CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA CIVILE

TESI DI LAUREA MAGISTRALE

TRACCIAMENTO E CLASSIFICAZIONE DEGLI UTENTI STRADALI IN AMBIENTE URBANO CON TECNICHE DI ELABORAZIONE DELLE IMMAGINI

Relatori

Prof. Marco Bassani

Prof. Marco Piras

Ing. Lorenzo Catani

Candidato

Filippo Lolli

OTTOBRE 2018

SOMMARIO

ABSTRACT **1**

INTRODUZIONE **3**

1 ANALISI DELLA LETTERATURA **7**

2 INDAGINE SPERIMENTALE **13**

2.1 OBIETTIVI 13

2.2 STRUMENTI 14

2.3 CAMPAGNA RILIEVI 20

2.3.1 Rilievo video 22

2.3.2 Rilievo Topografico 26

3 METODOLOGIA **31**

3.1 CALIBRAZIONE CAMERA 31

3.2 CODICE DI ELABORAZIONE DELLE IMMAGINI 34

3.2.1 Funzione Video 35

3.2.2 Funzione Multi Object Tracking 42

3.2.3 Funzione Analisi 47

3.3 ANALISI DI SENSITIVITÀ 65

3.3.1 Dimensione del pixel 65

3.3.2 Minimo Rapporto di Sfondo 70

3.3.3 Minima e Massima Area Blob 72

3.4 BILANCIO TEMPI DI ELABORAZIONE 73

4 VALIDAZIONE **77**

4.1 RADDRIZZAMENTO DEI FOTOGRAMMI 79

4.2 IDENTIFICAZIONE E CLASSIFICAZIONE DELLE UTENZE 81

4.3 CALCOLO DELLA VELOCITÀ OPERATIVA 87

CONCLUSIONI **95**

BIBLIOGRAFIA **99**

ALLEGATI **103**

ALLEGATO A 104

TABELLA RIASSUNTIVA DELLA CAMPAGNA RILIEVI VIDEO 104

INDICE

ALLEGATO B 106
TABELLA RIASSUNTIVA DEL RILIEVO TOPOGRAFICO. 106
ALLEGATO C 108
CODICE "SCRIPT NIZZA" 108
ALLEGATO D 126
ANALISI SENSITIVITÀ DEL PARAMETRO "DIMENSIONE DEL PIXEL". 126
ALLEGATO E 134
ANALISI SENSITIVITÀ DEL PARAMETRO "MINIMO RAPPORTO DI SFONDO (MRS)". 134
ALLEGATO F 139
VALIDAZIONE DELLE VELOCITÀ OPERATIVE. 139
ALLEGATO G 144
DISTRIBUZIONE TRASVERSALE DELLE UTENZE. 144

Indice delle figure

Figura 1: Rappresentazioni di oggetti (Ylmaz et al., 2006). 7
Figura 2: Struttura dell'algoritmo (Xiao et al., 2007) 8
Figura 3: Architettura dell'algoritmo (Zaki e Sayed., 2013) 10
Figura 4: Procedure condotte dell'algoritmo (Wan et al., 2014) 11
Figura 5: Struttura dell'Indagine Sperimentale 14
Figura 6: Garmin VIRB® Elite (vista superiore e frontale) 14
Figura 7: Palo Telescopico Neutech (vista frontale e dettaglio morsetti) 15
Figura 8: Treppiedi Manfrotto (in posizione aperta e chiusa) 16
Figura 9: Componenti utilizzate per il rilievo topografico 17
Figura 10: Rete delle stazioni permanenti di Piemonte e Lombardia 18
Figura 11: Flusso di dati tra Centro di Controllo e utenza 19
Figura 12: Via Nizza tra Corso Vittorio Emanuele II e Piazza Carducci 20
Figura 13: Progetto Esecutivo di Via Nizza (futuro spartitraffico tra Largo Marconi e Via Berthollet) ... 21
Figura 14: Progetto Esecutivo di Via Nizza (Intersezione con Corso Sommeiller) 21
Figura 15: Installazione della strumentazione 23
Figura 16: Rilievo video S07sA 25
Figura 17: Rilievi Video geo-riferiti sulla Cartografia di Via Nizza 25
Figura 18: Individuazione del punto rilevato con il dettaglio della caditoia 26
Figura 19: Controller System 1200 Leica 27
Figura 20: Misurazione topografica 27
Figura 21: Posizionamento VRS 28
Figura 22: Punti geo-riferiti per la ripresa S05n 29
Figura 23:Rilievi topografici di Via Nizza sulla cartografia 30
Figura 24: Grandezza del lato del quadrato nella scacchiera 32
Figura 25: Schermata finale di calibrazione 32
Figura 26: Errori proiezione (sinistra) e Parametri estrinseci (destra) della camera 9002 33
Figura 27: Interfaccia grafica 33
Figura 28: Struttura dello Script_Nizza 34
Figura 29: Struttura della funzione Video 35
Figura 30: Schermata di selezione video 36
Figura 31: VID220, frame originale estratto dal video 36
Figura 32: DIST220, VID220 con applicazione dei cameraParams 37
Figura 33: RAD220, DIST220 con applicazione del raddrizzamento 39
Figura 34: RAD220 con area rossa da ritagliare 40
Figura 35: CROP220, RAD220 con applicazione del taglio 40
Figura 36: Visualizzazione processo e frame sulla Command Window 41
Figura 37: Struttura della funzione Multi Object Tracking 42
Figura 38: Rilievo elemento con script Motion-Based Multiple Object Tracking 44

INDICE

Figura 39: Rappresentazione grafica della funzione Multi Object Tracking 45
Figura 40: Visualizzazione della tabella CENTROIDI_1 con Matlab 46
Figura 41: Sistema di riferimento per il posizionamento dei centri di massa 46
Figura 42: Struttura della funzione Analisi 47
Figura 43: Tracce di oggetti diversi ma con lo stesso identificativo 48
Figura 44: Traiettoria del blob 2 (blu) ottimale poiché esterna ai limiti (linee rosse) 49
Figura 45: Variazione dell'area (in blu) del blob nel tempo con limite (in rosso) per la definizione dell'area utile 50
Figura 46: Profilo di area (in blu) e area utile (in rosso) del blob 51
Figura 47: Esempio di output del codice di Istogramma Area Utile 52
Figura 48: Output grafico del primo metodo di classificazione 53
Figura 49: Output grafico del secondo metodo di classificazione 53
Figura 50: Profilo della velocità (blu) e profilo della velocità utile (rosso) con applicazione del filtro (verde) 56
Figura 51: Esempio di output del codice di Istogramma Velocità Operativa 57
Figura 52: Output dell'algoritmo Distribuzione Trasversale Utenze 58
Figura 53: Distribuzione trasversale dei veicoli di classe 2 59
Figura 54: Rappresentazione frequenze e distribuzione Normale 62
Figura 55: Test K-S per la Classe 2 del video S03nA 63
Figura 56: Sovrapposizione delle tracce per i cinque casi 66
Figura 57: Frame adoperati per calcolo della velocità (a sinistra frame 202, a destra frame 244) 67
Figura 58: Sovrapposizione dei profili di velocità per i 5 casi 68
Figura 59: Andamento risoluzione e tempo computazionale variando la dimensione dl pixel 69
Figura 60: Tracce al variare del parametro per ogni dimensione del pixel 70
Figura 61: Profili di velocità al variare del parametro per ogni dimensione del pixel 71
Figura 62: Fotogramma senza (sinistra) e con applicazione (destra) del "Massima Area Blob" 73
Figura 63: Punti d'interesse prescelti lungo Via Nizza 77
Figura 64: Intersezione I03-3 78
Figura 65: Fotogramma di S05n raddrizzato con RDF (sinistra) e con lo Script Nizza (destra) 80
Figura 66: Fotogramma di S05s raddrizzato con RDF (sinistra) e con lo Script Nizza (destra) 81
Figura 67: Fotogramma di S03n raddrizzato con RDF (sinistra) e con lo Script Nizza (destra) 81
Figura 68: Presenza di luce diretta che causa ombre dannose all'analisi 86
Figura 69: Distanza d del mozzo della ruota anteriore dello stesso veicolo in due frame diversi 88
Figura 70: Validazione per i video S03nA e S03nB 91
Figura 71: Validazione per i video S05nA e S05nB 92

Indice delle Tabelle

Tabella 1: Nomenclatura dei rilievi video 22
Tabella 2: Data rilievo, tempo del rilievo, video realizzati, tempo di ripresa 24
Tabella 3: Coordinate dei punti rilevati per S05 29
Tabella 4: Parte della matrice TabA costruita in Matlab 51
Tabella 5: Identificazione nelle due maschere e grafico di area relativa all'entità 54
Tabella 6: Parte della matrice TabV costruita in Matlab 56
Tabella 7: Parametri per l'analisi statistica sulla posizione trasversale (Corsia Nord, S03nA) 60
Tabella 8: Parametri per l'analisi statistica sulla posizione trasversale (Corsia Sud, S03nA) 61
Tabella 9: Valori di posizione 64
Tabella 10: Valori di Velocità Media e Dev.Standard per ogni grandezza del pixel 67
Tabella 11: Risoluzione e dimensione del frame, tempo computazionale (275 frame) 69
Tabella 12:Velocità media e Dev.Standard al variare del parametro e della dimensione del pixel 72
Tabella 13: Caratteristiche computer 73
Tabella 14: Tempi elaborazione della funzione Video 74
Tabella 15: Tempi elaborazione della funzione Multi Object Tracking 74
Tabella 16: Dati di input per il raddrizzamento 79
Tabella 17: Parametri di Raddrizzamento calcolati con il software RDF e con lo Script Nizza 80
Tabella 18: Rilievo video S03nA 83
Tabella 19: Rilievo video S03nB, con limiti di classificazione uguali ad S03nA 83
Tabella 20: Rilievo video S03nB, con limiti di classificazione reimpostati 84
Tabella 21: Rilievo video S05nA 84
Tabella 22: Rilievo video S05nB, con limiti di classificazione uguali ad S05nA 85
Tabella 23: Rilievo video S05nB, con limiti di classificazione reimpostati 85
Tabella 24: Esempio di calcolo della velocità operativa con diversa metodologia 89
Tabella 25: Test F e test T applicati al campione estratto da S03nA 89
Tabella 26: Test F e test T applicati al campione estratto da S03nB 90
Tabella 27: Test F e test T applicati al campione estratto da S05nA 90
Tabella 28: Test F e test T applicati al campione estratto da S05nA 91
Tabella 29: Outlier nella validazione della velocità operativa 92

ABSTRACT

Il monitoraggio e l'analisi del traffico sono attività fondamentali nell'ambito della gestione e ammodernamento delle infrastrutture di trasporto. Negli ultimi anni si è generato un grande interesse per gli algoritmi di identificazione e tracciamento delle entità in movimento a partire da analisi video. Questo interesse è stato supportato dalla introduzione di computer ad alte prestazioni e di videocamere ad alta definizione, strumento che nel frattempo sono diventati più accessibili e di basso costo.

Questo documento presenta un algoritmo in ambiente MATLAB che stima le caratteristiche microscopiche del traffico (traiettoria e velocità) e classifica gli utenti a partire dall'analisi di filmati video. Dai dati di traiettoria e velocità si estrapolano informazioni sul comportamento adottato dagli utenti in base alla geometria della strada.

Il codice è stato impiegato per l'analisi di filmati acquisiti in ambito urbano mediante una videocamera fissa posta su un'asta telescopica a 9 metri dal suolo. Sulle medesime sezioni/intersezioni è stato eseguito un rilievo topografico per estrapolare dati utili alla georeferenziazione dei fotogrammi (dato di input). È stato anche sviluppato un codice ausiliario per la calibrazione della camera.

Il codice principale è composto di tre parti. Il sottocodice *Video* manipola i frame estratti dal video originale per rimuovere le distorsioni prospettiche e zone dell'inquadratura non pertinenti ai fini dello studio, e creare fotogrammi metricamente corretti producendo un filmato differente dal precedente.

Il sottocodice *Multi Object Tracking*, sul filmato costruito precedentemente, applica l'algoritmo *Blob Detection* per riconoscere elementi mobili rispetto ai fissi. L'identificazione si basa sulla variazione radiometrica dello stesso pixel in fotogrammi consecutivi. Stabilita la soglia di variazione radiometrica si distingue il *background* (con variazioni cromatiche nulle) dal *foreground* (pixel con variazioni cromatiche). Per sottrazione di queste due immagini, si ottiene una maschera oggetto, ossia un'immagine binaria dove gli oggetti mobili (denominati *blob*) sono rappresentati da una macchia bianca che si muove su uno sfondo nero. Per ogni *blob* si possiede un codice identificativo, le coordinate pixel del centro di massa, l'area in pixel e i frame relativi all'identificazione.

Il sottocodice *Analisi* utilizza le informazioni acquisite nella funzione precedente per: (a) classificare gli oggetti mobili tramite la conoscenza dell'area del *blob*, (b) stimare la traiettoria e la velocità operativa per ogni utente, (c) valutare la distribuzione delle utenze nella sezione stradale. Lo studio della dimensione areale del *blob* classifica l'entità calcolandone la velocità. L'area varia nei differenti fotogrammi, sebbene si dimostra una fase in cui la stessa sia pressoché costante. La dimensione della superficie previa calibrazione classifica gli utenti in tre categorie. La velocità è calcolata come media delle velocità istantanee dove il *blob* presenta area costante. Il percorso baricentrico di ogni *blob* è tracciato e analizzato per determinare la dispersione delle traiettorie nelle corsie. Gli output contengono dati e grafici di aggregazione delle informazioni geospaziali raccolte.

INTRODUZIONE

Nel settore stradale, l'aumento della potenza di calcolo dei calcolatori e l'introduzione di sensori ambientali di nuova generazione, nuovi codici di calcolo, nonché il basso costo di tali sistemi, hanno facilitato la diffusione di strumenti di monitoraggio automatico del traffico. Tali strumenti acquisiscono e restituiscono informazioni macroscopiche come flusso, densità e velocità media delle correnti veicolari sull'infrastruttura stradale su svariate sezioni della rete e in modo continuo.

Le società autostradali utilizzano, ad esempio, telecamere poste nelle zone nevralgiche della loro rete di competenza per monitorare il flusso di veicoli e garantire un pronto intervento in caso di congestione o incidente. Questi sistemi di monitoraggio operano in tempo reale grazie all'ausilio di tecnologie avanzate, come telecamere di altissima qualità e database per la gestione di una notevole mole di dati che, ovviamente, richiedono una grande disponibilità economica da parte dei gestori del servizio.

Per l'acquisizione puntuale, tuttavia, ancora oggi alcuni ricorrono all'ausilio di operatori che registrano dati a bordo strada (perlopiù frequenze e categorie veicolari); altri impiegano diverse tipologie di sensori: le spire induttive, i tubi contamacchine, i sensori a infrarossi, le microonde, le piastre magnetiche (Klein et al., 2006). Ciascuno di questi strumenti possiede debolezze e punti di forza circa l'accuratezza del dato, la sua precisione, il costo, i tempi di elaborazione. A queste tecniche si sono affiancate quelle che prevedono l'acquisizione di registrazioni video e che consentono, in fase di post-elaborazione, di raccogliere oltre alle informazioni prima citate anche altre. Con le immagini video è possibile derivare, per una sufficiente lunghezza, informazioni sulle traiettorie spazio-temporali delle singole utenze nella scena (Saunier et al., 2011).

Queste informazioni sono di grande utilità nelle analisi di sicurezza. È possibile infatti eseguire una specifica diagnostica sulle interazioni, monitorare i tempi di attraversamento, localizzare con esattezza i punti di conflitto, derivare gli intervalli degli utenti nei medesimi punti di conflitto. Ciò consente di derivare utili indicazioni per la scelta delle contromisure che risolvano l'eccessiva conflittualità e i pericoli ad essa associati, ciò a favore della sicurezza nelle aree più critiche dell'infrastruttura.

Le informazioni microscopiche del traffico derivabili a partire dalla ricostruzione delle traiettorie dei singoli utenti richiedono una specifica trattazione. Non c'è dubbio che

l'elaborazione di una sequenza video su infrastrutture *extra*-urbane, come ad esempio le autostrade, è più semplice rispetto a quella eseguita su una infrastruttura urbana. Monitorare e acquisire dati per i pedoni, i ciclisti e i motociclisti su strade urbane è più complesso per la minore rigidità negli spostamenti con movimenti meno ordinati.

Il lavoro di tesi riguarda l'implementazione di una metodologia di analisi delle immagini per il tracciamento (o rilevamento) della traiettoria spazio-temporale di utenti stradali in ambiente urbano. Oltre a ciò, la metodologia è stata messa a punto con l'intento di classificare o distinguere i singoli utenti. Come caso studio per l'acquisizione di dati di campo è stato considerato l'asse di via Nizza in Torino, per il quale è in corso un processo di trasformazione che prevede la risistemazione delle carreggiate stradali, l'introduzione di due piste ciclabili, la riorganizzazione delle intersezioni, degli attraversamenti, e degli accessi alla sede (Progetto Esecutivo "Riqualificazione dell'asse di Via Nizza e ciclopista" attuato dalla Città di Torino).

L'analisi sperimentale descritta in modo approfondito all'interno del manoscritto, consta di più fasi. Nella prima si è provveduto a realizzare l'intera campagna di rilievi video e topografici lungo via Nizza nel tratto tra Corso Vittorio Emanuele II e Piazza Carducci. Sono stati raccolti 48 filmati per più di dodici ore di riprese video con l'ausilio di videocamere digitali montate all'altezza di 9 m dalla superficie stradale. Le camere sono state montate in cima a un'asta telescopica vincolata a terra. Per il rilievo topografico si è utilizzato un GPS Leica 1230 con il quale, mediante la rete del Servizio di Posizionamento Interregionale GNSS (SPIN GNSS) di Regione Piemonte e Regione Lombardia, si sono rilevati 86 punti in 10 diverse aree di interesse.

Nella seconda fase è stato sviluppato e validato un codice MATLAB per il trattamento e l'analisi delle immagini. Il codice esegue il tracciamento di oggetti multipli (entità che si muovono nella scena ripresa) ed elabora le informazioni derivando alcune caratteristiche microscopiche. È stata anche condotta un'analisi di sensitività del codice relativamente ai parametri di soglia di alcune variabili fotometriche, al fine di ottimizzare il codice stesso in termini di qualità dei risultati ottenuti e minimizzazione del tempo computazionale della macchina.

Il manoscritto è organizzato in capitoli. Il primo riguarda l'"Analisi della letteratura", dove si descrivono i risultati di ricerche antecedenti, facenti parte della letteratura tecnico-scientifica internazionale.

Il secondo illustra l'"Indagine sperimentale"; questo capitolo è suddiviso in tre paragrafi gli "Obiettivi", gli "Strumenti" (principali attributi funzionali della strumentazione adoperata sia per il rilievo video che quello topografico), e "Campagna rilievi", in cui si illustrano le scelte e le fasi per di rilievo e i dati ottenuti.

Il terzo Capitolo, intitolato "Metodologia", contiene la descrizione del metodo con il quale si sono acquisiti i parametri intrinseci ed estrinseci della videocamera, la struttura del codice MATLAB, l'analisi di sensitività prima citata e il bilancio dei tempi di elaborazione. Il quarto Capitolo "Validazione" illustra gli esiti del processo di validazione. Seguono le "Conclusioni" (quinto Capitolo) in cui sono riassunti i risultati conseguiti, le implicazioni e le limitazioni del lavoro, oltre alle possibili applicazioni future.

1 ANALISI DELLA LETTERATURA

Questo capitolo descrive l'evoluzione dei contributi scientifici inerenti all'argomento principale del manoscritto, ovvero la tecnica di acquisizione di un filmato e la metodologia di estrapolazione da esso dei dati (come posizione, tempo, categoria e velocità) di tutte le possibili tipologie di utenze. Si descrivono le criticità riscontrate nei codici precedenti e le migliorie apportate in quelli successivi.

Un quadro generale sullo stato dell'arte è stato realizzato da Yilmaz et al. (2006) che ha descritto le diverse metodologie di monitoraggio di entità in movimento. Nell'articolo si espongono le diverse rappresentazioni di un oggetto, quali, punti, forme geometriche primitive, contorni, ecc. (Figura 1). Si discute, inoltre, delle varie caratteristiche dell'immagine, come il colore, movimento, bordi, ecc., che sono generalmente usate nel tracciamento degli oggetti. Infine, si riassumono le differenti strategie del rilevamento degli oggetti in un fotogramma e i metodi di tracciamento esistenti.

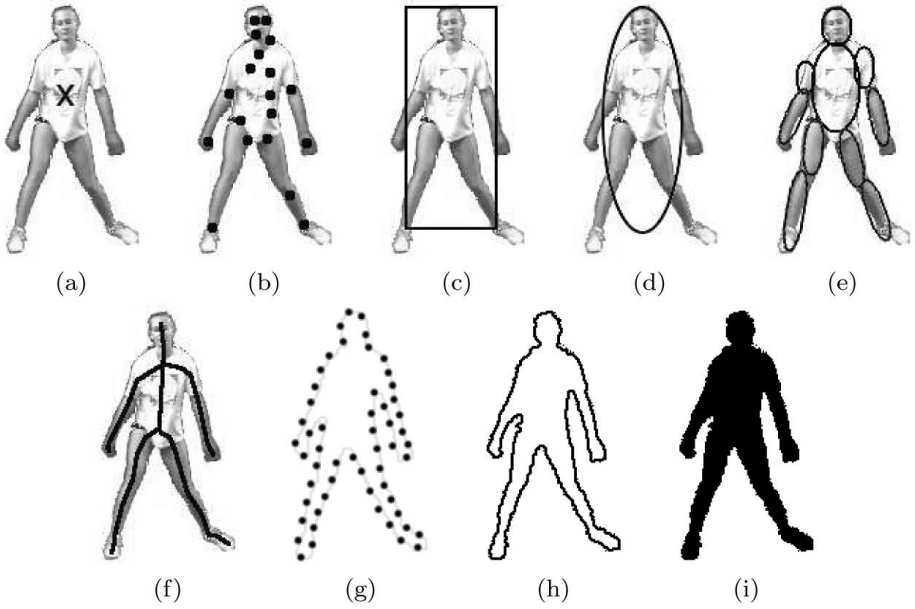


Figura 1: Rappresentazioni di oggetti (Ylmaz et al., 2006).
(a) Centroide, (b) punti multipli, (c) forma rettangolare, (d) forma ellittica, (e) forme multiple, (f) oggetto scheletro, (g) punti di controllo sul contorno dell'oggetto, (h) contorno dell'oggetto completo, (i) sagoma dell'oggetto.

Uno dei primi algoritmi per il rilevamento basato sull'analisi delle immagini è stato realizzato da Gupte et al. (2002). I filmati di scene di traffico autostradale sono stati prodotti mediante una telecamera fissa posta a 8 metri dal suolo. I veicoli si configuravano come elementi rettangolari, ottenuti mediante proiezione del veicolo al suolo. La

posizione dei veicoli nell'immagine è stata identificata tramite le coordinate del centro di massa. La velocità è stata calcolata come media ponderata delle velocità istantanee nei vari frame. La classificazione è stata strutturata in modo da dividere il campione in veicoli usuali e veicoli pesanti. In 20 minuti di ripresa, il 90% dei veicoli è stato identificato correttamente e, di questi, solo il 70% è stato classificato in modo adeguato.

La variazione di illuminazione artificiale/naturale e le ostruzioni di veicoli che si interpongono tra un altro veicolo e la videocamera, producono incertezze nella definizione delle coordinate dei centri di massa. Al riguardo, Xiao et al. (2007) hanno proposto una metodologia per il rilevamento delle ombre in movimento in base alle informazioni sui bordi: ovvero si può appunto rilevare efficacemente l'ombra proiettata di un'entità in movimento in una scena di traffico. L'algoritmo si suddivide in più sezioni (Figura 2). Dal fotogramma iniziale (a) si estrapola il *foreground* (b), cioè il piano in cui si dispongono gli oggetti in movimento, in un'immagine binaria; si identificano i bordi del sistema veicolo-ombra (c) e quelli del solo veicolo (d); infine dall'immagine binaria, si elimina l'area dell'ombra (f) mantenendo unicamente la geometria del veicolo (e).

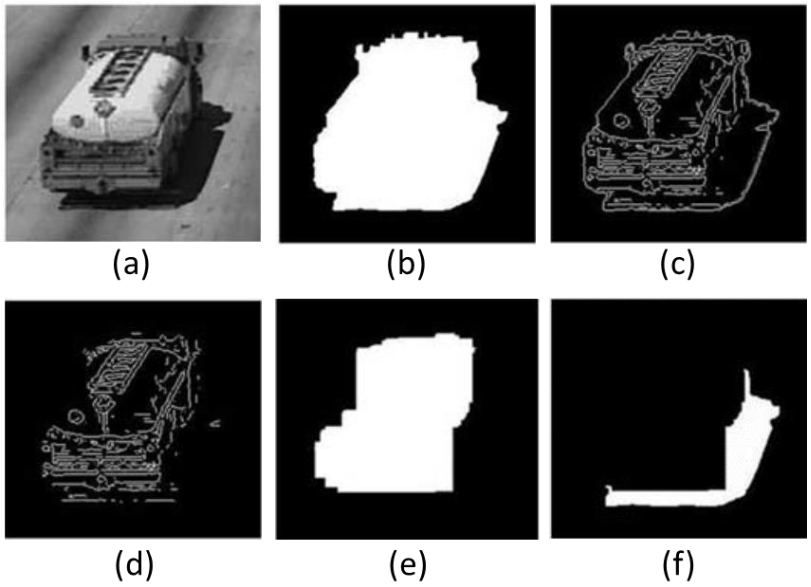


Figura 2: Struttura dell'algoritmo (Xiao et al., 2007)

Ismail et al. (2009) hanno ideato un nuovo programma automatico di identificazione e tracciamento delle utenze stradali analizzando un filmato di 48 ore realizzato su una strada extraurbana in Vancouver (Canada). La prima parte dello studio ha riguardato la stima dei parametri intrinseci ed estrinseci della videocamera per eseguire la calibrazione della stessa. Tale calibrazione, avvenuta mediante un algoritmo apposito,

ha permesso di relazionare le coordinate immagine (in pixel) con le coordinate oggetto (in metri) di uno stesso elemento. In seguito, nota la dimensione in metri di un pixel, si sono realizzate misure metriche direttamente sull'immagine. La seconda parte ha riguardato l'individuazione e la categorizzazione degli utenti (pedoni o veicoli) applicando il filtro di Kanade-Lucas-Tomasi che ha consentito di tracciare gli oggetti con attributi di colore e luminosità differenti rispetto allo sfondo. Lo strumento informatico è stato pensato come completamente automatico ma, nella pratica, è stato essenziale il contributo di un operatore che appurasse visivamente i risultati conseguiti.

A differenza dei lavori precedenti effettuati in aree extraurbane, Malinovskiy et al. (2009) hanno condotto uno studio in ambito urbano lungo un rettilineo. Mediante l'utilizzo di una videocamera a bassa risoluzione, hanno descritto il tracciamento delle utenze in giornate contraddistinte da scarsa luminosità. Il loro algoritmo si suddivide in tre diversi processi: rilevamento degli elementi mobili, tracciamento degli oggetti presenti nel filmato e catalogazione delle entità mediante un numero identificativo. Il valore di velocità è ricavato conoscendo alcune distanze note presenti nelle riprese video.

Cho et al. (2011) hanno implementato un codice innovativo per il tracciamento di entità basato sull'utilizzo del filtro di Kalman. Tale algoritmo consente di determinare lo stato di un sistema a partire dai dati misurati: inizialmente si opera una previsione sulla posizione futura dell'elemento e, poi, si sfruttano le misure per perfezionare la posizione stessa. Berclaz et al. (2011) hanno evidenziato come tale metodologia sia attendibile solo quando il numero delle entità da tracciare è limitato.

Faro et al. (2011) hanno presentato una nuova tipologia di rilevamento e tracciamento dei veicoli che si affida ad un metodo ricorsivo di modellizzazione del background. Oltre al classico strumento di ripresa, sono stati adoperati anche dei sensori di luminosità. I dati sulla luminosità, forniti da questi sensori, permettono al software di gestire in modo ottimale i mutamenti nell'illuminazione: questo variando continuamente il colore dello sfondo, rimuove il rumore nella produzione dei blob.

Tramite tecniche di visione artificiale applicate a filmati prodotti in ambiente urbano, Zaki e Sayed (2013) hanno sviluppato un algoritmo, strutturato come in Figura 3, che acquisisce informazioni riguardanti non solo il conteggio e la velocità operativa, ma anche il comportamento degli utenti.

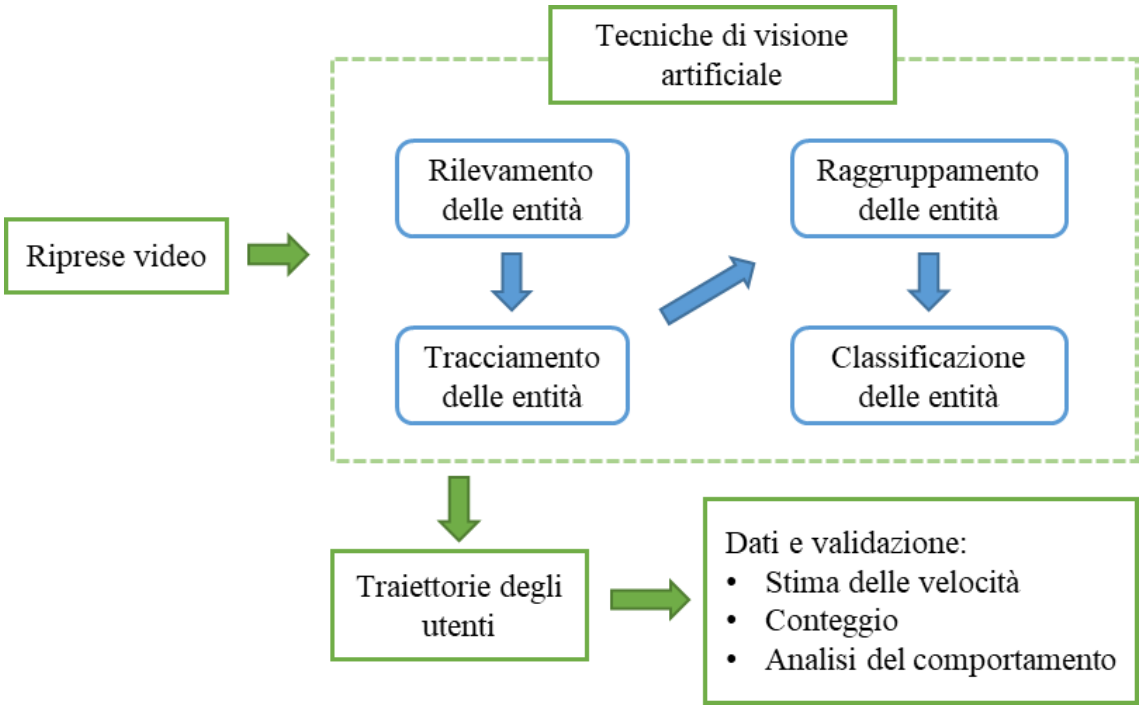


Figura 3: Architettura dell'algoritmo (Zaki e Sayed., 2013)

Wan et al. (2014) hanno messo a punto un sistema di videosorveglianza autostradale in tempo reale che estrapola dati (velocità e volume) e genera allarmi in caso di veicoli fermi (coda o incidenti). Le innovazioni comprendono un algoritmo adoperato per il tracciamento degli elementi mobili, e un metodo di calibrazione della videocamera di tipo *hands-off*, basato cioè sul riconoscimento automatico dei punti di fuga. Durante la fase di inizializzazione (Figura 4.a), sono stati tracciati solo i veicoli posti ad una certa distanza dalla videocamera (entro la zona d'interesse, ROI) (Figura 4.b). Dopo l'applicazione di un filtro, si conservano solo le traiettorie valide che sono raggruppate in quattro set principali (Figura 4.c). Ipotizzando che le traiettorie siano parallele, si calcola il punto di fuga V_{par} che rimuove il rumore dalle tracce. Infine valuta la disposizione trasversale dei quattro set principali (Figura 4.d).

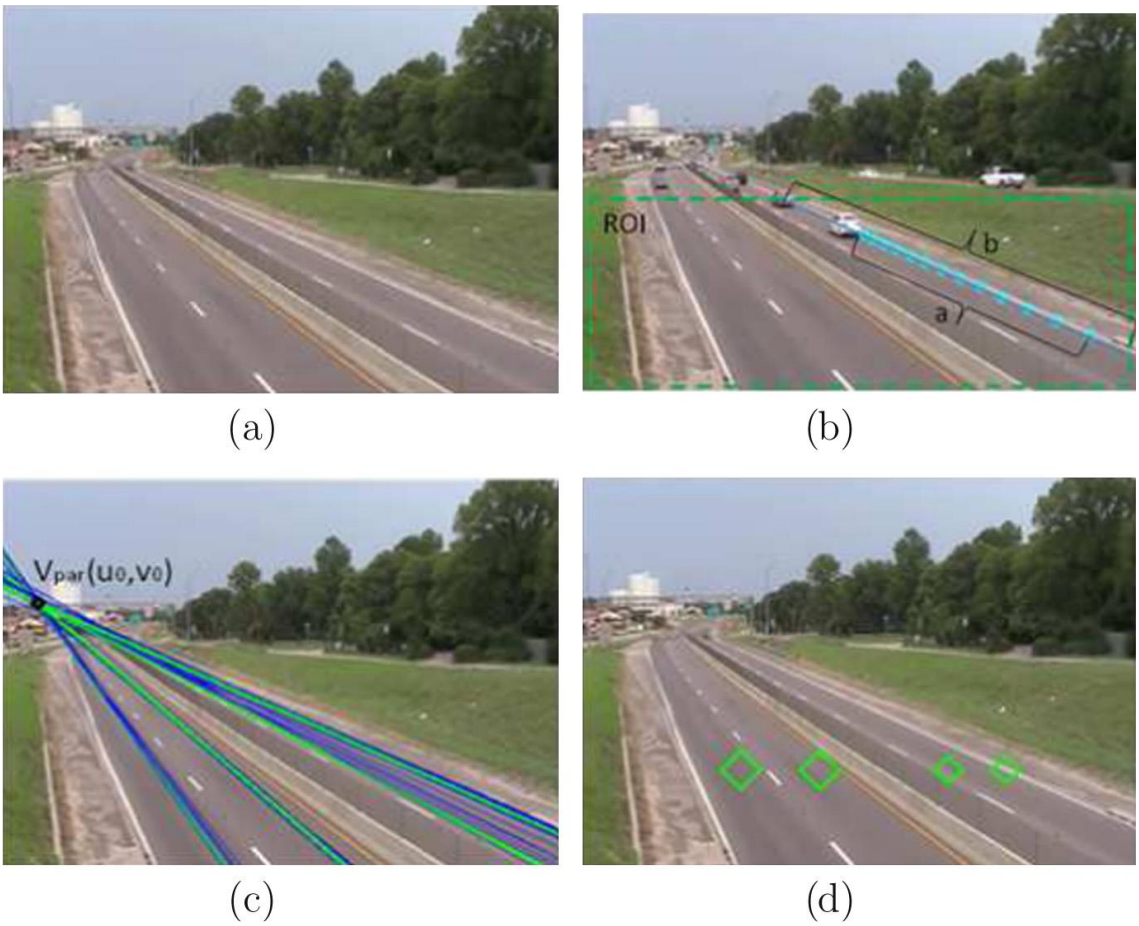


Figura 4: Procedure condotte dell'algoritmo (Wan et al., 2014)

Rispetto alle ricerche sopracitate, i successivi studi sono caratterizzati da un diverso approccio di identificazione degli elementi in movimento. L'idea alla base è l'utilizzo del "*Machine Learning"*, cioè "l'allenamento di un software ad "interpretare" dati. L'obiettivo principe dell'apprendimento automatico è che una macchina sia in grado di generalizzare dalla propria esperienza, ossia capace di svolgere ragionamenti induttivi (Bishop, 2006). In tale circostanza, per generalizzazione si intende la capacità di una macchina di svolgere in modo accurato compiti mai eseguiti, dopo un adeguato allenamento su un database di apprendimento. Si presume che gli esempi di allenamento siano forniti da una distribuzione di probabilità descrivente le caratteristiche dell'elemento da comprendere. Successivamente la macchina deve generare un modello probabilistico dello spazio delle occorrenze per poter compiere previsioni sufficientemente accurate quando esplora nuovi casi.

Insieme a questi algoritmi progettati per il riconoscimento degli oggetti in funzione di una propria caratteristica globale (colore, forma o contorno), sono stati sviluppati molti

studi sul modello *"part-based"*: questo modello si fonda sull'identificazione di parti costituenti un veicolo (tetto, ruote, ecc.). Niknejad et al. (2012) hanno impiegato questa metodologia per il rilevamento di veicoli su strada, che riconosce un veicolo tramite cinque componenti: la parte anteriore totale e troncata, quella posteriore totale e troncata, quella laterale. L'idea di fondo è che sezioni diverse di un veicolo hanno gli stessi vettori spostamento, mentre sezioni di veicoli differenti non posseggono gli stessi vettori spostamento.

Tian et al. (2015) hanno proposto un algoritmo che concerne il rilevamento dei veicoli per sezioni costituenti, le cosiddette parti semantiche, e la valutazione delle caratteristiche dello scenario di traffico. Alla base di questa scelta, vi è la volontà di identificare i veicoli nonostante l'eventuale presenza di occlusioni visive.

Zangenehpour et al. (2015) hanno presentato un lavoro riguardante un metodo per classificare elementi in movimento in scenari di traffico affollati. La metodologia presentata è strutturata come di seguito: rilevamento e tracciamento di tutte le entità presenti nel filmato, classificazione di ogni entità in funzione del proprio aspetto in ogni frame, calcolo della velocità operativa e dell'errore di classificazione. La classificazione ha evidenziato una precisione dell'88% mentre l'accuratezza del predetto parametro risultata maggiore per i veicoli a motore rispetto a quella di pedoni e velocipedi.

Tenendo conto di tutti questi lavori di ricerca si è sviluppato lo studio oggetto di tesi che sarà descritto nei successivi capitoli.

2 INDAGINE SPERIMENTALE

Questa indagine sperimentale trae origine e si basa su due distinti contributi:

- implementare un precedente lavoro di tesi (Cassiani, 2018) inerente al solo traffico ciclabile in particolari condizioni ambientali e geometriche;
- in relazione al Progetto Esecutivo "Riqualificazione dell'asse di Via Nizza e ciclopista" eseguito dalla Città di Torino, realizzare una metodologia per una futura analisi del comportamento dell'utenza stradale (guidatori, ciclisti, pedoni) prima/dopo gli interventi di riqualificazione di strade urbane.

2.1 Obiettivi

Gli obiettivi del seguente lavoro di tesi sono:

- sviluppare un sistema di rilievo delle caratteristiche microscopiche del traffico che sia non invasivo, trasportabile, utilizzabile in differenti condizioni ambientali e di basso costo;
- collezionare dati di frequenza e composizione delle componenti del traffico (veicoli, ciclisti, pedoni);
- estrarre le traiettorie e le velocità operative delle singole entità, ed elaborare tali dati derivando le distribuzioni del campione osservato.

La Figura 5 propone la struttura dell'intera indagine sperimentale eseguita al fine di rappresentare i processi consecutivamente condotti.

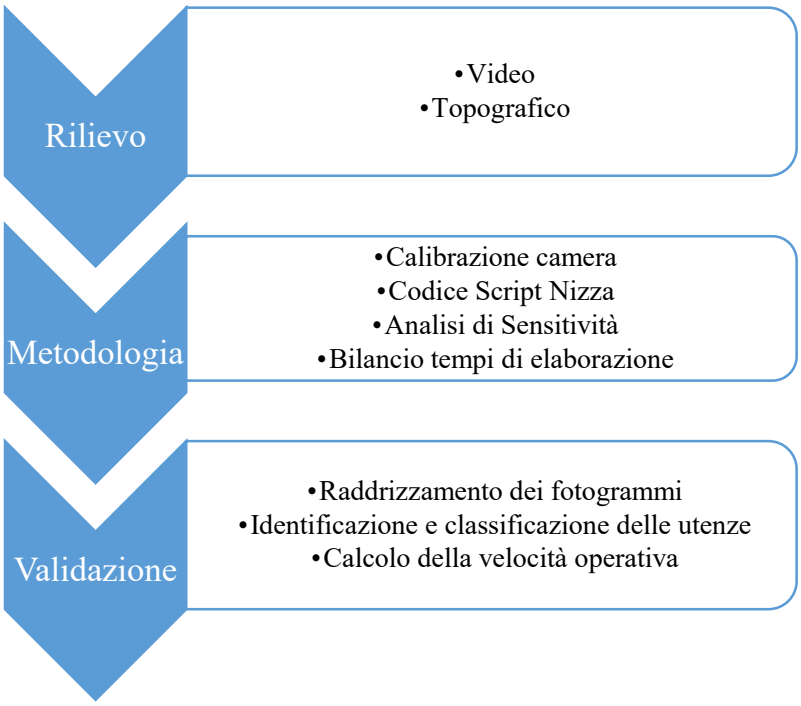


Figura 5: Struttura dell'indagine sperimentale

2.2 Strumenti

Le attrezzature adoperate per effettuare i rilievi video sono di uso ordinario, invece quelle per il rilievo topografico sono di uso specialistico, in quanto richiedono una conoscenza qualificata dello strumento.

Lo strumento utilizzato per l'acquisizione delle immagini è la videocamera Garmin VIRB Elite (Figura 6) le cui caratteristiche tecniche sono state estrapolate dal sito internet https://buy.garmin.com/it-IT/IT/p/119594#overview.

Figura 6: Garmin VIRB® Elite (vista superiore e frontale)
(dal sito https://buy.garmin.com/en-US/US/p/119594)

VIRB Elite è una Action Cam da 1080p HD che permette di registrare video in alta risoluzione (30 frame al secondo) della durata massima di 3 ore poiché dotata di una batteria agli ioni di litio da 2000 mAh ricaricabile. Possiede un display integrato Chroma a colori da 1,4'' che consente la visualizzazione del campo di presa e di impostare la modalità di scatto o registrazione (Wide, Angle e Ultra Zoom). Attraverso la comunicazione Wi-Fi, tale operazione si può effettuare anche da *smartphone* o altro dispositivo portatile, concedendo all'operatore di non staccare lo strumento dal supporto. Dispone di funzioni di ottimizzazione video come la stabilizzazione delle immagini e la correzione della distorsione dell'obiettivo che garantiscono un'alta qualità delle riprese. Infine presenta al suo interno un GPS integrato il quale geo-localizza la posizione dello strumento durante l'uso. Tali informazioni sono esportabili in formato GPX e, eventualmente, utilizzate mediante un software dedicato o Excel.

La camera può essere installata su una notevole quantità di supporti in funzione dell'uso prestabilito: nel nostro è equipaggiata di una staffa atta a fissare la camera su un treppiede o su un'asta alloggiata su un treppiede.

Al fine di ottenere riprese dall'alto, si è adoperato un palo telescopico a sei sezioni Neutech On Air C93 (Figura 7) in fibra di carbonio che conferisce alla stessa sia una notevole rigidezza che un ottimale bilanciamento del peso del sistema asta-camera: in fase di rilievo, queste caratteristiche permettono all'operatore una confortevole facilità d'impiego e semplicità nel trasporto. Tale asta presenta una lunghezza di 1,81 m estendibile sino a 9,81 m grazie alla presenza di sezioni scorrevoli in carbonio facilmente regolabili e bloccabili mediante morsetti.

Figura 7: Palo Telescopico Neutech (vista frontale e dettaglio morsetti)
(dal sito http://neutech.it/product/on-air-palo-telescopico-in-carbonio-9-3-m)

Infine l'asta è fissata ad un treppiede Manfrotto 161MK2B (Figura 8), le cui caratteristiche tecniche sono state ricavate dal sito internet https://www.manfrotto.it/treppiede-super-pro-mark2-nero. Tale strumento presenta una colonna centrale a cremagliera a sistema autobloccante che permette un totale controllo per qualsivoglia movimento grazie anche alla regolazione autonoma di ogni singola gamba. I piedini in gomma, con puntale metallico retraibile, migliorano l'aderenza col piano di appoggio mitigando eventuali vibrazioni provenienti dal medesimo. Il corpo è costituito da alluminio e presenta un peso totale di 9 kg. La portata massima è di 20 kg e la sua massima altezza, alla massima estensione dei piedi e della colonna centrale, è di 267 cm. In sommità è locata una livella sferica per rendere verticale l'asse di attacco del treppiede.

Figura 8: Treppiedi Manfrotto (in posizione aperta e chiusa)
(dal sito https://www.manfrotto.it/treppiede-super-pro-mark2-nero)

I dispositivi sopra descritti hanno un prezzo non eccessivo, in quanto la Garmin ha un costo di € 259, l'asta estendibile di circa € 990 e il treppiede di € 700.

Per effettuare il rilievo topografico si è adoperato un ricevitore GNSS Leica 1230 System. Questo strumento è composto da più parti (Figura 9):

a) Antenna del ricevitore modello AX 1203+.
b) Palina in alluminio.
c) Impugnatura con bolla sferica ed elemento di bloccaggio.
d) Supporto per controller.
e) Controller System 1200 ha un peso di 1,8 kg, strumento manuale che consente l'utilizzo di tutta l'intera apparecchiatura. Si può utilizzare tramite il touchscreen

LCD o la tastiera QWERTY. L'interfaccia grafica è di semplice utilizzo per un normale operatore del settore e fornisce speditamente le caratteristiche del rilievo in atto come definizione di punti, linee ed aree. I dati possono essere estratti direttamente o mediante LEICA GEO OFFICE in una grande varietà di formati.

f) Ricevitore GX1230 GNSS può utilizzare ben 120 canali, L1/L2/L5 GPS, L1/L2 GLONASS, GALILEO. Permette di acquisire il dato in modalità RTK (Real Time Kinematic), riducendo il tempo di misura e di calcolo. In condizioni ottimali, l'accuratezza del dato può variare da circa 3 mm sull'orizzontale e 6 mm sulla verticale con post elaborazione, sino a 5 mm sull'orizzontale e 10 mm sulla verticale in tempo reale/RTK in modalità statica con inizializzazione. Il peso è di circa 2,5 kg.
g) Batteria e scheda di memoria necessarie per l'alimentazione del ricevitore e per il salvataggio del lavoro eseguito.
h) GSM Modem Satellitare con all'interno una scheda sim.
i) Antenna del GSM Modem.
j) Zaino utile per riporre il ricevitore, il GSM Modem Satellitare e l'antenna GSM e diminuire l'ingombro da parte di questi elementi in fase di rilievo.

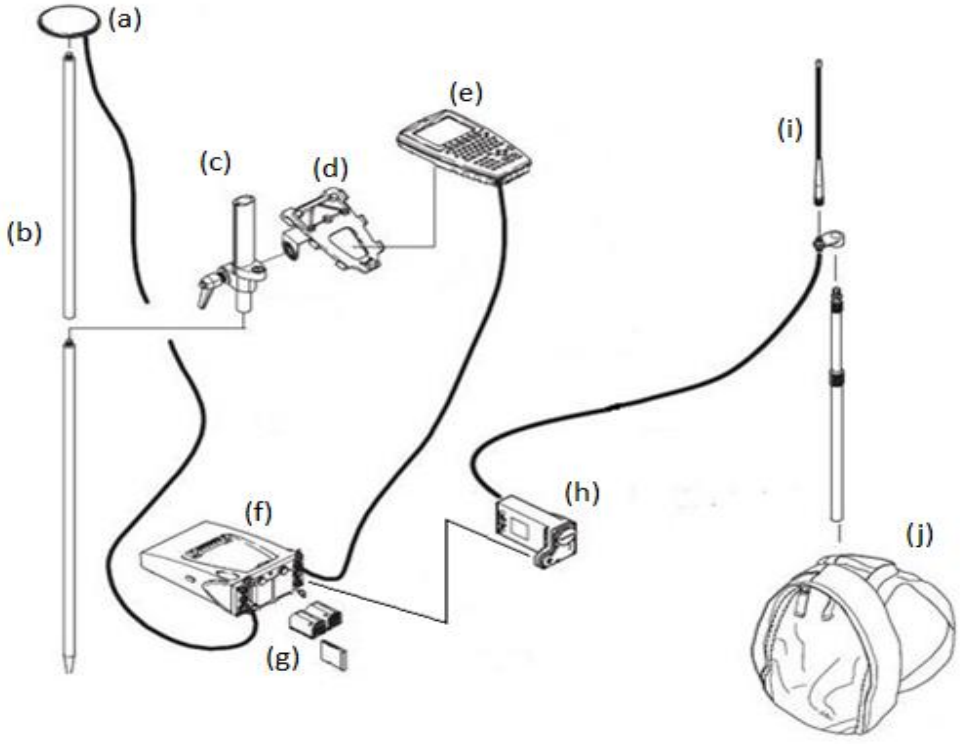


Figura 9: Componenti utilizzate per il rilievo topografico (dal sito http://www.leica-geosystems.co.kr/downloads123/zz/gps/general/brochures-equip/GPS1200_Equipmentlist_it.pdf)

Altro strumento fondamentale per il rilievo topografico è la rete del "*Servizio di Posizionamento Interregionale GNSS (SPIN GNSS) di Regione Piemonte e Regione Lombardia. Essa è un'infrastruttura indispensabile per supportare le misurazioni geografiche e topografiche direttamente sul territorio, nel rispetto di precisioni definite e inquadrate nel sistema di riferimento geodetico nazionale ed europeo."* (dal sito https://www.spingnss.it/spiderweb/frmIndex.aspx). La rete è composta da 30 stazioni permanenti GNSS, ripartite omogeneamente sul territorio, e da ricevitori geodetici multi-costellazione (GPS, GLONASS e, in futuro, Galileo e COMPASS) (Figura 10).

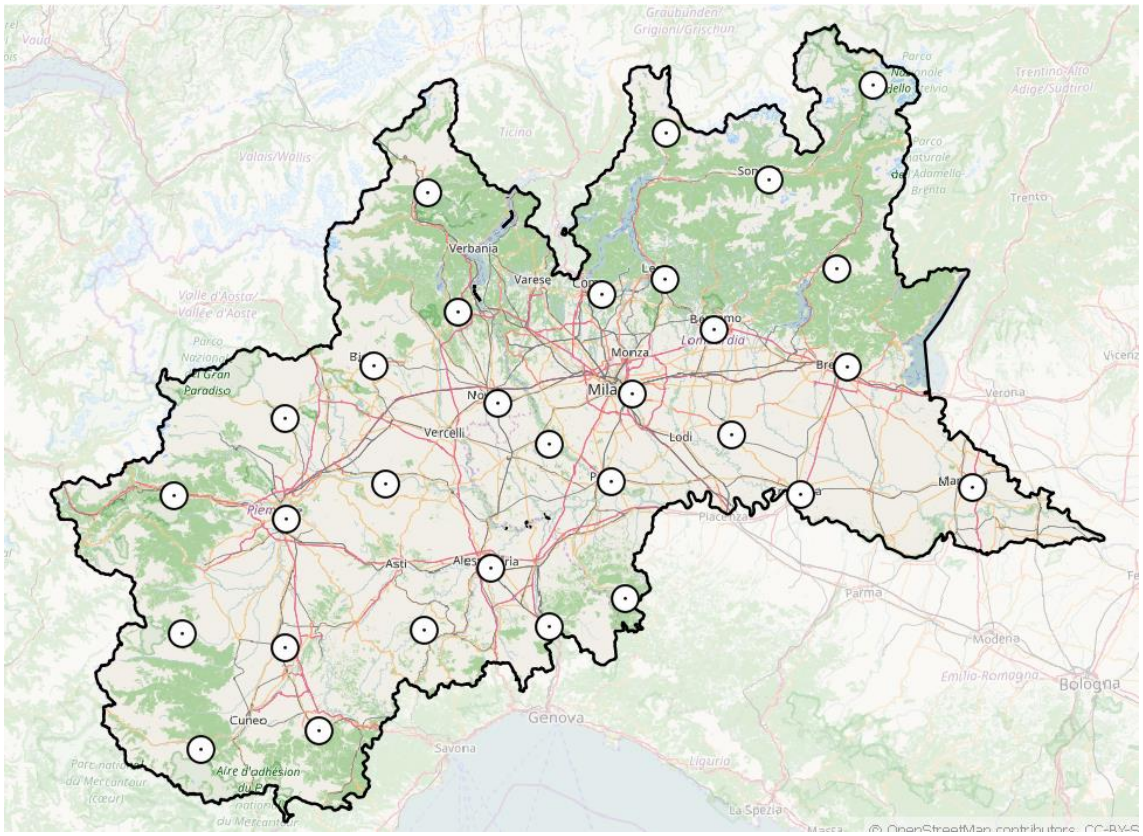


Figura 10: Rete delle stazioni permanenti di Piemonte e Lombardia (dal sito https://www.spingnss.it/spiderweb/frmIndex.aspx)

Le osservazioni grezze (misure di codice e fase), ottenute dalle varie stazioni, sono trasmesse al Centro di Calcolo, dove è presente un software di gestione ed elaborazione di tutta la rete in tempo reale. Il centro di calcolo, in base alle posizioni note delle stazioni, analizza le misurazioni ricevute per:

- valutare e modellare gli errori su ogni stazione;
- limitare i disturbi di ogni stazione nel tempo e nello spazio;

- fornire all'utilizzatore in tempo reale i dati, in maniera che questo possa correggere le proprie misure.

Lo scambio di queste informazioni tra il Centro di Calcolo e il ricevitore dell'utente avvengono mediante un particolare protocollo internet (NTRIP), attraverso l'uso di modem GPRS/UMTS.

In Figura 11 si rappresenta la struttura dello scambio di dati e modelli tra Centro di Controllo e utenza.

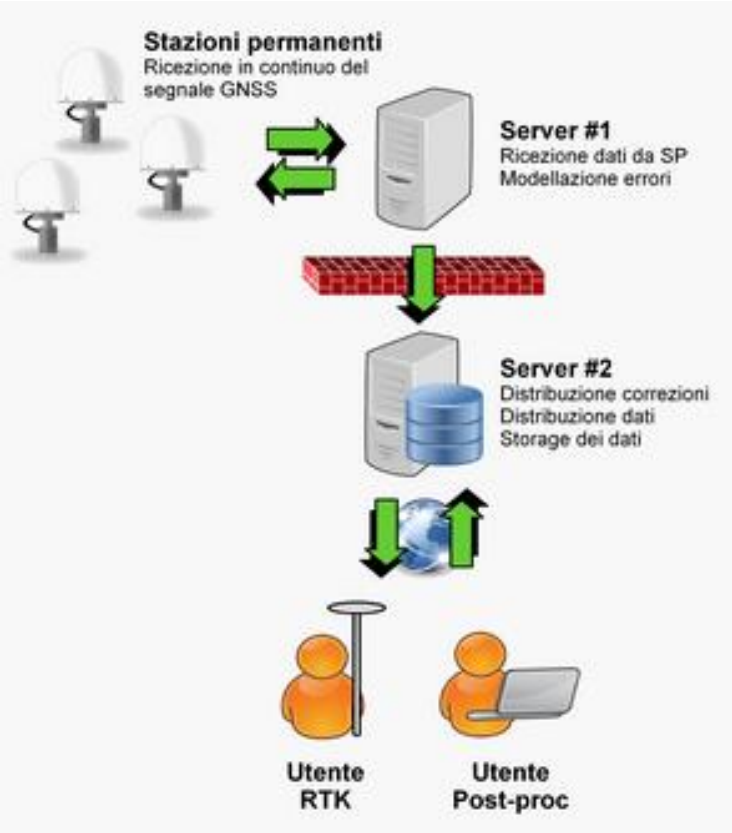


Figura 11: Flusso di dati tra Centro di Controllo e utenza
(dal sito https://www.spingnss.it/spiderweb/frmIndex.aspx)

2.3 Campagna Rilievi

Il sito, dove è avvenuta questa campagna, è Via Nizza in particolare il tratto lungo 2,2 km ubicato tra Corso Vittorio Emanuele II e Piazza Carducci (Figura 12). La scelta del sito è stata dettata, come affermato nel paragrafo 2.1, da un progetto approvato dalla Città di Torino. Come si può evincere dallo stesso progetto esecutivo, l'asse viario è stato notevolmente modificato, ad esempio, a causa della costruzione di alcuni spartitraffico come quello tra via Berthollet e largo Marconi (Figura 13) o quello nell'intersezione tra Via Nizza e Corso Sommeiller (Figura 14). La viabilità risulta particolarmente mutata anche per la presenza di piste ciclabili su ambo i lati della strada (per circa il 70% del tratto) che riducono la larghezza della carreggiata (due corsie, una per senso di marcia). Inoltre, al fine di abbattere le barriere architettoniche, si sono realizzate intersezioni rialzate con le vie traverse.

Figura 12: Via Nizza tra Corso Vittorio Emanuele II e Piazza Carducci

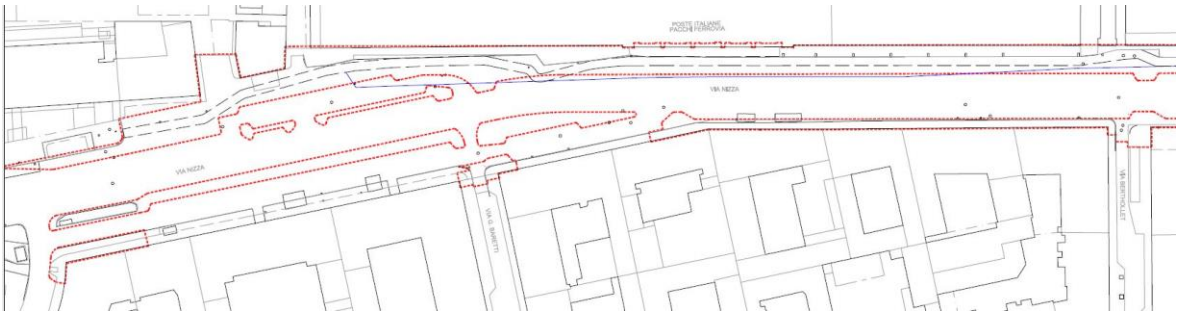


Figura 13: Progetto Esecutivo di Via Nizza (futuro spartitraffico tra Largo Marconi e Via Berthollet)
(da Progetto Esecutivo)

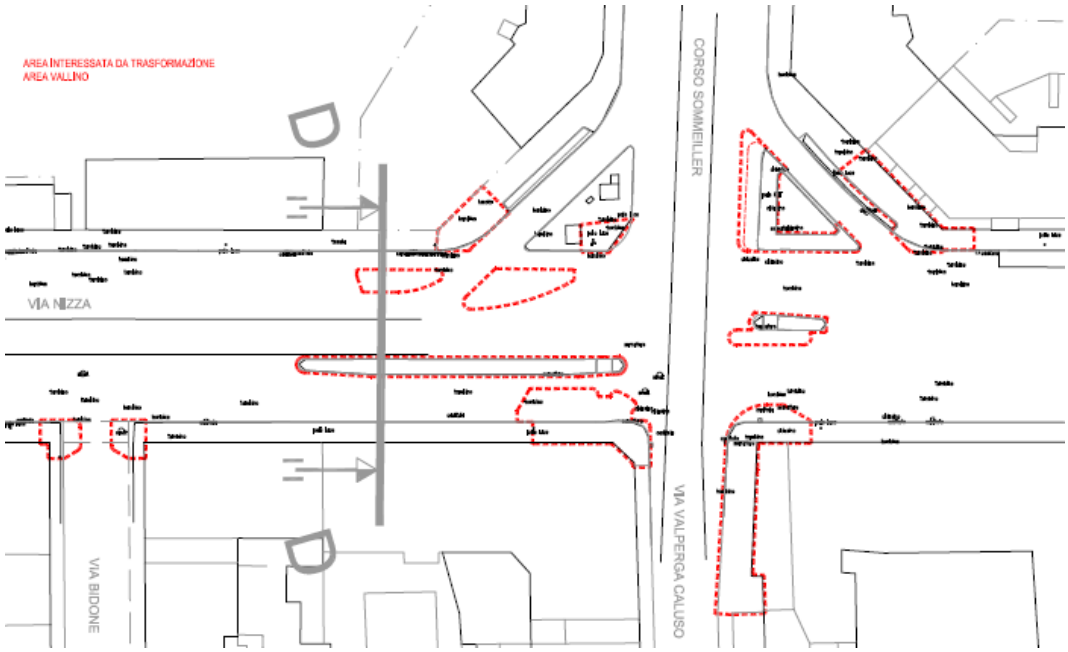


Figura 14: Progetto Esecutivo di Via Nizza (Intersezione con Corso Sommeiller)
(da Progetto Esecutivo)

La campagna rilievi si divide in due diverse tipologie entrambe necessarie: video e topografico. La prima permette di acquisire un video che metta in evidenza il traffico veicolare e pedonale presente al momento della ripresa in ambiente urbano. La seconda è necessaria al fine di geo-localizzare l'area di studio e di fornire i parametri utilizzati nella fase di manipolazione del video.

Nei seguenti sotto paragrafi saranno descritti in modo più approfondito la metodica e le scelte adoperate per le due tipologie di rilievo.

2.3.1 Rilievo video

Prima di raggiungere il sito di indagine ed effettuare materialmente le riprese video, si sono valutati, dalla planimetria dello stato di fatto, i punti più adeguati per le riprese cercando di ricoprire la quasi totalità del tratto stradale in esame.

Non potendo effettuare riprese da edifici privati, le quali avrebbero comportato la necessità di ottenere le dovute autorizzazioni, si è stabilito di trovare dei luoghi dove la strumentazione fosse poco notata. Questa considerazione si fonda sulla volontà di non influenzare le utenze stradali o pedonali e di non disturbare le attività quotidiane del luogo.

Si sono scelti ben 14 siti di interesse dei quali 9 sono identificati con "S", cioè quelli descriventi il solo flusso della strada principale Nizza, e 5 con "I", cioè le intersezioni principali di Via Nizza con altre strade.

Una volta in campo, si è vagliata la possibilità di eseguire più riprese per lo stesso luogo di interesse. Per quasi tutti i punti "S" si sono prodotti rilievi da ambo i lati della carreggiata mentre, per le zone di interesse denominate "I", i punti di presa vanno da un minimo di uno a un massimo di quattro. Per evitare di considerare particolari condizioni di traffico, per ogni polo di ripresa sono stati svolti due rilievi video in differenti giorni e in diverse ore della giornata. Per comprendere meglio la metodologia di attribuzione dell'identificativo (Tabella 1), sono riportati i seguenti esempi:

- S03nA: S03 = sito di interesse; n = Nord, verso del flusso veicolare sotto punto di presa; A = primo video prodotto per S03n.
- I05–2B: I05 = sito di interesse; 2 = secondo punto di presa per quel luogo di interesse; B = secondo video prodotto per I05–2.

Tabella 1: Nomenclatura dei rilievi video

Identificativo XYYWZ della ripresa video		
X	**S** = Strada	**I** = Intersezione
YY	**n°** sito di interesse	**n°** sito di interesse
W (verso corsia sotto il punto di presa o numero punto di presa)	N = Nord	n° da 1 a 4
	S = Sud	
Z	**A** = primo video	**A** = primo video
	B = secondo video	**B** = secondo video

La postazione è strumentalizzata con la camera Garmin VIRB montata su un palo telescopico in fibra di carbonio, il quale è fissato ad un treppiede (elementi descritti nel paragrafo 2.2).

La strumentalizzazione richiede tassativamente la presenza di almeno due operatori (Figura 15): il primo si occupa della stabilizzazione degli strumenti, evitando movimenti inopportuni del sistema asta-treppiede mentre il secondo procede ad attivare la registrazione video mediante lo smartphone e ad annotare le caratteristiche del rilievo. In questa fase bisogna porre particolare attenzione alle condizioni atmosferiche, poiché la presenza di vento o di pioggia potrebbe destabilizzare l'intero sistema.

Per ogni punto di presa si è misurata l'inclinazione dell'asta rispetto al piano d'appoggio, variabile da un minimo di 73° sino a un massimo di 90°, mentre si è mantenuta costante (35°) l'inclinazione della camera rispetto al piano su cui essa si aggancia all'asta. La lunghezza dell'asta è stata impostata al massimo disponibile, cioè 9,81 m, al fine di disporre la lente della camera quanto più possibile parallela al piano stradale. Si sono adoperate due camere (con caratteristiche esposte nel paragrafo 2.2) esattamente identiche (2080 e 9002) per ragioni operative come riempimento della scheda di memoria o esaurimento della batteria.

Figura 15: Installazione della strumentazione

Nel primo giorno di rilevo si sono utilizzate, due diverse tipologie di ripresa (Wide e Ultra Zoom). La prima tipologia permette una maggiore larghezza del campo di presa (circa 35 metri) rispetto alla seconda, nonostante produca maggiori distorsioni nelle zone laterali dei frame. Poiché si è provveduto a risolvere il problema delle distorsioni, come verrà descritto nel prossimo capitolo, si è preferito effettuare, nei giorni successivi, solo riprese di tipo *Wide*.

L'intera campagna è eseguita in 7 giorni distinti, con una durata di circa 21 ore, ottenendo 48 diversi video. Si è registrato l'orario di inizio e fine di ogni registrazione producendo un tempo totale di 12 ore e 19 minuti (Tabella 2). Si rimanda in Allegato A la tabella riassumente tutti i valori appena citati. Tutte queste procedure sono state svolte in collaborazione con l'ing. Catani.

Tabella 2: Data rilievo, tempo del rilievo, video realizzati, tempo di ripresa

Data rilievo	06/04/18	10/04/18	12/04/18	13/04/18	18/04/18	20/04/18	22/06/18
Tempo rilievo (hh:mm)	06:32	02:55	02:05	06:38	01:29	00:36	00:33
Identificativo video	S01s1A	S05sA	S08nB	S06sB	I05-1B	I02-1B	S02n1A
	S01s2A	S05nA	S08sB	S09nA	I05-2B	I02-2B	S02sA
	S01nA	S06sA	S07sB	S05sB	S09nB		S02n2A
	S03nA	S07sA	S07nB	I04-1B	S05nB		
	S04sA	S07nA	I05-1A	I03-2B			
	S04nA	S08sA	I05-2A	I03-1B			
	I03-1A	S08nA		I03-4A			
	I03-2A			I03-3B			
	I03-3A			S01s1B			
	I02-1A			S01s2B			
	I02-2A			S01nB			
	I04-1A			S03nB			
				S04nB			
				S04sB			
Tempo video (hh:mm)	03:22	01:48	01:30	03:30	01:00	00:24	00:45

Durante la fase di utilizzo delle camere (Figura 16), esse generano un file GPX che permette di geo-referenziare la loro posizione. Tramite l'ausilio del software QGIS, questi file sono stati adoperati per costruire vari *shapefile* e poter visualizzare i punti di presa sulla cartografia della Città di Torino (Figura 17).

Figura 16: Rilievo video S07sA

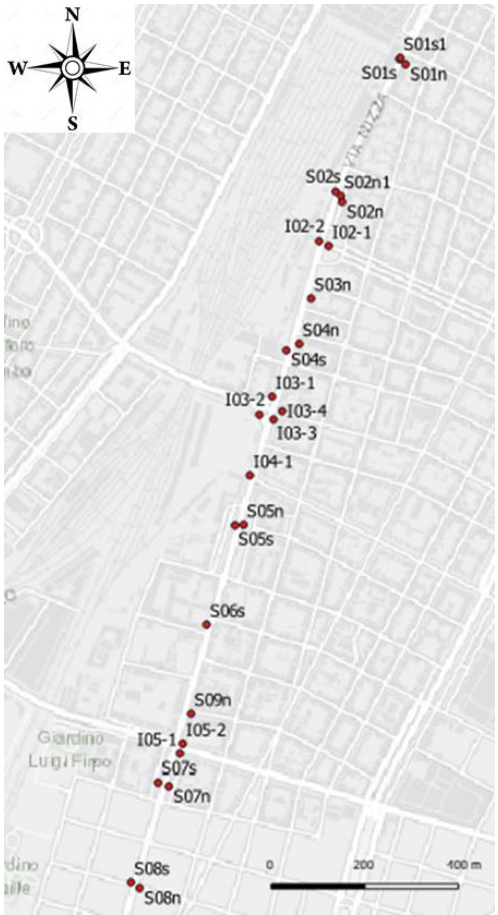


Figura 17: Rilievi Video geo-riferiti sulla Cartografia di Via Nizza

2.3.2 Rilievo Topografico

Nel presente paragrafo si espongono le attività di rilievo topografico svolte sullo stesso tratto di Via Nizza dove in precedenza è stato condotto il rilievo video. La finalità di questa procedura è ottenere la posizione di un adeguato numero di punti necessari alla fase di raddrizzamento delle immagini.

Come sarà esposto successivamente in modo più dettagliato nel manoscritto, la procedura di raddrizzamento richiede dei punti omologhi, vale a dire punti noti sia nelle coordinate immagine (posizione in pixel all'interno del fotogramma), sia nelle coordinate oggetto, in questo caso, in coordinate geografiche in un sistema di riferimento assoluto.

Si scelgono dei punti a terra da geo-localizzare che siano distinguibili nei fotogrammi dei video realizzati. Alla luce di questa considerazione, si è provveduto a raggiungere il sito del rilievo provvisti di un fotogramma di ogni video sul quale contrassegnare i punti oggetto rilevati. Per maggiore chiarezza, si mostra un fotogramma (Figura 18) del video S05nA: il punto rosso identifica il rilievo dello spigolo di una caditoia.

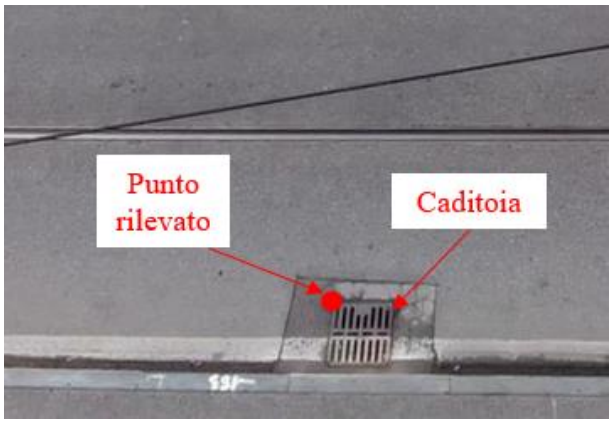


Figura 18: Individuazione del punto rilevato con il dettaglio della caditoia

Una volta scelti i punti oggetto, il primo passo è l'accensione del ricevitore e il tracciamento dei satelliti attraverso l'uso del controller (Figura 19). Il passo seguente (Figura 20) è l'accesso al servizio SPIN (Servizio di Posizionamento Interregionale) attraverso connessione a Internet, descritto nel paragrafo 2.2, per la ricezione delle correzioni differenziali.

Figura 19: Controller System 1200 Leica

Figura 20: Misurazione topografica

Il ricevitore misura e invia alla rete la propria posizione approssimata (mediante un messaggio NMEA) e la rete risponde inviando all'utente una correzione personalizzata e ottimizzata per la sua posizione, applicando un’ambiguità di fase fissata all’intero.

La correzione scelta è la *Virtual Reference Station* (VRS). L'approccio VRS (Figura 21) è basato sulla modellizzazione modellazione degli errori da parte del centro di controllo di SPIN (vedere paragrafo precedente). Note le correzioni differenziali C_i delle singole stazioni permanenti S_i della rete e la posizione approssimata del rover R, il centro di controllo genera sia un modello dell'andamento degli errori che una stazione virtuale VRS attigua al rover. La correzione CR trasmessa al ricevitore è identica a quella della stazione virtuale.

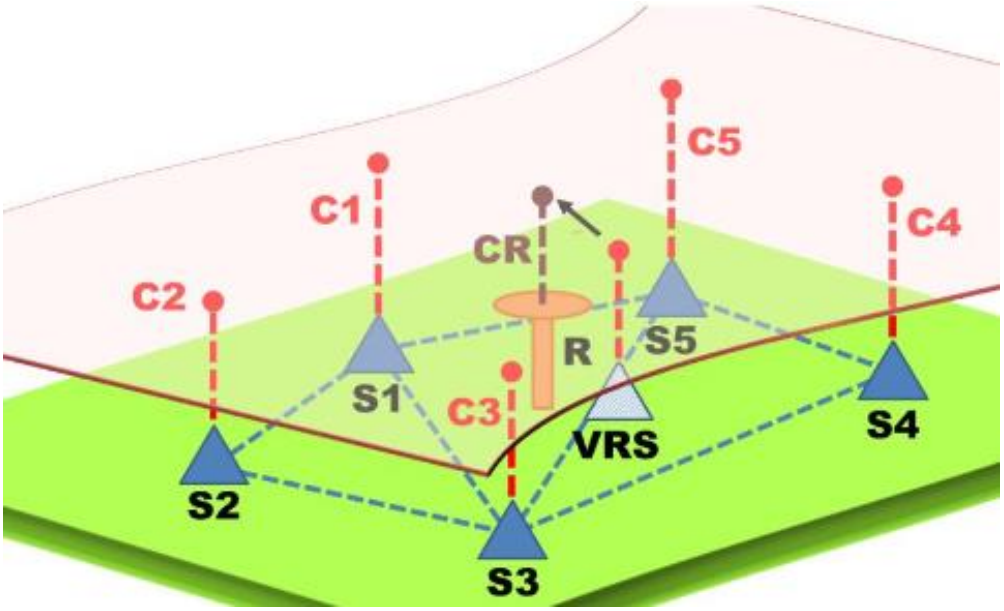


Figura 21: Posizionamento VRS
(da sito https://www.spingnss.it/spiderweb/ext/guide/Prodotti_realtime.pdf)

Il tempo di acquisizione (minimo un paio di secondi), la precisione e l'accuratezza della misura corretta sono dipendenti da diversi fattori come il numero di satelliti, la geometria e le condizioni climatiche ambientali.

Per ogni ripresa video si sono acquisite le coordinate di almeno cinque punti (Figura 22). Questo non è possibile per i luoghi d'interesse S02, S08 e S09. Per il primo, il motivo risiede nel fatto che il rilievo video è avvenuto successivamente al rilievo topografico. Per il secondo ed il terzo, la causa è rintracciabile nelle condizioni ambientali: in questi luoghi, infatti, non si ha a disposizione un numero adeguato di satelliti, a causa della presenza di edifici troppo alti, che disturbano il segnale, producendo, dunque, errori di misura di rilevante entità.

Figura 22: Punti geo-riferiti per la ripresa S05n

L'intera fase del rilievo è avvenuta nella mattinata del 18/04/18 grazie alla supervisione del prof. Paolo Dabove e dell'ing. Nives Grasso. In seguito si riporta la Tabella 3 riepilogativa delle coordinate dei punti rilevati per il solo punto di interesse S05, mentre in allegato B si restituisce una tabella con tutti i valori dei rilievi.

Tramite l'ausilio del software QGIS, si è costruito un *layer* finalizzato alla visualizzazione dei punti rilevati sulla cartografia della Città di Torino (Figura 23).

Tabella 3: Coordinate dei punti rilevati per S05

ID punto	Est [m]	Nord [m]	H ortometrica [m]
S05-1	395635,576	4989543,671	236,546
S05-2	395637,077	4989548,388	236,567
S05-3	395639,351	4989557,827	236,538
S05-4	395641,452	4989563,722	236,574
S05-5	395647,403	4989548,443	236,655
S05-6	395646,212	4989540,991	236,757
S05-7	395652,762	4989563,801	236,709

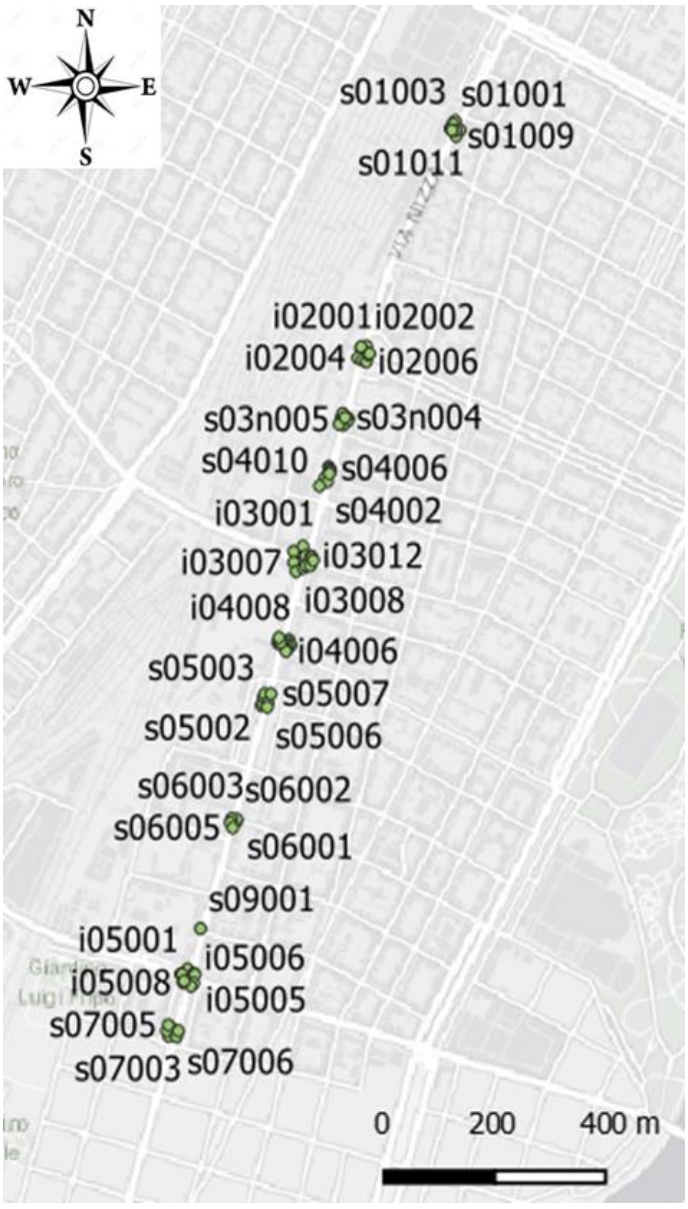


Figura 23:Rilievi topografici di Via Nizza sulla cartografia

3 METODOLOGIA

Questo capitolo è volto ad approfondire la procedura di analisi delle immagini al fine di acquisire dati relativi alle velocità operative e alla classificazione delle utenze presenti, di rappresentare le traiettorie e la loro distribuzione trasversale all'interno della sede stradale.

Il capitolo presenta due codici, uno ausiliario e uno principale, in ambiente MATLAB dei quali si esaminano tutte le criticità riscontrate e le valutazioni effettuate finalizzate alla elaborazione degli stessi.

Esso è suddiviso in quattro sezioni: la prima riguarda il codice ausiliario, inerente la calibrazione della videocamera, con l'obiettivo di estrapolare i parametri dello strumento video; la seconda descrive il codice principale nel quale è annidata la totalità della metodologia; nella terza si riporta l'analisi di sensitività, dove si stabilisce quali siano i parametri fondamentali e si stima il valore numerico da impostare; la quarta analizza il bilancio dei tempi di elaborazione per un filmato.

3.1 Calibrazione Camera

La procedura di calibrazione deve necessariamente eseguirsi prima dell'avvio del codice principale poiché essa estrae i parametri intrinseci ed estrinseci della camera. I parametri intrinseci descrivono la camera indipendentemente dalla sua giacitura spaziale. I parametri estrinseci descrivono la giacitura della camera nello spazio rispetto ad un punto fisso indipendentemente dalle sue proprietà interne.

Tale processo è fondamentale per eliminare la distorsione laterale presente nei frame, causata dalla modalità di ripresa *Wide* e dalla prospettiva, e di ottenere dei fotogrammi che posseggono pixel di dimensione costante.

Questo passaggio deve essere applicato a tutte le camere utilizzate per i rilievi se esse presentano caratteristiche diverse. Nel caso studio questa procedura si è eseguita ad entrambi i dispositivi (2080 e 9002), notando che il file di output, nominato "*cameraParams"*, risulta essere uguale per entrambi. Nel codice principale basta inserire il file "*cameraParams"* per qualsivoglia ripresa video: questo ha permesso di limitare notevolmente i tempi di calcolo, evitando di ripetere la calibrazione per ogni ripresa.

Per ottenere questo file, si è sfruttata l'applicazione "Camera Calibration App" all'interno dell'ambiente Matlab: essa si è utilizzata per scegliere e filtrare i fotogrammi di calibrazione, selezionare il numero e la tipologia di coefficienti di distorsione radiale, identificare gli errori di proiezione, rappresentare ed esportare i parametri di calibrazione della camera.

Innanzitutto è basilare produrre un breve video con le telecamere da calibrare, dove si riprende una scacchiera da tutte le possibili angolazioni. In seguito si inseriscono nell'applicazione i fotogrammi costituenti il precedente video e si imposta la grandezza del lato di un singolo quadrato (bianco o nero) presente nella scacchiera che nel caso studio è di 10 cm (Figura 24).

Per affinare la precisione di calibrazione è opportuno inserire da un minimo di 10 a un massimo di 20 fotogrammi, tra loro molto differenti in termini di angolazione e distanza d'inquadratura, affinché il software selezioni i migliori, escludendo i fotogrammi sfocati o molto simili. Una volta terminato l'intero processo di analisi, si riporta la schermata ricavata dell'applicazione (Figura 25) e si ottengono i grafici relativi agli errori di proiezione e ai parametri estrinseci della camera (Figura 26).

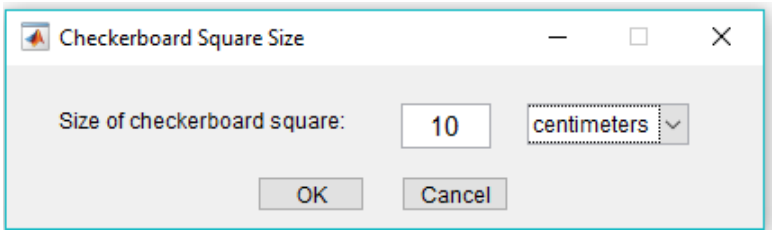


Figura 24: Grandezza del lato del quadrato nella scacchiera

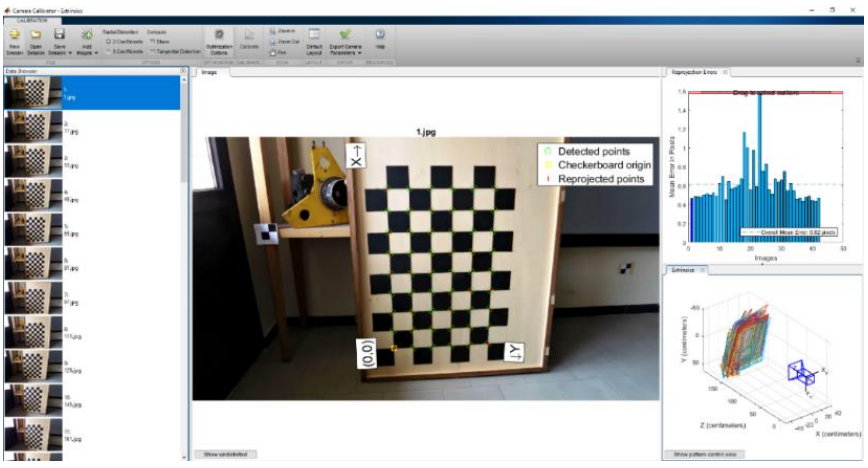


Figura 25: Schermata finale di calibrazione

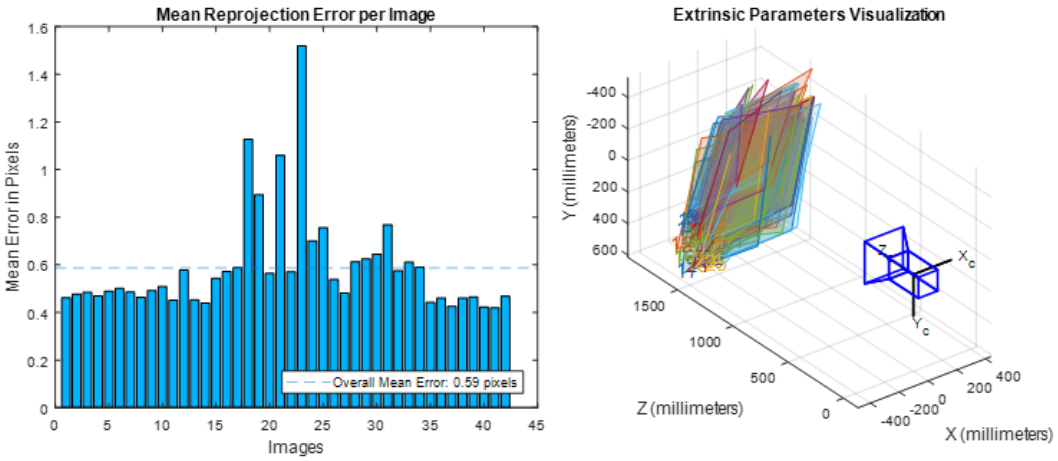


Figura 26: Errori proiezione (sinistra) e Parametri estrinseci (destra) della camera 9002

Il codice ausiliario è stato implementato in un precedente lavoro di tesi (Cassiani, 2018). La funzione iniziale "Script Camera ()" possiede una sotto funzione "scelta ()" che, attraverso l'input "questdlg", consente di selezionare la telecamera con la quale è avvenuta la registrazione, mediante l'interfaccia grafica (Figura 27) che appare all'avvio dello script.

Una volta effettuata la scelta riguardante i parametri di quale telecamera esportare, il software automaticamente legge il percorso della cartella dove sono salvati i fotogrammi, calcola e salva (mediante il comando *save*) i dati ottenuti descritti in precedenza: i risultati sono disponibili in un file **.mat* salvato nella medesima cartella contenente lo script.

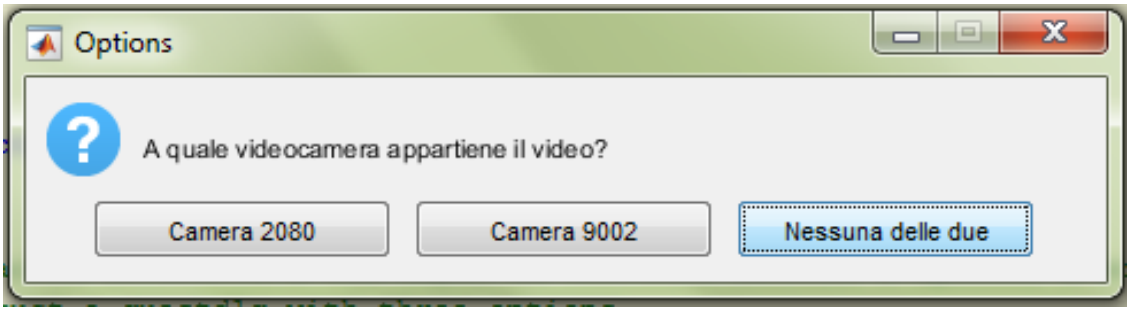


Figura 27: Interfaccia grafica

3.2 Codice di elaborazione delle immagini

Il codice principale, denominato "Script Nizza", attua una procedura di elaborazione delle immagini realizzata in ambiente MATLAB. Partendo da un filmato registrato, il codice ha l'obiettivo di comporre un nuovo video, diverso da quello di input, e distinguere gli elementi fissi da quelli mobili. Di quest'ultimi, esso acquisisce le caratteristiche di posizione e di area nel tempo, classifica gli oggetti, calcola le velocità operative, delinea le traiettorie e, da queste, determina la distribuzione trasversale delle utenze (Figura 28).

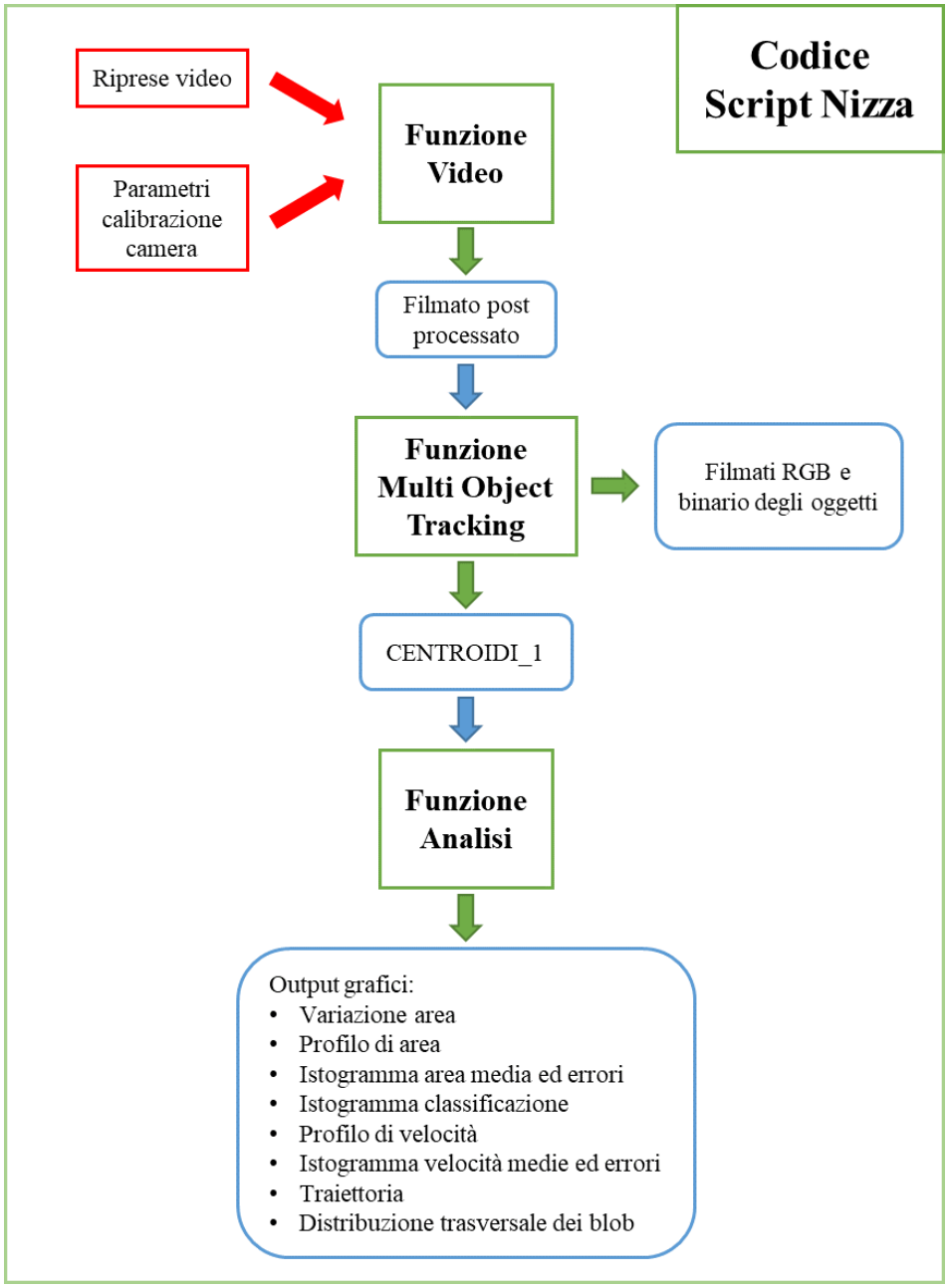


Figura 28: Struttura dello Script_Nizza

La struttura dello script è altresì articolata, infatti il codice contiene al suo interno la funzione fondamentale (Script_Nizza) la quale racchiude tre sotto funzioni (Video, Multi Object Tracking, Analisi) tra loro connesse, dove l'output di una funzione diviene l'input di quella successiva. Il codice completo è presente in allegato C.

Il nome della funzione fondamentale e quello del file *.mat deve essere obbligatoriamente lo stesso, affinché il codice possa funzionare. Pertanto il file *Script_Nizza.mat* ed il nome della funzione fondamentale, visibile ad inizio codice, sono gli stessi. È importante inoltre, che nella cartella risultino presenti sia il file video da analizzare che il file *cameraParams.mat* descritto nel paragrafo precedente.

Di seguito nel manoscritto si descrivono approfonditamente le tre funzioni costituenti l'intero codice.

3.2.1 Funzione Video

Questa funzione ha il compito di manipolare i frame estratti dalla ripresa video per rimuovere le distorsioni, originate dalla curvatura della lente della camera o dalla prospettiva, e creare fotogrammi metricamente corretti delimitando le zone dell'inquadratura non rilevanti per l'analisi: il tutto avviene ovviamente mediante passaggi tra loro concatenati (Figura 29).

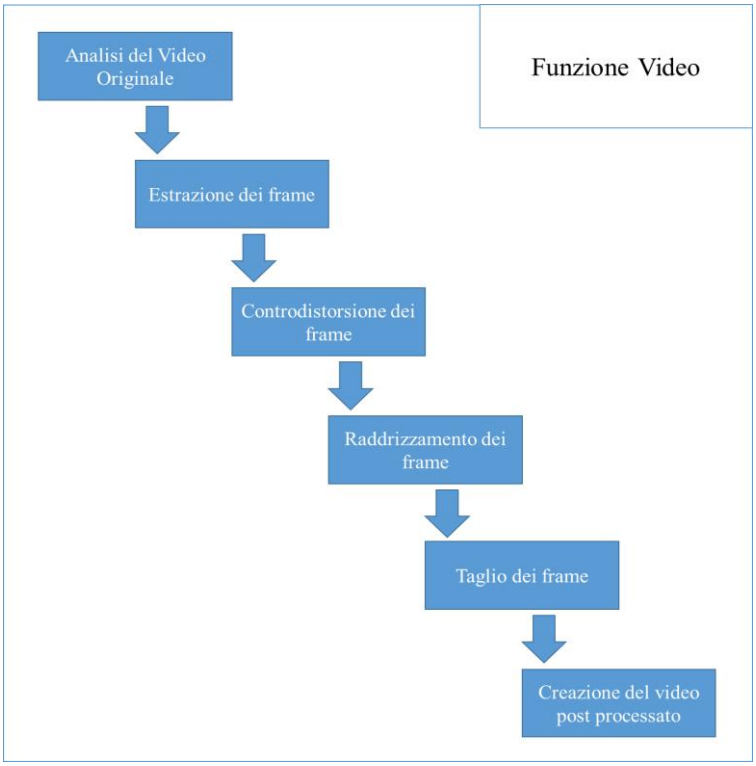


Figura 29: Struttura della funzione Video

- **ANALISI DEL VIDEO ORIGINALE**

Questo algoritmo prevede il caricamento del video che si intende esaminare tramite una schermata di dialogo (Figura 30). Questo passo consente di dividere tutti i frame facenti parte il filmato: il comando *frameno* infatti conteggia il numero totale di fotogrammi. Questa variabile è fondamentale perché assegna il valore finale per tutti i cicli presenti nel codice.

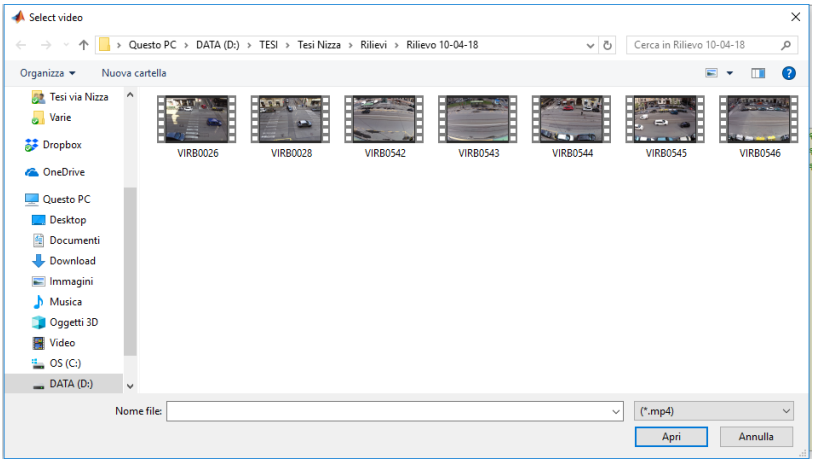


Figura 30: Schermata di selezione video

- **ESTRAZIONE DEI FRAME**

Il seguente algoritmo estrae e salva in formato .jpg i frame, nominandoli VID più il numero del frame, nella medesima cartella citata in precedenza. Si riporta l'esempio del frame VID220 (Figura 31).

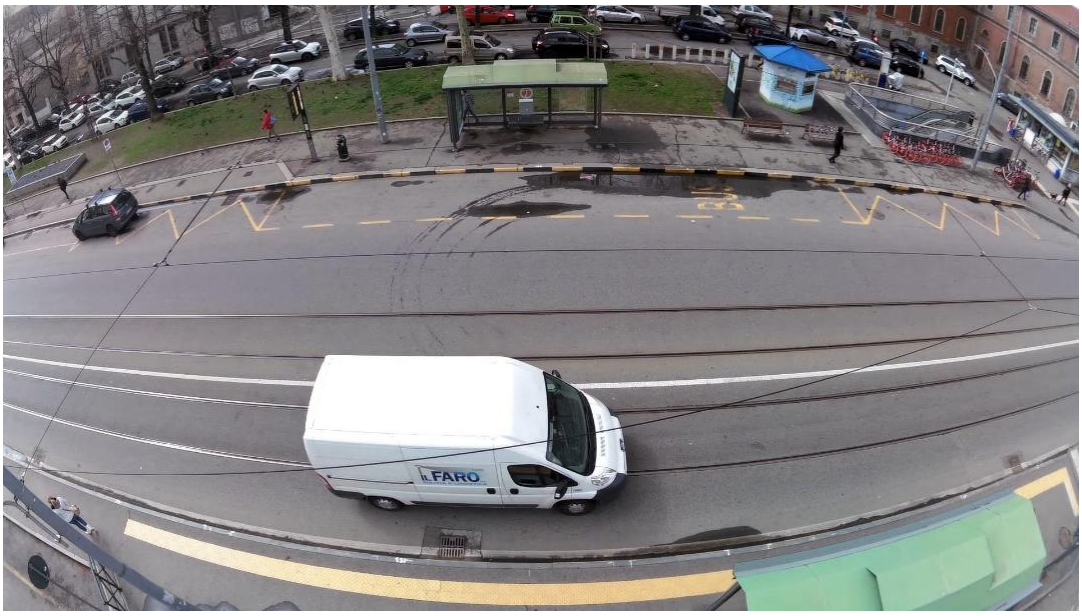


Figura 31: VID220, frame originale estratto dal video

- **CONTRODISTORSIONE DEI FRAME**

Questo passaggio è basilare per correggere, fotogramma per fotogramma, la distorsione causata dalla curvatura della lente della camera, dal punto di presa (altezza e angolazione della camera), e dalla tipologia di registrazione scelta (Wide). Ciò è possibile applicando ad ogni fotogramma il file *cameraParams.mat* descritto nel paragrafo 3.1. Ogni nuovo frame viene salvato e nominato DIST più il numero del frame.

Guardando la segnaletica orizzontale (Figura 31), si nota come la linea di mezzeria della carreggiata non segua un percorso rettilineo ma curvo. Per notare le differenze, si riporta il frame DIST220 (Figura 32), cioè il frame VID220 modificato dal suddetto processo.

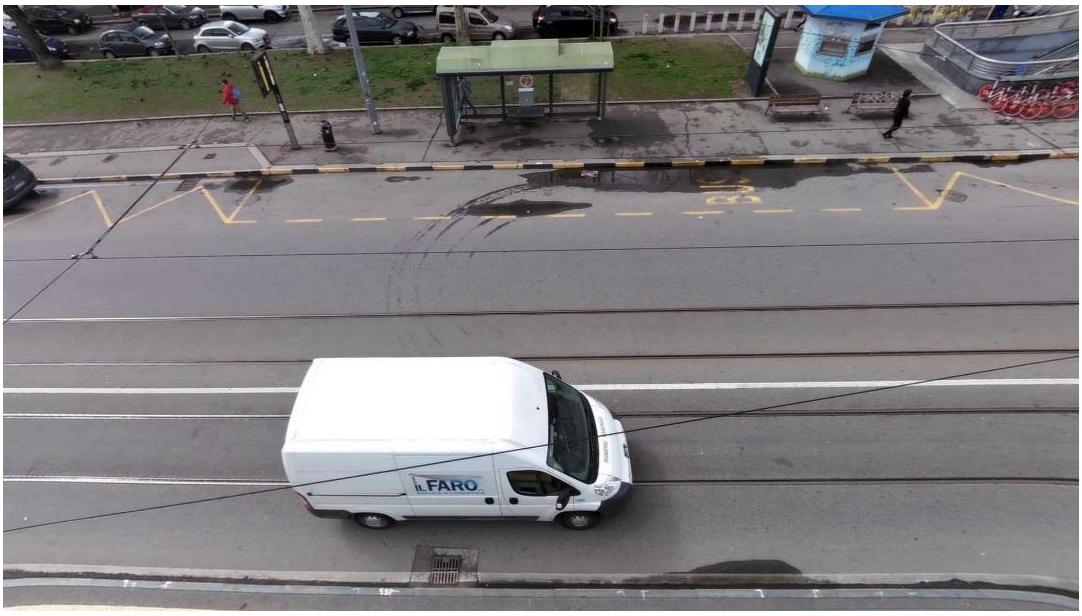


Figura 32: DIST220, VID220 con applicazione dei cameraParams

- **RADDRIZZAMENTO DEI FRAME**

Questo algoritmo realizza immagini metricamente corrette sulle quali è possibile eseguire misure precise. Prima di descrivere tale algoritmo, è necessario introdurre alcune nozioni basilari di fotogrammetria.

"Un fotogramma, dal punto di vista proiettivo, è una proiezione centrale nella quale gli oggetti cambiano forma e dimensione in funzione della loro distanza dal centro di presa. Dal punto di vista analitico, stabilito il sistema di riferimento, le relazioni tra fotogramma e oggetto dipendono da 9 parametri che descrivono la posizione del piano

nello spazio (orientamento esterno) e le caratteristiche geometriche della camera (orientamento interno)" [Manuale software RDF].

I parametri si riducono a 8 se l'oggetto da evidenziare è collocato su un piano. Ciò è motivato dall'esistenza di relazioni tra questi nove parametri; le seguenti equazioni mettono in relazione le coordinate immagini con quelle dell'oggetto:

$$X = \frac{a_1 x + a_2 y + a_3}{c_1 x + c_2 y + 1} \qquad \textbf{\textit{Equazione 1}}$$

$$Y = \frac{b_1 x + b_2 y + b_3}{c_1 x + c_2 y + 1} \qquad \textbf{\textit{Equazione 2}}$$

Per calcolare gli otto coefficienti è necessario avere a disposizione le coordinate di almeno quattro punti oggetto (X_i, Y_i) a partire da quattro punti immagine (x_i, y_i); se le coordinate dei punti oggetto sono più di quattro, è possibile stimare i coefficienti con il metodo dei minimi quadrati e calcolare l'errore della fase di raddrizzamento. Per applicare il metodo del raddrizzamento analitico si presuppone che l'oggetto da esaminare sia piano. In fase operativa, questo presupposto geometrico non è mai perfettamente riscontrato: basti considerare il piano terreno che presenta sempre delle ondulazioni. *"Il raddrizzamento viene considerato corretto se lo spostamento in ogni punto dell'immagine è contenuto entro l'errore di graficismo"* [da manuale di RDF].

Il primo passaggio, secondo questo algoritmo, è inserire almeno quattro coordinate oggetto, reperite dal rilievo topografico, e le relative coordinate immagine estraibili col comando "impixelinfo". Utilizzando le due equazioni sopracitate, si calcolano gli 8 parametri di raddrizzamento.

Di seguito, si impostano sia le dimensioni del pixel lungo *x* e *y* che i limiti in metri nel mondo reale. Si ricava, dunque, la quantità necessaria di pixel per costruire la nuova immagine, nonché la risoluzione del nuovo fotogramma. Per limitare il tempo computazionale della macchina, si tramutano i frame da colori (RGB) in tonalità di grigio.

Infine si applica il raddrizzamento ad ogni fotogramma il quale è salvato nella medesima cartella e nominato RAD più il proprio numero identificativo. Si riporta il frame RAD220 (Figura 33), cioè il frame DIST220 dopo il processo di raddrizzamento.

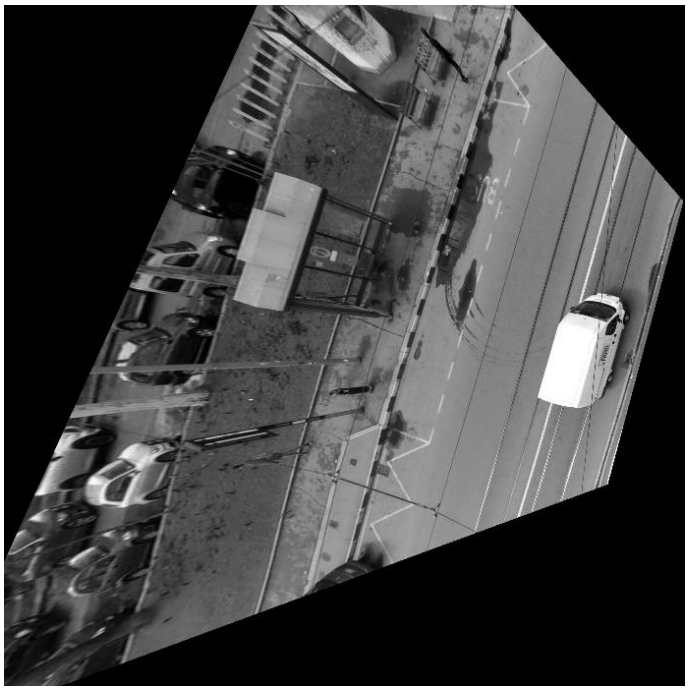


Figura 33: RAD220, DIST220 con applicazione del raddrizzamento

La nuova disposizione del fotogramma è dovuta ad un sistema di riferimento posto in basso a sinistra, dove l'asse *x* rappresenta l'Est mentre l'asse *y* il Nord. Questo frame è estrapolato dal video S05nA e, come da nomenclatura descritta nel paragrafo 2.3.1, la corsia vicina al punto di presa descrive elementi procedenti verso Nord.

- **TAGLIO DEI FRAME**

Il successivo algoritmo della funzione Video permette di ritagliare e, quindi, catturare solo le zone d'interesse per l'analisi all'interno dell'immagine. Ad esempio, se si intende esaminare solo gli elementi presenti sulla carreggiata e non sui marciapiedi, si isola la sezione stradale.

Il processo si realizza producendo un rettangolo orientato con il sistema di riferimento collocato in alto a sinistra del fotogramma, mediante i quattro parametri di taglio (*X*, *Y*, *L*, *H*). *X* e *Y* sono le coordinate del vertice, "*L*" la larghezza e "*H*" l'altezza in pixel del rettangolo. Il comando applicato è il seguente "rect = [1250 300 800 1300]" (Figura 34).

Mediante il comando "imcrop" inserito in un "ciclo for", si applica il taglio (Figura 35) *frame by frame* e si salvano i file nominandoli CROP più il numero del relativo frame. Il taglio può essere solo di forma rettangolare e, quindi, non è possibile isolare in modo preciso zone d'interesse che risultino inclinate nel fotogramma.

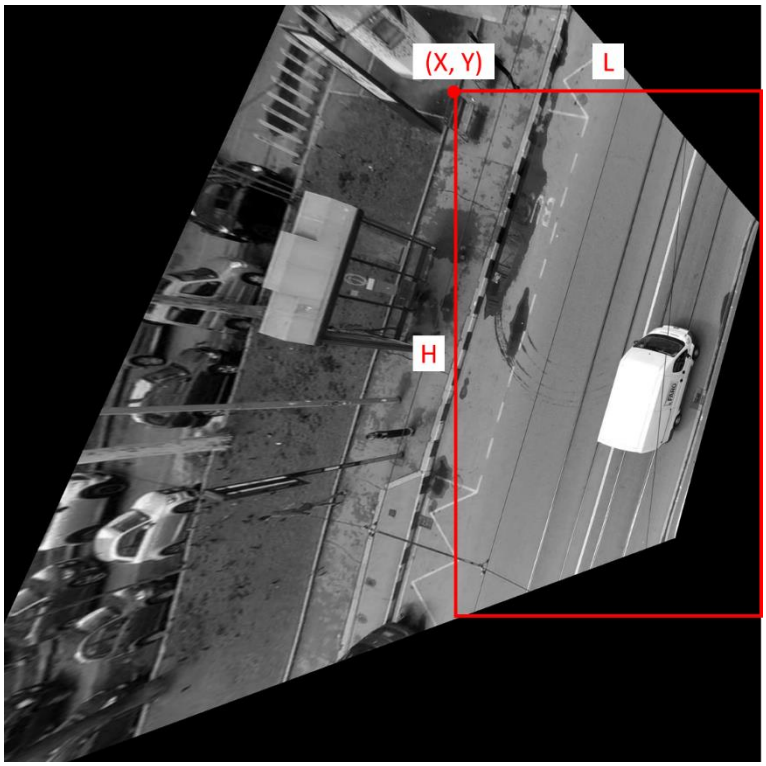


Figura 34: RAD220 con area rossa da ritagliare

Figura 35: CROP220, RAD220 con applicazione del taglio

- **CREAZIONE DEL VIDEO POST PROCESSATO**

Quest'ultimo algoritmo della funzione Video ha il compito di ordinare in successione tutti i file *Crop*, prodotti nel precedente svolgimento, al fine di creare il nuovo filmato in

formato *.avi*. All'utente viene richiesto di inserire il nome del filmato da salvare all'interno della *"Command Window"*.

Tutti gli algoritmi sono implementati per essere quanto più semplici da utilizzare e più veloci possibili. A suddetto scopo, in ogni algoritmo visto, è introdotto il comando *"tic/toc"* che misura il tempo macchina speso per effettuare ogni singola fase. Questi tempi sono utilizzati per valutare la velocità operativa del codice. Infine, sulla *"Command Window"* si visualizza costantemente il tipo di processo e il suo stato di avanzamento (Figura 36).

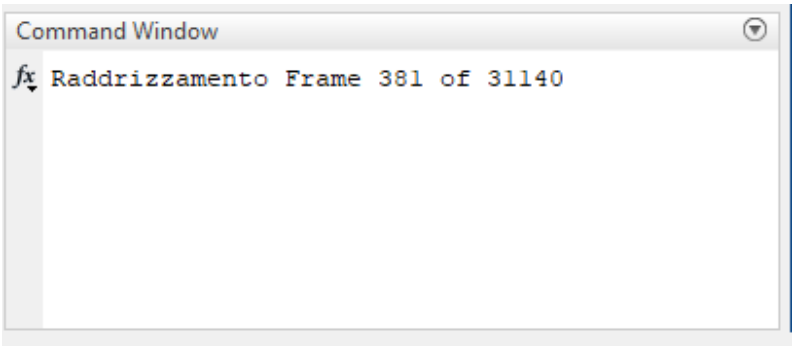


Figura 36: Visualizzazione processo e frame sulla Command Window

3.2.2 Funzione Multi Object Tracking

La funzione Multi Object Tracking, analizzando il filmato costruito mediante la funzione precedente, utilizza l'algoritmo di *Blob Detection* per distinguere i pixel facenti parte il *foreground* (piano che presenta elementi in movimento) da quelli costituenti il *background* (piano che presenta oggetti fissi). La funzione è composta da diversi algoritmi, i quali effettuano determinate istruzioni di rilevamento e tracciamento dei centri di massa dei blob (Figura 37).

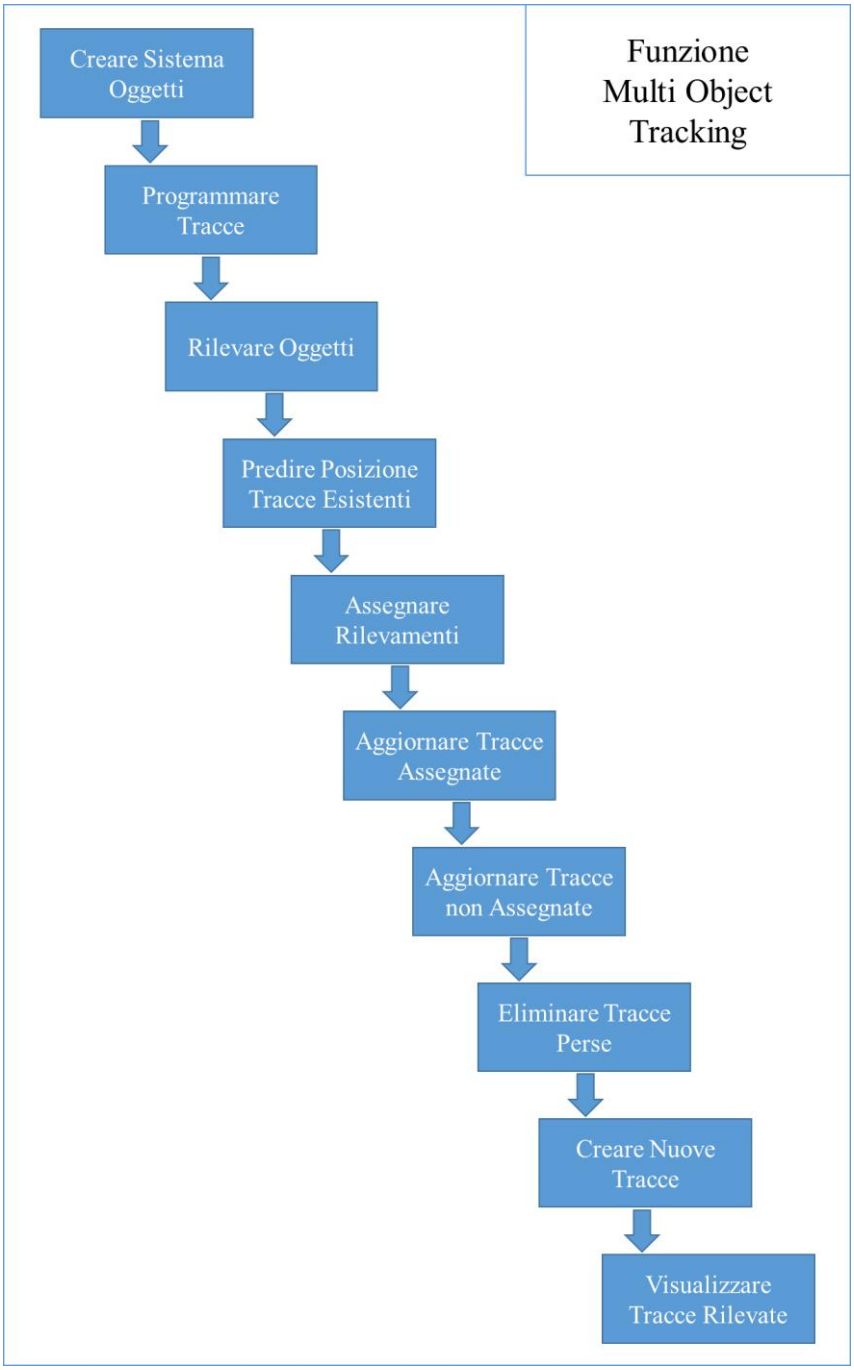


Figura 37: Struttura della funzione Multi Object Tracking

Sfruttando il codice "Motion-Based Multiple Object Tracking" (dal sito https://it.mathworks.com/help/vision/examples/motion-based-multiple-object-tracking.html), si è ricavato per ogni oggetto in movimento la posizione del suo centro di massa in coordinate pixel e la grandezza dell'area nel tempo (*frame by frame*).

- **CREARE SISTEMA OGGETTI**

La funzione *setupSystemObject* seleziona il file creato in precedenza (necessariamente in formato avi) e lo trasforma in bianco e nero dove i pixel neri descrivono lo sfondo mentre quelli bianchi rappresentano oggetti in movimento, chiamati blob o macchie di colore, tutto questo grazie alla variazione radiometrica dello stesso pixel in due frame successivi.

- **PROGRAMMARE TRACCE**

In questa sezione si definiscono le variabili fondamentali che saranno adoperate nelle funzioni seguenti del codice:

id = valore che identifica il blob;

bbox = *bounding box* definisce le dimensioni del riquadro che circoscrive i pixel appartenenti ad un singolo blob;

kalmanFilter = Filtro di Kalman, oggetto adoperato per limitare il rumore attorno al blob e per stabilire la traccia di ogni elemento;

age = numero di fotogrammi trascorsi fino all'identificazione del primo elemento mobile;

TotalVisibleCount = numero totale di fotogrammi in cui è presente un particolare blob;

ConsecutiveInvisibleCount = numero di frame consecutivi dove la traccia di un veicolo non viene identificata.

- **RILEVARE OGGETTI**

Tramite la funzione *detectObjects*, si imposta la dimensione del riquadro che contiene il blob. I valori predefiniti dello script originale sono modificati poiché sono diversi sia gli elementi analizzati che le caratteristiche del punto di presa (Figura 38).

Figura 38: Rilievo elemento con script Motion-Based Multiple Object Tracking
(da sito https://it.mathworks.com/help/vision/examples/motion-based-multiple-object-tracking.html).

- **PREDIRE POSIZIONE TRACCE ESISTENTI**

La funzione principale, mediante il filtro di Kalman, individua il centro di massa e aggiorna la grandezza del rettangolo per ogni elemento presente nel fotogramma corrente.

- **PREDIRE POSIZIONE TRACCE ESISTENTI**

Questo algoritmo ha il compito di determinare la traccia di un blob. Il processo si basa inizialmente sul calcolo della distanza (costo) tra due centroidi consecutivi dello stesso blob. Successivamente attraverso una funzione di costo generalizzato, si definisce se i due centroidi fanno parte o meno della stessa traiettoria: se il costo calcolato è maggiore rispetto al valore impostato sperimentalmente, lo script associa il secondo centroide ad un nuovo identificativo. La scelta del valore del costo è molto difficile: un valore troppo basso potrebbe dividere la traccia di un elemento in due diverse, un valore troppo alto potrebbe inglobare tracce di diversi oggetti in una sola.

- **AGGIORNARE TRACCE ASSEGNATE**

In questa fase si associa ad ogni macchia di colore un identificativo e la corrispondente posizione del centroide per ogni fotogramma in cui è presente un elemento mobile. Nello script originale i valori di posizione dei centri di massa sono sovrascritti se si ripresenta nel filmato un oggetto con lo stesso identificativo: ciò accade perché il fine di quello script è solo visualizzare e identificare gli elementi in movimento. Per superare questo limite, si è introdotta la variabile globale CENTROIDI_1 esterna alla funzione

updateAssignedTracks che incorpora tutti i valori, ad esempio, di posizione che altrimenti andrebbero persi.

- **AGGIORNARE TRACCE NON ASSEGNATE**

La funzione *updateUnassignedTracks* identifica ogni traccia non attribuita come invisibile e incrementa la sua *age* di una unità.

- **ELIMINARE TRACCE PERSE**

La funzione *deleteLostTracks* elimina le tracce invisibili per molti frame consecutivi che quelle presenti in pochi fotogrammi.

- **CREARE NUOVE TRACCE**

La funzione *createNewTracks* realizza nuove tracce senza una reale rilevamento del blob, cioè, attraverso il filtro di Kalman, predice la posizione di un centroide anche se questo non viene identificato. Questo processo permette di limitare il rumore durante la fase di rilevamento.

- **VISUALIZZARE TRACCE RILEVATE**

Nell'ultimo processo la funzione *displayTrackingResults* disegna, sia nella finestra con il video originale che in quella in formato binario, il riquadro attorno ad ogni blob e la casella con l'identificativo (Figura 39).

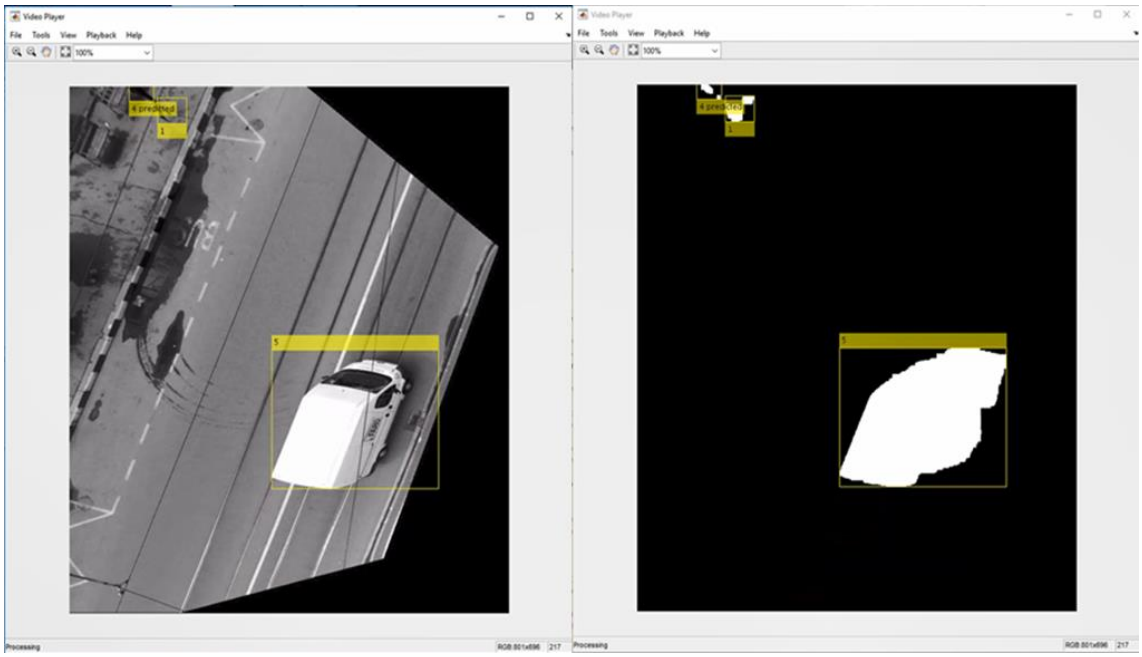


Figura 39: Rappresentazione grafica della funzione Multi Object Tracking

Il file di output generato dalla funzione Multi Object Tracking è la matrice "CENTROIDI_1". Essa è composta da cinque colonne dove nella prima sono salvati gli identificativi dei blob, nella seconda e terza sono presenti rispettivamente le coordinate *x* e *y* dei centroidi, nella quarta il numero del frame in cui è avvenuto il rilevamento, nella quinta il valore d'area in pixel del blob osservato (Figura 40).

Variables - CENTROIDI_1

CENTROIDI_1

40926x5 double

	1	2	3	4	5	6
1	1	26	281	57	1221	
2	1	20	272	58	927	
3	1	20	269	59	934	
4	1	21	268	60	1004	
5	1	23	267	61	1096	
6	1	25	265	63	1087	
7	1	26	264	64	1008	
8	1	31	252	69	941	
9	1	35	246	71	1236	
10	1	36	244	72	1256	
11	1	34	239	73	1233	
12	1	33	233	74	1190	
13	1	33	232	75	1281	
14	1	32	230	76	1342	
15	1	31	228	77	1342	
16	1	32	227	78	1381	
17	1	35	230	79	1744	
18	1	38	227	80	1685	
19	1	37	220	81	1165	
20	1	44	219	82	1374	

Figura 40: Visualizzazione della tabella CENTROIDI_1 con Matlab

Al fine di valutare il tracciamento degli elementi, si impone che il sistema di riferimento sia situato nel vertice in basso a sinistra del fotogramma con gli assi positivi rivolti verso destra e verso l'alto (Figura 41).

Figura 41: Sistema di riferimento per il posizionamento dei centri di massa

3.2.3 Funzione Analisi

La funzione Analisi, suddivisa in vari algoritmi (Figura 42), ha il compito di classificare gli oggetti in movimento tramite l'area del blob, stimare la traiettoria e la velocità operativa per ogni utente (il quale è identificato con un valore univoco), valutare la distribuzione delle utenze all'interno della sede stradale.

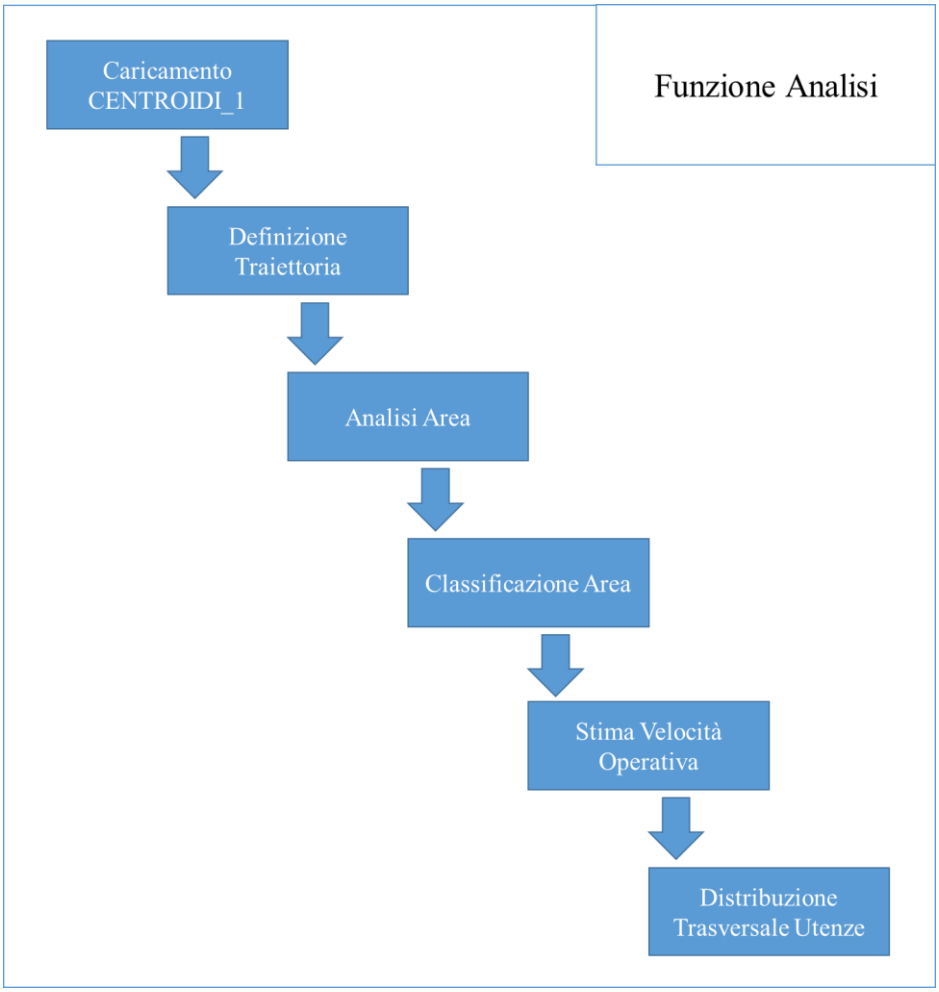


Figura 42: Struttura della funzione Analisi

- **CARICAMENTO CENTROIDI_1**

Tramite la stringa *"load"*, si riporta il file di output fornito dalla funzione suddetta e, successivamente, si imposta un nuovo numero identificativo agli elementi mobili. Poiché la matrice CENTROIDI_1 abbina lo stesso identificativo a diversi oggetti della ripresa video (Figura 43), quest'ultimo passaggio è necessario per associare ogni elemento alla propria traccia. Tutte queste informazioni sono salvate all'interno della matrice *C*.

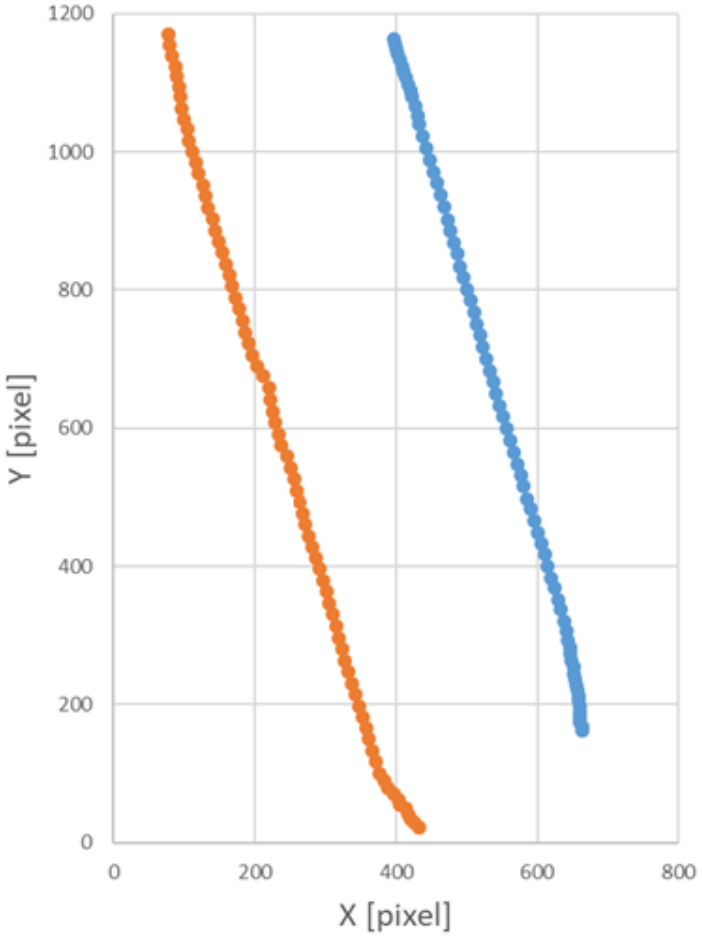


Figura 43: Tracce di oggetti diversi ma con lo stesso identificativo

A tal proposito si assumono come riferimento le coordinate *x* e *y* dei centroidi, cambiando il numero identificativo ogni qualvolta la differenza in pixel tra le coordinate di due centroidi consecutivi è maggiore rispetto ai valori impostati. La scelta di questi valori è funzione della risoluzione dell'immagine e della velocità dei blob.

- **DEFINIZIONE TRAIETTORIE**

In questo processo si analizzano e si descrivono le singole tracce degli oggetti. Inizialmente si costruisce una tabella pivot delle posizioni *statarray_1* formata da 4 colonne: nella prima sono presenti gli identificativi, nella seconda il conteggio dei fotogrammi in cui è presente lo stesso ID, nella terza e quarta il valore minimo e massimo della posizione del centro di massa.

Successivamente si applica un filtro posizione attraverso la variabile "*Filt_POS*" Questa variabile consente di filtrare le tracce di elementi: una traccia viene conservata se il suo inizio e la sua fine risiedono oltre il limite minimo e massimo (Figura 44).

Come nel caso prima esposto, la selezione di questi valori limite è funzione della risoluzione dell'immagine, della geometria dell'ambiente e della tipologia delle utenze: ad esempio, se un pedone attraversa la carreggiata all'interno delle linee limite, la sua traiettoria non viene conteggiata. L'uso di questo filtro si è reso necessario per ottenere solo tracce ben definite e continue, cioè tracce adeguatamente identificate nella funzione precedente del codice.

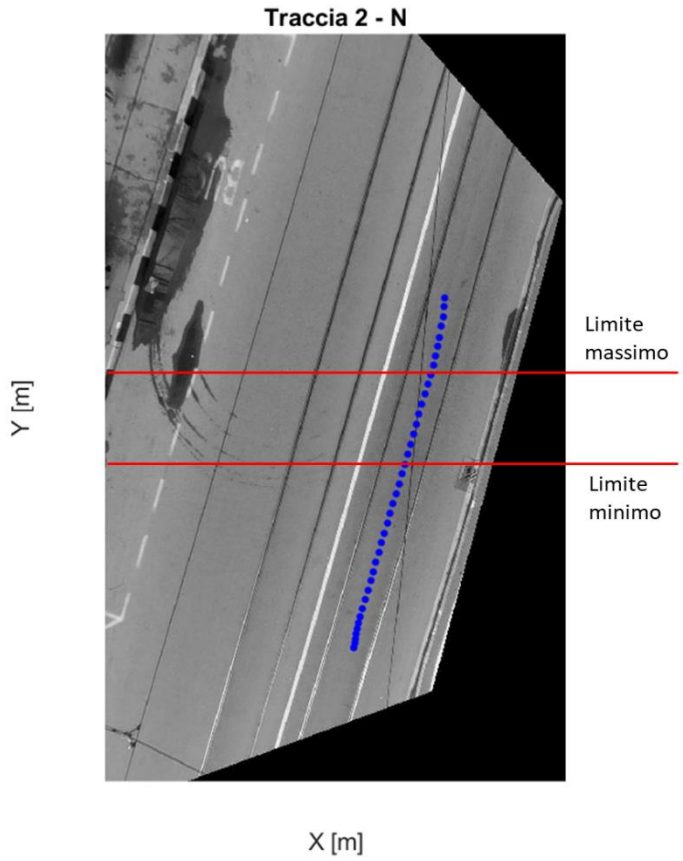


Figura 44: Traiettoria del blob 2 (blu) ottimale poiché esterna ai limiti (linee rosse)

Altro passaggio di questo algoritmo è quello di associare, con l'ausilio di un "ciclo for", il verso di percorrenza agli oggetti (N = Nord, S = Sud). Ultimo passaggio è quello di stampare tutte le traiettorie identificate e l'output è ottenuto come in Figura 40, ma senza le rette limite.

- **ANALISI AREA**

In questa sezione è descritto lo studio della dimensione dell'area di ogni blob nel tempo. Se durante il passaggio del blob all'interno dell'immagine non sono presenti elevate variazioni luminose o spostamenti della telecamera, si è riscontrato che la sua area sia caratterizzata regolarmente da tre fasi: una di creazione, una di stabilità e una di

dissoluzione. Detto ciò, si prevede che nella prima fase l'area del blob aumenti, nella seconda presenti una dimensione pressoché costante e nella terza avvenga una diminuzione della medesima.

Per comprendere la zona in cui gli elementi possiedono un'area stabile, il codice costruisce una matrice "ABT" che riporta per ogni blob la dimensione dell'area (AT) nel relativo fotogramma. In seguito, si compone la matrice "DBT" che descrive le variazioni accettabili dell'area nel tempo, secondo l'equazione 3:

$$\Delta_{Area,i} = \left|\frac{A_i - A_{i-1}}{A_{i-1}}\right| \leq \Delta_{Area,lim} \qquad \textit{Equazione 3}$$

dove i parametri dell'equazione sono:

- $A_i = \frac{\sum_{-2}^{2} A_i}{n}$, area del blob al frame i, calcolato con media mobile su n = 5.
- $A_{i-1} = \frac{\sum_{-2}^{2} A_{i-1}}{n}$, area del blob al frame i-1, calcolato con media mobile su n = 5.
- $\Delta_{Area,i}$ è la variazione di area tra il frame i e il frame i-1.
- $\Delta_{Area,lim}$ = limite massimo di variazione di area tra frame successivi impostato all'1%.

Se il valore è inferiore al limite imposto, Ai è considerato valore d'aria utile (AU), cioè stabile. Il codice, poi, crea un'altra matrice "TabA" nella quale, per ogni identificativo, salva il valore medio dell'area totale (AT) e il valore medio e la deviazione standard dell'area utile (AU). Per ogni elemento, come da esempio, si plottano i grafici relativi alle differenze (Figura 45) e quelle relativi alle aree (Figura 46).

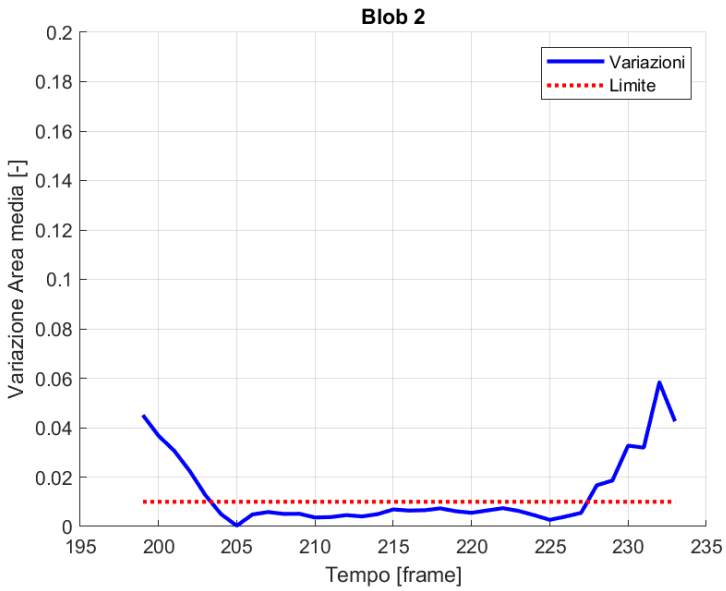


Figura 45: Variazione dell'area (in blu) del blob nel tempo con limite (in rosso) per la definizione dell'area utile

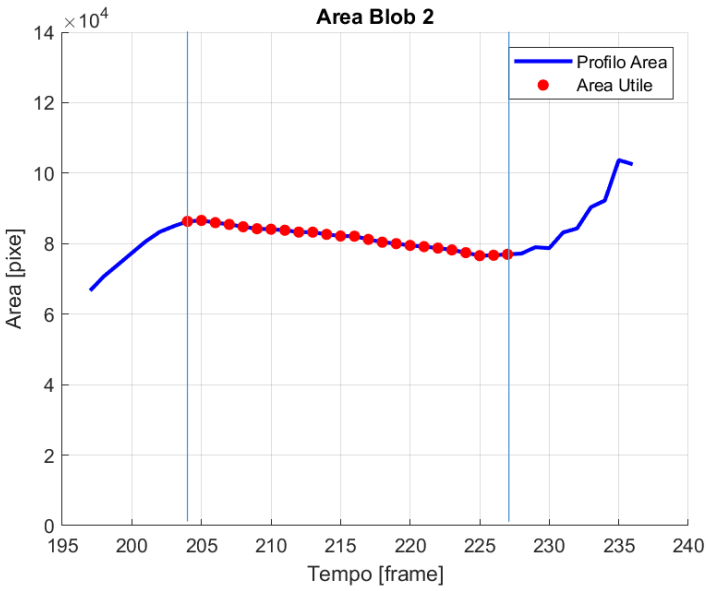


Figura 46: Profilo di area (in blu) e area utile (in rosso) del blob

La Figura 46 conferma quanto esposto in precedenza: si nota come sino al frame 203 si presenta la fase di crescita dell'area, dal 203 al 227 la fase di stabilità, dal 228 al 236 un'altra zona instabile dovuta presumibilmente ad una variazione di intensità luminosa. Nella Tabella 4 si riportano i valori del caso in esempio presenti nella matrice TabA.

Tabella 4: Parte della matrice TabA costruita in Matlab

Identificativo [-]	Media AT [pixel]	Media AU [pixel]	Dev.Std. AU [pixel]
2	82.216	81.653	3217,9

Infine si produce un istogramma (Figura 47) dove ogni barra rappresentante un identificativo e si visualizza il valore medio e la deviazione standard dell'area utile.

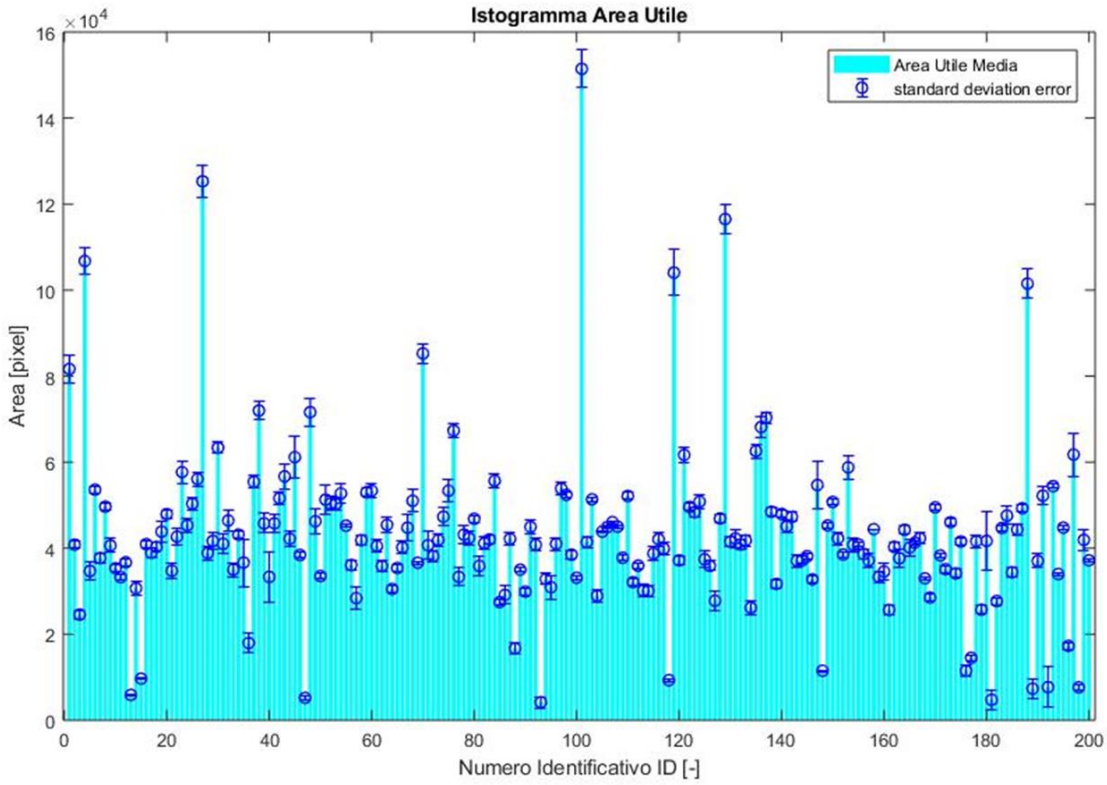


Figura 47: Esempio di output del codice di Istogramma Area Utile

- **CLASSIFICAZIONE AREA**

In questa sezione si definiscono delle utenze presenti nella zona ritagliata della ripresa video in funzione della dimensione dell'area. La classificazione avviene fissando dei valori soglia che suddividono in diverse porzioni l'intero intervallo di aree visualizzate. Per comprendere quali valori impiegare, si sono attuati due metodi.

Il primo, mediante un ciclo for, suddivide l'intervallo totale in un certo numero di classi e conta il numero di elementi presenti in ogni classe; successivamente plotta l'istogramma relativo (Figura 48). Il secondo consiste nel riordinare in modo decrescente tutti i valori di area riscontrati (Figura 49) dove si notano facilmente due brusche variazioni.

Dalla combinazione dei due grafici, si può decidere agevolmente la numerosità della classificazione e i valori soglia da impostare. Ad esempio, in questo caso, si sono scelti 2 valori soglia (25.000 e 72.000) impostando 3 classi diverse. Il valore di classificazione (1, 2 o 3) viene riportano in una nuova colonna della matrice TabA.

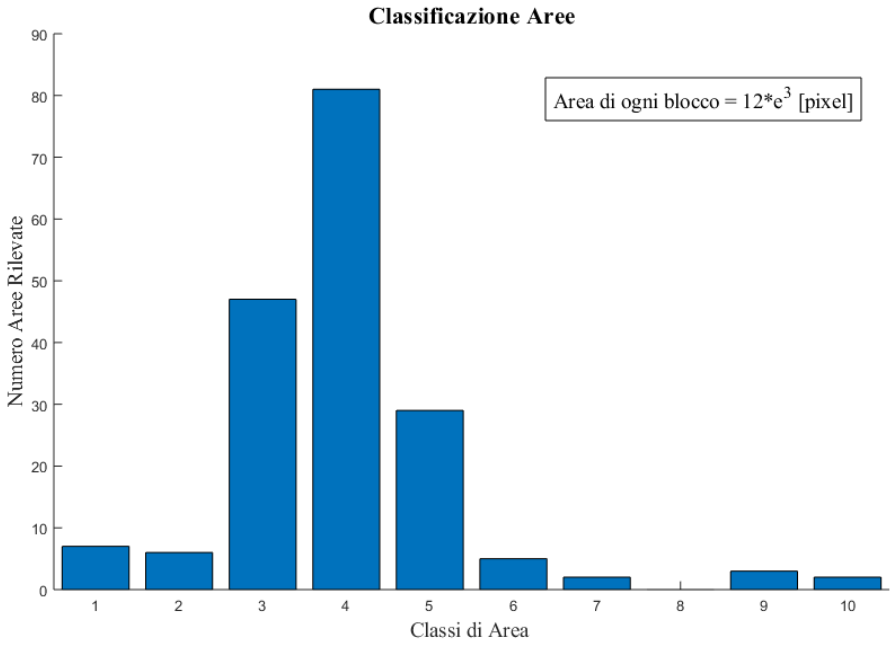


Figura 48: Output grafico del primo metodo di classificazione

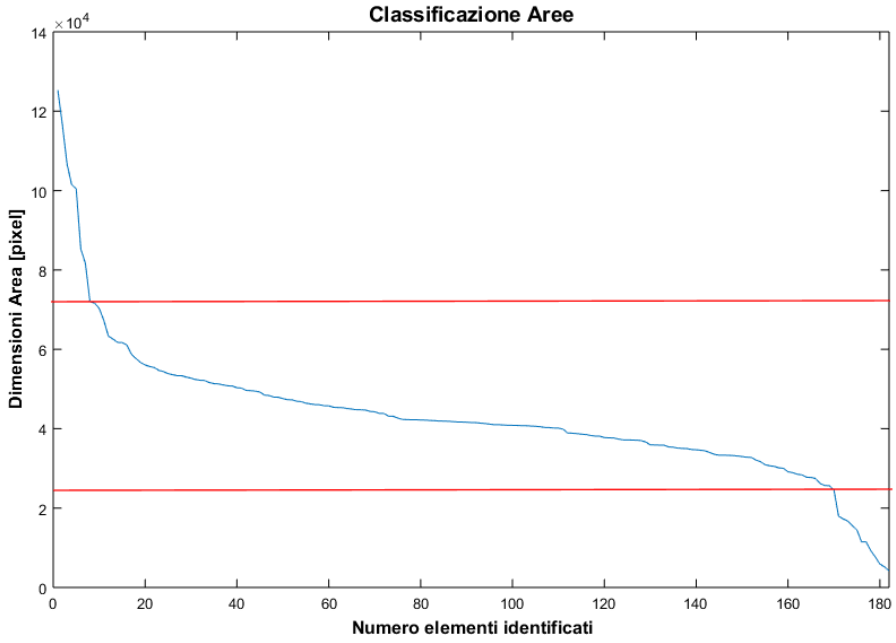


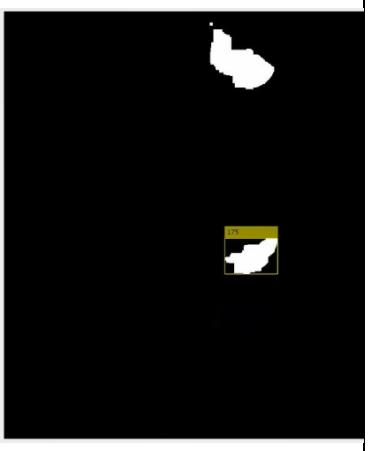
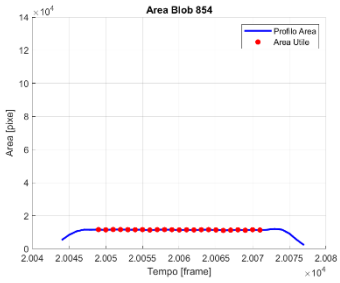
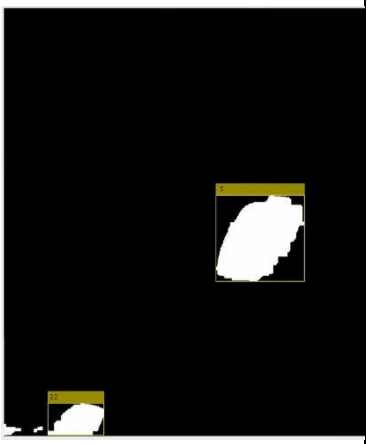
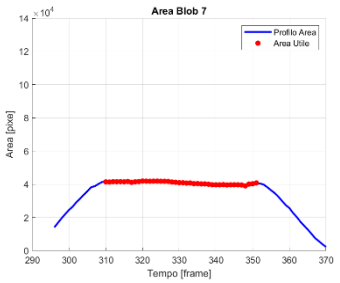
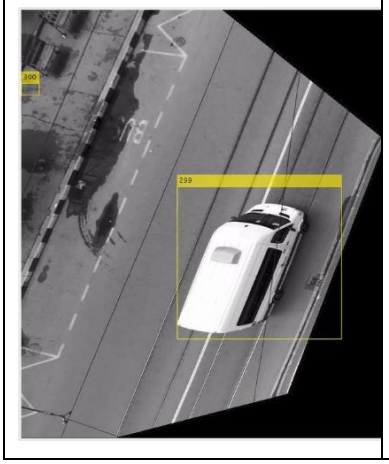
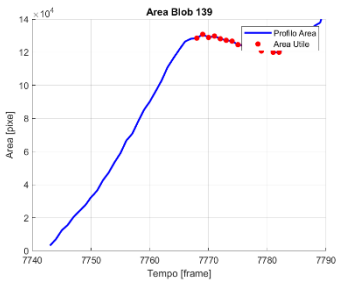
Figura 49: Output grafico del secondo metodo di classificazione
(le linee rosse sono inserite successivamente per evidenziale i limiti scelti)

Il numero stabilito di classi è tre dove all'interno di ogni classe è presente:

- Classe 1: pedoni, velocipedi e motocicli.
- Classe 2: automobili e piccoli veicoli commerciali.
- Classe 3: grandi veicoli commerciali e veicoli pesanti.

Si dimostra nella Tabella 5 un esempio di identificazione per ogni classe.

Tabella 5: Identificazione nelle due maschere e grafico di area relativa all'entità

Maschera in scala di grigi	Maschera binaria	Grafico Area
		
		
		

- **STIMA VELOCITÀ OPERATIVA**

Nel seguente algoritmo si analizza la relazione tra l'area in pixel e la velocità media del blob. Trovare una connessione tra queste due variabili è utile per poter definire una zona all'interno dell'immagine nella quale i valori di velocità sono significativi.

Innanzitutto si reintroduce il fattore di scala, cioè la grandezza metrica (0,02 m) del pixel nell'immagine reale, impostato nella funzione "Video". Poi si determina il coefficiente di velocità c_{speed} (Equazione 4) attraverso il fattore di scala f_{scala} e il tempo di campionamento dei fotogrammi t_s moltiplicando il tutto per la costante 3,6 per ottenere i valori di velocità in km/h.

$$c_{speed} = \left(\frac{f_{scala}}{t_s}\right) * 3{,}6 = \left(\frac{0{,}02}{\frac{1}{30}}\right) * 3{,}6 = 2{,}16 \qquad \textbf{\textit{Equazione 4}}$$

In seguito si procede con la stima della velocità mediante la distanza euclidea d_{pixel}, contenente la differenza al quadrato tra le coordinate x e y dei centroidi (Equazione 5), moltiplicata per il coefficiente di velocità c_{speed} (Equazione 6).

$$d_{pixel} = \sqrt{(x_{n+1} - x_n)^2 + (y_{n+1} - y_n)^2} \qquad \textbf{\textit{Equazione 5}}$$

$$V = d_{pixel} * c_{speed} \qquad \textbf{\textit{Equazione 6}}$$

Successivamente viene costruita la matrice "TabV" con passaggi concatenati. Tramite l'Equazione 5, si determina il profilo totale di velocità (VT) dell'elemento in movimento ma, per calcolare la velocità media operativa, si considera solo la parte del profilo in cui l'elemento presenta l'area stabile (cioè l'area utile vista in precedenza). Quindi si costruisce un nuovo profilo di velocità utile (VU).

Per limare eventuali picchi non desiderati delle VU, si calcola la mediana e la deviazione standard su quest'ultime velocità consentendo di applicare un filtro: sono escluse, infatti, dal calcolo della velocità media operativa tutte le VU fuori l'intervallo limite [mediana (VU) – 2 dev.std.; mediana (VU) + 2 dev.std.].

Di seguito si riporta, come esempio, un grafico (Figura 50) di output dello script dove si evidenzia come dal profilo totale delle velocità (in blu), si estrapola il profilo della velocità utile (in rosso) sul quale viene applicato il filtro di lisciamento che elimina un valore (in verde).

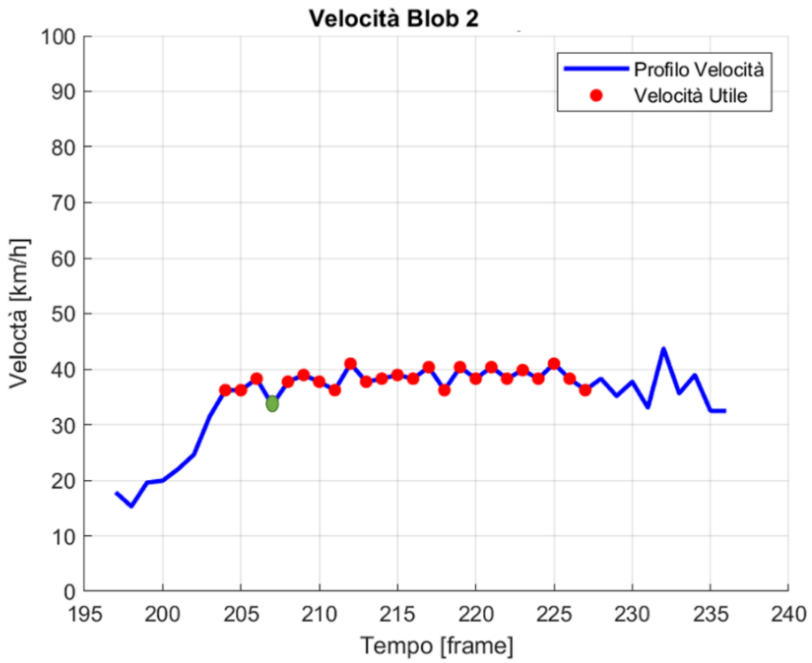


Figura 50: Profilo della velocità (blu) e profilo della velocità utile (rosso) con applicazione del filtro (verde)

Dopo queste valutazioni, si calcola la media di VT e di VU, la media e la deviazione standard della velocità utile dopo il filtraggio, cioè la velocità operativa VO. Nella Tabella 6 si riportano i valori del caso in esempio presenti nella matrice TabV.

Tabella 6: Parte della matrice TabV costruita in Matlab

Identificativo [-]	Classe Area [-]	Media VT [km/h]	Media VU [km/h]	Media VO [km/h]	Dev.Std. VO [km/h]
2	3	34,86	38,38	38,27	1,55

Infine, come nell'algoritmo "Analisi Area", si produce un istogramma (Figura 51) dove ogni barra, rappresentante un identificativo, visualizza il valore medio e la deviazione standard della velocità operativa.

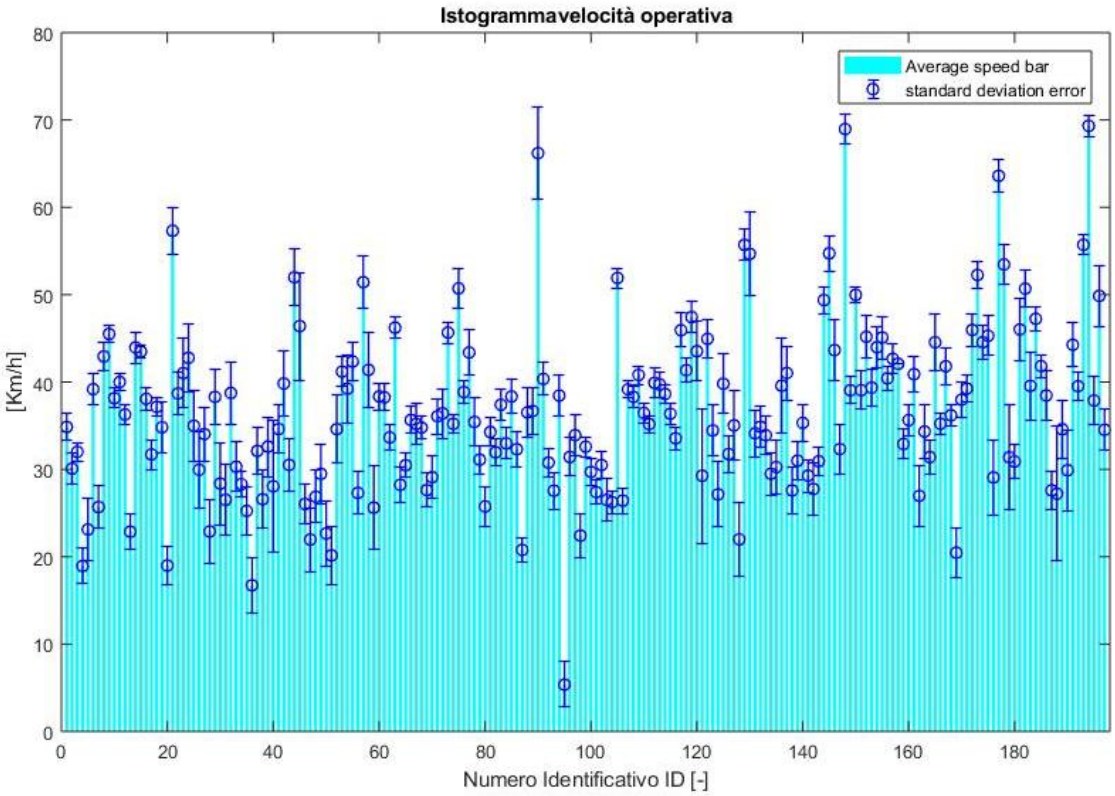


Figura 51: Esempio di output del codice di Istogramma Velocità Operativa

- **DISTRIBUZIONE TRASVERSALE UTENZE**

L'ultimo algoritmo consente di determinare la posizione degli utenti lungo una sezione trasversale della carreggiata. Per una maggiore comprensione dei processi che sono descritti in questa sezione viene proposto in Figura 52 un output della funzione per il veicolo precedentemente analizzato.

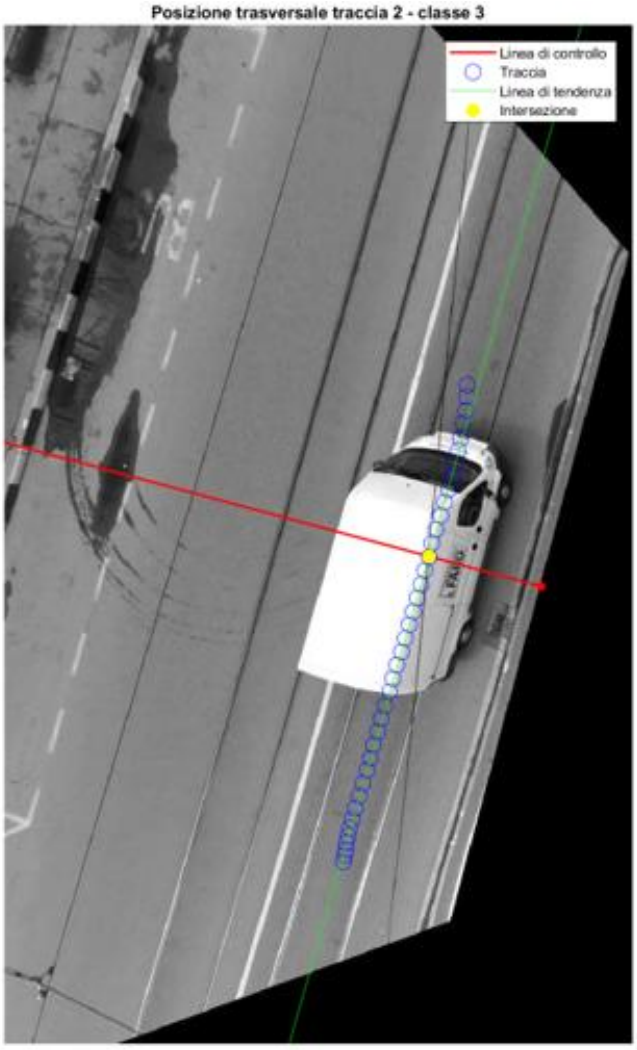


Figura 52: Output dell'algoritmo Distribuzione Trasversale Utenze

Inizialmente si ricava il punto rosso, punto di mezzeria del bordo destro dell'immagine raddrizzata. Successivamente, si ricava la linea di controllo dal fascio di rette proprio con centro nel punto rosso perpendicolare al bordo dell'immagine raddrizzata. Nota la traiettoria del veicolo (cerchi blu), si calcola la linea di tendenza (verde) per i dieci punti della traccia aventi minor distanza dalla linea di controllo. Intersecando le due rette (rossa e verde), si ricava il marker giallo nonché la posizione del veicolo nella sezione trasversale. Infine si costruisce la matrice *"ipoints"* nella quale si salvano i punti di intersezione in coordinate pixel.

L'output di quest'ultima funzione è plottare i risultati della matrice *ipoints* (Figura 53). Nella figura si rappresentano tutti i punti della classe 2, per entrambi i sensi di marcia. Le rette nere continue descrivono il lembo interno dei marciapiedi mentre la linea tratteggiata, posta a 7 m, raffigura la linea di mezzeria tra le due corsie.

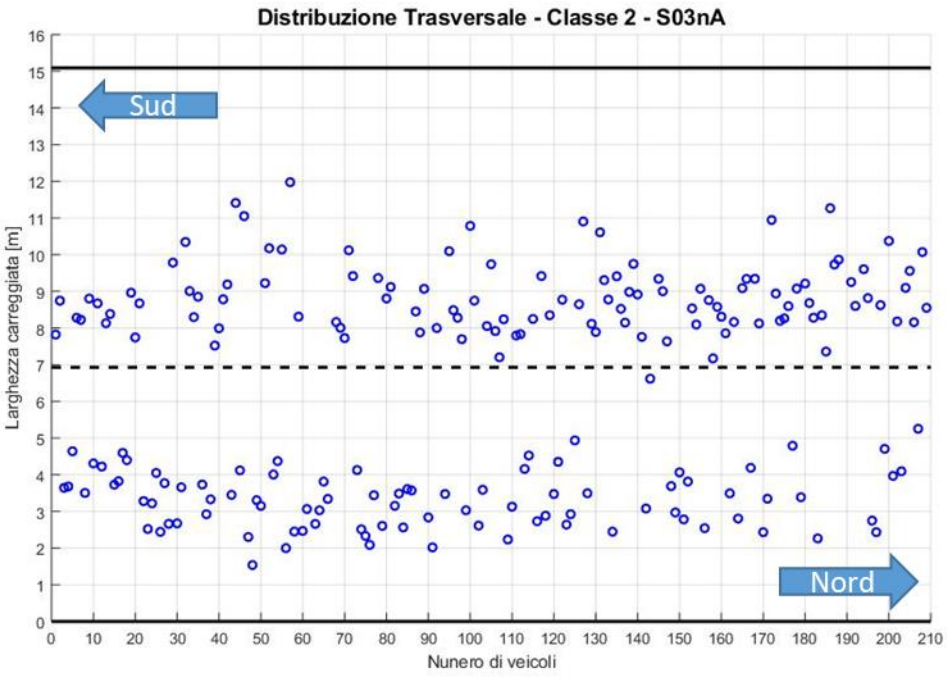


Figura 53: Distribuzione trasversale dei veicoli di classe 2

Al fine di valutare la distribuzione della posizione, è stata utilizzata solo la classe 2 delle utenze perché queste ultime presentano una popolazione statisticamente adeguata. Per le classi 1 e 3, avendo una popolazione al di sotto delle 25 unità per corsia, sono stati calcolati il valore medio e la deviazione standard.

Partendo dall'output finale del codice (Figura 53), è nota la distanza di ogni entità dal lembo interno della corsia situata sotto la zona di presa della videocamera. Tale metodologia è stata eseguita per entrambi i video dei due punti di cattura S03n e S05n. Successivamente si è descritto il processo completo per il video S03nA.

Inizialmente, l'intera carreggiata di 15 metri è stata suddivisa in sezioni da 25 cm ottenendo in tal modo 60 classi. Studiando separatamente le due corsie Nord e Sud, sono state calcolate la media e la deviazione standard della posizione ed è stato conteggiato il numero dei veicoli presenti in ogni classe (frequenza assoluta della popolazione). Sono state calcolate inoltre, la percentuale della frequenza assoluta, la frequenza cumulata e la percentuale di frequenza cumulata. È stata determinata anche la distribuzione Normale teorica tramite la media delle classi di distanza.

Nella Tabella 7 si riportano in parte i valori per le suddette variabili della corsia Nord.

Tabella 7: Parametri per l'analisi statistica sulla posizione trasversale (Corsia Nord, S03nA)

Numerosità popolazione [-]	90	**Distanza Media Popolazione [m]**		3,36	**Deviazione Standard Distanza Popolazione [m]**		0,84
Classe Distanza D [m]	**Media D [m]**	**Frequenza Assoluta [-]**	**Freq. Assoluta [%]**	**Freq. Ass. Cumulata [-]**	**Freq. Ass. Cumulata [%]**	**Distr. Normale**	**Distr. Normale [%]**
0-0,25	0,125	0	0,000	0	0,000	0,00030532	0,0076332
0,25-0,5	0,375	0	0,000	0	0,000	0,00090986	0,0227472
0,5-0,75	0,625	0	0,000	0	0,000	0,00248345	0,0620884
0,75-1	0,875	0	0,000	0	0,000	0,00620867	0,1552218
1-1,25	1,125	0	0,000	0	0,000	0,01421675	0,3554302
1,25-1,5	1,375	0	0,000	0	0,000	0,02981681	0,7454444
1,5-1,75	1,625	1	0,011	1	0,011	0,05727717	1,4319754
1,75-2	1,875	1	0,011	2	0,022	0,10077697	2,5195055
2-2,25	2,125	3	0,033	5	0,056	0,16240539	4,0602658
2,25-2,5	2,375	9	0,100	14	0,156	0,23971709	5,9931209
2,5-2,75	2,625	12	0,133	26	0,289	0,32408355	8,1023502
2,75-3	2,875	7	0,078	33	0,367	0,40130482	10,032944
3-3,25	3,125	8	0,089	41	0,456	0,45514647	11,379029
3,25-3,5	3,375	13	0,144	54	0,600	0,47281081	11,820652
3,5-3,75	3,625	10	0,111	64	0,711	0,44986586	11,247009
3,75-4	3,875	5	0,056	69	0,767	0,39204695	9,8014902
4-4,25	4,125	9	0,100	78	0,867	0,31293385	7,8235989
4,25-4,5	4,375	4	0,044	82	0,911	0,22878441	5,7197948
4,5-4,75	4,625	4	0,044	86	0,956	0,15320033	3,8301319
4,75-5	4,875	2	0,022	88	0,978	0,09396203	2,3491267
5-5,25	5,125	0	0,000	88	0,978	0,05278427	1,3196494
5,25-5,5	5,375	1	0,011	89	0,989	0,02715914	0,6790005
5,5-5,75	5,625	0	0,000	89	0,989	0,01279932	0,3199934
5,75-6	5,875	0	0,000	89	0,989	0,0055248	0,138125
6-6,25	6,125	0	0,000	89	0,989	0,0021843	0,054609
6,25-6,5	6,375	0	0,000	89	0,989	0,0007910	0,019775
6,5-6,75	6,625	1	0,011	90	1,000	0,0002623	0,006559
…	…	…	…	…	…	…	…
…	…	…	…	…	…	…	…
14,25-14,5	14,375	0	0,000	90	1,000	4,3964E-38	1,099E-36
14,5-14,75	14,625	0	0,000	90	1,000	8,7763E-40	2,194E-38
14,75-15	14,875	0	0,000	90	1,000	1,6046E-41	4,012E-40

In seguito si sono determinati i valori per le medesime variabili della corsia Sud riportati parzialmente nella Tabella 8.

Tabella 8: Parametri per l'analisi statistica sulla posizione trasversale (Corsia Sud, S03nA)

Numerosità popolazione [-]	112	**Distanza Media Popolazione [m]**		8,86	**Deviazione Standard Distanza Popolazione [m]**		0,95
Classe Distanza D [m]	**Media D [m]**	**Frequenza Assoluta [-]**	**Freq. Assoluta [%]**	**Freq. Ass. Cumulata [-]**	**Freq. Ass. Cumulata [%]**	**Distr. Normale**	**Distr. Normale [%]**
0-0,25	0,125	0	0,000	0	0,000	1,316E-19	3,290E-18
0,25-0,5	0,375	0	0,000	0	0,000	1,458E-18	3,645E-17
0,5-0,75	0,625	0	0,000	0	0,000	1,506E-17	3,765E-16
…	…	…	…	…	…	…	…
…	…	…	…	…	…	…	…
6,75-7	6,875	0	0,000	0	0,000	0,0469672	1,174181
7-7,25	7,125	2	0,018	2	0,018	0,0789105	1,972762
7,25-7,5	7,375	1	0,009	3	0,027	0,1236331	3,090827
7,5-7,75	7,625	5	0,045	8	0,071	0,1806322	4,515804
7,75-8	7,875	10	0,089	18	0,161	0,2461024	6,152560
8-8,25	8,125	15	0,134	33	0,295	0,3126778	7,816944
8,25-8,5	8,375	12	0,107	45	0,402	0,3704576	9,261441
8,5-8,75	8,625	13	0,116	58	0,518	0,4092988	10,23247
8,75-9	8,875	12	0,107	70	0,625	0,4216991	10,54248
9-9,25	9,125	11	0,098	81	0,723	0,4051589	10,12897
9,25-9,5	9,375	9	0,080	90	0,804	0,3630015	9,075037
9,5-9,75	9,625	5	0,045	95	0,848	0,3032856	7,582140
9,75-10	9,875	2	0,018	97	0,866	0,2362955	5,907389
10-10,25	10,125	5	0,045	102	0,911	0,1716800	4,292000
10,25-10,5	10,375	2	0,018	104	0,929	0,1163173	2,907931
10,5-10,75	10,625	1	0,009	105	0,938	0,0734901	1,837253
10,75-11	10,875	3	0,027	108	0,964	0,0432986	1,082466
11-11,25	11,125	1	0,009	109	0,973	0,0237892	0,594730
11,25-11,5	11,375	2	0,018	111	0,991	0,0121884	0,304709
11,5-11,75	11,625	0	0,000	111	0,991	0,0058233	0,145584
11,75-12	11,875	1	0,009	112	1,000	0,0025945	0,064863
12-12,25	12,125	0	0,000	112	1,000	0,0010780	0,026949
12,25-12,5	12,375	0	0,000	112	1,000	0,0004176	0,010441
…	…	…	…	…	…	…	…
…	…	…	…	…	…	…	…
14,5-14,75	14,625	0	0,000	112	1,000	3,543E-09	8,858E-08
14,75-15	14,875	0	0,000	112	1,000	6,826E-10	1,706E-08

Dopo aver applicato la stessa analisi ad entrambe le corsie, sono stati rappresentati i grafici delle frequenze e della Distribuzione Normale Teorica (Figura 54).

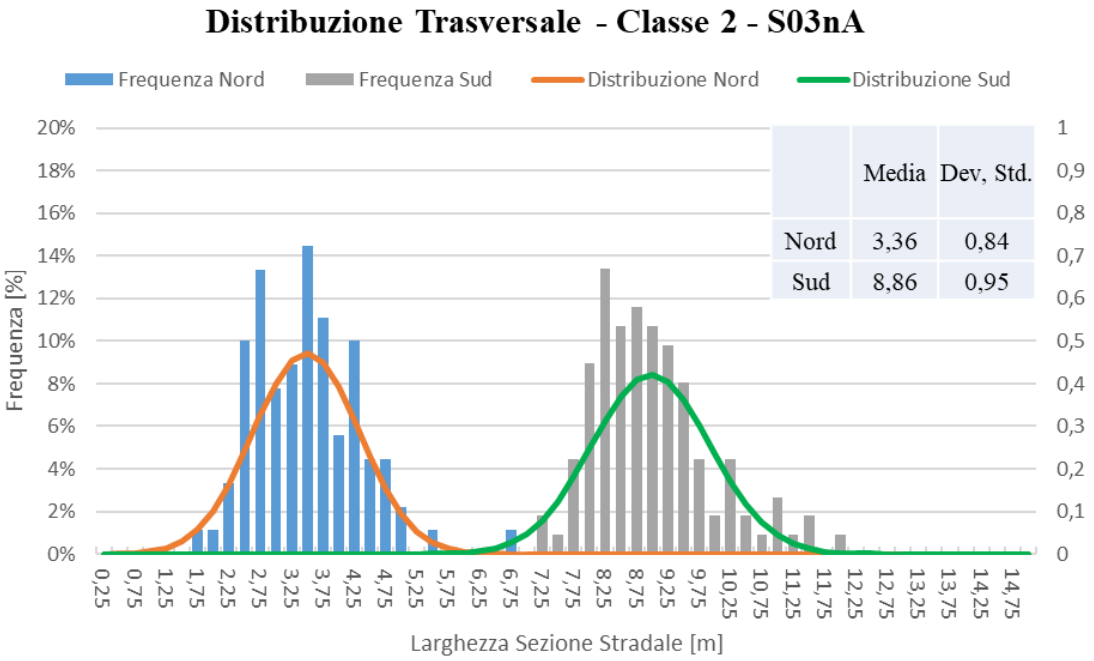


Figura 54: Rappresentazione frequenze e distribuzione Normale

Il passo successivo è stato quello di verificare se il campione possedesse una distribuzione simile a quella teorica auspicata, cioè Normale. Allo scopo di constatare se l'ipotesi statistica sia quella in esame, è stato utilizzato il test di Kolmogorov e Smirnov (KS test). Una caratteristica interessante di questo test è che esso non prevede anticipatamente la ripartizione, più o meno arbitraria, dei dati in classi di frequenza.

Per applicare il test di normalità, si calcola la massima differenza verticale $D_{n,max}$ tra la funzione di distribuzione empirica, cioè la funzione di ripartizione della numerosità n di un campione, e quella ipotizzata della quale sono noti i parametri media e varianza. Si calcola il valore limite $D_{n,lim}$ per un livello di significatività α pari al 5%:

$$D_{n,lim} = \frac{1{,}358}{\sqrt{n}} > D_{n,max} \qquad \textit{Equazione 7}$$

Se si verifica la suddetta disuguaglianza, la distribuzione statistica del campione è di tipo normale.

Nelle Figura 55 si denota come le curve cumulate delle due corsie siano adeguatamente prossime e i valori limite siano superiori rispetto a quelli calcolati. Si conclude che le distribuzioni dei veicoli facenti parte la classe due sono entrambe riconducibili a distribuzioni Gaussiane.

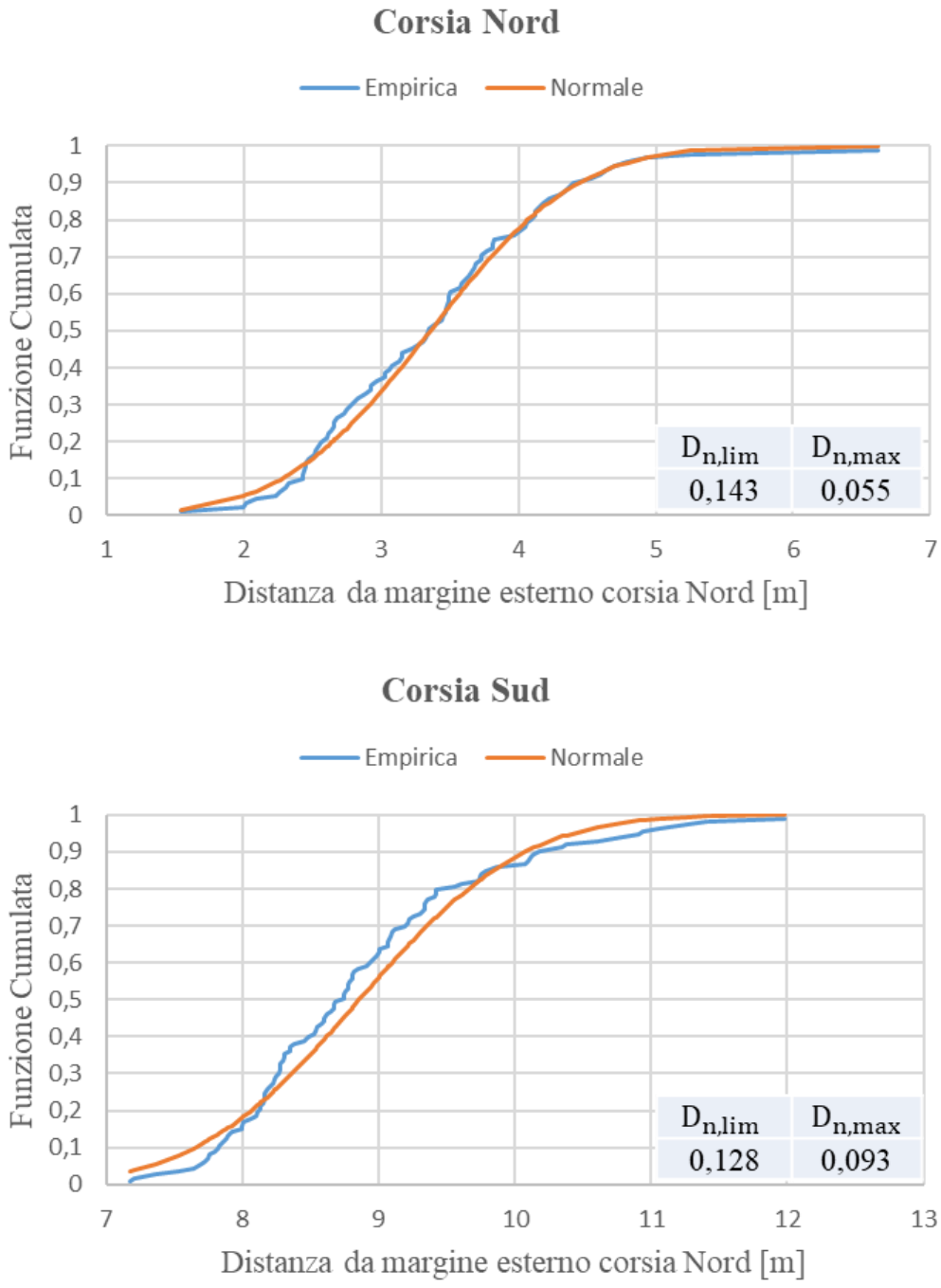


Figura 55: Test K-S per la Classe 2 del video S03nA

Tabella 9: Valori di posizione

Classe 1	S03nA		S03nB		S05nA		S05nB	
	N	S	N	S	N	S	N	S
Distanza media mar ext Nord [m]	1,98	11,02	2,40	10,97	2,80	8,26	2,91	9,90
Deviazione Stdandard [m]	1,49	1,89	1,64	1,70	2,00	0,00	0,98	2,79
Distanza media da mezzeria [m]	5,02	4,02	4,60	3,97	1,70	3,76	1,59	5,40
Classe 2	S03nA		S03nB		S05nA		S05nB	
	N	S	N	S	N	S	N	S
Distanza media mar ext Nord [m]	3,36	8,86	3,81	9,72	2,72	8,10	2,76	7,94
Deviazione Stdandard [m]	0,84	0,95	0,89	0,93	0,54	0,90	0,63	0,80
Distanza media da mezzeria [m]	3,64	1,86	3,19	2,72	1,78	3,60	1,74	3,44
Classe 3	S03nA		S03nB		S05nA		S05nB	
	N	S	N	S	N	S	N	S
Distanza media mar ext Nord [m]	3,26	9,34	4,91	10,43	3,33	8,40	3,40	7,44
Deviazione Stdandard [m]	0,51	1,23	0,00	1,38	0,89	0,66	1,07	0,78
Distanza media da mezzeria [m]	3,74	2,34	2,09	3,43	1,17	3,90	1,10	2,94

Infine, nella Tabella 9, sono stati riportati i dati calcolati per tutte le corsie dei quattro video analizzati. Le misure complete sono riportate in Allegato G.

Considerando la classe 2, si evince che per il punto di presa S05n si presentano le medesime condizioni, cioè la posizione media dei veicoli e la deviazione standard all'interno di entrambe le corsie della sede stradale sono pressoché le stesse. Per il punto di presa S03n non è valido quanto detto in precedenza, in quanto per le due corsie i valori medi sono differenti. Questo può essere attribuito sia alle diverse condizioni del traffico (filmati prodotti in diverse ore della giornata) (cioè uno dei due campioni è rappresentativo dell'intera popolazione percorrente quel tratto di strada), che alla diversa posizione del punto di presa nei due rilievi video.

Esaminando le classi 1 e 3, come affermato all'inizio del suddetto paragrafo, non è possibile effettuare considerazioni sul comportamento di queste utenze, data l'esigua numerosità del campione.

Si può dunque concludere che è ponderabile utilizzare questa metodologia per realizzare previsioni sul comportamento degli utenti stradali a patto che vi sia una grande quantità di elementi rilevati: ciò obbliga però a produrre filmati di maggiore durata.

3.3 Analisi di Sensitività

Questa analisi è effettuata su un video della durata di circa 8 s (275 fotogrammi) dove è presente il passaggio di un unico veicolo di colore bianco. La scelta di condurre questo studio su un questo video è dettata da più necessità:

- avere un tempo computazionale ridotto al fine di eseguire un adeguato numero di cicli utilizzando molti valori diversi per le variabili in gioco;
- assegnare il giusto identificativo al veicolo in esame avendo la sicurezza di non commettere errori;
- la preferenza di un veicolo bianco non è casuale ma dettata da principi analoghi ai precedenti in quanto si è notato che veicoli chiari sono più adeguatamente e facilmente identificabili da parte dello script.
- rilevare una variazione di luminosità, presente negli ultimi 30 frame, che crea una produzione casuale di blob.

Le variabili studiate sono:

- Dimensione del pixel, fase di raddrizzamento delle immagini.
- Minimo Rapporto di Sfondo (*Minimum Background Ratio, MBR)*, parametro della funzione *"object detector"*.
- Minima Area Blob (*Minimum Blob Area)* e Massima Area Blob (*Maximum Blob Area*), parametro della funzione *"object blob analyser"*.

3.3.1 Dimensione del pixel

Questa variabile si colloca nella sezione dello script volta all'analisi dei video e, in particolar modo, nell'ambito del raddrizzamento dei frame. Come osservato nel paragrafo 3.2.1, si impostano le dimensioni del pixel dell'immagine pre-raddrizzamento: se si fissa un valore di 0,02 questo indica che il pixel all'interno del fotogramma descrive 2 cm della realtà. Si attribuiscono i limiti minimi e massimi di Est e Nord acquisiti nel rilievo topografico.

La risoluzione dell'immagini post processata dipende da questi valori: se le dimensioni del pixel diminuiscono, sono necessari più pixel per comporre il

nuovofotogramma. Si può concludere che la grandezza del pixel è inversamente proporzionale alla risoluzione del frame raddrizzato.

Si è deciso di testare cinque valori diversi di questo parametro: da 0,01 a 0,05 metri con una variazione di 0,01. Per i restanti parametri, in questa fase, si sono adottati valori fissi (es. obj.detector = 0,7). In Allegato D si riportano tutti i calcoli effettuati per tale analisi.

La velocità è misurata non per la totalità della traiettoria bensì per un tratto centrale di quest'ultima. Nella parte iniziale e terminale del passaggio del veicolo, dove avviene la creazione e la dissoluzione del blob, si ha una sottostima della velocità dovuta al fatto che il centroide del blob si muove lentamente rispetto al veicolo nella realtà.

Di seguito si riporta il grafico rappresentante le traiettorie dello stesso veicolo per tutti e cinque i casi esaminati (Figura 56).

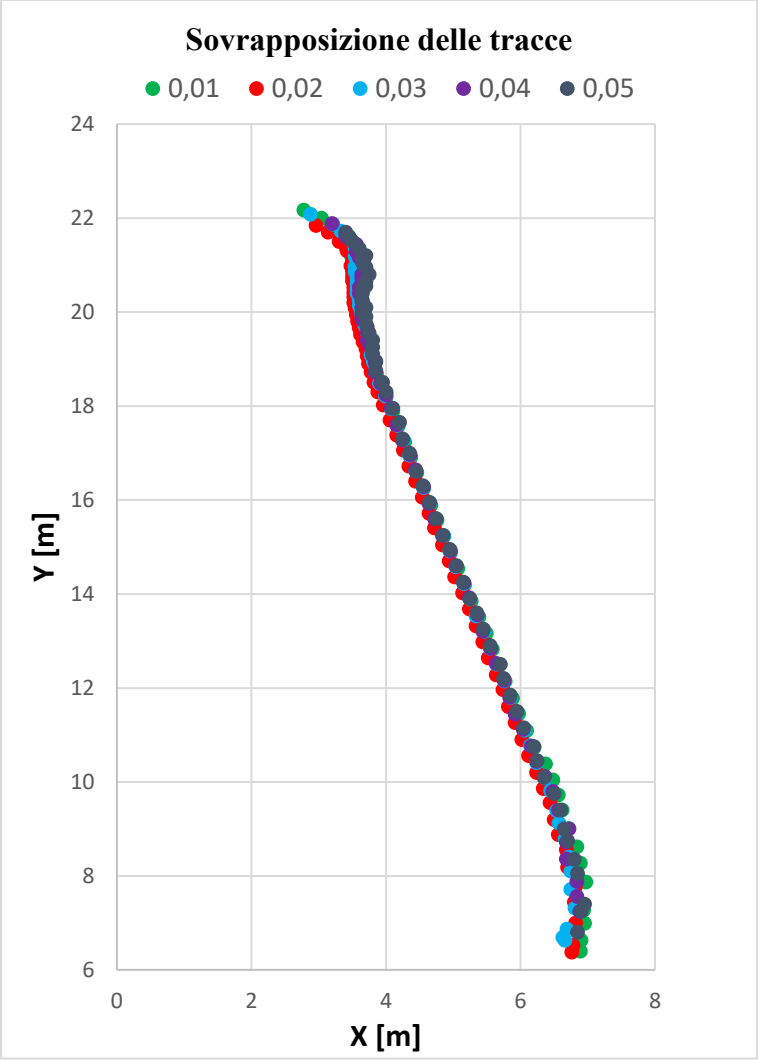


Figura 56: Sovrapposizione delle tracce per i cinque casi

Da questo grafico si evince che un valore minore della grandezza del pixel produce un andamento più dolce, soprattutto in prossimità della produzione del blob. Nella parte di interesse, ovvero dove è calcolata la velocità media del veicolo, invece, non si notano particolari difformità tra le varie traiettorie.

Per stabilire la velocità del veicolo, al fine di confrontarla con quella fornita dallo script, si è proceduto in tale modo (Figura 57):

$$V = \frac{s}{n_f * t_s} = \frac{14{,}8}{42 * \frac{1}{30}} = 10{,}57 \left[\frac{m}{s}\right] = 38{,}06 \left[\frac{km}{h}\right] \qquad \textit{Equazione 8}$$

s = distanza nota (fermata del bus);

t_s = tempo di campionamento;

n_f = numero di frame (da 202 a 244).

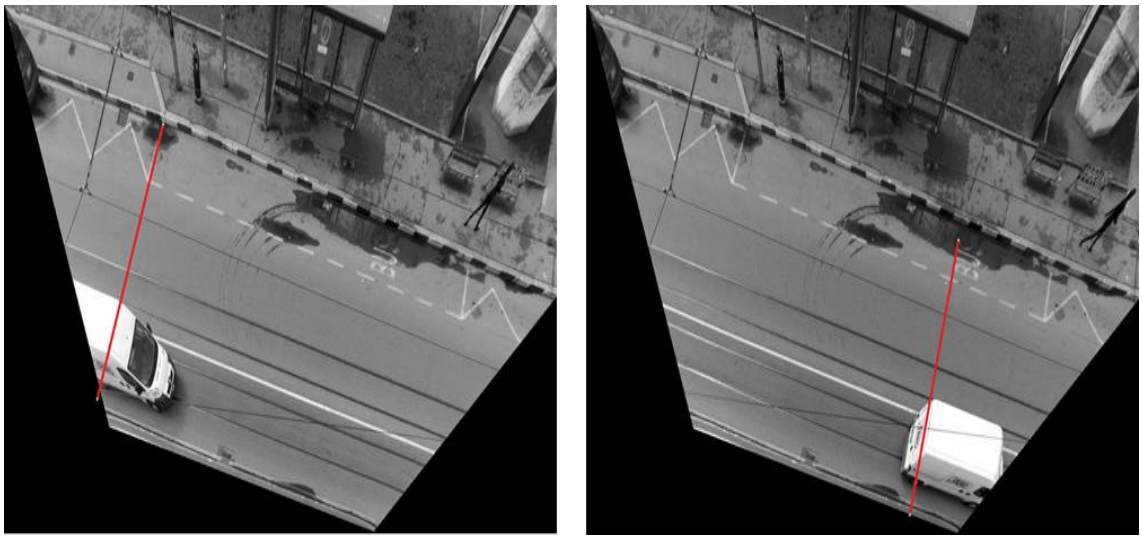


Figura 57: Frame adoperati per calcolo della velocità (a sinistra frame 202, a destra frame 244)

Dunque si riporta la Tabella 10 descrivente il valore medio e la varianza della velocità per ogni singolo caso.

Tabella 10: Valori di Velocità Media e Dev.Standard per ogni grandezza del pixel

Pixel [m]	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05
Media [km/h]	38,110	38,317	38,393	38,961	38,676
Dev. Standard [km/h]	2,43	1,78	2,55	2,97	4,43

Da questi risultati si possono desumere i seguenti esiti:

- in tutti i casi i valori della velocità sono pressoché simili a quello ricavato precedentemente;
- il caso in cui la varianza ottiene il minor valore è quello con grandezza del pixel pari a 0,02 metri.

Si è provveduto anche a diagrammare il profilo della velocità (Figura 58) del veicolo nelle 5 condizioni indicando attraverso due linee rosse il segmento nel quale è stata calcolata la velocità media.

Analizzando i profili delle velocità, nella zona di interesse si osserva una riduzione del rumore al diminuire della grandezza del pixel. Si denota anche che, oltre il dodicesimo metro, vi è un andamento del profilo maggiormente altalenante. Questo è ascrivibile non solo alla progressiva dissoluzione del blob ma anche all'improvvisa variazione di luminosità.

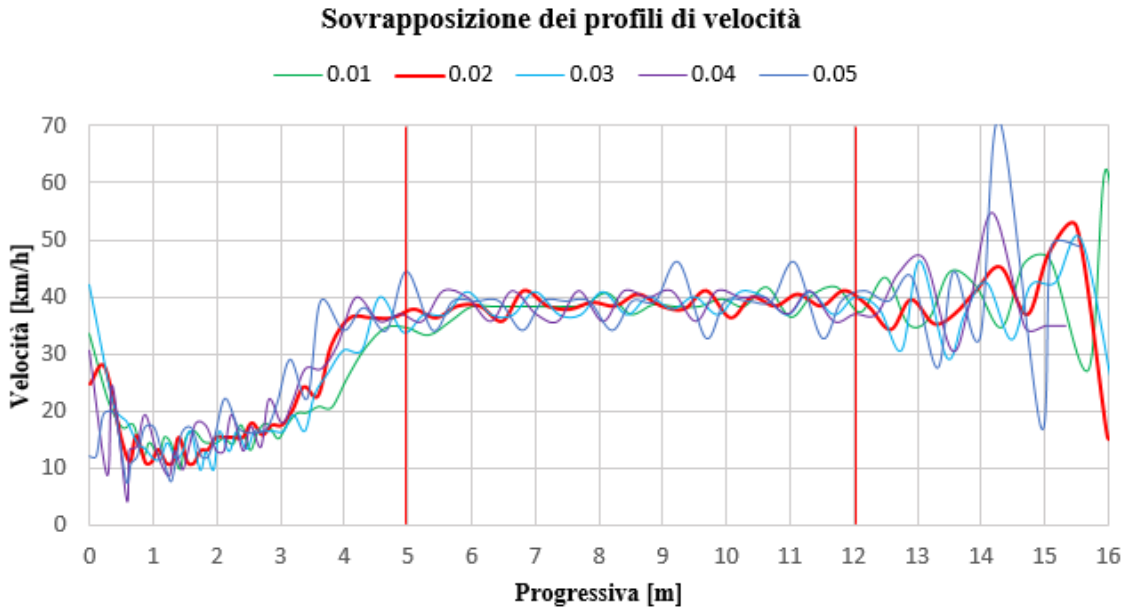


Figura 58: Sovrapposizione dei profili di velocità per i 5 casi

Una dimensione contenuta del pixel migliora i risultati ottenuti dallo script ma questo ha un costo in termini di tempo computazionale e di spazio di archiviazione (Figura 59) poiché immagini con risoluzione più alta possiedono dimensioni maggiori. Si riporta Tabella 11 descrivente tali condizioni. Il tempo calcolato e le dimensioni delle immagini sono riferite esclusivamente alla fase di raddrizzamento e bisogna ricordare

anche che la diminuzione della grandezza del pixel provoca un maggiore onere di calcolo anche della funzione *"Multi Object Tracking"*.

Tabella 11: Risoluzione e dimensione del frame, tempo computazionale (275 frame)

Dimensione Pixel [m]	Risoluzione Fotogramma [pixel]	Dimensione Fotogramma [KB]	Tempo computazionale [s]
0,01	4100	760	156
0,02	2050	288	50,8
0,03	1367	160	30,9
0,04	1025	103	23,9
0,05	820	76	22,3

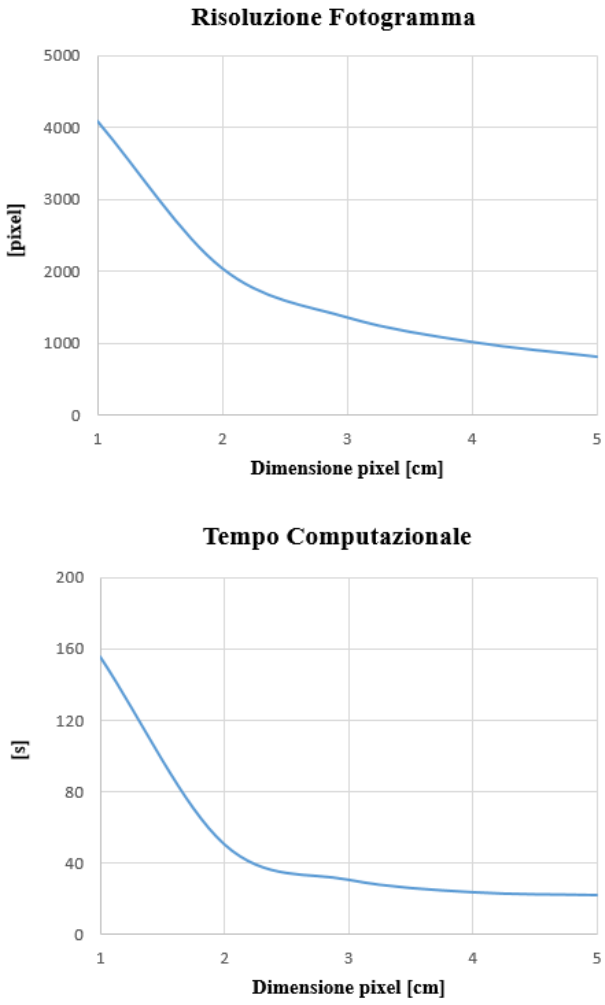


Figura 59: Andamento risoluzione e tempo computazionale variando la dimensione dl pixel

Comparando la qualità del dato con i costi, in termini di tempo computazionale e di spazio di archiviazione, si è deciso di utilizzare 2 cm per il valore della dimensione del pixel.

3.3.2 Minimo Rapporto di Sfondo

Questa variabile si colloca nella parte dello script dedicata al rilevamento degli elementi in movimento, nella funzione *"obj.detector = vision.ForegroundDetector"*. Come espresso nel paragrafo 3.2.2, il valore di questo parametro delimita la soglia per specificare il modello di sfondo: questa proprietà rappresenta il minimo delle probabilità iniziali per il pixel da considerare come valori di sfondo. In altre parole, questo parametro definisce, all'interno del video, quali pixel descrivono lo sfondo (variazione cromatica sotto soglia) e quali l'oggetto in movimento (variazione cromatica sovra soglia).

Il valore preimpostato da MATLAB è pari 0,7 ma, in questa fase, è stato variato da un minimo di 0,4 a un massimo di 0,8 con una variazione di 0,1 per le prime tre condizioni della dimensione del pixel (1, 2 e 3 cm). Abbassare il livello di soglia minimo comporta una migliore individuazione delle variazioni cromatiche e, di conseguenza, tende a creare blob più compatti aventi un baricentro maggiormente stabile. Di contro, con tale impostazione, le variazioni di luminosità producono blob non collegati ad elementi in movimento e un maggiore tempo di calcolo. Per poter valutare i risultati ottenuti variando i dati di input, si riportano, di seguito i grafici rappresentanti le traiettorie (Figura 60) e i profili delle velocità (Figura 61).

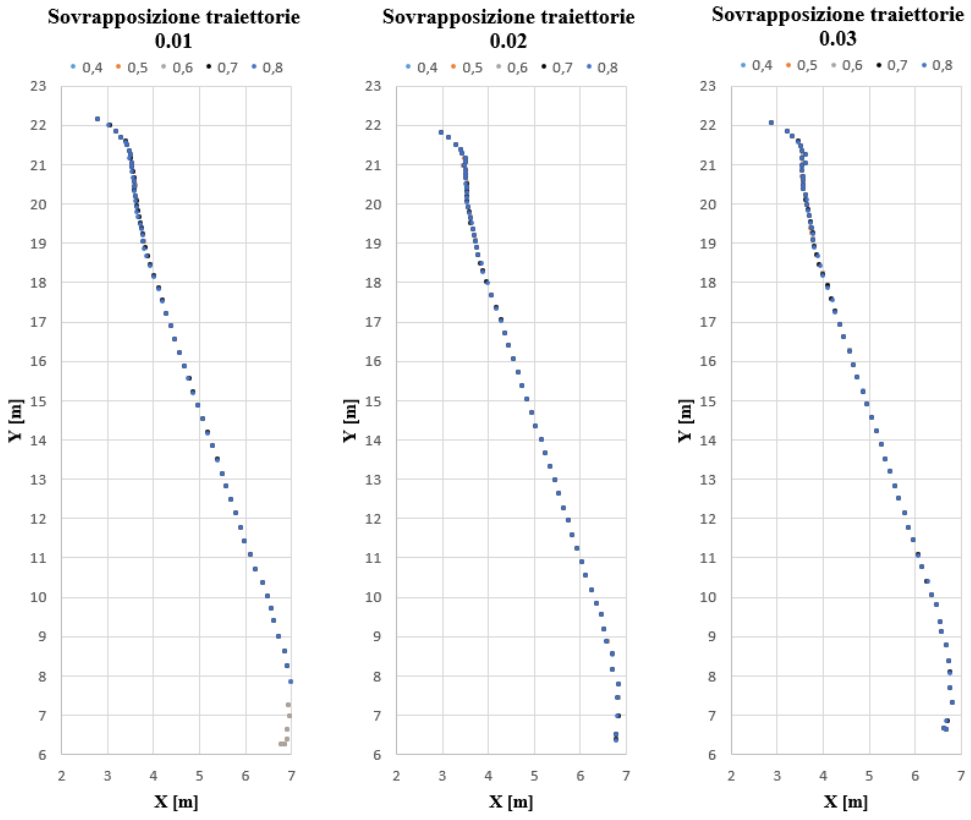


Figura 60: Tracce al variare del parametro per ogni dimensione del pixel

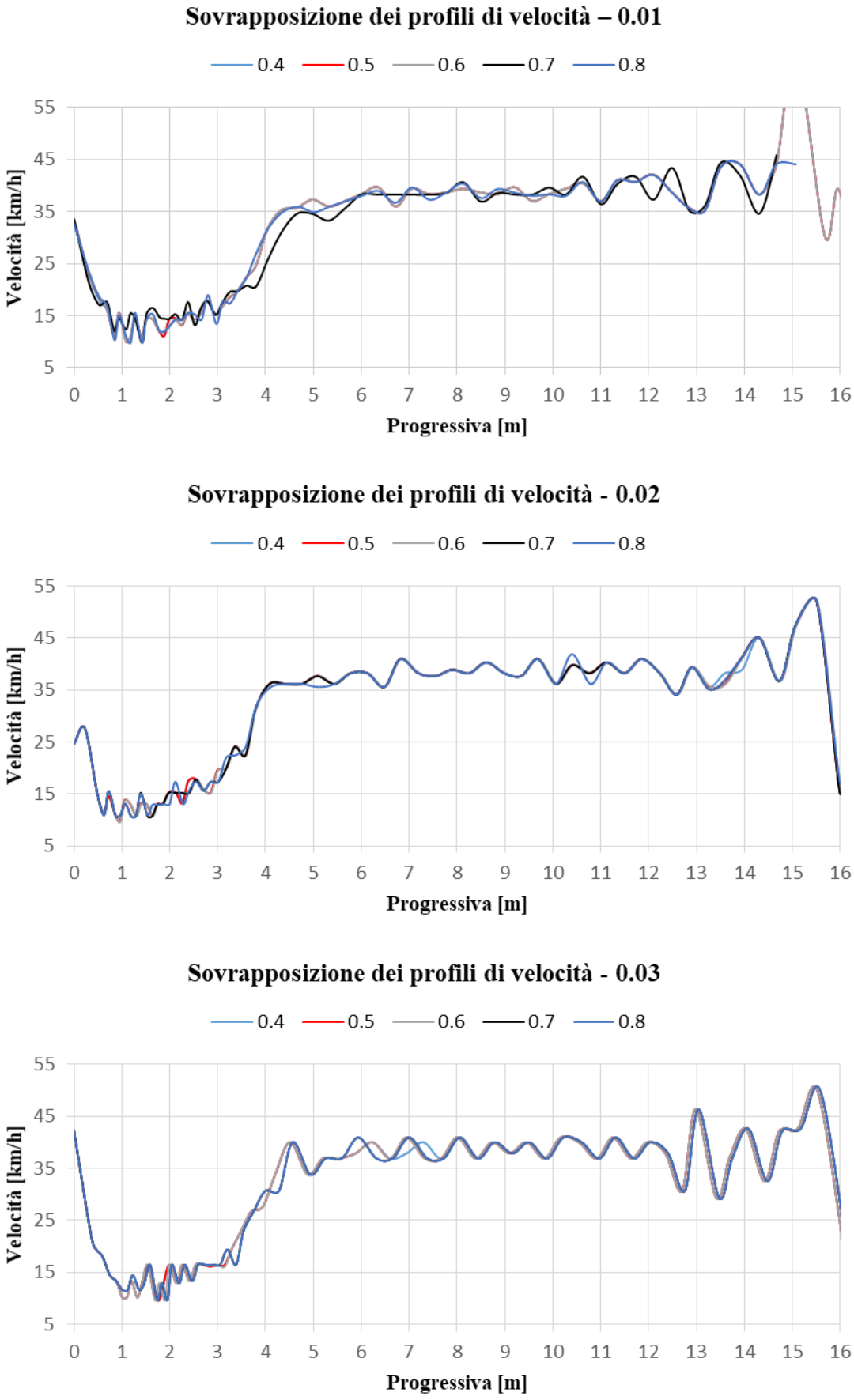


Figura 61: Profili di velocità al variare del parametro per ogni dimensione del pixel

In Tabella 12 si riportano il valore medio e la varianza della velocità.

Tabella 12:Velocità media e Dev.Standard al variare del parametro e della dimensione del pixel

Dimensione Pixel [m]	Minimum Background Ratio	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
0,01	Media [km/h]	38,383	38,383	38,383	38,110	38,259
	Dev. Standard [km/h]	1,74	1,74	1,74	2,43	1,85
0,02	Media [km/h]	38,269	38,269	38,269	38,317	38,231
	Dev. Standard [km/h]	1,78	1,78	1,78	1,78	2,03
0,03	Media [km/h]	38,400	38,396	38,396	38,393	38,226
	Dev. Standard [km/h]	2,94	2,98	2,98	3,02	3,52

I risultati ottenuti per tutte e tre le dimensioni del pixel sono pressoché uguali (In Tabella 12 si riportano il valore medio e la varianza della velocità.

Tabella 12). Al di sotto del valore soglia consigliato dal software (0,7) si ottiene un miglioramento minimo della sola varianza. Al termine di queste valutazioni, si impone il valore del parametro MBR uguale a 0,6. In Allegato E si riportano tutti i valori calcolati inerenti a questo paragrafo.

3.3.3 Minima e Massima Area Blob

Questi parametri sono parte importante dello script riguardante il rilevamento della macchia di colore. Infatti essi descrivono i limiti minimi e massimi, espressi in pixel, della dimensione dell'area del blob. La grandezza da attribuire ad entrambi i parametri è funzione della risoluzione dell'immagine poiché lo stesso veicolo avrà un'area diversa nelle tre configurazioni (1, 2 e 3 cm).

Aumentare il parametro "Minima Area Blob" consente di evitare la produzione di blob errati, come quelli dovuti a piccole riflessioni o al riconoscimento di pedoni durante la fase di analisi dei veicoli.

Medesima deduzione per il "Massima Area Blob" dove diminuendo il valore di quest'ultimo, si possono esaminare determinati elementi (pedoni o veicoli) o eliminare grandi blob generati da una variazione di luminosità globale all'interno dei successivi fotogrammi.

Di seguito, viene riportato un esempio (Figura 62) dove si mostra come poter eliminare un grande blob, generato da un grande cambiamento di luminosità, imponendo un giusto valore del "Massima Area Blob".

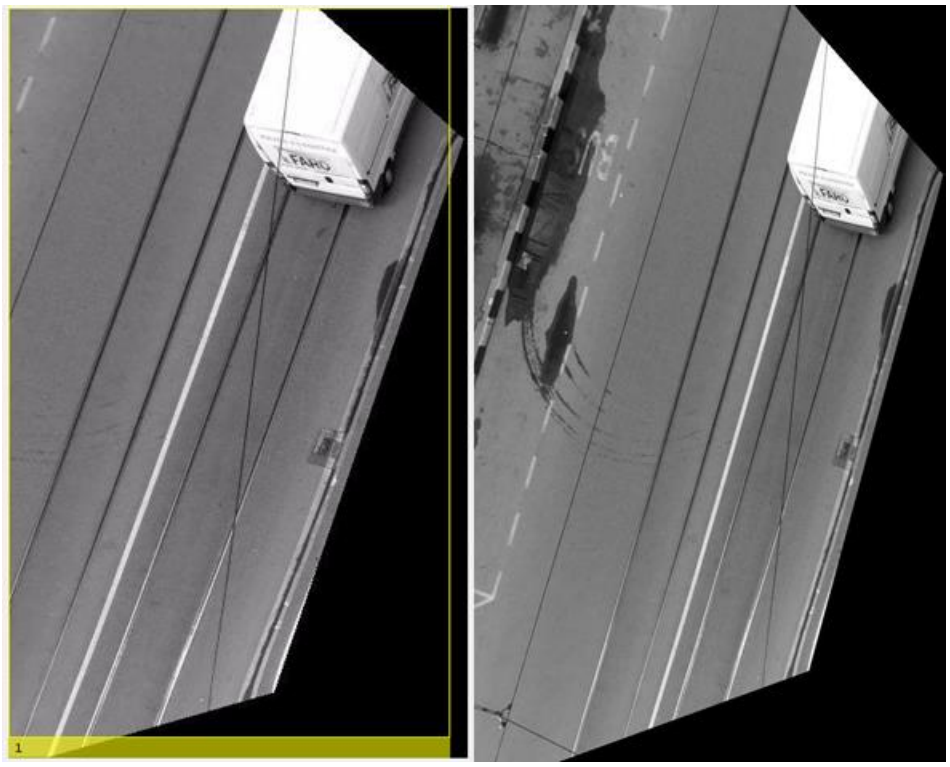


Figura 62: Fotogramma senza (sinistra) e con applicazione (destra) del "Massima Area Blob"

3.4 Bilancio tempi di elaborazione

In questo capoverso si stima il tempo necessari per portare a termine l'intero processo di acquisizione dei dati del traffico da un filmato video. Gli strumenti adoperati per questa analisi sono due computer con caratteristiche nettamente diverse, riassunte nella Tabella 13.

Tabella 13: Caratteristiche computer

Produttore	**DELL**	**ASUS**
Dimensione RAM	16 GB	8 GB
Serie del processore	Intel Core i7	Intel Core i7
Produttore del processore (CPU)	Intel	Intel
Velocità del processore	3,2 GHz	1,9 GHz
Processore Grafico	NVIDIA GeForce GTX	NVIDIA GeForce
Dimensione Hard-Drive	2 TB	700 GB
Numero di processori	6	4

Non considerando il tempo necessario per l'acquisizione del filmato, poiché dipende dalla scelta dell'utilizzatore del sistema di rilevamento, il tempo di elaborazione si può ottenere come somma della durata dei tre processi delle macro funzioni costituenti il codice. I tempi relativi all'elaborazione di più video sono riportati in Tabella 14.

Tabella 14: Tempi elaborazione della funzione Video

RILIEVO VIDEO		**Computer**	**FUNZIONE VIDEO**					
ID	**Durata**		**Estr.**	**Contr.**	**Raddr.**	**Taglio**	**Creazione**	**Totale**
[-]	[hh:mm]		[s]	[s]	[s]	[s]	[s]	[h]
S03nA	0:20	DELL	1973,6	3459,2	6616,0	1235,2	1448,0	4,1
		ASUS	3633,3	7531,8	9875,1	2653,0	2949,2	7,4
S03nB	0:15	DELL	1470,6	2577,6	4929,8	980,4	1078,9	3,1
		ASUS	2807,3	5612,2	7358,3	1976,8	2283,5	5,6
S05nA	0:15	DELL	1441,8	2527,2	5433,5	932,4	1112,8	3,2
		ASUS	2654,4	5502,6	7414,5	1938,2	2294,6	5,5
S05nB	0:15	DELL	1853,0	2746,8	4871,0	909,4	1066,0	3,2
		ASUS	2675,0	5545,2	7630,5	2085,2	2371,3	5,6
S05sA	0:15	DELL	1448,2	2538,4	5254,9	899,4	1062,5	3,1
		ASUS	2666,1	5966,9	7246,5	1946,8	2164,1	5,6
S05sB	0:15	DELL	1641,0	2525,8	4830,8	901,9	1057,2	3,0
		ASUS	2652,9	5734,5	7410,5	1937,1	2153,4	5,5

Si noti come la fase maggiormente onerosa sia quella del raddrizzamento dei fotogrammi che pesa per circa il 50% del tempo totale di questa funzione. Questo tempo è stato ridotto tramite l'utilizzo di fotogrammi in scala di grigio che possiedono solo un terzo di informazioni rispetto a quelli in RGB.

È stato riscontrato immediatamente che il Dell possiede caratteristiche migliori rispetto ad Asus: il Dell necessita di circa il 55% di tempo in meno per svolgere il processo. Per questa ragione, le due funzioni successive sono state elaborate con il solo computer Dell.

Tabella 15: Tempi elaborazione della funzione Multi Object Tracking

RILIEVO VIDEO		**FUNZIONE MULTI OBJECT TRACKING**		
ID	**Durata**	**Durata Analisi**		
[-]	[hh:mm]	[s]	[h]	[%]
S03nA	0:20	3839,4	1,067	320
S03nB	0:15	2648,7	0,736	294
S05nA	0:15	2544	0,707	283
S05nB	0:15	2718,5	0,755	302
S05sA	0:15	3234,2	0,898	359
S05sB	0:15	3181	0,884	353

Per la seconda funzione del codice si è stimato che il tempo di analisi è circa 3 volte la durata del filmato (Tabella 15). Questa durata è condizionata anche dalle caratteristiche del filmato stesso, cioè essa è direttamente proporzionale al numero di rilevamenti che il codice percepisce, dovuti sia ad elementi mobili che a variazioni repentine di luminosità.

La funzione Analisi ha una durata di circa 30 minuti poiché, durante questa fase si producono un elevato numero di output grafici, che dipende dalla quantità n di entità rilevate. I grafici prodotti in questa fase sono $5n + 7$.

Per un video della durata di quindici minuti e usufruendo di un computer Dell con le caratteristiche sopracitate, l'intero codice impiega circa quattro ore e mezzo per acquisire i dati microscopici del traffico.

4 VALIDAZIONE

Questo capitolo contiene le analisi condotte al fine di valutare i risultati ottenuti attraverso il codice di analisi delle immagini descritto nel precedente capitolo. I video scelti per lo sviluppo delle analisi che seguono, sono relativi a tre differenti punti di presa (S03n, S05n e S05s) corrispondenti a tratti in rettifilo di via Nizza (Figura 63).

Dall'analisi sono state escluse le intersezioni, in quanto contenenti aree estese con la presenza di elementi della sede lontani dai punti di presa che presentano deformazioni non trascurabili come quelle evidenziate in Figura 64.

La procedura di validazione di una metodologia serve a stabilire se le misure e la metodologia restituiscano valori comparabili con quelli misurati con una metodologia di maggiore accuratezza o, qualora nota, con la misura vera. La validazione può essere fatta su una qualunque delle grandezze oggetto di analisi.

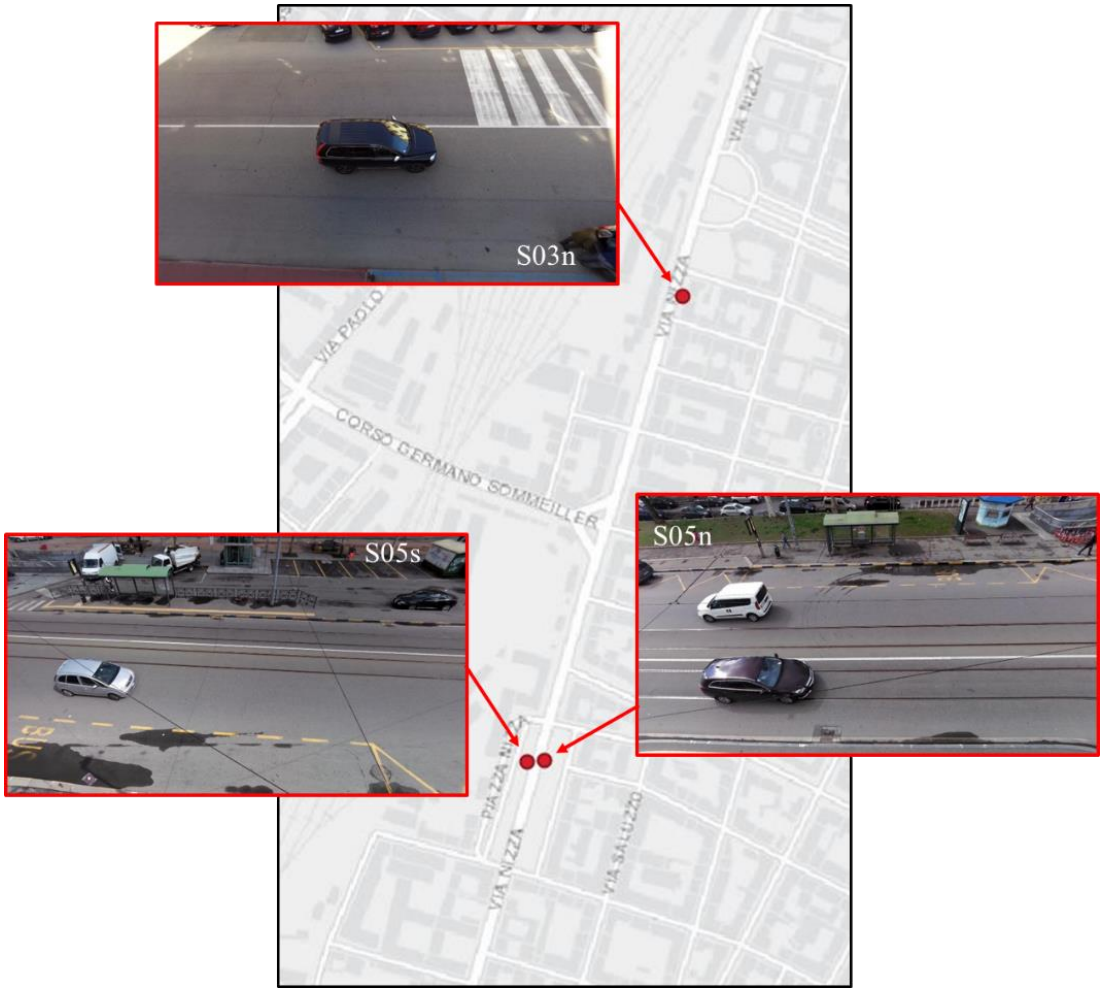


Figura 63: Punti d'interesse prescelti lungo Via Nizza

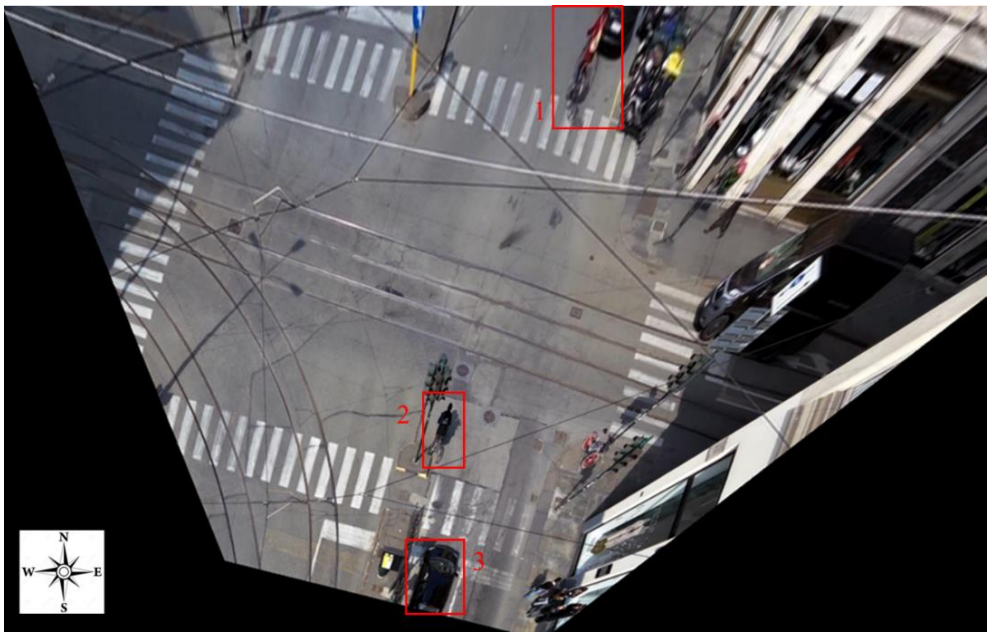


Figura 64: Intersezione I03-3

I riquadri rossi 1 e 2 di Figura 64 sono presenti due ciclisti: è evidente come le dimensioni dei due elementi, facenti parte della stessa classe di utenza, abbiano dimensioni altresì differenti. Il riquadro 3 include un'automobile con dimensione inferiore rispetto a quella dei due ciclisti nei riquadri 2 e 3. L'uso del fotogramma completo può comportare un errore nella classificazione delle utenze, dato che lo strumento sviluppato discrimina gli oggetti in base alla loro dimensione.

In una ripresa estesa si osservano ampie variazioni di area del singolo oggetto in funzione della traiettoria compiuta. Per traiettorie N-S o S-N, si ha il massimo mutamento dell'area del blob: se il veicolo del riquadro 3 procedesse in direzione Nord, si presenterebbe un accrescimento delle proprie dimensioni, allontanandosi dal centro di presa. Nel verso opposto, ne risulterebbe una diminuzione. Le stesse considerazioni valgono per entità in svolta. Le uniche direzioni che lasciano costanti le dimensioni sono la Ovest-Est e la Est-Ovest.

Per ovviare a questi problemi, le direzioni di spostamento delle entità dei video scelti sono parallele al piano di presa, con dimensioni degli oggetti che non cambiano sostanzialmente in base alla distanza dalla videocamera.

4.1 Raddrizzamento dei fotogrammi

Come già descritto nel paragrafo 3.2.1, il raddrizzamento modifica le immagini eliminando gli errori prospettici. Questa procedura si basa sulla determinazione degli otto coefficienti delle equazioni di omografia che relazionano la posizione di un elemento nella realtà con quella dello stesso in una immagine

Per la validazione di questa fase, è stato impiegato il software open-source RDF, sviluppato dal Laboratorio di Fotogrammetria CIRCE dell'Università IUAV di Venezia di comprovata precisione e accuratezza.

Il protocollo applicato ha previsto di calcolare i coefficienti, o parametri di raddrizzamento precedentemente menzionati, sia con lo script che con il software RDF per verificare eventuali discordanze nei risultati. Questo protocollo è applicato ai filmati di tutti e tre i punti di presa in esame (S03n, S05n e S05s).

Per entrambi i codici vi è stata la necessità di conoscere le coordinate, immagine e oggetto, di almeno quattro punti, e conoscere le coordinate cartografiche dei quattro angoli del fotogramma. In Tabella 16 sono riportate tutte le caratteristiche sopracitate mentre, nella Tabella 17, i parametri di raddrizzamento (coefficienti di *Equazione 1* e *Equazione 2*, paragrafo 3.2) calcolati mediante il software RDF e lo Script Nizza.

Tabella 16: Dati di input per il raddrizzamento

ID punto di presa	Coordinate Immagine		Coordinate Oggetto		Limiti nel Mondo	
	X [pixel]	Y [pixel]	Est [m]	Nord [m]	Est [m]	Nord [m]
S05n	404	386	35,576	43,671	10	29
	678	384	37,077	48,388	51	70
	1645	359	41,452	63,722		
	764	983	47,403	48,443		
S05s	1525	883	35,576	43,671	32	30
	1050	837	37,077	48,388	72	70
	200	810	39,351	57,827		
	1290	340	46,212	40,991		
S03n	328	127	76,148	27,705	10	29
	1583	190	82,773	46,084	51	70
	847	1080	91,325	33,205		
	122	460	83,058	26,221		

Tabella 17: Parametri di Raddrizzamento calcolati con il software RDF e con lo Script Nizza

Parametri di Raddrizzamento			
Coefficienti	**S05n**	**S05s**	**S03n**
a_1	0,019506	-0,00567	0,005914
a_2	0,15892	0,082969	0,140087
a_3	5,064676	85,2116	69,86951
b_1	0,045847	-0,03902	0,018883
b_2	0,121196	0,182264	0,041799
b_3	25,88781	82,48256	21,0972
c_1	0,000205	8,47E-05	1,33E-05
c_2	0,002604	0,003491	0,001357

Successivamente sono stati rappresentati i fotogrammi raddrizzati con entrambi gli strumenti (Figura 65 per S05n, Figura 66 per S05s, Figura 67 per S03n). La scelta della scala di grigi è stata attuata solo per ridurre il tempo computazionale della fase di raddrizzamento e non ha inficiato la qualità dello stesso.

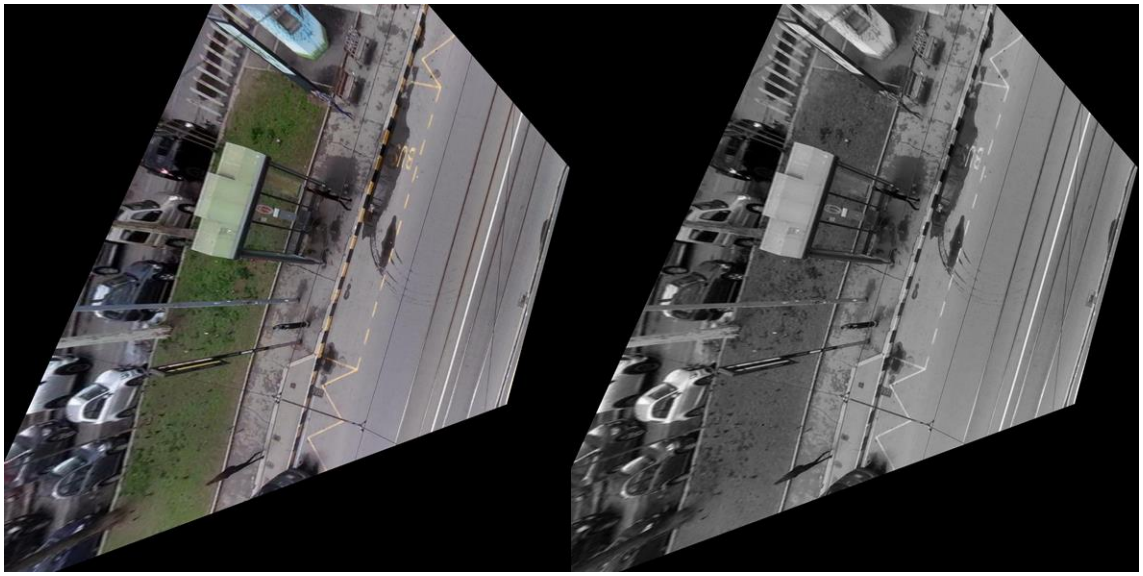


Figura 65: Fotogramma di S05n raddrizzato con RDF (sinistra) e con lo Script Nizza (destra)

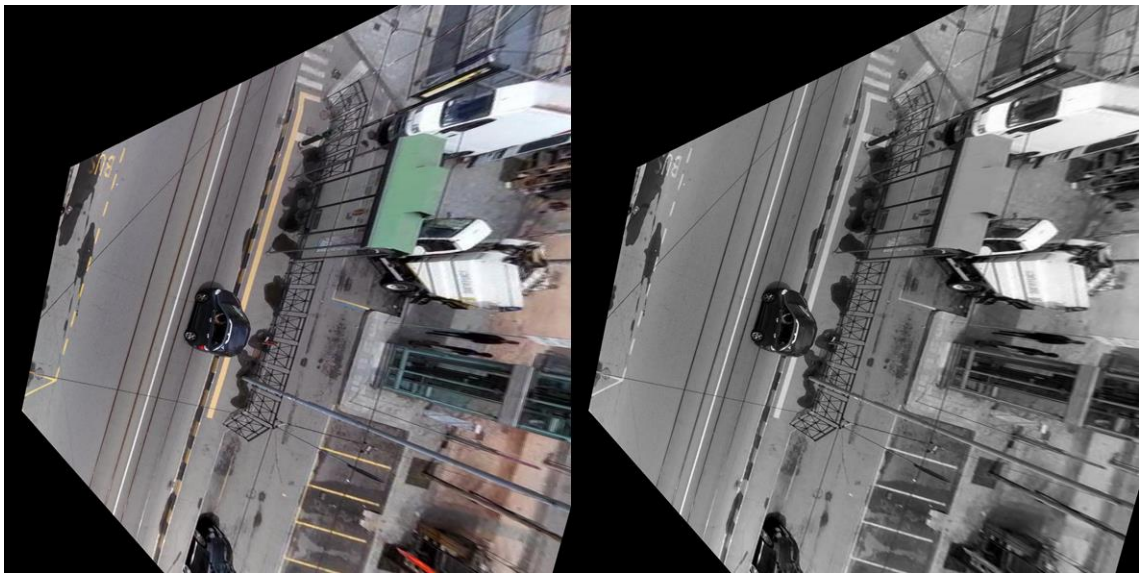


Figura 66: Fotogramma di S05s raddrizzato con RDF (sinistra) e con lo Script Nizza (destra)

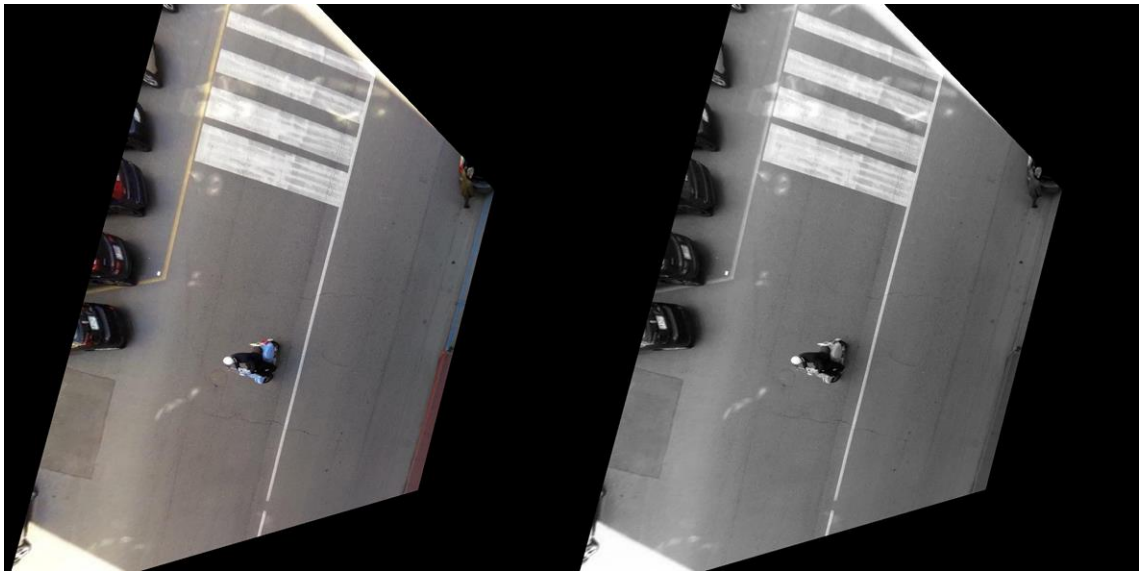


Figura 67: Fotogramma di S03n raddrizzato con RDF (sinistra) e con lo Script Nizza (destra)

4.2 Identificazione e classificazione delle utenze

In questo paragrafo è stata esaminata la risposta dello script in termini di identificazione e classificazione degli oggetti in movimento all'interno della ripresa video. Il protocollo di questa validazione ha confrontato i risultati ottenuti manualmente, visualizzando il filmato, e quelli restituiti dallo Script Nizza.

VALIDAZIONE

Inizialmente è stata applicata la procedura manuale durante la quale sono stati visionati i filmati conteggiando il numero di entità mobili. Esse sono state classificate in tre diverse classi dove all'interno di ognuna è presente:

- Classe 1: pedoni, velocipedi e motocicli.
- Classe 2: automobili e piccoli veicoli commerciali.
- Classe 3: grandi veicoli commerciali e veicoli pesanti.

In seguito, utilizzando il codice, sono state ricavate la numerosità degli utenti identificati e la frequenza di appartenenza ad ogni singola classe. All'interno della funzione Analisi e stato applicato un filtro che identifica solo tracce ben definite e continue, eliminando false traiettorie generate da grandi variazioni di luce o da sovrapposizione di entità contigue. Di contro, questo filtro potrebbe rimuove alcune traiettorie di elementi reali causando un riconoscimento solo parziale degli utenti visibili nel filmato. Infine ogni utente è stato collocato nella relativa classe di appartenenza.

Per questa validazione, sono stati scelti i punti di presa S03n e S05n dove per entrambi sono stati analizzati i filmati acquisiti (A e B). Questa scelta è stata effettuata per valutare la possibilità di usufruire degli stessi intervalli di classificazione per due filmati attinenti allo stesso punto di presa.

Applicando il protocollo a S03n, sono stati ricavati i risultati riportati in Tabella 18 per il video A, in Tabella 19 per il B con medesimi parametri di classificazione di A e in Tabella 20 per il B con apposita calibrazione dei parametri. Le tabelle presentano la medesima struttura:

- in "Misura visiva" si riportano il conteggio totale e la frequenza delle classi degli utenti identificati visivamente;
- in "Misura automatica" si riportano il conteggio totale e la frequenza delle classi degli utenti identificati mediante il codice;
- in "Variazioni" sono indicate le percentuali degli utenti misurati in modo automatico rispetto a quelli catturati in modo visivo
- nell'ultima riga si riportano gli errori riscontrati nella classificazione mediante codice.

Dalla Tabella 18 si nota come il codice abbia ottenuto un'identificazione degli elementi mobili pari al 70% di quelli visibili nel filmato. In termini di classificazione

invece, lo script ha presentato classi con la stessa numerosità di quelle osservate (variazioni inferiori all'1%). Valutando gli errori, risulta che solo il 4,58%, sul totale di 262 oggetti, è stato classificato in modo non corretto.

Tabella 18: Rilievo video S03nA

Punto di presa S03n	Video A				
	Misura visiva		Misura automatica		Variazioni
	n		n		%
Totale	371		262		**70,62**
Classe	n	%	n	%	%
1	51	13,75	34	12,98	**-0,77**
2	293	78,98	209	79,77	**0,80**
3	27	7,28	19	7,25	**-0,03**
Errori nella classificazione			n	%	
			12	**4,58**	

I risultati del filmato S03nB sono stati riportati in Tabella 19. Mediante il codice, il numero si è attestato a 269 oggetti, cioè l'81,27% dei reali. Poiché gli intervalli di classificazione sono stati mantenuti uguali al precedente video e non aggiornati mediante il processo descritto nel paragrafo 3.2.3, sono state riscontrate delle variazioni sia in termini di frequenza delle classi, sia di errori nella classificazione (10,78%).

Tabella 19: Rilievo video S03nB, con limiti di classificazione uguali ad S03nA

Punto di presa S03n	Video B				
	Misura visiva		Misura automatica		Variazioni
	n		n		%
Totale	331		269		**81,27**
Classe	n	%	n	%	%
1	31	9,37	48	17,84	**8,48**
2	277	83,69	216	80,30	**-3,39**
3	23	6,95	5	1,86	**-5,09**
Errori nella classificazione			n	%	
			29	**10,78**	

La Tabella 20 mostra come, impostando i limiti secondo metodologia, è stata valutata una variazione della frequenza delle classi nettamente inferiore al caso precedente e un errore del solo 4,83%.

Tabella 20: Rilievo video S03nB, con limiti di classificazione reimpostati

Punto di presa S03n	Video B				
	Misura visiva		Misura automatica		Variazioni
	n		n		%
Totale	331		269		**81,27**
Classe	n	%	n	%	%
1	31	9,37	27	10,04	**0,67**
2	277	83,69	226	84,01	**0,33**
3	23	6,95	16	5,95	**-1,00**
Errori nella classificazione			n	%	
			13	**4,83**	

I risultati per S05n invece sono stati posti in Tabella 21 per il video A, Tabella 22 e Tabella 23 per il video B esaminato nei differenti casi.

Dalla Tabella 21 si evince che, applicando il codice, sono state rilevate l'82,90% delle utenze reali. La frequenza delle classi è stata adeguatamente calcolata, poiché le variazioni sono inferiori all'1%. Gli errori nella classificazione risultano 10, quindi solo il 4,48% del totale.

Tabella 21: Rilievo video S05nA

Punto di presa S03n	Video B				
	Misura visiva		Misura automatica		Variazioni
	n		n		%
Totale	269		223		**82,90**
Classe	n	%	n	%	%
1	21	7,81	16	7,17	**-0,63**
2	232	86,25	193	86,55	**0,30**
3	16	5,95	14	6,28	**0,33**
Errori nella classificazione			n	%	
			10	**4,48**	

In Tabella 22 (video S05nB), il codice ha individuato il 66,57% delle utenze presenti nel video. Sia i dati sulla frequenza delle classi (oltre 7% per le prime due) che quelli sulla categorizzazione (oltre il 15%) risultano poco pertinenti.

Tabella 22: Rilievo video S05nB, con limiti di classificazione uguali ad S05nA

Punto di presa S03n	Video B				
	Misura visiva		Misura automatica		Variazioni
	n		n		%
Totale	356		237		**66,57**
Classe	n	%	n	%	%
1	32	8,99	39	16,46	**7,47**
2	301	84,55	179	75,53	**-9,02**
3	23	6,46	19	8,02	**1,56**
Errori nella classificazione			n	%	
			37	**15,61**	

Ricalcolando la frequenza delle categorie con i valori reimpostati (Tabella 23), si evince un miglioramento delle frequenze ma una presenza, ad ogni modo elevata, degli errori di classificazione (14,35%).

Tabella 23: Rilievo video S05nB, con limiti di classificazione reimpostati

Punto di presa S03n	Video B				
	Misura visiva		Misura automatica		Variazioni
	n		n		%
Totale	356		237		**66,57**
Classe	n	%	n	%	%
1	32	8,99	27	11,39	**2,40**
2	301	84,55	195	82,28	**-2,27**
3	23	6,46	15	6,33	**-0,13**
Errori nella classificazione			n	%	
			34	**14,35**	

Questi dati, peggiori rispetto a quelli antecedenti, sono ascrivibili a un rilievo influenzato dalle non favorevoli condizioni atmosferiche. Durante il filmato, si è potuta constatare la presenza di luce diretta (Figura 68) e di variazioni luminose che provocavano un cambiamento eccessivo dell'area del blob a causa della inclusione nei blob di parte o di tutta l'ombra a terra dei veicoli intercettati.

Figura 68: Presenza di luce diretta che causa ombre dannose all'analisi

Sempre dal video si nota la presenza di coda, generata da un semaforo posto oltre l'inquadratura della camera, che provoca dei malfunzionamenti nel codice. Ad esempio, se un veicolo si ferma per più frame e poi riparte, lo script associa due identificativi diversi e quindi calcola traiettorie sbagliate.

Si può concludere che, a meno di rilievi prodotti in condizioni non ottimali, lo script fornisce un rilevamento di almeno il 70% degli elementi realmente presenti nei video sui quali si può estendere lo studio sia per calcolare le velocità, che la disposizione trasversale all'interno della sezione stradale.

Bisogna sottolineare che, se per ogni video i limiti sulle aree sono impostati in modo adeguato, lo script genera delle frequenze sulle classi che sono pressoché identiche con quelle reali (differenze minori del 2,5%).

Ricordando lo scopo finale di questo strumento, cioè quello di caratterizzare il comportamento delle utenze al variare delle geometrie dell'infrastruttura, questi risultati si ritengono comunque soddisfacenti.

4.3 Calcolo della velocità operativa

In questo paragrafo è stata verificata l'attendibilità dei valori di velocità estrapolati dallo strumento informatico, confrontandoli con quelli calcolati mediante una metodologia differente. Bisogna sottolineare che questa validazione utilizza gli stessi fotogrammi adoperati dal codice e non fruisce di strumenti differenti per il calcolo della velocità operativa. La differenza tra i due approcci risiede nella scelta del punto che è stato tracciato: il software traccia la posizione del centroide del blob, il quale possiede un'area non costante nel tempo, mentre il protocollo di validazione utilizza le coordinate di un punto noto sull'immagine.

Lo Script Nizza fornisce i dati di velocità operativa e la relativa deviazione standard per ogni elemento in movimento. Il software, come meglio descritto nel paragrafo 3.2.3, quantifica la velocità puntuale del blob come differenza di posizione (in pixel) dei centri di massa del blob in due fotogrammi consecutivi moltiplicata, per un coefficiente. Tale coefficiente è calcolato a partire dalla grandezza del pixel (0,02 m), dal tempo di campionamento dei fotogrammi [1/30 s] e dal valore 3,6 che permette la conversione da [m/s] a [km/h].

In seguito, si è determinato il profilo totale di velocità (VT) dell'elemento in movimento: per misurare la velocità utile si considera però, solo la parte del profilo in cui il blob possedeva un'area costante, cioè dove la variazione di area era inferiore ad un valore soglia. Quindi è stato costruito il profilo di velocità utile (VU) e, per limare eventuali picchi non desiderati, è stata calcolata la mediana e la deviazione standard su quest'ultime quantità consentendo di applicare un filtro: infatti, sono state escluse tutte le VU fuori l'intervallo limite [mediana (VU) – 2 dev.std.; mediana (VU) + 2 dev.std.]. Infine ad ogni blob è stata associata la velocità operativa misurata come la media delle VU dopo l'applicazione del filtro.

La metodologia, costruita per la validazione, ha lo scopo di distinguere, all'interno di due fotogrammi differenti, le coordinate pixel di uno stesso punto noto dell'oggetto (Figura 69): si è scelto, per i velocipedi e i veicoli a motore, il mozzo della ruota anteriore visibile nel filmato, mentre i piedi per i pedoni. La scelta di questi punti è stata dettata dalla piccola distanza che intercorre tra essi e il piano stradale: infatti, a causa del raddrizzamento fotografico, maggiore è la distanza del punto dell'oggetto dal piano di

riferimento (piano stradale), maggiore è la distorsione prospettica che i punti potrebbero subire.

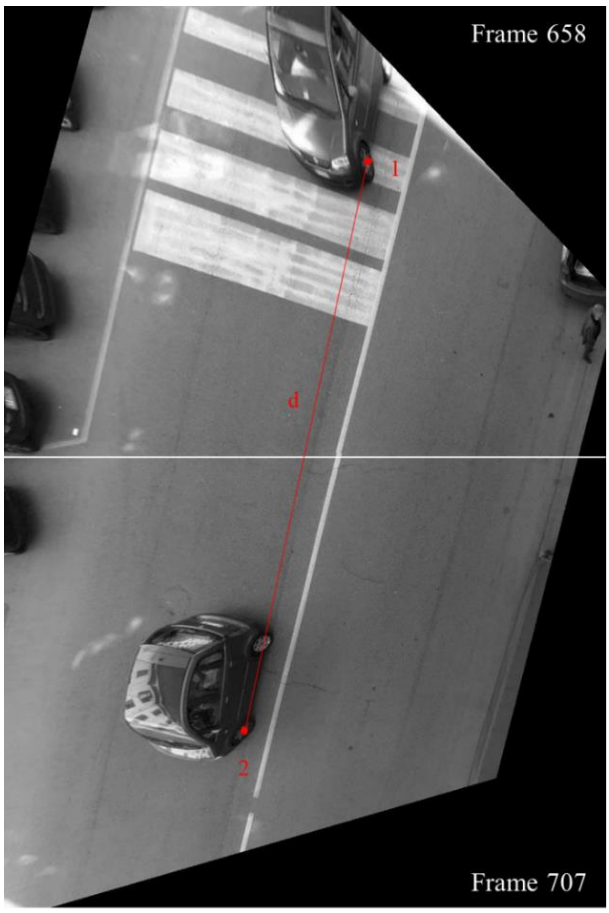


Figura 69: Distanza d del mozzo della ruota anteriore dello stesso veicolo in due frame diversi

Si è misurata la distanza d come differenza tra le coordinate pixel del punto 1 e del punto 2 e moltiplicata per la dimensione del pixel d_{pixel} (Equazione 9): la differenza di questo approccio con quello operato dallo script è che le coordinate del punto scelto non dipendono dal cambiamento di dimensione dell'area del veicolo.

$$d\ [m] = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} * \ d_{pixel} \qquad \textbf{Equazione 9}$$

Successivamente è stato ricavato il tempo t come differenza tra i frame moltiplicati per il tempo di campionamento t_s dei medesimi (1/30 secondi), secondo l'equazione 10:

$$t\ [s] = \ \Delta_{frame} * \ t_s \qquad \textbf{Equazione 10}$$

Ipotizzando che il veicolo si muova di moto rettilineo uniforme, è stata calcolatala velocità operativa con l'equazione 10, dove il coefficiente 3,6 converte i [m/s] in [km/h]:

$$V\ \left[\frac{km}{h}\right] = \frac{d\ [m]}{t\ [s]} * 3{,}6 \qquad \textbf{Equazione 11}$$

In Tabella 24 si riporta, come esempio, l'operazione realizzata per il caso visualizzato in Figura 69:

Tabella 24: Esempio di calcolo della velocità operativa con diversa metodologia

x_1	y_1	x_2	y_2	d	F_1	F_2	d_{pixel}	Δ_{Frame}	t_s	t	coeff.	V
[px]	[px]	[px]	[px]	[px]	[-]	[-]	[m]	[-]	[sec]	[sec]	[-]	[km/h]
545	234	359	1088	874,02	658	707	0,02	49	1/30	1,63	3,6	38,53

Per questo protocollo sono stati in esame i quattro filmati adoperati nella precedente validazione, cioè S03n (A e B) e S05n (A e B). Questo processo è stato applicato al 15% degli elementi individuati in ogni video, per un totale di 150.

Il primo passo effettuato è stato quello di comprendere se il campione di utenti, estrapolato in modo casuale, possedeva le medesime caratteristiche della popolazione presente nel video. A tal fine, sono state eseguite, su ogni campione, il test *F* e, in funzione al risultato del predetto test, il test *T* a uguale o diversa varianza.

Il test *F* ha lo scopo di verificare l'ipotesi che due campioni, che presentano entrambi distribuzioni normali, abbiano la stessa varianza. Il test *T*, invece, è un test statistico di tipo parametrico finalizzato a dimostrare se il valore medio di una distribuzione si discosta in modo significativo da un certo valore di riferimento.

Dalla Tabella 25, applicando il test *F*, si è osservato che la varianza del campione è differente da quella della popolazione, poiché $F > F_{critico}$. Quindi si è somministrato il test *T* a varianze diverse dal quale risulta che il campione è rappresentante la popolazione ($Stat\ T < T_{critico}$).

Tabella 25: Test F e test T applicati al campione estratto da S03nA

	S03nA	Popolazione	Campione
	Media	41,31	43,39
	Varianza	143,37	147,79
	Osservazioni	262	40
Test *F*	Gradi di libertà	261	39
	F	0,9701	
	P (F<=f)	0,4266	
	F critico	0,6916	
Test *T* a varianze diverse	Gradi di libertà	51	
	Stat T	1,0116	
	P(T<=t)	0,3165	
	T critico	2,0076	

Dalla Tabella 26, tramite il test *F*, è risultato anche in questo caso, che la varianza del campione è differente da quella della popolazione, poiché $F > F_{critico}$. Quindi si è applicato il test *T* a varianze diverse dal quale risulta che il campione rappresenta la popolazione ($Stat\ T < T_{critico}$).

Tabella 26: Test F e test T applicati al campione estratto da S03nB

	S03nB	**Popolazione**	**Campione**
	Media	45,95	44,39
	Varianza	137,39	152,27
	Osservazioni	269	40
Test *F*	Gradi di libertà	268	39
	F	0,9023	
	P(F<=f)	0,3124	
	F critico	0,6922	
Test *T* a varianze diverse	Gradi di libertà	50	
	Stat T	0,7471	
	P (T<=t)	0,4585	
	T critico	2,0086	

Dalla Tabella 27 risulta che $F < F_{critico}$ (la varianza è assimilabile ad una pari a 121,09) e $Stat\ T < T_{critico}$ e quindi i dati campionati descrivono in modo qualitativo la popolazione.

Tabella 27: Test F e test T applicati al campione estratto da S05nA

	S05nA	**Popolazione**	**Campione**
	Media	41,45	41,43
	Varianza	123,99	102,16
	Osservazioni	223	35
Test *F*	Gradi di libertà	222	34
	F	1,2137	
	P(F<=f)	0,2546	
	F critico	1,6048	
Test *T* a varianze uguali	Varianza complessiva	121,09	
	Gradi di libertà	256	
	Stat T	0,0062	
	P (T<=t)	0,9950	
	T critico	1,9693	

La Tabella 28 ricalca, non nei dati ma nel contenuto, la Tabella 25 la quale presenta una popolazione ben rappresentativa del campione individuato.

Tabella 28: Test F e test T applicati al campione estratto da S05nA

	S05nB	Popolazione	Campione
	Media	33,32	33,56
	Varianza	190,21	247,23
	Osservazioni	237	35
Test *F*	Gradi di libertà	236	34
	F	0,7694	
	P (F<=f)	0,1344	
	F critico	0,6759	
Test *T* a varianze diverse	Gradi di libertà	42	
	Stat T	0,0860	
	P (T<=t)	0,9318	
	T critico	2,0181	

Dopo aver assodato, tramite i due test, che tutti e quattro i campioni estratti sono rappresentativi delle popolazioni di riferimento, si sono confrontate le velocità di ogni elemento del campione estratto con quelle relative calcolate con il metodo sopradescritto. Per le quattro combinazioni, la validazione si è basata sul calcolo dell'indice di correlazione di Pearson, il quale esprime un'eventuale relazione di linearità tra due variabili o due campioni. Nei seguenti grafici (Figura 70 e Figura 71) è emerso come tutti i punti, a meno di pochi outlier, si dispongano vicino la linea di uguaglianza.

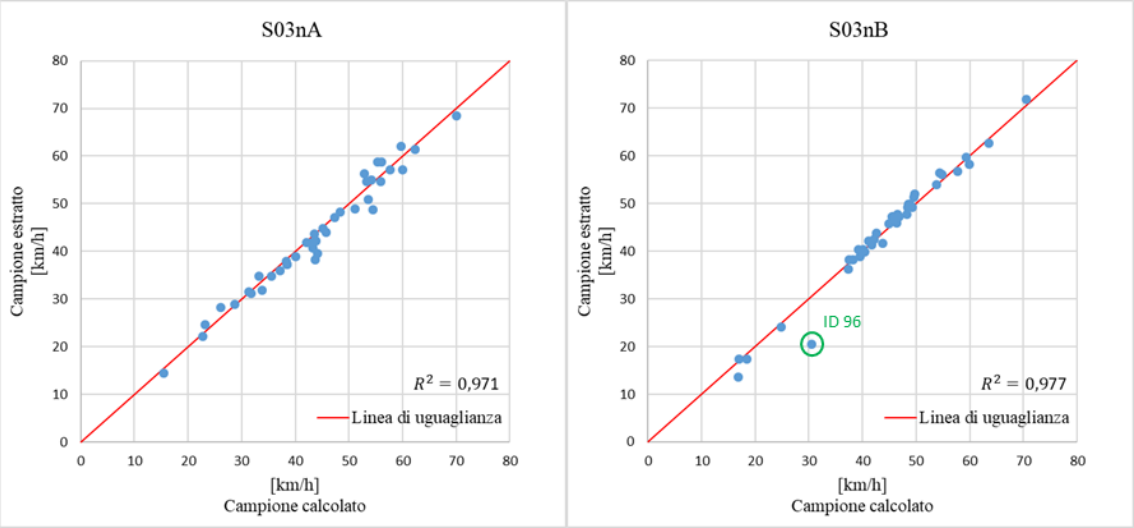


Figura 70: Validazione per i video S03nA e S03nB

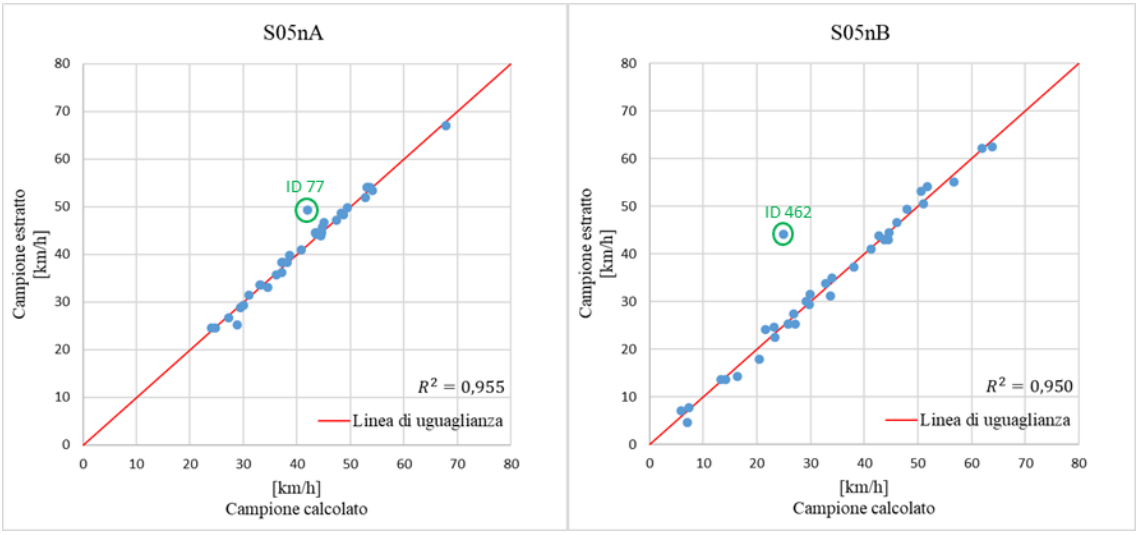
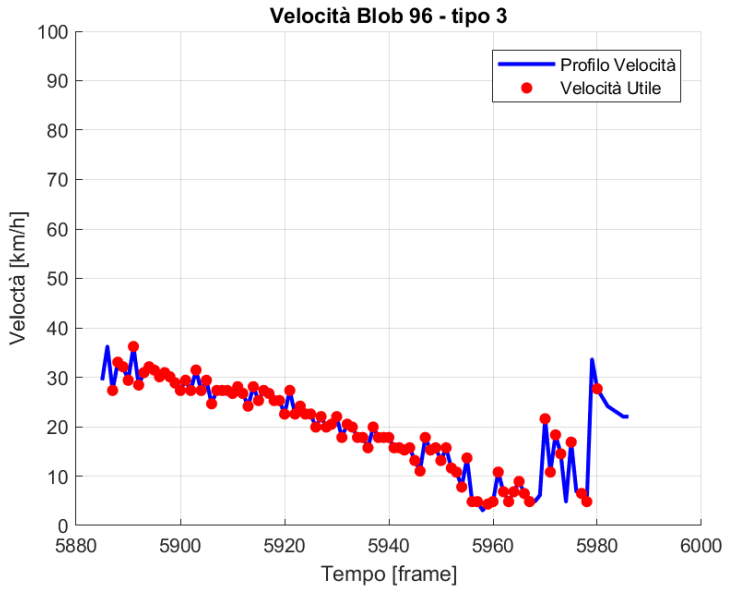
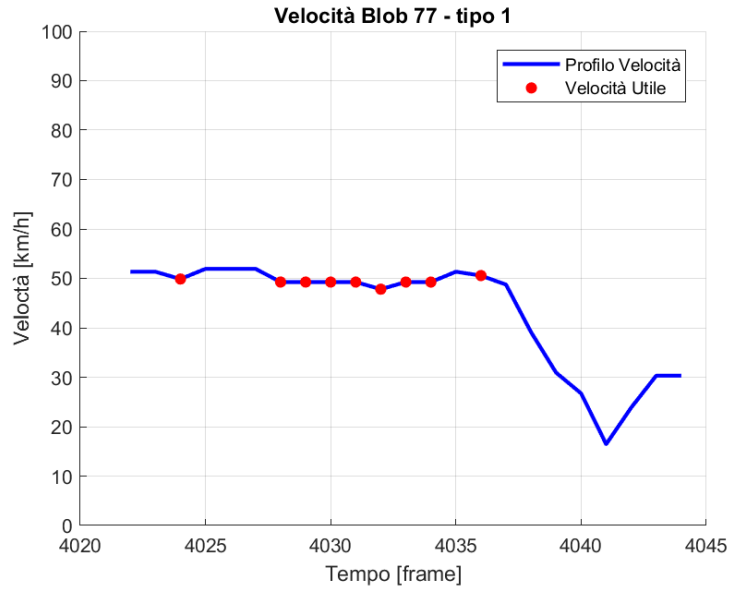
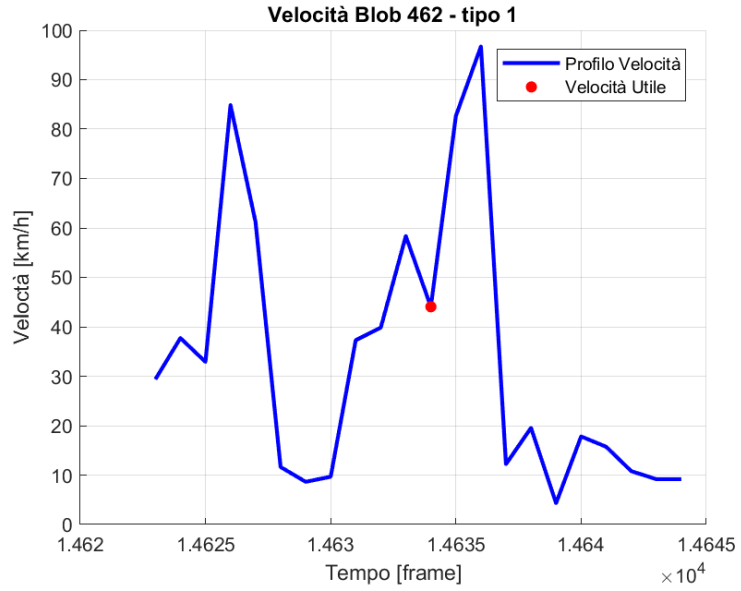


Figura 71: Validazione per i video S05nA e S05nB

Per comprendere l'origine della presenza di outlier, in Tabella 29 si riportano i profili di velocità estrapolati dal codice ed una breve descrizione del possibile fattore di causa.

Tabella 29: Outlier nella validazione della velocità operativa

Profilo di velocità	Outlier
	**S03nB – ID 96** La causa è ascrivibile alla tipologia di moto ipotizzato nel protocollo di validazione. Il veicolo si muove tendenzialmente di moto rettilineo decelerato e non costante.

	**S05nA – ID 77** In questo caso il moto del veicolo è pressoché costante sino ad un punto dove è attuata una brusca decelerazione dall'utente.
	**S05nB – ID 462** La causa risiede nella rumorosità del profilo di velocità analizzato dal codice. Questo profilo non presenta caratteristiche di moto stabili.

Si può notare che gli indici di correlazione risultano superiori a 0,95 e questo permette di concludere che la correlazione tra i due campioni è molto elevata ma soprattutto, che la metodologia applicata dal software è adeguata. In Allegato F si riportano i dati relativi a questa sezione.

CONCLUSIONI

Questo lavoro di tesi illustra le attività svolte nella costruzione di un codice di elaborazione delle immagini per l'acquisizione di tracce spazio-temporali di entità (pedoni, ciclisti, veicoli) in movimento nello spazio stradale, da cui ricavare informazioni sulle velocità operative e la distribuzione trasversale. Lo strumento classifica inoltre le entità in tre differenti classi. Il codice è stato scritto in linguaggio MATLAB.

Lo sviluppo del codice è stato condotto grazie ad alcuni video raccolti nel corso di una campagna di rilievi lungo via Nizza in Torino, nel tratto tra Corso Vittorio Emanuele II e Piazza Carducci. I rilievi sono stati eseguiti con una videocamera posta in cima a un'asta telescopica di 9 metri. Sono state prodotte oltre 19 ore di riprese video, suddivise in 7 giorni di rilievi. Questi sono stati condotti collocando l'attrezzatura di ripresa sul marciapiede per non condizionare i comportamenti delle utenze riprese. Il rilievo topografico è stato necessario per georiferire i singoli fotogrammi.

È apparso chiaro fin da subito che l'acquisizione dei filmati fosse da eseguire in giornate preferibilmente con luce diffusa e non diretta; quest'ultima condizione produce ombre e, soprattutto, riflessi delle superfici metalliche dei veicoli e delle vetrate degli edifici che disturbano la successiva fase di elaborazione. Per lo stesso motivo si sono evitate le ore serali e notturne per escludere gli effetti prodotti dalla luce artificiale. Variazioni di luminosità nei fotogrammi infatti producono tracce di oggetti non reali che se identificati e tracciati produrrebbero dati di entità inesistenti.

I fotogrammi estratti sono 30 al secondo pari alla frequenza di cattura, sono stati successivamente trattati per rimuovere le distorsioni dovute alla prospettiva di ripresa e alla lente della videocamera. Il raddrizzamento dei fotogrammi ne origina di nuovi metricamente corretti sui quali è possibile eseguire misure di spazio e tempo. Questa operazione è stata validata mediante il software RDF: il raddrizzamento eseguito con il codice sviluppato portano a identici risultati rispetto a quelli ottenuti con il software di riferimento. Le immagini sono state poi ritagliate per eliminare parti non utili allo studio, con evidenti vantaggi nella riduzione delle operazioni da eseguire nelle successive fasi di elaborazione.

Il codice identifica gli elementi in movimento sulla base del cambiamento cromatico dei singoli pixel nei frame consecutivi. Una volta impostato un valore soglia

di variazione del colore, il codice separa il *background*, o sfondo, dal *foreground*, ossia l'insieme delle entità in movimento. Tali entità sono convertite in macchie bianche (o *blob*), composte da pixel contigui che si muovono su sfondo nero. Del blob sono noti il baricentro e il numero di pixel di cui è composto (area).

La conoscenza del baricentro permette di tracciare le entità (veicoli, pedoni o ciclisti) nel tempo, stabilire la velocità operativa e la posizione nella sezione trasversale della strada. La conoscenza della quantità di pixel di un singolo *blob* permette di classificare le entità e di stabilire il tempo in cui le caratteristiche dell'elemento sono stabili (area e velocità).

Nei video prescelti per la validazione, il codice ha rilevato il 70% delle entità visibili nel filmato. Sebbene il conteggio non sia stato efficace, gli errori sono stati equamente distribuiti tra le varie classi con variazioni inferiori all'1%. La mancata identificazione della totalità degli elementi mobili è ascrivibile a fenomeni di sovrapposizione dei blob, e a condizioni ambientali non ottimali durante la ripresa video. Di contro, è stata conseguita un'efficace discriminazione delle varie categorie: oltre il 95% degli utenti sono stati classificati in modo corretto. Gli errori nella classificazione sono stati originati sia dal valore dei limiti imposti nel codice sia dalla prospettiva di ripresa.

La validazione delle velocità operative misurate con il codice è stata eseguita confrontandole con quelle derivate da un processo manuale in cui è stato tracciato un particolare elemento del veicolo tra due punti a distanza nota. Il confronto ha evidenziato un'elevata correlazione dei valori di velocità dei due campioni ($R^2 > 0{,}95$).

Dalla conoscenza della traiettoria è stata analizzata la distribuzione trasversale delle entità nella sede stradale. L'analisi, eseguita a titolo di esempio solo sulla classe di autoveicoli e veicoli commerciali leggeri, ha evidenziato una distribuzione Gaussiana delle posizioni trasversali dei veicoli, confermando precedenti osservazioni disponibili in letteratura. Per le altre entità non è stato possibile costruire delle distribuzioni a causa della quantità ridotta di dati a disposizione. È opportuno segnalare che, in occasione di ulteriori indagini, sarà necessario acquisire filmati di durata più estesa per disporre di campioni più consistenti per l'analisi statistica.

Per il trattamento di un video della durata di quindici minuti con l'utilizzo di un computer dalle alte prestazioni, il codice impiega circa quattro ore e mezzo per elaborare i dati microscopici del traffico monitorato.

In conclusione, si ritiene che la validazione del codice abbia dato esito positivo. Il codice è già impiegabile per l'analisi di traiettorie e velocità e per la classificazione di entità mobili presenti nelle infrastrutture urbane. L'uso di questa metodologia di rilievo all'ambito extraurbano non comporta specifici adattamenti; in linea di principio, poiché in ambito extraurbano le entità si muovono in modo più ordinato rispetto al caso urbano, si attendono migliori prestazioni complessive del codice.

Il codice necessita di filmati che devono evitare il più possibile di introdurre eccessive distorsioni e sovrapposizioni prospettiche tra le entità che si muovono nella scena, quindi particolare attenzione deve essere dedicata all'istallazione delle telecamere. Una posizione più elevata di quella qui considerata, intorno ai 20 metri, e perpendicolare rispetto al piano stradale riduce drasticamente gli errori di prospettiva (Mussone et al., 2011). La telecamera posta ad un'altezza maggiore consentirebbe, inoltre, di osservare una superficie più ampia con la quale è possibile derivare un maggior numero di informazioni.

Per superare i limiti conseguenti a condizioni ambientali non favorevoli all'identificazione delle entità, si suggeriscono le seguenti strategie:

- condurre i rilievi video limitando l'esposizione a luce diretta della lente della camera;
- utilizzare videocamere termiche per riconoscere le entità in movimento sulla base di variazione del calore e non quelle di colore;
- impiegare e quindi implementare tecniche di *machine learning* per distinguere in modo più efficace gli utenti.

Sviluppi futuri del codice dovranno necessariamente considerare la sua applicazione alle aree di intersezione dove le entità in moto nella scena seguono traiettorie non ordinate (più caotiche). Per questi scenari si dovranno eliminare per quanto possibile gli errori di prospettiva degli elementi più distanti dal punto di presa. In questi casi potrebbe essere il caso di utilizzare contemporaneamente più telecamere connesse e sincronizzate tra loro, implementando così un nuovo processo di ricostruzione 3D. In linea di principio esso risulterebbe più preciso, in grado di bilanciare errori dovuti alla non conoscenza dell'effettiva altezza del veicolo osservato, con il vantaggio di avere almeno due set di dati della stessa entità rilevata.

BIBLIOGRAFIA

1. Berclaz, J., Fleuret, F., Turetken, E., & Fua, P. (2011). Multiple object tracking using k-shortest paths optimization. *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, *33*(9), 1806-1819.
2. Bishop, C. M. (2006). *Pattern Recognition and Machine Learning*, Springer, ISBN 0-387-31073-8.
3. Cassiani, V. (2018). Sviluppo di una metodologia basata sull'analisi delle immagini per il rilievo delle traiettorie e delle velocità della mobilità ciclabile. Tesi di Laurea Magistrale. Politecnico di Torino.
4. Cho, H., Rybski, P. E., & Zhang, W. (2011, May). Vision-based 3d bicycle tracking using deformable part model and interacting multiple model filter. In Robotics and Automation (ICRA), 2011 IEEE International Conference on (pp. 4391-4398). IEEE.
5. Faro, A., Giordano, D., & Spampinato, C. (2011). Adaptive background modeling integrated with luminosity sensors and occlusion processing for reliable vehicle detection. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, *12*(4), 1398-1412.
6. Gupte, S., Masoud, O., Martin, R. F., & Papanikolopoulos, N. P. (2002). Detection and classification of vehicles. *IEEE Transactions on intelligent transportation systems*, *3*(1), 37-47.
7. https://buy.garmin.com/en-US/US/p/119594.
8. https://buy.garmin.com/it-IT/IT/p/119594#overview.
9. http://docenti.unimc.it/monica.raiteri/teaching/2013/12316/files/slides-i-parte-per-studenti-frequentanti/interpretazione-del-test-f-distribuzione-f-di.
10. https://homes.di.unimi.it/scotti/ita/md_biotec_estrazione/allegati/Student.pdf.
11. https://it.mathworks.com/discovery/filtro-kalman.html
12. https://it.mathworks.com/help/vision/examples/motion-based-multiple-object-tracking.html.
13. http://neutech.it/product/on-air-palo-telescopico-in-carbonio-9-3-m.
14. http://segr-did2.fmag.unict.it/Vademecum/Programmi0607/Zira-Hichy/lezione5.pdf.
15. https://www.google.com/maps/place/Torino+TO/@45.0530017,7.6712157,15.25z/data=!4m5!3m4!1s0x47886d0cc3ed5cdf:0x405e67d473c94e0!8m2!3d45.0703393!4d7.686864.
16. http://www.leica-geosystems.co.kr/downloads123/zz/gps/general/brochures-equip/GPS1200_Equipmentlist_it.pdf.

17. https://www.manfrotto.it/treppiede-super-pro-mark2-nero.
18. https://www.spingnss.it/spiderweb/frmIndex.aspx.
19. https://www.spingnss.it/spiderweb/ext/guide/Prodotti_realtime.pdf.
20. Ismail, K., Sayed, T., Saunier, N., & Lim, C. (2009). Automated analysis of pedestrian–vehicle conflicts using video data. *Transportation research record*, *2140*(1), 44-54.
21. Klein, L.A., Mills, M.K., Gibson, D.R.P., 2006. Traffic Detector Handbook, third ed., vol. I.
22. Malinovskiy, Y., Zheng, J., & Wang, Y. (2009). Model-Free Video Detection and Tracking of Pedestrians and Bicyclists. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 24(3), 157-168.
23. Manuale del software RDF.
24. Manuale utente di QGis.
25. Mussone, L., Matteucci, M., Bassani, M., & Rizzi, D. (2011). Traffic analysis in roundabout intersections by image processing. *IFAC Proceedings Volumes*, *44*(1), 14922-14927.
26. Niknejad, H. T., Takeuchi, A., Mita, S., & McAllester, D. (2012). On-road multivehicle tracking using deformable object model and particle filter with improved likelihood estimation. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, *13*(2), 748-758.
27. Progetto Esecutivo "Riqualificazione dell'asse di Via Nizza e Ciclopista" Città di Torino, planimetria e sezioni stato di fatto.
28. Saunier, N., Husseini, A. E., Ismail, K., Morency, C., Auberlet, J. M., & Sayed, T. (2011). Estimation of frequency and length of pedestrian stride in urban environments with video sensors. *Transportation research record*, *2264*(1), 138-147.
29. Saunier, N., Sayed, T., & Ismail, K. (2010). Large-scale automated analysis of vehicle interactions and collisions. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (2147), 42-50.
30. Tian, B., Tang, M., & Wang, F. Y. (2015). Vehicle detection grammars with partial occlusion handling for traffic surveillance. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, *56*, 80-93.
31. Wan, Y., Huang, Y., & Buckles, B. (2014). Camera calibration and vehicle tracking: Highway traffic video analytics. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, *44*, 202-213.

32. Xiao, M., Han, C. Z., & Zhang, L. (2007). Moving shadow detection and removal for traffic sequences. *International Journal of Automation and Computing*, *4*(1), 38-46.

33. Yilmaz, A., Javed, O., & Shah, M. (2006). Object tracking: A survey. *Acm computing surveys (CSUR)*, *38*(4), 13.

34. Zaki, M. H., & Sayed, T. (2013). A framework for automated road-users' classification using movement trajectories. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, *33*, 50-73.

35. Zangenehpour, S., Miranda-Moreno, L. F., & Saunier, N. (2015). Automated classification based on video data at intersections with heavy pedestrian and bicycle traffic: Methodology and application. *Transportation research part C: emerging technologies*, *56*, 161-176.

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA CIVILE

ALLEGATI

TRACCIAMENTO E CLASSIFICAZIONE DEGLI UTENTI STRADALI IN AMBIENTE URBANO CON TECNICHE DI ELABORAZIONE DELLE IMMAGINI

ALLEGATO A

Tabella riassuntiva della campagna rilievi video.

DATA	ID VIDEO	CODICE VIDEO	ORA INIZIO (hh:mm)	ORA FINE (hh:mm)	TEMPO DI RILIEVO	ID CAMERA	TIPOLOGIA RIPRESA	LUNGHEZZA ASTA [m]	INCLINAZIONE ASTA
06/04/18	S01s1A	VIRB0536	09:27	09:42	15'	2080	wide	9,81	86°
06/04/18	S01s2A	VIRB0537	09:46	10:01	15'	2080	wide	3,93	90°
06/04/18	S01nA	VIRB0539	10:13	10:33	20'	2080	wide	9,81	78.4°
06/04/18	S03nA	VIRB0540	10:51	11:11	20'	2080	wide	9,81	75.3°
06/04/18	S04sA	VIRB0541	11:22	11:40	18'	2080	wide	9,81	73°
06/04/18	S04nA	VIRB0019	11:52	12:13	21'	9002	ultra zoom	9,81	78.4°
06/04/18	I03-1A	VIRB0020	12:29	12:44	15'	9002	ultra zoom	9,81	86.6°
06/04/18	I03-2A	VIRB0021	12:55	13:10	15'	9002	ultra zoom	9,81	88.6°
06/04/18	I03-3A	VIRB0024	15:22	15:37	15'	9002	ultra zoom	9,81	86°
06/04/18	I02-1A	VIRB0022	13:57	14:15	18'	9002	ultra zoom	9,81	86.5°
06/04/18	I02-2A	VIRB0023	14:22	14:37	15'	9002	ultra zoom	9,81	86.4°
06/04/18	I04-1A	VIRB0025	15:44	15:59	15'	9002	ultra zoom	9,81	87°
10/04/18	S05sA	VIRB0542	15:03	15:19	15'	2080	wide	9,81	86°
10/04/18	S05nA	VIRB0543	15:28	15:43	15'	2080	wide	9,81	83.8°
10/04/18	S06sA	VIRB0544	15:56	16:14	18'	2080	wide	9,81	83.7°
10/04/18	S07sA	VIRB0545	16:27	16:42	15'	2080	wide	9,81	90°
10/04/18	S07nA	VIRB0546	16:46	17:01	15'	2080	wide	9,81	88°
10/04/18	S08sA	VIRB0026	17:14	17:29	15'	9002	ultra zoom	9,81	85.9°
10/04/18	S08nA	VIRB0028	17:43	17:58	15'	9002	ultra zoom	9,81	85.8°
12/04/18	S08nB	VIRB0547	10:30	10:45	15'	2080	wide	9,81	85.8°
12/04/18	S08sB	VIRB0548	10:52	11:07	15'	2080	wide	9,81	85.9°
12/04/18	S07sB	VIRB0549	11:13	11:28	15'	2080	wide	9,81	90°
12/04/18	S07nB	VIRB0550	11:36	11:51	15'	2080	wide	9,81	88°
12/04/18	I05-1A	VIRB0551	12:00	12:15	15'	2080	wide	9,81	87.6°

DATA	ID VIDEO	CODICE VIDEO	ORA INIZIO (hh:mm)	ORA FINE (hh:mm)	TEMPO DI RILIEVO	ID CAMERA	TIPOLOGIA RIPRESA	LUNGHEZZA ASTA [m]	INCLINAZIONE ASTA
12/04/18	I05-2A	VIRB0552	12:20	12:35	15'	2080	wide	9,81	90°
13/04/18	S06sB	VIRB0553	08:49	09:04	15'	2080	wide	9,81	84°
13/04/18	S09nA	VIRB0554	09:16	09:31	15'	2080	wide	9,81	85°
13/04/18	S05sB	VIRB0555	09:43	09:58	15'	2080	wide	9,81	86°
13/04/18	I04-1B	VIRB0556	10:05	10:20	15'	2080	wide	9,81	87°
13/04/18	I03-2B	VIRB0557	10:35	10:50	15'	2080	wide	9,81	86.6°
13/04/18	I03-1B	VIRB0558	10:56	11:11	15'	2080	wide	9,81	86.6°
13/04/18	I03-4A	VIRB0559	11:18	11:33	15'	2080	wide	9,81	90°
13/04/18	I03-3B	VIRB0561	11:42	11:57	15'	2080	wide	9,81	86°
13/04/18	S01s1B	VIRB0562	12:19	12:34	15'	2080	wide	9,81	86°
13/04/18	S01s2B	VIRB0563	12:55	13:10	15'	2080	wide	3,93	90°
13/04/18	S01nB	VIRB0564	13:18	13:33	15'	2080	wide	9,81	78.4°
13/04/18	S03nB	VIRB0565	14:22	14:37	15'	2080	wide	9,81	75.3°
13/04/18	S04nB	VIRB0566	14:45	15:00	15'	2080	wide	9,81	78.4°
13/04/18	S04sB	VIRB0029	15:12	15:27	15'	9002	wide	9,81	73°
18/04/18	I05-1B	VIRB0030	15:53	16:08	15'	9002	wide	9,81	87.6°
18/04/18	I05-2B	VIRB0031	16:16	16:31	15'	9002	wide	9,81	90°
18/04/18	S09nB	VIRB0032	16:38	16:53	15'	9002	wide	9,81	85°
18/04/18	S05nB	VIRB0033	17:07	17:22	15'	9002	wide	9,81	83.8°
20/04/18	I02-1B	VIRB0035	11:41	11:56	9'	9002	wide	9,81	86.5°
20/04/18	I02-2B	VIRB0036	12:02	12:17	15'	9002	wide	9,81	86.4°
22/06/18	S02n1A	VIRB0040	09:40	09:55	15'	9002	wide	8,42	86°
22/06/18	S02sA	VIRB0039	09:18	09:33	15'	9002	wide	9,81	87°
22/06/18	S02n2A	VIRB0042	09:58	10:13	15'	9002	wide	8,42	84°

ALLEGATO B

Tabella riassuntiva del rilievo topografico.

ID punto	Est [m]	Nord [m]	ID punto	Est [m]	Nord [m]
S01.1	395981,689	4990545,094	S06.3	395581,4	4989348,76
S01.2	395976,844	4990536,875	S06.4	395579,4	4989341,93
S01.3	395985,684	4990549,598	S06.5	395583,7	4989333,23
S01.4	395982,636	4990543,84	S07.1	395470,9	4988983,82
S01.5	395994,507	4990533,872	S07.2	395472,5	4988989,39
S01.9	395987,123	4990523,456	S07.3	395467,9	4988974,74
S01.10	395986,587	4990533,27	S07.4	395464,7	4988983,77
S01.11	395979,666	4990533,55	S07.5	395467,7	4988993,87
S03.1	395792,707	4990037,651	S07.6	395482,3	4988973,63
S03.2	395791,325	4990033,205	S07.7	395485,7	4988983,79
S03.3	395783,058	4990026,221	S09.1	395525,7	4989159,86
S03.4	395786,718	4990039,349	I02.1	395815,8	4990156,88
S03.5	395779,784	4990036,169	I02.2	395825,3	4990162,11
S03.6	395781,242	4990040,91	I02.3	395815,6	4990160,8
S03.7	395776,148	4990027,705	I02.4	395809,5	4990141,68
S03.8	395782,773	4990046,084	I02.5	395817,7	4990138,18
S04.1	395750,421	4989935,887	I02.6	395825,2	4990135,18
S04.2	395754,492	4989928,864	I02.7	395829	4990147,39
S04.4	395757,131	4989954,447	I02.8	395831	4990149,25
S04.6	395758,828	4989951,984	I03.1	395710,8	4989817,65
S04.7	395760,194	4989948,636	I03.2	395708,2	4989808,39
S04.8	395759,601	4989946,37	I03.3	395703,4	4989805,3
S04.9	395758,513	4989942,702	I03.4	395693,9	4989808,73
S04.10	395740,531	4989921,466	I03.5	395715,4	4989801,4
S05.1	395635,576	4989543,671	I03.6	395700,8	4989788,79
S05.2	395637,077	4989548,388	I03.7	395693,9	4989789,91
S05.3	395639,351	4989557,827	I03.8	395698,5	4989774,49
S05.4	395641,452	4989563,722	I03.9	395711,1	4989780,21
S05.5	395647,403	4989548,443	I03.10	395716,2	4989784,17
S05.6	395646,212	4989540,991	I03.11	395724,1	4989784,32
S05.7	395652,762	4989563,801	I03.12	395725	4989801,05
S06.1	395590,669	4989343,946	I03.13	395726,7	4989798,58
S06.2	395591,186	4989348,159	I03.14	395729,2	4989793,24

ID punto	Est [m]	Nord [m]	ID punto	Est [m]	Nord [m]
i04001	395685,435	4989656,775	i04011	395667,3	4989660,6
i04002	395682,588	4989652,941	i05001	395502,3	4989090,12
i04003	395688,805	4989647,462	i05002	395489,6	4989081,92
i04004	395684,1	4989644,387	i05003	395492,2	4989081,3
i04005	395681,585	4989640,036	i05004	395513,7	4989082,57
i04006	395679,991	4989636,89	i05005	395515,7	4989080,61
i04007	395665,66	4989650,384	i05006	395513,4	4989065,84
i04008	395666,319	4989655,471	i05007	395508,2	4989060,84
i04009	395669,713	4989656,307	i05008	395494,3	4989066,68
i04010	395670,395	4989651,953	i05009	395495,9	4989069,46

ALLEGATO C

Codice “Script Nizza”

```
function Script_Nizza
clear
close all      % Close all figures (except those of imtool.)
clc            % Clear the command window
workspace      % Make sure the workspace panel is showing.
Fprintf (1,'\n\nOPERATIVO PER LA FASE 1\n\n');
Video;
multiObjectTracking;
Analisi;


%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
                                FUNZIONE VIDEO
 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
function Video

 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
                              ESTRAZIONE DEI FRAME
 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

tic1=tic;
imtool close all;                          % Close all imtool figures.
Fprintf (1,'Inizio Estrazione Frame\n'); %Open the movie that ships
with MATLAB.
Video = uigetfile({'*.wmv';'*.avi';'*.mp4'},'Select video');
vid = VideoReader(Video);
frameno = vid.Duration*vid.FrameRate;
 for k = 1: frameno
     thisFrame = read (vid, k);
     imwrite (thisFrame, sprintf('VID%d.jpg',k),'jpg');clc;
     fprintf (1,'%s', sprintf ('Writing frame %d of %d',k,frameno));
 end
toc1=toc(tic1);
fprintf (1,'\nFine estrazione frame. Time: %1.1f sec\n\n, toc1);
clear vid thisFrame k count


 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
                         CONTRODISTORSIONE DEI FRAME
 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

tic2=tic;
fprintf (1,'Load Camera Parameters\n\n');
load cameraParams % Rimuove la distorsione e visualizza i risultati.
for j=1: frameno
   inputFrame = imread (sprintf ('VID%1.0d.jpg', j));
   thisFrame = undistortImage (inputFrame, cameraParams);
   imwrite (thisFrame, sprintf ('DIST%d.jpg', j),'jpg'); clc;
   fprintf (1,'%s', sprintf ('Calibration Frame %d of %d', j,
   frameno));
end
```

```
toc2=toc(tic2);
fprintf (1,'\nFine Controdistorsione. Time: %1.1f sec\n\n', toc2);
clear cameraParams inputFrame j

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
                            RADDRIZZAMENTO DEI FRAME
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

tic3=tic;
fprintf (1,'\nInizio Raddrizzamento Frame\n\n');
base = [35.576 43.671;37.077 48.388;41.452 63.722;47.403 48.443];
movingPoints = [404 386;678 384;1645 359;764 983];
scale = 1;
tf = fitgeotrans (movingPoints, base*scale,'projective');
dim_pixel_x = 0.02;
dim_pixel_y = 0.02;
xWorldLimits = [10 51];
yWorldLimits = [29 70];
deltaE = xWorldLimits(2)- xWorldLimits(1);
deltaN = yWorldLimits(2)- yWorldLimits(1);
size_image=ceil (abs ([deltaE/dim_pixel_x, deltaN/dim_pixel_y]));
for j=1: frameno
    fileinput=sprintf ('DIST%d.jpg', j);
    img = im2double(rgb2gray(imread(fileinput)));
    RA = imref2d (size_image, xWorldLimits, yWorldLimits);
    [xf1,~] = imwarp(img,tf,'OutputView',RA);
    fileoutput=sprintf ('RAD%d.jpg', j);
    xf1=flipud(xf1);
    imwrite (xf1, fileoutput,'jpg'); clc;
    fprintf (1,'%s', sprintf ('Raddrizzamento Frame %d of %d', j,
    frameno));
end
toc3=toc(tic3);
fprintf (1,'\nFine Raddrizzamento. Time: %1.1f sec\n\n', toc3);


%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
                                TAGLIO FRAME
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

tic4=tic;
fprintf (1,'\nInizio taglio dei frame\n');
rect = [1250 300 800 1300];
for t=1: frameno
    inputFrame= imread (sprintf ('RAD%1.0d.jpg', t));
    cutFrame = imcrop (inputFrame, rect);
    imwrite (cutFrame, sprintf ('CROP%1.0d.jpg', t),'jpg'); clc;
    fprintf (1,'%s', sprintf ('Crop Frame %d of %d', t, frameno));
end
toc4=toc(tic4);
fprintf (1,'\nFine Crop Frame. Time: %1.1f sec\n\n', toc4);
clear rect inputFrame cutFrame t c


%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
                              CREAZIONE DEL VIDEO
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

tic5=tic;
NomeVideo=input ('Inserire nome Output Video:', 's');
outputVideo = VideoWriter (sprintf ('%s.avi', NomeVideo));
```

```
open(outputVideo);
% Attraverso la sequenza, caricare ogni immagine e quindi scrive il
video.
for j = 1: frameno
   img = imread (sprintf ('CROP%1.0d.jpg', j));
   writeVideo (outputVideo, img); clc;
   fprintf (1,'%s', sprintf ('Video Frame %d of %d', j, frameno));
end
close(outputVideo) % Finalize the video file.
clear img outputVideo NomeVideo j
toc5=toc(tic5);
fprintf (1,'\nFine creazione del video.  Time: %1.1f sec\n\n', toc5);
fprintf (1,'\n\nCancellazione frame\n');
delete *.jpg
clc;
timep1=toc(t1);
fprintf (1,'\n\nFINE FASE 1. Time: %1.1f sec\n\n', timep1);
end
fprintf (1,'\n\nOPERATIVO PER LA FASE 2\n\n');



%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
                        FUNZIONE MULTI OBJECT TRAKING
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
function multiObjectTracking

 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
                              CREARE SISTEMA OGGETTI
 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%% Create System objects 1
% usato per leggere il video, identificare gli oggetti in movimento e
visualizzare i risultati.
tic6=tic;
global obj tracks nextId conta CENTROIDI_1 centroids bboxes mask
assignments ...
       unassignedTracks unassignedDetections contaframe areablob
obj = setupSystemObjects;
tracks = initializeTracks; % Create an empty struct of tracks.
nextId = 1; % ID of the next track
conta=1;
contaframe=1;
CENTROIDI_1=zeros (5);
% Detect moving objects, and track them across video frames.
while ~isDone(obj.reader)
    frame = readFrame;
    [centroids, bboxes, mask, areablob] = detectObjects(frame);
    predictNewLocationsOfTracks;
    [assignments, unassignedTracks, unassignedDetections] = ...
    detectionToTrackAssignment;
    updateAssignedTracks;
    updateUnassignedTracks;
    deleteLostTracks;
    createNewTracks;
    displayTrackingResults;
    contaframe=contaframe+1;
end
save CENTROIDI_1.mat CENTROIDI_1 -mat
```

```
%% Create System Objects 2
% usato per leggere il video, identificare gli oggetti in movimento e
visualizzare i risultati.
function obj = setupSystemObjects()
% Initialize Video I/O
% Create objects for reading a video from a file, drawing the tracked
% objects in each frame, and playing the video.

Fprintf (1,'\nSeleziona il video ".avi" creato precedentemente\n');
VideoFinal = uigetfile ('*.avi','Select video');% Create a video file
reader.
obj.reader = vision.VideoFileReader(VideoFinal);

% Create two video players, one to display the video, and one to
display the foreground mask.

obj.videoPlayer = vision.VideoPlayer('Position', [20, 400, 700, 400]);
obj.maskPlayer = vision.VideoPlayer('Position', [740, 400, 700, 400]);

% Create System objects for foreground detection and blob analysis.
The foreground detector is used to segment moving objects from the
background. It outputs a binary mask, where the pixel value of 1
corresponds to the foreground and the value of 0 corresponds to the
background.

obj.detector = vision.ForegroundDetector('NumGaussians', 3, ...
    'NumTrainingFrames', 40, 'MinimumBackgroundRatio', 0.6);

% Connected groups of foreground pixels are likely to correspond to
moving objects.  The blob analysis System object is used to find such
groups (called 'blobs' or 'connected components'), and compute their
characteristics, such as area, centroid, and the bounding box.

obj.blobAnalyser = vision.BlobAnalysis('BoundingBoxOutputPort', true,
...
    'AreaOutputPort', true, 'CentroidOutputPort', true, ...
    'MinimumBlobArea', 900, 'MaximumBlobArea', 200000);
end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
                            PROGRAMMARE TRACCE
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%% Initialize Tracks
% The |initializeTracks| function creates an array of tracks, where
each track is a structure representing a moving object in the video.
The purpose of the structure is to maintain the state of a tracked
object. The state consists of information used for detection to track
assignment, track termination, and display.
The structure contains the following fields:
* |id| :                  the integer ID of the track.
* |bbox| :                the current bounding box of the object; used
                           for display.
* |kalmanFilter| :        a Kalman filter object used for motion-based
                           Tracking.
* |age| :                 the number of frames since the track was
                           first detected.
* |totalVisibleCount| :   total number of frames in which the track
                           was detected (visible).
```

```
* |consecutiveInvisibleCount| : the number of consecutive frames for
                                which the track was not detected
                               (invisible).
Noisy detections tend to result in short-lived tracks. For this
reason, the example only displays an object after it was tracked for
some number of frames. This happens when |totalVisibleCount| exceeds a
specified threshold.
When no detections are associated with a track for several consecutive
frames, the example assumes that the object has left the field of view
and deletes the track. This happens when |consecutiveInvisibleCount|
exceeds a specified threshold. A track may also get deleted as noise
if it was tracked for a short time, and marked invisible for most of
the frames.

function tracks = initializeTracks
    % create an empty structure of array of tracks
    tracks = struct (...
        'id', {}, ...
        'bbox', {}, ...
        'kalmanFilter', {}, ...
        'age', {}, ...
        'totalVisibleCount', {}, ...
        'consecutiveInvisibleCount', {});
end
%% Read a Video Frame
% Read the next video frame from the video file.
function frame = readFrame
         frame = obj.reader.step();
end


%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
                              RILEVARE OGGETTI
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%% Detect Objects
% The |detectObjects| function returns the centroids and the bounding
boxes of the detected objects. It also returns the binary mask, which
has the same size as the input frame. Pixels with a value of 1
correspond to the foreground, and pixels with a value of 0 correspond
to the background.
The function performs motion segmentation using the foreground
detector. It then performs morphological operations on the resulting
binary mask to remove noisy pixels and to fill the holes in the
remaining blobs.

function [centroids, bboxes, mask, areablob] = detectObjects(frame)
    % Detect foreground.
    mask = obj.detector.step(frame);
    % Apply morphological operations to remove noise and fill in
    holes.
    mask = imopen (mask, strel ('rectangle', [6,6]));
    mask = imclose (mask, strel ('rectangle', [20, 20]));
    mask = imfill (mask, 'holes');
    % Perform blob analysis to find connected components.
    [areablob, centroids, bboxes] = obj.blobAnalyser.step(mask);
end
```

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
                    PREDIRE POSIZIONE TRACCE ESISTENTI
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%% Predict New Locations of Existing Tracks
Use the Kalman filter to predict the centroid of each track in the
current frame, and update its bounding box accordingly.

function predictNewLocationsOfTracks
    for i = 1: length(tracks)
        bbox = tracks(i).bbox;
        % Predict the current location of the track.
        predictedCentroid = predict(tracks(i).kalmanFilter);
        % Shift the bounding box so that its center is at
        % the predicted location.
        predictedCentroid = int32(predictedCentroid) - bbox (3:4) / 2;
        tracks(i).bbox = [predictedCentroid, bbox(3:4)];
    end
end


%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
                          ASSEGNARE RILEVAMENTI
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%% Assign Detections to Tracks
Assigning object detections in the current frame to existing tracks is
done by minimizing cost. The cost is defined as the negative log-
likelihood of a detection corresponding to a track.
The algorithm involves two steps:

Step 1: Compute the cost of assigning every detection to each track
using the |distance| method of the |vision.KalmanFilter| System
object(TM). The cost takes into account the Euclidean distance between
the predicted centroid of the track and the centroid of the detection.
It also includes the confidence of the prediction, which is maintained
by the Kalman filter. The results are stored in an MxN matrix, where M
is the number of tracks, and N is the number of detections.

Step 2: Solve the assignment problem represented by the cost matrix
using the |assignDetectionsToTracks| function. The function takes the
cost matrix and the cost of not assigning any detections to a track.
The value for the cost of not assigning a detection to a track depends
on the range of values returned by the |distance| method of the
|vision.KalmanFilter|. This value must be tuned experimentally.

Setting it too low increases the likelihood of creating a new track,
and may result in track fragmentation. Setting it too high may result
in a single track corresponding to a series of separate moving
objects.
The |assignDetectionsToTracks| function uses the Munkres' version of
the Hungarian algorithm to compute an assignment which minimizes the
total cost. It returns an M x 2 matrix containing the corresponding
indices of assigned tracks and detections in its two columns. It also
returns the indices of tracks and detections that remained unassigned.

function [assignments, unassignedTracks, unassignedDetections] = ...
        detectionToTrackAssignment
        nTracks = length(tracks);
        nDetections = size (centroids, 1);
        % Compute the cost of assigning each detection to each track.
```

```
    cost = zeros (nTracks, nDetections);
    for i = 1: nTracks
        cost (i, :) = distance(tracks(i).kalmanFilter, centroids);
    end
    % Solve the assignment problem.
    costOfNonAssignment = 20;
    [assignments, unassignedTracks, unassignedDetections] = ...
    assignDetectionsToTracks(cost, costOfNonAssignment);
end
```

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
                        AGGIORNARE TRACCE ASSEGNATE
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%% Update Assigned Tracks
The |updateAssignedTracks| function updates each assigned track with
the corresponding detection. It calls the |correct| method of
|vision.KalmanFilter| to correct the location estimate. Next, it
stores the new bounding box, and increases the age of the track and
the total visible count by 1. Finally, the function sets the invisible
count to 0.

function updateAssignedTracks
    numAssignedTracks = size (assignments, 1);
    for i = 1: numAssignedTracks
        trackIdx = assignments (i, 1);
        detectionIdx = assignments (i, 2);
        centroid = centroids (detectionIdx, :);
        bbox = bboxes (detectionIdx, :);
        CENTROIDI_1(conta+i-1, :) = [assignments (i, 1) centroids
        (detectionIdx, :) contaframe areablob (detectionIdx, :)];
        % Correct the estimate of the object's location
        % using the new detection.
        correct(tracks(trackIdx).kalmanFilter, centroid);
        % Replace predicted bounding box with detected
        % bounding box.
        tracks(trackIdx).bbox = bbox;
        % Update track's age.
        tracks(trackIdx).age = tracks(trackIdx).age + 1;
        % Update visibility.
        tracks(trackIdx).totalVisibleCount = ...
            tracks(trackIdx).totalVisibleCount + 1;
        tracks(trackIdx).consecutiveInvisibleCount = 0;
    end
    conta=conta+numAssignedTracks;
end
```

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
                        AGGIORNARE TRACCE NON ASSEGNATE
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%% Update Unassigned Tracks
% Mark each unassigned track as invisible, and increase its age by 1.

function updateUnassignedTracks
    for i = 1: length(unassignedTracks)
        ind = unassignedTracks(i);
        tracks(ind).age = tracks(ind).age + 1;
        tracks(ind).consecutiveInvisibleCount = ...
```

```
            tracks(ind).consecutiveInvisibleCount + 1;
        end
    end


%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
                                ELIMINARE TRACCE PERSE
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%% Delete Lost Tracks
The |deleteLostTracks| function deletes tracks that have been
invisible for too many consecutive frames. It also deletes recently
created tracks that have been invisible for too many frames overall.

function deleteLostTracks
if isempty(tracks), return; end
    invisibleForTooLong = 20;
    ageThreshold = 8;
    % Compute the fraction of the track's age for which it was
    visible.
    ages = [tracks(:).age];
    totalVisibleCounts = [tracks(:).totalVisibleCount];
    visibility = totalVisibleCounts./ ages;
    % Find the indices of 'lost' tracks.
    lostInds = (ages < ageThreshold & visibility < 0.6) | ...
        [tracks(:).consecutiveInvisibleCount] >= invisibleForTooLong;
    % Delete lost tracks.
    tracks = tracks(~lostInds);
end



%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
                                CREARE NUOVE TRACCE
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%% Create New Tracks
% Create new tracks from unassigned detections. Assume that any
unassigned detection is a start of a new track. In practice, you can
use other cues to eliminate noisy detections, such as size, location,
or appearance.

function createNewTracks()
    centroids = centroids (unassignedDetections, :);
    bboxes = bboxes (unassignedDetections, :);
    for i = 1: size (centroids, 1)
        centroid = centroids (i, :);
        bbox = bboxes (i, :);
        % Create a Kalman filter object.
        kalmanFilter = configureKalmanFilter('ConstantVelocity', ...
            centroid, [200, 50], [100, 25], 100);
        % Create a new track.
        newTrack = struct (...
            'id', nextId, ...
            'bbox', bbox, ...
            'kalmanFilter', kalmanFilter, ...
            'age', 1, ...
            'totalVisibleCount', 1, ...
            'consecutiveInvisibleCount', 0);
        % Add it to the array of tracks.
        tracks (end + 1) = newTrack;
```

```
        % Increment the next id.
        nextId = nextId + 1;
end
end
```

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
                            CREARE NUOVE TRACCE
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

```
%% Display Tracking Results
function displayTrackingResults()
    % Convert the frame and the mask to uint8 RGB.
    frame = im2uint8(frame);
    mask = uint8 (repmat (mask, [1, 1, 3])). * 255;
    minVisibleCount = 8;
    if ~isempty(tracks)
        % Noisy detections tend to result in short-lived tracks.
        % Only display tracks that have been visible for more than
        % a minimum number of frames.
        reliableTrackInds = ...
            [tracks(:).totalVisibleCount] > minVisibleCount;
        reliableTracks = tracks(reliableTrackInds);
        % Display the objects. If an object has not been detected
        % in this frame, display its predicted bounding box.
        if ~isempty (reliableTracks)
            % Get bounding boxes.
            bboxes = cat (1, reliableTracks.bbox);
            % Get ids.
            ids = int32([reliableTracks(:).id]);
            % Create labels for objects indicating the ones for
            % which we display the predicted rather than the actual
            % location.
            labels = cellstr(int2str(ids'));
            predictedTrackInds = ...
                [reliableTracks(:).consecutiveInvisibleCount] > 0;
            isPredicted = cell(size(labels));
            isPredicted(predictedTrackInds) = {' predicted'};
            labels = strcat (labels, isPredicted);

            % Draw the objects on the frame.
            frame = insertObjectAnnotation (frame, 'rectangle', ...
                    bboxes, labels);
            % Draw the objects on the mask.
            mask = insertObjectAnnotation (mask, 'rectangle', ...
                   bboxes, labels);
        end
    end
    % Display the mask and the frame.
    obj.maskPlayer.step (mask);
    obj.videoPlayer.step (frame);
end

displayEndOfDemoMessage(mfilename)
fprintf (1,'\nEsportazione Centroidi\n\n');
clc;
timep2=toc (tic6);
fprintf (1,'\n\nFINE FASE 2. Time: %1.1f sec\n\n', timep2);
end
```

```
clearvars global obj tracks nextId conta CENTROIDI_1 centroids bboxes
mask assignments ...
                 unassignedTracks unassignedDetections i
fprintf (1,'\n\nOPERATIVO PER LA FASE 3\n\n');



%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
                              FUNZIONE ANALISI
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
function Analisi


%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
                           CARICAMENTO CENTROIDI_1
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

close all
clc
fprintf (1,'\nLoad file .mat\n');
load CENTROIDI_1 % Caricare il file CENTROIDI_1 dal video al nuovo
script
B = sortrows (CENTROIDI_1,1);
% Si opera il primo miglioramento cambiando i valori di ID
% nel caso in cui vi siano delle traiettorie non correttamante divise
x=length (B(:, 1));
a=NaN(x-1,1); b=NaN(x-1,1);
for i = 1: x-1
    a(i)= abs(B(i,2)-B(i+1,2));
    b(i)= abs(B(i,3)-B(i+1,3));
end
M = [a b];
c=NaN(x,1);
c(1) = 1;
for i = 1: x-1
   if M(i,1) <30 && M(i,2) <40
     c(i+1) = c(i);
     else
     c(i+1) = c(i)+1;
   end
end
C = [c B(:, 2:end)];



%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
                           DEFINIZIONE TRAIETTORIA
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

Fprintf (1,'\nTabella Pivot centroidi\n');
%TABELLA CENTROIDI
Si crea una tabella nominando ogni colonna con una stringa
identificatrice. Si nominano le colonne con un nome (sintassi
"Tabella_posizioni.field").
Tabella_posizioni = table;
Tabella_posizioni.ID = c;
Tabella_posizioni.x = C(:,2);
```

```
Tabella_posizioni.y = C(:,3);

% Si crea un dataset array con il nome delle variabili che interessano
Ci interessa il conteggio degli ID, il minimo ed il massimo delle y
statarray_1 = grpstats(Tabella_posizioni(:,{'ID','x'}),{'ID'},
{'min','max'}, 'DataVars','x');
statarray_1 = grpstats (Tabella_posizioni (:,{'ID','y'}),{'ID'},
{'min','max'},'DataVars','y');

%% Filtro Posizioni
Si scelgono solo gli ID che hanno posizioni prescelte all'interno
delle immagini.
Fprintf (1,'\nApplicazione Filtro di Posizione\n');
Filt_POS=NaN(max(C(:,1)),1);
for i = 1: max(C(:,1))
    if  statarray_1{i,3} < 600 && statarray_1{i,4} > 650
        Filt_POS(i,1) = statarray_1{i,1};
    else
        Filt_POS(i,1)= 0;
    end
end

% Si procede con il conteggio degli ID diversi da 0
Filt_POS(Filt_POS<=0) = [];
conteggio_POS =length(Filt_POS);

% Si eliminano le traiettorie non idonee
if C (1,1) ~=Filt_POS(1)
   C (1: statarray_1{1,2}, :)= [];
end

for i=length(C):-1:1
    flag=0;
    for j=1: conteggio_POS
        if C(i,1) == Filt_POS(j),flag =1;end
    end
    if flag==0, C(i,:)=[];end
end

% Si stampano tutte le tracce dei veicoli identificati.
fprintf (1,'\nPlot Tracce\n');
upf=which('Parte3');
mfo=strrep(upf,'Parte3.m','Tracce\Traccia');
fatt_scala = .02; %fattore di scala - grandezza pixel
filename = 'CROP1.JPG';
ifo=strrep(upf,'Parte3.m','CROP\');
fid=strcat (ifo, filename);
img=imread(fid);
orientation=NaN(conteggio_POS,1);
for i=1: conteggio_POS
    traccia=C(C(:,1)==Filt_POS(i),2:3);
    direc=(traccia(end,1) - traccia (1,2));
    if direc<0
    verso='N';
    orientation(i)=0;
    else
    verso='S';
    orientation(i)=1;
end
    %traccia (:, 2)=flip(traccia(:,2),1);
    figure('Visible','Off')
```

```
    imshow(img); clc;
    hold on
    grid on
    title (['Traccia', num2str(Filt_POS(i)),' - ', verso])
    plot (traccia(:, 1),traccia(:,2),'.b','MarkerSize',10);
    xlabel ('X [m]');
    ylabel ('Y [m]');
    %xlim ([0 15]);
    %ylim ([0 30]);
    saveas (gcf, [mfo, num2str(Filt_POS(i))],'bmp');
end


%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
                                ANALISI AREA
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

% Media mobile sull'area
Si valuta dove il blob presenta area stabile cioè dove la differenza
di area tra frame successivi è minore di un valore soglia.
Fprintf (1,'\nValutazione Media Mobile\n');
ABT=NaN (1,3); DBT= NaN (1,3);
for i=1: conteggio_POS
    Ablob=C (C (:, 1)==Filt_POS(i),1:5);
    avemob=NaN(length(Ablob)-4,2);
    for j=1: length(Ablob)-4
        avemob(j,1) = Ablob(j+2,4);
        avemob(j,2) = mean(Ablob(j: j+4,5));
    end
    diffmob=NaN(length(avemob)-1,2);
    for j=2: length(avemob)
        diffmob(j-1,2) =abs((avemob(j,2)-avemob(j-1,2))/avemob(j-
        1,2));
    end
    diffmob(:,1)=avemob(1:end-1,1);
    ABT= [ABT; [Ablob(:, 1),Ablob(:,4),Ablob(:,5)]];
    DBT= [DBT; [Ablob(1: end-5,1),diffmob]];
end
ABT (1, :)= []; DBT (1,:)=[];
diff_lim=0.01;
copydiff=DBT;
copyarea=ABT;
DBT (DBT(:, 3)>diff_lim,3)=0;

%Si plottano le Differenze.
Fprintf (1,'\nPlot Differenze\n');
mfo=strrep(upf,'Parte3.m','Differenze\Differenze');
for i=1: conteggio_POS
    diffplot=copydiff (copydiff(:, 1)==Filt_POS(i),2:3);
    figure('Visible','Off')
    hold on
    grid on
    title (['Blob ', num2str(Filt_POS(i))])
    plot(diffplot(:,1),diffplot(:,2),'-b','LineWidth',2);
    xlabel ('Tempo [frame]');
    ylabel ('Variazione Area media [-]');
    ylim ([0 .2]);
limx=linspace(min(diffplot(:,1)),max(diffplot(:,1)),length(diffplot));
    limy=ones(length(diffplot),1)*diff_lim;
    plot (limx, limy,': r','LineWidth',2);
    legend ('Variazioni','Limite');
```

```
    saveas (gcf, [mfo, num2str(Filt_POS(i))],'bmp');
end

%Si plottano gli andamenti delle aree dei blob.
Fprintf (1,'\nPlot Aree\n');
TabA=NaN (1,4);
mfo=strrep(upf,'Parte3.m','Aree\Area');
for i=1: conteggio_POS
    copyA=ABT (ABT (:,1)==Filt_POS(i),:);
    Atot=ABT (ABT (:,1)==Filt_POS(i),:);
    copyD=DBT (DBT (:,1)==Filt_POS(i),:);
    copyA (1:2,:)=[];
    copyA (end-2: end,:) =[];
    copyA (copyD(:,3)==0,3)=0;
    copyB=copyA;
    for k=size(copyB,1):-1:1
        if copyB(k,3) ==0
           copyB(k,:)=[];
        end
    end
    AM=mean (Atot(:,3));
    AU=mean (copyB(:,3));
    SDA=std (copyB(:,3));
    figure('Visible','Off')
    hold on
    grid on
    title (['Area Blob ', num2str(Filt_POS(i))])
    plot(Atot(:,2),Atot(:,3),'-b','LineWidth',2);
    plot(copyB(:,2),copyB(:,3),'.r','MarkerSize',20);
    xlabel ('Tempo [frame]');
    ylabel ('Area [pixe]');
    ylim ([0 1.4e5]);
    legend ('Profilo Area','Area Utile');
    %ann1=annotation('textbox',);
    if ~isnan(AM)&&~isnan(AU)&&~isnan(SDA)...
        &&AM~=0&&AU~=0
       TabA=[TabA; [Filt_POS(i),AM,AU,SDA]];
       else
       lostind(i)=Filt_POS(i);
    end
end
lostind(isnan(lostind))=[];
TabA (1,:)=[];
Filt_POS_old=Filt_POS;
Filt_POS=TabA(:,1);
conteggio_POS_old=conteggio_POS;
conteggio_POS=length(Filt_POS);
aaaaa=orientation;
j=length(lostind);
for i=conteggio_POS_old:-1:1
    if lostind(j)==Filt_POS_old(i)
    orientation(i)= [];
    j=j-1;
    if j==0, break; end
 end
end
```

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
                              CLASSIFICAZIONE AREA
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%


aclass=250;
Arealab=TabA(:,3)./max(TabA(:,3))*aclass;
Alabel=zeros(aclass,1);
for i=1: conteggio_POS
    indclass=ceil(Arealab(i,1));
    Alabel(indclass,1) = Alabel(indclass,1) +1;
end
rangeA=(max(TabA(:,3)-min(TabA(:,3))))/aclass;
plotindexA=linspace (rangeA, rangeA*aclass, aclass);

%Si plotta la frequenza delle classi di area.
figure%('Visible','off')
hold on
title ('Distribuzione Trasversale ')
bar (plotindexA, Alabel);
xlabel('Area');
ylabel ('Numero Aree Rilevate');
xlim ([rangeA/2 rangeA*aclass+rangeA/2]);

%Si dispongono le aree dalla più piccola alla più grande.
sortarea=sort(TabA(:,3));
figure
plot(sortarea)
xlabel ('Numero elementi identificati');
ylabel ('Valori di Area');
xlim ([0 conteggio_POS]);

%Si impostano i limiti per la classificazione degli oggetti in
movimento.
Fprintf (1,'\nClassficazione aree\n');
areaclass=zeros(length(TabA(:,3)),1);
for i=1: length(TabA(:,3))
 if TabA(i,3) <1.5e4%&&TabA(i,3)>0
     areaclass(i)=1;
     elseif TabA(i,3)>1.5e4&&TabA(i,3) <7.5e4
     areaclass(i)=2;
     elseif TabA(i,3)>7.5e4%&&TabA(i,3) <=max(TabA(:,3))
     areaclass(i)=3;
 end
end
TabA=[TabA, areaclass, orientation];

% Grafico totale aree
Si costruisce l'istogramma con le barre d'errore di tutte le aree.
figure%('Visible','Off')
bar (TabA (:,3),'c')
title ('Grafico totale Aree Utili')
ylabel ('Area [pixel]')
xlabel ('Identification number ID [-]')
hold on
errorbar (1:1: length(TabA), TabA(:,3),TabA(:,4),'ob','LineWidth', 1)
legend ('Area Utile Media','standard deviation error')
mfo=strrep(upf,'Untitled2.m','GraficoAree');
saveas (gcf, [mfo, num2str(Filt_POS(i))],'bmp')
```

ALLEGATI

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
                        STIMA VELOCITA' OPERATIVA
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

fprintf (1,'\nCalcolo velocità\n');
% Si calcola il fattore di scala come da verifica precedente sulla
dimensione dei pixel e si determina il coefficiente di velocità da
moltiplicare al calcolo della distanza in modo da avere la velocità
già convertita in Km/h.
fatt_scala = 0.02;
frame_rate = 30.00;
coeff_speed = (fatt_scala/(1/frame_rate)) *3.6;

% Calcolo della velocità
aa=NaN(length(C)-1,1); bb=NaN(length(C)-1,1);
for i = 1: length(C)-1
    aa(i)= abs(C(i,2) -C(i+1,2));
    bb(i)= abs(C(i,3) -C(i+1,3));
end
speed=NaN(length(C)-1,1);
for i = 1: length(C)-1
    if C(i,1) == C(i+1,1)
    speed(i) = (sqrt(aa(i)^2 + bb(i)^2)) *coeff_speed;
    else
    speed(i) = speed(i-1);
end
end

% Matrice con i numeri identificativi e le velocità appena trovate
D = [C(:,1) C(:,4) [speed; speed(end)]];

% Si eliminano le velocità non idonee
mfo=strrep(upf,'Parte3.m','Speed\Speed');
TabV=NaN (1,6);
for i=1: conteggio_POS
   Vtot=D(D(:,1)==Filt_POS(i),2:3);
   Vblob=D(D(:,1)==Filt_POS(i),2:3);
   Vblob (1:2,:)=[];
   Vblob (end-2: end,:)=[];
   copyD= DBT (DBT(:,1)==Filt_POS(i),:);
   Vblob(copyD(:,3)==0,2)=0;
   for k=size(Vblob,1):-1:1
        if Vblob(k,2) ==0
           Vblob(k,:)=[];
        end
   end
   avespeed=median(Vblob(:,2));  %media o mediana
   stdspeed=std(Vblob(:,2));
   upps=avespeed+2*stdspeed;     %upper limit
   lows=avespeed-2*stdspeed;     %lower limit
   for k=size(Vblob,1):-1:1
        if Vblob(k,2) < lows||Vblob(k,2)>upps
           Vblob(k,:)=[];
        end
   end
   VM=mean(Vtot(:,2));
   VU=mean(Vblob(:,2));
   VMD=median(Vblob(:,2));
   SDV=std(Vblob(:,2));
```

```
    % Si plottano i profili di velocità.
    figure('Visible','Off')
    hold on
    grid on
    title (['Velocità Blob ', num2str(Filt_POS(i)),' - tipo ',
    num2str(areaclass(i))])
    plot(Vtot(:,1),Vtot(:,2),'-b','LineWidth',2);
    plot(Vblob(:,1),Vblob(:,2),'.r','MarkerSize',20);
    xlabel ('Tempo [frame]');
    ylabel ('Veloctà [km/h]');
    ylim ([0 100]);
    legend ('Profilo Velocità','Velocità Utile');
    %ann2=annotation('textbox',);
    saveas (gcf, [mfo, num2str(Filt_POS(i))],'bmp');
    TabV= [TabV; [Filt_POS(i), areaclass(i), VM, VU, VMD, SDV]];
end
TabV (1,:) =[];

% Grafico totale velocità
Si costruisce l'istogramma con le barre d'errore di tutte le velocità.
figure%('Visible','Off')
bar(TabV(:,3),'c')
title ('Grafico totale velocità medie')
ylabel ('Speed [Km/h]')
xlabel ('Identification number ID [-]')
hold on
errorbar (1:1: length(TabV), TabV(:,3),TabV(:,6),'ob','LineWidth', 1)
legend ('Average speed bar','standard deviation error')
mfo=strrep(upf,'Untitled2.m','GraficoVel');
saveas (gcf, [mfo, num2str(Filt_POS(i))],'bmp');
```

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
                    DISTRIBUZIONE TRASVERSALE UTENZE
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
clc
close all
filename = 'CROP1.JPG';
upf=which ('Parte3');
mfo=strrep (upf,'Parte3.m','CROP\');
sfo=strrep (upf,'Parte3.m','Distribuzione\DisTrack');
fid=strcat (mfo, filename);
img=imread (fid);
imshow(img)
impixelinfo


%Selezionare gli estremi del bordo di riferimento.
x1=737; %basso sinistra
y1=1156;
x2=900; %alto destra
y2=520;
cang=(y2-y1)\(x2-x1)*-1;
midx=x1+abs(x2-x1)/2;
midy=y2+abs(y2-y1)/2;
xx= midx: -1:0;
yy=midy+(xx-midx) *cang;
```

```
%Si disegna la retta rossa trasversale alle traiettorie degli oggetti.
figure
imshow(img)
hold on
plot (xx, yy,'r','LineWidth',1.5)
plot (midx, midy,'.r','MarkerSize',20)

%Si calcola la retta di tendenza(verde)di 10 punti della traiettori e
successivanente si calcola il punto di intersezione.
mpoints=NaN (10,2);
filtframe=NaN(conteggio_POS,1);
ipoints=NaN(conteggio_POS,4);
ipoints(:,1)=TabA(:,1);
ipoints(:,2)=TabA(:,5);j=0;
for i=1: conteggio_POS
    traccia=C(C(:,1)==Filt_POS(i),2:4);
    dist=NaN(length(traccia),1);
    for j=1: length(traccia)
        dist(j)=abs((traccia(j,2) -cang*(traccia(j,1) - midx) -
    midy)) / sqrt(1+cang^2);
    end
    [~, ind] =sortrows(dist);
    filtframe(i,1) =traccia (ind (1),3);
    if length(traccia)>10
    maxtrack=10; %se massimo traccia maggiore di 10 si valuta su 10
    punti, altrimenti sul massimo disponibile
    else
    maxtrack=length(traccia);
    end
    for k=1: maxtrack
    mpoints (k,:)= traccia(ind(k),1:2);
    end
    inter=fit(mpoints(:,1),mpoints(:,2),'poly1');
    xr=traccia(ind,1)-50:1:traccia(ind,1)+50;
    yr = feval (inter, xr);
    [intersx, intersy] =polyxpoly (xr, yr, xx, yy);
    if isempty(intersx)||isempty(intersy)
        intersx=0; intersy=0;   %interesezione vuota non cancellata ma
    impostata su (0,0)
    end
    ipoints(i,3) =intersx;
    ipoints(i,4) =intersy;
    fid=strcat (mfo, sprintf ('CROP%d.JPG', filtframe(i)));
    img=imread(fid);

    %Si plottano le intersezioni con sfondo l'oggetto inerente.
    figure ('Visible','Off')
    imshow(img); clc;
    hold on
    title (['Posizione trasversale traccia', num2str(Filt_POS(i)),' -
    classe', num2str(TabA(i,5))])
    p1= plot (xx, yy,'r','LineWidth',1.5);
    p2= plot (midx, midy,'.r','MarkerSize',20);
    p3= plot (traccia(:,1),traccia(:,2),'ob','MarkerSize',10);
    p4= plot (inter,'g-');
    p5= plot (ipoints(i,3), ipoints(i,4),'.y','MarkerSize',30);
    legend ([p1, p3, p4, p5],'Linea di controllo','Traccia','Linea di
    tendenza','Intersezione')
    saveas (gcf, [sfo, num2str(Filt_POS(i))],'bmp');
end
ipoints=[ipoints, orientation];
```

```
%Selezionare limiti corsie sulla retta rossa
Selezionare limiti corsie sulla retta rossa
filename = 'CROP.jpg';
upf=which('Parte3');
mfo=strrep(upf,'Parte3.m','CROP\');
fid=strcat(mfo, filename);
img=imread(fid);
imshow(img)
impixelinfo
x_sx=33;
y_sx=537;
x_cn=459;
y_cn=686;
x_dx=676;
y_dx=643;
qcarr=sqrt((x_cn-x_dx)^2+(y_cn-y_dx)^2)*fatt_scala;
qext=sqrt((x_sx-x_dx)^2+(y_sx-y_dx)^2)*fatt_scala;
qint=0;
for contag=1:max(ipoints(:,2))
    tag=ipoints(ipoints(:,2)==contag,1:4);j=0;
    for i=1:length(tag)
        dist(i,contag)=(sqrt((tag(i,3)-x_dx)^2+(tag(i,4)-
        y_dx)^2))*fatt_scala;
        j=j+1;
    end
    figure%('Visible','off')
    hold on
    grid on
    title (['Distribuzione Trasversale - TAG ',num2str(contag)])
    plot (dist (:,contag),'ob','LineWidth',1.5, 'MarkerSize',5);
    plot ([0, max(tag(:,1))],[qcarr,qcarr],'--k','LineWidth',2)
    plot ([0, max(tag(:,1))],[qext,qext],'-k','LineWidth',2)
    plot ([0, max(tag(:,1))],[qint,qint],'-k','LineWidth',2)
    xlabel ('ID veicolo');
    ylabel ('Distanza da corisa sotto camera [m]');
    xlim ([0 conteggio_POS]);
    ylim ([0 qext+1]);
    saveas (gcf, [mfo,num2str(Filt_POS(i))],'fig');
    clear tag dist
end
disp 'FINE'
end
```

ALLEGATO D

Analisi sensitività del parametro “Dimensione del pixel”.

DIMENSIONE PIXEL 0,01 [m]								
X [pixel]	Y [pixel]	X [m]	Y [m]	Dx [m]	Dy [m]	D [m]	Dc [m]	V [Km/h]
278	2217	2,78	22,17				0,00	33,55
304	2200	3,04	22	0,26	-0,17	0,31	0,31	21,38
319	2185	3,19	21,85	0,15	-0,15	0,21	0,52	17,08
329	2171	3,29	21,71	0,1	-0,14	0,17	0,69	17,58
339	2160	3,39	21,6	0,1	-0,11	0,15	0,84	12,07
341	2150	3,41	21,5	0,02	-0,1	0,10	0,95	14,49
347	2137	3,47	21,37	0,06	-0,13	0,14	1,09	12,31
349	2128	3,49	21,28	0,02	-0,09	0,09	1,18	15,46
349	2118	3,49	21,18	0	-0,1	0,10	1,28	14,41
352	2104	3,52	21,04	0,03	-0,14	0,14	1,42	9,78
353	2095	3,53	20,95	0,01	-0,09	0,09	1,51	15,27
354	2082	3,54	20,82	0,01	-0,13	0,13	1,64	16,52
357	2068	3,57	20,68	0,03	-0,14	0,14	1,79	14,69
357	2058	3,57	20,58	0	-0,1	0,10	1,89	14,41
357	2047	3,57	20,47	0	-0,11	0,11	2,00	14,41
357	2035	3,57	20,35	0	-0,12	0,12	2,12	15,27
359	2021	3,59	20,21	0,02	-0,14	0,14	2,26	14,21
362	2009	3,62	20,09	0,03	-0,12	0,12	2,38	17,58
364	1995	3,64	19,95	0,02	-0,14	0,14	2,52	13,14
365	1983	3,65	19,83	0,01	-0,12	0,12	2,65	16,34
367	1969	3,67	19,69	0,02	-0,14	0,14	2,79	17,81
371	1952	3,71	19,52	0,04	-0,17	0,17	2,96	15,16
373	1939	3,73	19,39	0,02	-0,13	0,13	3,09	17,41
376	1923	3,76	19,23	0,03	-0,16	0,16	3,26	19,56
377	1907	3,77	19,07	0,01	-0,16	0,16	3,42	19,71
381	1889	3,81	18,89	0,04	-0,18	0,18	3,60	20,77
386	1869	3,86	18,69	0,05	-0,2	0,21	3,81	20,63
392	1846	3,92	18,46	0,06	-0,23	0,24	4,04	25,67
400	1819	4	18,19	0,08	-0,27	0,28	4,33	30,93
410	1788	4,1	17,88	0,1	-0,31	0,33	4,65	34,58
418	1756	4,18	17,56	0,08	-0,32	0,33	4,98	34,58
428	1723	4,28	17,23	0,1	-0,33	0,34	5,33	33,27
437	1691	4,37	16,91	0,09	-0,32	0,33	5,66	35,62
446	1658	4,46	16,58	0,09	-0,33	0,34	6,00	38,28
456	1624	4,56	16,24	0,1	-0,34	0,35	6,35	38,28

467	1589	4,67	15,89	0,11	-0,35	0,37	6,72	38,28
476	1557	4,76	15,57	0,09	-0,32	0,33	7,05	38,28
486	1522	4,86	15,22	0,1	-0,35	0,36	7,42	38,28
496	1488	4,96	14,88	0,1	-0,34	0,35	7,77	38,59
507	1454	5,07	14,54	0,11	-0,34	0,36	8,13	40,65
517	1419	5,17	14,19	0,1	-0,35	0,36	8,49	36,94
527	1385	5,27	13,85	0,1	-0,34	0,35	8,85	38,59
538	1351	5,38	13,51	0,11	-0,34	0,36	9,21	38,28
549	1316	5,49	13,16	0,11	-0,35	0,37	9,57	38,28
558	1282	5,58	12,82	0,09	-0,34	0,35	9,92	39,62
568	1249	5,68	12,49	0,1	-0,33	0,34	10,27	38,28
577	1214	5,77	12,14	0,09	-0,35	0,36	10,63	41,69
588	1178	5,88	11,78	0,11	-0,36	0,38	11,01	36,43
597	1145	5,97	11,45	0,09	-0,33	0,34	11,35	40,32
609	1109	6,09	11,09	0,12	-0,36	0,38	11,73	41,69
620	1073	6,2	10,73	0,11	-0,36	0,38	12,10	37,30
637	1038	6,37	10,38	0,17	-0,35	0,39	12,49	43,38
648	1004	6,48	10,04	0,11	-0,34	0,36	12,85	35,18
656	972	6,56	9,72	0,08	-0,32	0,33	13,18	36,22
662	940	6,62	9,4	0,06	-0,32	0,33	13,51	44,40
672	901	6,72	9,01	0,1	-0,39	0,40	13,91	41,94
684	862	6,84	8,62	0,12	-0,39	0,41	14,32	34,63
689	827	6,89	8,27	0,05	-0,35	0,35	14,67	45,85
697	787	6,97	7,87	0,08	-0,4	0,41	15,08	46,45
694	727	6,94	7,27	-0,03	-0,6	0,60	15,68	27,19
695	699	6,95	6,99	0,01	-0,28	0,28	15,96	62,32
690	663	6,9	6,63	-0,05	-0,36	0,36	16,32	23,76
689	640	6,89	6,4	-0,01	-0,23	0,23	16,55	16,77

DIMENSIONE PIXEL 0,02 [m]								
X [pixel]	**Y [pixel]**	**X [m]**	**Y [m]**	**Dx [m]**	**Dy [m]**	**D [m]**	**Dc [m]**	**V [Km/h]**
148	1092	2,96	21,84				0,00	24,63
157	1085	3,14	21,7	0,18	-0,14	0,23	0,23	27,66
165	1075	3,3	21,5	0,16	-0,2	0,26	0,48	15,27
170	1070	3,4	21,4	0,1	-0,1	0,14	0,63	11,01
171	1065	3,42	21,3	0,02	-0,1	0,10	0,73	15,58
175	1059	3,5	21,18	0,08	-0,12	0,14	0,87	10,80
175	1054	3,5	21,08	0	-0,1	0,10	0,97	11,01
174	1049	3,48	20,98	-0,02	-0,1	0,10	1,07	13,14
175	1043	3,5	20,86	0,02	-0,12	0,12	1,20	10,80
175	1038	3,5	20,76	0	-0,1	0,10	1,30	10,80

175	1033	3,5	20,66	0	-0,1	0,10	1,40	15,27
176	1026	3,52	20,52	0,02	-0,14	0,14	1,54	10,80
176	1021	3,52	20,42	0	-0,1	0,10	1,64	10,80
176	1016	3,52	20,32	0	-0,1	0,10	1,74	12,96
176	1010	3,52	20,2	0	-0,12	0,12	1,86	13,14
177	1004	3,54	20,08	0,02	-0,12	0,12	1,98	15,27
178	997	3,56	19,94	0,02	-0,14	0,14	2,12	15,27
179	990	3,58	19,8	0,02	-0,14	0,14	2,26	15,27
180	983	3,6	19,66	0,02	-0,14	0,14	2,40	15,27
181	976	3,62	19,52	0,02	-0,14	0,14	2,54	17,81
183	968	3,66	19,36	0,04	-0,16	0,16	2,71	15,73
185	961	3,7	19,22	0,04	-0,14	0,15	2,85	17,41
186	953	3,72	19,06	0,02	-0,16	0,16	3,02	17,41
187	945	3,74	18,9	0,02	-0,16	0,16	3,18	19,91
189	936	3,78	18,72	0,04	-0,18	0,18	3,36	24,15
191	925	3,82	18,5	0,04	-0,22	0,22	3,59	22,55
194	915	3,88	18,3	0,06	-0,2	0,21	3,79	31,45
198	901	3,96	18,02	0,08	-0,28	0,29	4,09	36,21
203	885	4,06	17,7	0,1	-0,32	0,34	4,42	36,21
208	869	4,16	17,38	0,1	-0,32	0,34	4,76	36,21
213	853	4,26	17,06	0,1	-0,32	0,34	5,09	37,72
217	836	4,34	16,72	0,08	-0,34	0,35	5,44	36,21
222	820	4,44	16,4	0,1	-0,32	0,34	5,78	38,28
227	803	4,54	16,06	0,1	-0,34	0,35	6,13	38,28
232	786	4,64	15,72	0,1	-0,34	0,35	6,48	35,62
236	770	4,72	15,4	0,08	-0,32	0,33	6,81	40,98
242	752	4,84	15,04	0,12	-0,36	0,38	7,19	38,28
247	735	4,94	14,7	0,1	-0,34	0,35	7,55	37,72
251	718	5,02	14,36	0,08	-0,34	0,35	7,90	38,94
257	701	5,14	14,02	0,12	-0,34	0,36	8,26	38,28
262	684	5,24	13,68	0,1	-0,34	0,35	8,61	40,35
267	666	5,34	13,32	0,1	-0,36	0,37	8,99	38,28
272	649	5,44	12,98	0,1	-0,34	0,35	9,34	37,72
276	632	5,52	12,64	0,08	-0,34	0,35	9,69	40,98
282	614	5,64	12,28	0,12	-0,36	0,38	10,07	36,21
287	598	5,74	11,96	0,1	-0,32	0,34	10,40	39,83
291	580	5,82	11,6	0,08	-0,36	0,37	10,77	38,28
296	563	5,92	11,26	0,1	-0,34	0,35	11,13	40,35
301	545	6,02	10,9	0,1	-0,36	0,37	11,50	38,28
306	528	6,12	10,56	0,1	-0,34	0,35	11,86	40,98
312	510	6,24	10,2	0,12	-0,36	0,38	12,24	38,28
317	493	6,34	9,86	0,1	-0,34	0,35	12,59	34,15
322	478	6,44	9,56	0,1	-0,3	0,32	12,91	39,42
325	460	6,5	9,2	0,06	-0,36	0,36	13,27	35,16
328	444	6,56	8,88	0,06	-0,32	0,33	13,60	36,91

334	428	6,68	8,56	0,12	-0,32	0,34	13,94	41,10
335	409	6,7	8,18	0,02	-0,38	0,38	14,32	45,10
341	389	6,82	7,78	0,12	-0,4	0,42	14,74	36,78
340	372	6,8	7,44	-0,02	-0,34	0,34	15,08	47,57
341	350	6,82	7	0,02	-0,44	0,44	15,52	52,02
339	326	6,78	6,52	-0,04	-0,48	0,48	16,00	15,27
338	319	6,76	6,38	-0,02	-0,14	0,14	16,14	15,27

DIMENSIONE PIXEL 0,03 [m]								
X [pixel]	**Y [pixel]**	**X [m]**	**Y [m]**	**Dx [m]**	**Dy [m]**	**D [m]**	**Dc [m]**	**V [Km/h]**
96	736	2,88	22,08				0,00	42,24
107	729	3,21	21,87	0,33	-0,21	0,39	0,39	20,75
111	724	3,33	21,72	0,12	-0,15	0,19	0,58	18,33
115	720	3,45	21,6	0,12	-0,12	0,17	0,75	14,49
117	716	3,51	21,48	0,06	-0,12	0,13	0,89	13,36
118	712	3,54	21,36	0,03	-0,12	0,12	1,01	11,68
120	709	3,6	21,27	0,06	-0,09	0,11	1,12	11,68
118	706	3,54	21,18	-0,06	-0,09	0,11	1,23	14,49
120	702	3,6	21,06	0,06	-0,12	0,13	1,36	11,68
118	699	3,54	20,97	-0,06	-0,09	0,11	1,47	12,96
118	695	3,54	20,85	0	-0,12	0,12	1,59	16,52
119	690	3,57	20,7	0,03	-0,15	0,15	1,74	9,72
119	687	3,57	20,61	0	-0,09	0,09	1,83	12,96
119	683	3,57	20,49	0	-0,12	0,12	1,95	9,72
119	680	3,57	20,4	0	-0,09	0,09	2,04	16,52
120	675	3,6	20,25	0,03	-0,15	0,15	2,20	12,96
120	671	3,6	20,13	0	-0,12	0,12	2,32	16,52
121	666	3,63	19,98	0,03	-0,15	0,15	2,47	13,36
122	662	3,66	19,86	0,03	-0,12	0,12	2,59	16,52
123	657	3,69	19,71	0,03	-0,15	0,15	2,75	16,52
124	652	3,72	19,56	0,03	-0,15	0,15	2,90	16,52
125	647	3,75	19,41	0,03	-0,15	0,15	3,05	16,52
126	642	3,78	19,26	0,03	-0,15	0,15	3,20	19,44
126	636	3,78	19,08	0	-0,18	0,18	3,38	16,52
127	631	3,81	18,93	0,03	-0,15	0,15	3,54	22,91
128	624	3,84	18,72	0,03	-0,21	0,21	3,75	26,72
130	616	3,9	18,48	0,06	-0,24	0,25	4,00	30,74
133	607	3,99	18,21	0,09	-0,27	0,28	4,28	30,74
136	598	4,08	17,94	0,09	-0,27	0,28	4,57	40,08
139	586	4,17	17,58	0,09	-0,36	0,37	4,94	33,83
142	576	4,26	17,28	0,09	-0,3	0,31	5,25	36,94

145	565	4,35	16,95	0,09	-0,33	0,34	5,59	36,94
148	554	4,44	16,62	0,09	-0,33	0,34	5,93	40,98
152	542	4,56	16,26	0,12	-0,36	0,38	6,31	36,94
155	531	4,65	15,93	0,09	-0,33	0,34	6,66	36,94
158	520	4,74	15,6	0,09	-0,33	0,34	7,00	40,98
162	508	4,86	15,24	0,12	-0,36	0,38	7,38	36,94
165	497	4,95	14,91	0,09	-0,33	0,34	7,72	36,94
168	486	5,04	14,58	0,09	-0,33	0,34	8,06	40,98
172	474	5,16	14,22	0,12	-0,36	0,38	8,44	36,94
175	463	5,25	13,89	0,09	-0,33	0,34	8,78	40,08
178	451	5,34	13,53	0,09	-0,36	0,37	9,15	37,92
182	440	5,46	13,2	0,12	-0,33	0,35	9,50	40,08
185	428	5,55	12,84	0,09	-0,36	0,37	9,88	36,94
188	417	5,64	12,51	0,09	-0,33	0,34	10,22	40,98
192	405	5,76	12,15	0,12	-0,36	0,38	10,60	40,08
195	393	5,85	11,79	0,09	-0,36	0,37	10,97	36,94
198	382	5,94	11,46	0,09	-0,33	0,34	11,31	40,98
202	370	6,06	11,1	0,12	-0,36	0,38	11,69	36,94
205	359	6,15	10,77	0,09	-0,33	0,34	12,03	40,08
208	347	6,24	10,41	0,09	-0,36	0,37	12,40	37,92
212	336	6,36	10,08	0,12	-0,33	0,35	12,75	30,74
215	327	6,45	9,81	0,09	-0,27	0,28	13,04	46,39
218	313	6,54	9,39	0,09	-0,42	0,43	13,47	29,34
219	304	6,57	9,12	0,03	-0,27	0,27	13,74	36,94
222	293	6,66	8,79	0,09	-0,33	0,34	14,08	42,62
224	280	6,72	8,4	0,06	-0,39	0,39	14,48	32,56
225	270	6,75	8,1	0,03	-0,3	0,30	14,78	42,12
225	257	6,75	7,71	0	-0,39	0,39	15,17	42,62
227	244	6,81	7,32	0,06	-0,39	0,39	15,56	50,30
223	229	6,69	6,87	-0,12	-0,45	0,47	16,03	26,12
222	221	6,66	6,63	-0,03	-0,24	0,24	16,27	7,24

DIMENSIONE PIXEL 0,04 [m]								
X [pixel]	**Y [pixel]**	**X [m]**	**Y [m]**	**Dx [m]**	**Dy [m]**	**D [m]**	**Dc [m]**	**V [Km/h]**
80	547	3,2	21,88				0,00	30,55
85	542	3,4	21,68	0,2	-0,2	0,28	0,28	8,64
85	540	3,4	21,6	0	-0,08	0,08	0,36	24,44
89	536	3,56	21,44	0,16	-0,16	0,23	0,59	4,32
89	535	3,56	21,4	0	-0,04	0,04	0,63	12,96
89	532	3,56	21,28	0	-0,12	0,12	0,75	13,66
90	529	3,6	21,16	0,04	-0,12	0,13	0,88	19,32

92	525	3,68	21	0,08	-0,16	0,18	1,05	12,96
92	522	3,68	20,88	0	-0,12	0,12	1,17	9,66
91	520	3,64	20,8	-0,04	-0,08	0,09	1,26	8,64
91	518	3,64	20,72	0	-0,08	0,08	1,34	12,96
91	515	3,64	20,6	0	-0,12	0,12	1,46	9,66
90	513	3,6	20,52	-0,04	-0,08	0,09	1,55	12,96
90	510	3,6	20,4	0	-0,12	0,12	1,67	17,81
91	506	3,64	20,24	0,04	-0,16	0,16	1,84	17,28
91	502	3,64	20,08	0	-0,16	0,16	2,00	12,96
91	499	3,64	19,96	0	-0,12	0,12	2,12	12,96
91	496	3,64	19,84	0	-0,12	0,12	2,24	19,32
93	492	3,72	19,68	0,08	-0,16	0,18	2,42	12,96
93	489	3,72	19,56	0	-0,12	0,12	2,54	17,28
93	485	3,72	19,4	0	-0,16	0,16	2,70	13,66
94	482	3,76	19,28	0,04	-0,12	0,13	2,82	22,03
95	477	3,8	19,08	0,04	-0,2	0,20	3,03	17,81
96	473	3,84	18,92	0,04	-0,16	0,16	3,19	21,60
96	468	3,84	18,72	0	-0,2	0,20	3,39	27,32
98	462	3,92	18,48	0,08	-0,24	0,25	3,65	27,32
100	456	4	18,24	0,08	-0,24	0,25	3,90	31,45
102	449	4,08	17,96	0,08	-0,28	0,29	4,19	39,83
104	440	4,16	17,6	0,08	-0,36	0,37	4,56	35,62
106	432	4,24	17,28	0,08	-0,32	0,33	4,89	36,91
109	424	4,36	16,96	0,12	-0,32	0,34	5,23	35,62
111	416	4,44	16,64	0,08	-0,32	0,33	5,56	40,98
114	407	4,56	16,28	0,12	-0,36	0,38	5,94	39,83
116	398	4,64	15,92	0,08	-0,36	0,37	6,31	35,62
118	390	4,72	15,6	0,08	-0,32	0,33	6,64	40,98
121	381	4,84	15,24	0,12	-0,36	0,38	7,02	36,91
124	373	4,96	14,92	0,12	-0,32	0,34	7,36	35,62
126	365	5,04	14,6	0,08	-0,32	0,33	7,69	40,98
129	356	5,16	14,24	0,12	-0,36	0,38	8,07	35,62
131	348	5,24	13,92	0,08	-0,32	0,33	8,40	40,98
134	339	5,36	13,56	0,12	-0,36	0,38	8,78	39,83
136	330	5,44	13,2	0,08	-0,36	0,37	9,15	40,98
139	321	5,56	12,84	0,12	-0,36	0,38	9,53	35,62
141	313	5,64	12,52	0,08	-0,32	0,33	9,86	40,98
144	304	5,76	12,16	0,12	-0,36	0,38	10,24	39,83
146	295	5,84	11,8	0,08	-0,36	0,37	10,60	39,83
148	286	5,92	11,44	0,08	-0,36	0,37	10,97	36,91
151	278	6,04	11,12	0,12	-0,32	0,34	11,31	40,98
154	269	6,16	10,76	0,12	-0,36	0,38	11,69	35,62
156	261	6,24	10,44	0,08	-0,32	0,33	12,02	36,91
159	253	6,36	10,12	0,12	-0,32	0,34	12,37	36,91
162	245	6,48	9,8	0,12	-0,32	0,34	12,71	44,06

164	235	6,56	9,4	0,08	-0,4	0,41	13,12	46,53
168	225	6,72	9	0,16	-0,4	0,43	13,55	30,55
167	218	6,68	8,72	-0,04	-0,28	0,28	13,83	38,88
167	209	6,68	8,36	0	-0,36	0,36	14,19	54,64
171	197	6,84	7,88	0,16	-0,48	0,51	14,70	34,56
171	189	6,84	7,56	0	-0,32	0,32	15,02	34,83
172	181	6,88	7,24	0,04	-0,32	0,32	15,34	34,83

DIMENSIONE PIXEL 0,05 [m]								
X [pixel]	**Y [pixel]**	**X [m]**	**Y [m]**	**Dx [m]**	**Dy [m]**	**D [m]**	**Dc [m]**	**V [Km/h]**
68	434	3,4	21,7				0,00	12,07
69	432	3,45	21,6	0,05	-0,1	0,11	0,11	12,07
70	430	3,5	21,5	0,05	-0,1	0,11	0,22	19,47
72	427	3,6	21,35	0,1	-0,15	0,18	0,40	19,47
74	424	3,7	21,2	0,1	-0,15	0,18	0,58	7,64
73	423	3,65	21,15	-0,05	-0,05	0,07	0,65	10,80
73	421	3,65	21,05	0	-0,1	0,10	0,75	12,07
74	419	3,7	20,95	0,05	-0,1	0,11	0,87	17,08
75	416	3,75	20,8	0,05	-0,15	0,16	1,02	17,08
74	413	3,7	20,65	-0,05	-0,15	0,16	1,18	10,80
74	411	3,7	20,55	0	-0,1	0,10	1,28	7,64
73	410	3,65	20,5	-0,05	-0,05	0,07	1,35	10,80
73	408	3,65	20,4	0	-0,1	0,10	1,45	16,20
73	405	3,65	20,25	0	-0,15	0,15	1,60	17,08
74	402	3,7	20,1	0,05	-0,15	0,16	1,76	12,07
73	400	3,65	20	-0,05	-0,1	0,11	1,87	12,07
74	398	3,7	19,9	0,05	-0,1	0,11	1,99	16,20
74	395	3,7	19,75	0	-0,15	0,15	2,14	22,26
75	391	3,75	19,55	0,05	-0,2	0,21	2,34	17,08
76	388	3,8	19,4	0,05	-0,15	0,16	2,50	16,20
76	385	3,8	19,25	0	-0,15	0,15	2,65	16,20
76	382	3,8	19,1	0	-0,15	0,15	2,80	17,08
77	379	3,85	18,95	0,05	-0,15	0,16	2,96	21,60
77	375	3,85	18,75	0	-0,2	0,20	3,16	29,08
79	370	3,95	18,5	0,1	-0,25	0,27	3,43	22,26
80	366	4	18,3	0,05	-0,2	0,21	3,63	39,31
82	359	4,1	17,95	0,1	-0,35	0,36	4,00	34,15
84	353	4,2	17,65	0,1	-0,3	0,32	4,31	38,18
85	346	4,25	17,3	0,05	-0,35	0,35	4,67	34,15
87	340	4,35	17	0,1	-0,3	0,32	4,98	44,53
89	332	4,45	16,6	0,1	-0,4	0,41	5,40	34,15

91	326	4,55	16,3	0,1	-0,3	0,32	5,71	39,31
93	319	4,65	15,95	0,1	-0,35	0,36	6,08	39,31
95	312	4,75	15,6	0,1	-0,35	0,36	6,44	39,31
97	305	4,85	15,25	0,1	-0,35	0,36	6,80	34,15
99	299	4,95	14,95	0,1	-0,3	0,32	7,12	39,31
101	292	5,05	14,6	0,1	-0,35	0,36	7,48	39,31
103	285	5,15	14,25	0,1	-0,35	0,36	7,85	39,31
105	278	5,25	13,9	0,1	-0,35	0,36	8,21	34,15
107	272	5,35	13,6	0,1	-0,3	0,32	8,53	39,31
109	265	5,45	13,25	0,1	-0,35	0,36	8,89	39,31
111	258	5,55	12,9	0,1	-0,35	0,36	9,26	46,14
114	250	5,7	12,5	0,15	-0,4	0,43	9,68	32,85
115	244	5,75	12,2	0,05	-0,3	0,30	9,99	39,31
117	237	5,85	11,85	0,1	-0,35	0,36	10,35	39,31
119	230	5,95	11,5	0,1	-0,35	0,36	10,72	39,31
121	223	6,05	11,15	0,1	-0,35	0,36	11,08	46,14
124	215	6,2	10,75	0,15	-0,4	0,43	11,51	32,85
125	209	6,25	10,45	0,05	-0,3	0,30	11,81	39,31
127	202	6,35	10,1	0,1	-0,35	0,36	12,17	41,13
130	195	6,5	9,75	0,15	-0,35	0,38	12,56	39,31
132	188	6,6	9,4	0,1	-0,35	0,36	12,92	43,54
133	180	6,65	9	0,05	-0,4	0,40	13,32	27,53
134	175	6,7	8,75	0,05	-0,25	0,25	13,58	44,53
136	167	6,8	8,35	0,1	-0,4	0,41	13,99	32,85
137	161	6,85	8,05	0,05	-0,3	0,30	14,29	71,03
139	148	6,95	7,4	0,1	-0,65	0,66	14,95	17,08
138	145	6,9	7,25	-0,05	-0,15	0,16	15,11	48,90
137	136	6,85	6,8	-0,05	-0,45	0,45	15,56	48,90

ALLEGATO E

Analisi sensitività del parametro “Minimo rapporto di sfondo (MRS)”.

DIMENSIONE PIXEL 0,01 [m]									
0,4 (MRS)		0,5 (MRS)		0,6 (MRS)		0,7 (MRS)		0,8 (MRS)	
Dc [m]	V [Km/h]	Dc [m]	V [Km/h]	Dc [m]	V [Km/h]	Dc [m]	V [Km/h]	Dc [m]	V [Km/h]
0,00	33,55	0,00	33,55	0,00	33,55	0,00	33,55	0,00	32,65
0,31	22,91	0,31	22,91	0,31	22,91	0,31	21,38	0,30	23,69
0,52	17,97	0,52	18,58	0,52	18,58	0,52	17,08	0,52	18,58
0,69	16,06	0,69	16,06	0,69	16,06	0,69	17,58	0,69	16,87
0,84	11,28	0,84	11,01	0,84	11,01	0,84	12,07	0,85	10,25
0,94	15,46	0,95	15,46	0,95	15,46	0,95	14,49	0,94	15,04
1,09	9,96	1,09	9,96	1,09	9,96	1,09	12,31	1,08	11,01
1,18	10,80	1,18	10,85	1,18	10,85	1,18	15,46	1,19	9,78
1,28	14,41	1,28	14,21	1,28	14,21	1,28	14,41	1,28	15,46
1,41	10,85	1,41	10,85	1,41	10,85	1,42	9,78	1,42	9,78
1,51	14,21	1,51	14,21	1,51	14,21	1,51	15,27	1,51	14,08
1,64	14,21	1,64	14,21	1,64	14,21	1,64	16,52	1,64	15,27
1,77	11,93	1,78	11,93	1,78	11,93	1,79	14,69	1,78	12,07
1,89	11,01	1,89	11,01	1,89	11,93	1,89	14,41	1,89	11,88
1,99	14,21	1,99	14,21	2,00	13,00	2,00	14,41	2,00	12,96
2,12	14,41	2,12	14,41	2,12	14,21	2,12	15,27	2,12	14,21
2,25	13,14	2,25	13,00	2,25	13,14	2,26	14,21	2,26	14,08
2,37	15,16	2,37	15,27	2,37	15,27	2,38	17,58	2,39	15,46
2,51	14,21	2,52	14,21	2,51	14,21	2,52	13,14	2,53	15,16
2,65	15,27	2,65	15,27	2,64	15,27	2,65	16,34	2,67	14,21
2,79	17,81	2,79	17,81	2,79	17,81	2,79	17,81	2,80	18,86
2,95	15,27	2,95	15,16	2,95	15,16	2,96	15,16	2,98	13,36
3,09	16,52	3,09	16,77	3,09	16,52	3,09	17,41	3,10	17,58
3,25	18,39	3,25	18,39	3,24	18,49	3,26	19,56	3,26	17,31
3,42	19,71	3,42	19,71	3,41	19,71	3,42	19,71	3,42	19,71
3,60	22,26	3,60	22,26	3,60	22,26	3,60	20,77	3,60	22,26
3,81	24,63	3,81	24,63	3,80	24,63	3,81	20,63	3,81	27,00
4,03	31,45	4,04	31,45	4,03	31,45	4,04	25,67	4,06	31,76
4,32	35,18	4,33	35,18	4,32	35,18	4,33	30,93	4,36	34,86
4,65	35,62	4,65	35,62	4,65	35,62	4,65	34,58	4,68	35,90
4,98	37,24	4,98	37,24	4,98	37,24	4,98	34,58	5,01	34,86
5,32	35,90	5,33	35,90	5,32	35,90	5,33	33,27	5,33	35,90
5,66	36,94	5,66	36,94	5,66	36,94	5,66	35,62	5,67	36,94
6,00	38,28	6,00	38,28	6,00	38,28	6,00	38,28	6,01	37,98

6,35	39,62	6,36	39,62	6,35	39,62	6,35	38,28	6,36	38,94
6,72	35,90	6,72	35,90	6,72	35,90	6,72	38,28	6,72	36,67
7,05	39,31	7,06	39,31	7,05	39,31	7,05	38,28	7,06	39,62
7,42	38,28	7,42	38,28	7,42	38,28	7,42	38,28	7,43	37,24
7,77	38,59	7,77	38,59	7,77	38,59	7,77	38,59	7,77	38,59
8,13	39,31	8,13	39,31	8,13	39,31	8,13	40,65	8,13	40,35
8,49	38,59	8,50	38,59	8,49	38,59	8,49	36,94	8,50	37,57
8,85	38,28	8,85	38,28	8,85	38,28	8,85	38,59	8,85	39,31
9,20	39,62	9,21	39,62	9,20	39,62	9,21	38,28	9,21	38,59
9,57	36,94	9,57	36,94	9,57	36,94	9,57	38,28	9,57	37,98
9,91	38,28	9,92	38,28	9,91	38,28	9,92	39,62	9,92	38,28
10,27	39,31	10,27	39,31	10,27	39,31	10,27	38,28	10,28	37,98
10,63	40,35	10,63	40,35	10,63	40,35	10,63	41,69	10,63	40,65
11,01	36,94	11,01	36,94	11,00	36,94	11,01	36,43	11,01	36,94
11,35	40,98	11,35	40,98	11,35	40,98	11,35	40,32	11,35	40,98
11,73	40,65	11,73	40,65	11,73	40,65	11,73	41,69	11,73	40,65
12,10	42,02	12,11	42,02	12,10	42,02	12,10	37,30	12,10	42,02
12,49	38,59	12,50	38,59	12,49	38,59	12,49	43,38	12,49	38,59
12,85	35,62	12,85	35,62	12,85	35,62	12,85	35,18	12,85	35,62
13,18	35,16	13,18	35,16	13,18	35,16	13,18	36,22	13,18	35,16
13,51	43,48	13,51	43,48	13,50	43,48	13,51	44,40	13,51	43,48
13,91	44,07	13,91	44,07	13,91	44,07	13,91	41,94	13,91	44,07
14,32	38,18	14,32	38,18	14,31	38,18	14,32	34,63	14,32	38,18
14,67	44,06	14,67	44,06	14,67	44,06	14,67	45,85	14,67	44,06

DIMENSIONE PIXEL 0,02 [m]									
0,4 (MRS)		**0,5 (MRS)**		**0,6 (MRS)**		**0,7 (MRS)**		**0,8 (MRS)**	
Dc [m]	**V [Km/h]**	**Dc [m]**	**V [Km/h]**	**Dc [m]**	**V [Km/h]**	**Dc [m]**	**V [Km/h]**	**Dc [m]**	**V [Km/h]**
0,00	24,63	0,00	24,63	0,00	24,63	0,00	24,63	0,00	24,63
0,23	27,66	27,66	27,66	27,66	27,66	0,23	27,66	27,66	27,66
0,48	15,27	42,94	15,27	42,94	15,27	0,48	15,27	42,94	15,27
0,63	11,01	53,95	11,01	53,95	11,01	0,63	11,01	53,95	11,01
0,73	14,49	68,44	14,49	68,44	15,58	0,73	15,58	69,52	15,58
0,86	11,01	79,45	11,01	79,45	10,80	0,87	10,80	80,32	10,80
0,96	9,66	89,11	9,66	89,11	9,66	0,97	11,01	91,34	11,01
1,05	13,66	102,77	13,66	102,77	13,66	1,07	13,14	104,48	13,14
1,18	12,96	115,73	12,96	115,73	12,96	1,20	10,80	115,28	10,80
1,30	10,80	126,53	10,80	126,53	10,80	1,30	10,80	126,08	10,80
1,40	13,14	139,67	13,14	139,67	13,14	1,40	15,27	141,35	15,12
1,52	12,96	152,63	12,96	152,63	12,96	1,54	10,80	152,15	11,01
1,64	10,80	163,43	10,80	163,43	10,80	1,64	10,80	162,95	12,96

1,74	12,96	176,39	12,96	176,39	12,96	1,74	12,96	175,91	12,96
1,86	13,14	189,53	13,14	189,53	13,14	1,86	13,14	189,05	13,14
1,98	15,27	204,80	15,27	204,80	15,27	1,98	15,27	204,32	13,14
2,12	15,27	220,08	15,27	220,08	15,27	2,12	15,27	219,60	17,41
2,27	13,14	233,22	13,14	233,22	15,27	2,26	15,27	234,87	13,14
2,39	17,41	250,63	17,41	250,63	15,27	2,40	15,27	250,14	15,73
2,55	17,81	268,44	17,81	268,44	17,81	2,54	17,81	267,96	17,41
2,71	15,73	284,17	15,73	284,17	15,73	2,71	15,73	283,68	15,73
2,86	15,27	299,44	15,27	299,44	15,27	2,85	17,41	301,10	17,41
3,00	19,56	319,00	19,56	319,00	19,56	3,02	17,41	318,51	17,41
3,18	19,91	338,92	19,91	338,92	19,91	3,18	19,91	338,42	22,03
3,37	24,15	363,06	24,15	363,06	24,15	3,36	24,15	362,57	22,55
3,59	22,55	385,62	22,55	385,62	22,55	3,59	22,55	385,12	24,15
3,80	31,45	417,07	31,45	417,07	31,45	3,79	31,45	416,57	32,11
4,09	36,21	453,27	36,21	453,27	36,21	4,09	36,21	452,78	35,62
4,43	36,21	489,48	36,21	489,48	36,21	4,42	36,21	488,99	36,21
4,76	36,21	525,69	36,21	525,69	36,21	4,76	36,21	525,20	36,21
5,10	37,72	563,41	37,72	563,41	37,72	5,09	37,72	562,92	35,62
5,44	36,21	599,62	36,21	599,62	36,21	5,44	36,21	599,13	36,21
5,78	38,28	637,90	38,28	637,90	38,28	5,78	38,28	637,41	38,28
6,13	38,28	676,17	38,28	676,17	38,28	6,13	38,28	675,68	38,28
6,49	35,62	711,80	35,62	711,80	35,62	6,48	35,62	711,30	35,62
6,82	40,98	752,78	40,98	752,78	40,98	6,81	40,98	752,29	40,98
7,20	38,28	791,05	38,28	791,05	38,28	7,19	38,28	790,56	38,28
7,55	37,72	828,78	37,72	828,78	37,72	7,55	37,72	828,29	37,72
7,90	38,94	867,72	38,94	867,72	38,94	7,90	38,94	867,23	38,94
8,26	38,28	905,99	38,28	905,99	38,28	8,26	38,28	905,50	38,28
8,62	40,35	946,34	40,35	946,34	40,35	8,61	40,35	945,85	40,35
8,99	38,28	984,62	38,28	984,62	38,28	8,99	38,28	984,13	38,28
9,34	37,72	1022,34	37,72	1022,34	37,72	9,34	37,72	1021,85	37,72
9,69	40,98	1063,33	40,98	1063,33	40,98	9,69	40,98	1062,83	40,98
10,07	36,21	1099,53	36,21	1099,53	36,21	10,07	36,21	1099,04	36,21
10,41	39,83	1139,36	39,83	1139,36	39,83	10,40	39,83	1138,87	41,94
10,78	38,28	1177,64	38,28	1177,64	38,28	10,77	38,28	1177,15	36,21
11,13	40,35	1217,99	40,35	1217,99	40,35	11,13	40,35	1217,50	40,35
11,51	38,28	1256,26	38,28	1256,26	38,28	11,50	38,28	1255,77	38,28
11,86	40,98	1297,25	40,98	1297,25	40,98	11,86	40,98	1296,76	40,98
12,24	38,28	1335,52	38,28	1335,52	38,28	12,24	38,28	1335,03	38,28
12,59	34,15	1369,68	34,15	1369,68	34,15	12,59	34,15	1369,18	34,15
12,91	39,42	1409,09	39,42	1409,09	39,42	12,91	39,42	1408,60	39,42
13,28	35,62	1444,72	35,62	1444,72	35,62	13,27	35,16	1443,76	35,16
13,61	38,28	1482,99	36,21	1480,92	36,21	13,60	36,91	1480,67	36,91
13,96	38,94	1521,93	41,10	1522,02	41,10	13,94	41,10	1521,77	41,10
14,32	45,10	1567,03	45,10	1567,12	45,10	14,32	45,10	1566,87	45,10
14,74	36,72	1603,75	36,72	1603,84	36,72	14,74	36,78	1603,66	36,78

15,08	47,52	1651,27	47,52	1651,36	47,52	15,08	47,57	1651,22	47,52
15,52	52,02	1703,29	52,02	1703,38	52,02	15,52	52,02	1703,24	52,02
16,00	15,27	1718,57	15,27	1718,66	15,27	16,00	15,27	1718,52	17,28
16,14	15,27	1733,84	15,27	1733,93	15,27	16,14	15,27	1733,79	17,28

DIMENSIONE PIXEL 0,03 [m]									
0,4 (MRS)		**0,5 (MRS)**		**0,6 (MRS)**		**0,7 (MRS)**		**0,8 (MRS)**	
Dc [m]	**V [Km/h]**	**Dc [m]**	**V [Km/h]**	**Dc [m]**	**V [Km/h]**	**Dc [m]**	**V [Km/h]**	**Dc [m]**	**V [Km/h]**
0,00	42,24	0,00	42,24	0,00	42,24	0,00	42,24	0,00	42,24
0,39	20,75	0,39	20,75	20,75	20,75	0,39	20,75	0,39	20,75
0,58	18,33	0,58	18,33	39,07	18,33	0,58	18,33	0,58	20,75
0,75	14,49	0,75	14,49	53,56	14,49	0,75	14,49	0,78	11,68
0,89	13,36	0,89	13,36	66,92	13,36	0,89	13,36	0,88	13,36
1,01	10,25	1,01	10,25	77,17	10,25	1,01	11,68	1,01	11,68
1,11	10,25	1,11	10,25	87,41	10,25	1,12	11,68	1,12	11,68
1,20	13,36	1,20	13,36	100,77	13,36	1,23	14,49	1,22	14,49
1,32	10,25	1,32	10,25	111,02	10,25	1,36	11,68	1,36	11,68
1,42	12,96	1,42	12,96	123,98	12,96	1,47	12,96	1,47	12,96
1,54	16,20	1,54	16,20	140,18	16,52	1,59	16,52	1,59	16,52
1,69	10,25	1,69	10,25	150,42	9,72	1,74	9,72	1,74	9,72
1,78	9,72	1,78	9,72	160,14	12,96	1,83	12,96	1,83	12,96
1,87	12,96	1,87	12,96	173,10	9,72	1,95	9,72	1,95	9,72
1,99	16,52	1,99	16,52	189,63	16,52	2,04	16,52	2,04	16,52
2,15	12,96	2,15	12,96	202,59	12,96	2,20	12,96	2,19	13,36
2,27	16,52	2,27	16,52	219,11	16,52	2,32	16,52	2,32	16,20
2,42	13,36	2,42	13,36	232,47	13,36	2,47	13,36	2,47	16,52
2,54	16,52	2,54	16,52	248,99	16,52	2,59	16,52	2,62	13,36
2,70	16,52	2,70	16,52	265,51	16,52	2,75	16,52	2,74	19,71
2,85	16,20	2,85	16,20	281,71	16,52	2,90	16,52	2,92	13,36
3,00	16,52	3,00	16,52	298,23	16,52	3,05	16,52	3,05	19,71
3,15	16,52	3,15	16,52	314,75	16,20	3,20	19,44	3,23	16,20
3,31	19,71	3,31	19,71	334,46	19,71	3,38	16,52	3,38	19,71
3,49	22,91	3,49	22,91	357,37	22,91	3,54	22,91	3,56	23,59
3,70	26,72	3,70	26,72	384,08	26,72	3,75	26,72	3,78	26,72
3,95	27,68	3,95	27,68	411,77	27,68	4,00	30,74	4,03	29,87
4,20	33,83	4,20	33,83	445,59	33,83	4,28	30,74	4,31	33,83
4,52	40,08	4,52	40,08	485,67	40,08	4,57	40,08	4,62	37,92
4,89	33,83	4,89	33,83	519,50	33,83	4,94	33,83	4,97	33,04
5,20	36,94	5,20	36,94	556,44	36,94	5,25	36,94	5,28	33,83
5,54	36,94	5,54	36,94	593,38	36,94	5,59	36,94	5,59	36,94
5,89	37,92	5,89	37,92	631,30	37,92	5,93	40,98	5,93	40,98

6,24	40,08	6,24	40,08	671,38	40,08	6,31	36,94	6,31	36,94
6,61	36,94	6,61	36,94	708,32	36,94	6,66	36,94	6,65	36,94
6,95	37,92	6,95	40,98	749,31	40,98	7,00	40,98	6,99	40,98
7,30	40,08	7,33	36,94	786,25	36,94	7,38	36,94	7,37	36,94
7,67	36,94	7,67	36,94	823,19	36,94	7,72	36,94	7,72	36,94
8,01	40,98	8,01	40,98	864,17	40,98	8,06	40,98	8,06	40,98
8,39	36,94	8,39	36,94	901,11	36,94	8,44	36,94	8,44	36,94
8,74	40,08	8,73	40,08	941,19	40,08	8,78	40,08	8,78	40,08
9,11	37,92	9,11	37,92	979,11	37,92	9,15	37,92	9,15	37,92
9,46	40,08	9,46	40,08	1019,19	40,08	9,50	40,08	9,50	40,08
9,83	36,94	9,83	36,94	1056,13	36,94	9,88	36,94	9,87	36,94
10,17	40,98	10,17	40,98	1097,11	40,98	10,22	40,98	10,22	40,98
10,55	40,08	10,55	40,08	1137,19	40,08	10,60	40,08	10,59	40,08
10,92	36,94	10,92	36,94	1174,13	36,94	10,97	36,94	10,97	36,94
11,26	40,98	11,26	40,98	1215,12	40,98	11,31	40,98	11,31	44,07
11,64	36,94	11,64	36,94	1252,06	36,94	11,69	36,94	11,72	33,83
11,98	40,08	11,98	40,08	1292,13	40,08	12,03	40,08	12,03	40,98
12,36	37,92	12,36	37,92	1330,06	37,92	12,40	37,92	12,41	36,94
12,71	30,74	12,71	30,74	1360,79	30,74	12,75	30,74	12,75	30,74
12,99	46,39	12,99	46,39	1407,18	46,39	13,04	46,39	13,04	46,39
13,42	29,34	13,42	29,34	1436,52	29,34	13,47	29,34	13,46	29,34
13,69	36,94	13,69	36,94	1473,47	36,94	13,74	36,94	13,74	36,94
14,04	42,62	14,03	42,62	1516,08	42,62	14,08	42,62	14,08	42,62
14,43	32,56	14,43	32,56	1548,64	32,56	14,48	32,56	14,47	35,79
14,73	42,12	14,73	42,12	1590,76	42,12	14,78	42,12	14,80	38,88
15,12	42,62	15,12	42,62	1633,38	42,62	15,17	42,62	15,16	42,62
15,52	50,30	15,52	50,30	1683,68	50,30	15,56	50,30	15,56	51,23
15,98	26,12	15,98	26,12	1709,80	26,12	16,03	26,12	16,03	25,92
16,22	7,24	16,22	7,24	1717,04	7,24	16,27	7,24	16,27	7,24
16,29	7,24	16,29	7,24	1724,29	7,24	16,34	7,24	16,34	7,24

ALLEGATO F

Validazione delle velocità operative.

S03nA											
Campione Estratto		Campione Calcolato									
ID [-]	Velocità [km/h]	X_1 [px]	Y_1 [px]	X_2 [px]	Y_2 [px]	Distanza [px]	F_1 [-]	F_2 [-]	Δ_F [-]	Tempo [sec]	Velocità [km/h]
30	44,82	581	380	385	1086	733	450	485	35	1,167	45,22
38	37,29	545	234	359	1088	874	658	707	49	1,633	38,53
42	31,45	655	754	741	402	362	905	930	25	0,833	31,31
50	40,78	597	982	779	304	702	1129	1164	35	1,167	43,32
53	58,76	621	716	761	216	519	1250	1270	20	0,667	56,08
55	44,06	569	250	423	912	678	1295	1327	32	1,067	45,76
60	57,19	517	526	381	1098	588	1674	1696	22	0,733	57,73
61	31,19	355	119	165	1130	1029	1872	1942	70	2,333	31,74
68	39,49	679	640	755	364	286	2205	2219	14	0,467	44,17
70	54,73	495	414	371	970	570	2235	2257	22	0,733	55,93
72	43,68	535	1158	689	532	645	2302	2334	32	1,067	43,51
74	57,08	541	258	389	935	694	2393	2418	25	0,833	59,95
81	48,73	555	1082	781	228	883	2584	2619	35	1,167	54,52
85	68,51	499	572	381	1110	551	2907	2924	17	0,567	69,98
87	56,36	589	192	349	1142	980	3009	3049	40	1,333	52,91
90	41,94	623	862	751	359	519	3093	3119	26	0,867	43,12
92	31,78	573	1058	659	724	345	3274	3296	22	0,733	33,86
93	35,94	619	826	727	392	447	3348	3374	26	0,867	37,15
94	34,87	628	860	722	442	428	3400	3426	26	0,867	35,59
95	38,00	553	50	335	1182	1153	3479	3544	65	2,167	38,31
100	50,84	547	433	413	1014	596	3853	3877	24	0,800	53,66
103	61,44	513	392	341	1182	809	4311	4339	28	0,933	62,37
105	22,13	567	1162	775	322	865	4430	4512	82	2,733	22,80
108	42,19	659	952	781	544	426	4822	4843	21	0,700	43,80
136	38,28	679	714	789	346	384	5274	5293	19	0,633	43,66
140	38,94	619	862	769	308	574	5361	5392	31	1,033	39,99
171	24,63	593	1190	857	320	909	6080	6165	85	2,833	23,10
172	28,16	595	1010	689	598	423	6185	6220	35	1,167	26,08
199	14,49	693	1024	779	714	322	7128	7173	45	1,500	15,44
206	47,18	599	1108	811	416	724	7575	7608	33	1,100	47,37
207	48,30	547	54	369	864	829	7645	7682	37	1,233	48,41
211	37,32	695	856	853	328	551	7734	7765	31	1,033	38,40
227	58,76	597	64	477	614	563	7981	8003	22	0,733	55,27

230	48,99	571	1021	763	338	709	8140	8170	30	1,000	51,08
249	62,10	537	1166	697	580	607	8492	8514	22	0,733	59,64
251	28,82	387	48	155	1074	1052	8610	8689	79	2,633	28,76
252	34,73	429	380	245	1332	970	8748	8811	63	2,100	33,24
253	54,69	469	514	337	1142	642	8846	8872	26	0,867	53,31
254	41,94	455	734	371	1094	370	8920	8939	19	0,633	42,03
265	55,07	513	354	307	1234	904	9110	9146	36	1,200	54,23

S03nB											
Campione Estratto		**Campione Calcolato**									
ID [-]	**Velocità [km/h]**	**X_1 [px]**	**Y_1 [px]**	**X_2 [px]**	**Y_2 [px]**	**Distanza [px]**	**F_1 [-]**	**F_2 [-]**	**Δ_F [-]**	**Tempo [sec]**	**Velocità [km/h]**
1	46,15	553	1194	737	602	620	20	49	29	0,967	46,17
2	47,18	567	1154	781	472	715	113	146	33	1,100	46,79
3	24,15	705	1024	779	782	253	220	242	22	0,733	24,85
4	58,16	541	1074	757	329	776	280	308	28	0,933	59,84
20	13,66	619	262	409	1050	816	550	650	100	3,333	17,61
22	38,28	527	316	339	948	659	768	806	38	1,267	37,48
23	41,72	607	1136	789	578	587	1214	1243	29	0,967	43,72
25	38,94	657	864	817	358	531	1310	1339	29	0,967	39,53
27	42,13	531	1146	705	602	571	1415	1445	30	1,000	41,12
28	17,41	707	1026	817	622	419	1444	1493	49	1,633	18,46
29	36,21	531	176	345	806	657	1634	1672	38	1,267	37,34
45	47,18	595	1136	765	569	592	2185	2213	28	0,933	45,66
52	51,93	547	304	331	1032	759	2450	2483	33	1,100	49,70
53	40,35	539	224	353	890	691	2693	2731	38	1,267	39,31
59	17,41	669	1086	797	632	472	2935	2995	60	2,000	16,98
62	39,83	563	160	339	972	842	3117	3162	45	1,500	40,43
68	45,77	601	1178	805	500	708	3398	3432	34	1,133	44,98
69	49,87	585	1032	769	380	677	3916	3946	30	1,000	48,78
71	59,74	520	224	323	995	796	4080	4109	29	0,967	59,27
72	56,39	527	340	317	1066	756	4160	4190	30	1,000	54,41
84	43,74	563	228	393	794	591	4555	4585	30	1,000	42,55
85	49,87	449	704	325	1136	449	4655	4675	20	0,667	48,54
86	49,26	521	144	271	1004	896	4745	4785	40	1,333	48,36
87	47,18	435	600	261	1212	636	4840	4870	30	1,000	45,81
88	47,18	649	250	445	958	737	4970	5005	35	1,167	45,47
89	56,08	595	332	371	1060	762	5185	5215	30	1,000	54,84
90	71,80	589	220	405	846	652	5595	5615	20	0,667	70,47
93	41,35	533	1146	701	632	541	5765	5793	28	0,933	41,72

96	20,49	411	556	343	786	240	5885	5902	17	0,567	30,47
107	49,26	589	1132	753	538	616	6410	6437	27	0,900	49,30
108	47,81	649	952	797	436	537	6485	6509	24	0,800	48,31
109	45,87	655	838	771	424	430	6540	6560	20	0,667	46,43
110	51,34	481	302	249	1120	850	6688	6725	37	1,233	49,64
111	42,44	515	278	309	1030	780	6850	6890	40	1,333	42,10
112	40,35	396	544	249	1082	558	6945	6975	30	1,000	40,16
113	62,62	519	226	271	1072	882	7188	7218	30	1,000	63,48
116	47,81	585	1072	769	452	647	7860	7890	30	1,000	46,56
120	38,28	471	454	329	966	531	7957	7987	30	1,000	38,26
121	56,70	587	914	745	348	588	8038	8060	22	0,733	57,70
122	54,00	565	1138	725	588	573	8140	8163	23	0,767	53,79

S05nA											
Campione Estratto		**Campione Calcolato**									
ID [-]	**Velocità [km/h]**	**X_1 [px]**	**Y_1 [px]**	**X_2 [px]**	**Y_2 [px]**	**Distanza [px]**	**F_1 [-]**	**F_2 [-]**	**Δ_F [-]**	**Tempo [sec]**	**Velocità [km/h]**
2	38,28	544	937	678	454	501	203	232	29	0,967	37,33
7	38,28	281	1045	616	544	603	300	335	35	1,167	37,19
22	36,21	400	179	196	872	722	788	830	42	1,400	37,15
37	24,63	492	1105	681	407	723	1270	1335	65	2,167	24,03
40	28,82	489	1055	675	386	694	1574	1625	51	1,700	29,41
42	49,87	354	266	163	925	686	1790	1820	30	1,000	49,40
44	31,45	555	830	712	277	575	1920	1960	40	1,333	31,04
61	54,00	409	332	216	1043	737	2910	2940	30	1,000	53,04
62	51,93	354	500	218	970	489	2990	3010	20	0,667	52,84
63	44,53	403	223	270	709	504	3060	3085	25	0,833	43,53
70	45,77	390	354	204	948	622	3415	3445	30	1,000	44,82
71	43,90	352	512	210	1007	515	3490	3515	25	0,833	44,49
74	25,28	285	560	159	940	400	3670	3695	25	0,833	34,59
76	54,00	544	889	673	409	497	3965	3985	20	0,667	53,68
77	49,26	523	962	586	638	330	4008	4025	17	0,567	41,94
78	47,18	396	238	217	871	658	4065	4095	30	1,000	47,36
79	39,83	477	1082	655	388	716	4280	4320	40	1,333	38,69
81	44,29	585	649	690	259	404	4465	4485	20	0,667	43,62
83	40,98	484	1075	685	347	755	4555	4595	40	1,333	40,78
89	26,72	450	28	225	791	795	5015	5078	63	2,100	27,27
125	67,06	448	241	238	998	786	5870	5895	25	0,833	67,87
130	48,30	483	971	645	431	564	6248	6273	25	0,833	48,71
132	54,00	465	107	259	818	740	6555	6585	30	1,000	53,30
133	53,44	466	106	288	707	627	6760	6785	25	0,833	54,16

134	44,53	457	104	250	797	723	6930	6965	35	1,167	44,64
135	33,04	433	29	130	1024	1040	7285	7350	65	2,167	34,56
139	46,63	495	992	663	388	627	7760	7790	30	1,000	45,14
144	29,38	471	1106	661	439	694	7930	7980	50	1,667	29,96
154	44,53	361	412	226	901	507	8420	8445	25	0,833	43,83
156	35,62	463	200	291	899	720	8560	8603	43	1,433	36,16
158	33,53	498	1107	663	550	581	9000	9038	38	1,267	33,02
161	48,64	460	88	246	863	804	9807	9843	36	1,200	48,24
169	38,28	514	1037	646	559	496	10098	10126	28	0,933	38,25
170	33,53	528	784	625	428	369	10180	10204	24	0,800	33,21
176	24,63	571	775	654	454	332	10454	10483	29	0,967	24,70

S05nB											
Campione Estratto		**Campione Calcolato**									
ID [-]	**Velocità [km/h]**	**X_1 [px]**	**Y_1 [px]**	**X_2 [px]**	**Y_2 [px]**	**Distanza [px]**	**F_1 [-]**	**F_2 [-]**	**Δ_F [-]**	**Tempo [sec]**	**Velocità [km/h]**
11	40,98	507	866	625	503	382	390	410	20	0,667	41,22
15	27,41	508	668	544	422	249	575	595	20	0,667	26,85
27	25,28	538	908	720	346	591	773	820	47	1,567	27,15
30	43,04	405	325	229	799	506	875	900	25	0,833	43,69
31	29,38	544	919	720	397	551	950	990	40	1,333	29,75
32	25,28	558	841	675	502	359	1025	1055	30	1,000	25,82
41	30,09	366	406	232	788	405	1230	1260	30	1,000	29,15
45	24,15	579	808	738	343	491	1430	1479	49	1,633	21,66
48	33,74	370	418	205	842	455	1560	1590	30	1,000	32,76
49	31,15	480	191	261	793	641	1664	1705	41	1,367	33,75
67	62,55	468	886	639	413	503	2100	2117	17	0,567	63,91
80	25,28	465	1099	633	650	479	2595	2635	40	1,333	25,89
83	31,45	579	839	721	449	415	2715	2745	30	1,000	29,88
87	22,55	634	620	741	313	325	2800	2830	30	1,000	23,41
100	50,56	424	308	193	928	662	3040	3068	28	0,933	51,04
103	13,66	651	679	712	505	184	3225	3255	30	1,000	13,28
112	62,19	378	362	69	1166	861	3500	3530	30	1,000	62,02
202	54,17	564	43	241	919	934	5671	5710	39	1,300	51,71
209	49,35	531	274	312	880	644	6265	6294	29	0,967	47,99
242	17,93	355	491	228	848	379	7330	7370	40	1,333	20,46
301	53,13	562	133	243	1013	936	9030	9070	40	1,333	50,55
307	43,04	415	484	198	1062	617	9260	9290	30	1,000	44,45
309	13,66	589	685	655	500	196	9315	9345	30	1,000	14,14
337	34,90	381	274	169	866	629	9950	9990	40	1,333	33,96
347	37,29	583	52	330	896	881	10250	10300	50	1,667	38,06

354	14,25	594	797	628	557	242	11045	11077	32	1,067	16,36
356	43,74	547	71	220	1003	988	11270	11320	50	1,667	42,67
402	24,63	504	791	645	407	409	12550	12588	38	1,267	23,25
423	7,79	610	590	663	466	135	13110	13150	40	1,333	7,28
433	4,57	576	814	675	518	312	13405	13500	95	3,167	7,10
443	44,53	364	443	153	1025	619	13765	13795	30	1,000	44,57
451	7,13	537	767	573	664	109	14230	14270	40	1,333	5,89
462	44,06	618	719	710	445	289	14628	14653	25	0,833	24,97
464	46,53	519	28	226	830	854	14700	14740	40	1,333	46,11
507	55,07	417	1034	619	410	656	15775	15800	25	0,833	56,67

ALLEGATO G

Distribuzione trasversale delle utenze.

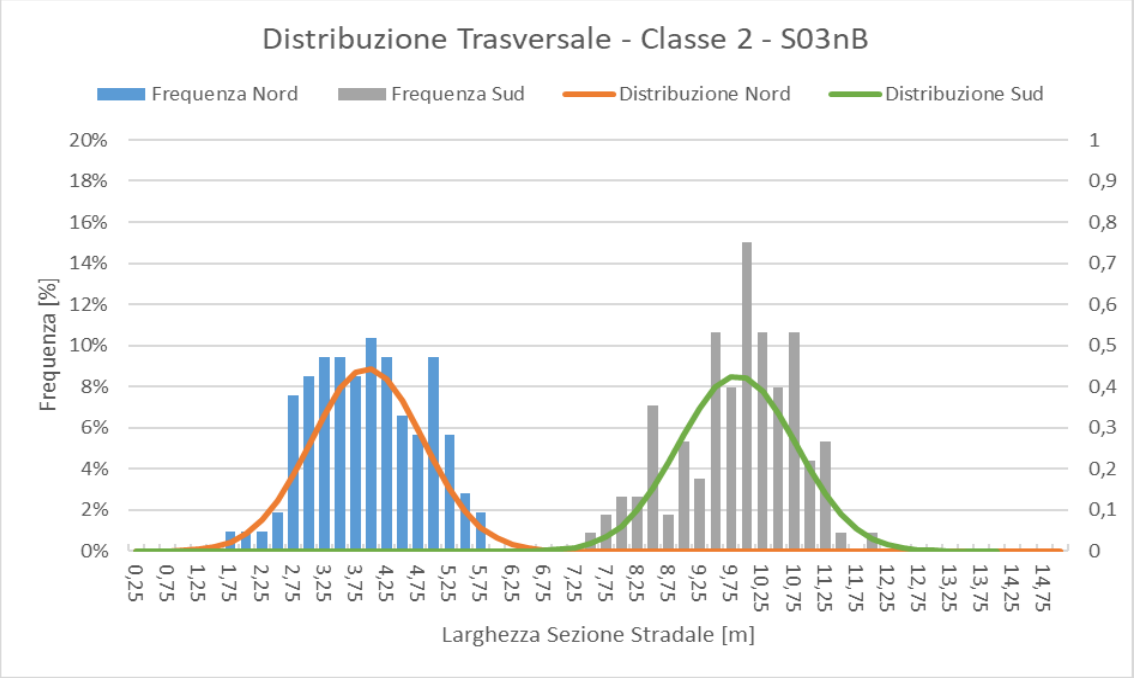
S03nB – Corsia Nord							
Numerosità popolazione [-]	106	**Distanza Media Popolazione [m]**		3,80	**Deviazione Standard Distanza Popolazione [m]**		0,89
Classe Distanza D [m]	**Media D [m]**	**Frequenza Assoluta [-]**	**Freq. Assoluta [%]**	**Freq. Ass. Cumulata [-]**	**Freq. Ass. Cumulata [%]**	**Distr. Normale**	**Distr. Normale [%]**
0-0,25	0,125	0	0,000	0	0,000	9,475E-05	0,002369
0,25-0,5	0,375	0	0,000	0	0,000	0,0002869	0,007173
0,5-0,75	0,625	0	0,000	0	0,000	0,0008037	0,020093
0,75-1	0,875	0	0,000	0	0,000	0,0020830	0,052076
1-1,25	1,125	0	0,000	0	0,000	0,0049947	0,124868
1,25-1,5	1,375	0	0,000	0	0,000	0,0110801	0,277005
1,5-1,75	1,625	1	0,009	1	0,009	0,0227408	0,568528
1,75-2	1,875	1	0,009	2	0,019	0,0431812	1,079542
2-2,25	2,125	1	0,009	3	0,028	0,0758590	1,896495
2,25-2,5	2,375	2	0,019	5	0,047	0,1232946	3,082397
2,5-2,75	2,625	8	0,075	13	0,123	0,1853983	4,635004
2,75-3	2,875	9	0,085	22	0,208	0,2579241	6,448167
3-3,25	3,125	10	0,094	32	0,302	0,3319729	8,299405
3,25-3,5	3,375	10	0,094	42	0,396	0,3953101	9,882852
3,5-3,75	3,625	9	0,085	51	0,481	0,4355097	10,88785
3,75-4	3,875	11	0,104	62	0,585	0,4438972	11,09754
4-4,25	4,125	10	0,094	72	0,679	0,4185926	10,46491
4,25-4,5	4,375	7	0,066	79	0,745	0,3651953	9,129976
4,5-4,75	4,625	6	0,057	85	0,802	0,2947702	7,369329
4,75-5	4,875	10	0,094	95	0,896	0,2201236	5,503145
5-5,25	5,125	6	0,057	101	0,953	0,1520807	3,802056
5,25-5,5	5,375	3	0,028	104	0,981	0,0972089	2,430248
5,5-5,75	5,625	2	0,019	106	1,000	0,0574861	1,437167
5,75-6	5,875	0	0,000	106	1,000	0,0314517	0,786301
6-6,25	6,125	0	0,000	106	1,000	0,0159202	0,398010
6,25-6,5	6,375	0	0,000	106	1,000	0,0074555	0,186391
6,5-6,75	6,625	0	0,000	106	1,000	0,0032302	0,080757
6,75-7	6,875	0	0,000	106	1,000	0,0012948	0,032371
7-7,25	7,125	0	0,000	106	1,000	0,0004801	0,012005
7,25-7,5	7,375	0	0,000	106	1,000	0,0001647	0,004119
7,5-7,75	7,625	0	0,000	106	1,000	5,230E-05	0,001307
7,75-8	7,875	0	0,000	106	1,000	1,539E-05	0,000383

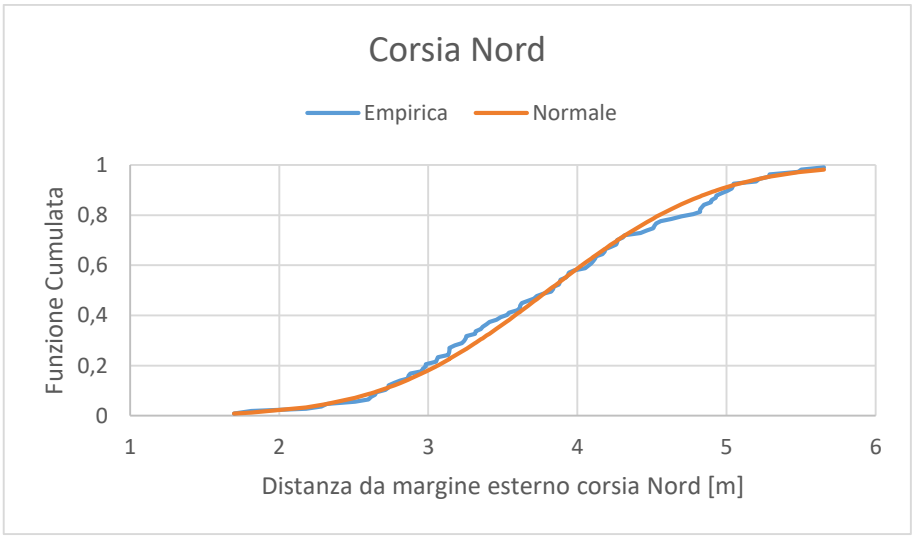
8-8,25	8,125	0	0,000	106	1,000	4,173E-06	0,000104
8,25-8,5	8,375	0	0,000	106	1,000	1,049E-06	2,622E-05
8,5-8,75	8,625	0	0,000	106	1,000	2,439E-07	6,09E-06
8,75-9	8,875	0	0,000	106	1,000	5,249E-08	1,312E-06
9-9,25	9,125	0	0,000	106	1,000	1,045E-08	2,612E-07
9,25-9,5	9,375	0	0,000	106	1,000	1,924E-09	4,811E-08
9,5-9,75	9,625	0	0,000	106	1,000	3,279E-10	8,199E-09
9,75-10	9,875	0	0,000	106	1,000	5,170E-11	1,292E-09
10-10,25	10,125	0	0,000	106	1,000	7,540E-12	1,885E-10
10,25-10,5	10,375	0	0,000	106	1,000	1,017E-12	2,543E-11
10,5-10,75	10,625	0	0,000	106	1,000	1,271E-13	3,175E-12
10,75-11	10,875	0	0,000	106	1,000	1,467E-14	3,667E-13
11-11,25	11,125	0	0,000	106	1,000	1,567E-15	3,919E-14
11,25-11,5	11,375	0	0,000	106	1,000	1,549E-16	3,874E-15
11,5-11,75	11,625	0	0,000	106	1,000	1,417E-17	3,543E-16
11,75-12	11,875	0	0,000	106	1,000	1,199E-18	2,998E-17
12-12,25	12,125	0	0,000	106	1,000	9,390E-20	2,347E-18
12,25-12,5	12,375	0	0,000	106	1,000	6,80E-21	1,700E-19
12,5-12,75	12,625	0	0,000	106	1,000	4,557E-22	1,139E-20
12,75-13	12,875	0	0,000	106	1,000	2,825E-23	7,064E-22
13-13,25	13,125	0	0,000	106	1,000	1,620E-24	4,051E-23
13,25-13,5	13,375	0	0,000	106	1,000	8,600E-26	2,150E-24
13,5-13,75	13,625	0	0,000	106	1,000	4,222E-27	1,055E-25
13,75-14	13,875	0	0,000	106	1,000	1,917E-28	4,794E-27
14-14,25	14,125	0	0,000	106	1,000	8,060E-30	2,015E-28
14,25-14,5	14,375	0	0,000	106	1,000	3,133E-31	7,834E-30
14,5-14,75	14,625	0	0,000	106	1,000	1,127E-32	2,818E-31
14,75-15	14,875	0	0,000	106	1,000	3,751E-34	9,377E-33

S03nB – Corsia Sud							
Numerosità popolazione [-]	113	**Distanza Media Popolazione [m]**		9,72	**Deviazione Standard Distanza Popolazione [m]**		0,93
Classe Distanza D [m]	**Media D [m]**	**Frequenza Assoluta [-]**	**Freq. Assoluta [%]**	**Freq. Ass. Cumulata [-]**	**Freq. Ass. Cumulata [%]**	**Distr. Normale**	**Distr. Normale [%]**
0-0,25	0,125	0	0,000	0	0,000	6,605E-24	1,651E-22
0,25-0,5	0,375	0	0,000	0	0,000	9,841E-23	2,460E-21
0,5-0,75	0,625	0	0,000	0	0,000	1,365E-21	3,413E-20
0,75-1	0,875	0	0,000	0	0,000	1,763E-20	4,409E-19
1-1,25	1,125	0	0,000	0	0,000	2,121E-19	5,303E-18
1,25-1,5	1,375	0	0,000	0	0,000	2,376E-18	5,940E-17
1,5-1,75	1,625	0	0,000	0	0,000	2,478E-17	6,195E-16
1,75-2	1,875	0	0,000	0	0,000	2,407E-16	6,016E-15
2-2,25	2,125	0	0,000	0	0,000	2,176E-15	5,441E-14

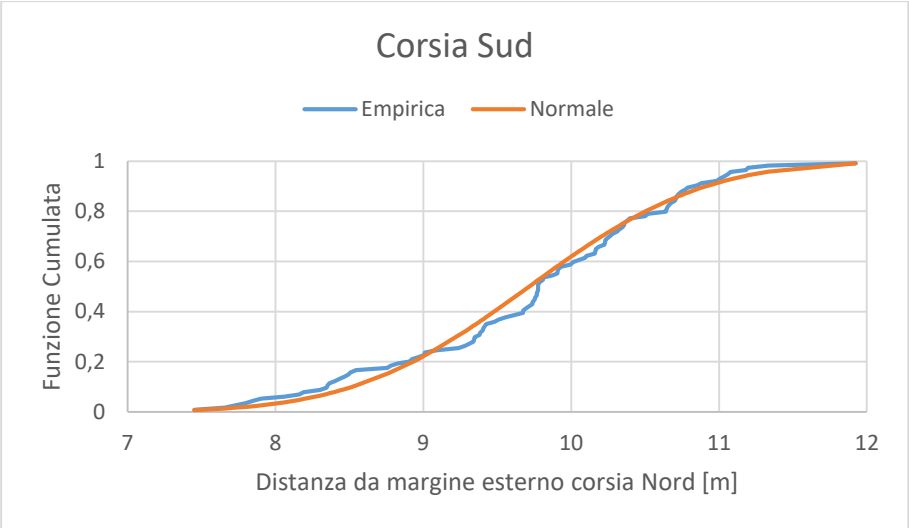
2,25-2,5	2,375	0	0,000	0	0,000	1,833E-14	4,582E-13
2,5-2,75	2,625	0	0,000	0	0,000	1,437E-13	3,593E-12
2,75-3	2,875	0	0,000	0	0,000	1,049E-12	2,623E-11
3-3,25	3,125	0	0,000	0	0,000	7,135E-12	1,784E-10
3,25-3,5	3,375	0	0,000	0	0,000	4,517E-11	1,129E-09
3,5-3,75	3,625	0	0,000	0	0,000	2,663E-10	6,658E-09
3,75-4	3,875	0	0,000	0	0,000	1,462E-09	3,655E-08
4-4,25	4,125	0	0,000	0	0,000	7,474E-09	1,868E-07
4,25-4,5	4,375	0	0,000	0	0,000	3,558E-08	8,894E-07
4,5-4,75	4,625	0	0,000	0	0,000	1,577E-07	3,942E-06
4,75-5	4,875	0	0,000	0	0,000	6,509E-07	1,627E-05
5-5,25	5,125	0	0,000	0	0,000	2,502E-06	6,254E-05
5,25-5,5	5,375	0	0,000	0	0,000	8,953E-06	2,238E-04
5,5-5,75	5,625	0	0,000	0	0,000	2,983E-05	7,459E-04
5,75-6	5,875	0	0,000	0	0,000	9,258E-05	2,315E-03
6-6,25	6,125	0	0,000	0	0,000	2,675E-04	6,688E-03
6,25-6,5	6,375	0	0,000	0	0,000	7,198E-04	1,800E-02
6,5-6,75	6,625	0	0,000	0	0,000	1,804E-03	4,509E-02
6,75-7	6,875	0	0,000	0	0,000	4,208E-03	1,052E-01
7-7,25	7,125	0	0,000	0	0,000	9,141E-03	2,285E-01
7,25-7,5	7,375	1	0,009	1	0,009	1,849E-02	4,623E-01
7,5-7,75	7,625	2	0,018	3	0,027	3,483E-02	8,709E-01
7,75-8	7,875	3	0,027	6	0,053	6,110E-02	1,528
8-8,25	8,125	3	0,027	9	0,080	9,980E-02	2,495
8,25-8,5	8,375	8	0,071	17	0,150	1,518E-01	3,795
8,5-8,75	8,625	2	0,018	19	0,168	2,150E-01	5,375
8,75-9	8,875	6	0,053	25	0,221	2,835E-01	7,088
9-9,25	9,125	4	0,035	29	0,257	3,482E-01	8,704
9,25-9,5	9,375	12	0,106	41	0,363	3,981E-01	9,953
9,5-9,75	9,625	9	0,080	50	0,442	4,239E-01	1,060
9,75-10	9,875	17	0,150	67	0,593	4,203E-01	1,051
10-10,25	10,125	12	0,106	79	0,699	3,881E-01	9,702
10,25-10,5	10,375	9	0,080	88	0,779	3,337E-01	8,341
10,5-10,75	10,625	12	0,106	100	0,885	2,671E-01	6,678
10,75-11	10,875	5	0,044	105	0,929	1,991E-01	4,978
11-11,25	11,125	6	0,053	111	0,982	1,382E-01	3,455
11,25-11,5	11,375	1	0,009	112	0,991	8,934E-02	2,234
11,5-11,75	11,625	0	0,000	112	0,991	5,377E-02	1,344
11,75-12	11,875	1	0,009	113	1,000	3,014E-02	7,535E-01
12-12,25	12,125	0	0,000	113	1,000	1,573E-02	3,932E-01
12,25-12,5	12,375	0	0,000	113	1,000	7,644E-03	1,911E-01
12,5-12,75	12,625	0	0,000	113	1,000	3,459E-03	8,647E-02
12,75-13	12,875	0	0,000	113	1,000	1,458E-03	3,644E-02
13-13,25	13,125	0	0,000	113	1,000	5,719E-04	1,430E-02
13,25-13,5	13,375	0	0,000	113	1,000	2,090E-04	5,224E-03

13,5-13,75	13,625	0	0,000	113	1,000	7,109E-05	1,777E-03
13,75-14	13,875	0	0,000	113	1,000	2,252E-05	5,631E-04
14-14,25	14,125	0	0,000	113	1,000	6,644E-06	1,661E-04
14,25-14,5	14,375	0	0,000	113	1,000	1,825E-06	4,563E-05
14,5-14,75	14,625	0	0,000	113	1,000	4,669E-07	1,167E-05
14,75-15	14,875	0	0,000	113	1,000	1,112E-07	2,780E-06





ALLEGATI



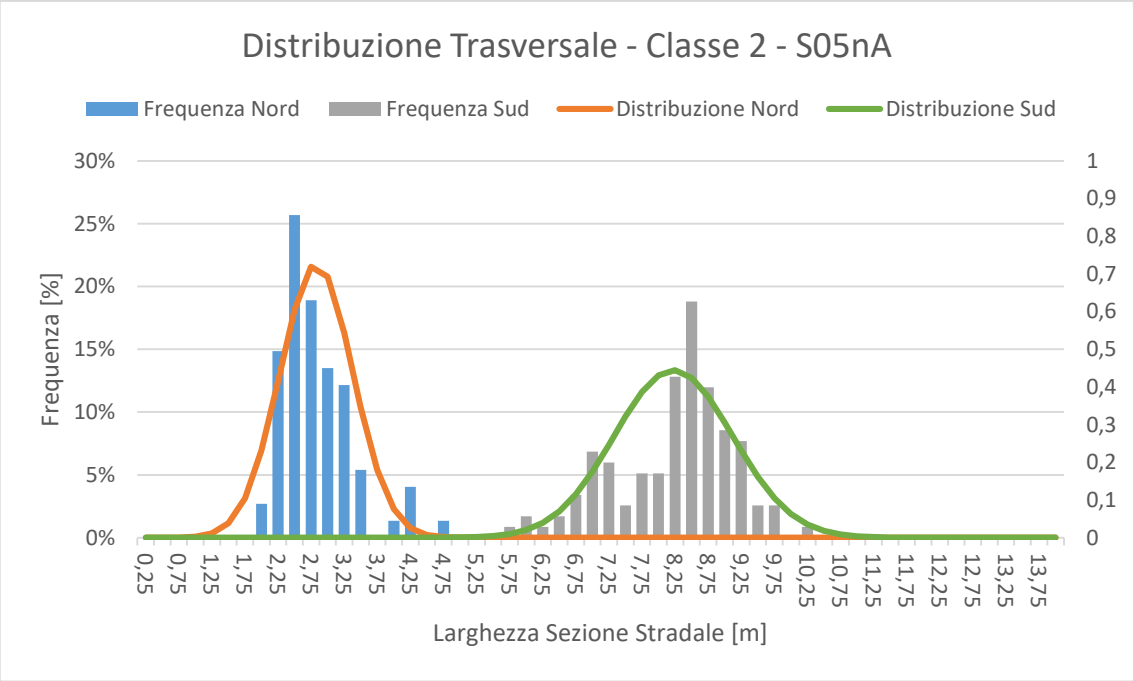
S05nA – Corsia Nord							
Numerosità popolazione [-]	74	**Distanza Media Popolazione [m]**		2,72	**Deviazione Standard Distanza Popolazione [m]**		0,54
Classe Distanza D [m]	**Media D [m]**	**Frequenza Assoluta [-]**	**Freq. Assoluta [%]**	**Freq. Ass. Cumulata [-]**	**Freq. Ass. Cumulata [%]**	**Distr. Normale**	**Distr. Normale [%]**
0-0,25	0,125	0	0,000	0	0,000	1,16E-05	2,90E-04
0,25-0,5	0,375	0	0,000	0	0,000	8,88E-05	2,22E-03
0,5-0,75	0,625	0	0,000	0	0,000	5,53E-04	1,38E-02
0,75-1	0,875	0	0,000	0	0,000	2,80E-03	7,00E-02
1-1,25	1,125	0	0,000	0	0,000	1,15E-02	2,88E-01
1,25-1,5	1,375	0	0,000	0	0,000	3,85E-02	9,62E-01
1,5-1,75	1,625	0	0,000	0	0,000	1,05E-01	2,62E+00
1,75-2	1,875	2	0,027	2	0,027	2,31E-01	5,78E+00
2-2,25	2,125	11	0,149	13	0,176	4,15E-01	1,04E+01
2,25-2,5	2,375	19	0,257	32	0,432	6,06E-01	1,51E+01
2,5-2,75	2,625	14	0,189	46	0,622	7,19E-01	1,80E+01
2,75-3	2,875	10	0,135	56	0,757	6,93E-01	1,73E+01
3-3,25	3,125	9	0,122	65	0,878	5,43E-01	1,36E+01
3,25-3,5	3,375	4	0,054	69	0,932	3,46E-01	8,65E+00
3,5-3,75	3,625	0	0,000	69	0,932	1,79E-01	4,48E+00
3,75-4	3,875	1	0,014	70	0,946	7,54E-02	1,88E+00
4-4,25	4,125	3	0,041	73	0,986	2,58E-02	6,45E-01
4,25-4,5	4,375	0	0,000	73	0,986	7,17E-03	1,79E-01
4,5-4,75	4,625	1	0,014	74	1,000	1,62E-03	4,05E-02
4,75-5	4,875	0	0,000	74	1,000	2,98E-04	7,44E-03
5-5,25	5,125	0	0,000	74	1,000	4,44E-05	1,11E-03
5,25-5,5	5,375	0	0,000	74	1,000	5,39E-06	1,35E-04
5,5-5,75	5,625	0	0,000	74	1,000	5,32E-07	1,33E-05

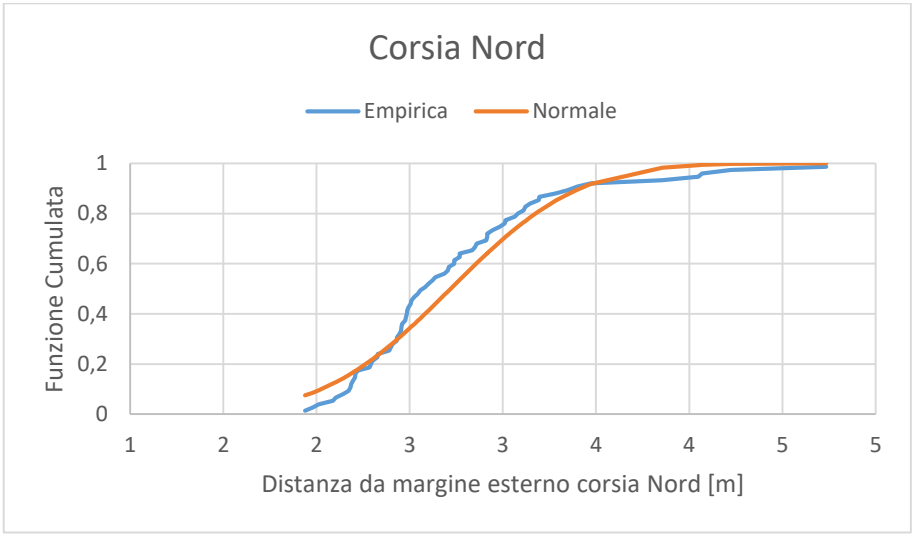
5,75-6	5,875	0	0,000	74	1,000	4,27E-08	1,07E-06
6-6,25	6,125	0	0,000	74	1,000	2,78E-09	6,95E-08
6,25-6,5	6,375	0	0,000	74	1,000	1,47E-10	3,68E-09
6,5-6,75	6,625	0	0,000	74	1,000	6,34E-12	1,59E-10
6,75-7	6,875	0	0,000	74	1,000	2,22E-13	5,55E-12
7-7,25	7,125	0	0,000	74	1,000	6,31E-15	1,58E-13
7,25-7,5	7,375	0	0,000	74	1,000	1,46E-16	3,65E-15
7,5-7,75	7,625	0	0,000	74	1,000	2,74E-18	6,85E-17
7,75-8	7,875	0	0,000	74	1,000	4,19E-20	1,05E-18
8-8,25	8,125	0	0,000	74	1,000	5,20E-22	1,30E-20
8,25-8,5	8,375	0	0,000	74	1,000	5,25E-24	1,31E-22
8,5-8,75	8,625	0	0,000	74	1,000	4,30E-26	1,08E-24
8,75-9	8,875	0	0,000	74	1,000	2,87E-28	7,17E-27
9-9,25	9,125	0	0,000	74	1,000	1,55E-30	3,89E-29
9,25-9,5	9,375	0	0,000	74	1,000	6,85E-33	1,71E-31
9,5-9,75	9,625	0	0,000	74	1,000	2,45E-35	6,13E-34
9,75-10	9,875	0	0,000	74	1,000	7,13E-38	1,78E-36
10-10,25	10,125	0	0,000	74	1,000	1,69E-40	4,22E-39
10,25-10,5	10,375	0	0,000	74	1,000	3,24E-43	8,11E-42
10,5-10,75	10,625	0	0,000	74	1,000	5,07E-46	1,27E-44
10,75-11	10,875	0	0,000	74	1,000	6,44E-49	1,61E-47
11-11,25	11,125	0	0,000	74	1,000	6,64E-52	1,66E-50
11,25-11,5	11,375	0	0,000	74	1,000	5,57E-55	1,39E-53
11,5-11,75	11,625	0	0,000	74	1,000	3,80E-58	9,50E-57
11,75-12	11,875	0	0,000	74	1,000	2,11E-61	5,27E-60
12-12,25	12,125	0	0,000	74	1,000	9,50E-65	2,37E-63
12,25-12,5	12,375	0	0,000	74	1,000	3,48E-68	8,69E-67
12,5-12,75	12,625	0	0,000	74	1,000	1,04E-71	2,59E-70
12,75-13	12,875	0	0,000	74	1,000	2,50E-75	6,26E-74
13-13,25	13,125	0	0,000	74	1,000	4,93E-79	1,23E-77
13,25-13,5	13,375	0	0,000	74	1,000	7,87E-83	1,97E-81
13,5-13,75	13,625	0	0,000	74	1,000	1,02E-86	2,56E-85
13,75-14	13,875	0	0,000	74	1,000	1,08E-90	2,70E-89

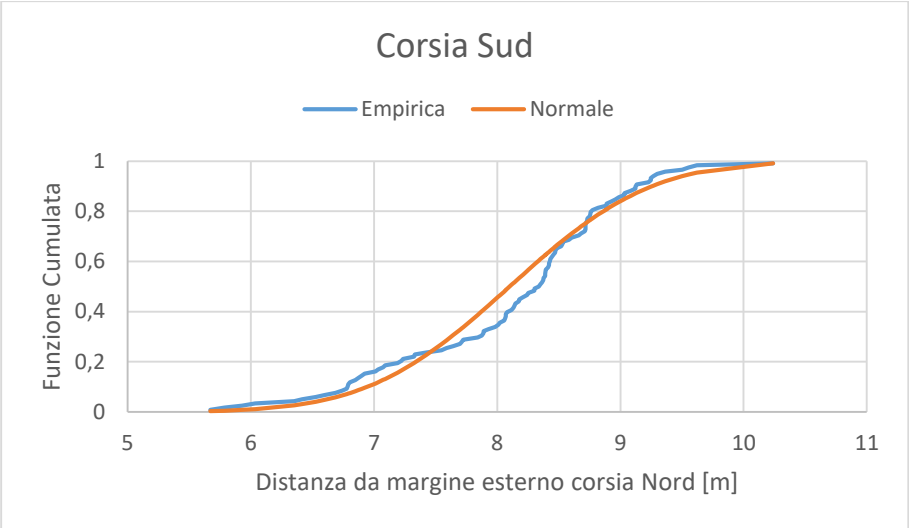
S05nA – Corsia Sud							
Numerosità popolazione [-]	117	**Distanza Media Popolazione [m]**		8,10	**Deviazione Standard Distanza Popolazione [m]**		0,90
Classe Distanza D [m]	**Media D [m]**	**Frequenza Assoluta [-]**	**Freq. Assoluta [%]**	**Freq. Ass. Cumulata [-]**	**Freq. Ass. Cumulata [%]**	**Distr. Normale**	**Distr. Normale [%]**
0-0,25	0,125	0	0,000	0	0,000	3,18E-18	7,95E-17
0,25-0,5	0,375	0	0,000	0	0,000	3,64E-17	9,09E-16
0,5-0,75	0,625	0	0,000	0	0,000	3,85E-16	9,62E-15

0,75-1	0,875	0	0,000	0	0,000	3,77E-15	9,42E-14
1-1,25	1,125	0	0,000	0	0,000	3,41E-14	8,53E-13
1,25-1,5	1,375	0	0,000	0	0,000	2,86E-13	7,15E-12
1,5-1,75	1,625	0	0,000	0	0,000	2,22E-12	5,55E-11
1,75-2	1,875	0	0,000	0	0,000	1,59E-11	3,98E-10
2-2,25	2,125	0	0,000	0	0,000	1,06E-10	2,64E-09
2,25-2,5	2,375	0	0,000	0	0,000	6,50E-10	1,62E-08
2,5-2,75	2,625	0	0,000	0	0,000	3,70E-09	9,24E-08
2,75-3	2,875	0	0,000	0	0,000	1,94E-08	4,86E-07
3-3,25	3,125	0	0,000	0	0,000	9,47E-08	2,37E-06
3,25-3,5	3,375	0	0,000	0	0,000	4,27E-07	1,07E-05
3,5-3,75	3,625	0	0,000	0	0,000	1,78E-06	4,45E-05
3,75-4	3,875	0	0,000	0	0,000	6,86E-06	1,72E-04
4-4,25	4,125	0	0,000	0	0,000	2,45E-05	6,12E-04
4,25-4,5	4,375	0	0,000	0	0,000	8,09E-05	2,02E-03
4,5-4,75	4,625	0	0,000	0	0,000	2,47E-04	6,18E-03
4,75-5	4,875	0	0,000	0	0,000	6,99E-04	1,75E-02
5-5,25	5,125	0	0,000	0	0,000	1,83E-03	4,58E-02
5,25-5,5	5,375	0	0,000	0	0,000	4,43E-03	1,11E-01
5,5-5,75	5,625	1	0,009	1	0,009	9,93E-03	2,48E-01
5,75-6	5,875	2	0,017	3	0,026	2,06E-02	5,15E-01
6-6,25	6,125	1	0,009	4	0,034	3,95E-02	9,88E-01
6,25-6,5	6,375	2	0,017	6	0,051	7,02E-02	1,75E+00
6,5-6,75	6,625	4	0,034	10	0,085	1,15E-01	2,88E+00
6,75-7	6,875	8	0,068	18	0,154	1,75E-01	4,38E+00
7-7,25	7,125	7	0,060	25	0,214	2,47E-01	6,16E+00
7,25-7,5	7,375	3	0,026	28	0,239	3,21E-01	8,02E+00
7,5-7,75	7,625	6	0,051	34	0,291	3,87E-01	9,66E+00
7,75-8	7,875	6	0,051	40	0,342	4,31E-01	1,08E+01
8-8,25	8,125	15	0,128	55	0,470	4,44E-01	1,11E+01
8,25-8,5	8,375	22	0,188	77	0,658	4,24E-01	1,06E+01
8,5-8,75	8,625	14	0,120	91	0,778	3,74E-01	9,36E+00
8,75-9	8,875	10	0,085	101	0,863	3,06E-01	7,65E+00
9-9,25	9,125	9	0,077	110	0,940	2,31E-01	5,78E+00
9,25-9,5	9,375	3	0,026	113	0,966	1,62E-01	4,05E+00
9,5-9,75	9,625	3	0,026	116	0,991	1,05E-01	2,62E+00
9,75-10	9,875	0	0,000	116	0,991	6,28E-02	1,57E+00
10-10,25	10,125	1	0,009	117	1,000	3,48E-02	8,70E-01
10,25-10,5	10,375	0	0,000	117	1,000	1,79E-02	4,46E-01
10,5-10,75	10,625	0	0,000	117	1,000	8,47E-03	2,12E-01
10,75-11	10,875	0	0,000	117	1,000	3,72E-03	9,30E-02
11-11,25	11,125	0	0,000	117	1,000	1,51E-03	3,78E-02
11,25-11,5	11,375	0	0,000	117	1,000	5,69E-04	1,42E-02
11,5-11,75	11,625	0	0,000	117	1,000	1,98E-04	4,95E-03
11,75-12	11,875	0	0,000	117	1,000	6,37E-05	1,59E-03

12-12,25	12,125	0	0,000	117	1,000	1,90E-05	4,75E-04
12,25-12,5	12,375	0	0,000	117	1,000	5,23E-06	1,31E-04
12,5-12,75	12,625	0	0,000	117	1,000	1,34E-06	3,34E-05
12,75-13	12,875	0	0,000	117	1,000	3,15E-07	7,88E-06
13-13,25	13,125	0	0,000	117	1,000	6,89E-08	1,72E-06
13,25-13,5	13,375	0	0,000	117	1,000	1,39E-08	3,48E-07
13,5-13,75	13,625	0	0,000	117	1,000	2,60E-09	6,51E-08
13,75-14	13,875	0	0,000	117	1,000	4,51E-10	1,13E-08







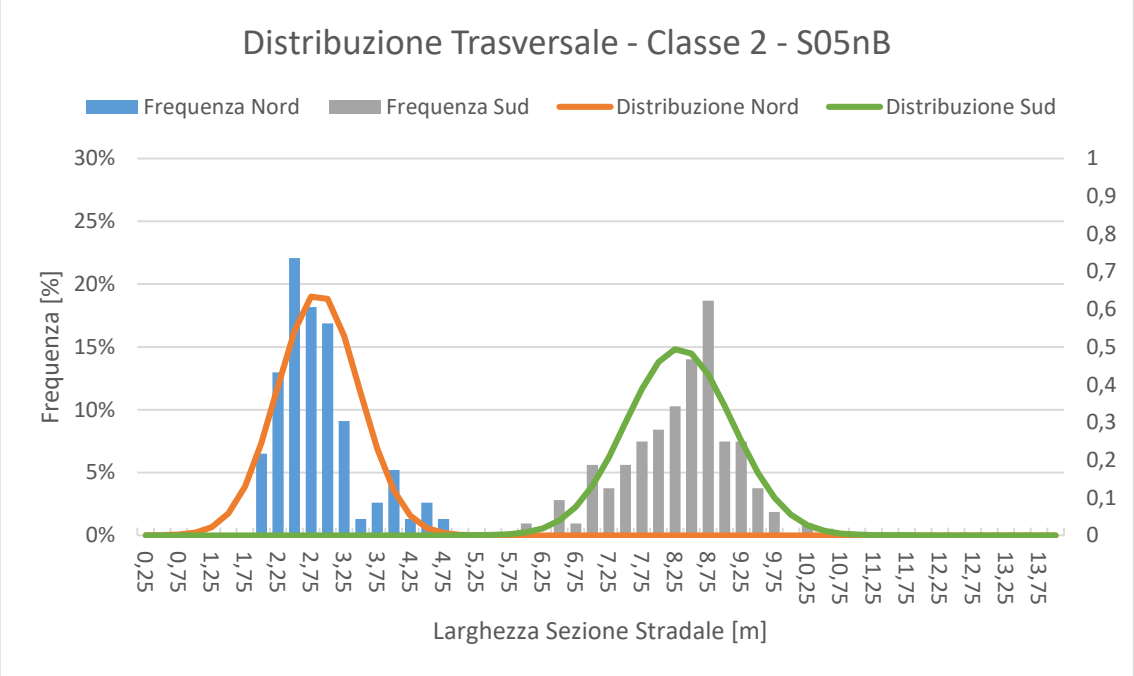
S05nB – Corsia Nord							
Numerosità popolazione [-]	77	**Distanza Media Popolazione [m]**		2,75	**Deviazione Standard Distanza Popolazione [m]**		0,63
Classe Distanza D [m]	**Media D [m]**	**Frequenza Assoluta [-]**	**Freq. Assoluta [%]**	**Freq. Ass. Cumulata [-]**	**Freq. Ass. Cumulata [%]**	**Distr. Normale**	**Distr. Normale [%]**
0-0,25	0,125	0	0,000	0	0,000	9,03E-05	2,26E-03
0,25-0,5	0,375	0	0,000	0	0,000	4,55E-04	1,14E-02
0,5-0,75	0,625	0	0,000	0	0,000	1,95E-03	4,88E-02
0,75-1	0,875	0	0,000	0	0,000	7,11E-03	1,78E-01
1-1,25	1,125	0	0,000	0	0,000	2,20E-02	5,50E-01
1,25-1,5	1,375	0	0,000	0	0,000	5,78E-02	1,45E+00
1,5-1,75	1,625	0	0,000	0	0,000	1,29E-01	3,23E+00
1,75-2	1,875	5	0,065	5	0,065	2,46E-01	6,14E+00
2-2,25	2,125	10	0,130	15	0,195	3,96E-01	9,91E+00
2,25-2,5	2,375	17	0,221	32	0,416	5,44E-01	1,36E+01
2,5-2,75	2,625	14	0,182	46	0,597	6,34E-01	1,58E+01
2,75-3	2,875	13	0,169	59	0,766	6,28E-01	1,57E+01
3-3,25	3,125	7	0,091	66	0,857	5,28E-01	1,32E+01
3,25-3,5	3,375	1	0,013	67	0,870	3,78E-01	9,45E+00
3,5-3,75	3,625	2	0,026	69	0,896	2,30E-01	5,74E+00
3,75-4	3,875	4	0,052	73	0,948	1,19E-01	2,97E+00
4-4,25	4,125	1	0,013	74	0,961	5,21E-02	1,30E+00
4,25-4,5	4,375	2	0,026	76	0,987	1,94E-02	4,86E-01
4,5-4,75	4,625	1	0,013	77	1,000	6,16E-03	1,54E-01
4,75-5	4,875	0	0,000	77	1,000	1,66E-03	4,15E-02
5-5,25	5,125	0	0,000	77	1,000	3,80E-04	9,50E-03
5,25-5,5	5,375	0	0,000	77	1,000	7,40E-05	1,85E-03
5,5-5,75	5,625	0	0,000	77	1,000	1,22E-05	3,06E-04

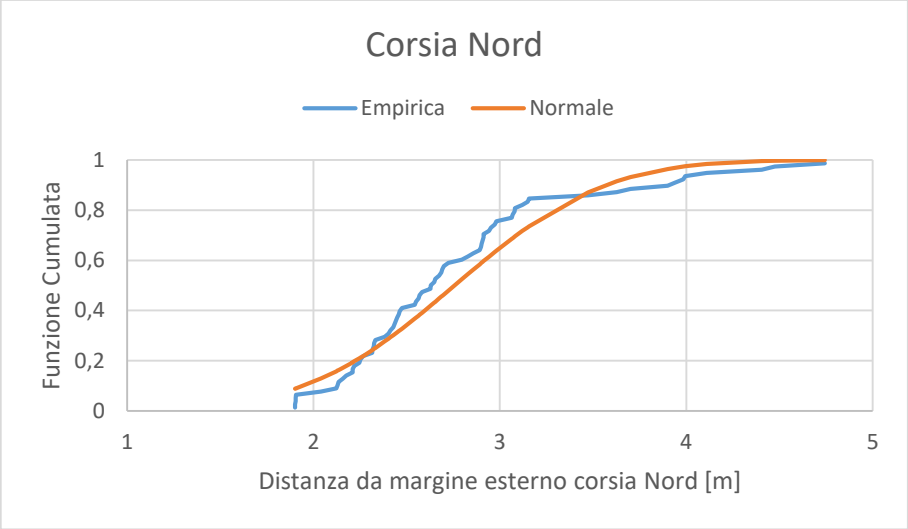
5,75-6	5,875	0	0,000	77	1,000	1,72E-06	4,30E-05
6-6,25	6,125	0	0,000	77	1,000	2,05E-07	5,13E-06
6,25-6,5	6,375	0	0,000	77	1,000	2,08E-08	5,21E-07
6,5-6,75	6,625	0	0,000	77	1,000	1,80E-09	4,49E-08
6,75-7	6,875	0	0,000	77	1,000	1,32E-10	3,29E-09
7-7,25	7,125	0	0,000	77	1,000	8,19E-12	2,05E-10
7,25-7,5	7,375	0	0,000	77	1,000	4,34E-13	1,08E-11
7,5-7,75	7,625	0	0,000	77	1,000	1,95E-14	4,88E-13
7,75-8	7,875	0	0,000	77	1,000	7,45E-16	1,86E-14
8-8,25	8,125	0	0,000	77	1,000	2,42E-17	6,05E-16
8,25-8,5	8,375	0	0,000	77	1,000	6,68E-19	1,67E-17
8,5-8,75	8,625	0	0,000	77	1,000	1,57E-20	3,92E-19
8,75-9	8,875	0	0,000	77	1,000	3,12E-22	7,81E-21
9-9,25	9,125	0	0,000	77	1,000	5,29E-24	1,32E-22
9,25-9,5	9,375	0	0,000	77	1,000	7,62E-26	1,90E-24
9,5-9,75	9,625	0	0,000	77	1,000	9,32E-28	2,33E-26
9,75-10	9,875	0	0,000	77	1,000	9,69E-30	2,42E-28
10-10,25	10,125	0	0,000	77	1,000	8,56E-32	2,14E-30
10,25-10,5	10,375	0	0,000	77	1,000	6,42E-34	1,61E-32
10,5-10,75	10,625	0	0,000	77	1,000	4,10E-36	1,02E-34
10,75-11	10,875	0	0,000	77	1,000	2,22E-38	5,56E-37
11-11,25	11,125	0	0,000	77	1,000	1,02E-40	2,56E-39
11,25-11,5	11,375	0	0,000	77	1,000	4,01E-43	1,00E-41
11,5-11,75	11,625	0	0,000	77	1,000	1,33E-45	3,33E-44
11,75-12	11,875	0	0,000	77	1,000	3,77E-48	9,43E-47
12-12,25	12,125	0	0,000	77	1,000	9,06E-51	2,27E-49
12,25-12,5	12,375	0	0,000	77	1,000	1,85E-53	4,63E-52
12,5-12,75	12,625	0	0,000	77	1,000	3,21E-56	8,03E-55
12,75-13	12,875	0	0,000	77	1,000	4,74E-59	1,18E-57
13-13,25	13,125	0	0,000	77	1,000	5,93E-62	1,48E-60
13,25-13,5	13,375	0	0,000	77	1,000	6,32E-65	1,58E-63
13,5-13,75	13,625	0	0,000	77	1,000	5,72E-68	1,43E-66
13,75-14	13,875	0	0,000	77	1,000	4,40E-71	1,10E-69

S05nB – Corsia Sud							
Numerosità popolazione [-]	107	**Distanza Media Popolazione [m]**		2,75	**Deviazione Standard Distanza Popolazione [m]**		0,63
Classe Distanza D [m]	**Media D [m]**	**Frequenza Assoluta [-]**	**Freq. Assoluta [%]**	**Freq. Ass. Cumulata [-]**	**Freq. Ass. Cumulata [%]**	**Distr. Normale**	**Distr. Normale [%]**
0-0,25	0,125	0	0,000	0	0,000	7,86E-23	1,97E-21
0,25-0,5	0,375	0	0,000	0	0,000	1,69E-21	4,21E-20
0,5-0,75	0,625	0	0,000	0	0,000	3,28E-20	8,20E-19

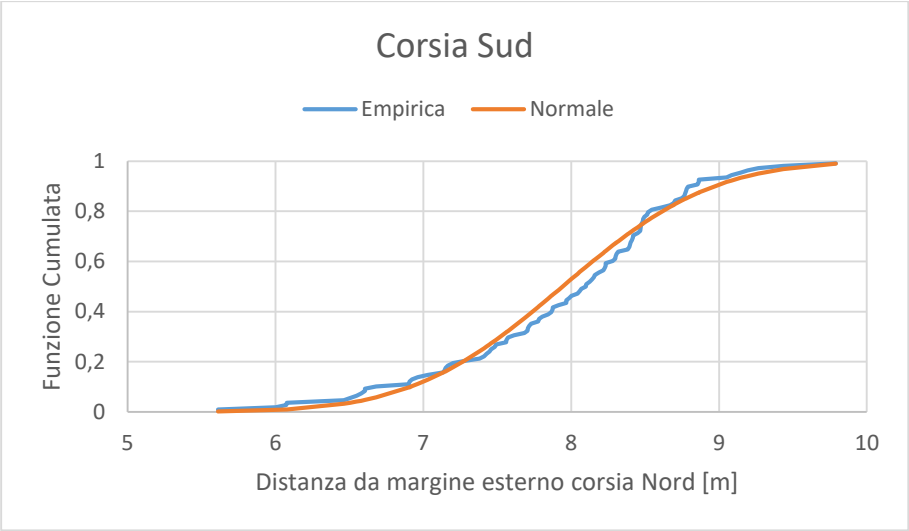
0,75-1	0,875	0	0,000	0	0,000	5,80E-19	1,45E-17
1-1,25	1,125	0	0,000	0	0,000	9,31E-18	2,33E-16
1,25-1,5	1,375	0	0,000	0	0,000	1,36E-16	3,39E-15
1,5-1,75	1,625	0	0,000	0	0,000	1,79E-15	4,49E-14
1,75-2	1,875	0	0,000	0	0,000	2,16E-14	5,39E-13
2-2,25	2,125	0	0,000	0	0,000	2,35E-13	5,88E-12
2,25-2,5	2,375	0	0,000	0	0,000	2,33E-12	5,82E-11
2,5-2,75	2,625	0	0,000	0	0,000	2,09E-11	5,23E-10
2,75-3	2,875	0	0,000	0	0,000	1,71E-10	4,27E-09
3-3,25	3,125	0	0,000	0	0,000	1,27E-09	3,17E-08
3,25-3,5	3,375	0	0,000	0	0,000	8,52E-09	2,13E-07
3,5-3,75	3,625	0	0,000	0	0,000	5,21E-08	1,30E-06
3,75-4	3,875	0	0,000	0	0,000	2,89E-07	7,22E-06
4-4,25	4,125	0	0,000	0	0,000	1,46E-06	3,64E-05
4,25-4,5	4,375	0	0,000	0	0,000	6,66E-06	1,66E-04
4,5-4,75	4,625	0	0,000	0	0,000	2,76E-05	6,91E-04
4,75-5	4,875	0	0,000	0	0,000	1,04E-04	2,60E-03
5-5,25	5,125	0	0,000	0	0,000	3,57E-04	8,92E-03
5,25-5,5	5,375	0	0,000	0	0,000	1,11E-03	2,77E-02
5,5-5,75	5,625	0	0,000	0	0,000	3,13E-03	7,82E-02
5,75-6	5,875	1	0,009	1	0,009	8,02E-03	2,00E-01
6-6,25	6,125	0	0,000	1	0,009	1,86E-02	4,66E-01
6,25-6,5	6,375	3	0,028	4	0,037	3,94E-02	9,85E-01
6,5-6,75	6,625	1	0,009	5	0,047	7,55E-02	1,89E+00
6,75-7	6,875	6	0,056	11	0,103	1,32E-01	3,29E+00
7-7,25	7,125	4	0,037	15	0,140	2,08E-01	5,20E+00
7,25-7,5	7,375	6	0,056	21	0,196	2,98E-01	7,46E+00
7,5-7,75	7,625	8	0,075	29	0,271	3,89E-01	9,72E+00
7,75-8	7,875	9	0,084	38	0,355	4,60E-01	1,15E+01
8-8,25	8,125	11	0,103	49	0,458	4,94E-01	1,24E+01
8,25-8,5	8,375	15	0,140	64	0,598	4,82E-01	1,21E+01
8,5-8,75	8,625	20	0,187	84	0,785	4,27E-01	1,07E+01
8,75-9	8,875	8	0,075	92	0,860	3,44E-01	8,59E+00
9-9,25	9,125	8	0,075	100	0,935	2,51E-01	6,27E+00
9,25-9,5	9,375	4	0,037	104	0,972	1,66E-01	4,16E+00
9,5-9,75	9,625	2	0,019	106	0,991	1,00E-01	2,50E+00
9,75-10	9,875	0	0,000	106	0,991	5,47E-02	1,37E+00
10-10,25	10,125	1	0,009	107	1,000	2,71E-02	6,79E-01
10,25-10,5	10,375	0	0,000	107	1,000	1,22E-02	3,06E-01
10,5-10,75	10,625	0	0,000	107	1,000	5,00E-03	1,25E-01
10,75-11	10,875	0	0,000	107	1,000	1,86E-03	4,64E-02
11-11,25	11,125	0	0,000	107	1,000	6,26E-04	1,57E-02
11,25-11,5	11,375	0	0,000	107	1,000	1,92E-04	4,79E-03
11,5-11,75	11,625	0	0,000	107	1,000	5,33E-05	1,33E-03
11,75-12	11,875	0	0,000	107	1,000	1,35E-05	3,36E-04

12-12,25	12,125	0	0,000	107	1,000	3,08E-06	7,71E-05
12,25-12,5	12,375	0	0,000	107	1,000	6,42E-07	1,60E-05
12,5-12,75	12,625	0	0,000	107	1,000	1,21E-07	3,03E-06
12,75-13	12,875	0	0,000	107	1,000	2,08E-08	5,20E-07
13-13,25	13,125	0	0,000	107	1,000	3,24E-09	8,09E-08
13,25-13,5	13,375	0	0,000	107	1,000	4,58E-10	1,14E-08
13,5-13,75	13,625	0	0,000	107	1,000	5,88E-11	1,47E-09
13,75-14	13,875	0	0,000	107	1,000	6,85E-12	1,71E-10





ALLEGATI


Corsia Sud
Empirica
Normale
Funzione Cumulata
1
0,8
0,6
0,4
0,2
0
5
6
7
8
9
10
Distanza da margine esterno corsia Nord [m]