

I Droni per la conoscenza, il governo ed il controllo del territorio

a cura di Francesco Guzzo, Massimo Micieli, Mirco Taranto



Legislazione Tecnica
libreria professionale

Prontuario tecnico

I Droni per la conoscenza, il governo ed il controllo del territorio

a cura di Francesco Guzzo, Massimo Micieli, Mirco Taranto

INDICE



I SISTEMI AEROMOBILI A PILOTAGGIO REMOTO (SAPR):
IL QUADRO DI RIFERIMENTO TECNICOEVOLUTIVO, NORMATIVO E GESTIONALE
(*PARTE PRIMA*)



I SISTEMI AEROMOBILI A PILOTAGGIO REMOTO (SAPR)
PER LA CONOSCENZA, IL GOVERNO ED IL CONTROLLO DEL TERRITORIO
(*PARTE SECONDA*)



I SISTEMI AEROMOBILI A PILOTAGGIO REMOTO (SAPR)
PER LA CONOSCENZA, IL GOVERNO ED IL CONTROLLO DEL TERRITORIO
(*ULTIMA PARTE*)

di
FRANCESCO GUZZO,
*Ingegnere dei trasporti,
 consulente tecnico, esperto di
 pianificazione territoriale e
 governo del territorio, mobilità
 sostenibile e sicurezza stradale,
 estimo civile e ambientale.*

MASSIMO MICIELI,
*Geologo, docente a contratto
 per il corso di Geologia
 Applicata presso il
 Dipartimento di Ingegneria
 Civile (DINCI) dell'Università
 della Calabria, Pilota/Operatore
 APR.*

MIRCO TARANTO,
*Geologo, dottorando presso la
 Scuola di Dottorato in Scienze
 dell'ingegneria, dell'ambiente,
 delle costruzioni e dell'energia
 (SIACE) presso il Dipartimento
 di Biologia Ecologia e Scienze
 della Terra (DiBEST)
 dell'Università della Calabria,
 Pilota/Operatore APR.*

VERSIONE ARTICOLO ONLINE
 FAST FIND AR1386



I SISTEMI AEROMOBILI A PILOTAGGIO REMOTO (SAPR): IL QUADRO DI RIFERIMENTO TECNICO-EVOLUTIVO, NORMATIVO E GESTIONALE (PARTE PRIMA)

L'interesse per l'impiego degli aeromobili a pilotaggio remoto (meglio conosciuti come "droni") sta crescendo esponenzialmente, per le diverse potenzialità d'impiego che s'intravedono quali, ad esempio, sorveglianza del territorio, rilevamento delle condizioni ambientali, trasmissione dati, riprese aeree, impieghi agricoli, compiti di ordine pubblico. Questo primo articolo mette a fuoco il quadro di riferimento illustrando l'evoluzione della tecnologia, la normativa nazionale, europea e internazionale e gli utilizzi con finalità di indagine, monitoraggio e controllo del territorio, ad integrazione e supporto delle tecniche "tradizionali".

1. AEROMOBILI A PILOTAGGIO REMOTO: PROFILI INTRODUTTIVI

La possibilità di osservare a diverse altezze e con diverse angolazioni il territorio, ha portato negli ultimi anni ad una diffusione capillare ed esponenziale dei sistemi APR (Aeromobili a Pilotaggio Remoto) meglio conosciuti come *Droni*.

Il termine drone vuole uniformare la serie di sigle usate a livello nazionale ed internazionale per meglio definire questi velivoli; UAV, UAS, APR, SAPR sono gli acronimi più diffusi per definire tecnicamente degli “aeromobili” privi di pilota.

Sebbene la loro storia trovi le radici nella metà dell’800, è solo negli ultimi 50 anni che il loro sviluppo ha portato alla realizzazione di velivoli senza pilota in grado di compiere intere missioni.

Gli APR presentano enormi potenzialità sia in termini di precisione che di operatività, consentendo non solo l’abbattimento dei costi d’esercizio, ma anche la possibilità di intervenire in ambiti che, per le loro peculiarità, non potrebbero essere analizzati con velivoli convenzionali. Lo sviluppo tecnologico nell’ambito della sensoristica ha permesso di equipaggiare i droni con molteplici carichi, nello spettro del visibile (camere digitali compatte o professionali), nell’infrarosso (camere termiche), camere multispettrali, fino ad arrivare a sensori più evoluti quali camere a 360° oppure sistemi Lidar.

Una sensoristica che merita di essere trattata a parte è sicuramente quella bellica, utilizzata a partire dagli anni ‘70 dall’esercito israeliano, che ha rappresentato il punto di partenza dell’uso dei droni in contesti operativi.

L’uso in ambito civile può essere diviso in tre grandi settori:

1. Hobbistico;
2. Riprese aeree (foto e video);
3. Utilizzo tecnico scientifico in: geologia, ingegneria, architettura, archeologia e agricoltura.

Il *primo settore* include tutti gli appassionati che per puro divertimento si avvicinano a questo mondo, seguendo le orme del mitologico Icaro; sono tante le persone catturate dall’ebbrezza del volo, unendo la possibilità di fare video o scatti fotografici di ottima qualità con le microcamere oggi disponibili a prezzi veramente accessibili a tutte le tasche.

Il *secondo settore* è rappresentato principalmente da fotografi, operatori cinematografici e professionisti dell’ambito accademico. Ottenere delle riprese di qualità da nuove angolazioni e da nuove prospettive ha consentito il dilagare della realizzazione di sistemi anche molto performanti; qui il ventaglio dei prezzi si amplia, partendo da poche migliaia di euro fino ad arrivare a decine di migliaia di euro; la differenza risiede essenzialmente nella sensoristica (peso, qualità) l’autonomia

IL TERMINE DRONE VUOLE UNIFORMARE LA SERIE DI SIGLE USATE A LIVELLO NAZIONALE ED INTERNAZIONALE PER MEGLIO DEFINIRE QUESTI VELIVOLI; UAV, UAS, APR, SAPR SONO GLI ACRONIMI PIÙ DIFFUSI PER DEFINIRE TECNICAMENTE DEGLI “AEROMOBILI” PRIVI DI PILOTA.

di volo (durata batteria), stabilità della ripresa.

Il *terzo settore* si lega principalmente all’aerofotogrammetria di prossimità, ossia, uso di sensore fotografico equipaggiato su APR per la realizzazione, sulla base di voli programmati e con l’ausilio di sistemi di posizionamento (GPS), di “*strisciate fotografiche*” con percentuali di sovrapposizioni ben definite. Dette riprese, elaborate attraverso software specifici, permettono la restituzione di:

- modelli 3D del terreno;
- nuvole di punti;
- ortofoto;
- curve di livello, profili, ecc.

Tutti i dati ottenuti contengono le coordinate x, y, z secondo un dato sistema di riferimento, consentendo l’esportazione sui più comuni sistemi informativi territoriali (GIS), offrendo, inoltre, la possibilità di poter sovrapporre le elaborazioni di restituzione sulle cartografie tecniche ufficiali.

Altre importanti applicazioni riguardano l’agricoltura di precisione, dove con l’ausilio di sensori multispettrali è possibile “*calibrare*” particolari parametri (denominati *indici di vigore*) per meglio indirizzare la semina, l’irrigazione, la concimazione, ecc., delle varie coltivazioni.

1.1. LA NASCITA: I PRIMI IMPIEGHI IN AMBITO MILITARE

L’uso di un velivolo privo di equipaggio da poter usare a scopo militare ha sempre interessato gli eserciti di tutto il mondo; non rischiare il patrimonio umano ed ottenere successi militari rappresenterebbe la panacea di qualsiasi strategia bellica.

I primi a sperimentare in guerra l’uso di un oggetto volante furono gli austriaci nel 22 agosto 1849 durante l’assedio di Venezia.

La particolare conformazione della laguna veneta non si prestava ad un attacco classico; inoltre mantenere un assedio risultava altrettanto complicato per l’impossibilità ad avvicinare l’artiglieria pesante alla città. Venne, pertanto, programmata e sperimentata una “*incursione*” ae-

rea costituita da piccoli palloni aerostatici collegati tra di loro, armati con bombe controllati da sistemi di sgancio elettromagnetici per mezzo di un filo di rame, che collegava i palloni ed era, a sua volta, collegato ad una batteria galvanica posta sul luogo di decollo.

Alcune bombe centrarono l'obiettivo, ma essendo il sistema direzionato dalla sola componente meteorologica (vento) risultava difficile controllarne la traiettoria; difatti alcuni degli stessi palloni rilasciarono le loro bombe proprio sopra le linee austriache (cfr. Figura 1).

Il moderno assetto alla struttura dei droni militari si materializza, effettivamente, solo negli anni '70, dapprima come sistemi di ricognizione per monitorare le forze armate nemiche, in seguito come sistema per "adesicare" le batterie di missili contraerei e permettere nelle fasi di ricarica l'attacco da parte dei velivoli militari con piloti.

I pionieri in questo campo sono stati, sicuramente, gli israeliani che, con la realizzazione dei due droni *Tadiran Mastiff* e *Scout* (cfr. Figura 2) furono anche i primi ad utilizzare droni aerei in una missione di combattimento. Il successo israeliano non passò inosservato e ben presto la tecnologia venne a conoscenza dei militari degli Stati Uniti, in particolar modo dopo l'intervento in Libano nel 1983.

Le richieste di fornitura americana diedero la linfa economica per l'evoluzione di questi sistemi, diventando velocemente sempre più performanti e con capacità offensive e di carico sempre maggiori.

All'inizio degli anni '90 gli Stati Uniti cambiarono fornitore a favore dell'americana "General Atomics"; la partnership permise la realizzazione di quello che ancora oggi viene conosciuto come il drone militare offensivo per antonomasia, l'MQ-1 meglio come "Predator", aeromobile con velocità di 217 km/h ed autonomia di 24h capace di colpire bersagli a circa 1.000 km di distanza con i 2 missili in dotazione.

Come tutti gli oggetti tecnologici anche il famoso *Predator* ha dovuto arrendersi al passare del tempo e, dopo,



Figura 1. Miniatura del 1880, raffigurante l'attacco dell'esercito austriaco a Venezia tramite l'uso di palloni aerostatici dotati di sistema di sgancio elettromagnetico.

Fonte: <https://goo.gl/bTW3xh>.

quasi 30 anni di onorato servizio in tutto il mondo, ne è stata decretata la sua definitiva uscita con comunicazione del 28 febbraio 2017.

Il suo posto verrà rimpiazzato dal nuovo MQ9 *Reaper*, a velocità di crociera e raggio di azione quasi raddoppiati, ma ad un prezzo lievemente più alto del *Predator*.

1.2. COMPONENTISTICA E MODALITÀ DI VOLO: INQUADRAMENTO DEFINITORIO ED EVOLUZIONI TECNOLOGICHE

In Italia si occupa di aviazione civile l'Ente Nazionale per l'Aviazione Civile (ENAC), che definisce i droni come SAPR (Sistemi Aeromobili a Pilotaggio Remoto); tale acronimo fa intendere che non si tratta di un singolo oggetto, ma di un insieme di componenti specificamente concepiti per effettuare determinate operazioni in volo.

Possiamo sinteticamente schematizzare i SAPR nella seguente strutturazione per principali componenti:



Figura 2. Drone Scout (a sinistra) e il Mastiff (a destra) utilizzati dall'esercito israeliano. Fonte <https://en.wikipedia.org/wiki>.

- **Fusoliera** o **Corpo**; rappresenta il “contenitore” della sensoristica, ove trovano alloggio tutte le parti che compongono l’aeromobile;
- **Elica** o **Ala**, in differente numero, con funzione di sostenere l’aeromobile in aria e permetterne il suo spostamento;
- **Motore**, a garanzia della propulsione;
- **Alimentazione**, principalmente composta da sistemi a batterie ricaricabili (ne esistono anche con alimentazione a carburante liquido per appositi motori a scoppio);
- **Radiocomando**, per il controllo dell’aeromobile da remoto, subentrando all’assenza del pilota a bordo,
- **Global Positioning System (GPS)**, per la navigazione nello spazio, l’inquadratura ed il controllo del posizionamento;
- **Centralina di volo** o **Flight controller**, per il controllo del numero dei giri del motore in base ai sensori posti al suo interno, e per le varie regolazioni in base ai movimenti pianificati (es: missione di volo);
- **Sistema di trasmissione video a terra**, mediante monitor (generalmente installato sul radiocomando) ovvero da terra con appositi occhiali (*Fatshark*) ai fini dell’inquadratura della zona da parte dell’aeromobile;
- **Gymbal**, supporto cardanico orientabile lungo 2 o 3 assi sul quale viene montata la sensoristica da

ATTUALMENTE SONO ALLO STUDIO ED IN FASE DI SPERIMENTAZIONE E SIMULAZIONE DIVERSI SISTEMI CHE PERMETTANO L'AUTOAPPRENDIMENTO (RETI NEURALI).

utilizzare, al fine di stabilizzare l’immagine durante il volo mediante giroscopio ed a cambiare inquadratura senza far spostare il drone da una data posizione;

- **Ground control station**, solitamente un notebook, che comunica con l’APR in tempo reale attraverso un sistema di telemetria, con l’installazione di opportuni software di controllo per il monitoraggio istantaneo dei dati di bordo del velivolo.

Dal radiocomando possono essere impartiti all’aeromobile 4 comandi principali, che ne permettono lo spostamento nello spazio; vengono definiti in inglese **Pitch**, **Roll**, **Yaw** and **Throttle**, tradotti rispettivamente in **Beccheggio**, **Rollio**, **Imbardata** e **Gas**.

- il **Beccheggio** è rappresentato dalla rotazione attorno all’asse trasversale di volo;
- il **Rollio** è rappresentato dalla rotazione attorno all’asse longitudinale di volo;
- l’**Imbardata** è rappresentato dalla rotazione attorno all’asse verticale;
- il **Gas** è legato alla velocità di propulsione dei motori.

A seconda dell’associazione di questi comandi alle due leve (chiamate anche cloche) possono essere definite 4 modalità di guida, chiamate in inglese Mode 1, Mode 2, Mode 3, Mode 4, (cfr. Figura 3).

L’evoluzione in questo campo è rappresentata sicuramente dall’intelligenza artificiale, possibilità, cioè, che un aeromobile sia dotato di una propria autonomia per compiere missioni senza i comandi impartiti da terra da parte di un operatore qualificato, in altre parole di riconoscere in fase di esecuzione errori di valutazione rispetto ad una missione trasmessa ed assumere contestualmente le opportune azioni correttive.

Attualmente sono allo studio ed in fase di sperimentazione e simulazione diversi sistemi che permettano l’autoapprendimento (*reti neurali*).

Alcuni sistemi istruiscono l’aeromobile tramite delle “*Machine Learning*” su cui vengono caricati “*esperienze*” di precedenti di voli, dividendoli in “*andati a buon fine*” e “*NON andati a buon fine*”, quindi se si verifica uno scenario ricollegabile ad una delle esperienze, il sistema predilige quella andata a buon fine.

Uno degli scenari più futuristici è stato disegnato nel mese di Maggio 2017 dalla multinazionale americana

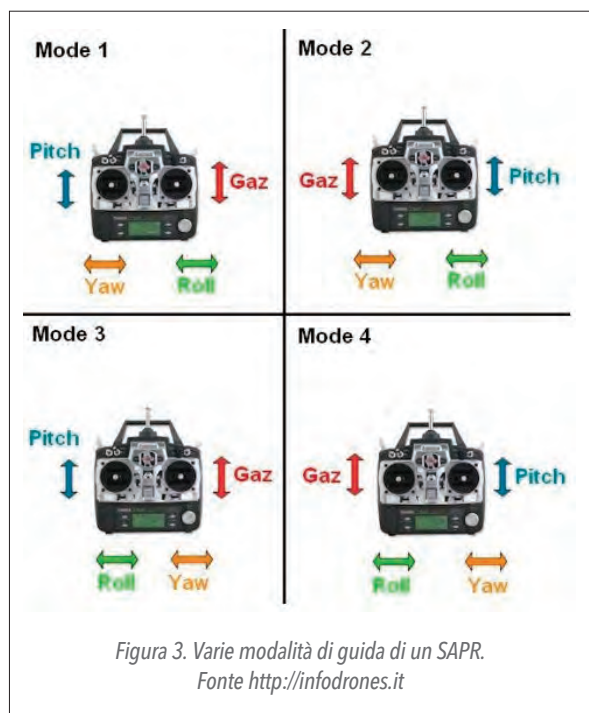


Figura 3. Varie modalità di guida di un SAPR.

Fonte <http://infodrones.it>

Qualcomm che si occupa di ricerca e sviluppo nella telecomunicazione senza fili; la notizia riportata sul loro sito internet (<https://goo.gl/FFbJVx>) annuncia la fattibilità delle reti *network 4G LTE* per pilotare i droni fuori dalla visuale del pilota, permettendo così di poter programmare voli anche su scala planetaria.

Chiaramente alle immense potenzialità che il mercato dei droni offre, bisogna contrapporre le spinosissime questioni legali e le implicazioni commerciali e tecniche. Sostanzialmente possiamo riassumere affermando che la tecnologia è pronta a compiere ancora e velocemente passi da gigante ma regolamentazione, certificazione, controllo con specifiche connotazioni di tipo normativo necessitano di tempi molto più dilatati, in ragione della multicomplexità degli aspetti coinvolti.

2. AEROMOBILI A PILOTAGGIO REMOTO: LA NORMATIVA

2.1. BREVE QUADRO DI RIFERIMENTO INTERNAZIONALE, EUROPEO E NAZIONALE

Il “mondo” droni ha assunto, con velocità inimmaginabili nell'immediato presente, importanza sempre maggiore nel campo delle indagini esplorative, diagnostiche, partendo da motivazioni originarie esclusivamente di natura militare e di difesa.

La capacità di “piegare” rapidamente ad esigenze di carattere civile e tecnico-scientifico potenzialità di esplorazione esclusivamente concepite per finalità di tutela della sicurezza nazionale su base aeronautica deve, nel contempo, misurarsi con contestuali esigenze di “normalizzazione” degli utilizzi per finalità legittime e legittimamente perseguibili, riservatezza e sicurezza, in un più ampio contesto globale internazionale dove, invece, singolarmente, aspetti e tematiche regolamentari non sono state pienamente ricomposte, lasciando aperte “*finestre*”, in alcuni casi, pericolosamente allettanti in assenza di requisiti stringenti ed ispirati da finalità di tutela.

La regolamentazione di natura legislativa e regolamentare in ragione di un utilizzo coerente, rispettoso delle specifiche tecniche nonché dei rilevanti aspetti connessi alla tutela della riservatezza nel temperamento di esigenze di sicurezza nazionale e di protezione civile rappresenta, oggi, un capitolo della “*storia*” dei droni fortemente dibattuto tanto in ambito giurisprudenziale che in attinenza alla formazione dei distinti profili tecnico-operativi.

In sintesi, i principali aspetti normativi incentrati su profili di sicurezza, di gestione tecnico-operativa con le connesse limitazioni, trattandosi di aerovelivoli, sono da rinvenire, se non esplicitamente adottati con normative specifiche, nelle pieghe degli atti regolatori di competenza delle rispettive autorità di vigilanza e/o mini-

steriale in ambito di aviazione civile e militare.

A quanto risulta da indagini effettuate in rete, non sono rinvenibili analisi sistematizzate di compendio e confronto del complesso di norme che regolano le attività dei droni nazione per nazione (ricerche e focus per analisi di diritto e legislazione comparata).

Di recente, fra il 2014 ed il 2015, un tentativo, seppur non con la portata che necessiterebbe, è stato tentato dalla rivista “*Multicopter*” per *Riot Media.Ch*, sulla scorta di una raccolta di informazioni che sono pervenute da amatori e/o conoscitori di singoli aspetti delle tematiche inerenti i droni, precisando, nel contempo, come non fosse possibile procedere ad una verifica di attendibilità integrale delle fonti, e, contestualmente, sottolineando la necessità di dover rendere disponibile alla consultazione un primo tentativo di ricomporre un mosaico complesso, stimolando l'aiuto della “*rete*”.

La “*ricerca*”, dal titolo “*Legal information about flying multicopter drone uav in different countries*” è stata curata da *Mathias Häcki*, che premette che la sua raccolta, è orientata a finalità di comparazione per uso essenzialmente commerciale (quali restrizioni ovvero possibilità ci possono essere in un particolare paese per un particolare utilizzo di uno specifico APR?), e che, onestamente e deontologicamente, chiude così il suo commento di premessa:

“...I'm not liable for the accuracy and completeness of information provided on this page. So don't call me if you get in troubles. You should also check the supplied sources regularly as many countries are in the process of changing the laws due of the massive increase of small drones like DJI Phantoms. So here is what. I have found so far. I'll update this site whenever I've got some more informations to share”.

L'interesse per la “*ricerca*”, peraltro, non a caso è “*maturo*” proprio nella Confederazione Elvetica, nazione all'avanguardia nel campo della regolamentazione degli APR con un corposo e aggiornato sistema di normazione specifico, atteso l'indubbio vantaggio competitivo, oltre che di natura commerciale, di integrazione e controllo reciproco a livello internazionale in ragione del “*fai da te*” possibile per i “*buchi*” normativi in diverse nazioni. Secondo questo primo tentativo, seppur sommario, sicuramente volenteroso ed encomiabile in termini di “*stimolo*” ad avviare ricognizioni sistematiche e strutturate, ma non ancora disponibili in letteratura, *Mathias Häcki*, ha raccolto notizie ed informazioni per i seguenti paesi, in ordine alfabetico: Austria, Australia, Belgio, Bolivia, Brasile, Cile, Cina, Repubblica Ceca, Danimarca, Estonia, Francia, Germania, Grecia, Italia, Irlanda, Lettonia, Lussemburgo, Marocco, Norvegia, Olanda, Perù, Portogallo, Regno Unito (UK), Romania, Sud Africa, Singapore, Spagna, Stati Uniti (US), Svezia, Svizzera (CH), Tailandia. Fra i “*post*” ricevuti da tutto il mondo, in risposta alla richiesta di aiuto di *Häcki*, sono presenti anche lettori

che richiedono notizie, al momento senza risposta, su regolamenti e legislazione in Indonesia, Malesia, Malta, Slovenia, Zambia.

Le risposte “*obligate*” di Häcki, in assenza di fonti informative, ricalcano la seguente:

“*Sorry, no news yet. But please let me know when you goz informations to share and I'll post it on the site for others to see*”.

Una “bella pagina di spirito di servizio” che merita sicuramente la menzione che ne diamo in questa breve rassegna, constatando, *otherwise*, che metodo e volontà di conoscenza/condivisione/confronto per finalità di diffusione delle informazioni rappresentano, evidentemente, bagaglio accomunante tra persone di buona volontà, prescindendo dalla nazionalità, localizzazione e sfera d'azione operativa, avvantaggiandosi di strumenti “*semplici, veloci ed efficienti*” in attività di “*linkage*” dinamico.

Fra i paesi che hanno disciplinato in modo rigoroso gli aspetti di utilizzo in termini di regolamentazione va sicuramente annoverata la Confederazione Elvetica (CH), il cui Ufficio Federale dell'Aviazione Civile (UFAC), Mühlestrasse 2, 3003 Berna, email rpas@bazl.admin.ch, ha stabilito stringenti regole di esercizio per droni ed aeromodelli, al fine di regolamentarne l'uso per contestuali finalità di sicurezza e privacy. Le regole, riportate sul portale UFAC, sono contenute nell'Ordinanza sulle Categorie Speciali di Aeromobili (OACS emessa dal DA-TEC, cfr. Perotti A., 2015, link: <https://goo.gl/0yUAFf>). Esiste e va scrupolosamente osservata la Legge Federale sulla protezione dei dati (LPD).

Nell'Unione Europea il dibattito è stato avviato da un punto di vista regolamentare con *Regulation (EC)* n. 216/2008 con riferimento ai sistemi *Aircraft* altrimenti denominati (*Unmanned Aircraft Systems, UAS*) in ragione di una regolamentazione frammentaria e non sufficien-

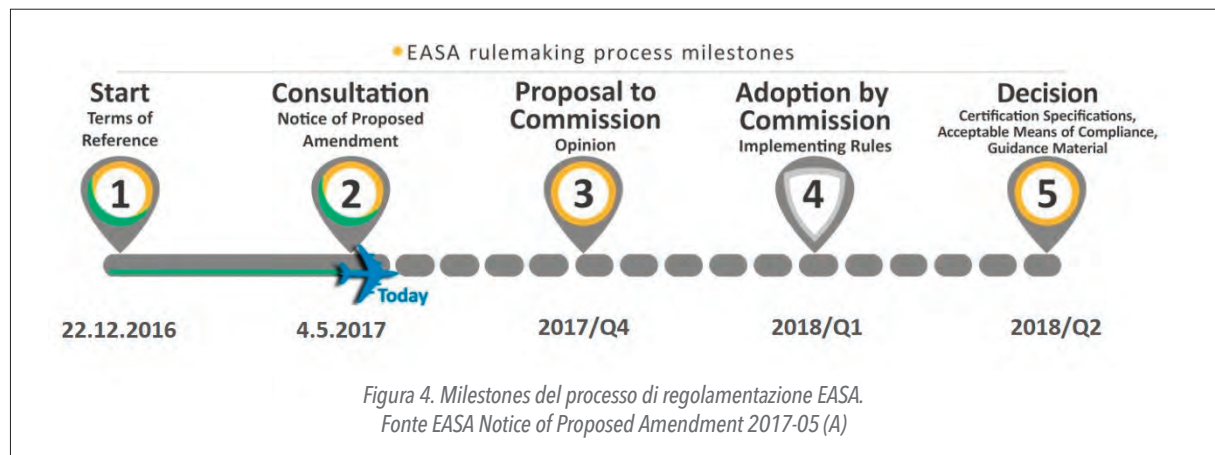
temente strutturata e compendiate. Detta regolamentazione è stata subito “battezzata” come Regolamentazione base (“*Basic Regulation*”). In questa sede si forniscono, per la brevità della trattazione, i soli riferimenti normativi senza entrare nel dettaglio ampio delle specifiche tecniche, da riguardare con attenzione mediante il rinvio al testo di regolamentazione.

Nel mentre, il dibattito, di pari passo con l'evoluzione tecnologica e l'impiego multisettoriale tanto nel campo dell'aviazione civile che in quella militare e di protezione (civile, sanitaria), ha stimolato l'avvio di un processo sempre più integrato di riflessione sulle opportune forme evolutive di regolamentazione che contemperassero un quadro di riferimento centrato a livello operativo, di rischio proporzionato (prevedibile e controllato) e di performance, in direzione per gli UAS della garanzia di:

- livello di sicurezza elevato ed uniforme;
- sostegno al mercato di produzione;
- incremento di privacy e protezione dei dati.

Tale “cornice” ha finalmente avviato il processo di discussione ed approvazione della proposta di emendamento alla *Regulation (EC)* n. 216/2008, mediante l'avvio di notificazione da parte della *European Aviation Safety Agency (EASA)* del processo a tutti gli Stati Membri, con la proposta definita il 22 dicembre 2016, mediante *Notice of Proposed Amendment 2017-05 (A)*, i.e. *NPA*, partita il 4 maggio 2017 con l'inizio della fase di Consultazione. Il processo, secondo le previsioni *road show*, dovrebbe essere completato entro il 2018 con l'approvazione della Decisione da parte del Parlamento Europeo su proposta adottata dalla Commissione europea (cfr. Figura 4).

A livello nazionale l'ENAC, con l'emendamento 3 del 24 marzo 2017, ha da poco revisionato il Regolamento “*Mezzi aerei a pilotaggio remoto*”, la cui seconda edizione era stata predisposta il 16 luglio 2015. La prima edizione veniva, invece, approvata il 16 dicembre 2013.



La versione vigente, per complessivi 37 articoli contenuti in 36 pagine, assume una strutturazione in otto Sezioni, di seguito elencate:

- **Sezione I** – Generalità – artt. 1-7;
- **Sezione II** – Sistemi Aeromobili a Pilotaggio Remoto con mezzi aerei di massa operativa al decollo minore di 25 kg – artt. 8 – 13;
- **Sezione III** – Sistemi Aeromobili a Pilotaggio Remoto con mezzi aerei di massa operativa al decollo maggiore o uguale a 25 kg – artt. 14 – 19;
- **Sezione IV** – Disposizioni per il pilotaggio degli Aeromobili a Pilotaggio Remoto – artt. 20 – 23;
- **Sezione V** – Regola di circolazione e utilizzo dello spazio aereo – artt. 24 – 27;
- **Sezione VI** – Disposizioni Generali per i Sistemi Aeromobili a Pilotaggio Remoto – artt. 28 – 34;
- **Sezione VII** – Aeromodelli – art. 35;
- **Sezione VIII** – Disposizioni finali – artt. 36-37.

Si rimanda diffusamente al testo regolamentare per la disciplina attualmente in vigore in Italia, in ordine alla classificazione dei SAPR ed alle regole in ragione delle rispettive masse operative al decollo, alle certificazioni di progetto ed ai requisiti tecnici nonché ai requisiti richiesti ai rispettivi operatori ed alle diverse modalità di certificazione delle relative competenze (attestato, licenza), ai centri di addestramento, alle regole di circolazione in volo ed alle procedure per la fornitura di servizi di navigazione aerea, alle documentazioni ed alle c.d. “regole di ingaggio” in termini di comunicazione, privacy, security ed alle connesse sanzioni.

3. UTILIZZI TECNICO-SCIENTIFICI PER FINALITÀ DI INDAGINE, MONITORAGGIO E CONTROLLO IN AMBITO TERRITORIALE: INTEGRAZIONE E SUPPORTO ALLE TECNICHE DI RESTITUZIONE ORDINARIA E POTENZIALITÀ IN DIVENIRE

L'utilizzo dei SAPR finalizzato allo studio del territorio rappresenta una vera e propria rivoluzione delle tecniche “classiche” di rilevamento.

Gli addetti ai lavori, in particolar modo geologi, ingegneri e topografi, sono principalmente “osservatori” e “fruitori” del territorio e con l'uso dei droni possono potenziare questa attività di studio, che fino a qualche tempo fa si basava esclusivamente sulle immagini satellitari ed aeree pregresse, le quali non consentivano una ricerca mirata e alla scala adeguata, né tantomeno una visione dall'alto in “tempo reale” (ad es. subito dopo un evento calamitoso).

Quasi sempre nell'immediatezza le zone colpite da eventi calamitosi risultano di difficile accesso, sia per le parti-

GLI ADDETTI AI LAVORI, IN PARTICOLAR MODO GEOLOGI, INGEGNERI E TOPOGRAFI, SONO PRINCIPALMENTE “OSSERVATORI” E “FRUITORI” DEL TERRITORIO E CON L'USO DEI DRONI POSSONO POTENZIARE QUESTA ATTIVITÀ DI STUDIO, CHE FINO A QUALCHE TEMPO FA SI BASAVA ESCLUSIVAMENTE SULLE IMMAGINI SATELLITARI.

colari peculiarità morfologiche che per lo stato in cui versano di conseguenza i terreni e le aree interessate. Può capitare, pertanto, di dover operare in somma urgenza senza avere una chiara visione della complessità dei fenomeni in atto, rischiando di non programmare in modo ottimale possibili interventi diretti alla mitigazione degli effetti. La chiara visione di tali fenomeni è, dunque, una condizione fondamentale per le figure preposte a realizzare le azioni volte ad attenuare i rischi e le pericolosità.

Tra le più importanti applicazioni dei (SAPR) rientrano le cartografie fotogrammetriche di grande dettaglio e la modellazione tridimensionale del suolo (cfr figura 5). La cartografia tradizionale, in molti casi obsoleta, non è adoperabile per studi di elevato dettaglio; basti pensare alle *Carte Tecniche Regionali (CTR)* in scala 1:5.000, mentre con i SAPR si possono ottenere, con i dovuti accorgimenti, elaborati con risoluzioni e dettagli sub-centimetrici.

Pertanto, il rilevamento di prossimità a bassa quota offerto dagli APR permette, in modo agevole, il monitoraggio del territorio, consentendo la realizzazione di cartografie con approccio multiscala (integrazione di dati a diversa quota), che realizzate in differenti periodi di tempo permettono di tracciare l'andamento delle linee di costa e dei percorsi fluviali, la perimetrazione di dettaglio dei corpi franosì, delle aree alluvionate e delle loro potenziali evoluzioni, nonché delle aree interessate da incendi, e così via.

L'impiego di queste tecnologie per la produzione di una cartografia GIS dettagliata non può, tuttavia, prescindere da un'adeguata preparazione e da uno studio preliminare. Difatti, il drone, nonostante faciliti l'intero processo, non può sostituire le competenze dei professionisti del settore né, tantomeno, le tecniche classiche di rilevamento.

I vantaggi di svolgere un rilievo con i SAPR stanno nella facilità di accesso alle informazioni ed alla concreta possibilità di raggiungere un dettaglio di ripresa mai raggiunto con i sistemi tradizionali. Tramite i diversi software in commercio, di ogni ordine e grado in termini di attendibilità e di costi, le riprese vengono elaborate re-

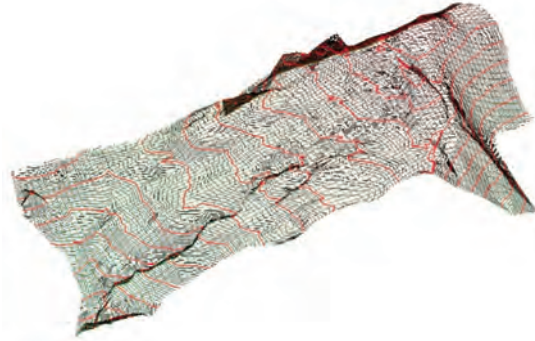
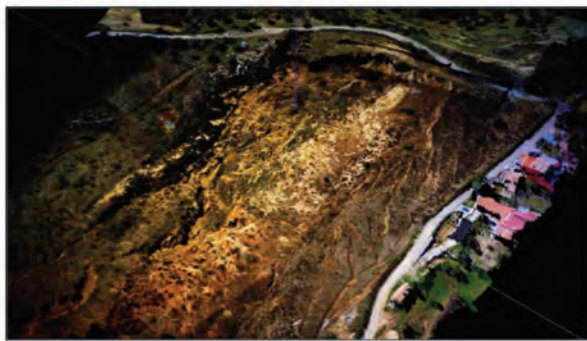


Figura 5. Esempio di modellazione 3D di una frana: nuvola di punti (a sinistra) e curve di livello su DTM (a destra).
Fonte GEOTEST.

stituendo modelli tridimensionali che rappresentano una copia fedele della superficie terrestre, capaci di consentire agli esperti di studiarne le forme e la loro evoluzione (Figura 5).

L'aerofotogrammetria si realizza con i SAPR seguendo i principi base del metodo tradizionale: infatti, è indispensabile operare con i punti di appoggio a terra – denominati GCP (*Ground Control Point*) – al fine di poter georeferenziare con adeguata precisione i vari elaborati ed ottenere il massimo dettaglio possibile. Pertanto, l'utilizzo degli strumenti topografici terrestri è strettamente connesso a questo tipo di rilievo.

A differenza delle procedure di elaborazione aerofotogrammetriche classiche, che vedono l'utilizzo dei restitutori (ormai completamente digitali), i software fotogrammetrici attuali si basano su algoritmi di "Image Matching" che elaborano i modelli stereoscopici analizzando determinati parametri delle foto digitali, lavorando esclusivamente sui singoli pixel.

È doveroso evidenziare che il rilievo aerofotogrammetrico da drone non implica operazioni di semplice ed immediato approccio, per cui non deve essere confuso con una sorta di attività ludica alla quale tutti possono accedere. Attualmente si assiste ad una crescita esponenziale nella produzione di SAPR, con un mercato che rischia di proporre pseudo-professionisti non in grado di soddisfare a pieno le reali richieste, ma che al contrario forniscono inconsapevolmente dati di dubbia attendibilità.

Le metodologie tradizionali di rilievo topografico non devono essere considerate "superate" dall'avvento di questa tecnologia, ma rinforzate e più efficienti, in quanto la possibilità di coprire aree molto estese in tempi brevi, nonché la necessità di "battere", in rapporto, pochissimi punti con gli strumenti terrestri è un vantaggio considerevole.

Le tecniche topografiche terrestri sono caratterizzate da un'elevata qualità in termini di dettagli raggiungibili, ma da una bassa produttività legata ai lunghissimi tempi esecutivi. Un'immagine aerea cattura in un solo istante la posizione di innumerevoli punti. Dunque, l'esecuzione di un rilievo aerofotogrammetrico da drone coadiuvato dalle misure dei GCP a terra consente di raggiungere risultati accettabili, seppur qualitativamente inferiori a quelli sopradetti, nella maggior parte dei casi.

Sono già stati proposti SAPR con sistema GPS RTK (*Real Time Kinematic* - Cinematica in tempo reale) in versione "miniaturizzata" che garantirebbe un posizionamento con accuratezza a livello centimetrico, ma che richiede una stazione di riferimento a terra collegata con l'APR. Tale soluzione porta a pensare sia possibile accedere ad una precisione di localizzazione pari al centimetro, senza la necessità di altre misurazioni a terra, consentendo la realizzazione di rilievi aerofotogrammetrici senza l'utilizzo dei GCP.

In realtà oggi la precisione del GPS RTK sui droni può garantire precisioni nell'ordine dei 10 centimetri, un dato più che sufficiente per realizzare mappe GIS e modelli solidi 3D ad elevate precisioni, ma non completamente sufficiente a sostituire il rilievo topografico di alcuni punti a terra.

Il vero punto di forza delle antenne RTK a bordo del drone va inteso come tecnologia abilitante in uno scenario inaccessibile, quale, ad esempio, una frana dove è pericoloso se non impossibile accedere, e dove poter avere precisioni elevate diventa un vantaggio irrinunciabile. L'integrazione dei sistemi di posizionamento è, quindi, innovazione di grande interesse per il futuro dell'intera catena produttiva degli APR, perché potrebbe aprire la strada a sviluppi applicativi strategici (fonte: <https://goo.gl/bufuAp>). 

di
FRANCESCO GUZZO,
*Ingegnere dei trasporti,
 consulente tecnico, esperto di
 pianificazione territoriale e
 governo del territorio, mobilità
 sostenibile e sicurezza stradale,
 estimo civile e ambientale.*

MASSIMO MICIELI,
*Geologo, docente a contratto per
 il corso di Geologia Applicata
 presso il Dipartimento di
 Ingegneria Civile (DINCI)
 dell'Università della Calabria,
 Pilota/Operatore APR.*

MIRCO TARANTO,
*Geologo, dottorando presso la
 Scuola di Dottorato in Scienze
 dell'ingegneria, dell'ambiente,
 delle costruzioni e dell'energia
 (SIACE) presso il Dipartimento di
 Biologia Ecologia e Scienze della
 Terra (DiBEST) dell'Università
 della Calabria, Pilota/Operatore
 APR.*

VERSIONE ARTICOLO ONLINE
 (FAST FIND AR1428)

Articoli collegati

- I Sistemi Aeromobili a Pilotaggio Remoto (SAPR)...
 (FAST FIND AR1386)



GOVERNO E CONTROLLO DEL TERRITORIO I SISTEMI AEROMOBILI A PILOTAGGIO REMOTO (SAPR) PER LA CONOSCENZA, IL GOVERNO ED IL CONTROLLO DEL TERRITORIO (PARTE SECONDA)

Questo secondo articolo mette a fuoco gli utilizzi per la ricostruzione delle immagini acquisite nel campo dell'archeologia, dell'architettura, dell'ingegneria e delle costruzioni (AEC) permettendo di trasformare i dati raccolti dagli apparecchi laser e fotografici in nuvole di punti, mesh tridimensionali, Modelli Digitali di Elevazione (DTM) ed ortofoto georeferenziare: ovvero tutto l'occorrente per poter procedere nella progettazione di infrastrutture nuove o della loro manutenzione.

1. I RILIEVI AEROFOTOGRAMMETRICI E L'IMPIEGO DEI SAPR: PRINCIPI TEORICI, METODOLOGIE, RESTITUZIONE E CONTROLLI DI ATTENDIBILITÀ

Lo sviluppo dei SAPR ha determinato in una moltitudine di figure professionali un forte interesse per la fotogrammetria, da intendere quale insieme di tecniche che, a partire da almeno due foto di un oggetto, consentono di definirne forma, dimensioni e posizione nello spazio. Il principio di base è rappresentato dalla *visione stereoscopica*, i.e. ricostruzione tridimensionale dell'oggetto, da rilevare attraverso misure automatiche o interattive condotte su una coppia di immagini bidimensionali piane dell'oggetto assunte da due differenti posizioni. La fotogrammetria stereoscopica ha radici più antiche di quanto ci si possa attendere; risale, infatti, agli inizi del XX secolo, quando si registrò lo sviluppo delle tecnologie aeronautiche, che hanno contribuito a renderla fondamentale protagonista dei rilievi territoriali su area vasta (Catasto numerico; indagini militari) e su base planetaria (da sonde spaziali). Nondimeno, la fase "*pionieristica*" è ascrivibile agli studi di *Aimé Laussedat*, da ritenere l'effettivo fondatore della fotogrammetria nel 1851, un secolo prima; la tecnica allora predisposta non contemplava, però, la correzione delle distorsioni innescata dagli obiettivi fotografici, comportando inevitabilmente rilevanti errori di misura delle grandezze desunte dai fotogrammi. Il "*rimedio*" venne introdotto dall'italiano Ignazio Porro che nel 1865, integrò la tecnica di *Laussedat* introducendo l'utilizzo del fotogoniometro. In base al tipo di presa (altezza del posizionamento da cui effettuare la foto) si distingue tra:

1. *fotogrammetria terrestre*: le prese avvengono da terra, a distanze inferiori ai 200 metri (*fotogrammetria dei vicini*);
2. *aerofotogrammetria*: le foto sono scattate da un aereo, a distanze > di 200 m (*fotogrammetria dei*

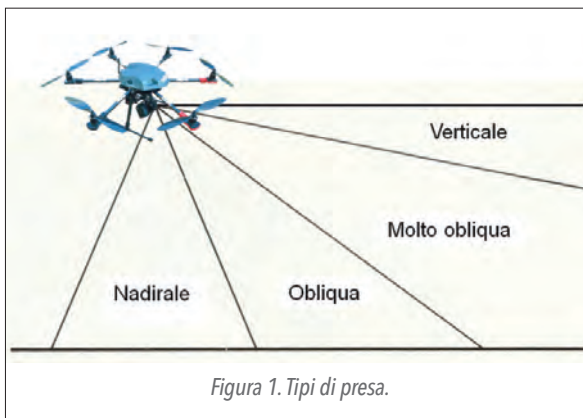


Figura 1. Tipi di presa.

LA FOTOGRAMMETRIA EVIDENZIA, DI PER SÉ, NUMEROSI PUNTI DI FORZA, ELENCABILI IN ORDINE NON ESAUSTIVO, QUALI L'ELEVATA ACCURATEZZA GEOMETRICA, L'ELEVATO DETTAGLIO RAGGIUNGIBILE, L'AUTOMAZIONE DEI PROCESSI ELABORATIVI, IL FOTOREALISMO, L'ESECUZIONE LOW-COST E LA RAPIDITÀ ESECUTIVA.

lontani);

3. *aerofotogrammetria da drone*: foto scattate in volo entro il limite normativo di 150 m di altezza dal suolo.

In generale, la fotogrammetria evidenzia, di per sé, numerosi punti di forza, elencabili in ordine non esaustivo, quali l'elevata accuratezza geometrica, l'elevato dettaglio raggiungibile, l'automazione dei processi elaborativi, il fotorealismo, l'esecuzione *low-cost* e la rapidità esecutiva, un vastissimo campo di applicazioni, la caratterizzazione degli oggetti senza contatto diretto, il rilievo simultaneo di moltissimi punti, l'uniformità di precisione per tutti i punti, la ripetibilità delle misure.

I possibili *output* sono rappresentati da:

- a. nuvole di punti;
- b. modelli digitali del terreno *DTM*, *DSM*, *DEM*:
 - modelli digitali del terreno (*DTM*, *Digital Terrain Model*);
 - modelli digitali della superficie del terreno (*DSM*, *Digital Surface Model*);
 - modelli digitali dell'elevazione (*DEM*, *Digital Elevation Model*).
- c. cartografie;
- d. ortofoto;
- e. coordinate di punti (rappresentazioni numeriche);
- f. modelli 3D generici.

Dal punto di vista metodologico un rilievo aerofotogrammetrico comprende le seguenti fasi:

- I. acquisizione immagini;
- II. individuazione dei punti GCP (*Ground Control Point*);
- III. ricostruzione geometrica dei fotogrammi (orientamento interno ed esterno);
- IV. elaborazione dei modelli digitali e restituzione.

La prima fase riguarda la presa delle immagini fotografiche. Secondo l'angolo d'inclinazione della camera (Figura 1) le riprese si distinguono in *nadirali*, *oblique*, *molto oblique* e *verticali*.

In ogni caso è necessario pianificare il volo in automatico, garantendo, così, la giusta posizione degli scatti per come

individuata in sede di programma. I *software* in commercio permettono agevolmente la pianificazione di diverse tipologie di volo, richiedendo in *input*:

- l'area da coprire con il volo (poligono o linee di volo);
- i dati della camera (lunghezza focale, dimensioni del sensore, numero di *pixel*);
- l'altezza media di volo;
- la velocità di crociera;
- la percentuale di sovrapposizione dei fotogrammi (*overlap* e *sidelap*).

I punti di controllo a terra (GCP) vanno ubicati, con l'ausilio di specifici *target*, in funzione dei piani di volo, compatibilmente con le condizioni logistiche. Senza entrare nel merito della strumentazione topografica usata, tali punti vanno misurati con la massima accuratezza dalla quale dipende inesorabilmente il dettaglio dei risultati finali. Proprio detti punti, scrupolosamente rilevati e posizionati a terra, consentono, in sede di lavorazione, la fase di orientamento dei fotogrammi.

Siamo, cioè, di fronte al passaggio cruciale del processo fotogrammetrico: l'attuazione dell'orientamento interno ed esterno (relativo ed assoluto). Si tratta sostanzialmente di tutte le operazioni preliminari per la determinazione dei parametri che consentono di posizionare i centri di presa e le foto con la stessa posizione nello spazio che avevano al momento della presa.

L'orientamento interno implica l'acquisizione, tramite il *processo di calibrazione*, di alcuni parametri della fotocamera: coordinate del punto principale (ovvero, della proiezione del centro di presa sul sensore), reale lunghezza focale e curva di distorsione dell'obiettivo. L'orientamento esterno si rende, invece, necessario per ricollocare spazialmente i fotogrammi. A tale scopo saranno determinati tanti parametri incogniti quanto sono i movimenti che definiscono la posizione di un corpo rigido nello spazio, cioè 6 (3 traslazioni e 3 rotazioni) per ogni fotogramma. Si tratta delle coordinate del centro di presa e degli angoli di rotazione relativi all'assetto della fotocamera (Figura 2).

La fase elaborativa inizia, a seguito dell'orientamento, con il calcolo tridimensionale delle coordinate dei punti nel modello stereoscopico, che porta alla realizzazione della nuvola di punti. Oltre alle coordinate (X,Y,Z) ogni punto contiene l'informazione colore (RGB – Red Green Blue) ed il verso relativo alla direzione del vettore di ripresa.

Dalla nuvola di punti, che rappresenta in modo integrale la totalità del rilievo, si possono definire agevolmente, con processi in prevalenza automatici, tutti gli altri tipi di elaborati prima elencati.

Rilevante è la valutazione dell'attendibilità dei risultati, ovvero del reale dettaglio raggiunto, che andrebbe accertato specialmente nei rilievi di natura topografica.

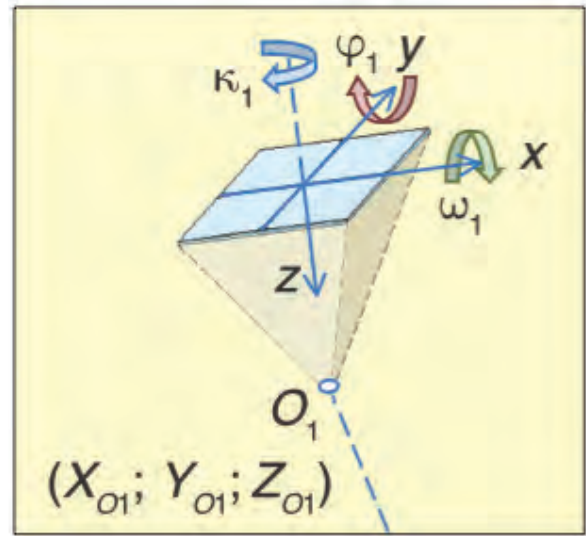


Figura 2. Parametri per l'orientamento esterno.
Fonte: Zanichelli – Modulo fotogrammetria.

Ciò al fine di non farsi “*sviare*” dal fascino dei modelli tridimensionali, che comunque i software dedicati restituiscono. Molto spesso è più preciso un modello 3D meno “*denso*”, a prima vista meno “*accattivante*”, che un modello continuo, con errori, però, significativamente non trascurabili.

2. ARCHEOLOGIA: UTILIZZAZIONE DEI SAPR

L'interesse che riscuotono i SAPR quali strumenti insostituibili nelle campagne di rilevamento e scavi in ambito archeologico risiede essenzialmente nel formidabile “*punto di vista*” privilegiato che detti sistemi offrono ai fini della individuazione, rilevazione, ispezione e monitoraggio di insediamenti e/o infrastrutture e manufatti isolati, di diversa natura, tanto emerse quanto parzialmente sepolte.

I SAPR, grazie all'evoluzione tecnologica, hanno saputo velocemente coniugare e finalizzare potenzialità, un tempo disgiunte, a partire dalle tecniche di ripresa fotografica classica fino all'aerofotogrammetria, basandosi, nel contempo, su dotazioni hardware e software “*snelle*” e “*performanti*” per l'incremento “*robusto*” della qualità e “*prospettazione*” derivante dalle rese dei voli di indagine e perlustrazione.

L'aerofotogrammetria di prossimità con sistemi APR, in particolare, anche in ragione dell'accresciuto accesso *low-cost*, dispiega possibilità un tempo inedite, *in primis*,

combinare rilievi fotografici terrestri con rilievi fotografici aerei.

Le prime “applicazioni di vantaggio” si sono riverberate in settori tecnico-scientifici conferenti alla Geomatica, per il trattamento e rilevamento dei dati ambientali e territoriali (Mikhail Edward M., Bethel James S, and McGlone J. Chris, 2001).

In particolare appare sempre più chiaro il contributo attivo che tali tecnologie possono fornire nella fase interpretativa, nella conservazione e archiviazione dei dati e nella valorizzazione del bene attraverso il web. I richiamati aspetti indicano un miglioramento generale dell'informazione e la crescita della ricerca archeologica (Russo, M., Remondino, F., & Guidi, G., 2011).

L'interesse per le diverse tecniche e metodologie di rilievo digitale e di modellazione tridimensionale in ambito archeologico è evidenziato dalla crescita della richiesta, dal loro sempre più frequente impiego e dalla necessità di utilizzare sempre maggiormente forme di registrazione e archiviazione digitale a differenti livelli di scala e risoluzione. L'utilizzo di questi strumenti s'inserisce, evidentemente, in un processo conoscitivo ben codificato, nel quale particolare attenzione deve essere posta proprio nella fase d'integrazione tra metodiche tradizionali ed innovative. La definizione di un sistema conoscitivo che integri dette forme distinte di analisi rappresenta il risultato di un processo nel quale sono coinvolte differenti competenze e sensibilità tecnico-scientifico-professionali con capacità di condivisione di linguaggi, modalità di conduzione, raccordo e convergenza in direzione di un obiettivo comune.

In tal senso, la “forte” integrazione tra saperi diversi è *conditio sine qua non* per pianificare la scelta di strumenti e piani di lavoro, mediante il colloquio preliminare, attivo e consapevole, capace di “indirizzare”, in ragione

L'INTERESSE PER LE DIVERSE TECNICHE E METODOLOGIE DI RILIEVO DIGITALE E DI MODELLAZIONE TRIDIMENSIONALE IN AMBITO ARCHEOLOGICO È EVIDENZIATO DALLA CRESCITA DELLA RICHIESTA, DAL LORO SEMPRE PIÙ FREQUENTE IMPIEGO E DALLA NECESSITÀ DI UTILIZZARE SEMPRE MAGGIORMENTE FORME DI REGISTRAZIONE E ARCHIVIAZIONE DIGITALE A DIFFERENTI LIVELLI DI SCALA E RISOLUZIONE.

della specifica indagine e dell'areale d'interesse, l'opportuna selezione/integrazione di strumenti e modalità area/terra ai fini dell'obiettivo comune.

In Tabella 1 viene fornita una ricognizione sintetica di “integrazione” tra scala del rilievo archeologico, manufatti e/o infrastrutture da rilevare/far emergere e corrispondenti dati e tecniche di rilievo utilizzabili, quale ausilio di primo orientamento circa la “calibrazione” dell'opportuno ed efficiente piano di lavoro. “Ragionare prima di partire”.

Il risultato auspicato può essere raggiunto grazie ad uno sforzo comune, profuso da un lato dagli esperti del 3D *Imaging* per la fotointerpretazione sulla base delle richieste/ipotesi di lavoro poste degli archeologi, dall'altro dagli archeologi nel comprendere e riconoscere potenzialità e funzionamento di base di queste tecnologie al fine di poterne valutare la reale efficacia ed utilità in relazione ai possibili indirizzi e condizioni di utilizzo.

Rilievo archeologico	Oggetti da rilevare	Dati e tecniche di rilievo
Scala regionale	Territorio Topografia Sito	Immagini satellitari Immagini aeree a piccola scala Radar Lidar GPS
Scala locale	Sito Architetture Scavo Strati	Immagini satellitari ad alta risoluzione Immagini aeree a grande scala Radar Lidar Laser scanner TOF/CW Immagini terrestri Stazione totale GPS
Scala oggetto	Ritrovamenti Oggetti museali	Immagini terrestri Laser scanner a triangolazione Sistemi a luce strutturata

Tabella 1. Sinossi ragionata di abbinamento di tecniche di indagine in ragione di obiettivi e scale di rilievo.

Fonte http://eprints.bice.rm.cnr.it/4242/1/AC_22_Russo_et_al.pdf.

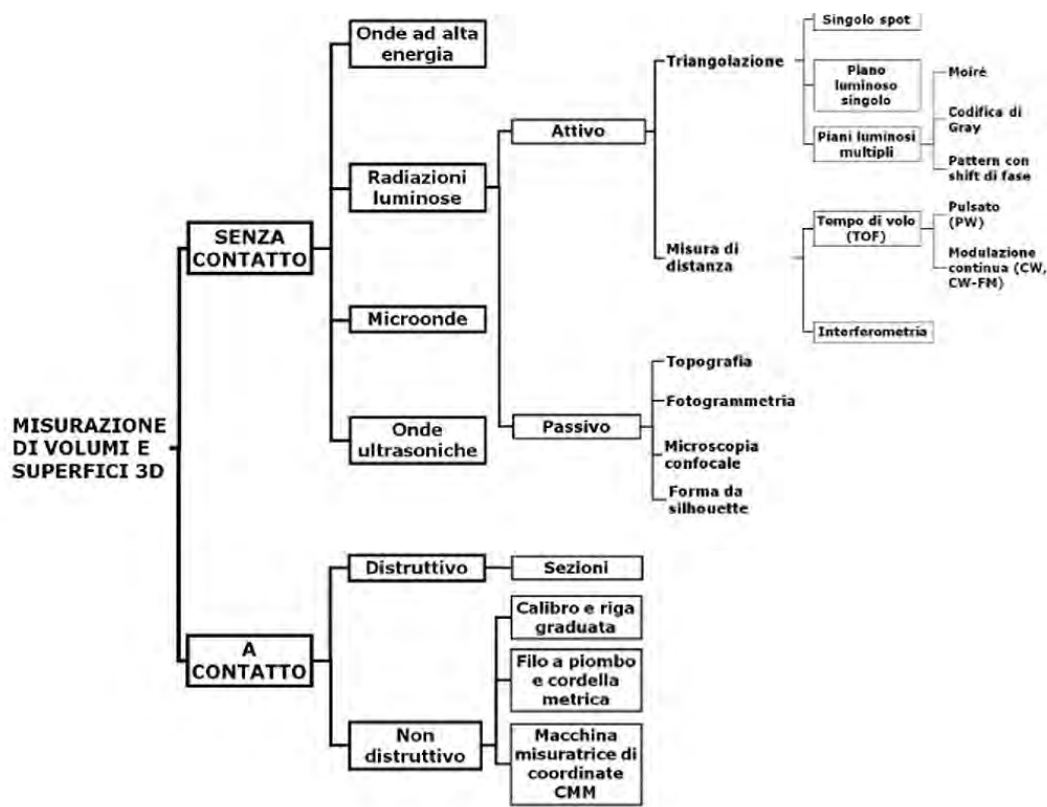


Figura 3. Schema di orientamento per la selezione degli strumenti per l'acquisizione 3D.

Fonte http://eprints.bice.rm.cnr.it/4242/1/AC_22_Russo_et_al.pdf.

Anche se esistono diverse tecniche di rilievo e sensori che permettono di generare modelli 3D realistici, definiti da una buona qualità metrica e da un dettaglio coerente con le caratteristiche geometriche del modello, il migliore approccio per il rilievo consiste nella combinazione di differenti strumenti e tecniche di modellazione.

In Figura 3 viene fornita una ricognizione circa tecniche e strumenti orientati per la determinazione di volumi e superfici in 3D, operando sintesi di orientamento comparato in ragione delle “difficoltà” e delle “specificità” dell’indagine, delle collocazioni degli areali da sottoporre a rilievo e monitoraggio. “Riflettere prima di misurare”. I sensori ottici attivi (Blais F., 2004) consentono, ad esempio, di ottenere direttamente la posizione spaziale della superficie o del punto rilevato, a volte accoppiata all’informazione del colore (anche se di bassa qualità); quest’ultima può essere registrata dal sensore stesso o da una fotocamera digitale esterna ad integrazione dello strumento. La descritta tipologia di strumenti attivi ha il principale pregio di acquisire direttamente e rapidamente grandi quantità di date relative a geometrie complesse e con elevata accuratezza. Per contro i sensori

attivi sono molto costosi, normalmente voluminosi e con limitata flessibilità di utilizzo. L’insieme di queste caratteristiche rende questa tipologia di strumenti ideale per molte applicazioni, soprattutto nell’ambito dei Beni Culturali, ma non adattabile a tutte le condizioni ambientali e alle caratteristiche materiche dei manufatti (El-Hakim S., Beraldin J.A., Blais F., 1995).

Le immagini aeree sono da tempo utilizzate in archeologia (L. Deuel, 1969), allo scopo di fornire una prospettiva che, accentuando le caratteristiche del suolo, fornisca una maggiore comprensione del loro contesto spaziale. Le strutture sepolte possono produrre piccoli cambiamenti nelle condizioni superficiali.

Differenze tra densità del suolo e ritenzione idrica, che a sua volta inducono i modelli di vegetazione (crop-marks), creano variabilità nel colore del suolo o addirittura ombre (shadowmarks) visibili dall’alto. La prospettiva ambientale può anche fornire valida panoramica sui risultati delle indagini geofisiche, attraverso il riferimento di anomalie superficiali, generando apposite mappe. L’introduzione di satelliti di rilevamento terrestre ha ulteriormente innovato le modalità di integrazione

del telerilevamento in archeologia. La capacità di rilevare le funzionalità a terra dallo spazio dipende in larga misura dal rapporto tra dimensione e dimensione della risoluzione dei dati. Poiché le tecnologie di sensoristica sono migliorate, il potenziale per utilizzare le immagini satellitari per le indagini è anch'essa migliorato.

3. ARCHITETTURA ED INGEGNERIA NEL/DEL TERRITORIO: UTILIZZAZIONE DEI SAPR

Il “*built environment*”, al pari del “*natural and landscape environment*”, deve sempre più muoversi in direzione della previsione anche delle capacità adattive e resilienti in condizioni estreme, che provengano da accorta progettazione, realizzazione, manutenzione e *story-board* diagnostico-evolutivo del rispettivo ciclo di vita delle opere realizzate, in stretto rapporto con il contesto territoriale di inserimento. “*Riquilificare*” il territorio passa, obbligatoriamente, anche attraverso l'adeguamento del patrimonio edificato ed infrastrutturale, sintesi passate di equilibrio armonico tra vocazioni ed aspirazioni di natura diversa (architettura come “*scultura*” degli spazi; infrastruttura come “*emblemata*” e “*singularità*” di esigenze di movimento, collegamento, servizi). Centri, periferie, spazi rururbani, insediamenti agro-pastorali, reti di collegamento, invarianti fisiografiche hanno modulato nei secoli il nostro territorio, necessitando, oggi, di un “*new deal*”, di un “*new concept*” che, al pari delle lezioni del passato, “*contestualizza*” l'opera, l'infrastruttura valorizzando “*contestualmente*” tecniche e tecnologie moderne, tanto in sede di progettazione che in chiave di gestione. “*Dimenticare*” di conoscere e misurare l'evoluzione nel tempo dello “*stato di salute*” d'imponenti manufatti innalza, infatti, prepotentemente e senza scampo, il livello di rischio, per deliberata insipienza ovvero omessa vigilanza, innestandosi concomitanti condizioni di pericolosità, “*accertabile*” a valle, anche nell'immediatezza di eventi improvvisi determinandosi, quasi istantaneamente ovvero con tempi di preallerta risibili, esiti distruttivi dirompenti per cose e persone.

Nell'ambito, ad esempio, della rilevazione e manutenzione dei beni architettonici, storico-monumentali come anche delle grandi opere infrastrutturali di ingegneria l'apporto dei SAPR ha da subito stimolato e sta stimolando un dibattito proiettivo fortemente orientato alle modalità con cui coniugare versatilità, rapidità ed incisività dell'utilizzo dei droni con le restanti tecniche (tradizionali, innovative) per il controllo, la diagnostica e la cura delle menzionate opere. I droni, infatti, potendo supportare, anche fisicamente, altri strumenti/sensori specialistici per mirate analisi conoscitive ed esplorative, risultano, formidabili “*carriers*” di puntamento, capaci

di raggiungere siti, luoghi, cavedi/cavità che, invece, la speciale fisicità di realizzazione costruttiva ostacola ovvero impedisce quasi del tutto, in confronto speculare con le usuali tecniche di indagini che, in molte situazioni, devono ricorrere anche a test di natura distruttiva.

3.1 APPLICAZIONI NEL TERRITORIO IN AMBITO ARCHITECTURE, ENGINEERING AND CONSTRUCTION” (AEC)

A scala urbana territoriale la tematica delle *smart cities* e delle *smart grid* energetiche e tecnologiche sta profondamente innovando apporti solutivi e promuovendo integrazioni orientate all'innalzamento della qualità della vita, della sicurezza e fruibilità degli spazi pubblici e delle *performances*/consumi. Ad esempio, nel luglio 2014 il Politecnico di Torino in *joint synergy* con Telecom Italia ha promosso un incontro dal titolo “*Droni: prospettive di ricerca e scenari applicativi*”, con l'obiettivo, secondo i contenuti del relativo comunicato stampa, “*di sperimentare, per la prima volta in Italia, l'utilizzo di Aeromobili a Pilotaggio Remoto (APR) - i cosiddetti “droni” - come strumenti di monitoraggio per la sicurezza delle città intelligenti. Grazie alla piattaforma Cloud Robotics, i droni di prossima generazione potranno infatti essere gestiti da una centrale di controllo, che risiede in un punto della rete mobile 4G di TIM, e fornire servizi innovativi “Fly4Smart City” come il monitoraggio ambientale, oppure il controllo di spazi urbani in cui i cittadini potranno vivere in maggior sicurezza (ad esempio parchi pubblici). Questo progetto, realizzato dal Joint Open Lab CRAB (Connected Robotics Applications laB) di Telecom Italia e dal Dipartimento di Elettronica e Telecomunicazioni del Politecnico di Torino, trova valida applicazione in tutti i contesti urbani dove i droni potranno diventare parte integrante degli oggetti connessi alla rete, rappresentando in questo modo uno tra i più significativi trend tecnologici emergenti, in grado di supportare lo svolgimento di particolari attività anche in condizioni di emergenza o di pericolo.*”

Nel 2017 è stato pubblicato *on line* il meritevole lavoro di Christopher Korody, Contributor/Advisor e Colin Snow, CEO e Fondatore, Skylogic Research dal titolo “*Five Valuable Business Lessons Learned About Drones in Construction*” (Figura 4). Le *five lessons*, nel rispetto anastatico e linguistico della pregevole e sintetica pubblicazione, risultano:

1. *Drones provide value on the jobsite daily* (utilizzo dei droni nel controllo di avanzamento del piano dei lavori di un intervento costruttivo (edificio, insediamento, et cet);
2. *Using drone data in BIM requires pilot projects* (l'utilizzo dei dati ottenuti da drone all'interno dei BIM Building Information Modelling), introdotti già dal 1970 nel settore AEC, richiede innovazione e spe-

- rimentazione con progetti pilota);
3. *Choose autonomous, integrated drone solution wisely* (bisogna scegliere accuratamente l'utilizzo di soluzioni che impieghino droni in modo autonomo od integrato);
 4. *Drones require that you adopt more safety protocols* (l'utilizzo dei droni richiede l'adozione di molti protocolli di sicurezza);
 5. *More standards will be required for widespread adoption* (l'utilizzo sempre più esteso, intensivo dei droni richiederà un sempre maggior numero di standard codificati cui sottoporre la loro azione).

In sede di intervista *Spar3D*, sempre nel 2017, il presidente e CTO di *GeoCue Corporation*, Lewis Graham, ha sottolineato l'importanza del coordinamento ed integrazione tra tecniche diverse (droni, LIDAR di nuova generazione, cosiddetti “focal plane array” (FPA) LIDAR meglio noti come flash LIDAR ovvero “solid state” LIDAR, i.e. LIDAR on a microchip), chiudendo con una previsione, che vogliamo citare “*Nei prossimi tre anni, gli FPA LIDAR implementati da camera rappresenteranno il kit standard su un mapping drone*”.

Su base “*puntuale*”, ai fini del rilievo e diagnostica dello stato di conservazione di manufatti di interesse architettonico ovvero storico-monumentale, le tecnologie SAPR operano in stretto raccordo con le restanti tecniche di rilievo basate su sensoristica e tecnologia specifica (ad esempio, Laser Scanner), supportando in volo anche strumentazioni particolari per l'applicazione di tecniche termografiche e/o per l'individuazione di lesioni strutturali e schemi resistenti.

LA TEMATICA DELLE SMART CITIES E DELLE SMART GRID ENERGETICHE E TECNOLOGICHE STA PROFONDAMENTE INNOVANDO APPORTI SOLUTIVI E PROMUOVENDO INTEGRAZIONI ORIENTATE ALL'INNALZAMENTO DELLA QUALITÀ DELLA VITA, DELLA SICUREZZA E FRUIBILITÀ DEGLI SPAZI PUBBLICI E DELLE PERFORMANCES/CONSUMI.

3.2 APPLICAZIONI NEL TERRITORIO IN AMBITO DI INFRASTRUTTURE DI TRASPORTO (PUNTUALI, LINEARI)

La “*filosofia*” descritta consente di iscrivere i SAPR fra gli strumenti/tecniche moderni in grado di “*tracciare*” programmi di sorveglianza per la misura evolutiva dello stato di conservazione e risposta dell'infrastruttura e dell'opera, specie nel caso d'importanti “*singularità*” infrastrutturali performanti ad elevata resilienza (ponti, viadotti, dighe, infrastrutture puntuali di trasporto) caratterizzate da vite nominali superiori a 100 anni, progettate per essere efficienti/resilienti anche in caso di eventi estremi dovendo supportare, in termini di ossatura e presidio intangibile per finalità di *disaster management*, il sistema di protezione civile. La prospettiva così delineata dischiude, anche in questo campo di “*prevenzione e protezione*”, la concreta opportunità di definire in modo moderno e scientificamente consistenti approcci di tipo integrato BIM, già operanti in ambito di progettazione di opere civili cosiddette “*ordinarie*” e “*frequenti*”, inte-



Figura 4. Lesson 3.

Fonte: *Five Valuable Business Lessons Learned About Drones in Construction, 2017.*

grando sul nascere aspetti architettonici, strutturali e sismo-resistenti, impiantistici e di performance energetica in modo da coordinare sul nascere “anime diverse” ma convergenti ai fini dell’ottimale realizzazione coordinata e gestione in vita dell’oggetto edilizio in ragione della sua progettata “natura” sin dalla sua “nascita”.

In fase di progettazione delle infrastrutture lineari di trasporto sono presenti e utilizzati all'estero gli I-BIM (*Infrastructure - Building Information Modelling*), anche se con frequenze molto più contenute se confrontate con i BIM (Dell'Acqua, 2017); le “opere d'arte” quali, ad esempio, i ponti sono, invece, interessati, recentemente anche in Italia, da sistemi di dati organizzati in “*Bridge Management Systems*” (BMS), i.e. “*insieme delle attività d'ispezione, indagine, manutenzione, riparazione di un gruppo di opere, organizzate secondo criteri di priorità, con il supporto di banche dati informatiche e di algoritmi ordinatori*” (Malerba P., 2015).

A bridge is a key element in a transportation system. If the bridge fails, the system fails!!!

Nei BMS “l'utilizzo dei droni aumenta la prossimità dei rilievi”, risolvendo “il problema dell'ispezione ravvicinata di zone di difficile accesso” e consentendo di “*inquadrare l'opera a diverse scale, dal rilievo zenitale di tutto il ponte, all'ispezione locale di un particolare costruttivo*”, aprendo così la strada a “*strategie di indagine innovative*” (Malerba P., 2015). Con riferimento, ad esempio, alle interazioni territoriali con l'alveo fluviale, le indagini con SAPR consentono (Malerba P., 2015):

- riprese azimutali locali (pila per pila) del flusso a monte e a valle della pila in alveo;
- riprese angolate e/o stereoscopiche per la misurazione del rigurgito;
- monitoraggio dell'accumulo stagionale di detriti da trasporto solido intercettati dalle pile e relative modificazioni del flusso;
- controlli di assetto sulla verticalità di pile e spalle e regolarità livelletta (stradale; ferroviaria).

Costruendo serie storiche di informazioni sia su scala generale (intero attraversamento) che a scala locale (intorno delle singole pile) al fine di disporre di scenari previsivi per orientare la scelta di lasciare aperto al traffico o chiudere alla circolazione il ponte, anche in situazioni di stati distorti d'insieme per il manufatto.

In tal senso il dibattito avviato è fondamentalmente orientato e polarizzato, nei distinti campi di utilizzo, alla riflessione accorta, anche mediante prime sperimentazioni, per la predisposizione di mirati piani di indagini e connesse linee guida che si basino sulle potenzialità offerte dai SAPR ai fini dell'ottenimento e restituzione automatizzata dei parametri di interesse per le particolari finalità, in un articolato, composito ed esistente quadro di riferimento normativo (leggi, circolari, approcci operativi desunti da *best practices*) predisposto tanto per la

IN AMBITO SECURITY LEGACY ORIENTED, I DRONI STANNO TROVANDO UN PRIMO IMPIEGO SPERIMENTALE ANCHE PER LA RILEVAZIONE/SANZIONE DEI COMPORTAMENTI DIFFORMI RISPETTO A QUANTO PREVISTO DAL CODICE DELLA STRADA GIÀ IN FRANCIA

manutenzione programmata ed il controllo delle opere (*surveillance/maintenance, monitoring and control*) quanto per la diagnosi precoce orientata alla prevenzione in situazioni di emergenza (*severity*).

Con bando di gara pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale/S 133 del 14 luglio 2017 Rete Ferroviaria Italiana (RFI) ha pubblicato l'avviso di gara europeo con procedura ristretta 2017/S 133-273009 denominato “*Servizio di ispezione con droni – codice gara DAC.0187.2016*” consistente nel servizio di ispezione video con l'ausilio di aeromobili a pilotaggio remoto (APR) dei ponti ferroviari in esercizio presso la rete di RFI Spa e per attività di volo legate all'effettuazione di controlli lungo linea (vegetazione e stato dell'infrastruttura) nonché di *security*. Nelle informazioni complementari si legge che “*l'appalto in questione costituisce un appalto sperimentale utile a valutare le potenzialità della tecnologia in questione su un campione rappresentativo. Inoltre nella sperimentazione saranno svolte attività di volo in condizioni di BVLOS, in collaborazione con ENAC, volte a definire le linee guida per tale tipologia di volo le quali risultano ad oggi assenti ed in tali contesti, l'affidamento ad un unico operatore risponde all'esigenza di assicurare elevati livelli di omogeneità ed efficacia.*”.

In tema di *monitoring* delle infrastrutture lineari stradali di trasporto, nello specifico per quanto attiene la progettazione e dimensionamento dei nodi puntuali ma anche ai fini della ricostruzione nodale delle matrici Origine/Destinazione per simulazione di reti di traffico, la rilevazione dei flussi di traffico può oggi avvalersi dell'ausilio dei SAPR, superando l'ostacolo dei costi di riprese aeree. RCE systems (Brno, Repubblica Ceca) e Traffyclab (gruppo Progettolab), ad esempio, hanno, di recente, sviluppato un sistema automatico di restituzione delle informazioni di traffico da ripresa aerea con drone, denominato *DataFromSky*. “*Complessivamente il sistema può essere suddiviso in tre parti principali: pre-processamento, rilievo e tracciamento dei veicoli. Nella fase di pre-processamento l'immagine video acquisita viene filtrata e geocodificata per essere posizionata in un'inquadratura di riferimento. La robustezza e l'efficienza dei metodi di rilevamento delle immagini aeree sono state molto studiate in passato. Gli algoritmi si basano su un processo complesso*

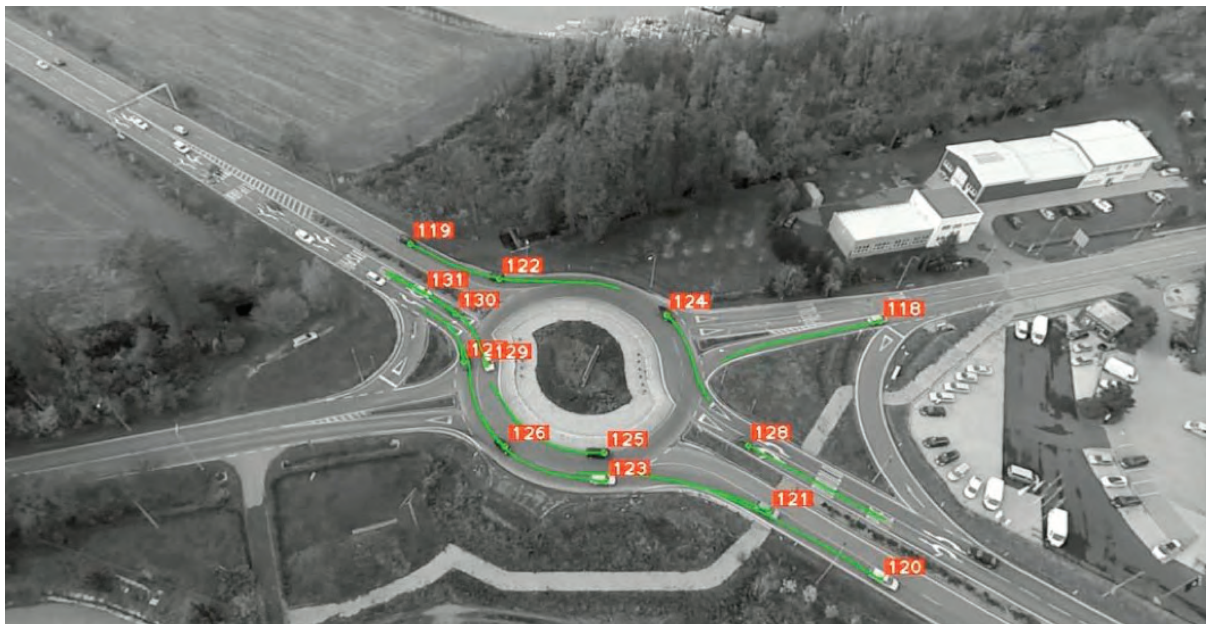


Figura 5. Analisi video Fonte : Le Strade, 12/2014.

che permette la rettifica dell'immagine con metodi di tipo radiale e di distorsioni tangenziali. Nel processo di geo-codifica inoltre è stata utilizzata la tecnica di trasformazione della prospettiva del modello. È stato così possibile sviluppare un innovativo dispositivo di rilevamento multistrato altamente performante e calibrato manualmente su un campione di oltre 80.000 casi positivi e 80.000 negativi. Il dispositivo di rilevamento è in grado di imparare dai propri errori e migliorare nel tempo..." (Herman D., Marella A., 2014). Il sistema (Figura 5) consente il rilievo di:

- traiettorie, posizioni e distanze percorse per ciascun istante di elaborazione;
- velocità, accelerazioni, decelerazioni e decelerazioni laterali istantanee e medie sul percorso per ciascun veicolo identificato, tanto ai fini della progettazione funzionale che per analisi di teoria dei conflitti veicolari;
- tempi, distanze di entrata, uscita e percorrenza, ai fini del *network design* e per l'individuazione dei percorsi;
- tempo di *gap* critico e tempo di immissione nonché:
- conteggi classificati di traffico ai fini della ricostruzione delle matrici nodali Origine/Destinazione

In Italia, sul fronte operativo della sicurezza stradale, la provincia di Reggio Emilia ha recentemente avviato un programma di sorveglianza sulla stabilità delle pareti

lungo alcune strade particolarmente impegnative ricorrendo all'ausilio dei droni. Il primo intervento ha riguardato le pareti rocciose che costeggiano la Strada provinciale n. 9 nei tratti a monte e valle della galleria di Civago in comune di Villaminazzo, in passato caratterizzati da caduta massi. Il drone viene, cioè, attivato per la sorveglianza di punti critici "esogeni" ma "interferenti" con l'infrastruttura stradale.

In ambito *security legacy oriented*, i droni stanno trovando un primo impiego sperimentale anche per la rilevazione/sanzione dei comportamenti difforni rispetto a quanto previsto dal Codice della strada già in Francia, su alcuni tratti dell'autostrada A10 tra Bordeaux e Parigi, gestita dalla *CRS Autoroutière d'Aquitaine*. Il drone s'innalza ad un'altezza di 30 metri, sorveglia il traffico nel raggio di azione delimitato e segnala a terra alla pattuglia stradale comportamenti illeciti (sorpassi non permessi; mancato rispetto distanze di sicurezza, et cet.), consentendo, in tempo reale, alle pattuglie di intervenire per reprimere l'infrazione. La sperimentazione, avviata recentemente, riguardo al confronto sul numero di veicoli controllati da drone (fino a 15/ora) e da pattuglia a terra priva di drone (5-6/ora), sta riscuotendo molto apprezzamento e le autorità transalpine pensano ad una loro estensione su altri tratti di strade, anche extraurbane. Anche i costi operativi riscontrati (10 centesimi/ora di volo) sorreggono, in un imminente futuro, l'implementazione della soluzione sperimentata. **IT**

di
FRANCESCO GUZZO,
 Ingegnere dei trasporti,
 consulente tecnico, esperto di
 pianificazione territoriale e
 governo del territorio, mobilità
 sostenibile e sicurezza stradale,
 estimo civile e ambientale.

MASSIMO MICIELI,
 Geologo, docente a contratto per
 il corso di Geologia Applicata
 presso il Dipartimento di
 Ingegneria Civile (DINCI)
 dell'Università della Calabria,
 Pilota/Operatore APR.

MIRCO TARANTO,
 Geologo, dottorando presso la
 Scuola di Dottorato in Scienze
 dell'ingegneria, dell'ambiente,
 delle costruzioni e dell'energia
 (SIACE) presso il Dipartimento di
 Biologia Ecologia e Scienze della
 Terra (DiBEST) dell'Università
 della Calabria, Pilota/Operatore
 APR.

VERSIONE ARTICOLO ONLINE
 FAST FIND AR1534

Articoli collegati

- I Sistemi Aeromobili a Pilotaggio Remoto (SAPR): Il quadro di riferimento tecnico-evolutivo, normativo e gestionale (parte prima) (Fast Find AR1386)
- Sistemi Aeromobili a Pilotaggio Remoto (SAPR) per la conoscenza, il governo ed il controllo del territorio (parte seconda) (Fast Find AR1428)



GOVERNO E CONTROLLO DEL TERRITORIO I SISTEMI AEROMOBILI A PILOTAGGIO REMOTO (SAPR) PER LA CONOSCENZA, IL GOVERNO ED IL CONTROLLO DEL TERRITORIO (ULTIMA PARTE)

Riprendendo quanto già osservato nella seconda parte del contributo, il "built environment", al pari del "natural and landscape environment", deve sempre più muoversi in direzione della previsione anche delle capacità adattive e resilienti in condizioni estreme, che provengano da accorta progettazione, realizzazione, manutenzione e story-board diagnostico-evolutivo del rispettivo ciclo di vita delle opere realizzate, in stretto rapporto con il contesto territoriale di inserimento.

1. SISTEMI INFORMATIVI TERRITORIALI PER IL GOVERNO DEL TERRITORIO (AREA VASTA; RILIEVO DI DETTAGLIO) E DISPONIBILITÀ DATI PER LA SOCIETÀ DELL'INFORMAZIONE: IL SUPPORTO FORNIBILE DAL GEOPORTALE CARTOGRAFICO CATASTALE DELL'AGENZIA DELLE ENTRATE.

Conoscere il territorio, il suo assetto e la sua variabilità nel tempo, identificarne elementi tipizzanti ed evoluzioni significative, orientare dinamiche di sviluppo possibile in chiave di sostenibilità è, oggi, la “chiave di volta” per ogni possibile analisi previsionale coerente con una “mappatura” aggiornata *real time* del territorio di riferimento.

I SIT, ovvero *Geographic Information System* (GIS), consentono, su base informatizzata georiferita, l'acquisizione, la registrazione, l'analisi, la visualizzazione e la restituzione di informazioni derivanti da dati geografici per la conoscenza ed il controllo dei territori.

Il GIS è composto da una serie di strumenti software per acquisire, memorizzare, estrarre, trasformare e visualizzare dati spaziali dal mondo reale” (Burrough, 1986), in grado di produrre, gestire ed analizzare dati spaziali, usando la “georeferenziazione” come principale dato di immagazzinamento e di gestione delle informazioni, associando a ciascun elemento geografico una o più descrizioni alfanumeriche, relazionando e connettendo tra loro informazioni d'interesse per singole discipline, per orientare sintesi conoscitive e valutative multidisciplinari.

I modelli utilizzati dai GIS appartengono, sostanzialmente, a due grandi categorie:

- **Raster**, composto da celle di egual misura organizzate secondo specifiche righe e colonne definite *picture element* (i.e. pixel);
- **Vector** (Vettoriale), ideale per la rappresentazione di oggetti con limiti ben distinti (punti, polilinee oppure poligoni).

Fondamentale per il coerente posizionamento è la scelta del “Sistema geodetico di Riferimento” (SR), attraverso i parametri caratteristici per la collocazione sulla superficie terrestre (Latitudine, Longitudine ed Altitudine), degli oggetti rilevati e ricostruiti.

Non si affronta, in tale sede, la complessa tematica connessa alla definizione matematica, selezione ed utilizzazione dei diversi SR che, nei secoli, si sono avvicendati al fine di rendere sempre maggiormente attendibile la rappresentazione geodetico-topografica. Brevemente, il sistema WGS84 rappresenta, attualmente, un modello matematico della Terra geometrico, geodetico e gravitazionale, utilizzabile su scala mondiale.

Da gennaio 2018 è, ad esempio, disponibile per i cittadini

italiani il Geoportale Cartografico Catastale dell'Agenzia delle entrate, che consente l'accesso libero alla consultazione della cartografia catastale, attraverso la ricerca e la visualizzazione dinamica delle particelle presenti nella cartografia catastale, tenute costantemente aggiornate, in modalità automatica, tramite gli atti tecnici predisposti e trasmessi telematicamente dai professionisti abilitati. Di seguito si trascrivono letteralmente le principali informazioni riportate sul sito www.agenziaentrate.gov.it alla voce Geoportale Cartografico Catastale.

La Direttiva 2007/2/CE del Parlamento europeo e del Consiglio del 14 marzo 2007 (recepita in Italia con il decreto legislativo 27 gennaio 2010, n. 32) ha istituito un'infrastruttura per l'informazione territoriale nella Comunità europea (INSPIRE - INfrastructure for SPatial INfoRmation in Europe) per supportare le politiche ambientali comunitarie e le attività che possano avere un impatto sull'ambiente. La realizzazione di un'infrastruttura dati europea punta a favorire la conoscenza, la disponibilità e l'interoperabilità dei dati geografici e territoriali tra le pubbliche amministrazioni, anche attraverso la realizzazione di servizi in rete. Inoltre, si propone di facilitare l'accesso del pubblico alle informazioni territoriali ambientali in Europa e di coadiuvare i processi decisionali relativi all'ambiente e al territorio. Tra i dati spaziali trattati nella direttiva INSPIRE, classificati in 34 categorie, sono presenti quelli relativi a «*Cadastral parcel*», corrispondenti in Italia ai dati cartografici del catasto, gestiti dall'Agenzia delle entrate, amministrazione titolare dei dati. Il Geoportale permette la consultazione della cartografia catastale attraverso un servizio basato sullo standard WMS (Web Map Service). La cartografia catastale è resa in formato digitale, sulla base di un sistema costituito da oltre 300.000 fogli di mappa a grande scala realizzati nei settant'anni di formazione, tra il 1886 e il 1956, nei quali sono rappresentati circa 85 milioni di particelle e circa 18 milioni di fabbricati, un patrimonio di conoscenza del territorio di grande dettaglio. Il Catasto Italiano, sia durante il periodo della formazione sia in quello successivo della conservazione, per una razionale gestione dell'archivio, ha organizzato la propria cartografia (ed il corrispondente archivio censuario) per Comune e per «*foglio di mappa*», secondo un taglio definito a «isola»; il singolo «*foglio di mappa*» risulta auto-consistente e le particelle in esso rappresentate hanno una numerazione progressiva univoca all'interno di ogni foglio. Su ciascun foglio, inoltre, è garantita la congruenza geometrica tra le particelle, che comprendono anche le particelle fabbricato, le particelle acque e le particelle strade; non sono cioè presenti né discontinuità e né sovrapposizioni tra particelle contigue. Per cause connesse alle metodologie utilizzate per la formazione, l'informatizzazione e l'aggiornamento, alcuni fogli di mappa possono però presentare problemi di georeferenziazione.

I SIT CONSENTONO LA RESTITUZIONE DI INFORMAZIONI DERIVANTI DA DATI GEOGRAFICI PER LA CONOSCENZA ED IL CONTROLLO DEI TERRITORI.

Nel passaggio della cartografia dal supporto cartaceo a quella digitale in formato vettoriale, e successivamente a causa di possibili errori di registrazione delle singole mappe nel data base cartografico, non si può escludere, per alcuni fogli, la presenza di errori di georeferenziazione (i fogli possono cioè risultare traslati, ruotati o ridotti a scala diversa). Le mappe catastali, la cui trasposizione in formato vettoriale è stata eseguita digitalizzando i cosiddetti «*copioni di visura*» in formato raster, possono presentare deformazioni, anche locali, dovute alla inidoneità del supporto dal quale è stata prelevata l'informazione geometrica. L'Agenzia, per superare le problematiche sopra descritte, ha avviato, dall'anno 2017, un progetto straordinario basato sull'impiego delle proprie mappe di Impianto in formato digitale, per correggere gli errori di georeferenziazione, recuperare le deformazioni presenti nelle mappe vettoriali e costruire la congruenza topologica tra fogli di mappa contigui.

Il servizio copre l'intero territorio nazionale, ad eccezione dei territori nei quali il Catasto è gestito, per delega dello Stato, dalle Province Autonome di Trento e di Bolzano. Il Geoportale consente solo la ricerca e la visualizzazione delle particelle presenti sulla mappa del Catasto dei Terreni. La ricerca sui metadati che descrivono le mappe catastali, aggregati a livello comunale, viene effettuata, mediante idonee applicazioni, attraverso il servizio CSW (Catalog Web Service) fruibile tramite l'URL <https://csw.cartografia.agenziaentrate.gov.it/age-inspire/srv/ita/csw>. Nelle Figure da 1 a 4 sono riportate alcune videate di esempio presenti nella descrizione fornita sul sito ai fini delle modalità di consultazione e dei livelli di esplorazione possibili alle diverse scale di lettura.



Figura 1. Esplorazione delle mappe catastali CT sull'intero territorio nazionale.



Figura 2. Livelli dei tematismi catastali esplorabili.
Fonte Geoportale Cartografico Catastale Agenzia delle entrate.



Figura 3. Visibilità su mappa attiva.
Fonte Geoportale Cartografico Catastale Agenzia delle entrate.

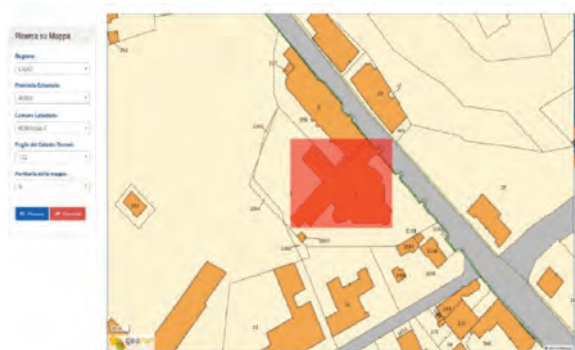


Figura 4. Ricerca diretta particella su mappa catastale CT.
Fonte Geoportale Cartografico Catastale Agenzia delle entrate.

2. SISTEMI INFORMATIVI TERRITORIALI PER IL GOVERNO DEL TERRITORIO: IL SUPPORTO DELLA "FOTOGRAMMETRIA DEI VICINI"

L'aggiornamento dei database geografici è compito impegnativo e costoso. Lo sviluppo di un territorio in alcune aree tende a modificare il tessuto insediativo, produttivo e agricolo in tempi relativamente brevi senza, contestualmente, disporre di supporti cartografici sufficientemente aggiornati e ad una scala adeguata. Il fattore "*tempo*" in Italia viene scandito diversamente da regione a regione, cercando sempre di rincorrerne il suo rapido fluire in termini di modifiche di assetti geotopocartografici. Più "*veloce*" risulta, invece, la messa a disposizione di foto aeree da satelliti rispetto alle tradizionali "*levate*" per la costruzione di cartografia di area vasta.

In situazioni di "*evoluzioni*" per "*brani di territorio*", dove cioè ci collochiamo ad un livello di dettaglio (grande scala), mentre, ad esempio, determinate "*aree vaste*" restano sostanzialmente immutate a meno di fenomeni di degrado/dissesto (che necessitano, però, di "*linee di strumentazione dedicate*" date le finalità di osservazione), oggi soccorre in aiuto la cosiddetta "*Fotogrammetria dei vicini*", i.e. nuove tecnologie di ripresa aerofotogrammetrica in grado di fornire immagini estremamente dettagliate ad altissima risoluzione a diversa angolazione.

Unitamente alla disponibilità dell'immagine (fotografia) è possibile:

- associare le diverse coordinate geografiche (latitudine, longitudine, altitudine)
- registrare valori angolari relativi del centro di presa della camera (rollio, beccheggio ed imbardata) che identificano la ripresa nello spazio.

Dette informazioni possono essere archiviate ed organizzate in appositi database geografici, definiti Database Management System (DBMS), i.e. Sistema di gestione di basi di dati.

Il DBMS genera rappresentazioni areali di cartografia numerica, dove la rappresentazione grafico/numerica "*conserva*" e mette a disposizione per ciascun elemento vettoriale (punto, polilinea, poligono) coordinate geografiche e quota altimetrica, consentendole di assumere requisiti di dinamicità ed aggiornabilità.

Le possibilità offerte dall'utilizzo dei SAPR potrebbero, allora, essere utilizzate per la conoscenza e governo del territorio ai fini del:

- rilevamento
- identificazione
- "*cattura*" dei suoi cambiamenti.

I processi per rilevare i cambiamenti in un territorio si basano su operazioni interattive lunghe e complicate, che fortunatamente sono quasi ormai soppiantati da

LO SVILUPPO DI UN TERRITORIO IN ALCUNE AREE TENDE A MODIFICARE IL TESSUTO INSEDIATIVO, PRODUTTIVO E AGRICOLO IN TEMPI RELATIVAMENTE BREVI SENZA, CONTESTUALMENTE, DISPORRE DI SUPPORTI CARTOGRAFICI SUFFICIENTEMENTE AGGIORNATI E AD UNA SCALA ADEGUATA.

processi automatici di riconoscimento, che partendo da una cartografia di riferimento, permettono di rilevare, identificare ed estrapolare le modifiche su una nuova ortoimmagine dell'area da studiare.

I principali metodi per rilevare modifiche nell'evoluzione del tessuto urbano possono essere riassunti in:

- a) confronto di immagine – immagine;
- a) confronto di immagine – mappa;

Il confronto per immagini (tecnica tipo a)) consiste nel paragonare, *pixel per pixel*, due immagini acquisite in due date diverse per produrre un'immagine che corrisponde ai cambiamenti tra queste due date (*lettura diacronica con individuazione dei cambiamenti tra immagini*). Le principali tecniche di rilevamento sono basate su specifici algoritmi algebrici che "*guidano*" l'esecuzione sulla base della trasformazione dello stato dell'immagine ed "*orientano*" i risultati derivanti dal processamento di classificazione delle immagini.

Il confronto con la mappa preesistente (tecnica tipo b)) consiste nell'utilizzare una mappa esistente per trovare le aree di cambiamento da un'immagine recente. In tale situazione il confronto avviene fra entità distinte (mappa, immagine), tanto come natura che come qualità e resa della rispettiva informazione, che necessita di operazioni preliminari di resa per la confrontabilità. Si possono distinguere due tipi di metodi: metodi di rilevazione del cambiamento post-estrazione e metodi di rilevazione di cambiamento mappa-guida.

A causa del tasso alto e accelerato di mutamenti urbani e l'estensione delle aree urbane, attualmente esiste un crescente interesse nella ricerca di metodi veloci ed efficienti per mappare queste modifiche e aggiornare l'esistente GDB (Baltsavias, 2004).

L'utilizzo di DBMS opportunamente combinati con le potenzialità di rilevamento APR di immagini (ottenute con appropriate sensoristiche in commercio, alleggerite appositamente per essere equipaggiate su droni) consente, senza dubbio, di concorrere al miglioramento del processo di aggiornamento cartografico delle mappe urbane ed a grande scala già durante il processo di classificazione e processamento delle immagini.

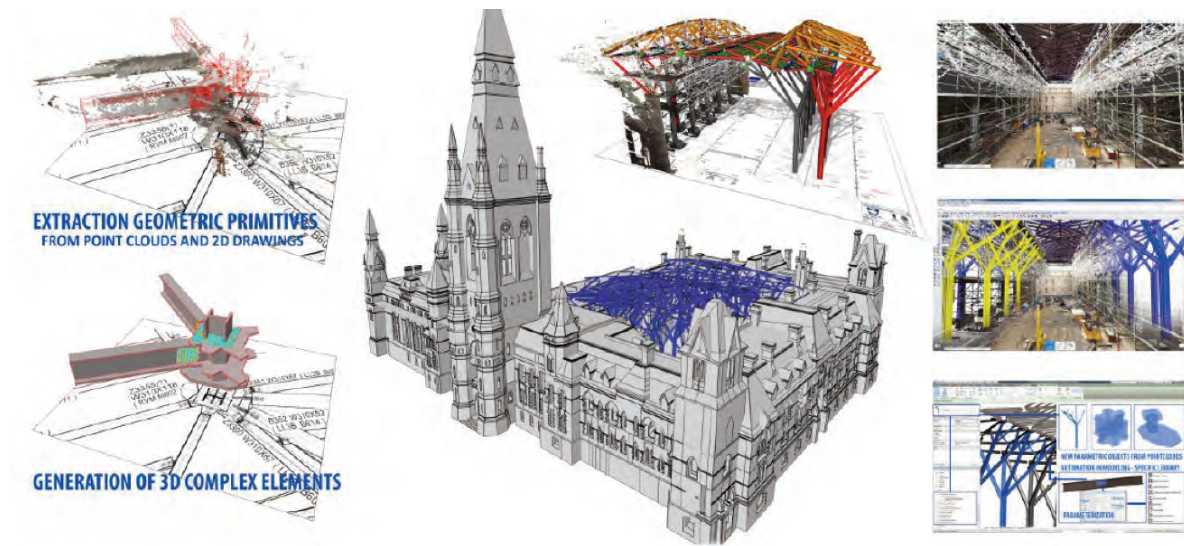


Figura 5 - Processo per la generazione di NURBS. Fonte (Banfi et al. 2017).

L'evoluzione dei corsi d'acqua, l'arretramento costiero, i fabbricati e le infrastrutture viarie rappresentano solo una parte delle categorie che necessiterebbero di una evoluzione in *real-time* per venire incontro alle esigenze di liberi professionisti ed enti.

Ulteriori "livelli funzionali" consentirebbero, inoltre, di descrivere le ulteriori informazioni non immediatamente desumibili dalla restituzione (assi e nodi), necessarie alla costruzione e gestione dei "grafi" delle entità a sviluppo lineare, utilizzando le procedure note come "analisi topologiche" (Jiang, 2004).

L'applicazione del metodo di rilevamento automatico utilizzando immagini acquisite da SAPR ed opportunamente trattate con i DMBS ed i GIS potrebbe essere utilizzate in sinergia con le operazioni di rilievo sul campo, o potrebbe anche provare a sostituirli, soprattutto nelle regioni dove è difficile l'accesso alle aree da ispezionare. L'impiego per il governo locale o regionale potrebbe, altresì, essere orientato alla identificazione dell'edificazione illegale o per il monitoraggio della crescita urbana.

Utilizzando specifiche tecniche di restituzione fotogrammetrica sarebbe possibile ottenere dei modelli tridimensionali definiti NURBS (*Non-Uniform Rational B-Splines*), rappresentazioni matematiche della geometria 3D (cfr. Figura 5) per la definizione accurata di qualunque forma (da una semplice linea, ad un cerchio, un arco o una curva, fino al più complesso solido).

Il complesso solido potrebbe essere rappresentato ad esempio da un edificio, che conterrebbe in modo estremamente dettagliato tutte le informazioni metriche reali; creando quindi una sorta di modello di riferimento utile

anche per perseguire le finalità di equità fiscale, legati ai tributi sugli immobili.

3. ACCURATEZZA DEI RISULTATI TOPOGRAFICI DA SAPR: ALCUNE OSSERVAZIONI

A tutt'oggi i SAPR, nel dettaglio locale, devono, in via generale, necessariamente supportarsi con i metodi tradizionali topografici, ai fini del rilievo dei Ground Control Points (GCP), target/segni a terra visibili sulle foto riprese da drone ai fini della coerente georeferenziazione e rappresentazione in mappa.

I SAPR si sono ormai inseriti nel mondo del rilievo territoriale con estrema ed imprevedibile rapidità, forse con uso smodato anche in ambito di rilievo topografico, spesso senza dare la giusta attenzione alla valutazione di attendibilità dei risultati ottenibili/ottenuti/ validabili/validati.

La lettura consequenziale che può emergere da tali riflessioni è particolarmente delicata e meritevole di attenzione, senza alcuna velleità o volontà censoria, quanto piuttosto improntata a spirito di servizio per la piena professionalizzazione di un settore in rapida espansione, e con la responsabilità di resa di quadri informativi attendibili da parte degli operatori incaricati. L'importanza della qualità potrebbe, cioè, passare in secondo piano, lasciando ampio spazio alla frenetica corsa al ribasso dei prezzi ed alla velocità di restituzione degli elaborati. Purtroppo, o per fortuna per taluni, i software fotogram-

metrici consentono, infatti, agevolmente, attraverso procedure completamente automatiche, di estrapolare da un set di foto (anche di discutibile qualità) modellazioni tridimensionali e relativi prodotti cartografici.

L'assiomatica traccia della possibile mancanza di accuratezza, a discapito della necessaria rigerosità delle precisioni topografiche, passerebbe, così, inosservata ai più,

penalizzando quanti, invece, con estremo rispetto verso la committenza e, specialmente, in piena osservanza delle regole basi della cartografia numerica e della geomatica, si impegnano con professionalità e serietà per il raggiungimento dei dovuti migliori esiti.

In ogni caso, il livello di accuratezza e precisione andrebbe preventivamente disciplinato e convenuto con

BIBLIOGRAFIA

- Agenzia delle Entrate (2018). Geoportale cartografico catastale. Sito ufficiale www.agenziaentrate.gov.it.
- Baltsavias, E. P. (2004). Object extraction and revision by image analysis using existing geodata and knowledge: current status and steps towards operational systems. *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing*, 58 (3-4), 129-151.
- Banfi, F., Fai, S., & Brumana, R. (2017). Bim Automation: Advanced Modeling Generative Process for Complex Structures. In *26th International CIPA Symposium on Digital Workflows for Heritage Conservation 2017* (pp. 9-16). Copernicus GmbH.
- Blais, F. (2004). *Review of 20 years of range sensor development*. Journal of electronic imaging, 13(1), 231-244.
- Burrough, P.A. (1986). *Principles of Geographic Information Systems for Land Resource Assessment*. Monographs on Soil and Resources Survey. No. 12, Oxford Science Publications, New York.
- Dell'Acqua, G. (2017). I-BIM Infrastructure-Building Information Modeling: Stato dell'arte. *Le Strade web*.
- Dell'Acqua, G. (2017). BIM per le infrastrutture lineari. *Ingenio*.
- Deuel, L. (1969). *Flights into yesterday: the story of aerial archaeology*. St. Martin's Press.
- EASA (2017). Notice of Proposed Amendment 2017-05 (A). Introduction of a regulatory framework for the operation of drones. Unmanned aircraft system operations in the open and specific category.
- ENAC (2015-2017). Regolamento . Mezzi aerei a pilotaggio remoto.
- El-Hakim, S. F., Beraldin, J. A., & Blais, F. (1995, December). Comparative evaluation of the performance of passive and active 3D vision systems. In *Digital Photogrammetry and Remote Sensing'95* (Vol. 2646, pp. 14-26). International Society for Optics and Photonics.
- Hacki M. (2014, January 8). Legal information about flying multicopter drone UAV in different countries. In *Multicopter, Riot Media.CH*.
- Hermann D., Marella A. (2014). Droni, quando i dati piovono dal cielo. *Le Strade*, 12/2014, 320-325.
- Kraus, K. (1994). Fotogrammetria. Vol. 1 - Teoria e applicazioni. Levrotto & Bella, Torino.
- Korody C., Snow C. (2017, March 27). Five valuable Business Lessons Learned About Drones in Costruction. Skylogic.
- Jiang, B., & Claramunt, C. (2004). Topological analysis of urban street networks. *Environment and Planning B: Planning and design*, 31(1), 151-162.
- Malerba, P. G. (2015). Ispezioni dei ponti: contributo dei sistemi di rilievo a pilotaggio remoto. *Dronitaly, The event for civil UVS, 25 settembre 2015, EXPO FIERA PERO (MI)*.
- Malerba, P. G. (2015). Inspecting and repairing old bridges: experiences and lessons. *Structure and Infrastructure Engineering*, 10(4), 443-470.
- Mikhail, E. M., Bethel, J. S., & McGlone, J. C. (2001). *Introduction to modern photogrammetry*. New York.
- Micieli, M., Taranto, M. (2017). Tecniche di analisi ed elaborazione immagini digitali da SAPR (Sistemi Aeromobili a Pilotaggio Remoto). Atti del convegno GIS Day Calabria 2017 - VIII edizione, pag. 219 - 224.
- Micieli, M. et al. (2016). Applicazione dei Sistemi Aeromobili a Pilotaggio Remoto (SAPR) per il rilevamento di zone franose e relativa restituzione grafica mediante l'ausilio di software GIS. Atti del convegno GIS Day Calabria 2016 - VII edizione, pag. 177 - 184.
- Micieli, M., Taranto, M. (2015). Mappature e monitoraggio del territorio con Sistemi A.P.R. (Aeromobili a Pilotaggio Remoto). Atti del convegno GIS Day Calabria 2015 - VI edizione, pag. 327 - 336.
- Qin, R., Gruen, A., Fraser, C. (2014). Quality Assessment of Image Matchers for DSM Genration - A Comparativa Study Based on UAV Images. Asian Conference on Remote Sensing. Conference Paper, October 2014.
- Russo, M., Remondino, F., & Guidi, G. (2011). *Principali tecniche e strumenti per il rilievo tridimensionale in ambito archeologico*. Archeologia e calcolatori, 22, 169-198.

la committenza, anche per *due diligence* professionale, nonché evidenziate, in sede di reportistica acclusa, le eventuali modifiche occorse in ordine alle variazioni apportate in sede di campagna di rilievo e di elaborazione, motivandole con le opportune situazioni operative che ne abbiano determinato l'assunzione rispetto al quadro originariamente concordato, e specificando i livelli effettivamente raggiunti in termini di accettabilità rispetto al *target* stabilito.

D'altro canto le osservazioni or ora esposte perdono validità se lo scopo del rilievo esula dalle precisioni topografiche “*ordinarie*”. Infatti, se il fine è quello di una rappresentazione non rigorosa delle forme e delle dimensioni di ciò che si inquadra potrebbe essere sufficiente un risultato approssimato. È, in ogni caso, importante, per di più deontologicamente corretto, verificarne la vera accuratezza, con l'integrazione di strumenti topografici terrestri, e comunicarne l'esito alla committenza.

Le condizioni logistiche generali di un sito da rilevare spesso non permettono di conseguire i risultati desiderati, ragion per cui, invece di proseguire nell'acquisizione delle immagini ed elaborare risultati di dubbia affidabilità, sarebbe più opportuno indirizzare il rilievo su tecniche affini ovvero diverse. Ad esempio, rasentando la pedanteria, in presenza considerevole di ostacoli, quali ad esempio fitta vegetazione, è vivamente sconsigliabile procedere con rilievo aerofotogrammetrico da drone, in quanto si presenteranno ineluttabilmente seri problemi di correlazioni tra i diversi fotogrammi, dalle quali dipende intrinsecamente la precisione finale.

La programmazione di un rilievo fotogrammetrico da drone deve partire dal grado di dettaglio richiesto, passando attraverso un'analisi preliminare delle reali probabilità di pervenire al giusto risultato. *Ergo*, non basta definire il poligono che meglio ricopre l'area (cfr. FAST FIND Artt. 1386 e 1428) trascurando, ad esempio, il GSD (*Ground Sample Distance*), ovvero pixel a terra, a favore del minor tempo di volo o di un minor numero di foto. L'accuratezza è direttamente correlata al GSD: esperienze sperimentali asseriscono che la massima accuratezza in piano si attesta mediamente al doppio del valore del GSD.

Altro aspetto rilevante è proprio il controllo della reale precisione raggiunta, che deve essere programmato congiuntamente alla pianificazione del volo, in parti-

colar modo in funzione del posizionamento dei GCP (*marker* a terra).

È necessario, difatti, rilevare con strumentazione topografiche terrestri, oltre ai punti da adoperare per le fasi di orientamento assoluto (cfr. FAST FIND AR1428), ulteriori punti di controllo per il risultato ottimale.

I GCP di ausilio all'orientamento assoluto dei fotogrammi vanno posizionati adeguatamente nelle parti periferiche del poligono di rilievo, con distribuzione sicuramente uniforme nel caso di terreni a morfologia regolare, ma maggiormente fitta e specifica per areale dove, invece, si presentano repentini cambi di pendenza.

Come in ogni campagna di misura, elevati livelli di accuratezza che, nel caso di SAPR comportano anche la disposizione di un gran numero di punti di controllo a terra, determinano costi di acquisizione e resa sensibili. E', pertanto, fondamentale la scelta del numero e del posizionamento dei GCP, che dovrà essere strategica, per il giusto compromesso tra l'impegno richiesto per l'esecuzione dell'intero rilievo fotogrammetrico ed il dettaglio da perseguire, da determinare a priori.

Non bisogna sottovalutare, inoltre, le reali potenzialità del SAPR utilizzato. Ovvero, è necessario garantire una perfetta esecuzione del volo, dal punto di vista della stabilità e, soprattutto, acquisire immagini di alta qualità. Quest'ultimo aspetto può essere verosimilmente ritenuto il più importante, motivo per il quale tutti i sistemi che adoperano fotocamere professionali offrono *performance* nettamente superiori e, di conseguenza, più costose.

In definitiva, il senso di questa breve analisi critica verte sull'importanza dell'accuratezza dei risultati dei rilievi aerofotogrammetrici con i droni, direttamente proporzionale alle reali capacità del sistema e degli operatori APR, che non può basarsi esclusivamente sui soli aspetti di offerta economica e di tempistica di acquisizione e resa.

Chiodiamo la rassegna con due noti aforismi attribuiti a Benjamin Franklin (1706 – 1790), scienziato e politico statunitense, che devono guidarci in ogni attività intrapresa:

“*Ben fatto è meglio di ben detto*”

“*L'amarezza di una scarsa qualità rimane per lungo tempo, dopo che il piacere di un prezzo basso è stato dimenticato*”. 

I Droni per la conoscenza, il governo ed il controllo del territorio

a cura di

Francesco Guzzo,

Ingegnere dei trasporti, consulente tecnico, esperto di pianificazione territoriale e governo del territorio, mobilità sostenibile e sicurezza stradale, estimo civile e ambientale.

Massimo Micieli,

Geologo, docente a contratto per il corso di Geologia Applicata presso il Dipartimento di Ingegneria Civile (DINCI) dell'Università della Calabria, Pilota/Operatore APR.

Mirco Taranto,

Geologo, dottorando presso la Scuola di Dottorato in Scienze dell'ingegneria, dell'ambiente, delle costruzioni e dell'energia (SIACE) presso il Dipartimento di Biologia Ecologia e Scienze della Terra (DiBEST) dell'Università della Calabria, Pilota/Operatore APR.



Legislazione Tecnica
libreria professionale