



Accordo

tra

Segretariato Regionale del Ministero dei Beni e delle
Attività Culturali e del Turismo della Liguria

e

Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica
del Consiglio Nazionale delle Ricerche

**RAPPORTO SU “AZIONE 1 – ATTIVITÀ D:
STUDIO DI FATTIBILITÀ PER LA MAPPATURA E
CATALOGAZIONE DEI TERRAZZAMENTI E DELLE
FALESIE NEI SITI DI STUDIO”**



AUTORI

Il documento è stato redatto da:

- Dott. Geol. Daniele Giordan
- Dott.ssa Martina Cignetti
- Dott. For. Danilo Godone



INDICE

AUTORI	2
INDICE.....	3
INDICE DELLE FIGURE.....	4
SOMMARIO.....	5
DOCUMENTI APPLICABILI E DI RIFERIMENTO	6
ABBREVIAZIONI E ACRONIMI	7
1 STUDIO DI FATTIBILITÀ	8
a) Dati disponibili	9
b) Elaborazioni automatizzate	10
c) Elaborazioni manuali	11
2 RISULTATI.....	12
3 COSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....	14
4 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	16
5 ALLEGATO 1: CARTA DELLE AREE TERRAZZATE SCALA 1:10000	17



INDICE DELLE FIGURE

Figura 1 - tecniche di rilevamento dei terrazzi da piattaforma aerea	8
Figura 2 - Estensione dei voli LiDAR disponibili (HELICA: viola; CNR-IRPI: arancione) e area di studio (bianco) – sfondo Google Earth™	10
<i>Figura 3 – schema della procedura di analisi</i>	10
Figura 4 - Esempi di aree terrazzate rilevate dalla procedura.....	12
Figura 5 - Esempio di restituzione manuale dei terrazzi (scala nominale 1:5000) con l'ausilio dello sfumo orografico (sinistra), della carta delle pendenze (centro) e confronto con il supporto aerofotogrammetrico (destra)	13
Figura 6 - confronto tra il risultato dell'algoritmo di riconoscimento delle aree terrazzate (sinistra – poligoni arancioni), la restituzione manuale (centro – linee nere) ed il rilevamento diretto (destra – linee blu).....	14
Figura 7 - Bacino del Rupinaro (a sinistra) e risultato dell'algoritmo (a destra) confrontato con l'uso del suolo	15



SOMMARIO

Il progetto “Paesaggi Sicuri: strategie di prevenzione e adattamento” si propone di definire all’interno del sito UNESCO “Portovenere, Cinque Terre e Isole (Palmaria, Tino e Tinetto)”, la tipologia dei fenomeni di dissesto attesi, gli approcci modellistici ed i possibili strumenti di monitoraggio lungo il percorso identificato dal “sentiero azzurro”. Il progetto prevede inoltre di fornire elementi utili all’identificazione e alla definizione di strategie di mitigazione e di adattamento ai rischi idrogeologici presenti nelle aree di studio. Tale attività viene svolta integrando l’utilizzo di dati territoriali e telerilevati in modelli geo-idrologici innovativi e nei sistemi di monitoraggio e allertamento. Lo scopo di questa azione è la creazione di una metodologia che possa essere esportata in altri contesti geografici e paesaggistici della regione Liguria e/o adattato ad altri siti italiani a rischio geo-idrologico inseriti nella lista dei siti UNESCO.

In particolare, nel presente report, verranno esplicitate le attività inerenti lo studio di fattibilità per la mappatura e la catalogazione di terrazzamenti basati sull’impiego di dati LIDAR disponibili nelle aree di studio.

Tale attività costituisce un problema tecnico rilevante attualmente oggetto di diverse attività di ricerca a livello internazionale. Il territorio terrazzato è infatti caratterizzato da elevata complessità morfologica, disomogenea copertura del suolo e accessibilità non assicurata a causa di ostacoli naturali ed antropici. È quindi necessario individuare un adeguato strumento di rilevamento del territorio per ottenere un dato di partenza, caratterizzato dal massimo livello di dettaglio, per poter quindi utilizzare tecniche di analisi appropriate all’estrazione delle aree terrazzate. In CNR IRPI sta svolgendo attività di ricerca in questo campo che verranno descritte nei capitoli seguenti e prese come riferimento comparativo per poter avere una ulteriore validazione dei risultati presentati.

.



DOCUMENTI APPLICABILI E DI RIFERIMENTO

- DA-001 Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri, del 27 febbraio 2004. Indirizzi operativi per la gestione organizzativa e funzionale del sistema di allertamento nazionale e regionale per il rischio idrogeologico ed idraulico ai fini di protezione civile. Supplemento ordinario n. 39 alla Gazzetta Ufficiale n. 59 del 11 marzo 2004
- DA-002 Accordo di Programma quadro tra la Presidenza del Consiglio dei Ministri, Dipartimento della Protezione Civile, e il Consiglio Nazionale delle Ricerche, del 8 giugno 2011.
- DA-003 Accordo tra il Segretariato Regionale del Ministero dei Beni e delle Attività Culturali e del Turismo della Liguria e l'istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica, del Consiglio Nazionale delle Ricerche. Firmata digitalmente il 15 febbraio 2017. Oggetto: Sito UNESCO "Porto Venere, Cinque Terre e Isole (Palmaria, Tino e Tinetto)" Progetto Paesaggi Sicuri: strategie di prevenzione e adattamento.
- DR-001 Rapporto su "Azione 1 – attività a: raccolta e organizzazione dei dati e delle informazioni disponibili nelle banche dati regionali, degli enti e degli istituti di ricerca che hanno cooperato nel tempo con la regione Liguria circa il censimento dei fenomeni franosi e delle aree di instabilità nella zona del sito UNESCO". Accordo tra il Segretariato Regionale del Ministero dei Beni e delle Attività Culturali e del Turismo della Liguria e il CNR IRPI. Versione 1.1, dell'8 marzo 2017, 5 pp.



ABBREVIAZIONI E ACRONIMI

CNR	Consiglio Nazionale delle Ricerche
CTR	Carta Tecnica Regionale
GIS	Geographical Information System
GMG	Geohazard Monitoring Group
GPS	Global Positioning System
IRPI	Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica
LiDAR	Light Detection and Ranging
VRS	Virtual Reference Station



1 STUDIO DI FATTIBILITÀ

Il rilievo delle aree terrazzate può essere effettuato in modo diretto tramite tecniche topografiche dirette. Il rilievo topografico di campo permette un rilevamento di grande dettaglio ma è fortemente limitato dall'accessibilità delle aree da ispezionare e richiede tempi di lavoro non compatibili con le estensioni territoriali oggetto della presente attività.

Il rilevamento indiretto delle aree terrazzate consente invece una maggiore produttività ed una ridotta influenza della natura del terreno indagato. L'uso del telerilevamento ha comunque delle limitazioni funzionali in relazione alla tipologia strumentale adottata (Figura 1).

In particolare, l'impiego di supporti aerofotogrammetrici è limitato dalla copertura arborea che con la chioma oscura in modo totale o parziale porzioni da rilevare che possono comunque risultare caratterizzate dalla presenza di terrazzamenti. Oltre all'influenza della vegetazione, si aggiungono i problemi relativi a zone ombreggiate, tipiche di aree con settori ad alta acclività.

Una soluzione alternativa è l'utilizzo di un sistema di telerilevamento attivo come il LiDAR aviotrasportato; questo strumento consente di ottenere una nuvola di punti tridimensionale dell'area rilevata e di coniugare un elevato livello di produttività con una ridotta influenza della copertura vegetale ed il quasi totale annullamento delle zone d'ombra.

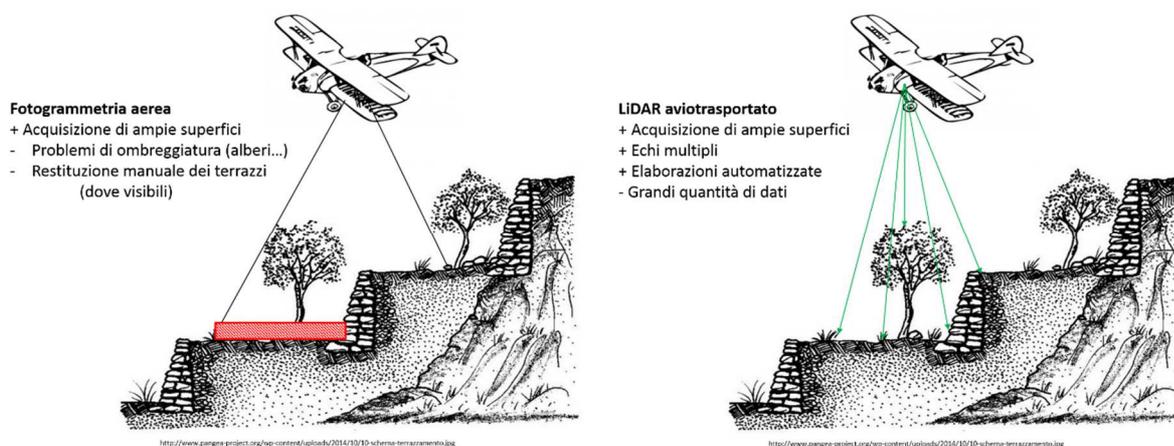


Figura 1 - tecniche di rilevamento dei terrazzi da piattaforma aerea

La restituzione delle aree terrazzate su supporto aerofotogrammetrico è inoltre un processo che richiede l'intervento dell'operatore con un conseguente aumento dei tempi di lavoro. Il dato LiDAR consente invece una forte automatizzazione del processo di analisi e riconoscimento delle aree terrazzate. Per contro, il rilevamento LiDAR è caratterizzato dalla produzione di una notevole mole di dati e questo fattore deve essere tenuto in debita considerazione nella stima dei tempi di elaborazione e nel dimensionamento delle capacità di calcolo da utilizzare.

In questo documento si effettuerà una valutazione della fattibilità della realizzazione di una cartografia dei terrazzamenti a partire dai dati disponibili utilizzando diversi approcci



caratterizzati da livelli di automazione differenti. Lo studio si articola in una prima fase di ricognizione dei dati disponibili e, successivamente, in una presentazione degli approcci possibili e dei risultati ottenuti.

a) DATI DISPONIBILI

L'area oggetto del presente report è stata rilevata con sensori LiDAR aviotrasportati in seguito agli eventi alluvionali dell'ottobre 2011 (

Tabella 1). È risultato inoltre disponibile un DTM acquisito dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare nell'ambito del Piano Straordinario di Telerilevamento Ambientale avente oggetto il rilievo delle aste fluviali di I e II ordine.

AUTORE/ FONTE	SENSORE	DATA RILIEVO	PRODOTTI DERIVATI	SISTEMA RIFERIMENTO	di	FORMATO
HELICA	ALTM 3100 EA	11-12-13 Novembre 2011	DTM 1 m	EPSG 32632	+	.las .acs
CNR-IRPI	RIEGL LMS- Q680i	2 Novembre 2011	DTM 1 m	EPSG 32632	+	.las .acs
REGIONE LIGURIA Ministero dell'Ambiente e / della Tutela del Territorio e del Mare		4 Luglio 2013	DTM 1 m	EPSG 5214		wms

Tabella 1 - Dati LiDAR disponibili

Data la completezza nella copertura territoriale, per le operazioni illustrate nei successivi paragrafi è stato selezionato il prodotto HELICA (

Figura 2) che risulta attualmente il dato più denso a parità di copertura territoriale. Il dato del CNR-IRPI presenta infatti caratteristiche simili ma una estensione spaziale più ridotta. Si fa presente sin da subito, che nessuno dei rilievi è stato effettuato allo scopo di fornire un dato utile alla realizzazione di una carta dei terrazzamenti e quindi i requisiti di acquisizione non contemplavano tale possibilità.

Come si dimostrerà più avanti, la fase di pianificazione del volo e delle modalità di rilevamento è invece di estrema importanza e una sua non corretta definizione può limitare molto la qualità del risultato. Il dato HELICA verrà quindi trattato usando sia un processo automatizzato di estrazione delle aree terrazzate che attraverso un procedimento manuale, al fine di valutarne il reale livello di utilizzo.



Figura 2 - Estensione dei voli LiDAR disponibili (HELICA: viola; CNR-IRPI: arancione) e area di studio (bianco) – sfondo Google Earth™

b) ELABORAZIONE AUTOMATIZZATA DEL DATO DISPONIBILE

Nell'ambito dello sviluppo di una metodologia di rilevamento automatizzato delle aree terrazzate, il CNR IRPI di Torino ha messo a punto una procedura operativa per l'analisi del dato LiDAR e per la restituzione delle suddette aree di un territorio simile a quello oggetto del presente report (Godone et al. 2016).

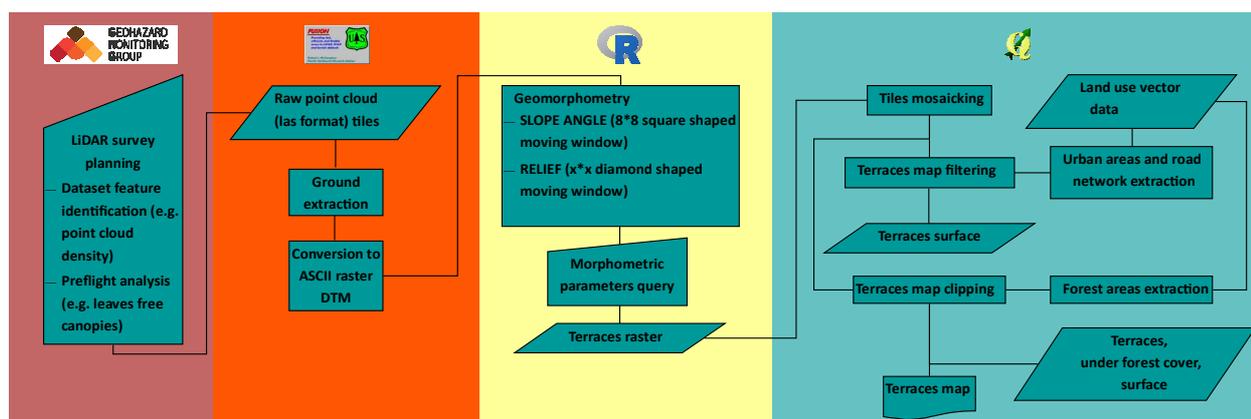


Figura 3 – schema della procedura di analisi

La procedura parte dalla definizione dei parametri ottimali per l'esecuzione del rilevamento LiDAR.



I risultati delle attività di ricerca condotte sino ad ora ed in via di pubblicazione evidenziano come la progettazione del rilievo sia molto importate in quanto da essa dipenda la densità finale del dato *ground* del DTM.

Particolare attenzione deve inoltre essere posta sulla densità dei punti del dato *ground* e sul periodo di esecuzione del rilievo. Gli studi condotti evidenziano come una densità di 6-8 punti/mq rappresenti un buon valore per ottenere una buona descrizione del terreno anche in aree vegetate. Al fine di minimizzare l'effetto di schermatura della vegetazione è inoltre importante valutare attentamente quale sia il periodo più indicato per l'esecuzione del volo.

Pur essendo il LiDAR in grado di penetrare la copertura arborea, è infatti opportuno programmare l'esecuzione del volo in un periodo caratterizzato da chioma assente o estremamente rada. Si deve inoltre considerare l'eventuale presenza di neve al suolo che può assorbire completamente l'energia degli impulsi laser causando la presenza di settori caratterizzati dalla mancanza di dati. Nonostante la vicinanza con il mare, si sottolinea infatti come sul territorio ligure ed in particolare nelle aree più elevate non è impossibile trovare una copertura nevosa nel periodo invernale.

Una volta rilevato, il dato LiDAR deve quindi essere elaborato per poter estrarre le aree terrazzate secondo criteri morfometrici (Scott & Pinter 2003). Questa elaborazione rappresenta il secondo step della metodologia messa a punto ed il risultato preliminare è l'individuazione di tutte le aree terrazzate e non che rispondono ai criteri dell'analisi morfometrica, ovvero l'alternanza di porzioni pianeggianti a porzioni subverticali con un certo dislivello.

Al fine di eliminare tutti gli elementi territoriali piani di origine antropica, si è quindi proceduto all'elaborazione di un filtro geografico costituito dai livelli informativi della CTR in scala 1:5000 (2007 - II Edizione 3D / DB Topografico Geoportale Regione Liguria - <http://www.cartografia.regione.liguria.it/>). Al termine del filtraggio, l'elaborato finale rappresenta le aree terrazzate dell'area oggetto di indagine.

L'eventuale validazione del risultato può essere effettuata tramite l'esecuzione in aree di controllo di rilievi a terra con tecniche topografiche classiche. Nel caso di specie, solitamente si utilizzano ricevitori GPS con correzione differenziale RTK (real time kinematic), in modalità VRS (virtual reference station). Il rilievo consente la localizzazione dei terrazzi ed il confronto con il dato ottenuto dall'analisi del dato LiDAR.

Nel presente report si riportano i risultati delle elaborazioni che sono state effettuate sfruttando le potenzialità del software FUSION (McGaughey 2013) automatizzato mediante il linguaggio R (R Development Core Team 2011) e l'ambiente GIS open source di QGIS (QGIS Development Team 2009).

c) ELABORAZIONE MANUALE DEL DATO DISPONIBILE

Oltre alle procedure automatiche, ovviamente il rilievo LiDAR si presta anche ad un processo di mappatura manuale dei terrazzamenti.

La mappatura manuale può essere coadiuvata dalla creazione di livelli tematici quali la carta dello sfumo orografico (*hillshade*) e delle pendenze. Tali elaborazioni sono state condotte per l'area di studio in ambiente GIS (QGIS Development Team 2009).



L'utilizzo sequenziale di questi due elaborati permette all'operatore di disporre di due rappresentazioni del territorio molto efficace per provvedere all'individuazione delle discontinuità nel versante causate dai terrazzi. Oltre alle elaborazioni del DTM, l'operatore può utilizzare anche un'ortofoto per avere un controllo visivo dell'area analizzata.

Sulla base di questi livelli informativi si è quindi proceduto alla restituzione di una porzione di area terrazzata per testare anche questa soluzione operativa.

2 RISULTATI

La procedura automatizzata ha permesso l'individuazione delle aree terrazzate ma ha anche evidenziato diverse lacune (Figura 4).

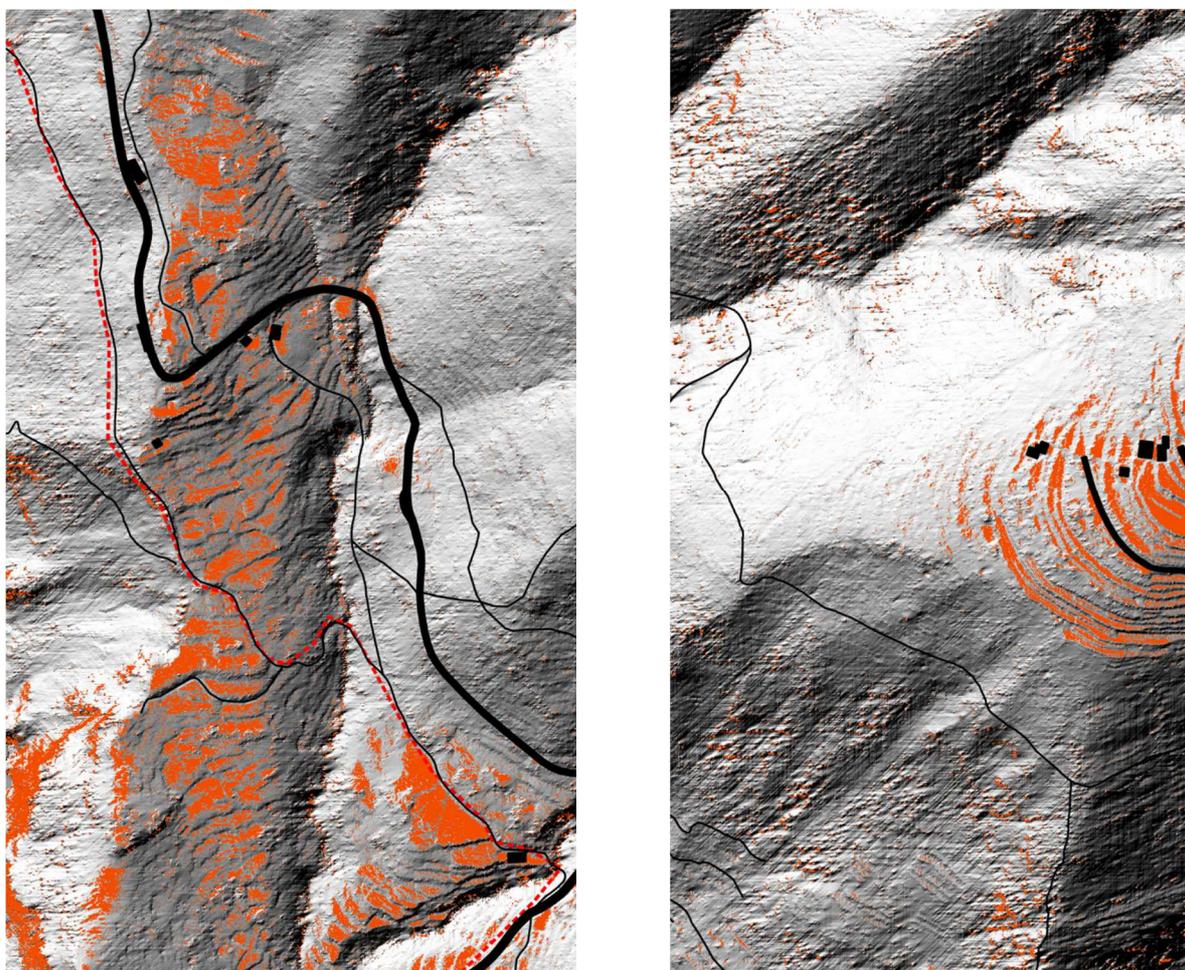


Figura 4 - Esempi di aree terrazzate rilevate dalla procedura

Il problema principale risiede nelle caratteristiche del volo LiDAR disponibile ed in particolar modo nella densità del dato *ground*.



La densità dei punti a terra è infatti dell'ordine dei 2 punti/m² e non risulta adeguata per restituire correttamente l'andamento dei versanti terrazzati.

In una precedente sperimentazione è stato infatti analizzato quanto sia importante la densità iniziale del dato *ground* per il riconoscimento delle aree terrazzate. In base ai risultati della sperimentazione effettuata dal CNR IRPI si è evidenziato un forte contributo della densità della nuvola di punti del DTM alla capacità di individuare le aree terrazzate, individuando una relazione tra il parametro ed il risultato ottenuto ($R^2 = 0.98$, $p < 0.01$). Al ridursi della densità di punti a terra si osserva infatti un decadimento nella capacità, dell'algoritmo, di riconoscere ed estrarre adeguatamente le aree terrazzate.

La restituzione manuale, sulla base di *hillshade* e carta delle pendenze, ha fornito un risultato di migliore qualità (Figura 5) richiedendo però il coinvolgimento di un operatore per tempi superiori all'elaborazione automatica. Il processo di cartografia manuale è infatti una soluzione, almeno per le aree in cui il DTM descriva efficacemente l'andamento del terreno.

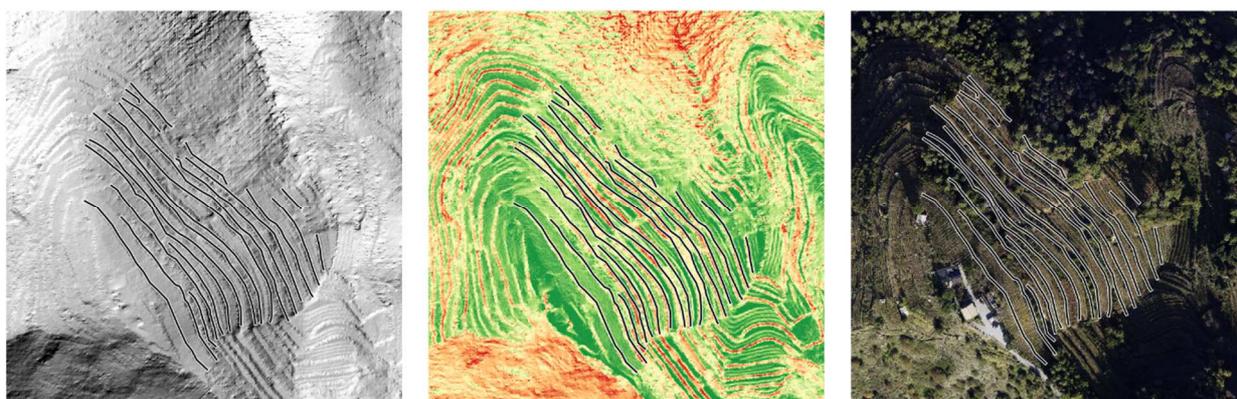


Figura 5 - Esempio di restituzione manuale dei terrazzi (scala nominale 1:5000) con l'ausilio dello sfumo orografico (sinistra), della carta delle pendenze (centro) e confronto con il supporto aerofotogrammetrico (destra)

Nella parte alta di Figura 5 è presente un'area in cui il DTM diventa di difficile interpretazione. Non è stato possibile effettuare un controllo diretto, ma è verosimile che anche questo settore sia caratterizzato da terrazzi. L'ortofoto allegata tuttavia dimostra come la copertura arborea abbia mascherato il terreno impedendone una corretta descrizione. Il risultato mostrato in Figura 5 evidenzia quindi come una procedura manuale, ancorché molto dispendiosa dal punto di vista dei tempi di esecuzione, è possibile ma i risultati ottenibili sono comunque parziali.

In Figura 6 viene evidenziato un confronto tra le modalità di rilievo illustrate e il rilevamento diretto operato con GPS a scopo di validazione. L'immagine a sinistra ed il confronto con quella centrale dimostrano le evidenti lacune nel riconoscimento delle aree terrazzate indotte dalla scarsa densità di punti *ground*. Il rilevamento a terra mostra l'effettiva distribuzione dei terrazzi ad ulteriore conferma di quanto illustrato.

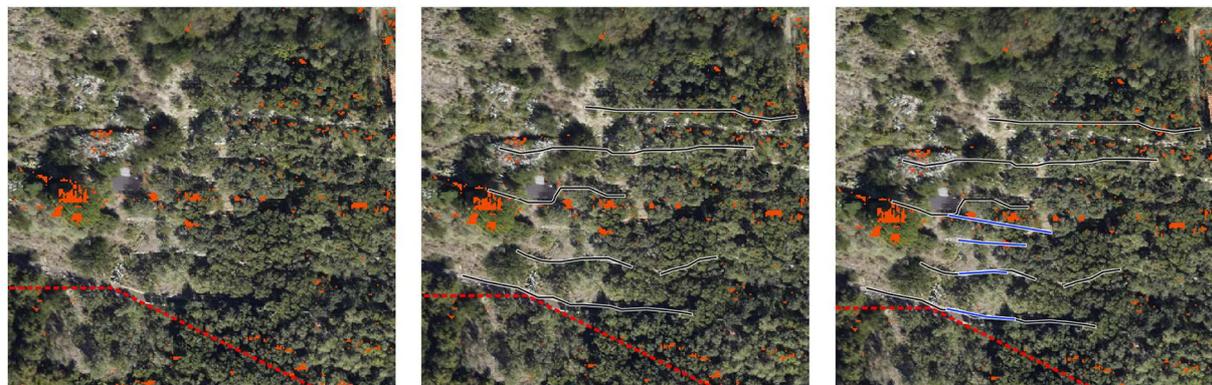


Figura 6 - confronto tra il risultato dell'algorithm di riconoscimento delle aree terrazzate (sinistra – poligoni arancioni), la restituzione manuale (centro – linee nere) ed il rilevamento diretto (destra – linee blu).

3 COSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Il presente report si pone come obiettivo quello di effettuare uno studio di fattibilità della realizzazione di una carta delle aree terrazzate mediante dato LiDAR. Il CNR IRPI sta lavorando in altre aree della Liguria per raggiungere tale obiettivo con risultati molto incoraggianti.

In Figura 7 viene presentata una carta delle aree terrazzate del bacino del Rupinaro (entroterra di Chiavari) che mostra come l'algorithm ottimizzato sia in grado di riconoscere in maniera efficace le aree terrazzate anche se coperte da vegetazione.

Le metodologie di analisi considerate hanno evidenziato la necessità di un dato LiDAR ad alta densità per poterne sfruttare appieno le potenzialità e ricavare una mappatura affidabile delle aree terrazzate. Purtroppo, il dato disponibile per le Cinque Terre ha delle caratteristiche di densità troppo modeste per permettere una descrizione adeguata del terreno.

Prima di procedere oltre nella valutazione del dato, si ritiene opportuno ricordare che i rilevamenti speditivi effettuati da Helica e CNR IRPI erano finalizzati a supportare la valutazione dei danni causati dall'alluvione del 2011 e non avevano quindi le caratteristiche necessarie per ottemperare ai requisiti necessari per la presente applicazione.

Il dato utilizzato nell'elaborazione automatica ha fornito risultati molto parziali: anche una semplice un'analisi visiva evidenzia come l'algorithm non sia riuscito ad identificare le aree terrazzate anche quando queste appaiono evidenti.

Il ricorso alla restituzione manuale, sfruttando due prodotti secondari del DTM quali lo sfumo orografico e la carta delle pendenze, ha consentito di individuare, nella zona test, un buon



numero di terrazzi, ma ha anche evidenziato come ci siano aree in cui la descrizione del terreno non è adeguata allo scopo.

Anche l'impiego di questa tecnica appare quindi essere una soluzione parziale, che va valutata in termini di costi/benefici.

Nel caso in cui fosse disponibile del personale in grado di svolgere questo compito, la scelta di operare manualmente può comunque non essere scartata a priori.

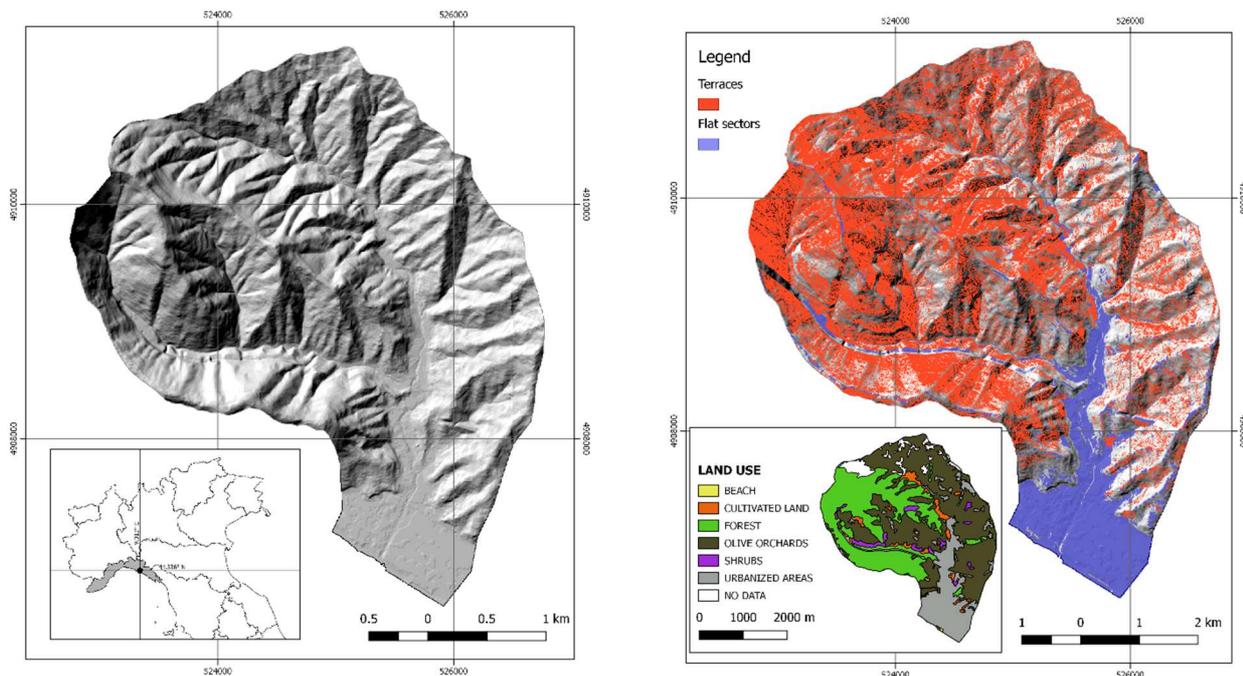


Figura 7 - Bacino del Rupinaro (a sinistra) e risultato dell'algorithm (a destra) confrontato con l'uso del suolo

In ogni caso, il dato disponibile non si è dimostrato adeguato a supportare la realizzazione di una cartografia esaustiva dell'area indagata.

In base ad altre esperienze maturate dal CNR IRPI, si ritiene che il limite inferiore per poter disporre di un buon dato *ground* in grado di descrivere efficacemente un territorio così complesso sia 8 punti/m².



4 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Godone D, Pappalardo E, Giordan D, Ferrarese F, Baldo M, Giostrella P, Varotto M. 2016. Identification of terraced areas of Liguria region through the development of methodology for the acquisition of airborne LiDAR and their process. In: 3rd World Meet Terraced Landscapes. Padova - Venezia; p. 148–149.

McGaughey RJ. 2013. FUSION/LDV: Software for LiDAR Data Analysis and Visualization. February 2013–FUSION Version 3.30. USDA For Serv Pacific Northwest Res Station Univ Washingt Seattle, WA, USA.

QGIS Development Team. 2009. QGIS Geographic Information System.

R Development Core Team R. 2011. R: A Language and Environment for Statistical Computing. Team RDC, editor. R Found Stat Comput. 1:409.

Scott A, Pinter N. 2003. Extraction of Coastal Terraces and Shoreline-Angle Elevations from Digital Terrain Models, Santa Cruz and Anacapa Islands, California. Phys Geogr. 24:271–294.



Ministero
dei beni e delle
attività culturali
e del turismo



PAESAGGI SICURI: Strategie di prevenzione e adattamento

5 ALLEGATO 1: CARTA DELLE AREE TERRAZZATE SCALA 1:10000