



CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA CIVILE

TESI DI LAUREA MAGISTRALE

**SVILUPPO DI UNA METODOLOGIA BASATA  
SULL'ANALISI DELLE IMMAGINI PER IL RILIEVO  
DELLE TRAIETTORIE E DELLE VELOCITA' DELLA  
MOBILITA' CICLABILE**

Relatori

prof. Marco Bassani  
prof. Marco Piras  
ing. Lorenzo Catani

Candidata  
Veronica Cassiani Conturbia

**MARZO 2018**



# Sommario

INTRODUZIONE .....	1
1 STATO DELL'ARTE .....	5
2 INDAGINE SPERIMENTALE .....	8
2.1 Obiettivi .....	8
2.2 Strumenti .....	9
2.3 Studio Pilota #1 .....	12
2.4 Studio Pilota #2 .....	30
2.5 Studio Definitivo.....	33
3 ANALISI DELLE IMMAGINI.....	36
3.1 Algoritmi componenti il codice .....	39
3.2 Raccolta dati .....	58
3.3 Validazione.....	58
4 APPLICAZIONE.....	74
5 CONCLUSIONI .....	77
BIBLIOGRAFIA .....	79
GLOSSARIO .....	82
ALLEGATI .....	83
A. TABELLE COORDINATE E RISULTATI.....	83
B. CODICI MATLAB.....	132
C. DESCRIZIONE DETTAGLIATA DI PROCEDURE.....	171
D. DOCUMENTAZIONI .....	172
E. IMMAGINI.....	181



# INDICE DELLE FIGURE

FIGURA 1: ARCHITETTURA DEL SISTEMA DI COMPUTER VISION (ZAKI ET AL.).....	7
FIGURA 2: ORGANIZZAZIONE DELL'INDAGINE SPERIMENTALE .....	8
FIGURA 3: GARMIN VIRB® ELITE (VISTA FRONTALE E LATERALE) .....	9
FIGURA 4: VIDEOCAMERA MONTATA SU UN'ASTA ESTENSIBILE SORRETTA DA UN BIPIEDE.....	10
FIGURA 5: DISTANZIOMETRO LASER (DAL SITO <a href="http://www.zetalab.it/prodotto/rilevatore-di-velocita-speed-gun-plus/">HTTP://WWW.ZETALAB.IT/PRODOTTO/RILEVATORE-DI-VELOCITA-SPEED-GUN-PLUS/</a> ) .....	10
FIGURA 6: STRUMENTI GPS MONTATI SUL VEICOLO.....	11
FIGURA 7: SCHERMATA INIZIALE DELL'APPLICAZIONE "CYCLEDRUID" .....	11
FIGURA 8: IDENTIFICAZIONE DEL LUOGO IN CUI È STATO CONDOTTO LO STUDIO PILOTA #1 .....	13
FIGURA 9: BICICLETTA CARGO .....	13
FIGURA 10: PERCORSO CICLABILE RICOSTRUITO (LEGENDA PUNTI IN VERDE = POSTAZIONE CAMERE; PUNTI IN BLU = POSIZIONE DEI PUNTI FISSI A TERRA UTILIZZATI PER RILIEVO EFFETTUATO GRAZIE AI VIDEO CON LA VIDEOCAMERA 1002; PUNTI IN ARANCIO = POSIZIONE DEI PUNTI FISSI A TERRA UTILIZZATI PER RILIEVO NELLA SEZIONE TRASVERSALE) .....	14
FIGURA 11: SEGNI CONVENZIONALI ASSOCIATI ALLA DIREZIONE RILEVATA CON IL DISTANZIOMETRO LASER.....	15
FIGURA 12: PROCEDURA PER LA DEFINIZIONE DELLE COORDINATE IMMAGINE DI PUNTI NOTI .....	17
FIGURA 13: FINESTRA DI CONVERSIONE DELLE UNITÀ DI MISURA .....	18
FIGURA 14: PUNTI DI RIFERIMENTO BICI CARGO E BICICLETTA ORDINARIA NELLA SEZIONE TRASVERSALE.....	18
FIGURA 15: PUNTO DI RIFERIMENTO SEZIONE LONGITUDINALE IN ANDATA .....	19
FIGURA 16: PUNTO DI RIFERIMENTO SEZIONE LONGITUDINALE AL RITORNO.....	19
FIGURA 17: DENOMINAZIONE DEI LATI DEI TRIANGOLI .....	21
FIGURA 18: MISURAZIONI EFFETTUATE MEDIANTE AUTOCAD (METODO DELLA TRIANGOLAZIONE, LE DISTANZE SONO ESPRESSE IN METRI) .....	22
FIGURA 19: COSTRUZIONE DELLA MASCHERA PER IL METODO DELLA TRIANGOLAZIONE .....	22
FIGURA 20: APPROSSIMAZIONE DELLE MISURAZIONI DEI MARKER .....	23
FIGURA 21: DIAGRAMMA FUNZIONI ANNIDATE DELLA FUNZIONE MULTIOBJECTTRACKING .....	24
FIGURA 22: ERRORE DI RICONOSCIMENTO BLOB.....	26
FIGURA 23: DIAGRAMMA DI VELOCITÀ (BICI CARGO) EVENTO 1 .....	27
FIGURA 24: DIAGRAMMA DI VELOCITÀ (BICI CARGO) EVENTO 2 .....	27
FIGURA 25: DIAGRAMMA DI VELOCITÀ (BICI ORDINARIA) EVENTO 3.....	28
FIGURA 26: DIAGRAMMA DI VELOCITÀ (BICI NORMALE) EVENTO 4 .....	28
FIGURA 27: MAPPA DELL'AREA IN CUI SI EFFETTUA LO STUDIO PILOTA #2 .....	30
FIGURA 28: LOCALIZZAZIONE DEI PUNTI (STUDIO PILOTA #2).....	31
FIGURA 29: ERRORE SUL RICONOSCIMENTO DEGLI OGGETTI MOBILI IN OMBRA .....	32
FIGURA 30: ERRORE DOVUTO AL RIFLESSO DELL'OGGETTO SUI VETRI .....	32
FIGURA 31: IDENTIFICAZIONE DELLA PISTA CICLABILE E DELLA POSTAZIONE DELLA VIDEOCAMERA .....	34
FIGURA 32: MISURAZIONI PRELIMINARI NELLO STUDIO DEFINITIVO .....	35
FIGURA 33: DIAGRAMMA ORGANIZZAZIONE SCRIPT_FINALE .....	37
FIGURA 34: DIMENSIONE DEL QUADRATINO DELLA SCACCHIERA .....	38
FIGURA 35: SCHERMATA AL TERMINE DELLA CALIBRAZIONE .....	38

FIGURA 36: INTERFACCIA UTENTE.....	38
FIGURA 37: DIAGRAMMA DI FLUSSO INERENTE AL PROCESSO DI CALCOLO DELLA VELOCITÀ.....	40
FIGURA 38: FINESTRA DI SELEZIONE VIDEO.....	41
FIGURA 39: FRAME ORIGINALE ESTRATTO DAL FILMATO.....	41
FIGURA 40: FRAME RADDRIZZATO.....	41
FIGURA 41: PUNTI DI RIFERIMENTO (CHIUSINI) CON DISTANZE IN METRI.....	42
FIGURA 42: PIXEL INFO DELLA ZONA IN BASSO A DESTRA.....	43
FIGURA 43: PIXEL INFO DELLA ZONA IN ALTO A SINISTRA.....	43
FIGURA 44: MISURAZIONE DISTANZE IN PIXEL.....	44
FIGURA 45: AREE DA ELIMINARE PER EVITARE IL TRACCIAMENTO DI AUTOMOBILI E PEDONI.....	45
FIGURA 46: FRAME TAGLIATO.....	45
FIGURA 47: VISUALIZZAZIONE FRAME SULLA COMMAND WINDOW.....	46
FIGURA 48: SISTEMA DI RIFERIMENTO PER LA DETERMINAZIONE DEI CENTROIDI.....	47
FIGURA 49: DA MOTION-BASED MULTIPLE OBJECT TRACKING (MATLAB) DAL SITO IN BIBLIOGRAFIA.....	48
FIGURA 50: CORRETTA INDIVIDUAZIONE DEL CICLISTA.....	48
FIGURA 51: SCHERMATA FINALE DEL FILE SCRIPT_FINALE.MAT.....	49
FIGURA 52: DISCORDANZE DI TRACCIATO PER NUMERO IDENTIFICATIVO.....	49
FIGURA 53: DISTANZA IN PIXEL TRA MEZZERIA DELLA CORSIA E LINEA BIANCA AL CENTRO DELLA PISTA.....	50
FIGURA 54: SOLUZIONE AL PROBLEMA DI NUMERO IDENTIFICATIVO.....	50
FIGURA 55: ERRORE DI STIMA DEL CENTRO DI MASSA.....	51
FIGURA 56: ERRORI DOVUTI ALLA SOVRAPPOSIZIONE DI BLOB.....	52
FIGURA 57: VELOCITÀ ORIGINALE.....	53
FIGURA 58: CONFRONTO TRA VELOCITÀ ORIGINALE E VELOCITÀ FILTRATA.....	53
FIGURA 59: EVOLUZIONE DELLE VELOCITÀ.....	54
FIGURA 60: CONFRONTO TRA VELOCITÀ.....	55
FIGURA 61: CONFRONTO TRA MEDIE MOBILI.....	55
FIGURA 62: FILTRO DI POSIZIONE.....	57
FIGURA 63: ORGANIZZAZIONE DELLA VALIDAZIONE DEI DATI.....	59
FIGURA 64: CICLISTA IN CONDIZIONI DI LUCE DIFFUSA.....	60
FIGURA 65: POSIZIONE DEL CICLISTA OGNI 10 FRAME.....	60
FIGURA 66: CONFRONTO GRAFICO (ZONA SENZA OMBRA).....	61
FIGURA 67: CICLISTA IN CONDIZIONI DI LUCE SOLARE.....	62
FIGURA 68: POSIZIONI CICLISTA CON OMBRA OGNI 10 FRAME.....	62
FIGURA 69: CONFRONTO GRAFICO (ZONA CON OMBRA).....	63
FIGURA 70: CICLISTA ENTRANTE NELLA ZONA IN OMBRA.....	63
FIGURA 71: SENSO DI MARCIA DEL FLUSSO VEICOLARE.....	64
FIGURA 72: PUNTO INIZIALE DI RIPRESA.....	65
FIGURA 73: PUNTO FINALE DI RIPRESA.....	65
FIGURA 74: SCHERMATA QGIS SU VALORI GPS DELLA VIDEOCAMERA.....	66
FIGURA 75: SCHERMATA QGIS SU VALORI GPS PER APP.....	66
FIGURA 76: CONFRONTO TRA MEDIE MOBILI DA 5, 10 E 30 VALORI.....	67
FIGURA 77: POSIZIONE PUNTI CON GPS VIDEOCAMERA SU QGIS.....	68
FIGURA 78: SCHERMATA INERENTE AL PRIMO RILIEVO CON TRACCIAMENTO SATELLITI ATTIVO.....	68

FIGURA 79: POSIZIONE PUNTI CON GPS APPLICAZIONE SMARTPHONE SU QGIS .....	68
FIGURA 80: CONFRONTO PRIMO RILIEVO IN ANDATA (1A).....	69
FIGURA 81: CONFRONTO PRIMO RILIEVO AL RITORNO (1R) .....	70
FIGURA 82: CONFRONTO SECONDO RILIEVO IN ANDATA (2A).....	70
FIGURA 83: CONFRONTO SECONDO RILIEVO AL RITORNO (2R) .....	70
FIGURA 84: CONFRONTO TERZO RILIEVO IN ANDATA (3A) .....	71
FIGURA 85: CONFRONTO TERZO RILIEVO AL RITORNO (3R).....	71
FIGURA 86: ANDAMENTO BLOB AREA IN ANDATA .....	73
FIGURA 87: ANDAMENTO BLOB AREA IN RITORNO.....	73
FIGURA 90: DAL REPORT DELL'AGENZIA MOBILITÀ PIEMONTESE .....	172
FIGURA 91: MAPPA PISTE CICLABILI DEL COMUNE DI TORINO.....	173
FIGURA 92: UBICAZIONE DELLA PISTA CICLABILE E PROFILO ALTIMETRICO (DA PISTECICLABILI.COM).....	173
<i>FIGURA 93: ERRORI DI PROIEZIONE (CAMERA 2080) .....</i>	<i>176</i>
<i>FIGURA 94: PARAMETRI ESTRINSECI (CAMERA 2080) .....</i>	<i>176</i>
<i>FIGURA 95: ERRORI DI PROIEZIONE (CAMERA 9002) .....</i>	<i>179</i>
<i>FIGURA 96: PARAMETRI ESTRINSECI (CAMERA 9002).....</i>	<i>179</i>
FIGURA 97: FERMO IMMAGINE DEI FILMATI PRODOTTI DURANTE LO STUDIO PILOTA #2.....	181
FIGURA 98: POSTAZIONE VIDEOCAMERA GARMIN VIRB ELITE (VISTA LATERALE E FRONTALE).....	182
FIGURA 99: PISTA CICLABILE E VISUALE DEL CORTILE.....	182
FIGURA 100: IMMAGINI DALLA CAMERA 2080 UTILIZZATE PER LA CALIBRAZIONE .....	183
FIGURA 101: IMMAGINI DALLA CAMERA 9002 UTILIZZATE PER LA CALIBRAZIONE .....	183

# INDICE DELLE TABELLE

TABELLA 1: VALORI DI COORDINATE GPS ORIGINALI E CONVERTITI RIFERITI AI PUNTI FISSI AL SUOLO.....	15
TABELLA 2: RISULTATI DISTANZIOMETRO LASER PER BICICLETTA CARGO .....	16
TABELLA 3: RISULTATI DISTANZIOMETRO LASER PER BICICLETTA ORDINARIA.....	16
TABELLA 4: EVENTI E CARATTERISTICHE .....	25
TABELLA 5: PROPRIETÀ DEI FILMATI.....	31
TABELLA 6: ORARI DI RILIEVO NELLO STUDIO DEFINITIVO .....	35
TABELLA 7: COORDINATE REGIONE IN BASSO A DESTRA .....	42
TABELLA 8: COORDINATE REGIONE IN ALTO A SINISTRA.....	43
TABELLA 9: FATTORI DI SCALA PER OGNI ZONA .....	44
TABELLA 10: CONFRONTO DEVIAZIONI STANDARD E VARIANZA.....	54
TABELLA 11: TABELLA RIASSUNTIVA PARAMETRI STATISTICI.....	54
TABELLA 12: PARAMETRI STATISTICI DI MEDIE MOBILI.....	56
TABELLA 13: CONFRONTO DELLE METODOLOGIE ATTRAVERSO MEDIA E MEDIANA.....	61
TABELLA 14: CONFRONTO CARATTERISTICHE STATISTICHE .....	63
TABELLA 15: CONFRONTO TRA METODOLOGIE PER LA VALIDAZIONE DATI.....	72
TABELLA 16: CARATTERISTICHE DI DISTRIBUZIONE 16/05/2017 .....	75
TABELLA 17: CARATTERISTICHE DI DISTRIBUZIONE 18/05/2017 .....	75
TABELLA 18: CARATTERISTICHE DI DISTRIBUZIONE 23/05/2017 .....	76
TABELLA 19: CARATTERISTICHE DI DISTRIBUZIONE 25/05/2017 .....	76
TABELLA 20: COORDINATE IMMAGINE (VIDEO IN QUOTA) .....	87
TABELLA 21: COORDINATE OGGETTO (VIDEO IN QUOTA) .....	87
TABELLA 22: TABELLA UNIONE (VIDEO IN QUOTA).....	87
TABELLA 23: TABELLA RESIDUI COORDINATE IMMAGINE (VIDEO IN QUOTA).....	88
TABELLA 24: TABELLA RESIDUI COORDINATE OGGETTO (VIDEO IN QUOTA).....	88
TABELLA 25: COORDINATE IMMAGINE (VIDEO TRASVERSALE) .....	88
TABELLA 26: COORDINATE OGGETTO (VIDEO TRASVERSALE) .....	88
TABELLA 27: TABELLA UNIONE (VIDEO TRASVERSALE).....	89
TABELLA 28: TABELLA RESIDUI COORDINATE IMMAGINE (VIDEO TRASVERSALE).....	89
TABELLA 29: TABELLA RESIDUI COORDINATE OGGETTO (VIDEO TRASVERSALE).....	89
TABELLA 30: RADDRIZZAMENTO VIDEO SEZIONE LONGITUDINALE .....	90
TABELLA 31: RADDRIZZAMENTO VIDEO SEZIONE TRASVERSALE .....	90
TABELLA 32: VALORE CON PISTOLA LASER.....	90
TABELLA 33: VALORI DA GPS .....	90
TABELLA 34: RADDRIZZAMENTO VIDEO SEZIONE LONGITUDINALE .....	91
TABELLA 35: RADDRIZZAMENTO VIDEO SEZIONE TRASVERSALE .....	91
TABELLA 36: VALORI CON PISTOLA LASER .....	91
TABELLA 37: VALORI DA GPS.....	92
TABELLA 38: RADDRIZZAMENTO VIDEO SEZIONE LONGITUDINALE .....	92
TABELLA 39: RADDRIZZAMENTO VIDEO SEZIONE TRASVERSALE .....	93
TABELLA 40: VALORE CON PISTOLA LASER.....	93
TABELLA 41: VALORI DA GPS.....	93
TABELLA 42: RADDRIZZAMENTO VIDEO SEZIONE LONGITUDINALE .....	94

TABELLA 43: RADDRIZZAMENTO VIDEO SEZIONE TRASVERSALE .....	94
TABELLA 44: VALORE CON PISTOLA LASER .....	94
TABELLA 45: VALORI DA GPS .....	94
TABELLA 46: VALORI RICAVATI TRAMITE GIS (ZONA SENZA OMBRA).....	95
TABELLA 47: VALORI RICAVATI MANUALMENTE (ZONA SENZA OMBRA).....	95
TABELLA 48: VALORI RICAVATI DALL'ALGORITMO MATLAB (ZONA SENZA OMBRA).....	96
TABELLA 49: VALORI RICAVATI TRAMITE GIS (ZONA CON OMBRA).....	99
TABELLA 50: VALORI RICAVATI MANUALMENTE (ZONA CON OMBRA).....	99
TABELLA 51: VALORI RICAVATI DALL'ALGORITMO MATLAB (ZONA CON OMBRA).....	100
TABELLA 52: CARATTERISTICHE STATISTICHE ED AMBIENTALI (STUDIO DEFINITIVO) .....	105

## *Ringraziamenti*

Desidero sinceramente ringraziare i prof. Marco Bassani, Marco Piras, e l'Ing. Lorenzo Catani, relatori di questa tesi, per la cortesia e la disponibilità dimostratami, per avermi donato preziosi insegnamenti e validi suggerimenti con grande professionalità in questo percorso non del tutto facile.

Ringrazio queste tre persone per essere sempre state disponibili a dissolvere ogni mio dubbio, ad avermi aiutato ad effettuare ogni rilievo con il freddo invernale o sotto il sole primaverile e per avermi insegnato cosa vuol dire lavorare in gruppo per un obiettivo finale.

Ringrazio il sig. Peppino Fadda per avermi fornito il materiale in campo di sicurezza ed il sig. Bendea Iosif Horea per aver messo a disposizione la propria conoscenza.

Vorrei ringraziare la mia famiglia che mi ha sempre sostenuto nelle mie scelte, supportandomi e consolandomi nei momenti difficili e gioendo per i miei successi.

Infine vorrei ringraziare i miei cugini ed i miei amici che hanno dimostrato un largo interesse per il mio percorso di studi, dandomi la forza di continuare e di non mollare mai.



# INTRODUZIONE

Il tema della mobilità sostenibile ha assunto un ruolo centrale nei programmi di ricerca e nelle politiche ambientali, ed è anche uno dei problemi più complessi che la nostra società deve affrontare. Oggi questo tema è frequentemente associato alla mobilità su bicicletta, che in quanto tale non è inquinante e quindi sostenibile. L'uso della bicicletta è fondamentale per avere benefici ambientali e sanitari soprattutto nelle aree densamente popolate, dove i sistemi tradizionali, meno sostenibili, sono i principali responsabili nella formazione delle polveri sottili e dello smog. Le politiche moderne di gestione della mobilità spingono all'abbandono dei mezzi di trasporto abitualmente utilizzati per gli spostamenti dalla maggior parte della popolazione come le autovetture e i motocicli, a favore della "soft mobility", o mobilità dolce, ossia di quella mobilità non motorizzata e fatta di biciclette e spostamenti a piedi.

Nell'ultimo Conto Nazionale delle Infrastrutture e dei Trasporti (CNIT, anni 2015-2016), redatto dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, si rileva che il secondo mezzo di trasporto più utilizzato dopo le automobili è la bicicletta (Fonte Isofort, Osservatorio "Audimob" sulla mobilità).

Osservando il mercato della mobilità per mezzi di trasporto e circoscrizione territoriale italiana secondo le quote di spostamenti in composizione percentuali (Anni 2013-2015), il Nord-Ovest seguito dal Sud e Isole sono le zone dove viene impiegata maggiormente la mobilità dolce registrando un aumento del 6,3% degli utenti durante l'anno 2014. A tal proposito il Ministro delle Infrastrutture e dei Trasporti Graziano Delrio, in merito alla nuova Legge Quadro n. 2 del 11/01/2018 sulla mobilità ciclabile, ha commentato: "La Cenerentola della mobilità, la bicicletta, assume pari dignità in città, in periferia e nei percorsi turistici rispetto agli altri mezzi e guida il cambiamento verso la mobilità sostenibile".

Tale Legge Quadro intende promuovere l'uso della bicicletta come mezzo di trasporto sia in ambito urbano e metropolitano sia a livello regionale, nazionale ed europeo, con lo scopo di migliorare l'efficienza, la sicurezza e la sostenibilità ambientale della rete ciclabile, tutelare il patrimonio naturale valorizzando il territorio e sviluppare l'attività turistica. La medesima legge prevede la redazione di piani triennali all'interno dei quali si enunciano gli obiettivi annuali sullo sviluppo della mobilità ciclistica da perseguire in relazione ai due distinti ambiti sopra menzionati (urbano – metropolitano e regionale – nazionale – europeo) ponendo particolare attenzione alla complessiva domanda di mobilità.

Inoltre, le amministrazioni pubbliche locali e le regioni comprese le province autonome di Trento e Bolzano sono tenute a presentare una relazione al Ministro delle Infrastrutture e dei Trasporti sullo stato di attuazione degli interventi di manutenzione della rete ciclabile, sulla gestione delle risorse finanziarie stanziare, sulla progettazione di nuovi percorsi ciclabili interconnessi, funzionali con particolare interesse alla sicurezza dei ciclisti ed all'interscambio modale tra la mobilità ciclistica e traffico veicolare motorizzato e sui risultati raggiunti nella riduzione del traffico automobilistico e dell'inquinamento atmosferico.

Lungo le attuali infrastrutture urbane, l'impiego delle biciclette non può essere rafforzato se non grazie a nuove piste ciclabili che favoriscono la percorribilità preferenziale di detti mezzi. Il Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti ha recentemente emanato un nuovo decreto ministeriale (DM n.261 del 11/07/2017) con il quale si finanziano le Regioni e le Province autonome di Trento e Bolzano con 14,8 milioni di euro per interventi di costruzione di nuove piste ciclabili. Saranno 70 gli interventi sul territorio che prevedono la realizzazione di sedi ciclabili con attraversamenti mediante sovrappassi o sottopassi, la messa in sicurezza dei percorsi esistenti e la creazione di una rete ciclabile protetta totalmente isolata dal traffico veicolare motorizzato, convertendo strade e sedi ferroviarie in disuso in nuove piste ciclabili. Ciò vale anche per le ciclovie che attraverseranno la nostra penisola, tra queste la VENEZIA-TORINO, la Ciclovia del Sole, la Ciclovia dell'acquedotto pugliese, e la GRAB Grande Raccordo Anulare delle Bici.

Proprio a partire da questo cambiamento di paradigma nella mobilità urbana, visto il crescente interesse per questa forma di mobilità della quale non sono ancora disponibili, almeno su scala nazionale, dati specifici che caratterizzino le modalità di deflusso, il presente elaborato propone lo sviluppo di una metodologia per l'acquisizione di dati di frequenza e velocità operativa di biciclette su piste ciclabili. La velocità operativa è un valore istantaneo che descrive il comportamento di un utente in una determinata sezione. Per comportamento di un utente medio s'intende la condotta che un ciclista adotta su una sezione derivante dal risultato di variabili dipendenti dalla geometria dell'infrastruttura e dalle condizioni ambientali. L'obiettivo principale di tale studio riguarda lo sviluppo di uno strumento di misura e di elaborazione basato sull'analisi delle immagini in grado di restituire traiettorie e caratteristiche cinematiche accurate e precise.

Sebbene siano numerose le tipologie di strumenti impiegabili per l'acquisizione delle caratteristiche fondamentali del deflusso di una qualunque corrente di entità in movimento (es. monitorando entità con a bordo dei GPS (acronimo di *Global Positioning System*), misurando direttamente le velocità con strumenti laser o con l'uso di videocamere su basi spaziali fisse), non è chiaro quale possa essere il migliore tra questi per le specifiche caratteristiche del tipo di deflusso da monitorare.

L'analisi sperimentale che si esporrà in dettaglio nel manoscritto comprende tre fasi principali. Nella prima è stato condotto uno studio di campo in cui la stessa entità in movimento è stata osservata attraverso diverse metodologie di rilievo:

- con GPS a bordo dell'entità monitorata;
- con il rilievo di immagini con una videocamera posizionata trasversalmente alla direzione di moto;
- con un sistema laser ad alta precisione disposto nella direzione del moto;
- con il rilievo ed il post-processamento di immagini con una videocamera posizionata in direzione longitudinale alla direzione del moto;
- con il rilievo di immagini con una videocamera posizionata in asse alla direzione del moto.

Il primo metodo porta ad un'immediata acquisizione di un'elevata quantità di dati (data del rilievo, orario del rilievo, posizione dell'oggetto in movimento, velocità istantanea) ma con precisioni a livello metrico del tutto insufficienti per il nostro scopo dovute alla presenza di viali alberati o edifici molto alti che schermano il segnale satellitare.

Il secondo metodo, denominato tecnica della triangolazione, è una procedura tradizionalmente impiegata per la stima delle velocità operative sui veicoli ma richiede lunghi tempi di elaborazione dovendo passare per il calcolo manuale del tempo impiegato dal veicolo a percorrere una distanza nota per ogni passaggio di veicoli con la possibile produzione di errori di valutazione.

Il terzo metodo si realizza attraverso un distanziometro a onde di tipo laser, dispositivo di facile utilizzo, che produce risultati di velocità molto precisi per veicoli vicini all'operatore ma

risulta essere una tecnica che fornisce dati con precisioni del tutto insufficienti a causa della difficile individuazione di oggetti riflettenti la luce laser e, oltre a ciò, la metodologia risulta essere molto invasiva sul luogo di studio creando un possibile condizionamento dell'utenza.

Il quarto metodo comporta l'utilizzo di tre differenti software con un conseguente dispendio di tempo nell'estrazione dei fotogrammi componenti il video e nella ricerca dei punti di riferimento, ma risulta avere precisioni abbastanza elevate (di tipo centimetrico) per sezioni vicine alla camera con altezze di ripresa ridotte.

Il quinto metodo propone una procedura di acquisizione ed elaborazione dati interamente automatica, eliminando qualsiasi conteggio manuale, tuttavia l'esigua altezza di ripresa non permette la corretta identificazione degli oggetti come unica entità.

I risultati di questa prima analisi hanno permesso di mettere in evidenza gli enormi vantaggi dell'ultimo metodo di misura in quanto a qualità del dato, e a possibilità di una elaborazione automatica delle immagini raccolte come sequenze di file video. Sebbene in questa prima valutazione la telecamera fosse stata posta a soli pochi metri dal suolo, con immagini poco utili per una stima accurata delle velocità, grazie la disponibilità di un'asta telescopica con altezza di presa a 9 m dal suolo, si è deciso di sviluppare questa tecnica di rilievo e un codice di analisi delle immagini specifico operante in ambiente Matlab.

Nella seconda fase della sperimentazione sono stati quindi compiuti una serie di rilievi finalizzati a comprendere le modalità di acquisizione dei video, e a sviluppare il codice di trattamento delle immagini. Con una serie di attività volte a eliminare alcuni problemi interpretativi delle immagini per successive approssimazioni, si è giunti allo sviluppo definitivo del codice di analisi per immagini in grado di restituire i seguenti dati:

- la matrice dei numeri identificativi delle entità catturate (uno per ciclista), associate ai valori di media e deviazione standard del singolo ciclista lungo il percorso monitorato;
- un istogramma riassuntivo dei dati raccolti e relativi a tutti i ciclisti transitati nel periodo di rilievo (come medie e deviazione standard di ciascuno);
- l'esito del test statistico di Kolmogorov-Smirnov per la valutazione positiva o negativa circa l'esistenza di una distribuzione di probabilità dei dati raccolti;
- i diagrammi di distribuzione cumulata (distribuzione Normale e Log-Normale).

Nella terza fase lo strumento così sviluppato è stato impiegato per un rilievo sistematico di velocità e traiettorie lungo un tratto della pista ciclabile lungo il corso Castelfidardo in Torino. In questo caso si tratta di una serie di campioni di dati rilevati per intervalli di 30 minuti. Il totale dei dati rilevati è di 4104 ciclisti per velocità comprese tra 5 e 27 Km/h, nella maggior parte dei casi con campioni distribuiti secondo una legge di distribuzione Normale (80%).

Il manoscritto è organizzato in capitoli. Il Primo Capitolo tratta lo "Stato dell'arte", e illustra i risultati di ricerche precedenti e riportati nella letteratura tecnico-scientifica internazionale.

Il Secondo Capitolo illustra l'"Indagine sperimentale" ed è suddiviso in cinque fondamentali sottocapitoli. Il primo, "Obiettivi", descrive le finalità dei test condotti per raggiungere lo scopo prefissato. Il secondo, "Strumenti", illustra le fondamentali caratteristiche funzionali delle strumentazioni impiegate durante tutti i rilievi effettuati, ponendo particolare attenzione al sistema di acquisizione video. Il terzo, "Studio Pilota #1", punta all'attuazione di metodologie e criteri utili alla ricerca delle velocità operative grazie a prove effettuate direttamente sul campo, alla loro descrizione ed infine alla definizione della tecnica più vantaggiosa dal punto di vista qualitativo del dato restituito e dall'attuazione pratica delle operazioni di rilievo. Il quarto, "Studio Pilota #2" fornisce i perfezionamenti da apportare per quanto concerne la postazione della videocamera al fine di produrre video di qualità migliore, e che non arrechi nessun danno alla stima dei risultati. Il quinto, "Studio Definitivo", illustra la conduzione dell'ultima fase di rilievo atta ad acquisire i filmati da elaborare nel programma sviluppato.

Il terzo capitolo introduce il “Codice per l’analisi delle immagini” ed è suddiviso in tre sottocapitoli: (i) il procedimento di acquisizione, (ii) raccolta dati e (iii) l’elaborazione e validazione dei dati. La prima sezione “Algoritmi componenti il codice” descrive il codice Matlab sviluppato, le eventuali correzioni e modifiche apportate con il fine di approssimare al meglio i reali valori di velocità. I risultati restituiti dall’elaborazione presentati nella sezione “Raccolta dati” portano alla costruzione di diagrammi di velocità, gli istogrammi rappresentanti le velocità medie per ogni ciclista e il grafico di funzione di distribuzione cumulativa delle Distribuzioni Normale e Log-Normale. Nella terza sezione denominata “Validazione” si riportano i risultati della campagna di rilievo con l’obiettivo di verifica dei risultati ottenuti nella sezione precedente. La conferma della procedura finale applicata nelle giornate di rilievo durante lo Studio Definitivo avviene tramite la verifica attraverso alcune delle modalità illustrate nel capitolo “Studio Pilota #1”.

L’ultimo capitolo, le “Conclusioni”, sintetizza i risultati ottenuti, le implicazioni che ne derivano, le limitazioni e le future applicazioni.

Al termine del manoscritto si riportano i riferimenti bibliografici, un Glossario in cui si propongono alcune definizioni dei vocaboli ricorrenti, e negli “Allegati” si riportano dati, codici e procedimenti raccolti e sviluppati nel lavoro di tesi.

# 1 STATO DELL'ARTE

Questa sezione racchiude la descrizione dei contributi scientifici riguardanti le due principali tematiche di riferimento in cui si inquadra questo elaborato di tesi: le tecniche di acquisizione dei dati relativi ai movimenti ciclabili su strada, e la valutazione statistica dei dati raccolti. La fase di acquisizione è senza dubbio fondamentale per la formazione di un database robusto contenente dati su velocità operative. Il rilievo è direttamente svolto sul campo e deve evitare di condizionare il comportamento e l'attenzione dell'utenza che in quel momento viene monitorata.

Dill & Gliebe (2008) hanno utilizzato il GPS per ricavare i dati di posizione, tempo e velocità di un campione di 164 ciclisti adulti nel corso di una settimana di rilevamenti a Portland (US). Lo strumento impiegato immagazzinava dati ogni 3 secondi. I dati confermarono l'influenza della velocità in base alle interazioni che il ciclista ha con gli altri veicoli o con i pedoni circostanti, ma anche dalle ragioni per le quali lo spostamento era eseguito (per lavoro, per sport, per passatempo). I valori di velocità osservati erano per la maggior parte compresi nell'intervallo tra 15 e 20 Km/h.

Lin et al. (2008) hanno condotto uno studio sulle velocità operative distinguendo l'utenza su biciclette ordinarie da quella viaggiante su biciclette elettriche (*e-bike*) lungo un tratto di pista ciclabile nella città di Kunming (Cina). Il tratto considerato distava 80 m da un'intersezione stradale sufficienti a determinare condizioni con limitata conflittualità con altre utenze. La velocità è stata misurata come rapporto tra la distanza tra due sezioni ed il tempo impiegato da ogni ciclista per percorrerla mediante l'analisi dei video raccolti da videocamere posizionate lungo la pista. Le *e-bike* sono risultate più veloci del 47,6% rispetto a quelle ordinarie (21,86 Km/h contro i 14,81 Km/h). I ciclisti uomini si caratterizzarono per una velocità media maggiore rispetto alle donne. Analogamente i giovani hanno una velocità media più alta rispetto agli anziani, sia per la categoria *e-bike* che per biciclette ordinarie. Le distribuzioni di velocità più ricorrenti nei dati sono risultate essere la Normale e la Log-normale, con una leggera prevalenza di quest'ultima sulla prima.

Thompson et al. (1997) hanno stimato la velocità di 152 ciclisti (di cui 77 donne e 75 uomini) utilizzando per questo scopo una distanziometro laser, avente una tolleranza di errore del  $\pm 4\%$  a velocità relativamente basse (da 0 a 7 mph ovvero da 0 a 11,26 Km/h), precedentemente calibrato secondo le istruzioni del produttore e montato su un treppiede distante 1-2 piedi (circa 0,30-0,61 m) dalla ciclopista ed un cronometro, con avvio ed arresto manuale, il quale misurava il tempo intercorso tra due punti noti di una sezione lunga 100 iarde (91,44 m) e due walkie talkie per comunicare la partenza e l'arrivo dei mezzi. L'interferenza tra strumenti ed utenza ricorre spesso nella ricerca della velocità sia di veicoli a motore che velocipedisti, in quanto gli utenti, qualora percepissero la presenza degli strumenti, tenderebbero a modificare la propria modalità di guida falsando i dati ricavati. La maggior parte dei ciclisti ha assunto una velocità moderata compresa tra 8,05 Km/h e 24,14 Km/h, considerando che la media delle velocità era di 9,7 mph (15,61 Km/h) con una deviazione standard di 2,87.

Durante la *Australasian Road Safety Research Policing Education Conference*, Ponte et al. (2014) hanno sviluppato un software di post-processamento video in grado di rilevare e valutare la velocità dei ciclisti su pista ciclabile, apportando, nel corso della ricerca, diverse migliorie grazie al confronto effettuato con i dati rilevati da GPS e distanziometro laser. Il software aveva il compito di etichettare in maniera univoca ciascun ciclista con un filtro di alta o bassa visibilità, identificandone la posizione all'interno di ogni fotogramma e creando un nuovo video nel quale compare anche il numero identificativo degli utenti. L'ultima versione del software era in grado di tracciare il percorso del 98% dei ciclisti, identificando le sole entità aventi caratteristiche diverse dallo sfondo in diverse condizioni atmosferiche e d'illuminazione. L'utilizzo dell'Equazione 1 consente di stimare la velocità media di ogni ciclista conteggiando il numero di frame trascorsi tra due punti posti a 6,25 m di distanza tra loro.

$$Velocità\ media = \frac{Distanza}{Tempo} = \frac{6,25\ m}{\frac{1}{frame\ rate} * (Frame\ n^{\circ}\ a\ 0\ m - Frame\ n^{\circ}\ a\ 6,25\ m)} \quad Equazione\ 1$$

Ismail et al. (2009) hanno sviluppato un software in grado di identificare e tracciare gli utenti della strada attraverso un procedimento automatico, esaminando un video di 48 ore effettuato su una strada situata nell'area di Downtown a Vancouver (British Columbia, Canada). Il primo passaggio prevedeva la calibrazione della videocamera sfruttando i parametri intrinseci ed estrinseci, estratti da un algoritmo di ottimizzazione, che consentono di relazionare le coordinate immagine ovvero le coordinate in pixel che identificano ogni punto componente l'immagine con le coordinate oggetto ovvero le coordinate, espresse in metri, che consentono di stimare le reali distanze tra due punti. Il secondo passaggio riguardava il riconoscimento e la classificazione degli utenti (veicoli o pedoni) utilizzando il filtro Kanade-Lucas-Tomasi il quale tracciava le entità con caratteristiche di colore, luminosità e movimento diverse rispetto allo sfondo. Il sistema è stato ipotizzato come totalmente automatico ma in realtà è stata necessaria la collaborazione di un operatore che verificasse visivamente i risultati ottenuti.

Malinovski et al. (2009) hanno condotto una ricerca in ambiente urbano lungo un rettilineo che s'innestava su un'intersezione, descrivendo il procedimento di tracciamento di pedoni e velocipedisti in scarse condizioni di luminosità giornaliere e con bassa risoluzione della camera, attraverso un algoritmo che comprendeva tre passaggi fondamentali: acquisizione degli oggetti in movimento (*acquisition of moving objects*), tracciamento (*object tracking*) delle entità per ogni fotogramma componente il filmato e classificazione degli oggetti (*object classification*) assegnando un'etichetta identificativa. Per quanto riguarda l'acquisizione degli oggetti mobili, è stato necessario convertire il filmato originale in un'immagine binaria composta da aree generate da pixel bianchi (oggetti mobili) su sfondo nero. La velocità è stata determinata conoscendo il tempo impiegato dall'entità a percorrere una distanza nota.

Un altro sistema di tracciamento è stato proposto da Cho et al. 2011 mediante l'utilizzo del filtro di Kalman con lo scopo di stimare le coordinate di posizione delle biciclette ipotizzando la successiva posizione del mezzo ed aggiornando di volta in volta le coordinate. Berclaz et al. 2011 hanno sottolineato come la procedura sia efficiente solo quando il numero degli oggetti da tracciare è limitato.

Uno dei problemi più comuni nella determinazione delle coordinate dei centri di massa è dato principalmente dall'illuminazione naturale o artificiale e dalla sovrapposizione di due o più veicoli. A proposito, Zaki et al. (2013) che hanno sviluppato un procedimento, raffigurato in Figura 1, nel quale venivano acquisiti dati di velocità attraverso video raffiguranti ciclisti e pedoni, successivamente, mediante la tecnica di visione artificiale (*Computer Vision*) venivano tracciate le entità, stimando la velocità, conteggiando i ciclisti ed analizzando il loro comportamento.

Jun et al. (2006) hanno applicato alcune tecniche di "lisciamento" (approssimazione ai minimi quadrati, metodo di Kernel e filtro di Kalman modificato) ai dati ottenuti tramite GPS per meglio approssimare le oscillazioni dovute a errori sistematici causati dal mancato recepimento del segnale di satelliti oppure a errori casuali dovuti all'orbita satellitare, effetti atmosferici o della ionosfera, riflesso o blocco del segnale deducendo che il metodo che meglio approssima il segnale originale è il filtro di Kalman modificato.

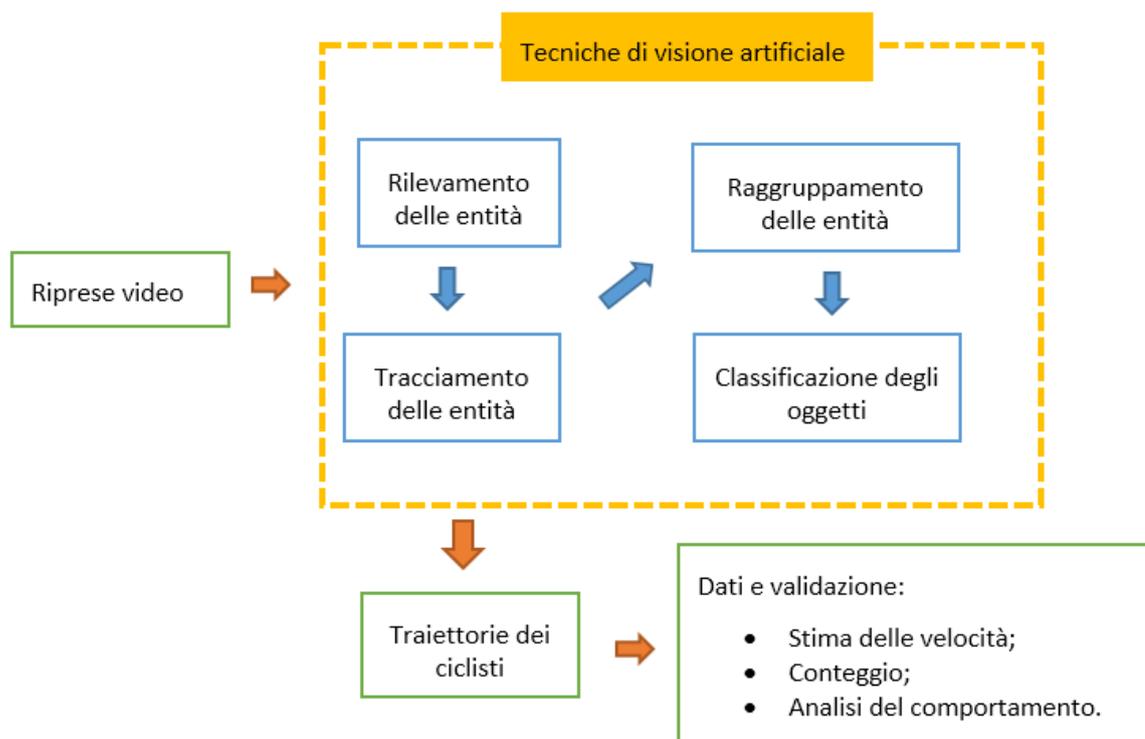


Figura 1: Architettura del sistema di Computer vision (Zaki et al.)

Per quanto concerne le attività di valutazione della distribuzione statistica dei dati di velocità operativa riguardanti la mobilità ciclabile, Xu et al. (2015) hanno utilizzato la stessa modalità di rilievo degli autori Lin et al. (2008) testando le distribuzioni Normale, Log-Normale, Gamma e Weibull, mediante l'uso del test di Kolmogorov-Smirnov (KS test). Si sono esaminati quattro campioni di traffico eterogeneo (biciclette elettriche e normali), osservando che nei primi due casi i dati seguivano una distribuzione Log-Normale o di Weibull, mentre gli altri due campioni sono stati approssimati meglio con una distribuzione Normale o Gamma.

Anche Dey et al. (2006) hanno condotto, attraverso studi riguardanti la mobilità ciclabile, evidenziando che il traffico dei mezzi a due ruote non motorizzate seguiva principalmente una distribuzione Normale o Log-Normale. Gli autori sono arrivati a tali conclusioni costruendo grafici rappresentanti la funzione di distribuzione cumulativa grazie ai dati di velocità ricavati tramite un conteggio manuale dei secondi impiegati da ogni singolo ciclista che ha percorso una delle 17 sezioni, poste lungo le strade indiane, monitorate da videocamere installate lungo il ciglio della carreggiata. Le sezioni dovevano risultare libere da fermate di mezzi pubblici o da parcheggi per automobili, lontane da curve o da marciapiedi con lo scopo di escludere qualsiasi conflitto con altri utenti della strada.

Ling & Wu (2004) hanno posizionato due videocamere lungo una pista ciclabile che registravano il passaggio di 561 ciclisti, osservando che le velocità rispettavano perlopiù una distribuzione Normale con un picco di velocità a circa 21 Km/h.

Partendo da questi dati si sviluppa lo studio, oggetto di tesi, che vede la sua elaborazione nei capitoli seguenti.

## 2 INDAGINE SPERIMENTALE

### 2.1 Obiettivi

Gli obiettivi che con questo elaborato di tesi si sono voluti perseguire sono:

- confronto tra metodi di rilevamento delle velocità operative su pista ciclabile, al fine di scegliere il più accurato e preciso, ma allo stesso tempo anche il più agevole da impiegare nel monitoraggio su sedi ciclabili dedicate e promiscue;
- messa a punto di uno specifico sistema di rilevamento che fosse non invasivo, facilmente trasportabile e adattabile alle diverse condizioni ambientali;
- esecuzione di una campagna di rilevamenti su una specifica sezione per testare il sistema di rilevamento, e per valutare quali fossero gli effetti di alcune condizioni ambientali sui dati di velocità raccolti.

Con lo scopo di confrontare le metodologie di rilevamento delle velocità operative, è stato eseguito un primo test pilota nel quale sono state applicate le tecniche principalmente considerate nella letteratura tecnico-scientifica (GPS, Distanziometro laser, raddrizzamento analitico, ricerca automatica), focalizzandosi sui pregi e difetti di ogni procedimento. In particolare si è posta particolare attenzione sulla precisione e sull'accuratezza del dato restituito e sulle tempistiche di impiego nelle operazioni di rilievo e di elaborazione dati.

Di seguito (Figura 2) si presenta l'organizzazione dell'indagine sperimentale condotta con lo scopo di analizzare e valutare la metodologia che meglio corrisponde con gli obiettivi sopra elencati.

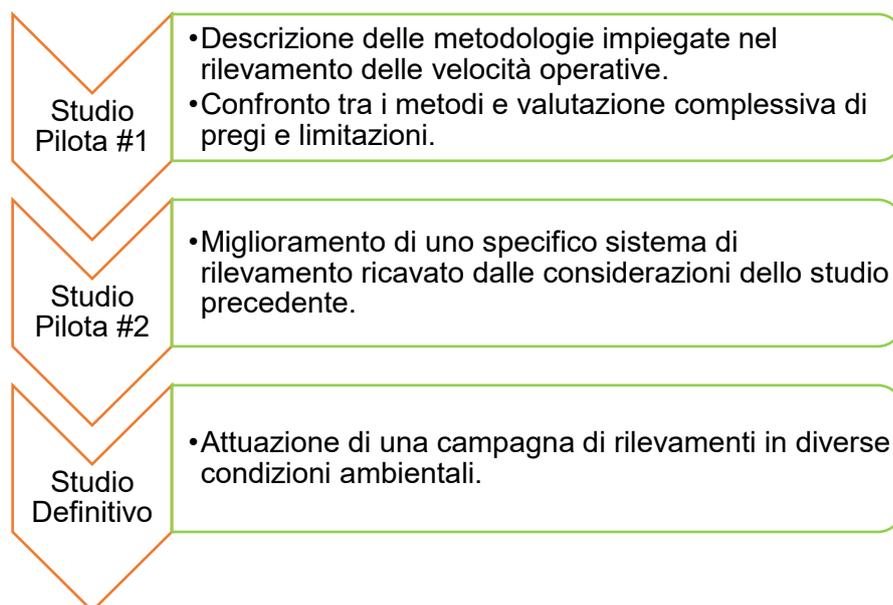


Figura 2: Organizzazione dell'indagine sperimentale

## 2.2 Strumenti

I dispositivi utilizzati per effettuare i rilievi sono principalmente di uso commerciale e di impiego ordinario ma ugualmente usati anche nell'ambito di una sperimentazione più complessa.

Lo strumento principalmente impiegato per i rilievi è la videocamera Garmin VIRB Elite (Figura 3 dal sito <https://buy.garmin.com/it-IT/IT/p/119594>) le cui principali caratteristiche funzionali sono state reperite dal sito web <https://buy.garmin.com/it-IT/IT/p/119594#overview>.

La Action Cam HD ha una risoluzione video di 1080p, batteria agli ioni di litio da 2000 mAh, ricaricabile, a lunga durata (fino a 3 ore di registrazione a 1080p ed una batteria supplementare intercambiabile), dispone di funzioni di ottimizzazione video (tra le quali Wide Angle e Ultra Zoom), l'impostazione standard ha una frequenza di fotogrammi (*frame rate*) di 29,97 fps (*frame per second*), la dimensione dei video è di 1920 × 1080 (con frame rate di 29,97 fps), inoltre grazie all'applicazione Garmin VIRB che sfrutta la connessione Wi-Fi, è possibile comandare il dispositivo a distanza (a discapito della durata della batteria) e la possibilità di attivare il GPS integrato nello strumento. I dati ricavati dal sistema GPS interno alla videocamera sono esportabili in formato GPX e visualizzabili in un software dedicato al tracciamento a partire dalle coordinate geografiche o su un foglio di calcolo Excel.

La videocamera possiede staffe cambiabili in base al supporto sul quale sarà agganciata; nel caso specifico si ha in dotazione una staffa utile a stabilizzare la videocamera su un treppiede o, in alternativa, su un'asta telescopica sorretta da un bipiede. L'asta in fibra di carbonio presenta il pregio della maneggevolezza e della facilità di trasporto, avendo un'altezza minima (base) di 1,81 m con la possibilità di estendersi fino a 9,18 m (Figura 4).

Gli strumenti sopra citati hanno un costo relativamente contenuto in quanto la videocamera Garmin ha un prezzo che si aggira intorno ai € 260 mentre l'asta ha un valore di circa € 1000.

Il distanziometro a onde (Figura 5) emette una serie di impulsi laser in banda infrarossa verso una superficie metallica riflettente e, in base all'eco riflessa, misura la variazione di distanza di un oggetto in movimento in un lasso di tempo noto, dal quale è possibile derivare sia la distanza dall'osservatore sia la velocità con una tolleranza di  $\pm 1$  Km/h.



Figura 3: Garmin VIRB® Elite (vista frontale e laterale)



*Figura 4: Videocamera montata su un'asta estensibile sorretta da un bipiede*



*Figura 5: Distanziometro laser (dal sito <http://www.zetalab.it/prodotto/rilevatore-di-velocita-speed-gun-plus/>)*

Il GPS è un sistema di posizionamento basato sul rilevamento contemporaneo dei segnali emessi da 3 o 4 satelliti che stazionano nell'orbita terrestre ed è in grado di determinare con precisione metrica la posizione degli oggetti attraverso le coordinate geocentriche di longitudine, latitudine ed altitudine. Il segnale viene captato da un'antenna integrata nel dispositivo consentendo l'istantanea valutazione dei dati di posizione, tempo e velocità e di esportare tali valori in un file di testo o su un foglio di calcolo Excel.

La prima fotografia in Figura 6 raffigura il veicolo utilizzato principalmente per lo Studio Pilota #1 e nella validazione dei dati ottenuti durante lo Studio Definitivo, nel quale sono inseriti gli strumenti di rilevazione di posizione satellitare (seconda foto a destra in Figura 6), nello specifico è stata montata la video camera precedentemente descritta con l'attivazione della funzione di rilevamento della posizione (riquadro rosso in alto) ed un dispositivo con sistema GPS integrato (riquadro rosso in basso)



*Figura 6: Strumenti GPS montati sul veicolo*

L'applicazione "CycleDroid" installata su smartphone (Figura 7) sfrutta il GPS interno al dispositivo permettendo di tracciare il movimento del mezzo su cui è bordo e di visualizzare in tempo reale la velocità istantanea, la velocità media, la distanza percorsa, il tempo impiegato ed il numero di satelliti tracciati dal ricevitore, inoltre l'applicazione offre anche una funzione di visualizzazione di grafici tempo/velocità e distanza/tempo.

I dati di posizione (latitudine, longitudine, altitudine), data ed ora del rilievo, velocità e distanza dal punto iniziale da quando l'applicazione è stata accesa, possono essere salvati in un file di formato GPX oppure sotto forma di file di testo consentendo una facile lettura dei risultati e un'agevole tracciamento dell'oggetto in movimento su appositi software di tracciamento.



*Figura 7: Schermata iniziale dell'applicazione "CycleDroid"*

## 2.3 Studio Pilota #1

In questa sezione si confronteranno le metodologie più utilizzate in letteratura, tra le quali:

- Distanziometro laser;
- GPS;
- Procedura manualizzata;
- Procedimento automatizzato.

Le metodologie sono state applicate su un caso studio eseguito a Torino nel quartiere Crocetta lungo Corso Trieste in quanto l'area è una zona pedonale e come tale interdetta al traffico veicolare motorizzato, escludendo quindi eventuali interferenze tra veicoli a motore (autoveicoli, motocicli e ciclomotori) e veicoli non motorizzati (biciclette), tuttavia il percorso prescelto include l'interazione tra biciclette e pedoni provocando una possibile riduzione della velocità operativa ricercata nel caso di conflitto tra queste due utenze e ciò può essere visibile nel diagramma di velocità come un brusco salto.

In Figura 8 si raffigura l'esatto posizionamento del luogo in cui è stato effettuato il rilievo (mappa in alto in cui cerchiato in rosso si riporta il nome del luogo) posto al centro dei due principali punti (Politecnico di Torino e stazione ferroviaria di Torino Porta Nuova) presi come riferimento al fine di determinare il segno convenzionale riguardante la traiettoria del mezzo, mentre nella fotografia in basso si visualizza la reale disposizione del viale alberato e del percorso pedonale grazie all'ausilio di Google Street View.

Affinché lo studio possa essere il più corretto possibile, si sono utilizzati due tipologie di mezzi:

- una bicicletta cargo (Figura 9) avente la possibilità di azionare la pedalata assistita con il vantaggio di conoscere a priori il limite inferiore delle velocità e di accomodare tutta la strumentazione relativa al GPS nel cassone anteriore;
- una bicicletta ordinaria a due ruote con GPS a bordo del mezzo (descritta al paragrafo 2.2 e raffigurata in Figura 6).

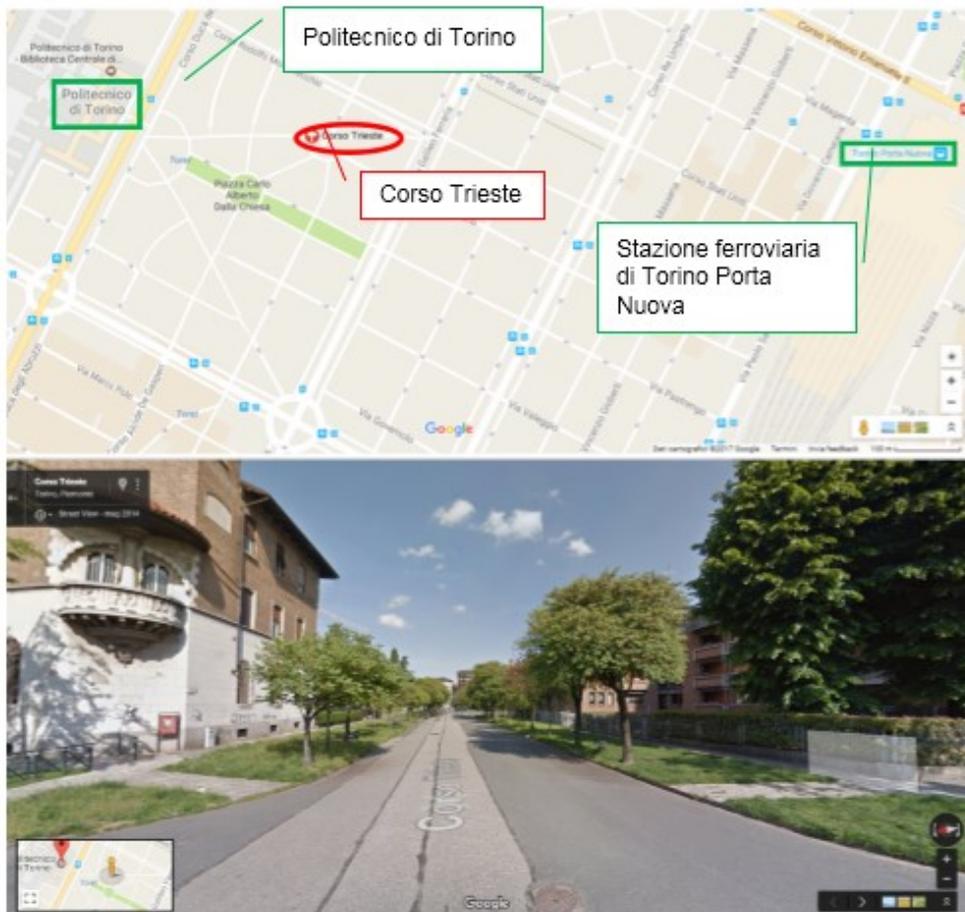


Figura 8: Identificazione del luogo in cui è stato condotto lo Studio Pilota #1



Figura 9: Bicicletta Cargo

Con lo scopo di ricreare un ipotetico tratto di pista ciclabile si costruisce un percorso avente come campo d'azione una striscia larga 2 m e lunga 100 m, a metà lunghezza (50 m) si è posizionata una videocamera (camera 2, punto 1003) per riprendere lo spostamento trasversale del veicolo mentre ad inizio percorso, rivolgendo le spalle al Politecnico, è stata posizionata una videocamera (camera 1, punto 1002) su un supporto rialzato per riprendere lo spostamento perpendicolare al senso di marcia mentre all'interno della corsia creatasi vengono posizionati al suolo, a intervalli regolari, dei marker o punti fissi (Figura 10) ben visibili dalla videocamera posizionata lungo l'asse del percorso (camera 1), rilevando tramite sistema GPS in modalità RTK le coordinate di Latitudine, Longitudine ed Altitudine.



*Figura 10: Percorso ciclabile ricostruito (Legenda Punti in verde = postazione camere; Punti in blu = posizione dei punti fissi a terra utilizzati per rilievo effettuato grazie ai video con la videocamera 1002; Punti in arancio = posizione dei punti fissi a terra utilizzati per rilievo nella sezione trasversale)*

Gli strumenti utilizzati sono due videocamere, la prima (Camera 1) è posta su un'asta telescopica di altezza pari a 3,15 m che ha consentito di riprendere il tragitto effettuato dal mezzo nella direzione longitudinale al percorso mentre la seconda (Camera 2) è posizionata su un treppiede di altezza pari a 1,80 m la cui funzione è riprendere il veicolo lungo la sezione trasversale. Inoltre nella postazione ricoperta dalla Camera 1 ci si è posizionati per rilevare la velocità e la distanza dal mezzo con un distanziometro laser.

Nel seguito saranno introdotte le metodologie precedentemente elencate descrivendo i risultati ottenuti.

La prima riguarda l'acquisizione dei dati attraverso il GPS integrato nel mezzo, ricavando i risultati in forma tabellare, riportati in allegato A nella sezione "A1. Dati di posizione attraverso sistema GPS", il quale è organizzato in colonne tra le quali si possono notare le voci "Index" in cui vengono univocamente definiti i punti riconosciuti dai satelliti, "GPS date" e "GPS time" dove si definiscono la data e l'ora precisa (in ore, minuti e secondi) in cui viene effettuato il rilievo, "Lat", "Lon" e "Alt(HAE)" ovvero le coordinate geografiche rispettivamente di Latitudine, Longitudine ed Altitudine, "Easting", "Northing" e "Ellip. Hgt" che rappresentano i valori di coordinate convertite nel sistema cartografico e "Speed" che rappresenta la velocità dell'oggetto in m/s e convertita in Km/h moltiplicando quest'ultima per 3,6. Come si può osservare dalla colonna "GPS time" lo strumento acquisisce dati in tempo reale ogni secondo.

Con l'obiettivo di confrontare i dati GPS ed i valori ricavati dalle altre metodologie, è stato necessario convertire le coordinate geografiche (Latitudine, Longitudine, Altitudine espressi in gradi nel sistema di riferimento ETRF89) in coordinate cartografiche (Nord, Est, Quota nel sistema UTM89-Fuso 32) mediante l'uso del software CoveRgo (Conversioni di coordinate per le Regioni), affinché le distanze risultino essere in metri.

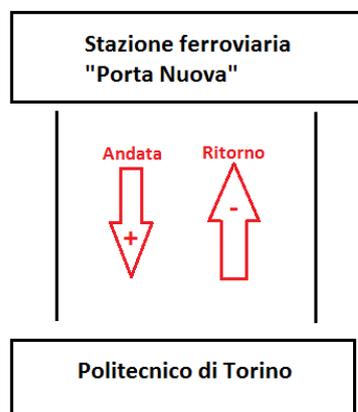
Il software ConveRgo compie delle trasformazioni tra coordinate dei vari sistemi di riferimento in cui sono espressi i dati geografici delle Amministrazioni regionali e le coordinate espresse in sistemi cartografici, si considera anche la componente altimetrica e perciò si esegue una conversione fra quote ellissoidiche e geodetiche. In via opzionale, il programma utilizza dei "grigliati" caricati dall'utente in modo da far risultare più precisa la trasformazione, in assenza di quest'ultimi il calcolo viene comunque effettuato utilizzando un modello di calcolo approssimato (accuratezza metrica) come nel caso in questione.

I risultati della conversione riferiti ai dati rilevati con il GPS sono riportati in Tabella 1.

La seconda metodologia riguarda il distanziometro a onde laser che, come descritto nel paragrafo 2.2, è uno strumento utilizzato per misurare la variazione di distanza da una superficie riflettente (che può essere la targa dei veicoli o parti metalliche per le biciclette) ricavandone la velocità istantanea del mezzo che presenta per convenzione un segno positivo o negativo a seconda della direzione del mezzo (nel caso in esame i numeri positivi sono relativi alle velocità in andata mentre i numeri negativi sono relativi al ritorno come rappresentato in Figura 11) ma, d'altro canto, presenta lo svantaggio di avere un operatore sul ciglio della pista ciclabile che punti in modo preciso il mirino dello strumento sul mezzo da rilevare.

**Tabella 1: Valori di coordinate GPS originali e convertiti riferiti ai punti fissi al suolo**

Point Id [-]	COORDINATE GEOGRAFICHE			COORDINATE CARTOGRAFICHE		
	Latitudine [°]	Longitudine [°]	Quota [m]	Easting [m]	Northing [m]	Ellip. Hgt [m]
100	45,062293	7,665506	341,722	394935,51	4990736,56	293,59
101	45,062272	7,665503	341,612	394935,21	4990734,29	293,48
102	45,062293	7,665603	341,662	394943,10	4990736,42	293,53
103	45,062294	7,665695	341,602	394950,37	4990736,42	293,47
104	45,062293	7,665730	341,585	394953,16	4990736,33	293,45
105	45,062272	7,665732	341,455	394953,22	4990733,97	293,33
106	45,062271	7,665840	341,408	394961,72	4990733,74	293,28
107	45,062292	7,665841	341,494	394961,88	4990736,09	293,36
1000	45,062349	7,665768	341,574	394956,20	4990742,51	293,44
1001	45,062347	7,665668	341,623	394948,34	4990742,41	293,49
1002	45,062284	7,665365	341,789	394924,38	4990735,77	293,66
1003	45,062244	7,665713	341,505	394951,67	4990730,86	293,37



**Figura 11: Segni convenzionali associati alla direzione rilevata con il distanziometro laser**

*Tabella 2: Risultati distanziometro laser per bicicletta cargo*

Velocità [Km/h]	Distanza [m]	Orario [h]
5	19,70	15,39
-8	14,70	15,39
-7	46,00	15,40
8	51,50	15,40
8	35,60	15,40
8	23,90	15,40

*Tabella 3: Risultati distanziometro laser per bicicletta ordinaria*

Velocità [Km/h]	Distanza [m]	Orario [h]
11	37,10	15,49
-11	22,80	15,49
13	42,40	15,50
10	23,60	15,50
-12	13,60	15,51
-10	27,30	15,51

In Tabella 2 e in Tabella 3 si riportano i risultati ottenuti mediante la seconda tipologia di metodo divisi per tipologia di veicolo (bicicletta cargo a cui è stata attivata la modalità di pedalata assistita e bicicletta ordinaria).

La terza metodologia, il raddrizzamento analitico per la costruzione di fotopiani, consente di misurare le distanze direttamente sulle immagini processate evitando di commettere errori dovuti alle distorsioni di forma, grazie all'utilizzo del software RDF, caricando le immagini, una alla volta, dopo aver estratto ogni fotogramma che compongono il video servendosi del codice di Matlab presente in allegato B alla sezione "B1 Codice per l'estrazione dei fotogrammi".

All'avvio di RDF si può scegliere tra raddrizzamento analitico o geometrico e, in questo caso, si opta per il metodo analitico poiché si dispone di coordinate rilevate tramite sistema GPS definite dal software come coordinate oggetto mentre le coordinate piane espresse in pixel sono dette coordinate immagine e sono determinabili sull'immagine. Condizione necessaria al fine di ottenere un raddrizzamento corretto è sicuramente l'individuazione di punti distribuiti in modo omogeneo.

Le coordinate geografiche (Est, Nord, Quota), ottenute mediante la conversione dei dati GPS, si identificano nel programma come coordinate oggetto ma risultano inclinate rispetto all'immagine caricata e, per questo motivo, si deve effettuare una rototraslazione delle coordinate per essere riportate in un sistema di riferimento locale (X, Y, Z) la cui formulazione è espressa dall'Equazione 2 per quanto riguarda la determinazione della coordinata X e dall'Equazione 3 per quanto riguarda la determinazione della coordinata Y dove i valori di x e y indicano le coordinate rispettivamente di Est e Nord.

$$X = x \cdot \cos \alpha - y \cdot \sin \alpha + c = -y \cdot a + x \cdot b + c \quad \text{Equazione 2}$$

$$Y = x \cdot \sin \alpha + y \cdot \cos \alpha + d = x \cdot a + y \cdot b + d \quad \text{Equazione 3}$$

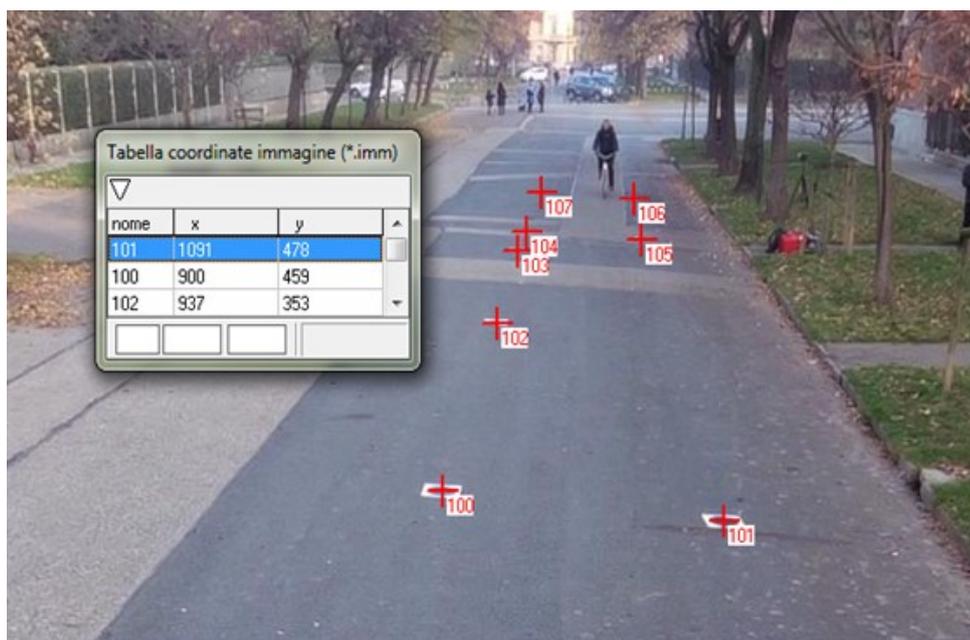


Figura 12: Procedura per la definizione delle coordinate immagine di punti noti

La trasformazione da coordinate "assolute" (E, N, h) del sistema globale a coordinate "piane" (X, Y, Z) avviene tramite un file Excel denominato "Calcolo delle coordinate nel sistema locale di facciata date le coordinate nel sistema globale" in cui s'inseriscono le coordinate assolute Est, Nord e Quota (x, y, z) nelle celle successive si copiano le coordinate (solo x e y) dei due punti rispettivamente più a sinistra e più a destra del piano, rispettando rigorosamente questo ordine. Ottenute le coordinate X e Y, si inseriscono nella tabella del software RDF sotto la voce "Coordinate Oggetto", mentre la tabella delle coordinate immagine deve essere compilata mediante la collimazione dei punti sull'immagine inserendo le corrispondenti coordinate in pixel dei punti di appoggio (Figura 12).

Dopo aver definito le precedenti tabelle, si crea una tabella unione - coordinate immagine/oggetto in cui vengono associate le coordinate oggetto di ogni punto di appoggio alle corrispondenti coordinate immagine. Il calcolo dei residui, ovvero la differenza tra le coordinate inserite e quelle ricalcolate, è indispensabile per effettuare il raddrizzamento e verifica la bontà metrica del risultato finale, affinché il sistema sia isodeterminato i residui dovranno essere nulli o comunque minimi tali da poter essere considerati nulli. Prima di procedere con il raddrizzamento è necessario impostare il passo di ricampionamento (come mostrato in Figura 13), che indica il valore da impostare per convertire ogni pixel dell'immagine finale raddrizzata nelle unità definite dall'oggetto, nel caso in esame si decide di imporre la condizione secondo la quale 0,01 m corrispondono a 1 pixel, infatti le misurazioni dovranno essere trasformate da pixel in metri e per questo motivo nella casella "Valore in metri di un pixel" si deve inserire il valore di 0,01.

Per ottenere la posizione dei punti fissi partendo dall'immagine raddrizzata, si costruisce una tabella tramite collimazione, avente come prima colonna l'elenco contenente il nome dei punti di riferimento e come seconda colonna i corrispondenti punti che identificano la posizione del ciclista in un dato frame.



*Figura 13: Finestra di conversione delle unità di misura*

Per le misurazioni delle distanze si è ritenuto necessario considerare un punto fisso che fungesse da riferimento e che fosse ben visibile nel video, in questo caso per le immagini riprese mediante la camera 2 (video trasversale) il punto di riferimento è il perno della ruota anteriore (punto indicato dalla freccia blu in Figura 14) per entrambe le tipologie di mezzo mentre per la camera 1 riferito al video in quota, il punto fisso s'individua tra la prima ruota visibile ed il suolo sia in andata (Figura 15) che ritorno (Figura 16) per entrambe le tipologie di veicolo.



*Figura 14: Punti di riferimento bici cargo e bicicletta ordinaria nella sezione trasversale*



*Figura 15: Punto di riferimento sezione longitudinale in andata*



*Figura 16: Punto di riferimento sezione longitudinale al ritorno*

Per poter effettuare le misurazioni delle distanze tra i due punti così ottenuti, sul software di sistema informativo computerizzato attraverso dati geo-riferiti (Qgis) risulta necessario applicare le formule inverse alle precedenti equazioni (Equazione 2 e Equazione 3).

$$x = \frac{a(y-d)+b(x-c)}{a^2+b^2} \quad \text{Equazione 4}$$

$$y = \frac{-x+bx+c}{a} \quad \text{Equazione 5}$$

I valori così ottenuti sono stati inseriti nel software insieme alle coordinate dei punti fissi al suolo, consentendo la precisa determinazione delle distanze, grazie al comando di misurazione (*measure*) tra i due punti di riferimento del veicolo che caratterizzano lo stesso “evento” di andata o di ritorno (si precisa che per “evento” s’intende il tragitto percorso da un utente di sola andata o ritorno).

Al fine di determinare il tempo trascorso tra due punti si utilizza l’Equazione 6 dove  $frame_2$  è il numero del frame dove si rileva la posizione finale del mezzo mentre  $frame_1$  è il numero del frame dove si rileva la posizione iniziale del mezzo mentre la velocità si ottiene mediante la divisione tra spazio e tempo stimati precedentemente ( $v = s/t$ ).

$$t = \frac{frame_2 - frame_1}{frame\ rate} \quad \underline{\text{Equazione 6}}$$

I risultati ottenuti sono riportati in allegato A alla sezione “A2 Dati ottenuti attraverso il software RDF”.

La metodologia della triangolazione, solitamente utilizzata per il nostro scopo, consiste nel calcolare la velocità conoscendo la distanza tra due punti noti ed il tempo impiegato dal mezzo a percorrere tale distanza, a tal fine si usufruiscono i video realizzati mediante la Camera 2 posta nel punto fisso denominato 1003 in Figura 10.

Siccome i punti lungo il tratto non risultano allineati, si approssima il percorso con una retta congiungente i punti estremi (100 -107 e 101-106) mentre la distanza tra i punti fissi in arancio (1000 - 1001) è determinata grazie alle coordinate ricavate tramite GPS e risulta essere pari a 7,86 m ma, tale distanza non risulta essere uguale allo spazio corrispondente alla mezzeria della corsia poiché la prospettiva ha grande influenza e perciò è opportuno costruire un triangolo avente il punto di fuga coincidente con la posizione della camera.

Ottenuti i lati del triangolo risulta più facile stimare la reale distanza tra i punti che nascono dall’intersezione tra la mezzeria del percorso ipotizzato ed i lati del triangolo creatosi. Successivamente si calcolano le distanze che rappresentano le basi dei triangoli che si formano congiungendo i due punti nella mezzeria ( $y_1$ ) e dividendo ulteriormente a metà la distanza tra la mezzeria e l’estremo ( $y_2$  e  $y_3$ ).

Le grandezze  $y$  (Figura 17) sono misurate mediante la proporzione espressa in Equazione 7.

$$\frac{x}{b} = \frac{y_n}{c} \rightarrow y = \frac{c}{b} * x \quad \text{con } n = 1,2,3 \quad \underline{\text{Equazione 7}}$$

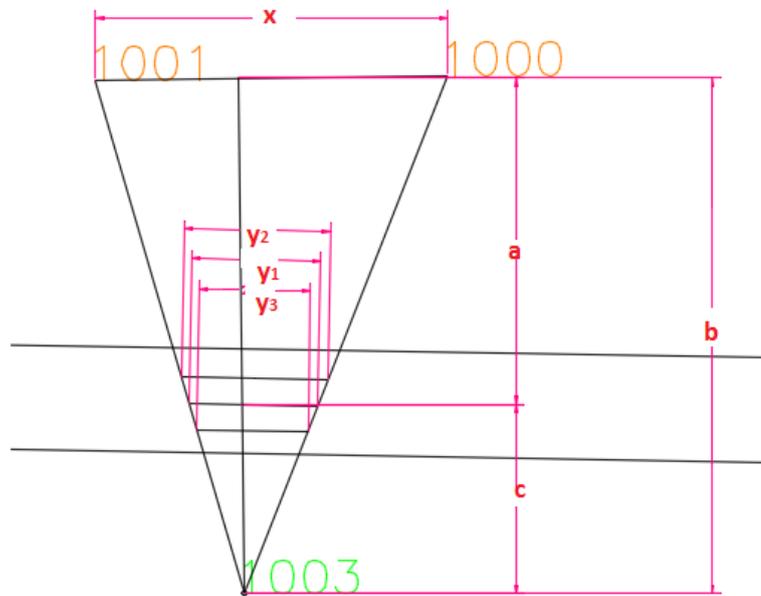


Figura 17: Denominazione dei lati dei triangoli

Per determinare la variabile  $y_1$  si applica la proporzione tra triangoli (Equazione 8) dove  $y_1$  (Equazione 9) e  $h_1$  sono rispettivamente la base e l'altezza del triangolo da confrontare con il triangolo più grande (quello congiungente i punti 1000-1001-1003).

$$y_1 : h_1 = x : b \quad \text{Equazione 8}$$

$$y_1 = \frac{x \cdot h_1}{b} = \frac{7,86 \cdot 4,25}{11,59} = 2,88 \text{ m} \quad \text{Equazione 9}$$

Le altre basi dei triangoli,  $y_2$  e  $y_3$ , si ottengono applicando l'Equazione 9 sostituendo l'altezza con le altezze inerenti al triangolo preso in considerazione (Equazione 11 e Equazione 12) incrementate di  $i$  ovvero l'ampiezza della corsia divisa in quattro parti (Equazione 10).

$$i = \frac{2,33}{4} = 0,58 \text{ m} \quad \text{Equazione 10}$$

$$h_3 = h_0 + i = 3,08 + 0,58 = 3,66 \rightarrow y_3 = \frac{7,86 \cdot 3,66}{11,59} = 2,48 \text{ m} \quad \text{Equazione 11}$$

$$h_2 = h_1 + i = 4,25 + 0,58 = 4,83 \rightarrow y_2 = \frac{7,86 \cdot 4,83}{11,59} = 3,27 \text{ m} \quad \text{Equazione 12}$$

In Figura 18 si possono confrontare i calcoli con le misure ottenute mediante Autocad.

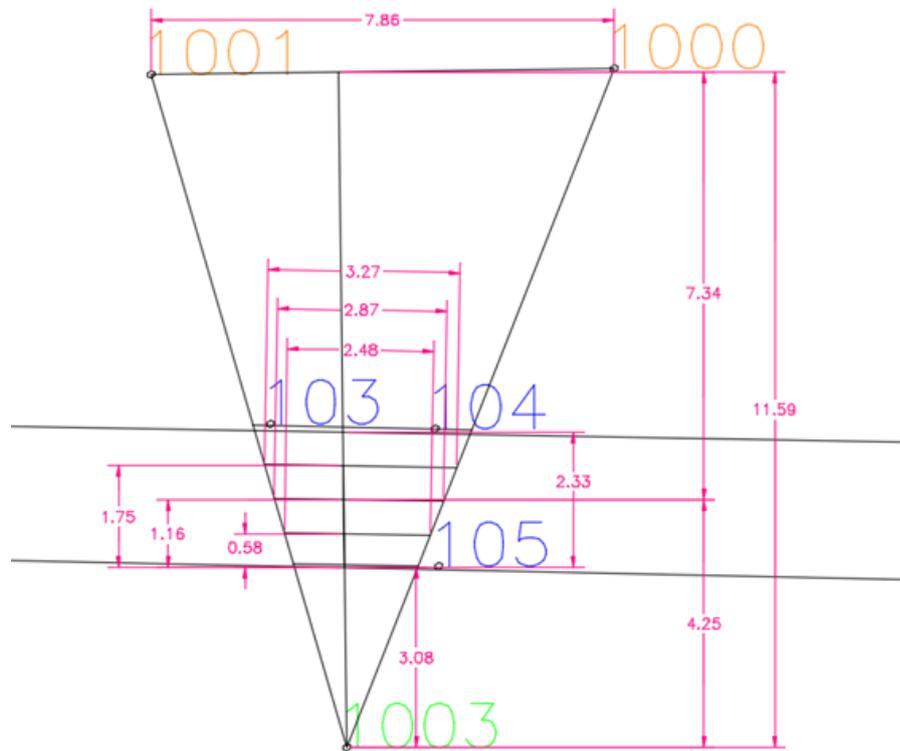


Figura 18: Misurazioni effettuate mediante AutoCAD (metodo della triangolazione, le distanze sono espresse in metri)

Successivamente si procede con il calcolo del tempo che il veicolo impiega a passare tra i due punti precedentemente definiti (intersezione tra la mezzeria e il triangolo) tramite il software Windows Live Movie Maker applicando una “maschera” al filmato che rappresenti idealmente il triangolo creatosi (Figura 19) creata operando una proporzione tra le grandezze caratterizzanti lo spazio, infatti si calcola la distanza tra il centro del riferimento 103 e l'estremo del triangolo e tra il riferimento 104 (Figura 20) e il lato del triangolo ed il diametro di una comune bicicletta (circa 650 mm) con il diametro del frame di Windows Movie Maker (diametro della bici cargo e bici normale uguale a 2,2 cm).



Figura 19: Costruzione della maschera per il metodo della triangolazione

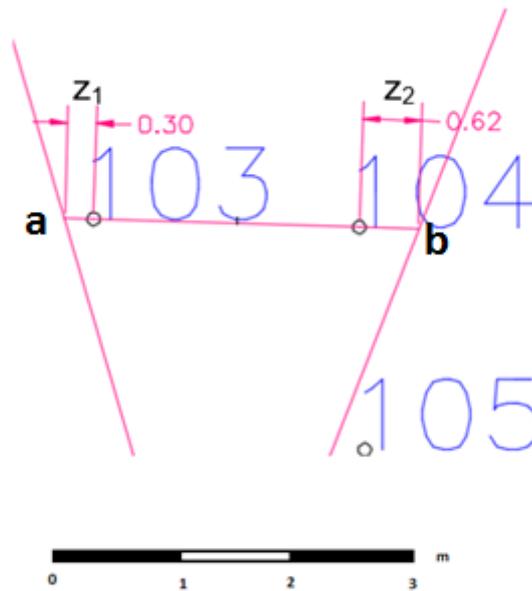


Figura 20: Approssimazione delle misurazioni dei marker

$$z_1 = \frac{2,2}{65} * 30 = 1,0 \text{ cm} \quad \text{Equazione 13}$$

$$z_2 = \frac{2,2}{65} * 62 = 2,1 \text{ cm} \quad \text{Equazione 14}$$

In questo modo è stato possibile conoscere la distanza tra il punto di riferimento al suolo ed il lato del triangolo mediante la misurazione in scala riferito al video, una volta conosciute tali distanze si forma la “maschera” (Figura 19) da applicare al video unendo i punti 1000 e 1001 con i punti a e b (Figura 20).

Mediante la teoria della propagazione degli errori, la cui spiegazione dettagliata e i risultati sono riportati in allegato C alla sezione “C1 Propagazione degli errori per il metodo della triangolazione”, considerando dapprima una variazione dello spazio,  $\Delta y$ , e poi una variazione del tempo,  $\Delta t$ , si possono stimare gli errori prodotti, deducendo che l’errore  $\sigma_s$  a cui è affetta la misurazione di tempo e spazio è del tutto trascurabile.

Il quinto metodo, Rilevamento Blob tramite script Matlab, sfrutta l’algoritmo di *Blob Detection* verificando la correlazione tra un gruppo di pixel e lo sfondo che li circonda, tramite l’utilizzo del software Matlab e del codice “Motion- Based Multiple Object Tracking” (sito web in Bibliografia e script in allegato B in sezione “B2 Codice *Motion- Based Multiple Object Tracking*) si è potuto ricavare la posizione dell’oggetto in ogni frame per mezzo delle coordinate dei centri di massa.

Il codice è composto da una serie di funzioni annidate le quali svolgono precise istruzioni di rilevamento e tracciamento dei blob e sono racchiuse in una funzione principale denominata *multiObjectTracking* come mostrato in Figura 21.

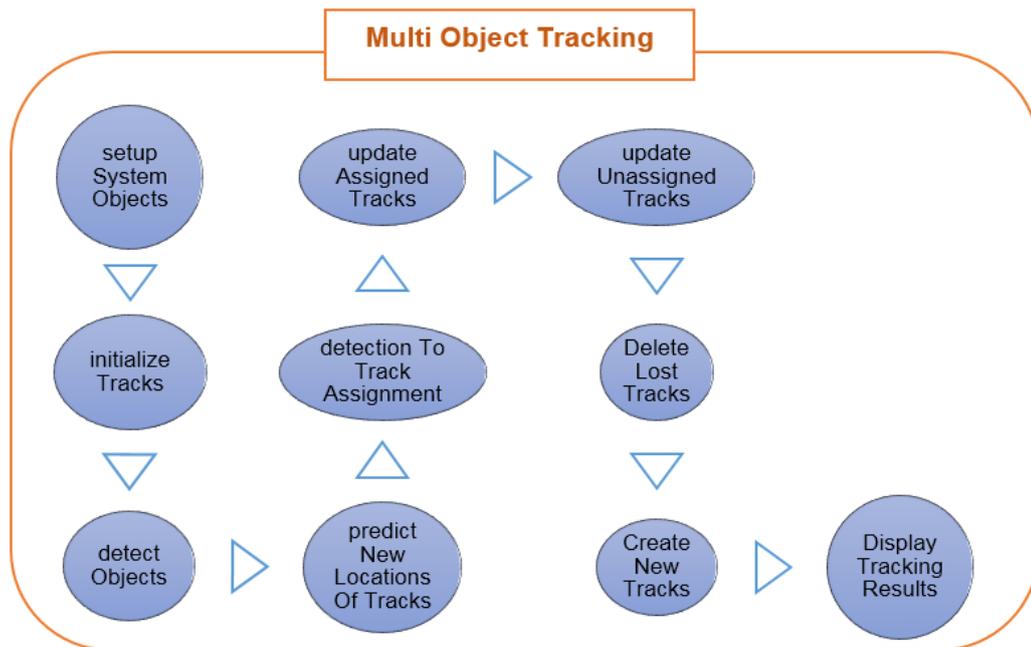


Figura 21: Diagramma funzioni annidate della funzione multiObjectTracking

Nella prima funzione (*setupSystemObjects*) il file carica un video a colori con estensione .avi o .mp4 e lo converte in immagine binaria in bianco e nero, nel quale i pixel in bianco identificano gli oggetti in movimento riconosciuti dal software in quanto vi è un cambiamento di colore, luminosità e posizione (denominati blob o macchie di colore) mentre lo sfondo nero indica i pixel caratterizzanti l'ambiente esterno ai blob.

Nella funzione *initalizeTracks* si introducono i valori fondamentali che saranno ripresi nelle successive funzioni:

- id = numero identificativo di ogni blob;
- bbox = *bounding box* ovvero la caratteristica che configura il rettangolo che racchiude tutti i pixel che identificano un blob;
- kalmanFilter = Filtro di Kalman, strumento utilizzato per eliminare il rumore che circonda il blob e che rileva le coordinate che consentono di tracciare il percorso di ciascun oggetto;
- age = numero di frame da quando il primo oggetto è stato identificato mobile;
- TotalVisibleCount = numero totale di frame in cui il blob risulta essere visibile nel filmato;
- ConsecutiveInvisibleCount = il numero di frame consecutivi nel quale la posizione del blob è predetta poiché l'oggetto è sovrastato da un altro oggetto non trasparente.

Nella funzione *detectObjects* si definiscono le dimensioni dei rettangoli che racchiudono la macchia di colore, nel caso in esame la dimensione del rettangolo è leggermente cambiata rispetto al codice originale perché esso era calibrato per tracciare solamente persone prive di mezzi di trasporto.

La funzione *UpdateAssignedTrack* è fondamentale in quanto assegna per ogni blob un numero identificativo e le relative coordinate dei centri di massa per ogni frame in cui compare un oggetto in movimento.

Siccome alla fine di questo procedimento i valori dei centroidi vengono cancellati (poiché l'intento originale dello script era quello di mostrare solo visivamente i numeri identificativi), si progetta per i prossimi miglioramenti di definire una variabile globale estranea alla funzione in questione che salva al suo interno tutti i valori relativi alla posizione (*centroid*) e al numero identificativo (*trackIdx*), infatti dopo aver seguito l'intero percorso di un unico ciclista, il tracciamento viene eliminato (*deleteLostTracks*) e ne viene creato uno nuovo (*createNewTracks*).

Infine vengono visualizzati i rettangoli che racchiudono i blob e i numeri identificativi sul video originale a colori e sul video in bianco e nero.

Per operare un confronto con le metodologie precedentemente descritte, si divide il percorso in quattro sezioni suddivise secondo il seguente criterio:

- Sezione 1 → da marker 100 a marker 102
- Sezione 2 → da marker 102 a marker 103
- Sezione 3 → da marker 103 a marker 104
- Sezione 4 → da marker 104 a marker 107

e si osserva il singolo evento campione (per evento campione s'intende il tragitto di sola andata o ritorno) caratterizzato dal tipo di mezzo utilizzato, dall'orario in cui è stato effettuato e dal tragitto (riportati in Tabella 4).

Non tutte le metodologie sono state utilizzate poiché il codice in ambiente Matlab non riconosce il ciclista come entità univoca ma lo segmenta in tanti blob separati producendo quindi un errore sistematico (Figura 22).

*Tabella 4: Eventi e caratteristiche*

Evento	Tipologia mezzo	Ora	Tragitto
1	Bicicletta cargo	15:39	Ritorno
2	Bicicletta cargo	15:40	Andata
3	Bicicletta normale	15:50	Andata
4	Bicicletta normale	15:51	Ritorno



*Figura 22: Errore di riconoscimento blob*

Per realizzare un paragone tra le tecniche si produce un diagramma di velocità per ogni evento campione in cui in ascissa è presente la distanza in metri dal punto fisso riconosciuto con il numero 100 mentre in ordinata sono presenti i valori delle velocità.

Nel diagramma di velocità riferito al primo evento si può osservare come il sistema di rilevamento di posizione GPS abbia ricavato valori di velocità inesatti rispetto ai risultati ottenuti mediante altre metodologie (Figura 23) a causa della perdita d'informazione anche di svariati metri, il distanziometro a onde laser (laser gun) ed il raddrizzamento di immagini ben approssimano le velocità con una differenza di circa 1 Km/h tra la velocità ottenuta mediante il raddrizzamento di immagini con il video con inquadratura in quota (RDF\_quota) e il raddrizzamento con il video ottenuto mediante camera 1 (RDF\_trasversale).

Nel secondo evento si presenta la stessa problematica del caso precedente (Figura 24) riguardo ai dati ottenuti dal sistema di rilevamento satellitare, mentre rispetto al caso precedente, i dati di velocità ricavati dal raddrizzamento delle immagini ottenute mediante il video realizzato con la camera 1 sono molto simili ai valori di velocità ricavati mediante il raddrizzamento delle immagini ottenute mediante il video realizzato con la camera 2 (RDF\_quota). Inoltre in questo evento s'introduce anche il metodo della triangolazione che produce valori di velocità simili a quelli ottenuti mediante il metodo del raddrizzamento nella sezione longitudinale.

Il terzo evento illustra la stessa criticità dei primi due casi con una quasi costante differenza di velocità, infatti i valori ricavati tramite il sistema GPS presentano un andamento quasi lineare di circa 5,5 Km/h ma i valori di raddrizzamento in quota e trasversale raggiungono un valore massimo di circa 11 Km/h. Inoltre si evidenzia che il valore ottenuto tramite la distanziometro laser risulta essere maggiore rispetto agli altri risultati di circa 4 Km/h (Figura 25) dovuto al fatto che l'oggetto in movimento si stava allontanando dall'osservatore.

Il quarto evento (Figura 26) è inusuale rispetto ai casi precedenti in quanto i valori ricavati tramite GPS non hanno più un andamento lineare benché non ancora del tutto corretto, invece le altre metodologie applicate hanno valori prossimi tra loro.

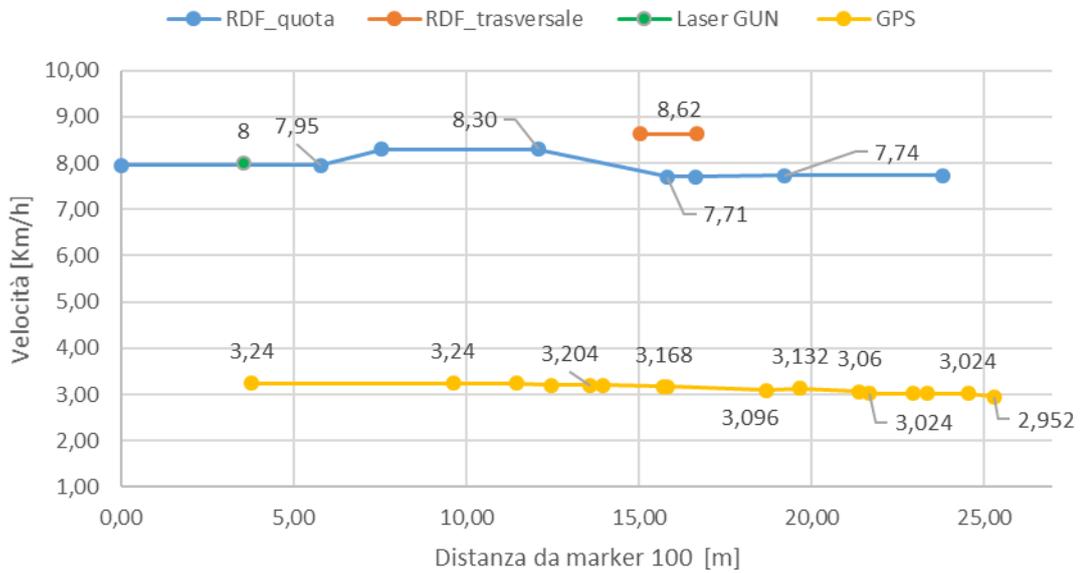


Figura 23: Diagramma di velocità (Bici Cargo) Evento 1

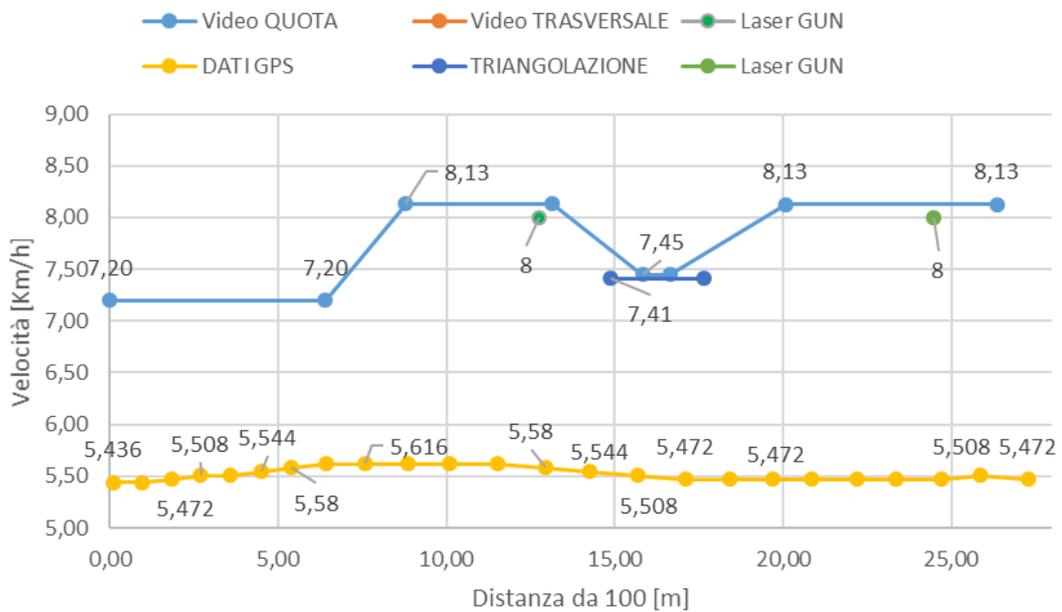


Figura 24: Diagramma di velocità (Bici Cargo) Evento 2

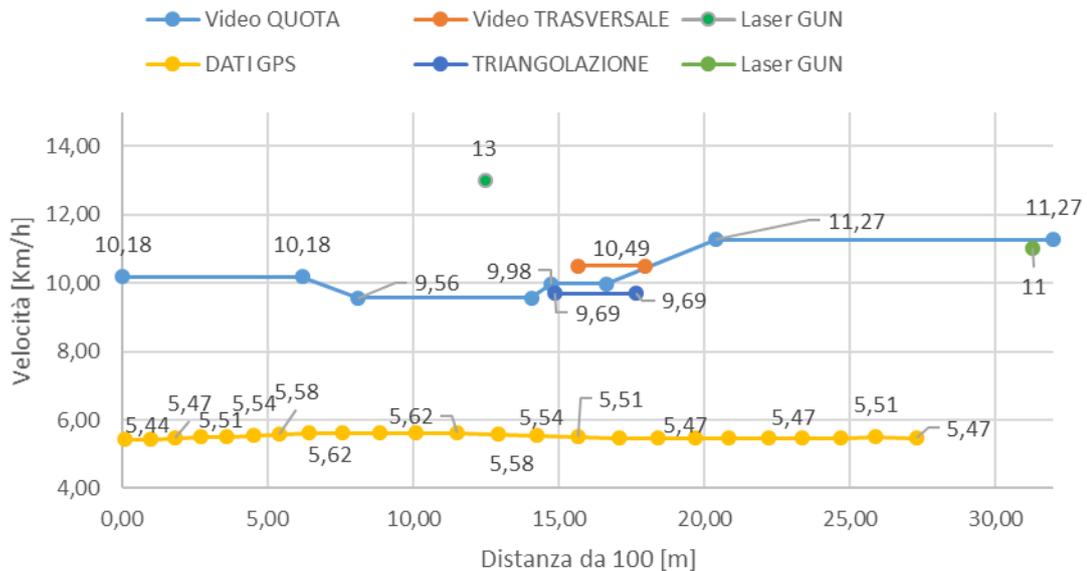


Figura 25: Diagramma di velocità (Bici ordinaria) Evento 3

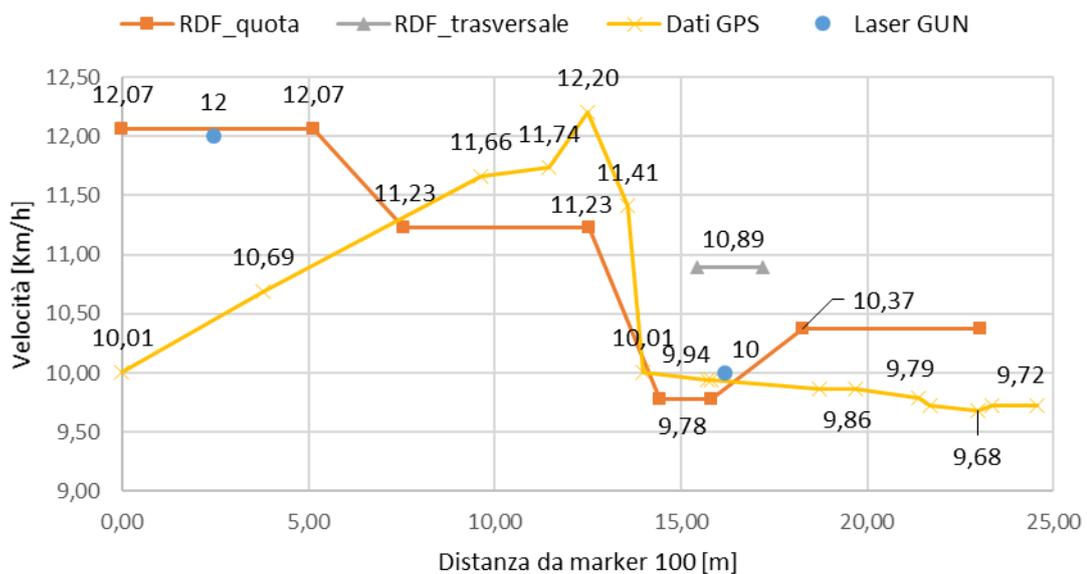


Figura 26: Diagramma di velocità (Bici Normale) Evento 4

I risultati in forma tabellare sono riportati in allegato A nella sezione “A3 Confronto metodologie Studio Pilota #1”.

Dal confronto si desume che il rilevamento delle distanze tramite GPS risulta del tutto inadeguato a causa della perdita di segnale che provoca grossolani errori di posizione mentre il metodo del raddrizzamento risulta molto efficace per distanze ravvicinate alla videocamera ma del tutto insufficiente per distanze elevate (maggiori di 50 m) per via dello spazio prospettico in allontanamento mentre il metodo della triangolazione e del distanziometro laser risultano essere le tipologie che meglio approssimano la velocità operativa.

Da quanto sopra esposto, si possono riassumere gli aspetti positivi e negativi di ogni metodologia.

Il Raddrizzamento analitico è un metodo con precisioni abbastanza elevate per sezioni vicine alla camera e con altezze di ripresa ridotte, ma presenta precisioni del tutto insufficienti per sezioni lontane dalla camera con altezze di ripresa ridotte, inoltre richiede l'estrapolazione di tutti i frame che compongono il video. Altre limitazioni possono essere la non automatizzazione del metodo poiché richiede l'azione di un operatore, il quale occupa interamente il suo tempo alla ricerca dei punti con la possibilità di errori dovuti al mancato posizionamento del cursore sul pixel corretto causando errori anche di qualche metro. Tale metodologia richiede l'utilizzo di tre software (CoveRgo per la conversione dei dati, RDF per il raddrizzamento e Qgis per le misurazioni).

La Triangolazione risulta essere un metodo abbastanza preciso, ma, come nel caso precedente, richiede l'estrapolazione di tutti i frame che compongono il video, è totalmente manuale e richiede un elevato tempo di svolgimento, con la possibilità di errori umani dovuti alla non corretta individuazione del punto d'intersezione con la retta tracciata, inoltre si ha, ancora, l'utilizzo di tre software (Qgis, Autocad, Windows Movie Maker).

Il Distanziometro Laser è un metodo molto preciso per oggetti in movimento abbastanza vicini all'operatore, ha il pregio della facilità di utilizzo e trasportabilità ma risulta essere poco preciso per grandi distanze avendo la difficoltà ad individuare una superficie riflettente nel caso di ciclisti, inoltre richiede un operatore che sappia utilizzare lo strumento e che sia presente sul luogo. Per di più tale metodologia è molto invasiva con il possibile influenzamento nella conduzione del mezzo da parte dei ciclisti.

Il sistema di posizionamento satellitare (GPS) ha numerosi pregi, tra i quali la facilità di utilizzo, l'acquisizione veloce di elevate quantità di dati e l'ottenimento di risultati in tempo reale senza passare dai calcoli, d'altro canto le precisioni sono altamente insufficienti, dovendo ricercare un luogo che non presenti ostacoli di segnale (ad esempio alberi ad alto fusto o edifici elevati), inoltre lo strumento deve essere integrato nel mezzo con il negativo condizionamento dell'utenza falsando i dati di velocità reali.

L'acquisizione delle immagini e l'elaborazione dati tramite il codice in ambiente Matlab ha il pregio della facilità di utilizzo, l'automatizzazione della ricerca delle posizioni degli oggetti in movimento (e quindi non occorre un operatore) con la possibilità di non essere sul luogo e quindi di non influenzare i ciclisti ma richiede video con videocamera posizionata in luoghi distanti dal sito in cui si effettua il rilievo in modo da rilevare oggetti in movimento come entità omogenea e non come composta da blob separati.

Dalla discussione si può concludere che la metodologia più precisa sarebbe il raddrizzamento frame by frame o l'utilizzo del distanziometro laser ma richiedono tempi di esecuzione molto lunghi e quindi si sceglie il metodo automatico tramite lo script di Matlab, poiché non richiede tempi eccessivamente lunghi di processamento dei dati e, effettuandosi in modo automatico, esclude eventuali errori umani di precisione.

Per questa opzione, però, si devono apportare migliorie per quanto riguarda la distanza di presa della camera ed il luogo su cui effettuare le riprese, poiché i ciclisti molto vicini alla camera vengono spezzettati in numerosi blob tracciandone il percorso separatamente, inoltre se la videocamera è posizionata ad "altezza d'uomo" i ciclisti più vicini possono coprire completamente la visuale, perdendo le informazioni relative alle coordinate dei centroidi.

Per questo motivo si è effettuato un nuovo Test denominato Studio Pilota #2 con lo scopo di ricercare la migliore condizione di ripresa tenendo conto di tutti i fattori che possano influenzare negativamente la conduzione del mezzo da parte dei ciclisti.

## 2.4 Studio Pilota #2

In questo studio, si cerca di individuare la più adeguata postazione della videocamera per produrre un filmato di qualità ottimale tenendo conto della distanza di ripresa e dell'altezza dell'asta in relazione alle condizioni ambientali circostanti.

La zona dove vi è una probabilità elevata di intercettare il maggior numero di ciclisti è una sede ciclabile totalmente isolata dalla carreggiata adibita al traffico veicolare a motore ed abbastanza lontana da intersezioni semaforizzate o attraversamenti pedonali, escludendo in tal modo tutti gli eventuali bruschi arresti o decelerazioni infatti l'area, dalla quale sono stati ricavati i video, è situata in Corso Castelfidardo lungo la pista ciclabile Giorgio Faraggiana, dietro al Politecnico di Torino (Figura 27) isolata dalla strada adibita principalmente al traffico veicolare motorizzato ma siccome si è in sede promiscua (pedonale e ciclabile) non si può del tutto escludere la conflittualità tra le due principali utenze. Nello specifico si è scelto un tratto lontano da eventuali attraversamenti pedonali che causano un rallentamento della velocità e che permetta una chiara visuale.

Per avere un quadro più preciso del luogo, si sono prodotti più video di pochi minuti, a diverse distanze dalla pista ciclabile, a differenti altezze dell'asta e con differenti modalità di ripresa utilizzando la videocamera descritta nel paragrafo 2.2 avente un supporto con inclinazione regolabile montata su un'asta in fibra di carbonio estensibile, la cui descrizione è riportata nel paragrafo "Strumenti", sorretta da un bipiede.

Grazie alla facilità di montaggio, trasporto e smontaggio, è stato possibile produrre dei filmati in 5 diversi punti (Figura 28) del luogo prescelto e, in un secondo tempo, valutare l'effettiva qualità ed efficienza dei video in ambiente Matlab, impiegando lo stesso codice del precedente studio (in allegato B2) si sono caricati i video su Matlab utilizzando lo stesso script del precedente Studio.

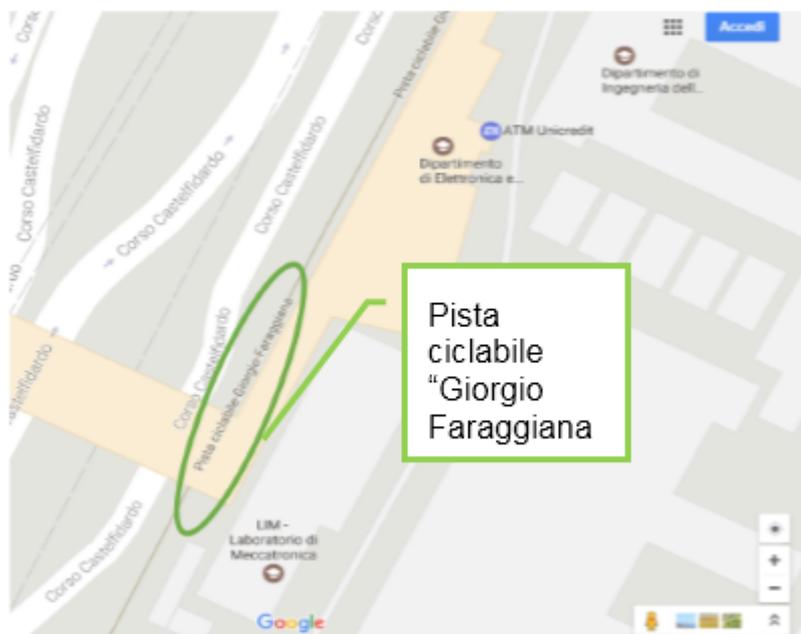


Figura 27: Mappa dell'area in cui si effettua lo Studio Pilota #2



Figura 28: Localizzazione dei punti (Studio Pilota #2)

Sempre nell'ottica di un uso di strumenti accessibili anche ai non addetti, ci si serve del comando "misura distanza" di Google Earth ricavando lo spazio tra la mezzeria della pista ciclabile ed il punto preso in esame.

Il punto 1 è situato nel secondo giardino oltre la strada secondaria di Corso Castelfidardo e si posiziona su una griglia posizionata sul prato, per questo motivo si sommano i tre metri della lunghezza della griglia ( $Distanza_1 = 18,11 + 3 = 21,11 \text{ m}$ ), il punto 2 si trova al limite del cordolo che separa il primo giardino dalla pista ciclabile ( $Distanza_2 = 8,15 \text{ m}$ ), il punto 3 si trova al limite del cordolo che separa il secondo giardino dalla pista ciclabile ( $Distanza_3 = 24,27 \text{ m}$ ), il punto 4 si trova oltre lo scavalco all'angolo del secondo giardino oltre la strada ( $Distanza_4 = 10,65 \text{ m}$ ) infine il punto 5 si trova subito dopo lo scavalco a filo del muro ( $Distanza_5 = 12,31 \text{ m}$ ).

In allegato E nella sezione "Fermo immagine dei filmati prodotti durante lo Studio Pilota #2" vi sono le immagini che rappresentano la visuale nei video invece nella Tabella 5 si riportano le caratteristiche dei filmati prodotti durante il rilievo.

Tabella 5: Proprietà dei filmati

Filmato	Ora	Posizione	Altezza asta [m]	Caratteristiche di ripresa della Camera
1	15:28:34	Punto 1	7,65	Wide Angle
2	15:30:24	Punto 1	6,12	Wide Angle
3	15:32:28	Punto 1	6,12	Ultra Zoom
4	15:34:54	Punto 1	4,59	Ultra Zoom
5	15:39:58	Punto 2	1,81	Ultra Zoom
6	15:41:58	Punto 3	1,81	Ultra Zoom
7	15:48:38	Punto 4	1,81	Ultra Zoom
8	15:58:52	Punto 4	7,65	Ultra Zoom
9	16:00:46	Punto 5	9,18	Ultra Zoom

I video prodotti dovranno essere caricati sullo script “*Motion- Based Multiple Object Tracking*”, il quale riconosce qualsiasi oggetto in movimento e perciò i filmati non devono presentare al loro interno oscillazioni o movimenti improvvisi, altrimenti il software traccerebbe anche tali movimenti rilevandone le coordinate.

Nel seguito si riassumono le caratteristiche dei filmati sopra elencati.

Il filmato 1, a causa del vento e della elevata altezza dell’asta, presenta poca stabilizzazione con vistosi movimenti oscillatori, inoltre la ripresa in Wide Angle produce distorsioni non trascurabili che richiederebbero un raddrizzamento dell’immagine con conseguente perdita di prospettiva.

Lo stesso problema ricade nel filmato 2 e nel filmato 3, che, pur essendo ad un’altezza minore, presentano ancora oscillazioni considerevoli (destra-sinistra, alto-basso) mentre nel filmato 4 compaiono oscillazioni dovute al vento, inoltre nelle zone in ombra non è possibile riconoscere con chiarezza la reale posizione degli oggetti in movimento, in quanto il software non rileva con chiarezza la differenza di colore tra il ciclista e lo sfondo (riquadro in rosso che raffigura l’utente in ombra non riconosciuto dal codice in Figura 29).

Il filmato 5 risulta essere il più stabile tra i precedenti con una buona visuale sulla pista ciclabile ma in questo caso si ha un problema di riflesso dei veicoli sulla vetrata (Figura 30) e la distanza tra camera e ciclista risulta non essere sufficiente a causa del problema di frammentazione sopra descritto.

Il filmato 6 risulta essere stabile con una buona visuale con l’inconveniente precedentemente descritto riguardo al riflesso sui vetri.

Il filmato 7 si dimostra stabile, ma il passaggio di veicoli a motore lungo la strada parallela alla pista ciclabile copre completamente la visuale sulle biciclette mentre il filmato 8 risulta essere stabile con una buona visuale anche in caso di zone ombreggiate, così come il filmato 9 appare abbastanza stabile con poche oscillazioni.



*Figura 29: Errore sul riconoscimento degli oggetti mobili in ombra*



*Figura 30: Errore dovuto al riflesso dell’oggetto sui vetri*

Dai risultati appena delineati si può dedurre che il filmato adatto allo scopo non debba avere riflessi di specchi o vetrate, non presenti oscillazioni, zone ombreggiate o strade accessibili ad autoveicoli di fronte alla pista ciclabile e che abbia una distanza tra videocamera e pista ciclabile maggiore di 8,15 m, evidenziando che i filmati più consoni ai nostri fini debbano necessariamente essere in posizione perpendicolare alla pista ciclabile in modo da escludere sia i riflessi che l'interposizione di più veicoli.

Per questi motivi lo studio che si affronterà successivamente sarà condotto su una pista ciclabile posta nelle vicinanze di un edificio molto alto dove sia accessibile la terrazza al fine di effettuare le riprese dall'alto, infatti la scelta di posizionare la videocamera su un edificio elevato è stata dettata dal fatto di escludere sia le oscillazioni dell'asta dovute all'altezza o dalla presenza di vento che la sovrapposizione di figure quali ciclisti o veicoli a motore.

## 2.5 Studio Definitivo

In questo capitolo si effettuerà il test vero e proprio, frutto delle considerazioni, delle limitazioni e delle verifiche eseguite tramite i due precedenti studi arrivando alla conclusione che la miglior metodologia (dal punto di vista del tempo operativamente impiegato da parte dell'utente) è quella automatizzabile tramite lo script di Matlab e la miglior postazione dove effettuare i video tramite videocamera Garmin VIRB Elite è su un edificio che disponga di una terrazza che possa ospitare tutta la strumentazione necessaria la rilievo.

Per i motivi sopradetti, sembra più idoneo optare per un edificio alto provvisto di un terrazzo che si affacci su una pista ciclabile abbastanza praticata godendo del fatto che si possa eliminare qualsiasi sovrapposizione tra due blob escludendo in questo modo l'errore di stima della posizione dei centri di massa.

Dal documento "Approfondimento sull'uso della bicicletta e del servizio di bike sharing a Torino", si evince che le piste ciclabili più praticate risultano essere quelle vicino alle principali stazioni ferroviarie (Porta Susa e Porta Nuova), in pieno centro o in zone poste nelle vicinanze di università (in allegato D alla sezione "D1 Documentazione e mappe di piste ciclabili a Torino").

Inoltre, dalla mappa delle piste ciclabili fornita dal Comune di Torino (presente nel medesimo allegato), tenute conto delle argomentazioni sopra menzionate, si opta per la pista ciclabile "Giorgio Faraggiana" che collega la zona dove è presente la stazione ferroviaria di Porta Susa e la zona Lingotto costeggiando il Politecnico di Torino (dalla mappa a sinistra in Figura 31).

Inoltre dal profilo altimetrico reperito dal sito [pisteciclabili.com](http://pisteciclabili.com) riportato allo stesso allegato delle precedenti documentazioni, si evince che tale pista ciclabile ha una pendenza non troppo elevata (nel tratto iniziale vi è un dislivello costante del 0,5%).



**Figura 31: Identificazione della pista ciclabile e della postazione della videocamera**

La motivazione di tale scelta risiede anche dal fatto che la suddetta pista ciclabile è circondata da edifici molto alti che permettono di posizionare la videocamera senza influenzare o disturbare il quotidiano transito dei ciclisti e, nello stesso tempo, di garantire una buona inquadratura del video dall'alto.

Il punto sul quale stazionare con la videocamera risulta essere un terrazzo posto al quinto piano (altezza dal piano di calpestio del terrazzo al piano stradale di 24,15 m) nel quale sono collocate le segreterie del Politecnico di Torino (indicato dalla freccia rossa in Figura 31). Tale luogo risulta essere ottimale, poiché è posto lungo un tratto rettilineo, prima di un attraversamento pedonale individuabile anche a grande distanza e dopo uno scavalco, eliminando qualsiasi conflitto tra pedoni e ciclisti e permettendo ai medesimi di non effettuare brusche ed improvvise frenate.

La postazione è stata strumentalizzata con la videocamera Garmin VIRB montata su un bipiede su cui è incastrata un'asta telescopica in fibra di carbonio (descritto al paragrafo 2.2). Tale videocamera riprende la pista ciclabile sottostante ed una parte del cortile dell'università (le immagini raffiguranti la postazione della videocamera e l'inquadratura sono riportate in allegato E alla sezione "E2 Immagini raffiguranti la postazione della videocamera durante lo Studio Definitivo").

Di seguito si illustrano le misurazioni effettuate tramite una bindella metrica con il fine di conoscere la reale distanza tra la videocamera ed il piano di calpestio del terrazzo.

Misurando la lunghezza dell'asta (2,65 m), la distanza tra il punto in cui l'asta tocca terra e la fine del muro (1,30 m), l'altezza del muretto (96 cm) come illustrato in Figura 32 si ottiene l'angolo  $\alpha$  di inclinazione dell'asta (Equazione 15) determinando la lunghezza verticale dal pavimento alla videocamera (Equazione 16) da sommarsi all'altezza dell'edificio (Equazione 17) da cui si ricava che l'altezza totale dalla quale si ha l'inquadratura della pista ciclabile sottostante risulta essere di 26,28 m.

$$\alpha = \arctan \frac{0,96}{1,30} = 53,56^\circ \quad \text{Equazione 15}$$

$$h = 2,65 \sin 53,56^\circ = 2,13 \text{ m} \quad \text{Equazione 16}$$

$$h_{tot} = H + h = 24,15 + 2,13 = 26,28 \text{ m} \quad \text{Equazione 17}$$



*Figura 32: Misurazioni preliminari nello Studio Definitivo*

Si sono utilizzate due videocamere (con caratteristiche illustrate al paragrafo 2.2) perfettamente uguali (2080 e 9002) per motivi esclusivamente operativi (la durata della batteria).

La Tabella 6 mostra gli orari di rilievo nella quattro giornate di ripresa facendo attenzione a non effettuare le riprese durante il cambio di aule degli studenti poiché si sarebbero potute creare maggiori interazioni tra pedoni e ciclisti, inoltre le due giornate della settimana analizzate sono speculari ai giorni della settimana successiva in quanto si potrebbe impostare un'indagine di tipo statistico censendo gli utenti delle piste ciclabili a seconda dell'orario e delle condizioni atmosferiche.

*Tabella 6: Orari di rilievo nello studio definitivo*

Martedì 16/05/2017		Giovedì 18/05/2017		Martedì 23/05/2017		Giovedì 25/05/2017	
Orario	Camera	Orario	Camera	Orario	Camera	Orario	Camera
7,45-8,15	2080	7,45-8,15	9002	7,45-8,15	2080	7,46-8,16	9002
8,57-9,17	2080	9,00-9,30	9002	8,57-9,29	2080	8,57-9,28	9002
9,22-9,32	9002	10,15-10,45	9002	10,15-11,17	2080	10,16-11,16	2080
10,14-11,14	9002	10,45-11,15	9002	11,53-12,25	9002	11,59-12,30	9002
11,55-12,23	9002	11,59-12,29	9002	13,32-14,02	9002	13,29-14,01	2080
13,41-14,11	2080	13,31-14,01	2080	14,45-15,20	9002	14,46-15,46	9002
14,46-15,39	2080	14,45-15,45	2080	15,20-15,45	9002	16,16-16,46	9002
16,23-16,53	9002	16,16-16,28	2080	16,15-16,45	2080	17,30-18,00	2080
17,24-17,55	9002	17,24-17,54	2080	17,26-17,57	2080	18,27-18,57	2080
18,31-19,01	2080	18,25-18,55	2080	18,27-18,57	2080		

### 3 ANALISI DELLE IMMAGINI

Questo capitolo rappresenta l'applicazione in pratica delle considerazioni evidenziate negli studi precedenti e propone un codice in ambiente Matlab più sviluppato rispetto al codice "*Motion- Based Multiple Object Tracking*" osservando tutti gli aspetti critici incontrati nello svolgimento del codice, le soluzioni adottate e le modifiche apportate per successive approssimazioni, tenendo sempre presente lo scopo finale del lavoro ovvero la ricerca delle velocità operative delle sole utenze che utilizzano la bicicletta come mezzo di trasporto.

Inoltre il capitolo contiene una parte descrittiva nel quale si espongono i procedimenti di calibrazione e, nel sottocapitolo "Algoritmi componenti il codice", si delineano le criticità affrontate nel codice di analisi delle immagini.

Il procedimento della calibrazione deve effettuarsi prima dell'avvio del codice vero e proprio, in quanto si ha la necessità di ricavare i parametri intrinseci che rappresentano una trasformazione proiettiva delle coordinate 3D che rappresentano la videocamera nelle coordinate 2D raffiguranti l'immagine, ed i parametri estrinseci i quali operano una trasformazione rigida dal sistema di coordinate 3D esterne alla videocamera al sistema di coordinate 2D dell'immagine.

Quindi il primo passaggio da affrontare è la calibrazione con lo scopo di ricavare i parametri utili al successivo raddrizzamento infatti la modalità ultra zoom della videocamera e la prospettiva causano una distorsione laterale del frame, con un conseguente errore di stima dei centri di massa, perciò appare opportuno raddrizzare i fotogrammi in modo da avere la stessa dimensione di pixel in tutte le zone dell'inquadratura. Il codice è separato rispetto al codice utilizzato per ricavare le coordinate di posizione in quanto i parametri interni ed esterni sono uguali per tutti i video prodotti con lo stesso dispositivo (in modo da non occupare ogni volta troppo tempo nella ricerca di valori uguali tra loro)

Il codice fondamentale, denominato "Script Finale", ha il compito di costruire un nuovo video differente dall'originale, ricercare le coordinate di posizione di ogni oggetto in movimento rettilineo lungo la pista ciclabile ed apportare le modifiche necessarie alla corretta stima delle velocità operative, inoltre per ultima verifica si opera un'analisi statistica ai dati ottenuti. L'organizzazione del codice è molto complessa infatti il codice presenta al suo interno una funzione principale (Script\_Finale) la quale racchiude tre funzioni annidate (Video, Multi Object Tracking, Speed) tra loro concatenate, prendendo come input l'output della funzione antecedente (Figura 33). L'intero codice è riportato in allegato B alla sezione "B3 Codice Script\_Finale".

Il nome della funzione principale deve obbligatoriamente essere uguale a quello del file di estensione .mat nel quale è presente lo script totale; nel caso in esame il file Script\_Finale.mat ha lo stesso nome della funzione principale riportata all'inizio dello script, inoltre nella stessa cartella del file, devono essere presenti i parametri di calibrazione (di estensione .mat) ricavati dalla procedura descritta nel seguito ed il video effettuato con la stessa videocamera con la quale sono stati stimati i parametri.

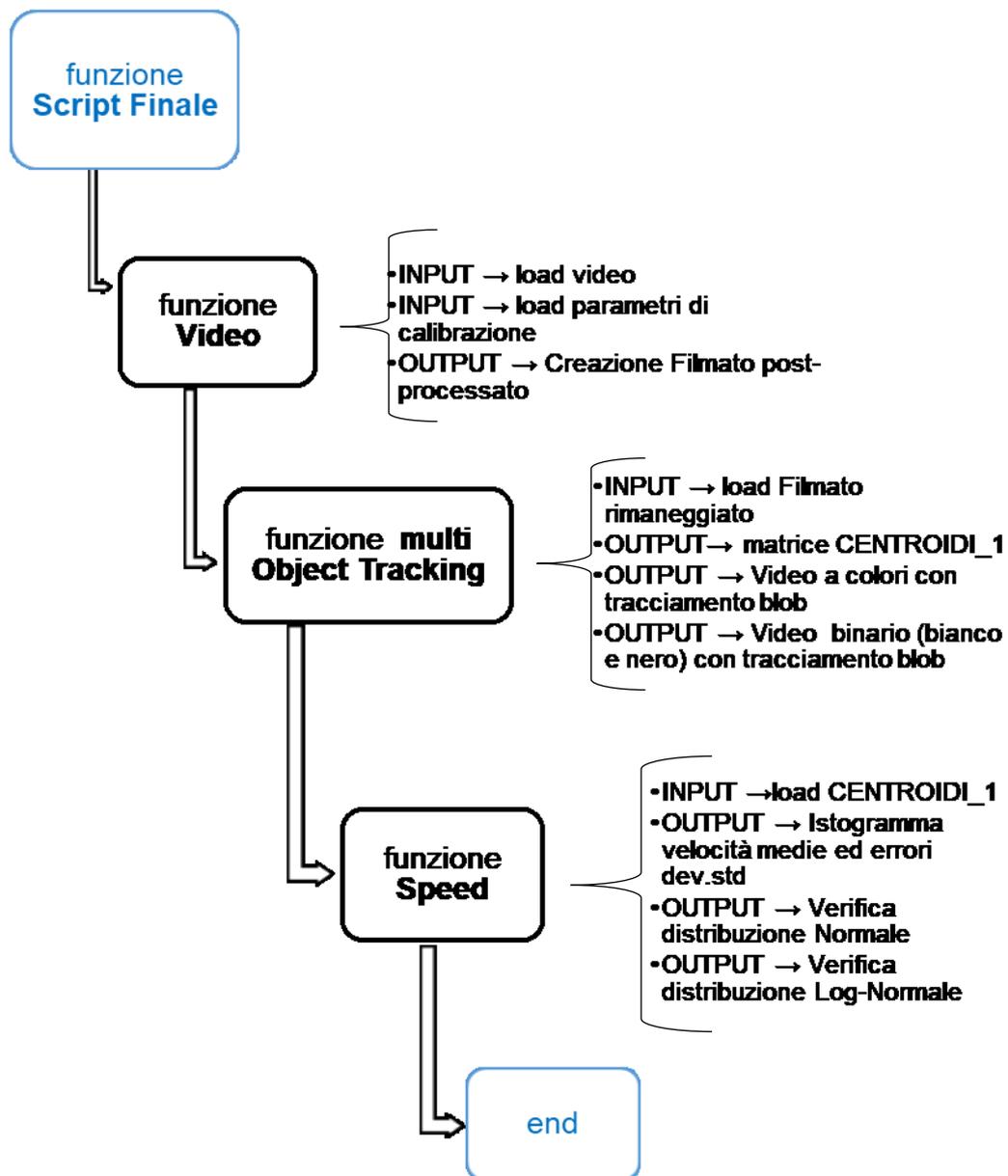


Figura 33: Diagramma organizzazione Script\_Finale

La calibrazione consiste nel ricavare i parametri intrinseci ed estrinseci della camera utilizzando un'applicazione all'interno dello spazio Matlab denominata "Camera Calibration App". Per la riuscita del calcolo dei parametri è necessario effettuare un breve video (utilizzando la stessa camera con cui si sono realizzati i precedenti filmati), dove viene inquadrata una scacchiera in tutte le sue angolazioni possibili.

Successivamente si aggiungono nell'applicazione i frame estratti dal video e si inserisce la dimensione del lato del quadratino (nero o bianco) che compone l'intera scacchiera che nel caso in esame risulta essere di 10 cm (Figura 34).

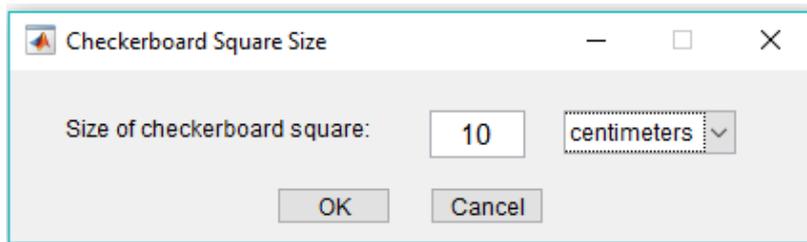


Figura 34: Dimensione del quadratino della scacchiera

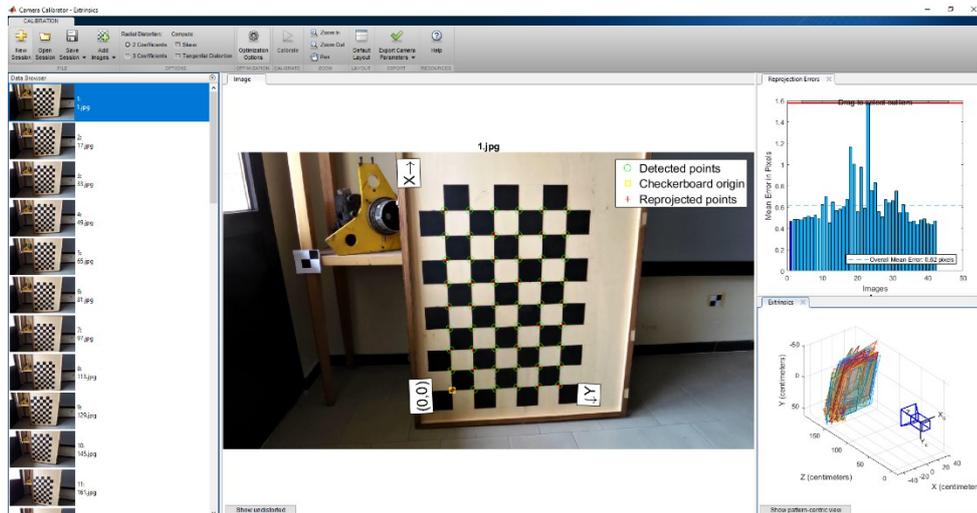


Figura 35: Schermata al termine della calibrazione

Per migliorare l'accuratezza di calibrazione è consigliabile caricare dalle 10 alle 20 immagini il più possibile diversificate tra loro per angolazione d'inquadratura e prospettiva (in allegato E nella sezione "E3 Immagini utilizzate per la calibrazione"), in modo che il software analizzi singolarmente ogni immagine e scelga quelle di maggior interesse eliminando automaticamente i frame sfocati o doppi, quindi alla fine del processo si visualizza la scacchiera in un sistema di riferimento orientato (Figura 35).

Tale procedimento è effettuato sia per la camera 2080 che per la 9002 (risultati riportati in allegato D alla sezione "D2 Parametri interni ed esterni della camera"). Al fine di automatizzare ulteriormente l'intero processo, accomunando in un unico script il procedimento sopra descritto per le due videocamere utilizzate, si apportano alcune modifiche allo script originale esportato dall'applicazione. Il codice è riportato in allegato B alla sezione "B4 Codice Calibrazione camera")

La funzione principale "Script Camera()" racchiude al suo interno la funzione annidata "scelta()", la quale, tramite il comando "questdlg", permette all'utente di scegliere una delle due camere grazie alla finestra di dialogo (Figura 36) che compare dopo l'avvio del programma.

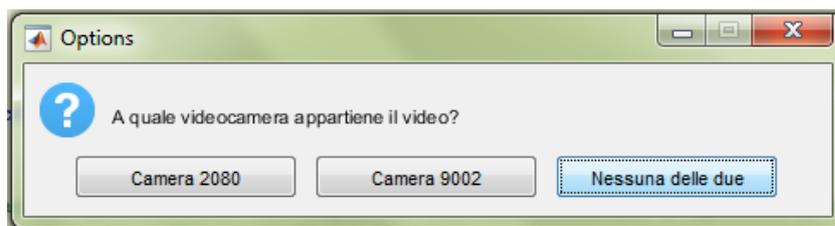


Figura 36: Interfaccia utente

Dopo aver stabilito la preferenza per la quale si vuole esportare i parametri, il programma in automatico legge il percorso delle immagini salvate in una determinata cartella, calcola i parametri interni ed esterni e salva i risultati in un file di estensione .mat (tramite il comando save) nella stessa cartella in cui è contenuto il codice mentre se la preferenza ricade in “Nessuna delle due” il programma si chiude in automatico.

### 3.1 Algoritmi componenti il codice

Il procedimento di analisi delle immagini passa per fasi concatenate tra loro con precise operazioni da svolgere, una volta ottenuti i file contenenti i parametri di calibrazione, si procede all'implementazione della procedura di determinazione delle velocità attraverso fasi intermedie di programmazione e prova.

In Figura 37 è presente l'organizzazione completa dell'intero codice diviso per funzioni annidate che contengono al loro interno algoritmi che svolgono specifiche operazioni.

La prima funzione annidata, Video, ha l'obiettivo di elaborare i fotogrammi estratti dal video per eliminare tutte le distorsioni prospettiche oppure gli utenti che portano a falsare i risultati finali.

Il primo passaggio consiste nell'introdurre il video che si vuole analizzare selezionandolo da una lista mediante la finestra di dialogo (Figura 38).

Il secondo passaggio permette di separare tutti i fotogrammi che compongono il filmato selezionato, infatti con il comando “`frameno = vid.NumberOfFrames`” si ottiene il numero totale di frame, utile per interrompere tutti i successivi cicli for di questa funzione, il primo “ciclo for” estrae dal video tutti i fotogrammi e li salva nella stessa cartella ove sono presenti tutti i file sopra menzionati (un esempio di frame estratto è riportato in Figura 39).

Il terzo passaggio è fondamentale per non alterare la stima delle velocità e consiste nel raddrizzamento, *frame by frame*, dei fotogrammi estratti nella fase precedente, correggendo la distorsione lenticolare dovuta alla prospettiva (Figura 40), all'altezza di ripresa (26,28 m) ed alla modalità di registrazione della videocamera (Ultra Zoom), infatti si può notare come ogni immagine presenti una curvatura laterale e centrale in corrispondenza della fine della pista ciclabile.

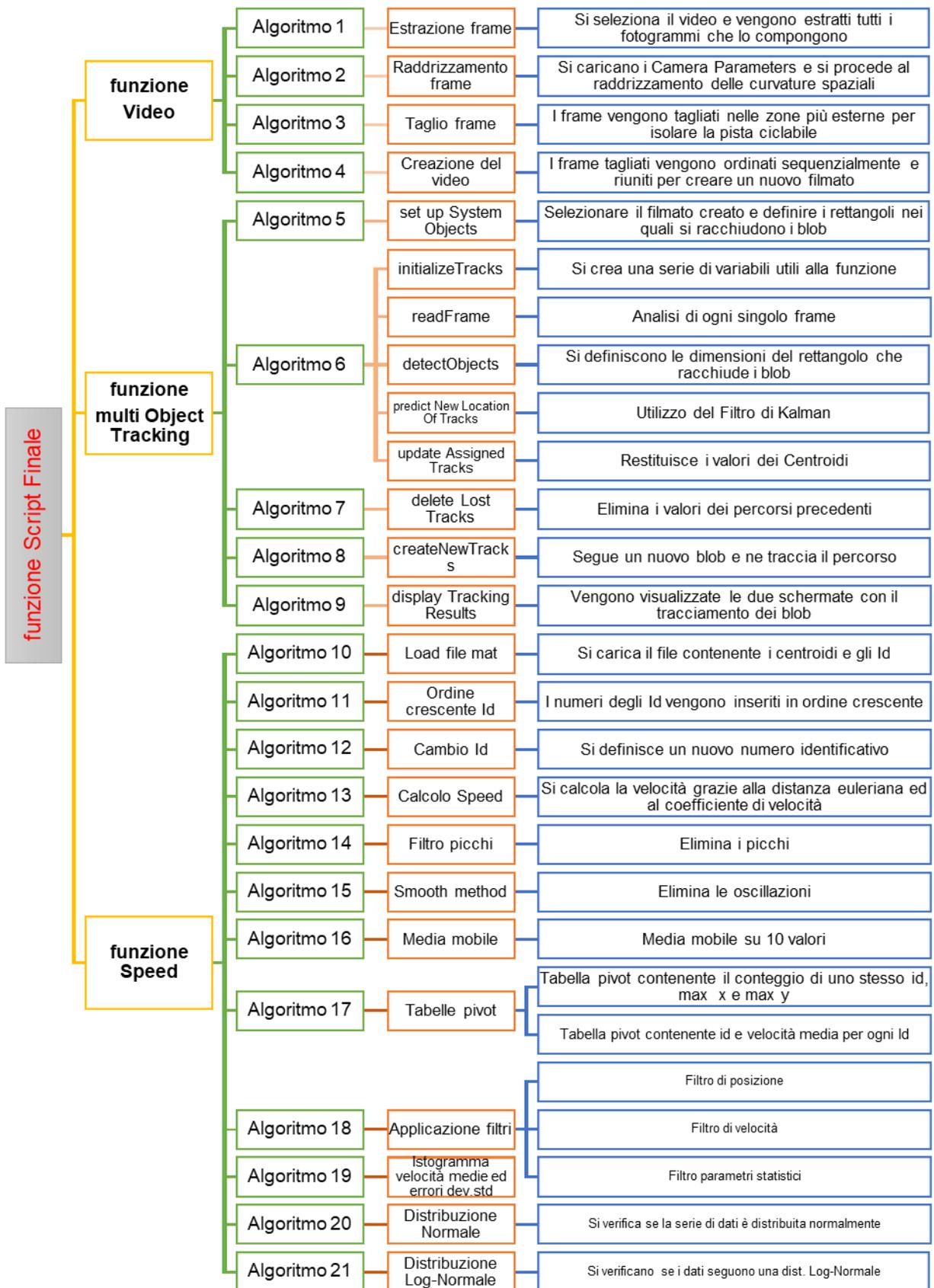
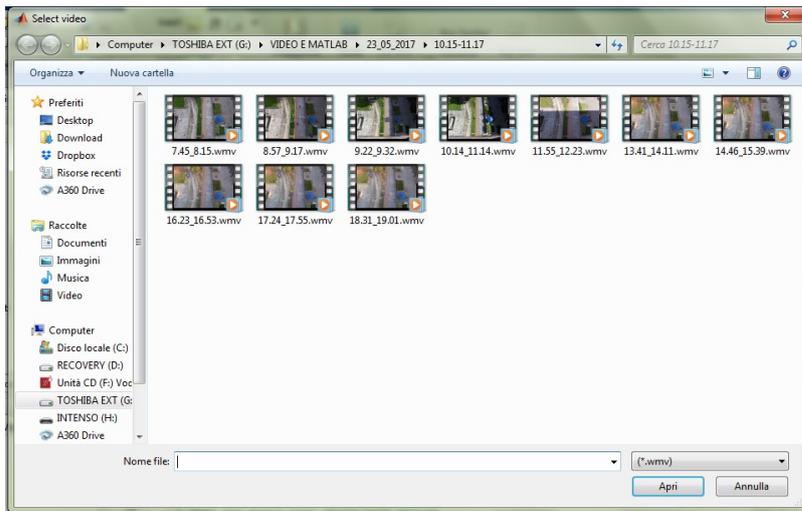
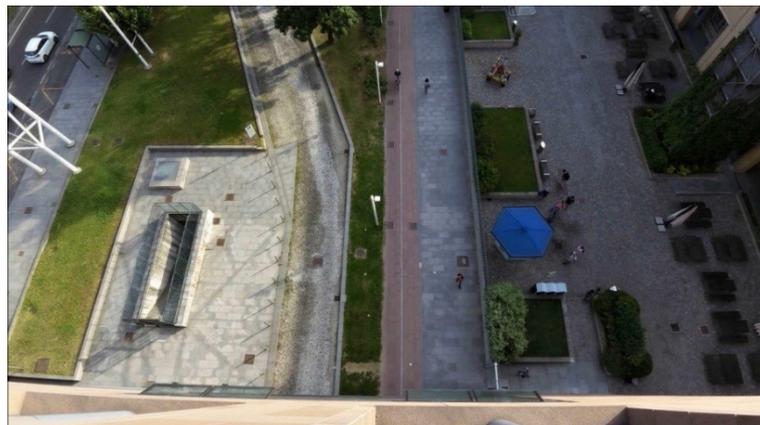


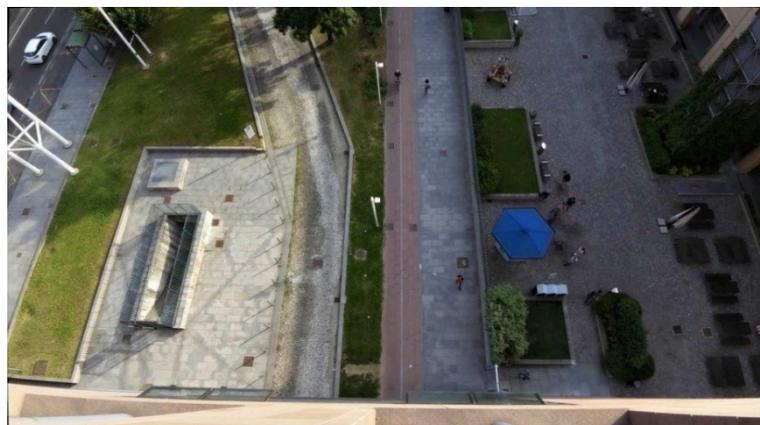
Figura 37: Diagramma di flusso inerente al processo di calcolo della velocità



*Figura 38: Finestra di selezione video*



*Figura 39: Frame originale estratto dal filmato*



*Figura 40: Frame raddrizzato*

Per verificare se il procedimento di raddrizzamento sia stato svolto correttamente, si procede ad appurare se il fattore di scala ovvero il valore che converte i pixel in metri è uguale in tutte le sezioni del fotogramma, infatti se un'immagine è realmente piana (quindi senza distorsioni di forma) dovrà avere ogni pixel della stessa dimensione in ogni sua zona altrimenti si dovrà operare il ricampionamento delle immagini e procedere ad un'ulteriore verifica. A questo scopo ci si serve di "Image Viewer App" di Matlab tramite il comando "imtool" che permette di misurare direttamente sull'immagine le distanze in pixel e successivamente confrontare i fattori di scala.

Per questo motivo si utilizzano come punti di riferimento al suolo gli spigoli dei chiusini misurando le distanze tra un punto e l'altro sia direttamente sul luogo (Figura 41) attraverso una bindella metrica che attraverso le coordinate rilevate dal GPS in modalità RTK.

In Tabella 7 e Tabella 8 sono presenti le coordinate di ciascun pixel (in parentesi tonda) ed i numeri che identificano le tonalità di colore (in parentesi quadra) della regione indicata con il puntatore (Figura 42 e Figura 43) e si può notare come le coordinate in entrambe le regioni si discostino di un'unità sia orizzontalmente che verticalmente, segno che tutti i pixel hanno ugual dimensione (1x1) in tutte le zone, mentre in Figura 44 si riportano le distanze tra i punti identificati in Figura 43.

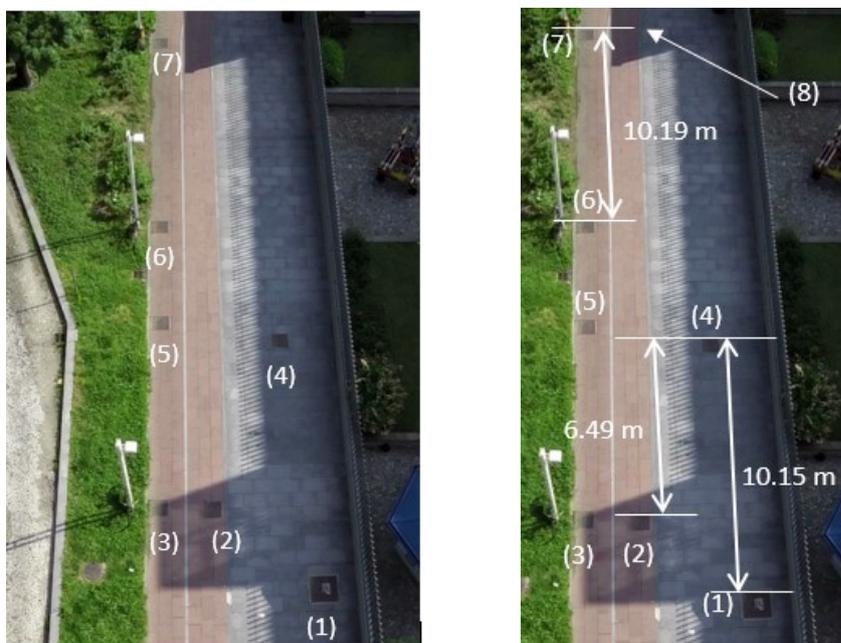


Figura 41: Punti di riferimento (chiusini) con distanze in metri

Tabella 7: Coordinate regione in basso a destra

(151, 557) [128 104 118]	(152, 557) [116 94 107]	(153, 557) [115 92 108]	(154, 557) [113 92 107]	(155, 557) [112 91 106]
(151, 558) [135 111 125]	(152, 558) [127 103 117]	(153, 558) [130 107 123]	(154, 558) [128 105 121]	(155, 558) [126 105 120]
(151, 559) [145 121 135]	(152, 559) [142 118 132]	(153, 559) [147 124 140]	(154, 559) [145 122 138]	(155, 559) [142 121 136]

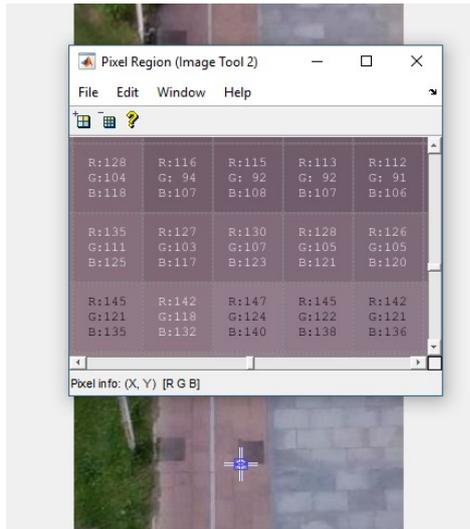


Figura 42: Pixel info della zona in basso a destra

Tabella 8: Coordinate regione in alto a sinistra

(76, 173) [87 85 88]	(77, 173) [105 103 106]	(78, 173) [111 109 112]	(79, 173) [102 100 103]	(80, 173) [91 86 90]
(76, 174) [89 87 90]	(77, 174) [109 107 110]	(78, 174) [115 113 116]	(79, 174) [105 103 106]	(80, 174) [94 89 93]
(76, 175) [87 85 88]	(77, 175) [108 106 109]	(78, 175) [116 114 117]	(79, 175) [109 107 110]	(80, 175) [101 95 99]

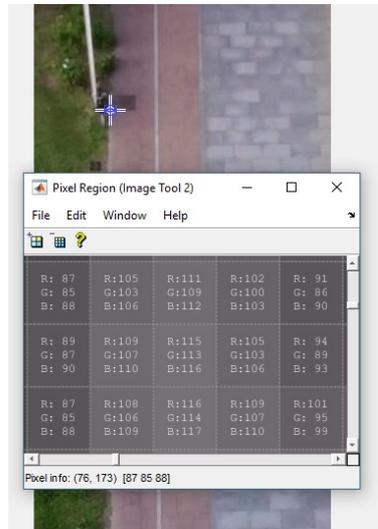


Figura 43: Pixel info della zona in alto a sinistra



Figura 44: Misurazione distanze in pixel

Il fattore di scala è stato calcolato secondo l'Equazione 18 dove  $Dist_{metri}$  è la distanza reale tra due oggetti, espressa in metri mentre  $Dist_{pixel}$  è la distanza sull'immagine, espressa in pixel.

$$f_{scala} = \frac{Dist_{metri}}{Dist_{pixel}} \quad \text{Equazione 18}$$

Nella Tabella 9 si riportano le distanze in metri, le corrispondenti distanze in pixel ed il fattore di scala che risulta essere uguale per tutte e quindi il raddrizzamento è efficace e corretto

Tabella 9: fattori di scala per ogni zona

Punti [-]	$Dist_{metri}$ [m]	$Dist_{pixel}$ [pixel]	$f_{scala}$ [-]
2_4	6,49	225	0,03
3_5	7,25	248,61	0,03
3_2	2,01	72,04	0,03
1_4	10,15	342,36	0,03
5_6	4,45	131,02	0,03
6_4	4,95	161,22	0,03

Si può quindi procedere con la terza fase in cui le immagini raddrizzate subiscono un processo di taglio delle parti laterali, dal momento che il programma di tracciamento dei blob (script nella sezione “codice Motion-Based Multiple Object Tracking) traccia anche gli spostamenti delle automobili lungo la strada e le persone presenti sia sul marciapiede che nel cortile dell’università (aree evidenziate in giallo in Figura 45) isolando in questo modo la sola pista ciclabile, tramite il comando “imcrop”.



*Figura 45: Aree da eliminare per evitare il tracciamento di automobili e pedoni*



*Figura 46: Frame tagliato*

Il procedimento si esegue creando una figura geometrica orientata secondo un sistema di riferimento posizionato nel vertice in basso a sinistra dell'immagine (rect = [820 0 200 1080] dove il primo numero rappresenta la coordinata x dal quale parte il vertice del rettangolo, il secondo esprime la coordinata y, il terzo è la lunghezza della base mentre l'ultimo è l'altezza, in simboli rect = [x y l h]). Il risultato finale è un'immagine raffigurante la sola sede ciclabile (Figura 46).

Nella quarta fase tutti i fotogrammi tagliati vengono ordinati in sequenza creando un video nel quale si visualizza solo la pista ciclabile e grazie al comando "input" è possibile far inserire all'utente il nome del video (sotto forma di stringa seguito dall'estensione .avi) tramite tastiera.

```
NomeVideo = input ('Inserire il nome del Video in OUTPUT  
aggiungendo alla fine .avi ----> ','s');
```

Tutto ciò è stato pensato per occupare il meno tempo possibile ad un ipotetico utente e per eliminare i danni dovuti ad errori sistematici di tipo umano (scambiare i file, copiare dati sbagliati, eliminare frame che sarebbero stati utili). In tutte le fasi, sulla Command Window viene visualizzata la tipologia di procedimento, il numero del frame che si sta processando ed il numero totale di frame (Figura 47).

Al termine del processo la funzione restituisce come output il filmato frutto delle modifiche apportate avente il nome scelto dall'utente con estensione .avi, cancellando tutte le immagini non più utili.

La seconda funzione è stata ripresa dal codice Motion-Based Multiple Object Tracking e permette di rilevare la posizione dei blob in movimento grazie all'applicazione del filtro di Kalman, ma rispetto al codice originale sono state apportate alcune modifiche come ad esempio la definizione di variabili globali capaci di interagire tra le differenti funzioni annidate senza cancellarne il loro contenuto, il nuovo dimensionamento del rettangolo che racchiude un blob.

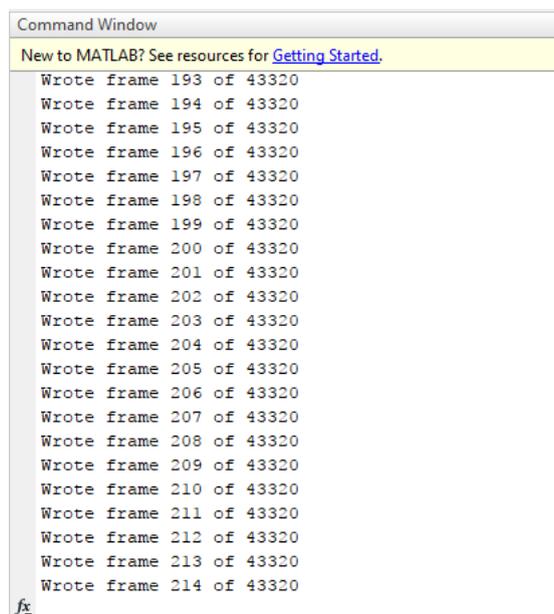


Figura 47: Visualizzazione frame sulla Command window

Queste variabili vengono riportate all'inizio dello script per poi essere richiamate all'interno di una specifica funzione (funzione *updateAssignedTracks*).

```
global conta
global CENTROIDI_1

conta=1;
CENTROIDI_1=zeros(3);
```

La prima variabile globale “conta” ha il ruolo di contatore per tutti i centri di massa che il software riesce ad individuare ed è inizializzata al valore unitario, la seconda variabile globale “CENTROIDI\_1” è una matrice, inizializzata come una matrice di tre colonne nulle, nella quale vengono salvati i numeri identificativi (nella prima colonna), i valori x dei centri di massa (nella seconda colonna) ed i valori y dei centri di massa (nella terza colonna) presupponendo che il sistema di riferimento sia posizionato nell'angolo in basso a sinistra con le frecce degli assi rivolte verso destra per le ascisse e verso l'alto per le ordinate (Figura 48).

Il resto del codice è identico a quello ricavato dallo script Motion-Based Multiple Object Tracking ma si modifica la dimensione del rettangolo che racchiude gli oggetti in movimento poiché il programma era originariamente tarato sul tracciamento di pedoni posti ad una distanza abbastanza esigua dalla videocamera (Figura 49).



Figura 48: Sistema di riferimento per la determinazione dei centroidi



*Figura 49: Da Motion-Based Multiple Object Tracking (Matlab) dal sito in Bibliografia*



*Figura 50: Corretta individuazione del ciclista*

Dopo alcuni tentativi appare adeguato diminuire la dimensione dei rettangoli poiché si è ad una altezza maggiore rispetto all'origine, in modo da eliminare il tracciamento di oggetti che si muovono a qualche centimetro dall'obiettivo e che non seguono una marcia canalizzata, infatti con queste dimensioni, i ciclisti e la loro ombra vengono correttamente individuati eliminando tutti quegli oggetti che hanno una dimensione maggiore, come mostra la Figura 50, in cui viene tracciato il percorso del ciclista ma non quello della macchina tagliaerba.

In output viene visualizzata una schermata raffigurante il video originale ed il video binario in cui vengono simultaneamente tracciati gli oggetti in movimento (Figura 51) e soprattutto si ricava la matrice Centroidi\_1 contenente i numeri identificativi per ogni blob in ogni frame in cui compaiono i rispettivi valori di x e y delle coordinate dei centri di massa.

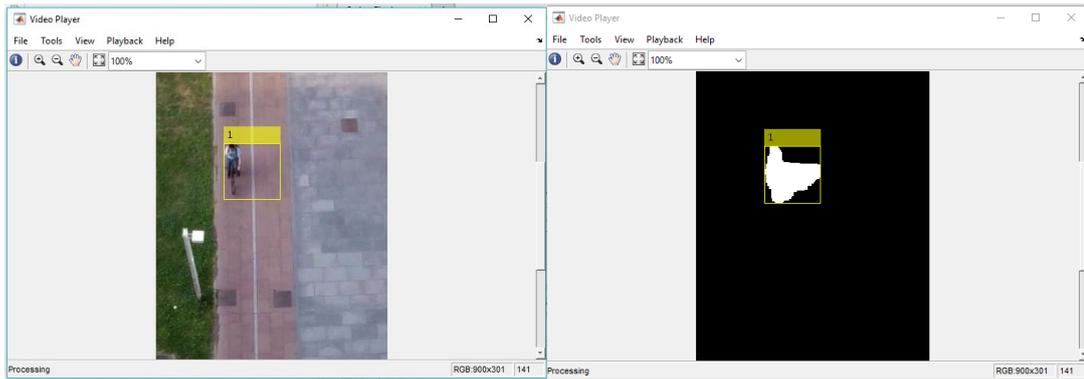


Figura 51: Schermata finale del file *Script\_Finale.mat*

L'ultima funzione annidata, funzione *Speed*, ha il compito di calcolare le velocità operative per ogni ciclista (a cui viene associato un numero identificativo univoco) servendosi dei valori delle coordinate dei centri di massa,  $x$  e  $y$ , ricavati dall'output della funzione precedente, inserendoli nella formula utile a calcolare la distanza tra due punti (distanza euclidea).

In primo luogo è necessario riportare i risultati ottenuti come output nella funzione precedente, caricando il file *CENTROIDI\_1.mat* e si procede con la nuova denominazione del nuovo numero identificativo attraverso due cicli *for*.

Infatti una volta acquisito il numero identificativo di ciascuna entità con i relativi centroidi, si possono notare delle discordanze (ad esempio il ciclista avente il numero identificativo 7 delle ore 7,45-8,15 del 16-05-2017 in Figura 52 è tracciato insieme ad un altro ciclista) poiché il software, quando un ciclista esce dall'inquadratura e ne entra immediatamente un altro nelle vicinanze del primo, non riconosce la distinzione tra le due entità e le identifica con lo stesso numero. È quindi necessario rinominare tutti gli elementi per poter dare ad ogni traiettoria un solo numero.

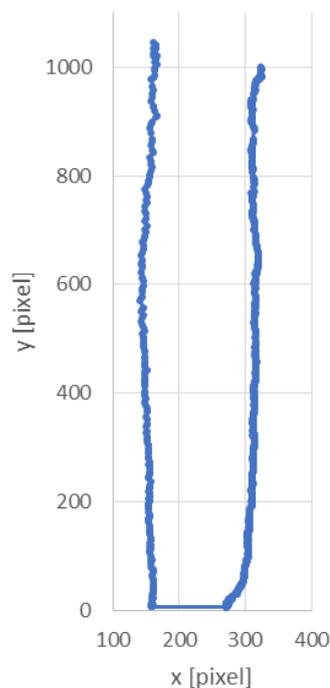


Figura 52: Discordanze di tracciato per numero identificativo

A tal scopo si prendono come riferimento le coordinate x e y dei centri di massa passando al numero identificativo successivo ogni qualvolta che la differenza tra una coordinata x e quella successiva è maggiore di 20 pixel (determinata grazie al comando imtool in Figura 54) ovvero la distanza che si ha tra la mezzeria di una corsia e la linea bianca che separa le due corsie. In questo modo ogni traiettoria sarà identificata correttamente (il ciclista 7 delle ore 7,45-8,15 del 16-05-2017 in Figura 55 è identificato correttamente secondo un'unica traiettoria).

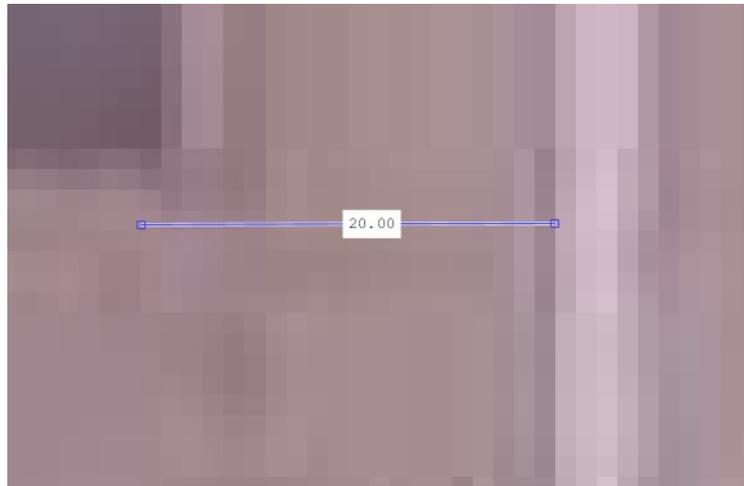


Figura 53: Distanza in pixel tra mezzeria della corsia e linea bianca al centro della pista

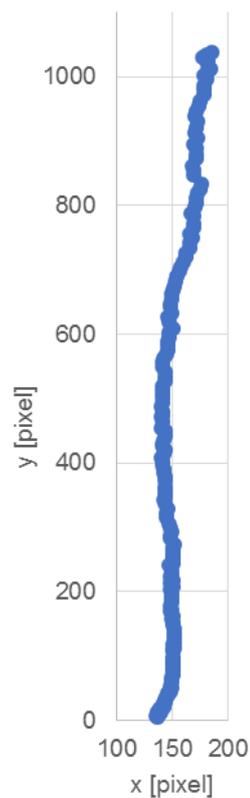


Figura 54: Soluzione al problema di numero identificativo

Mentre per quanto riguarda la coordinata y, si prosegue con il numero successivo quando la differenza è maggiore di 50 pixel poiché oltre tale distanza si ottiene una velocità improbabile di circa 45 Km/h.

Successivamente si riporta il valore del fattore di scala così come determinato per la verifica del raddrizzamento, secondo il calcolo precedentemente descritto e risulta essere pari a 0,030 in ogni zona del frame, oltre a ciò si determina il coefficiente di velocità  $c_{speed}$  in funzione del fattore di scala e dell'inverso del frame rate, moltiplicando i valori tra parentesi per la costante 3,6 con lo scopo di ottenere direttamente le velocità in Km/h (Equazione 19), in seguito si procede con la valutazione della velocità attraverso la formulazione della distanza euclidea contenente la differenza al quadrato tra le coordinate x e y dei centroidi (Equazione 20) invece per ottenere le velocità in Km/h è necessario moltiplicare la distanza euclidea per il coefficiente di velocità (Equazione 21).

$$c_{speed} = \left( \frac{f_{scala}}{\frac{1}{frame\ rate}} \right) * 3,6 = \left( \frac{0,030}{\frac{1}{29,97}} \right) * 3,6 = 3,237 \quad \text{Equazione 19}$$

$$d_{pixel} = \sqrt{(x_{n+1} - x_n)^2 + (y_{n+1} - y_n)^2} \quad \text{Equazione 20}$$

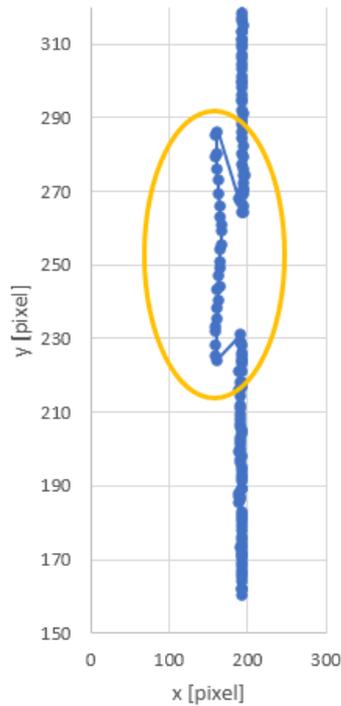
$$V = d_{pixel} * c_{speed} \quad \text{Equazione 21}$$

Il successivo passaggio riguarda l'applicazione di una serie di filtri con lo scopo di eliminare o perlomeno attenuare gli effetti negativi di eventuali "disturbi" come picchi o oscillazioni non verosimili nel diagramma di velocità, infatti il software, quando due entità sono molto vicine tra loro, non riesce a distinguerle e le sovrappone o le confonde come un'unica entità, modificando in questo modo anche la reale posizione del centroide (Figura 55).

Nel grafico in Figura 56 si può osservare come il programma, quando incontra la sovrapposizione di due blob, traccia come un'unica entità i due ciclisti creando un errore sulla stima della posizione, dopo il distanziamento dei due blob il software riprende il corretto tracciamento.



Figura 55: Errore di stima del centro di massa



*Figura 56: Errori dovuti alla sovrapposizione di blob*

A causa di questo errore di posizionamento, nel calcolo della velocità, si hanno elevate differenze tra un dato e quello successivo creando dei picchi nel diagramma delle velocità non congruenti con la realtà (Figura 57). Infatti la distanza temporale tra un valore e l'altro è di soli 0,033 secondi pari ai secondi corrispondenti ad ogni frame (tenuto conto del frame rate uguale a 29,97 frame al secondo e quindi  $1/29,97 = 0,033$  sec). In figura 49 si può evidenziare che a circa 15 m vi è un salto di velocità di circa 25 Km/h rispetto alla mediana in un arco temporale pari a 0,033 sec mentre a 22 m e 29 m sono presenti dei picchi fino a 30 Km/h. Questi tre picchi dovranno essere eliminati uniformando i valori ed approssimandoli nell'intorno della mediana.

Per ovviare a questo problema si applica la funzione "filloutliers" eliminando i picchi di velocità e sostituendoli con un'approssimazione lineare ottenuta unendo il punto antecedente e precedente il picco (Figura 58).

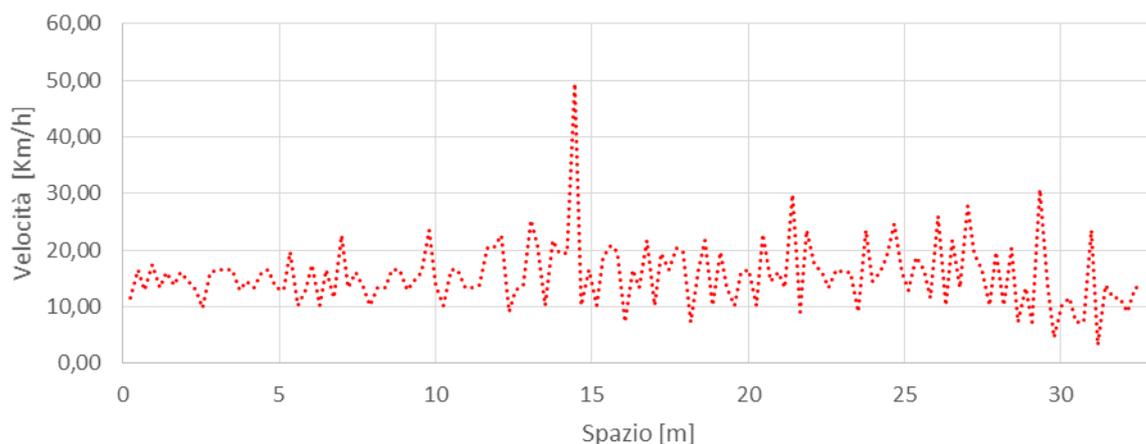


Figura 57: Velocità originale



Figura 58: Confronto tra velocità originale e velocità filtrata

Il secondo filtro si applica per smorzare il rumore, osservando salti di velocità tra un frame e l'altro anche di 10 Km/h, dovute non solo al software che per sua natura intrinseca non riesce ad identificare correttamente il pixel su cui è posizionato il blob ma anche da errori di acquisizione delle immagini dovute al processore, alla risoluzione della camera ed alla ricerca troppo raffinata dei centri di massa.

In questo caso occorre applicare dei metodi di appiattimento (*"Smoothing Method"* da Bibliografia) usando il comando "smooth" che permette di livellare i picchi che sono al di fuori dell'intorno della mediana utilizzando la seguente estensione nella quale vengono presi i valori delle velocità filtrate contenute nel vettore  $y$  e applicando una regressione lineare robusta nell'intorno di 10 valori.

Nella Figura 59 si evidenzia il confronto tra velocità originaria, filtrata con l'eliminazione dei picchi e velocità ottenuta tramite il comando Smooth.

Si può osservare come gli errori dovuti alla non corretta posizione dei centroidi siano stati eliminati, così come le oscillazioni dovute all'acquisizione dell'immagine, sostituendo tali imprecisioni con valori approssimati nell'intorno della mediana (linea in blu in Figura 59), Oltre al confronto grafico si può operare un confronto statistico mediante Deviazione standard e Varianza (Tabella 10).

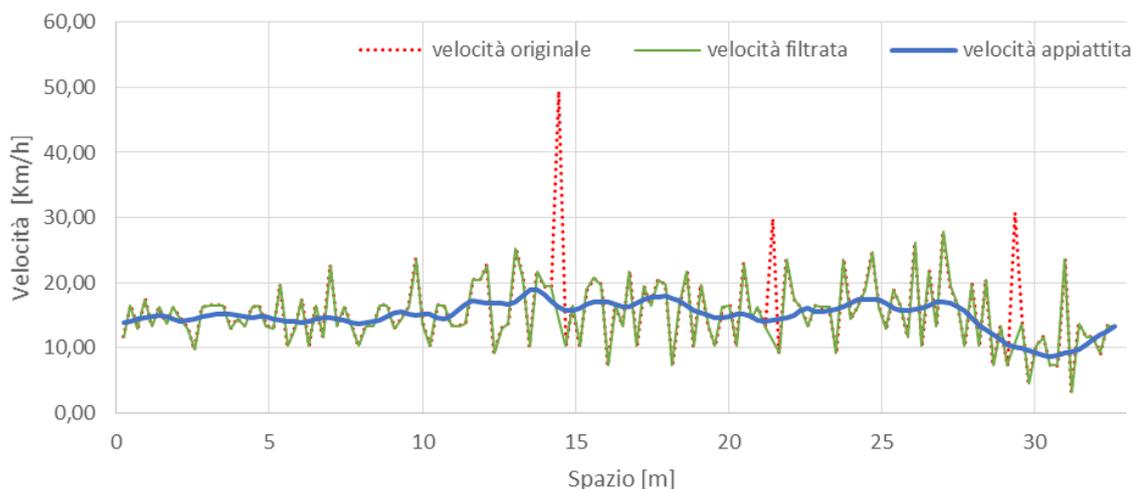


Figura 59: Evoluzione delle velocità

Tabella 10: Confronto deviazioni standard e varianza

	Velocità originale	Velocità filtrata	Velocità appiattita
Deviazione Standard [Km/h]	5,68	4,58	1,40
Varianza [Km <sup>2</sup> /h <sup>2</sup> ]	32,2	21,0	2,0

Tabella 11: Tabella riassuntiva parametri statistici

	Velocità originale	Velocità filtrata	Velocità appiattita
Media [Km/h]	15,610	15,085	15,005
Errore standard [-]	0,482	0,389	0,119
Mediana [Km/h]	15,330	14,480	15,163
Deviazione standard [Km/h]	5,698	4,598	1,407
Varianza campionaria [Km <sup>2</sup> /h <sup>2</sup> ]	32,464	21,138	1,979
Minimo [Km/h]	3,237	3,240	10,854
Massimo [Km/h]	49,513	27,840	16,852
Conteggio [ciclisti]	140	140	140

Dal confronto delle deviazioni standard, si può notare il grado di eterogeneità dei valori dopo l'esecuzione delle tecniche di eliminazione dei picchi e di appiattimento delle oscillazioni, inoltre si può convenire che la varianza si abbassa sensibilmente con l'applicazione del filtro di appiattimento. Nella Tabella 11 sono riassunti tutti i maggiori parametri statistici.

Si può rilevare che i filtri non cambiano la media dei valori e la stima della mediana, abbassano notevolmente l'errore standard, la deviazione standard e la varianza campionaria, ridimensionando apprezzabilmente il divario tra massimo e minimo.

Al fine di ottenere dei valori che possano rispecchiare il reale andamento della velocità, si applica una media mobile ogni 5, 10, 15 e 20 valori, scegliendo l'intervallo di valori più

adeguati da applicare, in quanto la media mobile è una tecnica che si utilizza con l'obiettivo di eliminare eventuali "salti" di valori tra un frame e l'altro omogeneizzando i risultati. L'utilizzo di tale tecnica porta alla definizione di  $n-k+1$  valori medi con  $n$  uguale al numero di epoche e  $k$  pari all'ampiezza dell'intervallo da mediare uguale a 5, 10, 15 o 20.

In Figura 60 vi è il diagramma di velocità facendo risaltare gli effetti benefici dei filtri e delle medie mobili.

Ad una osservazione più precisa (Figura 62) è evidente che tutte le medie approssimano lo stesso andamento ma la media mobile a 5 valori presenta ancora diverse oscillazioni di valori in un intervallo di tempo troppo breve, la media mobile a 10 valori ben si avvicina alla tendenza reale non eliminando troppi valori all'inizio del tracciamento mentre la media mobile a 15 e 20 valori scartano più valori iniziali rispetto alle prime due e si discostano maggiormente dalla mediana.

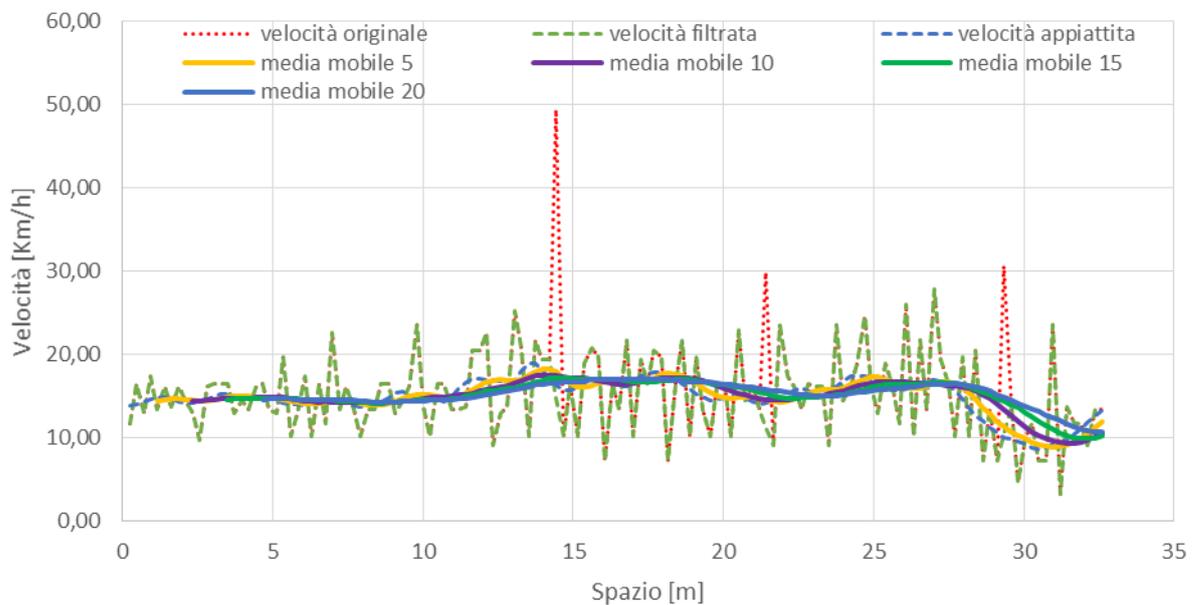


Figura 60: Confronto tra velocità

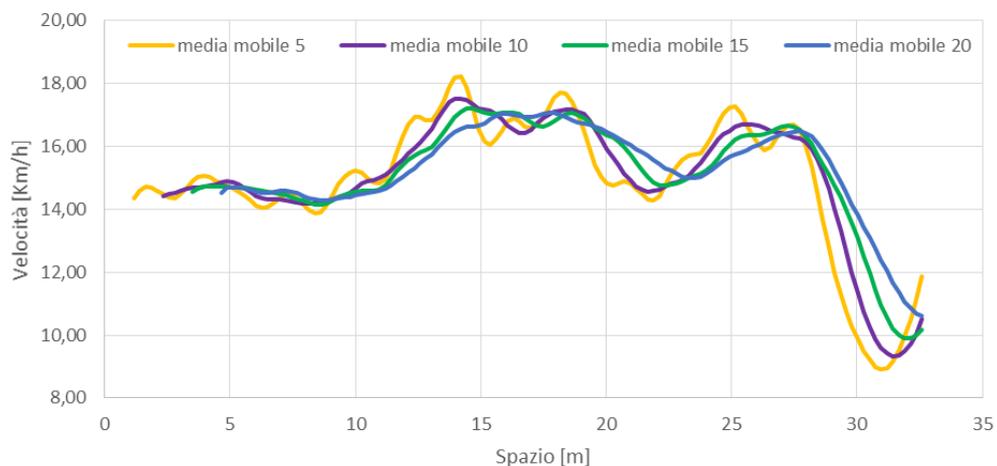


Figura 61: Confronto tra medie mobili

Tabella 12: Parametri statistici di medie mobili

	Velocità originale	Velocità filtrata	Velocità appiattita	Media mobile 5	Media mobile 10	Media mobile 15	Media mobile 20
Deviazione Standard [Km/h]	5,68	4,58	1,40	0,87	0,84	0,82	0,79
Varianza [Km <sup>2</sup> /h <sup>2</sup> ]	32,23	20,99	1,96	0,75	0,71	0,67	0,62

Per i motivi sopra detti si sceglie di applicare alla serie di dati la media mobile a 10 valori attraverso il comando “*movmean*” dove nella parentesi tonda vi è la variabile alla quale applicare la media mobile seguito dall’intervallo di valori.

Come nei casi precedenti si opera anche un confronto con i parametri statistici (Tabella 12) in cui si può notare come la varianza diminuisce drasticamente applicando il filtro di appiattimento mentre per la media mobile, i valori di deviazione standard e varianza risultano essere pressoché simili.

La fase successiva riguarda l’eliminazione dei dati inerenti ai pedoni che percorrono la pista ciclabile sia orizzontalmente che lungo l’asse e a quelle entità che non attraversano la sede ciclabile per tutta la sua lunghezza perciò con questo scopo si creano due tabelle pivot contenenti il conteggio dei valori di velocità per ogni ciclista identificato, il massimo ed il minimo valore delle coordinate y dei centri di massa (nella prima tabella) e le velocità medie per ogni numero identificativo (nella seconda tabella), annullando tutti quei valori che hanno un conteggio maggiore di 40, un valore y minimo minore di 200 e un valore y massimo maggiore di 600 con lo scopo di scartare tutti gli oggetti in movimento che passano davanti alla videocamera.

È necessario quindi tracciare solo quegli oggetti che presentano una marcia canalizzata lungo tutta la pista ciclabile applicando un filtro di posizione il quale scarta tutte le entità aventi coordinate y al di fuori dell’intervallo di valori sopra citato e quindi tutti gli elementi identificativi (ID) sono messi in ordine dal valore minore al maggiore ed accoppiati al rispettivo centro di massa per ogni frame.



Figura 62: Filtro di posizione

Successivamente si costruisce una Tabella Pivot nella quale vengono conteggiati gli ID e viene calcolato il massimo ed il minimo valore della coordinata verticale  $y$  per ogni ID, in questo modo è possibile applicare il filtro togliendo tutti quegli elementi che non hanno inizio e fine all'interno di un certo range di coordinate e cioè si tengono tutte le entità che hanno una coordinata  $y$ , iniziale minore di 200 pixel, ovvero che iniziano il percorso o che lo finiscono in fondo alla pista ciclabile ed una coordinata  $y$  maggiore di 600 (Figura 62).

Sono inoltre eliminati tutti quei ID che contano meno di 40 coordinate, poiché è improbabile che una bicicletta possa compiere circa 30 m in quasi un secondo (il frame rate è di circa 30 frame/sec, quindi se una stessa entità possiede 40 valori di coordinate vuol dire che un ciclista ha impiegato 40 frame, poco più di 1 secondo per percorrere 30 m e, secondo la nota formula, si avrebbe una velocità di 22,5 m/s pari a 81 km/h (Equazione 22); la logica vorrebbe che tutto ciò sia praticamente impossibile sia per bici comuni che per bici elettriche).

$$v = \frac{\text{spazio}}{\text{tempo}} = \frac{30}{\frac{40}{30}} = 22,5 \text{ m/s} \rightarrow V = 22,5 \times 3,6 = 81 \text{ Km/h} \quad \text{Equazione 22}$$

Si può anche aggiungere un'ulteriore miglioria rimuovendo i pedoni che rientrano lo stesso nell'inquadratura percorrendo la pista ciclabile ed obbligando il software a tracciare comunque la posizione. Per questo motivo si applica un ulteriore filtro eliminando tutte quelle velocità minori di un certo valore stimato manualmente, infatti si è preso in considerazione un video in cui compaiono anche i pedoni, individuati attraverso il numero identificativo, e calcolando la velocità media per ogni utente e messa in ordine crescente. Nel momento in cui le velocità non appartenevano più ad un pedone ma ad un ciclista, si è posto il limite inferiore. Risulta che il limite inferiore per il quale la velocità appartiene ad un ciclista è di 5 Km/h. La tabella, con i numeri identificativi e le velocità medie è riportata in allegato D alla sezione "D3 Limite inferiore delle velocità".

L'ultimo filtro da applicare riguarda i parametri statistici, infatti si crea una nuova tabella pivot contenente la deviazione standard. Verranno trattenuti tutti quei valori che non superano un errore di deviazione standard pari a 1,5 Km/h.

Successivamente si crea un vettore contenente solo i numeri identificativi di quei ciclisti aventi un conteggio di valori di velocità istantanee superiore di 40, una velocità media superiore ai 5 Km/h, con una traiettoria pressoché rettilinea ed una deviazione standard minore di 1,5 Km/h, tale vettore viene inserito in una matrice contenente le rispettive velocità medie per ogni id trattenuto ed il relativo errore di deviazione standard.

Con questi valori si realizzerà un istogramma in cui ogni ciclista rappresenta una colonna la cui altezza corrisponde alla velocità media mentre alla sommità vi sono le barre di errore di deviazione standard.

L'ultimo passaggio riguarda la verifica di distribuzione, ovvero appurare se la serie di dati da analizzare segue una distribuzione Normale o Log-Normale attraverso il Test di Kolmogorov-Smirnov, il quale restituisce l'esito dell'analisi, se l'ipotesi di distribuzione è corretta allora sarà visualizzato il parametro H nullo invece se la distribuzione ipotizzata non è corretta H avrà valore unitario, inoltre all'interno del test saranno costruiti i grafici di distribuzione cumulativa per le distribuzioni Normale e Log-Normale.

## 3.2 Raccolta dati

In questa sezione si presentano tutti i dati ottenuti mediante gli algoritmi descritti nel precedente paragrafo: i dati di frequenza delle utenze ciclistiche, le velocità istantanee e medie per ogni utente tracciato e le caratteristiche statistiche.

I dati fondamentali per uno studio di tipo censuario sono i dati di frequenza (conteggio delle utenze che percorrono una determinata sezione in una precisa fascia oraria) correlati alle condizioni ambientali esterne (temperatura media durante la suddetta fascia oraria), infatti grazie alla matrice restituita dal codice, si possono analizzare i conteggi dei passaggi delle utenze nell'orario stabilito, le velocità riferite ogni 0,033 secondi per ogni ciclista e le velocità calcolate dalla medie delle velocità istantanee e relazionare i suddetti dati tra loro con lo scopo di valutare se esiste una correlazione tra temperatura esterna e frequenza degli utenti.

Oltre al conteggio dei ciclisti e la determinazione delle velocità, il codice esegue un test di tipo statistico per verificare se i risultati di velocità operative ottenuti per ogni fascia oraria si approssimano secondo una distribuzione statistica Normale o Log-Normale, restituendo grafici rappresentanti la funzione di distribuzione cumulata delle due distribuzioni.

In allegato A alla sezione "A6 Output grafici del codice Script\_Finale" sono presenti tutti gli istogrammi ed i grafici della funzione di distribuzione cumulata per ogni fascia oraria.

## 3.3 Validazione

In questa sezione si opera dapprima un confronto tra la metodologia automatizzabile e due diversi metodi manuali, mediante l'uso del software ArcGis e stimando le distanze servendosi semplicemente di un righello, in due differenti condizioni ambientali, una giornata assoluta ed una nuvolosa senza la presenza di ombre proiettate al suolo.

Il secondo confronto è tra quattro differenti metodi, la cui spiegazione dettagliata è riportata nello Studio Pilota #1. Principalmente tale confronto serve a validare i dati reperiti tramite la procedura automatica attraverso il codice "Script\_Finale"

Primo confronto	Secondo confronto	Terzo confronto
<ul style="list-style-type: none"> <li>•Procedura automatica</li> <li>•Procedura manuale in gis</li> <li>•Procedura manuale misurando le distanze con un righello</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Procedura automatica</li> <li>•GPS di applicazione smatphone</li> <li>•GPS della videocamera</li> <li>•Procedura manuale</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Area dei blob</li> </ul>

*Figura 63: Organizzazione della validazione dei dati*

L'ultima verifica esamina la dimensione dell'area di un blob per ogni frame in avvicinamento o allontanamento dalla videocamera per verificare se il codice traccia correttamente i veicoli senza creare un errore sistematico.

In Figura 63 si presenta, in forma schematica, l'organizzazione del capitolo introducendo i tre confronti effettuati con lo scopo di verificare se la metodologia automatizzabile restituisce effettivamente valori coerenti con la realtà.

### **Primo confronto**

Nel primo confronto si è preso a campione un ciclista in condizioni di luce diffusa ed con luce solare in modo da proiettare la propria ombra al suolo.

Nel primo caso si è considerata una giornata nuvolosa (18-05-2017 ore 10:14) nella quale il sole è coperto dalle nuvole in modo da avere solo la sagoma del ciclista senza la sua ombra (Figura 64).

Attraverso il software Qgis si è stati in grado di valutare la posizione del ciclista ogni 10 frame e quindi ogni 0,333 secondi (= 10/29,97 dove 29,97 è il frame rate), prendendo come riferimento la testa del ciclista poiché risulta ben visibile dall'alto, raffigurata con i punti verdi seguiti dalle lettere (rappresentati in Figura 65) e grazie al comando "Analysis Tool" e "Distance Matrix" è stato possibile ricavare le distanze in metri di ogni punto rispetto al successivo.



*Figura 64: Ciclista in condizioni di luce diffusa*



*Figura 65: Posizione del ciclista ogni 10 frame*

Per un maggior confronto, si sono misurate manualmente, tramite un righello, le distanze in cm tra un punto e l'altro ed attraverso una proporzione (prendendo come riferimento le distanze reali misurate sul campo) si sono convertite in metri.

Tali risultati sono stati confrontati con quelli ottenuti dal calcolo automatico in funzione dei centri di massa con l'algoritmo di Matlab, sia a livello grafico (Figura 66) che a livello tabellare grazie ai valori di media e mediana (Tabella 13).

Come si può notare nel grafico (Figura 66), i valori ricavati con il gis e quelli manuali ben approssimano l'andamento discendente della curva ricavata con l'algoritmo, inoltre i risultati in gis sono simili a quelli ottenuti con la media mobile effettuata ogni 10 elementi, tranne che nel caso a 10 m in cui il valore della velocità risulta maggiore di circa 4 Km/h e questo può essere

dovuto alla non precisione nel riferirsi ad un pixel piuttosto che ad un altro adottando la tecnica manuale nel sistema georeferenziato, infatti nel momento in cui ci si riferisce ad un punto su un'immagine, i pixel che lo compongono sono molto piccoli e risulta difficoltoso tenere conto di un pixel rispetto a quello attiguo (è necessaria una distanza di 5 cm per falsare i dati) con uno scarto di circa 5,4 Km/h (Equazione 23), mentre i valori ricavati manualmente risultano essere molto più imprecisi dato che lo strumento utilizzato presenta una precisione molto più bassa rispetto ai software.

$$\Delta V = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{0,05}{0,0333} \times 3,6 = 5,4 \text{ Km/h} \quad \text{Equazione 23}$$

Un ulteriore confronto può essere effettuato tramite il calcolo della media e della mediana (Tabella 13) in cui si osserva che i valori sono piuttosto simili nel calcolo effettuato con i due software, mentre sono nettamente più elevati nel calcolo manuale.

Nel secondo caso si è presa una giornata assolata (23-05-2017 ore 11:53) nella quale la luce del sole proietta l'ombra degli oggetti al suolo ottenendo la sagoma del ciclista e la sua ombra (Figura 67) ma il procedimento seguito è comunque lo stesso del caso precedente (i punti riguardanti le posizioni della testa del ciclista sono illustrati in Figura 68).

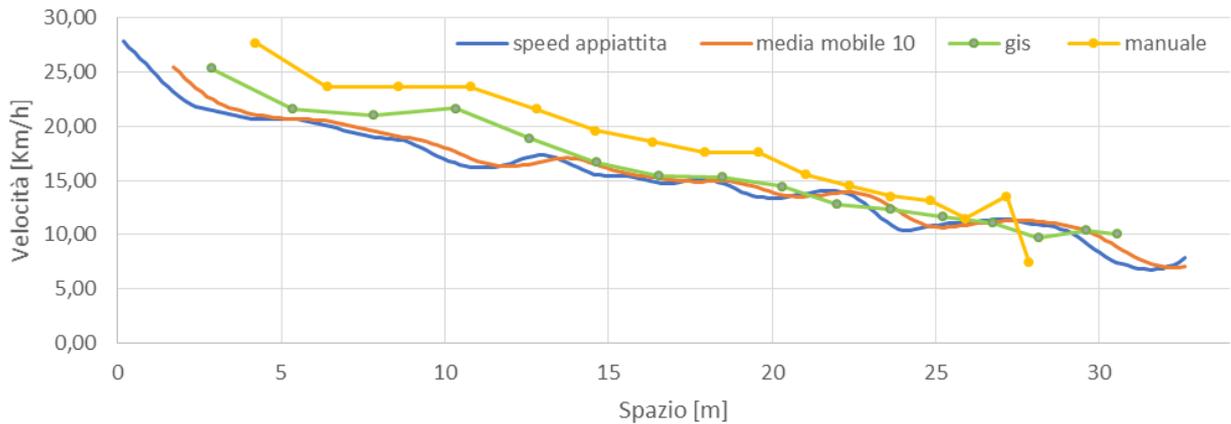


Figura 66: Confronto grafico (zona senza ombra)

Tabella 13: Confronto delle metodologie attraverso media e mediana

	Matlab media 10	Gis	Manuale
Media [Km/h]	15,25	15,53	17,68
Mediana [Km/h]	14,97	14,86	17,58



*Figura 67: Ciclista in condizioni di luce solare*



*Figura 68: Posizioni ciclista con ombra ogni 10 frame*

Come si denota dal grafico (Figura 69), tutti gli andamenti delle curve sono ascendenti ed i valori ricavati tramite i software sono simili, tuttavia i risultati dopo i 30 m, ottenuti mediante il software Matlab, mostrano un rapido andamento discendente a causa di una brusca frenata dovuta alla presenza di un ostacolo sul percorso, mentre manualmente non è stato possibile verificare se tale andamento risulti essere veritiero poiché si entra in una zona d'ombra e la testa del ciclista non è più visibile (Figura 70 nel cerchio in giallo è evidenziato il ciclista in ombra).

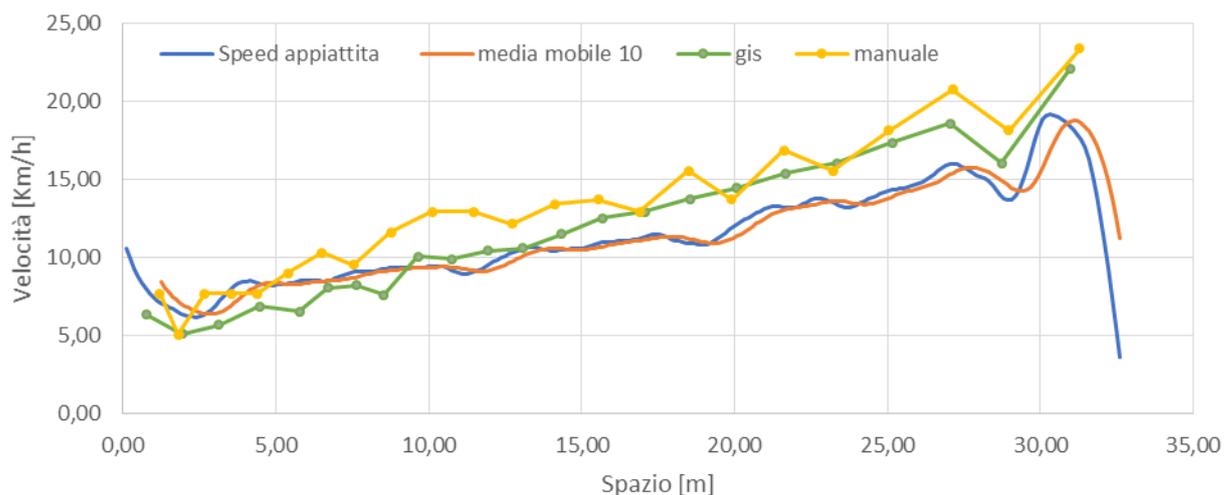


Figura 69: Confronto grafico (zona con ombra)



Figura 70: Ciclista entrante nella zona in ombra

Tabella 14: Confronto caratteristiche statistiche

	Matlab media 10	Gis	Manuale
Media [Km/h]	11,46	11,58	12,91
Mediana [Km/h]	10,98	10,62	12,94

Come nel caso precedente, i valori di media e mediana risultano essere simili nelle prime due tipologie di metodo (Tabella 14) mentre la metodologia manuale, a causa della carente precisione di stima, risulta avere valori superiori rispetto ai primi due metodi. Tutti i risultati sono riportati in allegato A alla sezione “A4 Confronto procedura automatica e manuale”.

### Secondo confronto

Con il secondo confronto si verifica se la metodologia automatica mediante riprese dall’alto e successivo post-processamento dei dati risulta precisa ed accurata in confronto al GPS, all’ applicazione su smartphone e alla metodologia manuale, strutturando il programma

di validazione similmente allo studio Pilota #1 avendo cura di apportare tutte le migliori delineate nei paragrafi precedenti per la riuscita del test.

Come precedentemente descritto i metodi utilizzati sono la metodologia automatica con filmati e post-processamento mediante software, sistema GPS integrato alla videocamera Garmin 9002, Applicazione su Smartphone (CycleDroid) e Metodologia manuale mentre il luogo prescelto è uguale a quello dello Studio Definitivo ovvero la pista ciclabile “Giorgio Faraggiana” posizionandosi con la videocamera Garmin 2080 sulla terrazza alla stessa altezza ed angolazione del precedente studio.

Vengono effettuati tre filmati separati in modo da rendere riconoscibile anche dall’alto la bicicletta strumentata ed in ogni filmato vi è un tragitto di andata ed uno di ritorno del veicolo in esame secondo la convenzione illustrata in Figura 71.



*Figura 71: Senso di marcia del flusso veicolare*

Il mezzo utilizzato è una bicicletta ordinaria a due ruote sulla quale vengono posizionati una videocamera che registra sia le immagini che la posizione mediante GPS ed uno smartphone sul quale vi è stata installata l’applicazione CycleDroid (strumentazioni descritte al paragrafo 2.2), il veicolo strumentato deve immettersi nel flusso ciclabile e percorrere il tragitto visualizzato nell’inquadratura della videocamera posta in quota.

L’applicazione “CycleDroid” sfrutta il sistema GPS interno allo smartphone e permette di visualizzare i grafici tempo/velocità e distanza/tempo subito dopo l’arresto del veicolo, inoltre nella schermata iniziale è raffigurato il numero di satelliti agganciati dallo strumento, la velocità istantanea e la velocità media.

Dopo i rilievi si ricava dalle strumentazioni un file di estensione gpx in cui sono contenute data ed ora del rilevamento e le coordinate geografiche (latitudine, longitudine, altitudine), per di più sapendo che ogni posizione è stata tracciata in un secondo (quindi la discriminante tempo ( $\Delta t$ ) è uguale ad 1 sec) e conoscendo le coordinate e di conseguenza la distanza da una posizione a quella successiva ( $\Delta s$ ), è facile determinare la velocità (Equazione 24) oppure i dati ricavati dalla videocamera e dall’applicazione possono essere processati utilizzando il sito GPSVisualizer (<http://www.gpsvisualizer.com/>), ottenendo i valori finali di velocità operativa in Km/h e la distanza dal punto precedente in Km.

$$V \left[ \frac{Km}{h} \right] = \frac{\Delta s}{\Delta t} \cdot 3,6 \quad \text{Equazione 24}$$

Tutte le distanze ottenute sono convertite in m e successivamente si applica una somma cumulata creando un grafico in cui sull'asse delle ascisse vi è lo spazio in metri e sull'asse delle ordinate vi è la velocità in Km/h, ma prima di ciò è necessario filtrare i dati che si sono ricavati poiché il veicolo ha iniziato a muoversi molto prima del punto in cui la camera ha iniziato a riprendere e si è fermato dopo il sottopasso in un punto coperto dall'inquadratura e per questo motivo, si sono applicate due tipologie di filtri, un filtro temporale ed uno spaziale.

Avendo a disposizione le immagini ricavate dalla camera e, siccome il GPS si attiva simultaneamente alla ripresa delle immagini, si è calcolato il tempo impiegato dalla bicicletta a raggiungere il punto iniziale di ripresa dall'alto, che in questo caso risulta essere riconoscibile anche ad altezza "suolo" poiché la pista ciclabile ha una leggera deviazione (Figura 72) mentre il punto finale di ripresa risulta essere coincidente con la porta di entrata del cortile dell'Università e con l'inizio del sottopasso (Figura 73).

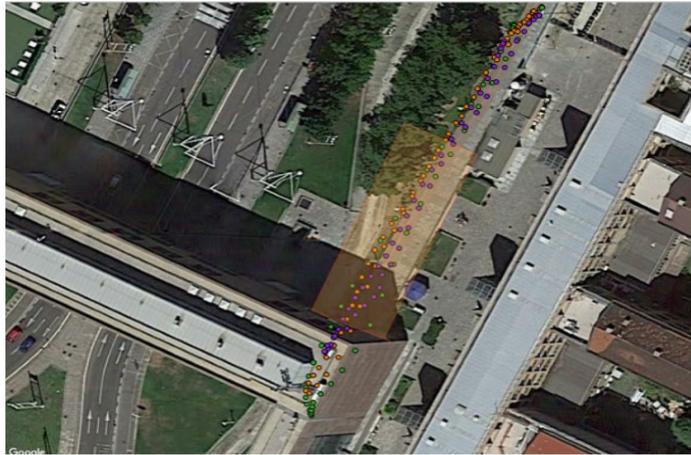
Siccome si conosce la corrispondenza tra posizione e tempo (ad ogni posizione corrisponde un secondo), si è in grado di scartare i dati di posizione che non rappresentano il tracciato inquadrato dalla camera in quota, infatti caricando i valori ottenuti tramite il sito GPSVisualizer su Qgis, si è idealmente tracciato un rettangolo nel quale sono racchiusi tutti i valori da mantenere (Figura 74 e Figura 75) avendo come riferimento i punti fissi visualizzati su Google Satellite ed aprendo la finestra "Attribute Table" si osservano tali dati evidenziati in giallo.



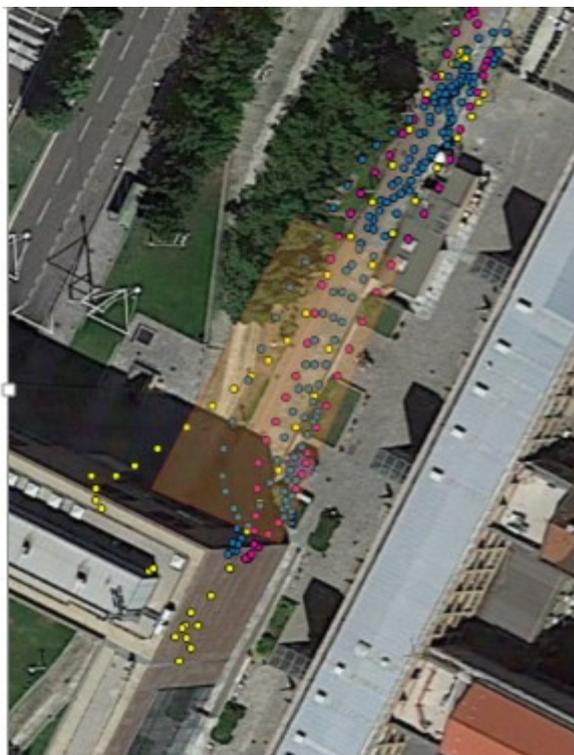
*Figura 72: Punto iniziale di ripresa*



*Figura 73: Punto finale di ripresa*



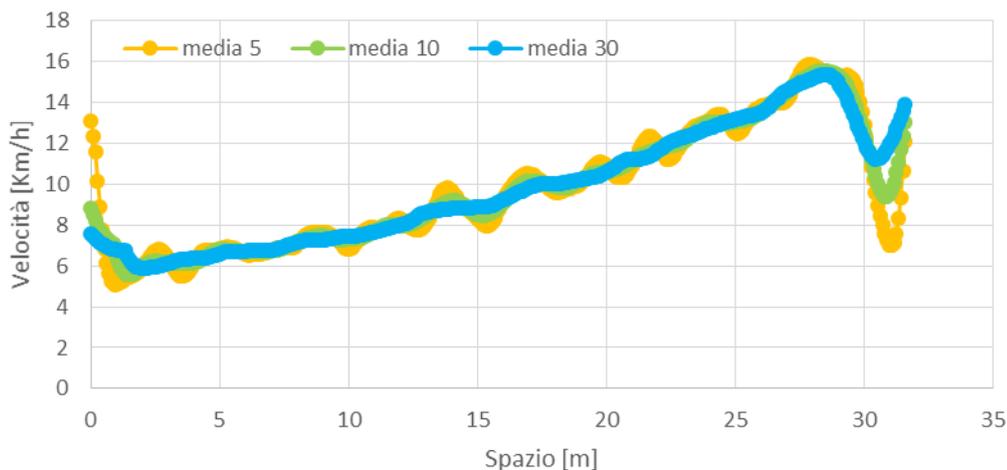
*Figura 74: Schermata Qgis su valori GPS della videocamera*



*Figura 75: Schermata Qgis su valori GPS per App*

Per l'applicazione della metodologia automatica si hanno a disposizione 6 filmati frutto della segmentazione dei video originali (1 filmato di andata ed 1 filmato di ritorno in tre sequenze) e si utilizza lo stesso script precedente (Script\_Finale) isolando le parti di filmato in cui compare il veicolo strumentalizzato per renderlo maggiormente riconoscibile e permettere al software di tracciare unicamente il mezzo in questione o comunque di determinare la posizione di pochi veicoli e quindi di rendere più facile il riconoscimento.

In questo specifico caso la media mobile applicata ha una finestra di 30 valori per renderla confrontabile temporalmente, infatti tutti i dati tratti dal GPS hanno un intervallo di 1 secondo tra uno e l'altro e perciò si applica una finestra di valori pari a circa il frame rate (29,97 fps e quindi ~ 30 fps) al fine di ottenere il valore di velocità istantanea ogni secondo.



*Figura 76: Confronto tra medie mobili da 5, 10 e 30 valori*

In Figura 76 si dimostra come la media mobile con una finestra di 30 valori ben approssima la media mobile con 10 valori utilizzata per lo Studio Definitivo e che quindi qualunque risultato si ottenga dal confronto è possibile applicarlo anche ai risultati ottenuti durante lo studio definitivo, in quanto i valori che si ottengono sono simili o comunque all'interno della tolleranza di qualche Km/h.

Attraverso la procedura manuale, essendo note le distanze tra i chiusini stimate precedentemente e calcolando il tempo impiegato dal mezzo a percorrere tale distanza avvalendosi dell'aiuto del programma Windows Movie Maker, è stato possibile determinare la velocità nelle sezioni avente inizio e fine in un punto fisso (chiusino).

Come si osserva in Figura 77 (ottenuta mediante Qgis), la posizione dei punti rilevati dai satelliti risulta poco accurata avendo i punti traslati verso sinistra di circa 2 m dovuta al fatto che è difficoltoso agganciare più di tre satelliti e rilevarne il segnale data la presenza di un viale alberato e di edifici abbastanza alti. Da un'osservazione più attenta si può sostenere che solo i punti rilevati con il primo tragitto (Garmin\_1) risultano essere molto precisi ed accurati poiché rimangono all'interno del perimetro della pista ciclabile mentre negli altri due rilievi (Garmin\_2 e Garmin\_3) non sono del tutto precisi ponendo il percorso sullo strato erboso dove non è possibile transitare.

L'applicazione che sfrutta il sistema GPS dello smartphone ha agganciato per tutta la durata del rilievo 22 satelliti (Figura 78) e che quindi ciò porti ad ipotizzare una maggiore accuratezza e precisione ma in realtà, come dimostra la Figura 79, i dati risultano poco precisi ed accurati essendo traslati a destra o a sinistra della pista ciclabile.

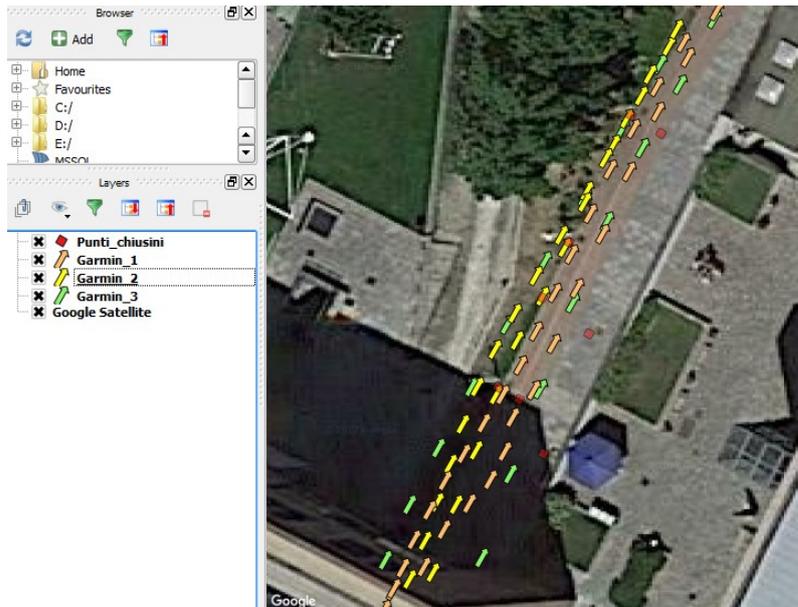


Figura 77: Posizione punti con GPS videocamera su Qgis



Figura 78: Schermata inerente al primo rilievo con tracciamento satelliti attivo

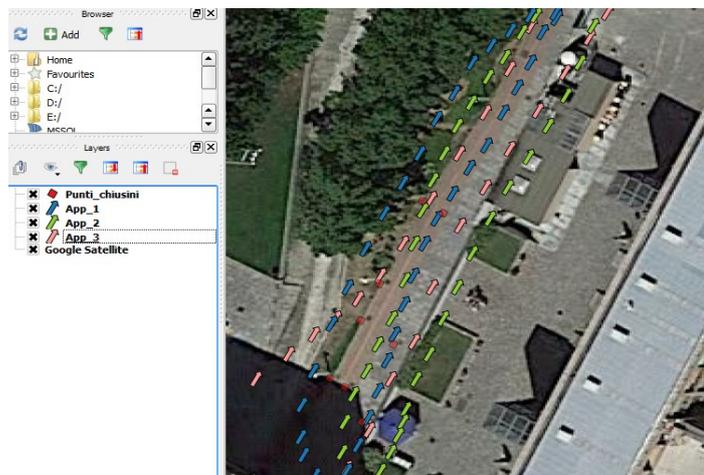


Figura 79: Posizione punti con GPS applicazione smartphone su Qgis

Tenuto conto di queste considerazioni, si procede alla comparazione tra le varie metodologie, nel seguito si presentano i grafici rappresentanti i diagrammi di velocità divisi per numero di rilievo e tipologia di direzione con lo scopo di confrontare le metodologie applicate.

Il primo grafico illustra l'andamento dei risultati nel primo rilievo in andata secondo le metodologie applicate (algoritmo di Matlab, GPS della videocamera Garmin, GPS dell'applicazione su smartphone, procedura manuale) e si può notare come tutte le metodologie seguono circa lo stesso andamento ascendente, sicuramente la procedura manuale restituisce valori con una precisione più approssimata ma si è riscontrato che comunque tali valori si aggirano nell'intorno dei dati ottenuti tramite software, i risultati ottenuti tramite i due GPS hanno lo stesso andamento ma i valori ottenuti tramite il GPS integrato alla videocamera Garmin risultano essere i più elevati (Figura 80).

Nel secondo grafico riferito al primo rilievo al ritorno, si può osservare che i valori ottenuti mediante le quattro procedure hanno un andamento discendente, i dati ottenuti tramite il codice Matlab, GPS integrato alla Camera e la procedura manuale ricadono nello stesso intervallo di velocità massimo di 4 Km/h mentre i risultati ricavati tramite l'applicazione non approssimano al meglio l'andatura nell'intervallo di valori dello spazio da 20 a 25 m (Figura 81).

Il terzo grafico si riferisce al secondo rilievo in andata i cui valori delle quattro procedure ben approssimano l'andamento ascendente e, come nel caso precedente, le differenze di velocità tra le metodologie applicare risultano avere un massimo di circa 6 Km/h (Figura 82).

Il quarto diagramma di velocità, essendo un percorso di ritorno, ha un andamento discendente e, come si può notare, le quattro metodologie risultano avere valori molto simili con una differenza di velocità massima di 2 Km/h (Figura 83).

Il quinto grafico rappresenta il tragitto di andata del terzo rilievo. I risultati risultano essere più sparsi e non approssimano del tutto l'andamento ascendente con una differenza di valori di velocità massima di 10 Km/h. (Figura 84).

Dal sesto diagramma, riferito al tragitto di ritorno del terzo rilievo, emerge il fatto che i dati ottenuti dallo strumento GPS della camera e dell'applicazione non approssimano al meglio l'andamento discendente che caratterizza i dati ottenuti tramite il codice Matlab e la procedura manuale (Figura 85).

Riassumendo, si dimostra che, in generale, i dati ottenuti sono coerenti tra loro poiché hanno tutti lo stesso andamento (ascendente o discendente a seconda che si tratti di una traiettoria di andata o di ritorno) che va al di là dell'accuratezza propria di ciascun dato.

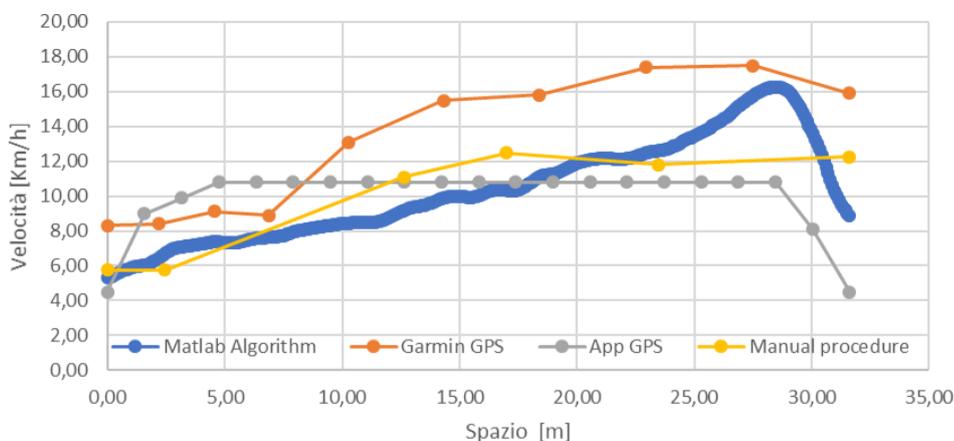


Figura 80: Confronto Primo rilievo in andata (1A)

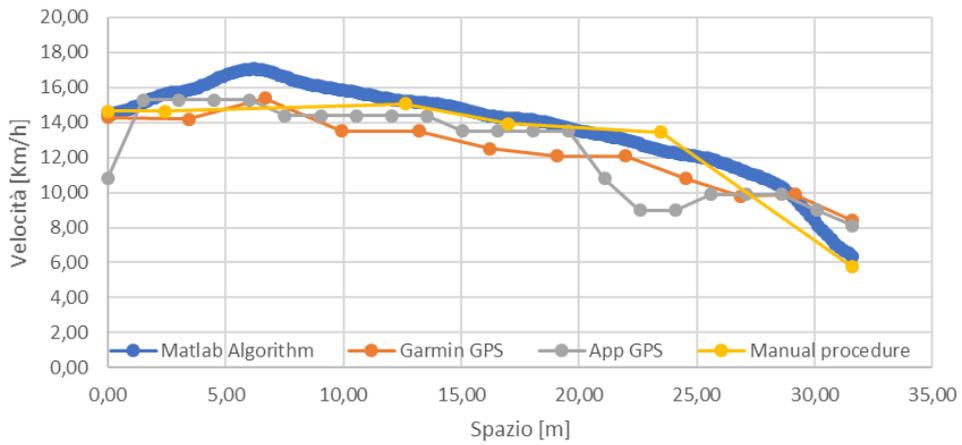


Figura 81: Confronto Primo rilievo al ritorno (1R)

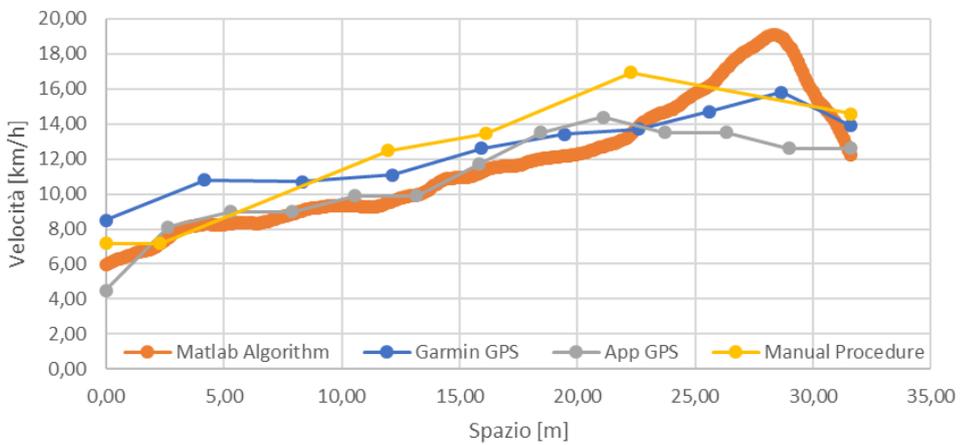


Figura 82: Confronto Secondo rilievo in andata (2A)

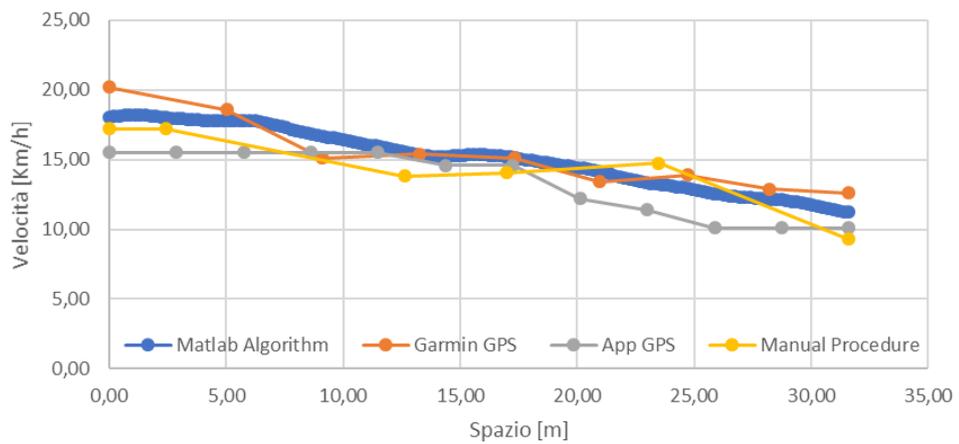
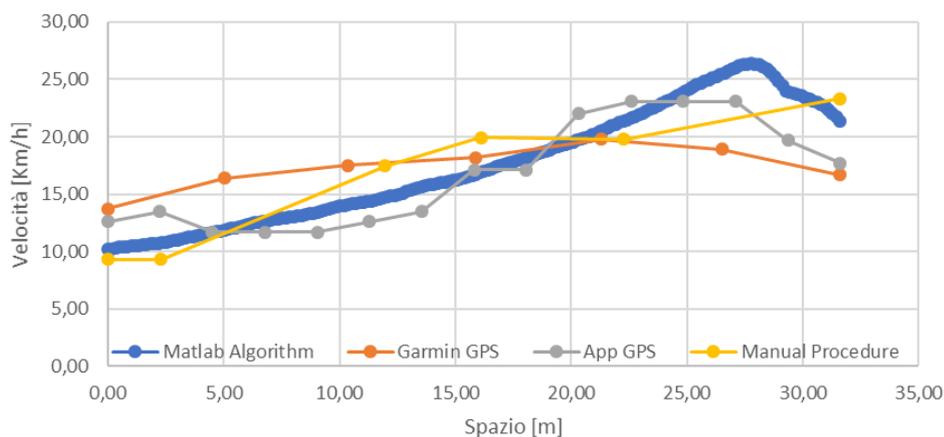
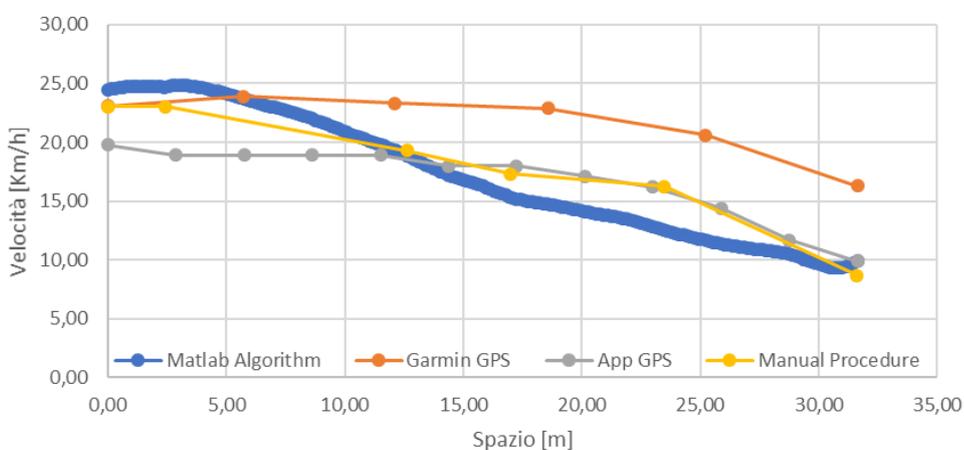


Figura 83: Confronto Secondo rilievo al ritorno (2R)



*Figura 84: Confronto Terzo rilievo in andata (3A)*



*Figura 85: Confronto Terzo rilievo al ritorno (3R)*

Inoltre si confrontano le velocità medie per ogni metodologia per ogni rilievo attraverso la Tabella 15 dove si può osservare che nella maggior parte dei casi il valore massimo è stato ottenuto tramite il GPS della videocamera e che le medie ottenute per uno stesso evento sono simili e perciò si può dedurre che la tecnica automatizzata tramite software è un valido sostituto delle metodologie tradizionalmente utilizzate approssimando al meglio i reali risultati.

Riassumendo, dai risultati ottenuti sia a livello grafico che a livello matematico, si può sostenere che i dati ben descrivono il fenomeno osservato e che tutte le metodologie, sotto il profilo dell'accuratezza e della precisione, possono essere applicate indistintamente nel limite della tolleranza di ogni metodo.

Tabella 15: Confronto tra metodologie per la validazione dati

Percorso	Metodo	MEDIA
1A	MATLAB	10,32
1A	GARMIN	12,99
1A	APP	9,94
1A	MANUALE	9,85
1R	MATLAB	13,81
1R	GARMIN	12,21
1R	APP	12,44
1R	MANUALE	12,91
2A	MATLAB	11,63
2A	GARMIN	12,62
2A	APP	10,94
2A	MANUALE	11,96
2R	MATLAB	15,11
2R	GARMIN	15,24
2R	APP	13,38
2R	MANUALE	14,39
3A	MATLAB	17,52
3A	GARMIN	17,31
3A	APP	16,68
3A	MANUALE	16,52
3R	MATLAB	17,14
3R	GARMIN	21,68
3R	APP	16,73
3R	MANUALE	17,93

### Terzo confronto

La terza verifica si effettua un'ulteriore verifica con lo scopo di esaminare come la metodologia automatica modifichi, di volta in volta, la dimensione dell'oggetto in movimento e quindi la grandezza dell'area composta da pixel in bianco a seconda dell'andamento prospettico.

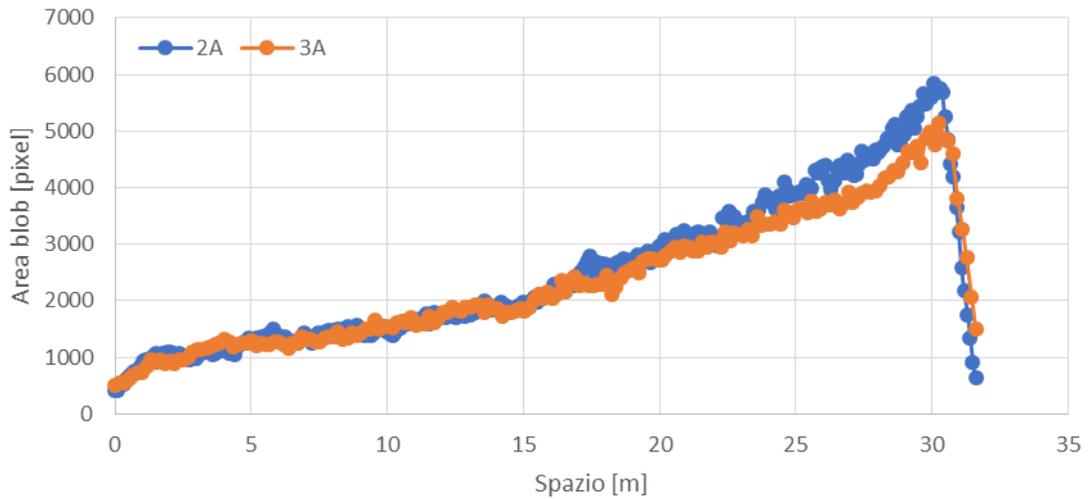
Per questo scopo si aggiunge la variabile "area\_mat" che contiene al suo interno un vettore dei valori dell'area per ogni blob che compare in ogni singolo fotogramma e come output viene restituita una matrice dove nella prima colonna vi sono i valori in pixel dell'area di ogni blob per ogni frame mentre la seconda e la terza colonna sono riportate le coordinate dei centri di massa. L'intero codice è riportato in allegato B nella sezione "B5 Codice per ricavare le aree dei blob".

```

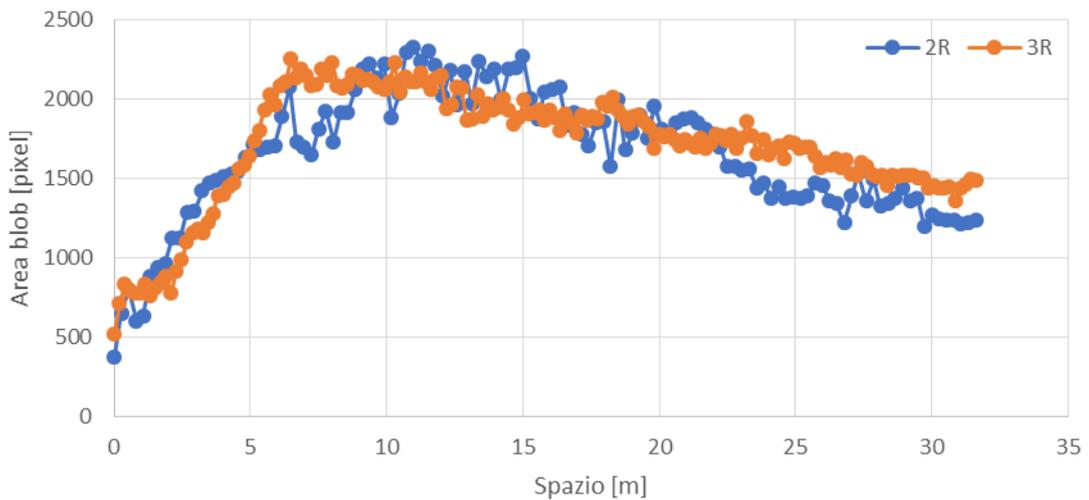
if isempty(AREA)==0
    area_mat(conta_area,1:3)=[AREA,
centroids(1,1), centroids(1,2)];
    conta_area=conta_area+1;
end

```

In Figura 86 è rappresentato l'andamento del valore dell'area in funzione della distanza, come si può notare come nei primi metri l'area è molto ridotta poiché il ciclista non è ancora del tutto comparso nell'inquadratura, per poi avere un picco a circa 30 m quando il ciclista risulta essere quasi perpendicolare alla camera fino a diminuire la propria dimensione in quanto l'entità sta per uscire dall'inquadratura, mentre in Figura 87 è invece rappresentato l'andamento dell'area del blob al ritorno, in cui, dopo la comparsa del blob, si ha un picco a circa 5 m che corrisponde alla perpendicolarità del ciclista con la videocamera per poi mantenere un andamento pressoché costante.



*Figura 86: Andamento blob area in Andata*



*Figura 87: Andamento blob area in Ritorno*

## 4 APPLICAZIONE

La tecnica di acquisizione dei dati è stata applicata ad un caso studio specifico, con lo scopo di:

- valutare la stabilità del sistema di acquisizione nel restituire dati in diverse condizioni ambientali;
- valutare il tempo di elaborazione dei dati da parte del codice;
- analizzare le più ricorrenti distribuzioni statistiche di probabilità che caratterizzano i dati di velocità della mobilità ciclabile in una determinata sezione di analisi.

Il codice riportato in allegato B3 è stato applicato a tutti i video prodotti durante le giornate di rilievo effettuate durante lo studio definitivo (paragrafo 2.5) seguendo gli orari precedentemente elencati per un complessivo totale di 22 ore di riprese.

Come già delineato nel paragrafo 3.2 operando il primo confronto tra metodologie, il metodo automatico risulta essere robusto e stabile poiché ben approssima i valori di velocità operative nelle diverse condizioni ambientali, in quanto sia in condizioni di luce solare che provocano una conseguente proiezione dell'ombra al suolo, un aumento dell'area che racchiude un blob e uno spostamento dell'ombra dovuto al movimento dell'oggetto, sia in condizioni di luce diffusa, senza l'ingrandimento del blob, i valori sono del tutto simili tra loro.

I tempi di elaborazione dei dati dipendono molto dalla potenza del processore e dalla capienza della memoria interna ma si può valutare il tempo che impiega l'intero processo grazie al comando "tic...toc" inserito nel codice, in generale il software impiega circa 20 minuti per svolgere l'operazione descritta nella prima funzione (Video) per filmati di durata massima di 1 ora, mentre per quanto riguarda la seconda funzione il programma impiega lo stesso tempo di durata del video in quanto il software traccia simultaneamente i blob dal momento in cui compaiono nell'inquadratura, invece l'ultima funzione si effettua in circa 10 minuti indistintamente dalla durata del video e dalla matrice contenente i valori dei centroidi.

Riassumendo per un video di durata di circa 1 ora, la metodologia impiega 1,30 h nell'acquisizione ed elaborazione delle immagini e dei dati senza alcuna necessità di operare manualmente.

L'analisi statistica dei dati si può effettuare al termine del processo quando il programma restituisce i valori della matrice contenente i dati di velocità medie ed errori di deviazione standard, l'istogramma nel quale è presente la velocità media di ogni ciclista tracciato correttamente con in cima alle colonne le barre di errore di deviazione standard e i grafici di funzione di distribuzione cumulativa delle distribuzioni Normale e Log-Normale (output grafici riportati in allegato A nella sezione "A6 Output grafici del codice Script\_Finale")

Come si può dedurre dai dati in allegato A nella sezione "A5 Raccolta dati Studio Definitivo", in tutte le quattro giornate di rilievo, i valori di velocità medie risultano essere abbastanza omogenei mentre i valori di velocità massima si registrano nella fascia oraria pomeridiana con un valore maggiore in assoluto di circa 27 Km/h ed appare ovvio che la velocità minima è di circa 5 Km/h avendola assunta come ipotesi iniziale.

Nella medesima tabella sono presenti i valori massimo, minimo e medio degli errori di deviazione standard oltre che alle caratteristiche ambientali (Temperatura media) ricavate dalla stazione meteorologica situata a Torino.

Successivamente si riportano le tabelle indicanti il numero di ciclisti rilevati, le temperature medie in quanto si possono correlare, come spiegato nel paragrafo 3.2, i dati di frequenza e le caratteristiche ambientali ed i risultati ottenuti dal test di Kolmogorov-Smirnov.

Nella prima giornata (Tabella 16) sono stati rilevati 1029 ciclisti le cui velocità medie seguono circa l'80% una distribuzione Normale mentre solo il 40% segue una distribuzione Log-Normale, nella seconda giornata (Tabella 17) sono stati tracciati 1149 ciclisti e la serie di dati segue per il 77,78% una distribuzione Normale mentre un 22,22% segue una distribuzione Log-Normale, nella terza giornata sono stati tracciati 879 ciclisti i cui risultati di velocità seguono per il 77,78% una distribuzione Normale mentre un 33,33% seguono una distribuzione Log-Normale, infine nella quarta giornata sono stati rilevati 1047 ciclisti con la stessa percentuale di distribuzione della seconda giornata.

*Tabella 16: Caratteristiche di distribuzione 16/05/2017*

Martedì 16/05/2017				
Orario	Numero di ciclisti	Temperatura media [°C]	Distribuzione Normale	Distribuzione Log-Normale
7,45-8,15	33	19,73	SI	SI
8,57-9,17	33	21,32	SI	SI
9,22-9,32	20	21,63	SI	SI
10,14-11,14	155	23,27	SI	NO
11,55-12,23	59	23,70	SI	NO
13,41-14,11	31	24,76	SI	SI
14,46-15,39	102	26,00	NO	NO
16,23-16,53	81	26,33	SI	NO
17,24-17,55	343	26,10	NO	NO
18,31-19,01	172	25,81	SI	NO
Tot ciclisti	1029	/	80,00%	40,00%

*Tabella 17: Caratteristiche di distribuzione 18/05/2017*

Giovedì 18/05/2017				
Orario	Numero di ciclisti	Temperatura media [°C]	Distribuzione Normale	Distribuzione Log-Normale
7,45-8,15	267	21,36	SI	NO
9,00-9,30	177	22,31	NO	NO
10,15-11,15	103	23,02	NO	NO
11,59-12,29	128	23,14	SI	NO
13,31-14,01	85	23,64	SI	SI
14,45-15,45	113	23,51	SI	NO
16,16-16,28	28	23,28	SI	SI
17,24-17,54	136	23,14	SI	NO
18,25-18,55	112	22,67	SI	NO
Tot ciclisti	1149	/	77,78%	22,22%

**Tabella 18: Caratteristiche di distribuzione 23/05/2017**

Martedì 23/05/2017				
Orario	Numero di ciclisti	Temperatura media [°C]	Distribuzione Normale	Distribuzione Log-Normale
7,45-8,15	100	21,29	SI	NO
8,57-9,29	120	22,98	NO	NO
10,15-11,17	80	25,11	SI	NO
11,53-12,25	83	26,47	SI	SI
13,31-14,01	107	27,77	SI	NO
14,45-15,45	106	28,56	NO	SI
16,15-16,45	103	29,05	SI	NO
17,26-17,57	36	29,09	SI	SI
18,25-18,55	144	29,30	SI	NO
Tot ciclisti	879	/	77,78%	33,33%

**Tabella 19: Caratteristiche di distribuzione 25/05/2017**

Giovedì 25/05/2017				
Orario	Numero di ciclisti	Temperatura media [°C]	Distribuzione Normale	Distribuzione Log-Normale
7,46-8,16	104	22,16	SI	NO
8,57-9,28	94	22,07	SI	NO
10,16-11,16	150	23,71	NO	NO
11,59-12,30	97	24,61	SI	SI
13,29-14,01	102	25,90	SI	SI
14,46-15,46	149	26,22	SI	NO
16,16-16,46	116	26,77	NO	NO
17,30-18,00	107	26,23	SI	NO
18,27-18,57	128	26,14	SI	NO
Tot ciclisti	1047	/	77,78%	22,22%

In generale si può evidenziare che il numero maggiore di ciclisti è stato registrato durante la fascia oraria tra le 16.00 e le 19.00 pur osservando che le temperature medie risultano essere le più elevate e che la maggior parte dei dati segue una Distribuzione Normale (circa 80 %) in tutte e quattro le giornate di rilievo.

## 5 CONCLUSIONI

Lo studio presentato in questo elaborato ha riguardato la messa a punto di uno strumento di acquisizione delle velocità operative dei ciclisti su piste ciclabili in ambito urbano. Lo strumento si basa sulla tecnica di analisi delle immagini; il codice elaborato per l'acquisizione è stato scritto in linguaggio MATLAB e stima le velocità operative.

L'indagine sperimentale è stata suddivisa, per gli scopi cui lo studio s'indirizza, in quattro fasi fondamentali:

- la prima si focalizza sul confronto tra metodi di rilevamento delle velocità operative, scegliendo il più accurato e preciso;
- la seconda fase propone la messa a punto di uno specifico sistema di rilevamento non invasivo della sede ciclabile,
- la terza fase prevede l'esecuzione di una campagna di rilievi lungo uno specifico tratto di pista ciclabile scelto secondo considerazioni di frequenza degli utenti che abitualmente usufruiscono della rete ciclabile e per valutare quali fossero gli effetti condizionanti la veridicità sui dati velocità ottenuti;
- la quarta fase si basa sull'analisi del codice, descrivendone gli algoritmi al suo interno ed affrontando tutti gli aspetti critici incontrati e le soluzioni adottate.

In particolare la prima fase ha riguardato un'approfondita indagine sperimentale (Studio Pilota #1) nella quale sono state applicate alcune tecniche largamente impiegate come indicato in letteratura. In questa fase è stata misurata la precisione e l'accuratezza dei dati post-elaborati ed il tempo impiegato nell'attuare il rilievo, nell'acquisizione e nell'elaborazione dei dati.

Dai profili di velocità costruiti con i risultati ottenuti dalle cinque metodologie prese in considerazione è emerso che il raddrizzamento analitico ben approssima i valori di velocità operative per oggetti vicini all'osservatore per via della miglior qualità dei pixel, la tecnica della triangolazione restituisce valori abbastanza precisi con una differenza di valori rispetto alla prima metodologia di  $\pm 0,5$  Km/h invece i risultati di velocità ottenuti grazie al sistema che sfrutta il riflesso del raggio laser sulle superfici (distanziometro a onde) sono accurati solo per distanze prossime all'osservatore con tolleranza di  $\pm 0,2$  Km/h per sezioni vicine all'operatore e di  $\pm 4$  Km/h per le sezioni più lontane mentre i dati rilevati mediante il sistema di rilevamento di posizione satellitare presentano una precisione del tutto insufficiente in quanto i risultati propongono un andamento lineare in generale traslato verso il basso dei diagrammi di velocità riportati nel paragrafo 2.3 con una differenza rispetto agli altri dati di circa  $2 \div 5$  Km/h.

È apparso chiaro che la metodologia che meglio soddisfa gli obiettivi prefissati è quella di analisi delle immagini, che è stata successivamente sviluppata con la costruzione del codice in ambiente Matlab. Il metodo richiede tempi più brevi per l'elaborazione; la videocamera di acquisizione può essere opportunamente nascosta per non influenzare il comportamento dei ciclisti. Nella seconda fase della ricerca (Studio Pilota #2) è stata valutata quale dovesse essere l'altezza minima dove posizionare la videocamera in modo da evitare errori dovute ad oscillazioni o dal mancato tracciamento causato dalla presenza delle zone in ombra. Dall'analisi risulta che la sufficiente rigidità dell'asta impiegata consente di innalzare a circa 9 m la telecamera, è ciò consente di limitare gli errori prospettici riscontrati nella precedente fase.

Dopo aver identificato in prima analisi le caratteristiche che la metodologia deve presentare, secondo quanto chiarito in precedenza, sono state condotte, durante la terza fase quattro giornate di rilievo, per un totale di 22 ore di riprese, in differenti condizioni ambientali e in diverse fasce orarie. Successivamente, i sono stati elaborati per il tramite del codice Matlab, cosa che ha permesso anche di valutare e modificare il codice stesso per escludere errori e banchi.

I fotogrammi, dopo essere stati estratti dal video, sono raddrizzati per eliminare le distorsioni prospettiche (raddrizzamento attraverso i parametri di calibrazione), ritagliati al fine di eliminare intrusioni di veicoli e pedoni (taglio laterale dei frame). A valle di tutto ciò, è necessario tener conto delle possibili approssimazioni dovute a fattori dipendenti dal processore e dalla velocità di acquisizione ed elaborazione del software; allo scopo, il rumore presente nei dati è stato eliminato servendosi di procedure di “lisciamento” e giungendo così ad un profilo continuo dei valori di velocità.

Esaminando i risultati ottenuti dopo l'intero processo di elaborazione dati nelle 22 ore di filmati prodotti si possono sviluppare alcune considerazioni riguardo ai 4104 ciclisti rilevati durante la campagna di rilevamento nello studio definitivo: dalle tabelle illustrate nel capitolo 4 e nell'allegato A5 si può dedurre che le velocità minime si aggirano nell'intorno dei 5 Km/h in quanto assunto come ipotesi iniziale mentre le velocità massime hanno un minimo di circa 15 Km/h ed un massimo di 27 Km/h, invece le velocità operative medie per ogni ciclista rilevato, non si discostano dall'intervallo di valori di  $7 \div 14$  Km/h, inoltre per caratterizzare la qualità del risultato restituito dal codice, si è associato un grado d'incertezza (errore di deviazione standard) di cui sono affette le variabili di velocità; si osserva che i valori presentano un errore massimo circa uguale a 1,5 in tutte le fasce orarie e per tutte le giornate di rilievo mentre l'errore minimo ricade in un intervallo di valori di  $0,1 \div 0,5$  con un errore medio che si aggira intorno all'unità.

I dati processati dal codice sono stati in seguito validati, ovvero sono state condotte altre campagne di rilevamento. La procedura ha confermato le ipotesi iniziali riguardo alla metodologia automatizzata in quanto tale tecnica ha restituito dati di velocità del tutto simili.

Oltre a ciò, si effettua una verifica sulla serie di dati ottenuta utilizzando il test di Kolmogorov-Smirnov per accertarsi se i risultati ottenuti seguono una distribuzione Normale oppure, apportando qualche cambiamento al test in questione, una distribuzione Log-Normale come riportato nei maggiori casi studio in letteratura. Dagli esiti ricavati dai test è evidente che la maggior parte dei dati risulta essere approssimata da una distribuzione Normale (circa 80%).

Il codice sviluppato in ambiente Matlab può dunque essere impiegato per l'analisi di traiettorie e velocità su piste ciclabili. Un possibile sviluppo futuro prevede l'utilizzo di filmati raccolti da videocamere di videosorveglianza lungo le vie delle città che riprendono in continuo con lo scopo di creare un *database* di velocità e di frequenza dei dati sulla mobilità ciclistica. L'interesse futuro della ricerca si rivolge anche all'aggiunta, nel codice, di nuove informazioni riguardanti la direzione dei ciclisti (segno convenzionale per caratterizzare un tragitto di andata e ritorno) oppure la caratterizzazione del mezzo (bicicletta ordinaria o bicicletta elettrica).

## BIBLIOGRAFIA

- 1 Approfondimento sull'uso della bicicletta e del servizio di bike sharing a Torino - Analisi dei dati di fonte IMQ 2013 e dei dati di fonte [TO]BIKE - VERSIONE: 1.1 - DATA: 10-06-2016" dell'AMP (Agenzia Mobilità Piemontese)
- 2 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.
- 3 Bernardin, K., & Stiefelhagen, R. (2008). Evaluating multiple object tracking performance: the CLEAR MOT metrics. *EURASIP Journal on Image and Video Processing*, 2008(1), 246309.
- 4 Blob detection
- 5 Caratteristiche funzionali della videocamera Garmin
- 6 Cherry, C. R., & He, M. (2009). Alternative methods of measuring operating speed of electric and traditional bikes in China-implications for travel demand models. In *Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies Vol. 7 (The 8th International Conference of Eastern Asia Society for Transportation Studies, 2009)* (pp. 246-246). Eastern Asia Society for Transportation Studies.
- 7 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.
- 8 Comando media mobile di Matlab
- 9 Comando per aprire l'applicazione per maneggiare le immagini
- 10 Comando per il taglio delle immagini
- 11 Comando per inserire dati da tastiera
- 12 Comando per la costruzione di grafici ad istogramma: [https://it.mathworks.com/help/matlab/ref/histogram.html#buhzm\\_z-7](https://it.mathworks.com/help/matlab/ref/histogram.html#buhzm_z-7)
- 13 Comando per la creazione della linea che visualizza le barre di errore: <https://it.mathworks.com/help/matlab/ref/errorbar.html>
- 14 Comando per ordinare sequenzialmente (ordine crescente) un vettore di dati: <https://it.mathworks.com/help/matlab/ref/sortrows.html>
- 15 Creare video da immagini separate
- 16 Definizione del filtro di Kalman
- 17 Dey, P. P., Chandra, S., & Gangopadhaya, S. (2006). Speed distribution curves under mixed traffic conditions. *Journal of transportation engineering*, 132(6), 475-481.

- 18 Dill, J., & Gliebe, J. (2008). Understanding and measuring bicycling behavior: A focus on travel time and route choice. OTREC (Oregon Transportation Research and Education Consortium), Final Report, OTREC-RR-08-03, December 2008.
- 19 Elementi di teoria degli errori. Corso di Esperimentazioni di Fisica I, Università di Padova
- 20 Heikkilä, J., & Silvén, O. (2004). A real-time system for monitoring of cyclists and pedestrians. *Image and Vision Computing*, 22(7), 563-570.
- 21 [http://mtm.torino.it/it/dati-statistiche/bicicletta/report\\_tobike\\_imq2013.pdf](http://mtm.torino.it/it/dati-statistiche/bicicletta/report_tobike_imq2013.pdf)
- 22 [http://www.ansa.it/sito/notizie/economia/2017/12/21/delrio-148-mln-per-mobilita-bici\\_4c06c335-2b0f-44df-82a9-52bd51c84947.html](http://www.ansa.it/sito/notizie/economia/2017/12/21/delrio-148-mln-per-mobilita-bici_4c06c335-2b0f-44df-82a9-52bd51c84947.html)
- 23 [http://www.centrointerregionale-gis.it/CONVERGO/Manuale\\_ConveRgo.pdf](http://www.centrointerregionale-gis.it/CONVERGO/Manuale_ConveRgo.pdf)
- 24 <http://www.lestradedellinformazione.it/site/home/rubriche/le-strade-della-mobilita/articolo19628.html>
- 25 <http://www.mit.gov.it/comunicazione/news/conto-nazionale-2015-16>
- 26 <http://www.zetalab.it/prodotto/rilevatore-di-velocita-speed-gun-plus/>
- 27 <https://buy.garmin.com/it-IT/IT/p/119594#overview>
- 28 <https://it.mathworks.com/discovery/filtro-kalman.html>
- 29 <https://it.mathworks.com/help/images/interact-with-images-using-image-viewer-app.html#10-59907>
- 30 <https://it.mathworks.com/help/images/ref/imcrop.html>
- 31 [https://it.mathworks.com/help/matlab/matlab\\_prog/nested-funziones.html](https://it.mathworks.com/help/matlab/matlab_prog/nested-funziones.html)
- 32 <https://it.mathworks.com/help/matlab/ref/input.html>
- 33 <https://it.mathworks.com/help/matlab/ref/movmean.html>
- 34 <https://it.mathworks.com/help/matlab/ref/questdlg.html>
- 35 <https://it.mathworks.com/help/matlab/ref/uiigetfile.html>
- 36 <https://it.mathworks.com/help/matlab/ref/videowriter.html#busy5fx-2>
- 37 <https://it.mathworks.com/help/vision/examples/motion-based-multiple-object-tracking.html>
- 38 [https://it.wikipedia.org/wiki/Propagazione\\_degli\\_errori](https://it.wikipedia.org/wiki/Propagazione_degli_errori)
- 39 Ismail, K., Sayed, T., Saunier, N., & Lim, C. (2009). Automated analysis of pedestrian-vehicle conflicts using video data. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (2140), 44-54.
- 40 Jun, J., Guensler, R., & Ogle, J. (2006). Smoothing methods to minimize impact of global positioning system random error on travel distance, speed, and acceleration profile estimates. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (1972), 141-150.
- 41 Jun, J., Guensler, R., & Ogle, J. (2006). Smoothing methods to minimize impact of global positioning system random error on travel distance, speed, and acceleration profile estimates. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (1972), 141-150.
- 42 Lin, S., He, M., Tan, Y., & He, M. (2008). Comparison study on operating speeds of electric bicycles and bicycles: experience from field investigation in Kunming, China. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (2048), 52-59.
- 43 Ling, H., & Wu, J. (2004). A study on cyclist behavior at signalized intersections. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 5(4), 293-299.
- 44 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.

- 45 Manuale del software ConveRgo
- 46 Manuale del software RDF
- 47 Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, Direzione Generale per i Sistemi Informativi e Statistici, UFFICIO DI STATISTICA, Sistema Statistico Nazionale, Dipartimento per le Infrastrutture, i Sistemi Informativi e Statistici, Conto Nazionale delle Infrastrutture e dei Trasporti, Anni 2015-2016.
- 48 Parkin, J., & Rotheram, J. (2010). Design speeds and acceleration characteristics of bicycle traffic for use in planning, design and appraisal. *Transport Policy*, 17(5), 335-341.
- 49 Ponte, G., Szpak, Z. L., Woolley, J. E., & Searson, D. J. (2014, November). Using specialised cyclist detection software to count cyclists and determine cyclist travel speed from video. In Australasian Road Safety Research Policing Education Conference.
- 50 Procedimento per ottenere il valore dell'area su ciascun blob:  
<https://it.mathworks.com/help/control/ref/step.html>
- 51 Propagazione degli errori:
- 52 Schleinitz, K., Petzoldt, T., Franke-Bartholdt, L., Krems, J., & Gehlert, T. (2017). The German Naturalistic Cycling Study—Comparing cycling speed of riders of different e-bikes and conventional bicycles. *Safety science*, 92, 290-297.
- 53 Sito con il quale è possibile caricare il video originale:
- 54 Sito con la spiegazione del procedimento per la calibrazione della videocamera:  
<https://it.mathworks.com/help/vision/ug/single-camera-calibrator-app.html>
- 55 Sito con la spiegazione delle funzioni annidate:
- 56 Sito dove reperire l'intero percorso della pista ciclabile in esame e sue caratteristiche:  
<https://www.piste-ciclabili.com/itinerari/889-torino-stazione-porta-susa-stazione-lingotto>
- 57 Sito GPSVisualizer per ricavare le velocità partendo da un file gpx:  
[http://www.gpsvisualizer.com/convert\\_input](http://www.gpsvisualizer.com/convert_input)
- 58 Sito per introdurre la finestra di dialogo nell'interfaccia utente:
- 59 Sito per l'applicazione del filtro in modo da eliminare i picchi nel diagramma di velocità.  
<https://it.mathworks.com/help/matlab/ref/filloutliers.html>
- 60 Sito per l'eliminazione delle oscillazioni nel diagramma di velocità:  
<https://it.mathworks.com/help/curvefit/smoothing-data.html>
- 61 Sript di Matlab per la verifica distribuzione Normale (test Kolmogorv-Smirnov o KS test):  
<https://it.mathworks.com/help/stats/kstest.html>
- 62 Thompson, D. C., Rebolledo, V., Thompson, R. S., Kaufman, A., & Rivara, F. P. (1997). Bike speed measurements in a recreational population: validity of self reported speed. *Injury Prevention*, 3(1), 43-45.
- 63 Xu, C., Li, Q., Qu, Z., & Tao, P. (2015). Modeling of speed distribution for mixed bicycle traffic flow. *Advances in mechanical engineering*, 7(11), 1687814015616918.
- 64 Zaki, M., Sayed, T., & Cheung, A. (2013). Computer vision techniques for the automated collection of cyclist data. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (2387), 10-19.
- 65 Zhang, S., Ren, G., & Yang, R. (2013). Simulation model of speed–density characteristics for mixed bicycle flow—comparison between cellular automata model and gas dynamics model. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 392(20), 5110-5118.
- 66 Zhao, D., Wang, W., Li, C., Li, Z., Fu, P., & Hu, X. (2013). Modeling of passing events in mixed bicycle traffic with cellular automata. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (2387), 26-34.

# GLOSSARIO

## **Blob**

“Macchia di colore” che si differenzia dallo sfondo per luminosità e tonalità di colore.

## **Blob Detection**

In computer vision, il Rilevamento Blob (in inglese: Blob detection) o riconoscimento di regioni è una tecnica che ha come obiettivo quello di rilevare punti e/o regioni in una immagine che differisce in proprietà come luminosità o colore comparata con l'ambiente. (Da Wikipedia).

## **Centroide o Centro di massa**

Altrimenti detto anche baricentro, è il punto centrale di una data figura equidistante da ogni punto che compone il perimetro.

## **Fotopiano**

Immagine composta da fotografie che hanno subito un trattamento dal punto di vista geometrico per poter diventare delle proiezioni ortogonali ad una determinata scala ed essere perciò direttamente misurabili. (Da Manuale RDF)

## **Frame**

Sinonimo di fotogramma ovvero ciascuna singola immagine che compone un video.

## **Frame rate**

Definito anche Frequenza dei fotogrammi, Caratteristica fondamentale della videocamera che determina il numero di fotogrammi che si susseguono in un secondo (frame/sec oppure fps = frame per second).

## **Media mobile**

Procedimento di stima che restituisce un valore frutto del calcolo di una finestra mobile scorrevole di un valore e che porta alla definizione di n-k+1 valori medi (con n = numero di epoche, k = ampiezza dell'intervallo da mediare).

## **Sistema GPS** (Global Positioning System)

Sistema di posizionamento satellitare che determina la posizione di oggetti restituendone le coordinate grazie alla triangolazione di due o più satelliti.

## **Test di Kolmogorv-Smirnov**

Il test di Kolmogorov e Smirnov è un metodo di analisi statistica che permette di confrontare tra loro un campione di dati ed una distribuzione teorica (oppure due campioni di dati) allo scopo di verificare l'ipotesi statistica che la popolazione da cui i dati provengono sia quella in esame (oppure l'ipotesi che entrambi i campioni provengano dalla stessa popolazione). (Da “Teoria degli Errori e Fondamenti di Statistica, Introduzione alla Fisica Sperimentale” di Maurizio Loreti, Dipartimento di Fisica Università degli Studi di Padova).

## **Velocità istantanea**

Velocità in un determinato istante di tempo, più precisamente è il valore limite del rapporto spazio/tempo quando l'incremento temporale è tendente a zero, oppure si può descrivere come la derivata dello spazio in funzione del tempo:

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{ds}{dt}$$

# ALLEGATI

## A. TABELLE COORDINATE E RISULTATI

### A1. DATI DI POSIZIONE ATTRAVERSO SISTEMA GPS (SEZIONE 2.3 PAG. 14)

Si riporta di seguito parte dei dati scaricati dallo strumento GPS divisi per la bici cargo e per la bici ordinaria, i dati convertiti tramite il software ConveRgo (Easting, Northing, Ellip) e le velocità convertite in Km/h ( $V[Km/h] = v[m/s] \cdot 3,6$ )

- BICICLETTA CARGO

Index [-]	GPS Date [-]	GPS time [h:m:s]	Lat [°]	Lon [°]	Alt (HAE) [m]	Easting [m]	Northing [m]	Ellip. Hgt [m]	Odometer Ground distance [m]	Velocità [m/s]	Velocità [Km/h]
0	12/05/2016	14:28:22	45,06	7,67	293,7	394951,026	4990732,785	293,7	0	0,02	0,072
1	12/05/2016	14:28:23	45,06	7,67	293,8	394951,026	4990732,785	293,8	0	0,02	0,072
2	12/05/2016	14:28:24	45,06	7,67	293,8	394951,028	4990732,896	293,8	0	0,02	0,072
3	12/05/2016	14:28:25	45,06	7,67	293,8	394951,028	4990732,896	293,8	0	0,02	0,072
4	12/05/2016	14:28:26	45,06	7,67	293,9	394951,106	4990732,895	293,9	0	0,02	0,072
5	12/05/2016	14:28:27	45,06	7,67	293,9	394951,108	4990733,006	293,9	0	0,02	0,072
6	12/05/2016	14:28:28	45,06	7,67	293,9	394951,108	4990733,006	293,9	0	0,02	0,072
7	12/05/2016	14:28:29	45,06	7,67	294	394951,108	4990733,006	294	0	0,02	0,072
8	12/05/2016	14:28:30	45,06	7,67	294	394951,11	4990733,117	294	0	0,02	0,072
9	12/05/2016	14:28:31	45,06	7,67	294,1	394951,189	4990733,116	294,1	0	0,02	0,072
10	12/05/2016	14:28:32	45,06	7,67	294,2	394951,189	4990733,116	294,2	0	0,02	0,072
11	12/05/2016	14:28:33	45,06	7,67	294,3	394951,191	4990733,227	294,3	0	0,02	0,072
12	12/05/2016	14:28:34	45,06	7,67	294,4	394951,191	4990733,227	294,4	0	0,02	0,072
13	12/05/2016	14:28:35	45,06	7,67	294,6	394951,191	4990733,227	294,6	0	0,02	0,072
14	12/05/2016	14:28:36	45,06	7,67	294,7	394951,191	4990733,227	294,7	0	0,02	0,072
15	12/05/2016	14:28:37	45,06	7,67	294,8	394951,269	4990733,225	294,8	0	0,02	0,072
16	12/05/2016	14:28:38	45,06	7,67	294,9	394951,269	4990733,225	294,9	0	0,02	0,072
17	12/05/2016	14:28:39	45,06	7,67	294,9	394951,269	4990733,225	294,9	0	0,02	0,072
18	12/05/2016	14:28:40	45,06	7,67	295	394951,269	4990733,225	295	0	0,02	0,072
19	12/05/2016	14:28:41	45,06	7,67	295	394951,269	4990733,225	295	0	0,02	0,072
20	12/05/2016	14:28:42	45,06	7,67	295,1	394951,269	4990733,225	295,1	0	0,02	0,072
21	12/05/2016	14:28:43	45,06	7,67	295,1	394951,191	4990733,227	295,1	0	0,02	0,072
22	12/05/2016	14:28:44	45,06	7,67	295,2	394951,192	4990733,338	295,2	0	0,02	0,072
23	12/05/2016	14:28:45	45,06	7,67	295,2	394951,192	4990733,338	295,2	0	0,02	0,072
24	12/05/2016	14:28:46	45,06	7,67	295,3	394951,271	4990733,337	295,3	0	0,02	0,072
25	12/05/2016	14:28:47	45,06	7,67	295,4	394951,273	4990733,448	295,4	0	0,02	0,072
26	12/05/2016	14:28:48	45,06	7,67	295,5	394951,273	4990733,448	295,5	0	0,02	0,072
27	12/05/2016	14:28:49	45,06	7,67	295,6	394951,273	4990733,448	295,6	0	0,02	0,072
28	12/05/2016	14:28:50	45,06	7,67	295,7	394951,273	4990733,448	295,7	0	0,03	0,108
29	12/05/2016	14:28:51	45,06	7,67	295,8	394951,352	4990733,446	295,8	0	0,03	0,108
30	12/05/2016	14:28:52	45,06	7,67	296	394951,352	4990733,446	296	0	0,03	0,108

31	12/05/2016	14:28:53	45,06	7,67	296	394951,43	4990733,445	296	0	0,03	0,108
32	12/05/2016	14:28:54	45,06	7,67	296,1	394951,43	4990733,445	296,1	0	0,03	0,108
33	12/05/2016	14:28:55	45,06	7,67	296,2	394951,43	4990733,445	296,2	0	0,03	0,108
34	12/05/2016	14:28:56	45,06	7,67	296,2	394951,509	4990733,444	296,2	0	0,03	0,108
35	12/05/2016	14:28:57	45,06	7,67	296,3	394951,509	4990733,444	296,3	0	0,03	0,108
36	12/05/2016	14:28:58	45,06	7,67	296,4	394951,586	4990733,331	296,4	0	0,03	0,108
37	12/05/2016	14:28:59	45,06	7,67	296,4	394951,663	4990733,219	296,4	0	0,03	0,108
38	12/05/2016	14:29:00	45,06	7,67	296,4	394951,663	4990733,219	296,4	0	0,03	0,108
39	12/05/2016	14:29:01	45,06	7,67	296,5	394951,74	4990733,107	296,5	0	0,03	0,108
40	12/05/2016	14:29:02	45,06	7,67	296,6	394951,74	4990733,107	296,6	0	0,03	0,108
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
897	12/05/2016	14:43:19	45,06	7,67	302,2	394946,201	4990736,309	302,2	0	0,09	0,324
898	12/05/2016	14:43:20	45,06	7,67	302,2	394946,278	4990736,197	302,2	0	0,09	0,324
899	12/05/2016	14:43:21	45,06	7,67	302,1	394946,355	4990736,084	302,1	0	0,09	0,324
900	12/05/2016	14:43:22	45,06	7,67	302	394946,511	4990735,971	302	0	0,09	0,324
901	12/05/2016	14:43:23	45,06	7,67	302	394946,586	4990735,747	302	0	0,09	0,324
902	12/05/2016	14:43:24	45,06	7,67	301,7	394946,74	4990735,523	301,7	0	0,09	0,324
903	12/05/2016	14:43:25	45,06	7,67	301,7	394946,738	4990735,411	301,7	0	0,09	0,324
904	12/05/2016	14:43:26	45,06	7,67	301,8	394946,817	4990735,41	301,8	0	0,09	0,324
905	12/05/2016	14:43:27	45,06	7,67	301,8	394946,895	4990735,409	301,8	0	0,09	0,324
906	12/05/2016	14:43:28	45,06	7,67	301,9	394946,974	4990735,408	301,9	0	0,09	0,324
907	12/05/2016	14:43:29	45,06	7,67	302	394946,974	4990735,408	302	0	0,09	0,324
908	12/05/2016	14:43:30	45,06	7,67	302,1	394947,131	4990735,405	302,1	0	0,09	0,324
909	12/05/2016	14:43:31	45,06	7,67	302,2	394947,21	4990735,404	302,2	0	0,09	0,324
910	12/05/2016	14:43:32	45,06	7,67	302,3	394947,287	4990735,291	302,3	0	0,09	0,324
911	12/05/2016	14:43:33	45,06	7,67	302,4	394947,366	4990735,29	302,4	0	0,09	0,324
912	12/05/2016	14:43:34	45,06	7,67	302,5	394947,445	4990735,289	302,5	0	0,09	0,324
913	12/05/2016	14:43:35	45,06	7,67	302,6	394947,602	4990735,286	302,6	0	0,09	0,324
914	12/05/2016	14:43:36	45,06	7,67	302,6	394947,679	4990735,174	302,6	0	0,09	0,324
915	12/05/2016	14:43:37	45,06	7,67	302,6	394947,758	4990735,172	302,6	0	0,09	0,324
916	12/05/2016	14:43:38	45,06	7,67	302,7	394947,835	4990735,06	302,7	0	0,09	0,324
917	12/05/2016	14:43:39	45,06	7,67	302,8	394947,913	4990735,059	302,8	0	0,09	0,324
918	12/05/2016	14:43:40	45,06	7,67	302,8	394947,992	4990735,057	302,8	0	0,09	0,324
919	12/05/2016	14:43:41	45,06	7,67	302,9	394947,994	4990735,169	302,9	0	0,08	0,288
920	12/05/2016	14:43:42	45,06	7,67	303	394948,074	4990735,278	303	0	0,08	0,288
921	12/05/2016	14:43:43	45,06	7,67	303,1	394948,155	4990735,388	303,1	0	0,08	0,288
922	12/05/2016	14:43:44	45,06	7,67	303,2	394948,155	4990735,388	303,2	0	0,08	0,288
923	12/05/2016	14:43:45	45,06	7,67	303,4	394948,157	4990735,499	303,4	0	0,08	0,288
924	12/05/2016	14:43:46	45,06	7,67	303,5	394948,237	4990735,609	303,5	0	0,08	0,288
925	12/05/2016	14:43:47	45,06	7,67	303,4	394948,397	4990735,717	303,4	0	0,08	0,288
926	12/05/2016	14:43:48	45,06	7,67	303,4	394948,479	4990735,938	303,4	0	0,08	0,288
927	12/05/2016	14:43:49	45,06	7,67	303,4	394948,638	4990736,047	303,4	0	0,08	0,288
928	12/05/2016	14:43:50	45,06	7,67	303,4	394948,721	4990736,268	303,4	0	0,08	0,288
929	12/05/2016	14:43:51	45,06	7,67	303,3	394948,88	4990736,376	303,3	0	0,08	0,288
930	12/05/2016	14:43:52	45,06	7,67	303,4	394948,961	4990736,486	303,4	0	0,08	0,288

- BICICLETTA ODINARIA

Index [-]	GPS Date [-]	GPS Time [m]	Lati [°]	Lon [°]	Alt (HAE) [m]	Easting [m]	Northing [m]	Ellip. Hgt [m]	Odometer - Ground distance [m]	Velocità [m/s]	Velocità [Km/h]
0	12/05/2016	14:44:18	45,06	7,67	300,6	394951,335	4990737,225	300,6	0	0,05	0,18
1	12/05/2016	14:44:19	45,06	7,67	300,5	394951,332	4990737,002	300,5	0	0,04	0,144
2	12/05/2016	14:44:20	45,06	7,67	300,5	394951,332	4990737,002	300,5	0	0,04	0,144
3	12/05/2016	14:44:21	45,06	7,67	300,4	394951,33	4990736,891	300,4	0	0,04	0,144
4	12/05/2016	14:44:22	45,06	7,67	300,4	394951,407	4990736,779	300,4	0	0,04	0,144
5	12/05/2016	14:44:23	45,06	7,67	300,4	394951,407	4990736,779	300,4	0	0,04	0,144
6	12/05/2016	14:44:24	45,06	7,67	300,3	394951,405	4990736,668	300,3	0	0,04	0,144
7	12/05/2016	14:44:25	45,06	7,67	300,2	394951,482	4990736,556	300,2	0	0,04	0,144
8	12/05/2016	14:44:26	45,06	7,67	300,2	394951,48	4990736,444	300,2	0	0,04	0,144
9	12/05/2016	14:44:27	45,06	7,67	300,1	394951,478	4990736,333	300,1	0	0,04	0,144
10	12/05/2016	14:44:28	45,06	7,67	300	394951,555	4990736,221	300	0	0,04	0,144
11	12/05/2016	14:44:29	45,06	7,67	299,9	394951,551	4990735,999	299,9	0	0,04	0,144
12	12/05/2016	14:44:30	45,06	7,67	299,7	394951,549	4990735,888	299,7	0	0,04	0,144
13	12/05/2016	14:44:31	45,06	7,67	299,7	394951,626	4990735,775	299,7	0	0,04	0,144
14	12/05/2016	14:44:32	45,06	7,67	299,6	394951,701	4990735,552	299,6	0	0,05	0,18
15	12/05/2016	14:44:33	45,06	7,67	299,5	394951,7	4990735,441	299,5	0	0,05	0,18
16	12/05/2016	14:44:34	45,06	7,67	299,4	394951,777	4990735,328	299,4	0	0,05	0,18
17	12/05/2016	14:44:35	45,06	7,67	299,3	394951,775	4990735,217	299,3	0	0,05	0,18
18	12/05/2016	14:44:36	45,06	7,67	299,3	394951,773	4990735,106	299,3	0	0,05	0,18
19	12/05/2016	14:44:37	45,06	7,67	299,3	394951,773	4990735,106	299,3	0	0,05	0,18
20	12/05/2016	14:44:38	45,06	7,67	299,3	394951,771	4990734,995	299,3	0	0,05	0,18
21	12/05/2016	14:44:39	45,06	7,67	299,3	394951,85	4990734,994	299,3	0	0,05	0,18
22	12/05/2016	14:44:40	45,06	7,67	299,3	394951,848	4990734,883	299,3	0	0,05	0,18
23	12/05/2016	14:44:41	45,06	7,67	299,3	394951,848	4990734,883	299,3	0	0,05	0,18
24	12/05/2016	14:44:42	45,06	7,67	299,2	394951,925	4990734,77	299,2	0	0,05	0,18
25	12/05/2016	14:44:43	45,06	7,67	299,1	394951,923	4990734,659	299,1	0	0,05	0,18
26	12/05/2016	14:44:44	45,06	7,67	298,8	394952,079	4990734,546	298,8	0	0,05	0,18
27	12/05/2016	14:44:45	45,06	7,67	298,3	394952,232	4990734,321	298,3	0	0,06	0,216
28	12/05/2016	14:44:46	45,06	7,67	298	394952,467	4990734,206	298	0	0,06	0,216
29	12/05/2016	14:44:47	45,06	7,67	297,9	394952,465	4990734,095	297,9	0	0,06	0,216
30	12/05/2016	14:44:48	45,06	7,67	297,9	394952,463	4990733,984	297,9	0	0,06	0,216
31	12/05/2016	14:44:49	45,06	7,67	297,8	394952,461	4990733,873	297,8	0	0,06	0,216
32	12/05/2016	14:44:50	45,06	7,67	297,7	394952,617	4990733,759	297,7	0	0,07	0,252
33	12/05/2016	14:44:51	45,06	7,67	297,6	394952,615	4990733,648	297,6	0	0,07	0,252
34	12/05/2016	14:44:52	45,06	7,67	297,6	394952,692	4990733,535	297,6	0	0,07	0,252
35	12/05/2016	14:44:53	45,06	7,67	297,4	394952,69	4990733,424	297,4	0	0,07	0,252
36	12/05/2016	14:44:54	45,06	7,67	297,3	394952,686	4990733,202	297,3	0	0,07	0,252
37	12/05/2016	14:44:55	45,06	7,67	297,3	394952,606	4990733,092	297,3	0	0,07	0,252
38	12/05/2016	14:44:56	45,06	7,67	297,2	394952,606	4990733,092	297,2	0	0,07	0,252

39	12/05/2016	14:44:57	45,06	7,67	297	394952,683	4990732,98	297	0	0,07	0,252
40	12/05/2016	14:44:58	45,06	7,67	296,9	394952,683	4990732,98	296,9	0	0,07	0,252
41	12/05/2016	14:44:59	45,06	7,67	296,9	394952,681	4990732,869	296,9	0	0,07	0,252
42	12/05/2016	14:45:00	45,06	7,67	296,7	394952,679	4990732,758	296,7	0	0,07	0,252
43	12/05/2016	14:45:01	45,06	7,67	296,6	394952,677	4990732,647	296,6	0	0,07	0,252
44	12/05/2016	14:45:02	45,06	7,67	296,2	394952,674	4990732,424	296,2	0	0,08	0,288
45	12/05/2016	14:45:03	45,06	7,67	296,2	394952,595	4990732,426	296,2	0	0,08	0,288
46	12/05/2016	14:45:04	45,06	7,67	296,1	394952,595	4990732,426	296,1	0	0,08	0,288
47	12/05/2016	14:45:05	45,06	7,67	296	394952,514	4990732,316	296	0	0,08	0,288
48	12/05/2016	14:45:06	45,06	7,67	295,9	394952,514	4990732,316	295,9	0	0,08	0,288
49	12/05/2016	14:45:07	45,06	7,67	295,9	394952,434	4990732,206	295,9	0	0,07	0,252
50	12/05/2016	14:45:08	45,06	7,67	295,9	394952,436	4990732,317	295,9	0	0,07	0,252
....	.....	.....	.....	...	.....	.....	.....	...	.....	.....	...
670	12/05/2016	14:55:28	45,06	7,67	259,2	394960,944	4990732,51	259,2	0	1,4	5,04
671	12/05/2016	14:55:29	45,06	7,67	258,4	394961,255	4990732,283	258,4	0	1,39	5,004
672	12/05/2016	14:55:30	45,06	7,67	257,7	394961,566	4990732,056	257,7	0	1,39	5,004
673	12/05/2016	14:55:31	45,06	7,67	257	394961,803	4990732,052	257	0	1,39	5,004
674	12/05/2016	14:55:32	45,06	7,67	255,9	394962,194	4990731,934	255,9	0	1,38	4,968
675	12/05/2016	14:55:33	45,06	7,67	254,9	394962,511	4990732,04	254,9	0	1,38	4,968
676	12/05/2016	14:55:34	45,06	7,67	254	394962,826	4990732,035	254	0	1,38	4,968
677	12/05/2016	14:55:35	45,06	7,67	253	394963,223	4990732,251	253	0	1,37	4,932
678	12/05/2016	14:55:36	45,06	7,67	252,2	394963,538	4990732,245	252,2	0	1,37	4,932
679	12/05/2016	14:55:37	45,06	7,67	251,9	394963,857	4990732,462	251,9	0	1,37	4,932
680	12/05/2016	14:55:38	45,06	7,67	251	394964,172	4990732,457	251	0	1,36	4,896
681	12/05/2016	14:55:39	45,06	7,67	250,3	394964,485	4990732,341	250,3	0	1,36	4,896
682	12/05/2016	14:55:40	45,06	7,67	249,9	394964,723	4990732,448	249,9	0	1,36	4,896
683	12/05/2016	14:55:41	45,06	7,67	251,4	394964,487	4990732,452	251,4	0	1,34	4,824
684	12/05/2016	14:55:42	45,06	7,67	250,8	394964,882	4990732,557	250,8	0	1,33	4,788
685	12/05/2016	14:55:43	45,06	7,67	249,9	394965,274	4990732,439	249,9	0	1,33	4,788
686	12/05/2016	14:55:44	45,06	7,67	249	394965,664	4990732,21	249	0	1,33	4,788
687	12/05/2016	14:55:45	45,06	7,67	248,1	394966,136	4990732,203	248,1	0	1,33	4,788
688	12/05/2016	14:55:46	45,06	7,67	247,3	394966,609	4990732,195	247,3	0	1,33	4,788
689	12/05/2016	14:55:47	45,06	7,67	246,3	394966,92	4990731,967	246,3	0	1,33	4,788
690	12/05/2016	14:55:48	45,06	7,67	245,5	394967,308	4990731,628	245,5	0	1,32	4,752
691	12/05/2016	14:55:49	45,06	7,67	244,6	394967,777	4990731,398	244,6	0	1,32	4,752
692	12/05/2016	14:55:50	45,06	7,67	243,9	394967,925	4990730,84	243,9	0	1,32	4,752
693	12/05/2016	14:55:51	45,06	7,67	242,7	394968,156	4990730,502	242,7	0	1,32	4,752
694	12/05/2016	14:55:52	45,06	7,67	242,1	394968,39	4990730,387	242,1	0	1,31	4,716
695	12/05/2016	14:55:53	45,06	7,67	241,1	394968,782	4990730,27	241,1	0	1,31	4,716
696	12/05/2016	14:55:54	45,06	7,67	240,1	394969,17	4990729,93	240,1	0	1,31	4,716
697	12/05/2016	14:55:55	45,06	7,67	239,3	394969,482	4990729,703	239,3	0	1,31	4,716

## A2. DATI OTTENUTI ATTRAVERSO IL SOFTWARE RDF (SEZIONE 2.3 PAG. 20)

I risultati ottenuti mediante il raddrizzamento sono divisi in base al video prodotto dalla Camera 1 (video in quota) e dalla Camera 2 (video trasversale).

*Tabella 20: Coordinate immagine (Video in quota)*

Coordinate immagine		
Nome [-]	x [pixel]	y [pixel]
100	900	459
101	1091	478
102	937	353
103	951	307
107	967	270
106	1030	274
104	957	295
105	1035	300

*Tabella 21: Coordinate oggetto (Video in quota)*

Coordinate oggetto		
Nome [-]	X [pixel]	Y [pixel]
100	1000	1000
101	1002,29	1002,29
102	999,327	1007,56
103	998,549	1014,78
107	997,642	1026,26
106	1000	1026,35
104	998,335	1017,57
105	1000,68	1017,89

*Tabella 22: Tabella unione (Video in quota)*

Unione				
Nome [-]	x [pixel]	y [pixel]	X [pixel]	Y [pixel]
100	900	459	1000	1000
101	1091	478	1002,29	999,945
102	937	353	999,327	1007,56
103	951	307	998,549	1014,78
107	967	270	997,642	1026,26
106	1030	274	1000	1026,35
104	957	295	998,335	1017,57
105	1035	300	1000,68	1017,89

*Tabella 23: Tabella residui coordinate immagine (Video in quota)*

Residui coordinate immagine				
Nome [-]	x [pixel]	y [pixel]	Res x [pixel]	Res y [pixel]
100	900	459	0,002	0,012
101	1091	478	0,002	-0,016
102	937	353	-0,031	0,001
103	951	307	0,028	0,009
107	967	270	-0,037	0,008
106	1030	274	0,018	-0,011
104	957	295	0,035	-0,003
105	1035	300	-0,018	0

*Tabella 24: Tabella residui coordinate oggetto (Video in quota)*

Residui coordinate oggetto				
Nome [-]	X [pixel]	Y [pixel]	Res X [pixel]	Res Y [pixel]
100	1000	1000	-0,005	-0,009
101	1002,29	1002,29	-0,002	0
102	999,327	1007,56	0,033	0,03
103	998,549	1014,78	-0,033	0,012
107	997,642	1026,26	0,02	0,039
106	1000	1026,35	-0,007	-0,024
104	998,335	1017,57	-0,023	-0,09
105	1000,68	1017,89	0,016	0,041

*Tabella 25: Coordinate immagine (Video trasversale)*

Coordinate immagine		
Nome [-]	x [pixel]	y [pixel]
103	179	709
104	1061	710
1000	1194	465
1001	115	463

*Tabella 26: Coordinate oggetto (Video trasversale)*

Coordinate oggetto		
Nome [-]	X [pixel]	Y [pixel]
103	1002,547	1008,046
104	1000	1006,89
1000	1000	1000
1001	1007,012	1003,559

*Tabella 27: Tabella unione (Video trasversale)*

Unione				
Nome [-]	x [pixel]	y [pixel]	X [pixel]	Y [pixel]
103	179	709	1002,547	1008,046
104	1061	710	1000	1006,89
1000	1194	465	1000	1000
1001	115	463	1007,012	1003,559

*Tabella 28: Tabella residui coordinate immagine (Video trasversale)*

Residui coordinate immagine				
Nome [-]	x [pixel]	y [pixel]	Res x [pixel]	Res y [pixel]
103	179	709	0,00	0,00
104	1061	710	0,00	0,00
1000	1194	465	0,00	0,00
1001	115	463	0,00	0,00

*Tabella 29: Tabella residui coordinate oggetto (Video trasversale)*

Residui coordinate oggetto				
Nome [-]	X [pixel]	Y [pixel]	Res X [pixel]	Res Y [pixel]
103	1002,55	1008,05	0,00	0,00
104	1000,00	1006,89	0,00	0,00
1000	1000,00	1000,00	0,00	0,00
1001	1007,01	1003,56	0,00	0,00

### A3. CONFRONTO METODOLOGIE STUDIO PILOTA #1 (SEZIONE 2.3 PAG. 28)

- Evento 1

*Tabella 30: Raddrizzamento video sezione longitudinale*

Sezione	Distanza	frame 1	frame 2	distanza	tempo	Velocità	Velocità
-	-	-	-	m	sec	m/s	Km/h
1	1A-2A	1471	1548	5,86	2,66	2,21	7,95
2	3A-6A	1571	1628	4,53	1,97	2,30	8,30
3	4A-7A	1680	1691	0,81	0,38	2,14	7,71
4	8A-5A	1728	1790	4,59	2,14	2,15	7,74

*Tabella 31: Raddrizzamento video sezione trasversale*

Sezione	Distanza	frame 1	frame 2	distanza	tempo	Velocità	Velocità
-	-	-	-	m	sec	m/s	Km/h
3	3C-4C	13244	13261	1,63	0,68	2,40	8,62

*Tabella 32: Valore con Pistola Laser*

Sezione	Distanza da 100	Velocità
-	m	Km/h
1	3,56	8

*Tabella 33: Valori da GPS*

Index	Lat	Lon	Alt (HAE)	Easting	Northing	Ellip. Hgt	Velocità	Velocità
-	°	°	m	m	m	m	m/s	Km/h
682	45,06	7,67	290,2	394939,30	4990733,20	242,07	0,9	3,24
683	45,06	7,67	294,8	394945,13	4990733,66	246,67	0,9	3,24
684	45,06	7,67	297,6	394946,97	4990735,07	249,47	0,9	3,24
685	45,06	7,67	298,3	394947,99	4990735,06	250,17	0,89	3,204
686	45,06	7,67	298,8	394949,09	4990734,71	250,67	0,89	3,204
687	45,06	7,67	297,6	394949,49	4990735,26	249,47	0,89	3,204
688	45,06	7,67	299	394951,24	4990736,12	250,87	0,88	3,168
689	45,06	7,67	298,5	394951,32	4990736,56	250,37	0,88	3,168
690	45,06	7,67	300,9	394954,23	4990736,07	252,77	0,86	3,096
691	45,06	7,67	298,8	394955,18	4990736,61	250,67	0,87	3,132
692	45,06	7,67	300,6	394956,90	4990735,80	252,47	0,85	3,06
693	45,06	7,67	301	394957,21	4990735,57	252,87	0,84	3,024
694	45,06	7,67	298,6	394958,48	4990735,77	250,47	0,84	3,024
695	45,06	7,67	299	394958,87	4990735,55	250,87	0,84	3,024
696	45,06	7,67	296,7	394960,06	4990736,19	248,57	0,84	3,024
697	45,06	7,67	297,2	394960,83	4990735,29	249,07	0,82	2,952

- Evento 2

*Tabella 34: Raddrizzamento video sezione longitudinale*

Sezione	Distanza	frame 1	frame 2	distanza	tempo	Velocità	Velocità
-	-	-	-	m	sec	m/s	Km/h
4	1A-2A	3025	3070	3,50	1,55	2,26	8,13
3	3A-4A	3103	3122	1,36	0,66	2,07	7,45
2	5A-6A	3158	3214	4,36	1,93	2,26	8,13
1	7A-8A	3248	3326	5,38	2,69	2,00	7,20

*Tabella 35: Raddrizzamento video sezione trasversale*

Sezione	Distanza	frame 1	frame 2	distanza	tempo	Velocità	Velocità
-	-	-	-	m	sec	m/s	Km/h
2	1B-2B	14445	14467	2,30	0,88	2,61	9,40

*Tabella 36: Valori con Pistola Laser*

Sezione	Distanza da 100	Speed
-	m	Km/h
2	12,76	8
3	24,46	8

**Tabella 37: Valori da GPS**

Index	Distanza da 100	Velocità
-	m	Km/h
768	0,1036	5,436
767	0,9716	5,436
766	1,8406	5,472
765	2,7066	5,508
764	3,5716	5,508
763	4,5176	5,544
762	5,3856	5,58
761	6,4106	5,616
760	7,5916	5,616
759	8,8496	5,616
758	10,1056	5,616
757	11,5176	5,616
756	12,9306	5,58
755	14,2656	5,544
754	15,6786	5,508
753	17,0906	5,472
752	18,4256	5,472
751	19,6816	5,472
750	20,8566	5,472
749	22,1916	5,472
748	23,3686	5,472
747	24,6996	5,472
746	25,8736	5,508
745	27,2886	5,472

- **Evento 3**

**Tabella 38: Raddrizzamento video sezione longitudinale**

Sezione	Distanza	frame 1	frame 2	Distanza	Tempo	Velocità	Velocità
-	-	-	-	m	sec	m/s	Km/h
1	1A-2A	5103	5154	5,50	1,76	3,13	11,27
2	3A-4A	5184	5209	2,39	0,86	2,77	9,98
3	5A-6A	5216	5281	5,95	2,24	2,66	9,56
4	7A-8A	5302	5359	5,56	1,97	2,83	10,18

**Tabella 39: Raddrizzamento video sezione trasversale**

Sezione	Distanza	frame 1	frame 2	Distanza	tempo	Velocità	Velocità
-	-	-	-	m	sec	m/s	Km/h
2	1B-2B	1851	1875	2,80	0,96	2,92	10,49

**Tabella 40: Valore con Pistola Laser**

Sezione	Distanza da 100	Velocità
-	m	Km/h
2	12,46	13
3	31,26	11

**Tabella 41: Valori da GPS**

Index	Distanza da 100	Velocità
-	m	Km/h
768	0,10	5,44
767	0,97	5,44
766	1,84	5,47
765	2,71	5,51
764	3,57	5,51
763	4,52	5,54
762	5,39	5,58
761	6,41	5,62
760	7,59	5,62
759	8,85	5,62
758	10,11	5,62
757	11,52	5,62
756	12,93	5,58
755	14,27	5,54
754	15,68	5,51
753	17,09	5,47
752	18,43	5,47
751	19,68	5,47
750	20,86	5,47
749	22,19	5,47
748	23,37	5,47
747	24,70	5,47
746	25,87	5,51
745	27,29	5,47

- **Evento 4**

*Tabella 42: Raddrizzamento video sezione longitudinale*

Distanza	frame 1	frame 2	distanza	tempo	Velocità	Velocità	Distanza
-	-	-	m	sec	m/s	Km/h	-
1A-2A	5871	5918	5,43	1,62	3,35	12,07	1A-2A
3A-4A	5940	5986	4,95	1,59	3,12	11,23	3A-4A
5A-6A	6006	6021	1,41	0,52	2,72	9,78	5A-6A
7A-8A	6043	6091	4,77	1,66	2,88	10,37	7A-8A

*Tabella 43: Raddrizzamento video sezione trasversale*

Distanza	frame 1	frame 2	distanza	tempo	Velocità	Velocità	Distanza
-	-	-	m	sec	m/s	Km/h	-
1B-2B	2700	2713	1,573501903	0,52	3,03	10,89	1B-2B

*Tabella 44: Valore con Pistola Laser*

Sezione	Distanza da 100	Velocità
-	m	Km/h
1	2,462	12
3	16,162	10

*Tabella 45: Valori da GPS*

Index	Distanza da 100	Velocità
-	m	Km/h
682	0,00	10,01
683	3,79	10,69
684	9,62	11,66
685	11,45	11,74
686	12,48	12,20
687	13,58	11,41
688	13,98	10,01
689	15,72	9,94
690	15,81	9,94
691	18,72	9,86
692	19,67	9,86
693	21,39	9,79
694	21,70	9,72
695	22,96	9,68
696	23,35	9,72
697	24,55	9,72

A4. CONFRONTO PROCEDURA AUTOMATICA E MANUALE (SEZIONE 3.2 PAG. 63)

Tabella 46: Valori ricavati tramite Gis (zona senza ombra)

Misure in QGIS				
Punto inizio	Punto fine	Misura	Spazio cumulato	Velocità
-	-	m	m	Km/h
A	B	2,35	2,85	25,39
B	C	2,00	5,35	21,59
C	D	1,95	7,80	21,02
D	E	2,01	10,31	21,68
E	F	1,76	12,57	18,94
F	G	1,55	14,61	16,69
G	H	1,43	16,54	15,43
H	I	1,42	18,46	15,29
I	L	1,34	20,30	14,44
L	M	1,18	21,98	12,78
M	N	1,15	23,63	12,36
N	O	1,08	25,21	11,68
O	P	1,03	26,74	11,08
P	Q	0,90	28,14	9,70
Q	R	0,96	29,60	10,38
R	S	0,93	30,54	10,08

Tabella 47: Valori ricavati manualmente (zona senza ombra)

Misure manuali					
Punto inizio	Punto fine	Misura	Spazio cumulato	Velocità	Punto inizio
-	-	cm	m	m	Km/h
A	B	1,50	2,57	4,20	27,72
B	C	1,30	2,19	6,39	23,67
C	D	1,30	2,19	8,59	23,67
D	E	1,30	2,19	10,78	23,67
E	F	1,20	2,01	12,79	21,64
F	G	1,10	1,82	14,60	19,61
G	H	1,05	1,72	16,33	18,60
H	I	1,00	1,63	17,96	17,58
I	L	1,00	1,63	19,59	17,58
L	M	0,90	1,44	21,03	15,55
M	N	0,85	1,35	22,38	14,54
N	O	0,80	1,25	23,63	13,53
O	P	0,78	1,22	24,84	13,12
P	Q	0,70	1,07	25,91	11,50
Q	R	0,80	1,25	27,16	13,53
R	S	0,50	0,69	27,85	7,44

Tabella 48: Valori ricavati dall' algoritmo Matlab (zona senza ombra)

Valori con Matlab						
Spazio [m]	X [-]	Y [-]	Velocità [Km/h]	Velocità filtrata [Km/h]	Velocità appiattita [Km/h]	Media 10 [Km/h]
0,17	139	889	29,71	29,71	27,86	#N/D
0,34	139	886	24,58	24,58	27,34	#N/D
0,51	138	885	16,18	16,18	26,80	#N/D
0,69	138	880	26,69	26,69	26,29	#N/D
0,86	136	872	25,89	25,89	25,77	#N/D
1,03	136	864	16,50	16,50	25,22	#N/D
1,20	137	859	25,89	25,89	24,65	#N/D
1,37	137	851	22,89	22,89	24,09	#N/D
1,54	136	844	25,89	25,89	23,59	#N/D
1,72	136	836	19,42	19,42	23,13	25,47
1,89	136	830	29,31	29,31	22,71	24,96
2,06	135	821	22,89	22,89	22,36	24,46
2,23	136	814	16,50	16,50	22,08	23,99
2,40	137	809	19,42	19,42	21,86	23,55
2,57	137	803	26,10	26,10	21,68	23,14
2,75	136	795	22,89	22,89	21,56	22,77
2,92	137	788	19,69	19,69	21,47	22,45
3,09	138	782	22,89	22,89	21,37	22,18
3,26	139	775	19,42	19,42	21,24	21,95
3,43	139	769	26,10	26,10	21,11	21,74
3,60	138	761	19,42	19,42	20,99	21,57
3,77	138	755	19,69	19,69	20,85	21,42
3,95	139	749	22,66	22,66	20,73	21,29
4,12	139	742	19,69	19,69	20,67	21,17
4,29	138	736	19,42	19,42	20,64	21,06
4,46	138	730	19,42	19,42	20,62	20,97
4,63	138	724	22,66	22,66	20,64	20,89
4,80	138	717	19,42	19,42	20,68	20,82
4,98	138	711	22,89	22,89	20,70	20,76
5,15	139	704	19,42	19,42	20,70	20,72
5,32	139	698	22,66	22,66	20,69	20,69
5,49	139	691	16,50	16,50	20,66	20,67
5,66	140	686	22,66	22,66	20,57	20,66
5,83	140	679	22,66	22,66	20,46	20,64
6,01	140	672	16,18	16,18	20,35	20,61
6,18	140	667	19,42	19,42	20,22	20,57
6,35	140	661	22,89	22,89	20,09	20,51
6,52	139	654	19,42	19,42	19,98	20,44
6,69	139	648	19,42	19,42	19,86	20,36
6,86	139	642	19,42	19,42	19,69	20,26
7,03	139	636	19,69	19,69	19,53	20,14
7,21	140	630	19,69	19,69	19,40	20,02
7,38	139	624	36,19	19,69	19,27	19,89
7,55	141	613	19,69	19,69	19,15	19,75
7,72	140	607	19,42	19,42	19,05	19,62
7,89	140	601	16,50	16,50	18,99	19,50
8,06	141	596	16,18	16,18	18,94	19,39
8,24	141	591	22,89	22,89	18,89	19,28
8,41	142	584	19,69	19,69	18,84	19,17
8,58	141	578	16,50	16,50	18,77	19,08
8,75	142	573	22,89	22,89	18,67	19,00
8,92	141	566	16,50	16,50	18,52	18,91
9,09	142	561	19,69	19,69	18,30	18,81
9,27	141	555	19,69	19,69	18,06	18,70
9,44	142	549	16,18	16,18	17,78	18,58
9,61	142	544	16,18	16,18	17,50	18,43
9,78	142	539	22,89	22,89	17,24	18,26
9,95	143	532	16,50	16,50	17,01	18,07
10,12	144	527	13,35	13,35	16,82	17,87
10,29	143	523	25,89	25,89	16,63	17,65
10,47	143	515	19,69	19,69	16,47	17,43
10,64	144	509	12,95	12,95	16,35	17,22
10,81	144	505	19,42	19,42	16,25	17,01

10,98	144	499	16,18	16,18	16,18	16,82
11,15	144	494	13,35	13,35	16,17	16,66
11,32	145	490	16,50	16,50	16,19	16,53
11,50	144	485	16,50	16,50	16,23	16,43
11,67	145	480	13,35	13,35	16,29	16,36
11,84	144	476	16,18	16,18	16,40	16,32
12,01	144	471	22,89	22,89	16,56	16,31
12,18	145	464	16,18	16,18	16,76	16,34
12,35	145	459	19,42	19,42	16,95	16,40
12,53	145	453	13,35	13,35	17,13	16,49
12,70	146	449	17,43	17,43	17,24	16,59
12,87	148	444	16,18	16,18	17,31	16,71
13,04	148	439	19,69	19,69	17,31	16,82
13,21	147	433	19,69	19,69	17,24	16,92
13,38	148	427	10,24	10,24	17,12	17,00
13,55	149	424	16,50	16,50	16,95	17,06
13,73	150	419	19,69	19,69	16,72	17,07
13,90	149	413	12,95	12,95	16,47	17,04
14,07	149	409	16,18	16,18	16,19	16,97
14,24	149	404	19,69	19,69	15,92	16,85
14,41	150	398	10,24	10,24	15,70	16,69
14,58	149	395	16,50	16,50	15,55	16,52
14,76	150	390	13,35	13,35	15,46	16,33
14,93	151	386	16,50	16,50	15,42	16,15
15,10	150	381	12,95	12,95	15,41	15,98
15,27	150	377	19,69	19,69	15,42	15,83
15,44	151	371	12,95	12,95	15,43	15,70
15,61	151	367	16,50	16,50	15,39	15,59
15,79	152	362	16,50	16,50	15,33	15,50
15,96	151	357	16,50	16,50	15,22	15,43
16,13	152	352	12,95	12,95	15,10	15,37
16,30	152	348	16,18	16,18	14,94	15,31
16,47	152	343	16,18	16,18	14,80	15,25
16,64	152	338	12,95	12,95	14,71	15,17
16,81	152	334	9,71	9,71	14,69	15,10
16,99	152	331	16,50	16,50	14,72	15,03
17,16	153	326	12,95	12,95	14,81	14,97
17,33	153	322	20,47	20,47	14,92	14,92
17,50	155	316	10,24	10,24	15,03	14,89
17,67	154	313	16,50	16,50	15,10	14,88
17,84	155	308	16,50	16,50	15,14	14,89
18,02	154	303	16,50	16,50	15,13	14,90
18,19	155	298	16,18	16,18	15,04	14,93
18,36	155	293	10,24	10,24	14,88	14,95
18,53	156	290	16,50	16,50	14,67	14,94
18,70	157	285	13,35	13,35	14,45	14,92
18,87	156	281	12,95	12,95	14,21	14,86
19,05	156	277	16,50	16,50	13,97	14,76
19,22	157	272	13,35	13,35	13,77	14,64
19,39	158	268	13,35	13,35	13,60	14,49
19,56	157	264	12,95	12,95	13,48	14,32
19,73	157	260	12,95	12,95	13,41	14,15
19,90	157	256	13,35	13,35	13,36	13,98
20,07	158	252	12,95	12,95	13,35	13,83
20,25	158	248	12,95	12,95	13,39	13,70
20,42	158	244	12,95	12,95	13,47	13,60
20,59	158	240	12,95	12,95	13,58	13,54
20,76	158	236	16,18	16,18	13,67	13,51
20,93	158	231	13,35	13,35	13,74	13,51
21,10	159	227	7,24	7,24	13,82	13,53
21,28	158	225	16,18	16,18	13,90	13,57
21,45	158	220	12,95	12,95	13,98	13,63
21,62	158	216	16,50	16,50	14,05	13,70
21,79	159	211	12,95	12,95	14,06	13,77
21,96	159	207	9,71	9,71	14,00	13,83
22,13	159	204	13,35	13,35	13,89	13,87
22,31	160	200	16,18	16,18	13,76	13,89
22,48	160	195	16,18	16,18	13,56	13,88
22,65	160	190	3,24	3,24	13,25	13,83
22,82	160	189	16,18	16,18	12,85	13,73
22,99	160	184	9,71	9,71	12,38	13,58

23,16	160	181	23,56	23,56	11,92	13,37
23,33	162	174	7,24	7,24	11,51	13,12
23,51	161	172	13,35	13,35	11,13	12,83
23,68	162	168	10,24	10,24	10,80	12,51
23,85	161	165	9,71	9,71	10,53	12,17
24,02	161	162	19,42	19,42	10,38	11,83
24,19	161	156	3,24	3,24	10,37	11,51
24,36	161	155	19,69	19,69	10,46	11,23
24,54	162	149	9,71	9,71	10,60	11,01
24,71	162	146	12,95	12,95	10,72	10,84
24,88	162	142	10,24	10,24	10,79	10,73
25,05	161	139	10,24	10,24	10,87	10,66
25,22	162	136	12,95	12,95	10,96	10,65
25,39	162	132	10,24	10,24	11,04	10,67
25,57	161	129	16,18	16,18	11,09	10,73
25,74	161	124	9,71	9,71	11,11	10,80
25,91	161	121	10,24	10,24	11,13	10,88
26,08	160	118	6,47	6,47	11,16	10,95
26,25	160	116	12,95	12,95	11,18	11,01
26,42	160	112	16,18	16,18	11,25	11,06
26,59	160	107	7,24	7,24	11,33	11,11
26,77	159	105	13,35	13,35	11,37	11,16
26,94	160	101	10,24	10,24	11,38	11,20
27,11	159	98	12,95	12,95	11,39	11,24
27,28	159	94	6,47	6,47	11,36	11,27
27,45	159	92	12,95	12,95	11,26	11,28
27,62	159	88	16,18	16,18	11,12	11,28
27,80	159	83	9,71	9,71	11,02	11,27
27,97	159	80	6,47	6,47	10,95	11,24
28,14	159	78	12,95	12,95	10,89	11,21
28,31	159	74	10,24	10,24	10,85	11,16
28,48	158	71	10,24	10,24	10,79	11,10
28,65	159	68	10,24	10,24	10,69	11,03
28,83	158	65	9,71	9,71	10,54	10,95
29,00	158	62	13,35	13,35	10,35	10,85
29,17	159	58	13,35	13,35	10,12	10,73
29,34	158	54	9,71	9,71	9,81	10,60
29,51	158	51	9,71	9,71	9,43	10,44
29,68	158	48	6,47	6,47	9,03	10,25
29,85	158	46	16,18	16,18	8,64	10,02
30,03	158	41	6,47	6,47	8,27	9,77
30,20	158	39	9,71	9,71	7,93	9,48
30,37	158	36	6,47	6,47	7,66	9,18
30,54	158	34	6,47	6,47	7,45	8,87
30,71	158	32	6,47	6,47	7,28	8,56
30,88	158	30	9,71	9,71	7,12	8,26
31,06	158	27	7,24	7,24	6,99	7,98
31,23	157	25	6,47	6,47	6,87	7,72
31,40	157	23	6,47	6,47	6,79	7,50
31,57	157	21	6,47	6,47	6,76	7,31
31,74	157	19	7,24	7,24	6,79	7,17
31,91	156	17	3,24	3,24	6,87	7,06
32,09	156	16	7,24	7,24	7,00	6,99
32,26	157	14	6,47	6,47	7,13	6,96
32,43	157	12	7,24	7,24	7,45	6,98
32,60	158	10	7,24	8,00	7,84	7,05

**Tabella 49: Valori ricavati tramite Gis (zona con ombra)**

Misure in QGIS				
Punto inizio	Punto fine	Misura	Spazio cumulato	Velocità
-	-	m	m	Km/h
A	B	1,26	0,77	6,33
B	C	1,92	0,66	5,14
C	D	2,63	0,71	5,67
D	E	3,46	0,83	6,90
E	F	4,25	0,79	6,55
F	G	5,18	0,93	8,06
G	H	6,13	0,95	8,22
H	I	7,02	0,89	7,61
I	J	8,14	1,12	10,07
J	K	9,24	1,11	9,93
K	L	10,40	1,15	10,45
L	M	11,57	1,17	10,62
M	N	12,82	1,25	11,50
N	O	14,17	1,35	12,53
O	P	15,55	1,38	12,94
P	Q	17,01	1,46	13,79
Q	R	18,54	1,53	14,47
R	S	20,16	1,61	15,42
S	T	21,83	1,67	16,07
T	U	23,63	1,80	17,37
U	V	25,53	1,91	18,60
V	W	27,21	1,67	16,05
W	X	29,44	2,23	22,09

**Tabella 50: Valori ricavati manualmente (zona con ombra)**

Misure manuali					
Punto inizio	Punto fine	Misura	Spazio cumulato	Velocità	Punto inizio
-	-	cm	m	m	Km/h
A	B	0,50	0,71	1,20	7,70
B	C	0,40	0,47	1,82	5,08
C	D	0,50	0,71	2,68	7,70
D	E	0,50	0,71	3,55	7,70
E	F	0,50	0,71	4,41	7,70
F	G	0,55	0,83	5,39	9,01
G	H	0,60	0,96	6,50	10,32
H	I	0,57	0,88	7,53	9,54
I	J	0,65	1,08	8,76	11,63
J	K	0,70	1,20	10,11	12,94
K	L	0,70	1,20	11,45	12,94
L	M	0,67	1,13	12,73	12,16
M	N	0,72	1,25	14,13	13,47
N	O	0,73	1,27	15,55	13,73
O	P	0,70	1,20	16,90	12,94
P	Q	0,80	1,44	18,49	15,56
Q	R	0,73	1,27	19,91	13,73
R	S	0,85	1,56	21,62	16,87
S	T	0,80	1,44	23,21	15,56
T	U	0,90	1,68	25,05	18,18
U	V	1,00	1,93	27,12	20,80
V	W	0,90	1,68	28,96	18,18
W	X	1,10	2,17	31,27	23,42

Tabella 51: Valori ricavati dall'algoritmo Matlab (zona con ombra)

Valori con Matlab						
Spazio [m]	X [-]	Y [-]	Velocità [Km/h]	Velocità filtrata [Km/h]	Velocità appiattita [Km/h]	Media 10 [Km/h]
0,13	139	12	10,25	10,25	10,62	#N/D
0,25	138	15	10,25	10,25	9,94	#N/D
0,38	137	18	10,25	10,25	9,31	#N/D
0,51	138	21	9,16	9,16	8,76	#N/D
0,63	136	23	6,48	6,48	8,39	#N/D
0,76	136	25	4,58	4,58	8,01	#N/D
0,88	137	26	10,25	10,25	7,70	#N/D
1,01	136	29	3,24	3,24	7,45	#N/D
1,14	136	30	9,72	9,72	7,24	#N/D
1,26	136	33	7,24	7,24	7,08	8,45
1,39	135	35	6,48	6,48	6,95	8,08
1,52	135	37	7,24	7,24	6,84	7,77
1,64	134	39	6,48	6,48	6,72	7,51
1,77	134	41	7,24	7,24	6,58	7,30
1,90	133	43	6,48	6,48	6,44	7,10
2,02	133	45	6,48	6,48	6,33	6,93
2,15	133	47	4,58	4,58	6,25	6,79
2,27	134	48	6,48	6,48	6,21	6,66
2,40	134	50	4,58	4,58	6,20	6,56
2,53	135	51	11,68	11,68	6,23	6,47
2,65	133	54	3,24	3,24	6,32	6,41
2,78	134	54	6,48	6,48	6,47	6,38
2,91	134	56	10,25	10,25	6,68	6,37
3,03	133	59	4,58	4,58	6,94	6,41
3,16	134	60	6,48	6,48	7,22	6,49
3,29	134	62	7,24	7,24	7,49	6,60
3,41	133	64	6,48	6,48	7,75	6,75
3,54	133	66	10,25	10,25	7,99	6,93
3,66	132	69	10,25	10,25	8,19	7,13
3,79	131	72	7,24	7,24	8,34	7,34
3,92	132	74	10,25	10,25	8,44	7,55
4,04	131	77	7,24	7,24	8,50	7,76
4,17	130	79	9,72	9,72	8,51	7,94
4,30	130	82	6,48	6,48	8,48	8,09
4,42	130	84	10,25	10,25	8,41	8,21
4,55	129	87	6,48	6,48	8,34	8,30
4,68	129	89	9,72	9,72	8,27	8,35
4,80	129	92	7,24	7,24	8,25	8,37
4,93	128	94	9,72	9,72	8,24	8,38
5,05	128	97	6,48	6,48	8,26	8,37
5,18	128	99	10,25	10,25	8,27	8,35
5,31	127	102	6,48	6,48	8,31	8,33
5,43	127	104	6,48	6,48	8,36	8,32
5,56	127	106	9,72	9,72	8,41	8,31
5,69	127	109	9,72	9,72	8,46	8,32
5,81	127	112	9,72	9,72	8,51	8,34
5,94	127	115	7,24	7,24	8,55	8,36
6,07	126	117	7,24	7,24	8,56	8,39
6,19	127	119	9,72	9,72	8,55	8,42
6,32	127	122	10,25	10,25	8,54	8,45
6,44	126	125	6,48	6,48	8,51	8,48
6,57	126	127	9,72	9,72	8,49	8,50
6,70	126	130	6,48	6,48	8,51	8,51

6,82	126	132	9,72	9,72	8,58	8,53
6,95	126	135	7,24	7,24	8,67	8,55
7,08	127	137	10,25	10,25	8,77	8,57
7,20	126	140	6,48	6,48	8,86	8,61
7,33	126	142	9,72	9,72	8,96	8,65
7,46	126	145	9,72	9,72	9,04	8,69
7,58	126	148	9,72	9,72	9,08	8,75
7,71	126	151	10,25	10,25	9,10	8,81
7,83	127	154	9,72	9,72	9,12	8,87
7,96	127	157	6,48	6,48	9,13	8,93
8,09	127	159	9,72	9,72	9,13	8,99
8,21	127	162	9,72	9,72	9,16	9,03
8,34	127	165	6,48	6,48	9,20	9,08
8,47	127	167	9,72	9,72	9,25	9,12
8,59	127	170	9,72	9,72	9,30	9,15
8,72	127	173	9,72	9,72	9,34	9,18
8,84	127	176	10,25	10,25	9,37	9,21
8,97	128	179	9,72	9,72	9,39	9,24
9,10	128	182	9,72	9,72	9,38	9,26
9,22	128	185	10,25	10,25	9,38	9,29
9,35	127	188	6,48	6,48	9,39	9,32
9,48	127	190	10,25	10,25	9,38	9,34
9,60	128	193	7,24	7,24	9,37	9,35
9,73	127	195	10,25	10,25	9,37	9,37
9,86	128	198	9,72	9,72	9,38	9,37
9,98	128	201	10,25	10,25	9,42	9,38
10,11	127	204	10,25	10,25	9,46	9,39
10,23	128	207	10,25	10,25	9,48	9,40
10,36	127	210	6,48	6,48	9,48	9,41
10,49	127	212	10,25	10,25	9,43	9,41
10,61	128	215	7,24	7,24	9,35	9,41
10,74	127	217	13,36	13,36	9,23	9,40
10,87	128	221	9,72	9,72	9,13	9,37
10,99	128	224	9,72	9,72	9,04	9,34
11,12	128	227	6,48	6,48	8,99	9,30
11,25	128	229	9,72	9,72	8,98	9,26
11,37	128	232	7,24	7,24	9,03	9,21
11,50	127	234	16,20	16,20	9,11	9,18
11,62	127	239	7,24	7,24	9,21	9,15
11,75	128	241	9,72	9,72	9,30	9,14
11,88	128	244	9,72	9,72	9,43	9,15
12,00	128	247	9,72	9,72	9,59	9,18
12,13	128	250	14,49	14,49	9,74	9,24
12,26	126	254	10,25	10,25	9,87	9,33
12,38	127	257	9,72	9,72	10,01	9,43
12,51	127	260	6,48	6,48	10,14	9,54
12,64	127	262	6,48	6,48	10,25	9,67
12,76	127	264	13,36	13,36	10,35	9,79
12,89	128	268	13,36	13,36	10,44	9,91
13,01	127	272	10,25	10,25	10,53	10,04
13,14	128	275	9,72	9,72	10,61	10,15
13,27	128	278	13,36	13,36	10,67	10,26
13,39	127	282	7,24	7,24	10,71	10,36
13,52	128	284	12,96	12,96	10,69	10,44
13,65	128	288	9,72	9,72	10,63	10,50
13,77	128	291	10,25	10,25	10,55	10,54
13,90	127	294	9,72	9,72	10,50	10,57
14,03	127	297	12,96	12,96	10,47	10,58

14,15	127	301	10,25	10,25	10,47	10,58
14,28	126	304	6,48	6,48	10,49	10,58
14,40	126	306	12,96	12,96	10,50	10,57
14,53	126	310	9,72	9,72	10,52	10,55
14,66	126	313	9,72	9,72	10,56	10,54
14,78	126	316	12,96	12,96	10,58	10,53
14,91	126	320	7,24	7,24	10,61	10,53
15,04	125	322	14,49	14,49	10,64	10,53
15,16	127	326	10,25	10,25	10,70	10,55
15,29	126	329	9,72	9,72	10,76	10,58
15,42	126	332	9,72	9,72	10,83	10,62
15,54	126	335	13,36	13,36	10,90	10,66
15,67	125	339	6,48	6,48	10,97	10,71
15,79	125	341	12,96	12,96	11,01	10,75
15,92	125	345	10,25	10,25	11,03	10,80
16,05	124	348	13,36	13,36	11,04	10,85
16,17	125	352	10,25	10,25	11,08	10,90
16,30	124	355	12,96	12,96	11,10	10,94
16,43	124	359	9,72	9,72	11,11	10,98
16,55	124	362	10,25	10,25	11,12	11,02
16,68	123	365	9,72	9,72	11,16	11,05
16,81	123	368	9,72	9,72	11,21	11,08
16,93	123	371	16,20	16,20	11,27	11,11
17,06	123	376	13,36	13,36	11,35	11,15
17,18	124	380	10,25	10,25	11,43	11,19
17,31	123	383	6,48	6,48	11,47	11,23
17,44	123	385	16,20	16,20	11,48	11,27
17,56	123	390	9,72	9,72	11,46	11,31
17,69	123	393	12,96	12,96	11,41	11,34
17,82	123	397	12,96	12,96	11,32	11,36
17,94	123	401	9,72	9,72	11,21	11,36
18,07	123	404	10,25	10,25	11,13	11,35
18,20	122	407	9,72	9,72	11,07	11,33
18,32	122	410	16,20	16,20	11,01	11,30
18,45	122	415	9,72	9,72	10,96	11,25
18,57	122	418	12,96	12,96	10,92	11,20
18,70	122	422	6,48	6,48	10,89	11,14
18,83	122	424	9,72	9,72	10,86	11,08
18,95	122	427	12,96	12,96	10,83	11,02
19,08	122	431	16,52	16,52	10,84	10,97
19,21	121	436	6,48	6,48	10,93	10,95
19,33	121	438	13,36	13,36	11,06	10,94
19,46	122	442	7,24	7,24	11,22	10,95
19,59	123	444	9,72	9,72	11,41	10,99
19,71	123	447	12,96	12,96	11,61	11,06
19,84	123	451	6,48	6,48	11,80	11,15
19,96	123	453	16,20	16,20	11,95	11,25
20,09	123	458	17,45	17,45	12,14	11,38
20,22	121	463	11,68	11,68	12,33	11,53
20,34	123	466	10,25	10,25	12,46	11,69
20,47	124	469	11,68	11,68	12,59	11,86
20,60	122	472	12,96	12,96	12,76	12,03
20,72	122	476	10,25	10,25	12,90	12,20
20,85	123	479	16,20	16,20	13,00	12,35
20,98	123	484	12,96	12,96	13,10	12,50
21,10	123	488	6,48	6,48	13,22	12,65
21,23	123	490	13,36	13,36	13,28	12,78
21,35	124	494	17,45	17,45	13,29	12,89

21,48	122	499	16,20	16,20	13,28	12,99
21,61	122	504	10,25	10,25	13,25	13,07
21,73	123	507	9,72	9,72	13,21	13,13
21,86	123	510	13,36	13,36	13,19	13,17
21,99	122	514	19,44	19,44	13,24	13,21
22,11	122	520	9,16	9,16	13,33	13,24
22,24	124	522	16,20	16,20	13,45	13,27
22,37	124	527	12,96	12,96	13,59	13,31
22,49	124	531	6,48	6,48	13,72	13,35
22,62	124	533	16,52	16,52	13,81	13,41
22,74	125	538	13,36	13,36	13,83	13,46
22,87	124	542	16,52	16,52	13,80	13,52
23,00	125	547	10,25	10,25	13,74	13,57
23,12	124	550	16,52	16,52	13,65	13,62
23,25	125	555	10,25	10,25	13,53	13,64
23,38	124	558	13,36	13,36	13,41	13,65
23,50	125	562	13,36	13,36	13,30	13,64
23,63	124	566	12,96	12,96	13,24	13,60
23,76	124	570	16,20	16,20	13,23	13,55
23,88	124	575	12,96	12,96	13,29	13,50
24,01	124	579	10,25	10,25	13,40	13,46
24,13	125	582	12,96	12,96	13,52	13,43
24,26	125	586	13,36	13,36	13,65	13,42
24,39	124	590	13,36	13,36	13,77	13,43
24,51	125	594	16,52	16,52	13,86	13,47
24,64	126	599	14,49	14,49	13,96	13,52
24,77	124	603	13,36	13,36	14,08	13,60
24,89	125	607	16,20	16,20	14,20	13,70
25,02	125	612	13,36	13,36	14,28	13,80
25,14	126	616	13,36	13,36	14,33	13,90
25,27	127	620	12,96	12,96	14,37	14,00
25,40	127	624	13,36	13,36	14,42	14,09
25,52	126	628	16,52	16,52	14,46	14,17
25,65	127	633	19,44	19,44	14,52	14,25
25,78	127	639	12,96	12,96	14,59	14,32
25,90	127	643	12,96	12,96	14,66	14,39
26,03	127	647	16,20	16,20	14,74	14,46
26,16	127	652	12,96	12,96	14,86	14,52
26,28	127	656	16,52	16,52	15,01	14,60
26,41	128	661	13,36	13,36	15,19	14,68
26,53	127	665	16,20	16,20	15,38	14,78
26,66	127	670	9,72	9,72	15,59	14,90
26,79	127	673	19,44	19,44	15,78	15,03
26,91	127	679	13,36	13,36	15,93	15,17
27,04	128	683	19,71	19,71	16,00	15,32
27,17	129	689	7,24	7,24	16,02	15,45
27,29	128	691	16,52	16,52	15,98	15,58
27,42	127	696	16,52	16,52	15,87	15,68
27,55	128	701	12,96	12,96	15,73	15,75
27,67	128	705	16,52	16,52	15,56	15,79
27,80	129	710	13,36	13,36	15,40	15,79
27,92	128	714	19,71	19,71	15,27	15,75
28,05	129	720	12,96	12,96	15,19	15,70
28,18	129	724	16,20	16,20	15,11	15,61
28,30	129	729	13,36	13,36	14,94	15,51
28,43	128	733	16,52	16,52	14,69	15,37
28,56	129	738	13,36	13,36	14,40	15,22
28,68	130	742	16,20	16,20	14,07	15,04

28,81	130	747	16,20	16,20	13,83	14,85
28,94	130	752	19,71	19,71	13,68	14,66
29,06	131	758	7,24	7,24	13,71	14,49
29,19	130	760	26,72	8,48	13,93	14,36
29,31	132	768	9,72	9,72	14,35	14,27
29,44	132	771	12,96	12,96	14,99	14,26
29,57	132	775	19,44	19,44	15,79	14,34
29,69	132	781	13,36	13,36	16,67	14,54
29,82	133	785	22,68	22,68	17,56	14,86
29,95	133	792	9,72	9,72	18,30	15,28
30,07	133	795	22,91	22,91	18,87	15,79
30,20	134	802	22,68	22,68	19,15	16,33
30,33	134	809	12,96	12,96	19,23	16,88
30,45	134	813	19,44	19,44	19,16	17,41
30,58	134	819	19,71	19,71	19,04	17,88
30,70	135	825	16,20	16,20	18,89	18,27
30,83	135	830	14,49	14,49	18,70	18,56
30,96	137	834	19,71	19,71	18,47	18,74
31,08	136	840	16,52	16,52	18,23	18,80
31,21	137	845	19,71	19,71	17,93	18,77
31,34	138	851	22,68	22,68	17,56	18,64
31,46	138	858	19,44	19,44	17,05	18,42
31,59	138	864	10,25	10,25	16,30	18,13
31,72	139	867	16,20	16,20	15,30	17,75
31,84	139	872	16,20	16,20	14,05	17,25
31,97	139	877	6,48	6,48	12,60	16,62
32,09	139	879	13,36	13,36	10,99	15,85
32,22	140	883	9,16	9,16	9,34	14,94
32,35	142	885	11,68	11,68	7,51	13,87
32,47	140	888	3,24	3,24	5,57	12,63
32,60	141	888	3,24	3,24	3,59	11,23

A5. RACCOLTA DATI STUDIO DEFINITIVO (SEZIONE 3.3 PAG. 74)

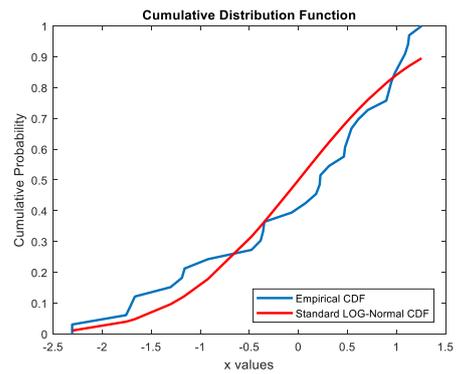
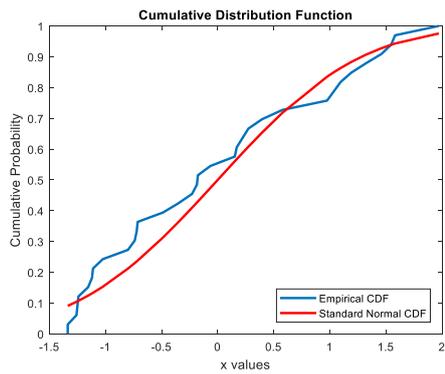
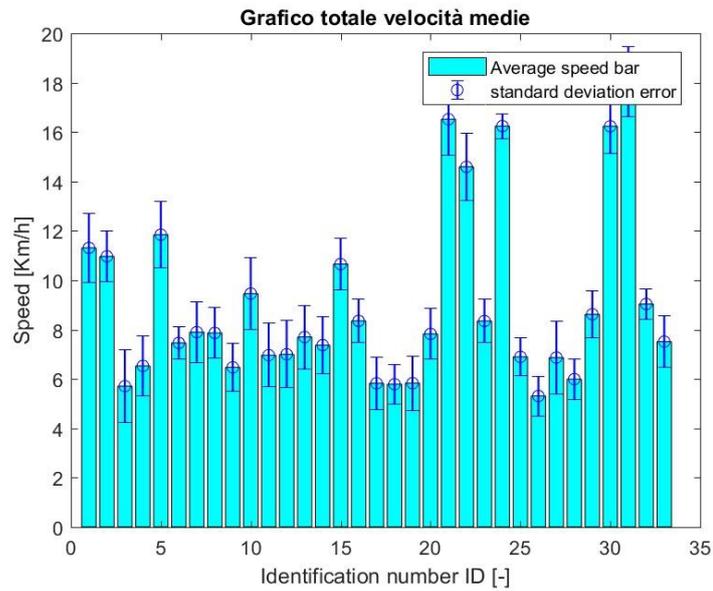
Tabella 52: Caratteristiche statistiche ed ambientali (Studio Definitivo)

	Rilievo	Velocità massima [Km/h]	Velocità minima [Km/h]	Velocità media [Km/h]	Errore massimo [-]	Errore minimo [-]	Errore medio [-]	Temperatura media [°C]
16 maggio 2017	7,45-8,15	18,05	5,31	9,06	1,47	0,51	1,09	19,73
	8,57-9,17	25,80	5,18	12,82	1,50	0,38	1,09	21,32
	9,22-9,32	14,90	5,03	7,10	1,50	0,32	0,97	21,63
	10,14-11,14	18,67	5,02	7,57	1,49	0,23	0,96	23,27
	11,55-12,23	18,02	5,01	8,80	1,50	0,28	1,02	23,70
	13,41-14,11	18,01	5,18	9,38	1,49	0,50	1,16	24,76
	14,46-15,39	17,86	5,00	7,67	1,47	0,35	1,01	26,00
	16,23-16,53	18,91	5,02	7,34	1,50	0,17	0,98	26,33
	17,24-17,55	14,99	5,01	6,62	1,49	0,35	1,00	26,10
18,31-19,01	27,26	5,04	8,93	1,49	0,34	0,99	25,81	
18 maggio 2017	7,45-8,15	18,34	5,00	7,38	1,49	0,11	1,00	21,36
	9,00-9,30	21,04	5,02	7,71	1,49	0,16	1,03	22,31
	10,15-10,45	17,19	5,00	6,26	1,00	0,20	0,76	23,02
	11,59-12,29	16,28	5,00	6,67	1,48	0,29	0,92	23,14
	13,31-14,01	14,61	5,06	6,58	1,47	0,34	0,97	23,64
	14,45-15,45	20,73	5,08	7,61	1,49	0,41	1,11	23,51
	16,16-16,28	13,41	5,07	6,39	1,36	0,58	0,97	23,28
	17,24-17,54	21,34	5,02	7,43	1,46	0,20	1,00	23,14
	18,25-18,55	17,40	5,01	7,12	1,20	0,19	0,89	22,67
23 maggio 2017	7,45-8,15	23,88	5,93	9,87	1,50	0,25	1,16	21,29
	8,57-9,29	23,22	5,02	14,12	1,17	0,25	0,71	22,98
	10,15-11,17	18,48	5,05	7,11	1,48	0,24	0,87	25,11
	11,53-12,25	17,43	5,01	7,49	1,49	0,24	1,05	26,47
	13,32-14,02	15,50	5,02	7,28	1,50	0,47	1,09	27,77
	14,45-15,20	18,15	5,03	7,75	1,50	0,31	1,10	28,56
	15,20-15,45	21,25	5,04	9,23	1,50	0,27	1,03	29,05
	16,15-16,45	18,33	5,16	8,34	1,48	0,46	1,05	29,09
	17,26-17,57	18,33	5,16	8,34	1,48	0,46	1,05	29,30
	18,27-18,57	24,50	5,03	7,95	1,50	0,40	1,05	29,10
25 maggio 2017	7,46-8,16	15,88	5,02	7,07	1,00	0,21	0,78	22,16
	8,57-9,28	12,83	5,15	7,66	1,49	0,25	0,99	22,07
	10,16-11,16	19,74	5,03	7,24	1,49	0,35	0,94	23,71
	11,59-12,30	16,74	5,02	6,95	1,50	0,25	0,98	24,61
	13,29-14,01	17,68	5,03	7,38	1,49	0,50	1,09	25,90

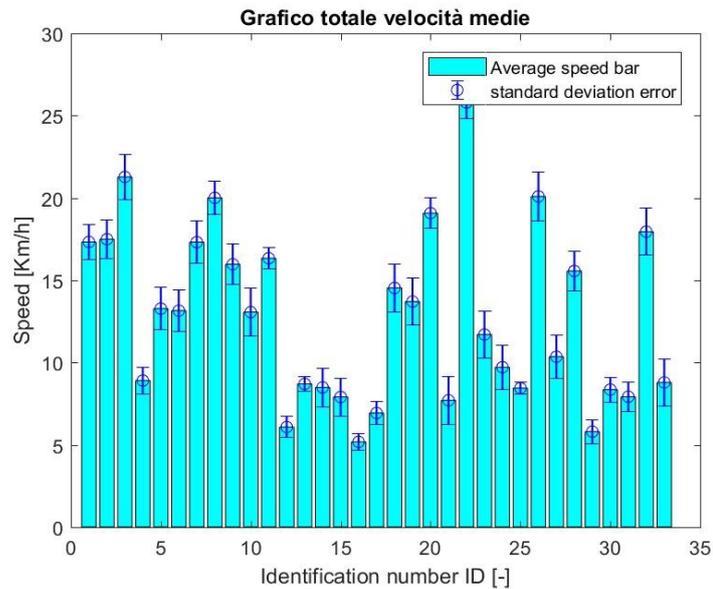
	14,46- 15,46	20,22	5,03	7,02	1,50	0,58	1,04	26,22
	16,16- 16,46	17,24	5,00	7,29	1,48	0,31	0,97	26,77
	17,30- 18,00	20,91	5,01	6,98	1,10	0,22	0,72	26,23
	18,27- 18,57	25,74	5,11	8,03	0,99	0,19	0,70	26,14

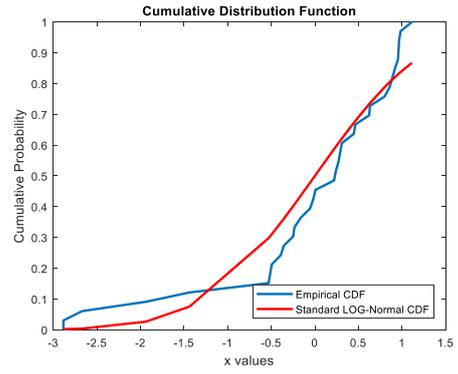
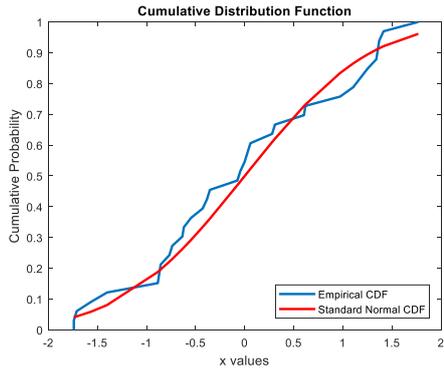
A6. OUTPUT GRAFICI DEL CODICE SCRIPT\_FINALE (SEZIONE 3.2 PAG. 58)

Martedì 16/05/2017 ore 7,45-8,15

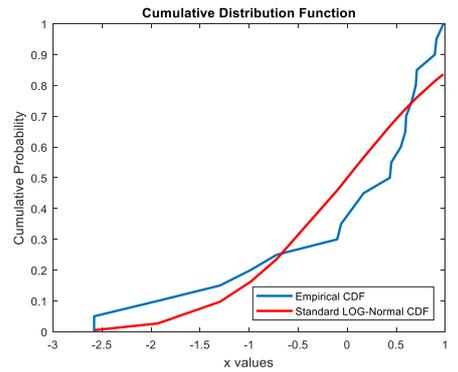
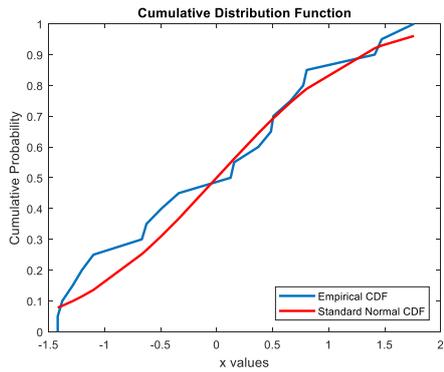
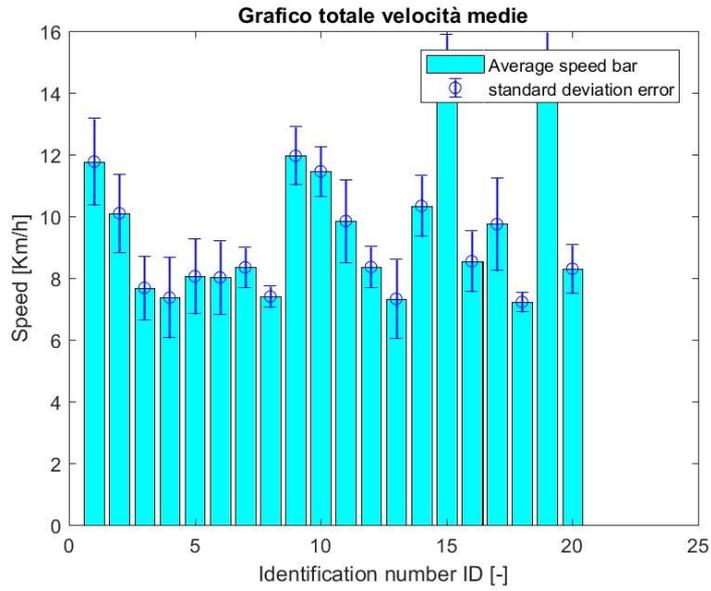


Martedì 16/05/2017 ore 8,57-9,17

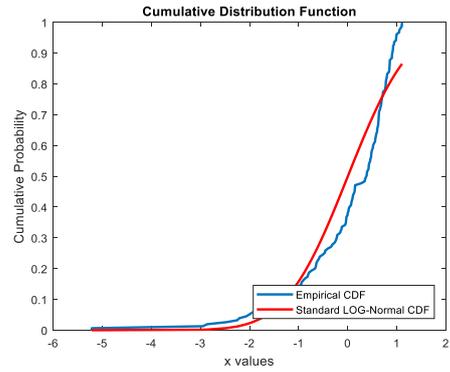
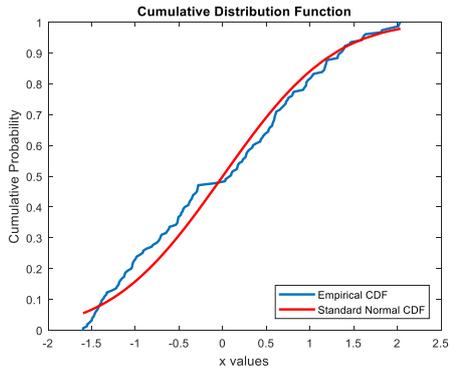
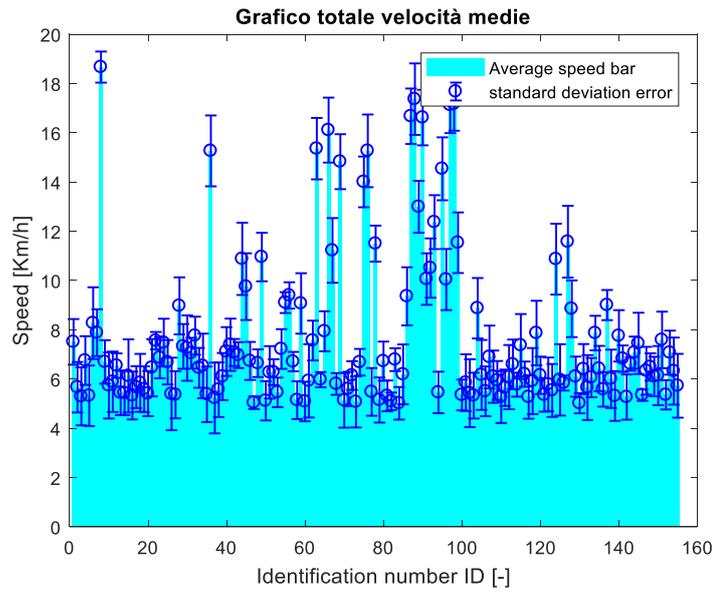




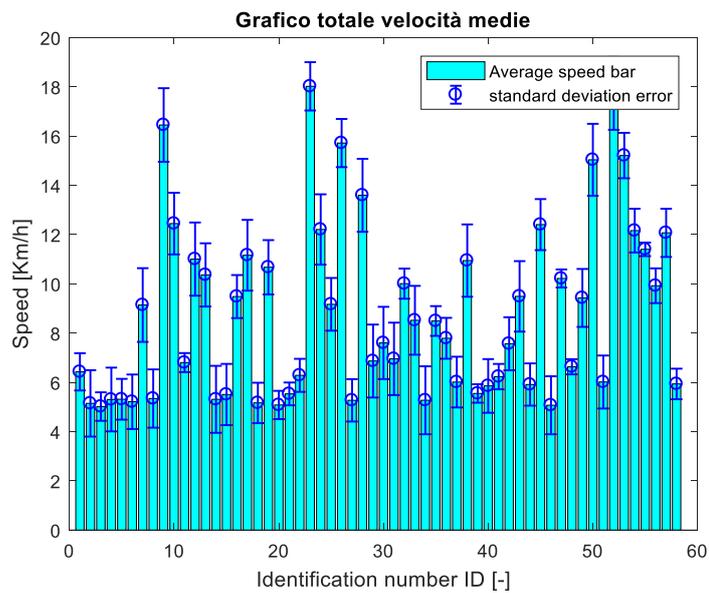
Martedì 16/05/2017 ore 9,22-9,32

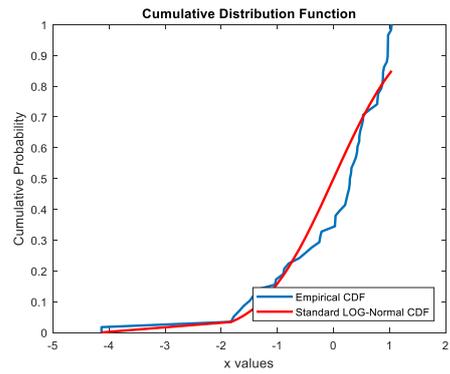
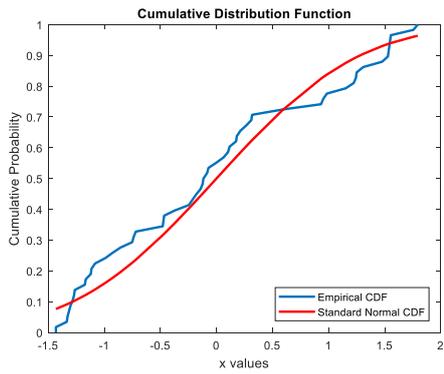


Martedì 16/05/2017 ore 10,14-11,14

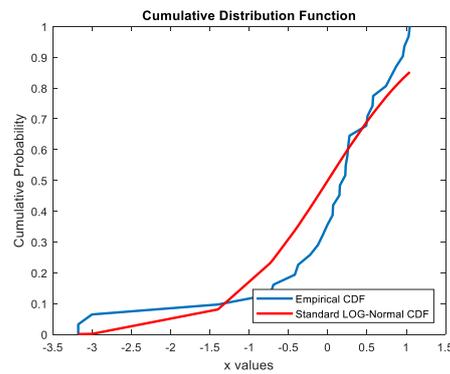
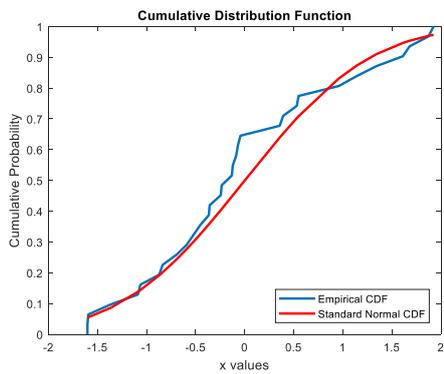
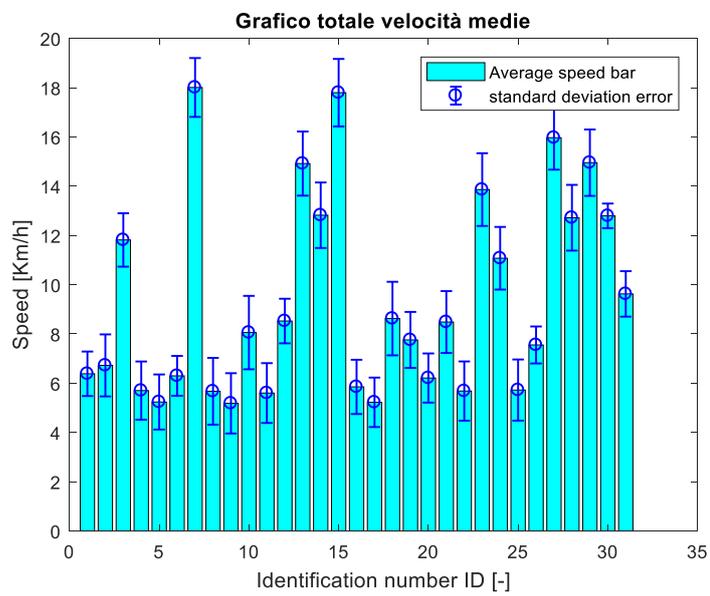


Martedì 16/05/2017 ore 11,55-12,23

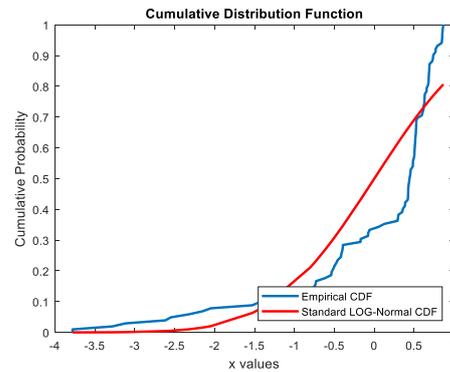
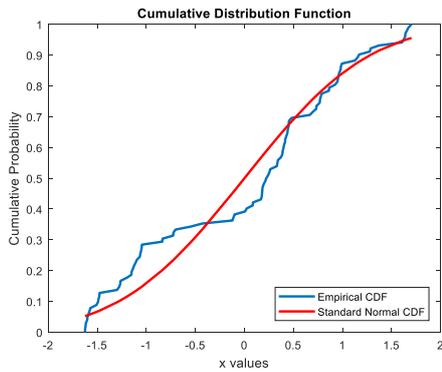
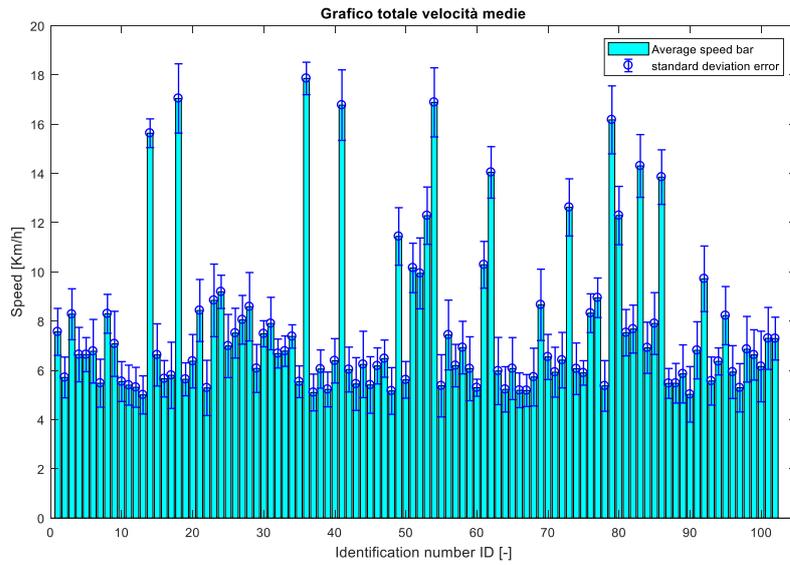




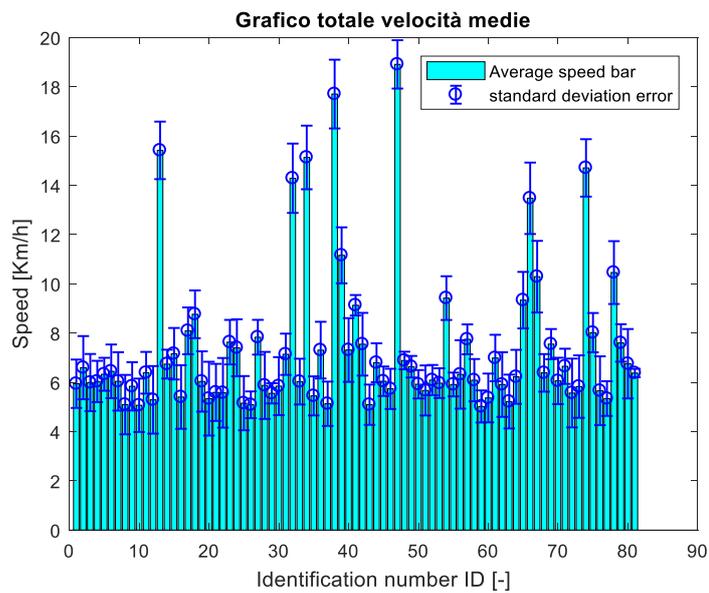
*Martedì 16/05/2017 ore 13,41-14,11*

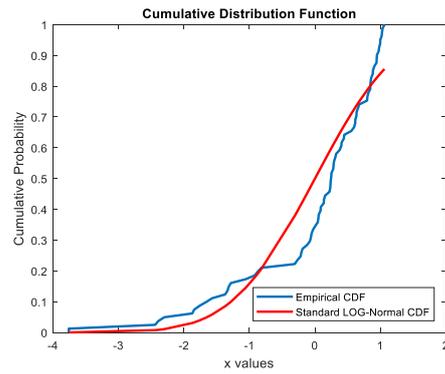
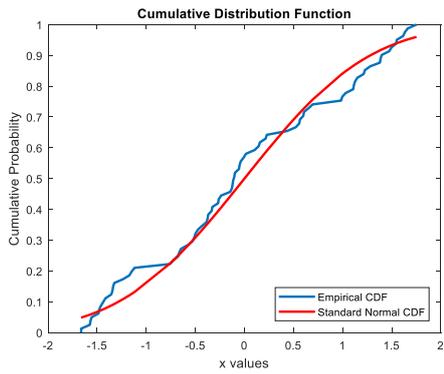


Martedì 16/05/2017 ore 14,46-15,39

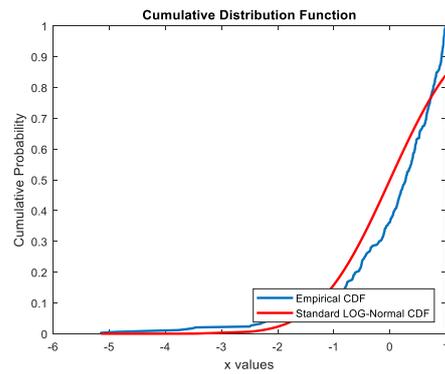
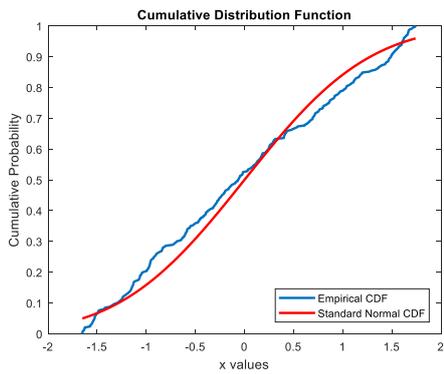
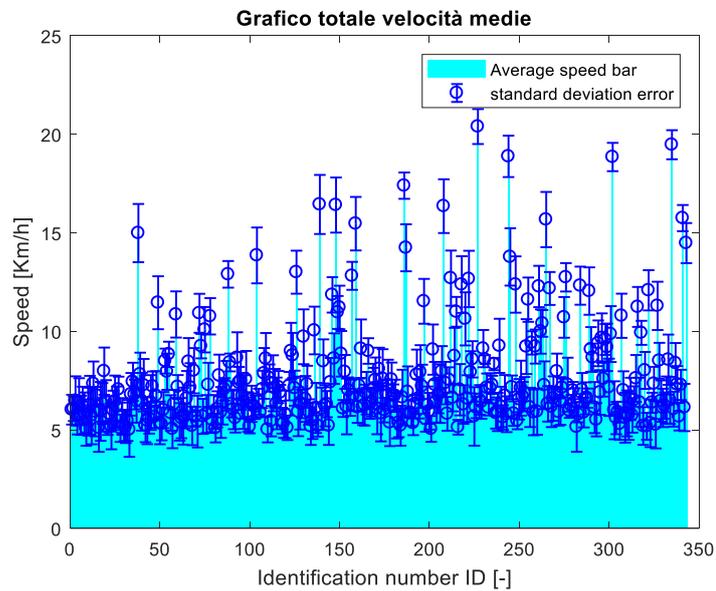


Martedì 16/05/2017 ore 16,23-16,53

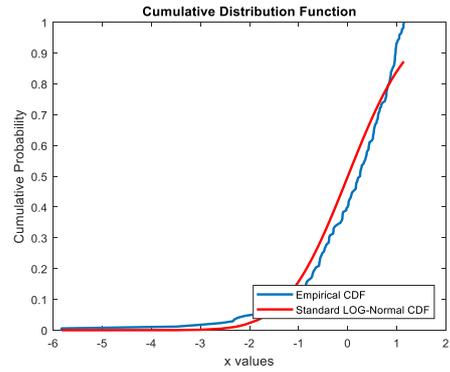
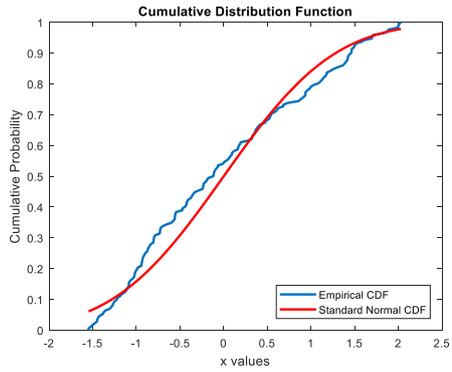
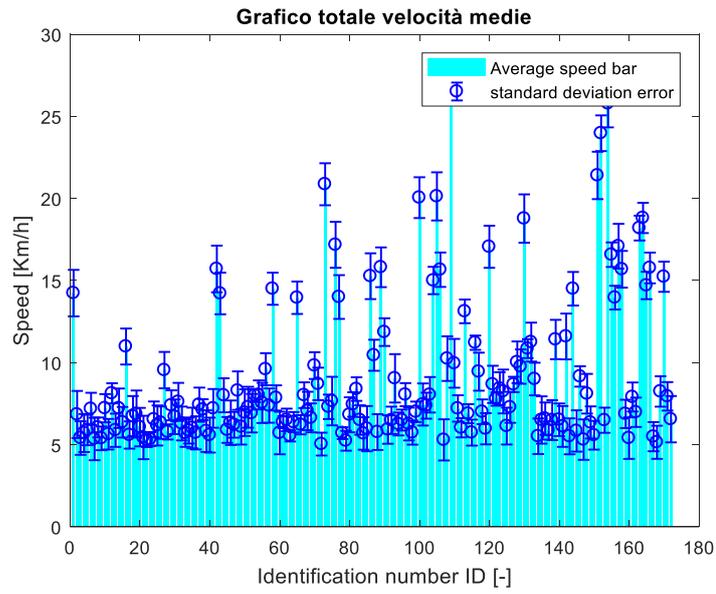




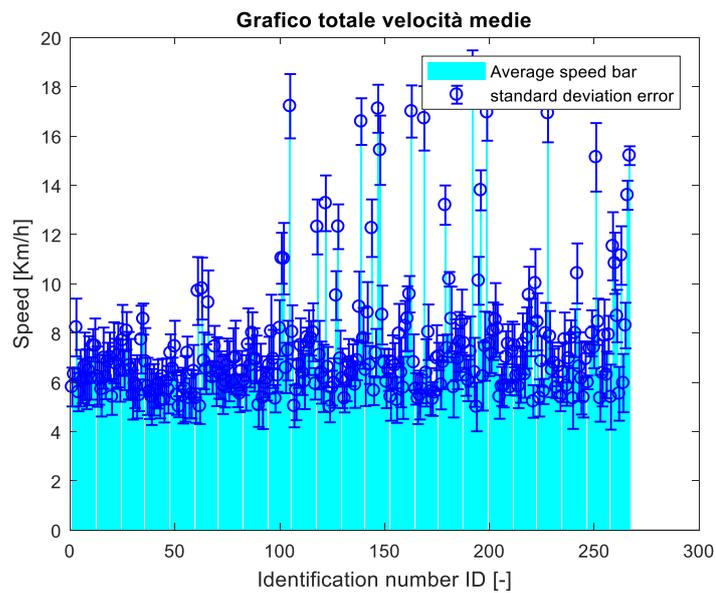
Martedì 16/05/2017 ore 17,24-17,55

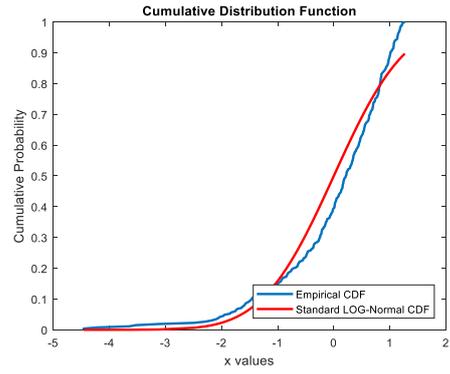
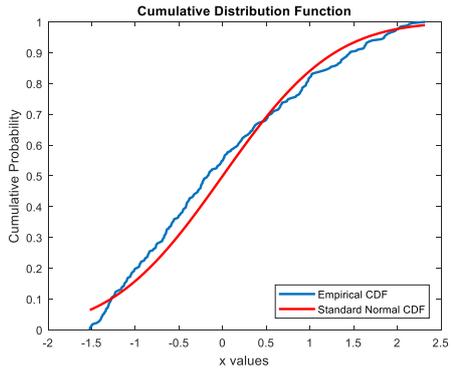


Martedì 16/05/2017 ore 18,31-19,01

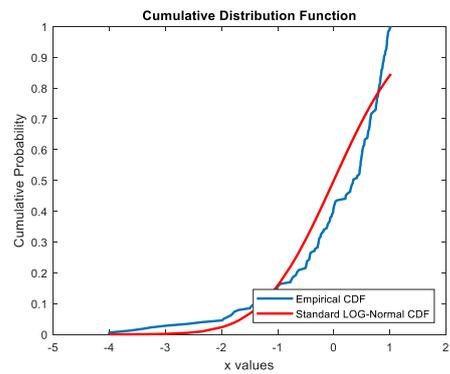
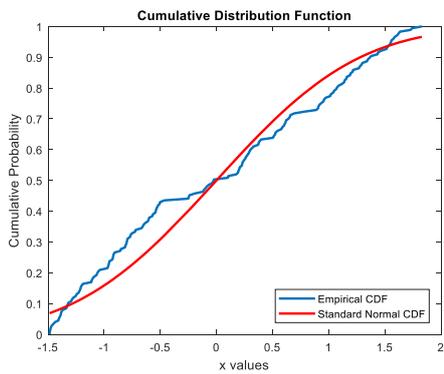
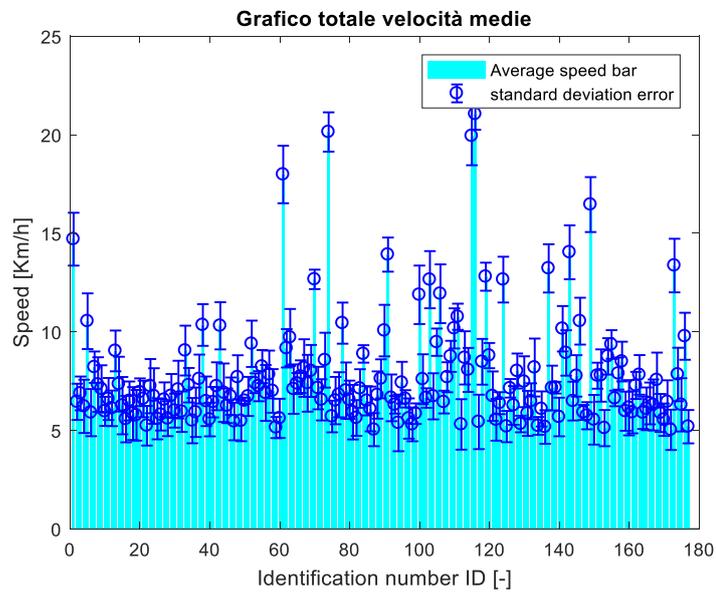


Giovedì 18/05/2017 ore 7,45-8,15

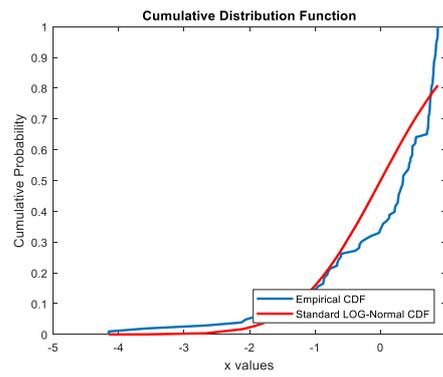
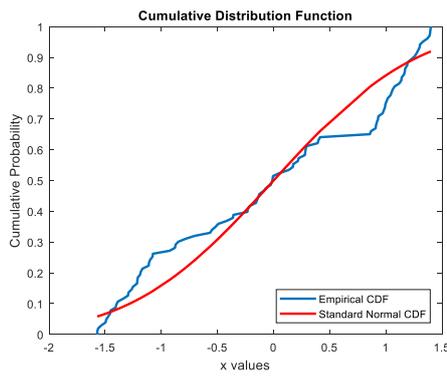
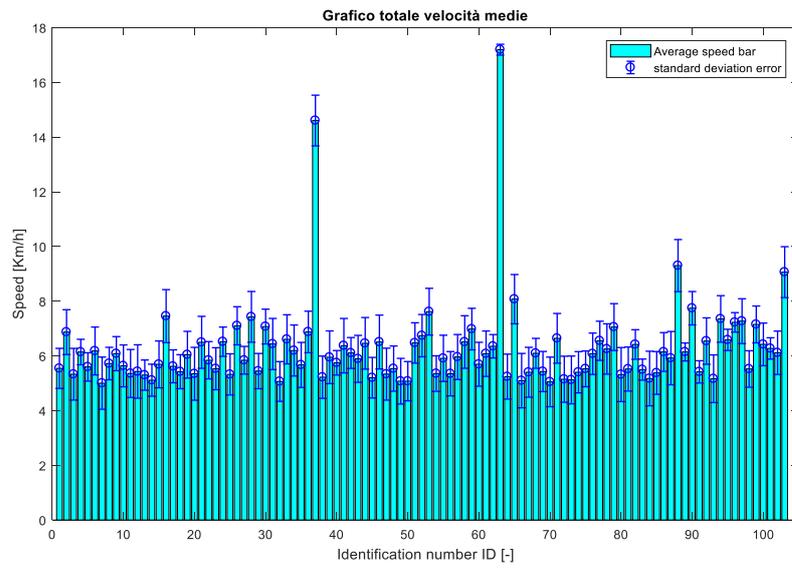




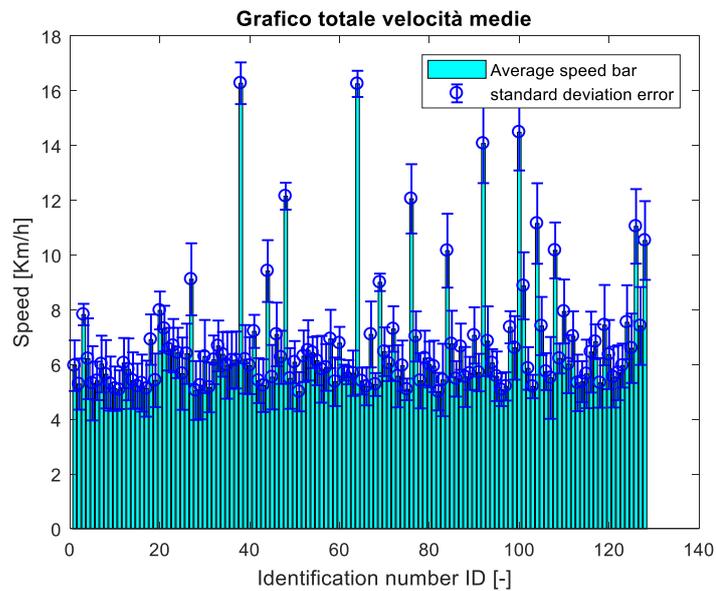
Giovedì 18/05/2017 ore 9,00-9,30

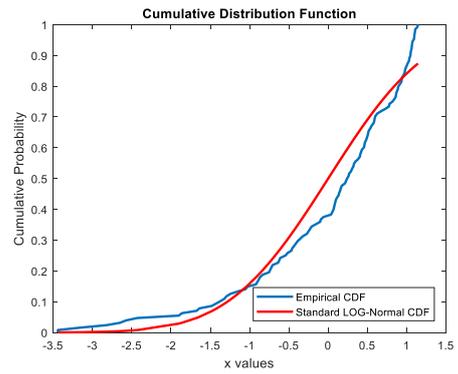
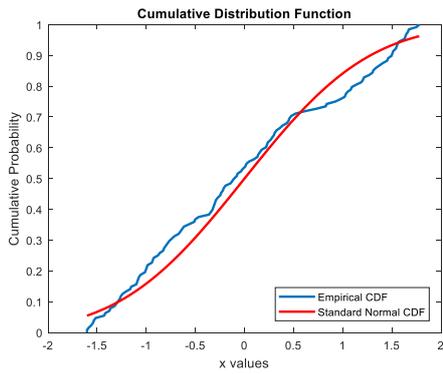


Giovedì 18/05/2017 ore 10,15-11,15

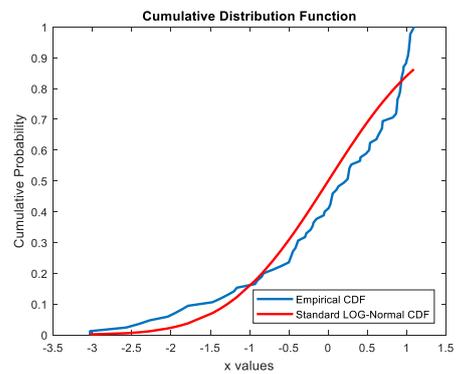
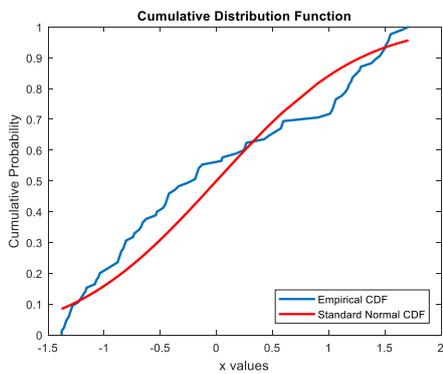
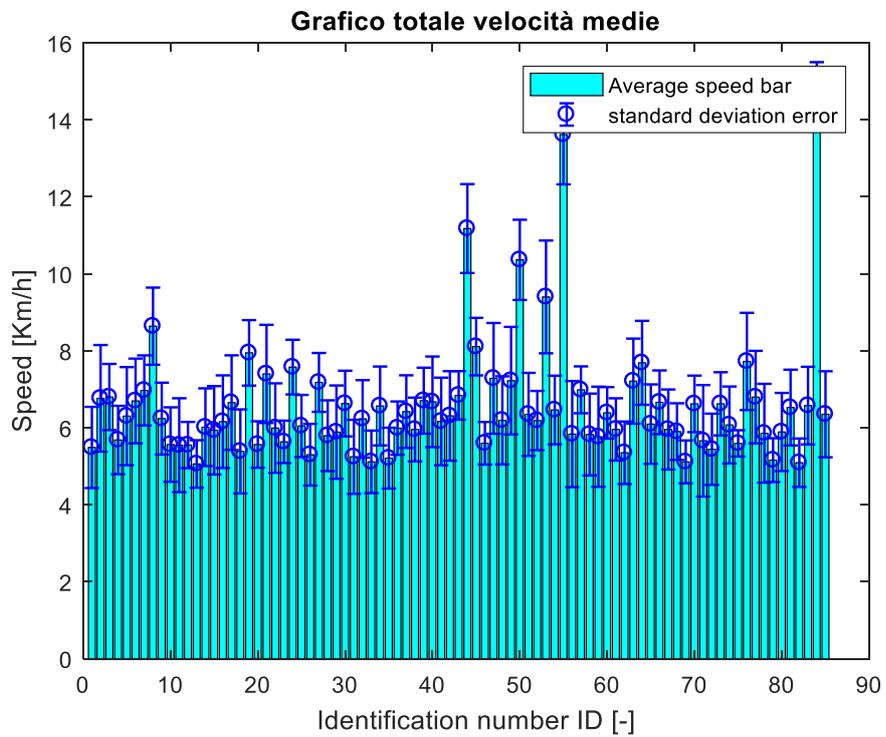


Giovedì 18/05/2017 ore 11,59-12,29

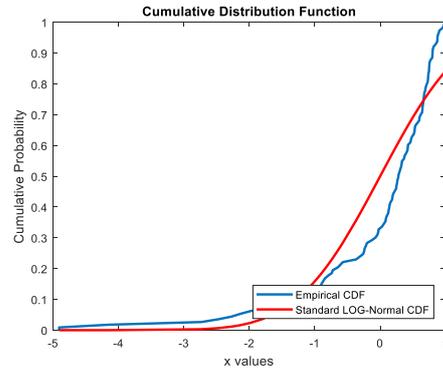
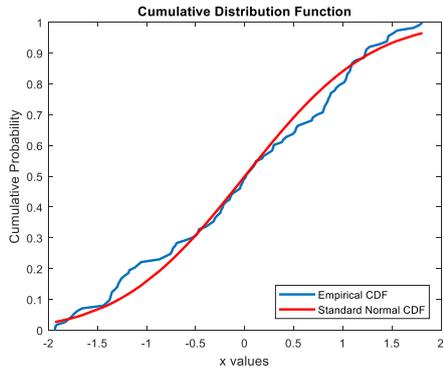
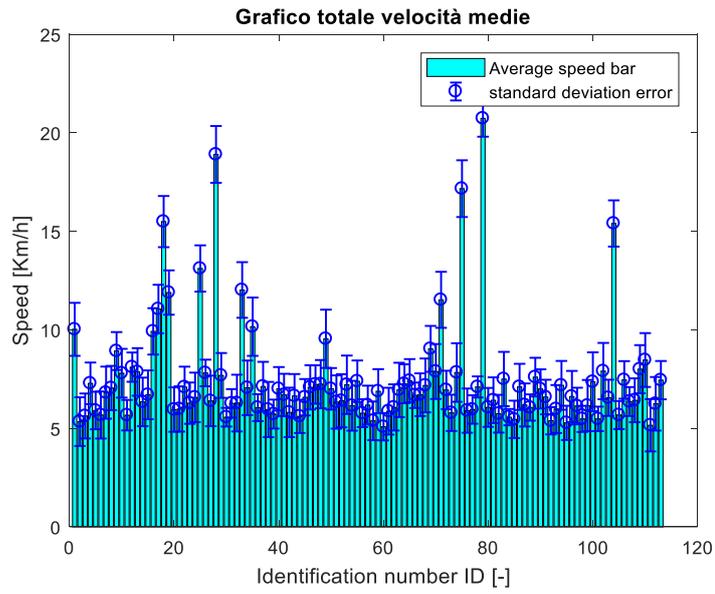




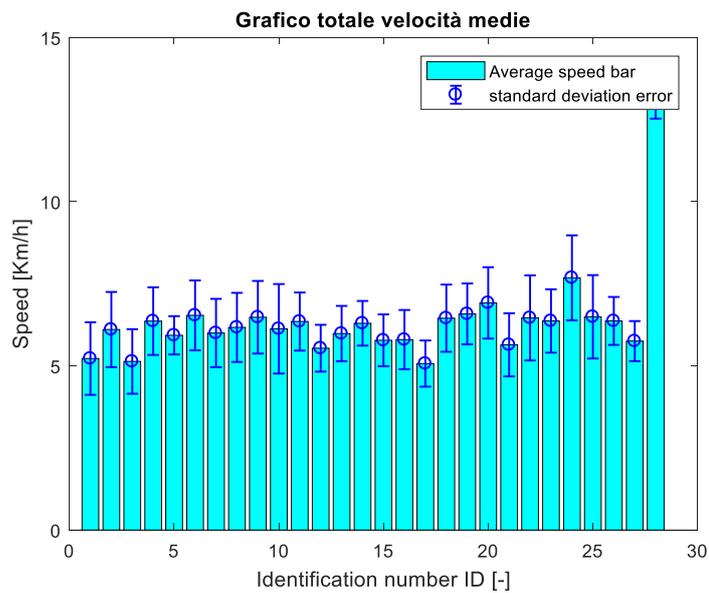
Giovedì 18/05/2017 ore 13,31-14,01

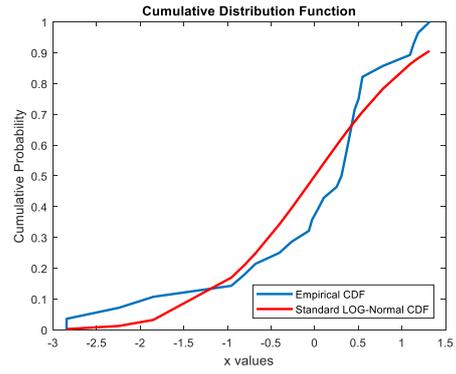
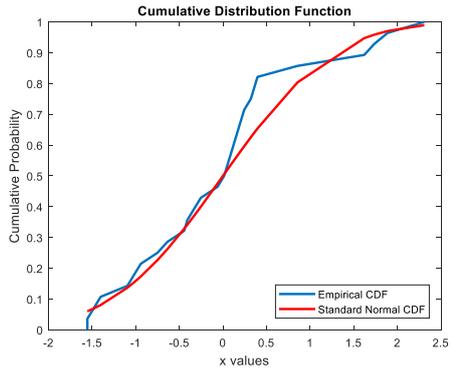


Giovedì 18/05/2017 ore 14,45-15-45

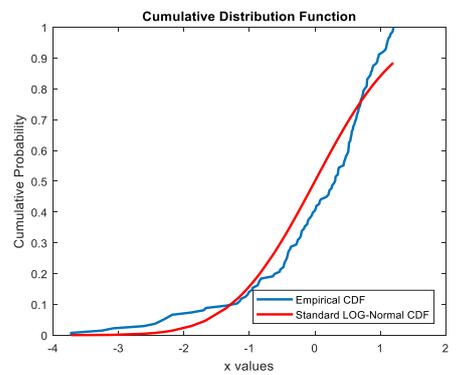
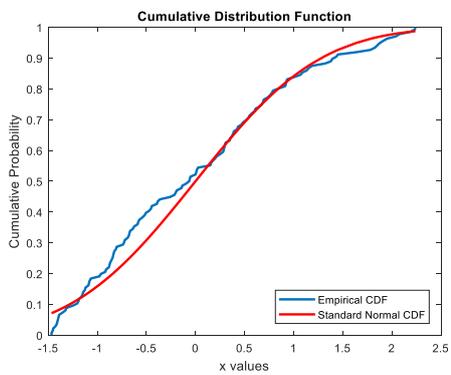
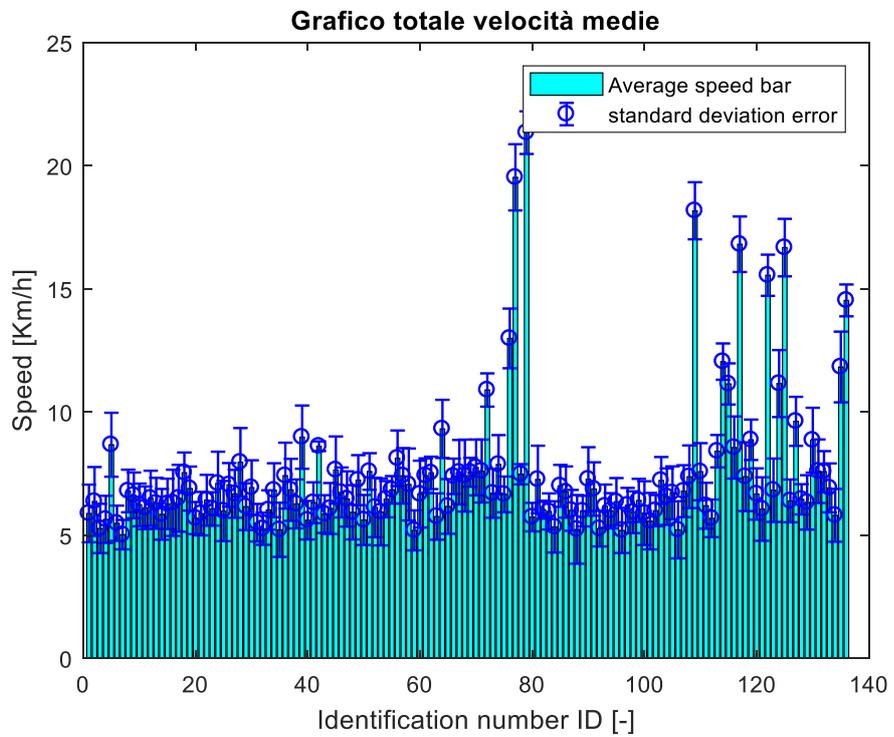


Giovedì 18/05/2017 ore 16,16-16,28

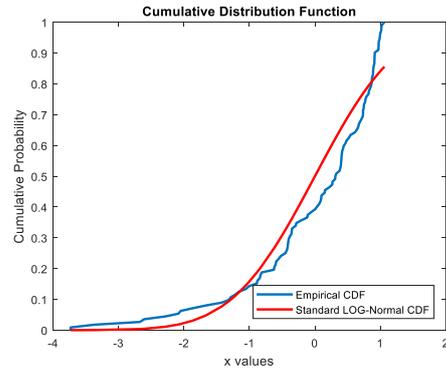
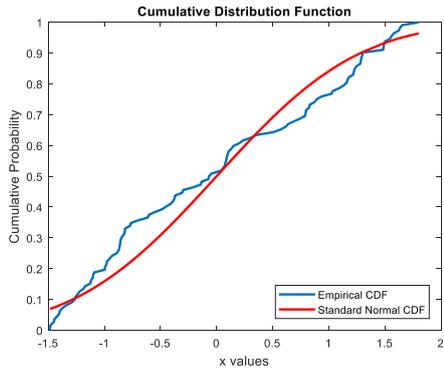
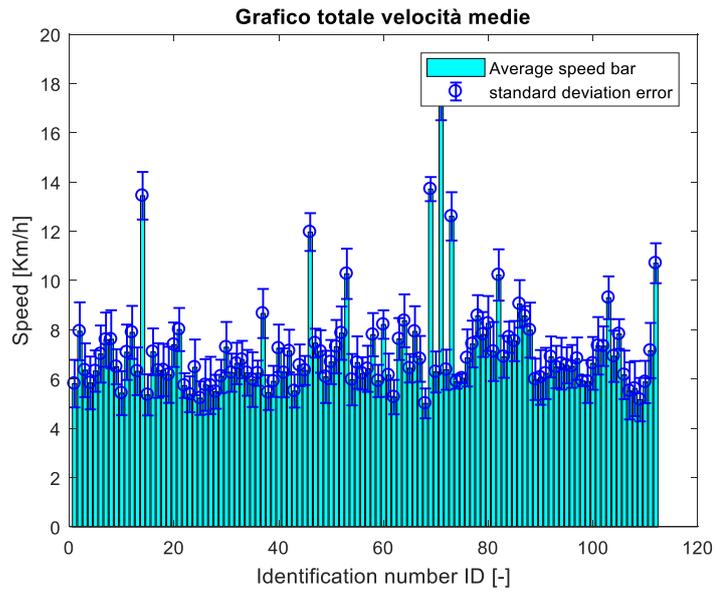




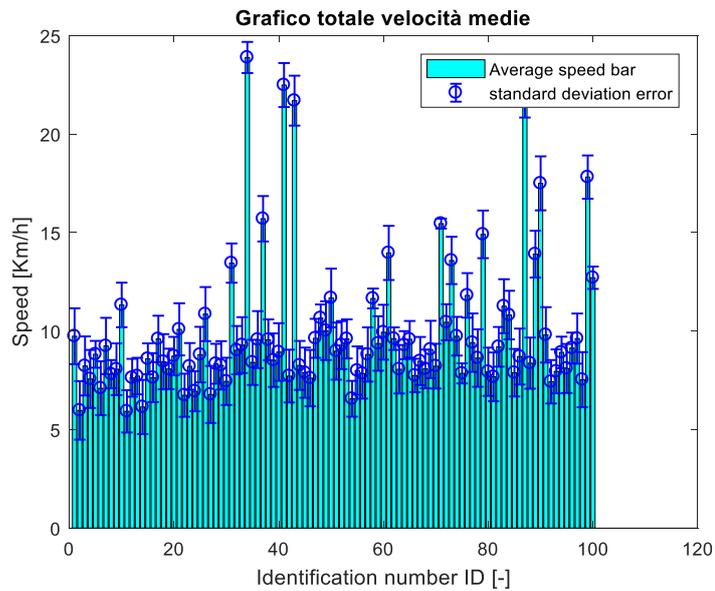
Giovedì 18/05/2017 ore 17,24-17,54

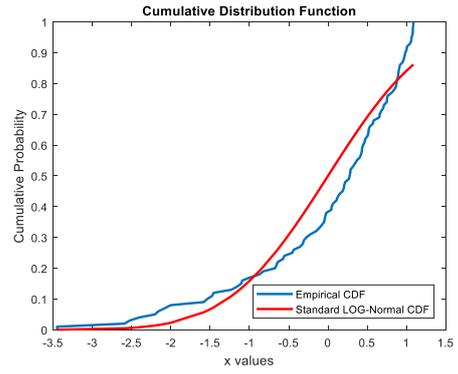
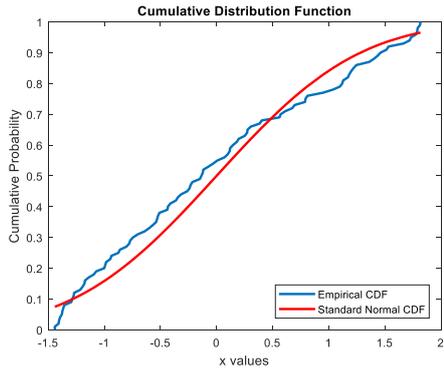


Giovedì 18/05/2017 ore 18,25-18,55

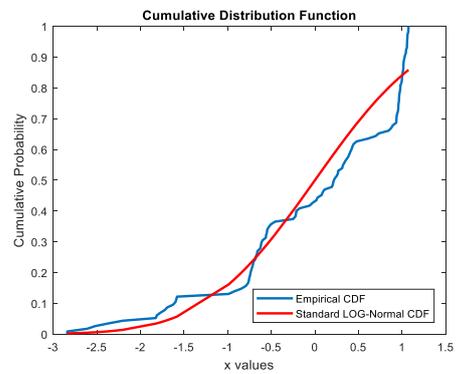
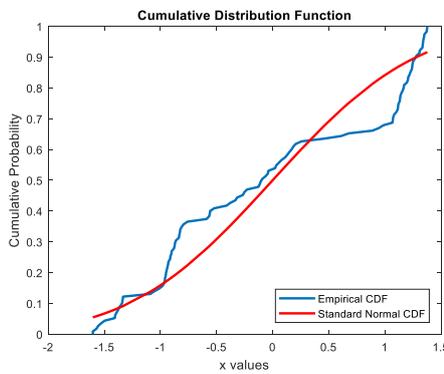
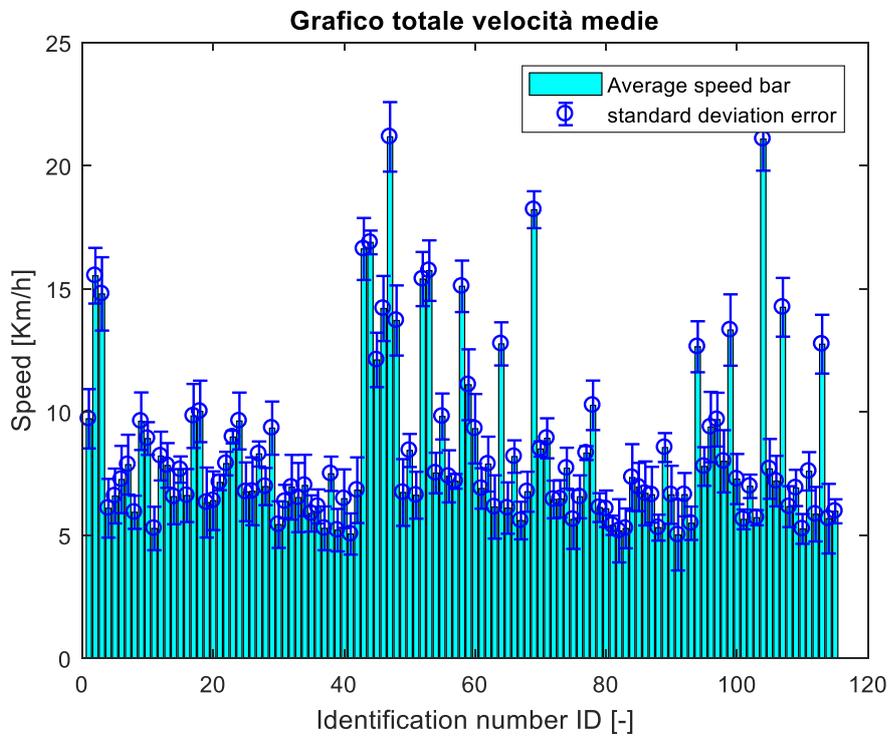


Martedì 23/05/2017 ore 7,45-8,15

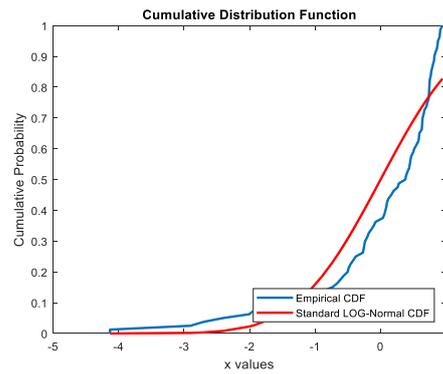
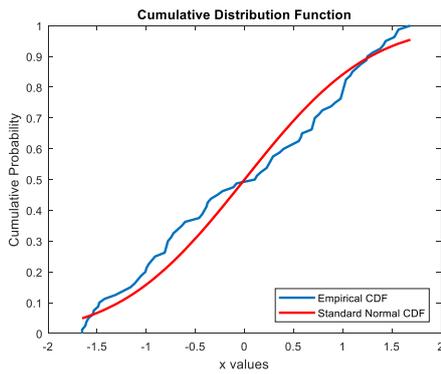
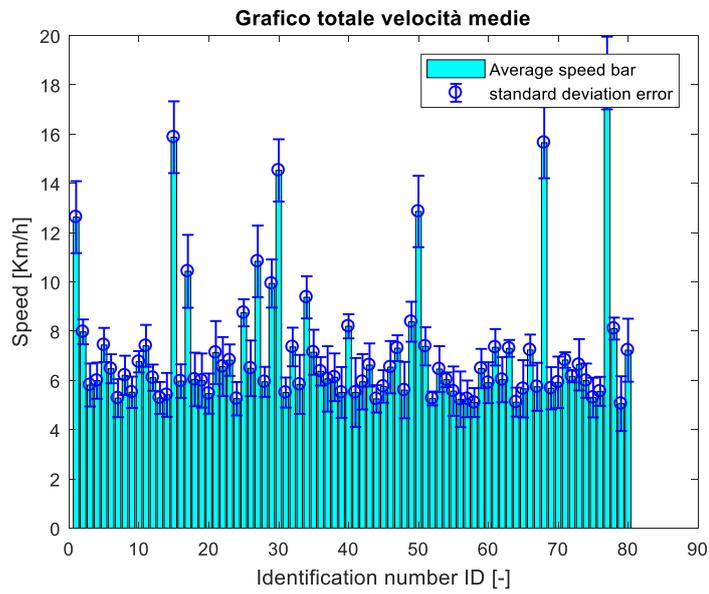




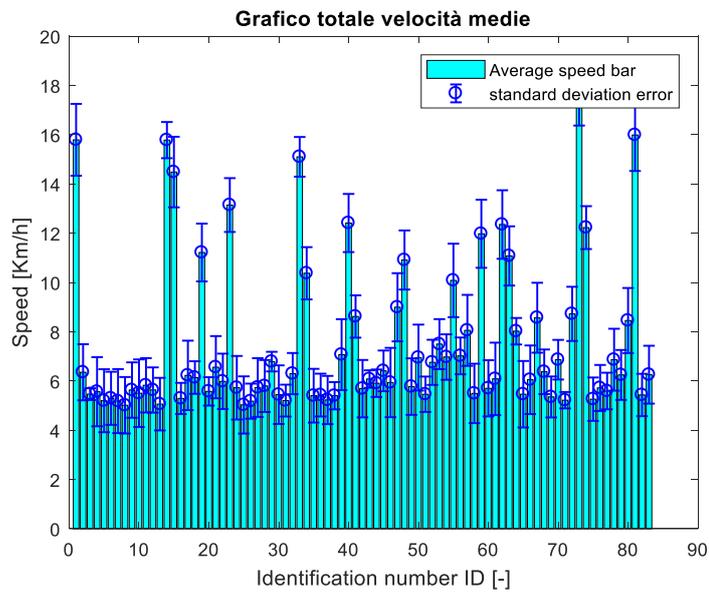
Martedì 23/05/2017 ore 8,57-9,29

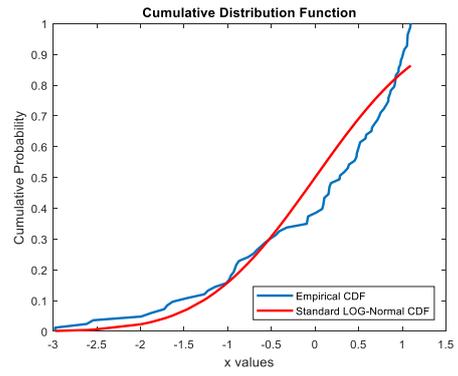
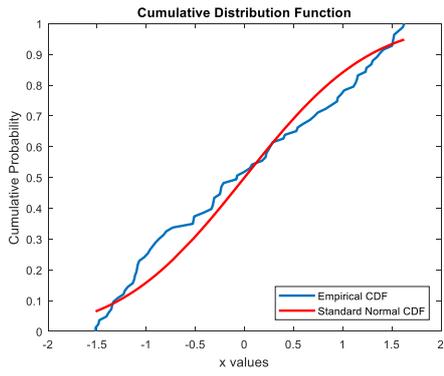


Martedì 23/05/2017 ore 10,15-11,17

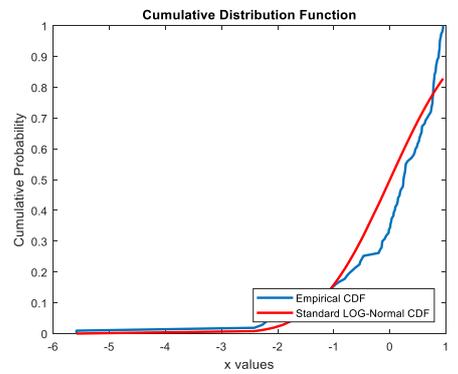
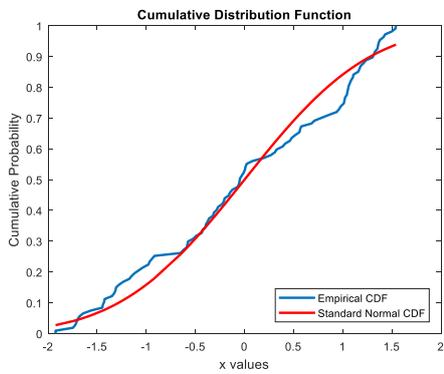
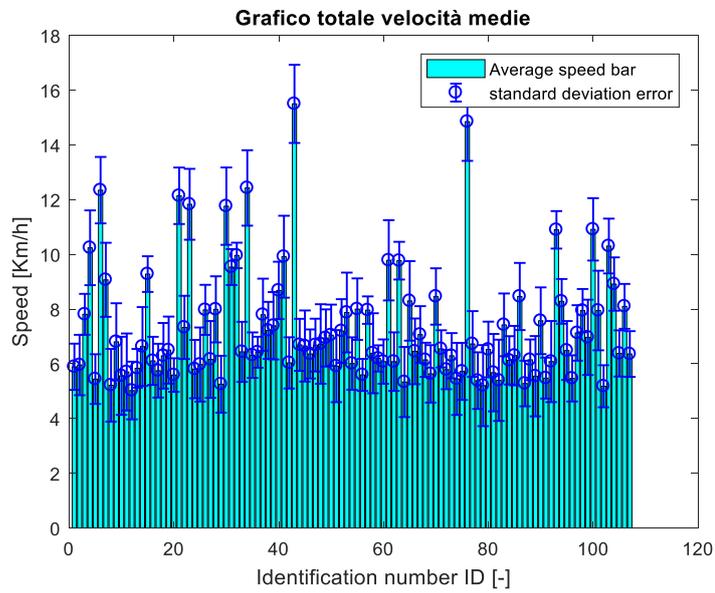


Martedì 23/05/2017 ore 11,53-12,25

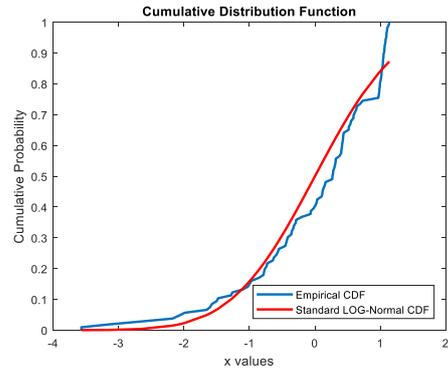
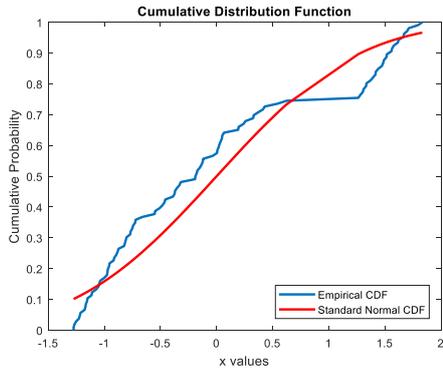
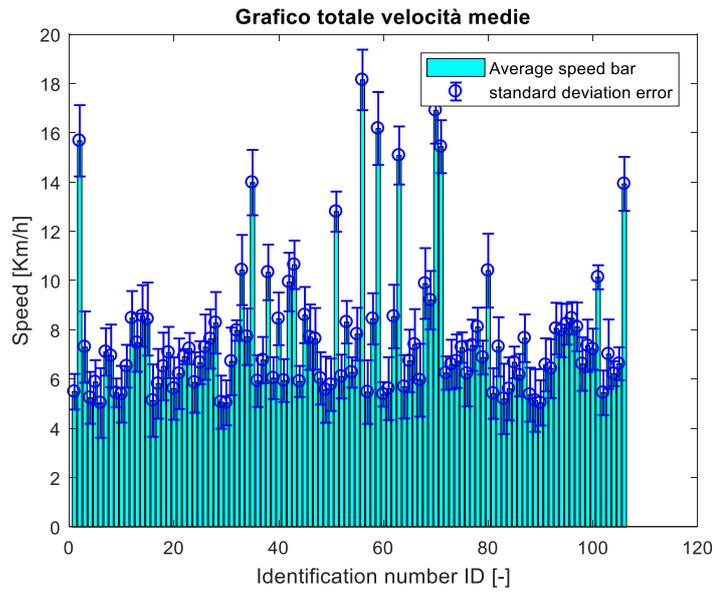




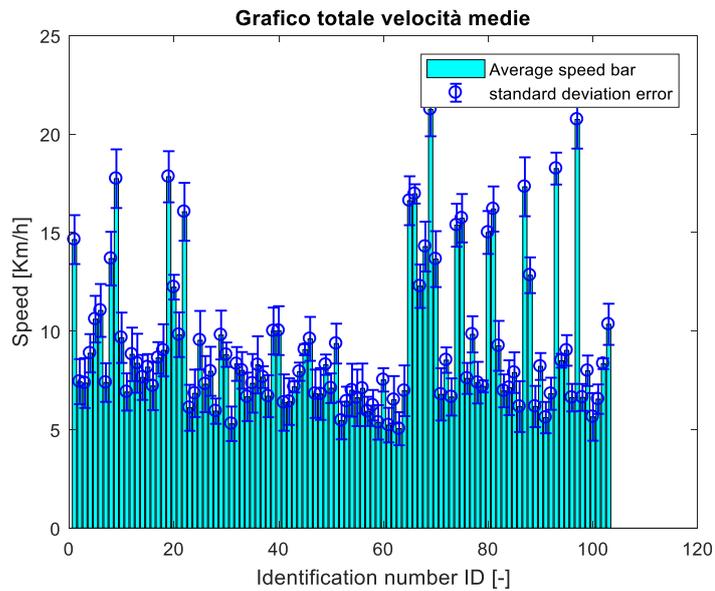
*Martedì 23/05/2017 ore 13,32-14,02*

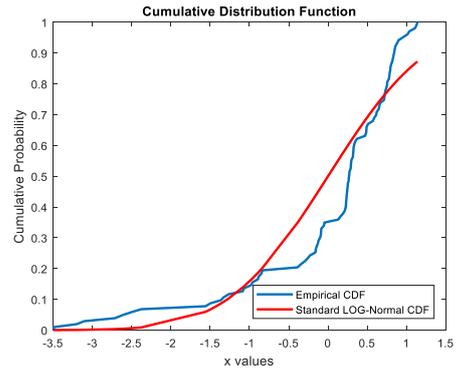
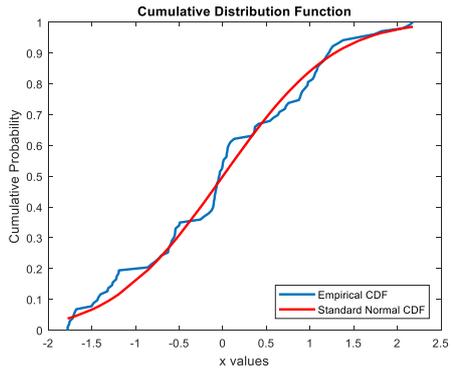


Martedì 23/05/2017 ore 14,45-15,45

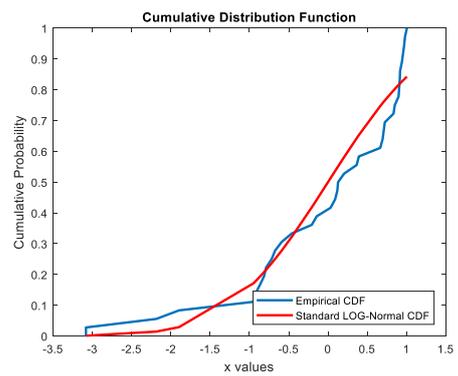
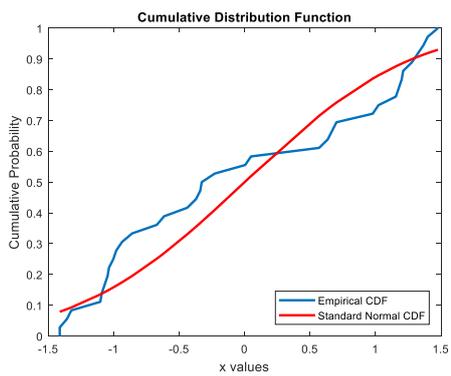
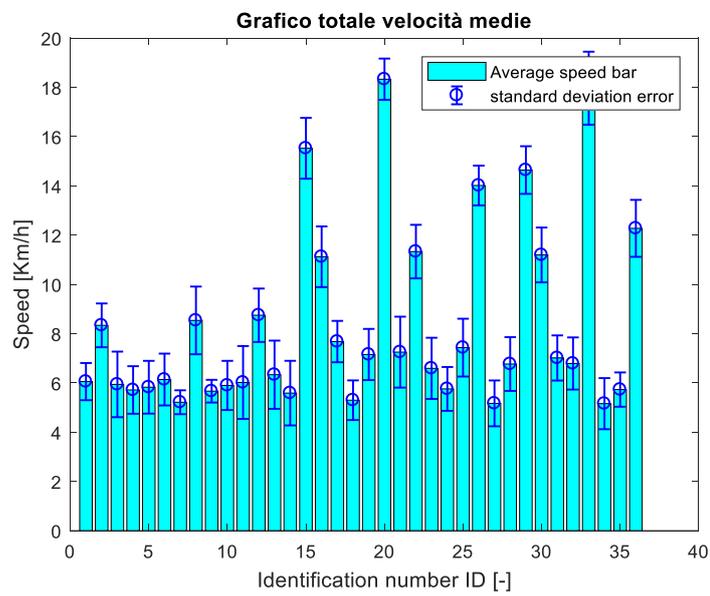


Martedì 23/05/2017 ore 16,15-16,45

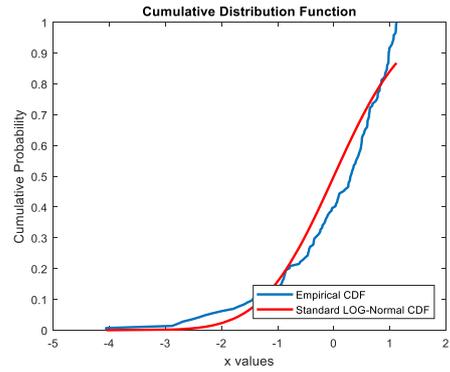
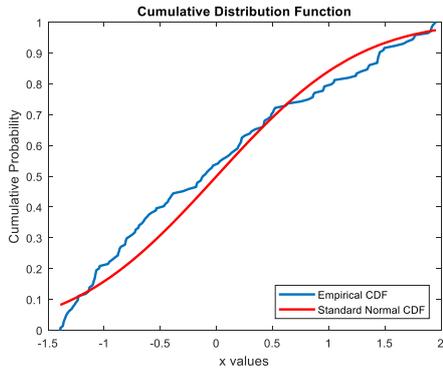
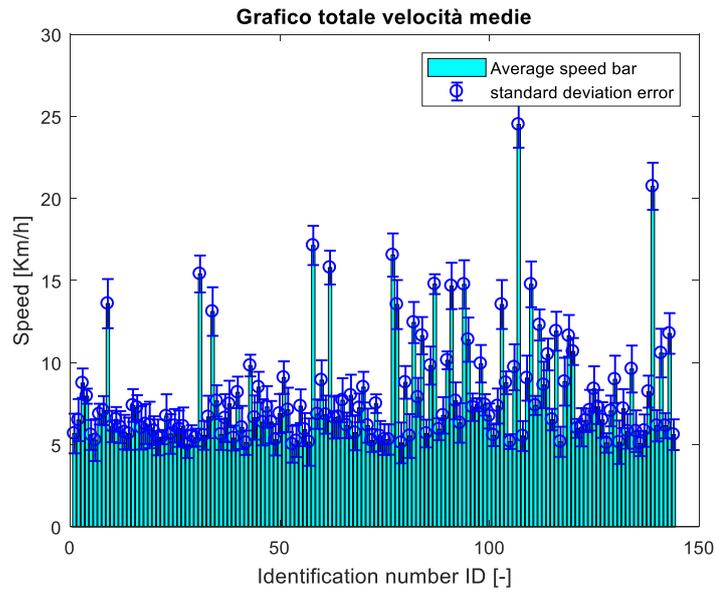




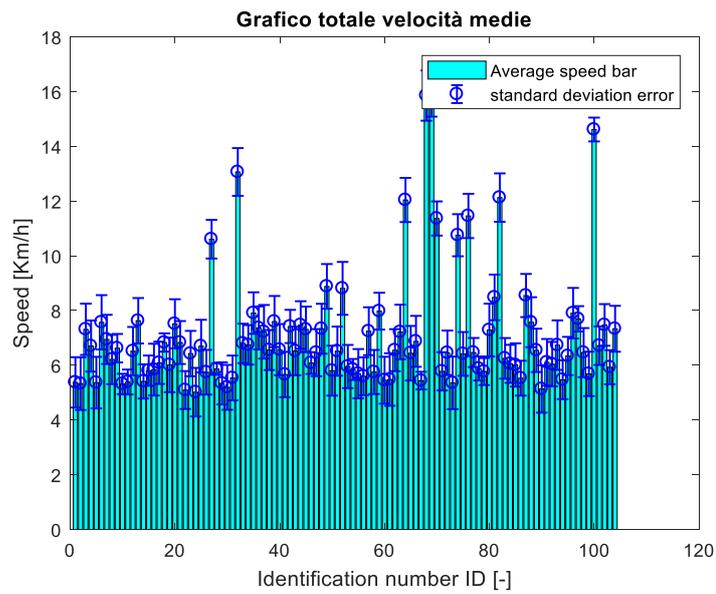
Martedì 23/05/2017 ore 17,26-17,57

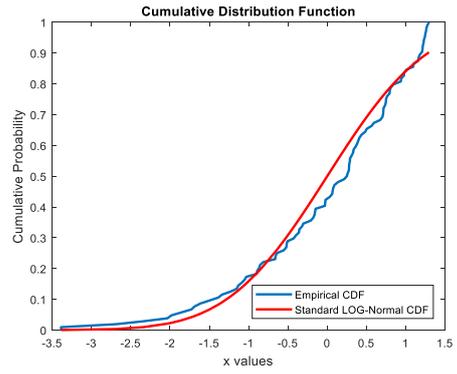
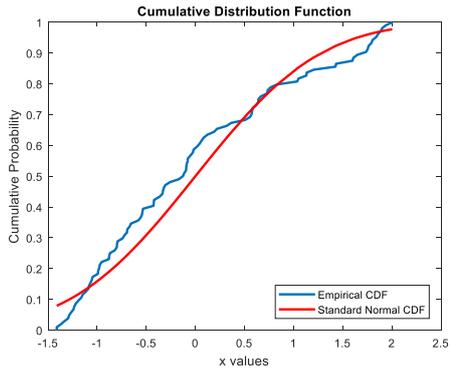


Martedì 23/05/2017 ore 18,27-18,57

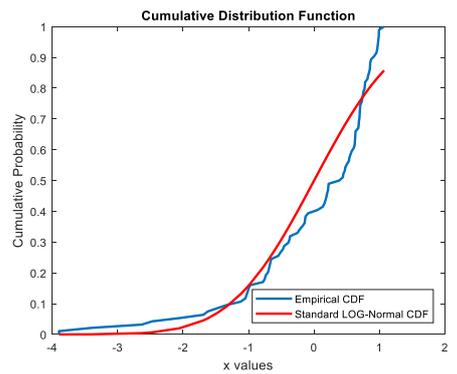
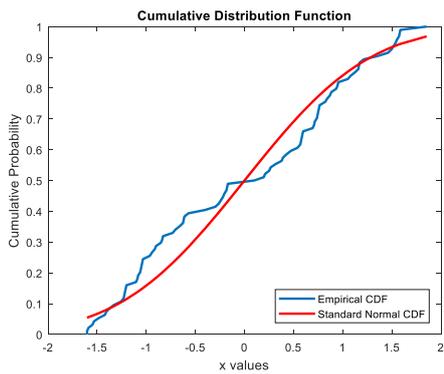
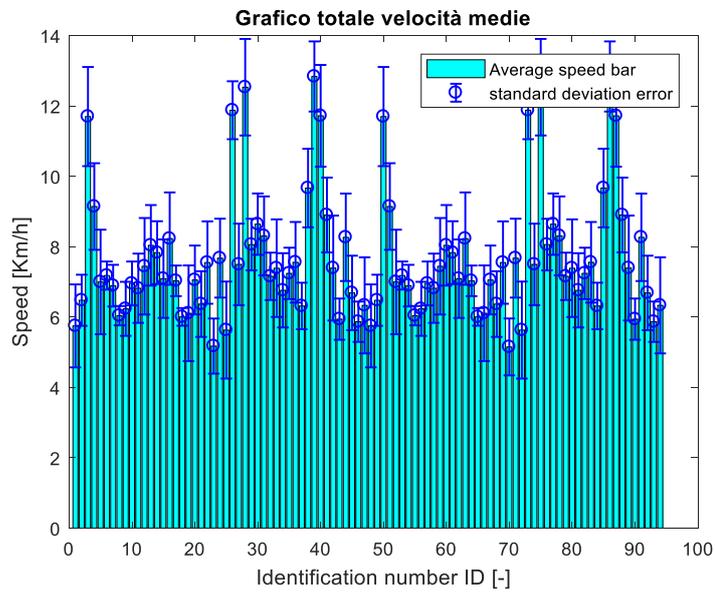


Giovedì 25/05/2017 ore 7,46-8,16

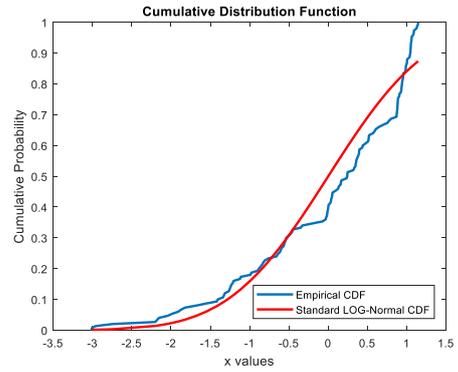
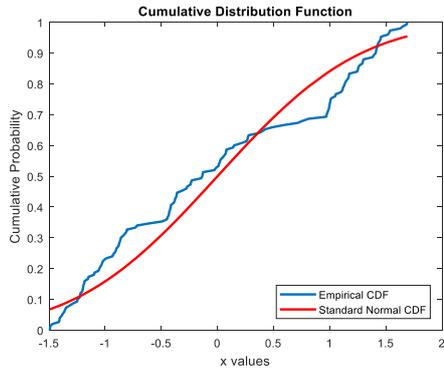
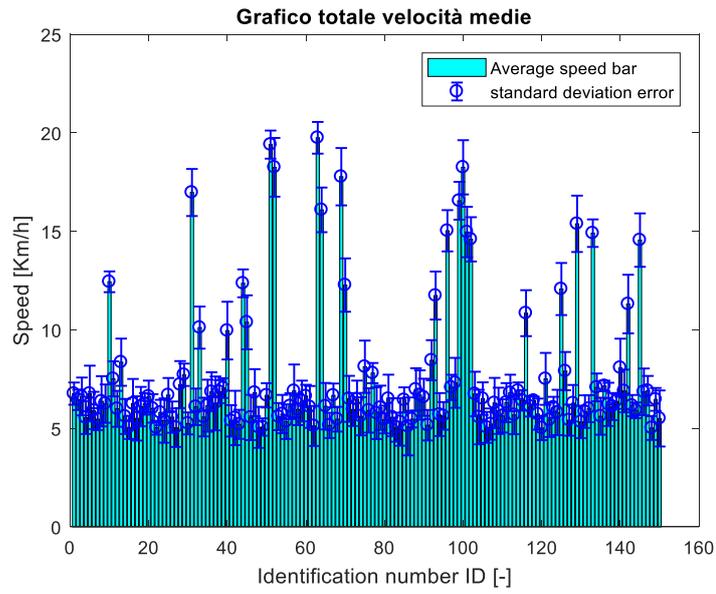




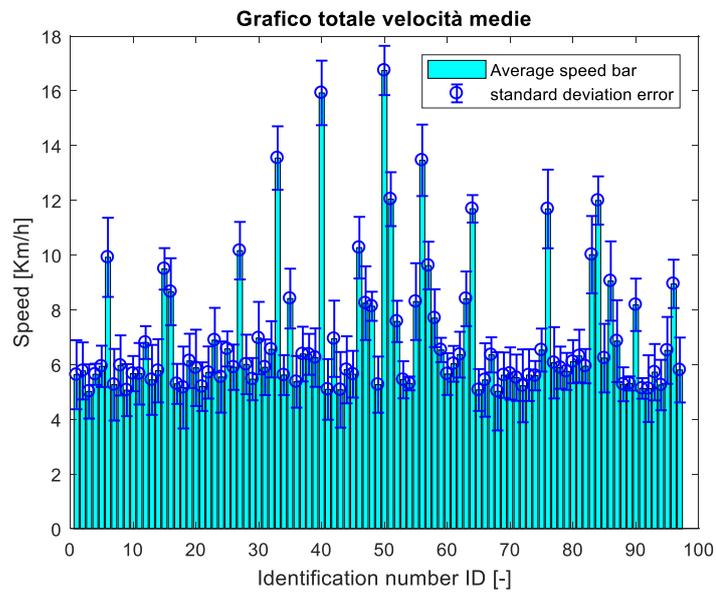
Giovedì 25/05/2017 ore 8,57-9,28

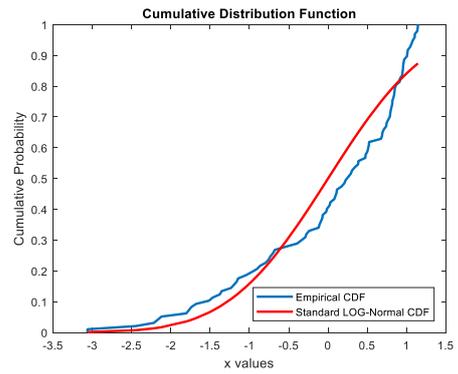
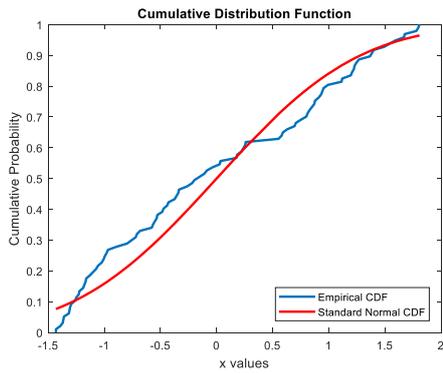


Giovedì 25/05/2017 ore 10,16-11,16

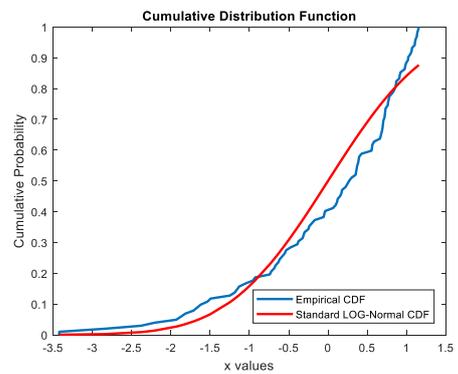
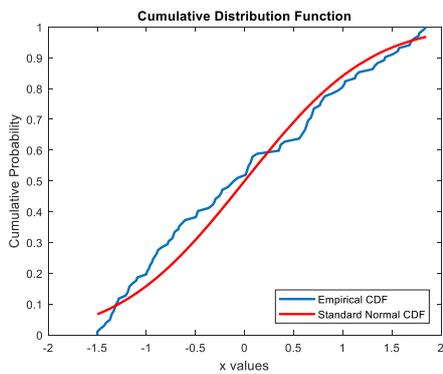
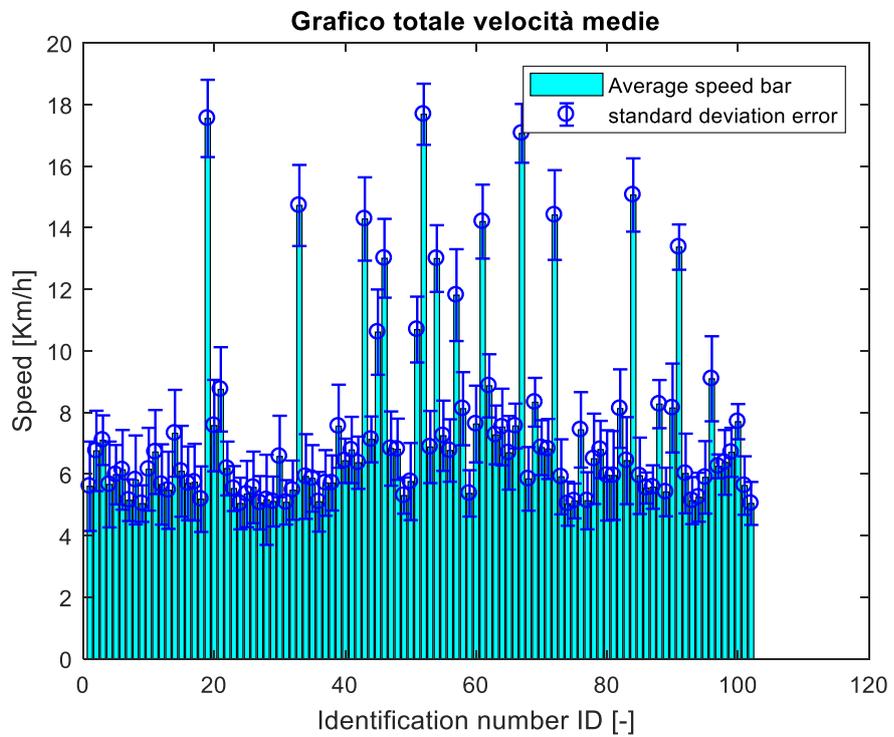


Giovedì 25/05/2017 ore 11,59-12,23

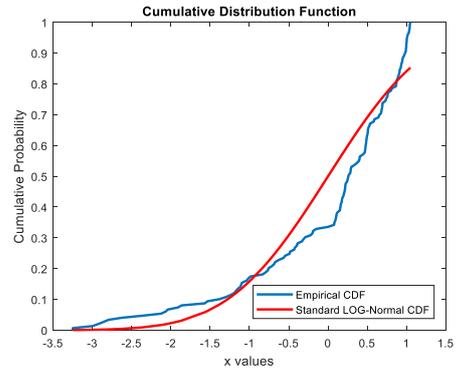
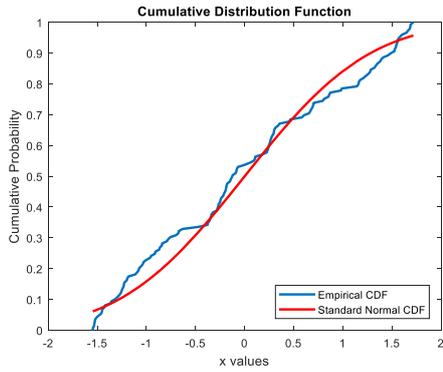
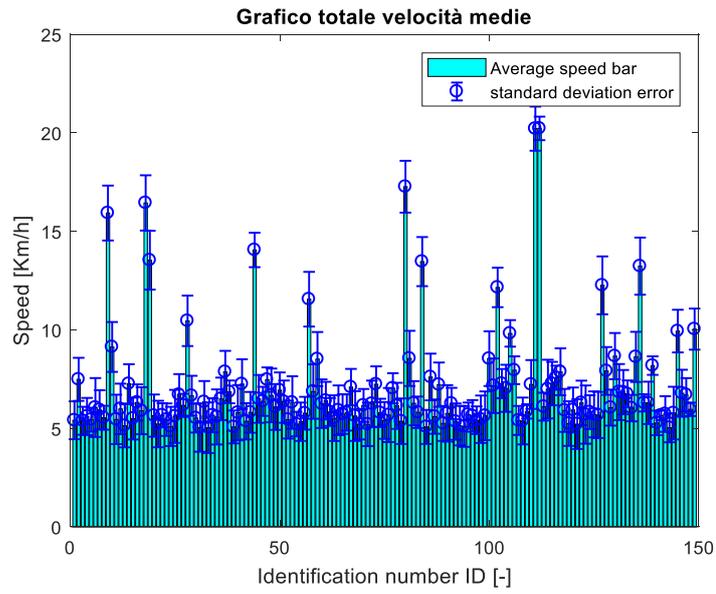




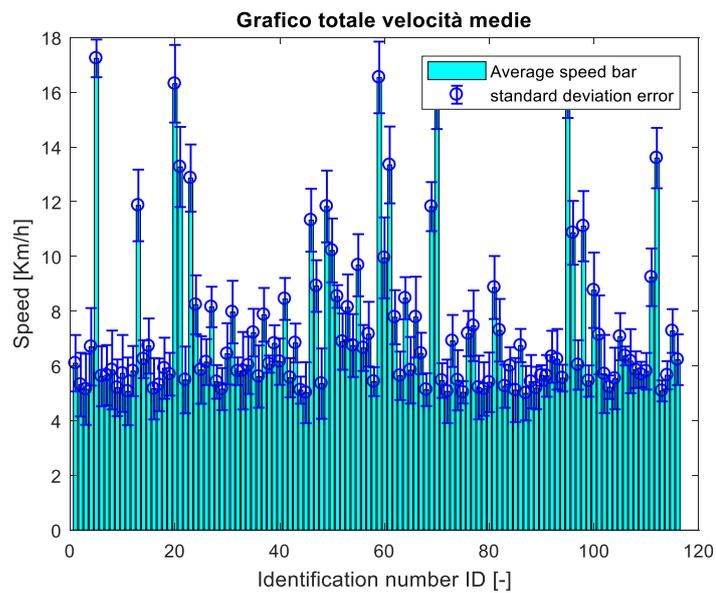
Giovedì 25/05/2017 ore 13,29-14,01

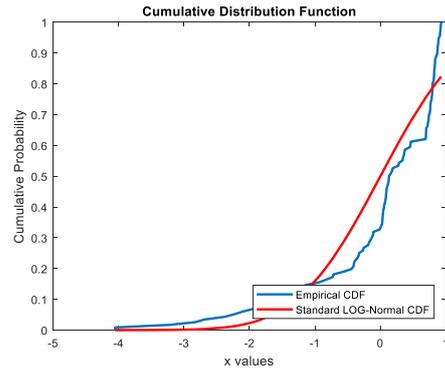
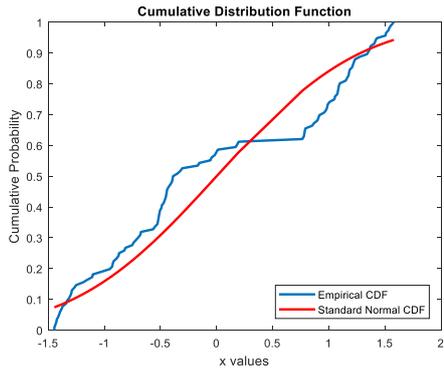


Giovedì 25/05/2017 ore 14,46-15,46

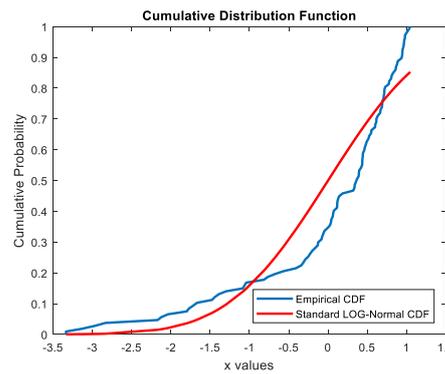
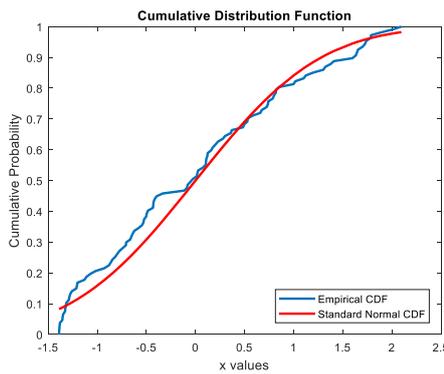
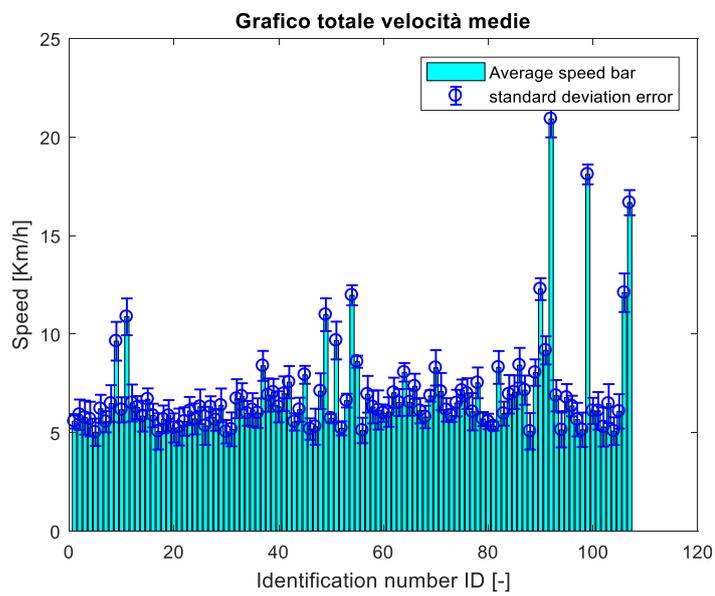


Giovedì 25/05/2017 ore 16,16-16,46

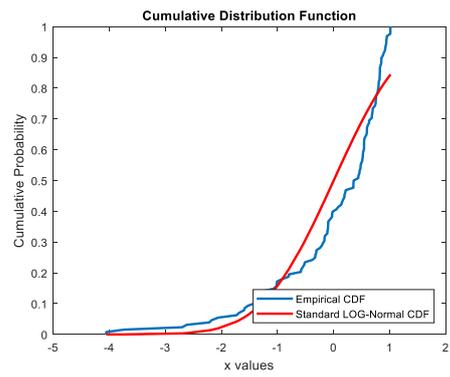
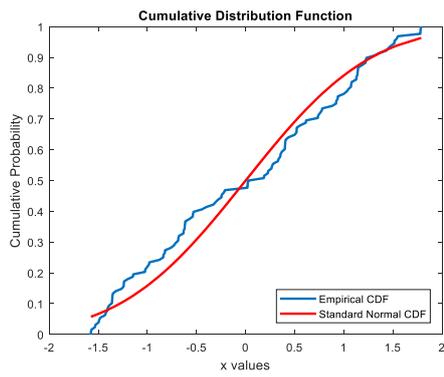
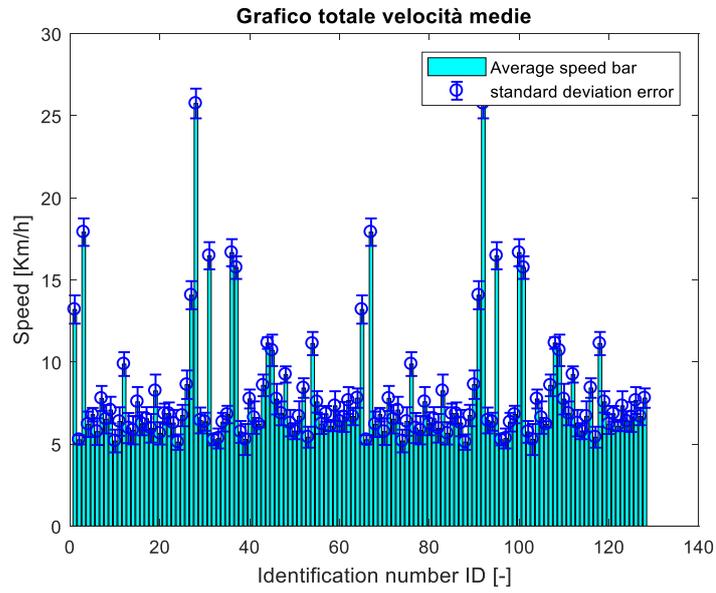




*Giovedì 25/05/2017 ore 17,30-18,00*



Giovedì 25/05/2017 ore 18,27-18,57



## B. CODICI MATLAB

### B1. CODICE PER L'ESTRAZIONE DEI FOTOGRAMMI (SEZIONE 2.3 PAG. 16)

```
clc;      % Clear the command window.
clear all;
close all; % Close all figures (except those of imtool.)
imtool close all; % Close all imtool figures.
clear; % Erase all existing variables.
workspace; % Make sure the workspace panel is showing.

disp inizio
% Open the .avi movie that ships with MATLAB.
vid = VideoReader('VIRB_0006.mp4');
framenos = vid.NumberOfFrames;
numberOfFramesWritten=0;

for k = 1 : framenos
    thisFrame = read(vid, k);
    outputBaseFileName = sprintf('%d.jpg', k);
    imwrite(thisFrame, outputBaseFileName, 'jpg');
    progressIndication = sprintf('Wrote frame %d of %d', k , framenos);
    disp(progressIndication);
    numberOfFramesWritten = numberOfFramesWritten + 1;
end

disp '=== Fine ==='
```

## B2. CODICE MOTION- BASED MULTIPLE OBJECT TRACKING (SEZIONE 2.3 PAG.23)

(Codice riportato dal sito in Bibliografia)

```
funzione multiObjectTracking()

% Create System objects used for reading video, detecting moving objects,
% and displaying the results.
obj = setupSystemObjects();

tracks = initializeTracks(); % Create an empty array of tracks.

nextId = 1; % ID of the next track

% Detect moving objects, and track them across video frames.
while ~isDone(obj.reader)
    frame = readFrame();
    [centroids, bboxes, mask] = detectObjects(frame);
    predictNewLocationsOfTracks();
    [assignments, unassignedTracks, unassignedDetections] = ...
        detectionToTrackAssignment();

    updateAssignedTracks();
    updateUnassignedTracks();
    deleteLostTracks();
    createNewTracks();

    displayTrackingResults();
end

%% Create System Objects
% Create System objects used for reading the video frames, detecting
% foreground objects, and displaying results.

funzione 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.

    % Create a video file reader.
    obj.reader = vision.VideoFileReader('Video.mp4');

    % 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', 0.7);

% 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', 400);

end

%% Initialize Tracks
% The |initializeTracks| funzione 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| : the 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.

funzione tracks = initializeTracks()
% create an empty 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.
funzione frame = readFrame()
    frame = obj.reader.step();
end

%% Detect Objects
% The |detectObjects| funzione 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 funzione 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.

funzione [centroids, bboxes, mask] = detectObjects(frame)

    % Detect foreground.
    mask = obj.detector.step(frame);

    % Apply morphological operations to remove noise and fill in holes.
    mask = imopen(mask, strel('rectangle', [30,30]));
    mask = imclose(mask, strel('rectangle', [150, 150]));
    mask = imfill(mask, 'holes');

    % Perform blob analysis to find connected components.
    [~, centroids, bboxes] = obj.blobAnalyser.step(mask);
end

%% 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.

funzione 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;
        %Display Centroids
        Centroids = predictedCentroid

        tracks(i).bbox = [predictedCentroid, bbox(3:4)];
    end
end

%% 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| funzione. The funzione 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| funzione 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.

    funzione [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

%% Update Assigned Tracks
% The |updateAssignedTracks| funzione 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 funzione sets the invisible count to 0.

funzione updateAssignedTracks()
    numAssignedTracks = size(assignments, 1);
    for i = 1:numAssignedTracks
        trackIdx = assignments(i, 1);
        detectionIdx = assignments(i, 2);
        centroid = centroids(detectionIdx, :);
        bbox = bboxes(detectionIdx, :);

        %Display Centroids

```

```

    % 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
end

%% Update Unassigned Tracks
% Mark each unassigned track as invisible, and increase its age by 1.

funzione 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

%% Delete Lost Tracks
% The |deleteLostTracks| funzione 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.

funzione 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

```

```

%% 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.

```

```

funzione 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

```

```

%% Display Tracking Results
% The |displayTrackingResults| funzione draws a bounding box and label ID
% for each track on the video frame and the foreground mask. It then
% displays the frame and the mask in their respective video players.

```

```

funzione 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

%% Summary
% This example created a motion-based system for detecting and
% tracking multiple moving objects. Try using a different video to see if
% you are able to detect and track objects. Try modifying the parameters
% for the detection, assignment, and deletion steps.
%
% The tracking in this example was solely based on motion with the
% assumption that all objects move in a straight line with constant speed.
% When the motion of an object significantly deviates from this model, the
% example may produce tracking errors. Notice the mistake in tracking the
% person labeled #12, when he is occluded by the tree.
%
% The likelihood of tracking errors can be reduced by using a more complex
% motion model, such as constant acceleration, or by using multiple Kalman
% filters for every object. Also, you can incorporate other cues for
% associating detections over time, such as size, shape, and color.

displayEndOfDemoMessage(mfilename)
end

```

### B3. CODICE SCRIPT\_FINALE (CAPITOLO 3 PAG.36)

```
funzione Script_Finale()

clear all
close all
clc

Video
multiObjectTracking
Speed
```

#### **FUNZIONE VIDEO**

```
funzione Video()

clc; % Clear the command window.
close all; % Close all figures (except those of imtool.)
imtool close all; % Close all imtool figures.
workspace; % Make sure the workspace panel is showing.
```

#### **ALGORITMO 1**

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% ESTRAZIONE DEI VARI FRAME
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
disp 'inizio estrazione frame'
% Open the movie that ships with MATLAB.
FileName = uigetfile({'*.wmv'; '*.avi'; '*.mp4'}, 'Select video');
video= FileName;
vid = VideoReader(video);
frameno = vid.NumberOfFrames;
numberOfFramesWritten=0;
for k = 1 : frameno
    thisFrame = read(vid, k);
    outputBaseFileName = sprintf('VID%d.jpg', k);
    imwrite(thisFrame, outputBaseFileName, 'jpg');
    progressIndication = sprintf('Wrote frame %d of %d', k ,
frameno);
    disp(progressIndication);
    numberOfFramesWritten = numberOfFramesWritten + 1;
end
disp 'Fine estrazione frame'
```

#### **ALGORITMO 2**

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%RADDRIZZAMENTO DEI FRAME
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%
disp 'load Camera Parameters'
load cameraParams
cameraParams = cameraParams;

% Remove lens distortion and display results
j=1;
```

```

for j=1:frameno
A = imread(strcat('VID',int2str(j),'.jpg'));
J1 = undistortImage(A,cameraParams);
output = sprintf('DIST%d.jpg', j);
imwrite(J1,output,'jpg')
progressIndication = sprintf('calibration frame %d of %d', j ,
frameno);
disp(progressIndication);
j=j+1;
end
disp 'Fine raddrizzamento frame'

```

### **ALGORITMO 3**

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%TAGLIO DELLE IMMAGINI
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
disp 'Inizio taglio dei frame'
t=1;
for t = 1:frameno
I= imread(strcat('DIST',int2str(t),'.jpg'));
rect =[820 0 200 1080];
I1 =imcrop(I,rect);
output = sprintf('CROP%d.jpg', t);
imwrite(I1,output,'jpg')
progressIndication = sprintf('crop frame %d of %d', t , frameno);
disp(progressIndication);
t=t+1;
end
disp 'Fine taglio frame'

```

### **ALGORITMO 4**

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%CREAZIONE DEL VIDEO
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
NomeVideo = input('Inserire il nome del Video in OUTPUT aggiungendo
alla fine .avi ----> ','s');
outputVideo = VideoWriter(NomeVideo);
open(outputVideo)

%%
% Loop through the image sequence, load each image, and then write
it to
% the video.
%%
ii=1;
for ii = 1:frameno
img = imread(strcat('CROP',int2str(ii),'.jpg'));
writeVideo(outputVideo,img)
progressIndication = sprintf('Video frame %d of %d', ii ,
frameno);
disp(progressIndication);
ii=ii+1;
end
%%
% Finalize the video file.
%%

```

```

close(outputVideo)
%% View the Final Video
% Construct a reader object.
%%
VIDEOAvi = VideoReader(NomeVideo);
%%
% Create a MATLAB movie struct from the video frames.
%%
ii = 1;
while hasFrame(VIDEOAvi)
    mov(ii) = im2frame(readFrame(VIDEOAvi));
    progressIndication = sprintf('Movie frame %d of %d', ii ,
framen);
    disp(progressIndication);
    ii = ii+1;
end
%%
% Resize the current figure and axes based on the video's width and
height,
% and view the first frame of the movie.
%%
disp 'Fine creazione del video'
disp 'Cancellazione frame'
delete *.jpg
%%
disp 'OPERATIVO PER LA FASE SUCCESSIVA'
%%

```

## **FUNZIONE MULTI-OBJECT TRACKING**

```

funzione multiObjectTracking()

% Create System objects used for reading video, detecting moving
objects,
% and displaying the results.
obj = setupSystemObjects();
tracks = initializeTracks(); % Create an empty array of tracks.
nextId = 1; % ID of the next track
tic
global conta
global CENTROIDI_1

conta=1;
CENTROIDI_1=zeros(3);
% Detect moving objects, and track them across video frames.
while ~isDone(obj.reader)
    frame = readFrame();
    [centroids, bboxes, mask] = detectObjects(frame);
    predictNewLocationsOfTracks();
    [assignments, unassignedTracks, unassignedDetections] = ...
        detectionToTrackAssignment();

    updateAssignedTracks();
    updateUnassignedTracks();
    deleteLostTracks();

```

```

        createNewTracks();

        displayTrackingResults();
end
toc

%Salvataggio delle coordinate dei centroidi e relativo ID
nell'estensione
%che si preferisce (in questo caso la scelta è ricaduta
nell'estensione
%del file *.mat poichè la dimensione del file è minore rispetto alle
altre opzioni)

%save centroidi.txt CENTROIDI_1 -ascii
save CENTROIDI_1.mat CENTROIDI_1 -mat
%xlswrite('Centroidi.xls', CENTROIDI_1)
Toc

```

## **ALGORITMO 5**

```

%% Create System Objects
% Create System objects used for reading the video frames, detecting
% foreground objects, and displaying results.

    funzione 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.

        disp 'Seleziona il video "*.avi" rimaneggiato nella funzione
precedente'

        % Create a video file reader.
        FileName = uigetfile('*.avi','Select video');
        VideoFinale = FileName;

        obj.reader = vision.VideoFileReader(VideoFinale);

        % 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', 0.7);

% 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', 400);
end

```

## **ALGORITMO 6**

```

%% Initialize Tracks
% The |initializeTracks| funzione 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| : the 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

```



```

%Da cambiare il valore del rettangolo per non rilevare la posizione
di
%oggetti troppo grandi o troppo piccoli

    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.
    [~, centroids, bboxes] = obj.blobAnalyser.step(mask);
end

% 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.

funzione 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

% 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| funzione. The funzione 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| funzione 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.

    funzione [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
%% Update Assigned Tracks
% The |updateAssignedTracks| funzione 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 funzione sets the invisible count
to 0.

```

```

funzione updateAssignedTracks()
    numAssignedTracks = size(assignments, 1);
    for i = 1:numAssignedTracks
        trackIdx = assignments(i, 1);
        detectionIdx = assignments(i, 2);
        centroid = centroids(detectionIdx, :);
        bbox = bboxes(detectionIdx, :);

        %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
        if numAssignedTracks>1
            pippo=0;
        end
        CENTROIDI_1(conta+i-1,:) = [assignments(i, 1)
centroids(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
%% Update Unassigned Tracks
% Mark each unassigned track as invisible, and increase its age by
1.

funzione 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

```

## **ALGORITMO 7**

```

%% Delete Lost Tracks
% The |deleteLostTracks| funzione 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.
funzione 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

```

## **ALGORITMO 8**

```

%% 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.
funzione 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;
        %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
        %CENTROIDI_2= [centroids(i, :)]

```

```

    end
end

```

## **ALGORITMO 9**

```

%% Display Tracking Results
% The |displayTrackingResults| funzione draws a bounding box and
label ID
% for each track on the video frame and the foreground mask. It then
% displays the frame and the mask in their respective video players.

funzione 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);

            %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%5
            % 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
%% Summary
% This example created a motion-based system for detecting and
% tracking multiple moving objects. Try using a different video to
% see if
% you are able to detect and track objects. Try modifying the
% parameters
% for the detection, assignment, and deletion steps.
%
% The tracking in this example was solely based on motion with the
% assumption that all objects move in a straight line with constant
% speed.
% When the motion of an object significantly deviates from this
% model, the
% example may produce tracking errors. Notice the mistake in
% tracking the
% person labeled #12, when he is occluded by the tree.
%
% The likelihood of tracking errors can be reduced by using a more
% complex
% motion model, such as constant acceleration, or by using multiple
% Kalman
% filters for every object. Also, you can incorporate other cues for
% associating detections over time, such as size, shape, and color.
displayEndOfDemoMessage(mfilename)
end
%%
disp 'Esportazione CENTROIDI'
%
```

## **FUNZIONE VELOCITA'**

```

funzione Speed()

close all
clear all
clc
```

## **ALGORITMO 10**

```

disp 'Load file mat'
% Caricare il file CENTROIDI_1 dal video al nuovo script
load CENTROIDI_1
A1 = CENTROIDI_1(:,1);
A2 = CENTROIDI_1(:,2);
```

```
A3 = CENTROIDI_1(:,3);
A = [A1 A2 A3];
```

### **ALGORITMO 11**

```
disp 'Ordine crescente degli ID'
% Si mettono i numeri identificativi (ID) contenuti
% nella matrice A (prima colonna) in ordine crescente
B = sortrows (A,1);
```

### **ALGORITMO 12**

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%CAMBIO
ID%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
disp 'Cambio ID'
%Si opera il primo miglioramento cambiando i valori di ID
% nel caso in cui vi siano delle traiettorie non correttamente
divise
i = 0;
x = length(B(:,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));
i = i+1;
end
M = [a' b'];
clear i
i=0;
for i = 1 : x-1
    c(1) = 1;
    if M(i,1)<20 && M(i,2)<50
        c(i+1)= c(i);
        else
        c(i+1) = c(i)+1;
    end
    i = i+1;
end
d = c';
C = [d B(:,2) B(:,3)];
```

### **ALGORITMO 13**

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%CALCOLO
SPEED%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
disp 'Calcolo speed'
% 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 = 0.03;
frame_rate = 29.97;
coeff_speed = (fatt_scala/(1/frame_rate))*3.6;
% Calcolo della velocità
clear i
i=0;
for i = 1: x-1
if C(i,1)== C(i+1,1)
```

```

        speed(i) = (sqrt(a(i)^2 + b(i)^2))*coeff_speed;
else
    speed(i) = speed(i-1);
end
    i = i+1;
end
% Si aggiunge un'ultima colonna al vettore speed
s = speed';
sp= s(x-1);
sp1 = [s ; sp];
%Matrice con i numeri identificativi e le velocità appena trovate
D = [d sp1];
% Colonna velocità
S = D(:,2);

```

### **ALGORITMO 14**

```

%FILTRO ELIMINAZIONE PICCHI
disp 'FILTRO PICCHI'
%si applica il filtro che elimina i picchi tenendo conto della
mediana
filtS = filloutliers(S, 'linear');

```

### **ALGORITMO 15**

```

%FILTRO DI APPIATTIMENTO DEL "RUMORE"
disp 'FILTRO DI LISCIAMENTO'
% si applica Smooth Method
y = filtS;
z = smooth(y,10, 'rlowess');

```

### **ALGORITMO 16**

```

%Si applica il FILTRO SULLA MEDIA MOBILE SU 10 VALORI
averagel0 = smooth(z,10, 'moving');
moving_average = movmean(averagel0,20);
%ottengo una matrice finale che racchiude tutti i valori
F = [d moving_average];
save matrice_finale.mat F -mat

```

### **ALGORITMO 17**

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%PIVOT TABLE POSIZIONI%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%TABELLA CENTROIDI
disp 'Tabella Pivot centroidi'
% Si crea una tabella nominando ogni colonna con una stringa
% identificatrice
ID_n = d;
coo_x = C(:,2);
coo_y = C(:,3);
%Inizialmente si crea una tabella vuota per poi aggiungere le
colonne in un
%secondo momento
T = table;
% Si nominano le colonne con un nome (sintassi "T.nome")

```

```

T.ID = ID_n;
T.x = coo_x ;
T.y = coo_y;
%Si rinomina la tabella
Tabella_posizioni = T;
% Si procede con la creazione di una PIVOT TABLE
%si crea un dataset array con il nome delle variabili che
interessano
dsa = Tabella_posizioni(:, {'ID', 'y'});
% Ci interessa il conteggio degli ID, il minimo ed il massimo delle
y
statarray_1 = grpstats(dsa, {'ID'}, {'min', 'max'}, ...
                      'DataVars', 'y');
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%PIVOT TABLE VELOCITA'%%%%%%%%%%%%%%
% TABELLA VELOCITA' MEDIA
disp 'Tabella Pivot Velocità'
vel = F(:,2);
%Si esegue lo stesso procedimento svolto precedentemente
T1 = table;
T1.ID = ID_n;
T1.Speed = vel;

Tabella_speed = T1;
dsn = Tabella_speed(:, {'ID', 'Speed'});
statarray_2 = grpstats(dsn, 'ID');

```

### **ALGORITMO 18**

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%FILTRO
POSIZIONI%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%Si scelgono solo gli identification number che hanno un conteggio
maggiore
%di 40 e con un min y minore di 200 e max y maggiore di 600
disp 'Applicazione Filtro di Posizione'
t= 0;
for t = 1: (max(C(:,1)))
    if statarray_1{t,2} > 40 && (statarray_1{t,3} < 200 ||
statarray_1{t,4} > 600)
        E(t) = statarray_1{t,1};
    else
        E(t)=0;
    end
    t=t+1;
end
Filt_POS = E';
%Si procede con il conteggio degli ID diversi da 0
conteggio_POS = 0;
cont=0;

for cont = 1: (max(C(:,1)))-1
    if Filt_POS(cont)> 0
        conteggio_POS = conteggio_POS +1;
    else
        end
    cont = cont +1;
end

```

```

% % Si trova infine il vettore senza gli zeri
% Filt_POS((Filt_POS==0))= [];
% Contare_posizioni = length(Filt_POS);
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%FILTRO
VELOCITA'%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Si prendono in considerazione solo quelle velocità medie maggiori
di 5 Km/h
disp 'Applicazione Filtro di Velocità'
j= 0;
for j = 1: (max(C(:,1)))
    if statarray_2{j,3} > 5
        G(j) = statarray_2{j,1};
    else
        G(j)=0;
    end
    j=j+1;
end
Filt_VEL = G';
%Si procede con il conteggio degli ID diversi da 0
clear cont
conteggio_VEL = 0;
cont=0;

for cont = 1: (max(C(:,1)))-1
    if Filt_VEL(cont)> 0
        conteggio_VEL = conteggio_VEL +1;
    else
        end
        cont = cont +1;
end
% % Si trova infine il vettore senza gli zeri
% Filt_VEL((Filt_VEL==0))= [];
% Contare_speed = length(Filt_VEL);
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%FILTRO PARAMETRI
STATISTICI%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Si verificano anche i parametri statistici come deviazione
standard e
% varianza
statarray_3 = grpstats(dsn,{'ID'},{'std','var'},...
                        'DataVars','Speed');
% Si mettono insieme i due filtri ed il filtro si ottiene il
campione finale di
% velocità e numeri identificativi
disp 'Applicazione di tutti i filtri'
clear t
t=0;
for t = 1: length(statarray_1(:,1))
    if Filt_POS(t) > 0 && Filt_VEL(t) > 0 && statarray_3{t,3} < 1.0
        H(t)= statarray_3{t,1};
    else
        H(t) = 0;
    end
    t=t+1;
end
ID_FINALE = H';
%Si procede con il conteggio degli ID diversi da 0

```

```

clear cont
conteggio_FIN = 0;
cont=0;
for cont = 1: (max(C(:,1)))-1
    if Filt_VEL(cont)> 0
        conteggio_FIN = conteggio_FIN +1;
    else
    end
    cont = cont +1;
end
%Si crea una matrice finale a due colonne con i risultati ottenuti
con
%l'applicazione dei filtri
v=0;
for v= 1:(max(C(:,1)))
    if ID_FINALE(v) > 0

        MATR_FINALE(v) = ID_FINALE(v);
    else
        MATR_FINALE(v)=0;
    end
end
Fine = MATR_FINALE';
% La matrice finale risulta essere:
Matrice_fine = [Fine statarray_2{: ,3}];
% %Si eliminano le colonne con gli ID uguali a zero:
ID_senza0 = Fine;
ID_senza0(ID_senza0==0) = [];
%Si associano agli ID trovati le relative velocità
lung = length(Fine);
clear v
col_vel = statarray_2{: ,3};
v=0;
for v= 1: lung
    if Fine(v)==0
        col_vel(v)=0;
    else
        col_vel(v)= col_vel(v);
    end
    v= v+1;
end
col_vel(col_vel==0)= [];
disp 'Matrice Finale'
Matrice_vel_FINE = [ID_senza0 col_vel];

```

### **ALGORITMO 19**

```

disp 'Istogramma velocità medie'
% si plottano i valori trovati
figure
bar(col_vel)
title('Istogramma velocità medie')
ylabel('Speed [Km/h]')
xlabel('Identification number ID [-]')
%Si crea un grafico con i valori di deviazioni standard
n = 0;

```

```

st_dev = statarray_3(:,3);
for n = 1:lung
if Fine(n) > 0;
    N(n)= st_dev(n);
else
    N(n) = 0;
end
n = n+1;
end
Matr_std = N';
Matr_std(Matr_std==0)=[];
err = Matr_std;
lungh_fin = length (err);
xx = 1:1:lungh_fin;
save Average_speed.mat Matrice_vel_FINE err -mat
figure
errorbar(xx,col_vel,err)
title('Diagramma errori deviazioni standard')
ylabel('Speed [Km/h]')
xlabel('Identification number ID [-]')
figure
bar(col_vel,'c')
title('Grafico totale velocità medie')
ylabel('Speed [Km/h]')
xlabel('Identification number ID [-]')
hold on
errorbar(xx,col_vel,err,'ob','LineWidth', 1)
legend('Average speed bar','standard deviation error')
saveas(gcf,'grafico_velocità.jpg')

```

## **ALGORITMO 20**

```

%Si verifica se la distribuzione dei dati raccolti si può associare
ad una
%distribuzione normale
disp 'Verifica Distribuzione NORMALE'
normale = Matrice_vel_FINE;
x = normale (:,2);
pd = fitdist(x,'Normal');
m = mean(pd);
x_pdf = [1:0.1:100];
y = pdf(pd,x_pdf);
% Test for a Standard Normal Distribution
%%
% Load the sample data. Create a vector containing the first column
of the
% sample data
test1 = normale(:,1);
m = mean (test1);
s = std(test1);
%%
% Test the null hypothesis that the data comes from a normal
distribution
% with a mean of m and a standard deviation of s. Use these
parameters to

```

```

% center and scale each element of the data vector since, by
default,
% |kstest| tests for a standard normal distribution.
clear x
x = (test1-m)/s;
h = kstest(x)
if h == 0
    disp 'Distribuzione Normale'
elseif h == 1
    disp 'non è Distribuzione Normale'
else
    disp 'Errore'
end
end
%%
% The returned value of |h = 0| indicates that |kstest| fails to
reject the
% null hypothesis at the default 5% significance level.
%%
% Plot the empirical cumulative distribution funzione (cdf) and the
% standard normal cdf for a visual comparison.
[f,x_values] = ecdf(x);
figure
F = plot(x_values,f);
set(F,'LineWidth',2);
hold on;
G = plot(x_values,normcdf(x_values,0,1),'r-');
set(G,'LineWidth',2);
legend([F G],...
    'Empirical CDF','Standard Normal CDF',...
    'Location','SE');
title ('Cumulative Distribution Funzione')
ylabel ('Cumulative Probability')
xlabel ('x values')
saveas(gcf,'DIT_NORM.jpg')
%%
% The plot shows the similarity between the empirical cdf of the
centered
% and scaled data vector and the cdf of the standard normal
distribution.

```

## **ALGORITMO 21**

```

disp 'Verifica Distribuzione LOG-NORMALE'
clear x
normale = Matrice_vel_FINE;
x = log(normale(:,2));
pd = fitdist(x,'Normal');
m = mean(pd);
x_pdf = [1:0.1:100];
y = pdf(pd,x_pdf);
% Test for a Standard Log-Normal Distribution
%%
% Load the sample data. Create a vector containing the first column
of the
% sample data
test1 = log(normale(:,1));

```

```

m = mean (test1);
s = std(test1);
%%
% Test the null hypothesis that the data comes from a log-normal
distribution
% with a mean of m and a standard deviation of s. Use these
parameters to
% center and scale each element of the data vector since, by
default,
% |kstest| tests for a standard normal distribution.
clear x
x = (test1-m)/s;
h = kstest(x)

if h == 0
    disp 'Distribuzione Log-Normale'
elseif h == 1
    disp 'non è Distribuzione Log-Normale'
else
    disp 'Errore'
end
%%
% The returned value of |h = 0| indicates that |kstest| fails to
reject the
% null hypothesis at the default 5% significance level.
%%
% Plot the empirical cumulative distribution funzione (cdf) and the
% standard normal cdf for a visual comparison.
[f,x_values] = ecdf(x);
figure
F = plot(x_values,f);
set(F,'LineWidth',2);
hold on;
G = plot(x_values,normcdf(x_values,0,1),'r-');
set(G,'LineWidth',2);
legend([F G],...
        'Empirical CDF','Standard LOG-Normal CDF',...
        'Location','SE');
title ('Cumulative Distribution Funzione')
ylabel ('Cumulative Probability')
xlabel ('x values')
saveas(gcf,'DIT_logNORM.jpg')
end
disp 'FINE'
end

```

## B4. CODICE CALIBRAZIONE CAMERA (SEZIONE 3.1 PAG. 38)

```
funzione Script_Camera()

clear all
close all
clc

scelta
    funzione scelta()

%Interfaccia interattiva con Input da TASTIERA secondo 3 opzioni a scelta
% Construct a questdlg with three options
choice = questdlg('A quale videocamera appartiene il video?', ...
    'Options', ...
    'Camera 2080','Camera 9002','Nessuna delle due','Nessuna delle due');
% Handle response
switch choice

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%OPZIONE 1%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
    case 'Camera 2080'
        disp([choice ' ---> Camera parameters 2080'])

        % Auto-generated by cameraCalibrator app on 11-Oct-2017
%-----
% Define images to process
imageFileNames = {'C:\Users\vero1\Desktop\VIDEO
SCACCHIERA\2080_1\2080\1.jpg',...
    'C:\Users\vero1\Desktop\VIDEO SCACCHIERA\2080_1\2080\17.jpg',...
    'C:\Users\vero1\Desktop\VIDEO SCACCHIERA\2080_1\2080\33.jpg',...
    'C:\Users\vero1\Desktop\VIDEO SCACCHIERA\2080_1\2080\49.jpg',...
    'C:\Users\vero1\Desktop\VIDEO SCACCHIERA\2080_1\2080\65.jpg',...
    'C:\Users\vero1\Desktop\VIDEO SCACCHIERA\2080_1\2080\81.jpg',...
    'C:\Users\vero1\Desktop\VIDEO SCACCHIERA\2080_1\2080\97.jpg',...
    'C:\Users\vero1\Desktop\VIDEO SCACCHIERA\2080_1\2080\113.jpg',...
    'C:\Users\vero1\Desktop\VIDEO SCACCHIERA\2080_1\2080\129.jpg',...
    'C:\Users\vero1\Desktop\VIDEO SCACCHIERA\2080_1\2080\145.jpg',...
    'C:\Users\vero1\Desktop\VIDEO SCACCHIERA\2080_1\2080\161.jpg',...
    'C:\Users\vero1\Desktop\VIDEO SCACCHIERA\2080_1\2080\177.jpg',...
    'C:\Users\vero1\Desktop\VIDEO SCACCHIERA\2080_1\2080\193.jpg',...
    'C:\Users\vero1\Desktop\VIDEO SCACCHIERA\2080_1\2080\209.jpg',...
    'C:\Users\vero1\Desktop\VIDEO SCACCHIERA\2080_1\2080\225.jpg',...
    'C:\Users\vero1\Desktop\VIDEO SCACCHIERA\2080_1\2080\241.jpg',...
    'C:\Users\vero1\Desktop\VIDEO SCACCHIERA\2080_1\2080\257.jpg',...
    'C:\Users\vero1\Desktop\VIDEO SCACCHIERA\2080_1\2080\273.jpg',...
    'C:\Users\vero1\Desktop\VIDEO SCACCHIERA\2080_1\2080\289.jpg',...
    'C:\Users\vero1\Desktop\VIDEO SCACCHIERA\2080_1\2080\305.jpg',...
    'C:\Users\vero1\Desktop\VIDEO SCACCHIERA\2080_1\2080\321.jpg',...
    'C:\Users\vero1\Desktop\VIDEO SCACCHIERA\2080_1\2080\337.jpg',...
    'C:\Users\vero1\Desktop\VIDEO SCACCHIERA\2080_1\2080\353.jpg',...
    'C:\Users\vero1\Desktop\VIDEO SCACCHIERA\2080_1\2080\369.jpg',...
    'C:\Users\vero1\Desktop\VIDEO SCACCHIERA\2080_1\2080\385.jpg',...
    'C:\Users\vero1\Desktop\VIDEO SCACCHIERA\2080_1\2080\433.jpg',...
    'C:\Users\vero1\Desktop\VIDEO SCACCHIERA\2080_1\2080\449.jpg',...
    'C:\Users\vero1\Desktop\VIDEO SCACCHIERA\2080_1\2080\465.jpg',...
    'C:\Users\vero1\Desktop\VIDEO SCACCHIERA\2080_1\2080\529.jpg',...
    'C:\Users\vero1\Desktop\VIDEO SCACCHIERA\2080_1\2080\545.jpg',...
    'C:\Users\vero1\Desktop\VIDEO SCACCHIERA\2080_1\2080\593.jpg',...
    'C:\Users\vero1\Desktop\VIDEO SCACCHIERA\2080_1\2080\625.jpg',...
    'C:\Users\vero1\Desktop\VIDEO SCACCHIERA\2080_1\2080\641.jpg',...
    'C:\Users\vero1\Desktop\VIDEO SCACCHIERA\2080_1\2080\657.jpg',...

```

```

'C:\Users\vero1\Desktop\VIDEO SCACCHIERA\2080_1\2080\673.jpg',...
'C:\Users\vero1\Desktop\VIDEO SCACCHIERA\2080_1\2080\689.jpg',...
'C:\Users\vero1\Desktop\VIDEO SCACCHIERA\2080_1\2080\705.jpg',...
'C:\Users\vero1\Desktop\VIDEO SCACCHIERA\2080_1\2080\721.jpg',...
'C:\Users\vero1\Desktop\VIDEO SCACCHIERA\2080_1\2080\737.jpg',...
'C:\Users\vero1\Desktop\VIDEO SCACCHIERA\2080_1\2080\753.jpg',...
'C:\Users\vero1\Desktop\VIDEO SCACCHIERA\2080_1\2080\769.jpg',...
'C:\Users\vero1\Desktop\VIDEO SCACCHIERA\2080_1\2080\785.jpg',...
};

% Detect checkerboards in images
[imagePoints, boardSize, imagesUsed] =
detectCheckerboardPoints(imageFileNames);
imageFileNames = imageFileNames(imagesUsed);

% Read the first image to obtain image size
originalImage = imread(imageFileNames{1});
[mrows, ncols, ~] = size(originalImage);

% Generate world coordinates of the corners of the squares
squareSize = 10; % in units of 'centimeters'
worldPoints = generateCheckerboardPoints(boardSize, squareSize);

% Calibrate the camera
[cameraParams, imagesUsed, estimationErrors] =
estimateCameraParameters(imagePoints, worldPoints, ...
    'EstimateSkew', false, 'EstimateTangentialDistortion', false, ...
    'NumRadialDistortionCoefficients', 2, 'WorldUnits', 'centimeters', ...
    'InitialIntrinsicMatrix', [], 'InitialRadialDistortion', [], ...
    'ImageSize', [mrows, ncols]);

% View reprojection errors
h1=figure; showReprojectionErrors(cameraParams);

% Visualize pattern locations
h2=figure; showExtrinsics(cameraParams, 'CameraCentric');

% Display parameter estimation errors
displayErrors(estimationErrors, cameraParams);

% For example, you can use the calibration data to remove effects of lens
distortion.
undistortedImage = undistortImage(originalImage, cameraParams);

% See additional examples of how to use the calibration data. At the
prompt type:
% showdemo('MeasuringPlanarObjectsExample')
% showdemo('StructureFromMotionExample')

save cameraParams.mat cameraParams -mat

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%OPZIONE 2%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

case 'Camera 9002'
    disp(['choice ' ---> Camera parameters 9002'])

    % Auto-generated by cameraCalibrator app on 11-Oct-2017
%-----

% Define images to process

```

```

imageFileNames = {'C:\Users\vero1\Desktop\VIDEO
SCACCHIERA\9002_1\9002\1.jpg',...
'C:\Users\vero1\Desktop\VIDEO SCACCHIERA\9002_1\9002\17.jpg',...
'C:\Users\vero1\Desktop\VIDEO SCACCHIERA\9002_1\9002\33.jpg',...
'C:\Users\vero1\Desktop\VIDEO SCACCHIERA\9002_1\9002\49.jpg',...
'C:\Users\vero1\Desktop\VIDEO SCACCHIERA\9002_1\9002\65.jpg',...
'C:\Users\vero1\Desktop\VIDEO SCACCHIERA\9002_1\9002\81.jpg',...
'C:\Users\vero1\Desktop\VIDEO SCACCHIERA\9002_1\9002\97.jpg',...
'C:\Users\vero1\Desktop\VIDEO SCACCHIERA\9002_1\9002\113.jpg',...
'C:\Users\vero1\Desktop\VIDEO SCACCHIERA\9002_1\9002\129.jpg',...
'C:\Users\vero1\Desktop\VIDEO SCACCHIERA\9002_1\9002\145.jpg',...
'C:\Users\vero1\Desktop\VIDEO SCACCHIERA\9002_1\9002\161.jpg',...
'C:\Users\vero1\Desktop\VIDEO SCACCHIERA\9002_1\9002\177.jpg',...
'C:\Users\vero1\Desktop\VIDEO SCACCHIERA\9002_1\9002\193.jpg',...
'C:\Users\vero1\Desktop\VIDEO SCACCHIERA\9002_1\9002\209.jpg',...
'C:\Users\vero1\Desktop\VIDEO SCACCHIERA\9002_1\9002\225.jpg',...
'C:\Users\vero1\Desktop\VIDEO SCACCHIERA\9002_1\9002\241.jpg',...
'C:\Users\vero1\Desktop\VIDEO SCACCHIERA\9002_1\9002\257.jpg',...
'C:\Users\vero1\Desktop\VIDEO SCACCHIERA\9002_1\9002\273.jpg',...
'C:\Users\vero1\Desktop\VIDEO SCACCHIERA\9002_1\9002\289.jpg',...
'C:\Users\vero1\Desktop\VIDEO SCACCHIERA\9002_1\9002\321.jpg',...
'C:\Users\vero1\Desktop\VIDEO SCACCHIERA\9002_1\9002\337.jpg',...
'C:\Users\vero1\Desktop\VIDEO SCACCHIERA\9002_1\9002\353.jpg',...
'C:\Users\vero1\Desktop\VIDEO SCACCHIERA\9002_1\9002\369.jpg',...
'C:\Users\vero1\Desktop\VIDEO SCACCHIERA\9002_1\9002\401.jpg',...
'C:\Users\vero1\Desktop\VIDEO SCACCHIERA\9002_1\9002\417.jpg',...
'C:\Users\vero1\Desktop\VIDEO SCACCHIERA\9002_1\9002\433.jpg',...
'C:\Users\vero1\Desktop\VIDEO SCACCHIERA\9002_1\9002\449.jpg',...
'C:\Users\vero1\Desktop\VIDEO SCACCHIERA\9002_1\9002\465.jpg',...
'C:\Users\vero1\Desktop\VIDEO SCACCHIERA\9002_1\9002\481.jpg',...
'C:\Users\vero1\Desktop\VIDEO SCACCHIERA\9002_1\9002\497.jpg',...
'C:\Users\vero1\Desktop\VIDEO SCACCHIERA\9002_1\9002\513.jpg',...
'C:\Users\vero1\Desktop\VIDEO SCACCHIERA\9002_1\9002\529.jpg',...
'C:\Users\vero1\Desktop\VIDEO SCACCHIERA\9002_1\9002\545.jpg',...
'C:\Users\vero1\Desktop\VIDEO SCACCHIERA\9002_1\9002\577.jpg',...
'C:\Users\vero1\Desktop\VIDEO SCACCHIERA\9002_1\9002\593.jpg',...
'C:\Users\vero1\Desktop\VIDEO SCACCHIERA\9002_1\9002\609.jpg',...
'C:\Users\vero1\Desktop\VIDEO SCACCHIERA\9002_1\9002\625.jpg',...
'C:\Users\vero1\Desktop\VIDEO SCACCHIERA\9002_1\9002\641.jpg',...
'C:\Users\vero1\Desktop\VIDEO SCACCHIERA\9002_1\9002\657.jpg',...
'C:\Users\vero1\Desktop\VIDEO SCACCHIERA\9002_1\9002\673.jpg',...
'C:\Users\vero1\Desktop\VIDEO SCACCHIERA\9002_1\9002\689.jpg',...
'C:\Users\vero1\Desktop\VIDEO SCACCHIERA\9002_1\9002\705.jpg',...
'C:\Users\vero1\Desktop\VIDEO SCACCHIERA\9002_1\9002\721.jpg',...
'C:\Users\vero1\Desktop\VIDEO SCACCHIERA\9002_1\9002\737.jpg',...
'C:\Users\vero1\Desktop\VIDEO SCACCHIERA\9002_1\9002\753.jpg',...
'C:\Users\vero1\Desktop\VIDEO SCACCHIERA\9002_1\9002\769.jpg',...
'C:\Users\vero1\Desktop\VIDEO SCACCHIERA\9002_1\9002\785.jpg',...
'C:\Users\vero1\Desktop\VIDEO SCACCHIERA\9002_1\9002\801.jpg',...
'C:\Users\vero1\Desktop\VIDEO SCACCHIERA\9002_1\9002\817.jpg',...
'C:\Users\vero1\Desktop\VIDEO SCACCHIERA\9002_1\9002\833.jpg',...
'C:\Users\vero1\Desktop\VIDEO SCACCHIERA\9002_1\9002\849.jpg',...
'C:\Users\vero1\Desktop\VIDEO SCACCHIERA\9002_1\9002\865.jpg',...
'C:\Users\vero1\Desktop\VIDEO SCACCHIERA\9002_1\9002\881.jpg',...
'C:\Users\vero1\Desktop\VIDEO SCACCHIERA\9002_1\9002\897.jpg',...
};

% Detect checkerboards in images
[imagePoints, boardSize, imagesUsed] =
detectCheckerboardPoints(imageFileNames);
imageFileNames = imageFileNames(imagesUsed);

```

```

% Read the first image to obtain image size
originalImage = imread(imageFileNames{1});
[mrows, ncols, ~] = size(originalImage);

% Generate world coordinates of the corners of the squares
squareSize = 10; % in units of 'centimeters'
worldPoints = generateCheckerboardPoints(boardSize, squareSize);

% Calibrate the camera
[cameraParams, imagesUsed, estimationErrors] =
estimateCameraParameters(imagePoints, worldPoints, ...
    'EstimateSkew', false, 'EstimateTangentialDistortion', false, ...
    'NumRadialDistortionCoefficients', 2, 'WorldUnits', 'centimeters', ...
    'InitialIntrinsicMatrix', [], 'InitialRadialDistortion', [], ...
    'ImageSize', [mrows, ncols]);

% View reprojection errors
h1=figure; showReprojectionErrors(cameraParams);

% Visualize pattern locations
h2=figure; showExtrinsics(cameraParams, 'CameraCentric');

% Display parameter estimation errors
displayErrors(estimationErrors, cameraParams);

% For example, you can use the calibration data to remove effects of lens
distortion.
undistortedImage = undistortImage(originalImage, cameraParams);

% See additional examples of how to use the calibration data. At the
prompt type:
% showdemo('MeasuringPlanarObjectsExample')
% showdemo('StructureFromMotionExample')

save cameraParams.mat cameraParams -mat

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% OPZIONE 3
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%
    case 'Nessuna delle due'
        disp('Errore, selezionare una videocamera')

        exit

end
end

%%
disp 'Fine esportazione Camera Parameters'

disp 'FINE'

end

```

## B5. CODICE PER RICAVARE LE AREE DEI BLOB (SEZIONE 3.2 PAG. 72)

```
funzione multiObjectTracking()
% Create System objects used for reading video, detecting moving objects,
% and displaying the results.
obj = setupSystemObjects();
tracks = initializeTracks(); % Create an empty array of tracks.
nextId = 1; % ID of the next track
tic
global conta
global CENTROIDI_1
global area_mat
global numAssignedTracks
global id

conta=1;
CENTROIDI_1=zeros(3);
conta_area=1;
id=0;
ID =0;
ids=0;

% Detect moving objects, and track them across video frames.
while ~isDone(obj.reader)
    frame = readFrame();
    [centroids, bboxes, mask,AREA] = detectObjects(frame);
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%Si crea una matrice contenente il valore dell'area di ciascun blob per
%ogni frame in cui compare seguito dal valore delle coordinate x e y
%dei centroidi
    if isempty(AREA)==0
        area_mat(conta_area,1:3)=[AREA, centroids(1,1), centroids(1,2)];
        conta_area=conta_area+1;
    end
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
    predictNewLocationsOfTracks();
    [assignments, unassignedTracks, unassignedDetections] = ...
        detectionToTrackAssignment();
        updateAssignedTracks();
    updateUnassignedTracks();
    deleteLostTracks();
    createNewTracks();
    displayTrackingResults();
end
toc
%Salvataggio delle coordinate dei centroidi e relativo ID nell'estensione
%che si preferisce (in questo caso la scelta è ricaduta nell'estensione
%del file *.mat poichè la dimensione del file è minore delle altre opzioni)
%save centroidi.txt CENTROIDI_1 -ascii
save CENTROIDI_1.mat CENTROIDI_1 -mat
save area_mat.mat area_mat -mat
%xlswrite('Centroidi.xls', CENTROIDI_1)
toc
%% Create System Objects
% Create System objects used for reading the video frames, detecting
% foreground objects, and displaying results.
funzione 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.
```

```

disp 'Seleziona il video "*.avi" rimaneggiato nella funzione precedente'
% Create a video file reader.
FileName = uigetfile('*.*avi','Select video');
VideoFinale = FileName;
obj.reader = vision.VideoFileReader(VideoFinale);
% 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', 0.7);
% 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', 400);
end
%% Initialize Tracks
% The |initializeTracks| funzione 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| : the 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.

```

```

funzione tracks = initializeTracks()
% create an empty 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.
funzione frame = readFrame()
    frame = obj.reader.step();
end

%% Detect Objects
% The |detectObjects| funzione 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 funzione 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.
funzione [centroids, bboxes, mask, AREA] = detectObjects(frame)
    % Detect foreground.
    mask = obj.detector.step(frame);

    % Apply morphological operations to remove noise and fill in holes.

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%Da cambiare il valore del rettangolo per non prendere oggetti
troppo
%grandi o troppo piccoli
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.
    [~, centroids, bboxes] = obj.blobAnalyser.step(mask);

    [AREA,CENTROID, ~] = obj.blobAnalyser.step(mask);

end

%% 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.
funzione 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

%% 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| funzione. The funzione 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| funzione 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.

    funzione [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

%% Update Assigned Tracks
% The |updateAssignedTracks| funzione 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 funzione sets the invisible count to 0.

```

```

funzione updateAssignedTracks()
    numAssignedTracks = size(assignments, 1);
    for i = 1:numAssignedTracks
        trackIdx = assignments(i, 1);
        detectionIdx = assignments(i, 2);
        centroid = centroids(detectionIdx, :);
        bbox = bboxes(detectionIdx, :);
        %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
        if numAssignedTracks>1
            pippo=0;
        end
        CENTROIDI_1(conta+i-1,:) = [assignments(i, 1)
centroids(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
%% Update Unassigned Tracks
% Mark each unassigned track as invisible, and increase its age by 1.

funzione 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

%% Delete Lost Tracks
% The |deleteLostTracks| funzione 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.

funzione 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

%% 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.

funzione 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

%% Display Tracking Results
% The |displayTrackingResults| funzione draws a bounding box and label ID
% for each track on the video frame and the foreground mask. It then
% displays the frame and the mask in their respective video players.

funzione 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;
    end
end

```

```

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);

    %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%5
    % 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

%% Summary
% This example created a motion-based system for detecting and
% tracking multiple moving objects. Try using a different video to see if
% you are able to detect and track objects. Try modifying the parameters
% for the detection, assignment, and deletion steps.
%
% The tracking in this example was solely based on motion with the
% assumption that all objects move in a straight line with constant speed.
% When the motion of an object significantly deviates from this model, the
% example may produce tracking errors. Notice the mistake in tracking the
% person labeled #12, when he is occluded by the tree.
%
% The likelihood of tracking errors can be reduced by using a more complex
% motion model, such as constant acceleration, or by using multiple Kalman
% filters for every object. Also, you can incorporate other cues for
% associating detections over time, such as size, shape, and color.

displayEndOfDemoMessage(mfilename)
end

```

## C. DESCRIZIONE DETTAGLIATA DI PROCEDURE

### C1. PROPAGAZIONE DEGLI ERRORI PER IL METODO DELLA TRIANGOLAZIONE (SEZIONE 2.3 PAG. 23)

Spazio:  $y = y_1 \pm 0,4 \text{ m}$  poiché lo spazio è stato diviso in tre parti equi-distanziate:

$$\begin{aligned} y_2 - y_1 &= 3,27 - 2,87 = 0,4 \\ y_1 - y_3 &= 2,87 - 2,48 = 0,39 \end{aligned}$$

Tempo:  $t = t_1 \pm 0,04 \text{ sec}$  poiché lo spazio di tempo tra un frame e l'altro è di 0,04 sec. La regola di propagazione dell'errore consente di calcolare l'incertezza relativa a cui è affetta la velocità attraverso la seguente formula:

$$\sigma_c = \sqrt{\left(\frac{1}{b}\right)^2 \sigma_a^2 + \left(\frac{a}{b^2}\right)^2 \sigma_b^2}$$

Calcolando l'errore relativo nel caso in cui si ha un quoziente come misura indiretta si ha la somma degli errori relativi delle misure dirette.

Nel caso della velocità si ha:

$$\frac{\Delta v}{v} = \frac{\Delta s}{|s|} + \frac{\Delta t}{|t|}$$

Di seguito si riportano i valori ottenuti mediante il metodo della triangolazione ed i relativi scarti mediante la teoria di propagazione degli errori.

Tipo bici	$t_1$	$\Delta t$	$t_1$	$\Delta t_1$	$y_1$	$\Delta y$	$y_1$	$\Delta y$	$v$	$\Delta v / v$	$\Delta v$	$\sigma_c$
-	sec	sec	h	h	m	m	km	km	km/h	km/h	km/h	-
Bici cargo	1,83	0,04	5,08E-04	1,11E-05	2,79	0,4	0,00279	0,0004	5,5	0,17	0,91	0,0219
Bici cargo	1,6	0,04	4,44E-04	1,11E-05	2,79	0,4	0,00279	0,0004	6,3	0,17	1,06	0,0250
Bici cargo	1,57	0,04	4,36E-04	1,11E-05	2,79	0,4	0,00279	0,0004	6,4	0,17	1,08	0,0255
Bici cargo	1,47	0,04	4,08E-04	1,11E-05	2,79	0,4	0,00279	0,0004	6,8	0,17	1,17	0,0272
Bici cargo	1,9	0,04	5,28E-04	1,11E-05	2,79	0,4	0,00279	0,0004	5,3	0,16	0,87	0,0211
Bici cargo	1,4	0,04	3,89E-04	1,11E-05	2,79	0,4	0,00279	0,0004	7,2	0,17	1,23	0,0286
Bici cargo	1,4	0,04	3,89E-04	1,11E-05	2,88	0,4	0,00288	0,0004	7,4	0,17	1,24	0,0286
Bici ordinaria	1,03	0,04	2,86E-04	1,11E-05	2,88	0,4	0,00288	0,0004	10,1	0,18	1,79	0,0389
Bici ordinaria	1,07	0,04	2,97E-04	1,11E-05	2,88	0,4	0,00288	0,0004	9,7	0,18	1,71	0,0374
Bici ordinaria	1,07	0,04	2,97E-04	1,11E-05	2,88	0,4	0,00288	0,0004	9,7	0,18	1,71	0,0374
Bici ordinaria	1,03	0,04	2,86E-04	1,11E-05	2,88	0,4	0,00288	0,0004	10,1	0,18	1,79	0,0389
Bici ordinaria	1	0,04	2,78E-04	1,11E-05	2,88	0,4	0,00288	0,0004	10,4	0,18	1,85	0,0400
Bici ordinaria	0,97	0,04	2,69E-04	1,11E-05	2,88	0,4	0,00288	0,0004	10,7	0,18	1,93	0,0413
Bici ordinaria	1,03	0,04	2,86E-04	1,11E-05	2,88	0,4	0,00288	0,0004	10,1	0,18	1,79	0,0389
Bici ordinaria	0,81	0,04	2,25E-04	1,11E-05	2,88	0,4	0,00288	0,0004	12,8	0,19	2,41	0,0494
Bici ordinaria	0,97	0,04	2,69E-04	1,11E-05	2,88	0,4	0,00288	0,0004	10,7	0,18	1,93	0,0413
Bici ordinaria	0,83	0,04	2,31E-04	1,11E-05	2,88	0,4	0,00288	0,0004	12,5	0,19	2,34	0,0482

## D. DOCUMENTAZIONI

### D1. DOCUMENTAZIONE E MAPPE DI PISTE CICLABILI A TORINO (SEZIONE 2.5 PAG.33)

Nel seguente allegato sono presenti i grafici tratti dal documento “Approfondimento sull’uso della bicicletta e del servizio di bike sharing a Torino - Analisi dei dati di fonte IMQ 2013 e dei dati di fonte [TO]BIKE - VERSIONE: 1.1 - DATA: 10-06-2016” dell’AMP (Agenzia Mobilità Piemontese)”. Il primo grafico rappresenta le zone maggiormente trafficate dai ciclisti. Come si può leggere al commento a latere «Le stazioni che generano maggiori spostamenti sono quelle vicino alle due stazioni ferroviarie principali, in pieno centro, al bordo dell’area coperta dal servizio corrispondente all’inizio della zona blu (parcheggio a pagamento)».

#### Top 20 stazioni di prelievo



Nella figura che segue sono elencate le 20 stazioni per le quali si registra il maggior “traffico”. Le stazioni sono ordinate per numero decrescente di prelievi/giorno; data la sostanziale simmetria degli spostamenti nell’arco della giornata tale ordinamento si propone quasi inalterato anche considerando il numero di depositi/giorno.

Le stazioni che generano maggiori spostamenti sono quelle:

- vicino alle due stazioni ferroviarie principali
- in pieno centro (asse V. Pietro Micca - via Po)
- al bordo dell’area coperta dal servizio corrispondente all’inizio della zona blu (parcheggio a pagamento).

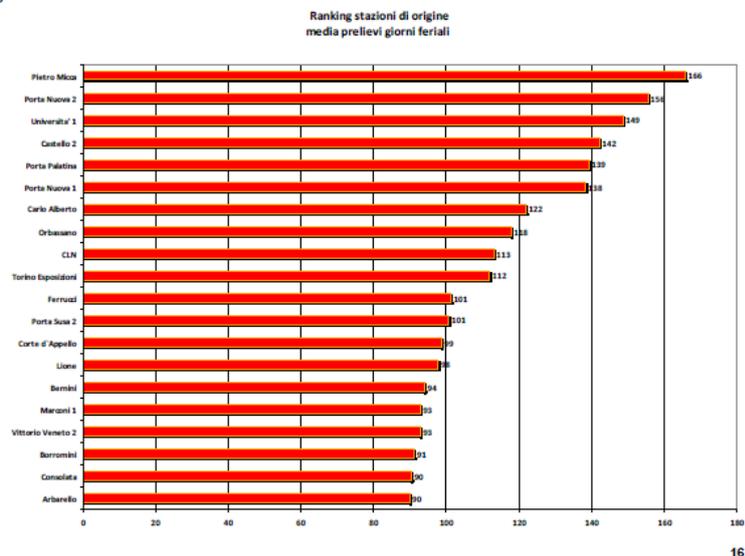


Figura 88: Dal report dell’Agenzia Mobilità Piemontese



## D2. PARAMETRI INTERNI ED ESTERNI DELLA CAMERA (CAPITOLO 3 PAG.38)

### Parametri di calibrazione della Camera 2080

Standard Errors of Estimated Camera Parameters

Intrinsics

Focal length (pixels): [1181.9624 +/- 2.9203    1174.4922 +/- 2.7145]

Principal point (pixels): [968.7617 +/- 1.4292    570.3552 +/- 2.1672]

Skew: [5.6753 +/- 0.3095]

Radial distortion: [ -0.0370 +/- 0.0033    0.0359 +/- 0.0163]

Tangential distortion: [0.0034 +/- 0.0004    0.0013 +/- 0.0003]

Extrinsics

Rotation vectors:

[	0.2684 +/- 0.0022	0.1306 +/- 0.0020	-1.5782 +/- 0.0003 ]
[	0.2620 +/- 0.0022	0.1301 +/- 0.0020	-1.5753 +/- 0.0003 ]
[	0.2586 +/- 0.0022	0.1313 +/- 0.0020	-1.5730 +/- 0.0003 ]
[	0.2574 +/- 0.0022	0.1365 +/- 0.0020	-1.5706 +/- 0.0003 ]
[	0.2578 +/- 0.0022	0.1367 +/- 0.0020	-1.5723 +/- 0.0003 ]
[	0.2338 +/- 0.0022	0.1207 +/- 0.0020	-1.5619 +/- 0.0003 ]
[	0.1861 +/- 0.0021	0.1312 +/- 0.0020	-1.5576 +/- 0.0003 ]
[	0.1749 +/- 0.0021	0.1605 +/- 0.0021	-1.5965 +/- 0.0003 ]
[	0.2340 +/- 0.0020	0.2575 +/- 0.0021	-1.5481 +/- 0.0004 ]
[	0.0986 +/- 0.0020	0.3714 +/- 0.0021	-1.4976 +/- 0.0005 ]
[	-0.0474 +/- 0.0019	0.3984 +/- 0.0021	-1.4915 +/- 0.0005 ]
[	-0.0491 +/- 0.0019	0.4297 +/- 0.0021	-1.4674 +/- 0.0006 ]
[	-0.0160 +/- 0.0019	0.4484 +/- 0.0020	-1.4293 +/- 0.0006 ]
[	-0.0223 +/- 0.0019	0.4236 +/- 0.0020	-1.4451 +/- 0.0006 ]
[	0.0147 +/- 0.0019	0.3519 +/- 0.0021	-1.4999 +/- 0.0005 ]
[	0.0398 +/- 0.0019	0.2881 +/- 0.0021	-1.5522 +/- 0.0005 ]
[	0.1048 +/- 0.0019	0.2085 +/- 0.0021	-1.5966 +/- 0.0004 ]
[	0.2245 +/- 0.0020	0.1372 +/- 0.0022	-1.6539 +/- 0.0004 ]
[	0.2656 +/- 0.0022	0.0278 +/- 0.0022	-1.6383 +/- 0.0004 ]
[	0.3781 +/- 0.0022	0.0394 +/- 0.0020	-1.6005 +/- 0.0004 ]
[	0.4788 +/- 0.0022	0.0069 +/- 0.0019	-1.5432 +/- 0.0004 ]
[	0.4005 +/- 0.0021	-0.0432 +/- 0.0019	-1.5349 +/- 0.0004 ]
[	0.5467 +/- 0.0021	-0.1247 +/- 0.0018	-1.5131 +/- 0.0004 ]
[	0.5899 +/- 0.0021	-0.2197 +/- 0.0018	-1.4943 +/- 0.0005 ]
[	0.4762 +/- 0.0022	-0.1881 +/- 0.0019	-1.5883 +/- 0.0005 ]
[	0.6547 +/- 0.0022	-0.2454 +/- 0.0018	-1.5182 +/- 0.0005 ]
[	0.6463 +/- 0.0022	-0.2222 +/- 0.0018	-1.5292 +/- 0.0005 ]

[ 0.6179 +/- 0.0021	-0.1502 +/- 0.0018	-1.5387 +/- 0.0005 ]
[ 0.7148 +/- 0.0022	-0.1725 +/- 0.0020	-1.8777 +/- 0.0006 ]
[ 0.7206 +/- 0.0022	-0.1751 +/- 0.0020	-1.8809 +/- 0.0006 ]
[ 0.4593 +/- 0.0021	-0.0242 +/- 0.0019	-1.6418 +/- 0.0004 ]
[ 0.4821 +/- 0.0022	0.1953 +/- 0.0019	-1.5416 +/- 0.0004 ]
[ 0.3921 +/- 0.0022	0.1694 +/- 0.0019	-1.5393 +/- 0.0004 ]
[ 0.1915 +/- 0.0022	0.2141 +/- 0.0021	-1.5275 +/- 0.0004 ]
[ 0.2250 +/- 0.0022	0.1925 +/- 0.0022	-1.5683 +/- 0.0004 ]
[ 0.2290 +/- 0.0022	0.2013 +/- 0.0022	-1.5780 +/- 0.0004 ]
[ 0.2146 +/- 0.0022	0.2010 +/- 0.0022	-1.5719 +/- 0.0004 ]
[ 0.3082 +/- 0.0022	0.2446 +/- 0.0022	-1.5614 +/- 0.0004 ]
[ 0.3228 +/- 0.0023	0.2649 +/- 0.0022	-1.5569 +/- 0.0004 ]
[ 0.3013 +/- 0.0023	0.2536 +/- 0.0022	-1.5433 +/- 0.0004 ]
[ 0.2978 +/- 0.0023	0.2334 +/- 0.0022	-1.5434 +/- 0.0004 ]
[ 0.3102 +/- 0.0023	0.2273 +/- 0.0022	-1.5460 +/- 0.0004 ]

Translation vectors (millimeters):

[ -178.4204 +/- 1.7703	376.9959 +/- 2.7069	1493.8824 +/- 3.7268 ]
[ -173.7571 +/- 1.7671	383.4080 +/- 2.7019	1491.5837 +/- 3.7229 ]
[ -172.9356 +/- 1.7653	385.9232 +/- 2.6993	1490.3620 +/- 3.7206 ]
[ -168.1024 +/- 1.7642	382.6053 +/- 2.6979	1489.8254 +/- 3.7170 ]
[ -167.9621 +/- 1.7589	381.2698 +/- 2.6898	1485.3244 +/- 3.7055 ]
[ -191.1867 +/- 1.7402	427.4235 +/- 2.6616	1470.7261 +/- 3.6914 ]
[ -193.7386 +/- 1.7488	511.9486 +/- 2.6759	1482.4740 +/- 3.7555 ]
[ -169.4448 +/- 1.7404	511.2287 +/- 2.6674	1479.0702 +/- 3.7398 ]
[ -294.7276 +/- 1.7916	368.8697 +/- 2.7764	1525.8166 +/- 3.7770 ]
[ -311.3982 +/- 1.8590	301.9689 +/- 2.9181	1596.0797 +/- 3.8438 ]
[ -261.0340 +/- 1.8568	435.4209 +/- 2.9267	1606.3800 +/- 3.8463 ]
[ -274.5265 +/- 1.9005	398.7800 +/- 2.9955	1641.8252 +/- 3.8805 ]
[ -323.1112 +/- 1.9190	321.8531 +/- 3.0219	1652.4579 +/- 3.8710 ]
[ -345.6832 +/- 1.9003	358.2063 +/- 2.9977	1637.9890 +/- 3.8823 ]
[ -416.6923 +/- 1.8526	416.6644 +/- 2.9253	1593.4977 +/- 3.9011 ]
[ -435.2120 +/- 1.8077	468.4158 +/- 2.8460	1550.3024 +/- 3.8830 ]
[ -453.6753 +/- 1.7629	521.2567 +/- 2.7537	1501.6215 +/- 3.8495 ]
[ -418.2880 +/- 1.7195	476.4660 +/- 2.6532	1450.8149 +/- 3.7225 ]
[ -332.0590 +/- 1.7012	467.0798 +/- 2.6040	1426.5110 +/- 3.6255 ]
[ -336.4484 +/- 1.7311	374.0534 +/- 2.6431	1447.5544 +/- 3.6502 ]
[ -411.0026 +/- 1.7207	266.1952 +/- 2.6203	1421.9475 +/- 3.5972 ]
[ -372.6052 +/- 1.6594	413.3962 +/- 2.5329	1383.2227 +/- 3.5249 ]
[ -447.0590 +/- 1.6368	397.3295 +/- 2.5012	1355.4411 +/- 3.5159 ]

[-438.8744 +/- 1.7108	451.4713 +/- 2.6256	1421.3973 +/- 3.7283
[-241.2717 +/- 1.8026	558.4787 +/- 2.7825	1521.1405 +/- 3.9089
[-322.9235 +/- 1.9237	454.5503 +/- 2.9625	1614.3707 +/- 4.1946
[-298.6370 +/- 1.9378	442.9951 +/- 2.9829	1627.6381 +/- 4.2095
[-238.5327 +/- 1.9451	410.1332 +/- 2.9874	1635.6410 +/- 4.1784
[-138.4103 +/- 2.0383	608.3014 +/- 3.1668	1729.2536 +/- 4.3804
[-131.4250 +/- 2.0401	614.4811 +/- 3.1706	1731.1433 +/- 4.3845
[-63.9634 +/- 1.8838	513.7455 +/- 2.8847	1592.5460 +/- 4.0157
[-143.2500 +/- 1.9774	220.6350 +/- 3.0152	1654.9202 +/- 3.9866
[-189.9185 +/- 1.9088	311.7807 +/- 2.9158	1605.5750 +/- 3.9401
[-88.7633 +/- 1.9032	469.5838 +/- 2.9161	1616.5259 +/- 4.0317
[-226.8020 +/- 1.9418	464.5970 +/- 2.9823	1647.5983 +/- 4.1271
[-251.3842 +/- 1.9437	462.0234 +/- 2.9889	1649.6791 +/- 4.1311
[-220.3115 +/- 1.9201	463.6067 +/- 2.9513	1630.8349 +/- 4.0829
[-249.8236 +/- 1.9570	323.6627 +/- 3.0121	1654.9572 +/- 4.0592
[-255.4508 +/- 1.9631	254.2250 +/- 3.0247	1656.4329 +/- 4.0330
[-244.3680 +/- 1.9517	266.2968 +/- 3.0058	1647.7708 +/- 4.0286
[-261.1142 +/- 1.9465	281.6329 +/- 2.9956	1642.4106 +/- 4.0372
[-281.4338 +/- 1.9382	289.6260 +/- 2.9826	1634.7533 +/- 4.0226

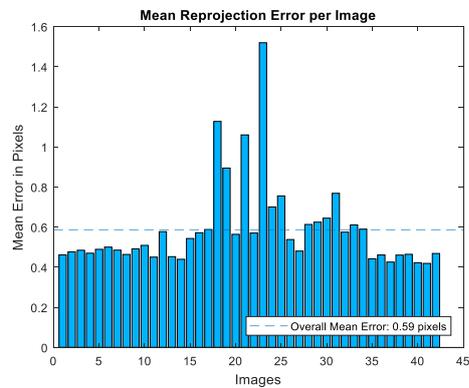


Figura 91: Errori di proiezione (Camera 2080)

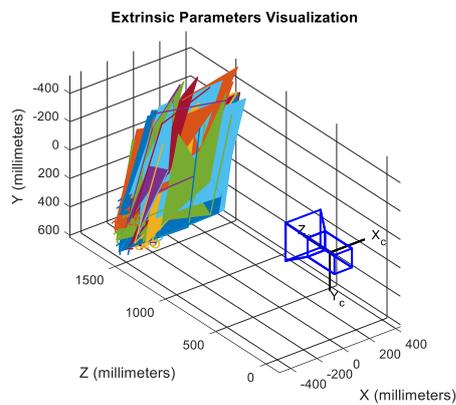


Figura 92: parametri estrinseci (Camera 2080)

## **Parametri di calibrazione della Camera 9002**

### Standard Errors of Estimated Camera Parameters

#### Intrinsics

Focal length (pixels): [ 1181.9624 +/- 2.9203    1174.4922 +/- 2.7145 ]

Principal point (pixels): [ 968.7617 +/- 1.4292    570.3552 +/- 2.1672 ]

Skew: [5.6753 +/- 0.3095 ]

Radial distortion: [ -0.0370 +/- 0.0033    0.0359 +/- 0.0163 ]

Tangential distortion: [0.0034 +/- 0.0004    0.0013 +/- 0.0003 ]

#### Extrinsics

##### Rotation vectors:

[ 0.2684 +/- 0.0022	0.1306 +/- 0.0020	-1.5782 +/- 0.0003 ]
[ 0.2620 +/- 0.0022	0.1301 +/- 0.0020	-1.5753 +/- 0.0003 ]
[ 0.2586 +/- 0.0022	0.1313 +/- 0.0020	-1.5730 +/- 0.0003 ]
[ 0.2574 +/- 0.0022	0.1365 +/- 0.0020	-1.5706 +/- 0.0003 ]
[ 0.2578 +/- 0.0022	0.1367 +/- 0.0020	-1.5723 +/- 0.0003 ]
[ 0.2338 +/- 0.0022	0.1207 +/- 0.0020	-1.5619 +/- 0.0003 ]
[ 0.1861 +/- 0.0021	0.1312 +/- 0.0020	-1.5576 +/- 0.0003 ]
[ 0.1749 +/- 0.0021	0.1605 +/- 0.0021	-1.5965 +/- 0.0003 ]
[ 0.2340 +/- 0.0020	0.2575 +/- 0.0021	-1.5481 +/- 0.0004 ]
[ 0.0986 +/- 0.0020	0.3714 +/- 0.0021	-1.4976 +/- 0.0005 ]
[ -0.0474 +/- 0.0019	0.3984 +/- 0.0021	-1.4915 +/- 0.0005 ]
[ -0.0491 +/- 0.0019	0.4297 +/- 0.0021	-1.4674 +/- 0.0006 ]
[ -0.0160 +/- 0.0019	0.4484 +/- 0.0020	-1.4293 +/- 0.0006 ]
[ -0.0223 +/- 0.0019	0.4236 +/- 0.0020	-1.4451 +/- 0.0006 ]
[ 0.0147 +/- 0.0019	0.3519 +/- 0.0021	-1.4999 +/- 0.0005 ]
[ 0.0398 +/- 0.0019	0.2881 +/- 0.0021	-1.5522 +/- 0.0005 ]
[ 0.1048 +/- 0.0019	0.2085 +/- 0.0021	-1.5966 +/- 0.0004 ]
[ 0.2245 +/- 0.0020	0.1372 +/- 0.0022	-1.6539 +/- 0.0004 ]
[ 0.2656 +/- 0.0022	0.0278 +/- 0.0022	-1.6383 +/- 0.0004 ]
[ 0.3781 +/- 0.0022	0.0394 +/- 0.0020	-1.6005 +/- 0.0004 ]
[ 0.4788 +/- 0.0022	0.0069 +/- 0.0019	-1.5432 +/- 0.0004 ]
[ 0.4005 +/- 0.0021	-0.0432 +/- 0.0019	-1.5349 +/- 0.0004 ]
[ 0.5467 +/- 0.0021	-0.1247 +/- 0.0018	-1.5131 +/- 0.0004 ]
[ 0.5899 +/- 0.0021	-0.2197 +/- 0.0018	-1.4943 +/- 0.0005 ]
[ 0.4762 +/- 0.0022	-0.1881 +/- 0.0019	-1.5883 +/- 0.0005 ]
[ 0.6547 +/- 0.0022	-0.2454 +/- 0.0018	-1.5182 +/- 0.0005 ]
[ 0.6463 +/- 0.0022	-0.2222 +/- 0.0018	-1.5292 +/- 0.0005 ]
[ 0.6179 +/- 0.0021	-0.1502 +/- 0.0018	-1.5387 +/- 0.0005 ]
[ 0.7148 +/- 0.0022	-0.1725 +/- 0.0020	-1.8777 +/- 0.0006 ]

[ 0.7206 +/- 0.0022	-0.1751 +/- 0.0020	-1.8809 +/- 0.0006 ]
[ 0.4593 +/- 0.0021	-0.0242 +/- 0.0019	-1.6418 +/- 0.0004 ]
[ 0.4821 +/- 0.0022	0.1953 +/- 0.0019	-1.5416 +/- 0.0004 ]
[ 0.3921 +/- 0.0022	0.1694 +/- 0.0019	-1.5393 +/- 0.0004 ]
[ 0.1915 +/- 0.0022	0.2141 +/- 0.0021	-1.5275 +/- 0.0004 ]
[ 0.2250 +/- 0.0022	0.1925 +/- 0.0022	-1.5683 +/- 0.0004 ]
[ 0.2290 +/- 0.0022	0.2013 +/- 0.0022	-1.5780 +/- 0.0004 ]
[ 0.2146 +/- 0.0022	0.2010 +/- 0.0022	-1.5719 +/- 0.0004 ]
[ 0.3082 +/- 0.0022	0.2446 +/- 0.0022	-1.5614 +/- 0.0004 ]
[ 0.3228 +/- 0.0023	0.2649 +/- 0.0022	-1.5569 +/- 0.0004 ]
[ 0.3013 +/- 0.0023	0.2536 +/- 0.0022	-1.5433 +/- 0.0004 ]
[ 0.2978 +/- 0.0023	0.2334 +/- 0.0022	-1.5434 +/- 0.0004 ]
[ 0.3102 +/- 0.0023	0.2273 +/- 0.0022	-1.5460 +/- 0.0004 ]

Translation vectors (millimeters):

[-178.4204 +/- 1.7703	376.9959 +/- 2.7069	1493.8824 +/- 3.7268 ]
[-173.7571 +/- 1.7671	383.4080 +/- 2.7019	1491.5837 +/- 3.7229 ]
[-172.9356 +/- 1.7653	385.9232 +/- 2.6993	1490.3620 +/- 3.7206 ]
[-168.1024 +/- 1.7642	382.6053 +/- 2.6979	1489.8254 +/- 3.7170 ]
[-167.9621 +/- 1.7589	381.2698 +/- 2.6898	1485.3244 +/- 3.7055 ]
[-191.1867 +/- 1.7402	427.4235 +/- 2.6616	1470.7261 +/- 3.6914 ]
[-193.7386 +/- 1.7488	511.9486 +/- 2.6759	1482.4740 +/- 3.7555 ]
[-169.4448 +/- 1.7404	511.2287 +/- 2.6674	1479.0702 +/- 3.7398 ]
[-294.7276 +/- 1.7916	368.8697 +/- 2.7764	1525.8166 +/- 3.7770 ]
[-311.3982 +/- 1.8590	301.9689 +/- 2.9181	1596.0797 +/- 3.8438 ]
[-261.0340 +/- 1.8568	435.4209 +/- 2.9267	1606.3800 +/- 3.8463 ]
[-274.5265 +/- 1.9005	398.7800 +/- 2.9955	1641.8252 +/- 3.8805 ]
[-323.1112 +/- 1.9190	321.8531 +/- 3.0219	1652.4579 +/- 3.8710 ]
[-345.6832 +/- 1.9003	358.2063 +/- 2.9977	1637.9890 +/- 3.8823 ]
[-416.6923 +/- 1.8526	416.6644 +/- 2.9253	1593.4977 +/- 3.9011 ]
[-435.2120 +/- 1.8077	468.4158 +/- 2.8460	1550.3024 +/- 3.8830 ]
[-453.6753 +/- 1.7629	521.2567 +/- 2.7537	1501.6215 +/- 3.8495 ]
[-418.2880 +/- 1.7195	476.4660 +/- 2.6532	1450.8149 +/- 3.7225 ]
[-332.0590 +/- 1.7012	467.0798 +/- 2.6040	1426.5110 +/- 3.6255 ]
[-336.4484 +/- 1.7311	374.0534 +/- 2.6431	1447.5544 +/- 3.6502 ]
[-411.0026 +/- 1.7207	266.1952 +/- 2.6203	1421.9475 +/- 3.5972 ]
[-372.6052 +/- 1.6594	413.3962 +/- 2.5329	1383.2227 +/- 3.5249 ]
[-447.0590 +/- 1.6368	397.3295 +/- 2.5012	1355.4411 +/- 3.5159 ]
[-438.8744 +/- 1.7108	451.4713 +/- 2.6256	1421.3973 +/- 3.7283 ]
[-241.2717 +/- 1.8026	558.4787 +/- 2.7825	1521.1405 +/- 3.9089 ]

[-322.9235 +/- 1.9237	454.5503 +/- 2.9625	1614.3707 +/- 4.1946
[-298.6370 +/- 1.9378	442.9951 +/- 2.9829	1627.6381 +/- 4.2095
[-238.5327 +/- 1.9451	410.1332 +/- 2.9874	1635.6410 +/- 4.1784
[-138.4103 +/- 2.0383	608.3014 +/- 3.1668	1729.2536 +/- 4.3804
[-131.4250 +/- 2.0401	614.4811 +/- 3.1706	1731.1433 +/- 4.3845
[-63.9634 +/- 1.8838	513.7455 +/- 2.8847	1592.5460 +/- 4.0157
[-143.2500 +/- 1.9774	220.6350 +/- 3.0152	1654.9202 +/- 3.9866
[-189.9185 +/- 1.9088	311.7807 +/- 2.9158	1605.5750 +/- 3.9401
[-88.7633 +/- 1.9032	469.5838 +/- 2.9161	1616.5259 +/- 4.0317
[-226.8020 +/- 1.9418	464.5970 +/- 2.9823	1647.5983 +/- 4.1271
[-251.3842 +/- 1.9437	462.0234 +/- 2.9889	1649.6791 +/- 4.1311
[-220.3115 +/- 1.9201	463.6067 +/- 2.9513	1630.8349 +/- 4.0829
[-249.8236 +/- 1.9570	323.6627 +/- 3.0121	1654.9572 +/- 4.0592
[-255.4508 +/- 1.9631	254.2250 +/- 3.0247	1656.4329 +/- 4.0330
[-244.3680 +/- 1.9517	266.2968 +/- 3.0058	1647.7708 +/- 4.0286
[-261.1142 +/- 1.9465	281.6329 +/- 2.9956	1642.4106 +/- 4.0372
[-281.4338 +/- 1.9382	289.6260 +/- 2.9826	1634.7533 +/- 4.0226

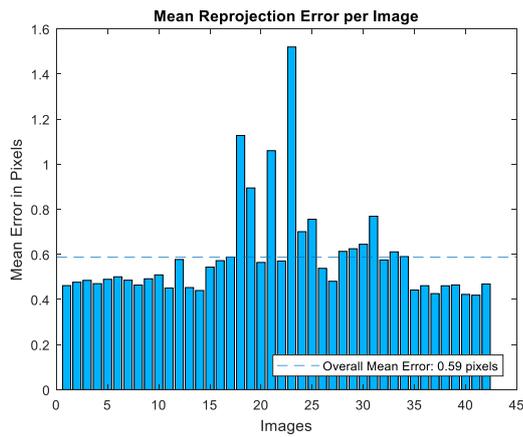


Figura 93: Errori di proiezione (Camera 9002)

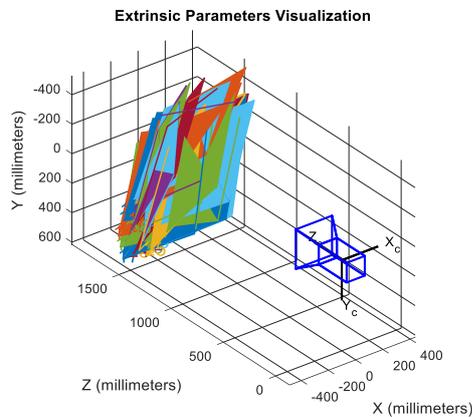


Figura 94: Parametri estrinseci (Camera 9002)

### D3. LIMITI INFERIORI DELLE VELOCITÀ (CAPITOLO 3 PAG.57)

In questa tabella vi è il limite inferiore nel quale una velocità media appartiene ad un ciclista (C) e non ad un pedone (P).

Id	Speed	#									
68	2,88	P	126	4,80	P	13	5,25	C	53	5,64	C
49	2,92	P	48	4,81	P	45	5,27	C	8	5,65	C
67	3,18	P	14	4,83	P	30	5,27	C	102	5,66	C
96	3,33	P	12	4,83	P	40	5,32	C	9	5,68	C
69	3,37	P	23	4,85	P	92	5,32	C	108	5,70	C
26	3,85	P	50	4,86	P	21	5,33	C	43	5,72	C
90	3,94	P	55	4,87	P	114	5,34	C	112	5,72	C
122	3,98	P	131	4,90	P	91	5,37	C	19	5,77	C
59	4,03	P	27	4,90	P	64	5,38	C	113	5,80	C
49	4,04	P	53	4,90	P	68	5,39	C	56	5,80	C
16	4,18	P	41	4,90	P	114	5,39	C	101	5,82	C
52	4,20	P	25	4,91	P	82	5,40	C	93	5,84	C
56	4,27	P	125	4,92	P	80	5,41	C	4	5,89	C
44	4,27	P	15	4,95	P	51	5,43	C	48	5,90	C
42	4,30	P	39	4,98	P	58	5,43	C	71	5,91	C
42	4,33	P	123	4,98	P	30	5,44	C	47	5,91	C
79	4,34	P	70	4,98	P	54	5,44	C	40	5,95	C
18	4,35	P	24	4,98	P	53	5,46	C	119	5,96	C
3	4,42	P	42	4,98	P	17	5,46	C	74	5,99	C
84	4,44	P	14	4,99	P	50	5,47	C	95	5,99	C
25	4,45	P	45	5,01	C	58	5,48	C	121	6,00	C
43	4,46	P	87	5,01	C	97	5,50	C	110	6,01	C
24	4,49	P	111	5,03	C	99	5,50	C	23	6,04	C
12	4,50	P	139	5,03	C	102	5,50	C	106	6,05	C
112	4,51	P	95	5,05	C	65	5,52	C	55	6,06	C
117	4,56	P	127	5,05	C	46	5,54	C	53	6,06	C
41	4,57	P	5	5,05	C	76	5,55	C	28	6,06	C
54	4,60	P	35	5,06	C	34	5,56	C	7	6,08	C
55	4,61	P	6	5,06	C	124	5,57	C	123	6,09	C
56	4,63	P	49	5,09	C	124	5,57	C	19	6,09	C
68	4,64	P	57	5,11	C	24	5,57	C	103	6,10	C
69	4,66	P	130	5,12	C	100	5,60	C	19	6,10	C
115	4,72	P	66	5,13	C	94	5,60	C	1	6,12	C
87	4,72	P	2	5,15	C	40	5,60	C	39	6,12	C
75	4,74	P	88	5,16	C	67	5,61	C	117	6,13	C
76	4,75	P	53	5,18	C	15	5,61	C	31	6,15	C
103	4,77	P	67	5,20	C	5	5,63	C	29	6,15	C
125	4,79	P	1	5,21	C	110	5,63	C	49	6,15	C

Si tralasciano i successivi valori di velocità che appartengono comunque ad un ciclista.

## E. IMMAGINI

### E1. FERMO IMMAGINE DEI FILMATI PRODOTTI DURANTE LO STUDIO PILOTA #2 (SEZIONE 2.4 PAG. 31)

In alto a sinistra di ogni immagine è presente un numero che identifica il filmato.

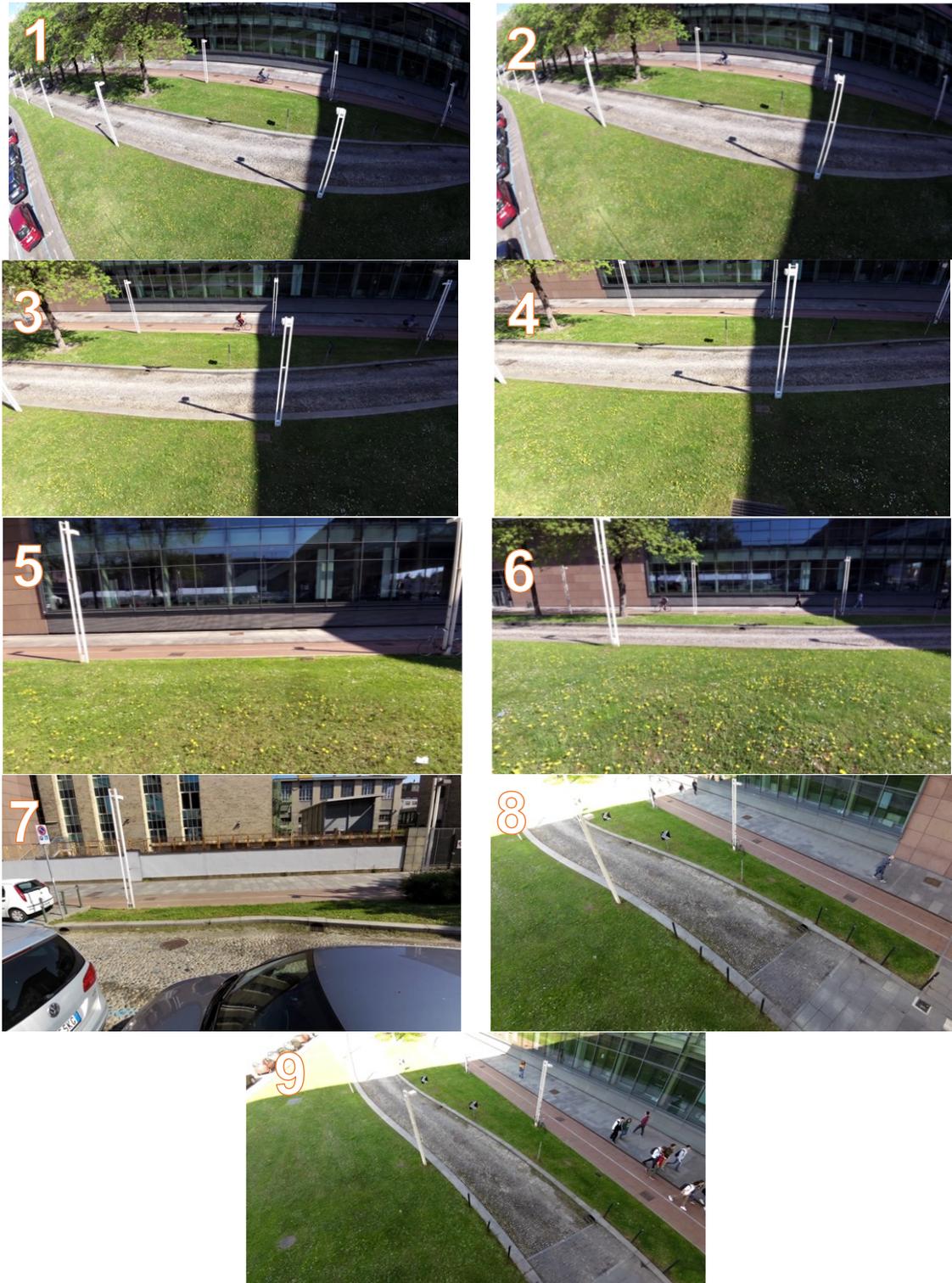
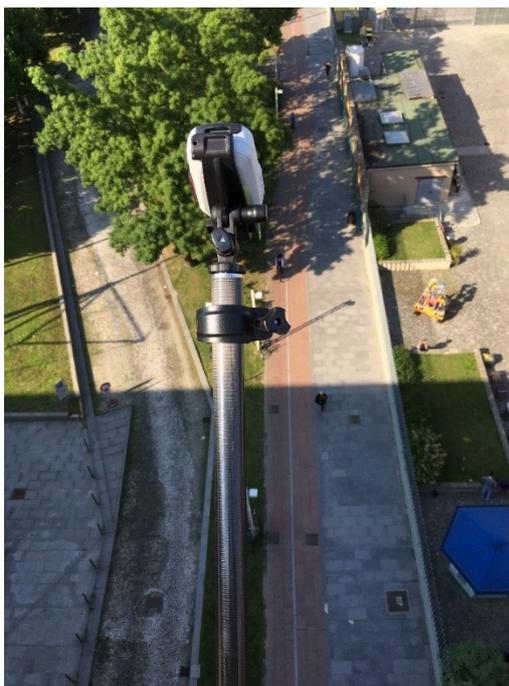


Figura 95: Fermo immagine dei filmati prodotti durante lo Studio Pilota #2

E2. IMMAGINI RAFFIGURANTI LA POSTAZIONE DELLA VIDEOCAMERA DURANTE LO STUDIO DEFINITIVO (SEZIONE 2.5 PAG. 34)



*Figura 96: Postazione videocamera Garmin VIRB Elite (vista laterale e frontale)*



*Figura 97: Pista ciclabile e visuale del cortile*

E3. IMMAGINI UTILIZZATE PER LA CALIBRAZIONE (CAPITOLO 3 PAG.38)



*Figura 98: Immagini dalla camera 2080 utilizzate per la calibrazione*



*Figura 99: Immagini dalla camera 9002 utilizzate per la calibrazione*

