

DroneAGE: un ambiente virtuale a supporto delle missioni di UAS per il telerilevamento di terreni agricoli e altre applicazioni

Mauro Giuseppe Todeschini, Enrica Romano, Giovanni Paolo Viganò, Marco Sacco

CNR-ITIA Istituto di Tecnologie Industriali ed Automazione,
via Bassini 15, 20133 Milano, Italy, tel: +39 02 2369 9602, fax: +39 02 2369 9616,
e-mail: mauro.todeschini, enrica.romano, giovannipaolo.vigano, marco.sacco@itia.cnr.it

Riassunto

L'impiego di sistemi aeromobili privi di pilota a bordo (UAS/RPAS/SAPR/APR altrimenti detti "droni") come piattaforma di supporto all'acquisizione di dati sta suscitando crescente interesse in diverse comunità/ambiti/settori. Al fine di monitorare il territorio, gli UAS risultano particolarmente interessanti per via dell'elevata risoluzione spaziale e temporale delle rilevazioni, per la maggiore flessibilità operativa e per la possibilità di impiego in scenari difficilmente trattabili con strumenti più consolidati (satelliti, aeromobili, veicoli di terra, etc.). Questo articolo presenta DroneAGE, un software, in fase di sviluppo, di supporto alle missioni di telerilevamento mediante UAS, incentrato su un ambiente virtuale, in cui sono visualizzati sia lo scenario operativo sia informazioni rilevanti in forma grafica, contestualizzate nell'ambiente tridimensionale. Sebbene gli UAS comprendano di norma software per la pianificazione e il controllo della missione, lo strumento descritto verrà integrato con essi, fornendo un'interfaccia intuitiva e naturale, con funzionalità aggiuntive e ampiamente indipendente da servizi esterni. L'obiettivo dell'approccio seguito è di migliorare la "situation awareness" della componente umana coinvolta, presentando le informazioni in modo più immediato e facilmente fruibile all'operatore. Tra i benefici conseguenti all'utilizzo di un tale strumento si menzionano: il miglioramento qualitativo dei dati ottenuti e delle metodologie di acquisizione, e positive ricadute negli specifici ambiti applicativi sia di tipo economico sia di sicurezza. L'adozione di componenti open-source appositamente selezionate vuole lasciare aperta la possibilità di successive estensioni in altri contesti; sembra particolarmente interessante sotto questo aspetto la tematica della presentazione interattiva dei dati acquisiti ai fini di valutazione, interpretazione o (ri)pianificazione. La soluzione proposta è flessibile anche dal punto di vista dei dispositivi di input/output utilizzabili. Il lavoro si colloca nell'ambito del Progetto Space4Agri finanziato dall'Accordo Quadro Regione Lombardia-CNR.

Abstract

The interest in using unmanned aircraft systems (UAS/RPAS/SAPR/APR commonly known as "drones") as a platform to support data acquisition is quickly growing among different communities, areas and sectors. UAS have proven to be very useful in territory monitoring, due to the high spatial and temporal resolution of the measurements, the great operational flexibility and the possibility to be used in scenarios that are challenging for more established devices (satellites, aircrafts, ground vehicles, etc.). The paper presents DroneAGE software supporting UAS remote sensing missions, in early stages of development. It is based on a virtual environment displaying both the operational scenario and the relevant information through contextualized graphics. While it is common for UAS to include software for mission planning and control, the presented tool will integrate with them providing additional features and an intuitive and natural interface, while

being independent from external services. The goal is to improve the situation-awareness of involved human beings, showing information in a quickly understandable and non-distracting way. The following goals are among the expected benefits of such approach: an improvement of the quality of acquired data and of acquisition methodologies, and positive outcomes in specific application areas on both economic and security perspectives. The adoption of open-source components enhances the opportunity to extend in the future the tool for utilization in other contexts; it shows particular interest the interactive presentation of acquired data for evaluation, interpretation or (re)planning purposes. The solution is also intended to be flexible in terms of supported input/output devices. The work is part of Space4Agri project supported by the bilateral agreement between Regione Lombardia and National Research Council of Italy.

Keyword

Drone, ambiente virtuale, telerilevamento, agricoltura di precisione

Introduzione

I sistemi aeromobili a pilotaggio remoto (SAPR, in inglese *Unmanned Aircraft System*, UAS) offrono importanti vantaggi rispetto ai sistemi più tradizionali, quando utilizzati come piattaforma per l'acquisizione remota di dati (*Remote Sensing*, RS): costi ridotti, possibilità di modificare agevolmente tipologia e funzionamento del *payload*, possibilità di (ri)programmazione/(ri)pianificazione/(ri)utilizzo in tempi rapidi, risultati quantitativamente e qualitativamente migliori secondo diversi parametri (Miranda, 2008). Non sorprende quindi che negli ultimi anni l'utilizzo di tali velivoli sia aumentato costantemente, passando dall'essere esclusivo appannaggio del settore militare fino ad assumere un ruolo rilevante in quello civile: i progressi tecnologici relativi ai sensori ne permettono ormai l'utilizzo per rilevazioni nello spettro del visibile, dell'infrarosso vicino e termico, multispettrali, iperspettrali, e mediante LiDAR (*Light Detection and Ranging*) o SAR (*Synthetic Aperture Radar*).

Gli ambiti di utilizzo sono molteplici: il settore agricolo e ambientale, quello della sicurezza pubblica, della prevenzione o reazione a eventi naturali, quello della manutenzione o monitoraggio di strutture architettoniche o industriali, quello della tutela del patrimonio artistico o culturale, quello dell'esplorazione in ambienti ostili.

In ambito agricolo, settore applicativo di riferimento del lavoro qui illustrato, una delle più importanti innovazioni degli ultimi decenni è l'agricoltura di precisione (*Precision Agriculture*, PA). Prima della meccanizzazione dell'agricoltura, la dimensione limitata degli appezzamenti rendeva più semplice variare i trattamenti sulla base delle condizioni locali della coltivazione o dell'appezzamento, la cui variabilità era nota ed evidente. La meccanizzazione ed il conseguente aumento delle dimensioni delle superfici coltivate hanno progressivamente reso inattuabili i metodi classici di intervento locale determinando una conseguente necessità di rivoluzionarli ed innovarli con l'adozione di appropriate tecnologie (Stafford, 2000). La PA, mediante l'acquisizione di consistenti quantità di dati e l'elaborazione delle loro relazioni spaziali e temporali, determina con accuratezza la quantità di sementi, nutrienti, acqua, disinfestanti e altre sostanze da distribuire nei campi e il punto esatto di applicazione; l'obiettivo è di aumentare la produzione agricola riducendo al contempo l'impiego di sostanze, con benefici sia economici sia ambientali (Mulla, 2013).

In conseguenza all'incremento dell'impiego di UAS è emersa la necessità di interfacce uomo-macchina che permettano anche ad un utente non specialista la comprensione rapida della situazione del velivolo, fornendo in ultimo una migliore percezione del volo; a tal fine spesso sono state implementate soluzioni basate su realtà virtuale o realtà aumentata. Gli UAS sono commercializzati corredati di software proprietari che offrono funzionalità ricorrenti: la configurazione del velivolo, la pianificazione del volo (sequenze di *waypoint*) ed il controllo del volo vero e proprio (Torres-Sánchez et al., 2013); si tratta tuttavia di prodotti che si concentrano sulle problematiche specifiche del volo, delegando almeno in parte il supporto degli aspetti

applicativi della missione ad altri strumenti o metodologie; nel caso del RS, si possono citare le problematiche relative alla selezione/configurazione/programmazione dei sensori, alla gestione/manipolazione/valutazione dei dati acquisiti, o anche ai vincoli normativi e di sicurezza cui queste nuove tecnologie sono sempre più soggette.

Proprio le problematiche di sicurezza sono all'origine dell'attività normativa e regolamentare che recentemente ha interessato gli organismi deputati e le autorità per l'aviazione civile di molti paesi. L'obiettivo, non semplice, è naturalmente quello di poter disporre di un sistema normativo il più possibile uniforme e compatibile con le esigenze del settore oltre che della comunità. Nell'Unione Europea la regolamentazione riguardante gli UAS di peso inferiore a 150 Kg è demandata ai singoli paesi che solo di recente hanno reso operativi impianti normativi specifici o, in taluni casi, sono in procinto di farlo.

In Italia il 16 Dicembre 2013 (ENAC, 2013) l'Ente Nazionale per l'Aviazione Civile (ENAC) ha emanato il Regolamento "Mezzi Aerei a Pilotaggio Remoto" (RMAPR) che è entrato in vigore, dopo rinvio, il 30 Aprile 2014. Le motivazioni che hanno portato al rinvio sono indice della rilevanza della materia da un lato e della difficoltà a normare tematiche così innovative; è stata riconosciuta infatti la necessità di non introdurre discriminazioni nel mercato consentendo un più esteso periodo di transizione per l'adeguamento ai nuovi dispositivi regolamentari, reso necessario dall'elevato numero di autorizzazioni richieste (ENAC, 2014a). ENAC ha quindi emesso una serie di documenti a chiarimento (ENAC, 2014b) e integrazione (ENAC, 2014c; ENAC, 2014d) del RMAPR che, al momento della stesura di questo articolo, sono tuttavia ancora in stato di bozza e quindi passibili di aggiornamento.

In ambito scientifico sono ormai numerose le applicazioni di RS mediante UAS; se, nel 2002, fu utilizzato il Pathfinder-Plus di NASA per acquisire immagini nello spettro del visibile e multispettrali di coltivazioni di caffè (Herwitz et al., 2004), oggi sono disponibili velivoli considerevolmente più economici, leggeri e flessibili.

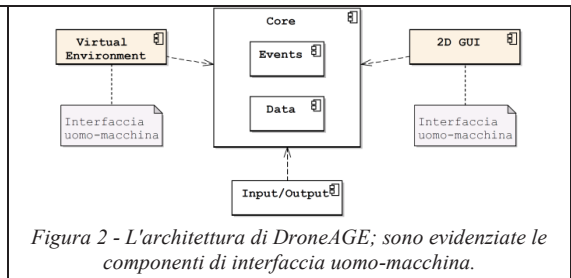
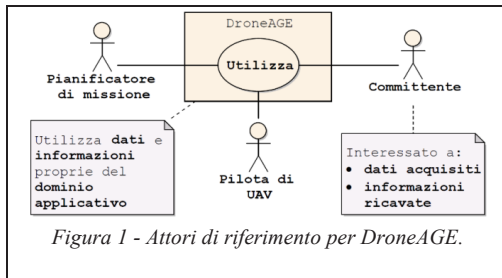
Limitandosi alla casistica italiana, nel 2004 immagini acquisite mediante UAS hanno integrato tecniche di rilevamento tradizionali per il monitoraggio dei canneti nella zona del lago di Garda (Montagna et al., 2009). Scordo et al. (2011) hanno ricavato informazioni relative allo stato del vigneto tramite le immagini di una camera multispettrale e una termocamera trasportate da un micro-drone; l'utilizzo di UAS è particolarmente diffuso nella viticoltura, sia a livello sperimentale, sia a livello commerciale tanto che esistono società private che forniscono servizi ad ampio spettro in tale ambito (Dosso, 2013).

DroneAGE

Lo sviluppo di DroneAGE (*Drone Advanced Graphic Environment*, ambiente grafico avanzato a supporto dei droni) si colloca all'interno del Progetto "Space4Agri - Sviluppo di Metodologie Aerospaziali Innovative di Osservazione della Terra a Supporto del Settore Agricolo in Lombardia" (Space4Agri), che ha come obiettivo generale la definizione di strumenti e metodologie a supporto della pianificazione e gestione del settore agricolo lombardo mediante l'integrazione di dati da fonti diverse: osservazioni da satellite, utilizzo di UAS e dispositivi mobili e applicazioni web per la raccolta, la fruizione e lo scambio di dati; in particolare DroneAGE nasce in risposta alle esigenze relative all'utilizzo degli UAS in ambito agricolo.

L'obiettivo prioritario è quello di fornire un'interfaccia di alto livello che integri le funzionalità comunemente disponibili nei software di pianificazione e controllo in volo di UAS, con lo scopo di migliorare la *situation awareness* dell'operatore evidenziando gli aspetti rilevanti per la missione ed evitando i fattori di distrazione.

In particolare DroneAGE supporta tipologie di utenza con finalità anche significativamente diverse tra loro, e pertanto in genere non considerate unitariamente dai software tradizionalmente impiegati in ambito UAS (Figura 1).



Nel diagramma UML degli use-case di Figura 1 sono indicati i tre destinatari di riferimento per DroneAGE: il pianificatore di missione, il pilota, e il committente. Gli attori in gioco non sono necessariamente entità fisicamente distinte (es. persone diverse), ma ruoli che possono essere ricoperti da uno stesso soggetto (Fowler, 2003) in diversi momenti della missione.

Un aspetto significativo di DroneAGE è l'attenzione al committente inteso come soggetto interessato ai risultati della missione che, nel caso del RS, si riassumono nei dati acquisiti o in loro successive elaborazioni/interpretazioni. Il punto di vista è quindi sostanzialmente diverso rispetto ai software di pianificazione e controllo che vengono forniti a corredo di un UAS, che si concentrano quasi esclusivamente sulle figure del pianificatore e del pilota.

Il cambio di prospettiva può essere realizzato in DroneAGE focalizzando l'attenzione sui dati acquisiti e quindi sul dominio applicativo; la definizione di funzionalità/modalità per la gestione, la presentazione, la manipolazione e l'interpretazione dei dati a complemento/integrazione di quelle relative a pianificazione e controllo di missione determina un potenziale miglioramento nel *workflow* tipico delle missioni di UAS per il RS. I benefici non ricadono peraltro esclusivamente sul committente; l'integrazione di dati del dominio applicativo è di ausilio anche in fase di pianificazione e controllo della missione, migliorando la qualità dei risultati e le altre peculiarità degli UAS: economicità, flessibilità, disponibilità.

DroneAGE è in fase iniziale di sviluppo: sono state definite le componenti essenziali dell'interfaccia e la struttura dell'applicazione (Figura 2). L'architettura si riflette sull'aspetto grafico dell'applicazione in cui si identificano, sulla sinistra, l'ambiente virtuale (*Virtual Environment*, VE) e, sulla destra, l'interfaccia bidimensionale (*2-Dimensional Graphical User Interface*, 2DGUI).

Il VE è caratterizzato dalla rappresentazione di un globo virtuale (*Virtual Globe*, VG) come strumento di contestualizzazione delle missioni. L'aspetto del VG può essere adattato a specifiche esigenze mediante differenti fonti e tipologie di mappe e *Digital Elevation Model* (DEM).

Il VE è un'interfaccia che consente all'utente di osservare e manipolare i dati in modo naturale (Viganò et al., 2003), inserendoli in una rappresentazione virtuale del mondo reale che deve essere sufficientemente accurata da consentirne la contestualizzazione (Viganò et al., 2008). All'interno del VE vengono quindi visualizzate graficamente informazioni di interesse tra cui:

- lo spazio di volo (*Flight Space*, FS): si tratta di un volume solido che definisce lo spazio all'interno del quale lo UAS deve operare. La geometria del FS può essere anche molto articolata; per definirla è conveniente ricorrere alla sua decomposizione in zone di volo più semplici (*Flight Zone*, FZ). Risulta particolarmente utile, se non necessario, poter considerare zone in cui il volo deve essere evitato (*No Flight Zone*, NFZ) e darne opportuna rappresentazione nel VE in quanto ad esse sono spesso associate situazioni che necessitano di particolare attenzione per la loro criticità
- le traiettorie di volo (*Flight Path*, FP): sono curve tridimensionali che indicano la posizione del drone (*Unmanned Aerial Vehicle*, UAV) nello spazio e nel tempo. In realtà curve generiche sono approssimate da linee spezzate che ben si adattano a modellare i percorsi

reali seguiti da un UAV, spesso definiti indicando una sequenza di punti tridimensionali da attraversare

- il modello tridimensionale dell'UAS: una rappresentazione del UAS finalizzata a evidenziare intuitivamente alcune situazioni o condizioni che lo riguardano.

La definizione delle caratteristiche essenziali di FS, FZ, NFZ e FP in particolare è stata affrontata sulla base dei contributi di Aermatica S.p.A. che collabora in Space4Agri. Aermatica ha progettato, prodotto e commercializzato ANTEOS, il primo Sistema Aeromobile a Pilotaggio Remoto (SAPR) ad aver ottenuto da ENAC un permesso di volo in spazio aereo non segregato (Aermatica, 2012).

Aermatica ha condiviso documentazione relativa al formato dei file di interscambio per le informazioni riguardanti FS, FZ, NFZ, FP e per i dati di dettaglio correlati; oltre al formato sono stati resi disponibili alcuni esempi relativi a missioni precedentemente eseguite. Gli esempi sono stati utilizzati per una verifica concreta e preventiva della possibilità di integrazione delle relative tipologie di dato all'interno del VE e per la valutazione di eventuali problematiche. Sono state inoltre implementate funzionalità di importazione per FS, FZ e NFZ che, nel diagramma di Figura 2, sono riconducibili alla componente denominata "Input/Output".

La 2DGUI permette una rappresentazione alternativa di dati già visualizzati nel VE (es. FS, FZ, NFZ, FP) e differenti modalità di manipolazione. Per alcune operazioni la 2DGUI è più immediata/efficace rispetto al VE, nel caso, ad esempio, sia necessario specificare con accuratezza valori numerici/alfanumerici o interpretare i rapporti reciproci che intercorrono tra strutture dati; strutture ad albero o liste di elementi sono estensivamente utilizzate: FS e FZ sono legati da una struttura ad albero, mentre un FP è una lista di punti tridimensionali.

La 2DGUI è anche particolarmente utile per l'accesso a funzionalità e dati specifici dell'applicazione; quali l'accesso alle funzionalità di input/output, oppure ai log di sistema. In alcuni casi, informazioni georiferite possono dover essere occultate all'interno del VE per non pregiudicare l'attenzione dell'operatore alla situazione contingente. La 2DGUI è sia lo strumento attraverso cui vengono selezionate le informazioni da presentare/occultare, sia una destinazione alternativa di queste informazioni per una consultazione/verifica magari differita nel tempo.

A livello di interazione, le funzionalità offerte dal VE sono:

- la navigazione sul VG, ossia lo spostamento della posizione e della direzione di osservazione
- la visualizzazione del FS come composizione di FZ e NFZ in forma di solidi semitrasparenti che sovrastano la superficie del VG
- la visualizzazione del FP come una linea spezzata i cui segmenti hanno per estremi i *waypoint* attraversati dal UAV
- la visualizzazione di un modello tridimensionale dell'UAV che segue il FP.

La combinazione di queste funzionalità e dell'adozione di un VE determina un miglioramento della *situation awareness* rispetto al software di pianificazione e controllo di ANTEOS che è basato su mappe bidimensionali; il FS è rappresentato come proiezione ortogonale delle FZ e NFZ di cui si evidenziano esclusivamente gli spigoli; tale approccio rende difficoltoso valutare la distanza

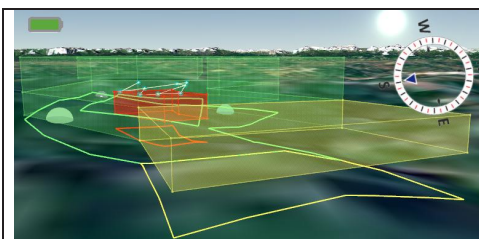


Figura 3 - Il VE di DroneAGE.

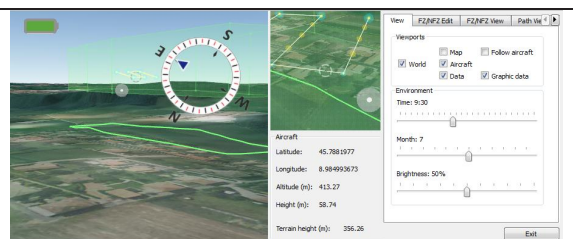


Figura 4 - VE (a sinistra) e 2DGUI (a destra).

dell'UAV dai limiti del FS. Le quote di riferimento pertanto devono infatti essere visualizzate come valori numerici in prossimità degli spigoli. DroneAGE invece, visualizzando semitrasparenze sul VG e offrendo più ampie possibilità di variazione della direzione di osservazione in prospettiva, permette di evidenziare con maggiore naturalezza eventuali situazioni critiche e le relazioni reciproche tra FP e FS da cui possono scaturire.

La 2DGUI invece consente di:

- definire il FS come composizione di FZ e NFZ e le caratteristiche numeriche e geometriche di ognuna di esse
- nascondere/mostrare informazioni visuali georiferite (FS, FP) in corrispondenza del VG
- nascondere/mostrare prospettive predefinite del VG
- modificare la posizione del sole rispetto al VG
- accedere alla funzionalità di importazione di FS, FZ e NFZ.

DroneAGE è stato sviluppato in C++ per piattaforma Windows. Sono stati impiegati *toolkit* e/o librerie di terze parti, selezionati, oltre che sulla base delle funzionalità e prestazioni offerte, anche in seguito a valutazioni sulla permissività della licenza di utilizzo e la disponibilità multipiattaforma. In particolare sono stati estensivamente utilizzati OpenSceneGraph (Osfield, 2014), osgEarth (Pelican Mapping, 2014) e Qt (Digia, 2014).

DroneAGE è in grado di accedere a varie fonti e formati di dati e visualizzare un modello grafico tridimensionale del terreno basato su di essi. Spesso si tratta di fonti raggiungibili tramite Internet sulla base di licenze che definiscono le condizioni per l'accesso online o offline; in molti casi l'utilizzo dei dati è consentito gratuitamente, ma solo per fini non commerciali.

I dati possono essere ricavati da immagini *raster* memorizzate nel *file system* locale (es. GeoTIFF, JPEG+TFW, etc.) o scaricate da servizi online (es. OpenStreetMap, MapQuest, etc.); in ogni caso è possibile creare una memoria *cache* locale per velocizzare i successivi accessi. Oltre alle ortofoto satellitari è possibile visualizzare dati georiferiti di altri tipi (ad es. mappature nel visibile di immagini multispettrali). Gli elementi cartografici possono essere importati in forma vettoriale (es. ESRI Shapefile) e adattati automaticamente al profilo del terreno; è anche possibile visualizzare modelli tridimensionali (es. elementi architettonici) da vari formati (es. KML, etc.).

Durante la visualizzazione gli oggetti e le sezioni di terreno vengono rappresentati con livelli di dettaglio che variano automaticamente al fine di massimizzare le prestazioni.

Conclusioni e sviluppi futuri

DroneAGE è ancora in una fase iniziale di sviluppo, ma le componenti implementate finora costituiscono la base su cui verranno costruite le funzionalità più evolute. L'interfaccia non si discosta significativamente dall'approccio consolidato nei software di pianificazione e controllo di UAS che vede un VG affiancato/integrato da elementi di interfaccia 2D; questa organizzazione appare adeguata agli obiettivi di medio e lungo termine del tool. Un VE rappresenta in modo naturale ed intuitivo alcuni concetti fondamentali dei domini applicativi: nel caso del volo di UAS sono rilevanti le informazioni relative a FS e FP e le loro relazioni.

Il supporto del volo di UAV è una problematica già affrontata dagli strumenti forniti in dotazione con il velivolo, seppure con approcci differenti; DroneAGE è nato con l'intento di integrare funzionalità a supporto della problematica del RS e quindi degli attori interessati ai risultati di missione più che all'esecuzione della stessa. Per questa ragione è stata introdotta la possibilità di accesso a fonti di dati alternative; mappe o DEM possono essere utilizzati in fase di pianificazione della missione, quindi a supporto della definizione del volo dell'UAV, ma possono anche riguardare dati specifici del dominio di interesse: nel caso del settore agricolo può trattarsi di mappe relative alle colture e al loro stato. Proprio la molteplicità di fonti e eterogeneità di dati è un aspetto innovativo di DroneAGE in risposta alle esigenze del committente (vedi Figura 1).

L'approccio seguito può essere esteso integrando la visualizzazione dei risultati acquisiti nel corso della missione all'interno del VE al fine della valutazione degli esiti e di interpretazione dei dati; il VE funge in questo caso da strumento di contestualizzazione e di fruizione dei dati. A tal fine può risultare necessario definire modalità di interazione con software di terze parti deputati al post-processamento dei dati per la visualizzazione in un VE.

L'interfaccia uomo-macchina può essere migliorata ed estesa anche sul versante dei dispositivi hardware. Meritano particolare attenzione tutte le tecnologie mobili che negli ultimi anni hanno beneficiato di evoluzioni significative; gli UAS sono per loro stessa natura strumenti mobili. Grazie all'abbassamento dei costi, si potranno esplorare le potenzialità dei dispositivi mobili disponibili di larga diffusione e basso costo: tablet, smartphone e le loro peculiari modalità di interfacciamento basate su sensoristica integrata e interfacce *touch*. Viste le caratteristiche degli UAS e i vincoli normativi cui sono soggetti è anche auspicabile valutare la possibilità di adottare strumenti come i *see-through head-mounted display* al fine di aumentare la *situation awareness* degli operatori coinvolti (pilota innanzitutto); la modalità di presentazione delle informazioni visualizzate deve essere però attentamente valutata al fine di scongiurare il rischio di diventare fonte di distrazione.

DroneAGE è stato sviluppato utilizzando *middleware open-source* in vista di queste previste o possibili evoluzioni; gli strumenti sono stati scelti anche in base alla loro disponibilità multiplatforma e alla scalabilità a dispositivi così diversi per tipologia e capacità. Rimangono fondamentali le scelte architetturali nella progettazione del software per raggiungere gli obiettivi prospettati ed in particolare il massimo disaccoppiamento tra le componenti definite.

Riconoscimenti

Si ringrazia la società Aermatica, che collabora in Space4Agri, per aver messo a disposizione la sua esperienza nell'ambito della progettazione, produzione e commercializzazione di UAS, per aver contribuito alla definizione delle esigenze del settore e per collaborare attivamente sulle problematiche di interazione/interfacciamento tra DroneAGE e il sistema ANTEOS.

Si ringrazia inoltre Regione Lombardia: questo lavoro è stato realizzato nell'ambito del Progetto Space4Agri finanziato da AQ-Regione Lombardia-CNR (Convenzione Operativa n. 18091/RCC, 05/08/2013).

Riferimenti Bibliografici

Aermatica, (2012). *AERMATICA ottiene per ANTEOS il primo Permesso di Volo in spazio aereo non segregato rilasciato in Italia per un APR*. Disponibile all'indirizzo: <http://www.aermatica.com/aermatica-ottiene-per-anteos-il-primo-permesso-di-volo-in-spazio-aereo-non-segregato-rilasciato-in-italia-per-un-apr/> [Consultato il 26 giugno 2014].

Digia, (2014). *Qt Project*. Disponibile all'indirizzo: <http://qt-project.org/> [Consultato il 2 luglio 2014]

Dosso, P. (2013). Prodotti e servizi innovativi per l'agricoltura di precisione da dati multitemporali rilevati tramite sistemi SAPR ad ala fissa. *Atti della 17a Conferenza Nazionale ASITA*, 5-7 novembre 2013, Riva del Garda, 647-654.

ENAC, (2013). *Regolamento "Mezzi Aerei a Pilotaggio Remoto"*. Disponibile all'indirizzo: http://www.enac.gov.it/repository/ContentManagement/information/N122671512/Regolamento_APR_ed.1.pdf [Consultato il 17 giugno 2014].

ENAC, (2014a). *Modifica dell'articolo 26 del Regolamento ENAC "Mezzi Aerei a Pilotaggio Remoto"*. Disponibile all'indirizzo: <http://www.enac.gov.it/repository/ContentManagement/information/P1022713825/Rinvio%20entrata%20in%20vigore%20Reg.%20Mezzi%20Aerei%20a%20Pilotaggio%20remoto.pdf> [Consultato il 17 giugno 2014].

- ENAC, (2014b). *Nota esplicativa ai fini dell'applicazione del Regolamento*. Disponibile all'indirizzo: http://www.enac.gov.it/repository/ContentManagement/information/P1673520068/Nota_esplicativa_Rev_maggio_2014.pdf [Consultato il 17 giugno 2014].
- ENAC, (2014c). *Bozza della Circolare NAV "Mezzi Aerei a Pilotaggio Remoto"*. Disponibile all'indirizzo: http://www.enac.gov.it/repository/ContentManagement/information/N1311250085/Bozza_Circolare_APR_140502.pdf [Consultato il 17 giugno 2014].
- ENAC, (2014d). *Bozza LG 2014/1 - Qualificazione del personale di volo APR*. Disponibile all'indirizzo: http://www.enac.gov.it/repository/ContentManagement/information/P550418526/Bozza_LG_2014_001_Qualificazione_Personale_Volo_APR.pdf [Consultato il 17 giugno 2014].
- Fowler, M. (2003). *UML Distilled: A Brief Guide to the Standard Modeling Object Language*. Object Technology Series, 3rd edition, Addison-Wesley.
- Herwitz, S. R., Johnson, L. F., Dunagan, S. E., Higgins, R. G., Sullivan, D. V., Zheng, J., ... & Brass, J. A. (2004). Imaging from an unmanned aerial vehicle: agricultural surveillance and decision support. *Computers and Electronics in Agriculture*, 44(1), 49-61.
- Miranda, G. (2008). *Simulatore di interfaccia uomo-macchina per il controllo di UAV*. Tesi di dottorato di ricerca, Università di Bologna, Bologna.
- Montagna, M., Rigo, P., Bresciani, M., Fila, G. L. (2009). Monitoraggio dei canneti di Sirmione tramite drone MD4 200. *Atti della 13a Conferenza Nazionale ASITA*, 1-4 dicembre 2009, Bari, 1459-1464.
- Mulla, D. J. (2013). Twenty five years of remote sensing in precision agriculture: Key advances and remaining knowledge gaps. *Biosystems Engineering*, 114(4), 358-371.
- Osfield, R. (2014). *The OpenSceneGraph Project Website*. Disponibile all'indirizzo: <http://www.openscenegraph.org/> [Consultato il 2 luglio 2014].
- Pelican Mapping, (2014). *osgEarth. Terrain on demand*. Disponibile all'indirizzo: <http://osgearth.org/> [Consultato il 2 luglio 2014].
- Scordo, A., Tulone, M., Nizza S., Pampalone, V., Di Giuseppe, V., Borruso, A. (2011). Ottimizzazione delle pratiche colturali dei vigneti tramite l'uso di dati telerilevati acquisiti da piattaforme di prossimità. *Atti della 15a Conferenza Nazionale ASITA*, 15-18 novembre 2011, Reggio di Colorno, 1983-1991.
- Stafford, J. V. (2000). Implementing precision agriculture in the 21st century. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 76(3), 267-275.
- Torres-Sánchez, J., López-Granados, F., De Castro, A. I., & Peña-Barragán, J. M. (2013). Configuration and specifications of an unmanned aerial vehicle (UAV) for early site specific weed management. *PloS one*, 8(3), e58210.
- Viganò, G. P., Mottura, S., Calabi, D., Sacco, M. (2003). The Virtual Reality Design Tool: Case Studies and Interfacing Open Topics. *Atti della conferenza Virtual Concept 2003*, 5-7 novembre 2003, Biarritz, Francia, 364-371.
- Viganò, G., Sacco, M., Greci, L., Mottura, S., Travaini, E. (2008). A Virtual and Augmented Reality tool for supporting decisions in motorbikes design: Aprilia application case. *Atti della conferenza Virtual design and automation*, 28-29 giugno 2007, Poznan, Polonia, 89-96.