonali posti in direzione perpendicolare (che interessano la strada principale) più l'attraversamento parallelo e opposto rispetto a quello considerato.
Anche in questo caso è possibile esprimere un giudizio sulla base del risultato ottenuto; infatti, si definiscono due soglie di riferimento, 10 e 30 secondi. Se il ritardo medio (per pedone) è superiore ai 30 secondi la valutazione dei pedoni sarà negativa, per cui si suggerisce di apportare determinate modifiche al controllo semaforico. Al contrario, qualora il ritardo dei pedoni fosse inferiore ai 10 secondi, la valutazione sarà eccellente.

2.6.5.4 Step 4 : Determine Pedestrian LOS Score for Intersection

Analogamente a quanto fatto precedentemente viene preso in esame l'attraversamento D (Figura 21); si illustra di seguito la procedura per la stima del *LOS SCORE,* parametro che equivale ad un punteggio da assegnare all'intersezione in esame facendo riferimento a variabili connesse alla geometria stradale, ai flussi veicolari e al tempo perso dall'utenza pedonale (ritardo).



$$I_{p,int} = 0.5997 + F_w + F_v + F_s + F_{delay}$$

$$F_w = 0.681(N_d)^{0.514}$$

$$F_v = 0.00569(\frac{v_{rtor} + v_{lt,perm}}{4}) - N_{rtci,d}(0.0027 n_{15,mj} - 0.1946)$$

$$F_s = 0.00013 n_{15,mj} S_{85,mj}$$

$$F_{delay} = 0.0401 ln(d_{p,d})$$

$$n_{15,mj} = \frac{0.25}{N_d} \sum_{i \in m_d} v_i$$

dove:

$I_{p,int}$ = *Pedestrian LOS SCORE for intersection*
F_w = *Cross section adjustement factor*
F_v = *Motorized vehicle volume adjustement factor*
F_s = *Motorized vehicle speed adjustment factor*
F_{delay} = *Pedestrian delay adjustment factor*
Ln(x) = *Natural logarithm*
N_d = *Number of traffic lanes crossed when traversing crosswalk D*
$N_{rtci,d}$ = *Number of right channelizing islands along crosswalk D*
$N_{15,mj}$ = *Count of vehicles traveling on the major street during a 15min period*
v_i = *Demand flow rate for movement i*
m_d = *Set of all motorized vehicles movements that cross Crosswalk D*
$S_{85,mj}$ = *85th percentile speed at midsegment locationon the major street*

Si riportano di seguito i flussi di svolta interessati dal calcolo delle diverse variabili (Figura 23 e Figura 24).

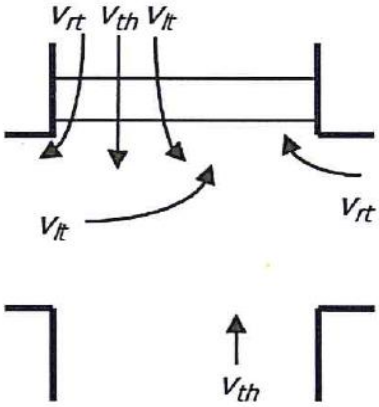


Figura 23 - Flussi di svolta - Attraversamento D.

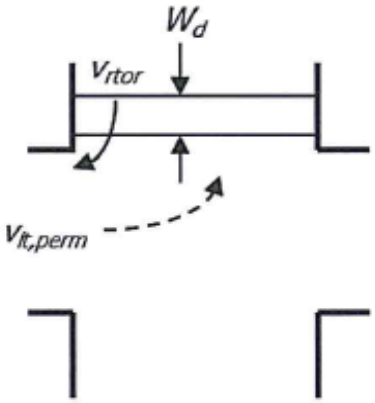


Figura 24 - Flussi di svolta a sinistra "permessa" e svolta a destra con rosso.

I flussi di svolta a sinistra in modalità "permessa" *($v_{lt,perm}$)* considerano i veicoli che effettuano la manovra di svolta a sinistra quando la lanterna semaforica veicolare è di colore verde contemporaneamente al verde pedonale per l'attraversamento considerato. In questo caso, infatti, i veicoli in manovra potrebbero essere costretti a fermarsi durante la manovra per garantire la precedenza ai pedoni in movimento. Suddetto flusso veicolare rappresenta una parte o la totalità dei flussi di svolta a sinistra v_{lt} illustrati in Figura 23, a seconda della tipologia di controllo semaforico applicato all'intersezione (solo modalità permessa o anche protetta).
I flussi di svolta a destra con semaforo rosso illustrati in Figura 24 non sono gli stessi di quelli considerati nello STEP 2 in quanto in questo caso ci si riferisce a coloro che provengono dall'approccio contenente l'attraversamento considerato.
La variabile N_{rtci} rappresenta il numero di isole previste per la svolta a destra e viene specificata con un numero intero variabile tra 0,1 e 2.
Il punteggio finale (*LOS SCORE*) ottenuto è valido per entrambe le direzioni di attraversamento.

2.6.5.5 Step 5 : Determine LOS

In ultimo, dopo aver determinato il LOS SCORE per l'attraversamento di riferimento, si utilizza la Tabella 6 per la determinazione finale del LOS.

In allegato 1, si riporta un'analisi di sensitività della procedura, applicata ad una interezione esistente. Si valuterà l'impatto della variazione del ciclo sulla stima di alcuni parametri chiave della procedura.

3 Analisi in simulazione

La simulazione delle correnti di traffico nei pressi di una intersezione urbana semaforizzata permette di confrontare una serie di scenari alternativi di progetto, fornendo informazioni quantitative utili ad una valutazione comparativa delle soluzioni possibili mediante indicatori numerici. I parametri generalemente adottati nella regolazione semaforica, che può essere esplorata in diverse configurazioni di geometria dell'intersezione, rigurdano indicatori di prestazione sulla qualità delle condizioni di circolazione (dati di traffico) e sui livelli si sicurezza stradale.
A tal scopo, in questo capitolo, si riporta lo sviluppo di una simulazione che interessa l'interazione fra il traffico veicolare e quello pedonale, elaborata sull'intersezione che collega C.so Orbassano con Via Filadelfia nel comune di Torino, ovvero la stessa presa in considerazione nell'allegato 1.
Per la costruzione del modello di simulazione microscopica è stata utilizzata la versione 8.0.9 di Aimsun [8], disponibile presso i laboratori del Politecnico di Torino . Per poter simulare i flussi pedonali e la loro interazione con quelli veicolari è stata utilizzata l'applicazione **Legion** la cui licenza, in versione base, è già disponibile in Aimsun, se attivata.

3.1 Costruzione del modello

L'intersezione fra C.so Orbassano e Via Filadelfia è stata ricostruita in primis esportando un file map.osm dal sito https://www.openstreetmap.org e poi caricando lo stesso file in Aimsun.
Si riporta, in Figura 25, un estratto della mappa caricata in Aimsun.

Figura 25 - Mappa caricata in Aimsun per la costruzione del modello.

Nota l'area di riferimento, sono state costruite rispettivamente le section (urban road[16]) relative al transito dei veicoli, gli attraversamenti pedonali e le aree riservate al transito dei pedoni (ipotizzate come marciapiedi).
Per entrambe le direzioni sono state disegnate 4 corsie, 2 per senso di marcia e quindi per section nel modello, permettendo ai veicoli l'attraversamento dell'incrocio e l'eventuale svolta a destra o sinistra a tutte le corsie, senza inserire nessuna corsia dedicata.

[16] Urban Road: larghezza della corsia 3 metri, limite di velocità 50 km/h.

Gli attraversamenti pedonali sono stati inseriti in prossimità del nodo e dopo aver definito tutte le manovre di svolta. La larghezza dell'attraversamento, in accordo con la geometria realmente esistente, è stata fissata pari a 3 metri.
Per la costruzione delle aree pedonali, in ogni angolo dell'intersezione, sono state costruite delle aree utili alla delimitazione del passaggio e che rappresentano gli edifici circostanti e definiscono quindi i marciapiedi. Inoltre, sono stati inseriti dei centroidi origine (in verde nelle immagini successive) e dei centroidi destinazione (in rosso) per poter simulare i punti di partenza e di arrivo che interessano gli attraversamenti utilizzati dai pedoni.
In ultimo, nei pressi dell'angolo dell'intersezione e in prossimità degli attraversamenti, sono stati inseriti i nodi decisionali per simulare la divergenza fra percorsi alternativi e utili all'attesa della fase di attraversamento dei pedoni.
Di seguito, in Figura 26, la rappresentazione del modello costruito in Aimsun.

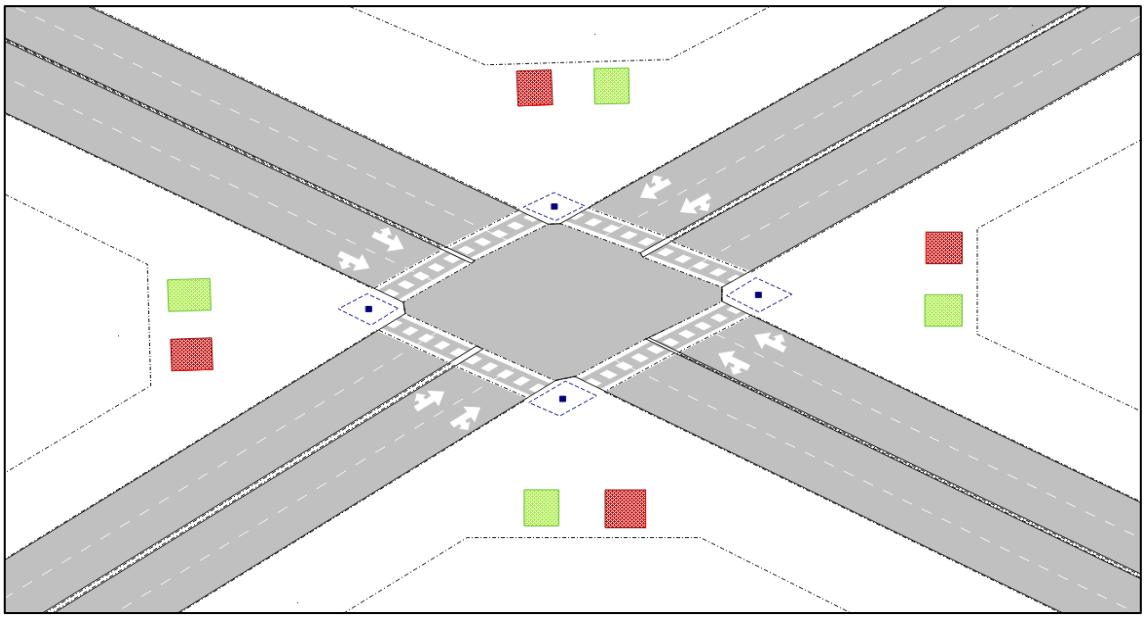


Figura 26 - Modello costruito in Aimsun.

3.1.1 O/D Routes

I percorsi pedonali sono stati costruiti con l'ausilio dello strumento O/D routes, imponendo il passaggio rispettivamente attraverso il centroide di partenza, il nodo decisionale pre-attraversamento, l'attraversamento interessato, il nodo decisionale post-attraversamento e il centroide di uscita ; così facendo, utilizzando la convenzione geografica (disponibile nell'allegato 1), sono state definite 16 O/D routes in modo da avere tutte le possibili alternative di

attraversamento[17] (Figura 28). Non è stato possibile inserire il *service point*[18] in quanto non utilizzabile nella versione/licenza Legion disponibile per la simulazione in esame.
Per imporre il rispetto del controllo semaforico si è reso necessario assegnare la percentale di attraversamento dei pedoni pari al 100% su ogni O/D route. Qualora in futuro si volessero condurre delle analisi che prevedano il parziale non rispetto delle regole del codice della strada, suddetta percentuale potrebbe essere ridotta.
In assenza di informazioni specifiche sui flussi pedonali dell'intersezione, la classe di pedoni utilizzata la UK commuters proposta in Aimsun ed è stata ripartita ipotizzando il 34% di popolazione adulta maschile, il 33% di popolazione adulta femminile e il 33% di bambini, le cui caratteristiche dei profili di velocità sono riportate in Figura 27.

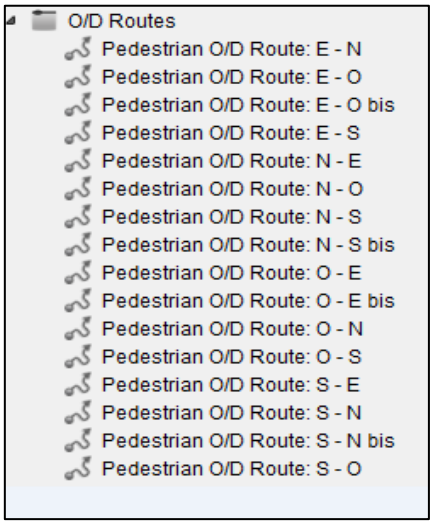


Figura 28 - O/D routes.

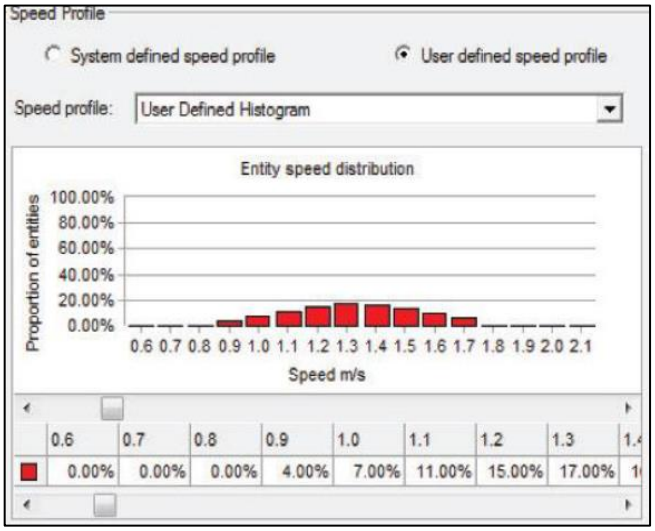


Figura 27 - Profilo delle velocità UK commuters in Aimsun.

[17] Un pedone che si sposta da Nord a Sud e viceversa può passare sia da Est che da Ovest, per cui sono necessarie due O/D route.
[18] In Legion il service point rappresenta un punto in prossimità dell'incrocio presso la quale i pedoni possono fermarsi per ottenere informazioni prima dell'attraversamento.

Relativamente ai veicoli, sono stati utilizzati dei centroidi per ogni accesso all'intersezione o uscita dalla stessa (Figura 29).

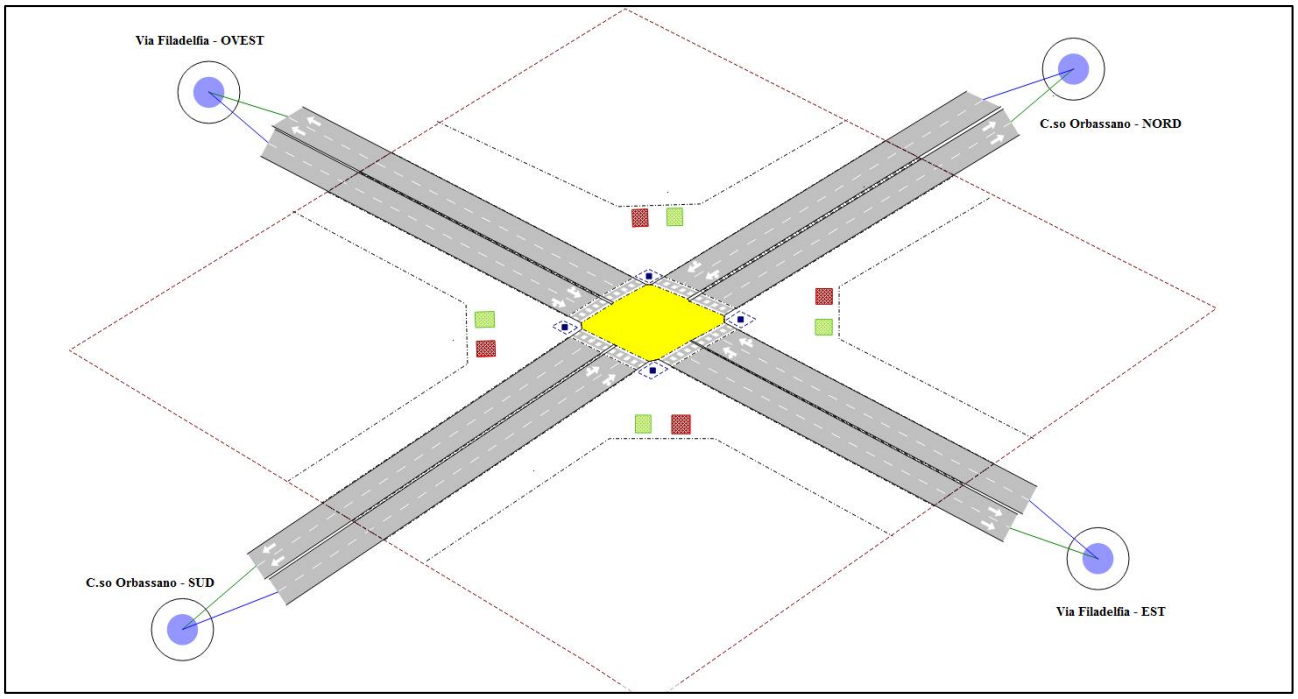


Figura 29 - Overview accessi all'intersezione.

3.1.2 Matrici O/D pedonali e veicolari

Dopo aver definito la geometria dell'intersezione e i percorsi seguiti dai pedoni fra le diverse coppie O/D, sono state generate le matrici relative ai flussi pedonali e veicolari. In entrambi i casi, in un primo momento sono state create le matrici relative allo "scenario base" i cui flussi pedonali e veicolari sono pari ai flussi effettivamente rilevati in sede di rilievo (vedi allegato 1), mentre in un secondo momento sono state generate altre matrici O/D con i flussi veicolari raddoppiati e i flussi pedonali quintuplicati per poter simulare gli effetti per le diverse categorie di utenti in seguito ad un evento programmato allo stadio Olimpico di Torino, situato nelle vicinanze dell'intersezione oggetto di studio[19].
A causa delle limitazioni sulla numerosità complessiva dei pedoni simulabili imposte dalla licenza Legion in possesso, si è deciso di costruire tutte le matrici con riferimento ad una durata di 20 minuti di rilievo. La durata di un'ora, infatti non era compatibile con tale vincolo.
Si riporta di seguito (Figura 30) un esempio di matrice pedonale utilizzata per lo scenario base effettivamente rilevato; in colonna i centroidi origine, in riga i centroidi destinazione, nelle celle il numero di pedoni nei 20 minuti di riferimento.

[19] I flussi oggetto di incremento sono stati solamente quelli provenienti dallo stadio e non verso lo stadio.

	1196	1199	1202	1205	Total
1195		8	7	18	33
1198	10	33	43	3	89
1201		49	20	25	94
1204	3		30		33
Total	13	90	100	46	249

Figura 30 - Matrice O/D pedonale scenario base.

3.1.3 Controllo semaforico

Analogamente a quanto fatto per la costruzione delle matrici O/D, anche nel caso del controllo semaforico si è fatto riferimento al controllo in atto al momento del rilievo (controllo a ciclo fisso pari a 90s). Nella sezione dedicata di Aimsun dunque, sono state dapprima definite le manovre di svolta da tutte le direzioni di accesso attraverso la definizione dei signal group, e poi sono state assegnate le fasi semaforiche ai diversi signal group (Figura 31). E' stato adottato, così come da rilievo, un tempo di giallo pari a 5 secondi e un tempo di tutto rosso pari ad 1 secondo.

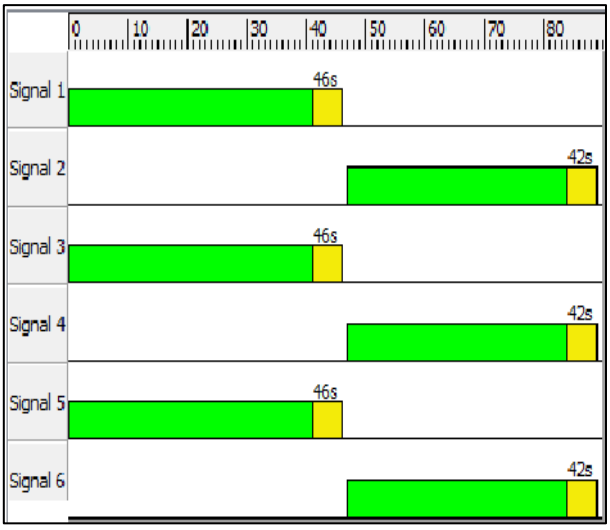


Figura 31 - Controllo semaforico scenario base (rilievo).

Il signal group numero 1 e numero 3 sono relativi ai movimenti di svolta e attraversamento per i veicoli provenienti da Via Filadelfia, mentre i signal group numero 2 e 4 appartengono ai movimenti dei veicoli provenienti da C.so Orbassano. Infine, relativamente agli attraversamenti pedonali, il signal 5 fa rifemento agli attraversamenti pedonali paralleli a Via Filadelfia mentre il signal 6 è relativo agli attraversamenti paralleli a C.so Orbassano.

3.2 Generazione degli scenari

L'obiettivo principale di una analisi di simulazione è quello di valutare e confrontare i diversi output sulla base dei diversi scenari generati.
Nel presente lavoro di tesi, dopo aver costruito in Aimsun l'intersezione oggetto di analisi, si è deciso di generare una serie di scenari di interesse con variazioni di domanda rispetto a quello *base* di riferimento, ovvero quello effettivamente rilevato sulla sede, ed adeguamenti della regolazione semaforica.
Come anticipato nel paragrafo precedente, lo scenario base si riferisce ad una finestra temporale di 20 min e ai flussi effettivamente rilevati ; considerando che il rilievo è stato effettuato in un giorno feriale, si è deciso di incrementare sia il flusso veicolare che quello pedonale, al fine di simulare ciò che sarebbe potuto accadere in corrispondenza di un evento presso lo Stadio Olimpico Grande Torino, situato non distante dall'intersezione. A questo punto i due scenari principali sono risultati essere :

- Scenario base ;
- Scenario evento stadio Olimpico in conclusione.

Nello scenario *evento stadio in conclusione*, considerata la vicinanza dell'impianto all'intersezione, si è ipotizzato che solo ed esclusivamente i flussi pedonali in movimento dallo stadio verso l'intersezione fossero quintuplicati, mentre quelli veicolari raddoppiati ; per tale motivo, le matrici O/D prevedono l'incremento dei flussi pedonali e veicolari solo per chi si muove da EST (dallo stadio) verso tutte le altre direzioni, lasciando invariati i dati per i movimenti in direzione EST (verso lo stadio).
Oltre ad incrementare i flussi pedonali e veicolari, si è pensato di variare anche la durata del ciclo semaforico, per valutare il suo impatto. In aggiunta alla durata base pari a 90s, si è deciso in primis di ridurre la durata del ciclo per minimizzare il ritardo dei veicoli, utilizzando la relazione di Webster :

$$C_{ott} = \frac{1{,}5 \cdot L + I_0}{[1 - (y_1 + y_2)]}$$

dove :

L = lost time = 5s
Y_i = rapporto tra flussi entranti e uscenti per ogni accesso

Sulla base del rilievo effettuato, i rapporti tra flussi entranti e uscenti rispettivamente per Via Filadelfia e C.so Orbassano sono risultati essere pari a 0,39 e 0,42, per cui la durata del ciclo che minimizza il ritardo è risultato essere pari a 70 secondi.
Inoltre, si è ipotizzato di simulare un incremento della durata del ciclo di 20 secondi rispetto allo scenario base, per un totale di 110 secondi. Di conseguenza, sono stati simulati i seguenti scenari (ognuno con 3 replication) :

- Scenario base – ciclo 70s ;
- Scenario base – ciclo 90s ;
- Scenario evento stadio Olimpico – ciclo 70 s
- Scenario evento stadio Olimpico – ciclo 90 s

- Scenario evento stadio Olimpico – ciclo 110 s

Nelle due figure successive (Figura 32 e Figura 33), si riportano i piani semaforici adottati per gli scenari con ciclo ridotto (70s) e incrementato (110s), i cui signal control risultano essere gli stessi del piano semaforico relativo al controllo con ciclo pari a 90s.

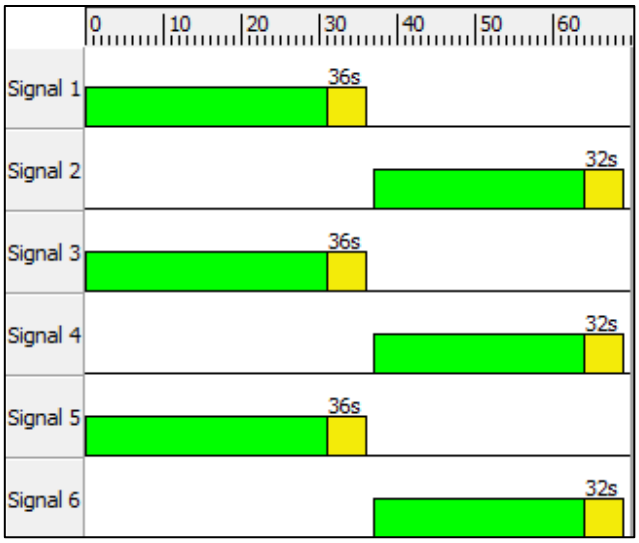


Figura 32 - Controllo semaforico a ciclo ridotto (70s).

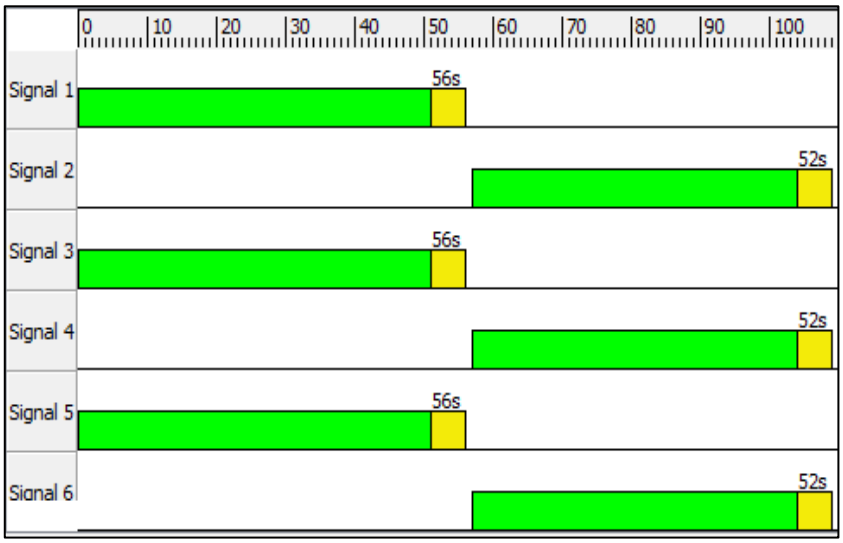


Figura 33 - Controllo semaforico a ciclo incrementato (110s).

3.2.1 Impostazioni degli scenari pre-simulazione

Per ogni scenario è stato generato un *experiment*, costituito a sua volta da 3 replication e successiva media (Figura 34).

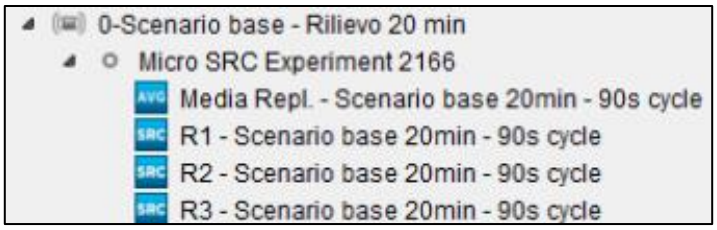


Figura 34 - Costruzione scenario in Aimsun.

Prima di poter avviare la simulazione dei diversi scenari si è reso necessario settare alcune impostazioni.
Per poter riuscire a simulare il movimento dei pedoni è stata attivata l'API Legion disponibile nel menù a tendina nelle impostazioni degli scenari, imponendo il reaction time dei pedoni pari a 0,6 secondi[20]. L'uscita dei pedoni dai centroidi è stata assunta (come pre-impostato in Aimsun) esponenziale.
Relativamente ai dati di output si è deciso di effettuare il salvataggio dei dati in formato SQlite, per poter avere a disposizione un database dove raccogliere i dati di interesse. Considerata la durata della simulazione (20 min) si è decisio di imporre una cadenza di raccolta del dato pari a 2 min, in modo da avere almeno 10 punti durante la simulazione come risultato di output. Nella categoria *dettagli* dei dati di output è stata attivata l'opzione *O/D Matrices* per poter analizzare i dati fra i diversi centroidi e le diverse destinazioni ; in particolare, come verrà mostrato nella sezione successiva relativa ai risultati ottenuti, si è deciso di focalizzare l'attenzione sui centroidi che interessano gli attraversamenti degli accessi Nord ed Est (come fatto anche per la procedura sviluppata nell'allegato 1).

3.3 Risultati della simulazione

In questo paragrafo si analizzano tutti i risultati ottenuti dopo aver condotto gli esperimenti con le replication dei diversi scenari. Nel dettaglio, saranno analizzati i seguenti indicatori :

- *Crossing time (*tempo di attraversamento), output di Legion ;
- *Speed* (velocità pedonale) ;
- *Travel time* (tempo di viaggio) ;
- *Distance* (derivata dal walking time).

Si rimanda all'allegato 2 per la visione dei dati di output generati da Aimsun separati per O/D e per scenari.

3.3.1 Crossing time (Legion)

Utilizzando l'API Legion è stato possibile ottenere un risultato specifico ai fini della valutazione delle prestazioni offerte da un attraversamento pedonale, il tempo di attraversamento.

[20] Reaction time: 0,6 s, requisito richiesto da Aimsun per poter interagire con l'API Legion.

Rispetto al capitolo precedente (metodologia HCM), nella quale il tempo di servizio inteso come tempo necessario per l'attraversamento era calcolato con formule proposte dal manuale, in questo caso il tempo di attraversamento è stato restituito direttamente tramite simulazione, tenendo conto degli effettivi volumi pedonali presenti sull'attraversamento e delle diverse velocità adottate dai pedoni oggetto di analisi (si ricorda che è stata imposta una suddivisione tra sesso maschile, femminile e bambini). Per mostrare la differenza fra lo scenario base e quello in cui si ipotizza l'evento in conclusione allo stadio Olimpico, si riporta un grafico a barre che mostra la media dei tempi di attraversamento nei diversi scenari (Figura 35).

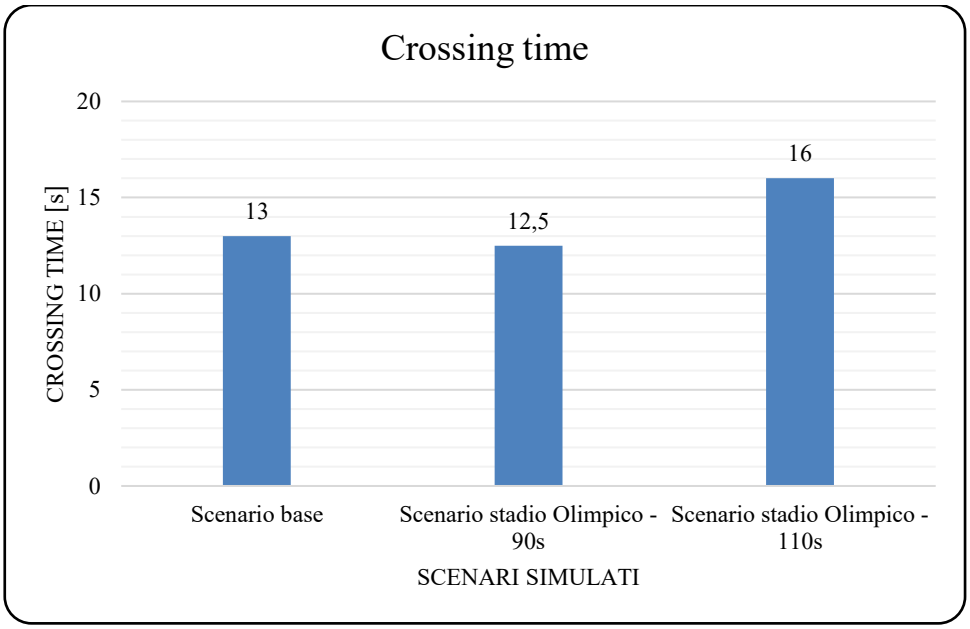


Figura 35 - Crossing time scenari base/stadio.

Da quanto sopra illustrato si evince che i tempi di attraversamento, con un ciclo pari a 90 secondi, sono molto simili fra lo scenario base e quello relativo all'evento dello stadio Olimpico; questo significa che l'incremento dei flussi pedonali non influisce in nessun modo sui tempi di attraversamento, anzi, addirittura risulta essere 0,5 secondi inferiore. Questo risultato sta a significare che l'attraversamento è in grado di smaltire i flussi pedonali nelle due condizioni allo stesso modo, contrariamente a quanto si potesse ipotizzare. Allo stesso tempo, incrementando il ciclo di 20 secondi si osserva un netto incremento (3 secondi) dei tempi di attraversamento; questo risultato può essere dovuto all'aumento del tasso di affollamento dell'attraversamento causato dall'accumulo dei pedoni in attesa all'angolo dell'intersezione. Di conseguenza, rispetto al ciclo da 90 secondi, il numero di pedoni cresce ulteriormente, causando un aumento dei tempi di attraversamento.

3.3.2 Speed – output da Aimsun

Utilizzando i dati salvati in formato SQlite (disponibili nell'allegato 2), si possono analizzare i dati relativi alle velocità mantenute dai pedoni nell'intersezione, a partire dai centroidi origine, passando per gli attraversamenti, fino ad arrivare ai centroidi destinazione. Si è deciso si valutare

i dati di output sugli attraversamenti maggiormente trafficati, ovvero quelli dell'accesso da Est e dell'accesso da Nord (Figura 29).
In questo caso, per poter valutare l'effetto dell'incremento dei pedoni, sono stati valutati i due scenari a parità di ciclo semaforico, ovvero lo scenario base con ciclo pari a 90 secondi e lo scenario relativo all'evento sportivo con ciclo identico. In entrambi i casi sono stati utilizzati i dati di tutte le replication generate per ogni scenario (tre per lo scenario base e tre per lo scenario stadio).
Si riportano di seguito gli eventi registrati in Aimsun e le rispettive velocità (Figura 37) :

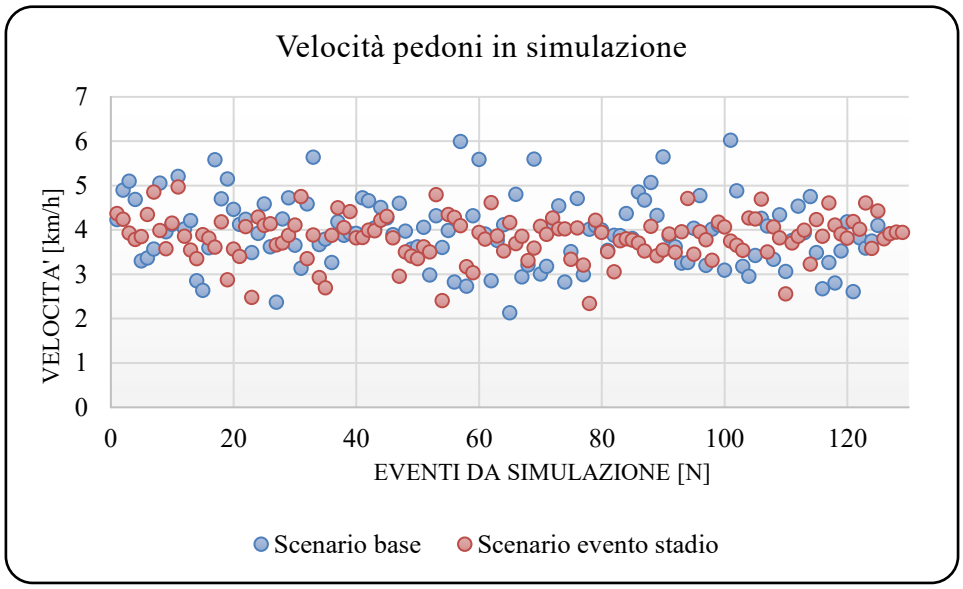


Figura 37 - Speed (eventi registrati in Aimsun).

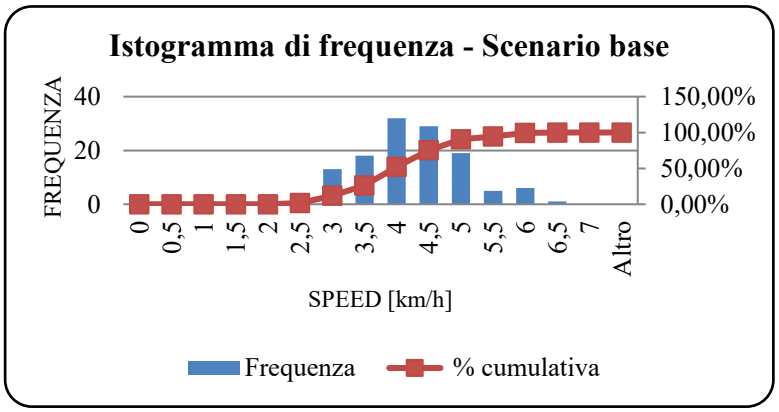


Figura 36 - Istogramma di frequenza scenario base.

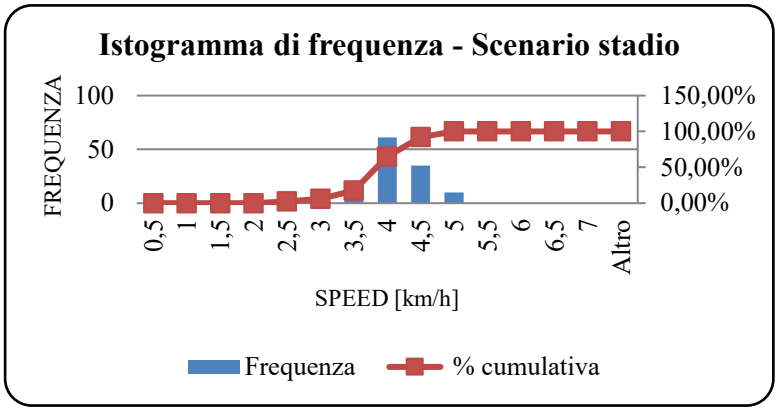


Figura 38 - Istogramma di frequenza scenario stadio Olimpico.

Osservando le tre figure sopra riportate, si possono dedurre due conclusioni ; la prima riguarda la dispersione dei dati, infatti nel caso dello scenario base i dati sulle velocità risultano leggermente più dispersi rispetto al caso dello scenario stadio. Questa considerazione viene confermata anche dagli istogrammi di frequenza in cui è possibile notare come nel caso dello scenario base esistono più velocità (3,5 – 4 – 4,5 e 5 km/h) che vengono rilevate con una frequenza importante (più di 15 eventi per ognuna su un totale di circa 120), mentre invece nel caso dello scenario stadio esiste una netta prevalenza nel range fra due valori di velocità (4 e 4,5 km/h). Relativamente alla seconda conclusione, si può affermare che le velocità più alte (fino a 6 km/h) vengono raggiunte solamente nello scenario base, nella quale il pedone riesce a muoversi con maggior spazio a disposizione mantenendo un passo più veloce.

Tali dati, relativi alle velocità, possono essere utilizzati anche per la valutazione degli spazi a disposizione sulle strisce pedonali durante la fase di attraversamento; considerando lametodologia HCM per la stima del LOS pedonale, si può notare come il valore della velocità sia fissata dall'analista che si occupa dello sviluppo della metodologia (allegato 1). Quindi se è disponibile un modello di simulazione, si può inserire il dato di output sulla velocità nella procedura precedentemente illustrata.

Si riportano ora, in un grafico, i dati delle velocità rilevate separate per O/D ; precisamente, sono rappresentate le velocità delle due coppie O/D che interessano l'attraversamento dell'accesso a Nord (C.so Orbassano) nei due scenari di riferimento. Per la defizione dei centroidi O/D si rimanda all'allegato 2.

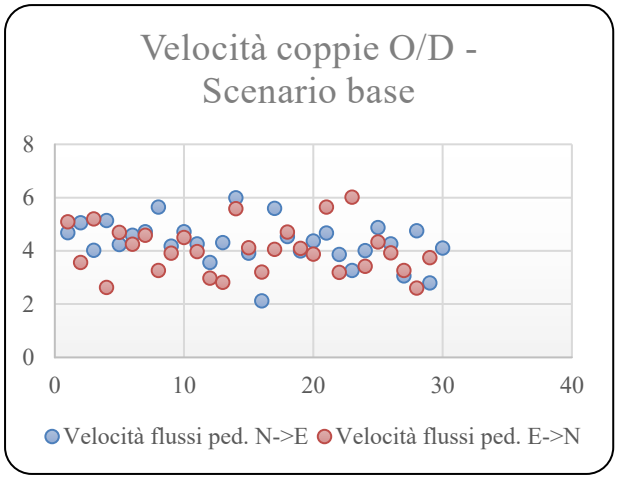


Figura 39 - Coppia O/D Nord-Est Scenario base.

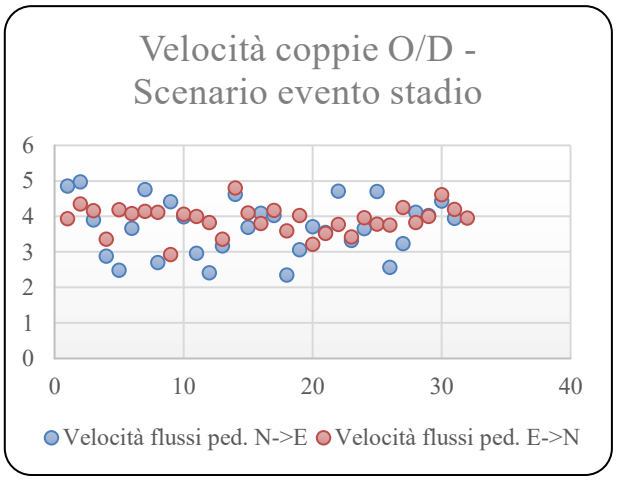


Figura 40 - Coppia O/D Nord-Est Scenario stadio.

Analizzando i due grafici sopra rappresentati si nota come, analogamente ai casi precedenti, la distribuzione delle velocità risulti leggermente più uniforme nel caso dell'evento stadio piuttosto che nello scenario base. Inoltre, valutando la media delle velocità per direzione nei due diversi scenari, si ottiene :

Velocità da Nord verso Est scenario base = 4,31 km/h

Velocità da Est verso Nord scenario base = 4,05 km/h

Velocità da Nord verso Est scenario stadio = 3,71 km/h

Velocità da Est verso Nord scenario stadio = 3,91 km/h

Si può dunque sostenere che le velocità nelle due direzioni sono molto simili ma risultano diverse nella media quando si confrontano i due scenari ; nello scenario stadio infatti, si osserva una riduzione della velocità che oscilla fra il 10 e il 15 percento, a conferma dell'impatto dovuto all'aumento dei flussi pedonali. Nonostante i flussi siano stati incrementati solo nella direzione che va da Est verso Nord, anche i pedoni in senso opposto sono costretti a mantenere una velocità simile a causa del maggior ingombro dovuto all'aumento dei flussi pedonali sull'attraversamento e dell'eventuale variazione di traiettoria durante la marcia.

3.3.3 Travel time – output da Aimsun

Analogamente a quanto fatto per la *speed* anche nel caso del *travel time*[21] sono stati estratti i dati dal file SQlite, considerando gli stessi attraversamenti (accesso est e accesso nord) ; questa volta, anzichè confrontare le diverse replication dei due scenari di riferimento con ciclo pari a 90s, si è

[21] Travel time in Aimsun: comprende anche il tempo di attesa agli attraversamenti, a differenza del walking time che è il tempo netto di camminamento.

deciso di confrontare le medie delle replications di tutti e cinque gli scenari considerati nella fase iniziale e riportati nel paragrafo 3.2.
Per poter valutare l'effetto della variazione del ciclo semaforico, oltre a considerare il *travel time,* si tiene conto anche del ritardo per km associato ai veicoli (anche questo dato è un output di Aimsun). I risultati sono in Figura 41.

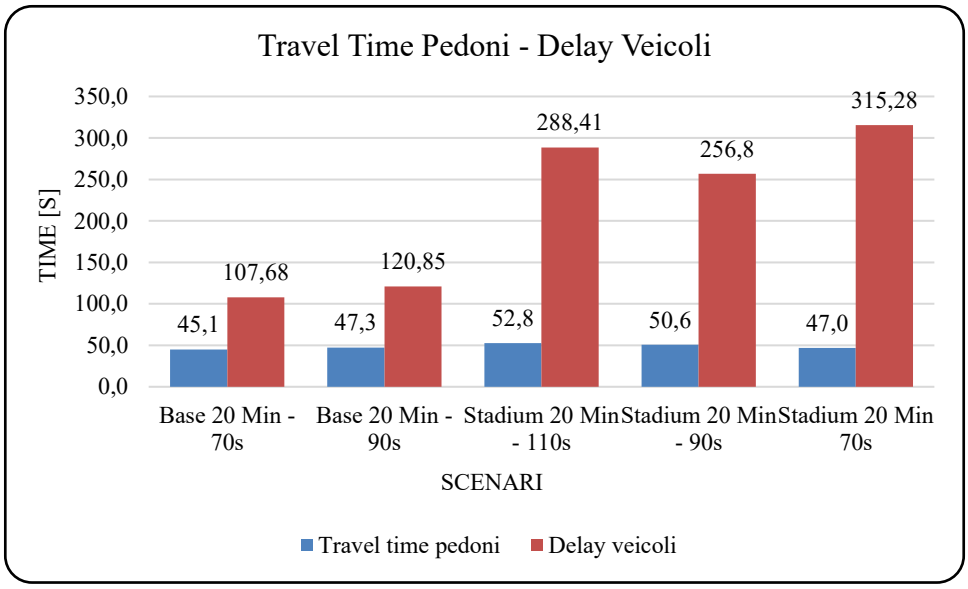


Figura 41 - Travel time pedoni/Ritardo veicoli.

Osservando attentamente i dati sopra riportati si può notare come confrontando gli scenari con cicli semaforici uguali, i tempi di viaggio sono pressochè simili, a conferma che gli attraversamenti presi in esame riescono a smaltire i flussi pedonali in qualsiasi condizione.
Allo stesso tempo, prendendo in considerazione lo scenario stadio, nonostante ci sia una differenza di 40 secondi fra il ciclo ridotto e il ciclo incrementato, i tempi di viaggio risultano differenti per soli 5 secondi ; questo dimostra come si possa utilizzare una qualsiasi durata del ciclo, tanto che i tempi di viaggio risultino quasi invariati. D'altro canto, è utile analizzare l'effetto della variazione del ciclo sul ritardo per km relativo ai veicoli, mediato su tutta l'intersezione. Si osserva che l'utilizzo di un ciclo incrementato di 20 secondi rispetto a quello di riferimento, accresce il ritardo di circa 30 secondi. Lo stesso fenomeno, in maniera ancor più marcata, avviene per il ciclo ridotto (70s), in cui si osserva un ritardo pari a 315 s/km. Queste valutazioni suggeriscono che, variando il ciclo semaforico, non si apportano vantaggi in termini di tempo di viaggio ai pedoni, ma si possono aumentarei tempi di ritardo ai veicoli, per cui la soluzione migliore per lo smaltimento dei flussi pedonali e veicolari nello scenario più caricato, rimane il ciclo di partenza pari a 90 s. Relativamente allo scenario base, come intuibile (Webster), la riduzione del ciclo semaforico comporta la riduzione del ritardo veicolare e riduce di 2 secondi il tempo di viaggio medio dei pedoni.

Oltre al confronto appena citato, si riporta un grafico contenente l'andamento del travel time in tutti gli eventi registrati da Aimsun (Figura 42). Anche in questo caso si prendono a riferimento le tre replication dello scenario base e dello scenario stadio, entrambi con ciclo pari a 90 secondi.

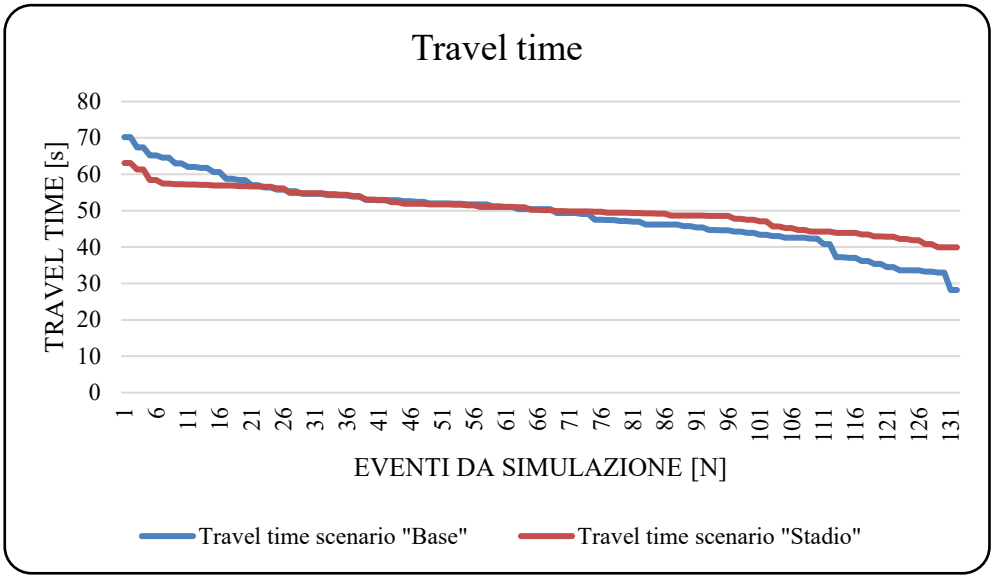


Figura 42 - Travel time scenario base/stadio.

Si osserva come, nonostante la media sia molto simile, l'andamento del travel time nei due scenari è leggermente diverso. Mentre nel caso dello scenario stadio i pedoni impiegano generalmente fra i 40 e i 60 secondi per passare da un'origine ad una destinazione (le coppie sono le stesse considerate nei casi precedenti), la variabilità nel caso dello scenario base è maggiore, in quanto i pedoni impiegano dai 30 ai 70 secondi per seguire una determinata traiettoria. Il fatto che nello scenario base ci siano tempi di almeno 10 secondi inferiori rispetto al tempo minimo dello scenario stadio, rispecchia la possibilità dei pedoni di muoversi con maggiore libertà e a velocità (in qualche caso) più elevate (vedi analisi dei risultati relativi alla *speed*). Al contrario i 70 secondi , non di molto superiori al valore massimo del travel time dello scenario stadio (circa 63s), sono da attribuire ai pedoni con tempo di attesa più lungo o forse con una velocità di percorrenza ridotta (es. Bambini).

3.3.4 Distance

L'ultimo parametro ricavato per l'analisi dei risultati è la distanza (*distance*) percorsa dai pedoni. Contrariamente ai casi precedenti, essa è stata ricavata indirettamente moltiplicando la *speed* con il *walking time* (output di Aimsun), tempo di camminamento netto per il passaggio da un'origine ad una destinazione. In questo caso è stata focalizzata l'attenzione su un solo attraversamento, quello appartenente all'accesso EST, considerando i flussi in entrambe le direzioni (Figura 43).

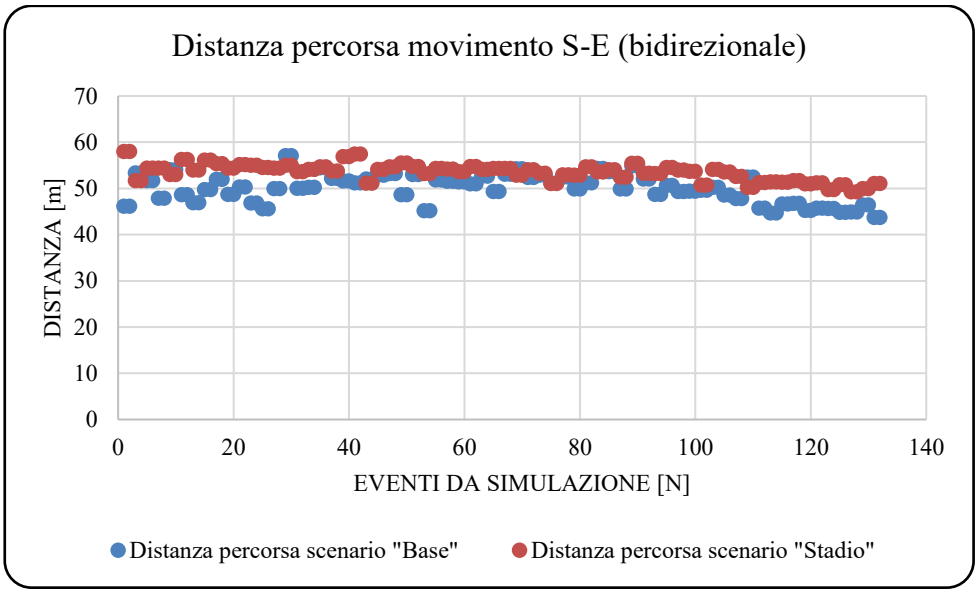


Figura 43 - Distanza percorsa movimento S-E.

La distanza percorsa nei due diversi scenari è leggermente diversa, nonostante sia preso in considerazione sempre lo stesso attraversamento. Tale variabilità è riconducibile probabilmente al grado di affollamento degli attraversamenti confermato dalla variabilità assunta dalla velocità. Infatti, non tutti i pedoni riescono a seguire il percorso minimo e a parità di ciclo semaforico le distanze percorse crescono al crescere dei flussi pedonali, sinonimo di spazi di maggior affollamento e traiettoria diversa da quelle ideale.

Se si considerano i valor medi della distanza percorsa nei due scenari, lo scenario base risulta essere caratterizzato da un valore pari a 50 metri, mentre lo scenario stadio un valore pari a 53,5 m. Ne deriva che nonostante i flussi nello scenario siano quintuplicati, le distanze percorse rimangono non molto diverse, a conferma del fatto che l'attraversamento, seppur maggiormente affollato, riesce a smaltire bene i flussi pedonali in entrambi gli scenari.

4 Sicurezza nelle intersezioni stradali

La *sicurezza* dei pedoni è uno degli aspetti fondamentali da considerare nelle analisi delle intersezioni stradali, perché durante la fase di attraversamento della carreggiata, la traiettoria del pedone potrebbe, a seconda della geometria e del controllo dell'intersezione, intersecare quella dei veicoli, generando un rischio per l'incolumità del pedone stesso.

In letteratura, sulla base di esperimenti sviluppati negli anni addietro, esistono diverse tecniche di valutazione dei parametri di sicurezza nei pressi di una intersezione urbana semaforizzata. In questo capitolo si tratterà il tema della sicurezza partendo dai fattori che incidono su di essa (e di conseguenza sulla priorità di intervento) fino ad arrivare alle diverse soluzioni che possono essere adottate per rendere più sicura una intersezione.

4.1 Indici e analisi di sicurezza

La sicurezza pedonale nei pressi di una intersezione urbana semaforizzata può essere valutata sviluppando una procedura che permette di calcolare degli *indici di sicurezza* al fine di agevolare ingegneri, pianificatori e altri praticanti nell'organizzazione degli attraversamenti. Contemporaneamente, possono essere valutati una serie di aspetti che influiscono sulla sicurezza dei pedoni in fase di attraversamento.

4.1.1 PedISI

Un indice di riferimento è quello proposto dalla *Federal Highway Administration* (FHWA), denominato *Pedestrian Intersection Safety Index* (PedISI). Il modello proposto tiene conto di una serie di parametri facilmente osservabili in un ramo di accesso all'intersezione e li combina con l'obiettivo di identificare un valore di riferimento per l'assegnazione della priorità di intervento per il miglioramento della sicurezza dei pedoni.
Si riporta di seguito l'equazione utilizzata per lo sviluppo del modello e la descrizione delle variabili :

$$\text{PedISI} = 2.372 - 1.867\mathbf{SIGNAL} - 1.807\mathbf{STOP} + 0.335\mathbf{THRULNS} + 0.018\mathbf{SPEED} + 0.006(\mathbf{MAINADT} * \mathbf{SIGNAL}) + 0.238\mathbf{COMM}$$

dove :

- SIGNAL : uguale a 0 se l'intersezione non è controllata semaforicamente, 1 in caso contrario;
- STOP : uguale a 0 se l'intersezione non è controllata con segnale di STOP, 1 in caso contrario;
- THRULNS : numero di corsie interessate dall'attraversameno pedonale. Non si considerano le corsie di svolta esclusiva in una intersezione a 4 rami, mentre in una intersezione a T si considerano le corsie di svolta – [ln];
- SPEED : 85.imo percentile della velocità nel ramo di accesso all'intersezione - [mi/h];
- MAINADT : traffico giornalierio medio (in migliaia) - [veh/d];
- COMM : uguale a 0 se l'area interessata non è ad uso prevalentemente commerciale, 1 in caso contrario.

Combinando i parametri sopra indicati, il modello conduce alla stima del PedISI per ogni singolo attraversamento dell'intersezione. Il valore di suddetto indice può variare da 1 a 6, identificativi rispettivamente di un ottimo e uno scarso livello di sicurezza offerto al pedone in fase di attraversamento.
Tuttavia esistono delle limitazioni per l'applicazione della procedura ; infatti, l'indice di riferimento (PedISI) può essere sviluppato solo qualora venissero rispettate le seguenti limitazioni:

- ❖ Intersezioni a 3 o 4 rami;
- ❖ Intersezioni semaforizzate oppure a 2 o 4 stop;
- ❖ Volumi di traffico giornalieri variabili fra 600 e 5000 veicoli/giorn ;
- ❖ Strade a senso unico o doppio senso di circolazione;
- ❖ Corsie di attraversamento variabili da 1 a 4;
- ❖ Limiti di velocità compresi fra 15 e 45 mi/h.

Il calcolo del *PedISI* può essere esteso sia ai restanti rami di accesso all'intersezione considerata, sia ad altre intersezioni. Così facendo, è possibile confrontare il livello di sicurezza offerto dalle diverse intersezioni, stabilendo di conseguenza la priorità di intervento da assegnare ad ognuna di esse.

Si riporta, uno schema utile all'individuazione degli step necessari alla valutazione della sicurezza pedonale in una intersezione.

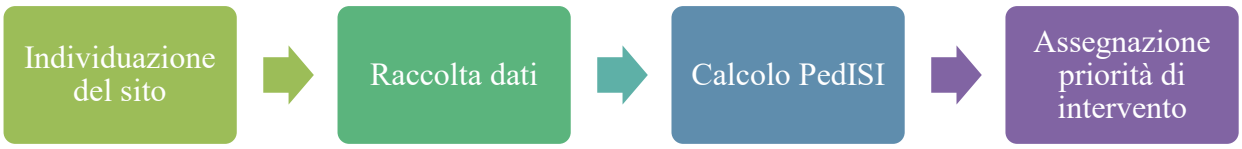


Figura 44 - Step necessari per la valutazione della sicurezza pedonale

4.1.2 Analisi di sicurezza

Un ulteriore indice di sicurezza può essere ottenuto effettuando un'analisi di sicurezza, che può essere elaborata considerando una serie di fattori di rischio per la sicurezza pedonale nei pressi di una intersezione urbana. In quest'ultimi anni, infatti, si è osservata una diminuzione del livello di sicurezza dovuto alla concomitanza di una serie di fattori, tra cui : visibilità veicolo-pedone, segnaletica stradale, illuminazione, andamento plano-altimetrico, condizione meteorologiche, volumi e velocità di traffico, caratteristiche dei guidatori e dei pedoni.
La procedura proposta in [9] prevede una specifica analisi del rischio che conduce alla classificazione degli attraversamenti pedonali sulla base di un *indice di rischio globale* e un *indice di rischio dei singoli aspetti di valutazione.*
L'analisi prevede il giudizio oggettivo di un certo numero di analisti su una serie di aspetti di valutazione appartenenti a determinate liste di controllo, assegnando dei punteggi variabili da 0 a 2 a seconda della gravità del problema considerato.

Le liste di controllo sono rappresentate dai fattori che influenzano in maniera diretta la sicurezza pedonale, ovvero: *localizzazione, visibilità. accessibilità, segnaletica, illuminazione, tipologia di traffico.*
Assegnati i punteggi ai diversi aspetti di valutazione, si può calcolare in primis il rischio medio dell'aspetto di valutazione i.esimo:

$$RM_i = \frac{\sum_{j=1}^{n} R_j}{n}$$

dove:

RM_i = Rischio medio dell'aspetto di valutazione i
R_j = Punteggio assegnato dall'analista j
n = Numero di analisti

Tuttavia gli indici ottenuti non esprimono un giudizio sintetico, per cui si sono elaborati indici di valutazione riferiti a ciascuna delle 6 categorie e all'attraversamento nel suo insieme.

$$IR_k = \frac{\sum_{i=1}^{m} RM_{ik} \times P_{ik}}{2 \times m \times \sum_{i=1}^{m} P_{ik}}$$

dove:

IR_k = Indice di rischio della categoria k
P_{ik} = Peso dell'aspetto di valutazione i nella categoria k
m = Numero di aspetti di valutazione della categoria k, esclusi quelli non ritenuti applicabili

L'indice di rischio rappresenta il grado di pericolo associato alla categoria in esame e può essere tradotto in un giudizio di sintesi espresso dal Livello di Sicurezza, variabile da A ad F. Analogamente al livello di servizio, il livello di sicurezza A rappresenta le migliori condizioni di sicurezza, mentre il livello F le peggiori condizioni.

Indice di rischio	Livello di sicurezza
≤ 12	A
≤ 24, > 12	B
≤ 36, > 24	C
≤ 48, > 36	D
≤ 60, > 48	E
> 60	F

Tabella 9 Indici di rischio e livello di sicurezza.

L'indicatore che descrive il rischio complessivo è l'*indice di rischio dell'attraversamento* che dipende dall'indice di rischio delle singole categorie e si calcola come:

$$\mathrm{IR} = \frac{\sum_{\mathrm{i}=1}^{6} \mathrm{IR_k} \times \mathrm{P_k}}{\sum_{\mathrm{k}=1}^{6} \mathrm{P_k}}$$

dove:

IR = Indice di Rischio dell'attraversamento
P_k = Peso della categoria k

L'indice di rischio (IR) varia da 1 a 100. IR uguale a 0 indica un attraversamento soddisfacente e non bisognoso di trattamenti di miglioramento. Un IR pari a 100 implica che la sicurezza dell'attraversamento è critica e tutti gli aspetti richiedono ulteriori valutazioni e miglioramenti.
Per definire un ordine di priorità tra gli attraversamenti si calcola l'Indice di Sicurezza con la seguente formula:

$$\mathrm{IS} = \mathrm{IR} \times \sqrt{\mathrm{TGM} \times \mathrm{Ped}}$$

dove:

IS = Indice di sicurezza dell'attraversamento
TGM = Traffico giornaliero medio annuo di passaggio sull'attraversamento
Ped = Flusso pedonale giornaliero medio sull'attraversamento

La tecnica appena illustrata richiede l'assegnazione di pesi e giudizi da parte di una serie di analisti esperti nel settore, per cui risulta difficile da applicare nel presente lavoro di tesi, ma può essere comunque tenuta in considerazione per eventuali sviluppi futuri.

4.1.3 Conflitti di traffico

In parallelo al calcolo degli indici di sicurezza sopra illustrati, si possono effettuare delle valutazioni sui conflitti di traffico[22].
La tecnica dei conflitti di traffico si basa sulla misura di variabili oggettive spaziali e/o temporali, dette indicatori prossimali di sicurezza, che descrivono le interazioni tra due utenti della strada coinvolti in un evento critico per la sicurezza [9]. Le variabili oggetto di valutazione sono il *Time to accident* (TA)[23], il *time to collision* (TTC) e il *post encroachment time* (PET).

4.1.3.1 Time to collision (TTC), Post Encroachment Time (PET) e valutazione della sicurezza

Il *time to collision* rappresenta il tempo che, nelle diverse fasi del conflitto, occorrerebbe ad un veicolo per scontrarsi con l'altro utente della strada se fosse mantenuta la velocità relativa corrente al punto dato (Hayward, 1972).

[22] I conflitti di traffico rappresentano situazioni prossime all'incidente tra due componenti di traffico potenzialmente in conflitto ma che non si sono trasformate in veri e propri incidenti.
[23] Il *time to accident* è calcolato come il tempo necessario all'accadimento dell'incidente che si manifesterbbe se non venissero compiute manovre evasive dall'istante in cui il conflitto si manifesta (Perkins e Harris, 1967)

Quando è in atto un conflitto, il valore del TTC varia nel tempo, e la misura critica della severità di conflitto diventa quindi il minimo valore del TTC.
Nel caso di una intersezione urbana semaforizzata, il conflitto ha inizio quando il pedone abbandona il marciapiede e contemporaneamente nell'area di osservazione è presente un veicolo.
A questo punto, step by step, si considerano le reali posizioni occupate dai due utenti della strada (veicolo e pedone) in modo da individuare l'istante in cui ha inizio la manovra potenziale, e ipotizzando che gli attori del conflitto si muovano con una velocità costante senza modificare la propria traiettoria.
Qualora fossero presenti più veicoli in coda, si avranno conflitti multipli che possono essere analizzati singolarmente.
Si riporta di seguito una figura semplificativa per lo studio del TTC.

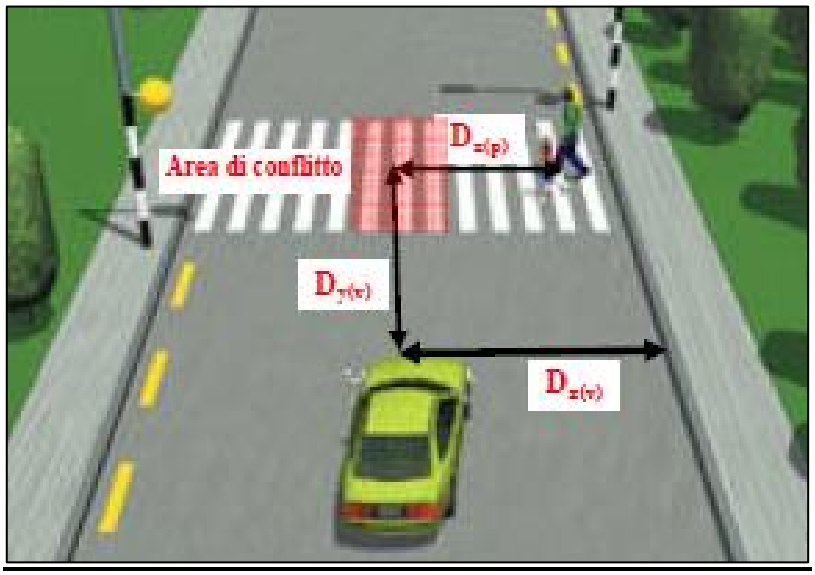


Figura 45 - Time to collision.

Osservando la figura sopra riportata si nota come sia possibile calcolare il *time to collision* relativo sia al pedone che al veicolo, utilizzando le seguenti espressioni :

$$TTC_v = \frac{D_{y(v)}}{V_v}$$
$$TTC_p = \frac{D_{x(p)}}{V_p}$$

dove:

TTC_v = tempo che il veicolo impiegherebbe per raggiungere l'attraversamento, mantenendo costante la sua velocità - [s];
TTC_p = tempo che il pedone impiegherebbe per raggiungere l'area di conflitto,mantenendo costante la sua velocità - [s];
$D_{y(v)}$ = distanza del veicolo dall'area di conflitto all'istante fissato – [m];
$D_{x(p)}$ = distanza del pedone dall'area di conflitto all'istante fissato – [m];
V_v = velocità del veicolo – [m/s];
V_p = velocità del pedone, posta pari a 1,2 m/sec (MUTCD, 2003).

Il *Post Encroachment Time* è definito come il periodo di tempo dal momento in cui il primo utente della strada lascia la zona di conflitto fin quando il secondo utente non la raggiunga (Allen, 1978). Riferendosi al PET si può definire anche il DST (*Deceleration to safety time*), ovvero il rallentamento necessario per raggiungere un PET pari a zero.
A partire dai due indicatori precedentemente citati, è possibile fare alcune considerazioni al fine di valutare la sicurezza dell'attraversamento oggetto di studio.
Facendo riferimento ad esperimenti già presenti in letteratura [9][10], si può affermare che eventuali valutazioni sulla sicurezza possono essere fatte riferendosi a:

- ❖ valore minimo del TTC del veicolo, ovvero il valore minimo del tempo, considerando il mantenimento della velocità costante, che il veicolo impiegherebbe per il raggiungimento dell'attraversamento, analizzato durante tutte le fasi del conflitto;
- ❖ PET, ovvero il TTC del veicolo nell'istante in cui il pedone supera l'area di conflitto;
- ❖ valore minimo del ΔTTC, ottenuto come differenza tra il TTC del veicolo (TTCv) e quello del pedone (TTCp) .

4.2 Contromisure possibili da adottare

Una volta illustrata la problematica relativa agli aspetti di sicurezza che interessano gli attraversamenti pedonali posti in corrispondenza delle intersezioni urbane semaforizzate, è necessario focalizzare l'attenzione su quelle che sono le possibili contromisure da adottare per risolvere o quantomeno limitare fenomeni che rendono l'attraversamento vulnerabile.
La FHWA, in seguito ad una serie di studi e valutazioni, ha proposto una guida utile ("PEDSAFE") sulle contromisure adottabili qualora si consideri il problema della sicurezza pedonale[24] . Si propongono soluzioni differenti a seconda dell'aspetto considerato, quali per esempio geometria dell'intersezione, tipologia di attraversamento (lungo l'arco stradale o nell'intersezione), tipologia di controllo (semaforico o stop), gestione delle correnti di traffico ed altro.
Nel presente lavoro di tesi si focalizza l'attenzione sulle contromisure relative al controllo semaforico, in particolare:

- ➢ Controllo semaforico del traffico veicolare e pedonale;
- ➢ Posizionamento delle linee di STOP;
- ➢ Bottone di chiamata e tempo a disposizione;
- ➢ Segnalatori acustici;
- ➢ Puffin Crossing;
- ➢ Ulteriori segnalazioni;

Si riporta, nei pragrafi successivi, la descrizione degli elementi appena elencati, considerando anche altri riferimenti bibliorafici oltre alla guida *PEDSAFE*.

4.2.1 Controllo semaforico del traffico veicolare e pedonale

[24] La guida è consultabile sul sito http://www.pedbikesafe.org/PEDSAFE/countermeasures.cfm

Il controllo semaforico deve essere progettato in modo da consentire un tempo di attraversamento adeguato e considerando generalmente una velocità di spostamento pari a 3,5 ft/s (1 m/s circa); qualora le aree considerate dovessero risultare particolarmente utilizzate da bambini o persone anziane, la velocità di riferimento potrebbe scendere a 3,0 ft/s (0,9 m/s circa).
La definizione delle fasi semaforiche (veicolari e pedonali) dipende dai volumi di traffico interessati nell'intersezione oggetto di analisi e di conseguenza è richiesta una analisi dettagliata case-by-case. In particolare, il controllo semaforico pedonale è incorporato nel ciclo semaforico assegnato all'intersezione di interesse e può operare in modalità *esclusiva* o *simultanea*.
La fase esclusiva permette ai pedoni di attraversare l'intersezione in tutte le direzioni mentre il traffico veicolare è fermo ; questa tipologia di fase è favorevole per la sicurezza pedonale, ma obbliga i pedoni ad attendere un intero ciclo prima di poter attraversare la carreggiata (incremento del *ritardo*).
La fase pedonale simultanea permette all'utenza debole di attraversare la carreggiata nella stessa finestra di tempo dedicata al movimento dei veicoli provenienti dalla direzione parallela all'attraversamento in esame, generando dei punti conflitto fra veicoli in svolta e pedoni.
La tipologia di fase semaforica deve essere selezionata con lo scopo di massimizzare gli aspetti relativi alla sicurezza e garantire allo stesso tempo dei flussi di traffico efficienti. Dunque, la selezione della fase pedonale comporta un'attenta valutazione non solo del traffico veicolare, ma anche dei vantaggi fruibili dall'utilizzo delle nuove tecnologie e metodologie che potenziano la sicurezza dei pedoni.

4.2.1.1 Fase esclusiva

Una fase pedonale esclusiva è rappresentata da una porzione del ciclo semaforico in atto riservato esclusivamente al movimento dei pedoni ; in questa finestra temporale a tutte le correnti veicolari è assegnata la luce rossa.
Di solito, questa tipologia di fase, viene utilizzata nei centri cittadini con elevati volumi di traffico pedonale interessati all'attraversamento.
La fase esclusiva è inoltre presa in considerazione laddove sono presenti conflitti veicolo-pedone in numero eccessivo e causati da distanze di visibilità limitata, geometria della sezione stradale e altri fattori precedentemente indicati.
Assumendo una perfetta cognizione della fase semaforica esclusiva, tutti i conflitti veicolo pedone potrebbero essere eliminati. Allo stesso tempo, la decisione di implementare una fase pedonale esclusiva deve essere valutata tenendo conto dell'impatto che si avrebbe sul traffico veicolare ; aggiungere, infatti, una fase pedonale esclusiva, comporta l'allungamento del ciclo semaforico o nel caso opposto (ciclo costante) la riduzione dei tempi delle fasi riservate ai veicoli. La riduzione del tempo dedicato alle manovre dei veicoli può comportare, in caso di temporanea sovrasaturazione del nodo, una riduzione dei flussi in uscitadall'intersezione e un aumento dei ritardi per il traffico veicolare. In maniera del tutto simile, la fase esclusiva, può comportarel'aumento dell'attesaper ilpedone ed una potenziale violazione delle regole di attraversamento con il passaggio quando la luce pedonale è rossa.
Diversi studi[25] hanno proposto delle soglie per le quali le fasi esclusive possono effettivamente migliorare la sicurezza dei pedoni ; *Zegeer et al* sostengono che la fase esclusiva, confrontata con quella simultanea, comporta una riduzione dei conflitti solo qualora il volume pedonale ecceda le

[25] Studi consultabili sul sito http://www.ctps.org/Drupal/data/calendar/htmls/2015/MPO_0604_Pedestrian_Signal.html#_ftn1

1200 persone/giorno. In aggiunta, un modello generato da *Tian et al* indica come la fase esclusiva sia appropriata per le intersezioni il cui rapporto fra la fase relativa al traffico di attraversamento e la fase pedonale è minore di 0,5; il modello suggerisce inoltre che la fase simultanea è appopriata quando lo stesso rapporto è superiore a 1,5 (mentre nelle condizioni intermedie sono necessarie ulteriori analisi).
Secondo altre guide (es. *Boston*), si suggerisce l'utilizzo di fasi esclusive da implementare quando:

- I volumi di traffico veicolare in svolta e interessati dai conflitti con i pedoni, eccedono i 250 veh/h;
- Le intersezioni sono utilizzate prevalentemente da persone anziane, bambini, pazienti ospedalieri;
- Fattori geometrici che influenzano le manovre di svolta.

4.2.1.2 Fase simultanea

La fase simultanea permette il movimento contemporaneo sia dei pedoni che del traffico veicolare proveniente dalla direzione parallela all'attraversamento considerato.
Questa tipologia di controllo migliora le operazioni relative alla gestione del traffico veicolare, riducendo sia la lunghezza dei cicli semaforici (se paragonati ai cicli che contengono fasi pedonali esclusive) sia i tempi di attesa per i pedoni e per i conducenti dei veicoli a motore.
Il principale svantaggio derivante dall'adozione di suddetta tipologia di fase semaforica è legato ai potenziali conflitti tra i pedoni e i veicoli in svolta, che possono annullare i vantaggi del verde simultaneo, soprattutto con flussi pedonali intensi. Esistono, comunque, diverse soluzioni capaci di incrementare la sicurezza nei confronti dei pedoni e allo stesso tempo l'efficienza in termini di gestione del traffico. Tra queste soluzioni troviamo :

- Intervallo di attraversamento pedonale anticipato (*Leading pedestrian interval - LPI*);
- Manovra di svolta a sinistra del veicolo in condizioni protette;
- Restrizioni alle manovre di svolta.

4.2.1.2.1 Intervallo anticipato – Leading Pedestrian Interval (LPI)

Un intervallo anticipato riservato all'attraversamento pedonale inizia generalmente dai 3 ai 6 secondi prima rispetto alla fase riservata all'attraversamento dei veicoli (che risulta parallela all'attraversamento in questione). Per questo motivo, i pedoni in fase di attraversamento sono più visibili ai veicoli che saranno interessati dalla svolta e, allo stesso tempo, avranno a disposizione una visuale dei veicoli in movimento più chiara.
Questa tipologia di gestione del controllo semaforico è particolarmente appropriata soprattutto quando un'elevata percentuale di pedoni in fase di attraversamento può essere interessata dall'incrocio della propria traiettoria con quella dei veicolo. Per i motivi appena citati, l'intervallo di fase pedonale anticipato risulta una soluzione low-cost per il miglioramento delle condizioni di sicurezza e di conseguenza per la riduzione dei conflitti con i veicoli in manovra.

4.2.1.2.2 Svolta protetta e/o permessa

Le fasi semaforiche relative alle manovre di svolta a destra e a sinistra hanno un notevole impatto nella valutazione delle intersezioni. Si possono individuare due tipologie di controllo relative alle manovre di svolta: protetta e/o permessa.
La manovra di svolta protetta, indicata da una freccia dedicata di colore verde, permette ai veicoli /di svoltare in sicurezza, senza incrociare la traiettoria dei veicoli provenienti dalla direzione opposta. Nel caso della svolta permessa, invece, i veicoli in manovra devono garantire la precedenza ai pedoni in attraversamento e ai veicoli provenienti dalla direzione opposta.
Tradizionalmente, i fattori che determinano la tipologia di fase da utilizzare, si basano sul numero di incidenti, distanza di visibilità, distanza di attraversamento, numero di corsie di attraversamento o numero di corsie di svolta, volumi di traffico, limiti di velocità e ritardi durante le manovre di svolta.
Le fasi in modalità protetta garantiscono benefici sotto il punto di vista dei conflitti (si osserva una riduzione) ma allo stesso tempo accrescono il ritardo generato dall'intersezione.
Le fasi in modalità permessa garantiscono un'efficiente gestione dei flussi di traffico ma allo stesso tempo inducono un aumento dei possibili conflitti.
Generalmente i guidatori interessati alla manovra di svolta a sinistra, spendono più tempo nel riconoscimento e nella valutazione degli ostacoli [11].
Le fasi pedonali simultanee vengono preferite a quelle esclusive laddove è presente una manovra di svolta a sinistra in modalità protetta e con elevati volumi di traffico. Questo risulta in notevole accordo con i pedoni e limita i conflitti alle sole manovre di svolta a destra. Allo stesso tempo, si preferisce la fase pedonale simultanea quando le manovre di svolta a destra e a sinistra in modalità permessa interessano volumi di traffico da bassi a moderati e con distanza di visibilità adeguata.

4.2.1.2.3 Restrizioni di svolta a destra (RTOR)

Le restrizioni per le manovre di svolta a destra garantiscono una riduzione dei possibili conflitti veicolo-pedone, in quanto il veicolo in una corrente con il rosso e in svolta a destra può effettuare la manovra, ma dando la precedenza ai pedoni. Tali restrizioni possono essere innescate nel momento in cui venga registrata una richiesta di attarversamento con bottone da parte del pedone; così facendo, invece che affidarsi alle restrizioni delle ore di picco e/o delle fasce orarie giornaliere, la riduzione dei conflitti veicolo-pedone è basata sulla richiesta di attraversamento in tempo reale. Tali restrizioni sono generalmente considerate quando l'intersezione è interessata da elevati volumi pedonali o quando la fase pedonale esclusiva viene implementata. La combinazione fra le restrizioni indotte alla svolta dei veicoli e l'utilizzo di una fase pedonale esclusiva, elimina i conflitti veicolo-pedone. Inoltre, suddette restrizioni, sono molto utili qualora sia attivata la fase di attraversamento pedonale simultanea con un intervallo di verde anticipato; questo garantisce dei benefici dal punto di vista pedonale con impatti minimi sul traffico motorizzato.
Le restrizioni di svolta a destra possono essere temporanee, ovvero possono essere sia eliminate quando il traffico pedonale o veicolare è basso, sia attivate durante le ore di picco generando benefici molto simili a quanto espresso precedentemente.

4.2.1.3 Confronto fase simultanea – esclusiva

Si riporta una tabella comparativa delle due diverse tipologie di controllo semaforico pedonale attivabili in una intersezione urbana semaforizzata.

Fase pedonale esclusiva	***Fase pedonale simultanea***
Conflitti Maggior sicurezza per tutti i pedoni quando non esistono conflitti con i veicoli	**Conflitti** Conflitti veicolo-pedone durante le manovre di svolta
Ritardo Incremento del ritardo sia per i veicoli che per i pedoni	**Ritardo** Riduzione dei ritardi sia per i veicoli che per i pedoni
Disciplina Minor disciplina : i pedoni spesso tendono ad attraversare anche con lucesemaforica rossa	**Disciplina** Elevata disciplina : l'utilizzo degli intervalli di attraversamento anticipati riducono il numero di conflitti
Giudizio dell'utente Non richiede restrizioni sulle manovre di svolta e destra	**Giudizio dell'utente** I pedoni devono prestare attenzione : l'utilizzo di intervalli anticipati riduce il numero di conflitti
Condizioni per l'applicazione Volume pedonale alto ❖ Flusso pedonale > 1200 p/day ❖ Veicoli in svolta ≥ 250 veh/h ❖ Intersezioni semaforizzate con concentrazione di studenti, disabili (non si considerano i non vedenti, hanno altre agevolazioni), persone anziane, bambini ❖ Intersezioni complesse con scarsa visibilità ❖ Attraversamenti pedonali con lungheza superiore a 55ft	**Condizione per l'applicazione** Volume pedonale da basso a moderato ❖ Flusso pedonale ≤ 1200 p/day ❖ Veicoli in svolta > 250 veh/h ❖ Intersezioni semaforizzate con bassa concentrazione di studenti, disabili, persone anziane, bambini ❖ Intersezioni semplici con elevata distanza di visibilità ❖ Attraversamenti pedonali con lunghezza inferiore a 55ft
Accessibilità E' uno svantaggio per i pedoni con disabilità, in quanto si affidano ai segnalatori acustici per percepire la tipologia di fase semaforica in atto. In aggiunta, l'allineamento della traiettoria risulta difficoltosa per via della mancanza del traffico veicolare parallelo.	**Accessibilità** Costituisce un vantaggio per i pedoni con disabilità che si affidano alla percezione della fase semaforica in atto mediante l'utilizzo dei segnalatori acustici. Allo stesso tempo, il mantenimento della traiettoria di spostamento è favorita dalla presenza del traffico veicolare in movimento.
Comodità Gli attraversamenti potrebbero essere realizzati diagonalmente per ridurre i tempi di attraversamento pedonale, ma allo stesso tempo questo indurrebbe un incremento del ritardo per i guidatori	**Comodità** Gli attraversamenti pedonali sono sempre paralleli ai movimenti di attraversamento non in conflitto.

Tabella 10 Confronto fase esclusiva/simultanea.

Sulla base di quanto appena illustrato, si evidenzia che non è possibile soddisfare in via del tutto parallela la richiesta del pedone in termini di sicurezza e ritardo; infatti, qualora si utilizzasse una fase esclusiva, aumenterebbe la sicurezza pedonale sugli attraversamenti ma allo stesso tempo il pedone sarebbe costretto ad attendere in misura maggiore prima di poter attraversare, generando un rischio di attraversamento improprio con luce semaforica rossa. Al contrario, una fase

semaforica simultanea consentirebbe potenzialmente meno ritardi per egli attraversamenti dei flussi pedonale e/o veicolari, ma contemporaneamente non sarebbero garantiti gli stessi livelli di sicurezza della fase esclusiva.
Tuttavia, gli studi sopra citati consigliano l'utilizzo di una delle due tecniche di regolazione a seconda di alcune condizioni, fra cui un valore limite di flusso pedonale. Tale considerazione risulta ragionevole in quanto non avrebbe senso assegnare una fase pedonale esclusiva ad una intersezione interessata da un flusso pedonale relativamente basso e geometricamente soddisfacenti. In questo contesto, il monitoraggio continuo dei flussi pedonali potrebbe fornire un supporto utile alla regolazione, consentendone l'adeguamento all'effettiva presenza di flussi pedonali più o meno rilevanti.

4.2.2 Posizionamento delle linee di STOP

Il posizionamento delle linee di STOP o di precedenza dinanzi all'attraversamento pedonale incide sia nel caso delle intersezioni semaforizzate che nel caso degli attraversamenti di mezzeria sugli archi.
La distanza di posizionamento delle linee di stop, nel caso degli attraversamenti pedonali delle intersezioni semaforizzate, deve essere di almeno 4 ft (1,2 m circa), in modo da permettere a guidatori e pedoni di avere una visione piuttosto chiara delle intenzioni e dei movimenti dei diversi utenti.
L'obiettivo di tale imposizione è quello di evitare che, come accade frequentemente, i veicoli si fermino in prossimità dell'attraversamento, particolarmente vicini ai pedoni. L'esatto posizionamento delle linee di arresto sfocia in un incremento della visibilità dei veicoli per i pedoni e garantisce agli stessi di avanzare sull'attraversamento prima che i veicoli inizino la fase di svolta.
Allo stesso, è necessario aggiungere un paio di considerazioni:

- L'efficacia del posizionamento dipende dal rispetto delle regole da parte degli automobilisti;
- Se la linea di arresto è posizionata troppo lontano dall'attraversamento, i guidatori potrebbero non considerarla (Figura 46);
- In alcune sedi attraversamenti più larghi potrebbero essere soluzioni alternative (Figura 47).

Figura 46 - Linea di stop lontana dall'attraversamento.

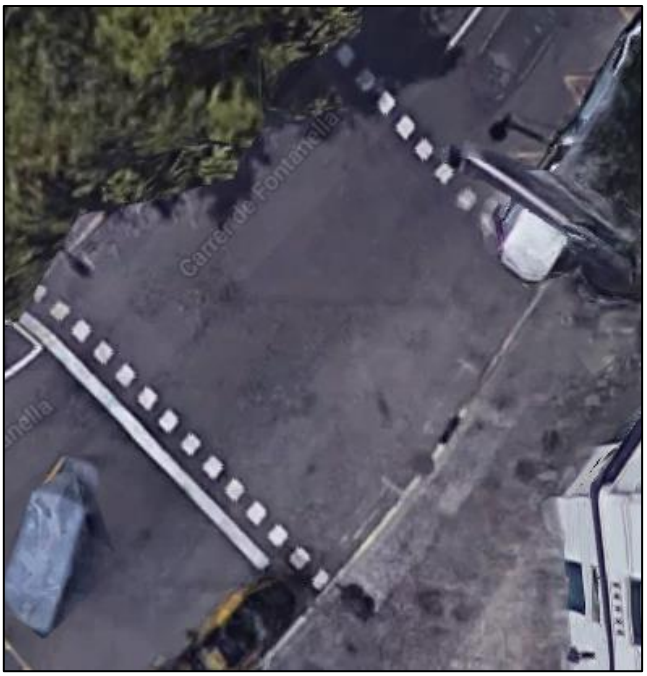


Figura 47 - Attraversamento pedonale largo.

4.2.3 Bottone di chiamata e tempo a disposizione

La progettazione iniziale e il posizionamento dei pulsanti di chiamata dovrebbero rispettare le seguenti condizioni :

- I pulsanti dovrebbero essere installati in corrispondenza del termine di ogni attraversamento;
- I pulsanti dovrebbero essere facilmente raggiungibili, non lontani dalla sede stradale (6ft – 1,8 m);
- La facciata del pulsanti dovrebbe essere installata parallelamente all'attraversamento;
- Segnali supplementari dovrebbero indicare la direzione di attraversamento e l'indicazione del segnale associato ad ogni pulsante;
- Un'indicazione visibile del pulsante deve essere disponibile e rimanere illuminata fin quando la luce verde pedonale è attiva.

Inoltre, dovrebbero essere previsti ulteriori segnali, in formato non visibile, che garantiscono informazioni supplementari (tono acustico, messaggi vocali o superfici vibranti).
Laddove i volumi pedonali risultino alti o laddove il rispetto del segnale è carente, la risposta alla richiesta di attraversamento a chiamata dovrebbe essere quasi immediata.
Come anticipato anche nel capitolo 2, il segnale semaforico può prevedere dei dispositivi utili alla rilevazione dei pedoni nei pressi dell'intersezione; una volta individuato il pedone, il dispositivo comunica con la centralina per l'attivazione della fase pedonale all'interno di un ciclo programmato con tale opzione. Questo meccanismo può evitare l'installazione del pulsanti di richiesta di attraversamento.
I pulsanti di chiamata non sono richiesti laddove il controllo semaforico prevede l'attivazione costante della fase pedonale durante ogni ciclo.

In ultimo, generalmente i pulsanti di richiesta vengono installati negli attraversamenti posti nella mezzeria di un arco che collega due intersezioni particolarmente distanti.
In termini di sicurezza, è stato provato in diverse intersezioni come il funzionamento del pulsante di chiamata generi un incremento della fase di attraversamento con luce verde e una riduzione degli attraversamenti con luce rossa (contrari al codice della strada) [12].

Il tempo a disposizione per l'attraversamento pedonale deve essere progettato in modo da fornire almeno il minimo tempo di verde e gli intervalli di sicurezza. Nelle intersezioni su strade a più corsie, gli intervalli dei segnali pedonali possono superare il tempo di verde dedicato ai veicoli durante le fasi simultanee.
Tuttavia, i tempi di verde pedonale possono essere accorciati laddove venga ridotta la distanza di attraversamento mediante l'inserimento di cordoli o isole pedonali.

4.2.4 Segnalatori acustici

Fra le tecnologie proposte per il miglioramento delle condizioni di sicurezza, i segnali acustici, attivabili mediante pulsanti di richiesta, sono considerati i più appopriati per assistenza e orientamento dei pedoni con ridotte capacità visive [13]. L'efficacia degli altoparlanti dipende dal posizionamento, dal contenuto del messaggio e dalla frequenza del segnale (generalmente all'aumentare della frequenza del segnale, il tempo a disposizione per l'attraversamento diminuisce). L'aiuto alla navigazione può essere inoltre generato dalla presenza di elementi in leggero rilievo sulla sede interessata dall'attraversamento.
Numerosi studi, effettuati in diversi contesti, confermano come l'utilizzo dei segnalatori acustici risultino particolarmente utili all'orientamento e alle tempistiche di attraversamento, se posizionati in maniera corretta (in un angolo di una intersezione, due segnalatori acustici devono essere distanti almeno 10ft – 3,3m circa) [12].
Si riporta di seguito una figura utile al posizionamento dei segnalatori acustici nei pressi di un attraversamento pedonale.

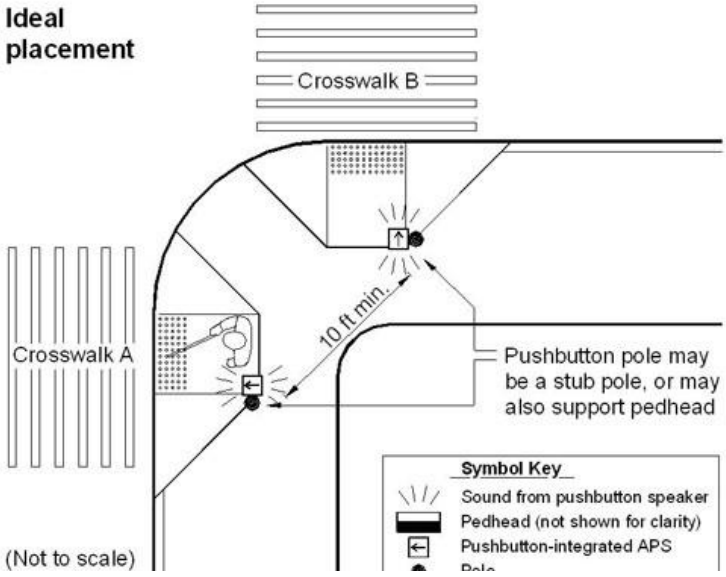


Figura 48 - Disposizione segnalatori acustici.

4.2.5 Puffin Crossing

PUFFIN è l'acronimo di *Pedestrian User Frendly Intelligent Intersection,* e utilizza una serie di tecniche di rilevamento dei pedoni sulle strisce pedonali per determinare un'eventuale estensione o cancellazione della fase pedonale di un semaforo.
Frequentemente, pedoni con difficoltà motorie o anziani, sono costretti ad affrontare una serie di gravi sfide in termini di sicurezza quando la geometria dell'intersezione stradale è complessa e i tempi a disposizione per l'attraversamento sono limitati. Di conseguenza un attraversamento di tipo *Puffin* fornisce ai pedoni, fra le diverse opportunità, quella di avere un potenziamento del segnale/fase pedonale che può fornire maggior a tempo a disposizione per l'attraversamento della sede stradale.
Analogamente alle tecniche precedenti, anche in questo caso diversi studi hanno confermato che l'utilizzo di suddetta tipologia di attraversamento comporta una riduzione degli incidenti fra pedoni e veicoli e di conseguenza incrementa il livello di sicurezza dell'incrocio [12].

4.2.6 Ulteriori segnalazioni

Determinate segnalazioni come lo STOP, la precedenza, o segnali di restrizioni di svolta, possono essere imposte per fornire informazioni utili ad automobilisti e pedoni che non hanno familiarità con un'area come l'intersezione urbana.
In particolari situazioni, le segnalazioni possono essere utili a reindirizzare i pedoni verso una posizione più sicura per l'attraversamento dell'intersezione o possono avvisare il pedone di possibili manovre impreviste dei guidatori.
Tutti i segnali dovrebbero essere periodicamente controllati per assicurarsi che siano in buone condizioni, ovvero retroriflettenti di notte e privi di manipolazioni dovute ad atti vandalici.

4.3 Valutazione degli aspetti di sicurezza

A partire dall'intersezione ricostruita in Aimsun citata nel capitolo precedente e per la quale sono state effettuate diverse considerazioni, si è deciso di procedere con un'analisi dei conflitti di traffico attivando lo strumento SAM, presente nella stessa sezione utilizzata per attivare Legion.
Grazie all'attivazione di suddetto strumento sono stati ottenuti dei file traiettoria per gli scenari ipotizzati, successivamente caricati nel software SSAM (free), disponibile in rete all'indirizzo https://highways.dot.gov/safety/ssam/surrogate-safety-assessment-model-overview .

4.3.1 Determinazione degli scenari di traffico

Per poter osservare i vantaggi ottenibili in termini di sicurezza a partire dalla variazione delle fasi semaforiche assegnate ai pedoni, si è deciso di implementare tre differenti tipologie di scenario tutte facenti riferimento allo scenario dell'evento in conclusione allo stadio Olimpico. Si è deciso di prendere in considerazione uno scenario di riferimento con ciclo pari a 110 secondi e con fase semaforiche pedonali identiche a quelle dei veicoli, a cui sono stati aggiunti due scenari rispettivamente con intervallo di verde anticipato di 10 secondi per ogni fase (Leading pedestrian interval) e fase esclusiva pedonale di 20 secondi.
Costruiti gli scenari di traffico, si è passati alla determinazione dei file traiettoria per la successiva implementazione nel tool SSAM.

4.3.2 Risultati implementazione SSAM

Una volta generati i file traiettoria[26] si è passati al caricamento degli stessi nel software SSAM. In riferimento a quanto citato nei paragrafi precedenti relativi al Time to Collision e al Post Encroachement Time, si è deciso di imporre una soglia limite di ricerca dei conflitti pari a 1,5 secondi per il TTC e 5 secondi per il PET.

Il risultato ottenuto non fornisce alcuna informazione relativa ai conflitti veicolo-pedone, bensì le sole indicazioni riguardanti i conflitti fra veicoli nei rami d'approccio e nel nodo dell'intersezione. Questo, di conseguenza, non permette una valutazione approfondita degli aspetti di sicurezza relativi ai pedoni e i vantaggi ottenibili dalla variazione delle fasi semaforiche.
Si riportano, per completezza, i risultati ottenuti e relativi ai soli veicoli.

	Numero conflitti TTC
Regolazione base 110s	174
Regolazione Lead.Ped.Int.110s	182
Regolazione Esclus.Ped. 110s	109

Tabella 11 - Analisi dei conflitti fra veicoli

Dai risultati esposti in Tabella 11, nonostante si faccia riferimento ai soli conflitti fra veicoli, è possibile notare come ci sia una netta diminuizione nel caso della regolazione semaforica con fase esclusiva dedicata ai pedoni; infatti, durante la propria marcia, i veicoli non sono costretti ad arrestarsi per attendere l'attraversamento dei pedoni, generando di fatti un movimento più fluido della totalità dei veicoli nei pressi dell'intersezione. Qualora i pedoni riuscissero ad attraversare l'incrocio nel tempo a loro dedicato, si evince che l'aspetto della sicurezza tende a migliorare notevolmente. Ovviamente, come anticipato nei capitoli precedenti, bisogna tener conto dei ritardi accumulati sia dai veicoli che dai pedoni dovuti all'incremento della durata del ciclo. Ne deriva che gli aspetti relativi alla sicurezza e ai tempi di attraversamento dell'incrocio risultano in contrapposizione fra di essi.

[26] I file traiettoria vengono generati automaticamente dopo aver attivato lo strumento SAM nell'apposita sezione.

Conclusioni e sviluppi futuri

La "mobilità sostenibile" è sempre più al centro di numerose attenzioni. Vi è, infatti, un forte interesse nelle aree urbane a ridurre i livelli di inquinamento e congestione provocati dall'eccessivo numero di veicoli presenti sulle strade. Le città tendono a favorire lo sviluppo dei metodi di trasporto sostenibili e multimodali (trasporto pubblico, mobilità ciclabile e pedonale), riducendo di conseguenza l'impatto ambientale nel territorio.
A tal scopo, la tesi ha affrontato il tema delle intersezioni stradali urbane interessate dai flussi pedonali, perchè sono i nodi della rete in cui avviene l'interruzione del flusso di traffico e dove è possibile implementare adeguate strategie di controllo. In particolare, considerando che tradizionalmente le intersezioni stradali regolate con impianti semaforici sono orientate prevalentemente alla gestione dei flussi veicolari, perché generalmente più rilevanti, sia per la loro entità, sia per gli effetti sulla sicurezza e la congestione, sono stati esaminati quegli aspetti integrativi della regolazione semaforica (osservazione, valutazione del livello di servizio, simulazione) che si rendono necessari quando i flussi pedonali diventano non trascurabili.

Durante il lavoro di tesi svolto sono state individuate le *tecniche di rilevamento dei flussi pedonali* presso le intersezioni urbane semaforizzate, con particolare attenzione alle tecniche automatiche, che possono quindi essere utilizzate dai sistemi di regolazione, fornendo dati integrativi che i sensori di monitoraggio dei flussi veicolari non sono in grado di fornire. In particolare è stato sperimentato anche un metodo di rilevamento automatico dei pedoni basato su elaborazione di immagini.

Ulteriore elemento del problema è la *misurazione della qualità del servizio* offerto all'utenza pedonale in fase di attraversamento, in un ambiente multimodale veicolo-pedone. I sistemi di regolazione, infatti, nel perseguire gli obiettivi fissati, possono misurare durante l'operazione di attuazione, come elemento del controllo, o a posteriori per la verifica, la qualità offerta agli utenti. Alla fase di osservazione è stata affiancata una fase di *simulazione*, per estendere l'analisi dei parametri in gioco, applicata ad una intersezione osservata sul campo ed esplorata in diversi scenari. In aggiunta all'attività di analisi, sono stati descritti alcuni metodi per la valutazione della *sicurezza pedonale* nelle intersezioni controllate da semaforo.

Esistono diverse tecniche di osservazione dei flussi pedonali, in grado di rilevare il pedone in prossimità di un attraversamento pedonale oppure durante l'attraversamento. Ad ogni modo, non tutte le tecnologie disponibili risultano soddisfacenti per la rilevazione dei pedoni in una intersezione urbana semaforizzata. Il problema è dovuto, infatti, al mancato riconoscimento degli stessi in tracciati/spazi condivisi con altri utenti (i.e. ciclisti) ; a tale limitazione, si sommano i possibili problemi dovuti alle condizioni meteorologiche e/o di illuminazione, che non garantiscono un adeguato riconoscimento della sagoma. Con riferimento all'individuazione della direzione di movimento, si può sostenere che ad oggi, fatta eccezione per i rilevatori acustici e di pressione per cui non si hanno informazioni a riguardo, tutte le tecniche individuate risultano utilizzabili.
Uno dei problemi riscontrati dall'analisi della letteratura è quello relativo alla svolta e allo stazionamento dei pedoni, casi che si verificano soprattutto in prossimità degli attraversamenti posti in corrispondenza delle intersezioni controllate semaforicamente. Considerando che gli attraversamenti pedonali spesso risultano condivisi, una soluzione proposta a tale problema è l'utilizzo delle telecamere o delle termocamere, abbinate a procedure di calcolo capaci di individuare e seguire le tracce degli utenti sia in tempo reale che in post elaborazione. Per esempio,

vi è una soluzione che utilizza le immagini termiche e la tecnologia Wi-Fi per gestire i tempi semaforici dopo aver rilevato la presenza di veicoli, ciclisti o pedoni, generando immagini ad alta risoluzione.
Qualora, in corrispondenza delle intersezioni semaforiche, alla fase di osservazione e rilevamento dei flussi pedonali, si voglia associare il miglioramento delle condizioni di sicurezza, si può integrare un radar ad ogni lanterna semaforica associata ad un attraversamento, in quanto tale dispositivo può individuare l'eventuale presenza di un pedone, consentendo l'estensione del tempo di verde per proteggere l'attraversamento.
In merito alle tecniche di rilevamento è stata riportata una soluzione relativa al conteggio automatico dei pedoni a partire dalle immagini registrate in uno scenario esemplificativo. Si è scelto un contesto simile all'angolo di una intersezione presso la quale transitano i pedoni interessati all'attraversamento della carreggiata stradale.
Il software utilizzato è stato in grado di conteggiare con soddisfacente precisione il numero di pedoni transitati nelle diverse celle posizionate sull'area di interesse, ma si è visto come ci sia una dipendenza dal posizionamento della telecamera in quanto non è permessa l'individuazione di tutte le sagome in movimento a causa dalla loro sovrapposizione nella scena.
Inoltre, considerando che ai pedoni rilevati non viene assegnato un ID fisso, sono state riscontrate alcune difficoltà nella determinazione della direzione di movimento.
Per i motivi sopra illustrati, allo stato attuale, l'utilizzo di tecniche simili risulta utile in ambienti poco affollati e laddove la direzione di spostamento non interessi all'analista.

Lo studio relativo al calcolo del livello di servizio (LoS) offerto all'utenza pedonale in fase di attraversamento è stato effettuato tenendo conto dei flussi veicolari e pedonali rilevati, in una intersezione selezionata nel comune di Torino (C.so Orbassano – Via Filadelfia), attraverso il conteggio manuale da video. Tale tecnica è risultata dispendiosa in termini temporali ma allo stesso tempo necessaria in quanto si dovevano conoscere i flussi di dettaglio per l'intersezione.
Lo sviluppo della metodologia ha permesso di individuarne vantaggi e svantaggi. Fra i vantaggi c'è sicuramente la semplicità e la linearità dei processi di calcolo, che conducono alla definizione di indicatori di performance relativi sia alle aree a disposizione dei pedoni durante la fase di attesa e attraversamento, sia alla qualità del servizio offerto all'utenza mediante il punteggio LOS SCORE, che tiene conto della geometria dell'intersezione, del ritardo associato ai pedoni e dei dati di svolta dei flussi veicolari. In maniera del tutto analoga, le variabili in gioco sono facilmente reperibili sul campo durante la fase di osservazione.
Uno degli svantaggi della procedura, risiede nella definizione della durata del ciclo su base oraria, laddove la regolazione semaforica sia a ciclo variabile; quest'ultimo infatti viene considerato come media di tutti i cicli semaforici registrati durante la fase di rilevazione e, di conseguenza, potrebbe non risultare identificativo di un ciclo relativo ad un particolare evento (molto maggiore o molto minore rispetto alla media) verificatosi durante la fase di osservazione.
Un secondo svantaggio è relativo al calcolo del punteggio LOS SCORE; in questa circostanza, infatti, il parametro relativo alla geometria (numero di corsie) della carreggiata è variabile col logaritmo ed assume valori nettamente superiori rispetto agli altri parametri che riguardano i flussi veicolari, ritardi pedonali e velocità di accesso all'intersezione. Per tale motivo, il calcolo del punteggio LOS SCORE, risente in particolar modo della variazione di geometria della carreggiata, limitando di fatto le variazioni inerenti alle correnti di traffico interessate dall'intersezione (flussi, velocità). Allo stesso tempo, diversamente da quanto ipotizzabile, nel calcolo del punteggio LOS SCORE non rientra nessun parametro relativo agli spazi a disposizione dei pedoni durante la fase di attesa e attraversamento; infattile variabili relative alle aree disponibili, forniscono solo un'indicazione integrativa al valore del LOS.

Come anticipato, alla fase di osservazione e calcolo del livello di servizio è stata affiancata la fase di simulazione. Quest'ultima, visti i risultati illustrati nel capitolo 3 della tesi, è risultata fondamentale sia per la definizione di alcuni parametri utili allo sviluppo della procedura per il calcolo del livello di servizio, sia per lo studio dei diversi scenari che si potrebbero verificare nell'intersezione di riferimento.
Un'estensione del micro-simulatore ha permesso di ricavare il tempo e la velocità di attraversamento della carreggiata per i flussi pedonali; questi due parametri potrebbero essere utilizzati qualora, in futuro, si preferisca collegare la procedura per il calcolo del livello di servizio, evitando ipotesi o rilievi diretti sul campo.
Un ulteriore aspetto interessante è risultato essere quello relativo allo studio dei diversi scenari per la valutazione delle variazioni applicabili ai piani semaforici.
Ipotizzando uno scenario base e uno scenario particolarmente intenso in termini di flussi pedonali in movimento, si è riusciti ad ottenere informazioni relative al funzionamento dell'attraversamento nelle diverse condizioni; si è visto, infatti, che l'attraversamento considerato per l'intersezione fra C.so Orbassano e Via Filadelfia, è in grado di smaltire i flussi pedonali in qualsiasi circostanza, senza generare eccessivi incrementi dei tempi di attraversamento e particolari riduzioni di velocità.
I risultati di simulazione risultano soddisfacenti anche nella definizione delle velocità nonostante ci siano delle lievi differenze. Nello scenario base, infatti, considerati i volumi ridotti, il simulatore riesce a rappresentare quanto presumibilmente avviene nella realtà, ovvero una velocità di camminamento leggermente superiore rispetto agli scenari in cui il tasso di affollamento è superiore. Questo risultato potrebbe essere di aiuto qualora in futuro si decidesse di approfondire l'analisi relativa ai flussi pedonali sull'intera rete.
La definizione di nuovi piani semaforici con cicli sia ridotti che incrementati rispetto al ciclo semaforico base e in atto (90s) ha permesso di valutare che, nonostante vi siano dei risultati accettabili confrontando i diversi scenari, si arrecano dei piccoli vantaggi ai pedoni (diminuzione del tempo di attraversamento), ma allo stesso tempo si inducono degli svantaggi ai veicoli (aumento del ritardo). I risultati raggiunti ci aiutano ad evidenziare il ruolo della fase di simulazione in un'analisi dell'intersezione, sebbene sia da associare in ogni modo all'osservazione sul campo.

Il tema della sicurezza è stato introdotto richiamando alcuni strumenti di analisi utili per eventuali sviluppi del tema. Esistono diverse tipologie di approccio per la valutazione del livello di sicurezza in una intersezione urbana semaforizzata; si possono, infatti, stabilire priorità di intervento a seconda dei volumi di traffico e della geometria dell'intersezione, considerando la tipologia di controllo adottata per la stessa. Nella metodologia proposta dalla Federal Highway Administration, si propone un indice rappresentativo della priorità di intervento (PedISI) per il miglioramento del livello di sicurezza.
Una specifica analisi del rischio che conduce alla classificazione degli attraversamenti pedonali sulla base di un indice di rischio globale e un indice di rischio dei singoli aspetti di valutazione può essere condotta da esperti mediante liste di controllo. Sono giudicati separatamente i livelli di localizzazione, visibilità, accessibilità, segnaletica, illuminazione e tipologia di traffico dell'intersezione, da cui è possibile definire un indice (di sicurezza) che verrà poi utilizzato per la scelta dei possibili interventi da effettuare sull'intersezione.
In aggiunta alle due metodologie sopra riportate, esiste la possibilità, se sono note le tracce di tutti gli utenti dell'intersezione (nel nostro caso, veicoli e pedoni) di calcolare ulteriori indici, ovvero il Time To Collision e il Post Encroachment Time, per la valutazione dei conflitti di traffico nell'intersezione di interesse.

E’ stato possibile, grazie alla guida PedSafe, individuare alcune tecniche per il miglioramento delle condizioni di sicurezza, relative sia all’adozione di alcune soluzione geometriche, sia ad alcune soluzioni per il controllo semaforico (intervallo anticipato, fase esclusiva, fase protetta).
Fra le soluzioni che non riguardano l’adozione di nuovi piani semaforici vi sono il posizionamento distanziato delle linee di stop dall’attraversamento pedonale, l’installazione dei segnalatori luminosi e acustici, i pulsanti di chiamata e l’utilizzo di tecnologie per agevolare l’attraversamento.
Il controllo semaforico è stato approfondito considerando fasi semaforiche pedonali sia simultanee che esclusive; sono stati costruiti, infatti, due diversi scenari con fase pedonale esclusiva e con fase pedonale anticipata rispetto a quella veicolare.
Non è stato possibile ottenere informazioni relative ai conflitti veicolo-pedone, ma comunque grazie ad alcune analisi effettuate sul software dedicato, si è visto che il numero di conflitti fra veicoli è risultato essere molto simile laddove sia stato utilizzato un controllo semaforico simultaneo (scenario base e scenario con intervallo di verde anticipato), mentre è stato osservato un numero di conflitti particolarmente ridotto (quasi la metà dei precedenti) nel caso della fase semaforica esclusiva. Se a questi risultati si aggiunge l’ipotesi che durante la fase esclusiva i pedoni siano in grado di attraversare la carreggiata in sicurezza, ne deriva che l’utilizzo di una fase pedonale esclusiva aumenta il livello di sicurezza generale in una intersezione semaforizzata.
La soluzione appena citata risulta però in contrasto con le prestazioni dell’interesezione in termini di ritardo; infatti, per poter utilizzare una fase esclusiva è necessario aumentare la durata del ciclo semaforico e si è visto come questo comporti pochi vantaggi per i pedoni e uno svantaggio notevole per i veicoli. Poichè non si hanno a disposizione i dati relativi ai conflitti veicolo-pedone per le diverse soluzioni adottate in questo studio, si rimanda ad eventuali sviluppi futuri per la valutazione della sicurezza pedonale nelle diverse tipologie di controllo semaforico adottabili.

L’analisi dei flussi pedonali potrebbe essere sviluppata considerando i diversi aspetti trattati in questo lavoro di tesi.
Per la fase di osservazione, si potrebbe predisporre l’utilizzo combinato sul campo delle tecniche individuate, al fine di ridurre o eliminare le limitazioni appartenenti alle singole tecnologie; per esempio, l’utilizzo combinato dei radar e delle termocamere sugli attraversamenti, e delle telecamere con vista ampia sull’intersezione, potrebbe condurre simultaneamente alla risoluzione dei problemi relativi all’illuminazione e al meteo, alla rilevazione più estesa dei flussi interessati dall’intersezione. Un possibile sviluppo relativo al software di calcolo automatico di conteggio da immagini video potrebbe essere l’assegnazione di un ID fisso relativo agli oggetti rilevati in modo da riuscire a stabilire la direzione di movimento, utile per le analisi presentate.
In merito al calcolo del livello di servizio, si potrebbero estendere le applicazioni per analizzare scenari più complessi sia in termini geometrici (esempio dei controviali a Torino) che di controllo semaforico. In parallelo, fondamentale per un’analisi di tipo multimodale, andrebbero applicate le metodologie di calcolo del livello di servizio ciclabile e per il trasporto pubblico, al fine di individuare indici di performance estesi, nella logica della "mobilità multimodale".
La fase di simulazione, considerate le limitazioni riscontrate durante lo sviluppo del presente lavoro, potrebbe essere implementata utilizzando software in versione più estesa e con maggiori funzionalità, ipotizzando dunque scenari estremi e con la possibilità di ottenere dati di output più completi e dettagliati.
Il tema della sicurezza si potrebbe sviluppare individuando ulteriori modalità di valutazione, ad esempio in simulazione, dei conflitti veicolo-pedone, valutandone le potenzialità rispetto alle tecniche basate sull’osservazione automatica dei flussi.

Bibliografia

[1] S. A. Bagloee *et al.*, "Guidebook on Pedestrian and Bicycle Volume Data Collection," *Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board*, vol. 2140, no. 3, p. 139, 2014.

[2] C. Caramuta, G. Collodel, C. Giacomini, C. Gruden, G. Longo, and P. Piccolotto, "Survey of detection techniques, mathematical models and simulation software in pedestrian dynamics," *Transp. Res. Procedia*, vol. 25, pp. 551–567, 2017.

[3] T. Morris, X. Li, V. Morellas, and N. Papanikolopoulos, "Video Detection and Classification of Pedestrian Events at Roundabouts and Crosswalks," p. 37p, 2013.

[4] W. H. Y. T. Raficon, "P Edestrian Presence Detection."

[5] F. D. I. M. Wi-fi, "FLIR TrafiOne."

[6] K. Manston, "The Challenges of Using Radar for Pedestrian Detection," *Traffic Eng. Control*, pp. 1–8, 2011.

[7] D. Output, M. Height, and H. Material, "Weight: 650g."

[8] T. S. Systems, "Aimsun 8 Dynamic Simulators Users ' Manual July 2015," no. July, 2015.

[9] S. Cafiso, A. Montella, T. Luigi, and T. Università, "Valutazione Dei Fattori Di Rischio Degli Analisi Di Sicurezza E Analisi Dei Conflitti," pp. 1–21, 2008.

[10] Y. Ni, P. D. Associate, M. Wang, J. Sun, and K. Li, "Evaluation of pedestrian safety at intersections : A theoretical framework based on pedestrian-vehicle interaction patterns," vol. 96, pp. 118–129, 2016.

[11] Garber and R. Srinivasan, "Characteristics of accidents involving elderly drivers at intersections," *Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board*, vol. 1325, no. 5, pp. 17–22, 1991.

[12] J. Mead, "Evaluation of Pedestrian-Related Roadway Measures : A Summary of Available Research," no. April, 2014.

[13] R. W. Wall and D. H. Bauer, "IMPROVING PEDESTRIAN SAFETY AT SIGNALIZED National Institute for Advanced Transportation Technology University of Idaho," no. June, 2012.

[14] "Poli count."

Allegato 1

In questo allegato si riporta un esempio pratico di calcolo del Livello di servizio (LOS), sviluppato dopo aver raccolto i dati direttamente sul campo.

L'intersezione oggetto di analisi è stata scelta al fine di rispettare tutte le condizioni imposte dal manuale HCM (vedi capitolo 3). Si è deciso di effettuare un rilievo con osservazione diretta dei parametri richiesti con registrazione manuale su foglio elettronico.
E' stata selezionata l'intersezione urbana semaforizzata a 4 strade che collega Corso Orbassano con Via Filadelfia nel comune di Torino. In entrambe le carreggiate è previsto il doppio senso di marcia con possibilità di svolta a sinistra per le ambedue direzioni di marcia.
Si riporta in Figura 49, estratta dalle immagini satellitari, l'intersezione oggetto di analisi.

Figura 49 - Intersezione urbana semaforizzata C.so Orbassano - Via Filadelfia.

Si è scelto di raccogliere i dati il giorno 10 marzo 2018 dalle ore 11:00 alle ore 12:00, considerando le attività (mercati di quartiere) presenti nei dintorni, generatrici di traffico pedonale e veicolare.
Al fine di semplificare la definizione delle carreggiate, dei marciapiedi e degli attraversamenti si è utilizzata la convenzione riportata in Figura 50:

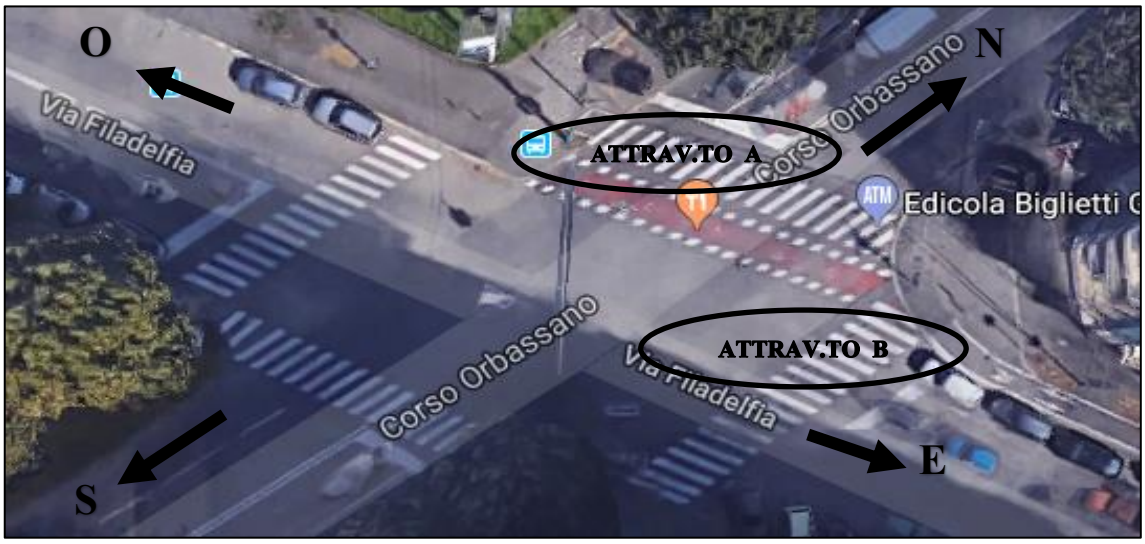


Figura 50 - Orientamento e caratterizzazione degli attraversamenti.

Si procede a questo punto con lo sviluppo della procedura per la determinazione del "Livello di Servizio" offerto all'utenza pedonale dall'intersezione, focalizzando l'attenzione su un solo angolo dell'intersezione, ovvero quello che raccorda gli attraversamenti A e B. Qualora si volesse calcolare il livello di servizio degli altri 2 attraversamenti pedonali si può utilizzare la medesima procedura semplicemente valutando la restante parte dei flussi interessati.

Dati di input

L'intersezione analizzata consente il movimento dei pedoni lungo 4 attraversamenti pedonali ben definiti e permette ai veicoli di svoltare in qualsiasi direzione indipendentemente dalla provenienza (non esistono limitazioni di svolta).
Il controllo semaforico è a ciclo fisso (90 secondi) con fase simultanea per l'attraversamento dei pedoni, la svolta a sinistra dei veicoli è permessa (e non protetta).
Si riportano di seguito tre immagini con la rappresentazione dei flussi pedonali e veicolari che interessano gli attraversamenti "A" e "B" in connessione con l'angolo a nord-est.

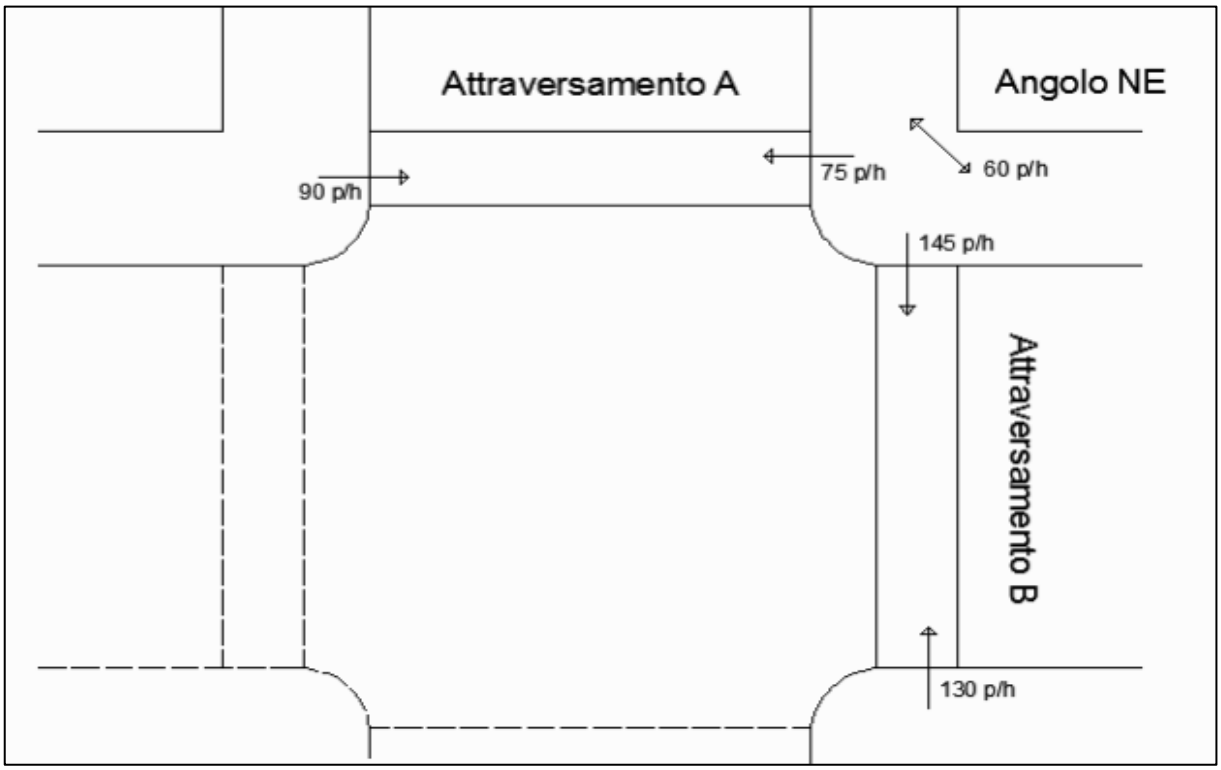


Figura 51 - Flussi pedonali angolo NE intersezione Orbassano – Filadelfia rilevati.

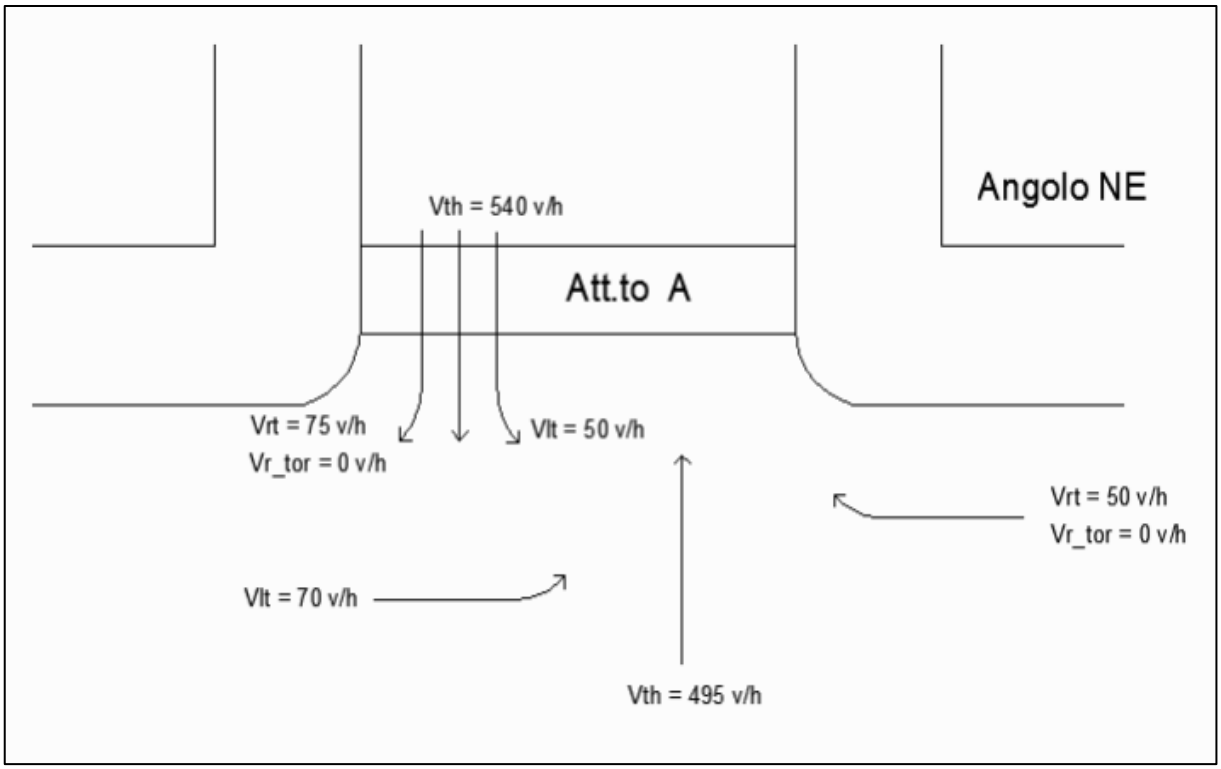


Figura 52 - Flussi veicolari attraversamento "A" intersezione Orbassano – Filadelfia rilevati.

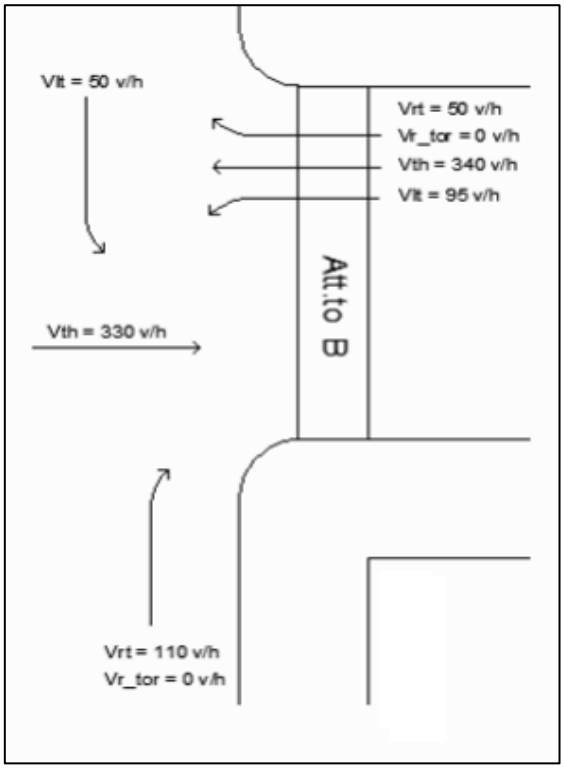


Figura 53 - Flussi veicolari attraversamento "B" intersezione Orbassano – Filadelfia rilevati.

Oltre ai dati relativi ai flussi pedonali e veicolari, si conoscono i seguenti dati relativi al controllo semaforico (fase simultanea e assenza di lanterna pedonale[27]), alla geometria dell'intersezione e alle velocità di accesso alla stessa.

C.so Orbassano: Durata della fase = 43 s
Giallo veicolare = 5 s
Tutto rosso = 1 s
Verde pedonale = 37 s
Giallo pedonale = 5 s
Carreggiata a 4 corsie (no corsia canalizzazione per la svolta)
85.imo percentile della velocità = 50 km/h

Via Filadelfia: Durata della fase = 47 s
Giallo veicolare = 5 s
Tutto rosso = 1 s
Verde pedonale = 41 s
Giallo pedonale = 5 s
Carreggiata a 4 corsie (no corsia canalizzazione per la svolta)
85.imo percentile della velocità = 50 km/h

Angolo nord-est: Larghezza marciapiede nord = larghezza marciapiede sud = 4 m
Raggio di curvatura marciapiede = 5 m

Attr.to A: Larghezza = 3 m
Lunghezza = 12 m
Velocità di attraversamento = 1 m/s

Altro: Non sono previste isole di svolta a destra per i veicoli.
La lanterna semaforica pedonale non è presente.
La modalità *rest in walk* non è abilitata.

Noti i dati di input si procede con lo sviluppo della metodologia, seguendo gli *step* illustrati in precedenza (capitolo *metodologia HCM*). Il pedice "o" è rappresentativo dei pedoni in uscita dall'angolo a Nord-Est mentre il pedice "i" è associato ai pedoni in ingresso.

Step 1: Determinazione *Corner Circulation Area*

A. <u>Available time space</u>

Per l'angolo a Nord-Est la disponibilità temporale-spaziale per la circolazione e la formazione della coda è pari a:

$$TS_{corner} = C(W_a W_b - 0.215R^2)$$

[27] Fase pedonale simultanea e assenza di lanterna semaforica: i pedoni attraversano nella stessa fase dedicata ai veicoli e fanno riferimento alla lanterna semaforica utilizzata dai veicoli a motore.

$$TS_{corner} = 90(13{,}12 \times 13{,}12 - 0.215(13{,}12)^2)$$

$$TS_{corner} = 12167{,}52\ ft^2 - s$$

B. *Holding area waiting time*

Considerando che il controllo semaforico pedonale è a ciclo fisso e non è installata nessuna lanterna semaforica dedicata all'utenza più debole si avrà che:

$$g_{walk} = D_p - Y_i - R_c$$

Condizione 1 (pedoni in marcia sull'attraversamento B – in attesa in pedoni interessati all'attraversamento A)

Il numero di pedoni in arrivo all'angolo dell'intersezione interessati all'attraversamento A ogni ciclo è uguale a:

$$N_{Ao} = \frac{v_{Ao}}{3600} C$$

$$N_{Ao} = \frac{75}{3600}(90) = 1{,}88\ p$$

$$N_{Ai} = \frac{v_{Ai}}{3600} C$$

$$N_{Ao} = \frac{90}{3600}(90) = 2{,}25\ p$$

Il tempo di verde effettivo per l'attraversamento pedonale fa riferimento in questo caso alla fase semaforica attiva su Via Filadelfia.

$$g_{walk,Filadelfia} = D_{p,Fil} - Y_{Fil} - R_{c,Fil}$$

$$g_{walk,Filadelfia} = 47 - 5 - 1 = 41\ s$$

A questo punto, il tempo speso dai pedoni in attesa dell'attraversamento posto su C.so Orbassano risulta essere:

$$Q_{tAo} = \frac{N_{Ao}(C - g_{walk,Filadelfia})^2}{2C}$$

$$Q_{tAi} = \frac{N_{Ai}(C - g_{walk,Filadelfia})^2}{2C}$$

$$Q_{tAo} = \frac{1{,}88(90 - 41)^2}{2 \times 90}$$

$$Q_{tAo} = 25{,}07\ p - s$$

$$Q_{tAo} = \frac{2{,}25(90 - 41)^2}{2 \times 90}$$

$$Q_{tAo} = 30{,}01\ p - s$$

Si ripete la stessa procedura per valutare il tempo totale speso dai pedoni in attesa dell'attraversamento posto su Via Filadelfia.

Condizione 2 (pedoni in marcia sull'attraversamento A – in attesa in pedoni interessati all'attraversamento B)

Il numero di pedoni in arrivo all'angolo dell'intersezione interessati all'attraversamento B (su Via Filadelfia) ogni ciclo è uguale a:

$$N_{Bo} = \frac{v_{Bo}}{3600} C$$

$$N_{Bo} = \frac{145}{3600}(90) = 3{,}63\ p$$

$$N_{Bi} = \frac{v_{Bi}}{3600} C$$

$$N_{Bo} = \frac{130}{3600}(90) = 3{,}25\ p$$

In questo caso il tempo di verde effettivo fa riferimento alla fase attiva su C.so Orbassano, per cui si ha:

$$g_{walk,Orbassano} = D_{p,Orb} - Y_{Orb} - R_{c,Orb}$$

$$g_{walk,Filadelfia} = 43 - 5 - 1 = 37\ s$$

Analogamente al caso precedente, il tempo totale speso dai pedoni in attesa dell'attraversamento di Via Filadeflia è pari a:

$$Q_{tBo} = \frac{N_{Bo}(C - g_{walk,Orbassano})^2}{2C}$$

$$Q_{tBi} = \frac{N_{Bi}(C - g_{walk,Orbassano})^2}{2C}$$

$$Q_{tBo} = \frac{3{,}63(90 - 37)^2}{2 \times 90} = 56{,}57\ \ p - s$$

$$Q_{tBi} = \frac{3{,}25(90 - 37)^2}{2 \times 90} = 50{,}72\ \ p - s$$

C. *Circulation Time Space*

Il tempo-spazio a disposizioe per i pedoni in movimento tiene conto dello spazio disponibile e dello spazio effettivamente già occupato dai pedoni in attesa, per cui si ha:

$$TS_C = TS_{corner} - [5.0(Q_{tAo} + Q_{tBo})]$$

$$TS_C = 12167{,}52 - [5.0(25{,}07 + 56{,}57)]$$

$$TS_C = 11759{,}62\ \ ft^2 - s$$

D. *Pedestrian Corner Circulation Area*

In ultimo, utilizzando i parametri sopra calcolati si ricava lo spazio richiesto dai pedoni in movimento. Questo valore viene poi valutato facendo riferimento alla Tabella 7 per una valutazione più approfondita.

$$M_{corner} = \frac{TS_C}{4.0N_{tot}}$$

$$N_{tot} = \frac{v_{Ai} + v_{Ao} + v_{Bi} + v_{Bo} + v_{a,b}}{3600} C$$

$$N_{tot} = \frac{90 + 75 + 130 + 145 + 60}{3600} (90)$$

$$N_{tot} = 12{,}5\ p$$

$$M_{corner} = \frac{11759{,}62}{4.0 \times 12{,}5}$$

$$M_{corner} = 235{,}19\ ft^2/p$$

Considerando quanto appena ottenuto, si evince che lo spazio a disposizione del pedone garantisce a quest'ultimo la possibilità di muoversi lungo il percorso desiderato senza dover deviare la propria traiettoria, sinonimo di geometria dell'angolo dell'intersezione soddisfacente dal punto di vista dei movimenti dei flussi pedonali.

Step 2: Determinazione *Crosswalk Circulation Area*

Lo step 2 è necessario al calcolo dell'area disponibile al pedone lungo l'attraversamento in esame.

A. Walking Speed

Data la presenza di un mercato di quartiere nei pressi dell'intersezione analizzata e considerata la presenza di persone anziane coinvolte nell'attraversamento, si è scelto di fissare la velocità dei pedoni pari a 3,0 ft/s, corrispondente a circa 1 m/s.

B. Available Time-Space

Si effettua il calcolo distinto della disponibilità spaziale-temporale sui due attraversamenti pedonali.

Attraversamento A

$$TS_{cw} = L_A W_A g_{walk,Fil}$$

$$TS_{cw} = 39{,}37 \times 9{,}84 \times 41$$

$$TS_{cw} = 15887{,}53\ ft^2 - s$$

Attraversamento B

$$TS_{cw} = L_B W_B g_{walk,Orb}$$

$$TS_{cw} = 39{,}37 \times 9{,}84 \times 37$$

$$TS_{cw} = 14337{,}53\ ft^2 - s$$

C. Effective Available Time-Space

La disponibilità spaziale-temporale effettiva tiene conto dello spazio dei veicoli in svolta e in prossimità dell'attraversamento, per cui si avrà una disponibilità ridotta rispetto a quella calcolata nel passaggio precedente.

Attraversamento A

$$TS^*_{cw} = TS_{cw} - TS_{tv}$$

Il valore del tempo-spazio occuparo dai veicoli durante la fase di svolta è calcolato come:

$$TS_{tv} = 40 N_{tv} W_A$$

Il numero di veicoli in svolta che interessa l'attraversamento in esame durante la fase di verde e giallo pedonale è pari a:

$$N_{tv} = \frac{v_{lt,perm} + v_{rt} + v_{rtor}}{3600} C$$

$$N_{tv} = \frac{70 + 50 + 0}{3600} (90) = 3\ veh$$

$$TS_{tv} = 40 \times 3 \times 9{,}84_{tv} = 1181{,}10\ ft^2 - s$$

Si avrà dunque che la disponibilità effettiva risulta essere:

$$TS^*_{cw} = 15887{,}53 - 1181{,}10 = 14706{,}43\ ft^2 - s$$

Attraversamento B

In maniera del tutto analoga a quanto fatto per l'attraversamento A, per l'attraversamento B si ha:

$$TS_{cw}^{*} = TS_{cw} - TS_{tv}$$

$$TS_{tv} = 40 N_{tv} W_B$$

$$N_{tv} = \frac{v_{lt,perm} + v_{rt} + v_{rtor}}{3600} C$$

$$N_{tv} = \frac{50 + 110 + 0}{3600} (90) = 4\ veh$$

$$TS_{tv} = 40 \times 4 \times 9{,}84_{tv} = 1574{,}80\ ft^2 - s$$

$$TS_{cw}^{*} = 14337{,}53 - 1574{,}80 = 12762{,}73\ ft^2 - s$$

D. <u>Pedestrian Service Time</u>

Si procede con il calcolo del tempo di servizio, inteso come il tempo necessario ai pedoni ad attraversaere in sicurezza l'attraversamento.

Attraversamento A

Poichè la larghezza dell'attraversamento è inferiore a 10ft (circa 3,3 m) il tempo di servizio è pari a:

$$t_{ps,Ao} = 3.2 + \frac{L_d}{S_p} + 0.27 N_{ped,Ao}$$

$$t_{ps,Ai} = 3.2 + \frac{L_d}{S_p} + 0.27 N_{ped,Ai}$$

Il numero di pedoni presenti in attesa del segnale di verde pedonale risulta essere:

$$N_{ped,Ao} = N_{Ao} \frac{C - g_{walk,Fil}}{C}$$

$$N_{ped,Ao} = 1{,}88 \frac{90 - 41}{90} = 1{,}02\ p$$

$$N_{ped,Ai} = N_{Ai} \frac{C - g_{walk,FIl}}{C}$$

$$N_{ped,Ai} = 2{,}25 \frac{90 - 41}{90} = 1{,}23\ p$$

Si ha dunque che il tempo di servizio, sia per i pedoni in ingresso che in uscita, è uguale a:

$$t_{ps,Ao} = 3.2 + \frac{39,37}{3} + 0.27(1,02)$$

$$t_{ps,Ao} = 16,60\ s$$

$$t_{ps,Ai} = 3.2 + \frac{39,37}{3} + 0.27(1,23)$$

$$t_{ps,Ai} = 16,65\ s$$

Attraversamento B

$$t_{ps,Bo} = 3.2 + \frac{L_d}{S_p} + 0.27N_{ped,Bo}$$

$$t_{ps,Bi} = 3.2 + \frac{L_d}{S_p} + 0.27N_{ped,Bi}$$

$$N_{ped,Bo} = N_{Bo}\frac{C - g_{walk,Orb}}{C}$$

$$N_{ped,Bo} = 3,63\frac{90 - 37}{90} = 2,13\ p$$

$$N_{ped,Bi} = N_{Bi}\frac{C - g_{walk,Orb}}{C}$$

$$N_{ped,Bi} = 3,25\frac{90 - 37}{90} = 1,91\ p$$

$$t_{ps,Bo} = 3.2 + \frac{39,37}{3} + 0.27(2,13)$$

$$t_{ps,Bo} = 16,90\ s$$

$$t_{ps,Bi} = 3.2 + \frac{39,37}{3} + 0.27(1,91)$$

$$t_{ps,Bi} = 16{,}84\ s$$

E. Crosswalk Occupancy Time

Il tempo di occupazione dei due attraversamenti è calcolato come segue, tenendo conto dei tempi di servizio e dei pedoni in movimento sull'attraversamento.

Attraversamento A

$$T_{occ} = t_{ps,Ao}N_{Ao} + t_{ps,Ai}N_{Ai}$$

$$T_{occ} = (16{,}60 \times 1{,}88) + (16{,}65\ \times 2{,}25)$$

$$T_{occ} = 68{,}59\ s$$

Attraversamento B

$$T_{occ} = t_{ps,Bo}N_{Bo} + t_{ps,Bi}N_{Bi}$$

$$T_{occ} = (16{,}90 \times 3{,}63) + (16{,}84\ \times 3{,}25)$$

$$T_{occ} = 115{,}99\ s$$

F. Pedestrian Crosswalk Circulation Area

In ultimo, analogamente a quanto fatto nello step 1, si effettua il calcolo dello spazio disponibile ai pedoni sugli attraversamenti, valutando gli stessi prendendo a riferimento anche in questo caso la Tabella 7Tabella 6.

Attraversamento A

$$M_{cw,A} = \frac{TS_{cw}^{*}}{T_{occ}}$$

$$M_{cw,A} = \frac{14706{,}43}{68{,}59} = 214{,}40\ ft^2/p$$

Attraversamento B

$$M_{cw,B} = \frac{TS_{cw}^{*}}{T_{occ}}$$

$$M_{cw,B} = \frac{12762{,}73}{115{,}99} = 110{,}03\ ft^2/p$$

In entrambi i casi, la geometria dell'intersezione (in particolare degli attraversamenti) consente un movimento fluido ai pedoni permettendo loro di poter seguire la traiettoria ideale senza apportare nessuna modifica.

Step 3: Determinazione *Pedestrian Delay*

Si calcola il ritardo medio associato al pedone per i due attraversamenti in esame. Anche in questo caso possono essere fatte considerazioni sulla base delle soglie di accettabilità definite nel metodo HCM.

$$d_{p,A} = \frac{(C - g_{walk,Fil})^2}{2C}$$

$$d_{p,A} = \frac{(90 - 41)^2}{2 \times 90}$$

$$d_{p,A} = 13{,}34\ s$$

$$d_{p,B} = \frac{(C - g_{walk,Orb})^2}{2C}$$

$$d_{p,B} = \frac{(90 - 37)^2}{2 \times 90}$$

$$d_{p,B} = 15{,}61\ s$$

In riferimento ai valori limite suggeriti dall'HCM (10 e 30 secondi), nel caso in esame, per entrambi gli attraversamenti il giudizio dell'utente è neutro, ovvero il controllo semaforico non è in grado di generare ritardi eccessivi o al contrario uno sgombero particolarmente veloce.

Step 4: Determinazione *Pedestrian LOS Score for Intersection*

Attraversamento A

Il numero di veicoli in viaggio su C.so Orbassano durante un periodo di durata pari a 15 minuti è calcolato come:

$$n_{15,mj} = \frac{0.25}{N_d} \sum_{i \in m_a} v_i$$

$$n_{15,mj} = \frac{0.25}{4}(75 + 0 + 50 + 50 + 0 + 70) = 15{,}31\ veh/ln$$

Il fattore che tiene conto della geometria della sezione stradale risulta essere uguale a:

$$F_w = 0.681(N_a)^{0.514}$$

$$F_w = 0.681(4)^{0.514} = 1{,}39$$

Il fattore relativo ai volumi di traffico è dato dalla seguente relazione:

$$F_v = 0.00569(\frac{v_{rtor} + v_{lt,perm}}{4}) - N_{rtci,a}(0.0027 n_{15,mj} - 0.1946)$$

$$F_v = 0.00569\left(\frac{0 + 70}{4}\right) - 0\big((0.0027 \times 15{,}31) - 0.1946\big) = 0{,}10$$

Il fattore associato alla velocità di accesso all'intersezione è pari a:

$$F_s = 0.00013 n_{15,mj} S_{85,mj}$$

$$F_s = 0.00013 \times 15{,}31 \times 31{,}07 = 0{,}06$$

Il fattore relativo al ritardo medio associato ai pedoni per l'attraversamento è uguale a:

$$F_{delay} = 0.0401 ln(d_{p,A})$$

$$F_{delay} = 0.0401 ln(13{,}34) = 0{,}10$$

Infine, il punteggio LOS per l'attraversamento in esame è la somma di tutti i fattori sopra calcolati, e risulta essere uguale a:

$$I_{p,int} = 0.5997 + F_w + F_v + F_s + F_{delay}$$

$$I_{p,int} = 0.5997 + 1{,}39 + 0{,}10 + 0{,}06 + 0{,}10 = 2{,}25$$

Attraversamento B

Si ripete il calcolo dei diversi fattori per l'attraversamento B.

$$n_{15,mj} = \frac{0.25}{N_d} \sum_{i \in m_a} v_i$$

$$n_{15,mj} = \frac{0.25}{4}(50 + 0 + 95 + 110 + 0 + 50) = 19{,}06\ veh/ln$$

$$F_w = 0.681(N_b)^{0.514}$$

$$F_w = 0.681(4)^{0.514} = 1{,}39$$

$$F_v = 0.00569(\frac{v_{rtor} + v_{lt,perm}}{4}) - N_{rtci,b}(0.0027 n_{15,mj} - 0.1946)$$

$$F_v = 0.00569\left(\frac{0 + 50}{4}\right) - 0\big((0.0027 \times 19{,}06) - 0.1946\big) = 0{,}07$$

$$F_s = 0.00013 n_{15,mj} S_{85,mj}$$

$$F_s = 0.00013 \times 19{,}06 \times 31{,}07 = 0{,}08$$

$$F_{delay} = 0.0401 ln(d_{p,B})$$

$$F_{delay} = 0.0401 ln(15{,}61) = 0{,}11$$

$$I_{p,int} = 0.5997 + F_w + F_v + F_s + F_{delay}$$

$$I_{p,int} = 0.5997 + 1{,}39 + 0{,}07 + 0{,}08 + 0{,}11 = 2{,}25$$

Step 5: Determinazione *LOS*

In riferimento alla Tabella 6 si evince che entrambi gli attraversamenti operano con un livello di servizio B.

Tabella riassuntiva dei risultati ottenuti

Si riportano in tabella i valori ottenuti nello sviluppo della metodologia sull'intersezione fra C.so Orbassano e Via Filadelfia.

ANGOLO INTERSEZIONE – Attraversamento Nord-Est	
TS_{CORNER}	12167 ft^2-s
Q_{TAO}	25,07 p-s
Q_{TAI}	30,01 p-s
Q_{TBO}	56,57 p-s
Q_{TBI}	50,72 p-s
TS_C	11759 ft^2-s
M_{CORNER}	235,19 ft^2-s [28]
Attraversamento A – C.so Orbassano	
TS_{CW}	15887,5 ft^2-s
TS_{TV}	1181,10 ft^2-s
TS^*_{CW}	14106,4 ft^2-s
$t_{ps,Ao}$	16,60 s
$t_{ps,Ai}$	16,65 s
T_{occ}	68,59 s
$M_{cw,A}$	214,40 ft^2/p
$d_{p,A}$	13,34 s
N_{15}	15,31 veh/h
F_w	1,39
F_v	0,10
F_s	0,06
F_{delay}	0,10
$I_{p,int}$	2,25 – **LOS B**
Attraversamento B – Via Filadelfia	
TS_{CW}	14337,53 ft^2-s
TS_{TV}	1574,80 ft^2-s
TS^*_{CW}	12762,7 ft^2-s
$t_{ps,Bo}$	16,90 s
$t_{ps,Bi}$	16,84 s
T_{occ}	115,99 s
$M_{cw,B}$	110,03 ft^2/p
$d_{p,B}$	15,61 s
N_{15}	19,06 veh/h
F_w	1,39
F_v	0,07
F_s	0,08
F_{delay}	0,11

[28] Il valore ottenuto, con riferimento alla tabella 7, è sinonimo di movimento libero dei pedoni senza alcuna deviazione della traiettoria.

$I_{p,int}$	2,25 – **LOS B**

Tabella 12 - Tabella riassuntiva risultati ottenuti sull'intersezione Orbassano/Filadelfia.

Analisi di sensitività – Controllo semaforico e geometria dell'intersezione

Una volta applicata la procedura per intero su di una intersezione esistente, si procede con un esempio di analisi di sensitività per valutare l'impatto del ciclo prima, e la geometria dell'intersezione poi, nei diversi scenari utilizzati come riferimento anche per l'analisi in simulazione (scenario base e scenario stadio con flussi quintuplicati).
L'angolo interessato è quello a Nord-Est, l'attraversamento è quello dell'accesso Nord.
Si riporta, nei grafici successivi, il valore assunto dal *corner circulation area* (area a disposizione del pedone nell'angolo dell'intersezione) considerando una durata del ciclo variabile.

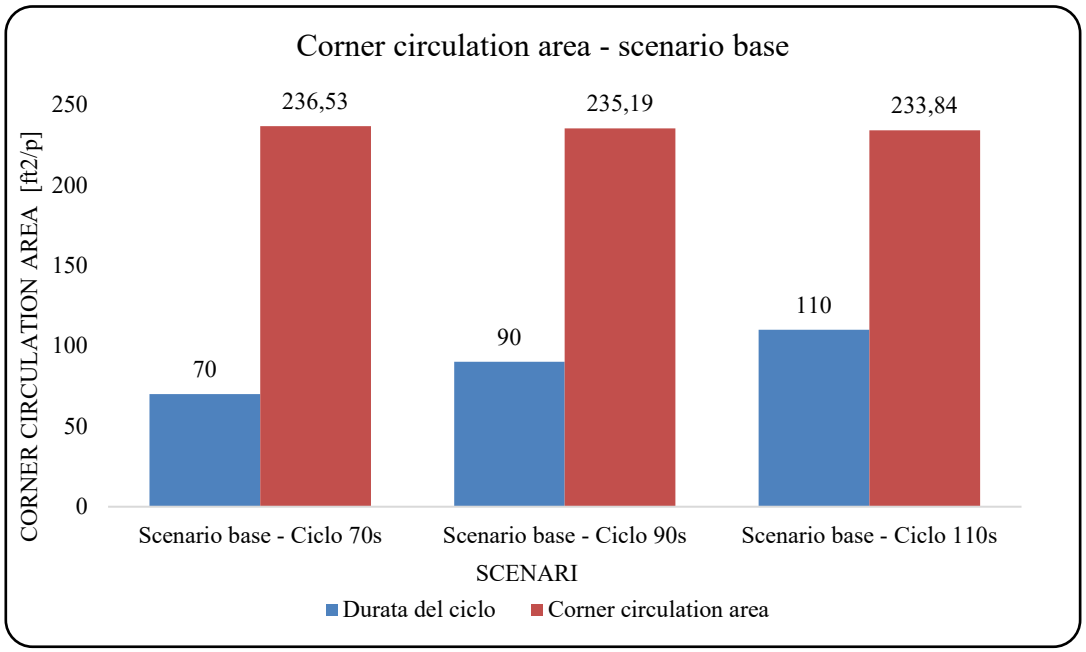


Figura 54 - Effetto durata del ciclo sul corner circulation area – scenario base.

Dalla figura sopra riportata si può osservare come l'area a disposizione del pedone nei pressi dell'angolo dell'intersezione rimanga invariata nonostante il ciclo passi da un valore minimo di 70 secondi fino ad un valore massimo di 90 secondi.
Analogamente a quanto osservato nello scenario precedente (base), anche nel caso dello scenario stadio il valore dell'area a disposizione del pedone rimane pressochè invariato nei due casi di riferimento.

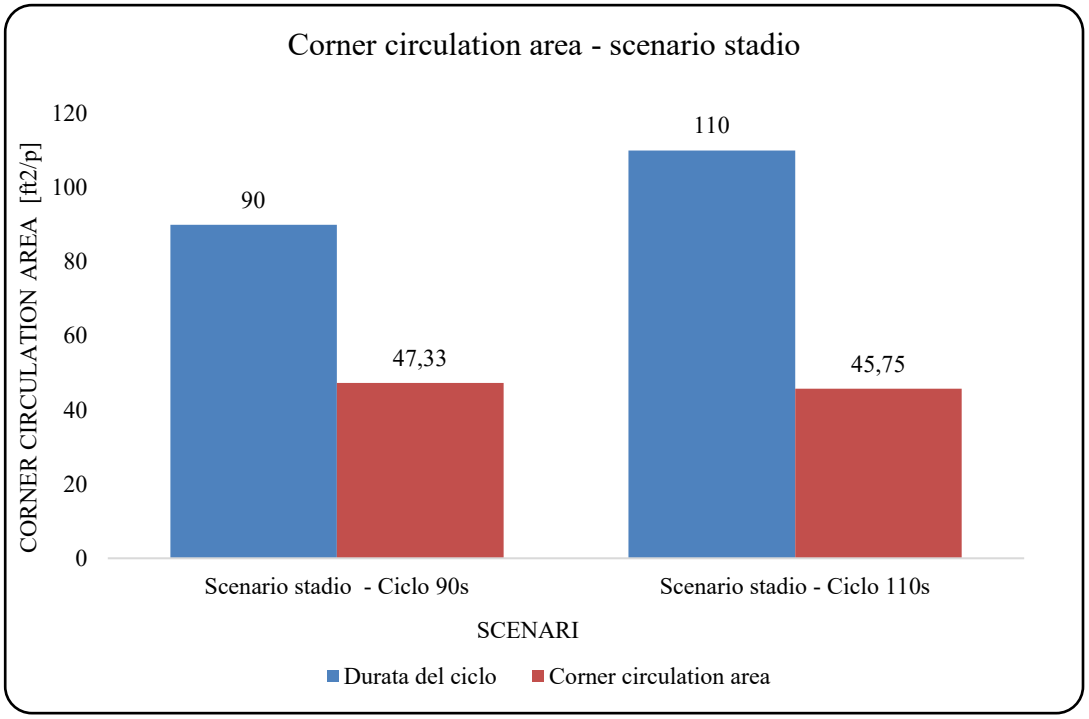


Figura 55 - Effetto durata del ciclo sul corner circulation area - scenario stadio.

Si passa ora alla valutazione dell'area a disposizione dei pedoni sull'attraversamento (accesso Nord). In questo caso si valuterà l'impatto del ciclo in un primo momento (Figura 56), e la larghezza dell'attraversamento stesso in un secondo istante (Figura 57), nei due diversi scenari.

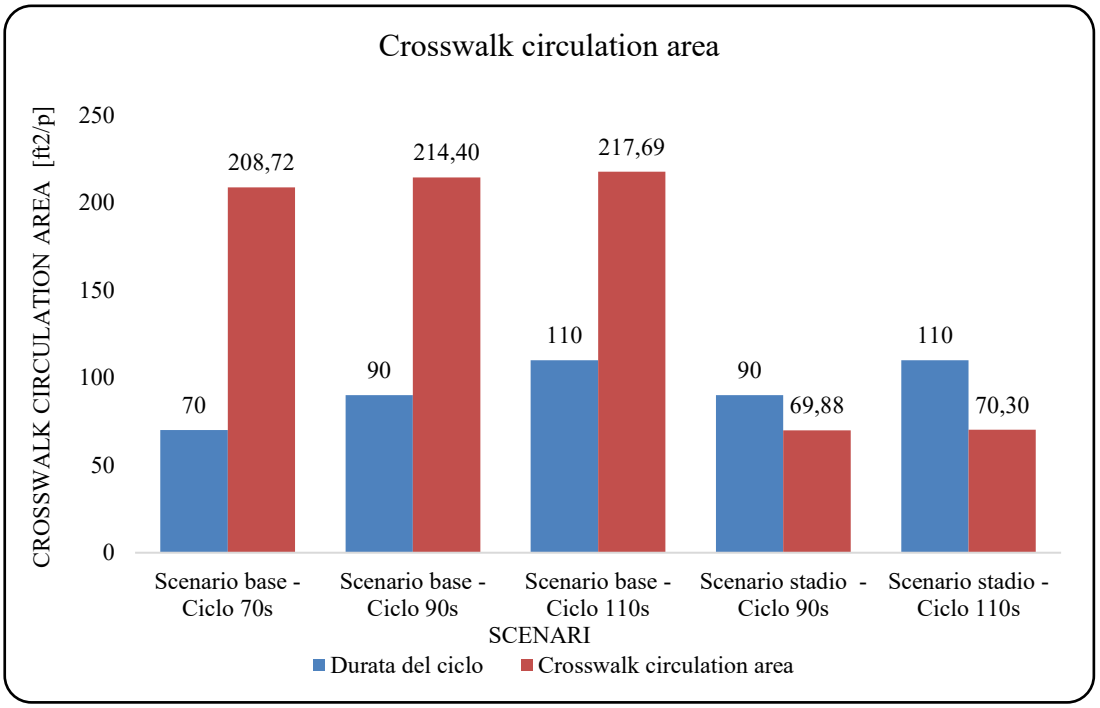


Figura 56 - Effetto della durata del ciclo sul crossing circulation area.

Anche in questo caso la durata del ciclo semaforico non ha alcun impatto sulla definizione degli spazi a disposizione durante la fase di attraversamento.

Nel caso della geometria dell'intersezione, si considera lo stesso attraversamento ma in due geometrie variabili, al fine di confrontare gli spazi a disposizione in un scenario di riferimento (stadio). In un primo caso si considera l'attraversamento realmente esistente di larghezza pari a 3m (9,84 ft), mentre in un secondo caso si ipotizza un attraversamento largo 6m (19,68 ft), il tutto considerando esclusivamente lo scenario stadio con le diverse durate del ciclo semaforico.

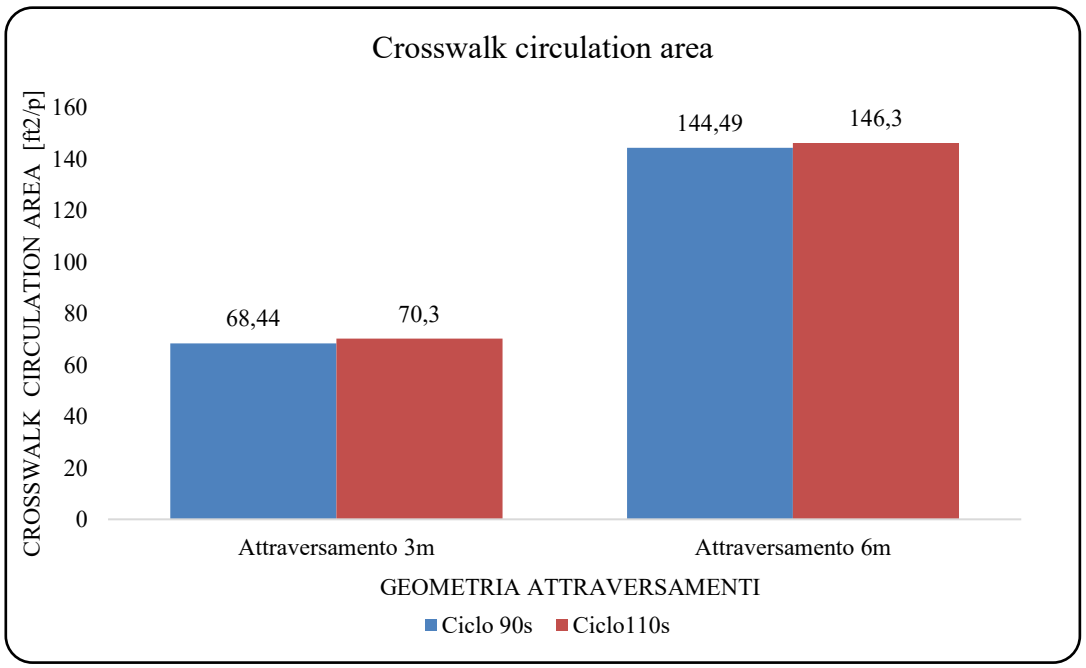


Figura 57 - Effetto variazione geometria attraversamento sul crossing circulation area.

In riferimento a quanto osservato precedentemente e quanto appena riportato, si evince che la larghezza dell'attraversamento gioca un ruolo fondamentale nella definizione dell'area a disposizione del pedone sull'attraversamento. Qualora gli spazi a disposizione, in riferimento alla Tabella 7, risultassero ridotti, l'allargamento dell'attraversamento può essere utilizzato come possibile soluzione al problema.
Si può sostenere dunque che la durata del ciclo non influisce affatto sulla determinazione degli spazi a disposizione, sia prima che durante la fase di attraversamento. Tuttavia, come immaginabile, le due grandezze prese a riferimento sono variabili a seconda dei flussi pedonali.

Allegato 2

Si riporta, in questo allegato, la rappresentazione dei centroidi O/D utili all'analisi dei dati effettuata nel capitolo 3. Inoltre, vengono riportati i dati di output estratti da Aimsun relativi alle velocità e ai tempi di camminamento (sia travel time che walking time), separati per replication e per O/D.

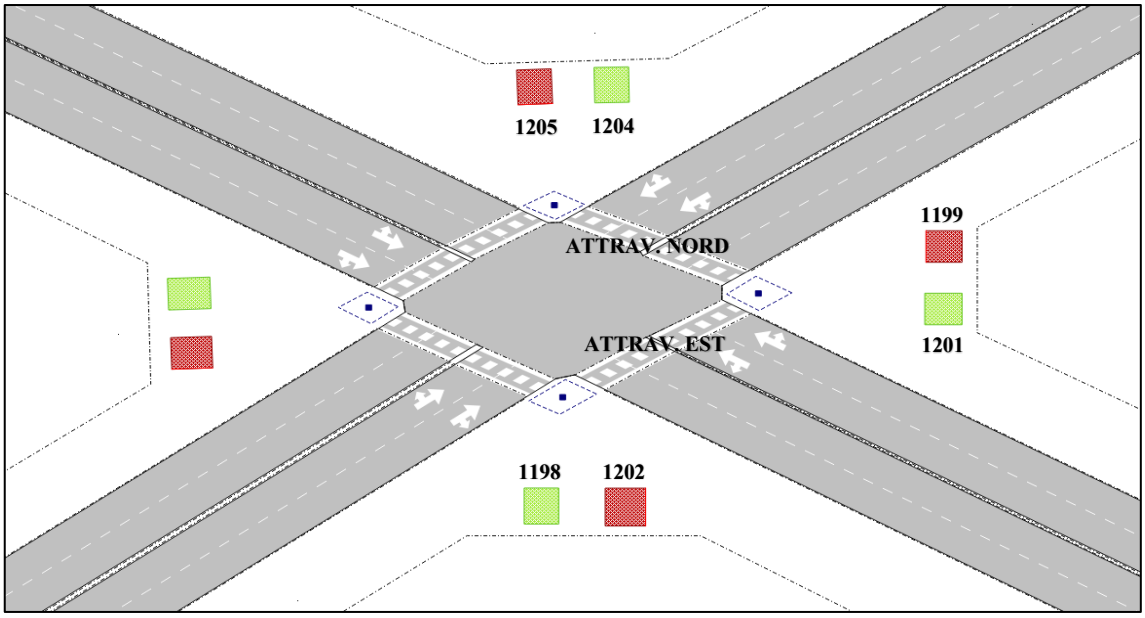


Figura 58 - Numerazione dei centroidi e identificazione degli attraversamenti.

Per completezza, si riporta una descrizione dei collegamenti:

Centroide	Denominazione	Da	Verso	Attrav.interessato
1198	Origine	Sud		Est
1201	Origine	Est		Est/Nord
1204	Origine	Nord		Nord
1199	Destinazione		Est	Est/Nord
1202	Destinazione		Sud	Est
1205	Destinazione		Nord	Nord

Tabella 13 - Caratterizzazione dei centroidi.

Di seguito i risultati ottenuti come output da Aimsun.

di	oid	oid_2	Speed [km/h]	Travel Time [s]	Walking time[s]
R1 - Scenario base 20 Min - 90s	1198	1202	4,23	46,20	34,40
R1 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1199	4,90	33,60	33,60

R1 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1205	5,10	33,60	31,80
R1 - Scenario base 20 Min - 90s	1204	1202	4,69	36,90	33,30
R1 - Scenario base 20 Min - 90s	1198	1202	4,23	46,20	34,40
R1 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1199	4,90	33,60	33,60
R1 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1205	5,10	33,60	31,80
R1 - Scenario base 20 Min - 90s	1204	1202	4,69	36,90	33,30
R1 - Scenario base 20 Min - 90s	1198	1202	3,30	54,60	37,65
R1 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1199	3,37	52,00	32,60
R1 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1205	3,57	49,60	35,60
R1 - Scenario base 20 Min - 90s	1204	1202	5,06	35,60	32,40
R1 - Scenario base 20 Min - 90s	1198	1202	3,30	54,60	37,65
R1 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1199	3,37	52,00	32,60
R1 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1205	3,57	49,60	35,60
R1 - Scenario base 20 Min - 90s	1204	1202	5,06	35,60	32,40
R1 - Scenario base 20 Min - 90s	1198	1202	3,96	49,37	33,00
R1 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1199	4,13	45,42	32,64
R1 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1205	5,21	32,40	32,40
R1 - Scenario base 20 Min - 90s	1204	1202	4,02	47,10	42,45
R1 - Scenario base 20 Min - 90s	1198	1202	3,96	49,37	33,00
R1 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1199	4,13	45,42	32,64
R1 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1205	5,21	32,40	32,40
R1 - Scenario base 20 Min - 90s	1204	1202	4,02	47,10	42,45
R1 - Scenario base 20 Min - 90s	1198	1202	4,21	43,00	33,60
R1 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1199	2,85	65,20	42,00
R1 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1205	2,64	64,60	37,00
R1 - Scenario base 20 Min - 90s	1204	1202	-1	-1	-1
R1 - Scenario base 20 Min - 90s	1198	1202	4,21	43,00	33,60
R1 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1199	2,85	65,20	42,00
R1 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1205	2,64	64,60	37,00
R1 - Scenario base 20 Min - 90s	1204	1202	-1	-1	-1
R1 - Scenario base 20 Min - 90s	1198	1202	3,60	51,00	33,30
R1 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1199	5,58	28,20	28,20
R1 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1205	4,70	34,20	34,20
R1 - Scenario base 20 Min - 90s	1204	1202	5,15	33,60	33,60
R1 - Scenario base 20 Min - 90s	1198	1202	3,60	51,00	33,30
R1 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1199	5,58	28,20	28,20
R1 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1205	4,70	34,20	34,20
R1 - Scenario base 20 Min - 90s	1204	1202	5,15	33,60	33,60
R1 - Scenario base 20 Min - 90s	1198	1202	4,47	42,30	30,10
R1 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1199	4,13	43,33	32,60
R1 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1205	-1	-1	-1
R1 - Scenario base 20 Min - 90s	1204	1202	4,24	41,10	35,70
R1 - Scenario base 20 Min - 90s	1198	1202	4,47	42,30	30,10
R1 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1199	4,13	43,33	32,60

R1 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1205	-1	-1	-1
R1 - Scenario base 20 Min - 90s	1204	1202	4,24	41,10	35,70
R1 - Scenario base 20 Min - 90s	1198	1202	3,49	53,80	35,80
R1 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1199	3,92	44,70	32,70
R1 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1205	-1	-1	-1
R1 - Scenario base 20 Min - 90s	1204	1202	4,59	38,10	34,65
R1 - Scenario base 20 Min - 90s	1198	1202	3,49	53,80	35,80
R1 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1199	3,92	44,70	32,70
R1 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1205	-1	-1	-1
R1 - Scenario base 20 Min - 90s	1204	1202	4,59	38,10	34,65
R1 - Scenario base 20 Min - 90s	1198	1202	3,62	51,20	36,80
R1 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1199	2,37	70,20	28,80
R1 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1205	4,25	38,40	38,40
R1 - Scenario base 20 Min - 90s	1204	1202	4,72	37,50	29,70
R1 - Scenario base 20 Min - 90s	1198	1202	3,62	51,20	36,80
R1 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1199	2,37	70,20	28,80
R1 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1205	4,25	38,40	38,40
R1 - Scenario base 20 Min - 90s	1204	1202	4,72	37,50	29,70
R1 - Scenario base 20 Min - 90s	1198	1202	3,66	52,40	30,80
R1 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1199	3,14	51,90	36,60
R1 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1205	4,59	42,75	30,45
R1 - Scenario base 20 Min - 90s	1204	1202	5,64	32,25	30,45
R1 - Scenario base 20 Min - 90s	1198	1202	3,66	52,40	30,80
R1 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1199	3,14	51,90	36,60
R1 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1205	4,59	42,75	30,45
R1 - Scenario base 20 Min - 90s	1204	1202	5,64	32,25	30,45
R1 - Scenario base 20 Min - 90s	1198	1202	3,67	52,00	36,40
R1 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1199	3,79	50,40	30,20
R1 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1205	3,27	56,70	36,90
R1 - Scenario base 20 Min - 90s	1204	1202	4,18	42,30	42,30
R1 - Scenario base 20 Min - 90s	1198	1202	3,67	52,00	36,40
R1 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1199	3,79	50,40	30,20
R1 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1205	3,27	56,70	36,90
R1 - Scenario base 20 Min - 90s	1204	1202	4,18	42,30	42,30
R1 - Scenario base 20 Min - 90s	1198	1202	3,88	49,07	33,84
R1 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1199	3,93	47,01	33,26
R1 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1205	3,92	47,85	34,39
R1 - Scenario base 20 Min - 90s	1204	1202	4,73	38,38	35,06
R1 - Scenario base 20 Min - 90s	1198	1202	3,88	49,07	33,84
R1 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1199	3,93	47,01	33,26
R1 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1205	3,92	47,85	34,39
R1 - Scenario base 20 Min - 90s	1204	1202	4,73	38,38	35,06
R2 - Scenario base 20 Min - 90s	1198	1202	4,66	36,20	30,80
R2 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1199	4,04	42,60	33,30

R2 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1205	4,51	37,20	34,20
R2 - Scenario base 20 Min - 90s	1204	1202	4,27	49,00	33,00
R2 - Scenario base 20 Min - 90s	1198	1202	4,66	36,20	30,80
R2 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1199	4,04	42,60	33,30
R2 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1205	4,51	37,20	34,20
R2 - Scenario base 20 Min - 90s	1204	1202	4,27	49,00	33,00
R2 - Scenario base 20 Min - 90s	1198	1202	3,89	46,20	36,72
R2 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1199	4,60	35,40	33,30
R2 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1205	3,98	40,50	35,40
R2 - Scenario base 20 Min - 90s	1204	1202	3,57	59,40	36,30
R2 - Scenario base 20 Min - 90s	1198	1202	3,89	46,20	36,72
R2 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1199	4,60	35,40	33,30
R2 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1205	3,98	40,50	35,40
R2 - Scenario base 20 Min - 90s	1204	1202	3,57	59,40	36,30
R2 - Scenario base 20 Min - 90s	1198	1202	3,62	52,64	35,40
R2 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1199	4,06	43,89	35,74
R2 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1205	2,98	59,70	38,40
R2 - Scenario base 20 Min - 90s	1204	1202	4,32	37,80	37,80
R2 - Scenario base 20 Min - 90s	1198	1202	3,62	52,64	35,40
R2 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1199	4,06	43,89	35,74
R2 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1205	2,98	59,70	38,40
R2 - Scenario base 20 Min - 90s	1204	1202	4,32	37,80	37,80
R2 - Scenario base 20 Min - 90s	1198	1202	3,61	51,77	33,77
R2 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1199	3,99	47,40	37,92
R2 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1205	2,83	58,20	29,70
R2 - Scenario base 20 Min - 90s	1204	1202	5,99	28,80	28,80
R2 - Scenario base 20 Min - 90s	1198	1202	3,61	51,77	33,77
R2 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1199	3,99	47,40	37,92
R2 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1205	2,83	58,20	29,70
R2 - Scenario base 20 Min - 90s	1204	1202	5,99	28,80	28,80
R2 - Scenario base 20 Min - 90s	1198	1202	2,73	61,80	34,20
R2 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1199	4,32	45,75	31,20
R2 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1205	5,59	30,00	30,00
R2 - Scenario base 20 Min - 90s	1204	1202	3,91	54,30	35,60
R2 - Scenario base 20 Min - 90s	1198	1202	2,73	61,80	34,20
R2 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1199	4,32	45,75	31,20
R2 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1205	5,59	30,00	30,00
R2 - Scenario base 20 Min - 90s	1204	1202	3,91	54,30	35,60
R2 - Scenario base 20 Min - 90s	1198	1202	2,85	67,35	33,75
R2 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1199	3,76	50,40	34,90
R2 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1205	4,12	42,90	34,80
R2 - Scenario base 20 Min - 90s	1204	1202	2,13	81,00	41,40
R2 - Scenario base 20 Min - 90s	1198	1202	2,85	67,35	33,75
R2 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1199	3,76	50,40	34,90

R2 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1205	4,12	42,90	34,80
R2 - Scenario base 20 Min - 90s	1204	1202	2,13	81,00	41,40
R2 - Scenario base 20 Min - 90s	1198	1202	4,80	33,60	33,60
R2 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1199	2,94	55,80	33,30
R2 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1205	3,21	67,60	38,00
R2 - Scenario base 20 Min - 90s	1204	1202	5,60	31,20	30,90
R2 - Scenario base 20 Min - 90s	1198	1202	4,80	33,60	33,60
R2 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1199	2,94	55,80	33,30
R2 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1205	3,21	67,60	38,00
R2 - Scenario base 20 Min - 90s	1204	1202	5,60	31,20	30,90
R2 - Scenario base 20 Min - 90s	1198	1202	3,00	58,40	30,80
R2 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1199	3,18	57,00	38,40
R2 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1205	4,06	45,40	33,40
R2 - Scenario base 20 Min - 90s	1204	1202	4,54	43,65	34,80
R2 - Scenario base 20 Min - 90s	1198	1202	3,00	58,40	30,80
R2 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1199	3,18	57,00	38,40
R2 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1205	4,06	45,40	33,40
R2 - Scenario base 20 Min - 90s	1204	1202	4,54	43,65	34,80
R2 - Scenario base 20 Min - 90s	1198	1202	2,83	62,00	31,00
R2 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1199	3,51	52,92	32,16
R2 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1205	4,71	36,90	36,90
R2 - Scenario base 20 Min - 90s	1204	1202	-1	-1	-1
R2 - Scenario base 20 Min - 90s	1198	1202	2,83	62,00	31,00
R2 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1199	3,51	52,92	32,16
R2 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1205	4,71	36,90	36,90
R2 - Scenario base 20 Min - 90s	1204	1202	-1	-1	-1
R2 - Scenario base 20 Min - 90s	1198	1202	2,99	56,40	27,60
R2 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1199	4,02	44,25	32,40
R2 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1205	4,10	45,20	31,80
R2 - Scenario base 20 Min - 90s	1204	1202	4,00	46,00	36,00
R2 - Scenario base 20 Min - 90s	1198	1202	2,99	56,40	27,60
R2 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1199	4,02	44,25	32,40
R2 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1205	4,10	45,20	31,80
R2 - Scenario base 20 Min - 90s	1204	1202	4,00	46,00	36,00
R2 - Scenario base 20 Min - 90s	1198	1202	3,54	52,88	33,93
R2 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1199	3,88	47,51	34,38
R2 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1205	3,88	48,49	34,49
R2 - Scenario base 20 Min - 90s	1204	1202	4,37	46,87	34,39
R2 - Scenario base 20 Min - 90s	1198	1202	3,54	52,88	33,93
R2 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1199	3,88	47,51	34,38
R2 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1205	3,88	48,49	34,49
R2 - Scenario base 20 Min - 90s	1204	1202	4,37	46,87	34,39
R3 - Scenario base 20 Min - 90s	1198	1202	3,81	47,20	35,40
R3 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1199	4,85	33,30	30,90

R3 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1205	-1	-1	-1
R3 - Scenario base 20 Min - 90s	1204	1202	4,67	39,40	35,60
R3 - Scenario base 20 Min - 90s	1198	1202	3,81	47,20	35,40
R3 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1199	4,85	33,30	30,90
R3 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1205	-1	-1	-1
R3 - Scenario base 20 Min - 90s	1204	1202	4,67	39,40	35,60
R3 - Scenario base 20 Min - 90s	1198	1202	5,07	33,00	33,00
R3 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1199	4,33	37,20	30,60
R3 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1205	5,65	28,20	28,20
R3 - Scenario base 20 Min - 90s	1204	1202	3,87	51,90	36,00
R3 - Scenario base 20 Min - 90s	1198	1202	5,07	33,00	33,00
R3 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1199	4,33	37,20	30,60
R3 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1205	5,65	28,20	28,20
R3 - Scenario base 20 Min - 90s	1204	1202	3,87	51,90	36,00
R3 - Scenario base 20 Min - 90s	1198	1202	3,62	54,17	33,86
R3 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1199	3,25	55,35	37,35
R3 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1205	-1	-1	-1
R3 - Scenario base 20 Min - 90s	1204	1202	3,27	60,96	37,44
R3 - Scenario base 20 Min - 90s	1198	1202	3,62	54,17	33,86
R3 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1199	3,25	55,35	37,35
R3 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1205	-1	-1	-1
R3 - Scenario base 20 Min - 90s	1204	1202	3,27	60,96	37,44
R3 - Scenario base 20 Min - 90s	1198	1202	4,04	40,80	40,80
R3 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1199	4,78	34,50	34,50
R3 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1205	3,20	56,40	42,72
R3 - Scenario base 20 Min - 90s	1204	1202	4,02	54,00	30,90
R3 - Scenario base 20 Min - 90s	1198	1202	4,04	40,80	40,80
R3 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1199	4,78	34,50	34,50
R3 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1205	3,20	56,40	42,72
R3 - Scenario base 20 Min - 90s	1204	1202	4,02	54,00	30,90
R3 - Scenario base 20 Min - 90s	1198	1202	4,11	42,60	32,10
R3 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1199	3,09	63,00	38,00
R3 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1205	6,02	27,60	27,60
R3 - Scenario base 20 Min - 90s	1204	1202	4,88	36,50	32,70
R3 - Scenario base 20 Min - 90s	1198	1202	4,11	42,60	32,10
R3 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1199	3,09	63,00	38,00
R3 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1205	6,02	27,60	27,60
R3 - Scenario base 20 Min - 90s	1204	1202	4,88	36,50	32,70
R3 - Scenario base 20 Min - 90s	1198	1202	3,18	58,80	33,80
R3 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1199	2,96	60,60	35,40
R3 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1205	3,43	52,20	34,60
R3 - Scenario base 20 Min - 90s	1204	1202	4,26	41,25	36,45
R3 - Scenario base 20 Min - 90s	1198	1202	3,18	58,80	33,80
R3 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1199	2,96	60,60	35,40

R3 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1205	3,43	52,20	34,60
R3 - Scenario base 20 Min - 90s	1204	1202	4,26	41,25	36,45
R3 - Scenario base 20 Min - 90s	1198	1202	4,09	44,60	37,20
R3 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1199	3,34	54,24	32,52
R3 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1205	4,34	41,76	32,40
R3 - Scenario base 20 Min - 90s	1204	1202	3,06	55,20	55,20
R3 - Scenario base 20 Min - 90s	1198	1202	4,09	44,60	37,20
R3 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1199	3,34	54,24	32,52
R3 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1205	4,34	41,76	32,40
R3 - Scenario base 20 Min - 90s	1204	1202	3,06	55,20	55,20
R3 - Scenario base 20 Min - 90s	1198	1202	3,77	54,60	33,45
R3 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1199	4,54	37,00	37,00
R3 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1205	3,93	45,90	35,40
R3 - Scenario base 20 Min - 90s	1204	1202	4,76	38,20	34,60
R3 - Scenario base 20 Min - 90s	1198	1202	3,77	54,60	33,45
R3 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1199	4,54	37,00	37,00
R3 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1205	3,93	45,90	35,40
R3 - Scenario base 20 Min - 90s	1204	1202	4,76	38,20	34,60
R3 - Scenario base 20 Min - 90s	1198	1202	3,49	52,90	36,40
R3 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1199	2,67	64,60	40,20
R3 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1205	3,27	57,40	42,00
R3 - Scenario base 20 Min - 90s	1204	1202	2,80	66,00	31,80
R3 - Scenario base 20 Min - 90s	1198	1202	3,49	52,90	36,40
R3 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1199	2,67	64,60	40,20
R3 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1205	3,27	57,40	42,00
R3 - Scenario base 20 Min - 90s	1204	1202	2,80	66,00	31,80
R3 - Scenario base 20 Min - 90s	1198	1202	3,52	50,40	35,40
R3 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1199	4,18	46,20	36,30
R3 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1205	2,61	66,75	31,20
R3 - Scenario base 20 Min - 90s	1204	1202	-1	-1	-1
R3 - Scenario base 20 Min - 90s	1198	1202	3,52	50,40	35,40
R3 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1199	4,18	46,20	36,30
R3 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1205	2,61	66,75	31,20
R3 - Scenario base 20 Min - 90s	1204	1202	-1	-1	-1
R3 - Scenario base 20 Min - 90s	1198	1202	3,82	49,36	34,99
R3 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1199	3,59	51,69	35,72
R3 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1205	3,75	50,47	35,38
R3 - Scenario base 20 Min - 90s	1204	1202	4,10	47,48	35,48
R3 - Scenario base 20 Min - 90s	1198	1202	3,82	49,36	34,99
R3 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1199	3,59	51,69	35,72
R3 - Scenario base 20 Min - 90s	1201	1205	3,75	50,47	35,38
R3 - Scenario base 20 Min - 90s	1204	1202	4,10	47,48	35,48
Media Base 20 Min - 90s	1198	1202	3,74	50,56	34,24
Media Base 20 Min - 90s	1198	1202	4,23	43,20	33,53

Media Base 20 Min - 90s	1198	1202	3,51	52,20	34,60
Media Base 20 Min - 90s	1198	1202	3,99	45,70	36,10
Media Base 20 Min - 90s	1198	1202	3,70	52,22	34,45
Media Base 20 Min - 90s	1198	1202	3,81	48,38	34,36
Media Base 20 Min - 90s	1198	1202	3,63	49,80	33,00
Media Base 20 Min - 90s	1198	1202	3,67	53,82	32,08
Media Base 20 Min - 90s	1198	1202	3,98	46,26	36,42
Media Base 20 Min - 90s	1198	1202	3,49	54,72	33,66
Media Base 20 Min - 90s	1198	1202	3,37	55,05	33,65
Media Base 20 Min - 90s	1198	1202	3,74	50,56	34,24
Media Base 20 Min - 90s	1198	1202	4,23	43,20	33,53
Media Base 20 Min - 90s	1198	1202	3,51	52,20	34,60
Media Base 20 Min - 90s	1198	1202	3,99	45,70	36,10
Media Base 20 Min - 90s	1198	1202	3,70	52,22	34,45
Media Base 20 Min - 90s	1198	1202	3,81	48,38	34,36
Media Base 20 Min - 90s	1198	1202	3,63	49,80	33,00
Media Base 20 Min - 90s	1198	1202	3,67	53,82	32,08
Media Base 20 Min - 90s	1198	1202	3,98	46,26	36,42
Media Base 20 Min - 90s	1198	1202	3,49	54,72	33,66
Media Base 20 Min - 90s	1198	1202	3,37	55,05	33,65
Media Base 20 Min - 90s	1201	1199	3,79	48,82	34,50
Media Base 20 Min - 90s	1201	1199	4,64	36,09	32,74
Media Base 20 Min - 90s	1201	1199	4,04	46,57	33,69
Media Base 20 Min - 90s	1201	1199	4,00	43,03	32,23
Media Base 20 Min - 90s	1201	1199	3,83	48,17	35,02
Media Base 20 Min - 90s	1201	1199	3,81	50,16	38,46
Media Base 20 Min - 90s	1201	1199	4,02	50,03	33,38
Media Base 20 Min - 90s	1201	1199	3,65	50,75	34,12
Media Base 20 Min - 90s	1201	1199	3,38	52,47	32,73
Media Base 20 Min - 90s	1201	1199	3,72	49,20	36,10
Media Base 20 Min - 90s	1201	1199	3,19	56,22	35,46
Media Base 20 Min - 90s	1201	1199	3,79	48,82	34,50
Media Base 20 Min - 90s	1201	1199	4,64	36,09	32,74
Media Base 20 Min - 90s	1201	1199	4,04	46,57	33,69
Media Base 20 Min - 90s	1201	1199	4,00	43,03	32,23
Media Base 20 Min - 90s	1201	1199	3,83	48,17	35,02
Media Base 20 Min - 90s	1201	1199	3,81	50,16	38,46
Media Base 20 Min - 90s	1201	1199	4,02	50,03	33,38
Media Base 20 Min - 90s	1201	1199	3,65	50,75	34,12
Media Base 20 Min - 90s	1201	1199	3,38	52,47	32,73
Media Base 20 Min - 90s	1201	1199	3,72	49,20	36,10
Media Base 20 Min - 90s	1201	1199	3,19	56,22	35,46
Media Base 20 Min - 90s	1201	1205	3,84	49,12	34,82
Media Base 20 Min - 90s	1201	1205	4,80	35,40	33,00

Media Base 20 Min - 90s	1201	1205	3,25	57,33	32,67
Media Base 20 Min - 90s	1201	1205	4,05	43,00	34,30
Media Base 20 Min - 90s	1201	1205	3,72	50,60	36,40
Media Base 20 Min - 90s	1201	1205	2,96	59,22	38,40
Media Base 20 Min - 90s	1201	1205	5,58	29,85	29,85
Media Base 20 Min - 90s	1201	1205	3,70	48,48	34,68
Media Base 20 Min - 90s	1201	1205	3,91	51,45	34,50
Media Base 20 Min - 90s	1201	1205	4,05	44,40	34,90
Media Base 20 Min - 90s	1201	1205	4,18	46,33	35,73
Media Base 20 Min - 90s	1201	1205	3,84	49,12	34,82
Media Base 20 Min - 90s	1201	1205	4,80	35,40	33,00
Media Base 20 Min - 90s	1201	1205	3,25	57,33	32,67
Media Base 20 Min - 90s	1201	1205	4,05	43,00	34,30
Media Base 20 Min - 90s	1201	1205	3,72	50,60	36,40
Media Base 20 Min - 90s	1201	1205	2,96	59,22	38,40
Media Base 20 Min - 90s	1201	1205	5,58	29,85	29,85
Media Base 20 Min - 90s	1201	1205	3,70	48,48	34,68
Media Base 20 Min - 90s	1201	1205	3,91	51,45	34,50
Media Base 20 Min - 90s	1201	1205	4,05	44,40	34,90
Media Base 20 Min - 90s	1201	1205	4,18	46,33	35,73
Media Base 20 Min - 90s	1204	1202	4,38	44,45	35,01
Media Base 20 Min - 90s	1204	1202	4,53	42,38	34,05
Media Base 20 Min - 90s	1204	1202	4,07	44,52	38,52
Media Base 20 Min - 90s	1204	1202	4,20	48,13	34,87
Media Base 20 Min - 90s	1204	1202	3,67	53,10	39,48
Media Base 20 Min - 90s	1204	1202	5,20	38,88	29,64
Media Base 20 Min - 90s	1204	1202	4,50	43,71	34,07
Media Base 20 Min - 90s	1204	1202	3,95	46,89	36,94
Media Base 20 Min - 90s	1204	1202	4,66	38,57	36,51
Media Base 20 Min - 90s	1204	1202	4,65	40,47	33,60
Media Base 20 Min - 90s	1204	1202	4,70	43,50	30,90
Media Base 20 Min - 90s	1204	1202	4,38	44,45	35,01
Media Base 20 Min - 90s	1204	1202	4,53	42,38	34,05
Media Base 20 Min - 90s	1204	1202	4,07	44,52	38,52
Media Base 20 Min - 90s	1204	1202	4,20	48,13	34,87
Media Base 20 Min - 90s	1204	1202	3,67	53,10	39,48
Media Base 20 Min - 90s	1204	1202	5,20	38,88	29,64
Media Base 20 Min - 90s	1204	1202	4,50	43,71	34,07
Media Base 20 Min - 90s	1204	1202	3,95	46,89	36,94
Media Base 20 Min - 90s	1204	1202	4,66	38,57	36,51
Media Base 20 Min - 90s	1204	1202	4,65	40,47	33,60
Media Base 20 Min - 90s	1204	1202	4,70	43,50	30,90
Media stadio 20 Min - 110s	1198	1202	3,72	54,72	39,09
Media stadio 20 Min - 110s	1198	1202	4,03	47,71	38,21

Media stadio 20 Min - 110s	1198	1202	3,54	58,76	40,69
Media stadio 20 Min - 110s	1198	1202	3,64	55,38	39,64
Media stadio 20 Min - 110s	1198	1202	3,80	52,35	39,55
Media stadio 20 Min - 110s	1198	1202	4,00	50,94	37,30
Media stadio 20 Min - 110s	1198	1202	3,78	53,41	39,22
Media stadio 20 Min - 110s	1198	1202	3,57	56,53	40,16
Media stadio 20 Min - 110s	1198	1202	3,47	59,36	39,94
Media stadio 20 Min - 110s	1198	1202	3,88	52,34	37,52
Media stadio 20 Min - 110s	1198	1202	3,55	58,01	38,71
Media stadio 20 Min - 110s	1198	1202	3,72	54,72	39,09
Media stadio 20 Min - 110s	1198	1202	4,03	47,71	38,21
Media stadio 20 Min - 110s	1198	1202	3,54	58,76	40,69
Media stadio 20 Min - 110s	1198	1202	3,64	55,38	39,64
Media stadio 20 Min - 110s	1198	1202	3,80	52,35	39,55
Media stadio 20 Min - 110s	1198	1202	4,00	50,94	37,30
Media stadio 20 Min - 110s	1198	1202	3,78	53,41	39,22
Media stadio 20 Min - 110s	1198	1202	3,57	56,53	40,16
Media stadio 20 Min - 110s	1198	1202	3,47	59,36	39,94
Media stadio 20 Min - 110s	1198	1202	3,88	52,34	37,52
Media stadio 20 Min - 110s	1198	1202	3,55	58,01	38,71
Media stadio 20 Min - 110s	1201	1199	3,80	52,91	39,16
Media stadio 20 Min - 110s	1201	1199	4,18	46,72	37,36
Media stadio 20 Min - 110s	1201	1199	3,71	54,94	40,39
Media stadio 20 Min - 110s	1201	1199	3,87	51,90	39,16
Media stadio 20 Min - 110s	1201	1199	3,67	54,39	38,18
Media stadio 20 Min - 110s	1201	1199	3,87	52,25	39,97
Media stadio 20 Min - 110s	1201	1199	3,73	53,65	39,14
Media stadio 20 Min - 110s	1201	1199	3,84	53,25	39,40
Media stadio 20 Min - 110s	1201	1199	3,78	53,56	38,96
Media stadio 20 Min - 110s	1201	1199	3,69	53,96	38,91
Media stadio 20 Min - 110s	1201	1199	3,75	53,24	39,62
Media stadio 20 Min - 110s	1201	1199	3,80	52,91	39,16
Media stadio 20 Min - 110s	1201	1199	4,18	46,72	37,36
Media stadio 20 Min - 110s	1201	1199	3,71	54,94	40,39
Media stadio 20 Min - 110s	1201	1199	3,87	51,90	39,16
Media stadio 20 Min - 110s	1201	1199	3,67	54,39	38,18
Media stadio 20 Min - 110s	1201	1199	3,87	52,25	39,97
Media stadio 20 Min - 110s	1201	1199	3,73	53,65	39,14
Media stadio 20 Min - 110s	1201	1199	3,84	53,25	39,40
Media stadio 20 Min - 110s	1201	1199	3,78	53,56	38,96
Media stadio 20 Min - 110s	1201	1199	3,69	53,96	38,91
Media stadio 20 Min - 110s	1201	1199	3,75	53,24	39,62
Media stadio 20 Min - 110s	1201	1202	3,81	4,84	4,84
Media stadio 20 Min - 110s	1201	1202	3,95	4,73	4,73

Media stadio 20 Min - 110s	1201	1202	3,80	4,99	4,99
Media stadio 20 Min - 110s	1201	1202	3,80	4,58	4,58
Media stadio 20 Min - 110s	1201	1202	3,79	4,93	4,93
Media stadio 20 Min - 110s	1201	1202	3,86	4,95	4,95
Media stadio 20 Min - 110s	1201	1202	3,64	4,84	4,84
Media stadio 20 Min - 110s	1201	1202	3,89	4,80	4,80
Media stadio 20 Min - 110s	1201	1202	3,85	4,72	4,72
Media stadio 20 Min - 110s	1201	1202	3,89	4,87	4,87
Media stadio 20 Min - 110s	1201	1202	3,61	5,17	5,17
Media stadio 20 Min - 110s	1201	1202	3,81	4,84	4,84
Media stadio 20 Min - 110s	1201	1202	3,95	4,73	4,73
Media stadio 20 Min - 110s	1201	1202	3,80	4,99	4,99
Media stadio 20 Min - 110s	1201	1202	3,80	4,58	4,58
Media stadio 20 Min - 110s	1201	1202	3,79	4,93	4,93
Media stadio 20 Min - 110s	1201	1202	3,86	4,95	4,95
Media stadio 20 Min - 110s	1201	1202	3,64	4,84	4,84
Media stadio 20 Min - 110s	1201	1202	3,89	4,80	4,80
Media stadio 20 Min - 110s	1201	1202	3,85	4,72	4,72
Media stadio 20 Min - 110s	1201	1202	3,89	4,87	4,87
Media stadio 20 Min - 110s	1201	1202	3,61	5,17	5,17
Media stadio 20 Min - 110s	1204	1202	3,87	52,79	37,29
Media stadio 20 Min - 110s	1204	1202	5,09	34,00	34,00
Media stadio 20 Min - 110s	1204	1202	4,29	45,40	38,60
Media stadio 20 Min - 110s	1204	1202	3,32	61,35	37,58
Media stadio 20 Min - 110s	1204	1202	3,12	65,22	39,96
Media stadio 20 Min - 110s	1204	1202	3,47	58,10	39,25
Media stadio 20 Min - 110s	1204	1202	4,65	42,77	33,17
Media stadio 20 Min - 110s	1204	1202	3,40	59,70	36,45
Media stadio 20 Min - 110s	1204	1202	4,41	44,20	35,50
Media stadio 20 Min - 110s	1204	1202	4,52	40,20	36,51
Media stadio 20 Min - 110s	1204	1202	3,58	59,40	36,75
Media stadio 20 Min - 110s	1204	1202	3,87	52,79	37,29
Media stadio 20 Min - 110s	1204	1202	5,09	34,00	34,00
Media stadio 20 Min - 110s	1204	1202	4,29	45,40	38,60
Media stadio 20 Min - 110s	1204	1202	3,32	61,35	37,58
Media stadio 20 Min - 110s	1204	1202	3,12	65,22	39,96
Media stadio 20 Min - 110s	1204	1202	3,47	58,10	39,25
Media stadio 20 Min - 110s	1204	1202	4,65	42,77	33,17
Media stadio 20 Min - 110s	1204	1202	3,40	59,70	36,45
Media stadio 20 Min - 110s	1204	1202	4,41	44,20	35,50
Media stadio 20 Min - 110s	1204	1202	4,52	40,20	36,51
Media stadio 20 Min - 110s	1204	1202	3,58	59,40	36,75
R1 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1198	1202	4,37	41,89	34,15
R1 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1199	4,24	42,23	36,07

R1 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1205	3,93	47,63	39,00
R1 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1204	1202	-1	-1	-1
R1 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1198	1202	4,37	41,89	34,15
R1 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1199	4,24	42,23	36,07
R1 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1205	3,93	47,63	39,00
R1 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1204	1202	-1	-1	-1
R1 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1198	1202	3,79	51,05	36,00
R1 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1199	3,85	49,84	36,60
R1 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1205	4,35	41,03	33,92
R1 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1204	1202	4,86	44,40	30,80
R1 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1198	1202	3,79	51,05	36,00
R1 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1199	3,85	49,84	36,60
R1 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1205	4,35	41,03	33,92
R1 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1204	1202	4,86	44,40	30,80
R1 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1198	1202	3,99	49,39	37,80
R1 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1199	3,57	54,57	39,36
R1 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1205	4,15	42,40	35,30
R1 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1204	1202	4,97	36,60	31,20
R1 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1198	1202	3,99	49,39	37,80
R1 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1199	3,57	54,57	39,36
R1 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1205	4,15	42,40	35,30
R1 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1204	1202	4,97	36,60	31,20
R1 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1198	1202	3,86	53,06	35,29
R1 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1199	3,55	56,95	42,82
R1 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1205	3,35	55,63	39,26
R1 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1204	1202	3,90	48,90	34,20
R1 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1198	1202	3,86	53,06	35,29
R1 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1199	3,55	56,95	42,82
R1 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1205	3,35	55,63	39,26
R1 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1204	1202	3,90	48,90	34,20
R1 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1198	1202	3,81	51,72	37,56
R1 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1199	3,62	54,81	41,28
R1 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1205	4,18	44,22	36,42
R1 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1204	1202	2,88	66,00	42,00
R1 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1198	1202	3,81	51,72	37,56
R1 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1199	3,62	54,81	41,28
R1 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1205	4,18	44,22	36,42
R1 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1204	1202	2,88	66,00	42,00
R1 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1198	1202	3,57	54,90	40,03
R1 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1199	3,40	57,09	40,34
R1 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1205	4,07	47,40	33,36
R1 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1204	1202	2,48	72,00	36,00
R1 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1198	1202	3,57	54,90	40,03
R1 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1199	3,40	57,09	40,34

R1 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1205	4,07	47,40	33,36
R1 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1204	1202	2,48	72,00	36,00
R1 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1198	1202	4,29	43,43	35,14
R1 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1199	4,11	48,65	38,50
R1 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1205	4,14	46,04	33,32
R1 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1204	1202	3,66	53,10	35,85
R1 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1198	1202	4,29	43,43	35,14
R1 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1199	4,11	48,65	38,50
R1 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1205	4,14	46,04	33,32
R1 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1204	1202	3,66	53,10	35,85
R1 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1198	1202	3,71	51,66	36,06
R1 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1199	3,88	48,67	39,90
R1 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1205	4,11	46,84	34,29
R1 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1204	1202	4,75	41,25	34,65
R1 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1198	1202	3,71	51,66	36,06
R1 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1199	3,88	48,67	39,90
R1 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1205	4,11	46,84	34,29
R1 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1204	1202	4,75	41,25	34,65
R1 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1198	1202	3,36	58,38	41,62
R1 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1199	3,89	50,26	38,77
R1 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1205	2,92	64,13	37,43
R1 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1204	1202	2,70	63,60	63,60
R1 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1198	1202	3,36	58,38	41,62
R1 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1199	3,89	50,26	38,77
R1 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1205	2,92	64,13	37,43
R1 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1204	1202	2,70	63,60	63,60
R1 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1198	1202	3,88	47,08	36,78
R1 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1199	4,50	39,97	34,40
R1 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1205	4,06	46,84	33,81
R1 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1204	1202	4,41	38,70	38,70
R1 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1198	1202	3,88	47,08	36,78
R1 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1199	4,50	39,97	34,40
R1 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1205	4,06	46,84	33,81
R1 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1204	1202	4,41	38,70	38,70
R1 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1198	1202	3,82	51,07	37,70
R1 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1199	3,83	50,90	39,07
R1 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1205	4,00	47,34	35,39
R1 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1204	1202	3,98	50,29	37,00
R1 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1198	1202	3,82	51,07	37,70
R1 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1199	3,83	50,90	39,07
R1 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1205	4,00	47,34	35,39
R1 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1204	1202	3,98	50,29	37,00
R2 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1198	1202	4,22	43,88	38,18
R2 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1199	4,30	42,87	33,33

R2 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1205	3,82	49,80	34,50
R2 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1204	1202	2,96	57,60	35,40
R2 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1198	1202	4,22	43,88	38,18
R2 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1199	4,30	42,87	33,33
R2 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1205	3,82	49,80	34,50
R2 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1204	1202	2,96	57,60	35,40
R2 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1198	1202	3,50	56,93	40,52
R2 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1199	3,41	57,41	37,99
R2 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1205	3,35	55,87	39,67
R2 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1204	1202	-1	-1	-1
R2 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1198	1202	3,50	56,93	40,52
R2 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1199	3,41	57,41	37,99
R2 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1205	3,35	55,87	39,67
R2 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1204	1202	-1	-1	-1
R2 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1198	1202	3,62	54,41	41,36
R2 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1199	3,51	56,53	43,37
R2 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1205	4,79	35,10	31,35
R2 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1204	1202	2,41	77,40	38,40
R2 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1198	1202	3,62	54,41	41,36
R2 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1199	3,51	56,53	43,37
R2 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1205	4,79	35,10	31,35
R2 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1204	1202	2,41	77,40	38,40
R2 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1198	1202	4,35	40,80	36,00
R2 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1199	4,28	42,90	33,56
R2 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1205	4,10	45,82	33,87
R2 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1204	1202	3,17	58,00	38,20
R2 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1198	1202	4,35	40,80	36,00
R2 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1199	4,28	42,90	33,56
R2 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1205	4,10	45,82	33,87
R2 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1204	1202	3,17	58,00	38,20
R2 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1198	1202	3,04	61,30	42,90
R2 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1199	3,95	48,57	38,21
R2 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1205	3,79	49,07	39,56
R2 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1204	1202	4,61	38,85	35,55
R2 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1198	1202	3,04	61,30	42,90
R2 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1199	3,95	48,57	38,21
R2 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1205	3,79	49,07	39,56
R2 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1204	1202	4,61	38,85	35,55
R2 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1198	1202	3,87	51,03	37,65
R2 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1199	3,53	54,80	38,85
R2 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1205	4,17	46,65	39,83
R2 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1204	1202	3,69	60,00	40,20
R2 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1198	1202	3,87	51,03	37,65
R2 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1199	3,53	54,80	38,85

R2 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1205	4,17	46,65	39,83
R2 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1204	1202	3,69	60,00	40,20
R2 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1198	1202	3,86	51,76	36,95
R2 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1199	3,31	63,09	45,30
R2 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1205	3,59	53,08	36,60
R2 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1204	1202	4,09	46,73	36,60
R2 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1198	1202	3,86	51,76	36,95
R2 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1199	3,31	63,09	45,30
R2 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1205	3,59	53,08	36,60
R2 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1204	1202	4,09	46,73	36,60
R2 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1198	1202	3,90	49,84	38,66
R2 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1199	4,27	45,69	34,89
R2 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1205	4,02	47,22	36,92
R2 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1204	1202	4,03	50,64	35,76
R2 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1198	1202	3,90	49,84	38,66
R2 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1199	4,27	45,69	34,89
R2 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1205	4,02	47,22	36,92
R2 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1204	1202	4,03	50,64	35,76
R2 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1198	1202	3,34	57,24	40,15
R2 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1199	4,05	48,54	37,74
R2 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1205	3,21	57,45	42,75
R2 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1204	1202	2,34	79,80	37,20
R2 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1198	1202	3,34	57,24	40,15
R2 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1199	4,05	48,54	37,74
R2 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1205	3,21	57,45	42,75
R2 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1204	1202	2,34	79,80	37,20
R2 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1198	1202	4,22	43,89	37,20
R2 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1199	3,94	48,63	38,90
R2 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1205	3,52	53,48	36,76
R2 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1204	1202	3,06	58,20	41,28
R2 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1198	1202	4,22	43,89	37,20
R2 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1199	3,94	48,63	38,90
R2 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1205	3,52	53,48	36,76
R2 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1204	1202	3,06	58,20	41,28
R2 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1198	1202	3,75	51,92	39,03
R2 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1199	3,80	51,87	39,05
R2 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1205	3,77	50,22	37,46
R2 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1204	1202	3,71	52,74	37,54
R2 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1198	1202	3,75	51,92	39,03
R2 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1199	3,80	51,87	39,05
R2 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1205	3,77	50,22	37,46
R2 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1204	1202	3,71	52,74	37,54
R3 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1198	1202	3,52	52,31	37,66
R3 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1199	4,08	44,29	33,44

R3 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1205	3,41	58,96	40,28
R3 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1204	1202	3,55	55,80	34,20
R3 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1198	1202	3,52	52,31	37,66
R3 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1199	4,08	44,29	33,44
R3 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1205	3,41	58,96	40,28
R3 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1204	1202	3,55	55,80	34,20
R3 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1198	1202	3,91	52,93	36,73
R3 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1199	3,50	56,10	38,49
R3 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1205	3,96	52,60	34,20
R3 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1204	1202	4,71	40,80	32,60
R3 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1198	1202	3,91	52,93	36,73
R3 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1199	3,50	56,10	38,49
R3 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1205	3,96	52,60	34,20
R3 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1204	1202	4,71	40,80	32,60
R3 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1198	1202	3,45	56,72	40,99
R3 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1199	3,96	49,16	39,35
R3 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1205	3,78	51,39	39,39
R3 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1204	1202	3,32	55,50	41,10
R3 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1198	1202	3,45	56,72	40,99
R3 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1199	3,96	49,16	39,35
R3 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1205	3,78	51,39	39,39
R3 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1204	1202	3,32	55,50	41,10
R3 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1198	1202	4,17	44,28	37,60
R3 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1199	4,07	47,55	37,23
R3 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1205	3,75	48,25	36,95
R3 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1204	1202	3,66	55,35	33,60
R3 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1198	1202	4,17	44,28	37,60
R3 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1199	4,07	47,55	37,23
R3 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1205	3,75	48,25	36,95
R3 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1204	1202	3,66	55,35	33,60
R3 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1198	1202	3,54	57,19	39,94
R3 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1199	4,27	45,21	35,29
R3 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1205	4,25	42,37	35,26
R3 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1204	1202	4,70	38,00	34,60
R3 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1198	1202	3,54	57,19	39,94
R3 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1199	4,27	45,21	35,29
R3 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1205	4,25	42,37	35,26
R3 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1204	1202	4,70	38,00	34,60
R3 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1198	1202	3,51	56,64	41,12
R3 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1199	4,07	47,81	37,63
R3 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1205	3,82	51,45	40,90
R3 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1204	1202	2,56	70,80	40,80
R3 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1198	1202	3,51	56,64	41,12
R3 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1199	4,07	47,81	37,63

R3 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1205	3,82	51,45	40,90
R3 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1204	1202	2,56	70,80	40,80
R3 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1198	1202	3,70	49,68	38,10
R3 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1199	3,86	49,44	38,43
R3 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1205	4,00	46,59	36,18
R3 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1204	1202	3,23	57,75	38,40
R3 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1198	1202	3,70	49,68	38,10
R3 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1199	3,86	49,44	38,43
R3 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1205	4,00	46,59	36,18
R3 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1204	1202	3,23	57,75	38,40
R3 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1198	1202	4,24	44,72	34,57
R3 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1199	3,86	49,43	37,46
R3 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1205	4,61	39,70	33,95
R3 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1204	1202	4,11	51,60	32,70
R3 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1198	1202	4,24	44,72	34,57
R3 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1199	3,86	49,43	37,46
R3 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1205	4,61	39,70	33,95
R3 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1204	1202	4,11	51,60	32,70
R3 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1198	1202	3,91	50,12	38,81
R3 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1199	3,82	49,88	38,79
R3 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1205	4,19	43,38	35,28
R3 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1204	1202	4,02	48,90	36,30
R3 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1198	1202	3,91	50,12	38,81
R3 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1199	3,82	49,88	38,79
R3 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1205	4,19	43,38	35,28
R3 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1204	1202	4,02	48,90	36,30
R3 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1198	1202	4,61	39,92	33,37
R3 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1199	3,59	54,00	36,67
R3 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1205	-1	-1	-1
R3 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1204	1202	4,43	43,20	32,28
R3 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1198	1202	4,61	39,92	33,37
R3 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1199	3,59	54,00	36,67
R3 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1205	-1	-1	-1
R3 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1204	1202	4,43	43,20	32,28
R3 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1198	1202	3,80	51,50	38,53
R3 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1199	3,92	49,24	37,69
R3 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1205	3,95	48,38	37,07
R3 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1204	1202	3,95	49,97	35,01
R3 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1198	1202	3,80	51,50	38,53
R3 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1199	3,92	49,24	37,69
R3 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1201	1205	3,95	48,38	37,07
R3 - Scenario stadio 20 Min - 90s	1204	1202	3,95	49,97	35,01
Media stadio 20 Min - 90s	1198	1202	3,79	51,50	38,43
Media stadio 20 Min - 90s	1198	1202	3,94	47,25	36,70

Media stadio 20 Min - 90s	1198	1202	4,24	43,63	35,78
Media stadio 20 Min - 90s	1198	1202	3,74	53,82	37,85
Media stadio 20 Min - 90s	1198	1202	3,69	53,39	40,04
Media stadio 20 Min - 90s	1198	1202	4,13	45,79	36,48
Media stadio 20 Min - 90s	1198	1202	3,50	56,43	39,93
Media stadio 20 Min - 90s	1198	1202	3,65	54,22	39,62
Media stadio 20 Min - 90s	1198	1202	4,00	48,07	36,45
Media stadio 20 Min - 90s	1198	1202	3,97	48,60	36,63
Media stadio 20 Min - 90s	1198	1202	3,54	55,13	40,18
Media stadio 20 Min - 90s	1198	1202	3,79	51,50	38,43
Media stadio 20 Min - 90s	1198	1202	3,94	47,25	36,70
Media stadio 20 Min - 90s	1198	1202	4,24	43,63	35,78
Media stadio 20 Min - 90s	1198	1202	3,74	53,82	37,85
Media stadio 20 Min - 90s	1198	1202	3,69	53,39	40,04
Media stadio 20 Min - 90s	1198	1202	4,13	45,79	36,48
Media stadio 20 Min - 90s	1198	1202	3,50	56,43	39,93
Media stadio 20 Min - 90s	1198	1202	3,65	54,22	39,62
Media stadio 20 Min - 90s	1198	1202	4,00	48,07	36,45
Media stadio 20 Min - 90s	1198	1202	3,97	48,60	36,63
Media stadio 20 Min - 90s	1198	1202	3,54	55,13	40,18
Media stadio 20 Min - 90s	1201	1199	3,85	50,69	38,62
Media stadio 20 Min - 90s	1201	1199	4,22	42,98	34,59
Media stadio 20 Min - 90s	1201	1199	4,03	47,28	36,76
Media stadio 20 Min - 90s	1201	1199	3,60	54,28	37,63
Media stadio 20 Min - 90s	1201	1199	3,66	53,74	40,87
Media stadio 20 Min - 90s	1201	1199	3,90	50,43	38,73
Media stadio 20 Min - 90s	1201	1199	3,88	50,47	38,82
Media stadio 20 Min - 90s	1201	1199	3,72	52,43	38,69
Media stadio 20 Min - 90s	1201	1199	3,77	53,49	40,64
Media stadio 20 Min - 90s	1201	1199	3,98	48,05	37,68
Media stadio 20 Min - 90s	1201	1199	3,92	49,51	38,41
Media stadio 20 Min - 90s	1201	1199	3,85	50,69	38,62
Media stadio 20 Min - 90s	1201	1199	4,22	42,98	34,59
Media stadio 20 Min - 90s	1201	1199	4,03	47,28	36,76
Media stadio 20 Min - 90s	1201	1199	3,60	54,28	37,63
Media stadio 20 Min - 90s	1201	1199	3,66	53,74	40,87
Media stadio 20 Min - 90s	1201	1199	3,90	50,43	38,73
Media stadio 20 Min - 90s	1201	1199	3,88	50,47	38,82
Media stadio 20 Min - 90s	1201	1199	3,72	52,43	38,69
Media stadio 20 Min - 90s	1201	1199	3,77	53,49	40,64
Media stadio 20 Min - 90s	1201	1199	3,98	48,05	37,68
Media stadio 20 Min - 90s	1201	1199	3,92	49,51	38,41
Media stadio 20 Min - 90s	1201	1205	3,92	48,54	36,58
Media stadio 20 Min - 90s	1201	1205	3,70	52,57	38,79

Media stadio 20 Min - 90s	1201	1205	3,78	50,28	35,34
Media stadio 20 Min - 90s	1201	1205	3,95	48,70	35,67
Media stadio 20 Min - 90s	1201	1205	4,04	46,43	37,03
Media stadio 20 Min - 90s	1201	1205	3,78	48,96	36,45
Media stadio 20 Min - 90s	1201	1205	4,08	45,22	37,08
Media stadio 20 Min - 90s	1201	1205	4,01	48,62	37,42
Media stadio 20 Min - 90s	1201	1205	3,93	48,08	35,45
Media stadio 20 Min - 90s	1201	1205	4,23	44,77	35,06
Media stadio 20 Min - 90s	1201	1205	3,50	54,09	38,24
Media stadio 20 Min - 90s	1201	1205	3,92	48,54	36,58
Media stadio 20 Min - 90s	1201	1205	3,70	52,57	38,79
Media stadio 20 Min - 90s	1201	1205	3,78	50,28	35,34
Media stadio 20 Min - 90s	1201	1205	3,95	48,70	35,67
Media stadio 20 Min - 90s	1201	1205	4,04	46,43	37,03
Media stadio 20 Min - 90s	1201	1205	3,78	48,96	36,45
Media stadio 20 Min - 90s	1201	1205	4,08	45,22	37,08
Media stadio 20 Min - 90s	1201	1205	4,01	48,62	37,42
Media stadio 20 Min - 90s	1201	1205	3,93	48,08	35,45
Media stadio 20 Min - 90s	1201	1205	4,23	44,77	35,06
Media stadio 20 Min - 90s	1201	1205	3,50	54,09	38,24
Media stadio 20 Min - 90s	1204	1202	3,86	51,11	36,50
Media stadio 20 Min - 90s	1204	1202	3,35	56,40	34,60
Media stadio 20 Min - 90s	1204	1202	3,86	48,70	37,10
Media stadio 20 Min - 90s	1204	1202	4,78	42,60	31,70
Media stadio 20 Min - 90s	1204	1202	3,50	56,25	37,95
Media stadio 20 Min - 90s	1204	1202	3,55	54,80	35,27
Media stadio 20 Min - 90s	1204	1202	4,12	46,74	37,20
Media stadio 20 Min - 90s	1204	1202	3,11	65,70	39,30
Media stadio 20 Min - 90s	1204	1202	3,77	51,08	36,86
Media stadio 20 Min - 90s	1204	1202	4,31	47,40	34,80
Media stadio 20 Min - 90s	1204	1202	3,27	60,30	43,35
Media stadio 20 Min - 90s	1204	1202	3,86	51,11	36,50
Media stadio 20 Min - 90s	1204	1202	3,35	56,40	34,60
Media stadio 20 Min - 90s	1204	1202	3,86	48,70	37,10
Media stadio 20 Min - 90s	1204	1202	4,78	42,60	31,70
Media stadio 20 Min - 90s	1204	1202	3,50	56,25	37,95
Media stadio 20 Min - 90s	1204	1202	3,55	54,80	35,27
Media stadio 20 Min - 90s	1204	1202	4,12	46,74	37,20
Media stadio 20 Min - 90s	1204	1202	3,11	65,70	39,30
Media stadio 20 Min - 90s	1204	1202	3,77	51,08	36,86
Media stadio 20 Min - 90s	1204	1202	4,31	47,40	34,80
Media stadio 20 Min - 90s	1204	1202	3,27	60,30	43,35
Media - stadio 20 Min 70s	1198	1202	3,91	48,52	37,23
Media - stadio 20 Min 70s	1198	1202	4,55	39,79	35,14

Media - stadio 20 Min 70s	1198	1202	3,82	49,97	36,67
Media - stadio 20 Min 70s	1198	1202	3,56	53,92	38,54
Media - stadio 20 Min 70s	1198	1202	4,14	45,65	37,64
Media - stadio 20 Min 70s	1198	1202	4,16	45,10	35,84
Media - stadio 20 Min 70s	1198	1202	3,90	48,36	37,55
Media - stadio 20 Min 70s	1198	1202	3,86	48,79	36,39
Media - stadio 20 Min 70s	1198	1202	3,98	47,85	37,46
Media - stadio 20 Min 70s	1198	1202	3,83	50,79	38,45
Media - stadio 20 Min 70s	1198	1202	3,81	49,16	37,37
Media - stadio 20 Min 70s	1198	1202	3,91	48,52	37,23
Media - stadio 20 Min 70s	1198	1202	4,55	39,79	35,14
Media - stadio 20 Min 70s	1198	1202	3,82	49,97	36,67
Media - stadio 20 Min 70s	1198	1202	3,56	53,92	38,54
Media - stadio 20 Min 70s	1198	1202	4,14	45,65	37,64
Media - stadio 20 Min 70s	1198	1202	4,16	45,10	35,84
Media - stadio 20 Min 70s	1198	1202	3,90	48,36	37,55
Media - stadio 20 Min 70s	1198	1202	3,86	48,79	36,39
Media - stadio 20 Min 70s	1198	1202	3,98	47,85	37,46
Media - stadio 20 Min 70s	1198	1202	3,83	50,79	38,45
Media - stadio 20 Min 70s	1198	1202	3,81	49,16	37,37
Media - stadio 20 Min 70s	1201	1199	3,87	48,64	37,88
Media - stadio 20 Min 70s	1201	1199	4,61	38,22	33,53
Media - stadio 20 Min 70s	1201	1199	3,80	49,06	38,96
Media - stadio 20 Min 70s	1201	1199	3,76	50,37	38,88
Media - stadio 20 Min 70s	1201	1199	3,76	50,30	37,84
Media - stadio 20 Min 70s	1201	1199	4,00	48,16	36,14
Media - stadio 20 Min 70s	1201	1199	3,73	50,50	39,26
Media - stadio 20 Min 70s	1201	1199	4,05	45,01	35,47
Media - stadio 20 Min 70s	1201	1199	3,70	50,59	38,56
Media - stadio 20 Min 70s	1201	1199	3,78	50,40	40,22
Media - stadio 20 Min 70s	1201	1199	3,96	47,28	37,00
Media - stadio 20 Min 70s	1201	1199	3,87	48,64	37,88
Media - stadio 20 Min 70s	1201	1199	4,61	38,22	33,53
Media - stadio 20 Min 70s	1201	1199	3,80	49,06	38,96
Media - stadio 20 Min 70s	1201	1199	3,76	50,37	38,88
Media - stadio 20 Min 70s	1201	1199	3,76	50,30	37,84
Media - stadio 20 Min 70s	1201	1199	4,00	48,16	36,14
Media - stadio 20 Min 70s	1201	1199	3,73	50,50	39,26
Media - stadio 20 Min 70s	1201	1199	4,05	45,01	35,47
Media - stadio 20 Min 70s	1201	1199	3,70	50,59	38,56
Media - stadio 20 Min 70s	1201	1199	3,78	50,40	40,22
Media - stadio 20 Min 70s	1201	1199	3,96	47,28	37,00
Media - stadio 20 Min 70s	1201	1205	4,07	45,55	36,44
Media - stadio 20 Min 70s	1201	1205	4,27	44,12	35,85

Media - stadio 20 Min 70s	1201	1205	4,59	38,26	35,78
Media - stadio 20 Min 70s	1201	1205	3,95	46,45	36,85
Media - stadio 20 Min 70s	1201	1205	4,44	40,38	35,87
Media - stadio 20 Min 70s	1201	1205	3,88	49,44	36,66
Media - stadio 20 Min 70s	1201	1205	4,29	42,91	36,04
Media - stadio 20 Min 70s	1201	1205	4,04	44,59	36,05
Media - stadio 20 Min 70s	1201	1205	3,86	48,98	38,13
Media - stadio 20 Min 70s	1201	1205	3,84	48,70	36,72
Media - stadio 20 Min 70s	1201	1205	3,97	45,66	35,79
Media - stadio 20 Min 70s	1201	1205	4,07	45,55	36,44
Media - stadio 20 Min 70s	1201	1205	4,27	44,12	35,85
Media - stadio 20 Min 70s	1201	1205	4,59	38,26	35,78
Media - stadio 20 Min 70s	1201	1205	3,95	46,45	36,85
Media - stadio 20 Min 70s	1201	1205	4,44	40,38	35,87
Media - stadio 20 Min 70s	1201	1205	3,88	49,44	36,66
Media - stadio 20 Min 70s	1201	1205	4,29	42,91	36,04
Media - stadio 20 Min 70s	1201	1205	4,04	44,59	36,05
Media - stadio 20 Min 70s	1201	1205	3,86	48,98	38,13
Media - stadio 20 Min 70s	1201	1205	3,84	48,70	36,72
Media - stadio 20 Min 70s	1201	1205	3,97	45,66	35,79
Media - stadio 20 Min 70s	1204	1202	4,16	45,87	36,52
Media - stadio 20 Min 70s	1204	1202	3,51	51,15	43,05
Media - stadio 20 Min 70s	1204	1202	3,12	62,28	41,52
Media - stadio 20 Min 70s	1204	1202	4,18	42,00	35,88
Media - stadio 20 Min 70s	1204	1202	4,68	40,35	34,43
Media - stadio 20 Min 70s	1204	1202	3,84	51,05	36,95
Media - stadio 20 Min 70s	1204	1202	3,74	49,71	35,74
Media - stadio 20 Min 70s	1204	1202	4,34	42,53	39,30
Media - stadio 20 Min 70s	1204	1202	4,46	43,20	34,24
Media - stadio 20 Min 70s	1204	1202	4,63	38,76	34,32
Media - stadio 20 Min 70s	1204	1202	3,95	48,75	37,95
Media - stadio 20 Min 70s	1204	1202	4,16	45,87	36,52
Media - stadio 20 Min 70s	1204	1202	3,51	51,15	43,05
Media - stadio 20 Min 70s	1204	1202	3,12	62,28	41,52
Media - stadio 20 Min 70s	1204	1202	4,18	42,00	35,88
Media - stadio 20 Min 70s	1204	1202	4,68	40,35	34,43
Media - stadio 20 Min 70s	1204	1202	3,84	51,05	36,95
Media - stadio 20 Min 70s	1204	1202	3,74	49,71	35,74
Media - stadio 20 Min 70s	1204	1202	4,34	42,53	39,30
Media - stadio 20 Min 70s	1204	1202	4,46	43,20	34,24
Media - stadio 20 Min 70s	1204	1202	4,63	38,76	34,32
Media - stadio 20 Min 70s	1204	1202	3,95	48,75	37,95
Media Scenario base 20 min - 70s	1198	1202	3,94	46,41	34,66
Media Scenario base 20 min - 70s	1198	1202	4,61	38,76	32,40

Media Scenario base 20 min - 70s	1198	1202	4,19	44,70	34,32
Media Scenario base 20 min - 70s	1198	1202	4,17	43,71	32,66
Media Scenario base 20 min - 70s	1198	1202	3,76	48,78	35,13
Media Scenario base 20 min - 70s	1198	1202	4,20	41,87	34,53
Media Scenario base 20 min - 70s	1198	1202	3,67	50,51	36,68
Media Scenario base 20 min - 70s	1198	1202	4,00	45,75	33,35
Media Scenario base 20 min - 70s	1198	1202	4,00	45,77	34,97
Media Scenario base 20 min - 70s	1198	1202	4,40	42,25	34,00
Media Scenario base 20 min - 70s	1198	1202	3,54	49,62	35,13
Media Scenario base 20 min - 70s	1198	1202	3,94	46,41	34,66
Media Scenario base 20 min - 70s	1198	1202	4,61	38,76	32,40
Media Scenario base 20 min - 70s	1198	1202	4,19	44,70	34,32
Media Scenario base 20 min - 70s	1198	1202	4,17	43,71	32,66
Media Scenario base 20 min - 70s	1198	1202	3,76	48,78	35,13
Media Scenario base 20 min - 70s	1198	1202	4,20	41,87	34,53
Media Scenario base 20 min - 70s	1198	1202	3,67	50,51	36,68
Media Scenario base 20 min - 70s	1198	1202	4,00	45,75	33,35
Media Scenario base 20 min - 70s	1198	1202	4,00	45,77	34,97
Media Scenario base 20 min - 70s	1198	1202	4,40	42,25	34,00
Media Scenario base 20 min - 70s	1198	1202	3,54	49,62	35,13
Media Scenario base 20 min - 70s	1201	1199	3,84	47,34	33,83
Media Scenario base 20 min - 70s	1201	1199	4,47	38,64	32,16
Media Scenario base 20 min - 70s	1201	1199	3,60	49,56	36,15
Media Scenario base 20 min - 70s	1201	1199	4,08	45,28	31,28
Media Scenario base 20 min - 70s	1201	1199	4,12	43,90	34,50
Media Scenario base 20 min - 70s	1201	1199	3,97	48,80	32,40
Media Scenario base 20 min - 70s	1201	1199	3,88	45,45	32,65
Media Scenario base 20 min - 70s	1201	1199	3,35	53,20	36,67
Media Scenario base 20 min - 70s	1201	1199	3,75	48,20	34,07
Media Scenario base 20 min - 70s	1201	1199	3,64	47,16	34,32
Media Scenario base 20 min - 70s	1201	1199	3,85	48,42	32,82
Media Scenario base 20 min - 70s	1201	1199	3,84	47,34	33,83
Media Scenario base 20 min - 70s	1201	1199	4,47	38,64	32,16
Media Scenario base 20 min - 70s	1201	1199	3,60	49,56	36,15
Media Scenario base 20 min - 70s	1201	1199	4,08	45,28	31,28
Media Scenario base 20 min - 70s	1201	1199	4,12	43,90	34,50
Media Scenario base 20 min - 70s	1201	1199	3,97	48,80	32,40
Media Scenario base 20 min - 70s	1201	1199	3,88	45,45	32,65
Media Scenario base 20 min - 70s	1201	1199	3,35	53,20	36,67
Media Scenario base 20 min - 70s	1201	1199	3,75	48,20	34,07
Media Scenario base 20 min - 70s	1201	1199	3,64	47,16	34,32
Media Scenario base 20 min - 70s	1201	1199	3,85	48,42	32,82
Media Scenario base 20 min - 70s	1201	1205	4,13	44,67	34,80
Media Scenario base 20 min - 70s	1201	1205	5,16	32,10	29,10

Media Scenario base 20 min - 70s	1201	1205	4,88	37,20	31,60
Media Scenario base 20 min - 70s	1201	1205	3,69	47,74	36,94
Media Scenario base 20 min - 70s	1201	1205	3,95	45,00	36,20
Media Scenario base 20 min - 70s	1201	1205	3,61	53,89	37,53
Media Scenario base 20 min - 70s	1201	1205	4,47	39,70	29,40
Media Scenario base 20 min - 70s	1201	1205	4,40	39,96	34,92
Media Scenario base 20 min - 70s	1201	1205	3,30	52,95	40,13
Media Scenario base 20 min - 70s	1201	1205	4,90	36,86	31,37
Media Scenario base 20 min - 70s	1201	1205	4,35	41,40	32,40
Media Scenario base 20 min - 70s	1201	1205	4,13	44,67	34,80
Media Scenario base 20 min - 70s	1201	1205	5,16	32,10	29,10
Media Scenario base 20 min - 70s	1201	1205	4,88	37,20	31,60
Media Scenario base 20 min - 70s	1201	1205	3,69	47,74	36,94
Media Scenario base 20 min - 70s	1201	1205	3,95	45,00	36,20
Media Scenario base 20 min - 70s	1201	1205	3,61	53,89	37,53
Media Scenario base 20 min - 70s	1201	1205	4,47	39,70	29,40
Media Scenario base 20 min - 70s	1201	1205	4,40	39,96	34,92
Media Scenario base 20 min - 70s	1201	1205	3,30	52,95	40,13
Media Scenario base 20 min - 70s	1201	1205	4,90	36,86	31,37
Media Scenario base 20 min - 70s	1201	1205	4,35	41,40	32,40
Media Scenario base 20 min - 70s	1204	1202	4,18	45,61	35,93
Media Scenario base 20 min - 70s	1204	1202	5,19	36,94	32,83
Media Scenario base 20 min - 70s	1204	1202	4,77	38,27	33,87
Media Scenario base 20 min - 70s	1204	1202	4,05	47,63	34,20
Media Scenario base 20 min - 70s	1204	1202	4,50	39,87	35,87
Media Scenario base 20 min - 70s	1204	1202	3,95	47,27	37,80
Media Scenario base 20 min - 70s	1204	1202	3,98	50,20	34,00
Media Scenario base 20 min - 70s	1204	1202	4,14	45,36	41,04
Media Scenario base 20 min - 70s	1204	1202	3,97	47,58	36,54
Media Scenario base 20 min - 70s	1204	1202	3,38	55,02	37,86
Media Scenario base 20 min - 70s	1204	1202	4,11	46,47	35,73
Media Scenario base 20 min - 70s	1204	1202	4,18	45,61	35,93
Media Scenario base 20 min - 70s	1204	1202	5,19	36,94	32,83
Media Scenario base 20 min - 70s	1204	1202	4,77	38,27	33,87
Media Scenario base 20 min - 70s	1204	1202	4,05	47,63	34,20
Media Scenario base 20 min - 70s	1204	1202	4,50	39,87	35,87
Media Scenario base 20 min - 70s	1204	1202	3,95	47,27	37,80
Media Scenario base 20 min - 70s	1204	1202	3,98	50,20	34,00
Media Scenario base 20 min - 70s	1204	1202	4,14	45,36	41,04
Media Scenario base 20 min - 70s	1204	1202	3,97	47,58	36,54
Media Scenario base 20 min - 70s	1204	1202	3,38	55,02	37,86
Media Scenario base 20 min - 70s	1204	1202	4,11	46,47	35,73