

Il Radgyro: un autogyro dedicato ad acquisizioni airborne multiparametriche

Emanuele Tufarolo (*,****), Marica Baldoncini (**,***), Gian Piero Bezzon (****),
Fabio Nunzio Antonio Brogna (*), Gian Paolo Buso (****), Ivan Callegari (**,****),
Luigi Carmignani (*), Tommaso Colonna (*,****), Giovanni Fiorentini (**,***,****),
Enrico Guastaldi (*,****), Merita Kaçeli Xhixha (*****), Fabio Mantovani (**,***),
Liliana Mou (****), Claudio Pagotto (*****), Eugenio Realini (*****),
Mirko Reguzzoni (*****), Carlos Rossi Alvarez (*****),
Riccardo Salvini (*), Daniele Sampietro (*****), Virginia Strati (**,****),
Gerti Xhixha (**,****), Alessandro Zanon (****)

(*) Università di Siena, Centro di GeoTecnologie, Via Vetri Vecchi, 34, 52027, San Giovanni Valdarno, AR, Italy,
emanuele.tufarolo@unisi.it

(**) Università di Ferrara, Dipartimento di Fisica e Scienze della Terra, Via Saragat, 1, 44122, Ferrara, Italy
(***) INFN, Sezione di Ferrara, Via Saragat, 1, 44122, Ferrara, Italy

(****) INFN, Laboratori Nazionali di Legnaro, Via dell'Università, 2, 35020, Legnaro, Padova, Italy

(*****) Università di Sassari, Dipartimento di Botanica, Ecologia e Scienze Geologiche,
Piazza Università, 21, 07100 Sassari, Italy

(*****) Politecnico di Milano, Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale,
Piazza Leonardo da Vinci, 32, 20133, Milano, Italy

(*****) Carpenterie Pagotto Srl Via Vittorio Veneto, 9, 31010 Pianzano (TV), Italy

(*****) Geomatics Research & Development (GRD) srl, c/o Politecnico di Milano,
Via Valleggio, 11, 22100, Como, Italy

(*****) INFN, Sezione di Padova, Via Marzolo, 8, 35131, Padova, Italy

Riassunto

In questo lavoro si riassumono le principali caratteristiche tecniche del Radgyro, un autogyro dedicato ad acquisizioni *airborne* multiparametriche. Questo velivolo è stato ideato, progettato e realizzato in modo tale da ospitare due fotocamere, una camera ad infrarossi, una termocamera, cinque spettrometri gamma nonché un *network* di antenne GPS, una stazione inerziale, un radar altimetro e l'elettronica necessaria per l'impiego automatico, simultaneo ed indipendente dell'intera attrezzatura. Grazie ad una capacità di carico di 130 kg, ad un'autonomia di volo di 4 ore ed a bassi costi di gestione, il Radgyro è il mezzo ideale per *survey* multiparametrici su aree vaste, laddove l'impiego dei droni è limitato sia dalla capacità di carico che dall'autonomia di volo. Si illustrano infine i risultati dei rilievi fotogrammetrici preliminari nonché le possibili applicazioni future del velivolo.

Abstract

This study summarizes the main characteristic of the Radgyro, an autogyro dedicated to multiparametric airborne acquisitions. This aircraft was imagined, designed and realized to host two cameras, an infrared camera, a thermographic camera, five gamma-ray spectrometers as well as a GPS antenna network, a inertial navigation system, a radar altimeter and the electronic system necessary to the automatic, simultaneous and independent use of the entire instrumentation. Thanks to a carrying capacity of 130 kg, 4 hours of flight autonomy and a low overhead, the Radgyro is the ideal vehicle for multiparametric surveys of wide areas, where the use of drones is limited by the carrying capacity and by the flight autonomy. Finally the results of preliminary photogrammetric surveys and the possible future applications of the aircraft are presented.

Introduzione

Il Radgyro è un velivolo sperimentale per misure multiparametriche *airborne* sviluppato nell'ambito delle esperienze di rilevamento gamma *airborne*, che hanno portato alla realizzazione delle carte della radioattività naturale della regione Toscana (Callegari et al., 2013) e della regione Veneto (Strati et al., 2014). Questi rilievi hanno dimostrato per la prima volta in Italia le potenzialità dell'autogiro come mezzo a supporto della ricerca scientifica ed in particolare del *remote sensing*.

Le potenzialità di questo velivolo sono state ulteriormente investigate realizzando acquisizioni simultanee nelle bande elettromagnetiche dello spettro visibile, infrarosso e gamma. In particolare durante alcuni test è stata verificata con successo la possibilità di co-registrare le immagini opportunamente ortorettificate con la Carta Tecnica Regionale della regione Toscana. Da queste esperienze preliminari è emerso che l'autogiro è un mezzo ideale per *survey* multiparametrici su aree vaste laddove l'impiego dei droni è limitato sia dalla capacità di carico che dall'autonomia di volo (Pinto et al., 2013).

Grazie ad una collaborazione tra le Carpenterie Pagotto (Pianzano), l'INFN (Istituto Nazionale di Fisica Nucleare) ed il CGTSpinOff è stato progettato e realizzato un autogiro, denominato Radgyro, per misurare simultaneamente diversi *range* dello spettro elettromagnetico (Figura 1). In particolare durante un solo volo gli strumenti montati a bordo del Radgyro sono in grado di rilevare le onde elettromagnetiche provenienti dal terreno nei seguenti *range* spettrali: 13000 - 7500 nm (termico infrarosso), 1000 - 400 nm (vicino infrarosso), 750 - 380 nm (visibile), $3 \cdot 10^{-3}$ - $4 \cdot 10^{-4}$ nm (gamma). La particolare struttura modulare del Radgyro e l'implementazione di sensori in grado di operare, seppur integrati, in modo completamente indipendente uno dall'altro, permettono di espandere al massimo le potenzialità del Radgyro nel campo del *remote sensing*.



Figura 1 - Il Radgyro, un autogiro dedicato ad acquisizioni *airborne* multiparametriche.

Caratteristiche tecniche del Radgyro e della strumentazione montata a bordo

Il Radgyro è un autogiro avente una lunghezza di 5.20 metri, un passo di 2 metri ed un rotore di alluminio di 8.5 metri. Spinto da un motore Rotax turbo a benzina da 115 Cv e caratterizzato da un serbatoio di circa 90 litri è in grado di trasportare circa 130 kg di attrezzatura scientifica per circa 4 ore di volo. La caratteristica principale che differenzia un autogiro da un elicottero è l'impossibilità

di effettuare decolli verticali e l'impossibilità di rimanere in *hovering*, ovvero rimanere a velocità nulla e quota costante. La carena del Radgyro (Figura 2) è stata opportunamente modificata per ospitare nella parte centrale i rivelatori NaI(Tl), l'elettronica per la gestione dei sensori, un set di batterie tampone, i trasformatori ed i computer che acquisiscono dati. Lateralmente sono stati posizionati 2 vani aerodinamici studiati per proteggere le camere ed i sensori senza ostacolare la ripresa dell'area inquadrata

Durante i rilievi la posizione del Radgyro viene acquisita attraverso una terna di antenne GPS posizionate sulla poppa e sulla prua del velivolo. I ricevitori u-blox EVK-6T sono in grado di restituire in output le osservazioni di codice (pseudorange) e di fase in singola frequenza, elaborate mediante il software free e open source goGPS (Realini e Reguzzoni, 2013).

La stima della posizione si basa sulla determinazione dei minimi quadrati applicati alle osservazioni di solo codice (in differenze doppie qualora fosse disponibile una stazione permanente oppure una rete di riferimento). In alternativa è possibile utilizzare le correzioni fornite da *EGNOS* (Toran-Marti, Ventura-Traveset, 2004). La stima delle velocità tra due epoche successive avviene utilizzando l'approccio variometrico (Colosimo, 2012). Infine si stima la posizione finale del velivolo utilizzando come osservazioni le posizioni ottenute dal codice e le velocità ottenute dalle fasi. Questa procedura permette di ottenere un buon posizionamento in modo pressoché automatico. È stato inoltre sviluppata una funzione MATLAB in grado di regolarizzare eventualmente la soluzione (Tikhonov, Arsenin, 1977) supponendo di conoscere la varianza dell'accelerazione.



Figura 2 - Particolare della carena del Radgyro con il vano principale per la strumentazione.

Nel vano principale alle spalle del pilota è posto lo strumento di spettroscopia gamma AGRS_16L (Figura 3) finalizzato alla determinazione delle concentrazioni dei principali radioisotopi naturali (U, Th e K) e artificiali (^{137}Cs) in corrispondenza del terreno sorvolato. L'AGRS_16L è uno strumento modulare composto da 4 rivelatori a ioduro di sodio NaI(Tl) ognuno di dimensioni $10 \times$

10 × 40 cm per un volume totale di circa 16 litri. I rivelatori sono disposti longitudinalmente uno accanto all'altro, con i fotomoltiplicatori orientati nella stessa direzione. La risoluzione energetica nominale dei rivelatori è inferiore all'8% per l'energia 662.5 keV (^{137}Cs) ed al 5.5% per 1150 keV (^{60}Co). Il sistema è inoltre dotato di un rivelatore cubico NaI(Tl) da 1 litro posto sopra i 4 rivelatori, in modo da essere schermato dalla radiazione proveniente dal suolo. La sua funzione è quella di monitorare la presenza di radon atmosferico per poter correggere il segnale associato all'uranio proveniente dal terreno e ricavare così le concentrazioni di uranio. Durante il volo vengono acquisiti anche i valori di temperatura e pressione mediante il termometro/barometro Toradex. I fotomoltiplicatori connessi con i rivelatori sono alimentati da una *Power Unit (PU)* erogante 12V stabilizzati. Le 3 batterie tampone che forniscono energia alla PU sono a loro volta collegate all'alternatore del velivolo in grado di erogare fino ad un massimo di 180 W. La massa complessiva del sistema è di circa 105 kg ed è in grado di lavorare in modo automatico per tutta la durata del volo. Il sistema AGRS_16L raggiunge le sue migliori prestazioni quanto il velivolo mantiene una velocità di crociera di circa 100 km/h ad una quota costante dal terreno di circa 100 m. Rispettando questi parametri si è in grado di investigare la radioattività di 50 km² di terreno in un'ora di volo.



Figura 3 - L'AGRS_16L a bordo del Radgyro.

Sotto la carlinga del Radgyro è stato posizionato un micro radar altimetro Smartmicro in grado di misurare l'altezza del velivolo in un *range* di quote compreso tra 0.5 m e 500 m utilizzando frequenze di ~ 25 GHz. Caratterizzato da consumi e peso ridotti (rispettivamente 3.7 W e 350 g) e da un elevato *rate* di acquisizione (60 Hz), questo strumento si è rivelato ideale per aver un controllo accurato della quota di volo del velivolo rispetto al terreno sottostante.

I due alloggiamenti laterali sono stati progettati per ospitare due fotocamere mirrorless full-frame Sony $\alpha 7$ da 24 megapixel abbinata ad obiettivi fissi con lunghezza focale di 35mm. Il *rate* degli scatti è controllato da un intervallometro esterno a radiofrequenze. Le fotocamere sono alimentate con 7.6 V da un trasformatore collegato alla PU ed i fotogrammi vengono salvati a bordo della camera stessa su memorie SDHC di classe 10.

L'assetto del velivolo è controllato da una stazione inerziale MTi-G-700 GPS, con sensore GPS integrato. I contenitori laterali del Radgyro inoltre prevedono l'alloggiamento di una termocamera OPTIRIS Pi 450 (7.5 – 13 μm) e di una camera iperspettrale per misure airborne SOC710-GX (400 - 1000 nm). Tutti i sensori sono collegati ad un computer il quale permetterà di sincronizzare i dati con un unico *clock* temporale. Il fatto che tutte le periferiche siano alimentate, direttamente o indirettamente, dall'unica PU centrale permette di fare acquisizioni con tutti i rivelatori attivi simultaneamente per tutta la durata del volo.

Sperimentazioni preliminari del Radgyro per rilievi fotogrammetrici

Per testare le performance dei rilievi impiegando il Radgyro sono stati realizzati alcuni voli preliminari volti ad evidenziare possibili problematiche durante le acquisizioni fotogrammetriche. Per questo scopo sono state montate negli alloggiamenti laterali fotocamere compatte Canon S110 che permettono un controllo sui parametri di scatto e offrono un obiettivo grandangolare fino a 24 mm (nel formato 35 mm). Queste camere dispongono di un sensore di 7.4 \times 5.6 mm e 4048 *pixels* disposti lungo il lato maggiore del sensore. La focale f è stata impostata al massimo valore grandangolare possibile pari a 5.2 mm.

I rilievi sono stati eseguiti sorvolando un'area di circa 1.5 km² nei pressi del campo di volo di Codognè (TV) nel luglio 2014. Il sistema di navigazione aeronautico (AvMap EKP V) montato a bordo del Radgyro ha permesso di progettare il rilievo utilizzando un file .kmz sviluppato in ambiente Google Earth. I rilievi sono stati progettati in modo tale da ottenere un ricoprimento tra i fotogrammi dell'80% longitudinalmente al moto e del 40% trasversalmente. La frequenza di scatto (1/1000 s) è stata fissata conservativamente a 1 Hz.

Sono state realizzate 7 strisciate con un'interdistanza di circa 170 m ed una quota di volo pari a 200 m. La Ground Sample Distance (GSD) calcolata è di circa 8 cm. Utilizzando i dati acquisiti dal network di antenne GPS si è stimata una precisione nella posizione della quota del velivolo di circa 40 cm. Il numero complessivo dei fotogrammi raccolti è stato di 911.

Con lo scopo di validare il metodo di misura, l'analisi dei dati ed i tempi di post processing, si è deciso di elaborare, mediante il software Photoscan Professional (Agisoft), 8 fotogrammi acquisiti dalla stessa camera appartenenti a 2 strisciate adiacenti. Per orientare e geo-referenziare le immagini sono stati individuati dei Ground Control Point (GCP) riconoscibili nei fotogrammi ed in Google Earth. Durante questa procedura i valori calcolati dei centri di presa sono stati ottimizzati mediante il tool di ottimizzazione di Photoscan in modo tale da ottenere il modello 3D e le ortofoto. È stato quindi esportato un mosaico di ortofoto georeferenziate nel sistema di coordinate WGS84 nel formato .kmz. Tale formato è stato scelto in modo tale da poter aver un riscontro qualitativo del rilievo effettuato confrontando le ortofoto ottenute e le immagini fornite da Google Earth (Figura 4). I risultati di questo test hanno permesso di convalidare il metodo di acquisizione a bordo del Radgyro e nello stesso tempo di mettere a punto un *postprocessing* adatto alla qualità dei risultati che si intendono ottenere. Una buona co-registrazione delle ortofoto è stata ottenuta anche con la cartografia topografica della Regione Veneto in scala 1:5000. Il tempo di elaborazione di 8 fotogrammi è stato di 50 minuti utilizzando un computer con 4 Gb di RAM ed un processore Intel Core i5 da 1.8 Ghz.

Da queste evidenze preliminari emerge la necessità di ottimizzare la fase di *post processing* impiegando macchine più potenti o sviluppando algoritmi *ad hoc* per minimizzare i tempi di elaborazione. Inoltre l'analisi della qualità dell'intero set di fotogrammi raccolti durante il volo ha mostrato la presenza di alcune immagini mosse probabilmente a causa delle vibrazioni prodotte dal velivolo sulle ottiche delle fotocamere compatte Canon S110. L'impiego di ottiche fisse sulle fotocamere Sony $\alpha 7$ dovrebbe risolvere questo problema permettendo di raggiungere risoluzioni a terra dell'ordine di qualche cm. Si intende inoltre proseguire la messa a punto del sistema di misura adottando dei GCP georeferenziate e materializzati a terra, riconoscibili nei fotogrammi acquisiti durante il volo del Radgyro.

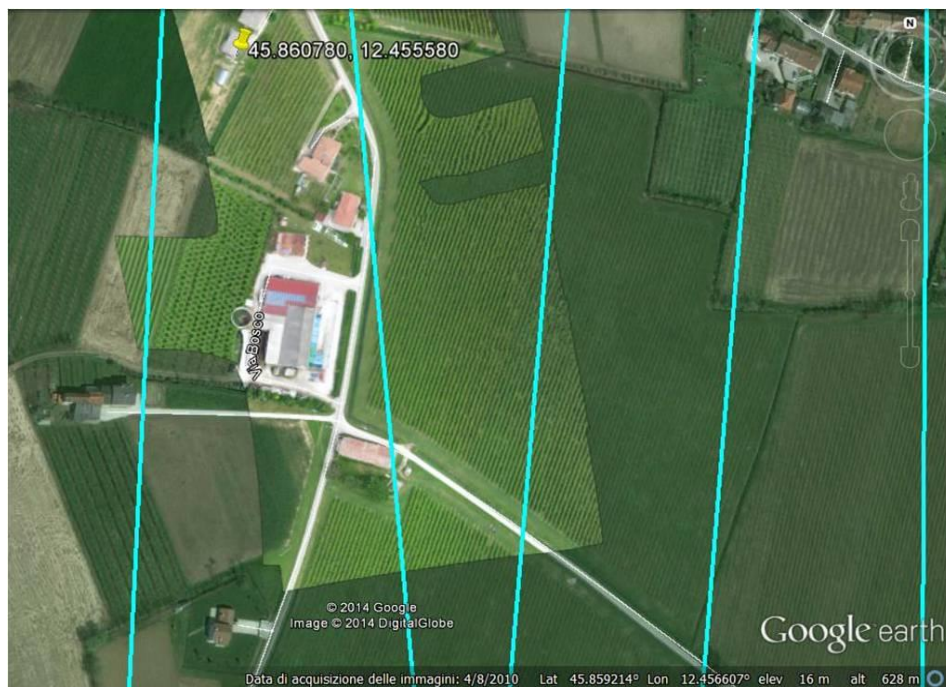


Figura 4 - Esempio di ortofoto ottenuta con Photoscan Professional e sovrapposta alle immagini fornite da Google Earth; in ciano la traccia del rilievo realizzato dal Radgyro.

Applicazioni e sviluppi futuri

La caratteristica peculiare del Radgyro è rappresentata dalla struttura modulare che consente l'implementazione di sensori operanti in diversi *range* dello spettro elettromagnetico al fine di realizzare rilievi multiparametrici che rappresentano un supporto imprescindibile per il monitoraggio del territorio. Infatti, grazie alla sincronizzazione dei dati acquisiti dai sensori e dalle camere, è possibile ottenere immagini del terreno sorvolato a diversa lunghezza d'onda, immagini termografiche e nello stesso tempo conoscere la concentrazione dei radionuclidi naturali e artificiali.

La possibilità di ottenere il posizionamento del Radgyro, con elevata accuratezza e in modo pressoché automatico, consente di produrre dettagliati modelli 3D e ortofoto che trovano largo impiego nel campo della geologia, dell'archeologia e dell'ingegneria. Inoltre la coregistrazione di fotogrammi acquisiti nel corso del tempo permette di condurre delle analisi multitemporali delle aree investigate. Ad esempio è possibile studiare l'evoluzione di movimenti franosi e eventi alluvionali, stimare correttamente i volumi di materiali di cava estratti annualmente e monitorare le fasi di riempimento di una discarica.

Nel campo del monitoraggio dell'inquinamento ambientale, la correlazione di tutti i parametri acquisiti in volo fornisce tra l'altro preziose informazioni relative alla qualità delle acque evidenziando possibili sversamenti di sostanze dannose e consente di evidenziare la presenza di eventuali discariche abusive e relative emissioni di biogas.

L'impiego del Radgyro risulta strategico anche nel campo della cosiddetta "agricoltura di precisione", ovvero la strategia gestionale dell'agricoltura che mira all'esecuzione di interventi agronomici mirati in base alle reali necessità dell'apezzamento di terreno coltivato. L'analisi delle immagini multispettrali acquisite, rende possibile valutare la percentuale di umidità e di concentrazione d'acqua del terreno e ricavare informazioni riguardanti lo stato di salute delle colture. Tutto ciò consente di pianificare le fasi di irrigazione e l'uso dei fertilizzanti in base alle esigenze specifiche del suolo riducendo l'impatto ambientale e promuovendo lo sviluppo sostenibile.

Bibliografia

Strati V., Baldoncini M., Bezzon G.P., Broggin C., Buso G.P., Caciolli A., Callegari I., Carmignani L., Colonna T., Fiorentini G., Guastaldi E., Kaceli Xhixha M., Mantovani F., Menegazzo R., Mou L., Rossi Alvarez C., Xhixha G. and Zanon A. (2014) “Total natural radioactivity, Veneto (Italy)”, *Journal of Maps*, 1-7. DOI: 10.1080/17445647.2014.923348

Callegari I., Bezzon G.P., Broggin C., Buso G.P., Caciolli A., Carmignani L., Colonna T., Fiorentini G., Guastaldi E., Xhixha M.K., Mantovani F., Massa G., Menegazzo R., Mou L., Pirro A., Alvarez C.R., Strati V., Xhixha G., Zanon A. (2013) “Total natural radioactivity, Tuscany, Italy.” *Journal of Maps*, 1-6. DOI: 10.1080/17445647.2013.802999

Pinto L., Sona G., Gini R., Reguzzoni M., Passoni D., Sampietro D., Mantovani F. (2013). “Rilievo geodetico e fotogrammetrico di supporto a misure di radioattività ambientale da autogiro.”, *Atti 17° Conferenza Nazionale ASITA – Riva del Garda 5 – 7 novembre 2013*, 1105-1106.

Realini E., Reguzzoni M. (2013). “goGPS: open source software for enhancing the accuracy of low-cost receivers by single-frequency relative kinematic positioning.” *Measurement Science and Technology*, 24(11), 115010.

Colosimo G. (2012). “VADASE: Variometric Approach for Displacement Analysis Stand-alone Engine”.

Toran-Marti F., Ventura-Traveset J. (2004). “The ESA EGNOS project: The first step of the European contribution to the global navigation satellite system (GNSS).” *Navigare conference (June 2004)*.

Tikhonov, A.N., & Arsenin, V.Y. (1977). “Solution of Ill-Posed Problems”, Wiley and Sons.