

Stima e validazione delle prestazioni di un Sistema Aeromobile a Pilotaggio Remoto in Agricoltura di Precisione

Gianluca Ristorto (*), Fabrizio Mazzetto (**),
Giorgio Guglieri (***), Fulvia Quagliotti (****)

- (*) Libera Università di Bolzano, Piazza Università, 5 – 39100 Bolzano, tel, +39 0471 017667
e-mail, gianluca.ristorto@unibz.it
- (**) Libera Università di Bolzano, Piazza Università, 5 – 39100 Bolzano, tel, +39 0471 017180
e-mail, fabrizio.mazzetto@unibz.it
- (***) Politecnico di Torino, Corso Duca degli Abruzzi, 24 – 10128 Torino, tel, +39 011 0906860
e-mail, giorgio.guglieri@polito.it
- (****) Politecnico di Torino, Corso Duca degli Abruzzi, 24 – 10128 Torino, tel, +39 011 0906819
e-mail, fulvia.quagliotti@polito.it

Riassunto

I Sistemi Aeromobili a Pilotaggio Remoto (SAPR), comunemente conosciuti come “droni”, risultano molto promettenti in applicazioni di monitoraggio ambientale. La loro flessibilità, facilità di operazione e basso costo di costruzione fanno di loro i migliori candidati per le attività di monitoraggio in agricoltura di precisione, dove rapide decisioni in merito a malattie delle piante, mancanza di nutrienti e cambiamenti ambientali sono di importanza determinante nell’efficienza e produttività di un’azienda agricola.

In questo lavoro vengono presentati i risultati di un’analisi delle prestazioni delle capacità di monitoraggio di un SAPR, in termini di capacità di lavoro (ha/giorno) e una stima dei relativi costi di gestione (€/ha). Questa analisi tiene conto della Normativa Italiana in vigore per questi tipi di aeromobili, che pone delle limitazioni alle condizioni operative di volo spesso trascurate in fase di pianificazione, e di due differenti tipi di sensori commerciali. Inoltre, vengono mostrati i risultati dei test preliminari per validare l’analisi prestazionale e valutare la ripetibilità del sistema in termini di percorso di volo e letture dei sensori.

Abstract

Remotely Piloted Aircraft Systems (RPAS), commonly known as “drones”, are very promising in monitoring application. Their flexibility, ease of operation and relative low-cost make them the best candidates for monitoring activity in precision farming, where prompt reactions to plant disease, lack of plants nutrients and environmental changes are the focal point to farm efficiency and productivity.

In this paper, we shown the results of an analysis of monitoring performances and cost estimation of an Unmanned Aerial Systems, in terms of monitored surface (ha/day) and cost management (€/ha). This analysis takes into account the Italian regulatory prescriptions and the investigation of two different kind of commercial sensors. Furthermore, results of preliminary tests are shown to validate the monitoring performances and evaluate the repeatability of the flight pattern and sensor measurements.

Introduzione

Il presente lavoro fa parte delle attività del progetto SMILE (*SisteMa a pIlotaggio remoto per il supporto all’agricoltura di precisionE*), finanziato dalla Provincia Autonoma di Bolzano. Lo scopo di questo progetto è lo sviluppo di un sistema di monitoraggio ad elevata automazione basato su Sistemi Aeromobili a Pilotaggio Remoto (SAPR), sia ad ala fissa sia ad ala rotante (configurazione

multi-rotorica), quale supporto ai metodi dell'Agricoltura di Precisione (AP) di interesse per agricoltori e ricercatori agronomi.

Le tecniche dell'agricoltura di precisione includono anche la possibilità di automatizzare il più possibile l'esecuzione delle attività di monitoraggio (scouting), attraverso l'applicazione di tecnologie in grado di migliorare la capacità di osservazione e misurazione della variabilità della coltura sia all'interno di un appezzamento sia all'interno di appezzamenti differenti. L'applicazione delle metodologie dell'AP permette di agire in maniera differenziata in ciascuna di queste partizioni, in accordo con un approccio sito-specifico, in funzione dei fabbisogni reali. Da un punto di vista gestionale, l'AP può essere definita come una strategia di gestione che utilizza tecnologie informatiche per raccogliere dati da molteplici sorgenti, gestisce questi dati per ottenere informazioni e utilizzare queste informazioni nei processi decisionali delle attività produttive dei terreni agricoli (Mazzetto, 2005).

Il programma di ricerca coinvolge tre fattori chiave: i) il SAPR, ii) i sensori e iii) gli utenti finali. I Sistemi Aeromobili a Pilotaggio Remoto (SAPR) sono stati enormemente sviluppati negli ultimi anni, in special modo per poter essere utilizzati in applicazioni civili, come ad esempio agricoltura, monitoraggio del traffico, prevenzione di incendi e disastri ambientali, ricerca e soccorso, ricerca ambientale, monitoraggio ambientale (inquinamento), monitoraggio del patrimonio artistico e fotografia aerea in generale.

Alla fine di Aprile 2014 è entrato in vigore il regolamento per gli Aeromobili a Pilotaggio Remoto (APR) di massa massima al decollo (MTOM: *Maximum Take-Off Mass*) inferiore ai 150 kg di peso. Con questo Regolamento, l'Ente Nazionale per l'Aviazione Civile (ENAC) ha stabilito una serie di regole per garantire lo svolgimento in sicurezza delle operazioni con i SAPR e incoraggiare lo sviluppo di questi tipi di aeromobili. Il Regolamento distingue gli APR con MTOM uguale o maggiore a 25 kg e APR con MTOM inferiore a 25 kg. Per questi ultimi sono previste delle procedure semplificate se le operazioni sono di tipo non critico, definite in (ENAC, 2013). Le operazioni non critiche sono quelle operazioni svolte in aree tali per cui, in caso di impatto al suolo dell'APR, non si verificano incidenti gravi o mortali alle persone a terra o gravi danni a terze parti al suolo (edifici, infrastrutture, ecc.). Perciò, le operazioni di monitoraggio svolte su tipiche colture estensive sono di tipo non critico. Inoltre, devono essere eseguite procedure di controllo pre e post-volo, obbligatorie da regolamento, per assicurare il livello appropriato di sicurezza delle operazioni. Devono essere svolte da un pilota certificato che esegue le procedure descritte nel manuale delle operazioni per garantire la sicurezza del volo.

Molte applicazioni in agricoltura e nel monitoraggio ambientale coinvolgono i SAPR. Esempi di queste missioni sono mostrate in (Chao et al., 2009) e (Vroegindeweij et al., 2014), incluso il monitoraggio del terreno e delle acque, monitoraggio delle aree fluviali e raccolta dati da remoto. Un sensore multibanda ad elevata risoluzione è stato imbarcato su un APR ad ala rotante per il rilevamento di malattie in alberi di limoni (Garcia-Ruiz et al., 2012). Un elicottero pilotato da remoto con una piattaforma di telerilevamento (o *remote sensing*) a bassa quota (LARS: Low-Altitude Remote Sensing) è stato utilizzato per acquisire immagini ad elevata qualità in termini di risoluzione spaziale e temporale, per stimare il raccolto e la quantità di biomassa presente in una risaia (Swain et al., 2010).

Per identificare lo stato di salute della vegetazione, negli ultimi decenni sono stati sviluppati numerosi Indici Vegetativi (IV). In letteratura (Agapiou et al., 2012) se ne possono contare fino a 71. Generalmente utilizzano una combinazione algebrica della quantità di radiazione elettromagnetica riflessa a differenti lunghezze d'onda. Tipicamente, questi IV sono utili in scopi gestionali quando mostrano una significativa correlazione con la concentrazione di clorofilla (Eitel et al., 2010). Le tipiche applicazioni di telerilevamento forniscono mappe tematiche di tipo top-view, ma sono state anche ottenute viste laterali in frutteti, utilizzando dei trattori equipaggiati con sensori posizionati lateralmente (Mazzetto et al., 2010), con la possibilità di integrare il monitoraggio operativo su piattaforme client-server (Mazzetto et al., 2009).

Si distinguono due tipi di sensori in grado di misurare le radiazioni elettromagnetiche riflesse: sensori attivi e sensori passivi. I sensori attivi generano la radiazione elettromagnetica che raggiunge la coltura e ritorna indietro a ricevitori dedicati per misurare la frazione di energia riflessa. Questi sensori hanno un limitato campo operativo (tipicamente non superiore ai 2 metri), perché l'intensità dell'onda decresce con il quadrato della distanza. Perciò, l'intensità della radiazione riflessa si attenua molto rapidamente. Questi sensori operano indipendentemente dalle condizioni di luce ambientale e non richiedono una ricalibrazione dopo ogni lettura.

I sensori passivi utilizzano il sole come sorgente di radiazione elettromagnetica. Questa soluzione elimina il bisogno di emettitori autonomi ed estende il loro campo operativo. Le misure di questi tipi di sensori sono fortemente influenzate dalle condizioni meteorologiche, posizione del sole e variazioni di luce stagionali. Ogni raccolta di dati necessita una ricalibrazione ed un lungo post processing.

Questo progetto è nato per monitorare risaie. Per la loro notevole estensione (un bacino di una risaia può raggiungere facilmente i 5-10 ha), i SAPR possono monitorare superfici molto più estese rispetto ai trattori. Inoltre, l'applicazione delle metodologie della AP aumenta la resa (incremento sito-specifico del 20-30%). In accordo all'approccio sito-specifico della AP, i dosaggi sono automaticamente differenziati, riducendo la quantità di fertilizzante in quelle aree già produttive, perciò riducendo il rischio di malattie del riso e inutile spreco di risorse.

Lo scopo di questo lavoro è di analizzare le prestazioni di monitoraggio di un SAPR di tipo multirotore, in termini di capacità di monitoraggio (ha al giorno). L'analisi tiene conto del Regolamento italiano per questi tipi di aeromobili e vengono investigati due tipi di sensori commerciali. Una stima dei costi è stata inoltre eseguita in termini di attività di monitoraggio (€ all'ettaro). Questo lavoro è organizzato nel seguente modo. La sezione II presenta il multirotore considerato nell'analisi. Due differenti tipi di sensori sono illustrati nella sezione III. La sezione IV descrive le strategie utilizzate per valutare la capacità di monitoraggio e i costi del sistema. Questa sezione presenta inoltre i risultati. Infine, vengono analizzati i risultati ottenuti e descritti i lavori futuri.

II SAPR



Figura 1 - Il Q4P-Rotor.

Il SAPR considerato in questo lavoro è il Q4P-Rotor (Figura 1), sviluppato dall'azienda MAVTech s.r.l. (www.mavtech.eu). Esso è un multirotore caratterizzato da quattro bracci e quattro rotori. I quattro bracci sono ripiegabili per facilitarne il trasporto. Ha un peso massimo al decollo di 7.5 kg, con 2 kg di payload massimo. L'autonomia di volo raggiunge i 40 min. Il punto di forza del Q4P-Rotor è costituito dall'autopilota Pixhawk della 3DRobotics (www.3drobotics.com). Pixhawk è un

autopilota di tipo *Open Source* il cui firmware è stato modificato per ottenere un volo radente (altezza di volo inferiore ai 2 metri) in modalità automatica, utilizzando un laser ad alta precisione per misurare la quota. Questa modalità di volo è necessaria per uno dei due tipi di sensori (sensore attivo) utilizzato in questa applicazione.

I sensori

Il sensore attivo considerato è OptRx® dell'azienda AG Leader (www.agleader.com). Questo sensore fornisce immediatamente l'indice vegetativo richiesto. Un data logger elabora i dati acquisiti dal sensore OptRx® e associa queste letture al GPS RTK a bordo del multirottore per creare la mappa georeferenziata. La Tabella 1 mostra le sue caratteristiche principali.

Tabella 1 - Dati principali sensore OptRx®.

IV acquisiti	Altezza dalla coltura	Campo di visione	Peso	Costo
[-]	[m]	[deg]	[g]	[€]
NDVI, NDRE	0.25 ÷ 2	45 ÷ 10	430	~ 3000

Il sensore passivo considerato è lo Ximea Hyperspectral Line Scanner (www.ximea.com). Questo sensore iperspettrale fornisce un'enorme quantità di dati (~ 360 Mb/s). Il campo di visione dipende dalla lunghezza focale dell'ottica. Nella seguente tabella sono mostrate le sue caratteristiche.

Tabella 2 - Dati principali sensore Ximea Hyperspectral Line Scanner.

Campo spettrale	Risoluzione spettrale	Peso	Risoluzione	Costo
[nm]	[nm]	[g]	[Pixel]	[€]
A: 600 ÷ 1000 B: 470 ÷ 900	10 ÷ 15	27 (solo la camera)	2048x1088	9975 (solo la camera) 14955 (starter kit)

Prestazioni di monitoraggio e stima dei costi

Pattern di volo

È stato ipotizzato di monitorare una parcella di una risaia di forma rettangolare. La Figura 4 mostra l'area monitorata ed il piano di volo. La distanza (*D*) percorsa in volo necessaria per coprire l'intera parcella è calcolata come

$$D = (b / h) \cdot a + b + a \quad [1]$$

Dove *a* è l'altezza del rettangolo, *b* è la base del rettangolo e *h* è l'ampiezza di griglia.

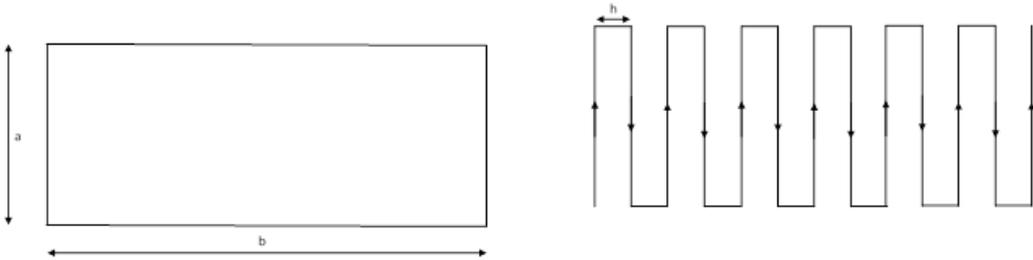


Figura 2 - Superficie monitorata e piano di volo.

L'ampiezza di griglia dipende dal tipo di sensore utilizzato per il monitoraggio. Per l'OptRx® l'ampiezza è imposta pari a 10 m come per i trattori. I dati acquisiti non sono sovrapposti, perciò è necessario eseguire un'interpolazione geostatistica per ottenere le misure sull'intero appezzamento. Per il sensore Ximea, le immagini acquisite devono essere sovrapposte. Considerando il volo ad un'altezza dal suolo di 40 m, l'ampiezza del campo visivo è di 45 m. In accordo con (Colomina et al., 2014) la percentuale di sovrapposizione delle immagini deve essere del 60 %. Perciò l'ampiezza di griglia è impostata pari a 18 m. La Tabella 3 sottostante mostra i parametri utilizzati per valutare il piano di volo.

Tabella 3 - Parametri del piano di volo per i due sensori considerati.

Sensore	Campo di visione	Altezza di volo	Ampiezza di griglia	Velocità di volo
[-]	[m]	[m AGL ¹]	[m]	[m/s]
OptRx®	1.24	1.5	10	3 ÷ 4
Ximea Hyperspectral Line Scanner	45	40	18	3 ÷ 4 Fino a 7 ÷ 8

Sono state considerate una parcella di risaia di 1 ettaro (rapporto b/a = 1) e un caso più realistico di 5 ettari (b/a = 1.5). Per calcolare il tempo necessario a sorvolare la risaia abbiamo considerato sei velocità di volo: V = {1, 2, 3, 4, 5, 6} [m/s].

La Tabella 4 mostra il tempo di volo necessario per sorvolare un campo di riso di 1 ettaro. Il caso di un campo di riso realistico di 5 ettari risulta essere molto più interessante (Tabella 5).

Tabella 4 - Tempi di volo per un campo quadrato di 1 ettaro.

Flight Speed	OptRx®			Ximea Hyperspectral Line Scanner		
	h	D	Flight Time	h	D	Flight Time
[m/s]	[m]	[m]	[min]	[m]	[m]	[min]
1	10	1200	20	18	755	12.6
2			10			6.3
3			6.7			4.2
4			5			3.1
5			4			2.5
6			3.3			2.1

¹ AGL: Above Ground Level

Tabella 5 - Tempi di volo per un campo rettangolare di 5 ettari.

Flight Speed	OptRx®			Ximea Hyperspectral Line Scanner		
	h	D	Flight Time	h	D	Flight Time
[m/s]	[m]	[m]	[min]	[m]	[m]	[min]
1	10	5456	90.9	18	3234	53.9
2			45.5			27
3			30.3			18.0
4			22.7			13.5
5			18.2			10.8
6			15.2			9.0

Per la configurazione OptRx®, le velocità di 1 m/s e 2 m/s non sono percorribili perché i tempi di volo superano l'autonomia del Q4P-Rotor. Velocità di 5 m/s e 6 m/s potrebbero non essere fattibili poiché il volo avviene ad altezze veramente molto basse (al di sotto dei 2 metri dal suolo). In caso di emergenza, il pilota non ha il tempo necessario per reagire e prendere il controllo del multirottore. Per la configurazione Ximea, solo la velocità di 1 m/s non è percorribile perché il tempo di volo supera l'autonomia massima. Consideriamo anche in questo caso le velocità di 3 m/s e 4 m/s per confrontare le 2 configurazioni.

Validazione con test di volo

Sono stati svolti una serie di test preliminari per assicurare la ripetibilità del pattern di volo e le misure del sensore, validare il tempo di volo atteso e valutare le prestazioni in volo radente. In Aprile 2015 sono stati eseguiti tre test con lo stesso piano di volo. L'area sorvolata è un campo di orzo di 1 ettaro (60 x 170 m). Il primo ed il secondo test sono stati eseguiti ad una velocità di 3 m/s, rispettivamente con un tempo di 7.0 e 6.9 min. Il terzo volo è stato eseguito ad una velocità di volo inferiore, 2.75 m/s, ottenendo un tempo di volo di 7.5 min. La Figura 3 mostra il percorso di volo eseguito dal multirottore per i tre test.



Figura 3 - Percorso di volo effettivo del multi rotore (dati mappa: Google, Digital Globe).

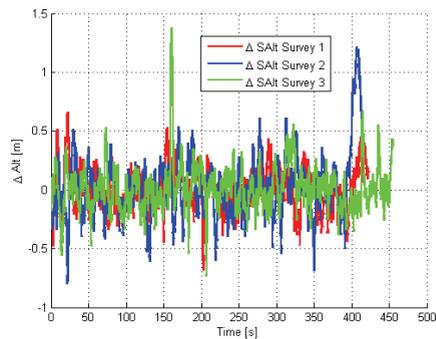


Figura 4 - Errore di quota.

L'errore di quota è illustrato in Figura 4 e rimane limitato entro i 0.5 m, con un picco oltre 1.5 m. Questo picco è posizionato subito prima di una fase di virata. Per migliorare l'errore di quota, un tracciato con curve più arrotondate verrà considerato ed ulteriormente investigato.

La Figura 5 mostra le mappe di vigore NDVI ottenute durante questi test preliminari con il sensore OptRx®. Le zone in azzurro hanno un maggior vigore (indice NDVI più alto) rispetto alle zone in verde. Ciò è dovuto al fatto che durante la concimazione vi è stato un errore di sovrapposizione nelle passate del fattore produttivo in corrispondenza delle zone azzurre.

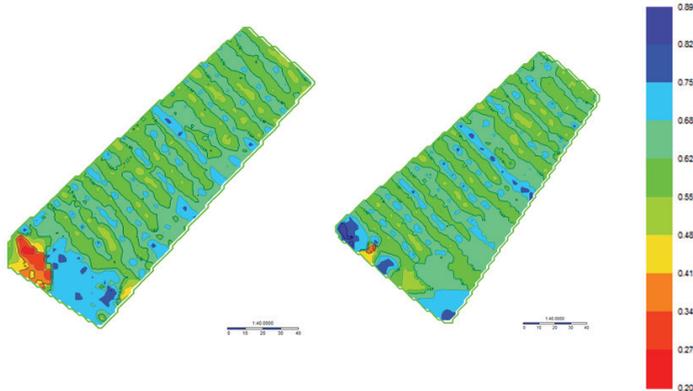


Figura 5 - Validazione ripetibilità delle misure – Mappa di vigore NDVI.

Interessanti anche i risultati ottenuti nei test successivi (Figura 6) di Luglio 2015 presso l'Ente Risi di Castello d'Agogna (PV). Al termine dei rilievi sono stati raccolti diversi campioni delle parcelle per essere analizzati. I risultati delle analisi saranno disponibili entro la fine di Settembre 2015. Verrà verificata la correlazione tra i dati acquisiti e l'effettivo stato vegetativo della coltura.

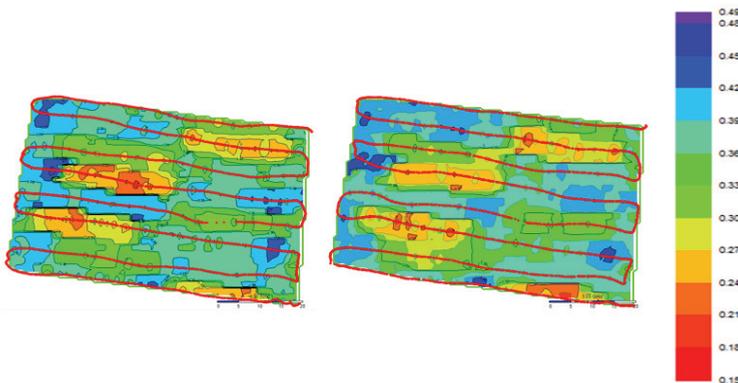


Figura 6 - Validazione ripetibilità delle misure – Mappa di vigore NDRE.

Sempre nel mese di Luglio sono stati eseguiti dei rilievi presso l'Azienda Palestro di Olcenengo (VC), in cui sono stati monitorati oltre 20 ettari di risaia in una giornata.

Procedure temporali

Le prestazioni di monitoraggio per il sistema sono state calcolate considerando l'APR come ogni altra macchina agricola. Sono stati identificati sei moduli da eseguire per portare a termine l'intera attività di monitoraggio, dall'accesso della parcella fino all'uscita dalla parcella stessa. Per ogni modulo è stato ipotizzato un certo tempo di completamento della procedura come indicato in Tabella 7.

Tabella 6 - Stima dei tempi per le procedure.

Modulo		OptRx®	Ximea Hyperspectral Line Scanner
Accesso alla parcella e ispezione	[min]	5	5
Preparazione del velivolo	[min]	15	15
Impostazione missione di volo	[min]	10	15
Modulo di volo	[min]	5 + Tempo di volo	5 + Tempo di volo
Ritiro del velivolo	[min]	7	10
Uscita dalla parcella	[min]	3	3

Il tempo per ogni modulo di volo dipende anche dal tempo di volo della sola fase di monitoraggio, cioè dipende dalla quantità di ettari che deve essere monitorata.

L'impostazione della missione per il sensore Ximea è più oneroso in termini di tempo rispetto al sensore OptRx® per la necessità di ricalibrare il sensore prima di ogni missione. La ricalibrazione del sensore assicura la corretta acquisizione dei dati.

Sono state considerati una giornata lavorativa di 8 ore e il monitoraggio di appezzamenti di 5 ettari per ogni missione di volo. La Tabella 8 mostra il numero di missioni che possono essere svolte al giorno, l'ammontare dell'area monitorata al giorno e all'ora.

Tabella 7 - Prestazioni di monitoraggio.

Velocità di volo	OptRx®			Ximea Hyperspectral Line Scanner		
	Missioni al giorno	Superficie al giorno	Superficie all'ora	Missioni al giorno	Superficie al giorno	Superficie all'ora
[m/s]	[Mi/giorno]	[ha/giorno]	[ha/h]	[Mi/day]	[ha/day]	[ha/h]
3	9	45	5.6	11	55	6.9
4	11	55	6.9	13	65	8.1

Stima dei costi

La Tabella 9 mostra le voci utilizzate per stimare i costi del sistema. Per rispettare i requisiti aeronautici e ipotizzando una vita economica limitata del sistema il piano di ammortamento previsto è di soli 2 anni.

Tabella 8 - Stima dei costi.

		OptRx®		Ximea Hyperspectral Line Scanner	
Velocità di volo	[m/s]	3	4	3	4
Manutenzione	[€/h]	9.85	9.03	7.14	6.33
Piano di ammortamento	[€/h]	7.49		16.87	
Gestione del sistema	[€/h]	30.52		30.52	
Processamento dei dati	[€/h]	7.5		30	
Costi di viaggio	[€/h]	18.75		18.75	
Total	[€/h]	74.12	73.30	103.28	102.47

In Tabella 10 è mostrato il costo per ettaro per entrambi i sensori.

Tabella 9 - Analisi dei costi.

Velocità di volo	OptRx®			Ximea Hyperspectral		
	Superficie all'ora	Costo orario	Costo per ettaro	Line Scanner		
				Superficie all'ora	Costo orario	Costo per ettaro
[m/s]	[ha/h]	[€/h]	[€/ha]	[ha/h]	[€/h]	[€/ha]
3	5.6	74.12	13.18	6.9	103.28	15.02
4	6.9	73.30	10.66	8.1	102.47	12.61

Conclusioni e sviluppi futuri

In accordo alla Tabella 8, la configurazione con sensore passivo ha capacità di monitoraggio molto elevate in termini di quantità di area monitorata. Considerando una velocità di volo di 3 m/s, La configurazione con sensore attivo riesce a monitorare 45 ettari al giorno, mentre la configurazione con sensore passivi riesce a coprire 55 ettari. Il tempo di volo atteso è stato validato attraverso test preliminari. Tuttavia, il sistema con sensore Ximea è più costoso del sensore OptRx®, che influenza il piano di ammortamento. Inoltre, il processamento dei dati è inoltre temporalmente più oneroso in termini di tempo di processamento, poiché la grande mole di dati acquisita dal sensore passivo deve essere processata. Perciò il sistema con sensore Ximea risulta essere più oneroso in termini di costo per ettaro rispetto al sistema con sensore OptRx®. Infine, se il sistema con sensore passivo è impostato correttamente, la qualità dei dati acquisiti può essere migliore in termini di risoluzione spaziale rispetto al sistema con sensore attivo. Questo può giustificare un costo più elevato del monitoraggio.

Un analisi simile può essere svolta per APR ad ala fissa. In questo caso, l'analisi verrà svolta solamente per sensori passivi, in quanto, per la tipologia di velivolo, le quote di volo devono essere necessariamente superiori ai 2 m (50-70 m). Vincoli come il minimo raggio di virata potrebbero influenzare l'ampiezza di griglia del percorso di volo. Dal momento che i velivoli ad ala fissa possono volare a quote e a velocità di volo molto superiori, otterremo valori di aree monitorate più elevate.

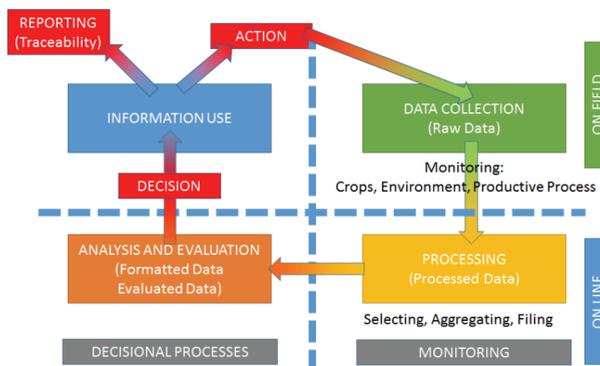


Figura 7 - Ciclo di vita dell'informazione nel sistema gestionale di un'azienda agricola.

Una piattaforma Client Server, basata sul ciclo di vita dell'informazione (Figura 7) è in fase di sviluppo. Questa piattaforma permetterà di

- raccogliere i dati durante le attività di monitoraggio (colturale, ambientale, dei processi produttivi)
- processare i dati (selezione, aggregazione, archiviazione)

- analizzare e valutare i dati per ottenere le informazioni utili per i processi decisionali
- utilizzare le informazioni ottenute
 - all'interno del sistema agricolo come azioni nei processi produttivi
 - all'esterno del sistema agricolo come attività di report per assicurare la tracciabilità e la qualità dei prodotti

Bibliografia

- A. Agapiou, D. G. Hadjimitsis and D. D. Alexakis, 2012. "Evaluation of Broadband and Narrowband Vegetation Indices for the Identification of Archaeological Crop Marks", in *Remote Sensing*, 2012, 4, 3892-3919; doi:10.3390/rs4123892.
- H. Chao, A. M. Jensen, Y. Han, Y. Q. Chen, M. McKee, 2009. „AggieAir: Towards Low-cost Cooperative Multispectral Remote Sensing Using Small Unmanned Aircraft Systems”, *Advances in Geoscience and Remote Sensing*, Gary Jedlovec, Ed. Vukovar, Croatia: ISBN: 978- 953-307-005-6, IN-TECH, pp. 463-490, 2009.
- I. Colomina, P. Molina, 2014. "Unmanned Aerial Systems for Photogrammetry and Remote Sensing: A review", in *ISPR Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2014, 92, 79-97; doi:10.1016/j.isprsjprs.2014.02.013.
- J. U. H. Eitel et al., 2010. "Active Ground Optical Remote Sensing for Improved Monitoring of Seedling Stress in Nurseries", in *Sensors 2010*, 10, 2843-2850; doi:10.3390/s100402843.
- ENAC, 2013. "Regolamento Mezzi Aerei a Pilotaggio Remoto". 1st ed. [In Italian].
- F. Mazzetto, 2005. "La gestione delle aziende agricole ai tempi del GPS: dai quaderni di campagna informatici all'agricoltura di precisione", in *I Georgofili – Quaderni – 2005 – X*.
- F. Mazzetto et al., 2009, Development and first tests of a farm monitoring system based on a client-server technology, *Proc. 7th European Conference on Precision Agriculture, ECPA 2009*, 389-396, ISBN: 978-908686113-2.
- F. Mazzetto et al., 2010, Integration of optical and analogue sensors for monitoring canopy health and vigour in precision viticulture, In *Precision Agriculture*, 2010, 11-6, 636-649; doi: 10.1007/s11119-010-9186-1.
- F. Garcia-Ruiz, S. Sankaran, J. M. Maja, W. S. Lee, J. Rasmussen, R. Ehsani, 2012. Comparison of two aerial imaging platforms for identification of Huanglongbing-infected citrus trees. *Computers and Electronics in Agriculture*, V 91; doi: [10.1016/j.compag.2012.12.002](https://doi.org/10.1016/j.compag.2012.12.002).
- Hyperspectral cameras based on USB3 – xiSpec, 2015. Available from: www.ximea.com. Accessed June 2015.
- OptRx® Crop Sensor, 2015. Available from: www.agleader.com. Accessed June 2015.
- K. C. Swain, S. J. Thomson, H. P. W. Jayasuriya, 2010. "Adoption of an Unmanned Helicopter for Low-Altitude Remote Sensing to Estimate Yield and Total Biomass of a Rice Crop", *Transactions of the ASABE*, 53 (1) (2010), pp. 21–27.
- B. A. Vroegindewij, S. W. van Wijk, E. J. van Henten, 2014. "Autonomous Unmanned Aerial Vehicles for Agricultural Application", *Proc. International Conference of Agricultural Engineering*, Zurich 6-10 July 2014. Ref: C0298.