

MAPPATURE E MONITORAGGIO DEL TERRITORIO CON SISTEMI A.P.R. (AEROMOBILI A PILOTAGGIO REMOTO)

M. Micieli¹, M. Taranto²

¹ Docente a contratto UNICAL, Titolare GEOTEST di Micieli Massimo, Geologo libero professionista.

² Geologo libero professionista.

1 – Stato dell'arte sull'utilizzo degli APR

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 (Aeromobile a Pilotaggio Remoto) meglio conosciuti come Droni ad uso civile.

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.

In particolare, l'uso tecnico predominante è rappresentato dall'aerofotogrammetria di prossimità, ossia, l'uso di un sensore fotografico equipaggiato sull'APR che tramite voli programmati, con l'uso di un GPS, permette di realizzare strisciate fotografiche con percentuali di sovrapposizioni ben definite. Le quali elaborate attraverso software specifici permettono la restituzione di:

- modelli 3D del terreno;
- nuvole di punti;
- ortofotomosaici;
- curve di livello.

Tutti i dati ottenuti contengono le coordinate x, y, z secondo un dato sistema di riferimento; permettendo l'esportazione sui più comuni sistemi GIS, offrendo inoltre la possibilità di poter essere sovrapposti alle cartografie tecniche ufficiali.

Tuttavia, i sistemi APR presentano anche dei limiti:

- l'autonomia di volo;
- la scarsa stabilità in presenza di vento;
- la stretta dipendenza dai marker a terra per avere dettagli accettabili nei rilievi topografici.

1.1 – Il contesto nazionale.

L'utilizzo degli APR in Italia è stato normato dall'Ente Nazionale Aviazione Civile (ENAC), che ha deliberato un apposito regolamento inerente il loro utilizzo. Un atto necessario a dare il via ad un mercato ampio ed in continua espansione, nel quale le piccole e medie imprese regolarmente certificate possono operare.

L'offerta nell'attuale panorama nazionale è rappresentata da diverse società che realizzano APR, sia per uso hobbistico che professionale; le prime hanno come obiettivo principale quello di contenere i costi e permettere applicazioni prettamente ludiche, le seconde sono quelle che investono maggiormente in ricerca e sviluppo. L'evoluzione e l'integrazione con nuove e sofisticate strumentazioni permettono di offrire ai professionisti del settore sistemi di supporto ai normali processi lavorativi. Alcune attività che richiedevano considerevoli investimenti in termini temporali, possono essere ora realizzate in modo parzialmente o totalmente automatizzato, riducendo di conseguenza i costi ed aumentando nel contempo la qualità di taluni risultati.

Tra gli APR esistono delle differenze che li rendono più o meno idonei allo svolgimento di specifiche operazioni; la distinzione principale per caratterizzare un drone è basata sul tipo di ala con la quale è equipaggiato, si dividono in:

- **Ala fissa**
- **Ala rotante (o multirotori)**

Quelli ad ala fissa (fig. 1) hanno la forma di piccoli aeroplani e vengono spinti da una elica posizionata sulla coda dell'APR, i maggiori vantaggi nell'uso di questi sistemi sono:

- **maggiore autonomia di volo:** gli APR ad ala fissa sono in grado di volare per oltre 45 minuti consecutivamente, mentre gli APR multicottero hanno, normalmente, una autonomia molto più ridotta (di solito pari a 10-20 minuti, nei quali sono comprese le operazioni di decollo e atterraggio);
- **maggiori superfici coperte in minor tempo:** gli APR ad ala fissa consentono di coprire superfici fino a 10 Km² con un unico volo, raggiungendo velocemente la quota di intervento e mantenendo elevata la propria operatività; un APR multicottero necessita invece di continui pit-stop e di tempi più lunghi per recuperare il work-point da cui riprendere la missione;
- **migliore qualità del risultato fotografico:** la qualità delle immagini per l'utilizzo professionale e tecnico dipende fortemente dalle condizioni di illuminazione che, per loro natura, possono cambiare anche nel corso dello stesso volo; la possibilità dei droni ad ala fissa di coprire in tempi ridotti e con continuità ampie superfici, consente di mantenere una migliore uniformità delle immagini riprese e, conseguentemente, un'elevata qualità del risultato finale;
- **migliore resa aerodinamica e minore influenza delle condizioni ambientali:** gli APR ad ala fissa possono volare con velocità del vento che arrivano fino a 45 Km/h, mantenendo la stabilità del volo ed il corretto assetto nadirale, necessario per ottenere immagini ortofotografiche corrette.



Fig. 1 – APR ad ala fissa.

Gli APR multirotori (o ala rotante, fig. 2) sembrano dei piccoli elicotterini con sistemi di bracci rotanti posti lungo un piano, il numero di eliche e motori può variare (in media da 3 ad 8) a seconda della tipologia e del loro uso, i maggiori vantaggi di questi sistemi sono:

- **possibilità di stazionare in un dato punto:** sono gli unici APR capaci di osservare dallo stesso punto in quota una determinata area o fenomeno, variando contemporaneamente se necessario, l'angolo di ripresa oppure effettuare rotazioni sullo stesso asse;
- **ispezionare superfici verticali e subverticali:** ossia quello di impostare un piano di volo in verticale, che riprenda a diverse quote e con lo stesso angolo (grazie ai bracci robotici oscillanti di cui sono dotati, chiamati gimbal) superfici come costoni rocciosi, pendii particolarmente acclivi, edifici di varia natura, ponti, dighe, strutture di sostegno, ecc.;
- **richiedono spazi di decollo minimi:** a differenza dei "cugini" ad ala fissa che necessitano di superfici ampie e prive di ostacoli (vegetazione e/o insediamenti antropici) possono decollare con pochi metri di spazio libero nel loro intorno.



Fig. 2 – APR multirotori ad ala rotante (in questo caso trattasi di esacotteri).

1.2 – Campi di applicazione.

Differenti sono i momenti dell'anno in cui si manifestano fenomeni che vanno ad alterare il territorio: nelle stagioni calde gli incendi boschivi; nei periodi invernali le mareggiate, i movimenti franosi e le alluvioni, attivatisi a seguito di avverse condizioni meteorologiche, spesso accompagnati da oggettive imprudenze antropiche.

Il rilevamento di prossimità a bassa quota offerto dagli APR permette, in modo agevole, il monitoraggio di tali fenomeni, 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 franosi, delle aree alluvionate e delle loro potenziali evoluzioni, nonché delle aree interessate da incendi. Quasi sempre nell'immediatezza le zone colpite da eventi calamitosi risultano di difficile accesso, sia per le particolari peculiarità morfologiche e sia per lo stato in cui versano di conseguenza i terreni e le aree interessate. Pertanto, può capitare 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 stessi. 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.

Poiché, a parte gli incendi e gli eventi tellurici, i normali periodi di attivazione dei fenomeni su scritti sono quelli invernali, generalmente si aspettano stagioni climaticamente più favorevoli per realizzare possibili opere di intervento. Quindi tale attesa, accompagnata dalle oggettive lungaggini burocratiche, porta a ritardi significativi nello studio dei fenomeni e delle loro eventuali soluzioni.

Non meno importanti senz'altro le possibili applicazioni di: realizzazione di opportuni elaborati cartografici di dettaglio per la progettazione ingegneristica di routine; ricognizione nelle zone interessate dai terremoti; progettazione di cave e discariche; rilievi finalizzati all'ispezione di strutture edilizie, architettoniche e di impianti fotovoltaici ed elettrodotti; controllo su abusivismo edilizio; interventi di Protezione Civile in genere.

In tutte queste situazioni l'uso degli APR fornisce un valido supporto per:

- intervenire tempestivamente sull'area;
- ridurre notevolmente i tempi di esecuzione dei rilievi;
- poter coprire una sufficiente area nell'intorno della zona interessata;
- avere un punto di vista privilegiato nell'osservazione;
- processare parte dei dati in tempo reale;
- realizzare cartografie tematiche oggettive di estremo dettaglio.

2 – Metodologia

2.1 – Scelta del tipo di APR e del sensore

La scelta dell'APR è legata essenzialmente alla tipologia del lavoro da realizzare, sfruttando le peculiarità degli APR sopra descritti (ala fissa piuttosto che ala rotante); per cui, su aree di grandi dimensioni (> di 10 ettari) è consigliabile l'uso dell'ala fissa. Nel caso, invece, di rilievi ad angolazioni diverse dal nadirale, oppure in volo stazionario, la scelta risulta essere obbligata, poiché solo i multirotori permettono di effettuare questo tipo di rilievo.

Successivamente si passa alla scelta del miglior sensore da utilizzare; il panorama a corredo degli APR spazia dal visibile all'infrarosso, oppure a particolari sensori per specifiche analisi (iperspettrale, termico, lidar).

Si precisa che nel prosieguo del presente articolo si farà riferimento esclusivamente all'aerofotogrammetria da APR.

Negli studi aerofotogrammetrici la scelta del sensore fotografico riveste una notevole importanza, infatti dalla dimensione dei pixel, dalla focale utilizzata (quindi dal tipo di obiettivo), dalla calibrazione della camera e dal numero di punti di messa a fuoco dipende la qualità, l'attendibilità ed il grado di dettaglio degli elaborati finali.

Ciò non prescinde dalla necessità di avere un numero sufficiente di marker a terra, i quali, una volta posizionati e ripresi dalle fotografie aeree, devono essere rilevati con sistemi GPS topografici, che avendo precisioni millimetriche consentono di inquadrare con maggiore dettaglio le coordinate associate agli scatti fotografici dal GPS (con precisione metrica) installato sull'APR.

Fondamentale è la scelta dell'obiettivo da montare sulla fotocamera: le lenti a focale fissa sono fortemente consigliate; sui formati APS-C sarebbe da utilizzare almeno un obiettivo a 24 mm (che corrisponde a circa 36 mm del full frame). Ciò perché, indipendentemente dalla qualità e dalla fattura, tutte le lenti soffrono di aberrazione cromatica e sferica; effetti che si manifestano a maggiori aperture, ragion per cui, nelle focali più lunghe tali problemi sono ridotti. D'altra parte, a parità di altezza di volo il campo inquadrato a terra, ad esempio, da un obiettivo da 50 mm è più piccolo di quello di un 30 mm, il che significa che per coprire interamente una data area il numero di fotogrammi nel primo caso sarà maggiore. È vero che la risoluzione a terra sarà migliore con focale da 50 mm, ma di contro un numero maggiore di fotogrammi implica più tempo per l'elaborazione. Ebbene, il miglior compromesso si ottiene esaminando con attenzione quanto detto, senza dimenticare comunque che lo scopo della calibrazione delle ottiche è permettere ai software dedicati di eliminarne, o ridurne il più possibile, i difetti.

2.2 – Pianificazione del volo.

Partendo da opportuni software che si interfacciano con l'hardware dell'APR è possibile pianificare missioni di volo, partendo da cartografie aeree preesistenti e disponibili per tutto il globo (es: Googlemaps).

Definito un poligono che racchiude l'area di interesse è possibile settare informazioni particolareggiate come: altezza di volo, focale di ripresa, numero di waypoints, percentuali di sovrapposizione dei fotogrammi sia lungo la direzione di volo che tra le strisciate; in questa fase si ottengono informazioni sulla durata del volo e sulla precisione teorica del pixel a terra. In fig. 3 è mostrato un esempio di volo pianificato.

Nella programmazione dei voli bisogna attenersi obbligatoriamente a quanto previsto dalla normativa ENAC per quanto riguarda altezze di volo, distanza massima dall'operatore e quant'altro necessario a garantire la sicurezza dell'intera operazione (*Regolamento "Mezzi Aerei a Pilotaggio Remoto" – Edizione n° 2 del 16 luglio 2015*).

Una volta pianificata, l'intera missione viene trasferita sull'APR, attraverso la cosiddetta telemetria (un dispositivo che fa interfacciare il drone con il pc via radio).

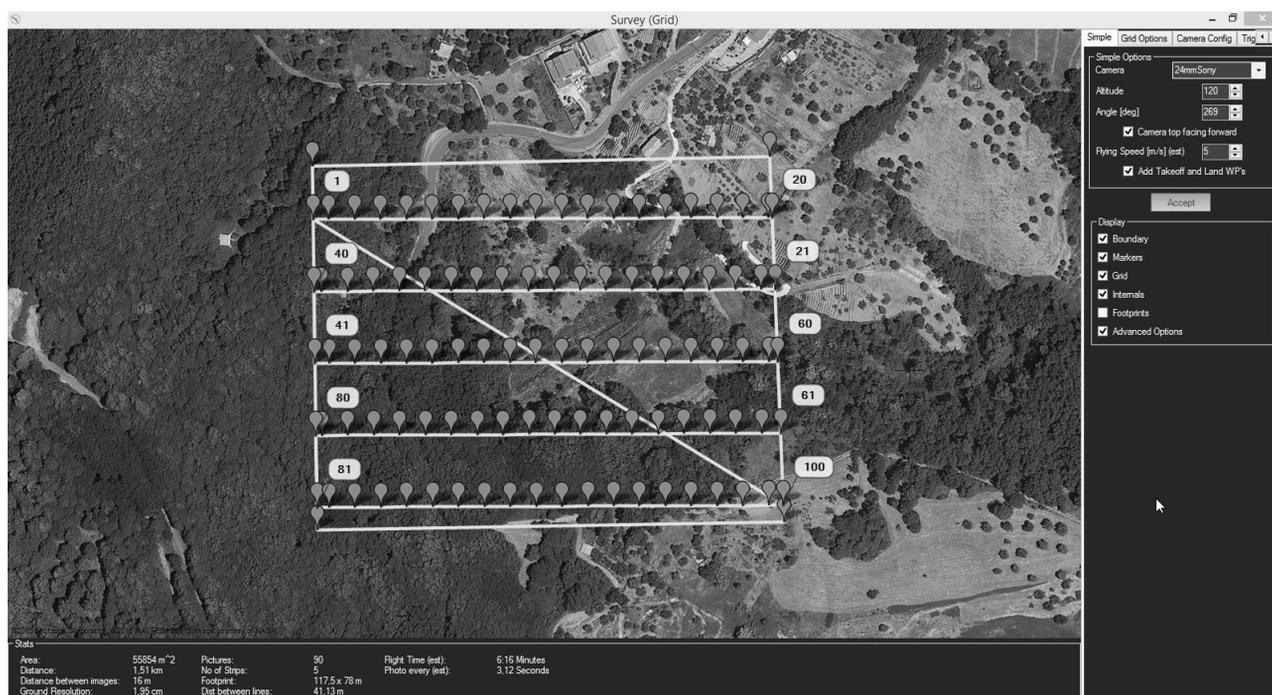


Fig. 3 – Esempio di volo pianificato.

Prima di eseguire una missione è necessario verificare le condizioni meteo (accertandosi che il vento non sia superiore ai valori massimi consigliati per l'APR) e scegliere le ore migliori (di solito intorno a mezzogiorno, in base all'esposizione geografica dell'area ed alla presenza o meno di fabbricati, alberi o altro che formino ombre sul terreno).

2.3 – Impostazioni della fotocamera.

Non è da sottovalutare l'importanza delle impostazioni della camera di ripresa se si vogliono ottenere risultati attendibili e di qualità. Iniziamo col dire che è preferibile utilizzare il formato RAW, così i fotogrammi (successivamente convertiti in file TIFF) conservano tutte le informazioni, senza perdita di dati (a differenza della compressione JPG che induce rumori indesiderati alle immagini).

Non usare il bilanciamento del bianco automatico, ciò potrebbe alterare il cromatismo di uno stesso oggetto sulle diverse foto che lo inquadrano, il che potrebbe inficiare le successive fasi di elaborazione. Utilizzare tempi di scatto più brevi possibili visto che si sta fotografando in volo, in modo da rendere meno influenti le inevitabili vibrazioni indotte dal velivolo. Di solito, in condizioni di giornata "ideale", un tempo di scatto intorno ad 1/2000 sec risulta ottimale.

La sensibilità (ISO) può essere regolata in funzione delle condizioni di luce (in presenza di cielo sereno il valore 200 è generalmente accettabile) e anche in funzione degli oggetti ripresi (se ad esempio si è su un'area in prevalenza scura è bene alzare gli ISO – ma senza esagerare – viceversa su aree cromaticamente chiare). Poiché capita spesso di essere in condizioni non omogenee, si può operare con gli ISO in modalità AUTO.

Consigliabile, infine, l'utilizzo delle SD Card di classe 10, che sono veloci nel memorizzare le immagini, dato che in volo gli scatti sono molto ravvicinati in termini di tempo.

2.4 – Elaborazione dei dati e restituzioni.

Le immagini acquisite con la fotocamera vengono trasferite sul pc insieme a tutti i dati inerenti il volo che fornisce il sistema di autopilota dell'APR. Quest'ultimo dispositivo immagazzina i LOG della missione, i quali contengono: Nome Immagine, Latitudine, Longitudine, Quota, Beccheggio, Rollio e Imbardata di ogni singolo scatto.

La prima cosa da fare è analizzare la qualità delle immagini, eliminando se necessario i fotogrammi poco utili (ad es: foto effettuate in fase di decollo e/o atterraggio, sfuocate e/o mosse) che andrebbero a

deteriorare la precisione e la qualità dell'intero lavoro. In questo i diversi software in commercio possono venire in aiuto con le funzioni di esclusione in automatico dei fotogrammi non utilizzabili.

Si passa poi alle funzioni di calibrazione ed allineamento delle immagini. La calibrazione consiste nell'eliminare i difetti legati all'ottica (aberrazioni), la quale per essere effettuata necessita dei dati di calibrazione dell'obiettivo e dei dati di beccheggio, rollio ed imbardata.

Segue l'inquadramento metrico, nel quale vengono fornite le coordinate dei punti a terra (marker) rilevate con GPS topografico, fermo restando la possibilità di inserire punti di coordinate note presi da cartografie esistenti. Quest'ultima operazione permette di assegnare l'attributo geografico (x, y, z) all'intero modello.

A questo punto si istruisce il software per la costruzione della nuvola di punti 3D e dell'ortofotomosaico. Tutti i dati ottenuti vengono poi esportati per realizzare i vari elaborati: curve di livello, DTM, modello 3D del terreno, linee di discontinuità (scarpate, incisioni, rotture di pendenza), vettorializzazioni di oggetti rappresentativi (strade, edifici).

Partendo dalla nuvola di punti 3D ed una volta definito il contorno dell'area di interesse è possibile personalizzare il modello impostando isole di estrusione (che permettono di non considerare nelle operazioni di calcolo particolari aree).

2.5 – Implementazioni nei sistemi GIS.

Le potenzialità dei Geographic Information System (GIS) permettono di associare elementi geometrici quali punti, linee e poligoni a specifici geodatabase per elaborare, analizzare e gestire dati di vario genere. Generalmente, in un contesto territoriale, consentono la sovrapposizione di specifiche cartografie in un particolare datum geografico, permettendo le operazioni di georeferenziazione di luoghi o oggetti.

La cartografia esistente, generalmente in scale non superiori ad 1:5.000, spesso obsoleta, non sempre si presta alle esigenze dei tecnici che operano sul territorio; infatti, lavorare su cartografie non aggiornate ed a scale inadeguate può portare ad errori considerevoli nelle rappresentazioni grafiche degli elementi da riportare.

Notevole quindi è l'impiego di elaborazioni cartografiche derivanti da riprese con sistemi APR; la possibilità di sovrapporre a layers preesistenti delle ortofoto contemporanee ad un dato periodo, facilita la rappresentazione di dettaglio di tutti gli elementi di interesse. I DTM (Digital Terrain Model) ricavabili, consentono una volta debitamente interpolati, di ottenere curve di livello di estremo dettaglio che possono permettere di identificare fenomenologie irrilevabili a scale inferiori. Dal confronto delle corografie preesistenti con quelle aggiornate derivanti da APR si possono effettuare valutazioni sull'eventuale evoluzione di fenomeni geomorfologici (spostamenti della linea di costa, evoluzioni di fenomeni di dissesto idrogeologico).

Dalle aeroriprese da APR si possono ricavare cartografie di uso del suolo, l'alta risoluzione permette infatti di identificare lo stato attuale di utilizzo del territorio (superfici artificiali, superfici agricole, superfici boschive, ambiente umido e ambiente delle acque).

Utile, inoltre, la possibilità di individuare determinate porzioni di terreno interessate da incendi, consentendo di ottemperare in modo ottimale alla realizzazione del Catasto Incendi Boschivi (legge n. 353 del 21 novembre 2000 "Legge quadro in materia di incendi boschivi").

La sovrapposizione di una ortofoto aggiornata ad una cartografia catastale può permettere l'individuazione di fenomeni di abusivismo (violazione di aree demaniali, disboscamento illegale, coltivazioni cave non autorizzate, discariche illecite, etc.).

Le potenzialità sopra esposte potrebbero confluire in un unico portale istituzionale accessibile, divenendo uno strumento di riferimento per tutte le applicazioni che necessitano di elementi di dettaglio.

3 – Applicazione del metodo

Di seguito è riportato un esempio di studio e monitoraggio di un movimento franoso in un comune della provincia di Cosenza. Trattasi di uno scivolamento rotazionale evoluto in colata che ha interessato una strada ex provinciale che collega due piccoli centri abitati.

Eseguite le operazioni preliminari di posizionamento dei marker e relativo rilevamento con GPS topografico si è passati alla pianificazione della missione sull'APR. Acquisite le immagini del piano di volo ed effettuate le necessarie analisi di qualità, sono iniziate le procedure di allineamento e calibrazione che hanno portato alla restituzione finale della nuvola di punti (fig. 4) e dell'ortofotomosaico (fig. 5). Quest'ultimo ha rappresentato la cartografia di base usata per i successivi rilievi geologico-geomorfologici.

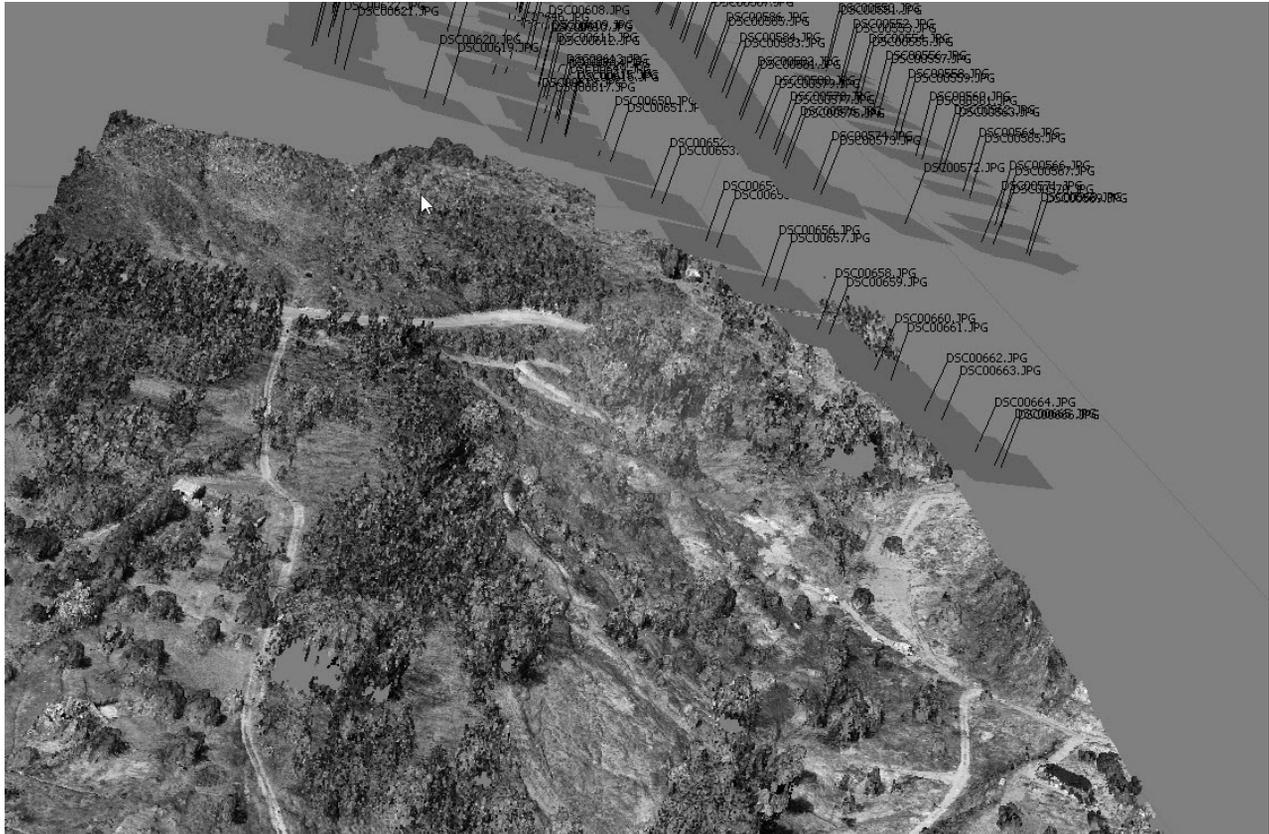


Fig. 4 – *Nuvola di punti con posizione degli scatti in volo.*



Fig. 5 – *Ortofotomosaico.*

Gli elementi di campagna cartografati sono stati poi informatizzati in ambiente GIS su un apposito database, che ha permesso la visualizzazione e l'interpolazione tra i differenti layers disponibili, restituendo migliori risultati in termini sia qualitativi che quantitativi (fig. 6).

Carta Geomorfológica su base APR



Fig. 6 – Carta geomorfológica finale.

Inoltre, l'elevato dettaglio aerofotogrammetrico ha consentito di realizzare, sulla piattaforma GIS di riferimento, una tavola aggiornabile con i singoli punti di monitoraggio di superficie (fig. 7).

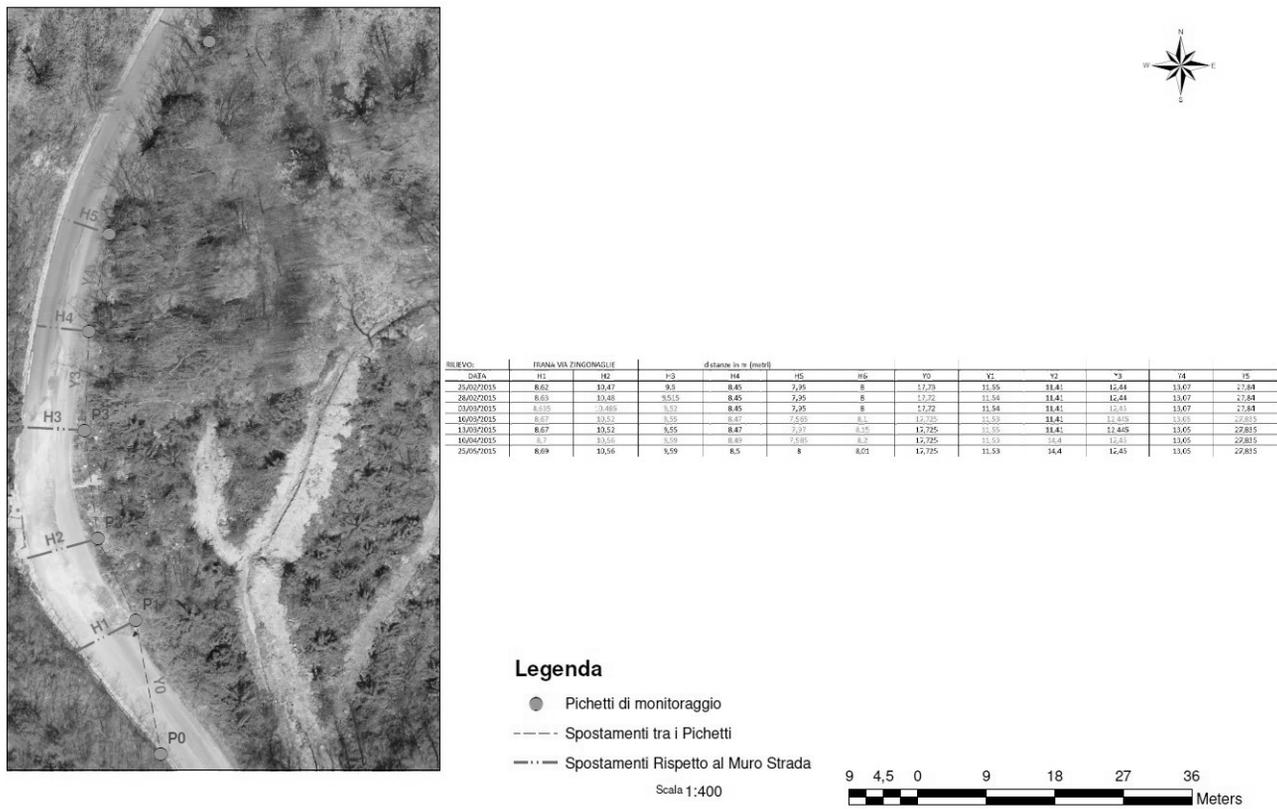


Fig. 7 – Tavola monitoraggio di superficie.

Bibliografia

- Ente Nazionale Aviazione Civile (ENAC), 2015, Regolamento "*Mezzi Aerei a Pilotaggio Remoto*" – Edizione n° 2 del 16 luglio 2015.
- Legge n. 353 del 21 novembre 2000 "*Legge quadro in materia di incendi boschivi*".
- Salerno G., 2014, "*Map Design per il GIS – Guida alla realizzazione di cartografie professionali*", Dario Flaccovio Editore, Palermo.