

Esperienze nell'impiego di aeromobili a pilotaggio remoto nell'esplorazione, documentazione e monitoraggio di cavità artificiali sotterranee

Experiences in the use of remotely piloted aircraft in exploration, documentation and monitoring of artificial hypogean structures

Parole chiave (*key words*): cavità artificiali (*artificial cavities*), droni (*flying drone*), aeromobili a pilotaggio remoto (*remotely piloted aircraft*), esplorazione (*exploration*), documentazione (*documentation*), rischi (*risks*), opportunità (*opportunities*)

"Quelli che s'innamorano di pratica, senza scienza, son come 'l nocchiere, ch'entra in navilio senza timone o bussola, che mai ha certezza dove si vada. Sempre la pratica dev'esser edificata sopra la bona teorica." (Leonardo da Vinci)

RIASSUNTO

Alcune strutture ipogee artificiali possono essere totalmente o parzialmente indagate e documentate grazie all'impiego di aeromobili a pilotaggio remoto. Alle complessità tecniche legate alla situazione e alla opportunità di avvalersi di piloti specializzati, si aggiunge spesso la necessità di modificare gli apparati ed il software perché il mix tra hardware, software e pilota consenta di incontrare concrete possibilità di successo. L'intervento presenta l'esperienza di un team specializzato in materia e due casi concreti di applicazione.

ABSTRACT

Some artificial hypogean structures can be totally or partially investigated and documented thanks to the use of remotely piloted aircraft. To the technical complexities linked to the situation and the opportunity to make use of specialized pilots, there is often the need to modify the machines, the equipment and the software because the mix between hardware, software and pilot allows to meet concrete possibilities of success. The contribution presents the experience of a specialized team in the field and two concrete cases of application.

DRONI IN CAVITÀ ARTIFICIALI: QUANDO E PERCHÉ

Molte strutture ipogee artificiali presentano aspetti dimensionali, di conformazione e di rischio tali da poter trarre grande vantaggio in fase di ispezione, rilevamento e monitoraggio dall'impiego di aeromobili a pilotaggio remoto (a.p.r.), altrimenti noti come droni.

Un primo intuitivo ambito di intervento viene dalle cavità caratterizzate dalla presenza di zone inaccessibili che potrebbero essere esplorate e rilevate topograficamente solo affrontando rischi elevati oppure avviando operazioni molto dispendiose, sia dal punto di vista economico che dal protrarsi dei tempi di esecuzione.

Anche in questi casi "sotterranei", l'utilizzo degli a.p.r. trova applicazione nella documentazione di carattere illustrativo o divulgativo oltre che nella più rilevante presa di immagini e filmati professionali da rielaborare in post-acquisizione tramite applicativi topografici, 3d e/o a carattere ingegneristico (Fig. 1).

Per i vincoli dettati dalla penetrazione dei segnali radio in zone sotterranee, si presentano anche situazioni in cui il mezzo deve adempiere al ruolo di cargo per la necessità di "sganciare" apparati di trasmissione o di duplicazione di segnale. Situazione, come risulta intuitivo, tutt'altro che semplice.

IMPORTANZA DELL'IMPIEGO PROFESSIONALE DEGLI A.P.R.

Negli ultimi anni il drone si è trasformato, nell'immaginario collettivo, in un simpatico giocattolo alla portata di tutti. Nell'impiego professionale degli a.p.r., per eseguire indagini attendibili e risultati fruibili dalla

MARIO MAZZOLI
Speleologo e speleosubacqueo - General Manager
A.S.S.O. - Hypogea Ricerca e Valorizzazione Cavità
Artificiali
E-mail autore riferimento: maz@assonet.org

ISIDORO BONFÀ
Geologo - Responsabile Ufficio Programmazione
Bonifica Siti Inquinati e Geologia Ambientale di
Roma Capitale

FRANCESCO MARSALA
Progettista, istruttore ed esaminatore piloti
APR - Drone Solution - A.S.S.O.



Figura 1 - (Mario Mazzoli - ASSO)
Si decolla per verifiche in una antica cava sotterranea di pozzolana
Take off to verify an ancient underground quarry of pozzolana (volcanic sand)



Figura 2 – (Mario Mazzoli – ASSO)
Rilevamento dello stato di conservazione di alcuni particolari del Duomo di Foligno (PG)
Survey to assess preservation of specific elements of the San Feliciano's Cathedral in Foligno (PG)

comunità tecnico-scientifica, è invece indispensabile calibrare/aggiornare in continuo l'hardware, il software e le capacità del pilota, fattori che spesso devono essere adeguati al progetto in loco, richiedendo competenza e preparazione specifica (Fig. 2).

In questo mix, l'esperienza maturata in vari anni di studio e di pratica, ci ha portati a ritenere preponderante, per l'ottenimento di un risultato apprezzabile, la capacità dell'operatore, soprattutto quando l'impiego avviene in ambienti sotterranei angusti. In questi casi la perizia del pilota costituisce il fattore vincente poiché vengono meno alcuni strumenti di ausilio quali, ad esempio, il gps per il mantenimento della posizione o i sensori

di prossimità inferiori quando si sorvolano masse liquide.

SPERIMENTARE ADEGUANDO IL DRONE AL PROGETTO DI STUDIO

Ovviamente anche la tecnologia ha il suo peso. Gli apparati sono ormai molto diversi gli uni dagli altri. Si possono pilotare a vista o con all'ausilio di visori 2 o 3D, possono eseguire azioni e rotte predeterminate in zone aperte e da queste tornare al punto di partenza in caso di perdita di segnale, effettuare molteplici operazioni a diverso livello di precisione e con diversi tempi di permanenza in volo.

È quindi ormai disponibile una grande varietà tecnologica ma, evidentemente, un

drone progettato per la specifica campagna di studio può avere un valore aggiunto estremamente rilevante, soprattutto in opere sotterranee di origine antropica. In questi ambienti sono infatti presenti ostacoli aggiuntivi a quelli usuali: cadute del segnale radio, disturbi magnetici frequenti, contro flussi di aria generati dal mezzo stesso in ambienti molto piccoli, necessità di aggiungere al dispositivo apparati illuminanti, ecc. (Fig. 3)

È proprio per il mix tra tecnologia molto spesso sperimentale ed esperienza del pilota che il sodalizio fra ASSO e Drone Solution ha potuto portare i suoi frutti. Gli oltre dieci anni di esperienza pratica, progettuale e sperimentale nel settore, sono stati determinanti anche per il successo degli interventi condotti in sotterranei di carattere archeologico, geologico e ambientale.

VOLTEGGIANDO NELLE STANZE DI NERONE: IMPIEGO DELL'A.P.R. NELLA DOMUS AUREA

Uno dei primi interventi eseguiti dalla nostra equipe multidisciplinare è stato un contributo alla valutazione della condizione delle volte della Domus Aurea (Roma). In particolare, diversi anni fa, si rese necessario ispezionare e documentare lo stato di conservazione delle sottovolte senza far accedere persone nello spazio compreso tra queste e l'interro che occupava gli ambienti (Fig. 4).

Si era ancora agli albori dell'impiego di droni e mai era stato tentato un uso in ambienti chiusi e ristretti di inestimabile valore archeologico (Mazzoli, 2014). L'acquisizione delle immagini e dei filmati fu resa possibile integrando un prototipo di a.p.r. appositamente



Figura 3 – (Massimo Crescenzi – ASSO)
Il microdrone Bimbo
The Bimbo microdrone



Figura 4 – (Mario Mazzoli – ASSO)
 Controllo di alcune aree interne della Domus Aurea a Roma
 Inspection of internal areas, inside Domus Aurea in Rome



Figura 5 – (Mario Mazzoli – ASSO)
 Guardare e non toccare...
 Look and don't touch...



Figura 6 – (Mario Mazzoli – ASSO)
Quantificazione rilevamento dell'estensione dell'area inquinata
Assessing the extent of polluted area

mente realizzato con una potente luce e, per mantenere le distanze di sicurezza rispetto ai profili della struttura e agli interri con i quali il mezzo non doveva interagire, furono applicati per la prima volta anche dei sonar. Questi vennero però successivamente rimossi per l'effetto "risonanza" che si creava negli ambienti molto ristretti. Si trattava di un dispositivo molto innovativo, ma senza l'esperienza e la competenza del pilota si sarebbe rischiato non solo di non riuscire ad effettuare la verifica, ma anche di perdere il mezzo.

Non dimentichiamo poi l'estrema delicatezza del contesto archeologico a proposito del quale il contenimento del rischio di danneggiare pitture o stucchi è sempre stato in testa a qualsiasi altra priorità di carattere esplorativo e tecnico. Come è noto, infatti, non è infrequente leggere di droni che abbiano causato danni a cose o a persone e ciò non è nemmeno ipotizzabile per chi, come noi, operi sistematicamente in aree e contesti archeologici, talvolta di grande delicatezza e nel costante rispetto per la sicurezza (Fig. 5).

SORVOLANDO UN LAGO DI IDROCARBURI: IMPIEGO DEI DRONI IN CAVITÀ A RISCHIO AMBIENTALE

Nel 2016 il nostro intervento è stato richiesto per la verifica di un cospicuo sversamento di materiali inquinanti in una antica cava di pozzolana situata nella zona Sud-Est della Capitale. Smaltimenti illeciti di sostanze oleose avevano creato all'interno del reticolo caveale un vero e proprio lago di idrocarburi che impediva l'ispezione diretta del sito.

Grazie all'impiego di un drone, allestito appositamente per garantire la necessaria illuminazione ed autonomia, è stato possibile visualizzare gli ambienti già in corso di ripresa, dando la possibilità ai responsabili

dell'Amministrazione Comunale e agli Organi di Polizia di procedere alla immediata documentazione. Le immagini e le riprese video degli ambienti ipogei hanno anche consentito di comprendere l'estensione delle gallerie interessate dallo sversamento, contribuendo a valutare opportunamente anche l'entità del problema (Fig. 6).

Oltre alle difficoltà attese, in corso di ispezione, il pilota ha incontrato ulteriori complessità impreviste come la presenza di lunghe radici filiformi che pendevano dalle volte delle gallerie, il sorvolo di masse liquide che rendeva rischioso utilizzare sensori di prossimità sonar, la scarsa visibilità e l'assorbimento della luce dovuta al colore e alla opacità delle pareti nei settori più lontani dal punto di decollo, o posti dietro l'incrocio delle gallerie. Anche in questo caso le accortezze tecniche e l'ormai lunga esperienza hanno reso possibile un buon risultato senza comportare la perdita del mezzo e di quanto documentato.

CONCLUSIONI

L'esplorazione e la documentazione degli ambienti sotterranei, naturali e artificiali, implicano difficoltà tecniche del tutto peculiari per la presenza di buio assoluto, elevate percentuali di umidità, ecc. I team di ricerca, pertanto, sono sempre molto attenti a tutte le innovazioni tecnologiche che possano consentire di ridurre il tempo di permanenza nel sottosuolo e i rischi ad essa correlati garantendo una documentazione topografica e documentale di alto profilo. In particolare nelle cavità artificiali i rischi, sia per gli operatori che per le strutture oggetto di osservazione, aumentano in modo esponenziale rispetto alle esplorazioni condotte in cavità naturali a causa della possibile presenza di fattori inquinanti e gas, alte concentrazioni di CO₂, dimensioni assai ridotte

degli ambienti e possibile presenza di manufatti di interesse archeologico.

Per queste ragioni ogni nuovo strumento tecnico utilizzabile nell'esplorazione viene adottato e sperimentato, previo adeguamento delle attrezzature - normalmente progettate per un utilizzo in ambiente esterno - alle tipicità degli ambiti in cui si va ad operare.

Così anche per i droni, che però ancor più di altri strumenti richiedono adattamenti costanti che consentano: possibilità di recupero, particolare illuminazione, telecamere e fotocamere di precisione con peso limitato per essere trasportati da prototipi molto più piccoli rispetto a quelli utilizzati in esterno.

L'esperienza che il nostro gruppo di lavoro ha maturato negli anni è del tutto innovativa e solo recentemente si stanno sviluppando altre esperienze negli ambiti speleologici: un caso fra tutti l'esplorazione recentemente condotta dai colleghi del team La Venta e dell'associazione Boegan di Trieste in collaborazione con l'astronauta dell'ESA Luca Parmitano in una grotta siciliana. Per tale ragione non esistono ancora specifiche fonti bibliografiche di riferimento. Tuttavia a beneficio di chi volesse acquisire una documentazione sugli impieghi a nostro avviso più interessanti degli ultimi due anni vengono nel seguito elencati alcuni testi di riferimento.

BIBLIOGRAFIA

- AA.VV. (2018), *Progetto ALIRHYS Identificazione delle risorse idriche sotterranee* ISBN:978-88-98878-10-9, p. 21. Riferimenti Internet: www.polito.it/ALIRHYS.
- BISSETTA R. (2016), *Sistema automatico di localizzazione e avvistamento escursionisti in aree remote montane* in *Il Soccorso Alpino Speleo Soccorso* n. 64 pp. 22-23.
- CALANTROPIO A. (2017), *L'utilizzo dei droni per la sicurezza nei cantieri e negli interventi tecnici in emergenza sismica*. Tesi di Laurea Magistrale in Architettura Costruzione Città, Politecnico di Torino dip.to Architettura e Design, anno accademico 2016-2017, relatori Prof.ssa Antonia Spanò & Arch. Filiberto Chiabrando.
- FRANCFORT S., (2015), *L'exploration de galeries difficiles d'accès grâce à des drones volants*. Speleo Club de Touraine CDS 37.
- GOLDONI M. (2017), *Sicilia: esplorare con un drone in Echi sotterranei*, Montagne 360 Luglio 2017.
- ISCHIA GEOTERMIA SRL (2017), *Rilievo delle condizioni di stabilità di 2 versanti rocciosi nella zona occidentale del Monte Epomeo nel territorio comunale di Serrara Fontana (NA) sull'isola d'Ischia* in Progetto impianto pilota geotermico "Serrara Fontana" nel comune di Serrara Fontana nell'isola d'Ischia (NA).
- MAZZOLI M. (2014), *Droni che volano sulla storia* in *Archeologia Viva* n. 165, pp. 72-73.
- OPPIZZI N. (2016), *Indagine multidisciplinare su cavità carsiche*. Termolndagini Sagl.
- SANZO SANCHEZ A. (2018), *Polidrone. Plan de negocio de un dron modular y multipropósito fabricado por MDF*, Universidad de Valladolid, Escuela de Ingenierías Industriales. Programa di interscambio con Politecnico di Torino, Tutor Dr. Salvatore Brischetto.