

Droni e ricerca speleologica

Tecniche aerofotogrammetriche di ricostruzione del territorio

Massimo Pozzo (a), Marco Tremari (b)

(a) Underland, Doctormax ; (b) 3D Survey Drone Srl

2019 - 2022



108

Riassunto

Il contributo riprende l'argomento pubblicato sul N.81 nella Rivista della Società Speleologica Italiana "Speleologia" (2019), a firma di uno dei due autori.

I droni sono telecamere volanti, montate su un sistema aeromobile a pilotaggio remoto (SAPR), guidate da terra tramite radiocomando e operatore. Sono soggetti alla regolamentazione del Codice della Navigazione aerea dell'Ente Nazionale per la Navigazione Civile (ENAC), e necessitano di polizze assicurative RC verso terzi. L'utilizzo in campo professionale e non, prevede un apposito iter formativo affiancato alle autorizzazioni ad operare rilasciate dall'ENAC stessa. La normativa specifica e molto dettagliata è soggetta a continui aggiornamenti e segue gli sviluppi stessi delle giovani tecnologie che stanno dietro a questo settore in forte espansione.

I campi di applicazione di questi mezzi sono molteplici e le loro prestazioni, in termini di risultati professionali, dipendono in

Foto 1. Pad di atterraggio per drone in clima invernale - Foto M. Pozzo

gran parte dalle risoluzioni delle telecamere supportate, dai sensori che portano a bordo e dalle competenze tecniche messe in atto per sviluppare i singoli progetti.

La presentazione vuole andare oltre alla discussione sulla ripresa video fotografica documentaristica e considerare l'utilizzo tecnico che tali immagini possono fornire per la ricerca territoriale e in particolare per quella speleologica.

Tra i più interessanti è quello della fotogrammetria aerea, o aerofotogrammetria, che consente l'ottenimento di modelli dettagliati in 3D di ampie porzioni di territorio e di ricavare numerosi dati derivati, utili allo studio e alla mappatura del territorio. La nuvola di punti 3D del territorio, elaborata all'interno di software, Structure From Motion, permette di ottenere modelli del terreno e cartografie specifiche.

Tali informazioni possono supportare lo studio e l'attività di ricerca e documentazione speleologica.



Foto 2. Drone di fascia media con fotocamera a risoluzione video 4K - Foto N. Belotti

L'utilizzo dei droni nella ricerca speleologica

Nell'ultimo decennio l'evoluzione tecnologica ha subito accelerazioni così elevate, da rendere superate tecnologie o applicativi nel momento stesso in cui entrano nel mercato.

Diventa quindi difficile focalizzare l'attenzione sul singolo software o sul singolo applicativo finalizzato ad uno specifico ambito di utilizzo. Viceversa appare più semplice concentrarla sulla reale utilità di una specifica procedura che permetta di fungere da modello indipendente e distaccato rispetto ai singoli apparati applicativi.

Date queste premesse si cercherà di proporre alcuni modelli e soluzioni che possano aiutare e supportare le attività legate alla ricerca speleologica, tramite l'utilizzo dei droni e delle tecnologie legate alla fotogrammetria e al rilievo tridimensionale.

Il termine "drone" o più propriamente SAPR (Sistema Aeromobile a Pilotaggio Remoto) diventò più comune nel nostro linguaggio e nel nostro immaginario a seguito del conflitto iracheno del 2003, dove sistemi pilotati a distanza venivano impiegati frequentemente a scopo militare. Nell'ultimo decennio i cosiddetti droni hanno avuto uno sviluppo molto rapido, passando dal ristretto ambito militare anche a quello civile, a supporto di svariate attività.

La peculiarità che ha reso così popolari questi sistemi, oltre allo sviluppo delle tecnologie che ne hanno permesso una continua

miniaturizzazione e semplificazione di utilizzo, è anche la possibilità d'installazione di un payload specifico, che generalmente è costituito da una camera digitale RGB. In altri casi quest'ultimo è costituito da tipi di sensori diversi, come sistemi LIDAR, termo-camere, camere all'infrarosso, etc.

La diffusione dei SAPR investe ampi ambiti di utilizzo, dalle riprese aeree e documentaristiche fino ad applicazioni molto specifiche: rilievo aerofotogrammetrico, mappatura del territorio, monitoraggio ambientale, ispezioni industriali, rilievi in siti estrattivi finalizzati al computo volumetrico, soccorso in situazioni di emergenza (ricerca dispersi).

L'evoluzione dei droni in tutti gli ambiti applicativi è appena all'inizio e sta attraversando uno sviluppo molto rapido, con sistemi sempre più performanti, di ogni fascia economica e con peculiarità proprie (Foto 1 e Foto 2).

Nella ricerca speleologica in esterno, l'uso più immediato del drone è quello di sorvolare porzioni di aree carsiche di difficile accesso per visionarle dall'alto o per studiare in via preliminare un percorso di avvicinamento da effettuare.

Con droni di fascia media, dotati di una comune camera RGB a risoluzione minima full HD e una buona autonomia, si possono ottenere ottime informazioni nelle ispezioni di versanti molto scoscesi o di pareti, evitando di cimentarsi magari inutilmente in impegnative calate o risalite in artificiale (Foto 3 e Foto 4).



Foto 3 e Foto 4 (in basso). Sorvolo pareti in cerca di accessi (Monte Ferrante - Bg) e sorvolo di plateau calcareo (Mare in Burrasca, area tra Pizzo della Presolana e Monte Ferrante - Bg) - Foto M. Pozzo





Foto 5. Dettagli morfologici più evidenti visti dall'alto - Foto M. Pozzo

Scatti fotografici ad alte risoluzioni permettono ingrandimenti tali da poter esplorare nel dettaglio le immagini acquisite anche da remoto, studiando e valutando poi il percorso di successive calate vincenti. Il sorvolo di aree ad alta densità di fenomeni carsici epigei offre inoltre la possibilità di individuare discontinuità sicuramente più riconoscibili dall'alto rispetto alla ricerca spesso caotica e difficoltosa da terra. (Foto 5 - Foto 6)

L'utilizzo più interessante del drone, ancora in fase di sviluppo in ambito speleologico, è quello della fotogrammetria aerea che consente l'acquisizione e la ricostruzione 3D di ampie porzioni di territorio.

Il rilievo aerofotogrammetrico tramite drone permette di effettuare voli molto più bassi rispetto a quelli effettuati tramite velivoli tradizionali e di ottenere una mappatura del terreno con

un dettaglio enormemente superiore e a costi decisamente più contenuti.

Dalla fotogrammetria al modello 3D

Per definizione la fotogrammetria è quella disciplina, ricadente nell'ambito del rilievo strumentale indiretto, attraverso cui è possibile ricostruire la forma geometrica di un contesto territoriale, urbano o architettonico, tramite un set di riprese fotografiche. La fotogrammetria può essere aerea o terrestre a seconda che la camera fotografica sia posta in stazione sul terreno oppure sia montata su un aeromobile.

Le origini scientifiche della fotogrammetria risalgono alla fine dell'Ottocento con numerosi campi applicativi sviluppatasi a partire dai primi anni del Novecento: nata come branca della geometria descrittiva, utilizza principi e concetti propri della



Foto 6. Individuazione di ingresso in parete, individuazione percorso migliore, raggiungimento tramite comunicazione radio e sorvolo - Foto M. Pozzo



Foto 7. Posizionamento sul terreno di target ad alta visibilità (Ground Control Point) e rilievo degli stessi tramite sistema GNSS topografico - Foto M. Tremari

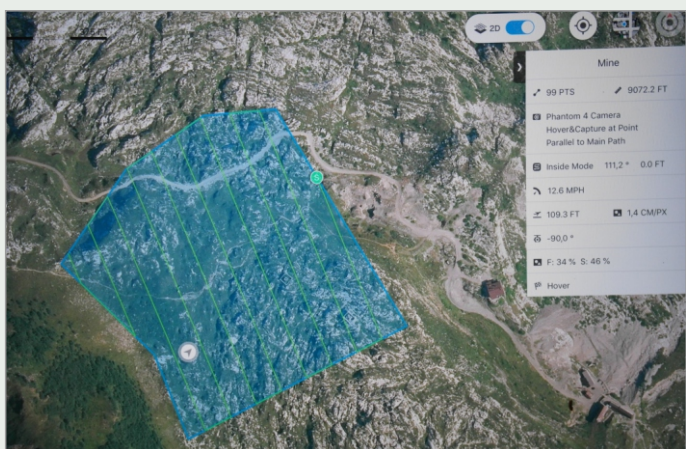


Foto 8. Piano di volo per fotogrammetria aerea con copertura di un'area di circa 100x100 metri (Mare in Burrasca - Presolana Bg) - Foto M. Pozzo

geometria proiettiva attraverso cui è possibile indagare le relazioni biunivoche che si instaurano tra una realtà tridimensionale ed una sua rappresentazione bidimensionale. Già nelle prime applicazioni si differenzia la fotogrammetria terrestre da quella aerea: quella aerea ha trovato da subito una larga diffusione per la realizzazione di carte geografiche tramite gli stereo restitutori analogici, mentre la "terrestre" per il rilevamento di architetture è rimasta spesso più confinata fino ad epoca recente. Nell'ultimo decennio la fotogrammetria digitale, inizialmente ancorata alle metodologie proprie della fotogrammetria analitica, ha assunto una propria connotazione grazie all'acquisizione di tecniche automatiche sviluppate nell'ambito della Computer Vision, quella disciplina che analizza e reinterpreta in chiave informatica la geometria proiettiva della visione. Il recente sviluppo del mercato dei droni (o SAPR), ha permesso inoltre di allargare il potenziale di utilizzo della fotogrammetria e di portare questa tecnologia in ambiti anche non tradizionali.

Oltre che per i rilievi topografici, la fotogrammetria ha trovato nel tempo anche una serie di applicazioni in ambiti non esclusivamente territoriali come per esempio in quello architettonico, archeologico, industriale, geologico e forestale. La pratica ha dimostrato che la precisione dei rilevamenti fotogrammetrici, sia terrestri che aerei, è superiore o equiparabile a quella dei rilievi tradizionali alla medesima scala, con ulteriore vantaggio che tramite la fotogrammetria è possibile ridurre notevolmente i tempi e le risorse impiegate per il rilievo sul campo.

Le particolarità che rendono questa tecnologia così versatile sono la relativa velocità d'impiego, la possibilità di applicazione su scale diverse, dal singolo oggetto fino ad ampie porzioni di territorio, e in genere i costi più contenuti rispetto all'impiego di laser-scanner. Inoltre, grazie all'impiego dei droni è possibile raggiungere e rilevare punti normalmente inaccessibili, come tetti di edifici, coperture di complessi industriali, versanti scoscesi o affioramenti verticali.

Il risultato di un rilievo fotogrammetrico è in genere un modello 3D virtuale che riproduce, in modo realistico e metricamente corretto, il contesto o l'oggetto originale del rilievo. Per poter ottenere un modello 3D geometricamente corretto è necessario vincolarlo all'acquisizione di alcuni punti fissi, materializzati sul terreno tramite target di riferimento, di cui si conosca la corretta posizione tridimensionale nello spazio mediante coordinate note. Senza l'appoggio dei punti di vincolo o GCP (Ground Control Point) non è possibile ottenere un modello metricamente corretto, ma solo una buona approssimazione dell'oggetto rilevato.

Normalmente il rilievo si svolge attraverso l'acquisizione di uno o più set d'immagini, da terra o da drone a seconda del contesto, cui segue la battuta dei target sul terreno, per l'estrapolazione di una terna di coordinate note, tramite Stazione Totale e/o sistema GNSS topografico (Foto 7 e Figura 2). Una volta raccolto il set d'immagini, l'elaborazione delle stesse avviene attraverso l'utilizzo di appositi software che si servono di algoritmi SFM (Structure From Motion).

Questi applicativi consentono di estrarre i punti notevoli dalle singole foto, collimarli fra loro in modo automatico infine restituirli nelle corrette coordinate geometriche sotto forma di nuvola sparsa. I passaggi successivi riguardano l'inserimento delle coordinate note relative ai target di ancoraggio o Ground Control Point e l'estrazione della nuvola di punti densa (dense cloud) che contiene in sé già tutte le informazioni metriche corrette del contesto rilevato.

111

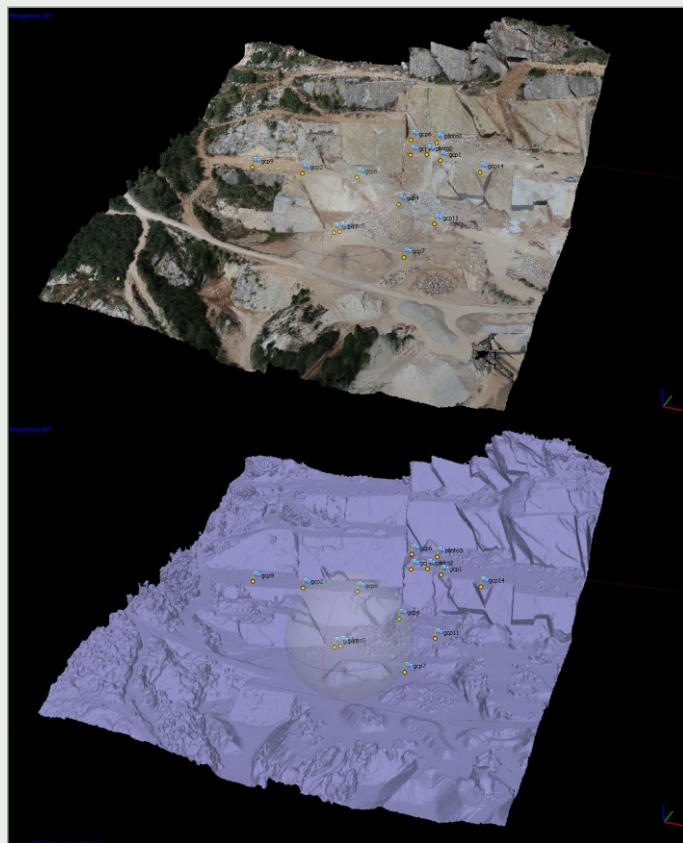


Figura 1. Modello 3D con e senza applicazione della texture - Grafica M. Tremari



Figura 2. Nuvola di punti georeferenziata in contesto di cava - Grafica M. Tremari

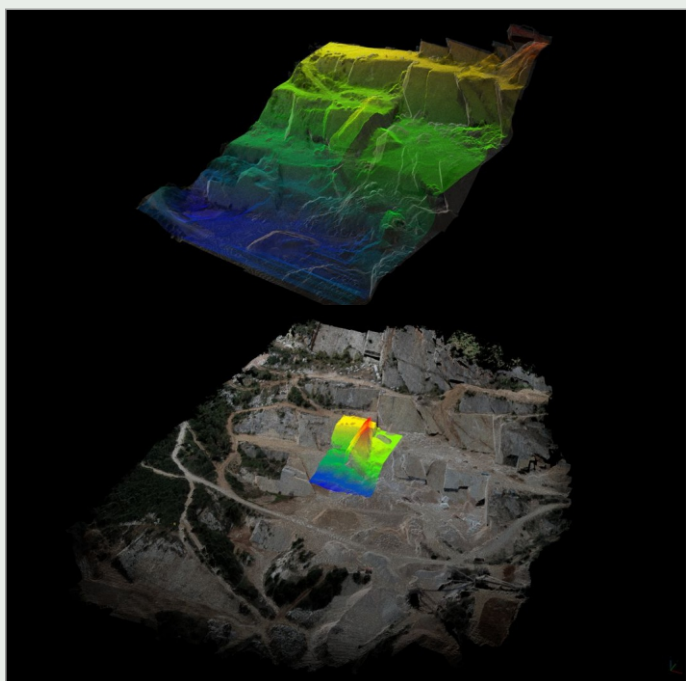


Figura 3. Sovrapposizione di due nuvole di punti georeferenziate per il calcolo del volume di materiale asportato in un contesto di cava - Grafica M. Tremari

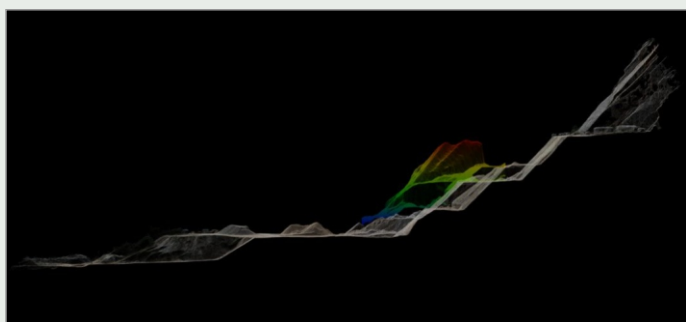


Figura 4. Sezione longitudinale della vista precedente con le due nuvole di punti sovrapposte - Grafica M. Tremari

Ulteriori passaggi consistono (Figura 1), nell'estrazione del modello tridimensionale vero e proprio dalla nuvola di punti densa tramite triangolazione e ricostruzione geometrica della sua superficie e nella applicazione di texture fotografiche reali sulla geometria del modello ottenuto.

Dal modello così elaborato contenente il dato geometrico e spaziale corretto è a questo punto possibile estrarre una serie di dati derivati che consistono soprattutto in ortofotopiani, piani quotati, DEM (Digital Elevation Model), DSM (Digital Surface Model), curve di livello e profili altimetrici di superfici o sezioni (Figure 2, 3 e 4).

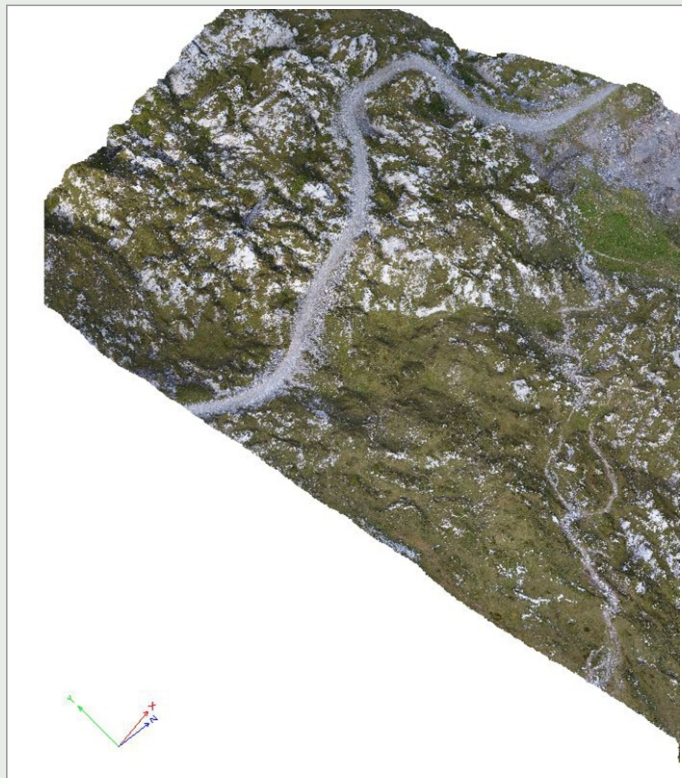


Figura 5 - Primo risultato grafico (Mare in Burrasca - Presolana Bg) - Grafica M. Tremari

L'uso dei modelli 3D del territorio come supporto alla ricerca speleologica

In ambito speleologico l'utilizzo della fotogrammetria e dell'aerofotogrammetria può avere due interessanti applicazioni: una rivolta ai rilievi indoor, all'interno delle cavità stesse (che esula dal presente intervento) e l'altro a livello territoriale, per la mappatura e l'individuazione degli accessi su interi versanti o ampi areali: l'ottenimento di un corretto e dettagliato modello 3D del terreno diventa utile alla ricerca.

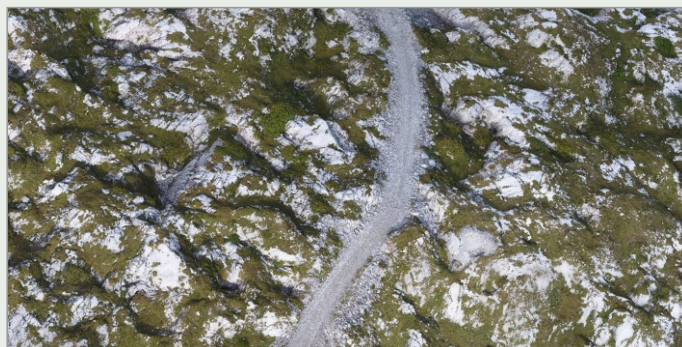


Figura 6 e Figura 7. Risultato grafico al 1600% - Grafica M. Tremari





Figura 8 - Risultato grafico foto al 3200% (Mare in Burrasca – Presolana Bg) - Grafica M. Tremari

Per concludere con un esempio pratico e tornando alla Figura 1, questa riporta la prova di una copertura fotogrammetrica di un'area di circa 100x100metri, con un risultato morfologico finale del territorio appena leggibile (Figura 5).

Per l'elaborazione delle figure successive (Figura 6 e Figura 7 al 1600%, Figura 8 al 3200%), sono state scattate 99 foto ad alta risoluzione (4096x2160). Riprodurre quindi ricostruzioni del territorio in larga scala richiede strumentazioni e mezzi che i gruppi speleologici non possiedono.

Questo utilizzo darà grandi risultati ai catasti speleologici e a tante rappresentazioni grafiche, se in futuro si riusciranno a mescolare i vari software in dotazione o a realizzarne uno ex novo ed apposito, che unisca i dati raccolti per la rappresentazione grafica del sottosuolo, quelli fotogrammetrici e le coordinate degli ingressi delle cavità.

Un primo prototipo di scheda di ingresso grotta è stato sperimentato nell'ambito della presente ricerca, ed è visibile al link seguente: http://www.spazio360.eu/wp-content/uploads/panorama/GROTTE/GRONEHENGE/gronehenge_pano.html

Molto più complicato l'argomento dedicato alle scansioni di ambienti nel sottosuolo mediante uso di drone con laser scanner o simili. I prototipi attualmente in uso sono prodotti sperimentali ed estremamente costosi, e i droni vengono pilotati senza l'ausilio del GPS, che in esterno garantisce stabilità e la quasi impossibilità di caduta o di perdita del mezzo.

Un possibile utilizzo utile alla ricerca speleologica è l'ottenimento di mappe termiche integrando il drone di un sistema che supporti una termo camera.

Questo tipo di telecamera è utilizzato professionalmente nel

campo dell'ingegneria e nelle ispezioni industriali, nel monitoraggio di impianti elettrici, energetici e idraulici.

Le termo camere presenti sul mercato sono molto costose e si distinguono in radiometriche e non radiometriche.

La telecamera radiometrica permette di effettuare un'analisi termica precisa del punto in cui viene indirizzata e quindi potrebbe facilmente fornire indicazioni, ad esempio su un altopiano carsico, sulla presenza di eventuali bocche alitanti, restituendo una visione o comunque la registrazione della mappatura completa attraverso immagini termiche ad infrarosso, che vengono poi interpretate ed elaborate tramite software dedicato. Anche lungo zone costiere di laghi o fiumi, puntata verso l'acqua, la termo camera è in grado di rilevare le differenti temperature del liquido in superficie con la possibilità di individuare eventuali risorgenze subacquee o sub lacuali.

In conclusione, l'argomento droni e speleologia è tutt'altro che esaurito: è evidente che con fotogrammetria aerea e termografia si possono ottenere informazioni di elevata precisione soprattutto cartografica, migliorando la qualità delle nostre ricerche, le conoscenze e di conseguenza i risultati esplorativi.

Riferimenti bibliografici

Fasi F., Fregonese, L., Ackermann, S., De Troia, V. (2013), "Comparison between laser scanning and automated 3D modelling techniques to reconstruct complex and extensive cultural heritage areas". ISPRS Workshop 3D-ARCH: 3D virtual reconstruction and visualization of complex architectures, (2013) pp.73-80;

Paris L. (2012), "Fotogrammetria e/o foto modellazione", in: Geometria descrittiva e rappresentazione digitale. Memoria e innovazione. Vol. II, (a cura di) Andrea Casale. Esiti della ricerca Prin 2008. Anno 2012. pp. 63-84;

Remondino F., Poli D. (2014), "Back to the future. Il ritorno della fotogrammetria", in: Geomedia - Rivista italiana di geomatica e geografia intelligente, n°2, Anno XVIII, 2014, pp. 6-8;

Russo, M., Remondino, F., Guidi, G. (2011), Principali tecniche e strumenti per il rilievo tridimensionale in ambito archeologico. Archeologia e Calcolatori, 22, pp.169-198;

Santise M., Passoni D., Pagliari D. (2014), "Esperienze di fotogrammetria da UAV per il calcolo dei volumi" in: Bollettino della Rivista italiana di fotogrammetria e topografia, 2014, pp. 43-51;

Pozzo M. (2019), "L'utilizzo dei droni nella ricerca speleologica", Speleologia, 81: 60-63.



Foto 9 - Sorvolo di sorgente carsica in periodo di piena: il drone permette di visionare luoghi spesso di difficile accesso via terra - Foto M. Pozzo