

## *Balloon Mapping* come metodologia *low-cost* per ricerche geografiche e archeologiche

### *A low-cost methodology for geographical and archaeological research: the Balloon Mapping*

GIOVANNI MAURO

Dipartimento di Studi umanistici – Università di Trieste (gmauro@units.it)

#### Riassunto

L'acquisizione di immagini da bassa quota ha di recente visto gli aeromobili a pilotaggio remoto, più comunemente noti come droni, essere protagonisti di una nuova (e trainante) stagione per questa nicchia di mercato. Tuttavia, in archeologia l'utilizzo di immagini da remoto (acquisite da palloni frenati) è una metodologia che risale alla fine del XIX secolo ed il suo utilizzo è stato di recente riscoperto soprattutto per progetti di monitoraggio ambientale.

Nel presente contributo si analizzano limiti e potenzialità della tecnologia *balloon mapping* (BM), tecnologia che consiste nell'utilizzo di palloni aerostatici gonfiati ad elio e sui quali vengono montate fotocamere digitali, con l'obiettivo di creare cartografia di tipo *raster* ad elevatissima risoluzione spaziale. Nello specifico, viene tracciata brevemente la storia di questa tecnologia applicata all'archeologia e la sua recente riscoperta in ambito ambientale. Successivamente si descrivono dettagliatamente alcuni degli strumenti in dotazione ad un progetto di ricerca condotto su siti archeologici posti in prossimità di Trieste. Vengono illustrate anche le scelte operative adottate per rispondere alle diverse esperienze e difficoltà sorte sul campo. Viene quindi presentato *MapKnitter*, un programma utile per la creazione di ortomosaici, ossia mosaici di immagini 'georiferite'. Vengono in questo modo valutati potenzialità e limiti della tecnologia BM in archeologia, soprattutto in rapporto alla possibilità, ormai più che accessibile da un punto di vista economico, di utilizzare droni.

#### Parole chiave

*balloon mapping*, pallone aerostatico, sistemi di controllo, sistemi di sospensione, fotocamere, archeologia, droni

#### Abstract

*Although recently the drones have become particularly fashionable in order to achieve high spatial resolution images, the balloon mapping (BM) is still a low-cost methodology available to archeological research. Already used for archeological surveys at the end of XIX century, the use of balloon has been now rediscovered (mainly for environmental studies) by Public Lab, an interesting researcher's community for "Open Technology and Science".*

*In this paper we explain some technical basics about this methodology. We describe BM problems like great sensitivity to the wind conditions or costs of the helium gas, but also BM strengths like long time airborne or use of retrieved old (and heavy) cameras, modified to achieve near Infrared radiation. We also present our 'balloon mapping kit': balloon, control system (wires and winch), suspension systems (the soda bottle rig and Picavet system) and normal or infrared cameras. Then, we introduce to MapKnitter, a free and open source software created by Public Lab, in order to locate and to mosaic BM images. Finally, we compare the drones and BM technology for archeological applications.*

#### Keywords

*balloon mapping, balloon, control system, suspension systems, cameras, archeology, drones*

## 1. Introduzione

L'acquisizione di immagini da remoto mediante l'utilizzo di vettori eterogenei, dai palloni aerostatici ai satelliti, ha da sempre esercitato un grande fascino sui geografi e, più in generale, su tutti coloro che lavorano sul territorio. Ne è conferma il recente successo degli aeromobili a pilotaggio remoto o UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*), più comunemente noti come droni, che è andato ben oltre ogni qualsivoglia aspettativa e che ha di fatto costretto i legislatori a definire delle norme per regolarne il loro uso massivo. Com'è noto, la recente evoluzione del mercato dei mini e micro droni ha concretamente favorito questa tecnologia dal prezzo ormai più che accessibile, per i professionisti che intendano utilizzare immagini remote ad elevata risoluzione spaziale. Tuttavia, le difficoltà connesse alla guida di questi strumenti e le restrizioni giustamente imposte dalla recente normativa<sup>1</sup> fanno sì che la scelta degli UAV sia, in parte, ancora problematica.

Il presente contributo prende in esame una tecnologia alternativa per l'acquisizione di foto da remoto allo scopo di creare cartografia ad elevatissima risoluzione spaziale: il *balloon mapping* (BM). Se l'ausilio di palloni sonda per il controllo di alcuni parametri atmosferici (pressione atmosferica, temperatura, umidità, flussi delle correnti aeree, concentrazione dell'ozono in stratosfera, ecc.) è una procedura diffusamente adottata dagli stessi operatori dell'aeronautica, ma anche nell'ambito di alcuni progetti sperimentali<sup>2</sup>, l'uso odierno di palloni

aerostatici per acquisire immagini remote è decisamente meno consueto. Impiegato agli albori della fotogrammetria anche per scopi archeologici, il suo utilizzo è però stato di recente riscoperto soprattutto per progetti di monitoraggio ambientale realizzati nell'ambito del complesso universo della cartografia partecipativa. In realtà, l'uso di questi vettori nel settore archeologico trova nuovi interessanti sviluppi, soprattutto se si pensa ai possibili raffronti tra le immagini satellitari multi-spettrali (come, ad esempio, Landsat 8 OLI o Quickbird) e le immagini ad elevata risoluzione da vettore di bassa quota. La sovrapposizione di immagini a diversa risoluzione spaziale e spettrale acquisite ortogonalmente ed il confronto con quelle oblique<sup>3</sup> rappresentano metodologie in grado di esaminare dettagliatamente gli elementi del territorio e la loro distribuzione spaziale.

Numerose sono le motivazioni che hanno indotto un gruppo di ricerca del Dipartimento di Studi Umanistici dell'Università di Trieste a proporre una rilettura in chiave moderna di questa tecnologia: 1) maggiore flessibilità nella tempistica rispetto ai sensori satellitari, (ciò comporta la possibilità di acquisire le immagini da remoto nelle condizioni che si ritengono più adatte come, ad esempio, in periodi siccitosi o subito dopo un evento piovoso); 2) la possibilità di acquistare fotocamere digitali dotate di strumentazione GPS a prezzi alquanto accessibili; 3) la possibilità di disporre di macchine modificate nella camera di ripresa per realizzare foto ad infrarossi (con relativi studi sulla componente vegetale); 4) una presunta economicità complessiva del sistema.

Nel corso del periodo 2013-2015, la metodologia BM è stata testata per la mappatura di dettaglio su alcuni siti archeologici presenti in prossimità della città di Trieste. In questo articolo vengono brevemente evidenziati potenzialità e limiti di questa metodologia. Dopo aver sinteticamente tracciato gli utilizzi di questa tecnologia

1 Il regolamento dell'Ente Nazionale per l'Aviazione Civile (ENAC) "Mezzi Aerei a Pilotaggio Remoto" (edizione 2 del 16 luglio 2015), pur tenendo distinte due grosse categorie di Sistemi Aerei a Pilotaggio Remoto (SAPR) in funzione del peso (sopra o sotto i 25kg), prevede in ogni caso numerosi requisiti riguardanti sia il veicolo (come ad esempio l'autorizzazione rilasciata da ENAC) che per il suo impiego. In tal senso colui che desidera fare volare un SAPR deve: frequentare un corso teorico presso enti autorizzati e superare il relativo esame; frequentare un corso pratico presso il costruttore del veicolo e, anche in questo caso, superare il relativo esame; essere in possesso di un certificato medico di tipo aeronautico; essere in possesso di un'assicurazione annuale concernente la responsabilità verso terzi; ecc. Rimane comunque impossibilità di volare nelle aree cosiddette 'critiche' come, ad esempio, piazze o aree urbane o zone vicine agli aeroporti ([www.enac.gov.it](http://www.enac.gov.it)).

2 Ne è un esempio il progetto di ricerca MAAT (*Multibody Advanced Airship for Transport*) portato avanti dal Dipartimento

Scienze e Metodi dell'Ingegneria dell'Università di Modena e Reggio Emilia sulla fattibilità di un nuovo sistema di trasporto aereo, tramite un dirigibile di nuova concezione alimentato interamente mediante energia fotovoltaica, in grado di garantire, per questo, la totale assenza di emissioni energetiche (<http://www.eventi.unimore.it/index.php/component/jcalpro/view/11225>).

3 Per immagini oblique si intendono quelle il cui angolo di ripresa varia in un intervallo tra 5° e 85° (Ceraudo e Boschi, 2009).

in ambito archeologico tra la fine del XIX e gli inizi del XX secolo, vengono presentate le attività attualmente svolte con il pallone aerostatico da una comunità molto attiva in ambito ambientale e cartografico, *Public Lab*. Vengono presentati anche alcuni degli strumenti operativi in dotazione: le apparecchiature (il pallone aerostatico, i fili e i verricelli), i sistemi di sospensione della fotocamera e le due macchine fotografiche utilizzate. Viene fatta una breve disamina di un programma che, in modalità *cloud computing*, permette di 'georiferire' e di mosaicare le immagini, MapKnitter. L'obiettivo è definire nel dettaglio tutte le possibili soluzioni attualmente adottabili nell'impiego di questa metodologia in ambito archeologico e non solo.

## 2. Cenni storici sull'uso del pallone aerostatico in archeologia

Già verso la metà del XIX secolo venivano eseguiti i primi rilievi fotogrammetrici mediante l'ausilio di palloni frenati (ossia eseguito con aerostati trattenuti da cavi e fermati a meno di 500 metri di quota). I casi più famosi sono quello del fotografo francese Gaspar Felix Tournachon<sup>4</sup> (noto come 'Nadar') che, tra il 1856 e il 1858, acquisì numerose riprese aeree della città di Parigi per la pianificazione della città (Soltani, 2011) e quello del fotografo americano James Wallace Black che nel 1860 immortalò Boston da un pallone aerostatico (denominato 'Queen of the air') posto ad un'altezza di circa 360 m (Lillesand e Kiefer, 2000).

Se le prime applicazioni furono prettamente a carattere militare (Lodovisi e Torresani, 2005), nei decenni

successivi questa tecnica di documentazione fu adottata anche in archeologia. Solo per citare due esempi significativi, si ricordano il caso dell'archeologo tedesco Stolze che, già nel 1879, utilizzò questa tecnologia per riprendere l'importantissimo sito di Persepoli (Stolze, 1882), e quello dell'archeologo inglese Capper che, trent'anni più tardi (nel 1906), studiava con questa metodologia il sito di Stonehenge in Inghilterra (Capper, 1907). In Italia, tra il 1899 e il 1911, fu l'archeologo Giacomo Boni a dirigere una campagna di scavi nel Foro Romano, utilizzando palloni del genio militare per realizzare immagini da circa 400 metri di altezza. Si trattava di un pallone frenato della Brigata Specialisti dalla quale il Boni documentava la situazione degli scavi in corso nell'area centrale di Roma. Esperienze di questo tipo sono state ripetute su diverse aree italiane. Due esempi abbastanza noti sono quello relativo alla zona del delta tiberino, condotto nel 1907 per studi sul porto di Claudio e di Traiano, e i rilievi fatti nel 1910 sull'area di Pompei. In quest'ultimo caso, la macchina fotografica veniva azionata da terra con un comando elettrico (Ceraudo, 2004).

Tuttavia, già all'inizio del XX secolo si apre una nuova era per la fotografia aerea: i primi voli aeronautici diedero forte impulso a questo settore di studio (inizialmente soprattutto per fini militari), mentre la tecnologia connessa ai palloni aerostatici venne di fatto accantonata. Ciò nonostante in Italia una legge del 1939<sup>5</sup>, che imponeva forti limitazioni alle riprese aeree ha fortemente limitato la ricerca archeologica italiana in questo settore: fino a pochi anni fa gli studiosi potevano solamente studiare vecchie foto aeree o, eventualmente, l'acquisire di immagini *ad hoc* mediante, ad esempio, sensori aviotrasportati e autorizzati (con costi molto elevati).

L'abrogazione nel 2000 della legge di cui sopra e la possibilità di utilizzare immagini satellitari ad elevata risoluzione spaziale a costo sempre più contenuto hanno dato nuovo impulso agli studi archeologici connessi con la tecnologia GIS (*Geographical Information*

4 Appassionato di fotografia ed aeronautica, l'eccentrico Tournachon nell'estate del 1858 riuscì ad allestire una vera e propria camera oscura su un aerostato. Tuttavia i primi tentativi di impressionare le lastre non ebbero successo e solo alle porte dell'inverno egli riuscì a realizzare un'immagine di tre edifici visti dall'aerostato. Se si esclude, però, quella del 1868 relativa alle strade di Parigi che confluiscono all'Arc de Triomphe, tutte le altre immagini non sopravvissero fino ai giorni nostri. Anche se brevettato, il procedimento era, in realtà, troppo complicato e poco remunerativo per cui fu ben presto accantonato. Attirò tuttavia l'attenzione di Napoleone III che chiese la collaborazione di Tournachon per utilizzare questa tecnologia durante il conflitto con l'Austria, ma egli vi oppose un netto rifiuto (Barnes, 2013).

5 Come evidenzia Ceraudo (2004), il Regio Decreto n.1732 del 1939 richiedeva che le attività di ripresa fossero eseguite da 'Enti o società di navigazione aerea nazionale', in possesso di autorizzazione, limitando di fatto in modo molto marcato la possibilità di acquisire foto aeree.

*System*). Infine, il recente successo dei droni ha ulteriormente cambiato gli scenari per questo ambito di ricerca che, seppur sporadicamente, vede riproposto l'uso di palloni aerostatici per mappare siti archeologici molto rilevanti<sup>6</sup>.

### 3. L'utilizzo del Balloon Mapping per la realizzazione di cartografia 'open': il caso di Public Lab

Nel 2010, a seguito del disastro ambientale causato dalla piattaforma petrolifera Deepwater Horizon nel Golfo del Messico tre ricercatori statunitensi – Shannon Dosemagen, Jeff Warren e Stewart Long – con la collaborazione di un gruppo di attivisti di New Orleans (la Louisiana Bucket Brigade, <http://labucketbrigade.org/>), si attivano per cartografare dettagliatamente l'emergenza. Tra il 7 maggio e il 22 luglio di quell'anno, decine di persone furono coinvolte nelle attività di mappatura con 36 uscite sul campo e oltre 11.000 immagini raccolte mediante tecnologia BM. In breve, venne prodotta una carta relativa a diversi chilometri della zona costiera di quell'area. Il risultato fu una cartografia ad elevatissima risoluzione spaziale (2-3 cm) (Warren, 2010), che superava di gran lunga quella dei portali cartografici più diffusi quali, ad esempio, Google Maps.

Sull'onda di questo successo nacque la Grassroot Mapping, una comunità scientifica che utilizzava strumenti a basso costo (principalmente palloni aerostatici e/o aquiloni modificati) per realizzare cartografie a risoluzione spaziale elevata. Confluita nel 2011 nella collettività scientifica denominata Public Lab<sup>7</sup>, “una comunità internazionale che sviluppa e applica strumenti di tipo *open source* per indagini ed esplorazioni ambientali”, essa è attualmente una delle sue componenti più attive.

Nel complesso questo gruppo di ricercatori, il cui sito ufficiale è <http://publiclab.org>, conta ormai su oltre 9.000 iscritti e si pone, come principale obiettivo, il monitoraggio di ambiti naturali sottoposti a forte pressione antropica. Si tratta di un'organizzazione *no profit* che sviluppa ed applica tecnologia di tipo *open-source* per indagini ambientali, secondo la filosofia *do-it-yourself* (DIY). In tal senso vengono condotte principalmente tre linee di ricerca riguardanti: il territorio, OpenLand (<http://publiclab.org/archive>)<sup>8</sup>; l'acqua, OpenWater (<http://publiclab.org/wiki/open-water>); l'aria, OpenAir (<http://publiclab.org/wiki/air-quality>). A supporto di questi progetti sono stati creati strumenti utili per la ricerca nei diversi settori indagati, strumenti che possono avere ancora carattere sperimentale (come, ad esempio, la camera termografica per l'acquisizione di dati sulla temperatura o la stereocamera per realizzare elaborazioni 3D), ma anche tecnologia già sufficientemente testata e attualmente in vendita online sul sito di questa comunità scientifica.

Per quanto concerne la linea di ricerca relativa al territorio (OpenLand), Public Lab si pone l'obiettivo di fornire agli internauti le istruzioni e gli strumenti operativi per creare carte a costo ridotto e di dare vita ad un database aperto di cartografia partecipata. In tal senso, in un'ottica di autofinanziamento del progetto propria del *crowdfunding*, viene offerta all'utente l'opportunità di acquistare dal sito <http://store.publiclab.org/products/> il 'Balloon Mapping Kit' (pallone, verricello, fili e moschettoni) ad un prezzo abbastanza contenuto (inferiore ai 100 Dollari statunitensi, USD) o il 'Kite Mapping Kit' (dal costo analogo). Qualora lo desiderasse, l'utente può anche sperimentare tecnologia più avanzata come, ad esempio, lo spettrometro (Desktop Spectrometry Kit 3.0) per analisi chimiche dell'acqua o la macchina fotografica in grado di acquisire immagini del territorio ad infrarosso (cfr. paragrafo 4.3).

6 È il caso, ad esempio, della valle di Tebe in Egitto (Weeks, 1982) in cui vennero utilizzati palloni aerostatici ad aria riscaldata o del sito di Ptolomeais in Libia (Bogacki *et alii*, 2008), cartografato mediante l'acquisizione di immagini remote da aquiloni.

7 Public Lab è sintesi di Public Laboratory for Open Technology and Science.

8 Diversi studi sono stati condotti su ambiti urbani e rurali per cui non era disponibile la cartografia (ad esempio, Mestia in Georgia-Russia, Lima, Rio de Janeiro, aree rurali nel nord-est del Belize) o in aree umide poste e fiumi in prossimità delle aree metropolitane (New York, Boston, ecc.) o, ancora, per cartografare eventi a carattere sociale (Santiago) (Seag e Mund, 2006; Warren, 2010; Lorenz e Scheidt, 2014).

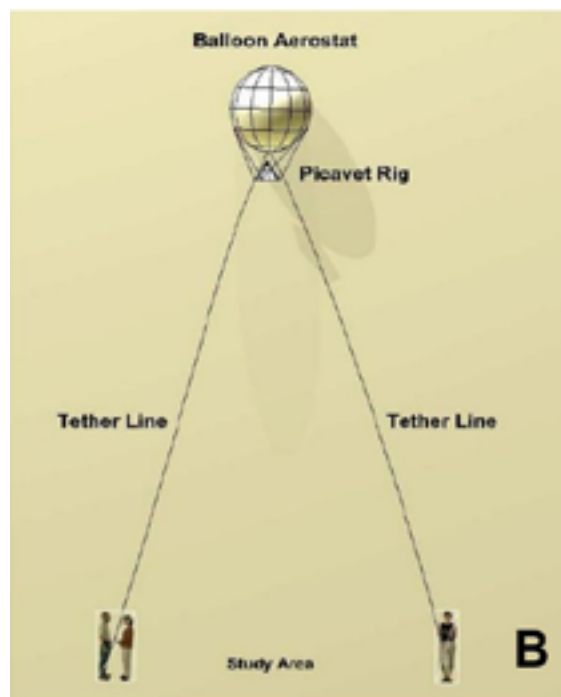


FIGURA 1

A) Difficoltà della tecnologia BM: il filo aggrovigliato sulle chiome degli alberi durante un'uscita in campo (FONTE: foto dell'Autore)

B) Soluzione adottata con due fili in tensione (FONTE: SOLTANI, 2011)

## 4. Il kit operativo

Vengono di seguito brevemente presentate le caratteristiche degli strumenti operativi per acquisire immagini mediante tecnologia BM. Nello specifico, si riportano proprietà e caratteristiche tecniche dei dispositivi utilizzati durante le attività di ricerca (svolte a scopo di rilievo archeologico) da alcuni studiosi dell'Università di Trieste tra il 2013 e il 2015, cercando anche di tracciare i cambiamenti nelle scelte operative adottate in questo breve periodo.

### 4.1 Gli strumenti operativi: il pallone aerostatico, il gas, i fili e i verricelli

Per le prime indagini sul campo si è scelto un vettore costituito da un pallone aerostatico di tipo frenato, gonfiato ad elio, sul quale montare una macchina fotografica digitale. Il pallone, di diametro pari a circa 180

cm per un volume di circa  $2,5\text{m}^3$ , è a doppio involucro per garantire maggiore resistenza agli urti e all'irraggiamento solare. Il pallone interno è costituito da lattice naturale, biodegradabile, leggero ed estremamente elastico, mentre quello esterno è fatto in nylon<sup>9</sup>.

Per riempire un pallone aerostatico delle dimensioni prescelte sono necessari circa 14 litri di gas elio puro al 99% (a pressione atmosferica è pari ad un volume di circa  $2,8\text{m}^3$ ). Il costo di una bombola di gas elio è alquanto variabile (da 60 fino a 100 euro), in quanto fortemente influenzato dalle condizioni di mercato: si tratta infatti di un gas piuttosto raro<sup>10</sup> che si ottiene

<sup>9</sup> Il doppio involucro garantisce una caduta rallentata nel caso di una foratura imprevista. Ulteriori specifiche sono disponibili al sito <http://www.tecnofly2008.com/>

<sup>10</sup> Recentemente anche la British Medical Association (Bma) ha lanciato un appello per un uso consapevole di questo gas raro, segnalando il rischio che esso non sarà più disponibile per usi medici (fonte: <https://bma.org.uk/news-views-analysis/work/2015/july/mri-scanners-or-balloons-the-helium-debate-takes-off>).



FIGURA 2 – I due avvolgicavo a confronto: a sinistra (A) verricello montato su 'yoyo'; a destra (B) verricello nautico dotato di cintura (FONTE: foto dell'Autore)

commercialmente come sottoprodotto delle estrazioni petrolifere. Per il mercato europeo, il principale referente è l'Algeria ed è, dunque, facilmente intuibile quanto la disponibilità ed il conseguente costo possano essere condizionati dalla situazione geopolitica in atto.

Per quanto riguarda i fili per vincolare e guidare il pallone aerostatico, dopo un'iniziale esperienza negativa, particolare attenzione è stata data alla resistenza del filo<sup>11</sup> in fase di trazione. Non è infrequente, infatti, che durante le operazioni di ripresa aerea improvvise (e imprevedibili) folate di vento spingano il pallone verso ostacoli fisici di diversa natura (chiese di alberi, cornicioni dei tetti, ecc.) sui quali i fili possano aggrovigliarsi (figura 1A). Nel tentativo di liberare il vettore, gli operatori sono costretti a tirare il filo in diverse direzioni. La sua eventuale rottura per tensione e/o per attrito comporterebbe, ovviamente, la perdita dell'intera attrezzatura

<sup>11</sup> Per la tipologia di filo si è optato per il 'trecciato Dyneema': costituito da una fibra sintetica leggera e particolarmente adatta alla trazione che può resistere a carichi di rottura fino ai 250 kg, esso è comunemente utilizzato da chi pratica alpinismo, pesca sportiva o parapendio. In realtà sul mercato esistono molte tipologie di cavo Dyneema che, pur avendo sempre un'ottima resistenza alla trazione, hanno un costo proporzionale alla loro capacità di resistenza alla tensione che viene, generalmente, indicata da un numero.

montata sul pallone. Per ovviare tale situazione si è scelto di lavorare almeno con due fili (figura 1B): il pallone è più controllabile e un filo garantisce il recupero del vettore, nel caso l'altro si strappi.

I fili vengono rilasciati o ritirati durante le operazioni di ripresa fotografica mediante verricello e/o avvolgicavo. Considerato il tempo necessario per svolgere e/o avvolgere un cavo piuttosto lungo, è necessario che si tratti di strumenti operativi il più possibile performanti in grado di evitare aggrovigliamenti o torsioni dei fili e rendere, pertanto, il recupero rapido e semplice.

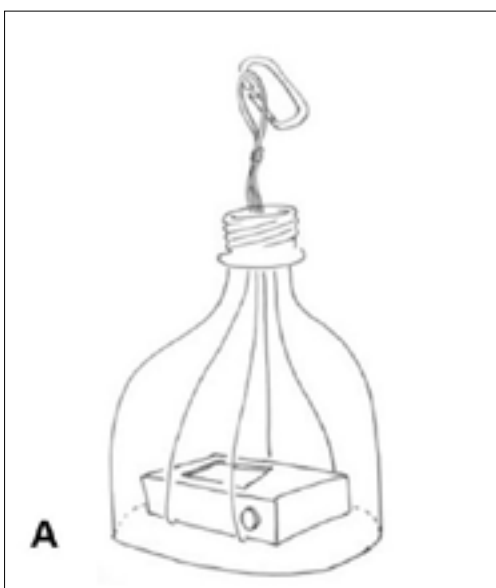
Nel caso specifico si sono scelte due tipologie di avvolgicavo:

- un verricello dotato di manopola di avvolgimento e montato su supporto circolare in plastica, denominato 'yoyo' (figura 2A). Questo sistema è in grado di avvolgere fino a 500m di filo; risulta essere alquanto efficiente e ha un costo relativamente contenuto;
- un verricello nautico, dal costo decisamente più elevato. Questo avvolgicavo si ancora alla vita con una cintura elastica munita di un gancio di chiusura in plastica (figura 2B). Mediante tale cintura il pallone è fisicamente assicurato ad una persona. Le azioni di svolgimento e (soprattutto) di riavvolgimento del filo sono molto rapide. Tuttavia il filo che si può av-

FIGURA 3 – Il montaggio della fotocamera sulla staffa rigida  
(FONTE: foto dell'Autore)



FIGURA 4 – Il sistema di sospensione della bottiglia in PET forata:  
(A) rappresentazione schematica (fonte: Warren, 2010);  
(B) un momento nella fase di montaggio della fotocamera sul pallone  
(FONTE: foto dell'Autore)



volgere non è molto lungo<sup>12</sup> (circa 120m al massimo) per cui, se si vuole alzare il pallone ad altezze superiori, bisogna dotarsi di un avvolgicavo suppletivo che rallenta tutte le operazioni.

#### 4.2 Sistemi di sospensione della fotocamera al pallone aerostatico

Come già evidenziato in un precedente contributo (Mauro, 2014), uno dei limiti più evidenti di questa tecnologia è collegato alle condizioni (anche minime) di ventosità. Se in condizioni di calma di vento il pallone rimane abbastanza stabile e ruota al massimo su se stesso per effetto delle correnti d'aria che lambiscono il pallone stesso, la situazione cambia notevolmente anche in presenza di minima brezza. A causa della sua elevata resistenza aerodinamica, con un vento stimabile tra i 1,5-2 m/s il pallone tende ad inclinarsi di molto verso il terreno, rendendo di fatto il vettore inutilizzabile per acquisire foto zenitali.

Proprio per questo, l'iniziale sistema di fissaggio della fotocamera al pallone, alquanto rigido e costituito da una semplice staffa (figura 3), è stato successivamente sostituito con soluzioni decisamente più flessibili.

Un sistema di sospensione utilizzato è quello della 'bottiglia forata' (*the soda bottle rig*; figura 4): la macchina fotografica è assicurata al pallone con un sistema di elastici e un moschettone ad una bottiglia in PET forata che la protegge da eventuali urti. Il peso della macchina fotografica sospesa garantisce la (quasi) ortogonalità dell'obiettivo rispetto al terreno. Questa soluzione si è rivelata particolarmente economica ed, al contempo, efficace (le immagini che si ottengono sono quasi sempre ortogonali).

<sup>12</sup> Decidere prioritariamente quanto deve essere lungo il filo è molto rilevante per una buona riuscita della ripresa fotografica. Ovviamente questa scelta è legata all'obiettivo che lo studio si propone. Perciò se si vuole fare un rilievo a scala estremamente dettagliata (ad esempio 1: 500, pari ad un pixel di circa 10 cm) è sufficiente un'altezza inferiore ai 50m. Ciò comporta che l'area ripresa sia di dimensioni ridotte, ma potrebbe andare benissimo, ad esempio, nel caso di riprese di pavimentazioni a mosaico. Altezze maggiori (120-150m) permettono di riprendere aree più estese, con tutte le difficoltà connesse alla gestione del sistema. Per il rapporto tra risoluzione spaziale e scala si veda Favretto (2006).

La seconda soluzione adottata è quella del *Picavet* (figura 5): questo sistema di sospensione deve il nome al suo inventore, Pierre Picavet, che nel 1912 ideò un sistema di fili connesso ad un telaio a forma di croce. Su questa struttura viene fissata la macchina fotografica che, grazie al suo peso, si mantiene in posizione zenitale a prescindere dalle condizioni del vento (Soltani, 2011). Il suo costo è abbastanza contenuto e i risultati sono più che soddisfacenti in quanto le immagini acquisite solitamente non sono ortogonali.

Futura evoluzione dei sistemi di sospensione per la fotocamera da adottare per la tecnologia BM potrebbe essere quella del *Gimbal* (o *Camera Point*), un supporto cardanico in due o tre assi che può essere orientato mediante giroscopio anche da remoto con un telecomando. Questo tipo di soluzione viene comunemente adottata anche per i mini o micro droni, permettendo di acquisire in modalità controllata sia immagini ortogonali che oblique. Il suo costo è, però, decisamente superiore rispetto alle due soluzioni precedentemente illustrate.

#### 4.3 I 'sensori': due fotocamere a confronto

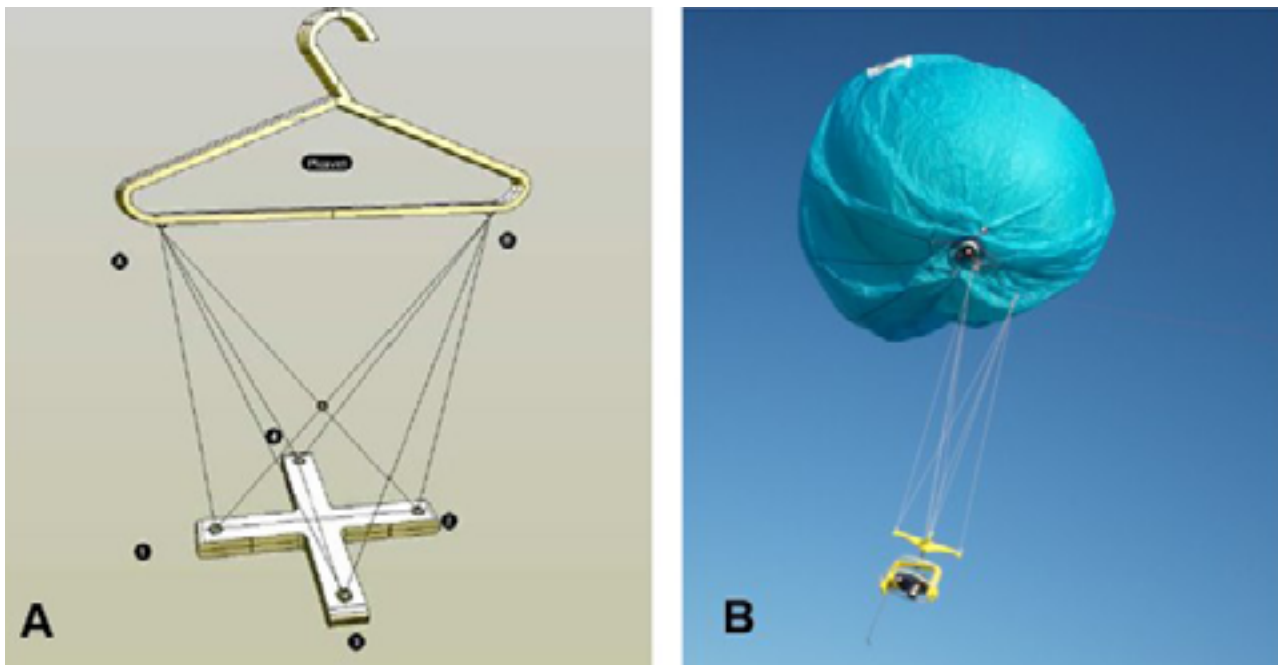
Sul pallone aerostatico sono state montate alternativamente due macchine fotografiche, entrambe abbastanza leggere per essere trasportate dal vettore e in grado di acquisire immagini 'in continuo'. La prima fotocamera è la WG3 della Pentax, una macchina di piccole dimensioni, particolarmente resistente agli urti, in grado di acquisire immagini secondo un intervallo temporale predefinito grazie all'intervallometro. La seconda fotocamera prescelta è la Canon Power Shot A590IS, un modello commercializzato dalla comunità Public Lab, piuttosto datato ma leggermente modificato per acquisire immagini sensibili alla luce dell'infrarosso (IR) vicino.

Nel predisporre la macchina fotografica prima di uscire in campo, gli operatori devono porre particolare attenzione alle variabili di seguito elencate.

- Peso della fotocamera. Questo parametro deve essere particolarmente contenuto. Il pallone aerostatico riesce a veicolare facilmente fotocamere commerciali con un peso ridotto (250-300 g).
- Risoluzione dell'immagine: essendo il numero di pixel della foto, è meglio selezionare il valore massimo, anche se questo determina maggiore consumo



FIGURA 5 – Il sistema di sospensione *Picavet*:  
a sinistra (A) lo schema di funzionamento (FONTE: SOLTANI, 2011);  
a destra (B) il sistema montato sul pallone aerostatico (FONTE: foto dell'Autore)



di memoria<sup>13</sup>. Ormai le comuni fotocamere acquisiscono immagini mediamente a 16 Megapixel, per cui questo parametro non rappresenta un limite per le attività di ripresa.

- Velocità dell'otturatore. Questo parametro determina la luce che entra in camera e la sua regolazione dipende dalle condizioni di illuminazione: se la velocità impostata è troppo bassa, entrerà molta luce con il rischio di ottenere un'immagine sovraesposta; in caso contrario, si rischia di ottenere una foto sottoesposta. In linea generale, se la giornata è soleggiata la velocità deve essere impostata su valori medi, se invece è nuvolosa meglio selezionare una velocità ridotta.

13 Acquisendo immagini ad intervalli di tempo molto ravvicinati, con immagini ad elevato 'peso informatico' si rischia di saturare velocemente la memoria della fotocamera durante una campagna di raccolta dati. Ad esempio, con una risoluzione dell'immagini a 16 Megapixel e una memoria di 8 Gigabyte, acquisendo immagini ogni 5 secondi il vettore può rimanere in aria oltre 40 minuti prima di saturare la memoria. Tuttavia, grazie al fatto che i costi di questa tecnologia informatica sono alquanto contenuti, il problema è abbastanza secondario.

- Lunghezza focale. Com'è noto, la lunghezza focale di un sensore influenza la risoluzione spaziale dell'immagine secondo la seguente formula:  $1/S = f/D$ , dove S è la scala di restituzione della carta, f la lunghezza focale e D la distanza del centro ottico della fotocamera dall'obiettivo di ripresa posta a terra (Lillesand e Kiefer, 2000, 136-141). Nel sistema di acquisizione di immagini mediante BM, la pellicola di una generica macchina fotografica è in realtà il 'sensore' cui si fa riferimento. Trattandosi, però, di camere fotografiche digitali il supporto non è di tipo analogico, ma per l'appunto digitale e quindi costituito da pixel le cui dimensioni definiscono la scala di riferimento (Favretto, 2007) e le dimensioni reali dell'area ripresa a terra (ossia lo *swath* dell'immagine).
- Intervallometro. Attraverso questo strumento gli operatori definiscono ogni quanto tempo la macchina fotografica scatterà una foto e tale intervallo può variare da qualche secondo a qualche minuto in funzione dello scopo della ricerca. Non tutte le fotocamere sono dotate di questo particolare dispositivo, ma tal-

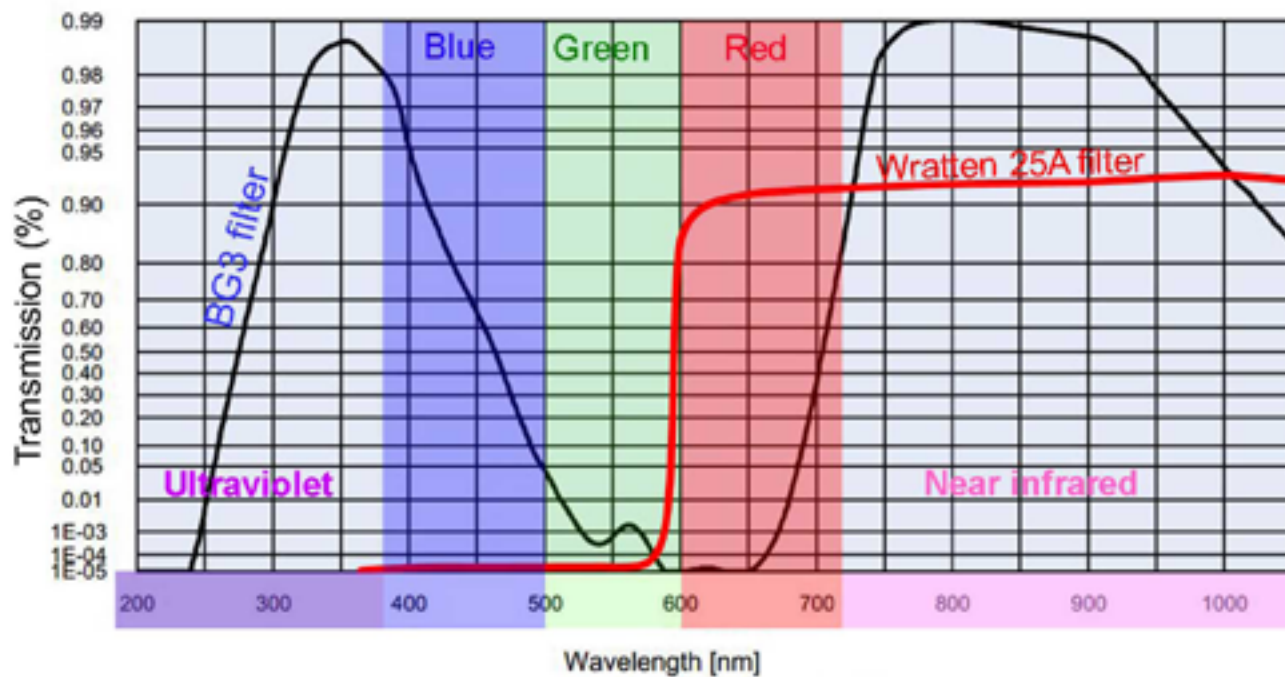


FIGURA 6 – Curva di trasmittanza dei filtri BG3 e Wratten 25A. Il filtro Wratten 25A blocca la luce blu e verde, ma permette la trasmissione della luce nel vicino infrarosso (Near Infrared – NIR) e nel rosso  
(FONTE: <http://publiclab.org/notes/cfastie/11-12-2013/red-filter-rising>)



FIGURA 7 – Immagine a falsi colori (RGB: 123) dell'area archeologica posta nei pressi della basilica di Aquileia (UD)  
(FONTE: foto dell'Autore)

TABELLA 1 – Alcune specifiche, rilevanti ai fini del BM, delle due fotocamere utilizzate durante i sopralluoghi in campo

	WG3 – Pentax	PowerShot A590IS – Canon
Peso (g)	230	225
Risoluzione massima in MPixel (n. colonne x n. righe)	16 (4608 x 3456)	8 (3264 x 2448)
Velocità dell'otturatore (s)	1/4 – 1/4.000	1/60 – 1/2.000
Lunghezza focale (mm)	4,5 – 18	5,8 – 23,2
Intervallometro	Si	Firmware aggiornabile (CHDK)
GPS e altimetro	Si	No
Ripresa del Infrarosso (IR)	No	Si

volta è possibile aggiornarne il software: in questo modo, l'intervallometro può essere aggiunto come una sorta di estensione delle funzionalità della macchina. È il caso della fotocamera Canon di cui sopra: la possibilità di aggiornare il *firmware* della fotocamera permette di installare il pacchetto CHDK (acronimo di *Canon Hacking Development Kit*) ossia programmi aggiuntivi<sup>14</sup>, tra cui anche l'intervallometro.

- GPS e altimetro. Pur non essendo strettamente necessari (in quanto la successiva localizzazione geografica delle immagini acquisite viene effettuata mediante programmi specifici; cfr. par. 5), conoscere le coordinate del centro immagine mediante GPS e avere un'indicazione, almeno approssimativa, dell'altezza del vettore costituiscono informazioni aggiuntive importanti per l'intera procedura.
- Ripresa della luce dell'infrarosso (IR) vicino. Com'è noto, la possibilità di acquisire immagini multispettrali sensibili alla luce IR permette di analizzare lo stato di salute della vegetazione, mediante l'elaborazione di particolari indici, di cui il più conosciuto

è il *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI)<sup>15</sup>. Nel presente caso, la fotocamera Canon (di cui sopra) è disponibile, come già accennato, in una versione leggermente modificata: dal blocco macchina è stato eliminato il filtro in grado di 'bloccare' la radiazione IR e ne è stato inserito un altro, di natura gelatinosa e dalla forma quadrata (si tratta del prodotto Kodak denominato Wratten25A; <http://fastie.net/product/wratten25a/>). Questo ulteriore filtro è in grado di selezionare parte delle onde dell'IR vicino, rendendo la fotocamera nel complesso più sensibile a questo spettro di luce (figura 6). Come spiegato nel dettaglio anche in Favretto (2015), associando al canale blu e, parzialmente, al canale verde la radiazione infrarossa si ottengono immagini a falsi colori con netta predominanza del colore blu (figura 7).

In tabella 1 vengono riportate alcune specifiche (rilevanti ai fini del BM) delle due fotocamere.

<sup>14</sup> Questo software garantisce numerose nuove funzionalità alla fotocamera come, ad esempio, estendere il tempo di esposizione, scattare immagini in formato .raw, visualizzare istogrammi in tempo reale, calcolare la profondità di campo, disporre dell'indicatore per sapere lo stato di carica della batteria, ecc. (<http://chdk.wikia.com/wiki/Italian/FAQ>).

<sup>15</sup> Si riporta di seguito la formula dell'NDVI (Rouse *et al.*, 1974):  $NDVI = (NIR - RED)/(NIR+RED)$ , dove NIR è il valore di riflettanza del singolo pixel all'infrarosso vicino, mentre RED è quello al rosso. I valori dell'indice sono normalizzati da -1 a +1, aiutando di fatto l'interpretazione di risultati: mentre i valori negativi si riferiscono ad ambiti privi di vegetazione, valori bassi indicano generalmente formazioni vegetali meno 'evolute' (prati, savana, ecc.), mentre valori più elevati si riferiscono a formazioni vegetali più 'mature' (ad esempio, foreste).

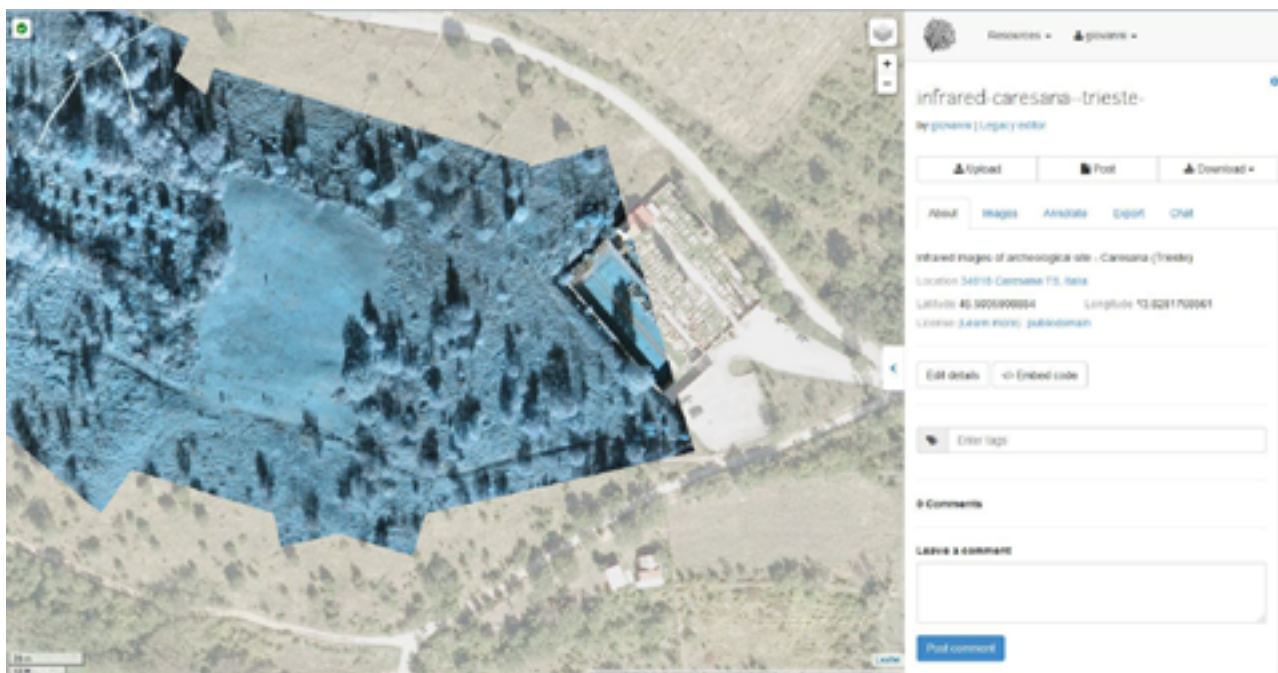


FIGURA 8 – L'ambiente grafico della piattaforma di MapKnitter 2.0. Nello specifico è visibile parte del ortomosaico del progetto 'infrared-Caresana-Trieste' (come riportato in alto a destra)

## 5. La creazione di ortomosaici mediante l'applicativo gratuito MapKnitter

Una volta acquisite le immagini mediante la fotocamera prescelta, esse possono essere utilizzate per creare ortomosaici: si tratta di una composizione di immagini aeree adiacenti, opportunamente raddrizzate ed aventi la stessa scala (Wolf *et al.*, 2014). Tale elaborazione non comporta automaticamente l'applicazione di algoritmi sulle aree in cui le foto si sovrappongono, soprattutto qualora esse evidenzino un'analogia esposizione.

Nel composito universo del Web2.0 le possibilità offerte dalla rete per creare un ortomosaico sono molteplici. Infatti, oltre ai consueti programmi a pagamento (ad esempio, Photomodeler o Agisoft Photoscan) generalmente più performanti, si possono reperire software che funzionano in modalità *cloud computing* secondo la logica *Software as a Service* (SaaS) o programmi di tipo *open source* disponibili gratuitamente (ma di solito più ostici da utilizzare).

Un esempio di SaaS è DroneMapper (<https://drone-mapper.com/>), un programma disponibile in rete che offre all'utente la possibilità di creare immagini georiferite e mosaicate a prezzi alquanto ragionevoli (circa 18 euro a Kmq). Open Multiple View Geometry (OpenMVG) è, invece, un esempio di libreria<sup>16</sup> gratuitamente disponibile e scaricabile dotata di diversi moduli particolarmente validi per la fotogrammetria (<http://image.enpc.fr/~moulonp/openMVG/>). Altro esempio di programma gratuito è OpenDroneMap (<http://opendrone-map.github.io/odm/>), un applicativo mediante il quale l'utente, a partire dalle proprie immagini (dotate anche dei riferimenti GPS), può creare modelli digitali (sia DSM che DTM) e/o ortomosaici georiferiti.

È in questo contesto che si inserisce MapKnitter (<http://mapknitter.org/>), un software sviluppato dalla

<sup>16</sup> In informatica con il termine libreria si intende una raccolta di funzioni o strutture dati nate per essere utilizzate da un programma specifico.

comunità Public Lab<sup>17</sup>: si tratta di una vera e propria piattaforma *online* che permette di posizionare (in modalità *rubbersheet*, ossia modificando in tempo reale direzione e dimensioni della foto, senza applicare precedentemente alcuna trasformazione) le immagini raccolte dal pallone aerostatico sulla cartografia *raster* dei portali cartografici più diffusi. L'utente può successivamente mosaicare le immagini correttamente localizzate e creare così degli ortomosaici georiferiti.

Questo programma è l'evoluzione di un precedente progetto denominato Cartagen Knitter ed è attualmente alla sua versione 2.0 (figura 8). Questo applicativo, che funziona in modalità *cloud computing*, utilizza programmi *open source* come, ad esempio, la libreria GDAL (Geospatial Data Abstraction Library), la libreria JavaScript Leaflet, il *framework web* Ruby on Rail, ecc. grazie ai quali crea un ambiente informatico alquanto intuitivo e semplice per la generazione di ortomosaici. L'utente iscritto deve inizialmente creare un progetto con il quale identifica l'area geografica di riferimento; successivamente posiziona le immagini acquisite dal vettore che devono essere opportunamente orientate, ridimensionate e sovrapposte alla base della cartografia di riferimento come OpenStreetMap, Google Satellite o Bing Aerial. Una volta che le immagini sono correttamente posizionate, l'utente può mosaicarle scegliendo la risoluzione spaziale più opportuna in rapporto alla qualità e al relativo 'peso informatico' della carta finale<sup>18</sup>: l'immagine finale sarà data dal solo accostamento e/o sovrapposizione delle foto prescelte e geolocalizzate.

Il risultato è una cartografia *raster* da esportare nei formati più comuni come, ad esempio, GeoTIFF. L'utente può rendere pubblica la carta prodotta salvandola sul server del database cartografico di MapKnitter, sul quale sono attualmente (inizio ottobre 2015) disponibili

17 Questa comunità, oltre ad offrire la possibilità di acquistare strumenti (come già specificato al par. 3), mette a disposizione degli utenti anche alcuni programmi liberamente utilizzabili *online*. Ne è un esempio, Infragram, un applicativo per caricare in rete immagini acquisite con fotocamere a IR e per poterle successivamente visualizzarle secondo diverse combinazioni di colori o elaborare indici di vegetazione (come, ad esempio, l'NDVI).

18 Per informazioni più dettagliate dell'intero processo da seguire per creare fotopiani si veda Favretto e Mauro (2015).

oltre 1.800 carte del tutto gratuite con risoluzione spaziale media inferiore a 30cm.

## 6. Pallone aerostatico o drone per l'archeologia?

In ultima analisi, si propone un confronto tra pallone aerostatico e mini o micro droni per evidenziarne reciproci svantaggi e/o vantaggi nelle applicazioni in archeologia.

Come emerso nel presente contributo, numerosi sono i limiti insiti nella tecnologia BM; tra questi i principali consistono nella scarsa stabilità del pallone (fortemente influenzato dalla ventosità del sito) e nel costo del gas elio, che condiziona fortemente la presunta economicità dell'intero sistema. Ai costi fissi (acquisto del pallone, del filo, del verricello ed, eventualmente, del *Picavet*), valutabili in una cifra di circa 500 euro, bisogna perciò aggiungere il costo dell'elio che può variare da 60 a 100 euro per ogni uscita in campo. Altro fattore da non sottovalutare è la difficoltà di gestione dell'intero sistema: anche se inizialmente può sembrare un sistema facile da utilizzare per la ripresa di foto da bassa quota, numerose sono le insidie del BM come, ad esempio, le modalità di assemblaggio o una sottovalutazione delle difficoltà presenti nel sito da studiare (chiome degli alberi, ventosità, linee elettriche, ecc.).

Punto di forza, invece, è la possibilità di mantenere in aria il vettore per un periodo prolungato (ad esempio, un'intera giornata) e poter così riprendere 'in continuo' la stessa scena a lungo. Ciò permette di monitorare l'evoluzione dei fenomeni in atto come, ad esempio, nel caso dell'esperienza di Trieste Next 2014 (cfr. Favretto e Mauro, 2015 e Ronza, 2014). Altro vantaggio è la possibilità di montare fotocamere digitali dal peso contenuto (250-300 g): si possono così recuperare anche vecchie macchine fotografiche ed eventualmente modificarle per acquisire informazioni anche sull'infrarosso vicino (le indicazioni su come procedere concretamente sono disponibili in rete<sup>19</sup>). Ciò, invece, costituirebbe un problema per mini

19 Ne è un esempio il video disponibile su YouTube "How to make an infrared camera" (<https://www.youtube.com/watch?v=SeySK1Q4QYE>).

o micro UAV su cui generalmente è preferibile montare fotocamere più leggere come le GoPro<sup>20</sup>. Ulteriore supporto a questa tecnologia arriva dai programmi sviluppati *ad hoc* e disponibili gratuitamente in rete e MapKnitter ne è l'esempio più significativo.

Per contro i mini o micro droni sono sicuramente più pratici nell'utilizzo (è sufficiente uscire in campo con il drone) e molto più efficienti nell'acquisizione delle immagini, in quanto meno condizionati dal vento e più facili da mantenere sotto controllo, grazie alla tecnologia GPS integrata. Tuttavia il costo iniziale di acquisto (per un mini o micro SAPR di qualità sufficientemente affidabile il prezzo si aggira attorno almeno ai 1.500 euro) e i costi per le pratiche per poterlo ufficialmente pilotare (stimabili in almeno altri 2.000 euro) rappresentano variabili che giocano a sfavore di questo vettore. Anche in questo caso, l'esperienza nell'utilizzo del mini o micro UAV non è affatto un fattore secondario; rischiare di

smarrire un drone per le cause più svariate (uscita del vettore dalla zona di controllo del radiocomando, ostacoli fisici su cui va per errore a posizionarsi il drone, rendendo difficoltoso il suo recupero, ecc.) significa anche perdere una cifra abbastanza rilevante.

Considerando che né drone, né pallone aerostatico sono tecnologia veramente *low-cost*, la scelta sul vettore da preferire deve essere attentamente valutata in funzione degli obiettivi che si intende perseguire con il loro utilizzo. Nel campo archeologico sembra sicuramente prevalere l'uso più pratico del drone, anche se l'utilizzo del pallone può risultare utile in situazioni particolari. Ad esempio, utilizzare mini o micro UAV in siti archeologici localizzati in zone tidali (ossia in aree sottoposte a forte escursioni di marea, come le lagune o le foci dei fiumi) può significare il rischio concreto di perdere in acqua l'intera strumentazione; questo problema con l'utilizzo del pallone non sussiste.

---

20 Com'è noto, con il termine GoPro, che richiama la società californiana che le produce, si intendono le videocamere e fotocamere compatte e particolarmente leggere (inferiori a 100g) che mediante accessori possono essere indossate per riprese in *real time* durante, ad esempio, attività agonistiche.

## Bibliografia

- BARNES J. (2013), *Livelli di vita*, Einaudi, Torino, pp. 17-23.
- BOGACKY M., MALKOWSKY W., MISIEWICZ K. (2008), "Kite Aerial Photography as a tool for completing GIS models. Ptolomeais (Lybia) case study", *Remote Sensing for Archeology and Cultural Heritage Management*, La Saponara R. & Masini N. Editors, pp. 329-333.
- CAPPER J.E. (1907), "Photographs of Stonehenge, as seen from a War Balloon", *Archeologia*, 60, 571-3.
- CERAUDO G. (2004), *Un secolo e un lustro di fotografia aerea archeologica in Italia (1899-2004)*, *Archeologia aerea*, Studi di Aerotopografia Archeologica, Libreria dello Stato, Istituto Poligrafico e Zecca di Stato, Roma.
- CERAUDO G., BOSCHI F. (2009), *Fotografia aerea per l'archeologia*. In: GIORGI E. (a cura di), *In profondità senza scavare. Metodologie di indagine non invasiva e diagnostica per l'archeologia*, Groma, 2, pp. 171-186.
- DAVIS M.A., JOHNSON G.W. (1991), "A simple and inexpensive method of obtaining low-altitude photographs of vegetation using a tethered balloon", *Prairie Nat.*, 23(3), pp. 153-164.
- FAVRETTO A. (2006), *Strumenti per l'analisi geografica. GIS e telerilevamento*, Patron, Bologna, p. 135.
- FAVRETTO A. (2007), *Sviluppo locale ed integrazione regionale: metodologie e problematiche con particolare riferimento alla cartografia*, Patron, Bologna, pp. 1-56.
- FAVRETTO A., MAURO G. (2015), Analisi esplorative delle preferenze dei visitatori di una manifestazione culturale in uno spazio urbano utilizzando il Balloon mapping e la statistica spaziale. Il caso di Trieste Next, "Bollettino dell'Associazione Italiana di Cartografia", 155, pp. 7-19, <http://hdl.handle.net/10077/11652>.
- FAVRETTO A., MAURO G., ZACCARIA C. (2015), Il *Balloon Mapping* per lo studio di due castellieri sul Carso isontino e triestino, "Bollettino dell'Associazione Italiana di Cartografia", 155, pp. 36-51, <http://hdl.handle.net/10077/11791>.
- LILLESAND T. M., KIEFER R. W. (2000), *Remote Sensing and Image Interpretation*, Wiley & Sons, New York, pp. 57-59 e pp. 136-141.
- LODOVISI A., TORRESANI S. (2005), *Cartografia e informazione geografica, Storia e tecniche*, Pátron, Bologna, pp. 174-175.
- LORENZ R. D., SHEIDT S.P. (2014), "Compact and inexpensive kite apparatus for geomorphological field aerial photography, with some remarks on operations", *GeoResJ*, 3-4, 1-8. <http://www.elsevier.com/locate/GRJ>.
- MAURO G. (2014), "Strumenti per una cartografia 'attiva': il *balloon mapping*. Limiti e potenzialità in un progetto di ricerca a Trieste", *Bollettino dell'Associazione Italiana di Cartografia*, 151, pp. 4-16, <http://hdl.handle.net/10077/10371>.
- RONZA M. (2014), "*Balloon Mapping a 'Trieste Next 2014': esperienze di cartografia attiva*", *Bollettino dell'Associazione Italiana di Cartografia*, 151, pp. 105-108, <http://hdl.handle.net/10077/10596>.
- ROUSE J. W., HAAS R. H., SCHELL J. A., DEERING D. W. (1974), *Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS*, Proceedings 3<sup>rd</sup> Earth Resources, Technology Satellite-1 Symposium, Goddard Space Flight center, Washington D.C.
- SEANG T.P., MUND J.P. (2006). "Balloon Based Geo-Referenced Digital Photo Technique a Low Cost High-Resolution Option for Developing Countries", *Proceedings of the XXIII International FIG Congress*, Munich, Germany, pp. 1-12. [https://www.fig.net/pub/fig2006/papers/ts73/ts73\\_02\\_mund\\_peng\\_0425.pdf](https://www.fig.net/pub/fig2006/papers/ts73/ts73_02_mund_peng_0425.pdf).
- SOLTANI A. (2011), *Embodied airborne imagery: low-altitude urban filmic topography*, Electronic Visualization and the Arts (EVA 2011), London. [http://ewic.bcs.org/upload/pdf/ewic\\_ev11\\_s7paper1.pdf](http://ewic.bcs.org/upload/pdf/ewic_ev11_s7paper1.pdf).
- STOLZE F. (1882), *Persepolis. Die achaemenidischen und sasanidischen*

*Denkmäler und Inschriften von Persepolis, Istakhr, Pasargadae, Shâhpûr zum ersten Male photographisch aufgenommen. 2 Bände*, Berlin, A. Asher & Co, Andreas & Theodor Nöldeke.

WARREN J. Y. (2010), *Grassroots Mapping: tools for participatory and*

*activist cartography*, Massachusetts Institute of Technology (MIT). <http://unterbahn.com/thesis-web/thesis.pdf>.

WEEKS K.R. (1982), *The Berkeley Map of the Theban Necropolis: Report of the Fifth Season*, University of California, Berkeley.

WOLF P.R., DEWITT B. A., WILKINSON B.E. (2014), *Elements of Photogrammetry with Applications in GIS*, McGraw-Hill Education, USA, pp.249-251.