

RILEVAMENTO DEI FLUSSI DI TRAFFICO MEDIANTE UAS*

Domenico Gattuso^a, Margherita Malara^b, Gian Carla Cassone^a

^aDIIES - Dipartimento dell'Informazione, delle Infrastrutture e dell'Energia Sostenibile, Università Mediterranea di Reggio Calabria,
Via Graziella, 89123 - Reggio Calabria, Italia

^bPAU - Dipartimento Patrimonio, Architettura, Urbanistica, Università Mediterranea di Reggio Calabria,
Via dell'Università, 25 - 89124, Reggio Calabria, Italia

domenico.gattuso@unirc.it, margherita.malara@unirc.it, giancarla.cassone@unirc.it

Abstract

The traffic detection is important in transportation planning and traffic control. Many technologies have been developed in order to capture traffic information in automated way, as volume, headway vehicle dimension, speed. Often they are expensive and require work to install sensors on the road. UAS (Unmanned Aerial Systems) are very interesting instruments, alternative to the usual traffic detectors, because they can give different traffic measures and are not invasive in terms of works. In addition, they are not bound to a fixed site, but can move into space by remote control. In the paper, after a short and general description of the UAS, their benefits are highlighted for traffic monitoring as for scientific experimentation and research. They allow to overcome some of the main limits of traditional technologies. The focus is then on some experimental tests in three different contexts: urban road, road intersection, motorway section. Some traffic parameters have been carried out and several considerations have been derived, concerning potentialities and limits of the UAS utilisation in urban traffic context.

KEY WORDS: *Traffic Survey, Detection Technologies, UAS Unmanned Aerial Systems, SAPR, Experimental Test, Limits and Opportunities.*

1. Introduzione

Il continuo aumento dei volumi di traffico sulle strade spinge i gestori dei trasporti a cercare modi più efficaci per ridurre i problemi di congestione. C'è un forte bisogno di informazioni per monitorare e gestire il traffico in tempo reale [1]. Ciò richiede la raccolta di informazioni accurate, non solo sullo stato del traffico e della viabilità, ma anche informazioni in tempo reale in caso di emergenze, come incidenti stradali, che portano a congestione del traffico e/o deviazioni [2, 3]. I sistemi aerei senza pilota (ovvero UAS, acronimo di Unmanned Aerial Systems), noti anche come droni (o SAPR - Sistemi a Pilotaggio Remoto), sono utilizzati in un numero crescente di applicazioni civili e commerciali. Tra queste applicazioni, il monitoraggio del traffico stradale costituisce un

dominio in cui l'uso degli UAS sta riscuotendo notevole interesse a causa del basso costo e dell'ampia gamma di dati di traffico desumibili dall'elaborazione delle immagini di un video [4, 5]. La ricerca negli ultimi anni si è concentrata molto su questo ambito, in particolare cercando il modo più efficace per trasmettere e analizzare i dati di traffico acquisiti da UAS [6 - 8].

Questa tecnologia appare interessante rispetto ai tradizionali sistemi di rivelazione (rivelatori a spira, tecnologie video, radar, ultrasuono, ecc.) per la sua flessibilità d'uso derivante dalla sua movimentazione nello spazio e dai costi di esercizio notevolmente inferiori rispetto ai sistemi tradizionali. Il focus di questo lavoro è una valutazione preliminare delle potenzialità applicative degli UAS e delle prospettive di sviluppo di questo tipo di strumento nel monitoraggio e nella gestione del traffico.

*Il documento nella sua interezza è frutto del lavoro congiunto dei tre autori.
LaborEst n. 23/2021. doi: 10.19254/LaborEst.23.07

2. Parametri di interesse nell'analisi del traffico

Il flusso veicolare è un fenomeno complesso, in cui entrano in gioco molteplici variabili. Le variabili di base sono: portata (q) definita come il numero medio di veicoli che, nell'unità di tempo, attraversano una sezione stradale; velocità (v), intesa come spazio medio percorso nell'unità di tempo; densità (k), o concentrazione, quale numero medio di veicoli che occupano un'unità di spazio stradale. Le tre variabili di base possono essere combinate con molte altre variabili relative al traffico o derivate, che possono essere raggruppate nelle seguenti classi:

- misure complementari o derivate: presenza/incrocio veicoli, lunghezza delle code, tempi di percorrenza;
- eventi che interessano la viabilità: incidenti, eventi accidentali, strozzature, manovre di svolta, cambi di corsia;
- caratteristiche del veicolo: peso totale, peso per asse, lunghezza, altezza, tasso di occupazione;
 - infrazioni o anomalie del veicolo quali velocità eccessiva, mancata sosta al semaforo rosso o al segnale di stop, parcheggio illegale, marcia in senso contrario, avaria ai fari;
- parametri ambientali come concentrazioni di inquinanti nell'aria, livello di rumore.

3. Sistemi avanzati di rilevamento del traffico

Per ricavare i parametri di traffico utili per l'analisi del deflusso su strada sono necessarie tecnologie avanzate. Le tecnologie più comuni sono installate in una posizione specifica adatta a catturare le misure di traffico; possono essere definite tecnologie statiche. Oggi alcune altre tecnologie, come gli UAS, sembrano offrire nuove opportunità e sono oggetto di ricerca.

Le tecnologie di rilevamento di uso corrente possono essere distinte in relazione al tipo di sensore utilizzato che può essere posizionato a terra (intrusivo), oppure all'interno o in prossimità della carreggiata (non intrusivo).

La rapida evoluzione tecnologica degli ultimi anni nel campo delle misurazioni dei parametri di traffico ha permesso la recente sperimentazione di metodi di rilevamento innovativi, basati sull'elaborazione automatica di immagini riprese con telecamere.

I metodi più avanzati si basano sulla rilevazione di segnali/immagini tramite satelliti.

In epoca recente sono state sperimentate nuove, più versatili ed affidabili tecnologie come gli UAS. L'utilizzo di questi strumenti, comunemente detti droni (vedi Fig. 1), potrebbe consentire di acquisire la maggior parte dei parametri di interesse per gli analisti di traffico, con indubbi

vantaggi. I vantaggi potrebbero essere interessanti anche da un punto di vista commerciale, nella logica di creare un sistema di rilevazione integrato, in relazione ai minori costi su un mercato internazionale molto appetibile. Questa tecnologia è stata sviluppata ed è sempre più adottata in parallelo per usi militari e civili. Quanto agli usi civili, è poi possibile distinguere tra attività professionali e amatoriali.



Fig. 1 - Monitoraggio del traffico con drone.
(fonte: propria elaborazione)

Le indagini con i droni possono essere interessanti anche analisi integrate trasport/land use; ad esempio è possibile operare monitoraggi specifici quali:

- indagini sull'uso del suolo in aree difficili da raggiungere, come degradate, inquinate, frane, aree allagate, infrastrutture crollate; le indagini possono essere utili anche ai fini di pianificazione di azioni di rigenerazione urbana/territoriale;
- rilevazione di stati critici di congestione su larga scala (quartieri o strade lunghe);
- rilievo dello stato di degrado di strutture importanti come gallerie, ponti, viadotti, in siti difficilmente raggiungibili con ponteggi e mezzi tradizionali [9].

Diversi attributi possono essere adottati per classificare i droni. Rispetto alla loro modalità di generazione della portanza è possibile distinguere: droni ad ala fissa, dall'aspetto simile ad aeroplani (l'ala può essere più o meno flessibile a seconda dei modelli); droni con eliche (a seconda del numero di eliche che generano portanza, sono classificati come elicotteri e multi-elicotteri).

Un altro fattore è la dimensione e la massa del veicolo; in base a questi due fattori è possibile distinguere diverse categorie. Per dimensione: Micro droni (fino a 50 cm di lunghezza), Mini droni (tra 50 cm e 2 m), Droni medi (oltre 2 m). Droni grandi (dimensioni di un vero aereo, in genere per uso militare). La massa è un fattore particolarmente importante in quanto assunto come unità di misura dalle Autorità aeronautiche. L'Ente Nazionale per l'Aviazione Civile (ENAV), per il rilascio degli Attestati di Pilota UAV, considera la cosiddetta "massa operativa"; in linea generale si possono considerare 3 classi di veicoli: <300g, tra 0,3 e 4 kg, >4 kg.

La tabella (vedi Tab. 1) mostra una classificazione degli UAS in base ai loro campi di applicazione [10].

Le applicazioni più mature - e le uniche in cui i droni sono

Mobilità, Accessibilità, Infrastrutture

ampiamente applicati sia nel settore aziendale che in quello dei consumatori - riguardano la sorveglianza a corto raggio e le fotografie o i video associati. Le valutazioni d'impatto si basano su interviste di esperti del settore e l'impatto esprime, in termini relativi, l'effetto economico potenziale.

È possibile identificare diverse fasce di prezzo dei droni. Il costo dei droni può variare notevolmente, soprattutto in relazione al tipo di utilizzo. Indicativamente può variare da poche centinaia di euro per droni ad uso ricreativo a qualche migliaio di euro per attività professionali.

Uso	Descrizione	Impatto
Sorveglianza	Sorveglianza a corto raggio, acquisizione di immagini e analisi	Alto
	Sorveglianza a lungo raggio, acquisizione di immagini e analisi	Alto
	Applicazioni per foto e video senza analisi	Basso
Operazioni	Facilitazione in attività ad alta intensità di lavoro o compiti difficili	Medio
Scopo ludico	Sfruttare i droni per fini ricreativi o di pubblicità	Basso
Emissione del segnale	Fornire larghezza di banda multimediale emettendo segnale (video/ audio)	Basso
Movimento	Trasporto persone	Alto
	Consegna merci	Alto

Tab. 1 - Applicazioni caratteristiche e livello di impatto.
(fonte: propria elaborazione)

Gli UAS offrono opportunità interessanti in operazioni specializzate di monitoraggio, in attività scientifica, sperimentazione e ricerca consentendo di superare alcuni dei principali limiti delle tecnologie tradizionali nel monitoraggio del traffico veicolare; per esempio:

- rispetto ai sensori video fissi, i costi di installazione sono inferiori; inoltre, hanno il vantaggio di essere in grado di essere utilizzati in contesti spaziali e temporali diversi, ad esempio su diversi tratti autostradali, in relazione a esigenze specifiche;
- se il drone è difficile da usare nelle aree urbane, è molto vantaggioso per rilievi riguardanti autostrade o percorsi extraurbani, in quanto consente di seguire i veicoli nello spazio e nel tempo;
- la qualità delle immagini è generalmente elevata, ed è possibile visualizzare i video delle indagini per controlli a posteriori;
- i costi operativi in loco sono competitivi rispetto ai sensori tradizionali, in quanto includono solo il costo dell'operatore (si stima un valore giornaliero di ordine di 500-800 €) e il costo della funzionalità della macchina (batteria, manutenzione, ecc.);
- è possibile utilizzare un sistema di rilevamento automatico a partire dai video (differiti o in tempo reale), con elevata affidabilità, mediante software specializzati di trattamento automatico di immagini.

L'uso di UAS tuttavia non può essere esteso liberamente; esso è limitato dalle norme sulla circolazione aerea defi-

nite dall'ICAO (Organizzazione Internazionale di Aviazione Civile). Alcune norme determinano delle limitazioni significative nell'applicazione per indagini di traffico, specialmente in contesti urbani e in aree riservate. Nell'Ue, la Commissione ha dato all'AESA (Agenzia Europea per la Sicurezza Aerea) il compito di gestire le norme relative all'aviazione civile. Nel contesto italiano gli enti di riferimento sono ENAC (che adotta le regole), ENAV (che gestisce e controlla il traffico aereo), ANSV (responsabile della sicurezza di volo).

Al fine di garantire un traffico aereo sicuro, ordinato e fluido, l'ICAO ha suddiviso lo spazio aereo di ciascuno Stato, orizzontalmente e verticalmente, in spazi aerei più piccoli. Per ciascuna area sono dettate delle norme restrittive. Si distinguono in particolare Regioni a Traffico Controllato (CTR), Zone di Traffico Aeroportuali (ATZ), Zone di Traffico Regolate e Proibite (ARPA). Le operazioni con droni non sono consentite all'interno dell'ATZ di un aeroporto e nelle aree sottostanti le traiettorie di decollo e atterraggio degli aerei a distanza inferiore a 5 km dall'aeroporto.

Di seguito sono riportati i limiti principali stabiliti dalla legislazione sull'uso delle tecnologie SAPR:

- è vietato sorvolare folle di persone, processioni, siti di eventi sportivi o, comunque, aree in cui si verificano concentrazioni di popolazione;
- per guidare un drone il pilota deve disporre di opportune autorizzazioni e di una specifica abilitazione (patente);
- le operazioni all'interno delle zone CTR sono consentite esclusivamente ai sistemi con veicoli aerei di massa operativa al decollo inferiore a 25 kg, fino ad un'altezza massima di 70 m sopra il livello del suolo e fino a una distanza massima sul piano orizzontale di 200 m; nelle aree sotto le traiettorie di decollo e di atterraggio oltre i limiti di ATZ e fino a 15 km dall'aeroporto, viene imposto il limite di quota di 30 m;
- per il rilievo in ambiente urbano è necessaria un'area buffer intorno al sito operativo, per garantire adeguati livelli di sicurezza; le dimensioni di tale area sono determinate valutando il possibile comportamento del drone in caso di malfunzionamento e i rischi di caduta in spazi frequentati da persone ed attività civili.

Sono attualmente allo studio misure atte a rilassare i vincoli sopra descritti, e ricerche in materia di tecnologie avanzate utili a prevenire rischi di malfunzionamento o di incidenti, senza rinunciare alla sicurezza, in modo da poter effettuare operazioni di notevole interesse civile quali azioni di monitoraggio del traffico o sorvolo di contesti urbani a bassa quota.

4. Indagine sperimentale sul traffico con drone

Al fine di testare le potenzialità della tecnologia SAPR, è stata organizzata e realizzata un'indagine sul campo con l'ausilio di operatori specializzati e droni professionali; l'indagine si è articolata in tre fasi successive strettamente interconnesse:

- pianificazione delle operazioni;
- organizzazione e preparazione delle attività;
- svolgimento sul campo.

La pianificazione ha consentito la definizione delle procedure e degli strumenti di prova, con la specificazione di cosa, come e quando fare. In stretta relazione con la pianificazione delle attività, è stata progettata la struttura del database per l'analisi statistica.

La fase di organizzazione e preparazione dell'indagine è molto delicata e costituisce un presupposto essenziale per una buona riuscita del lavoro. In questa fase è stato elaborato un modulo di indagine. Per quanto riguarda le indagini di traffico, ci sono molti approcci metodologici; in letteratura, alcuni specifici approfondimenti possono aiutare a delineare una metodologia di riferimento [11 -15]. I rilievi sono stati effettuati in tre diversi siti: una rotatoria urbana, un incrocio stradale urbano, un tratto autostradale, in un'area alla periferia delle città di Reggio Calabria e Villa San Giovanni (Italia). L'analisi dei video, della durata complessiva di circa 15 minuti, ha consentito di determinare diversi parametri di traffico. I volumi di traffico, in particolare, sono stati suddivisi in 3 categorie di veicoli:

- N1, vetture fino a 9 posti;
- N2, camioncini, furgoni e mezzi a tre ruote con massa totale fino a 3 tonnellate;
- N3, autocarri, anche con rimorchio, motrici con massa totale maggiore di 3 tonnellate.

Il rilievo presso il sito della rotatoria (vedi Fig. 2) è stato effettuato in un'ora di punta di una giornata ordinaria, tra le 8:10 e le 8:25 del mattino con il drone posizionato a un'altezza di 70 m, in prossimità del sito. È stato possibile identificare i singoli veicoli e le relative manovre, determinando il numero di veicoli, classificati per tipologia, varco di ingresso e uscita della rotatoria, percorso seguito dall'origine alla destinazione. Questi dati sono proposti in una matrice Origine/Destinazione (O/D) sintetica (vedi Tab. 2) dove con i simboli A-D sono indicati i diversi varchi (braccia di rotatoria); il codice "in" indica l'ingresso su un ramo, "ex" indica l'uscita.



Fig. 2 - Test 1. Incrocio a rotatoria.
(fonte: propria elaborazione)

	Aex	Bex	Cex	Dex	Tot
Ain	1/0/0*	5/2/1	56/4/1		62/6/2
Bin	2/2/1		12/0/2	2/0/0	16/2/3
Cin	42/0/3	24/2/1	0/0/1	2/0/1	68/2/61
Din			1/1/2		1/1/2
Tot	45/2/4	29/4/2	69/5/6	4/0/1	147/11/13

*N1/N2/N3

Tab. 2 - Matrice O/D per rotatoria (veic./15 min).
(fonte: propria elaborazione)

Il rilievo in corrispondenza dell'intersezione stradale (vedi Fig. 3) è stato effettuato tra le 8:40 e le 8:55 dello stesso giorno, con il drone posizionato a 140 m sopra il sito. Dopo aver identificato con i simboli A, B e C, le tre sezioni che compongono l'incrocio a T, è stata elaborata una matrice origine-destinazione (vedi Tab. 3) dopo la rilevazione manuale dei movimenti dei veicoli dal video registrato, per ogni categoria di veicoli.



Fig. 3 - Test 2. Incrocio a T.
(fonte: propria elaborazione)

	Aex	Bex	Cex	Tot
Ain	1/0/0*	15/0/0	20/2/1	36/2/1
Bin	26/0/1	0/0/0	15/3/0	41/3/1
Cin	11/0/0	13/2/0	3/2/0	27/4/0
Tot	38/0/1	28/2/0	38/7/1	104/9/13

*N1/N2/N3

Tab. 3 - Matrice O/D per incrocio a T (veic./15 min).
(fonte: propria elaborazione)

Infine, è stata effettuata un'indagine sul traffico in un tratto autostradale; l'infrastruttura oggetto di indagine è l'Autostrada del Mediterraneo [A2] nei pressi del comune di Villa San Giovanni (vedi Fig. 4). La tratta considerata ha una lunghezza di circa 300 m, quasi tutta in linea retta. La sezione della carreggiata è costituita da quattro corsie di 3,75 m e corsie laterali di emergenza di 2,50 m. Il rilievo si è svolto tra le 9.30 e le 9.45 di una giornata ordinaria, adoperando un drone posto ad un'altezza di 170 m e ad una distanza laterale di 1 km. Le immagini registrate hanno permesso una visione completa e

chiara dei movimenti dei veicoli all'interno del segmento stradale.



Fig. 4 - Test 3. Sezione autostradale.
(fonte: propria elaborazione)

t (min)	N1 (veic)	N2 (veic)	N3 (veic)	q (veic/min)	q (veic/h)
1	12		2	14	840
2	12	4		16	960
3	12	2	2	16	960
4	25		3	28	1680
5	12	2	2	16	960
6	13	2	1	16	960
7	16	1	1	18	1080

Tab. 4 - Portate veicolari su tronco autostradale.
(fonte: propria elaborazione)

Sul dominio temporale di 15 minuti sono stati registrati 255 veicoli in transito sulla carreggiata in direzione nord e 178 veicoli sulla carreggiata in direzione sud. È stato possibile individuare la distribuzione dei veicoli sulle corsie in entrambe le direzioni ed eventuali cambi di manovra; i risultati sono riportati nella tabella (vedi Tab. 5):

Direzione	Corsia sinistra	Corsia destra	Cambio destra-sinistra	Cambio sinistra-destra
Nord	153	59	32	11
Sud	112	42	18	6

Tab. 5 - Distribuzione dei veicoli fra le corsie della carreggiata.
(fonte: propria elaborazione)

Di seguito (vedi Tab. 6) sono riportati i dati sulle densità lineari e superficiali sulla carreggiata nord. Per ogni intervallo di riferimento di 1 minuto sono stati considerati 4 istanti temporali, rispettivamente di 15, 30, 45 e 60 secondi, in corrispondenza dei quali sono stati calcolati i valori di densità.

T (min)	t (sec)				Veicoli N.	k _l (veic/100 m)	k _s (veic/100 m ²)
	15	30	45	60			
1	3	6	4	1	14	5	0,42
2	4	1	4	3	12	4	0,36
3	2	2	5	4	13	4	0,39
4	10	2	1	6	19	6	0,58
5	5	0	4	3	12	4	0,36
6	8	2	0	5	15	5	0,45
7	3	3	1	4	11	4	0,33

Tab. 6 - Densità del traffico in direzione nord.
(fonte: propria elaborazione)

Infine, sono state calcolate le velocità medie in una sezione (vt) e lungo lo spazio (vs). In direzione nord si è riscontrata una velocità media sul tronco vs = 112 km/h, in direzione sud una vs = 113 km/h.

I risultati del rilevamento e la localizzazione dei veicoli mediante operazioni con SAPR mostrano una notevole ric-

chezza e un notevole miglioramento rispetto a dispositivi tradizionali. L'applicazione ha dimostrato notevoli potenzialità in termini di parametri di traffico rilevabili; oltre ai parametri già citati, esiste la possibilità di seguire un veicolo nella sua traiettoria nello spazio e nel tempo.

5. Prospettive future di ricerca

Vi è un crescente interesse per gli UAS come strumenti di rilevamento per applicazioni nel campo del traffico veicolare. Essi promettono buone opportunità per analisti e pianificatori del traffico ma, al momento, non è facile valutarne appieno le prestazioni, le potenzialità e i limiti per il monitoraggio e la gestione del traffico. L'obiettivo della ricerca è quello di contribuire a valutare l'efficacia e l'efficienza di questo tipo di strumenti rispetto ai tradizionali approcci alternativi. Nell'articolo sono proposti alcuni risultati sperimentali riferiti a rilievi effettuati con l'ausilio di droni. Le indagini fanno riferimento a tre diversi contesti e rilevazioni di parametri di traffico quali flusso, densità, velocità, classi veicolari.

Le potenzialità sembrano molto interessanti, ma i maggiori limiti risiedono nella traduzione delle informazioni video in dati utili di traffico. Alcune attività di ricerca sono oggi indirizzate a superare questo ostacolo, attraverso lo sviluppo di software specifici per l'elaborazione delle immagini e la codifica automatica dei dati (vedi Fig. 5).



Fig. 5 - Elaborazione automatica delle immagini video.
(fonte: propria elaborazione)

6. Conclusioni

Il maggiore ostacolo all'utilizzo della tecnologia dei droni per indagini di traffico rimane la normativa, legata al rilascio dei permessi di volo. La normativa è particolarmente restrittiva nei contesti urbani, dove si riscontrano però i più significativi problemi di circolazione.

Forse, nel prossimo futuro, gli sviluppi tecnologici riguardanti la sicurezza degli strumenti e l'allentamento delle regole di volo potrebbero dare maggiori opportunità per il controllo del traffico e per attività di trasporto.

Ad oggi sono in corso sperimentazioni che prevedono l'utilizzo di droni per scopi logistici o di monitoraggio del traffico [16].

Di seguito sono richiamati alcuni esempi rappresentativi. Un drone Amazon è stato presentato a Las Vegas nel 2019, durante una conferenza dal titolo “*Machine learning, automation, robotics and space*”.

Esso decolla e atterra in verticale come un elicottero e può consegnare un pacco di circa 2,5 kg (che costituiscono quasi l'80% dei pacchi spediti) entro un raggio di circa 15 km in mezz'ora. La scelta delle consegne con droni fa parte di un programma chiamato Prime Air, che Amazon sta mettendo in campo per massimizzare le consegne ai propri clienti.

Il *Google Wings*, sviluppato dall'azienda Mountain View, è stato il primo a ottenere il via libera dalla FAA (Federal Aviation Administration, USA) per l'uso di droni per consegna merci. Anche un gigante della logistica come UPS, insieme alla start-up Matternet, ha sviluppato un servizio mediante droni per la consegna di medicinali tra gli ospedali della Carolina del Nord.

La ViNotion è un'azienda specializzata nel campo dell'analisi video automatizzata. In collaborazione con Antea Group, ViNotion ha completato un progetto commissionato dal governo dei Paesi Bassi per sviluppare un affidabile sistema di rilevamento del traffico mediante droni.

Lo studio è stato finalizzato a verificare se il rilievo automatico di traffico mediante drone offre un'alternativa di alta qualità al conteggio del traffico con loop o sistemi di rilevamento tradizionali. Sono state effettuate registrazioni di traffico con un drone, collegato con un filo di alimentazione a terra.

E, successivamente, è stata eseguita l'analisi delle immagini mediante un software utile a rilevare i veicoli. Il risultato è apparso molto interessante, con livelli di precisione del 97%. Il sistema è apparso in grado di analizzare inoltre, contemporaneamente, tutte le manovre dei veicoli i su un nodo stradale complesso.

Bibliografia

- [1] Kanistras K., Martins G., Rutherford M.J., Valavanis, K.P.: *A Survey of Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) for Traffic Monitoring*. In: International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS), Atlanta, GA, USA, 2013
- [2] Puri A.: *A survey of unmanned aerial vehicles (UAV) for traffic surveillance*. In: International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS), 2005
- [3] Puri A., Valavanis K.P., Kontitsis M.: *Statistical profile generation for traffic monitoring using real-time UAV based video data*. In: IEEE Mediterranean Conference on Control and Automation, Athens, Greece, 2007
- [4] Elloumi M., Dhaou R., Escrig B., Idoudi H., Saidane L.A.: *Monitoring Road Traffic with a UAV-based System*. In: IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), Barcelona, Spain, 2018

[5] Barrile V., Candela G., Fotia A., Bernardo E.: *AV Survey of Bridges and Viaduct: Workflow and Application*. In: 19th International Conference on Computational Science and Its Applications, vol. 11622 LNCS, pp 269 - 284. Saint Petersburg, Russian Federation, 2019

[6] Valavanis K.P., Vachtsevanos G.J.: *UAV applications: Introduction' Handbook of Unmanned Aerial Vehicles*, pp. 2639 - 2641. Springer Netherlands, 2015

[7] Chen Y.M., Dong L., Oh J.S.: *Realtime video relay for UAV traffic surveillance systems through available communication networks*. In: IEEE Wireless Communications and Networking Conference, pp 2608 -2612, WCNC, 2007

[8] Kopardekar P., Rios J., Prevot T., Johnson M., Jung J., Robinson J.E.: *Unmanned aircraft system traffic management (UTM) concept of operations*. In: 16th AIAA Aviation Technology, Integration, and Operations Conference, Washington, United States, 2016

[9] Barrile V., Candela G., Fotia A., Bernardo E.: *Integration of 3d model from uav survey in bim environment*. In: ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, vol. 42, Issue 2/W11, pp 195 - 199, 2019

[10] Cohn P., Green A., Langstaff M., Roller M.: *Commercial drones are here: The future of unmanned aerial systems*. Capital Projects & Infrastructure, McKinsey & Company, 2019. Maggiori informazioni su: <https://www.mckinsey.com/industries/capital-projects-and-infrastructure/our-insights/commercial-drones-are-here-the-future-of-unmanned-aerial-systems>

[11] Leduc G.: *Road Traffic Data: Collection Methods and Applications*. In: Working Papers on Energy, Transport and Climate Change, n.1, 2008

[12] Xiao L., Peng X., Wang Z., Xu B., Hong B.: *Research on traffic monitoring network and its traffic flow forecast and congestion control model based on wireless sensor networks*. In: Proceedings of the IEEE International conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation (ICMTMA), pp. 142 - 147, 2016

[13] Federal Highway Administration: *Traffic Monitoring Guide*, 2016

[14] Da Rios D.G., Gattuso D.: *La mobilità delle merci nell'area metropolitana milanese*. Franco Angeli, Milano 2003

[15] Barrile V., Candela G., Fotia A.: *Point cloud segmentation using image processing techniques for structural analysis*. In: ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, vol. 42, Issue 2/W11, pp 187 - 193, 2019

[16] Marinelli M., Caggiani L., Ottomanelli M., Dell'Orco M.: *En route truck-drone parcel delivery for optimal vehicle routing strategies*. In: IET Intelligent Transport Systems, vol. 12, Issue 4, pp 253 - 261, 2018

