

Sviluppo di sistemi aeromobili a pilotaggio remoto per la valutazione della qualità ambientale delle aree fluviali e ripariali

Gianluca Ristorto^(a), Riccardo Corso^(b), Giorgio Guglieri^(c), Fabrizio Mazzetto^(b)

^(a) Mavtech srl, Via A. Volta 13/a, 39100 Bolzano, tel. +39 0471 094778, e-mail: gianluca.ristorto@mavtech.eu

^(b) Libera Università di Bolzano, Piazza Università 1, 39100 Bolzano

^(c) Politecnico di Torino, Corso Duca degli Abruzzi 24, 10129 Torino

Introduzione

Negli ultimi anni si è verificato uno sviluppo costante delle tecnologie legate ai Sistemi Aeromobili a Pilotaggio Remoto (SAPR), sia per i componenti che costituiscono il vettore aereo, sia per i sensori installati a bordo. Queste piattaforme risultano al giorno d'oggi delle soluzioni strategiche per i rilievi di aree di modeste dimensioni (10 ÷ 1000 ha) in cui è richiesto un elevato livello di dettaglio (risoluzione < 5 [cm/pixel]) e/o un rapido intervento per acquisire delle pronte informazioni del territorio monitorato. Le applicazioni di questi sistemi sono molteplici e riguardano la fotogrammetria, la topografia, l'ispezione di infrastrutture (linee elettriche e ferroviarie, oleodotti e gasdotti, impianti fotovoltaici), il monitoraggio e la pianificazione delle attività agricole, il controllo delle frane e delle cave, l'ispezione di siti archeologici, le operazioni di ricerca e soccorso, la prevenzione di incendi, o più semplicemente la realizzazione di filmati e l'acquisizione di fotografie.

All'interno del progetto WEQUAL, progetto finanziato dal programma FESR della Provincia Autonoma di Bolzano, sono in fase di sviluppo differenti tipi di piattaforme SAPR per ottenere delle informazioni utili per la valutazione della qualità ambientale delle aree fluviali e ripariali, la scelta progettuale delle opere idrauliche a minor impatto ambientale in caso d'intervento per la messa in sicurezza o la riqualificazione di un corso d'acqua e il monitoraggio di come la qualità ecomorfologica evolva in presenza di opere di sistemazione. Nell'ambito del progetto si stanno sviluppando e collaudando diversi tipi di piattaforme aeree a pilotaggio remoto, sia ad ala fissa sia ad ala rotante, in grado di imbarcare differenti tipi di sensori (fotocamere, sensori multispettrali, sensori LiDAR).

In questo lavoro sono presentati i SAPR sviluppati nel progetto, i sensori imbarcabili a bordo e le loro caratteristiche prestazionali, intese come limiti tecnologici ed operativi. Sono presentate le soluzioni adottate sia in termini di sistemi di posizionamento e navigazione sia in termini di pianificazione della missione e verifica del piano di volo generato, per svolgere rilievi fotogrammetrici e LiDAR su terreni in forte pendenza. Infine, nell'ottica di fornire un servizio di monitoraggio e/o valutazione di un'area fluviale, sono stati stimati i tempi di realizzazione di un rilievo completo di un'area campione

realmente esistente, andando considerare ogni singola procedura elementare per portare a termine con successo le missioni di volo previste.

SAPR sviluppati

Per il progetto Wequal, sono in fase di collaudo 4 prototipi di Sistemi Aeromobili a Pilotaggio, sia ad ala fissa sia ad ala rotante, con differenti caratteristiche e prestazioni di volo.

L'AGRI-1900 (Figura 1) è un SAPR ad ala fissa. Questa configurazione ha una buona efficienza aerodinamica che si traduce in una maggiore autonomia di volo (autonomie tipiche 30 ÷ 45 min). Poiché le velocità di crociera sono rilevanti (12 ÷ 15 m/s – 43 ÷ 54 km/h), si riescono a ricoprire superfici di notevoli dimensioni in minor tempo (estensioni massime con un singolo volo: 25 ÷ 50 ha). La centralina di volo coadiuva il pilota, garantendo un'ottima stabilità e facilità di pilotaggio. Il principale svantaggio dell'utilizzo di questa configurazione è la necessita di ampi spazi per il decollo, ma soprattutto per l'atterraggio. Inoltre, volando a quote elevate (100 ÷ 150 m), la risoluzione del dato acquisito è minore. I SAPR ad ala fissa restituiscono quindi la massima rappresentatività dello scenario in indagine, ma con una minor livello di dettaglio.



Figura 1 – SAPR AGRI-1900



Figura 2 – SAPR Q4E

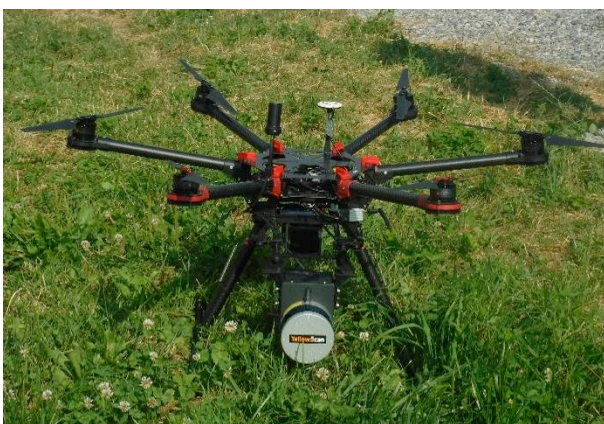


Figura 3 – SAPR DJI S900



Figura 4 – SAPR DJI SPARK

I SAPR ad ala rotante hanno il vantaggio di poter decollare e atterrare in spazi ristretti, nonché la capacità di volare a punto fisso (*hovering*). Rispetto ai SAPR ad ala fissa, a parità di peso massimo al decollo (MTOM) hanno una maggiore capacità di carico (payload). Volando a basse quote (30 ÷ 70 m), la risoluzione

del dato acquisito è maggiore. I SAPR ad ala rotante forniscono quindi il massimo livello di dettaglio, ma con minore rappresentatività del territorio sorvolato. Il principale svantaggio nell'utilizzo di questa tipologia di configurazione risiede nella minor autonomia di volo (autonomie tipiche 15 ÷ 20 min) che, unite a minori velocità di rilievo (velocità tipiche 3 ÷ 5 m/s), comportano una minor capacità di monitoraggio (superfici rilevate meno estese, estensioni tipiche con un singolo volo: 2 ÷ 5 ha).

Il SAPR Q4E (Figura 2) è stato progettato e realizzato da Mavtech appositamente per questo progetto. Il SAPR DJI S900 (Figura 3) è stato modificato da Mavtech per imbarcare il sensore LiDAR e per migliorare le sue caratteristiche di volo, riducendo le vibrazioni trasmesse al sensore. Il SAPR DJI SPARK (Figura 4) è stato modificato da Mavtech per farlo rientrare nella categoria dei SAPR inoffensivi sotto i 300 g di peso (ENAC, 2018). Con questo SAPR è possibile operare anche in prossimità di centri abitati e infrastrutture sensibili (ferrovie e autostrade), senza autorizzazioni specifiche.

Nella tabella sottostante sono riportate le principali caratteristiche dei 4 SAPR sviluppati e i sensori che possono essere impiegati sulle piattaforme aeree.

Tabella 1 – Caratteristiche dei SAPR impiegati nel progetto WEQUAL e sensori imbarcabili

	Mavtech AGRI-1900	Mavtech Q4E	DJI S900	DJI Spark
Configurazione	Ala fissa	Ala rotante (quadricottero)	Ala rotante (Esacottero)	Ala rotante (quadricottero)
MTOM [kg]	2.8	3.5	8.2	0.3
Distanza motore-motore [m]	-	0.590	0.900	0.17
Apertura alare [m]	1.90	-	-	-
Autonomia [min]	45	20÷25	15	15
Velocità di crociera [m/s]	12	6	3	2÷5
Superficie per missione	40	4	5	-
Sensori imbarcabili	Fotocamera, sensore multispettrale	Fotocamera, sensore multispettrale	LiDAR	Videocamera integrata

Sensori utilizzati

Il sensore fotografico utilizzato è la fotocamera Sony, modello RX-100. Ha un risoluzione di 20.1 MP con zoom ottico 3x. Per i rilievi fotogrammetrici la lunghezza focale rimane fissa alla lunghezza minore (8.8 mm). Le immagini sono così acquisite con il più grande angolo visivo della fotocamera, massimizzando l'impronta a terra.

Il sensore multispettrale impiegato nei rilievi è la Micasense RedEdge. È dotato di 5 ottiche con corrispondenti sensori, in grado di realizzare misure di riflettanza nelle lunghezze d'onda del BLUE, GREEN, RED, REDEGE e NIR. Il

Il sensore scatta in contemporanea 5 immagini ad una risoluzione di 1 MP e grazie al GPS a cui si collega la camera, su ogni immagine viene registrata la posizione dello scatto, dato molto utile nella prima fase di mosaicatura delle immagini. Rispetto a una camera modificata, la RedEdge è dotata di filtri a banda stretta (*Narrow filter*) che hanno una maggiore sensibilità dei filtri a banda più larga, catturando i segmenti più rilevanti della curva spettrale. Questa caratteristica fa sì che la camera sia in grado di acquisire con maggior qualità le firme spettrali.

Per i due precedenti sensori, a seconda della quota di volo varia la risoluzione a terra ottenibile nel rilievo. Nella tabella seguente il confronto tra le due camere.

Tabella 2 – Risoluzione a terra (GSD) per differenti quote di volo del sensore fotografico e multispettrale

Quota di volo	Sony RX-100	Micasense RedEdge
	GSD [cm/pixel]	GSD [cm/pixel]
50	1.4	3.4
70	1.9	4.8
120	3.3	8.2
150	4.1	10.2

Il sensore LiDAR è uno strumento utilizzato per ottenere il modello tridimensionale del terreno sorvolato. Sfrutta la tecnica del *Light Detection and Ranging*, ovvero è in grado di determinare la distanza rispetto a un oggetto o superficie attraverso un impulso laser. Combinando questo dato con le informazioni della traiettoria e dell’assetto del sensore, acquisite da una piattaforma GPS-inerziale ad elevate prestazioni, con correzione PPK (Post Processing Kinematic), è possibile ottenere accuratamente il modello 3D (nuvola di punti) del territorio. Il LiDAR utilizzato è il modello Yellowscan Surveyor. Questo sensore è in grado di registrare due echi di ritorno dell’impulso laser proiettato. Ciò consente, nel caso di sorvolo di aree vegetate, di cogliere sia l’altezza del primo strato della vegetazione (primo eco di ritorno) sia il terreno sottostante (secondo eco). A seconda della quota di volo e della velocità di avanzamento del sensore possono essere acquisiti più o meno punti (Figura 5). I rilievi svolti nell’ambito del progetto hanno una densità di punti non inferiore ai 100 punti/m².

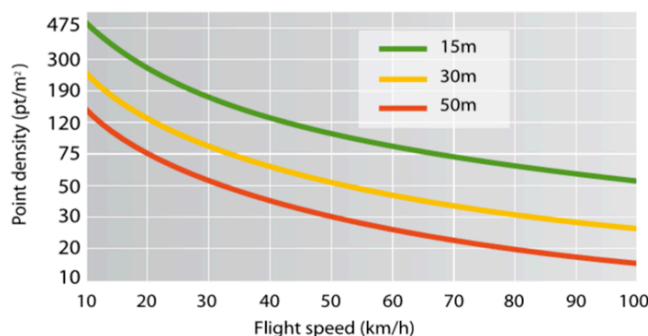


Figura 5 – Densità di punti per quota e velocità di volo (Yellowscan, 2018)

Pianificazione della missione di volo

Per la pianificazione della missione viene utilizzato il software Mission Planner (Mission Planner, 2018). Viene disegnato un poligono sull'area da rilevare e, impostando il sensore da utilizzare (fotocamera, sensore multispettrale), la velocità di crociera, l'altezza di volo e la percentuale di sovrapposizione, il software genera automaticamente il piano di volo, costituito da una sequenza di *waypoint*. La Figura 6 mostra un esempio di rilievo per il SAPR Q4E. Per il rilievo con la piattaforma ad ala fissa occorre inoltre impostare il piano di volo in modo che al termine della virata, il velivolo rientri all'interno del poligono da rilevare in assetto livellato. La traiettoria di uscita viene prolungata rispetto al bordo del poligono per favorire il ritorno con l'assetto corretto. Un esempio di piano di volo per velivolo ad ala fissa è riportato in Figura 7



Figura 6 – Esempio di piano di volo per il SAPR Q4E

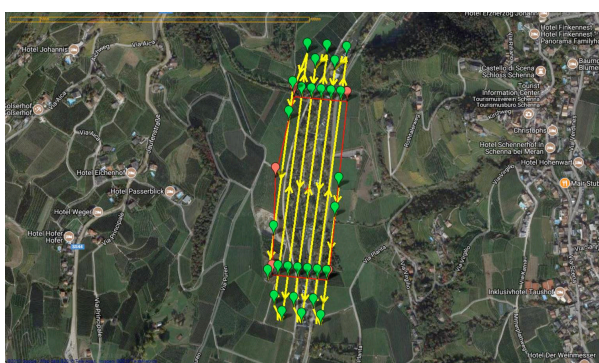


Figura 7 – Esempio di piano di volo per il SAPR AGRI-1900

Tipicamente la quota di volo del velivolo viene impostata ad altitudine costante. Nel caso di rilievo in pendenza è consigliato avere un piano di volo ad altezza dal terreno costante, per mantenere la stessa risoluzione su tutto il sito. Per far ciò occorre abilitare l'opzione *Verify Height*, attraverso la quale vengono utilizzati i dati di elevazione del terreno sorvolato per impostare la quota dei *waypoint* alla corretta distanza dal terreno. I dati di elevazione provengono dai database di elevazione pubblici, tra i quali Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), ASTER GLOBAL DEM. Questi modelli digitali hanno delle risoluzioni variabili tra 10 m e 30 m (Rusli, N., 2014).

La Figura 8 e la Figura 9 mostrano le posizioni delle camere (pallino verde) rispettivamente per i due piani di volo ad altitudine costante e ad altezza costante. Come si può notare nel secondo caso la traiettoria del SAPR segue la pendenza del terreno sorvolato.

Nella Figura 10 e nella Figura 11 è mostrato uno stesso particolare di un'area oggetto di studio, ottenuto il primo con un piano di volo ad altitudine costante ed il secondo con un piano di volo ad altezza costante. Nel secondo caso la risoluzione dell'elaborato risulta migliore.

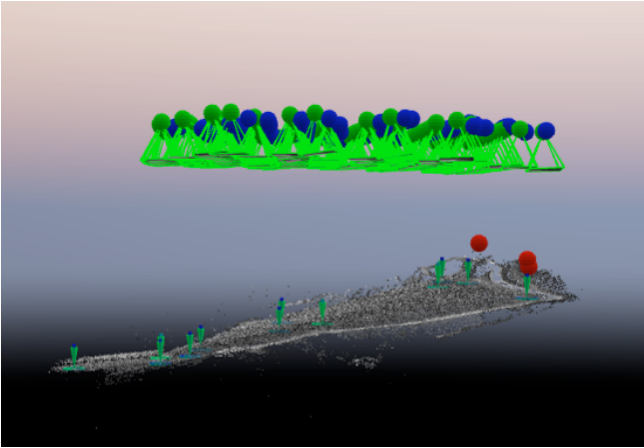


Figura 8 – Esempio di piano di volo ad altitudine costante

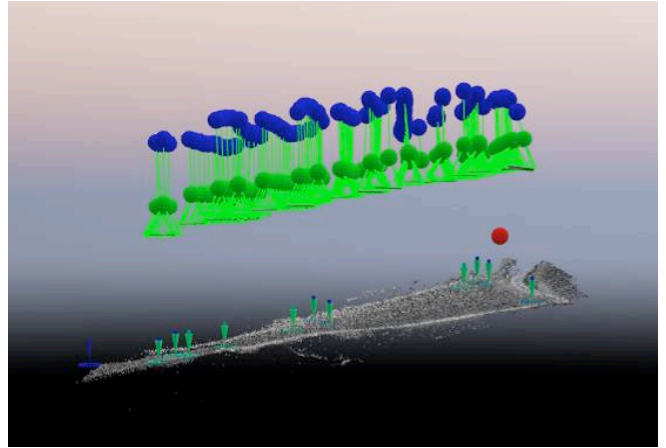


Figura 9 – Esempio di piano di volo ad altezza costante

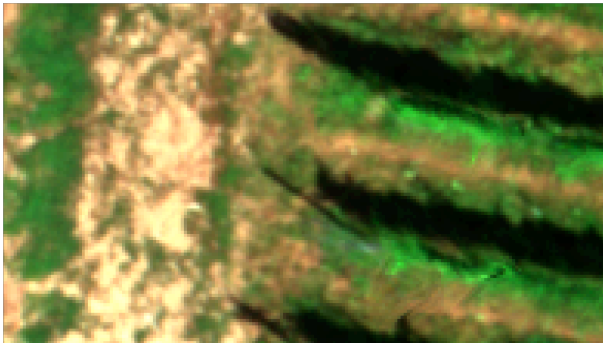


Figura 10 – Particolare di restituzione con volo ad altitudine costante

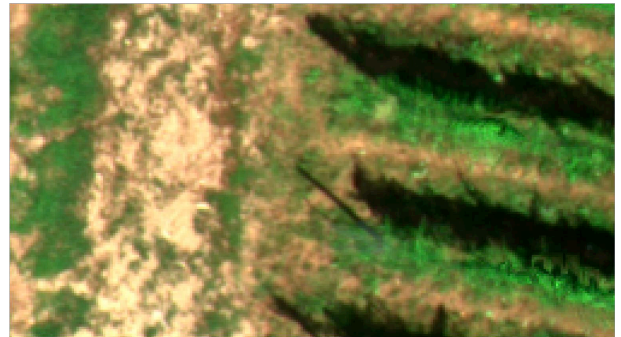


Figura 11 – Particolare di restituzione con volo ad altezza costante

I rilievi con LiDAR vengono svolti in due missioni di volo differenti. La prima consiste nell'effettuare un passaggio sopra le sponde dell'area in esame, ad un'altezza di 50 m rispetto al terreno (Figura 12). La seconda consiste in un passaggio sull'alveo del fiume ad un'altezza di volo di 30 m (Figura 13). Entrambe le missioni sono svolte con una velocità di avanzamento costante di 3 m/s.



Figura 12 – Piano di volo con LiDAR, rilievo sulle sponde

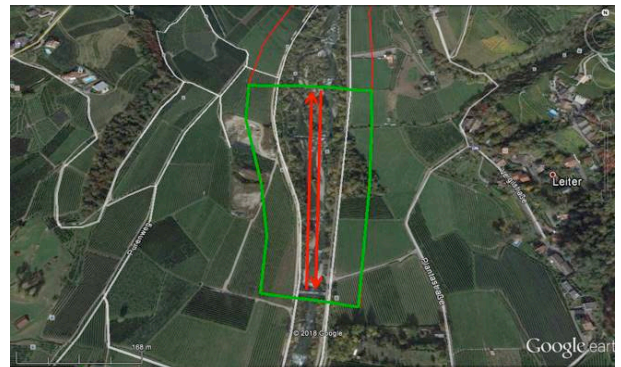


Figura 13 – Piano di volo con LiDAR, rilievo sulla linea d'asse

Tempi di realizzazione di un rilievo completo

Nell’ottica di fornire un servizio di rilievo, al fine di mettere a punto le metodologie di ricognizione, sono state definite le singole attività da svolgere in sequenza e quantificate le loro tempistiche (in minuti) per determinare l’impegno temporale necessario a completare le missioni di volo per ogni singolo piattaforma aerea e sensore.

La Figura 14 mostra come impattano percentualmente le singole attività per le diverse piattaforme aeree e combinazioni di sensori. Si può notare come per il rilievo con LiDAR, l’impatto dello scaricamento dei dati e della loro verifica è percentualmente uguale all’esecuzione del rilievo e alle attività di allestimento e ritiro del SAPR. La piattaforma ad ala fissa, invece, avendo un’autonomia di volo maggiore, è maggiormente impiegata percentualmente nell’esecuzione della missione di volo, rispetto alle altre attività e rispetto alle attività di volo delle altre piattaforme.

Processi		S900-LiDAR	AGRI-RedEdge	AGRI-RX100	Q4E-RedEdge	Q4E-RX100	Spark
Allestimento SAPR e sensore	[%]	23%	14%	14%	17%	18%	14%
Generazione piano di volo in Mission Planner	[%]	8%	7%	7%	8%	9%	14%
Invio piano di volo al SAPR	[%]	3%	3%	3%	3%	4%	-
Controlli pre-volo SAPR e sensore	[%]	8%	7%	3%	8%	4%	5%
Decollo	[%]	2%	3%	3%	2%	2%	3%
Calibrazione IMU	[%]	3%	-	-	-	-	-
Esecuzione missione di volo	[%]	15%	41%	42%	30%	32%	27%
Atterraggio	[%]	3%	3%	3%	2%	2%	3%
Scaricamento dati e verifica corretta acquisizione	[%]	15%	7%	7%	8%	9%	14%
Sostituzione batteria	[%]	5%	4%	4%	5%	5%	8%
Ritiro SAPR e sensore	[%]	15%	14%	14%	17%	18%	14%

Figura 14 – Impatto percentuale dei singoli processi per una missione di ricognizione con SAPR

Per quanto riguarda invece la stima delle tempistiche per completare un rilievo intero si riporta l’esempio del sito del fiume Passirio, presso il comune di Scena (Bz).

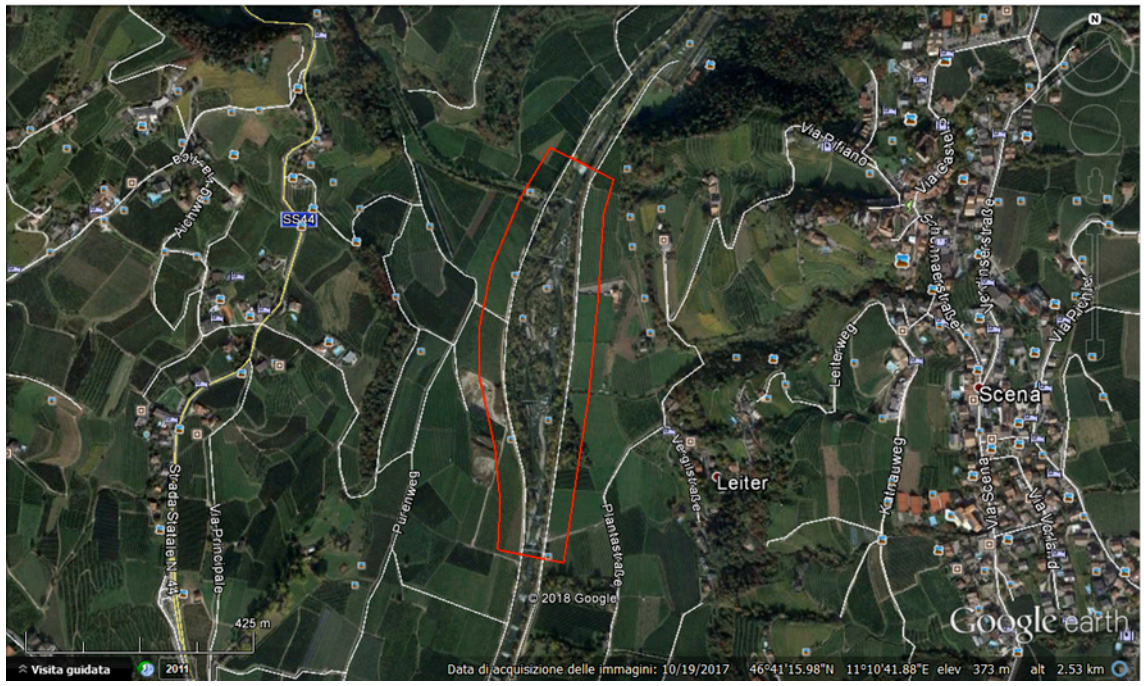


Figura 15 – Sito fiume Passirio. Il poligono delimita l’area oggetto del rilievo

Il sito ha un'estensione di circa 18 ha. In base all'autonomia di volo del vettore aereo, l'area di indagine è stata suddivisa in sottoaree, per poter completare le missioni entro l'autonomia oraria massima di volo del SAPR. Ne consegue che per il rilievo LiDAR, così come per il rilievo con il SAPR ultraleggero, il sito è stato suddiviso in due sottoaree, mentre per il rilievo con la piattaforma multirotorica Q4E, è stato necessario suddividere il sito in 3 sottoaree. La piattaforma ad ala fissa è invece in grado di coprire l'area di studio in un unico volo. Sono dunque necessarie:

- 4 missioni di volo con multirottore e sensore LiDAR
- 3 missioni di volo con multirottore e sensore fotografico
- 3 missioni di volo con multirottore e sensore multispettrale
- 1 missione di volo con ala fissa e sensore fotografico
- 1 missione di volo con ala fissa e sensore multispettrale
- 2 missioni di volo con SAPR ultraleggero per riprese video

Oltre all'attività di volo bisogna aggiungere il tempo necessario (circa 2 ore vista l'estensione dell'area) per acquisire i punti di controllo a terra, indispensabili per migliorare la precisione degli elaborati ottenuti dai rilievi fotogrammetrici.

Si è stimato dunque che per poter rilevare il sito sono necessari 2 giorni di rilievo.

Conclusioni

Sono state presentate le piattaforme SAPR sviluppate nel progetto WEQUAL, descrivendo le loro caratteristiche peculiari e confrontando tra di loro le differenti configurazioni. Sono stati descritte le strategie di pianificazione delle missioni di volo e stimate le tempistiche di rilevamento completo di un sito.

I dati acquisiti dai SAPR saranno utilizzati come input per i metodi di valutazione della qualità ambientale in fase di sviluppo nel progetto WEQUAL.

Sviluppi futuri riguarderanno lo studio del livello di risoluzione minimo necessario per i metodi di valutazione. Se la risoluzione dei dati ottenuti dal rilievo con SAPR ad ala fissa risultasse sufficiente, ciò ridurrebbe drasticamente i tempi (ed i costi) di rilievo per il sito oggetto di studio. Si valuteranno inoltre anche nuove soluzioni tecnologiche per ridurre le tempistiche di acquisizione dei punti di controllo a terra.

Riferimenti bibliografici

ENAC (2018), Regolamento "Mezzi Aerei a Pilotaggio Remoto" – Edizione 2, Emendamento 4.

Mission Planner (2018), <http://ardupilot.org/planner/>

Yellowscan (2018), <https://www.yellowscan-lidar.com/>

Rusli, N., Majid, M, Md Din, A. (2014). "Google Earth's derived digital elevation model: A comparative assessment with Aster and SRTM data". IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 18. 10.1088/1755-1315/18/1/012065.