

Cartografia dei terrazzamenti agricoli nella media-bassa Lessinia, tra estrazione automatica da LiDAR e rilievo sul campo

Mapping agricultural terraces in the middle-low sector of Lessinia, between automatic extraction from LiDAR and ground truth

SALVATORE EUGENIO PAPPALARDO, GIOVANNI BOMBIERI, FRANCESCO FERRARESE

Università di Padova; salvatore.pappalardo@unipd.it; giovanni.bombieri@virgilio.it; francesco.ferrarese@unipd.it

Riassunto

Negli ultimi vent'anni le ricerche scientifiche sui sistemi agricoli terrazzati si sono intensificate, ponendo l'attenzione sia sulle caratteristiche biofisiche che sull'importanza del recupero per la gestione e valorizzazione del patrimonio territoriale. Se da un lato numerosi studi hanno permesso di cartografare, quantificare e valutare le diverse aree terrazzate, dall'altro lato numerose aree terrazzate in Italia sfuggono alla cartografia ufficiale e non. L'obiettivo generale di questo lavoro intende testare una metodologia integrata per cartografare i sistemi terrazzati a scala locale. Gli obiettivi specifici vogliono i) consolidare una metodologia di estrazione semi-automatica di elementi topografici come orli terrazzati, partendo da un DTM LiDAR ad alta risoluzione, validandola in dieci macro-aree campione della medio-bassa Lessinia; ii) valutare lo stato di uso del suolo da remoto dei terrazzi cartografati; iii) classificare, mediante rilievo sul campo, i sistemi terrazzati in base alle strutture di supporto alla sistemazione di versante (muretto a secco, o "cigionamento"). L'estrazione semi-automatica ha consentito di cartografare 266.230 linee di rottura di pendenza, compatibili con orli di terrazzamenti, per un totale di 6.482 km. Attraversi rilievi sul campo sono stati indagati 154 punti, distribuiti nelle diverse aree terrazzate e sono state scattate circa 3.000 fotografie geo-referenziate a scopo documentale. Dall'analisi dei dati di terreno sono stati stimati circa 84 ha di superficie terrazzata a ciglioni e 100 ha caratterizzati da strutture di supporto, della tipologia muretto a secco. Un confronto dei risultati, ottenuti da elaborazione di dati tele rilevati, con i dati di terreno mostra un'affidabilità pari a 91% del metodo di estrazione semiautomatica, confermando le potenzialità di utilizzare dati topografici LiDAR per cartografare sistemi agricoli terrazzanti, anche sotto copertura forestale.

Parole chiave

Terrazzamenti agricoli, Estrazione LiDAR, Paesaggio terrazzato, Lessinia

Abstract

In the last decades scientific research about terraced agricultural systems has been intensified, focusing both on the biophysical characteristics and on the importance of restoring and valuing them as territorial heritage. If on one side various studies mapped and quantified different agricultural terraces throughout Italy, many terraced landscapes are still unmapped, both in the official and unofficial cartography. The general aim of this paper is to test an effective extraction procedure of landforms able to map and quantify agricultural terraces at landscape scale. Specific objectives are: i) validating the semi-automatic landform extraction from high resolution topographic data such as LiDAR DTM in the low-middle sector of the Lessinia territory; ii) assess the actual land use in the mapped agricultural systems; iii) classifying traditional dry-stones walls from modern agrarian layouts. Results show that in the study area there are 266.230 lines representing terraced systems, for a total length of 6.482 linear kilometres. Ground truth activities surveyed 154 spots previously mapped, collecting about 3.000 geo-referenced photos. Moreover, comparative analyses showed that about 100 ha are traditional dry-stones walls, while 80 ha are modern terraced systems. The semi-automatic procedure confirmed high resolution topographic data such LiDAR in mapping agricultural terraced systems are powerful tool for detecting the ones abandoned under the canopy as well.

Keywords

Agricultural terraces, LiDAR extraction, Terraced landscapes, Lessinia

1 Introduzione

1.1 Cartografare i sistemi agricoli terrazzati tra abbandono e recupero

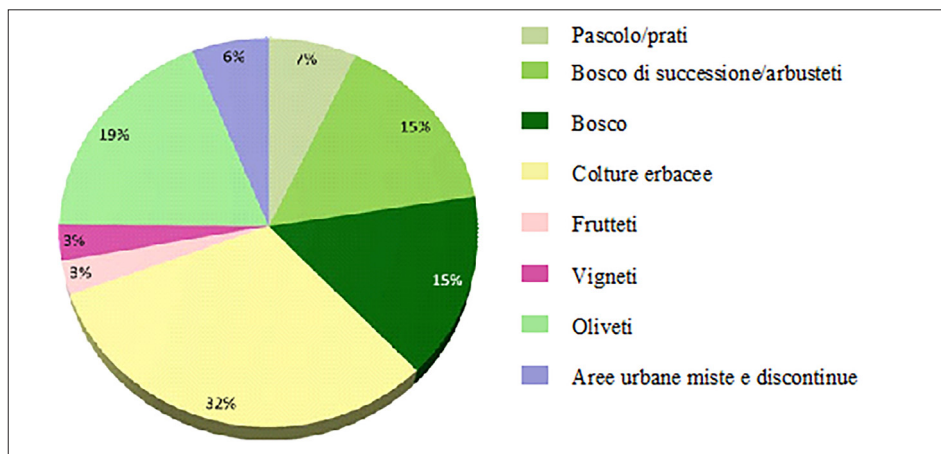
La dimensione spaziale e geografica dei paesaggi terrazzati – in Italia e a livello internazionale – sta catalizzando sempre più interesse, sia dal punto di vista scientifico che da quello della gestione e valorizzazione del patrimonio territoriale. Negli ultimi vent'anni, infatti, la letteratura scientifica sta documentando ed investigando, in maniera sempre più intensa ed approfondita, questo peculiare ecosistema agricolo, ponendo l'attenzione sia sulle caratteristiche biofisiche (ecologiche, idrauliche, agronomiche, culturali) che sui ruoli e sull'insieme delle funzioni ecologiche ed economiche che rappresentano, o potrebbero rappresentare, qualora recuperati (Bonardi e Varotto, 2016). L'inversione di tendenza nello studio dei terrazzamenti agricoli è probabilmente da ricondurre allo studio circa le dinamiche dell'abbandono: a partire dal 1950, a seguito del fenomeno delle urbanizzazioni e delle aggregazioni industriali, le aree agricole situate in zone marginali, lungo pendii e versanti poco collegati, hanno subito processi di progressiva degradazione del sistema terrazzato, generando molteplici criticità ambientali, principalmente legate alla possibile instabilità del versante o al rischio idrogeologico (Brancucci e Palliuga, 2008; Tarolli *et al.*, 2014;). Nella letteratura scientifica italiana, infatti, numerosi studi sistematici e metodologici hanno documentato la dimensione geografica e storica dei terrazzamenti agricoli, proprio a partire dalle aree maggiormente interessate dal fenomeno (Scaramellini, 2006, p.140-156; Trischitta, 2003): dal caso ligure delle Cinque Terre (Terranova, 1989), ai paesaggi terrazzati in Campania (Mautone, Ronza, 2006), a quelli del Canale di Brenta (Varotto, 2006, p. 170-179). Nonostante tale crescita di ricerca scientifica, da aggiungere ad un'enorme produzione documentale e di censimenti locali, una cartografia tematica dei sistemi agricoli terrazzati, capace di restituire sia dimensione spaziale delle aree terrazzate con le strutture di supporto, che quella dell'attuale uso del suolo è tutt'oggi frammentaria ed incompleta (Scaramellini, 2006; Varotto *et al.*, 2019). Se da un lato numerosi studi hanno permesso di cartogra-

fare, quantificare e valutare le diverse aree terrazzate, specialmente quelle in località considerate più significative, come i siti UNESCO delle Cinque Terre e Amalfi (o altre località di particolare rilievo), dall'altro lato numerose aree terrazzate in Italia sfuggono alla cartografia ufficiale e non. Infatti, a causa della loro genesi storica e geografica, nonché della loro mutevole funzione agronomica, i sistemi terrazzati presentano oggi caratteristiche che rendono sia la distribuzione geografica che lo stato di conservazione alquanto eterogenei. Tra le diverse tassonomie dei sistemi terrazzati sviluppate in base ai diversi approcci disciplinari, quella di Bonardi (2016), basata su caratteristiche dimensionali, consente di classificarli in tre categorie: sistemi di terrazzamento sub-regionali di dimensioni importanti (>100 ha, ne sono esempio la Costiera amalfitana, le Cinque Terre e – trattata in questo lavoro – la Lessinia); sistemi di terrazzamento sovra-locali, di dimensioni intermedie (alcune decine di ha), anche collocate a distanza dai centri abitati (i terrazzamenti del Monte Pisano; quelli delle valli della Liguria di Ponente); nuclei terrazzati locali, ossia piccole aree di pochi ha, sovente localizzati in prossimità dei centri abitati (Bonardi, 2016).

Secondo l'ultima mappatura su scala italiana sono stati stimati circa 170.000 ha di sistemi terrazzati (Progetto Mapper¹, 2016), di cui i principali sistemi terrazzati sub-regionali sono stati censiti in Sicilia (oltre 63.000 ha), in Liguria (42.000 ha), Toscana (22.730 ha), Campania (11.357 ha) e Lazio (5671). Riguardo all'uso del suolo elaborato sulla base della Corine Land Cover (2012) è stato stimato che circa il 30% delle aree terrazzate è inutilizzato, principalmente coperto da copertura arborea o arbustiva. Le attività di pascolo si attestano intorno al 7%, esprimendo, dal punto di vista agronomico, un sotto-utilizzo del sistema terrazzato. Per quanto concerne le attività agricole, il 30% dell'uso

1 Il Progetto Mapper è stato presentato in occasione dell'International Meeting del *Terraced Landscapes Alliance* (ITLA) (Padova-Venezia, 2016) come primo atlante italiano dei paesaggi terrazzati. Il lavoro di mappatura e di ricompilazione dei dati e delle informazioni geografiche su scala nazionale è stato il prodotto scientifico delle sinergie delle ricerche tra Università di Padova, Università di Genova, Università di Firenze, Università di Palermo, Università di Napoli, CNR-Irpi Torino, Provincia di Trento, CAI Comitato Scientifico Ligure-Piemontese-Valdostano, CAI Alto Adige.

FIGURA 1
Terrazzamenti agricoli in Italia
e rispettivo uso del suolo
FONTE: VAROTTO *et al.*, 2019)



del suolo è rappresentato da terre arabili, il 19% da uliveti, il 3% da frutteti e solamente il 3% da vigneti (Figura 1) (Varotto *et al.*, 2019).

1.2 Mappare i sistemi terrazzati: dalla cartografia tradizionale al LiDAR

Sino ad oggi sono state documentate numerose metodologie di indagine cartografica e di analisi spaziale: da operazioni di mappatura areale dei terrazzamenti, ad identificazione degli “orli” (rottture di pendenza necessarie per strutturare la sistemazione idraulico-agraria nel versante, rappresentati da muri a secco e ciglionamenti), ad analisi della cartografia esistente. In passato, la mappatura dei terrazzamenti si basava principalmente su analisi di cartografia ufficiale a grande scala (Tavolette IGM 1:25.000, CTR 1:10.000 e 1:5.000) e rilievi topografici e geografici di campagna. L’uso di tecniche aerofotogrammetriche tradizionali ed analisi “in stereoscopia” consentivano, inoltre, di discriminare in maniera efficace le rottture di pendenza; tuttavia tali sistemi producevano, nell’immagine visualizzata, un’importante distorsione geometrica del microrilievo e degli elementi topografici (Lillesand *et al.*, 2015). La disponibilità delle immagini aeree orto-rettificate e ad alta risoluzione all’inizio degli anni 2000 (oggi a 0.2 metri/pixel, usualmente su quattro bande spettrali), hanno sicuramente implementato l’accuratezza nelle operazio-

ni di mappatura tramite fotointerpretazione. Al tempo stesso hanno aperto il campo ad analisi multispettrali e metodologie di classificazione, comunemente raggruppate tra *supervised* e *unsupervised*.

Oltre ai metodi sopra menzionati, un ruolo sempre più importante viene oggi assunto dalle tecnologie di telerilevamento ad alta risoluzione, come il *Laser Imaging Detection and Ranging* (LiDAR), assai utile per le analisi geomorfometriche e topografiche e per lo svolgimento di funzioni automatiche e semi-automatiche su ampie porzioni di territorio (Ferrarese *et al.*, 2019). I modelli digitali del terreno derivati da dati LiDAR, infatti, hanno già confermato enormi potenzialità nel rappresentare ed estrarre gli orli delle aree terrazzate, siano esse costituite da tradizionali muri a secco o da moderni ciglionamenti, con un elevato grado di accuratezza e rappresentazione. Nell’ambito della *GIScience* numerose metodologie sono state fin d’oggi sviluppate per studi di carattere morfometrico e, pertanto, capaci di misurare le “impronte topografiche” dei terrazzamenti agricoli (Rizzo *et al.* 2007; Ninfo 2008; Minar 2008; Passalacqua *et al.* 2010; Ore, Bruins 2012; Sas *et al.* 2012; Sofia *et al.* 2014; Tarolli *et al.* 2015). Di particolare nota sono i lavori metodologici di Hengl e Reuter (2009) e Jasiewicz *et al.*, (2015) che offrono un’ampia spettro di tecniche di analisi morfometriche ed estrazioni di elementi topografici, assai utili per l’analisi di particolari morfologie come gli orli terrazzati.

Una delle caratteristiche più importanti circa l’uso della tecnologia LiDAR è relativa alla capacità di rileva-

re la morfologia del terreno anche al di sotto la copertura forestale, incrementando l'efficienza delle operazioni di mappatura su ampie aree boscate. La possibilità di lavorare su diversi modelli di superficie, comunemente denominati *Digital Surface Model* (DSM) e *Digital Terrain Model* (DTM), consente di valutare il sistema terrazzato in rapporto alla copertura forestale. I dati LiDAR richiedono, tuttavia, l'uso di software specifico sia nella fase di pre-elaborazione dei dati grezzi (ad esempio Terrascan™) che per l'elaborazione dei dati spaziali come i sistemi informativi geografici (GIS). In particolare i software GIS offrono numerose funzioni per effettuare elaborazioni sulla morfologia, consentendo calcoli di parametri come la pendenza, la curvatura, l'aspect, la direzione di drenaggio.

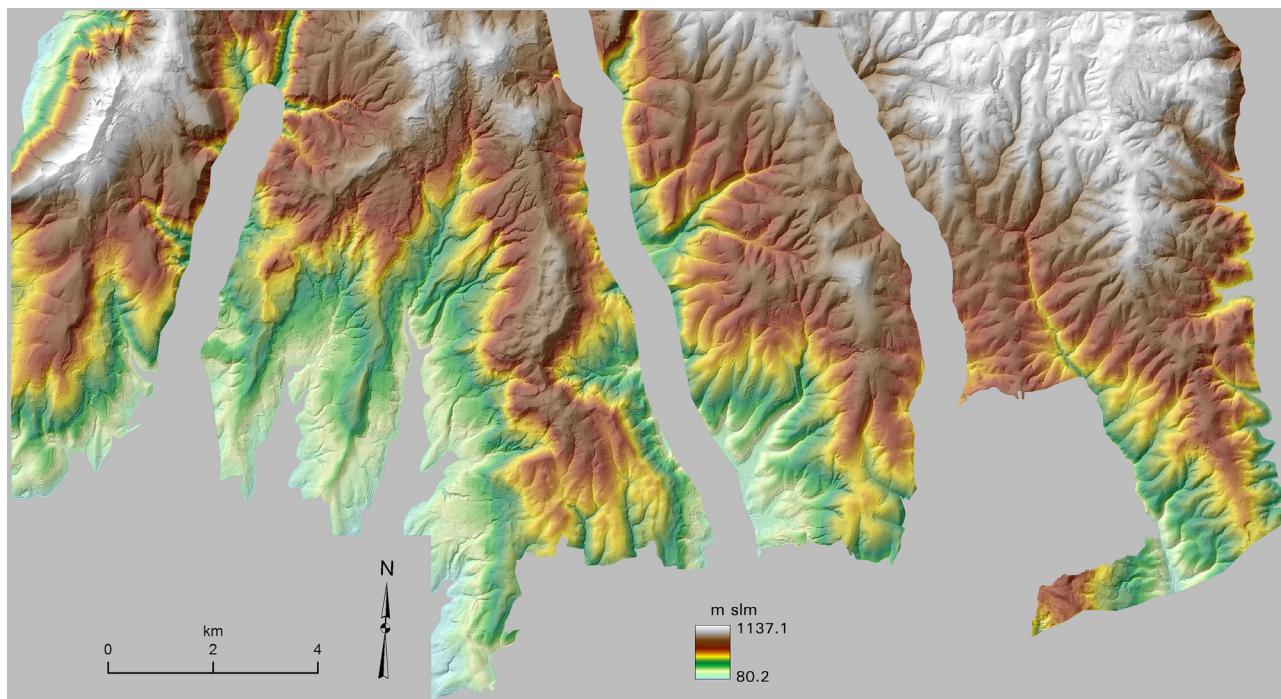
1.3 Il territorio della bassa-media Lessinia

Il territorio della Lessinia abbraccia oltre 800 km² di superficie, a cavallo tra la Provincia di Verona e quella di

Trento, nel settore sudorientale del rilievo alpino, rappresentato dalle Prealpi venete. L'area geografica è ben rappresentata ad Ovest dalla valle glaciale dell'Adige, a Nord dalla profonda incisione della Val dei Ronchi, a Sud con gli agglomerati urbani e le aree agricole della pianura veronese, verso i quali si adagiano le dorsali collinari che sovrastano le principali vallate (Sauro, 2018). La demarcazione del confine orientale, più sfumata, si individua lungo la dorsale che divide la Val d'Alpone dalla vicentina Valle del Chiampo.

Dal punto di vista geologico, a costituire il basamento dell'intera propaggine alpina dei Lessini, troviamo la Dolomia Principale, la quale affiora in superficie solo nella Val dei Ronchi, nella Val d'Adige e nella Val d'Illasi. A seguire troviamo i Calcari Grigi caratterizzati per la presenza diffusa di fossili e bivalvi e non meno importanti le impronte di dinosauri. I Calcari Oolitici costituiti da depositi carbonatici frammisti a elementi organici della barriera corallina, il Rosso Ammonitico Veronese, formazione maggiormente caratterizzante il territorio dei Monti Lessini, ricca di fossili di ammoniti. Infine troviamo il Maiolica

FIGURA 2 – Inquadramento dell'area studio della media-bassa Lessinia: morfologia del terreno e topografia mediante Modello Digitale del Terreno (DTM), elaborato a partire da dati LiDAR (2010) a 1 metro di risoluzione



FONTE: elaborazione GIS a cura degli autori

o Biancone, frequente sulle parti sommitali dell'altopiano, presenta noduli di selce e gusci di diatomee.

Dal punto di vista climatico la Lessinia ricade nella fascia temperata sub continentale sino ai 700 m slm, passando nella fascia temperata fresca fra i 200 e i 1500 m slm e nella fascia temperata fredda oltre i 1500 m slm. Le precipitazioni presentano un minimo intorno agli 850 mm/anno nei fondivalle e nelle aree pianeggianti, con un sensibile gradiente positivo da sud verso nord (Sauro, 2018). Un inquadramento geografico del territorio in analisi che mostra la morfologia del terreno è presentato nella carta in Figura 2.

1.4 Obiettivi della ricerca

L'obiettivo generale della presente ricerca intende testare e validare diverse tecniche e metodologie, tra loro integrate, utili a identificare, mappare e valutare i sistemi terrazzati a scala locale e regionale. Gli obiettivi specifici, in particolare, vogliono validare una metodologia di estrazione semi-automatica di elementi topografici come orli terrazzati, partendo da un DTM LiDAR ad alta risoluzione, in dieci macro-aree campione della medio-bassa Lessinia. In seconda istanza si vuole valutare lo stato di uso del suolo da remoto, con la finalità specifica di classificare, mediante rilievi sul terreno, i sistemi terrazzati in base alle strutture di supporto alla sistemazione di versante.

2 Materiali e metodi

2.1 Indagine geografica e costruzione del dataset

I materiali utilizzati per l'estrazione e la valutazione dei terrazzamenti agricoli si basano sull'intreccio dialettico tra l'indagine bibliografica sul paesaggio terrazzato della media-bassa Lessinia e analisi spaziali in ambiente GIS della geomorfologia, topografia e uso del suolo della stessa area. Le analisi spaziali sono state sviluppate combinando l'approccio analitico "da remoto" con una strutturata validazione dei risultati sul campo. In una prima fase sono stati elaborati dati topografici telerilevati, o di tale derivazione, come DTM LiDAR, ortofoto, geodatabase topografico dell'uso del suolo, usando sia software GIS proprietario (ArcGIS™, ESRI) che *open source* (QGIS). Una seconda fase ha riguardato la fotointerpretazione di immagini aeree storiche (fotogrammi aerei Volo Reven, 1981-1983), immagini satellitari attuali ad alta risoluzione (Geobrowser come Google Earth® e BingMap®): questa operazione ha consentito la selezione degli "orli" delle rotture di pendenza compatibili con aree terrazzate per finalità agricole (Tabella 1).

TABELLA 1 – Immagini e dataset geografici di base utilizzati nelle elaborazioni per l'estrazione degli orli terrazzati

Dataset	Anno	Fonte	Scala/risoluzione
Rilievo LiDAR	2010	BIMA	1m/pixel
Uso del suolo	2012	Regione Veneto	1:10 000
Fotogrammi aerei	1981-1983	Regione Veneto	1:17 000 circa
Immagini satellitari	n.d.	Bing/Google Earth	2-5m/pixel

FONTE: Elaborazione propria

2.2 Estrazione da Modello Digitale del Terreno e identificazione degli orli terrazzati

Per lo studio della geomorfologia e per l'estrazione degli orli terrazzati è stato utilizzato il DTM elaborato a partire da dati LiDAR, del Bacino Imbrifero Montano Adige di risoluzione 1 m/pixel (BIM, 2010). Il DTM dell'area di studio, stilizzato con il lumeggiamento, è rappresentato in Figura 2. Il DTM è stato dapprima mosaicato in un unico dataset di tipo raster, unendo 81 elementi *del* DTM. Successivamente è stato definito il poligono che individua l'area di studio (ad esempio, quote inferiori a 800 m, esclusione di fondivalle e pianura) su cui si sono svolte le analisi. Al fine di estrarre gli orli si sono uniti i vari elementi del DTM, applicando due volte un filtro *low pass* (*kernel 3x3*) al fine di ovviare l'ipersensibilità del programma alle convessità più piccole non assimilabili a orli di un terrazzo agricolo. È stata calcolata, quindi, la curvatura del profilo (valore di curvatura della superficie lungo la linea di massima pendenza) per individuare quelle rotture di pendenza assimilabili agli orli di terrazzo. Da questa variabile sono stati estratti i valori negativi che, per convenzione, indicano le superfici convesse (l'eventuale sommità del sostegno del terrazzamento) (Figura 3). Per isolare da altre superfici

convesse gli orli dei terrazzi, curvatura del profilo sono stati selezionati i valori inferiori a $-25^\circ/\text{m}$ (gradi di curvatura per metro). Successivamente sono stati selezionati solamente gli orli aggregati di almeno 10 pixel in modo da limitare i "falsi positivi", legati principalmente a rumore di fondo topografico come arature recenti, sistemazioni e supporti urbani in piccoli e grandi nuclei edificati. Tramite ulteriori funzioni GIS sono stati trasformati in formato vettoriale gli orli estratti nell'analisi raster. È stato inoltre ritenuto opportuno, dopo un processo di fotointerpretazione, selezionare le linee con lunghezza maggiore di 10 m, consentendo quindi di eliminare ulteriori elementi di disturbo che non rappresentassero orli di terrazzamento.

2.3 Analisi di uso del suolo e selezione degli orli terrazzati

Il geodatabase topografico dell'uso del suolo è derivato da fotogrammetria aerea e da immagini satellitari a risoluzione medio-alta, a scala nominale di 1:10.000. Le caratteristiche e la classificazione degli usi del suolo sono organizzate secondo i livelli IV e V del sistema standardizzato CO.RI.NE (C.L.C.). Esso è stato incrociato con le

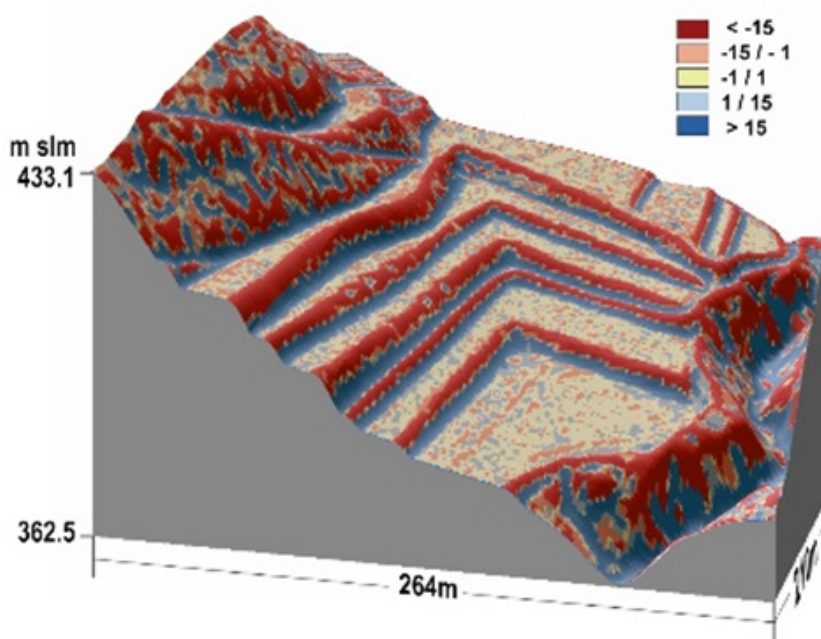


FIGURA 3
Modello 3D di area campione terrazzata, con drappeggiati valori della curvatura del profilo distinti in cinque classi: In blu i valori di superficie concava, in rosso quelli di superficie convessa e in giallo quelli di superficie piatta
FONTE: elaborazione GIS a cura degli autori

linee degli orli dei terrazzi, in modo da escludere le quelle linee che ricadevano all'interno di categorie come viabilità (orli di strade), edificato (colmate e spianamenti per abitazioni, zone residenziali, etc.), rocce nude e ghiaioni (cenge e orli naturali, orli di sentieri). Un buffer di 25 m ai poligoni di queste categorie ha consentito di compensare le inevitabili discrepanze di georeferenziazione tra i due geodatabase. Questo confronto ha permesso di isolare, alla fine, le linee di orlo delle zone agricole e di quelle boscate. Un'ulteriore verifica a campione "da remoto" è stata effettuata mediante fotointerpretazione di immagini satellitari che sono disponibili via Geobrowser Bing (dati HERE, Nokia) e Google Earth (dati Digital Globe) a risoluzione compresa tra 0.2 e 2.5 m.

2.4 Individuazione e indagine su macro-aree campione

Per individuare delle aree campione su cui testare l'analisi da remoto, sono stati calcolati 10 punti casuali all'interno dell'area di studio, tramite la funzione "sample" (software ArcGIS 10.x). Ai 10 punti così generati, è stato applicato

un buffer ottenendo delle aree circolari di 1 km quadrato di superficie. Tale dimensione è stata selezionata al fine di poter verificare i risultati dell'estrazione sia mediante fotointerpretazione di immagini aeree ad alta risoluzione che rilievi geografici sul campo.

Le aree campione sono state quindi analizzate tramite fotointerpretazione, utilizzando il geobrowser Bing, al fine di verificare che gli orli estratti mediante la funzione "curvatura del profilo", ricadenti in aree non coperte da vegetazione forestale, corrispondessero effettivamente ad aree terrazzate. Queste aree sono state digitalizzate come vettori poligonali e poi quantificate.

Allo scopo di conoscere l'uso del suolo prevalente nelle aree campione, e soprattutto l'uso nei terrazzamenti e ciglionamenti, si è utilizzata la carta dell'uso del suolo del 2012 della Regione Veneto in formato vettoriale. Così, si è quantificata la superficie del tipo di uso del suolo prevalente per area campione e si è redatto una tabella riportata nel capitolo risultati (Tabella 2).

Per testare l'affidabilità della metodologia utilizzata nell'individuare gli orli nelle aree non forestate, sono

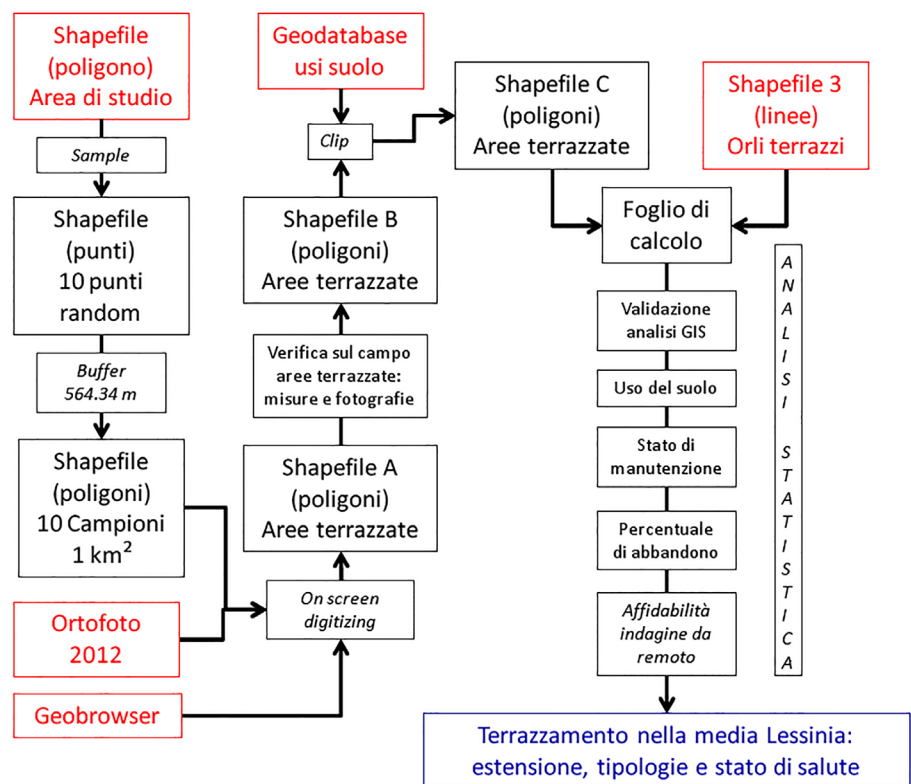


FIGURA 4
 Diagramma dell'insieme dei geoprocessi e delle funzioni GIS utilizzate per l'estrazione dei terrazzamenti: dal DTM alla vettorializzazione degli orli
 FONTE: elaborazione propria

state indagate tutte le aree potenzialmente terrazzate, ossia che avessero almeno tre orli paralleli tra loro. Tale operazione è stata indispensabile per discriminare i “falsi positivi”, ovvero orli o interruzioni di pendenza dovuti alla presenza di strade o manufatti umani non contemplati nel geodatabase topografico. Una sintesi delle operazioni e geoprocessi è illustrata nel diagramma in Figura 4. Un'ulteriore verifica, infine, è stata effettuata nell'estrazione degli orli sotto la copertura forestale indagando le aree con rotture di pendenza rettilinee, ripetute tre volte e maggiori di 10 m. Su tali aree è stata effettuata la verifica sul terreno delle analisi con dati telerilevati, mediante osservazione diretta, rilievo GPS e fotografico.

2.5 Rilievo geografico sul campo e stima dell'attendibilità della metodologia

Il rilievo geografico e fotografico ha consentito di effettuare rilievi sul campo, verificando i risultati derivati dall'estrazione automatica degli orli e dalle operazioni di fotointerpretazione svolte in ambiente GIS. Per ogni superficie terrazzata da indagare sono stati individuati almeno tre punti – a seconda dell'ampiezza dell'area terrazzata – esportati in formato .gpx e caricati su dispositivo mobile GPS. Tramite navigazione con dispositivo GPS mobile sono stati quindi raggiunti sul campo. Su ogni punto raggiunto sono stati svolti dei rilievi fotografici (circa 3.000 foto con Canon PowerShot SX540HS) e GPS dell'area terrazzata oggetto dell'indagine.

Le attività di rilievo sul campo hanno inoltre consentito di discriminare la tipologia di orlo del terrazzo, classificando i terrazzamenti tra quelli con muro a secco da quelli con ciglione.

I dati e le informazioni “di terreno” sono stati organizzati in un foglio di calcolo (Microsoft Excel) al fine di poter effettuare analisi statistiche ed elaborazioni circa le aree terrazzate indagate. Ad ogni area è stata assegnata un valore che rappresentasse il numero di terrazzamenti individuati mediante rilievo sul campo in rapporto agli orli calcolati tramite fotointerpretazione. Da questi rapporti si sono ottenute le percentuali di

affidabilità della metodologia. Inoltre è stato creato un campo per esprimere il rapporto tra i ciglioni ed i muri a secco: da esso si è ottenuta la percentuale di ciglioni per singola area campione.

3. Risultati e discussione

3.1 Estrazione da DTM LiDAR e quantificazione degli “orli terrazzati”

L'analisi della topografia sul DTM elaborato dà indicazioni di una morfologia articolata e complessa: le quote variano da 150 m slm nei fondovalle a 800 m slm nelle zone cacuminali, le pendenze espresse in gradi variano da 0 nei fondovalle e nelle zone cacuminali a 40 sui versanti, infine l'esposizione presenta una frequenza maggiore a i 100° e a 270°, perciò i versanti prevalentemente sono esposti a Sud est e Ovest (Figura 2).

Le elaborazioni operate sul DTM e le analisi svolte sulla topografia hanno consentito l'estrazione semi-automatica degli orli e delle rotture di pendenza rappresentati, potenzialmente, dalle aree terrazzate realizzate sulla morfologia collinare dell'intera area di studio (Figura 5). In totale, mediante analisi topografica, sono state estratti 437.576 elementi geografici lineari, per una lunghezza complessiva di 9.400 km; la selezione di orli maggiori di 10 m di lunghezza ha consentito di filtrare l'estrazione automatica a 275.849 elementi, per una lunghezza di 8.370 km. Infine, dopo l'ultima selezione mediante fotointerpretazione, si sono ottenute 266.230 linee di rottura di pendenza, compatibili con orli di terrazzamenti agricoli, per un totale di 6.482 km lineari (Tabella 2).

La distribuzione spaziale degli orli risulta molto omogenea all'interno dell'area di studio, evidenziando tuttavia una densità maggiore nelle aree di versante con pendenze comprese tra 20 e 35%. Nelle zone cacuminali ed in quelle vallive, invece, non si localizzano tali elementi geografici, per ovvie ragioni di topografia piana. Analizzando i risultati cartografici a grandissima scala (Figura 6 e 7) si può apprezzare l'estrazione semiautomatica degli orli terrazzati, nell'area di Valgatarà.

TABELLA 2 – Estrazione degli orli e la selezione degli orli terrazzati: numero di elementi e lunghezza degli orli

geoprocessi	n. elementi (orli)	lunghezza (km)
vettorializzazione	437.576	9.400
Eliminazione linee < 10m	275.849	8.370
Eliminazione linee appartenenti a uso del suolo di classe urbana	269.992	6.563
Raffinamento tramite fotointerpretazione	266.230	6.482

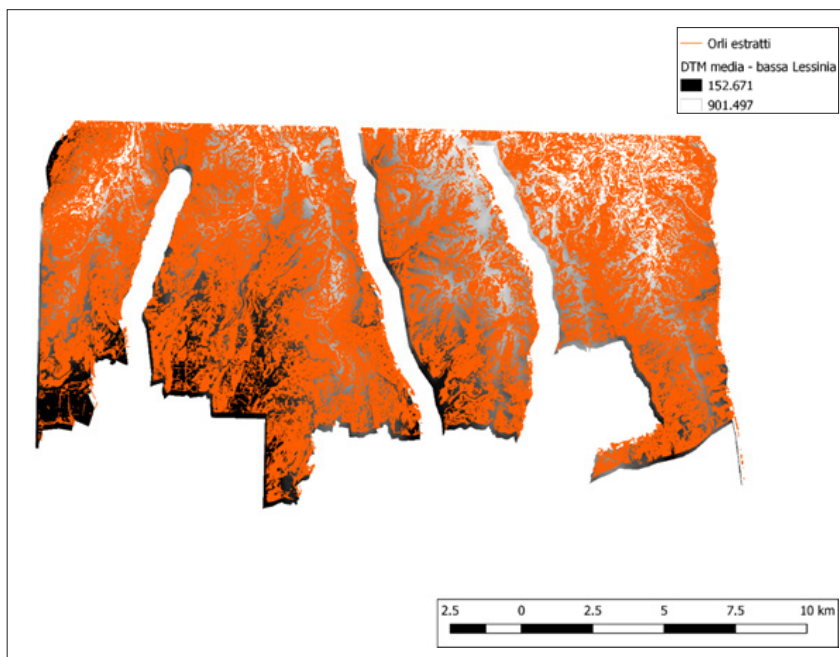


FIGURA 5
Estrazione e processamento degli orli terrazzati sulla morfologia della bassa-media Lessinia
FONTE: elaborazione GIS a cura degli autori

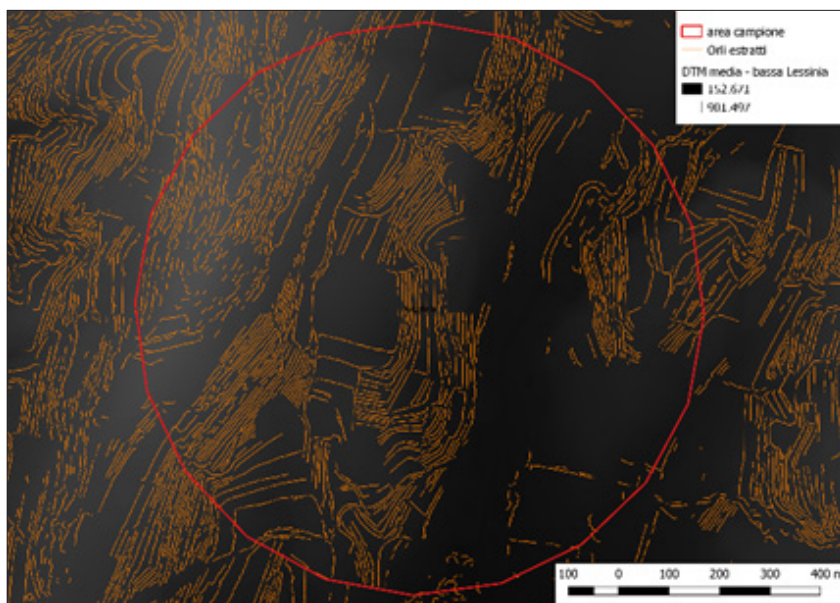
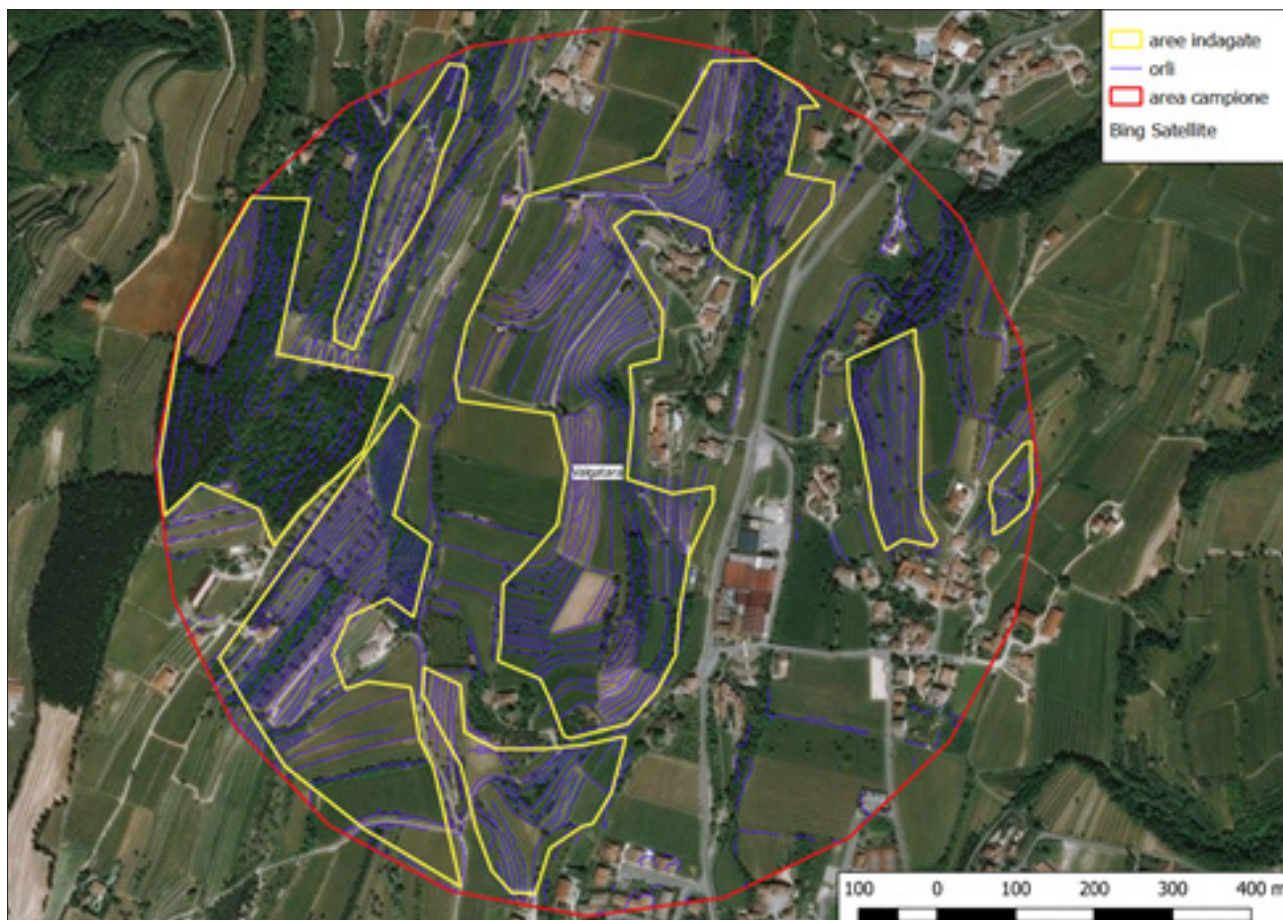


FIGURA – 6 Estrazione e processamento degli orli terrazzati nell'area campione di Valgatara
FONTE: elaborazione GIS a cura degli autori

FIGURA 7 – Macro-area campione di Valgatarà e sistemi terrazzati: orli (in blu) e superfici terrazzate (giallo)



FONTE: elaborazione GIS a cura degli autori

3.2 Analisi macro-aree campione e fotointerpretazione

Le 10 aree campione si estendono per una superficie totale di 1.000 ha, rappresentando circa il 5% dell'intera medio-bassa Lessinia. In queste 10 aree sono state identificate 69 aree terrazzate contenenti complessivamente 3.313 orli, ovvero 155 km lineari, per una superficie totale di 184 ha.

Nella verifica sul campo sono stati indagati 154 punti, distribuiti nelle diverse aree terrazzate e sono state raccolte circa 3000 fotografie geo-referenziate a scopo documentale. Dall'analisi dei dati di terreno sono stati stimati circa 84 ha di superficie terrazzata a ciglio-

ni e 100 ha caratterizzati da strutture di supporto, della tipologia muretto a secco.

Tra le dieci aree campione indagate sul campo, Valgatarà e Cavalò presentano la percentuale più elevata di aree terrazzate, rispettivamente con il 40% e 35%; per contro, l'area campione a Corrubbio, Varalta e Badia presentano meno del 10% di area terrazzata (Figure 8 e 9).

Per quanto concerne i cosiddetti terrazzamenti "a ciglione", le località individuate a Varalta e Centro presentano la quasi totalità delle aree terrazzate strutturate con tale sistemazione idraulico-agraia, mentre a Valgatarà e Cavalò la percentuale di aree terrazzate supportate da muretti a secco è intorno all'80%.

FIGURA 8
 Analisi aree campione:
 percentuale di superfici
 terrazzate totali
 FONTE: elaborazione propria

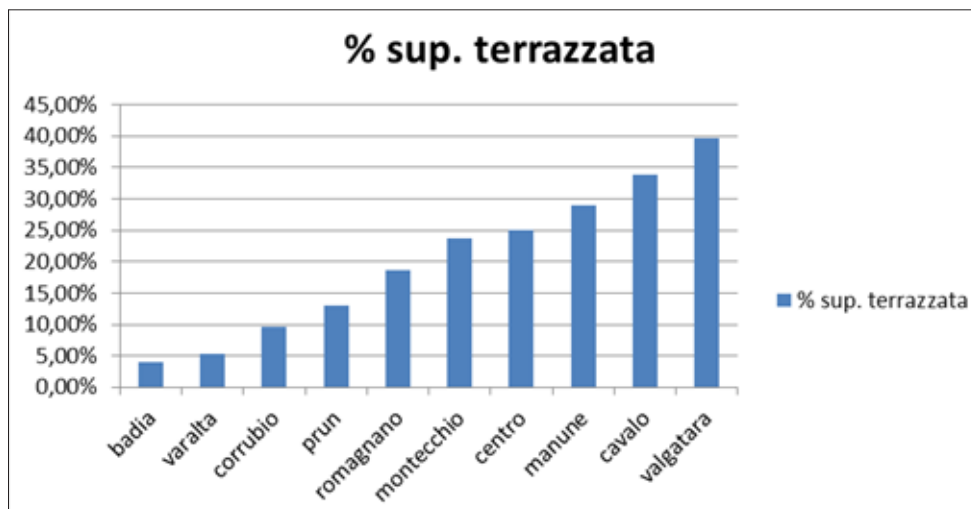
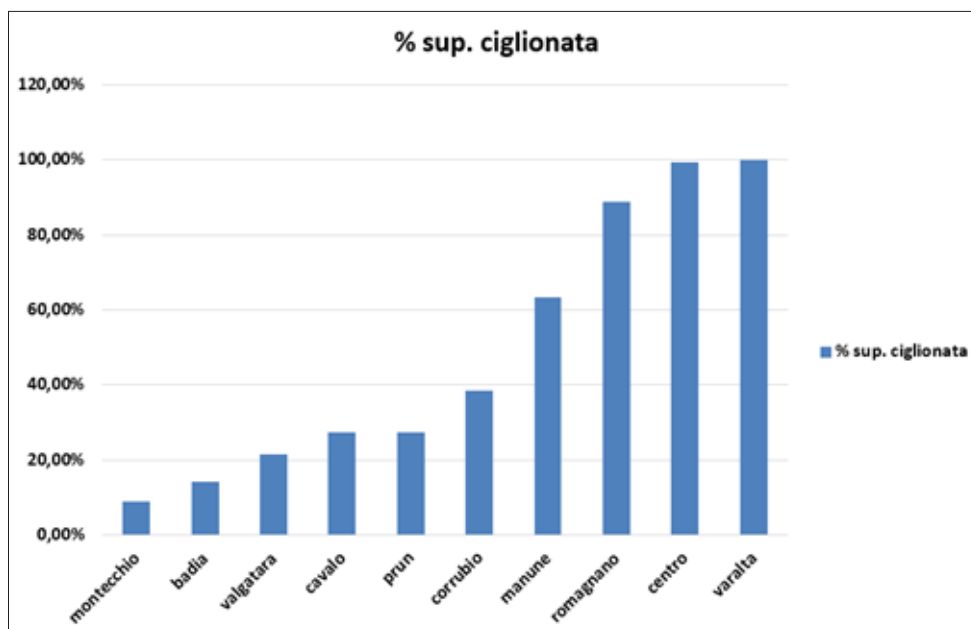


FIGURA 9
 Analisi aree campione:
 percentuale di superfici
 terrazzate a ciglioni sul
 totale terrazzato
 FONTE: elaborazione propria



3.3 Analisi di uso del suolo all'interno delle macro-aree campione

Dall'analisi di uso del suolo sono state derivate le diverse tipologie di colture presenti nelle dieci aree campione. Gli usi del suolo prevalenti, emersi dalle analisi spaziali, sono principalmente colture erbacee non soggette a rotazione (graminacee), vigneti e oliveti. All'interno delle dieci aree analizzate, i sistemi terrazzati dominanti risultano essere quelli a ciglione, in particolare nell'area campione "Centro" (Comune di Tregnano) e quella

di "Romagnano" (Comune di Grezzana), ove rappresentano rispettivamente il 24% e 16% dell'area in analisi. Le aree terrazzate con sistemi di supporto realizzati con "muri a secco" sono localizzate principalmente nelle macro-aree di "Valgatarà" (Comune di Marano di Valpolicella), "Cavalo" (Comune di Fumane) e "Montecchio" (Comune di Montecchio Maggiore), ove ricoprono rispettivamente il 30%, il 24% ed il 21% della superficie analizzata. Per un quadro di sintesi si veda la Tabella 3.

Per comprendere meglio la dimensione e la tipologia degli usi del suolo nelle aree terrazzate nel territorio

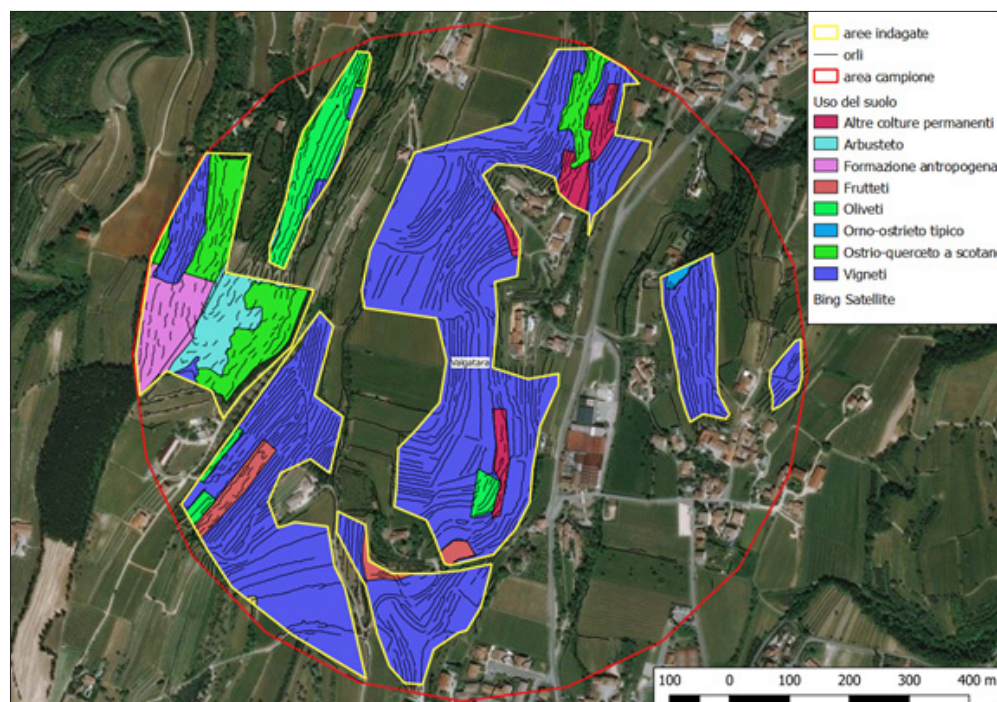
TABELLA 3 – Classi di uso del suolo dominante per ciascuna area campione e percentuale di area terrazzata e ciglionata

Badia Calavena	Superfici a copertura erbacea graminacee non soggette a rotazione	28204	2,88	3,6	0,6
Varalta	Superfici a copertura erbacea graminacee non soggette a rotazione	86949	8,87	0	5,25
Centro	Oliveti	124650	12,72	0,15	24,3
Romagnano	Superfici a copertura erbacea graminacee non soggette a rotazione	41458	4,23	2,03	16,27
Corrubio	Superfici a copertura erbacea graminacee non soggette a rotazione	33107	3,38	5,7	3,6
Montecchio	Vigneti	93110	9,5	21,2	2,07
Prun	Arbusteto	26996	2,75	9,3	3,5
Valgatarà	Vigneti	274984	28,06	30	8,3
Cavalo	Altre colture permanenti	84926	8,67	24	9
Manune	Altre colture permanenti	66161	6,75	10	18

Fonte: Elaborazione propria da database CORINE Land Cover (Regione del Veneto, 2012)

FIGURA 10
Macro-area campione di Valgatarà: aree terrazzate ed uso del suolo agricolo (BING)

Fonte: elaborazione GIS a cura degli autori



della media-bassa, può essere utile indagare la macro-area campione di “Valgatarà”, una zona rappresentativa del paesaggio terrazzato dell’area di studio (Figura 10; Tabella 4). Qui sono state individuate complessivamente 17 classi di uso del suolo, rappresentative delle aree terrazzate della media-bassa Lessinia. Complessivamente, nelle dieci macro-aree campione analizzate, sono state stimate le seguenti superfici ed usi del suolo: 906 ha

ad ostrio-querceto a scotano (33,9%), 623 ha a orno ostrieto tipico (23,3%), 473 ha di superfici erbacee non sottoposte a rotazione (17,7%) e 339 ha a vigneto (12,7). Per l’analisi di uso del suolo completa di tutte le classi si veda la Tabella 4.

I rilievi geografici sul campo hanno consentito di documentare, mediante misure e foto georeferenziate, numerose aree agricole terrazzate sotto la copertura foresta-

TABELLA 4 – Analisi di uso del suolo all'interno della macro-area campione di "Valgatara" (Comune di Marano di Valpolicella)

Uso del suolo	Superficie (ha)	%
Ostrio-querceto a scotano	906	33,9
Orno ostrieto tipico	623	23,3
Colture erbacee senza rotazione	473	17,7
Vigneti	339	12,7
Ostrio-querceto tipico	66	2,5
Colture permanenti	52	1,9
Frutteti	52	1,9
Faggeta submontana con ostria	47	1,8
Terreni arabili in aree non irrigue	29	1,1
Uliveti	27	1,0
Conifere (formazioni antropogeniche)	24	0,9
Arbusteti	19	0,7
Pascoli	8	0,3
Robinetto	7	0,3
Bosco a latifoglie	2	0,1
Castagneto dei suoli xerici	2	0,1
Totale	2.676	100,0

FONTE: Elaborazione propria da database CORINE Land Cover (Regione del Veneto, 2012)

le, rappresentata principalmente da bosco di successione. Tali terrazzamenti risultano essere, per la maggioranza, in stato di abbandono e strutturati, in prevalenza, su sistemazioni idraulico-agrarie con muri a secco.

Una successiva operazione di controllo sul campo dei dati telerilevati elaborati in ambiente GIS ha consentito di verificare il grado di affidabilità dell'estrazione semi-automatica a partire da DTM LiDAR ad alta risoluzione. L'analisi comparativa tra analisi telerilevate e dati di terreno ha mostrato un'attendibilità della procedura semiautomatica per l'estrazione degli orli terrazzati del 90%, restituendo 6.482 km lineari contro i 5.899

km su un'area di 170 km², verificati mediante rilievo geografico su campo.

4. Conclusioni

La metodologia impiegata per cartografare i sistemi terrazzati, basata su operazioni di estrazione semiautomatica da DTM ad alta risoluzione, si è rivelata assai utile nell'individuare, su ampie porzioni di territorio, orli e rotture di pendenza che ben rappresentano le sistemazioni agrarie di versante. La qualità del dato topografico di partenza, tuttavia, è di fondamentale importanza per garantire una buona estrazione degli orli, potendo esso generare, come output dei geoprocessi, falsi positivi rappresentati da diverse fonti di rumore, come il cosiddetto l'effetto "striping" sull'immagine raster o "refusi topografici" legati alla bassa densità di punti quotati che hanno comportato approssimazioni nei processi di interpolazione. Un'elevata risoluzione del dato topografico, per contro, può costituire elementi di criticità nell'analisi topografica automatizzata, legati principalmente all'amplificazione del rumore di fondo, sovente rappresentato da elementi di natura antropica, come strade e strutture di supporto non riconducibili a muri a secco o ciglionamenti agricoli. Un altro elemento cruciale, soprattutto per cartografare sistemi terrazzati sotto copertura forestale, è rappresentato dal periodo di acquisizione del dato LiDAR che dovrebbe essere effettuato, in fasce climatiche temperate, nella stagione invernale, in modo da ottimizzare la risoluzione della superficie topografica elaborata, salvo la presenza di dense formazioni boschive di conifere. La mappatura semiautomatica si conferma essere, pertanto, assai vantaggiosa, specialmente per la velocità del processo di estrazione degli orli e per la possibilità di applicazione del modello su vaste aree di territorio.

Si rivela alquanto problematica invece la possibilità di classificare, mediante analisi topografica "da remoto", gli orli in base alle strutture di supporto, ossia di discriminare tra sostegno con muri a secco o rotture di pendenze "a ciglioni". Tale classificazione è risultata efficace unicamente tramite rilievi di campagna che, per contro, si rivelano essere critici per la difficoltà di accesso alle aree terrazzate.

Bibliografia

- Bonardi L., Varotto M. (2016, a cura di), *Paesaggi terrazzati d'Italia: eredità storiche e nuove prospettive*. FrancoAngeli, Milano.
- Brancucci G., Paliaga G. (2008), "The problems with mapping: the case of Liguria", in: Scaramellini G., Varotto M. (a cura di), *Terraced landscapes of the Alps. Atlas*, ALPTER Project, Marsilio Editori, Venezia, pp. 27-42 (www.alpter.net).
- Brentan D., Cestaro M., De Gennaro M., Foccardi M., Miotto A. (2015, a cura di), "La Carta di Copertura del Suolo della Regione Veneto come strumento di supporto alla pianificazione territoriale e paesaggistica", in: *Atti del Convegno XIX Conferenza Nazionale ASITA*, Lecco, pp. 183-190.
- Ferrarese F., Pappalardo S.E., Cosner A., Brugnaro S., Alum K., Dal Pozzo A., De Marchi M. (2019), "Mapping Agricultural Terraces in Italy. Methodologies Applied in the MAPTER Project", in: Varotto V., Bonardi L., P. Tarolli (a cura di), *World Terraced Landscapes: History, Environment, Quality of Life*. Environmental History, Springer, Berlino, pp. 179-194.
- Bernatek A., (2015, a cura di), *Visualizing morphometric changes in a piping system using DEM and GIS analysis: the Bieszczady Mts., Poland*, in Atti del Convegno "Geomorphometry for geosciences", Adam Mickiewicz University, Institute of Geoecology and Geoinformation, International Society for Geomorphometry, Poznań, pp.157-160.
- Hengl T., Reuter H. (2009, a cura di), *Geomorphometry: concepts, software, applications*. Elsevier. Amsterdam.
- Lillesand T., Kiefer R.W., Chipman J. (2015, a cura di), *Remote sensing and image interpretation*, Wiley. Hoboken.
- Mautone M., Ronza M. (2006), "Versanti terrazzati tra tufi e calcari: valenze ambientali, destinazioni agronomiche, scale di osservazione. Casi di studio in Campania", *Geotema*, 29, pp. 83-99.
- Minar J, Evans IS (2008), "Elementary forms for land surface segmentation: the theoretical basis of terrain analysis and geomorphological mapping", *Geomorphology* 95:236-259.
- Ninno A. (2008), "Valutazione della pericolosità in aree terrazzate nel Canale di Brenta: un approccio su base LiDAR", in: Fontanari E, Patassini D., (a cura di), *Paesaggi terrazzati dell'arco alpino. Esperienze di Progetto*, Marsilio, Venezia, pp. 28-30.
- Ore G., Bruins H, J. (2012), "Design features of ancient agriculture terrace walls in the Negev Desert: human-made geodiversity", *Land Degradation and Development*. Vol. 23, pp. 409-418.
- Passalacqua P, Tarolli P, Foufoula-Georgiou E. (2010), "Testing space-scale methodologies for automatic geomorphic feature extraction from lidar in a complex mountainous landscape", *Water Resource Research*, Vol. 46:W11535.
- Rizzo D., Galli M., Sabbatini T., Bonari E. (2007), "Terraced landscapes characterization. Developing a methodology to map and analyze the agricultural management impacts (Monte Pisano, Italy)", *Revue Internationale de Géomatique*, 17:431-447.
- Sas R.J., Yu J.P., Pau C.Y.Y., Styles K.A. (2012), "Detection of old agricultural terraces in steep, vegetated terrain using airborne LiDAR: case study from Hong Kong", in: *Proceedings of the 33rd Asian conference of remote sensing*, vol. I, Pattaya, Thailand. pp. 408-417.
- Sauro U., (2018), *Lessinia*, Cierre Edizioni, Sommacampagna.
- Scaramellini, G. (2006), "Paesaggi terrazzati e ricerca geografica - Un progetto di indagine sistematica", *Geotema*, 29, pp.140-156.
- Sofia G., Marinello F., Tarolli P. (2014), "A new landscape metric for the identification of terraced sites: the Slope Local Length of Auto-Correlation (SLLAC)", *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol.96, pp. 123-133.
- Tarolli P, Preti F, Romano N. (2014) "Terraced landscapes: from an old best practice to a potential hazard for soil degradation due to land

abandonment”, *Anthropocene*, 6:10–25. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ancene.2014.03.002>.

Tarolli P., Sofia G., Calligaro S., Prosdocimi M., Preti F., Dalla Fontana G. (2015), “Vineyards in terraced landscapes: new opportunities from LiDAR data”, *Land Degradation and Development*, vol.26, pp. 92-102.

Trischitta D. (2005), “Il paesaggio dei terrazzamenti: tra cultura e natura”, in:

Il paesaggio terrazzato, Un patrimonio geografico, antropologico, architettonico, agrario, ambientale, Atti del seminario di Studi Taormina (30-31 maggio 2003), Reggio Calabria, Ed. Città del Sole, pp. 5-14

Varotto M., Ferrarese F. (2008) “Mapping and geographical classification of terraced landscapes: problems and proposals. In: Terraced landscapes of the Alps”, in:

Scaramellini G., Varotto M. (Edited by), *Atlas*, Marsilio, Venezia, pp. 38-45.

Varotto M., Ferrarese F., Pappalardo S.E. (2019), “Italian Terraced Landscapes: The Shapes and the Trends”, in: Varotto V., Bonardi L., P. Tarolli (Editors), *World Terraced Landscapes: History, Environment, Quality of Life*. Environmental History, 9. Springer. Berlino, pp. 27-45.