



POLITECNICO DI MILANO

Facoltà di Ingegneria dell'Informazione
Dipartimento di Elettronica e Informazione



Laboratorio di Robotica e Intelligenza Artificiale

Corso di: Image Analysis And Synthesis
Prof: Vincenzo Caglioti

ANALYZING TRAFFIC SPEED FROM A SINGLE NIGHT IMAGE

-

LIGHT STREAKS DETECTION

Tutor: Giacomo Boracchi e Alessandro Giusti

Albinola Matteo 708366
Carcano Matteo 708621

Anno Accademico 2007/2008

Indice

Abstract	4
Introduzione.....	5
Il problema affrontato	6
Soluzione adottata	8
1 - Mascheramento.....	8
2 - Pre-elaborazione	8
3 - Ricerca strisce, stima della lunghezza e degli estremi	9
4 - Stima della velocità delle auto.....	18
5 - Identificazione delle coppie di tracce appartenenti alla medesima auto	20
Risultati sperimentali e valutazione.....	23
Risultati delle immagini con velocità conosciuta (misura da tachimetro).....	24
Risultati delle immagini con velocità conosciuta (misura da navigatore GPS).....	26
Risultati con velocità non conosciuta	30
Direzioni future di ricerca e conclusioni	34
Riferimenti	35
Appendice	36
A - Documentazione dell'implementazione in MatLab	36
B - Manuale utente per l'utilizzo del sistema	36

Indice delle figure

Figura 1: Maschera binaria	8
Figura 2: Immagine (scala di grigi) dopo il mascheramento.....	8
Figura 3: Risultato elaborazione (threshold, skel e dilate)	9
Figura 4: Identificazione della striscia.....	10
Figura 5: Selezione immagine traccia (boundingbox e selezione considerata).....	11
Figura 6: Striscia ruotata e relativa selezione (immagine originale in scala di grigi).....	12
Figura 7: Striscia ruotata e relativa selezione (immagine binaria dopo threshold).....	12
Figura 8: Panoramica delle tecniche di stima dell'extent in caso di immagine disturbata	14
Figura 9: Panoramica delle tecniche di stima dell'extent.....	15
Figura 10: Risultato del rilevamento delle strisce.....	16
Figura 11: Linee/segmenti rilevati ed ingrandimento del fascio di intersezioni	17
Figura 12: Risultato dei filtri ed ingrandimento sulla traccia rilevata.....	17
Figura 13: Velocità rilevate (in due casi esempio)	19
Figura 14: Panoramica delle grandezze considerate per l'accoppiamento.....	20
Figura 15: Veicoli rilevati (in due casi esempio)	21
Figura 16: Immagine 25Kmh-2.5sec.jpg (velocità veicolo: ~25Km/h)	24
Figura 17: Immagine 40Kmh-2.5sec.jpg (velocità veicolo: ~40Km/h)	24
Figura 18: Immagine 50Kmh-2.5sec.jpg (velocità veicolo: ~50Km/h)	25
Figura 19: Immagine gps37Kmh-1sec.jpg (velocità veicolo: ~37Km/h).....	26
Figura 20: Immagine gps37Kmh-1sec (2).jpg (velocità veicolo: ~37Km/h)	26
Figura 21: Immagine gps37Kmh-2sec.jpg (velocità veicolo: ~37Km/h).....	27
Figura 22: Immagine gps38Kmh-2sec.jpg (velocità veicolo: ~38Km/h).....	27
Figura 23: Immagine gps43Kmh-2.5sec.jpg (velocità veicolo: ~43Km/h).....	28
Figura 24: Immagine malpensa-2sec.jpg (limite Codice Stradale: 90Km/h).....	30
Figura 25: Immagine malpensa-1sec.jpg (limite Codice Stradale: 90Km/h).....	30
Figura 26: Immagine malpensa-1sec (2).jpg (limite Codice Stradale: 90Km/h)	31
Figura 27: Immagine europa-2sec.jpg (limite Codice Stradale: 70Km/h).....	31
Figura 28: Immagine ufficio-2.5sec.jpg	32
Figura 29: Esempio di rilevamento compromesso a causa della sovrapposizione delle tracce.....	33

Abstract

When you shot a night photo of a road, you will notice that car's lights are often the most relevant thing of the photo. Then, if you use a longer exposure time, lights will leave amazing streaks or "trails" in the image, which are really the image of the car's lights trajectory during the exposure. So, starting from a photo of a street, possibly busy, the aim is that of trying to compute the approximate speed of every car that is running along the road.

The first part of this work is centered on a preliminary analysis of this scenario that allowed to define a very important set of assumptions, then a deeper one shows a possible problem decomposition into three sub problems. The first one is the identification of all light streaks left by the car, the second, the approximative estimation of the speed and the last which aim is to clustering compatible streaks in order to identify cars that are really lying on the road. The second part of the report shows how to solve the problem, which haven't been treated in literature before, by combining different techniques from image analysis and others from image geometry. The first sub problem is treated using two different approaches, one based on a technique for estimating the blur extent (very similar to a long streak), and consequently streak's extremes, with the application of autocorrelation function (ACF) and the other that try to reach same results but using the Hough transform. Last two sub problems are solved instead with knowledge about image geometry, so working on relations between lines, angles and cross-ratios. This section provides also a comparison between techniques and problems encountered during their application. At the end, the last section illustrates the results on some sample images.

Introduzione

Scattando una fotografia ad una strada durante la notte, le luci delle auto sono sovente gli unici particolari visibili. Utilizzando poi un tempo di esposizione più lungo del normale, si potrà notare con sorpresa come le auto lasceranno nella foto delle affascinanti strisce luminose, che rappresentano proprio la traiettoria del veicolo durante l'esposizione.



Partendo da una foto di una strada, possibilmente trafficata, l'idea è quindi quella di riuscire a stimare la velocità approssimativa di ogni auto che sta percorrendo la carreggiata.

Il problema affrontato

Il primo passo è stato quello di effettuare una valutazione preliminare dello scenario e di studiare un dataset fotografico da cui partire per iniziare a delineare tutte le caratteristiche ed assunzioni specifiche del problema. Eseguendo alcune ricerche, si è potuto constatare che le immagini reperite nel Web non si prestavano totalmente al caso, esse infatti o rappresentavano situazioni particolari nel posizionamento delle auto o della strada oppure non erano neppure accompagnate da informazioni indispensabili ai fini della trattazione, come per esempio il tempo di esposizione o la velocità reale dell'auto.

Si è quindi deciso di scattare delle fotografie in modo tale da poter effettuare un'analisi a partire da condizioni iniziali note; durante questa fase di acquisizione delle fotografie sono stati scoperti numerosi dettagli da tenere in considerazione. In primo luogo l'esposizione gioca un ruolo fondamentale nella buona riuscita della stima, fotografie troppo sovraesposte influenzano inevitabilmente il processo di identificazione; la fotografia risulta infatti disturbata da aloni eccessivamente chiari anche in parti non significative, esterne alle aree interessate dalle strisce luminose. In particolare, in una fotografia acquisita (foto 'europa-2sec.jpg' del dataset), si possono notare questi disturbi; vi sono infatti sia aree luminose sul manto stradale sia disturbi legati al riflesso dei fari del veicolo.

D'altra parte una foto di questo tipo è indispensabile per determinare, da un singolo scatto notturno, tutti i parametri per la calibrazione; è infatti necessario riuscire a scorgere le linee della strada ed altri riferimenti dallo scatto stesso per non dover così rieseguire la foto in condizioni giornaliere di luce, prassi corretta in caso di sistema reale. Per ottenere da un sistema perfettamente calibrato le migliori stime possibili occorre invece scattare delle foto appena sovraesposte in modo tale da ottenere un'immagine scura per lo sfondo ma chiara e nitida in corrispondenza delle sole tracce luminose.

Generalmente i parametri che influenzano la sotto/sovraesposizione di una fotografia sono tre: il tempo di esposizione, l'apertura dell'otturatore e la sensibilità ISO. Nello specifico caso, dato che il soggetto della fotografia è un oggetto molto luminoso in movimento, i parametri che possono essere variati sono solamente l'apertura e la sensibilità; diminuire o aumentare il tempo di esposizione produrrà solamente effetti legati alla lunghezza delle strisce, non influenzando quindi la luminosità della fotografia. Diminuendo invece i valori di apertura dell'otturatore (che corrisponde ad un aumento del valore di diaframma utilizzato, es. f/22) e di sensibilità ISO si avrà rispettivamente una riduzione della quantità di luce che giunge al sensore ed una riduzione della sua sensibilità, l'effetto globale ottenuto sarà una riduzione del valore di esposizione.

Una particolarità da tenere in considerazione, non riferendosi più alla sotto/sovraesposizione delle foto ma bensì alla qualità della stima che si vuole ottenere, è stata la scelta della lunghezza del tempo di esposizione, che va inevitabilmente tarato anche in base alle caratteristiche della scena. L'utilizzo di un tempo di esposizione lunghi potrebbe dar luogo a sovrapposizioni delle scie lasciate

da auto diverse o ad una non completa cattura della traccia poiché parzialmente esterna al campo visivo. Con tempi di esposizione troppo corti si avrebbero invece foto con tracce di lunghezza ridotta che, anche se correttamente identificate, potrebbero portare ad una stima non accurata della velocità in quanto la dimensione ridotta viene maggiormente influenzata dalle approssimazioni considerate nella misura.

Per poter definire e semplificare i gradi di libertà del problema, sono state elaborate le seguenti assunzioni preliminari:

- La strada si suppone rettilinea e le auto viaggiano sempre parallele ad essa;
- Ogni veicolo durante il periodo di osservazione viaggia a velocità costante;
- La fotocamera è collocata in una posizione nota ma generica e si suppone calibrata;
- La velocità reale delle auto fotografate, essendo stata osservata manualmente (attraverso tachimetro o in alcune prove comparative per mezzo di un navigatore GPS), risulta affetta da un impreciso e variabile errore di misura;
- Anche se nella realtà le tracce lasciate dai fari e la fotocamera si trovano ad altezze comparabili, si considerano invece ad una distanza tale da poter approssimare le tracce luminose come giacenti sul piano stradale;

Da una successiva e più approfondita analisi, è stato possibile suddividere il problema in tre parti fondamentali: la prima parte riguarda l'identificazione di tutte le tracce luminose lasciate dalle auto, la seconda, dati gli estremi di ogni striscia, si focalizza invece sulla stima approssimativa della velocità ed infine l'ultima il cui scopo è quello di accoppiare le tracce in modo tale da identificare le auto che stanno realmente percorrendo la strada.

Non essendo mai stato trattato in letteratura, si è cercato quindi di trovare una soluzione al problema combinando diverse tecniche concernenti sia l'analisi di immagini sia concetti di analisi geometrica. Le prime, riconducibili principalmente a tecniche di analisi per immagini blurred, sono state fondamentalmente utilizzate per risolvere la parte del problema legata all'identificazione delle strisce luminose, arrivando quindi a stimare per ogni traccia i rispettivi estremi di inizio e fine. La soluzione è stata sviluppata seguendo due approcci possibili: il primo basato su tecniche per la stima del blur extent [1] (riconducibile ad una lunga traccia) attraverso l'applicazione della funzione di autocorrelazione (ACF), il secondo attraverso la trasformazione Hough. Ci si è invece serviti dell'analisi geometrica per calcolare l'effettiva distanza percorsa dall'auto durante l'intervallo di analisi, coincidente proprio con il tempo di esposizione della foto. Infine, sempre attraverso assunzioni prettamente geometriche si è arrivati a formulare una tecnica in grado di accoppiare le tracce luminose, identificando così i veicoli veri e propri.

Soluzione adottata

In questo capitolo verranno descritte tutte le tecniche sviluppate per risolvere le tre sottoproblematiche identificate durante la fase di analisi preliminare.

Per presentare in maniera chiara il flusso logico delle operazioni/passi seguiti, viene di seguito fornita una scaletta che ne riassume i punti trattati:

1. Mascheramento
2. Pre-elaborazione
3. Ricerca strisce, stima della lunghezza e degli estremi
 - a. Approccio A (stima attraverso la funzione ACF)
 - b. Approccio B (stima attraverso la trasformazione Hough)
4. Stima della velocità delle auto
5. Identificazione delle coppie di tracce appartenenti alla medesima auto

1 - Mascheramento

Per concentrare le analisi successive solo sulla porzione di immagine significativa, evitando quindi potenziali disturbi legati all'ambiente circostante, è stato effettuato un preventivo mascheramento della foto originale. La maschera binaria (Figura 1), creata in modo automatico, è stata quindi sovrapposta all'immagine in scala di grigi, lasciando così scoperta solamente la parte di foto relativa alla carreggiata (Figura 2).



Figura 1: Maschera binaria

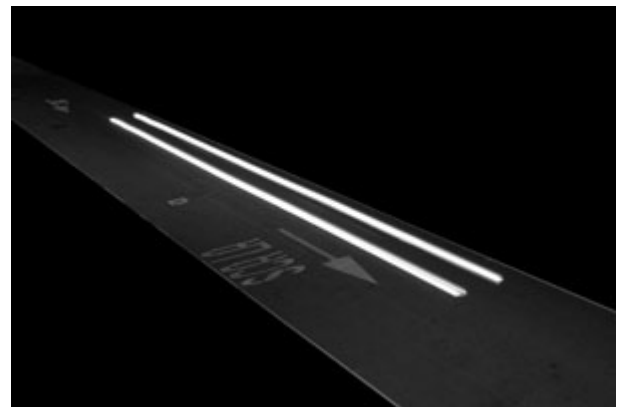


Figura 2: Immagine (scala di grigi) dopo il mascheramento

2 - Pre-elaborazione

Prima di procedere all'identificazione delle strisce, l'immagine deve necessariamente essere segmentata e ripulita in modo tale da eliminare eventuali punti o aree che erroneamente potrebbero essere scambiate per parti significative delle linee. Avendo le strisce luminose una tonalità molto chiara, tendente al bianco, è quindi possibile operare un *thresholding* dell'immagine

a livelli abbastanza elevati senza arrivare a nascondere le reali strisce delle auto, pregiudicando la qualità del rilevamento. In coda alle operazioni di *thresholding*, sono stati anche applicati dei filtri di *erode*, *dilate* e *skeletonizing* così da stilizzare e riempire le strisce per ottenere una forma quanto più simile ad una linea (Figura 3).

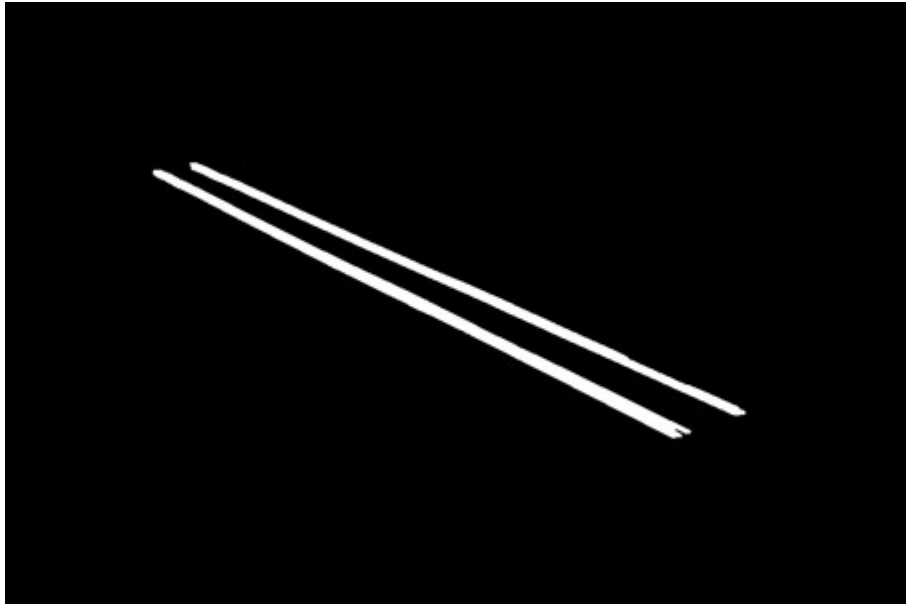


Figura 3: Risultato elaborazione (threshold, skel e dilate)

3 - Ricerca strisce, stima della lunghezza e degli estremi

Giunti a questo punto, il problema è stato quello di riuscire ad identificare correttamente le strisce di luce all'interno della carreggiata; si sono identificati quindi due possibili approcci al problema:

- A. Ricerca delle aree significative e stima delle caratteristiche delle strisce utilizzando tecniche per l'analisi delle immagini blurred;
- B. Identificazione delle linee utilizzando le proprietà della trasformazione Hough;

Approccio A

Sebbene questo approccio sia stato il secondo in ordine cronologico, si è scelto di analizzarlo per primo poiché è stato quello effettivamente adottato nella soluzione finale, grazie appunto all'incremento di qualità che ha portato al rilevamento.

Questa soluzione si basa sull'identificazione delle regioni connesse all'interno di un'immagine binaria; il rilevamento è stato quindi realizzato mediante l'utilizzo della funzione MatLab *bwlabel*. Applicando poi la funzione *regionprops* che stima le proprietà delle regioni trovate, si è potuto filtrare le aree trovate in base all'estensione ed individuare per ogni striscia il centro di massa o baricentro (Figura 4, punto in blu) e la relativa porzione di immagine che la contiene (*boundingbox*). In questa prima scrematura, si è scelto di eliminare solo le aree palesemente troppo piccole per essere considerate strisce lasciate dalle auto. Per definire quindi la corretta soglia di quantità di area che una regione doveva possedere per diventare una candidata per le successive analisi, sono state effettuate diverse prove con varie immagini e si è notato che

impostando anche una soglia molto bassa si riuscivano ad eliminare bene tutti i numerosissimi disturbi presenti nel piano della carreggiata. Per come è stato progettato, questo primo filtro non ha quindi lo scopo di filtrare tutti i disturbi presenti ma di eliminare solo la maggior parte di essi, consentendo il passaggio di falsi positivi con caratteristiche compatibili a strisce valide che saranno poi rilevati ed eliminati dalle successive analisi.

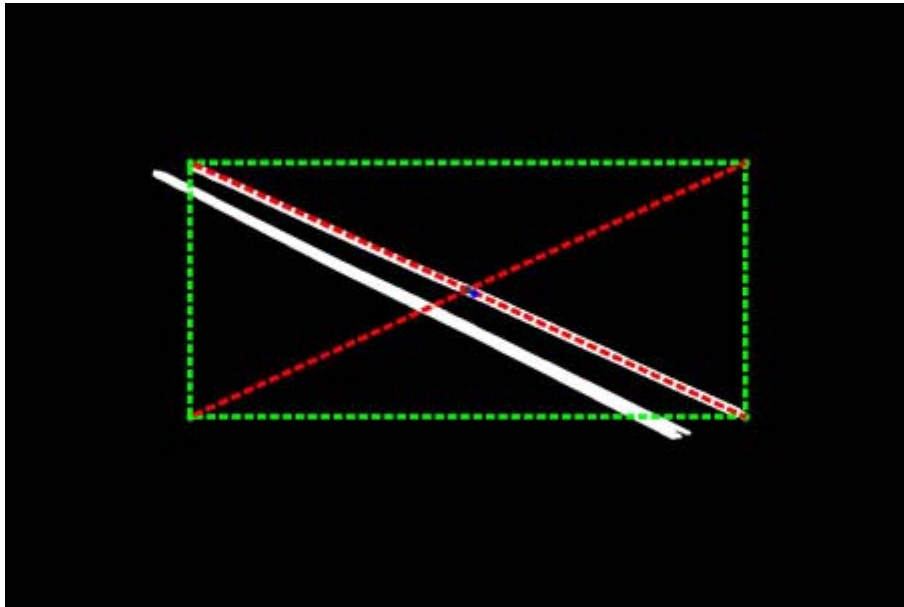


Figura 4: Identificazione della striscia

Il prossimo passo consiste nello stimare la lunghezza in pixel della striscia di luce. Per ogni traccia luminosa è stata selezionata una porzione di immagine che la contiene (*boundingbox*), stimata dalla funzione *regionprops* (Figura 4, *boundingbox* tratteggiato in verde). A prima vista, osservando la selezione, si potrebbe pensare che la lunghezza della diagonale corrisponda proprio alla lunghezza cercata. In realtà non è sempre vero in quanto il contenitore, a diverse condizioni di luce e di threshold, potrebbe contenere più o meno aree di pixel in corrispondenza degli estremi della striscia, stimando erroneamente la dimensione. Un'informazione fornita dal *boundingbox* con buona precisione è invece il punto in corrispondenza delle intersezioni delle diagonali. Essendo infatti per costruzione sempre centrato sulla regione che contiene, e ipotizzando la striscia luminosa come approssimazione di una linea (rettangolo con una dimensione molto maggiore dell'altra) risulta valida l'assunzione che coincida approssimativamente con il centro della striscia.

Considerando le precedenti premesse, è stata utilizzata come sorgente per l'analisi l'immagine contenuta nel contenitore precedentemente descritto (Figura 5, porzione compresa nel *boundingbox* tratteggiato in verde), ingrandito però di un fattore di scala definito (Figura 5, porzione compresa nel riquadro verde). Si è scelto quindi di operare con un'immagine ritagliata e scalata per tre motivi fondamentali:

- Diminuire i problemi legati al rilevamento; due strisce allineate e consecutive, analizzate nella medesima porzione di immagine, possono portare ad una stima errata dell'estensione

della linea. Con molteplici linee, non vi è infatti la possibilità di associare correttamente la lunghezza calcolata alla linea corrispondente.

- Incrementare la qualità del rilevamento; per non ridurre la stima della lunghezza alla mera misura della selezione è stata scelta una tecnica di stima più sofisticata rispetto l'analisi attraverso *boundingbox*.
- Aumentare le prestazioni; l'analisi non viene infatti concentrata su tutti i pixel dell'immagine originale ma solo su aree di interesse.

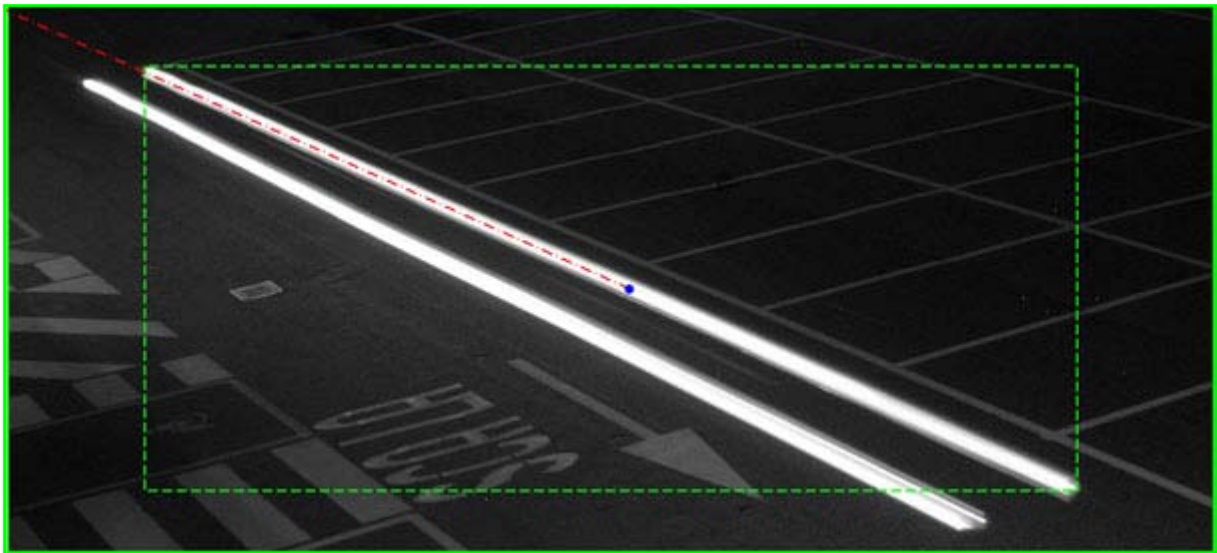


Figura 5: Selezione immagine traccia (boundingbox: linea verde tratteggiata, selezione considerata: linea verde)

Per effettuare la misura della lunghezza della traccia si è deciso di applicare una tecnica propria dell'analisi di immagine blurred [1]. La tecnica utilizzata è l'autocorrelazione (ACF), la quale applicata lungo la direzione del moto, permette di stimare la lunghezza dell'extent. Per adattarla al caso, la porzione di immagine contenente la striscia (vedi le differenti proposte di scelta della sorgente, illustrate successivamente) è stata quindi ruotata in modo tale da portare la linea in posizione orizzontale. L'angolo di rotazione è stato calcolato come l'angolo fra la retta dell'asse delle ascisse e la direzione dell'auto, rappresentata dalle retta congiungente il baricentro (*centroid*) ed il vanishing point longitudinale alla direzione stradale; questo grazie all'ipotesi che vincola le auto a viaggiare parallele alla strada. L'immagine ruotata viene a sua volta ritagliata in modo tale da selezionare solo la parte della striscia più significativa sulla quale applicare poi la funzione di autocorrelazione. La selezione viene effettuata partendo dalla linea di pixel relativa all'ordinata del baricentro (Figura 6, punto in blu) a cui vengono aggiunte tutte le linee fino a k pixel superiori e a k pixel inferiori (Figura 6, linee di pixel fra le linee verdi).

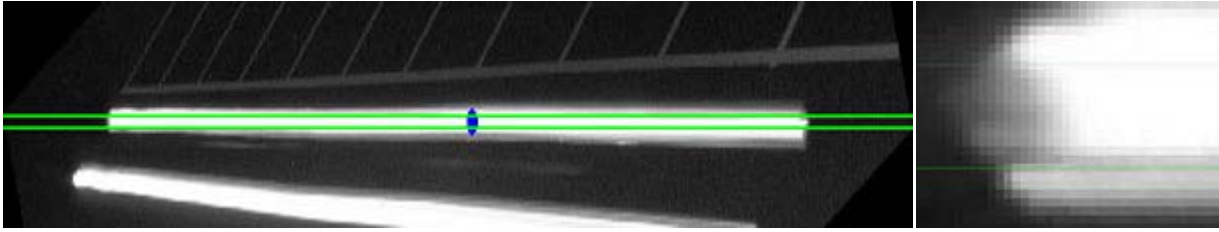


Figura 6: Striscia ruotata e relativa selezione (immagine originale in scala di grigi)



Figura 7: Striscia ruotata e relativa selezione (immagine binaria dopo threshold)

Per la stima dell'estensione della striscia viene quindi applicata la funzione di autocorrelazione alla derivata dell'immagine sorgente poiché, grazie alle proprietà della derivazione, quando un'immagine derivata viene seguita dall'operazione di autocorrelazione nella direzione del moto, da qui la motivazione della rotazione dell'immagine, ci si aspetta un minimo nella funzione ACF distante dall'origine di un valore pari alla lunghezza dell'extent, che in questo caso corrisponde proprio alla lunghezza della traccia lasciata dall'auto.

A questo punto sono state vagliate tre possibili strade che hanno portato alla definizione di differenti sorgenti su cui basare la stima: applicare l'ACF alla derivata dell'immagine della traccia in scala di grigi (Figura 6) oppure applicarla alla derivata dell'immagine binaria ottenuta dalla precedente fase di pre-elaborazione (Figura 7). Come si è potuto osservare, le due soluzioni introdotte hanno pregi e difetti propri. La prima metodologia funziona molto bene e permette inoltre di essere completamente indipendente dalla soglia fissa di threshold utilizzata, in alcuni casi soffre però di disturbi legati ad errori nel processo di acquisizione della foto, situazione che comunque non si dovrebbe verificare in caso di sistema fisso e ben calibrato. La seconda soluzione permette di ridurre al minimo i disturbi, vengono infatti eliminati da una scelta intelligente del valore di threshold, risulta però troppo dipendente da questo parametro di configurazione il cui valore corretto potrebbe non essere sempre lo stesso al variare della qualità dello scatto. Inoltre, un'analisi così sofisticata ed accurata come l'autocorrelazione non ha più senso applicata ad una sorgente binaria poiché banalmente si potrebbe ridurre la stima alla misura della lunghezza della diagonale del *boundingbox* calcolato nelle fasi precedenti dell'elaborazione. La prima soluzione è quella che è stata effettivamente adottata per l'implementazione del prototipo.

Come descritto precedentemente, l'analisi ACF viene applicata ad una selezione dell'immagine sorgente, costituita pertanto da differenti linee di pixel. In questo modo, non si concentra l'elaborazione solo sull'unica linea in corrispondenza del baricentro, ma la si estende anche alle linee di pixel adiacenti in modo tale da ottenere una soluzione più robusta. Questo modello di analisi porta ad ottenere differenti funzioni ACF ognuna in corrispondenza di ogni linea di pixel

considerata; per stimare il vero valore dell'extent sarà quindi necessario uniformare i risultati delle diverse funzioni ottenute. Gli approcci pensati per unificare i differenti valori delle funzioni, tentano di trovare il miglior compromesso che porti ad identificare, anche in presenza di disturbi, la stima più corretta.

A valle dell'applicazione della funzione ACF, i valori calcolati sono stati filtrati in modo tale da non considerare tutti i minimi delle funzioni situati in un intorno dello zero. Questa operazione si è resa necessaria in quanto in prossimità dell'origine si originavano dei minimi errati causati da disturbi dovuti all'applicazione della funzione. La soglia dinamica è stata quindi calcolata come percentuale della dimensione della traccia considerata.

Vengono di seguito presentati i metodi presi in considerazione per la ricerca della stima migliore dell'extent (ascissa della funzione in corrispondenza del valore minimo di ordinata):

- a. Calcolo dell'extent su ogni linea di pixel ed individuazione della stima come la mediana dei valori precedenti (Figura 9, alto a sinistra).
- b. Calcolo dell'extent su ogni linea di pixel ed individuazione della stima come la media dei valori precedenti (Figura 9, alto a destra).
- c. Calcolo dell'extent su ogni linea di pixel ed individuazione della stima come il valore di extent che si discosta meno dalla media (Figura 9, alto a destra).
- d. Ricerca della stima dell'extent sulla funzione definita come somma delle ACF calcolate su ogni linea di pixel (Figura 9, basso a sinistra).
- e. Ricerca della stima dell'extent sulla funzione definita come la mediana delle ACF (mediana per ogni valore di ordinata delle funzioni) calcolata su ogni linea di pixel (Figura 9, basso a destra).

Dopo aver effettuato varie prove sperimentali con diversi dataset, la soluzione che ha portato ad ottenere stime più corrette, rivelandosi la più robusta delle alternative, è stata il metodo *a*. Quest'ultimo, anche in presenza di linee di pixel affette da disturbi (traccia non ben delineata, etc), porta comunque ad una stima corretta dell'extent. Non è invece vero nel caso della media, basta infatti un solo valore di extent non corretto per deviare la soluzione verso una stima non più accurata. Come illustra l'esempio qui sotto riportato (Figura 8), in cui è stata volutamente prodotta un'immagine problematica aumentando il numero di linee di pixel considerate (la selezione risulta così più ampia dell'effettiva altezza della striscia), il metodo *b* (Figura 8, alto a destra) sbaglia di molto la stima rispetto al reale valore, che viene invece correttamente valutato dalla metodologia *a* della mediana (Figura 8, alto a sinistra). Le ultime due alternative sono risultate invece abbastanza robuste ma non sono però esenti da problemi; l'ultima per esempio, mediando i singoli valori delle ordinate, livella molto i picchi della funzione ACF portando a potenziali problemi nell'identificazione del minimo.

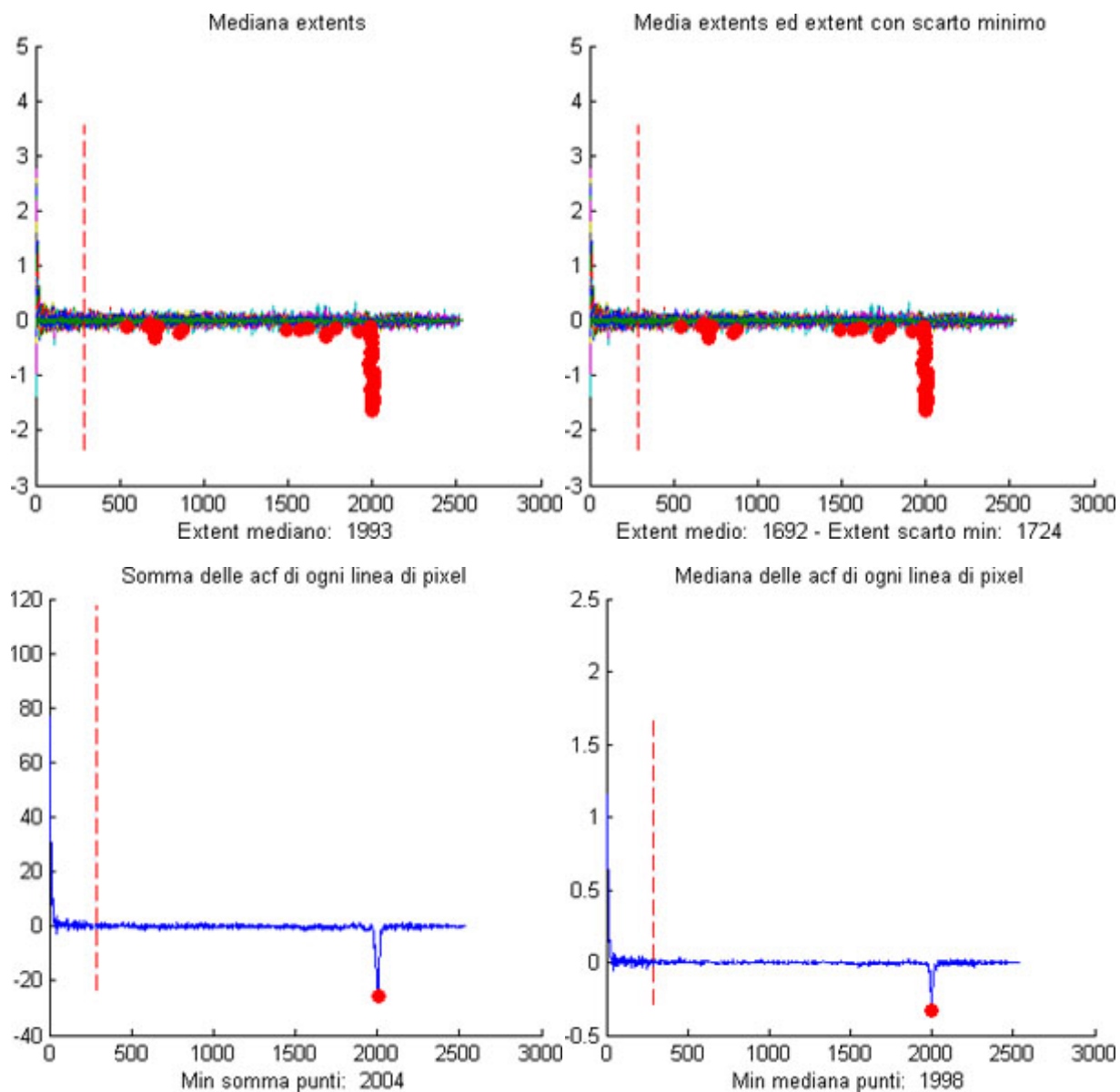


Figura 8: Panoramica delle tecniche di stima dell'extent in caso di immagine disturbata

Vengono di seguito riportati i grafici delle possibili metodologie di stima relativi ad un caso non patologico dell'applicazione della funzione ACF sull'immagine della traccia in scala di grigi.

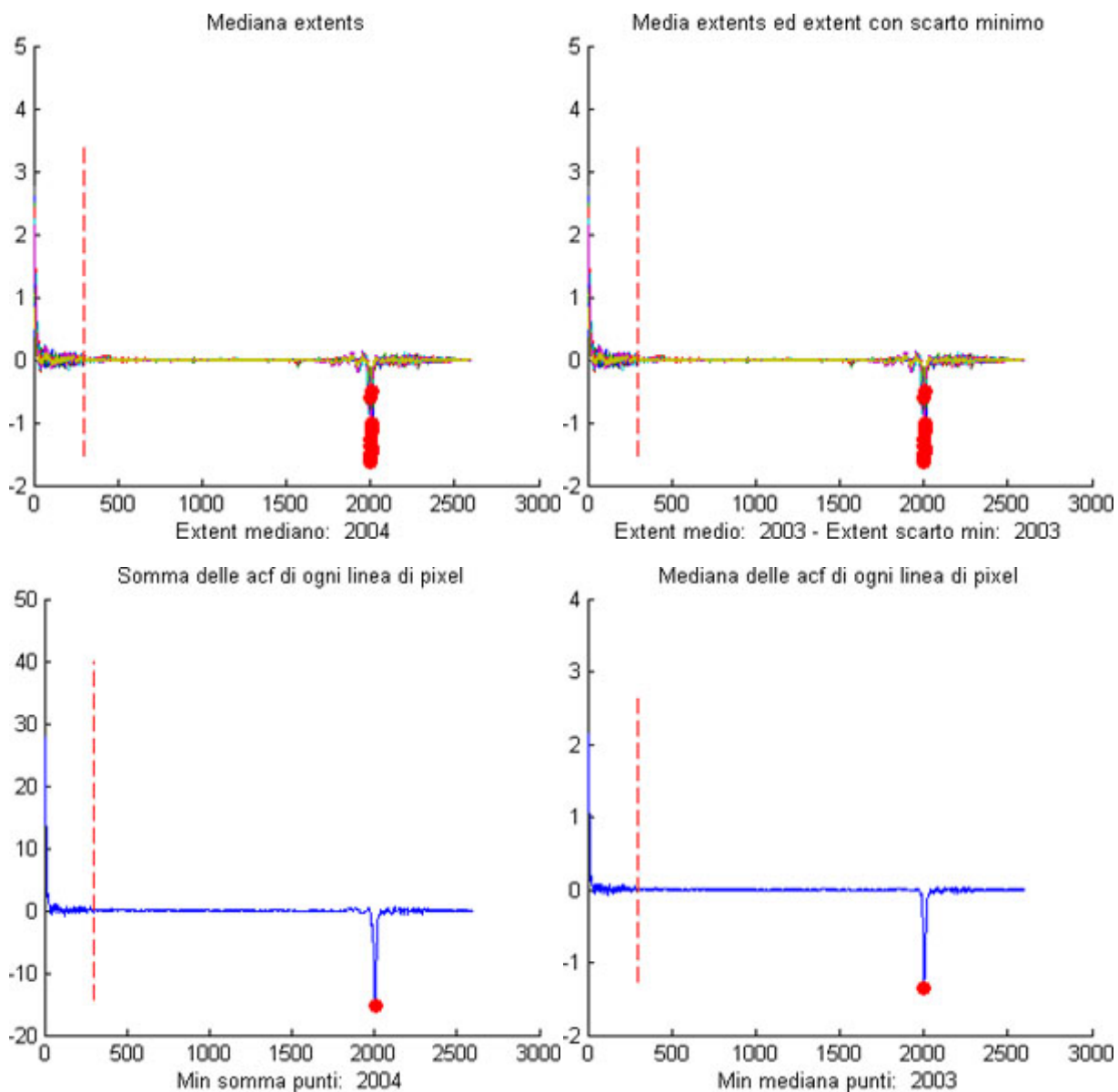


Figura 9: Panoramica delle tecniche di stima dell'extent

Stimata la lunghezza dell'extent, è stato necessario identificare le coordinate dei punti che delimitano l'inizio e la fine della traccia. Partendo quindi dal punto centrale del *boundingbox* (Figura 4, punto di intersezione delle due diagonali di colore rosso) i due estremi sono stati calcolati come punti appartenente alla retta congiungente il centro del box ed il vanishing point longitudinale e situati alla distanza di $\pm extent$ pixel dal centro (Figura 10, punti verdi).

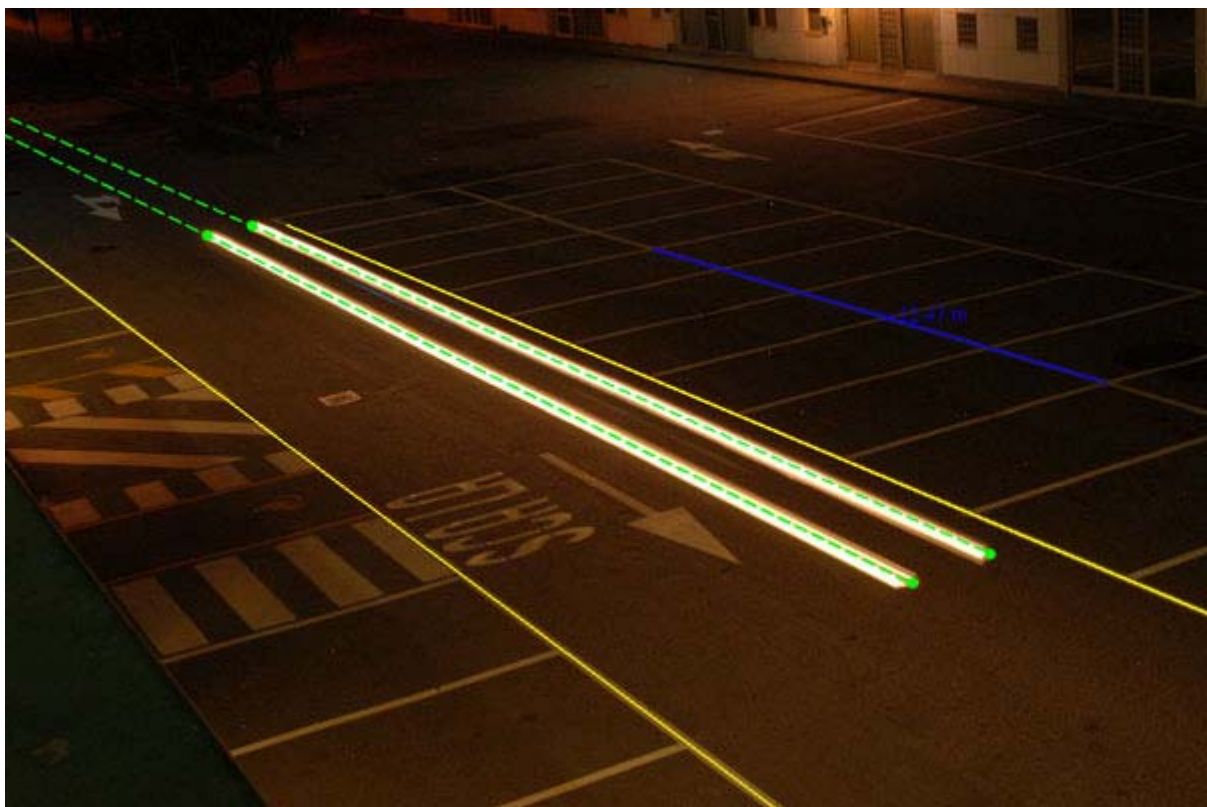


Figura 10: Risultato del rilevamento delle strisce

Approccio B

Il primo approccio pensato per l'identificazione delle tracce luminose lasciate dai fari delle automobili è stato quello di applicare le tecniche relative alla trasformazione Hough. L'immagine sorgente da cui si è partiti è stata l'immagine binaria prodotta dalla fase di pre-elaborazione, descritta nelle precedenti pagine. Il procedimento, basato sull'applicazione delle funzioni MatLab *hough*, *houghpeaks* e *houghlines*, è riuscito ad identificare ogni linea dell'immagine, rilevando per ognuna di esse i rispettivi punti estremi. Questa soluzione non è stata però esente da problemi, un punto a sfavore è stato quello legato alla taratura dei diversi parametri di configurazione richiesti dalle funzioni; si è notata infatti una forte dipendenza dalla specifica immagine sorgente su cui si effettuava l'analisi, ciò non ha quindi permesso di trovare una configurazione standard in grado di funzionare efficacemente su tutte le immagini del dataset, come avveniva invece per l'approccio A. Un ulteriore problema che si è presentato è quello legato alla mole di linee rilevate; come illustrato dalla Figura 11, in corrispondenza di ogni traccia luminosa, il metodo non ha rilevato un'unica linea coincidente con la traccia ma bensì un fascio di linee intersecate fra loro; si è resa quindi necessaria un'operazione di filtraggio a valle del rilevamento. Alla prima fase di scrematura è stato assegnato il compito di eliminare tutte le linee aventi un angolo di inclinazione non compreso fra quello delimitante la carreggiata, la seconda, è stata invece concentrata sul rilevamento di una sola linea per striscia di luce. Quest'ultimo filtro confronta infatti ogni segmento o traccia rilevata con tutti quelli che lo intersecano, mantenendo solamente quello di dimensioni maggiori. Il risultato finale è osservabile in Figura 12 dove si può notare che comunque le tracce identificate non risultano completamente parallele alle reali strisce lasciate dalle auto;

anche se parzialmente risolvibile per mezzo di opportune considerazioni, questo fatto introduce inevitabilmente un ulteriore punto a sfavore per il suddetto approccio.

Dopo accurate sperimentazioni, si è deciso di provare un approccio alternativo che fornisca un'identificazione più accurata ed indipendente da parametri di configurazione così specifici.

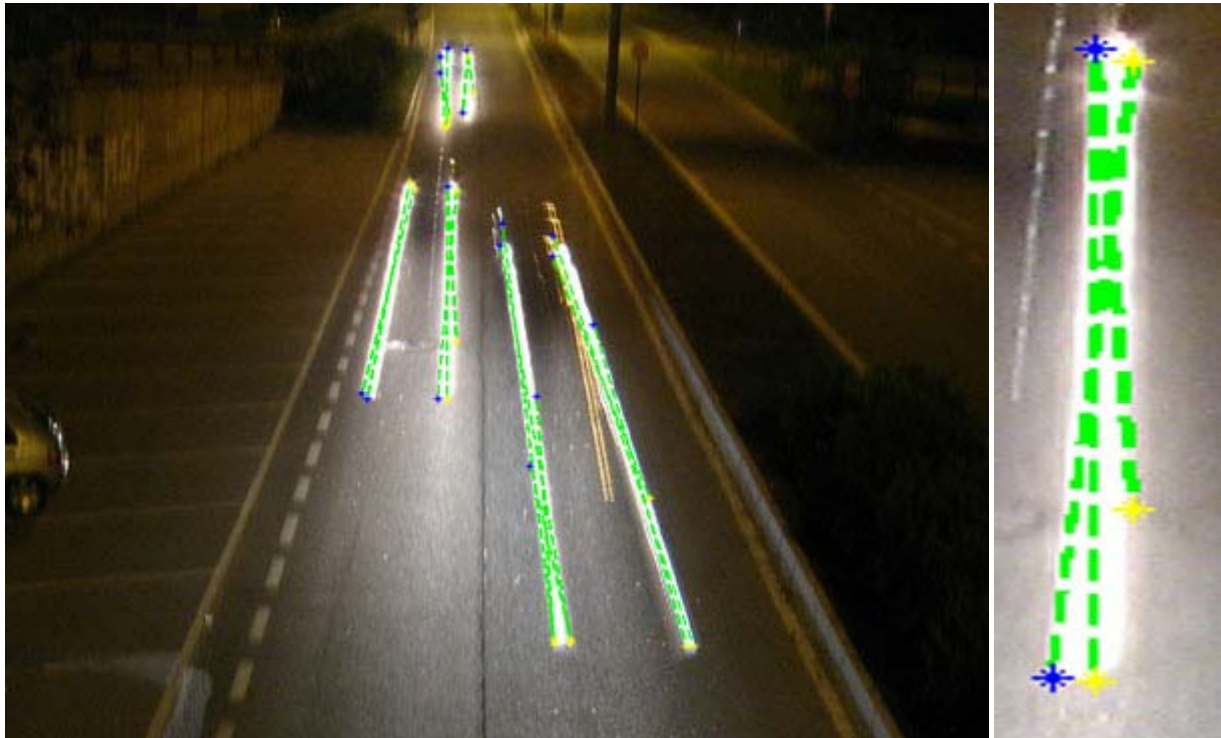


Figura 11: Linee/segmenti rilevati ed ingrandimento del fascio di intersezioni



Figura 12: Risultato dei filtri ed ingrandimento sulla traccia rilevata

4 - Stima della velocità delle auto

Questo capitolo illustra i passi adottati per stimare la reale velocità dell'auto, più precisamente la stima della velocità dei fari visibili sottoforma di striscia luminosa.

Per calcolare la velocità occorre conoscere due dati fondamentali: il tempo e lo spazio. Per quanto riguarda la variabile tempo, questa viene facilmente fornita dai parametri relativi all'acquisizione della fotografia; il tempo di esposizione è proprio l'intervallo di tempo in cui si considera il moto del veicolo, risulta quindi noto. Il secondo dato non è invece conosciuto, è proprio l'elaborazione descritta in questa sezione che ha il compito di convertire la lunghezza in pixel della traccia, calcolata dalle precedenti analisi, nel corrispettivo valore di lunghezza nel mondo reale, corrispondente proprio alla distanza in metri percorsa dall'automobile durante l'intervallo di osservazione. Risulta così facilmente calcolabile il rapporto *spazio/tempo* da cui si determina, dopo conversione in Km/h, la velocità.

Il processo di calcolo della distanza realmente percorsa può essere affrontato seguendo due strade differenti:

1. Applicazione del principio dell'omografia [2];
2. Applicazione del bi rapporto (cross-ratio) [2][3];

La prima si basa sulla corrispondenza fra una porzione reale di strada, identificata da un rettangolo longitudinale alla direzione della carreggiata e di cui si conoscono le dimensioni, ed i corrispettivi punti che identificano il medesimo rettangolo nel piano della fotografia. Conoscendo questa corrispondenza è possibile ricavare l'omografia che permette di trovare la relazione fra qualsiasi punto dell'immagine ed il corrispettivo nel mondo reale, da cui di conseguenza, è possibile ottenere qualsiasi lunghezza reale. In un sistema concreto questa soluzione è sicuramente la migliore ma nei casi in esame non è stata possibile adottarla poiché presupponeva la conoscenza di grandezze non sempre misurabili con i mezzi a nostra disposizione; basti pensare alle operazioni di marcatura/misurazione della sezione di strada rettangolare in una via trafficata, non effettuabili in condizioni sicure. Per le motivazioni appena descritte, è stato effettivamente utilizzato ed implementato il secondo metodo che ha come unico vincolo la conoscenza di una misura di riferimento (Figura 13, segmento in blu) parallela alla direzione delle tracce dell'auto (o della strada).

Sono state quindi così calcolate, a partire dai rispetti estremi di inizio e fine nella fotografia, le lunghezze reali delle strisce lasciate dalle auto. Risulta a questo punto banale ricavare la velocità effettiva dei veicoli.

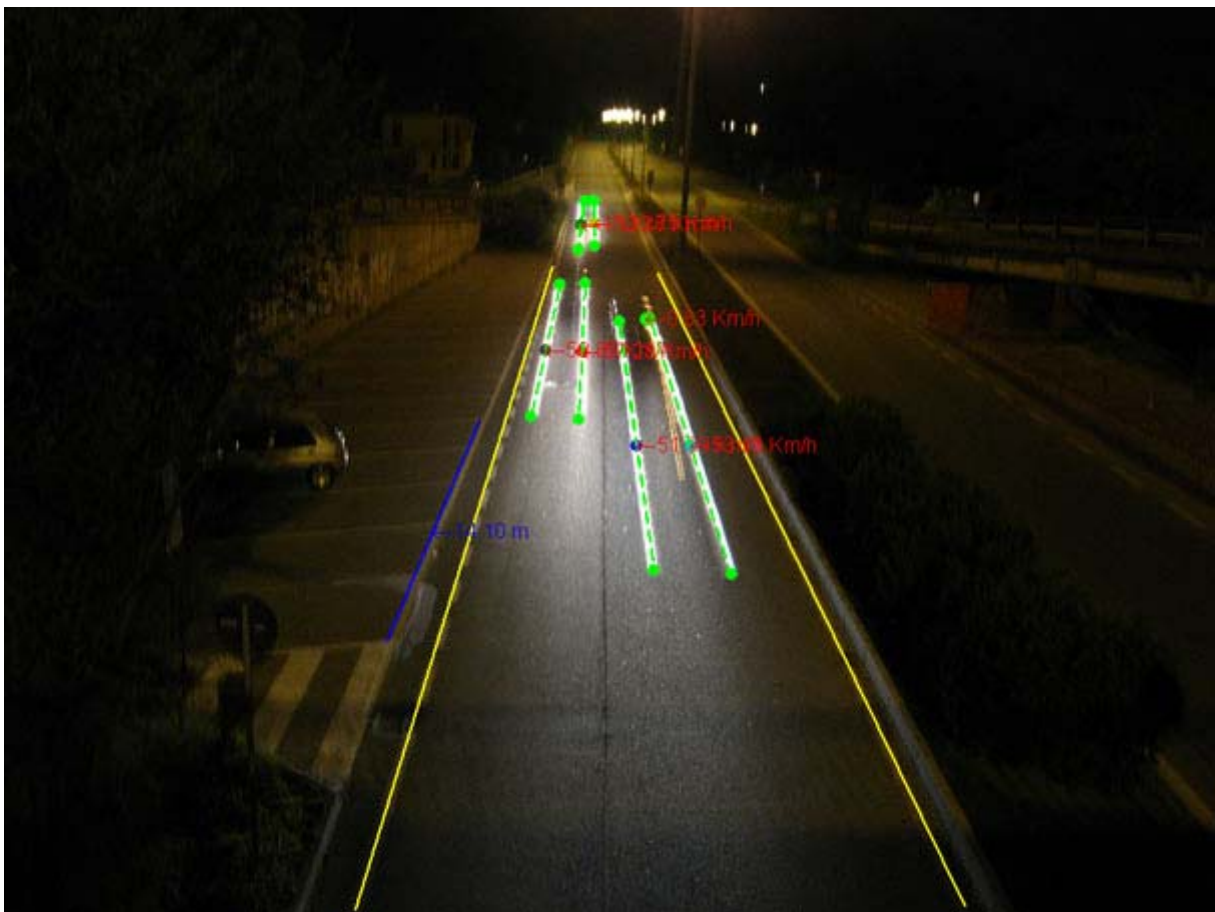
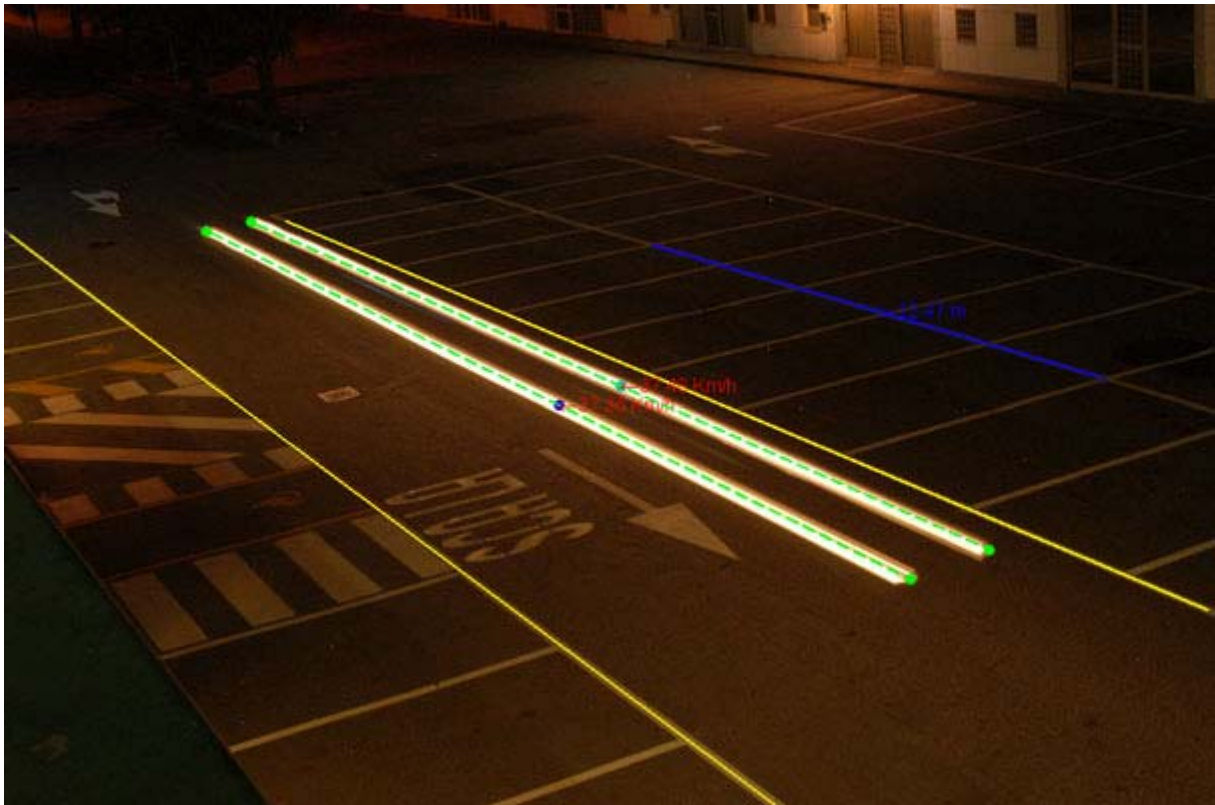


Figura 13: Velocità rilevate (in due casi esempio)

5 - Identificazione delle coppie di tracce appartenenti alla medesima auto

Giunti a questo punto della trattazione, il problema è ora quello di identificare le tracce appartenenti al medesimo veicolo in modo tale da fornire per ognuno di essi una singola stima della velocità.

L'approccio pensato prende in considerazione tre grandezze fondamentali su cui basare il risultato della procedura di ricerca delle coppie candidate:

- Angolo sotteso fra il segmento congiungente i due centri delle strisce (Figura 14, segmento tratteggiato in verde) e la retta fra il primo centro ed il vanishing point trasversale alla direzione della strada (Figura 14, retta tratteggiata rossa);
- Distanza fra i centri delle tracce della coppia candidata (Figura 14, distanza fra i due punti blu coincidente con la lunghezza del segmento verde);
- Differenza di velocità dei fari associati alle tracce considerate;

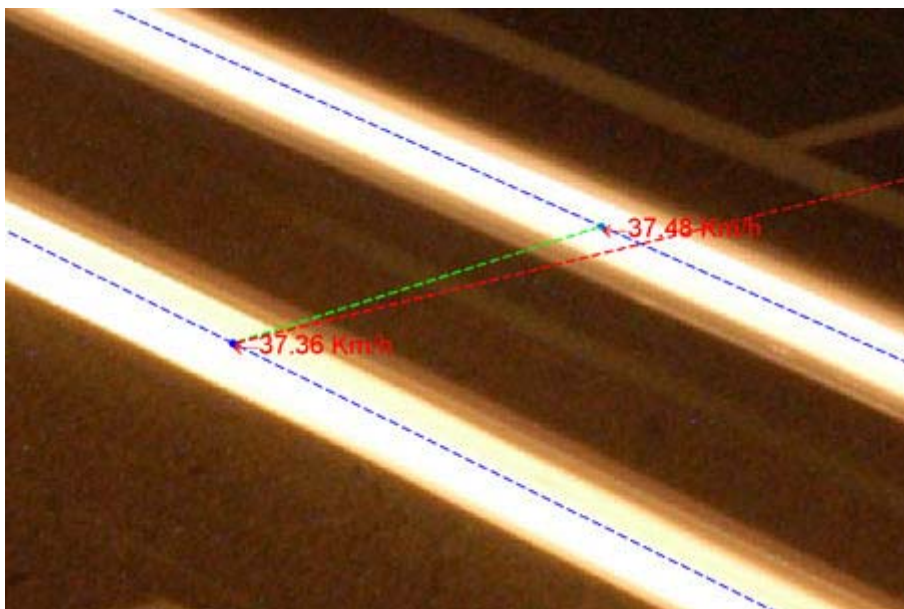


Figura 14: Panoramica delle grandezze considerate per l'accoppiamento

L'algoritmo considera come coppia candidata ogni possibile accoppiamento delle tracce rilevate dalla precedente fase di identificazione. Ad ogni rispettiva grandezza, ad eccezione della distanza, usata in seguito, è stata quindi associata una soglia limite oltre la quale ogni coppia candidata viene considerata non compatibile e di conseguenza scartata. Tra tutte le coppie candidate, fissata una delle due linee dell'accoppiamento, viene quindi considerata valida solo la coppia che ha il minimo valore di distanza fra le due tracce.

Vengono di seguito illustrati i risultati della procedura di accoppiamento sui due diversi casi di esempio.

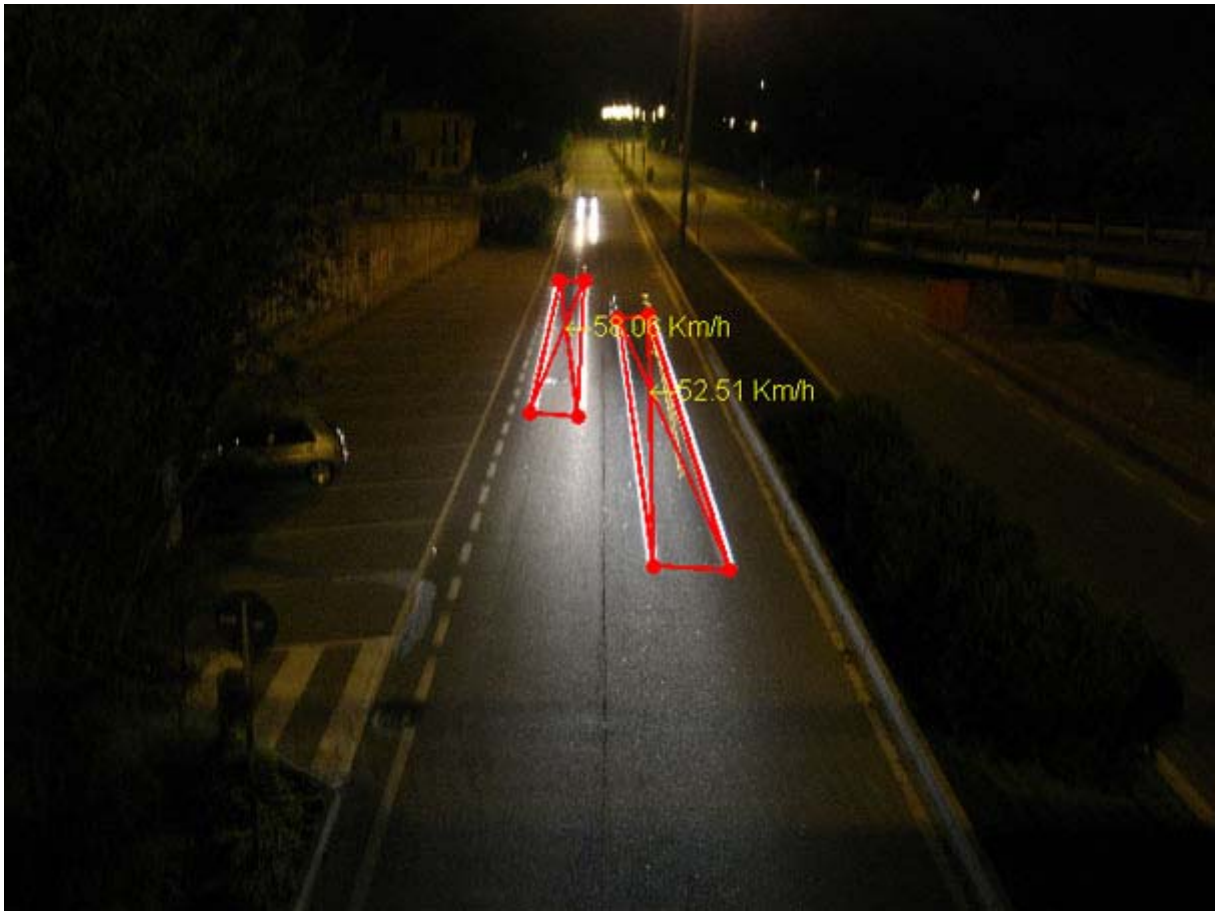


Figura 15: Veicoli rilevati (in due casi esempio)

Un'ultima considerazione viene fatta su un possibile miglioramento dell'algoritmo; qualora infatti si fosse stimata l'omografia fra la strada reale e la fotografia e si fosse a conoscenza della distanza media fra due fari della auto in circolazione, si potrebbe accoppiare con maggiore precisione le tracce luminose dei fari, considerando quindi nota la distanza dei fari in ogni posizione dell'immagine (osservazione non troppo scontata in quanto non vi è da trascurare la visione prospettica).

Risultati sperimentali e valutazione

In questa sezione vengono illustrati i risultati sperimentali ottenuti dall'implementazione in MatLab della soluzione al problema, identificata e dettagliata nel precedente capitolo.

Il dataset, da noi interamente prodotto, è suddiviso in due sezioni principali: fotografie in cui è nota la velocità dei veicoli e fotografie di strade (viali/superstrade) in cui purtroppo non si dispone di informazioni sulla velocità, a meno del limite riferito al codice stradale. Quest'ultima categoria è stata comunque molto importante al fine di valutare il comportamento del sistema in condizioni di strada trafficata. Per quanto riguarda le fotografie appartenenti alla prima categoria, si sono utilizzati differenti strumenti per la misura della velocità del veicolo; inizialmente è stato considerato il tachimetro mentre in un secondo tempo, al fine di disporre di una misura più affidabile, si è scelto di servirsi di un navigatore GPS.

Risultati delle immagini con velocità conosciuta (misura da tachimetro)

Immagine *tach25Kmh-2.5sec.jpg*



Figura 16: Immagine 25Kmh-2.5sec.jpg (velocità veicolo: ~25Km/h, velocità rilevata: 24.89Km/h, esposizione: 2.5s)

Immagine *tach40Kmh-2.5sec.jpg*

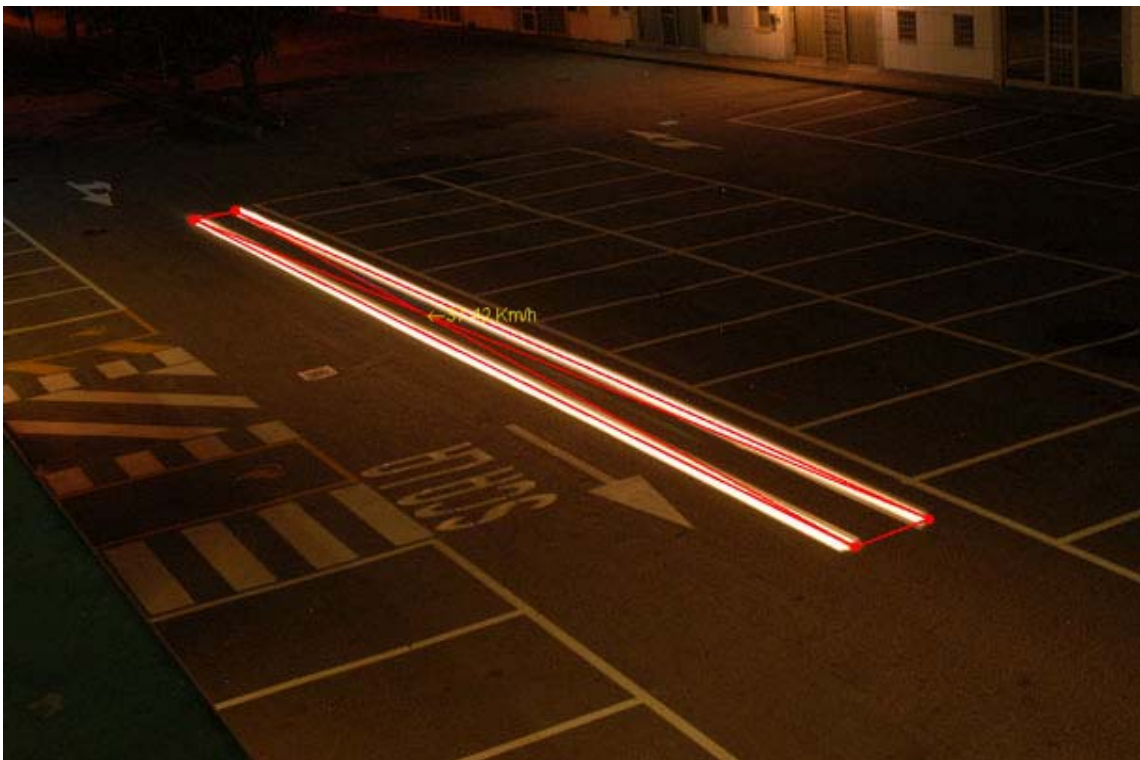


Figura 17: Immagine 40Kmh-2.5sec.jpg (velocità veicolo: ~40Km/h, velocità rilevata: 37.42Km/h, esposizione: 2.5s)

Immagine *tach50Kmh-2.5sec.jpg*



Figura 18: Immagine 50Kmh-2.5sec.jpg (velocità veicolo: ~50Km/h, velocità rilevata: 49.96Km/h, esposizione: 2.5s)

Risultati delle immagini con velocità conosciuta (misura da GPS)

Immagine *gps37Kmh-1sec.jpg*



Figura 19: Immagine *gps37Kmh-1sec.jpg* (velocità veicolo: ~37Km/h, velocità rilevata: 39.73Km/h, esposizione: 1s)

Immagine *gps37Kmh-1sec (2).jpg*

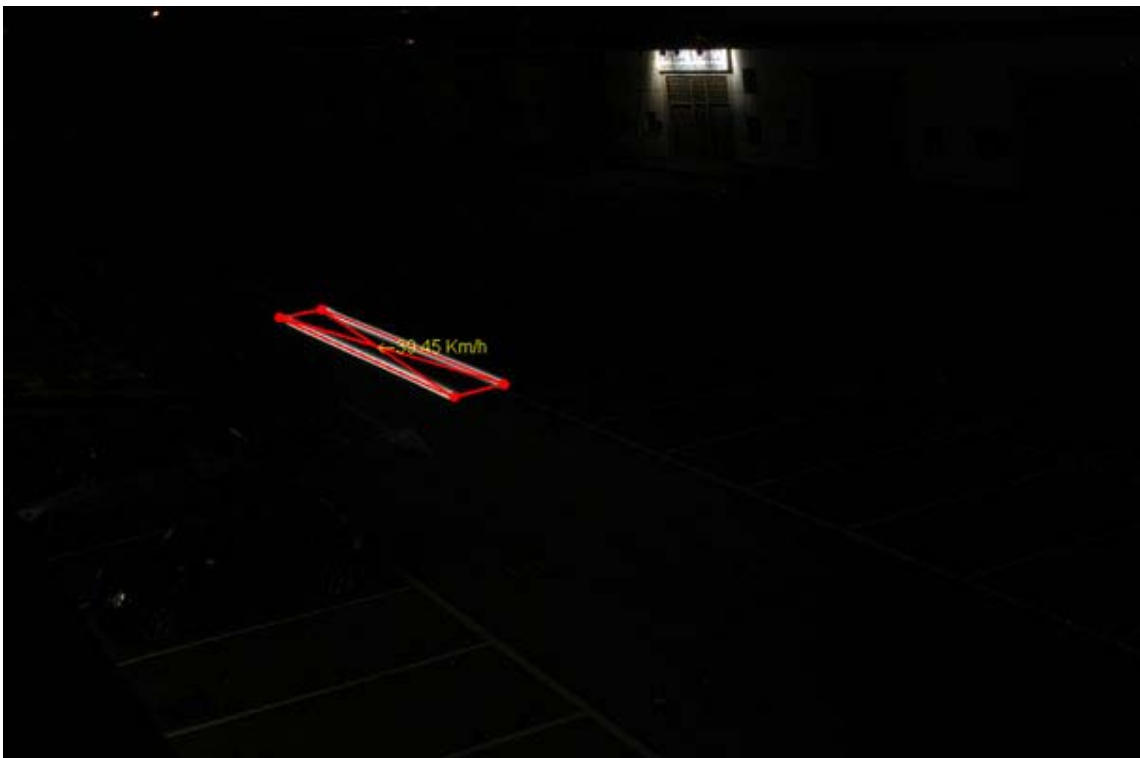


Figura 20: Immagine *gps37Kmh-1sec (2).jpg* (velocità veicolo: ~37Km/h, velocità rilevata: 39.45Km/h, esposizione: 1s)

Immagine *gps37Kmh-2sec.jpg*



Figura 21: Immagine *gps37Kmh-2sec.jpg* (velocità veicolo: ~37Km/h, velocità rilevata: 38.52Km/h, esposizione: 2s)

Immagine *gps38Kmh-2sec.jpg*



Figura 22: Immagine *gps38Kmh-2sec.jpg* (velocità veicolo: ~38Km/h, velocità rilevata: 40.27Km/h, esposizione: 2s)

Immagine **gps43Kmh-2.5sec.jpg**



Figura 23: Immagine gps43Kmh-2.5sec.jpg (velocità veicolo: ~43Km/h, velocità rilevata: 44.84Km/h, esposizione: 2.5s)

Viene ora riportata una tabella comparativa delle varie misurazioni effettuate sul dataset campione. Una considerazione va fatta sullo strumento di misura della velocità reale; trascurando l'errore di misurazione che affligge tale strumento ed il suo utilizzo, viene considerata la misura effettuata mediante navigatore GPS più accurata di quella con il tachimetro.

Nome	Esposizione (s)	Strumento di misura	Velocità misurata (Km/h)	Velocità rilevata (Km/h)	Errore assoluto (Km/h)	Errore relativo (%)
tach25Kmh-2.5sec.jpg	2,5	Tachimetro	25	24,89	-0,11	-0,44
tach40Kmh-2.5sec.jpg	2,5	Tachimetro	40	37,42	-2,58	-6,45
tach50Kmh-2.5sec.jpg	2,5	Tachimetro	50	49,96	-0,04	-0,08
gps37Kmh-1sec.jpg	1	GPS	37	39,73	2,73	7,38
gps37Kmh-1sec (2).jpg	1	GPS	37	39,45	2,45	6,62
gps37Kmh-2sec.jpg	2	GPS	37	38,52	1,52	4,11
gps38Kmh-2sec.jpg	2	GPS	38	40,27	2,27	5,97
gps43Kmh-2.5sec.jpg	2,5	GPS	43	44,84	1,84	4,28

Riferendosi alle misure attraverso GPS, si può notare che la velocità rilevata dal sistema risulta sovrastimata. Ciò è dovuto al fatto che viene identificato come punto di partenza della striscia l'estremo superiore e come punto di fine l'estremo inferiore dei fari trascurando quindi l'altezza dei fari stessi; di fatto bisognerebbe invece considerare la sorgente luminosa a partire dalla loro posizione centrale. Un possibile rimedio potrebbe essere quello di ridurre la lunghezza della stima di un valore corrispondente alla metà dell'altezza in pixel di ogni faro (un faro ad inizio traccia ed un faro alla fine), tenendo però in considerazione che tale altezza in pixel è differente nel punto di inizio e di fine della traccia a causa della prospettiva.

A conferma delle considerazioni nella sezione di descrizione del problema, si nota una dipendenza dell'errore di stima dalla lunghezza del tempo di esposizione; fotografie con un tempo di esposizione corto (prime due fotografie riferite alle misure con GPS) portano ad avere risultati con un errore più alto rispetto a quelle con tempo di esposizione doppio. Va precisato che il tempo è sempre da considerarsi in relazione alla velocità delle auto che si vogliono riprendere; un tempo di esposizione di 1sec per automobili che viaggiano lente, potrebbe portare ad avere tracce troppo corte e di conseguenza ad avere un errore di stima maggiore. Lo stesso tempo di esposizione, per auto che transitano veloci, potrebbe essere invece adeguato in quanto, dato che il veicolo percorre più strada nel medesimo tempo, si avrebbero tracce più lunghe.

Infine, osservando invece le misurazioni effettuate per mezzo di tachimetro, sembra che la tendenza alla sovrastima sia meno evidente; questa considerazione risulta però errata in quanto il tachimetro fornisce una velocità superiore di quella reale, compromettendo così qualsiasi confronto qualitativo. Alle velocità in esame, bisognerebbe infatti sottrarre circa 3 o 4 Km/h.

Risultati con velocità non conosciuta

Immagine *malpensa-2sec.jpg*

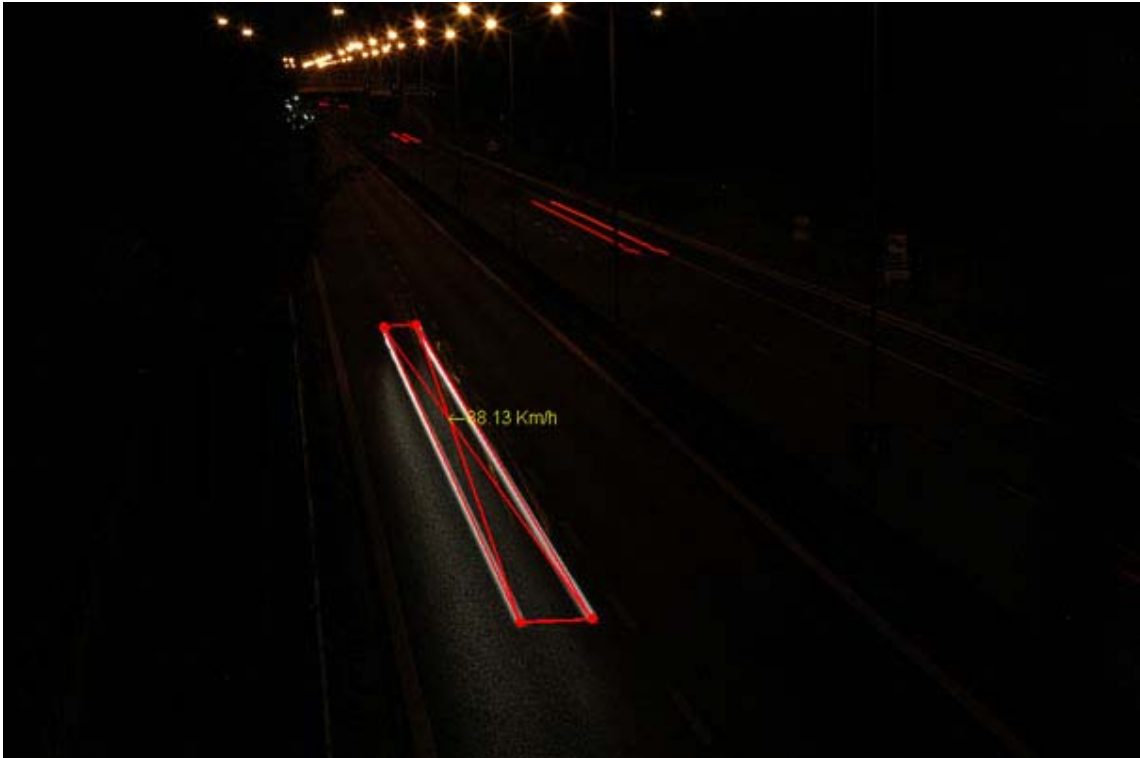


Figura 24: Immagine malpensa-2sec.jpg (esposizione: 2s, limite Codice Stradale: 90Km/h)

Immagine *malpensa-1sec.jpg*

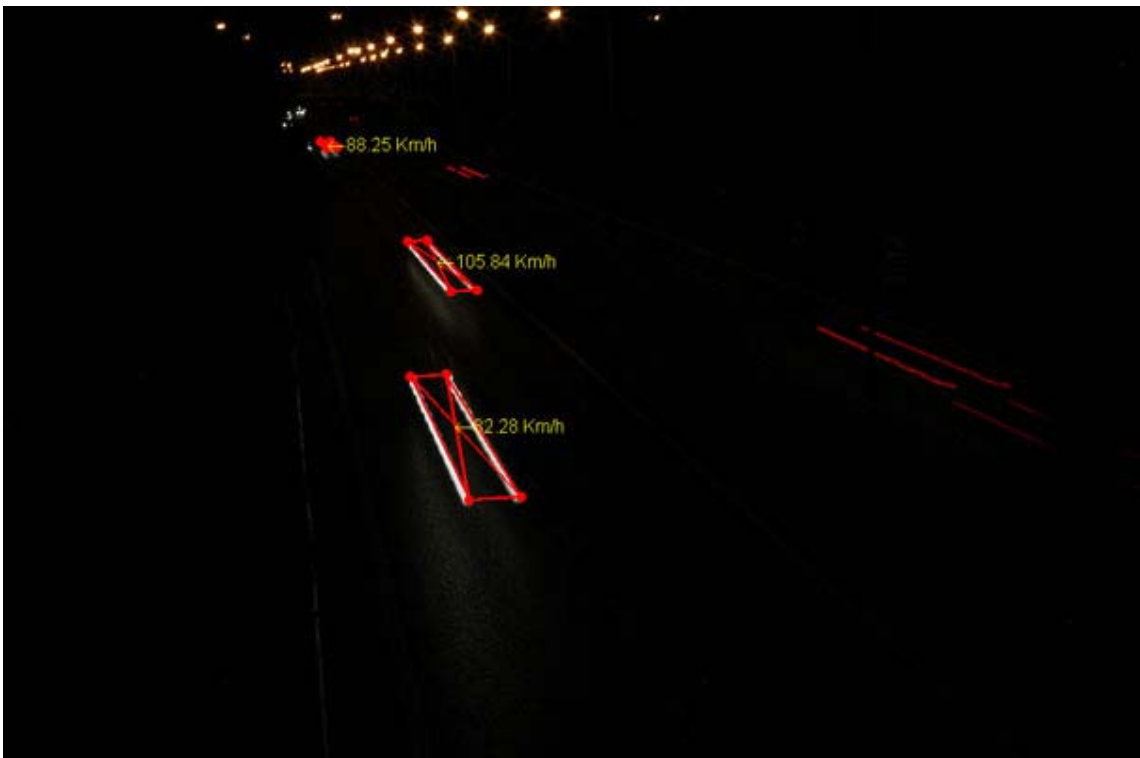


Figura 25: Immagine malpensa-1sec.jpg (esposizione: 1s, limite Codice Stradale: 90Km/h)

Immagine *malpensa-1sec (2).jpg*

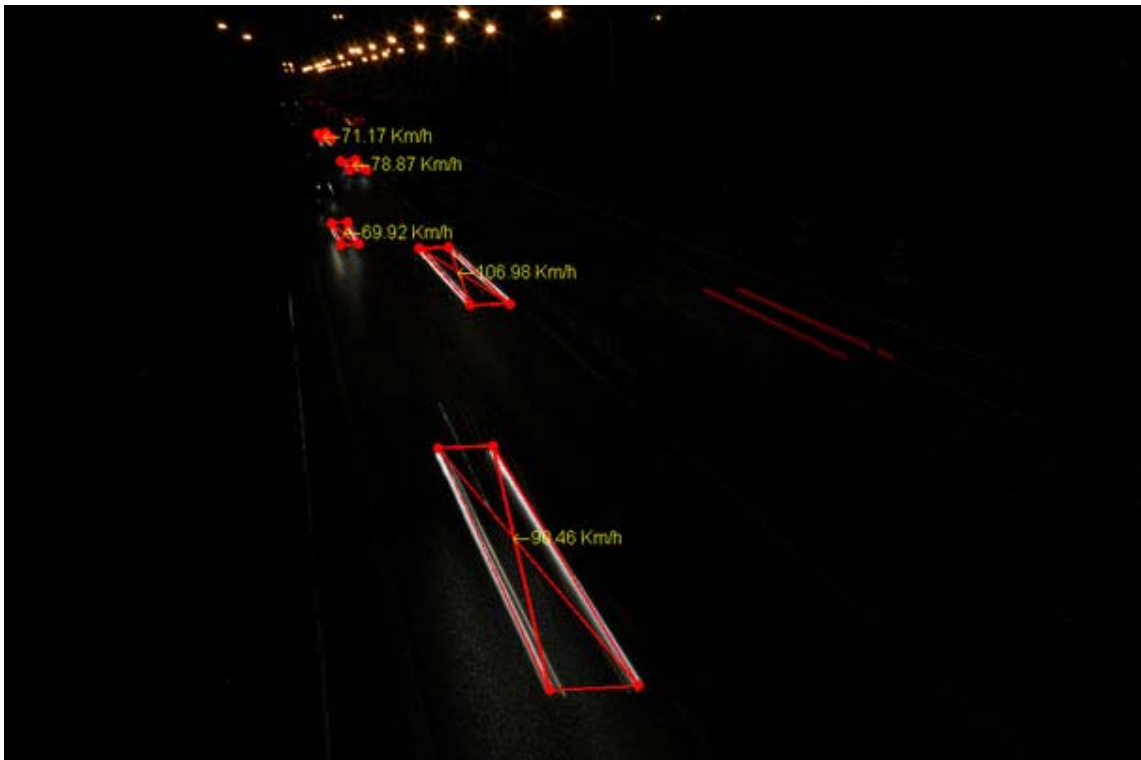


Figura 26: Immagine malpensa-1sec (2).jpg (esposizione: 1s, limite Codice Stradale: 90Km/h)

Immagine *europa-2sec.jpg*

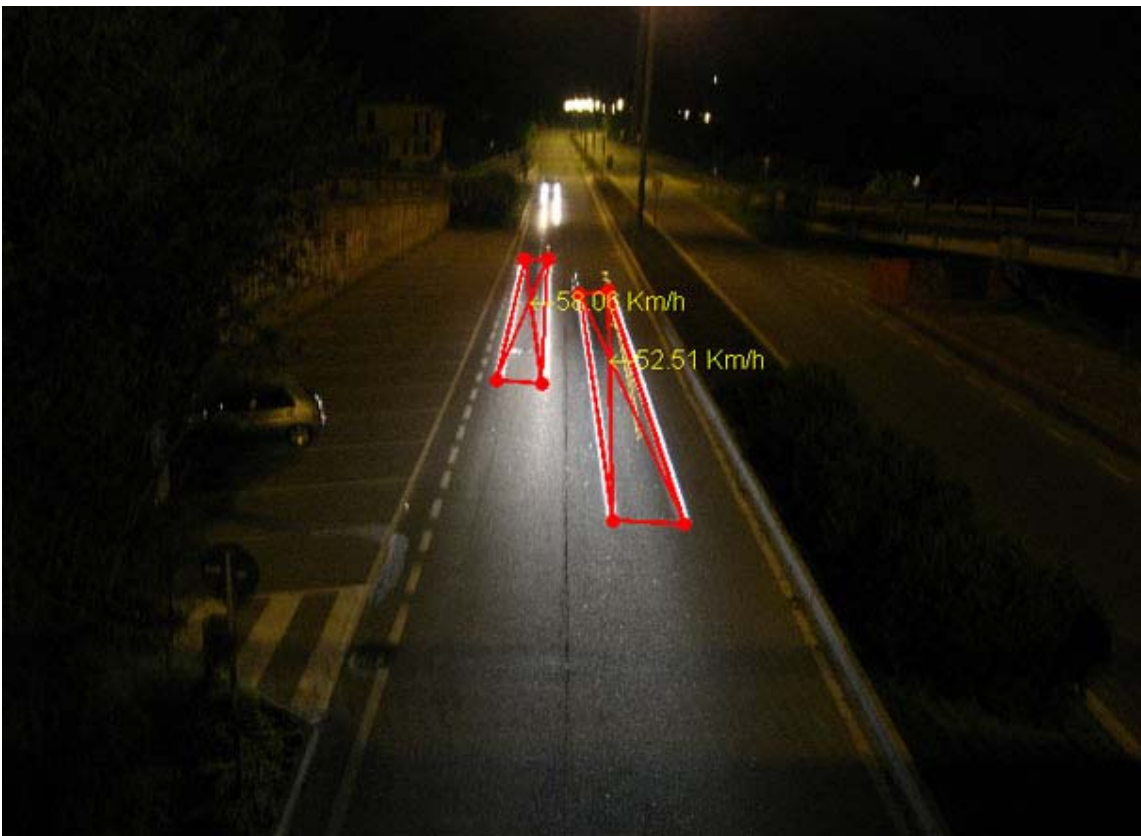


Figura 27: Immagine europa-2sec.jpg (esposizione: 2s, limite Codice Stradale: 70Km/h)

Immagine *ufficio-2.5sec.jpg*



Figura 28: Immagine ufficio-2.5sec.jpg

Questa categoria del dataset ha permesso di testare il sistema su strade in cui transitano contemporaneamente più veicoli. In questi casi, data la variabilità del comportamento degli automobilisti, si è potuto notare che quando l'assunzione di moto parallelo alla strada viene violata, si ottengono dei risultati del tutto compromessi (Figura 28). Tale risultato è dovuto al fatto che l'analisi attraverso la funzione di autocorrelazione viene eseguita nella direzione del moto definita dalle assunzioni, cioè parallela alla strada; ogni qual volta questo vincolo viene meno si ottengono inevitabilmente identificazioni errate. Una soluzione a ciò, potrebbe essere quella di calcolare di volta in volta la direzione del moto per ogni traccia magari applicando tecniche di stima del *motion direction*, proprie dell'analisi di immagini blurred.

A conferma di quanto evidenziato nella sezione 'Il problema affrontato', si può notare come con una fotografia troppo sovraesposta si hanno inevitabili problemi di identificazione delle automobili. Nell'esempio in Figura 27 è facile osservare che il veicolo più lontano non viene rilevato poiché il riflesso dei fari sul manto stradale, compromettendo la corretta stima della velocità, impedisce al sistema di considerare le due tracce come appartenenti alla medesima auto.

Infine, si è fortemente notato in questi esempi di applicazione come l'eccessivo aumento del tempo di esposizione porti ad avere fotografie con un gran numero di tracce sovrapposte. L'esempio seguente (Figura 29) illustra quanto il rilevamento venga pregiudicato a causa questo fenomeno.



Figura 29: Esempio di rilevamento compromesso a causa della sovrapposizione delle tracce

Direzioni future di ricerca e conclusioni

Questa relazione di progetto illustra delle tecniche per stimare la velocità delle automobili da una fotografia notturna di una strada acquisita con un tempo di esposizione elevato (0.5 a 3sec). A partire dalle tracce lasciate nella foto dai fari dei veicoli, si sono affrontate problematiche relative alla loro identificazione, alla stima della velocità ed al rilevamento delle auto rappresentate da coppie di tracce.

Nella trattazione, sono stati affrontati due possibili approcci per l'identificazione delle tracce luminose, i quali hanno fornito risultati differenti. La loro comparazione qualitativa ha spinto a ritenere più plausibile uno solo dei due approcci (*Approccio A*), focalizzando quindi le idee di miglioramento principalmente su di esso. Lo studio ha illustrato tecniche, propriamente legate all'analisi di immagini blurred, per l'identificazione e stima della lunghezza delle strisce luminose e tecniche di analisi geometrica per risolvere le problematiche relative al calcolo della velocità e all'accoppiamento delle tracce. Complessivamente si sono ottenuti dei buoni risultati sulle diverse immagini del dataset preso in considerazione, ottenendo delle discrepanze prevedibili rispetto alle velocità reali osservate attraverso il tachimetro e GPS.

Un aspetto molto importante da tenere in considerazione in questa analisi ha riguardato la qualità e la modalità di acquisizione delle fotografie. Immagini particolarmente sovraesposte hanno portato infatti, come nell'esempio in Figura 15 o in Figura 27, ad una errata identificazione delle tracce dell'automobile più lontana alterate dal riflesso dei fari sul piano stradale. Un altro particolare non di poco conto riguarda la sovrastima effettuata durante la computazione della lunghezza della striscia, viene infatti considerato come punto di partenza della striscia l'estremo superiore e come punto di fine l'estremo inferiore dei fari trascurando quindi l'altezza dei fari stessi; bisognerebbe invece considerare la sorgente luminosa a partire dalla loro posizione centrale.

Da ultimo, si è ampiamente discusso della ricerca del valore ottimale del tempo di esposizione delle fotografie, dettagliando gli aspetti positivi e negativi dell'utilizzo di un tempo più o meno lungo.

Possibili sviluppi futuri riguardano l'estensione dell'analisi a strisce aventi traiettorie curve e a strade non rettilinee oppure l'applicazione dei concetti legati all'omografia, già introdotti durante la trattazione. Un ulteriore aspetto migliorabile, riguarda l'estensione del rilevamento anche a tracce non completamente parallele alla direzione stradale. Gli aspetti su cui focalizzare l'attenzione sono in questo caso due; il primo riguarda la corretta stima della lunghezza in pixel delle tracce non parallele, calcolando l'autocorrelazione nella direzione del moto di ogni striscia (tecniche di stima del *motion direction* [1]), in modo tale da svincolarsi dalla limitativa assunzione di moto parallelo. Il secondo aspetto riguarda invece il miglioramento del calcolo della corrispondenza fra la lunghezza in pixel e la lunghezza reale; applicando infatti l'omografia sarebbe possibile calcolare le lunghezze reali delle tracce con maggiore precisione rispetto al metodo del bi-rapporto, molto impreciso in casi ove le tracce non sono rigorosamente parallele alla strada.

Riferimenti

- [1]. **Y.Yitzhaky e N.S.Kopeika.** *Identification of Blur Parameters from Motion Blurred Images.* s.l.Â : Department of Electrical and Computer Engineering, Ben-Gurion University of the Negev, 1997.
- [2]. **R.Hartley e A.Zisserman.** *Multiple View Geometry In Computer Vision.* s.l.Â : Oxford University Press, 2003. ISBN 0-521-54051-8.
- [3]. **A.Criminisi, I.Reid e A.Zisserman.** *Single View Metrology.* s.l.Â : Department of Engineering Science, Oxford University, 1999.

Appendice

A - Documentazione dell'implementazione in MatLab

Il progetto è costituito da script e funzioni suddivise in cartelle:

- **trafficspeed**: è la cartella principale di progetto, contiene lo script per avviare l'applicazione (*trafficspeed.m*). Comprende inoltre le funzioni e le cartelle che vengono utilizzate per risolvere le problematiche trattate in questa relazione.
- **approachA**: sottocartella di *trafficspeed* che contiene tutta la logica per l'implementazione dell'approccio A.
- **approachB**: sottocartella di *trafficspeed* che contiene tutta la logica per l'implementazione dell'approccio B.
- **common**: sottocartella di *trafficspeed*, contiene tutte le funzioni comuni.
- **shots**: sottocartella di *trafficspeed* contenente le immagini del dataset.

Il codice è completamente commentato e corredato da descrizione.

B - Manuale utente per l'utilizzo del sistema

Per avviare l'applicazione occorre eseguire lo script **trafficspeed.m** la cui esecuzione è personalizzabile secondo diversi parametri di configurazione.

La personalizzazione segue la seguente logica:

- Parametri generali
 - *filename*
Nome dell'immagine (senza estensione) del dataset da utilizzare.
 - *chooseImageParams*
 - 0 ➔ Utilizzata le impostazioni pre-configurate per alcune immagini del dataset.
 - 1 ➔ L'utente sceglie manualmente i limiti della strada, riferimenti, etc..
 - *doApproach*
 - 1 ➔ Esegue approccio A per l'identificazione e stima delle tracce.
 - 2 ➔ Esegue approccio B per l'identificazione e stima delle tracce.
 - *chooseThreshold*
 - 0 ➔ Utilizza il valore di threshold pre-impostato.
 - 1 ➔ Visualizza la maschera per la scelta manuale del valore di threshold.
 - *chooseMorph*
 - 0 ➔ Utilizza operazioni predefinite.
 - 1 ➔ Visualizza la maschera per la scelta delle operazioni morfologiche da applicare (erode, dilate, skel, ect..).

- *showMaskedImage*
 - 0 ➔ Nascondi il mascheramento.
 - 1 ➔ Visualizza il risultato del mascheramento.
- *showComputation*
 - 0 ➔ Nascondi i passi intermedi visualizzando solo il risultato finale.
 - 1 ➔ Visualizza i passi intermedi della computazione.
- Parametri approccio A
 - *streakHeight*
Numero (dispari) di linee di pixel su cui viene applicata la funzione ACF.
 - *boxScalefactor*
Fattore di scala applicato al *boundingbox* (es. il valore di 1.3 aumenta del 30%).
 - *applyBoxing*
 - 0 ➔ Non applicare il ritaglio basato su *boundingbox* ridimensionato.
 - 1 ➔ Applica ritaglio.
 - *acfOn*
 - 1 ➔ Applica la funzione ACF sull'immagine binaria elaborata dopo *thresholding*.
 - 2 ➔ Applica la funzione ACF sull'immagine originale in scala di grigi.
- Parametri approccio B
 - *houghFillGap*
Valore di pixel fino al quale due linee vengono considerate la medesima.
 - *houghMinLenght*
Valore di lunghezza in pixel sotto al quale una linea non viene considerata.
- Parametri
 - *minSpeed*
Limite minimo per cui la velocità viene considerata valida.
 - *maxSpeed*
Limite massimo per cui la velocità viene considerata valida.
 - *deltaAngle*
Massimo angolo sotteso fra il segmento congiungente i due centri delle strisce e la retta fra il primo centro ed il vanishing point trasversale alla direzione della strada.
 - *deltaSpeed*
Differenza massima fra le velocità associate alle tracce di una medesima auto.