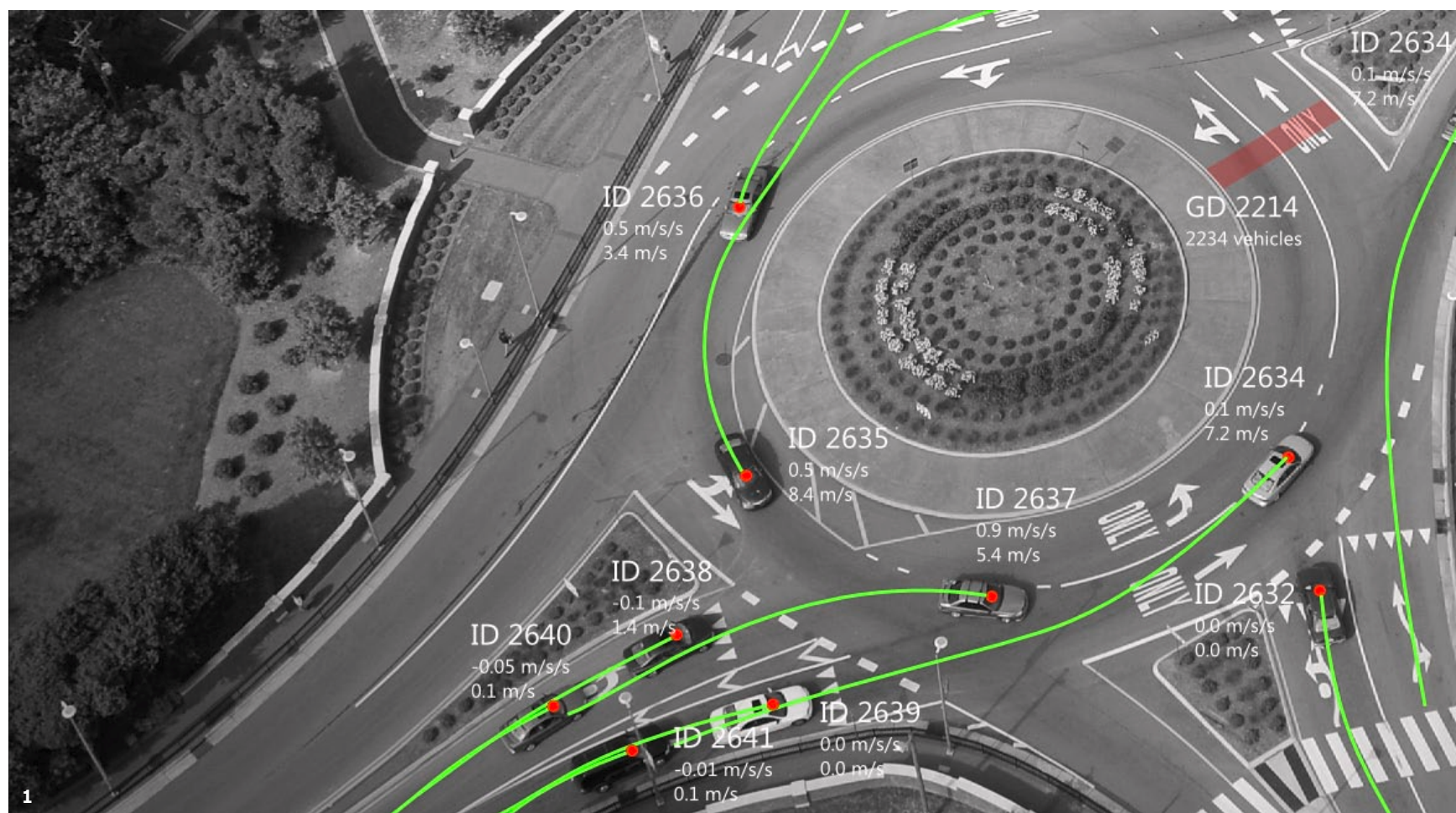


# Droni, quando i dati piovono dal cielo

UN'ANALISI DELLE CARATTERISTICHE DELLA MOBILITÀ SU STRADA AUTOMATICA ED EFFETTUATA A PARTIRE DA UN PUNTO DI VISTA UN TEMPO FANTASCIENTIFICO, OGGI PIÙ CHE POSSIBILE: QUELLO DELLE RIPRESE AEREE ATTRAVERSO I DRONI. È IL RISULTATO OTTENIBILE ATTRAVERSO UNA TECNICA DI MONITORAGGIO AVANZATO DEL TRAFFICO CHE PREVEDE PROPRIO L'IMPIEGO DI QUESTI NUOVI STRUMENTI, NONCHÉ APPOSITI SOFTWARE VIDEO IN GRADO DI ELABORARE DATI SEMPRE PIÙ SOFISTICATI.





**David Herman**  
RCE systems

**Andrea Marella**  
Trafficlab

**I** rilievi per il monitoraggio del traffico stradale sono da sempre il punto di partenza per una corretta pianificazione e progettazione delle infrastrutture stradali. Lo studio della tecnica della circolazione (*traffic engineering*) è stato da sempre accompagnato da rilievi sul campo delle principali caratteristiche del traffico al fine di validare la corrispondenza delle teorie di deflusso con la realtà. La conoscenza dei dati di traffico risulta fondamentale non solo agli ingegneri dei trasporti, ma anche a tutte quelle organizzazioni che, per obblighi normativi o per pianificazione della rete, sono chiamate a gestire e a mantenere il patrimonio stradale italiano. Le differenti modalità messe in campo negli ultimi decenni sono numerose: tubi pneumatici, spire induttive, strumentazioni con tecnologia radar e laser e molte altre. Ogni metodologia è più orientata al rilievo di alcuni dati di traffico piuttosto che altri. Tra questi, la ricostruzione della matrice origini/destinazioni di un nodo stradale o di un'intera rete è sicuramente la più complessa. Solo recentemente, grazie all'utilizzo di sistemi con videocamere, è stato possibile effettuare rapidamente tale rilievo. Al di là delle differenti modalità di acquisizione delle immagini video, i sistemi attuali sono comunque basati sullo sbobinamento manuale del rilievo di traffico. Tale metodologia limita le informazioni desumibili al solo conteggio e alla disaggregazione delle classi veicolari. In realtà, tra le classiche modalità di rilievo [1], è presente anche la tecnica del monitoraggio aereo. Tale sistema, sebbene sia praticamente

**1. DataFromSky: un efficiente e completo metodo di monitoraggio del traffico**

**2. Esempio di rilievo video con APR**

inutilizzato per via degli elevati costi di volo, permetterebbe di conoscere informazioni sul traffico molto più dettagliate delle metodologie sopra citate. Per far fronte a queste problematiche, il nostro gruppo di lavoro ha elaborato in questi ultimi mesi, una sistema che permette di ottenere un video aereo di elevata qualità, a basso costo, e un'analisi automatica delle caratteristiche di traffico. Tale sistema è stato denominato DataFromSky.

### Nuova prospettiva per il monitoraggio

La diffusione mondiale dei sistemi aeromobili a pilotaggio remoto (APR), o *unmanned aerial vehicle* (UAV) o semplicemente droni, ha investito in maniera massiccia anche il panorama italiano. Dal punto di vista professionale, tale tecnologia sta segnando una rivoluzione di indubbio interesse anche per il settore dell'ingegneria civile. Rilievi fotogrammetrici, monitoraggi ambientali e, nel settore dei trasporti, rilievi avanzati del traffico stradale sono oramai alla portata delle società di ingegneria. Si immagini di avere la possibilità di osservare il traffico da nuova prospettiva: quella aerea. Quali potrebbero essere le informazioni rilevabili? Come e quanto si modificherebbero le scelte progettuali? Queste sono alcune delle domande che il nostro gruppo di lavoro si è posto all'inizio della progettazione del sistema. DataFromSky è un sistema completo che permette di effettuare, grazie all'acquisizione di un video aereo tramite APR, complesse analisi di traffico di un'intersezione o di un'area di traffico. Al di là delle differenti modalità di volo, delle conoscenze richieste in campo aeronautico e sulle nuove procedure normative, che verranno descritte nel presente articolo, sicuramente quello che ha richiesto maggiore sforzo è stata l'analisi automatica delle immagini video aeree. Al di là di alcuni software per il tracciamento di oggetti, per lo più





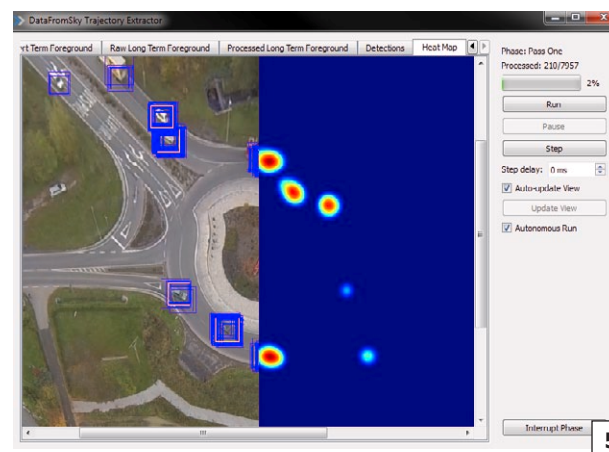
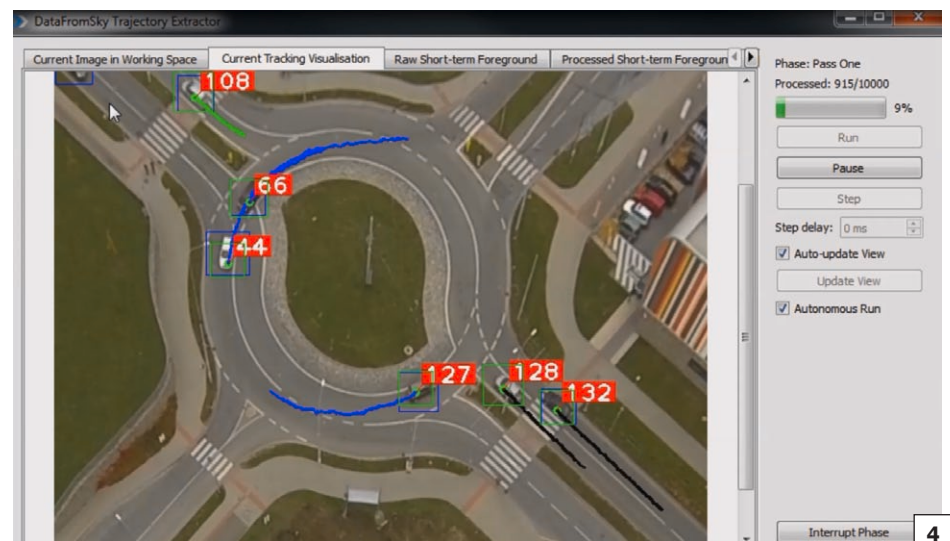


utilizzati nel campo della fisica sperimentale, non esisteva uno strumento che potesse elaborare specificamente rilievi di traffico da droni. La società RCE Systems, con sede a Brno in Repubblica Ceca, ha così deciso di mettere in campo le proprie competenze in materia di *computer vision* e di avviare all'inizio del 2014 lo sviluppo di un specifico applicativo. Gli algoritmi di analisi hanno richiesto un lungo studio e sono stati sviluppati da un team di ex ricercatori della Facoltà di Ingegneria Civile di Brno. La successiva collaborazione con lo studio Trafficlab (gruppo Progetcolab) ha permesso di raffinare gli algoritmi e di adattare il software alle reali necessità dell'ingegneria dei trasporti. L'attività di divulgazione commerciale è passata attraverso la partecipazione a importanti appuntamenti fieristici sul tema, quali Dronitaly 2014 di Milano e Smart Mobility Forum di Torino. Entrambi gli appuntamenti, costellati da seminari, convegni e incontri con gli utilizzatori finali hanno riscosso un notevole successo e hanno permesso di affrontare i primi studi pilota anche in Italia.

### L'architettura del sistema di analisi video

Complessivamente il sistema può essere suddiviso in tre parti principali: pre-processamento, rilievo e tracciamento dei veicoli. Nella fase di pre-processamento l'immagine video acquisita viene filtrata e geo-codificata per essere posizionata in un'inquadratura di riferimento. La robustezza e l'efficienza dei metodi di rilevamento delle immagini aeree sono state molto studiate in passato. Gli algoritmi si basano su un processo complesso che permette la rettifica dell'immagine con metodi di tipo radiale e di distorsioni tangenziali. Nel processo di geo-codifica inoltre è stata utilizzata la tecnica di trasformazione della prospettiva del modello. È stato così possibile sviluppare un innovativo dispositivo di rilevamento multistrato altamente performante e calibrato manualmente su un campione di oltre 80.000 casi positivi e 80.000 negativi. Il dispositivo di rilevamento è in grado di imparare dai propri errori e migliorare nel tempo. La fase

di tracciamento è estremamente impegnativa a causa della presenza di disturbi, interferenze e di uno sfondo sovrapposto, dinamico e in continuo cambiamento rispetto all'obiettivo. Una serie di sub-modelli è stata utilizzata per affrontare questi cambiamenti.



**3. Un punto di vista inedito al servizio del monitoraggio avanzato del traffico stradale**

**4, 5. DataFromSky Trajectory Extractor: il processo di tracciamento fino alla validazione con mappe di probabilità degli algoritmi di tracciamento**



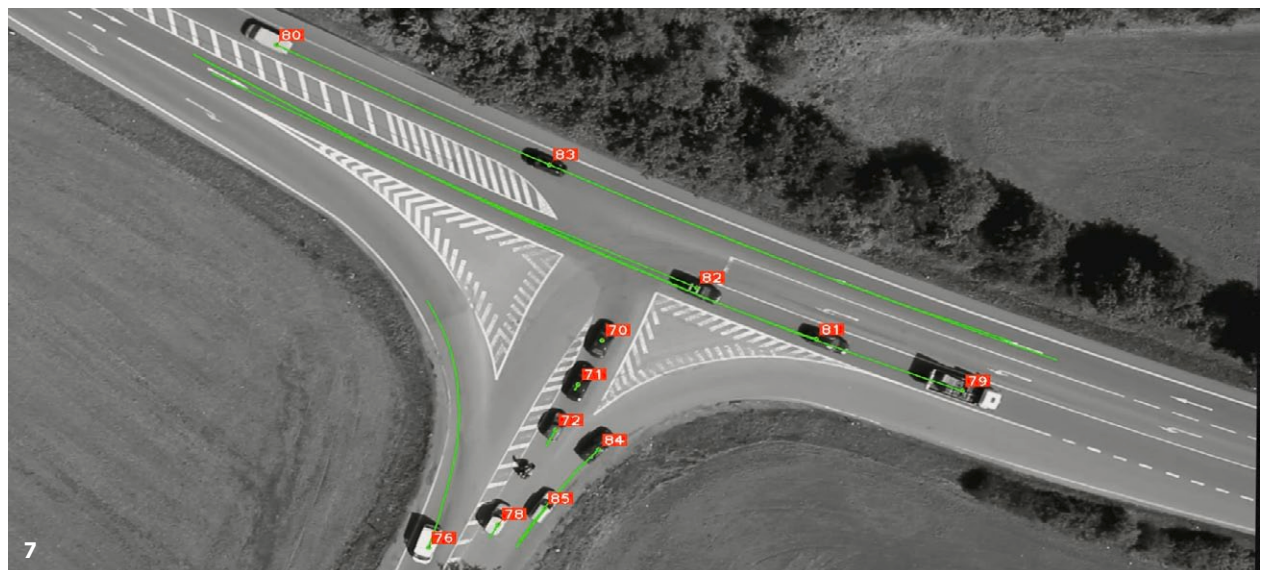
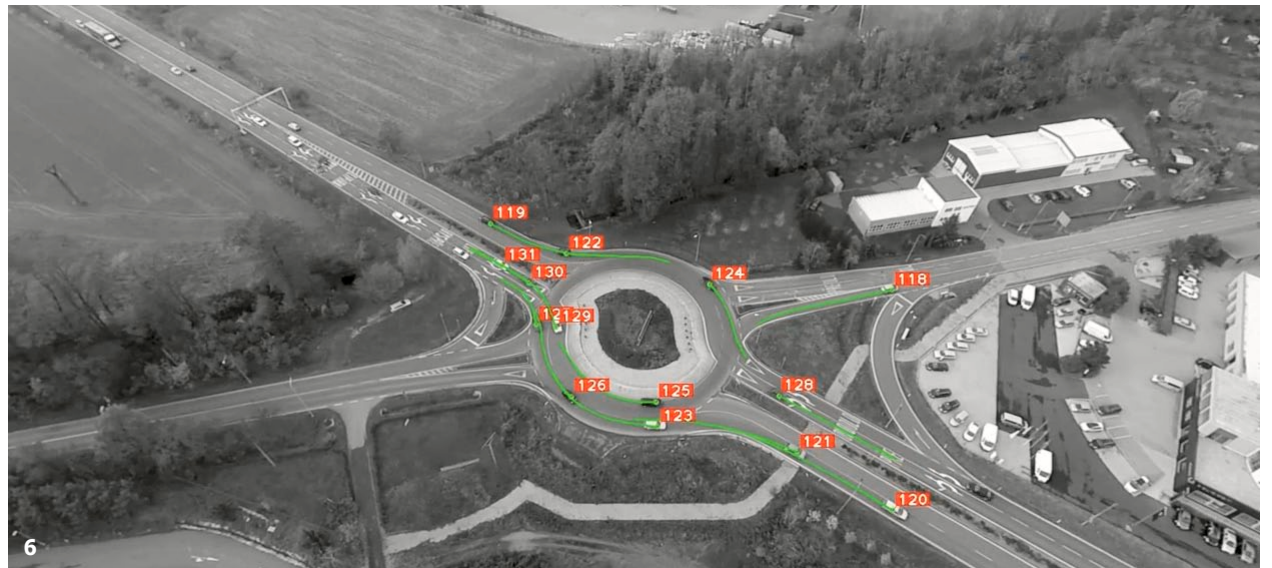
## Oltre ai conteggi di traffico

Come già accennato, la possibilità di avere una nuova prospettiva di monitoraggio del traffico stradale, quella aerea, permette all'utente finale di ottenere un'ampia gamma di dati, prima non disponibili. Da una ripresa aerea, grazie al tracciamento dei veicoli con il sistema DataFromSky, si è in grado di:

- Rilevare traiettorie, posizioni e distanze percorse dei veicoli in ogni istante di elaborazione del video: è possibile analizzare nel dettaglio le traiettorie veicolari e conoscerne le coordinate in un sistema di riferimento locale o georeferenziate (proiezione a scelta dell'utente come per esempio UTM, Gauss Boaga, etc.) per ogni frame di elaborazione del video. Le traiettorie saranno così facilmente esportabili in software CAD o GIS; al fine, per esempio, per il calcolo dei tassi di occupazione delle corsie.
- Conoscere velocità, accelerazioni, decelerazioni e decelerazioni laterali istantanee e medie sul percorso per ogni veicolo identificato; tali valori oltre ad approfondire in modo unico la progettazione geometrica e funzionale dell'intersezione,

possono essere utilizzati per l'analisi delle Teoria dei Conflitti stradali [2].

- Calcolare i tempi e le distanze di entrata, uscita e di percorrenza: al fine di valutare in maniera dettagliata i percorsi e le principali aree di rischio.
- Conteggi e classificazione dei veicoli attraverso l'individuazione (tramite un apposito strumento di editing vettoriale) di spire e corsie virtuali di monitoraggio di ingresso, uscita e di transito. Tali informazioni permettono di ricostruire la reale matrice o/d del nodo in esame e, in caso di voli a quote maggiori, anche su intere reti stradali.
- Conoscere due importanti parametri per eseguire una corretta progettazione funzionale del nodo e fondamentali nella micro simulazione: il tempo di gap critico (o *Time gap*,  $T_g$ ) e il tempo di immissione (o *Follow-up Time*,  $T_f$ ).
- Rilevare eventuali anomalie della scena ripresa come, ad esempio, potenziali eventi critici e di emergenza.
- Visualizzare le immagini video post-processate e ottenere dati dettagliati, per ogni frame di visualizzazione, sulle caratteristiche dinamiche per ogni veicolo o per ogni spira o corsia virtuale.



6, 7. Risultati delle analisi video: traiettorie, velocità, conteggi, tempi, distanze e molto altro

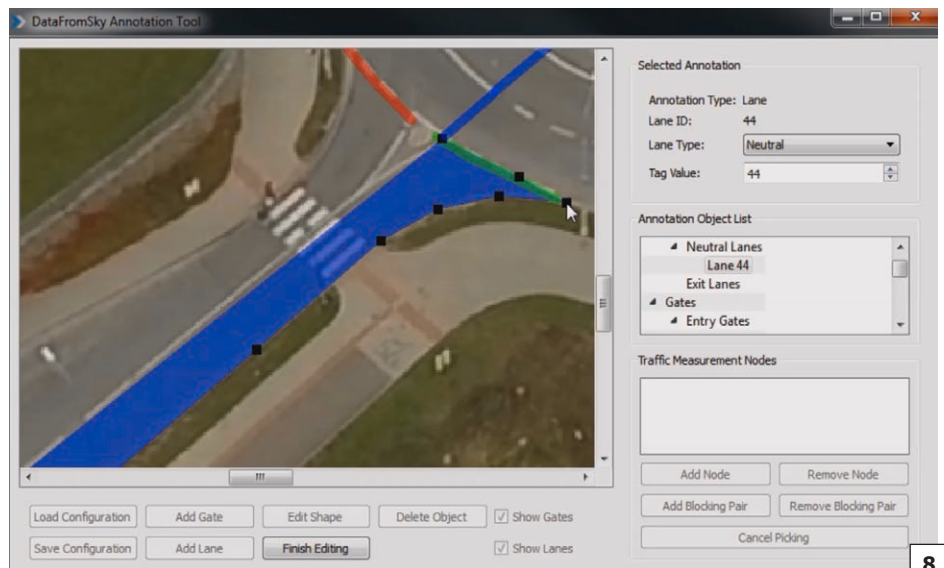
## Il processo di analisi avanzate del traffico

Il primo passaggio per eseguire analisi di traffico avanzate attraverso l'analisi video è essere in possesso del flusso video. Sebbene le attuali caratteristiche ottiche delle videocamere in commercio, anche di fascia economica, permettano di rilevare, in funzione anche dell'altitudine, ampie inquadrature; il problema principale risulta come ottenere tale video. I sistemi APR sono sicuramente interessanti in quanto abbattano notevolmente i costi di cattura dei flussi video, ma va detto che hanno limiti (in termini di volumi di spazio per il volo) imposti dalla normativa italiana emessa dall'Enac dal "Regolamento Mezzi Aerei a Pilotaggio Remoto" in vigore dal 30/4/2014 [3]. Attualmente esistono due volumi di spazio: V70 (70 m di altezza massima dal terreno e raggio di 200 m) e V150 (150 m di altezza massima dal terreno e raggio di 500 m). A queste vanno aggiunte alcune limitazioni in funzione del rischio: operazioni specializzate critiche e non. La definizione di operazioni specializzate critiche è comprensiva, ma anche se non in modo esaustivo, di operazioni che si svolgono in aree che prevedono il sorvolo su aree congestionate, assembramenti di persone, agglomerati urbani e infrastrutture e dove sono in vigore limiti di spazi aerei. Al momento della stesura del presente articolo, non esistono operatori abilitati da Enac per voli in tali aree (sicuramente le aree più interessanti per i rilievi di traffico). Sono abilitati per operazioni sperimentali 185 operatori e, di questi, 46 hanno la concessione di sorvolo su aree non critiche. Si prevede che entro la fine dell'anno ci saranno i primi operatori in possesso delle "licenze" a effettuare operazioni specializzate critiche, tant'è che sono stati già autorizzati i primi voli test. Al di là delle problematiche sulle aree, attualmente è possibile volare in ambito urbano mettendo in sicurezza l'area.

Fatta questa doverosa premessa, riportiamo un esempio di piano di volo. Oltre alle considerazioni di sicurezza aeronautica, è possibile coprire con un APR un'area di ripresa di 1 ettaro con un volo da un'altitudine di 70 m e con una videocamera con caratteristiche ottiche medie ( $c=1,5$  mm, sensore da  $1/6''$  e risoluzione 1 MPixel). Tale operazione permette di registrare flussi video con caratteristiche compatibili con gli algoritmi di analisi del servizio DataFromSky; la release attuale degli algoritmi di analisi sono in grado di rilevare veicoli con una dimensione minima di  $16 \times 16$  pixel. Note le dimensioni reali medie di un veicolo da rilevare, è possibile calcolare il minimo valore di GSD (*Ground Sampling Distance*) per l'elaborazione con i modelli di analisi video DataFromSky, compreso in un intervallo pari a 0,1-0,2 m/pixel. In assenza di vincoli di quota, la pianificazione del volo avviene calcolando la quota di volo che garantisca una risoluzione geometrica del video compatibile con le caratteristiche del software. In questa condizione, l'area di acquisizione di un singolo APR può giungere fino a 5 ettari.

$$GSD = (Z * d_{\text{pixel}}) / c \quad 1$$

GSD = *Ground Sampling Distance*  
Z = quota [m]



8



9

$d_{\text{pixel}}$  = dimensione pixel dell'immagine [m]  
c = focale della camera [m]

Acquisito e scaricato il video è possibile procedere ai passaggi successivi: il pre-processamento delle immagini attraverso la calibrazione della scena video, il settaggio delle caratteristiche di traffico da monitorare e il processo di elaborazione dati. Per ognuna di queste operazioni è stato sviluppato uno strumento dedicato, eccezione fatta per il primo punto. Per quanto concerne la calibrazione della scena video, infatti, è necessario elaborare manualmente alcuni file di configurazione con alcuni parametri ottici della camera, informazioni sulla georeferenziazione e della distorsione geometrica dell'immagine video. Per quanto riguarda il procedimento di settaggio delle caratteristiche di traffico è disponibile uno strumento denominato *DataFromSky Annotation Tool*.

Tale strumento permette, attraverso un'immagine estratta e georeferita, di impostare le caratteristiche di traffico da moni-

**8. DataFromSky Annotation Tool: lo strumento di editing vettoriale delle corsie, spire e nodi di traffico virtuali**

**9. DataFromSky Viewer: tutti i dati a portata di mano**





**10. Il drone utilizzato con un'ora di autonomia (proprietà Eagle Eye Robotics)**

torare con un semplice strumento di editing vettoriale. Tale operazione risulta immediata e di facile compilazione permettendo di settare spire e corsie virtuali e misure di traffico con la possibilità di scegliere tre tipologie: in ingresso, di passaggio e in uscita dalla scena video. Ovviamente è possibile codificare tali caratteristiche di traffico con i nomi delle strade e con codici differenti. Il secondo strumento software sviluppato è *DataFromSky Trajectory Extractor* e permette il processamento vero e proprio del flusso video. Attraverso tramite tale strumento è possibile inserire:

- il file dell'immagine di riferimento della scena video da rilevare (georiferita);
- il file con i parametri della camera (precedentemente calibrati);
- i punti GPC (*Ground Point Control*) di riferimento tra l'immagine di riferimento e i punti corrispondenti;
- il file di configurazione delle caratteristiche di traffico (precedentemente elaborato con il software *DataFromSky Annotation Tool*);
- il file video.

Al termine dei settaggi è possibile avviare il processo di analisi video, che elaborerà le informazioni secondo l'architettura precedentemente descritta.

Al termine dell'elaborazione, è disponibile un ultimo strumento: *DataFromSky Viewer*. Tale software permette di visualizzare i risultati dell'analisi attraverso il caricamento del file video e del file con i risultati delle elaborazioni video (precedentemente elaborato con il software *DataFromSky Trajectory Extractor*). Il Viewer permette di visionare il video registrato e analizzato per una visione accurata del rilievo di traffico al fine di osservare le traiettorie e le manovre critiche. Lo strumento permette altresì di visionare le caratteristiche in tempo reale dei veicoli rilevati e il progressivo conteggio dei veicoli in ingresso e in uscita dalle spire (matrice o/d).

Tutti i risultati delle analisi sono esportabili in un file di testo in formato CSV editabile con i più comuni software di analisi dati (Excel, LibreOffice, R, etc.). La traiettoria di ogni veicolo rilevato sarà registrata con coordinate nel sistema di riferimento

locale dell'intersezione o con una proiezione a scelta dell'utente. Il file CSV conterrà per ogni record i seguenti campi:

- Id veicolo
- Id spira di ingresso
- Tempo di ingresso (ms)
- Id spira di uscita
- Tempo di uscita (ms)
- Distanza percorsa (m)
- Velocità media (m/s);
- Traiettoria (posizione  $x_n$ [m]; posizione  $y_n$ [m]; frame<sub>n</sub>[ms] per ogni frame video)

È altresì disponibile un file CSV con i risultati della matrice o/d codificata in funzione delle caratteristiche di traffico settate precedentemente.

## Applicazioni e sviluppi futuri

Il sistema è stato testato su diverse intersezioni e i risultati, riportati in tab. 1, evidenziano come gli algoritmi di riconoscimento e di analisi video abbiano percentuali di successo molto elevate oltre al 97%. Attualmente il nostro team sta completando alcuni test per il rilievo su area vasta: fino a 30 ettari. In questo caso il singolo APR non è sufficiente, in quanto non riuscirebbe a rilevare singolarmente un'area così ampia. È allo studio, a tal fine, una soluzione altamente innovativa: un volo simultaneo di più APR, con la necessità di post processare i flussi video in un unico file. È evidente che tale soluzione permetterebbe al sistema *DataFromSky* di rilevare matrici o/d di area molto vasta e con una qualità e quantità di informazione sicuramente unica. Il cronoprogramma di sviluppo prevede, grazie al supporto di *venture capitalist*: lo sviluppo di una nuova *release* entro gennaio 2015 con il perfezionamento degli algoritmi di tracciamento e il rilascio, previsto entro l'estate 2015 di nuovi algoritmi di analisi per il tracciamento, il rilevamento e la classificazione di veicoli con rilievi video a bassa altezza (fino a 10 m). Questo secondo pacchetto software permetterà di ottenere tutte le informazioni, rilevabili attualmente con il sistema APR, con una semplice videocamera montata su un asta telescopica o da un qualsiasi palo della videosorveglianza.

Per visionare i risultati video delle analisi è possibile collegarsi alle seguenti pagine web:

[www.datafromsky.com](http://www.datafromsky.com)

[www.vimeo.com/datafromsky](http://www.vimeo.com/datafromsky) ■■

**TAB. 1 RISULTATI DEI RILIEVI**

Intersezione 1	
Totale veicoli rilevati	451
Numero di uscite impostate	8
Velocità media	5.1 m/s
Durata rilievo	14min 56s
% di rilievo	94.8%
Intersezione 2	
Totale veicoli rilevati	864
Numero di uscite impostate	17
Velocità media	8.3 m/s
Durata rilievo	15min 36s
% di rilievo	97.6%

### Riferimenti Bibliografici

- [1] *Sistemi di monitoraggio del traffico. Linee guida per la progettazione*. Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti.  
 [2] *The Swedish traffic conflicts technique*. C. Hyden and L. Linderholm.  
 [3] Regolamento ENAC "Mezzi Aerei a Pilotaggio Remoto", 30 aprile 2014.