

ANALISI DI DTM/DSM PER L'INDIVIDUAZIONE DI PAESAGGI TERRAZZATI. TEST COMPARATIVO USANDO DEM REGIONALI E DATI UAV

DTM/DSM ANALYSIS FOR THE TERRACED LANDSCAPES DETECTION. COMPARATIVE TEST USING REGIONAL DEM AND UAV DATA

Antonia Spanò^a, Giulia Sammartano^a, Francesca Calcagno Tunin^a, Sylvie Cerise^a, Giulia Possi^a

^aDAD - Dipartimento di Architettura e Design, Politecnico di Torino, Viale Mattioli 39, 10129 Torino, Italy.
(antonia.spano, giulia.sammartano)@polito.it, (francesca.calcagnotunin, sylvie.cerise, giulia.possi)@studenti.polito.it

PAROLE CHIAVE: analisi di DEM, analisi GIS, cartografia a grande scala, fotogrammetria da droni, paesaggio terrazzato.

KEY WORDS: DEM analyses, GIS-based analyses, large scale mapping, UAV photogrammetry, terrace landscape.

Questo articolo è la traduzione e il sunto della versione sottomessa per uno SPECIAL ISSUE di APPLIED GEOMATICS collegata al convegno SIFET 2017.

RIASSUNTO

L'analisi del patrimonio terrazzato ha implicazioni in molti campi di studio differenti, in quanto racchiude in sé effetti e relazioni connesse alle dinamiche naturali e ambientali, socio-economiche e culturali. Dato che l'abbandono dei terrazzamenti impoverisce i territori e le comunità, causa rischi naturali, in particolare idrogeologici, e la loro disattivazione porta alla perdita dell'identità culturale delle comunità che li hanno prodotti, questo studio mira a individuare e sperimentare metodi e sistemi rapidi per identificarli e mapparli. Dal momento che nei territori montani è stata riconosciuta una profonda relazione tra l'elevata parcellizzazione fondiaria e l'utilizzo dei terrazzamenti produttivi, un primo metodo per il loro rilievo si basa su mappe catastali. L'utilizzo congiunto di DEM a scala regionale e dei datasets della cartografia numerica catastale, introdotti in un modello di calcolo che sfrutta analisi spaziali tipiche dei GIS, consente di identificare aree di elevata probabilità di terrazzamento.

Un secondo metodo si basa sull'utilizzo delle nuove tecnologie per il *rapid mapping* a grande scala. I DEM derivati dalla fotogrammetria UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*), data la loro capacità di determinare la caratterizzazione micro-topografica del terreno al pari delle più onerose tecniche terrestri, possono essere considerati uno strumento a basso costo per individuare e mappare il patrimonio terrazzato. Il lavoro proposto include test comparativi tra i metodi che sfruttano gli strumenti di analisi GIS applicati ai modelli di acclività. Questo lavoro mira ad evidenziare l'efficacia dell'utilizzo di entrambi i metodi: i DEM a scala regionale e i dataset della cartografia numerica catastale sono utili ad individuare l'elevata probabilità di localizzazione dei terrazzamenti e i DEM derivati dall'uso di dati UAV tramite gli algoritmi SfM (*Structure from Motion*) dimostrano l'efficacia dell'impiego dei sistemi di fotogrammetria da drone in questo campo.

ABSTRACT

The analysis of terraced heritage has implications in many different study fields, as it is shaped itself by natural, socio-economic and cultural dynamics.

Given that their abandonment impoverishes territories and communities, it raises natural, especially hydrogeological hazards, and their deactivation leads to a loss of cultural identity, this paper aims to study rapid systems for their detection.

Since a deep relation between high land division and the use of terraces for the exploitation of territories has been recognized, a first detection method is based on cadastral maps. The joint use of regional-scale DEM and cadastral dataset polygons, based on a model that typically uses GIS analyses, identifies areas with a high probability of terracing.

A second method is based on the use of new technologies for very high-scale data collection. The DEM models derived from the UAV photogrammetry, given their ability to determine the micro-topographical characterization of the terrain as well as the most expensive on-site techniques can be considered a great low cost means to locate this terraced heritage. The proposed work includes comparative testing between methods implying GIS based analysis of slope models. It aims at highlighting the effectiveness of using both methods: regional scale DEM and cadastral map to detect a high probability of terraces localization and DEM derived from the use of low-altitude aerial data and SfM algorithms that have greatly and effectively increased the use of aerial drone photogrammetry.

1. INTRODUZIONE

1.1 Il paesaggio terrazzato e strategie per contrastare l'abbandono

I paesaggi terrazzati sono diffusi in molte aree del mondo caratterizzate da elevati livelli di acclività e sono testimonianza di un significativo lavoro umano che ha trasformato la morfologia del terreno per consentire lo sfruttamento di risorse per vivere, anche quando le condizioni naturali del territorio sembrano avverse.

Recentemente alcuni paesaggi terrazzati sono stati inclusi nella lista del patrimonio protetto dall'UNESCO: le isole Ifugao nelle Filippine, i terrazzamenti Yuanyang nello Yunnan in Cina, l'isola di Bali in Indonesia, le Cinque Terre e la costa amalfitana in Italia.

Oltre il riconoscimento come patrimonio mondiale, si sta assistendo ad un crescente interesse in molti campi scientifici che ne analizzano aspetti diversi: vengono riconosciute le radici storico antropologiche e archeologiche (C. Ferro-Vázquez et al. 2017), la loro natura intrinseca di trasformazione ambientale che ha implicazioni sull'uso e le proprietà del suolo (Jiang, et al. 2017), sul microclima e sulla geomorfologia delle aree

interessate dal fenomeno. Conseguentemente i rischi che derivano dal loro abbandono sono di tipo idrogeologico, oltre che investire l'equilibrio agronomico ed ecologico dei territori, con conseguenze necessariamente sociali ed economiche (Londoño et. al 2017). Alcuni studi mirano ad evidenziare come il loro uso attuale, racchiudendo tradizione ed innovazione potrebbe contribuire a fornire soluzioni alimentari alla crescente pressione odierna in tema di produzione alimentare (Balbo, Puy 2017).

Anche i territori terrazzati del bacino del Mediterraneo e delle Alpi, a partire grossomodo dagli anni 2000, sono stati oggetto di intensi studi (e.g. Brancucci et al 2000; Briffaud S. Brochot A., 2010; Fontanari, Patassini, 2008) ed hanno beneficiato di progetti transfrontalieri o comunitari mirati alla loro conservazione e protezione.

Dal momento che naturalmente uno dei primi obiettivi è stata l'individuazione di metodologie per catalogarle e classificare tali paesaggi terrazzati, abbiamo condotto una lettura mirata ad identificare i metodi di rilievo adottati.

Il progetto ALPTER (Landscape of alpine arch terraces. 2004-2007) (Scaramellini, 2008) in particolare, era mirato a mappare i paesaggi terrazzati esistenti ed identificare problemi e soluzioni per il loro recupero e sviluppo nell'area alpina.

In quegli anni il metodo indicato come usuale per censire i territori terrazzati (Varotto, Ferrarese 2008) era articolato su tre fasi: individuazione delle aree di terrazzamento sulla cartografia tecnica regionale, fotointerpretazione da ortofoto aeree in scala 1:5000 – 1:10000, rilievo a terra per verifiche e integrazioni.

Un metodo di lavori quindi basato su campionamento statistico. Benchè ci siano stati studi che hanno impiegato strategie più automatiche tramite la tecnologia GIS per analizzare l'evoluzione nel tempo dell'uso del suolo e quindi per mappare i terrazzamenti (Ažman Momirski, 2008), è indubitabile che le tecniche tradizionali o basate sull'osservazione aerea a grandi distanze, incontrano il problema della scala e della copertura vegetazionale: "In practice, the information obtained underestimates the actual amount of terracing due to the fact that it is impossible to recognize the terracing covered by vegetation, whether by woods or brambles" (Brancucci, Paliaga, 2008).

Non sono mancati studi che hanno impiegato il LiDAR terrestre; in questo particolare campo applicativo è sicuramente una tecnica onerosa e votata allo studio di aree di piccola estensione, ed infatti il test reperito (Londoño et. al 2017) è principalmente orientato a riconoscere zone d'uso abbandonate.

Partendo da questo quadro e considerando il grande sviluppo delle tecniche di acquisizione, elaborazione e rappresentazione dei dati spaziali entrati in uso negli ultimi anni e che hanno condotto a conseguire vantaggi applicativi per un'ampia varietà di settori applicativi diversi, in questo studio verrà descritta una proposta di metodi per migliorare il rilevamento dei terrazzamenti.

L'opportunità di conoscere e quindi di migliorare la possibilità di proteggere un paesaggio culturale di notevole importanza quale è il patrimonio terrazzato, viene raggiunto utilizzando sia dati regionali che la fotogrammetria UAV.

1.2 Tipi di terrazzamenti ed aree test

La scelta di terrazzare un'area è legata alla presenza di pendenze elevate del terreno, o si delinea quando la pendenza risulta tale da rendere difficili le operazioni di coltivazione. In molte aree geografiche il terrazzamento è accompagnato dalla costruzione di muri a secco (figura 1a), le cui pietre sono derivate dalle operazioni di dissodamento e di traslazione del volume di terra. In altre zone, i terrazzamenti sono costituiti da cosiddetti "ciglioni", un tipo di intervento cioè in cui i muri in pietra a secco sono sostituiti da brevi scarpate. (figura 1b)

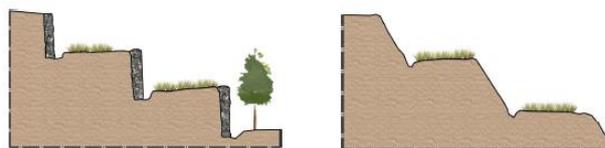


Figura 1. a, (sinistra): terrazzamenti accompagnati da murature in pietra a secco; b, (destra): terrazzamenti a "ciglioni"

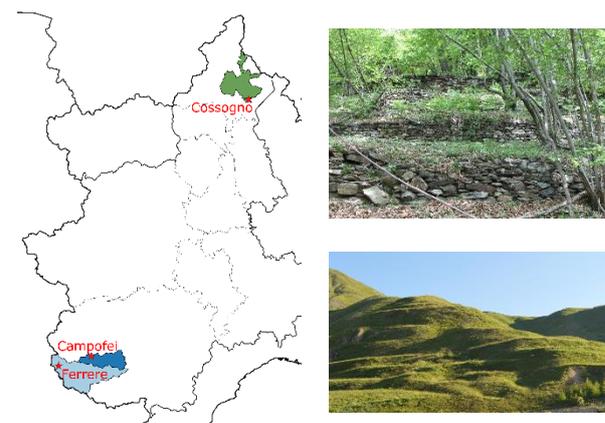


Figura 2. Localizzazione delle aree test nell'arco alpino occidentale: (destra in alto) muri a secco in Valle Grande; (in basso) terrazzamenti a ciglioni a Ferriere (alta Valle Stura)

La prima area test è il territorio della Valle Grande nel Piemonte settentrionale (figura 2); sebbene sia stato effettuato un censimento del patrimonio terrazzato in molti comuni di questo territorio (circa 31000 h) impiegando il metodo proposto (Poggi 2017), verranno presentati in questa sede i risultati del test applicati al comune di Cossogno.

La seconda area di sperimentazione si trova in Valle Grana, nel comune di Castelmagno (villaggio di Campofei - figura 2), su cui è stato condotto uno studio di fattibilità per valutare le possibilità di rivitalizzazione dell'area semi-abbandonata (Regis, Spanò, Coscia 2017); sono stati quindi realizzati voli fotogrammetrici da drone, che, in questo studio mirato a sperimentare metodi di identificazione dei terrazzamenti, risulta utile. Il terzo caso studio si trova in alta valle Stura, nel borgo di Ferriere (figura 2), in cui sono in corso studi riguardanti il recupero del patrimonio costruito mediante risorse locali (Calcagno Tunin, Cerise 2017). Le tre aree sono accomunate dal triste fenomeno del progressivo depopolamento, iniziato nel secondo dopoguerra, ed i terrazzamenti sono quindi in uno stato di abbandono o, spesso, di decadimento avanzato. Mentre l'impressionante estensione delle murature a secco che delimitano i terrazzamenti interessano la Valle Grande, nelle valli del Piemonte meridionale, i terrazzamenti con murature a secco sono meno abbondanti ed esiste la tipologia mista (area Castelmagno), oppure esclusivamente la tipologia a ciglioni (Ferriere).

2. INTRODUZIONE ALL'USO DI DATI E DEM DA PIATTAFORME UAV

Negli ultimi anni si è registrato uno sviluppo straordinario dell'utilizzo di piattaforme UAV per il rilevamento a grandissima scala in molteplici ambiti applicativi. A conferma della maturazione degli studi sono disponibili contributi di sintesi che analizzano le potenzialità di diverse piattaforme (ala fissa e multiroto) e i vari sensori con i quali i vettori sono equipaggiati, evidenziando le opportunità di mapping, monitoraggio e realizzazione di modelli 3D (per es. Nex, Remondino, 2014).

Le possibilità offerte dalla fotogrammetria digitale e dallo sviluppo crescente di camere digitali compatte, accompagnate ad una miniaturizzazione sempre più spinta e sostenibilità in termini di costi dei sensori, hanno consentito una notevole diffusione dei sistemi UAV utilizzati per indagini in aree prive di restrizioni al sorvolo, per documentazione in campo ambientale e sul patrimonio culturale. Come noto, il punto essenziale di questo successo è certamente dovuto alla capacità di acquisire immagini oblique e nadirali con elevate sovrapposizioni, con il vantaggio del punto di vista aereo, ravvicinato al suolo se confrontato con i voli convenzionali, e di poter elaborare e ottenere prodotti fotogrammetrici basati su processi che hanno automatizzato l'intero flusso di lavoro tramite gli algoritmi *Structure from Motion* (SfM) ben noti in letteratura (Lowe 2004, Eisenbeiss H. 2009, Rijdsdijk, 2014).

Nelle scienze ambientali, la letteratura che propone e accerta l'efficacia dei sistemi UAV è complessa e ricca: in agricoltura e silvicoltura (Aicardi 2016), in geomorfologia (Hackney, Clayton, 2015) e nel monitoraggio della vegetazione con approccio multisensoriale (Sankey et al 2017).

Gli esperimenti mirati alla caratterizzazione micro-topografica dei siti con determinazioni di elevato dettaglio e caratterizzati da alta precisione, sono particolarmente simili alle finalità di questo contributo, ad esempio sono disponibili studi sulla classificazione della vegetazione delle zone umide (Marcaccio, Markle, Chow-Fraser, 2015) o (Lucieer et al., 2014), o altri pertinenti gli studi archeologici. (Roosvelt 2014).

Studi che in una certa misura sono legati a questa ricerca per la necessità di disporre di DEM molto dettagliati sono quelli che utilizzano analisi multi-temporali per stimare fenomeni evolutivi quali frane e movimenti glaciali (Niethammer et al., 2012; Lindner et al., 2016) o test multi-sensore nei contesti di pericolo (Aicardi et al., 2017). Un tratto comune di tutti gli studi citati è quello di impiegare la tecnologia UAV per colmare il divario di scala tra le indagini terrestri e i prodotti della fotogrammetria convenzionale aerea, ortofoto e LiDAR. In letteratura inoltre, molte ricerche operano per mettere a punto la derivazione di DEM da DSM, derivati indifferentemente da nuvole fotogrammetriche o acquisizioni LiDAR, con approcci diversi che impiegano algoritmi automatici o semiautomatici di classificazione (Pfeifer, 2008, Masaharu, Ohtsubo, 2002, Sithole, 2001). segmentazione e filtraggio di punti (secondo densità, direzione, pendenza).

Le indagini che proponiamo basate su dati UAV acquisiti in aree alpine, comportano difficoltà legate sia all'elevato dettaglio necessario per la caratterizzazione micro-topografica del terreno, sia all'elevata pendenza stessa del terreno. Gli algoritmi che riconoscono gli oggetti secondo la variazione di altezza e di densità di punti rispetto al terreno, devono tener conto innanzitutto del significativo pendio del suolo e quindi di eventuali variazioni locali specifiche e della rugosità del terreno dovute all'alta scala del modello di superficie. Alcune procedure sono state proposte e testate su terreni in pendenza (Perko et al., 2015; Hosseini, 2014; Sithole, 2001) e per la documentazione a grandissima scala in contesto alpino (es. Spanò, Sammartano, 2016)

3. DUE METODI DI INDIVIDUAZIONE DEI TERRAZZAMENTI, SVILUPPATI PER DUE SCALE DI ANALISI.

Questo studio propone l'uso di due metodi diversi e che operano a scale diverse per l'individuazione dei terrazzamenti. L'applicazione in contesti diversi mira a convalidarli entrambi ed il confronto delle due possibili strategie consente di poter prefigurare l'uso associato per rendere collaborativi i risultati.

Ciascun metodo adotta dati caratterizzati da scale e origini diverse, pur basando entrambi l'intero flusso di analisi su strumenti GIS; i software impiegati sono principalmente l'Open Source Software (OSS) QuantumGIS e alcuni strumenti di GRASS e SAGA GIS (<https://www.qgis.org>; <https://grass.osgeo.org>).

I prossimi paragrafi descrivono in dettaglio le due metodologie sviluppate, mentre nella sezione sperimentale sono presentate le applicazioni in tre aree di studio. Una validazione ulteriore dei risultati è stata effettuata utilizzando tecniche terrestri tradizionali (GPS / RTK).

3.1 Metodo (A) basato su cartografia catastale e DEM a scala regionale.

Lo studio del primo metodo è stato condotto in collaborazione con l'Ente Parco Nazionale Valle Grande (provincia Verbano-Cusio-Ossola, VCO) e con la società Gister Geomatica di Verbania¹, con l'obiettivo di eseguire una mappatura dei terrazzamenti in tale area. Questo primo metodo opera attraverso un approccio probabilistico, che individua possibili aree terrazzate usando interrogazioni basate su vincoli geometrici e di codifica dei dataset catastali (Possi 2017).

I DEM a scala regionale, dai quali si può facilmente derivare il modello di acclività del terreno, sono analizzati spazialmente con un modello di calcolo che deriva da una semplicissima osservazione riguardante la geometria tipica delle particelle catastali sottoposte a terrazzamento: si tratta di aree di forma stretta e allungata, disposte favorevolmente rispetto alla pendenza del terreno (cioè il lato più lungo delle particelle è parallelo alle curve di livello e perpendicolare alla direzione di massima pendenza). Sebbene siano stati utilizzati DEM di nuova generazione, derivanti da voli LiDAR aviotrasportati (un punto per ogni 5 m)², la loro risoluzione non consente di leggere la caratterizzazione micro-topografica del terreno. Per questo motivo il modello di acclività del terreno è analizzato tramite criteri statistici introdotti attraverso i contenuti geometrici e semantici della mappa catastale, allo scopo di identificare aree di elevata probabilità di terrazzamento.

Dal momento che la mappa catastale è tipicamente una mappa planimetrica, un principio fondamentale del funzionamento del metodo mira a calcolare le quote dei vertici dei poligoni catastali ed a filtrarli, assegnando loro un'alta o bassa probabilità di terrazzamento, sulla base del dislivello tra i vertici a valle e a monte. Tale caratteristica, insieme ad altri attributi delle particelle catastali connessi all'uso del suolo, completa l'inferenza statistica. Il flusso di lavoro schematico di questo metodo è il seguente (figura 3):

- Identificazione dei vertici dei poligoni delle particelle (P) dalla mappa catastale;
- Calcolo di quota (Z) dei vertici di poligoni catastali tramite interpolazione da DEM regionale; assegnazione del valore $P(z)$;

uniforme (LiDAR) in livello 4 standard. La risoluzione del *grid* è 5m con una precisione di ± 0.30 m (± 0.60 m in aree critiche, come quelle boscate o corrispondenti ad aree altamente urbanizzate).

¹ Per Gister Geomatica: Renato Locarni e Stefano Baldissera (http://www.amosola.it/musei_ossola/sites/default/files/iniziativa_documento/Renato%20Locarni.pdf)

² L'infrastruttura di dati spaziali del Piemonte fornisce i dataset utili alla ricerca: RIPRESA AEREA ICE 2009-2011-DTM. Metodologia

- Calcolo della deviazione standard (σ) dei valori di quota dei vertici delle particelle $P_{(z)}$: questo indice di dispersione statistica, stimando la variabilità delle quote dei vertici della particella catastale, restituisce se l'areale è caratterizzato da elevata pendenza o meno (cioè se è prossimo ad essere pianeggiante oppure no).
- Assegnazione di un valore limite di deviazione standard ($\sigma < x$). A seconda della pendenza media dell'area di studio, e considerando che i terrazzamenti sono appunto generalmente strisce strette di terreno semi-pianeggiante, la soglia di deviazione standard da utilizzare nei test è stata di pochi metri (ad esempio 3m nel caso di terrazzamenti creati con muri a secco. Come si avrà modo di constatare, questo studio dimostra che nel caso di terrazzamenti a ciglioni tale valore di soglia è maggiore).
- Identificazione preliminare di particelle probabilmente terrazzate tramite ($\sigma < x$) da quelle non terrazzate o con terreno irregolare ($\sigma > x$)
- Elaborazione della mappa di acclività dell'area tramite calcolo dell'indice di pendenza (*slope*) da dato raster DEM regionale
- Intersezione del dato relativo alla pendenza (*slope*) con il dato geometrico della parcella catastale (P)
- Attribuzione del valore medio di pendenza per ciascuna parcella P_{slope} (calcolata dallo strumento statistico zonale).
- Identificazione delle particelle la cui pendenza è compatibile con terreni terrazzati ($n\% < P_{slope} < m\%$)
- Validazione delle particelle con le codifiche del database topografico del Nuovo Catasto italiano riguardante il tipo di macrocultura agricola e la categorizzazione produttiva compatibile. Le particelle catastali già classificate come probabilmente terrazzate sulla base delle caratteristiche di pendenza, sono state ulteriormente selezionate sulla base dell'attributo inerente la destinazione d'uso (sono state escluse cioè le particelle con codifica cava, cimitero, tronco stradale e tutti i tipi di edifici).

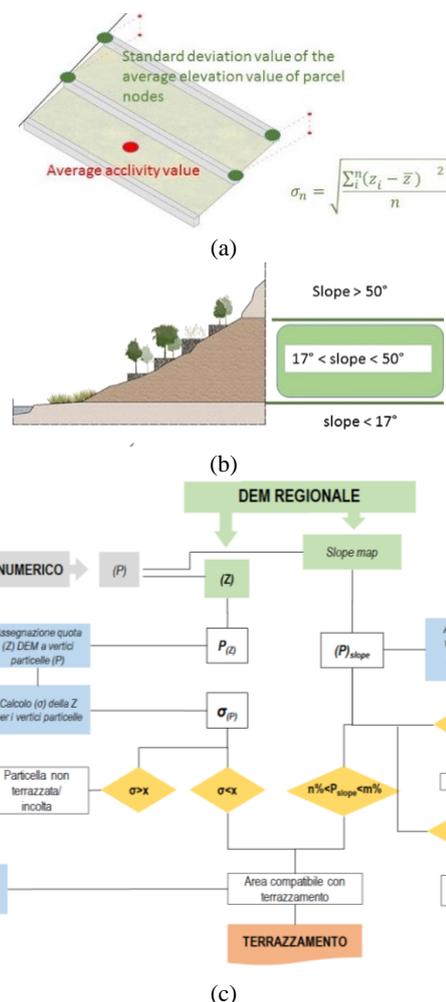


Figura 3. Visualizzazione dei vincoli geometrici inerenti l'individuazione delle particelle catastali probabilmente terrazzate: (a) la variabilità di quote della particella; (b) la pendenza del terreno. (c) workflow metodologico.

3.2 Rilevamento dei terrazzamenti da dati UAV (metodo B)

Il secondo metodo, sperimentato in due aree del Sud Piemonte, è stato avviato a valle di alcuni progetti di rilevamento da UAV eseguiti per scopi diversi dall'attuale.

La disponibilità di modelli del terreno a scala e risoluzione decisamente più elevati (UAV DSM-modelli digitali di superficie da voli UAV) ha permesso l'individuazione dei terrazzamenti o della loro variante a ciglioni, utilizzando la sola analisi del modello di elevazione e individuando le aree caratterizzate dalla pendenza adeguata, compatibile con l'uso produttivo del suolo.

Il test ha consentito l'utilizzo di un processo automatico di individuazione dei terrazzamenti, usando il software QGIS e validando il risultato mediante due approcci diversi.

3.2.1 Breve report sui voli UAV e generazione DSM / DEM

Presentiamo brevemente la raccolta dei dati UAV e l'estrazione del modello digitale poiché, pur essendo applicati in due aree test piuttosto diverse, si basano su principi simili, già sperimentati (Chiabrando et al., 2016)

In particolare, si era pianificato di utilizzare il drone ad ala fissa Ebee³. attualmente considerato vantaggioso per voli fotogrammetrici autonomi, controllo real-time acquisizioni ecc...

Le due aree di prova si differenziano però per la morfologia del terreno: a Ferrere, in Val Stura, la valle è abbastanza aperta e larga, la pendenza è piuttosto ripida ma non estrema. Nella valle Grana, al contrario, la valletta secondaria in cui si trova il villaggio abbandonato di Campofei è particolarmente ripida e impervia. Quest'ultima caratteristica, richiedendo una quota di volo per il drone ad ala fissa piuttosto elevata, a causa del pericolo per il drone stesso di schiantarsi sul pendio, ha determinato un *Ground Sampling Distance* (GSD) pari a 11 cm. Tale risoluzione dei fotogrammi, non essendo paragonabile all'esperimento di Ferrere realizzato con lo stesso drone ad ala fissa, e con GSD pari a poco più di 5cm, ha consigliato di scegliere come comparazione per il test, un volo in valle Grana con drone esacottero (Hexacopter della Microcopter) con parametri di volo che offrirono un GSD pari a poco più di 2 cm (quota di volo 70m)

In entrambi i siti di test, i voli sono stati preceduti dalla realizzazione di una rete topografica misurata con tecniche standard GPS \ GNSS. La consueta misurazione di diversi punti

³ Prodotto dalla SenseFly <https://www.sensefly.com/drones/eBee.html> e distribuito in Italia da MENCİ <http://www.menci.com>

di controllo sul terreno (GCPs) ha consentito di ottimizzare l'orientamento del blocco fotogrammetrico (utilizzando il metodo *bundle adjustment*) e ottenere il controllo di qualità dei risultati usando i checkpoint (CP) e la loro accuratezza (errore medio sui CP di Ferrere minore di 3cm, e intorno ai 4cm nell'area più ripida e impervia di Campofei).

Per quanto riguarda l'applicabilità del metodo, con l'uso di immagini di tipo aereo, in questo caso da UAV, la presenza della vegetazione è un aspetto vincolante; laddove necessario un approccio di classificazione e *feature extraction* si usa nella trasformazione da DSM a DEM. Nel sito di test di Ferrere questo non è stato necessario in quanto la zona era priva di alberi, essendo il villaggio di altitudine 1900m slm, mentre a Campofei (1500m slm) un progetto precedente aveva già raggiunto lo scopo della trasformazione (Sammartano Spanò, 2016).

4. FASE SPERIMENTALE

4.1 Metodo A. Rilevamento automatico dei terrazzamenti nell'area test di Cossogno (terrazzamenti con mureture a secco) e a Campofei (terrazzamenti misti)

Seguendo l'esatta procedura descritta nel paragrafo 3.1 e utilizzando come base di analisi spaziale il DTM derivato dal volo LiDAR della Regione Piemonte del 2010 insieme ai dataset della carta catastale numerica, si presentano nelle figure 4 e 5 i risultati ottenuti nel comune di Cossogno (frazione di Cicogna). Nella Valle Grande l'uso dei terrazzamenti è particolarmente intenso e a tratti spettacolare, come nella frazione Cicogna (figura 5). Ciò ha condotto a pensare che sebbene abbandonati o in stato di elevato degrado, siano tuttora facilmente identificabili. Si è quindi deciso di testare lo stesso metodo in Valle Grana, per chiarire se l'uso di terrazzamenti misti (a cigliani e con muretti a secco) rendesse il metodo meno efficace.

Mentre i parametri di ricerca utilizzati nella Valle Grande sono quelli indicati nel paragrafo 3.1 (deviazione standard delle quote dei vertici della particella, come indice di variabilità e quindi di pendenza della particella stessa, pari a 4m), l'applicazione del metodo A nella valle Grana ha richiesto un adattamento dei parametri, per meglio adattarli alla maggiore inclinazione del terreno. Mentre la pendenza media delle particelle catastali è stata impostata tra 20 e 50 gradi, la deviazione standard media è stata elevata a 10 m.

È interessante notare che il metodo A trova possibili terrazzamenti nei dintorni dei villaggi abitati (figura 6), ignorando le particelle catastali nelle aree di pascolo, nonostante le particelle siano simili alle aree di terreno per uso agricolo. È anche interessante notare che la cava di pietra a monte del villaggio di Campofei non è interessata dal rilevamento (figura 7).

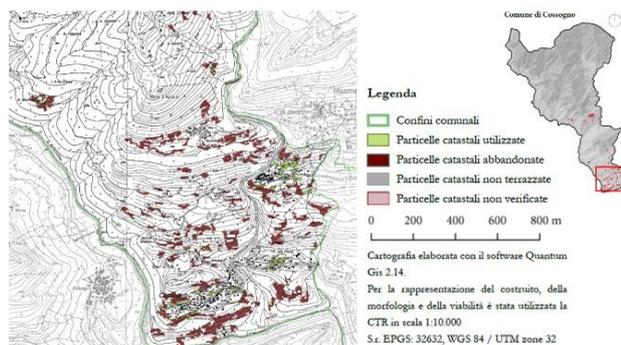


Figura 4. Concentrazione dell'individuazione dei terrazzamenti vicino ai villaggi.

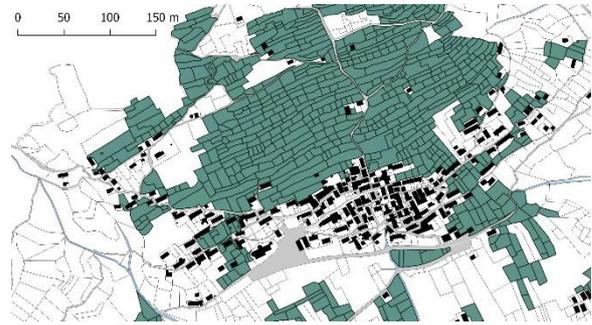


Figura 5. Risultato nella ricerca di terrazzamenti usando il metodo A nel borgo di Cicogna (comune di Cossogno).

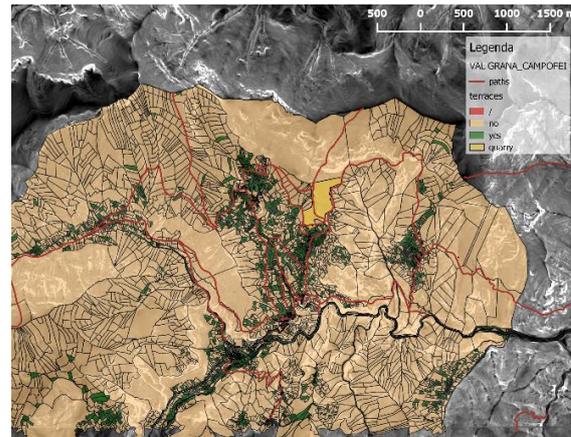


Figure 6. Individuazione dei terrazzamenti in valle Grana usando il metodo A (comune di Castelmagno).

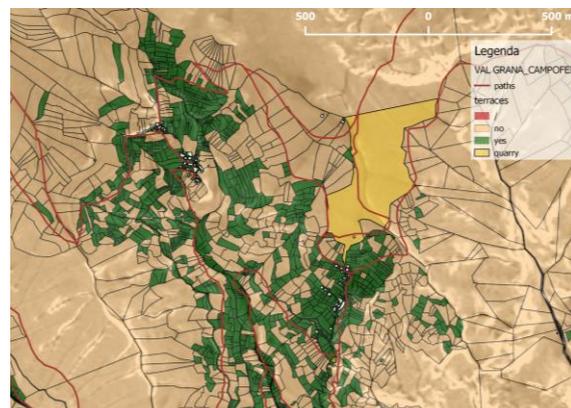


Figure 7. Concentrazione dell'individuazione di terrazzamenti nei dintorni dei borghi di Campofei e Valliera, particella catastale della cava non selezionata.

4.2 Metodo (B1) Approccio semiautomatico per la mappatura dei terrazzamenti da dati UAV: area test Ferrere

La disponibilità di un DSM ad alta risoluzione e precisione derivato da fotogrammetria UAV, ha reso possibile l'individuazione dei terrazzamenti, nonostante fossero abbandonati. Come detto, l'elevata altitudine dell'area test in valle Stura e la conseguente assenza di alberi ha permesso di evitare di dover ricavare un DEM da un DSM.

Quest'ultimo è stato riclassificato a 1 punto / 5cm per facilitare il calcolo. La difficoltà principale è stata studiare il dataset raster delle pendenze e chiarire in quali *range* di pendenza fossero stati realizzati i terrazzamenti in questa area (figure 8 e 9). Questo studio è stato supportato da una fotointerpretazione comparativa dell'ortofoto, oltre a ulteriori analisi effettuate utilizzando la

generazione di profili di sezione lungo le curve di livello e lungo le linee di pendenza più ripida del terreno.

Sia i profili altimetrici (operati sul DEM) che i profili realizzati sulla mappa della pendenza sono stati particolarmente utili per identificare l'improvviso cambiamento di quota e di pendenza dovuto alla presenza di "ciglioni" (figura 10).

Praticamente, lo studio ha condotto ad identificare le strisce terrazzate (figura 8) in funzione degli andamenti di pendenza e, in particolare, le aree caratterizzate da pendenza costante comprese tra 20 e 27 gradi sono state identificate come caratterizzanti il terrazzamento a "ciglioni" (figura 11).



Figure 8. Vista 3D del modello da dati UAV texturizzato mediante l'ortofoto della Valletta di Ferrere.

Classificazione raster tramite mappa di pendenza e individuazione dei terrazzamenti

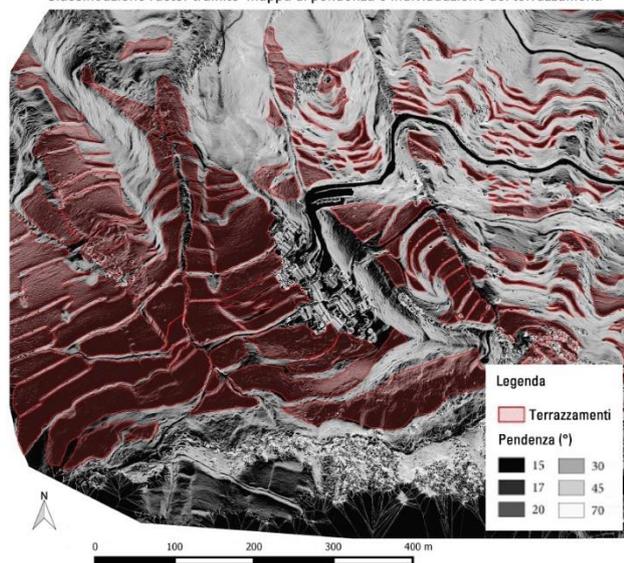


Figure 9. Primo risultato dell'individuazione dei terrazzamenti mediante la classificazione della mappa delle pendenze.

4.3 Metodo (B2): approccio automatico per la mappatura dei terrazzamenti da dati UAV

In seguito ai risultati del paragrafo precedente è stato sviluppato un approccio più automatico del metodo, che viene quindi proposto e sperimentato in due delle aree test presentate, per facilitare l'individuazione e soprattutto la vettorializzazione automatica delle aree terrazzate da mappare. Il flusso di lavoro si basa su piattaforma GIS e utilizza gli strumenti di elaborazione OSS QGIS con gli algoritmi SAGA GIS e GRASS GIS per l'editing e la gestione delle mappe raster.

Trattandosi di uno sviluppo, la prima fase del workflow è identica: si calcola cioè il dataset dell'indice di pendenza dal DSM ricavato dal volo fotogrammetrico UAV, ed ormai si sceglie la classificazione dei pixel con i valori di intervallo più adatti all'area in cui ricercare i terrazzamenti.

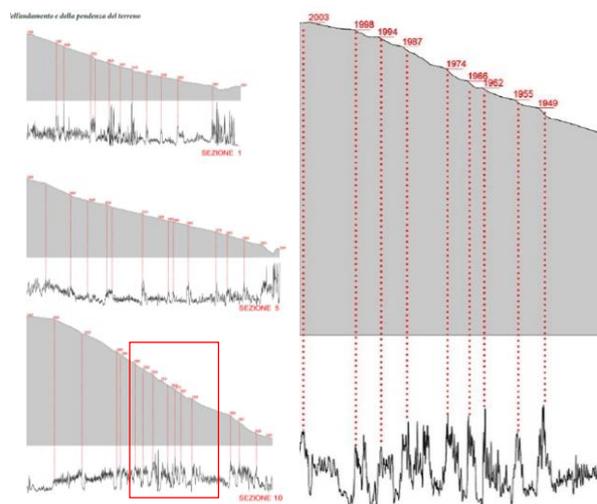


Figure 10. Studio comparative dei profili di sezione (ed estratto dettagliato) sul modello di elevazione e sul modello delle pendenze, con evidenziazione dei bordi di ciglioni.



Figure 11. Dataset finale della perimetrazione dei poligoni dei terrazzamenti sovrapposti all'ortofoto derivate da dati UAV.

A questo punto il modello raster viene gestito, riclassificato e filtrato per convertire le aree omogenee del raster in poligoni che rappresentano i terrazzamenti. L'obiettivo è quindi automatizzare il flusso di lavoro durante la fase di post-classificazione della mappa delle pendenze. Una volta individuata la corretta classificazione della mappa delle pendenze per l'individuazione dei terrazzamenti, lo schema individuato è il seguente:

- riclassificazione del raster in valori binari in base al valore soglia (presenza/non presenza) (figura 12, alto);
- ricampionamento del raster tramite filtro di semplificazione dei bordi delle aree;
- estrazione di elementi vettoriali (linee / aree) (figura 12, basso).

L'applicazione di questo test ha evidenziato come anche nell'ambito di una sola area sia necessario differenziare i valori soglia per la ricerca e riclassificazione del raster delle pendenze (per esempio solo nei dintorni di Ferrere si è appurato che in alcuni casi il valore soglia della pendenza, al di sotto del quale risultava efficace la identificazione dei terrazzamenti fosse 20°, in altre 27°).

Ottenuti questi buoni risultati nella prima area test, si è testato l'uso del metodo automatico anche in Valle Grana, dove la presenza di terrazzamenti misti (a ciglioni e con l'uso dei muretti a secco) rende la morfologia dei pendii leggermente diversa da quella della precedente area prova. Il valore medio della pendenza impiegato come soglia del rilevamento è stato 27°. I risultati (figura 13) presentano elementi di frammentarietà che si ritengono dovuti alla scarsa riconoscibilità sul terreno, ascrivibile

alla scarsa manutenzione e all'abbandono delle strutture terrazzate.

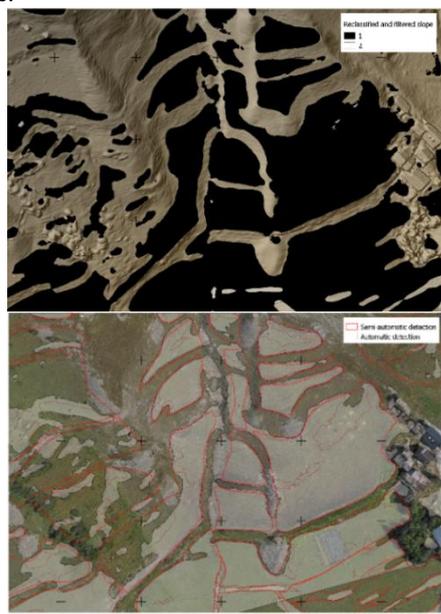


Figura 12. (in alto) Ricampionamento della mappa delle pendenze [SAGA GIS - Grid filter tools: Majority filter]; (in basso) Confronto dei risultati della identificazione dei terrazzamenti usando il metodo semi-automatico (bordo rosso) automatico (aree bianche). I bordi delle aree sono estratte tramite filtro del grid [QGIS- Strumenti raster: estrazione di linee di contorno] e convertite in poligoni [QGIS- Strumenti vettoriali: linee di conversione-poligoni]

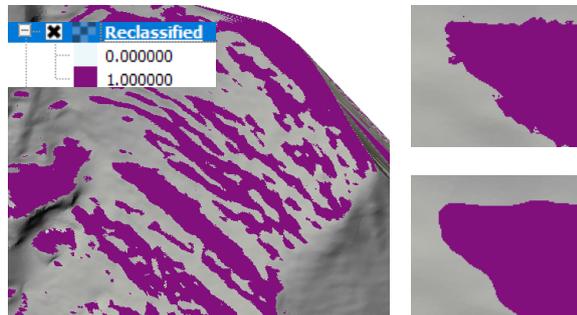


Figura 13. Riclassificazione raster a valle di una classificazione della mappa della pendenza con valore di soglia per rilevamento pari a 27°; (lato destro) evidenziazione delle prestazioni del filtro Majority SAGA, che sostituisce le celle in un raster in base alla somiglianza con la maggior parte delle celle adiacenti contigue.

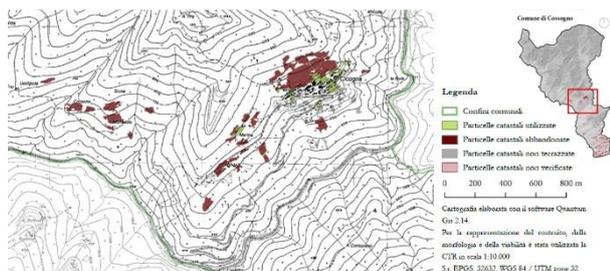


Figura 14. Risultato della verifica del censimento dei terrazzamenti nei dintorni del borgo Cicogna (Cossogno), con rappresentazione dei terrazzamenti abbandonati e quelli che risultavano un errore della identificazione su database.

5. VALIDAZIONE DEI RISULTATI ATTRAVERSO MISURE SUL TERRENO

5.1 Convalida del metodo (A): servizi basati sulla localizzazione (Location Based Services–LBS) utilizzati in Valle Grande

La validazione del censimento dei terrazzamenti attraverso il metodo A è stata effettuata sul campo utilizzando un servizio di localizzazione (LBS) accessibile da un dispositivo mobile.

Si è trattato di un software open source (Oruxmap) che utilizza la tecnologia di posizionamento satellitare tramite un dispositivo di localizzazione intelligente (tablet) e offre l'uso di un webgis che consente di visualizzare le mappe (in modalità online o offline) per tracciare percorsi e registrare dati alfanumerici relativi al censimento su terreno.

Essenzialmente le mappe che erano state precedentemente create in QGIS usando il metodo A, e che rappresentavano l'elevata probabilità di terrazzamento, sono state oggetto di sopralluogo sul campo con l'LBS per la validazione del metodo. La stringa alfanumerica che è stata associata sul campo durante il sopralluogo, è stata per ogni particella relativa a presenza/ assenza di terrazzamento, utilizzo/abbandono del terrazzamento, stato di conservazione dei muri a secco e, se usato, la coltura attuale.

Ciò ha permesso di creare mappe estremamente interessanti che mostrano il patrimonio di terrazzamenti realmente esistente rispetto a quello abbandonato (figura 14).

Come accennato in precedenza, molti comuni della Valle Grande sono stati sottoposti a questo doppio censimento, prima in laboratorio e poi sul campo, fornendo una documentazione a supporto dell'interpretazione di interessanti fenomeni, come il fatto che i terrazzamenti abbandonati sono quelli più lontani dai borghi di pertinenza. Un altro dato statistico molto interessante è stato il tasso di successo finale del Metodo A. Nei 12 comuni esaminati sono state controllate sul campo con sistema LBS circa 20.000 particelle catastali con elevata probabilità di terrazzamento, corrispondenti a circa 368 ettari (Tabella1): è stato riscontrato che il 69% di esse, presenta effettivamente il terrazzamento, il 27% è stato verificato come non terrazzato (non validazione del metodo), mentre per il 4% non è stato possibile accedere al rilievo sul campo (Possi 2017).

VALIDAZIONE DEL METODO A			
Mappatura metodo (A) [m ²]	Superficie ad alta probabilità di terrazzamento		
	3.680.369		
Validazione sul campo [m ²]	Non verificato	Non terrazzato	Terrazzato
	138.800	984.299	2.557.351
			utilizzati abbandonati
		626.060	1.931.291

Tabella 1. Validazione del metodo A in Valle Grande: confronto tra la mappatura e individuazione ad alta probabilità di terrazzamento, e superfici non terrazzate ed effettivamente terrazzate.

5.2 Convalida del metodo (B): misure GPS / RTK

Poiché il Metodo B è stato configurato fin dall'inizio come metodo per localizzare i terrazzamenti a scala maggiore, è stata coerentemente pianificata una validazione metrica con metodo più accurato, ovvero con tecnica satellitare GPS/RTK che fornisce precisioni centimetriche: si è provveduto quindi ad eseguire misure di punti di verifica su terreno per la delimitazione e poi comparazione di aree e perimetri di superfici campione.

La figura 15 mostra le quattro aree campione (a, b, c, d) confrontando i confini rilevati dal metodo semiautomatico B1 (blu) e il metodo automatico B2 (giallo) con le misure RTK (punti rossi). Le distanze minime tra i punti misurati e i loro rispettivi punti sui confini identificati dai metodi B1 e B2 in due

aree campione, in alcuni casi raggiungono e superano il metro, con la media poco sopra (area *a*) o poco sotto il metro (area *b*).

Il confronto tra i valori di area e perimetro dei terrazzamenti da metodo B1 e B2 (barre blu e gialle degli istogrammi), con le aree misurate con la tecnica RTK (figura 16, barre rosse) mostra come sia abbastanza casuale rispetto alla tecnica e dipendente dal tipo di conformazione del terreno, quale metodo si sia avvicinato di più alla verifica su terreno.

Normalizzando i valori scarto dei due metodi dalle misure di riferimento si ottengono le variazioni percentuali nella misura per aree e perimetri, sovra- o sottostimati: in sostanza, quindi, possiamo dire che il Metodo B ha raggiunto un tasso di successo del 90% circa. Si è potuto constatare infine che la presenza di operatori sul sito non garantisce sempre la capacità visiva di discernere dove un ciglione inizia o dove si ferma; nonostante ciò le valutazioni effettuate su quattro aree campione terrazzate hanno fornito un'ottima conferma della capacità di rilevamento di metodo B.



Figura 15. Quattro aree campione (*a, b, c, d*) per comparare i confini dei terrazzamenti individuati con il metodo semi-automatico B1 (poligoni blu), automatico (poligoni gialli) e punti misurati con tecnica GPS/RTK.

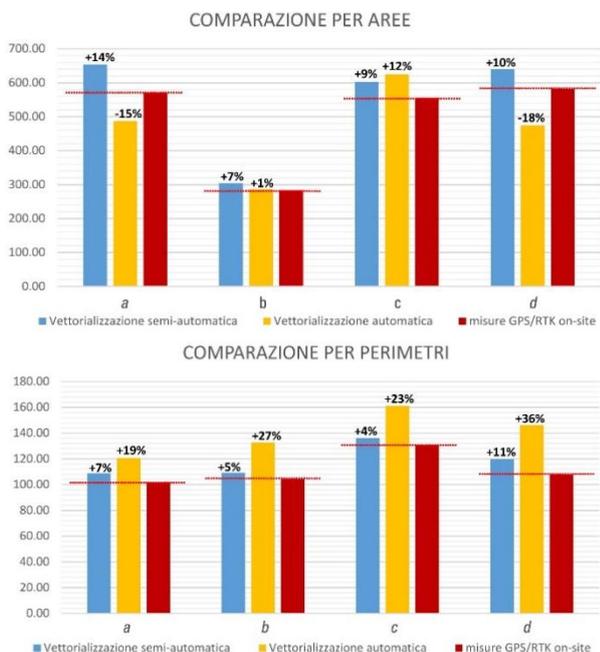


Figura 16. Gli istogrammi mostrano, per ogni area campione (*a, b, c, d*) quanto è casuale e probabilmente dipendente dal tipo di area, l'avvicinarsi di più all'area misurata a terra dei metodi B1 o B2.

6. CONCLUSIONI E PROSPETTIVE FUTURE

Per quanto riguarda il metodo A, considerando in prima analisi che il censimento e la sua validazione sono stati applicati in un'area vasta, è da ritenersi un ottimo metodo di stima statistica rapida e sufficientemente efficace anche su aree estensive (valle Grande), in quanto i buoni risultati di valutazione sono stati osservati anche in un'area completamente diversa, caratterizzata da terrazzamenti di tipo diverso (valle Grana). Si è cioè dimostrato che alla scala della cartografia catastale, il metodo A consente di raggiungere quadri di conoscenza piuttosto significativi senza l'acquisizione di nuovi dati su terreno.

Per un'indagine più dettagliata, invece, la fotogrammetria da UAV a basso costo, che viene ampiamente utilizzata in così tanti settori diversi, ha dimostrato la perfetta capacità di rilevare i terrazzamenti in dettaglio alla scala microtopografica. Nonostante questi risultati positivi, talvolta è necessario trasformare il DSM in DEM a causa della presenza della vegetazione. Possiamo quindi riassumere alcuni aspetti critici nell'applicazione di fotogrammetria UAV in aree alpine:

- necessità di disporre di un buon DTM di partenza per la pianificazione dei voli in zone caratterizzate da altitudini elevate;
- necessità di garantire un buon controllo remoto per le comunicazioni tra stazione a terra e drone, a volte in tali zone alpine non facile.
- l'uso di droni nelle aree alpine crea disturbo agli uccelli predatori.

Come considerazione finale, entrambi i metodi A e B hanno un buon grado di automazione e potrebbero essere utilizzati in serie, rendendoli collaboranti, in quanto potrebbero costituire un valido strumento da parte delle autorità locali per quantificare le proprie risorse e attività, monitorando lo stato di conservazione del territorio anche in riferimento ai rischi idrogeologici.

In prospettiva, l'interesse di questo lavoro è di aver sperimentato e dimostrato la possibilità di utilizzare metodi di indagine oggi disponibili per censire e quantificare un fenomeno di interesse culturale ed economico, in funzione di progetti di riqualificazione su larga scala in aree di territorio in disuso, il cui sfruttamento può essere innescato solo da un processo di conoscenza.

BIBLIOGRAFIA

Riferimenti da giornali o atti di convegno

Aicardi I., Chiabrando F., Lingua A., Noardo F., Piras M., Vigna B., 2017. A methodology for acquisition and processing of thermal data acquired by UAVs: a test about subfluvial springs' investigations, *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 8:1, 5-17, DOI:10.1080/19475705.2016.1225229

Aicardi I.; Dabove P.; Lingua A.; Piras M., 2016. Integration between TLS and UAV photogrammetry techniques for forestry applications. In: *IFOREST*. - ISSN 1971-7458.

Balbo A. L., Puy A., 2017. Terrace landscapes. Editorial to the special issue, In *Journal of Environmental Management*, Volume 202, Part 3, 2017, Pages 495-499, ISSN 0301-4797.

Chiabrando, F., Di Pietra, V., Lingua, A., Maschio, P., Noardo, F., Sammartano, G., and Spanò, A. (2016) TLS models generation assisted by UAV survey, *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLI-B5, 413-420, doi:10.5194/isprs-archives-XLI-B5-413-2016, 2016.

Ferro-Vázquez C., Lang C., Kaal J., Stump D., When is a terrace not a terrace? The importance of understanding landscape evolution in studies of terraced agriculture, In *Journal of Environmental Management*, Volume 202, Part 3, 2017, Pages 500-513, ISSN 0301-4797,

- Hackney C., Clayton A., 2015. Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) and their application in geomorphic mapping, British Society for Geomorphology, Geomorphological Techniques, Chap. 2, Sec. 1.7, ISSN 2047-0371
- Hosseini, S. A. Arefi, H. Gharib, Z. 2014. Filtering of Lidar point cloud using a strip-based algorithm in residential mountainous areas, ISPRS Archives, Volume XL-2/W3.
- Jiang Y., Li S., Chen W., Cai D., Liu Y., 2017. The evolution of crop cultivation and paleoenvironment in the Longji Terraces, southern China: Organic geochemical evidence from paleosols, In Journal of Environmental Management, Volume 202, Part 3, 2017, Pages 524-531, ISSN 0301-4797.
- Lindner, G., Schraml, K., Mansberger, R. Hübl J., 2016. UAV monitoring and documentation of a large landslide, Applied Geomatics 8: 1. doi:10.1007/s12518-015-0165-0
- Londoño Ana C., Williams P.R., Hart M. L., 2017. A change in landscape: Lessons learned from abandonment of ancient Wari agricultural terraces in Southern Peru, In Journal of Environmental Management, Volume 202, Part 3, 2017, Pages 532-542, ISSN 0301-4797
- Lowe, D.G. 2004. *Distinctive image features from scale-invariant keypoints*. Int. J. Comput. Vis. 2004, 60, 91–110.
- Lucieer, A., Turner, D., King, D.H., & Robinson, S.A. 2014. Using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) to capture micro-topography of Antarctic moss beds. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 27, 53-62.
- Marcaccio J.V., Markle C.E. Chow-Fraser P., 2015. Unmanned aerial vehicles produce high-resolution, seasonally-relevant imagery for classifying wetland vegetation, The ISPRS Archives, Volume XL-1/W4,
- Masaharu, H. Ohtsubo, K. 2002. *A filtering method of airborne Laser scanner data for complex terrain*, ISPRS Archives, Commission III, 34 (3B): 165-169
- Nex F, Remondino F. 2014. UAV for 3D mapping applications: a review. Appl Geomatics. 6:1–15.
- Niethammer U., James M.R., Rothmunda S., Travellietti J., Joswiga M., 2012. UAV-based remote sensing of the Super-Sauze landslide: Evaluation and results, Engineering Geology 128, 2-11.
- Perko, R., Raggam, H., Gutjahr, K. H., and Schardt, M. 2015. Advanced DTM generation from very high-resolution satellite stereo images, ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., II-3/W4, 165-172.
- Regis D., Spanò A., Coscia C., 2017. Alpine Complex Landscape Environment, In: DISLIVELLI Dislivelli.eu, pp 1-22, ISSN: 2039-5442
- Rijsdijk, M., 2014 Full Automatically Generated True Orthophotos, Sensational 3D Pointclouds and Dense Matching Techniques in Topographical Mapping in Proceedings of the FIG Congress Engaging the Challenges. (Kuala Lumpur- Malaysia 2014), 16-21.
- Roosevelt, C. 2014. Mapping site-level micro-topography with Real-Time Kinematic Global Navigation Satellite Systems (RTK GNSS) and Unmanned Aerial Vehicle Photogrammetry (UAVP), Open Archaeology, 2014, 29-53.
- Sankey T., McVay J, Swetnam T.L., McClaran M.P., Heilman P. Nichols M., 2017. UAV hyperspectral and lidar data and their fusion for arid and semi-arid land vegetation monitoring, Remote Sensing in Ecology and Conservation. doi: 10.1002/rse2.44
- Scaramellini G., 2008. Terraced landscapes in the Alpine area: geohistorical observations and analytical perspectives, in Scaramellini G. e Varotto M. (a cura), Terraced landscapes of the Alps. Atlas. ALPTER Project, Venezia, Marsilio Editori, 2008 (www.alpter.net).
- Sithole, G (2001). Filtering of laser altimetry data using a slope adaptive filter, ISPRS Archives, Volume XXXIV-3/W4.
- Spanò, A; Sammartano, G. 2016. DEM Generation based on UAV Photogrammetry Data in Critical Areas, In: Proceedings of the 2nd International Conference on Geographical Information Systems Theory, Applications and Management, Rome, pp. 92-98, ISBN: 978-989-758-188-5
- Spanò, A, Sammartano, G., 2014. Quick mapping by mobile sensors for landscape values monitoring and conservation. In: *Territorio Italia*, vol. 2, pp. 35-55. - ISSN 2240-7707

Riferimenti da libri

- Ažman Momirski L., 2008, Goriška Brda. The terraced vineyards of Goriška Brda, in: Scaramellini G. e Varotto M. (ed), *Terraced landscapes of the Alps*. Atlas. ALPTER Project, Venezia, Marsilio Editori.
- Brancucci G., Ghersi A., Ruggiero M.E. 2000. *Paesaggi liguri a terrazze. Riflessioni per una metodologia di studio*, Alinea, Firenze.
- Brancucci G, Paliaga G., 2008. The problems with mapping: the case of Liguria, in: Scaramellini G. e Varotto M. (ed), *Terraced landscapes of the Alps*. Atlas. ALPTER Project, Venezia, Marsilio Editori, p.39.
- Fontanari E., Patassini D., 2008. *Paesaggi terrazzati dell'arco alpino*, Venezia: Marsilio Editori.
- Varotto M., Ferrarese F., 2008. Mapping and geographical classification of terraced landscapes: problems and proposals, in: Scaramellini G. e Varotto M. (a cura), Terraced landscapes of the Alps. Atlas. ALPTER Project, Venezia, Marsilio Editori.

Altri riferimenti stampati

- Briffaud S. Brochot A., 2010. Paysages d'exception, paysages au quotidien. Une analyse comparative de sites viticoles européens du Patrimoine mondial, Rapport final de recherche pour la Direction des Etudes Economiques et de l'Evaluation Environnementale Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement durable et de la Mer Programme «Paysage et Développement durable» Appel à propositions de recherche 2005 (Convention CV05000127).
- Calcagno Tunin F., Cerise S., (2017) Il recupero della borgata alpina di Ferriere in Valle Stura: sperimentazione tra metodi innovativi di rilievo da drone e GIS, tecniche costruttive tradizionali e progetto sostenibile, Msc thesis, Politecnico di Torino, tutors Regis D., Spanò A.
- Eisenbeiss H. (2009). UAV photogrammetry [PhD dissertation]. Institute of Geodesy and Photogrammetry, ETH Zurich; p. 235. doi:10.3929/ethz-a-005939264
- Possi G., (2017) I terrazzamenti della val grande censimento e valorizzazione del patrimonio rurale tradizionale, Msc thesis, Politecnico di Torino, tutors Regis D., Spanò A.

Riferimenti da siti web

- Pfeifer N et al. 2008. DSM / DTM Filtering, International School on Lidar Technology 2008 IIT Kanpur, India (from: <http://www.iitk.ac.in/>)
- <http://www.terracedlandscapes2016.it/e>