

ANDREA BIONDI <sup>(a)(b)</sup> - MARGHERITA AZZARI <sup>(c)</sup> - DUCCIO BALDASSINI <sup>(d)</sup>  
UGO CHIAVETTA <sup>(e)</sup> - GIOVANNI GALIPÒ <sup>(d)</sup>  
NICOLA PULETTI <sup>(e)</sup> - DAVIDE TRAVAGLINI <sup>(f)(\*)</sup>

## MAPPATURA DELLE AIE CARBONILI CON IMMAGINI DERIVATE DA DATI LIDAR: IL CASO DI RAGGIOLO IN CASENTINO

<sup>(a)</sup> Dipartimento di Archeologia e dei Beni Culturali, Università Primorska di Koper, Slovenia.

<sup>(b)</sup> Dipartimento di Storia, Archeologia e Storia dell'Arte, Università Cattolica di Milano.

<sup>(c)</sup> Dipartimento di Storia, Archeologia, Geografia, Arte e Spettacolo, Università degli Studi di Firenze.

<sup>(d)</sup> Accademia Italiana di Scienze Forestali.

<sup>(e)</sup> CREA Centro di ricerca Foreste e Legno.

<sup>(f)</sup> Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agrarie, Alimentari, Ambientali e Forestali, Università degli Studi di Firenze.

<sup>(\*)</sup> Autore corrispondente; [davide.travaglini@unifi.it](mailto:davide.travaglini@unifi.it)

*Nel periodo medievale il Casentino è stato un centro importante per la lavorazione dei materiali ferrosi e per la produzione di carbone vegetale necessario per tali attività. Tra il XIII e il XIV secolo, la famiglia dei conti Guidi possedeva varie ferriere nelle località di Cetica e Raggiolo. In questa zona erano presenti società di carbonai che utilizzavano le risorse boschive locali per la produzione del carbone. In questo studio sono state mappate le aie carbonili su un'area di 1841 ettari situata ad ovest del centro di Raggiolo. La mappatura è stata eseguita per fotointerpretazione di immagini derivate da dati LiDAR. I risultati ottenuti sono discussi sulla base delle vicende storiche che hanno interessato il territorio oggetto di studio tra la fine del XIII e i primi decenni del XIV secolo.*

**Parole chiave:** Airborne Laser Scanning; modello digitale del terreno; pendenza; ceduo; carbone.

**Key words:** Airborne Laser Scanning; Digital Terrain Model; slope; coppice; charcoal.

Received 09/02/2021; revised version 22/03/2021; published online 10/05/2021.

**Citazione:** Biondi A., Azzari M., Baldassini D., Chiavetta U., Galipò G., Puletti N., Travaglini D., 2021 - Mappatura delle aie carbonili con immagini derivate da dati LiDAR: il caso di Raggiolo in Casentino. *L'Italia Forestale e Montana*, 76 (1): 5-19. <https://dx.doi.org/10.4129/ifm.2021.1.01>

### 1. INTRODUZIONE

La carbonaia (Figura 1) è tecnicamente definibile come una catasta di legna al centro di uno spiazzo circolare (aia carbonile, piazza o piazzola) che, disposta nella forma di un mucchio conico e con uno spazio vuoto al centro (cami-



Figura 1 - Esempio di carbonaia in fase di allestimento.

no), si trasforma in carbone grazie ad un processo di combustione in ambiente riducente.

Il processo di carbonizzazione ha origini antiche. Fonti scritte attestano che la carbonizzazione del legno per la lavorazione dei metalli a scopi bellici e mercantili si praticava in Italia già al tempo degli Etruschi (Piccioli, 1923) e dei Greci (De Béranger, 1859). A partire dall'XI e XII secolo si hanno fonti archivistiche circostanziate, con notizie sul carbone e sulla carbonificazione da cui si possono desumere dati relativi all'uso ed al commercio del primo e ad alcune norme sull'utilizzo delle risorse boschive (Camerani Merri, 1957; Lugli e Pracchia, 1995).

Il tema della produzione del carbone nella società toscana del Medioevo è stato trattato da diversi Autori nell'ambito delle discipline storiche (Cherubini, 1974, 1986; De La Roncière, 2005; Herlihy, 1978; Malvolti e Pinto, 2003; Pinto, 1982, 2002; Pinto e Pirillo, 2005, 2013; Pirillo, 2008). Accanto a queste, le scienze forestali, l'archeologia ambientale (Moreno, 1986, 1990), l'archeologia postmedievale (Mannoni, 1997; Milanese, 1997, 2005), l'archeologia rurale e l'ecologia storica (Milanese, 2005) hanno fornito un rilevante contributo alla ricostruzione dei sistemi di gestione delle risorse ambientali del passato tramite l'analisi delle produzioni documentarie scritte e della cultura materiale (Le Goff, 1983).

Studi sulle carbonaie (Azzari, 1984; Bettoni e Grohmann, 1989; Maggi *et al.*, 2002; Stagno, 2019) e sulla loro mappatura tramite *remote sensing* con dati rilevati da sensori LiDAR (*Light Detection and Ranging*) montati su piattaforme aeree sono stati condotti sia in Italia (Bottalico *et al.*, 2016; Carrari *et al.*, 2017) sia in altri paesi europei (Deforce *et al.*, 2013; Hesse, 2010; Ludemann, 2011; Raab *et al.*, 2019; Risbøl *et al.*, 2013; Rutkiewicz *et al.*, 2019) e del Nord America (Gallagher e Josephs, 2008). Grazie alla disponibilità di modelli digitali del terreno (*Digital*

*Terrain Model*, DTM) ad elevata risoluzione spaziale derivati dai dati LiDAR, è possibile analizzare le variazioni della micro-topografia del terreno per mappare la distribuzione delle aie carbonili con metodi basati sia sulla fotointerpretazione manuale (Carrari *et al.*, 2017), sia attraverso procedure di tipo semi-automatico o automatico (Hesse, 2010; Bottalico *et al.*, 2016).

Per quanto riguarda il territorio del Casentino e in particolar modo il borgo di Raggiolo, nel Comune di Ortignano Raggiolo (Arezzo), le indagini basate su studi archivistici relativi al periodo compreso tra XIII e XIX secolo condotte da Baldassini (2011), Barlucchi (2006, 2011, 2015a, 2015b), Bicchierai (1992, 1993, 1994, 2006, 2007) e Fatucchi (2007) hanno fornito un consistente quadro storico, economico e sociale.

Un periodo storico di particolare interesse per Raggiolo è quello compreso tra la fine del XIII e il primo quarto del XIV secolo, quando l'abitato divenne sede della signoria stabile e indivisa del conte Guido Novello II dei conti Guidi (Barlucchi, 2006, Bicchierai, 2007). In questo periodo, il conte creò a Raggiolo una consistente, organica e complessa *proto*-industria siderurgica che, avviata tra la fine del XIII e i primi anni del XIV secolo, rappresentò uno tra i più importanti centri per la lavorazione del ferro nel Casentino basso medievale.

Lo scopo del presente lavoro è fornire un contributo conoscitivo per il territorio circostante il borgo di Raggiolo connesso alla presenza delle aie carbonili. Gli obiettivi specifici dello studio sono: mappare le aie carbonili con immagini derivate da LiDAR su un'area di studio nei pressi di Raggiolo e analizzare la distribuzione delle aie carbonili nell'area esaminata. Il fenomeno della produzione di carbone vegetale è infine discusso sulla base delle vicende storiche che hanno interessato il territorio oggetto di studio tra la fine del XIII e i primi decenni del XIV secolo.

## 2. AREA DI STUDIO

Lo studio è stato condotto in un'area di 1841 ettari ad ovest del centro di Raggiolo in Provincia di Arezzo, tra i territori degli attuali comuni di Castel S. Niccolò e Ortignano-Raggiolo nel Casentino centrale, nella porzione nord/est della Toscana. Il confine dell'area di studio (Figura 2) è stato definito in base alla disponibilità nella zona esaminata di dati rilevati con sensori LiDAR.

Situata sulla dorsale del massiccio del Pratomagno, l'area è montana, con quote che oscillano tra 680 e 1590 m s.l.m. Secondo la Carta di uso e copertura del suolo della Regione Toscana (scala 1:10.000) la superficie boschiva corrisponde al 91,3% della superficie complessiva esaminata. Tra 680 e 900 m s.l.m. il territorio è caratterizzato da boschi di querce, castagni, castagneti da frutto e sporadici seminativi. Oltre 900 m s.l.m. il bosco è puro di faggio, con alternanze di rare zone con cespugli ed arbusti; oltre 1450 m s.l.m. il faggio lascia spazio alle praterie di crinale. Da un punto di vista idrografico l'ambito è caratterizzato dall'alto

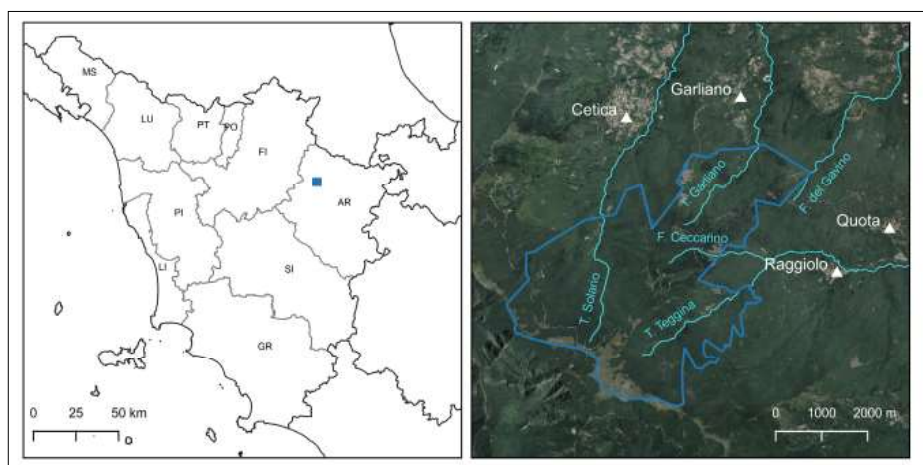


Figura 2. Localizzazione dell'area di studio (in blu).

corso del torrente Teggina, dall'alto corso del torrente Solano, dal fosso Ceccarino, dall'alto corso del torrente Garliano e dal fosso del Gavino.

Storicamente, Raggiolo rientrò nella sfera politica dei conti Guidi, potente famiglia signorile toscana e italiana, dalla metà del XII secolo nell'ambito dell'affermazione dei loro interessi in Casentino (Bicchierai, 1992; Rauty, 2003; Repetti, 1833-1846; Wickham, 1997). È possibile che il sito, controllando la valle del torrente Teggina (tra Casentino e Valdarno), sia stato confermato nel suo ruolo all'interno del generale ristrutturarsi dei possedimenti guidinghi (Vannini, 1995; Wickham, 1997). Nel pieno XIII secolo, si concretizzò a Raggiolo una stabile signoria dei conti Guidi e questo, dalla fine dello stesso secolo, divenne possesso del conte Guido Novello II (Bicchierai, 1992, 2007). Sempre in questa fase, a Raggiolo venne avviato anche il primo impianto manifatturiero siderurgico (Barlucchi, 2006; Bicchierai, 1992). Nel XIV secolo quest'ultima attività, favorita dall'iniziativa di Guido Novello II, si concentrava in tre fabbriche che, posizionate probabilmente alle falde del castello e presso la confluenza del torrente Barbozzaia nel torrente Teggina, rimasero attive almeno fino al 1391 (Barlucchi, 2006; Bicchierai, 1992). Altro fattore di forte influenza per l'attività descritta, dovettero essere le condizioni ambientali favorevoli (un esteso manto boschivo e abbondanza di precipitazioni e torrenti) per l'attività siderurgica e per i magli delle fabbriche (Barlucchi, 2006; Bicchierai, 1992, 1993, 2007; Cherubini, 1974, 1986). In seguito alla morte di Guido Novello II nel 1320, Raggiolo passò alla famiglia dei Tarlati di Pietramala e, nel 1357, si sottomise definitivamente a Firenze (Bicchierai, 1992, 1994, 2006, 2007). Il ruolo e l'importanza strategica delle ferriere di Raggiolo, per le quali non si hanno fonti certe sul numero di forni presenti, non si esaurirono con l'assoggettamento del centro alla Repubblica fiorentina e vennero stipulati con la nuova dominante patti di salvaguardia riguardanti gli opifici (Bicchierai, 1994, 2006). Dal XV secolo, l'industria del ferro

in Casentino iniziò una progressiva crisi che, nel caso di Raggiolo, è testimoniata dalla dismissione delle tre ferriere nel 1391 (Barlucchi, 2006; Bicchierai, 1992).

Per quanto riguarda la produzione del carbone vegetale combustibile, nel corso della dominazione dei conti Guidi a Raggiolo (XIII-XIV secolo) si evince una complessa organizzazione ad esso dedicata, dipendente dalla manifattura siderurgica delle tre fabbriche e legata a piccole società di carbonai presenti tra Raggiolo, Quota, Garliano, Cetica, Giogatoio ed Ortignano (Barlucchi, 2006, 2011; Bicchierai, 1992).

L'importanza dell'industria del ferro in Casentino e della produzione del carbone vegetale ad essa dedicata è inoltre dimostrata dalla presenza nel vicino abitato di Cetica di quattro ferriere attive dalla metà del XIII secolo, dotate in tutto di sette forni e situate rispettivamente a Cetica, Pagliericcio, Isola (presso Castel San Niccolò) e Pontebaldoli. Tali ferriere erano gestite da quella che era una delle famiglie più importanti del Casentino, i Grifoni, originari del Valdarno fiorentino, che fin dal XII secolo erano tra i più accreditati *fideles* dei conti Guidi. Un'ulteriore ferriera è documentata ad Ortignano e si ritiene fosse attiva almeno fino al 1383. Tutto ciò consentiva alla famiglia dei conti Guidi introiti economici e disponibilità di armi necessarie per il controllo dei loro domini. Le ferriere di Cetica rimasero attive, anche se in forma ridotta, fino al XIX secolo (Baldassini, 2011).

Ancora oggi sono presenti in queste zone alcuni pochi carbonai che testimoniano una attività che è stata praticata in questi luoghi nel corso dei secoli (Mion, 2019).

### 3. MATERIALI E METODI

Il LiDAR è un sistema di telerilevamento attivo basato su impulsi laser generalmente trasportato da piattaforme aeree (aeroplani, elicotteri, droni). Nelle applicazioni forestali, i dati LiDAR consentono di ottenere informazioni di dettaglio per la generazione di DTM e di modelli digitali delle chiome, dalla cui analisi sono derivate informazioni sulla micro-topografia del terreno e sull'altezza della copertura forestale (Corona *et al.*, 2012).

La mappatura delle aie carbonili è stata eseguita a partire da un DTM con risoluzione spaziale di 0,5 metri. Il DTM è stato prodotto con dati LiDAR acquisiti nel 2014 su alcune aree del Pratomagno con un vettore aereo su cui era montato un Laser Scanner LEICA ALS 70HA. La densità media dei punti LiDAR era di 5 punti/m<sup>2</sup>. Il DTM è stato elaborato per ottenere una mappa della pendenza del terreno con la medesima risoluzione spaziale. La mappa della pendenza è servita per analizzare la micro-topografia del territorio e per mappare la localizzazione delle aie carbonili con l'individuazione manuale delle stesse tramite identificazione dei siti con un *layer* vettoriale puntiforme. Il rilevamento manuale per fotointerpretazione delle aie carbonili ha previsto l'individuazione sull'immagine della pendenza di elementi caratteristici, per forma e tonalità di colore, simili a quelli rilevati e descritti in altri casi di studio in Toscana (Bottalico *et al.*, 2016; Carrari *et al.*, 2017; Frattin,

2019, Iacopozzi, 2021): appianamenti ellittici del livello di campagna di colore scuro apparivano identificabili, per morfologia e posizionamento, con delle aie carbonili (Figura 3).

Passando all'analisi della distribuzione delle aie carbonili, in primo luogo si è suddivisa l'area di indagine in cinque aree corrispondenti ai diversi bacini idrografici: Torrente Solano, Fosso Ceccarino, Torrente Teggina, Torrente Garliano, Fosso del Gavino. In secondo luogo, si è suddivisa l'area di studio in tre classi altimetriche: Classe 1 (680-900 m s.l.m.), Classe 2 (901-1200 m s.l.m.), Classe 3 (1201-1590 m s.l.m.). Si è quindi determinata la densità delle carbonaie nell'area di studio e nei bacini idrografici, rapportando il numero delle carbonaie alla superficie complessiva del territorio considerato. Per ciascuna classe altimetrica è stata determinata la frequenza delle aie carbonili.

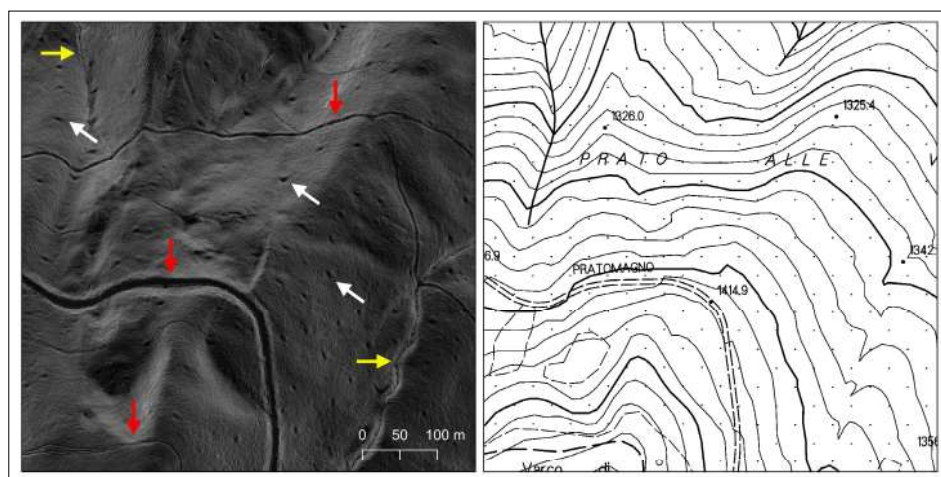


Figura 3 - A sinistra, esempio di visualizzazione delle aie carbonili (freccia bianca), della viabilità e dei sentieri (freccia rossa), e dell'idrografia (freccia gialla) sulla mappa della pendenza del terreno (pixel = 0,5 m); a destra, visualizzazione per confronto della Carta Tecnica Regionale (1:10.000).

#### 4. RISULTATI

La fotointerpretazione delle aie carbonili sulla immagine della pendenza ha portato alla identificazione di 2197 siti nell'area di studio (Figura 4). La densità media per ettaro delle aie carbonili nell'area di indagine è stata di 1,2. La ripartizione delle aie carbonili nei bacini idrografici è riportata in Tabella 1. La presenza delle carbonaie è risultata maggiore nei bacini idrografici del Solano e del Teggina, dove si concentrano 1886 carbonaie corrispondenti all'86% del numero totale.

Passando alla valutazione della localizzazione delle aie carbonili in funzione della quota, queste risultano ubicate ad altitudini comprese tra 740 e 1528 m s.l.m., con una maggiore frequenza (54% del numero totale) a quote superiori a 1200 m s.l.m. (Tabella 2).



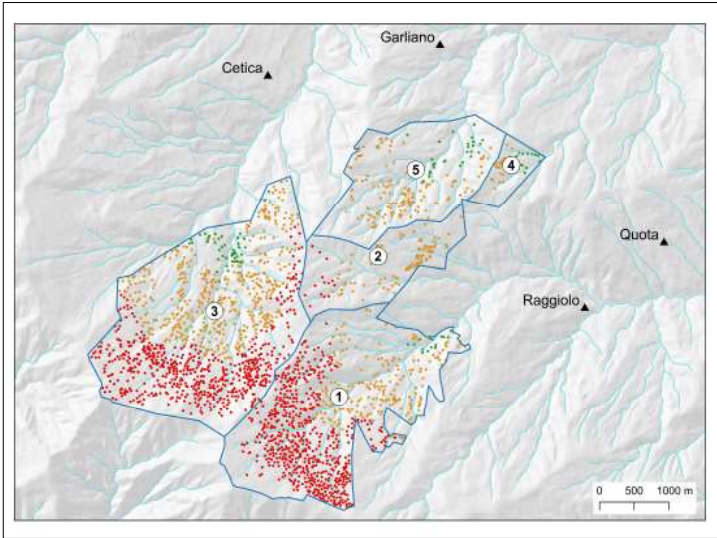


Figura 4 - Distribuzione delle aie carbonili nell’area di studio ripartite per bacino idrografico (1 Torrente Teggina, 2 Fosso Ceccarino, 3 Torrente Solano, 4 Fosso del Gavino, 5 Torrente Garliano) e per classe altimetrica (in verde Classe 1 (680-900 m s.l.m.), in arancione Classe 2 (901-1200 m s.l.m.), in rosso Classe 3 (1201-1590 m s.l.m.).

Tabella 1 - Numero e densità delle aie carbonili per bacino idrografico e totale per l’area di studio.

| Bacino idrografico | Superficie (Ettari) | Superficie bosco (Ettari) | Numero carbonaie (Num.) | Densità carbonaie (Num./ettaro) |
|--------------------|---------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------------|
| Fosso Ceccarino    | 201,9               | 182,4                     | 102                     | 0,5                             |
| Fosso del Gavino   | 51,9                | 51,0                      | 42                      | 0,8                             |
| Torrente Garliano  | 310,0               | 302,7                     | 167                     | 0,5                             |
| Torrente Solano    | 714,6               | 654,4                     | 1075                    | 1,5                             |
| Torrente Teggina   | 563,0               | 490,1                     | 811                     | 1,4                             |
| Totale             | 1841,4              | 1680,6                    | 2197                    | 1,2                             |

Tabella 2 - Numero e percentuale delle aie carbonili per classe altimetrica.

| Classe 1<br>680-900 m s.l.m. |     | Classe 2<br>901-1200 m s.l.m. |      | Classe 3<br>1201-1590 m s.l.m. |      |
|------------------------------|-----|-------------------------------|------|--------------------------------|------|
| Numero                       | %   | Numero                        | %    | Numero                         | %    |
| 108                          | 4,9 | 904                           | 41,2 | 1185                           | 53,9 |

5. DISCUSSIONE

Nel caso di Raggiolo la densità media delle aie carbonili, pari ad 1,2 carbonaie ad ettaro, è risultata superiore a quella riportata per il Baden-Württemberg

in Germania (1 sito ogni 7,7 ettari, Hesse, 2010), ma inferiore in confronto alla densità riscontrata in Vallonia, Belgio (1-3 siti/ha, Deforce *et al.*, 2013). Valori di densità delle carbonaie simili a quelli registrati per Raggiolo sono stati riscontrati in Germania sud-occidentale (1,5 siti/ha, Ludemann, 2011), in Germania settentrionale (1 sito/ha, Raab *et al.*, 2015; Raab *et al.*, 2019) e in Norvegia (1 sito/ha, Bollandsås *et al.*, 2012).

Considerando le densità ottenute per i diversi bacini idrografici, queste sono risultate più basse rispetto alle medie europee nei casi del bacino del Fosso Ceccarino, del Fosso del Gavino e del Torrente Garliano; per i bacini del Torrente Solano e del Torrente Teggina, invece, si sono registrati valori di densità più elevati (rispettivamente 1,5 e 1,4 carbonaie/ha), simili a quelli rilevati in Germania sud-occidentale. Sempre rispetto alla densità media, un risultato analogo a quanto riscontrato per Raggiolo è quello riportato da Iacopozzi (2021) per Vallombrosa: qui, su una superficie di circa 1270 ettari, la densità media delle carbonaie è risultata di 1,23 ad ettaro.

Circa la distribuzione sul territorio delle aie carbonili, il caso di Raggiolo si discosta leggermente da altri contesti toscani (Bottalico *et al.*, 2016; Carrari *et al.*, 2017; Frattin, 2019). Infatti, se questi ultimi dimostrano una distribuzione delle carbonaie piuttosto omogenea, le aie carbonili raggiolate si presentano concentrate nella regione meridionale e centro-occidentale dell'area esaminata. In particolare, i bacini idrografici dove si concentra la presenza delle carbonaie (86% del numero totale) sono quelli del Solano e del Teggina, riconducibili, rispettivamente, ai centri di Cetica e Raggiolo. Tra i due bacini, quello del Solano ospita la concentrazione maggiore di aie carbonili; tale risultato può essere spiegato dalle necessità di approvvigionamento dei forni presenti nelle ferriere di Cetica che, stando alle fonti ad oggi note, erano più numerosi di quelli presenti a Raggiolo.

La distribuzione delle carbonaie potrebbe essere stata condizionata in passato dal maggior peso economico e demografico di Cetica e Raggiolo rispetto agli abitati di Quota a Garliano, soprattutto a partire dal Medioevo. L'attività metallurgica presso Raggiolo e Cetica, affermatasi maggiormente nel XIII e XIV secolo, potrebbe aver determinato una proliferazione delle carbonaie, contribuendo perciò ad una distribuzione delle stesse sul territorio non uniforme, ma funzionale a servire le diverse ferriere attive e dislocate in vari punti del territorio. La situazione osservata per Raggiolo mostra punti in comune con il caso della Vallonia in Belgio, dove le aie carbonili sono risultate irregolarmente organizzate in gruppi ed aree seguendo, probabilmente, oscillazioni sia spaziali sia temporali (Deforce *et al.*, 2013).

La localizzazione fisica delle aie carbonili nell'area indagata presenta invece somiglianze con altri casi montani toscani e in particolare con Vallombrosa (Carrari *et al.*, 2017; Frattin, 2019; Iacopozzi, 2021): le piazzole si posizionano principalmente lungo le curve di livello, risultano essere vicine ai corsi d'acqua e, infine, sono tra loro collegate sia da percorsi maggiori sia da sentieri minori, spesso abbandonati, utilizzati per il trasporto del carbone vegetale (Figura 3).



Rispetto alla ripartizione delle aie carbonili in rapporto alle classi altimetriche, queste si individuano maggiormente tra 1201 e 1590 m s.l.m. (54% del totale), in un contesto ambientale composto da boschi di faggio che lasciano spazio alle praterie di crinale a quote superiori a 1450 m. Consistente, inoltre, il numero di carbonaie tra 901 e 1200 m s.l.m. (41% del totale), in una fascia altimetrica dove è ancora il faggio la specie dominante. A quote inferiori a 900 m s.l.m., dove il castagno è la specie prevalente e dove sono frequenti i castagneti da frutto, la presenza delle carbonaie è scarsa (5% del totale). Questa distribuzione altimetrica delle carbonaie probabilmente riflette anche l'esigenza di produrre carbone alle quote superiori e nelle aree boscate più distanti dai centri abitati. Infatti, trasformando la legna in carbone se ne riduceva il peso facilitandone il trasporto, oltre ad ottenere un prodotto con un maggiore potere calorifico (AA.VV., 1988).

Oggi le faggete del Pratomagno ad ovest di Raggiolo sono composte per lo più da soprassuoli transitori, ovvero da boschi cedui che hanno superato il turno consuetudinario di utilizzazione e che sono in conversione a fustaia. In passato il ceduo di faggio era molto più esteso in Pratomagno di quanto lo sia attualmente; questa forma di governo veniva utilizzata per la produzione di legna da ardere e, appunto, di carbone. La struttura che si osserva ancora oggi in Pratomagno nei cedui di faggio abbandonati spesso è riconducibile a quella del ceduo a sterzo; in alcune località questa forma di trattamento del ceduo è stata recentemente recuperata per la produzione di legna da ardere.

Considerando l'esistenza documentata di ferriere nella contea di Raggiolo e nel vicino abitato di Cetica, i risultati ottenuti in questo studio consentono di elaborare alcune ipotesi preliminari sulla produzione e il consumo di carbone nel territorio esaminato, con specifico riferimento al periodo in cui Raggiolo era sotto il possesso del conte Guido Novello II dei conti Guidi.

L'operazione di fusione del ferro richiedeva un approvvigionamento costante di grandi quantità di carbone vegetale. Partendo da dati noti, durante il massimo sviluppo dell'attività siderurgica a Raggiolo, nella prima metà del XIV secolo, sarebbero state attive almeno tre ferriere, con una produzione potenzialmente continua ad un ritmo giornaliero. A questo proposito è di interesse una citazione del giugno 1319 che riferisce di grandi quantità di combustibile presso i magazzini delle ferriere raggiolate in cui si trovavano 2146 salme di carbone (Barlucchi, 2006; Bicchierai, 1992); dalle fonti in nostro possesso una salma di carbone corrispondeva a circa 70 kg (comunic. Prof. Andrea Barlucchi). Probabilmente a Raggiolo il materiale combustibile non veniva trasportato su lunghe distanze perché, se la consegna non avveniva direttamente nelle aie carbonili, come noto dalle fonti locali in nostro possesso, veniva portato direttamente alle fabbriche ma con costi superiori (Barlucchi, 2011). Inoltre, se consideriamo anche i centri di Cetica, Quota e Garliano, che come Raggiolo facevano parte dei possedimenti del conte Guido Novello II (e dei suoi eredi) almeno fino alla metà del XIV secolo, si può ipotizzare una consistente quantità di combustibile a disposizione delle fabbriche signorili.

Secondo quanto riportato da Rajman (2009), un singolo forno medievale per la cottura del metallo consumava in media fino a 1500 m<sup>3</sup> di legna all'anno. In base a questo dato, si può supporre per le tre ferriere raggiolate un consumo annuo di circa 4500 m<sup>3</sup> di legna. Se consideriamo poi che le tre ferriere rimasero in uso tra la fine del XIII secolo e la fine del XIV secolo, la loro attività nel corso di un secolo potrebbe aver consumato circa 450.000 m<sup>3</sup> di legna.

Partendo dalle dimensioni medie riportate per le aie carbonili in Toscana (diametro di circa 6,30 m e superficie di circa 30 m<sup>2</sup>) (AA.VV., 1988), si è tentata una valutazione preliminare del volume potenziale delle carbonaie raggiolate e del numero di aie carbonili necessarie per rifornire le ferriere di Raggiolo. La forma delle carbonaie è stata assimilata per semplicità ad un semi-sferoide avente una dimensione orizzontale di 3,15 m di raggio e una dimensione verticale di 2 m (Rutkiewicz *et al.*, 2019), ottenendo un volume del semi-sferoide pari a 41,6 m<sup>3</sup>. Dividendo la quantità di legna consumata annualmente dalle tre ferriere di Raggiolo (circa 4500 m<sup>3</sup>) per il volume potenziale di legna di una singola carbonaia (41,6 m<sup>3</sup>), per semplicità considerato privo di vuoti, si può ipotizzare, con larga approssimazione, che dovessero essere attive almeno circa 108 aie carbonili all'anno per rifornire le fabbriche raggiolate. Assumendo poi che il taglio del bosco venisse praticato con il trattamento a sterzo con un periodo di curazione di 8 anni (Piccioli, 1923; Ciancio e Nocentini, 2004) e che ogni aia carbonile venisse attivata con la stessa frequenza, il numero complessivo di carbonaie necessario per alimentare le fabbriche di Raggiolo doveva essere di circa 864 aie carbonili.

Tali considerazioni, seppur basate su varie assunzioni e su un approccio semplificato, portano ad avanzare alcune ipotesi che potrebbero giustificare il numero di carbonaie mappate oggi nell'area di studio, come: l'esistenza non nota di altre fabbriche con altrettante ferriere nei diversi centri della contea di Raggiolo; la possibilità della presenza di molteplici forni per ogni singola ferriera, come documentato per le ferriere di Cetica; la possibilità che nuove aie carbonili siano state costruite in periodi storici successivi a quello esaminato in questo ambito.

A questo si aggiunge che le carbonaie rilevate nel bacino del Torrente Solano servivano per approvvigionare le ferriere di Cetica, le quali, essendo più numerose di quelle di Raggiolo richiedevano maggiori quantità di carbone. L'interesse di Cetica per i boschi situati nel bacino del Solano è testimoniato da un'analisi dei beni fondiari della famiglia Grifoni nella prima metà del 500, da cui si evince l'acquisto di appezzamenti di bosco nella valle del Solano per la produzione del carbone, consolidando una prassi già in uso nei secoli precedenti (Baldassini, 2011).

Una limitazione dello studio è la mancanza di una valutazione dell'accuratezza del risultato della mappatura per fotointerpretazione delle aie carbonili. A questo proposito, la conformazione del territorio esaminato, caratterizzata da pendenze piuttosto accentuate, dalla mancanza di usi agricoli nel corso dei

secoli e da una copertura forestale con scarsa presenza di sottobosco, presenta condizioni favorevoli alla identificazione delle aie carbonili su immagini derivate da LiDAR, come riportato in altri studi dove la mappatura per fotointerpretazione delle carbonaie ha prodotto livelli di accuratezza compresi tra il 75% (Gallagher e Josephs, 2008; Risbøl, 2010; Carrari *et al.*, 2017; Iacopozzi, 2021) e il 95% (Bollandsås *et al.*, 2012; Risbøl *et al.*, 2013; Frattin, 2019).

## 6. CONCLUSIONI

L'area esaminata in questo studio è situata ad ovest dell'attuale borgo di Raggiolo in Casentino. L'area è stata scelta in quanto contraddistinta da una produzione di carbone vegetale che è proseguita ininterrottamente dal XIII secolo fino a circa 60 anni fa. Il momento di massimo sviluppo di tale attività si ebbe tra XIII e XIV secolo, grazie alla presenza documentata sul territorio di almeno sette ferriere di proprietà dei conti Guidi dislocate tra Raggiolo e Cetica.

In contesti operativi simili a quello esaminato in questo studio, caratterizzati da territori montani con pendenze accentuate e con coperture boschive uniformi, l'identificazione manuale delle aie carbonili su immagini derivate da dati LiDAR non presenta difficoltà particolari.

Da un punto di vista paesaggistico, le carbonaie si trovano quasi sempre in presenza di abbondanti fonti d'acqua per tutte le esigenze che erano necessarie alla loro gestione, come il raffreddamento.

La presenza di numerose aie carbonili identificate nell'area di studio è stata probabilmente favorita in passato dalle attività collegate all'industria di fusione del ferro sotto il dominio dei conti Guidi. Tuttavia, ulteriori studi sono necessari per comprendere quanto la produzione siderurgica medievale possa aver inciso sulla presenza delle carbonaie ancora oggi esistenti e che costituiscono una traccia storica nel paesaggio forestale del Pratomagno. A tale proposito potrebbero essere condotte nelle aie carbonili indagini pedologiche, archeologiche, antracologiche e dendrologiche *ad hoc* sui depositi sedimentari al radiocarbonio; in tal modo, datando le carbonaie, incrociando i dati con le distribuzioni delle stesse e avvalendosi del patrimonio storico e archivistico disponibile per Raggiolo e per altri importanti centri siderurgici del Casentino, si potrebbero delineare quadri interpretativi più ampi di quelli ipotizzati e proposti in questa sede. Inoltre, le analisi pedologiche, antracologiche e dendrologiche sulle carbonaie consentirebbero di approfondire le conoscenze sulle specie arboree utilizzate nel corso dei secoli per la produzione del carbone in Pratomagno.

Tra le prospettive di ricerca, inoltre, vi potrebbero essere: l'uso di metodi automatici o semiautomatici per l'identificazione e la perimetrazione delle aie carbonili e della sentieristica che collegava le carbonaie, estendendo lo studio ad un territorio più vasto di quello qui esaminato; l'analisi delle potenzialità produttive dei soprassuoli di faggio al tempo delle ferriere per poterne valutare la compatibilità con i

prelievi ipotizzati in questo studio. Tali informazioni potrebbero essere anche impiegate per eseguire una stima del volume di legno utilizzato per la produzione del carbone vegetale nel corso dei secoli nel Pratomagno e per valutare sia gli effetti della medesima sull'ambiente circostante, sia gli effetti della costruzione delle aie carbonili e del loro prolungato uso sul paesaggio attuale e sui suoli.

#### RINGRAZIAMENTI

Si ringrazia il Dott. Marcello Miozzo di DREAM Italia S.p.A. per avere messo a disposizione per l'area esaminata in questo studio il dato LiDAR acquisito nell'ambito del progetto "Applicazioni LiDAR nella pianificazione e gestione forestale del Casentino - Lidar.For.Man", progetto finanziato dalla Misura 124 Asse 4 LEADER del PSR 2007/2013 della Regione Toscana. Grazie al personale dell'Archivio di Stato di Arezzo per la concessione (Protocollo n. 1685, 28.34.07/1.1.12) rilasciata per la consultazione delle informazioni catastali relative a Raggiolo. Infine, un sincero ringraziamento al Dott. Andrea Rossi (Coordinatore dell'Ecomuseo del Casentino) e al Dott. Paolo Schiatti (Presidente della Brigata di Raggiolo) per il supporto e il costante sostegno fornito nel corso del lavoro.

#### SUMMARY

##### *Mapping old charcoal kiln sites by LiDAR-derived data: the case of Raggiolo in Casentino*

In the medieval period the Casentino was an important center for iron working and for the production of charcoal necessary for this activity. Between XIII and XIV centuries the Guidi family owned various ironworks in the localities of Cetica and Raggiolo. In this area companies of charcoal burners were active and used local forest resources for the production of charcoal. In this study we mapped the old charcoal kiln sites over an area of 1841 hectares located west of the center of Raggiolo. The charcoal kiln sites were mapped by photointerpretation of LiDAR-derived images. The results are discussed on the basis of the historical events that occurred in the study area between the end of the XIII and the first decades of the XIV century.

#### BIBLIOGRAFIA

- AA.VV., 1988 - *Il lavoro nei boschi. Boscaioli e carbonai a Luco e Grezzano tra il 1930 e il 1950*. Testo a cura di Marcello Landi - Gruppo d'Erci & Pietro Piussi - Ist. Selvicoltura dell'Università di Firenze. Edito per la collana Studi Storici Artistici da Comunità Montana Zona "E".
- Azzari M., 1984 - *La guerra dei boschi. Selvicoltura e siderurgia nella montagna pistoiese tra '500 e '800*. In: M. Azzari et al., *I mestieri del bosco. Materiali per una documentazione*. Pistoia: Legato Antonini, p. 9-22.
- Baldassini D., 2011 - «*Ad colandum et faciendum ferrum et acciaiium*»: i Grifoni di Antica, industriali del ferro nella Toscana dei secoli XIII-XV. *Annali Aretini*, 19: 99-122.
- Barlucchi A., 2006 - *La lavorazione del ferro nell'economia casentinese alla fine del Medioevo (tra Campaldino e la battaglia di Anghiari)*. *Annali Aretini*, 14: 169-200.
- Barlucchi A., 2011 - *Osservazioni sulla produzione del carbone di castagno in Casentino (secoli XIV-XV)*, *Annali Aretini*, 19: 291-308.
- Barlucchi A., 2015a - *Gli opifici ad energia idraulica*. In: C. Molducci, A. Rossi (a cura di), *Il Ponte del Tempo. Paesaggi culturali medievali*, p. 39-43.

- Barlucchi A., 2015b - *Lo sfruttamento dell'energia idraulica*. In: C. Molducci, A. Rossi (a cura di), *Il Ponte del Tempo. Paesaggi culturali medievali*, p. 37-38.
- Bettoni F., Grohmann A., 1989 - *La montagna appenninica. Paesaggi ed economie*. In: P. Bevilacqua (a cura di), *Storia dell'agricoltura italiana in età contemporanea*, Venezia, p. 585-641.
- Bicchierai M., 1992 - *Un castello casentino nel primo Trecento. L'ambiente, gli uomini, le attività*. Rivista di Storia dell'Agricoltura, 32 (2): 73-112.
- Bicchierai M., 1993 - *Un castello casentino nel primo Trecento. La signoria dei conti Guidi e la conquista fiorentina*. Rivista di Storia dell'Agricoltura, 33: 23-72.
- Bicchierai M., 1994 - *Il Castello di Raggiolo e i conti Guidi*. Firenze.
- Bicchierai M., 2006 - *Una comunità rurale toscana di antico regime: Raggiolo in Casentino*. Firenze. [https://doi.org/10.26530/OAPEN\\_356376](https://doi.org/10.26530/OAPEN_356376)
- Bicchierai M., 2007 - *La lunga durata dei beni in una comunità toscana: il caso di Raggiolo in Casentino*. In: R. Zagnoni (a cura di), *Comunità e beni comuni dal Medioevo ad oggi*, Atti della giornata di studio (Capugnano, 10 settembre 2005), Porretta Terme - Pistoia, p. 45-60.
- Bollandsås O.M., Risbøl O., Ene L.T., Nesbakken A., Gobakken T., Næsset E., 2012 - *Using airborne small-footprint laser scanner data for detection of cultural remains in forests: an experimental study of the effects of pulse density and DTM smoothing*. Journal of Archaeological Science, 39: 2733-2743. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2012.04.026>
- Bottalico F., Carrari E., Barzagli A., Chirici G., Travaglini D., Selvi F., 2016 - *Utilizzo di dati ALS per la mappatura delle aie carbonili nelle foreste mediterranee*, ASITA, p. 81-82.
- Camerani Merri G., 1957 - *Statuti delle arti dei corazzai, dei chiavaioli, ferraioli, calderai e dei fabbri*. Firenze.
- Carrari E., Ampoorter E., Bottalico F., Chirici G., Coppi A., Travaglini D., Verheyen K., Selvi F., 2017 - *The old charcoal kiln sites in Central Italian forest landscapes*. Quaternary International, Vol. 458: 214-223. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2016.10.027>
- Cherubini G., 1974 - *Signori, contadini, borghesi: ricerche sulla società italiana del Basso Medioevo*. Firenze.
- Cherubini G., 1986 - *L'Italia rurale del Basso Medioevo*. Roma.
- Ciancio O., Nocentini S., 2004 - *Il bosco ceduo. Selvicoltura, Assestamento, Gestione*. Accademia Italiana di Scienze Forestali. Tipografia Coppini, Firenze, 721 p.
- Corona P., Cartisano R., Salvati R., Chirici G., Floris A., Di Martino P., Marchetti M., Scrinzi G., Clementel F., Travaglini D., Torresan C., 2012 - *Airborne Laser Scanning to support forest resource management under alpine, temperate and Mediterranean environments in Italy*. European Journal of Remote Sensing, 45: 27-37. <https://doi.org/10.5721/EuJRS20124503>
- De Bérenger A., 1859 - *Archeologia forestale. Ossia dell'antica storia e giurisprudenza forestale in Italia*. Ristampa a cura della Direzione Generale per l'Economia montana e per le foreste, 1982, Roma.
- De La Roncière C.M., 2005 - *Firenze e le sue campagne nel Trecento. Mercanti, produzione, traffici*. Firenze.
- Deforce K., Boeren I., Adriaenssens S., Bastiaens J., De Keersmaecker L., Haneca K., Tys D., Vandekerckhove K., 2013 - *Selective woodland exploitation for charcoal production. A detailed analysis of charcoal kiln remains (ca. 1300 - 1900 AD) from Zoersel (northern Belgium)*. Journal of Archaeological Science, 40: 681-689. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2012.07.009>
- Fatucchi A., 2007 - *Considerazioni storiche sul Pratomagno*. Annali Aretini, 15-16: 267-296.
- Fratini P., 2019 - *Le carbonaie di Vallombrosa: censimento mediante la carta delle pendenze e proposte di studio della storia del bosco*. Tesi di Laurea in Scienze Forestali e Ambientali, Scuola di Agraria, Università degli Studi di Firenze.
- Gallagher J.M., Josephs R.L., 2008 - *Using LiDAR to detect cultural resources in a forested environment: an example from Isle Royale National Park, Michigan, USA*. Archaeological Prospection, 15: 187-206. <https://doi.org/10.1002/arp.333>
- Herlihy D., 1978 - *Le relazioni economiche di Firenze con le città soggette nel secolo XIV*. In: *Egemonia fiorentina ed autonomie locali nella Toscana nord-occidentale del primo Rinascimento: vita, arte, cultura*. Atti del Settimo Convegno Internazionale (Pistoia, 17-20, IX, 1975), Pistoia, p. 79-109.

- Hesse R., 2010 - *LiDAR - derived Local Relief Models - a new tool for archaeological prospection*. *Archaeological Prospection*, 17: 67-72. <https://doi.org/10.1002/arp.374>
- Iacopozzi E., 2021 - *Rilevamento delle carbonaie tramite l'utilizzo di cartografia LiDAR nella foresta di Vallombrosa*. Tesi di Laurea in Scienze Forestali e Ambientali, Scuola di Agraria, Università degli Studi di Firenze.
- Le Goff J., 1983 - *Il meraviglioso ed il quotidiano nell'Occidente medievale*. Torino.
- Ludemann T., 2011 - *Scanning the historical and scientific significance of charcoal production - local scale, high resolution kiln site anthracology at the landscape level*. *Saguntum Extra*, 11: 23-24.
- Lugli F., Pracchia S., 1995 - *Modelli e finalità nello studio della produzione di carbone di legna in archeologia*. *Origini, Preistoria e Protostoria delle civiltà antiche*, 28: 425-479.
- Maggi R., Montanari C., Moreno D. (a cura di), 2002 - *L'approccio storico-ambientale al patrimonio rurale delle aree protette*. Atti del Seminario Internazionale, Torriglia e Monteburro (GE), 21-22 maggio 2002. *Archeologia Postmedievale*, 6.
- Malvolti A., Pinto G. (a cura di), 2003 - *Incolti, fiumi, paludi: utilizzazione delle risorse naturali nella Toscana medievale e moderna*. Firenze.
- Mannoni T., 1997 - *Archeologia globale e archeologia postmedievale*. In: M. Milanese (a cura di), *Archeologia Postmedievale: l'esperienza europea e l'Italia*. Atti del Convegno Internazionale di Studi (Sassari, 17-20 ottobre 1994). *Archeologia Postmedievale*, 1: 21-25.
- Milanese M., 1997 - *Archeologia Postmedievale: questioni generali per una definizione disciplinare*, in M. Milanese (a cura di), *Archeologia Postmedievale: l'esperienza europea e l'Italia*, Atti del Convegno Internazionale di Studi (Sassari, 17-20 ottobre 1994). *Archeologia Postmedievale*, 1: 13-17.
- Milanese M., 2005 - *Voci delle cose: fonti orali, archeologia postmedievale, etnoarcheologia*. *Archeologia Postmedievale*, 9: 11-30.
- Mion N., 2019 - *Gli ultimi carbonai: testimonianze fra passato e presente*. Tesi di Laurea in Scienze Forestali e Ambientali, Scuola di Agraria, Università degli Studi di Firenze. Video disponibile al link: <https://youtu.be/Oe92IZ3ZGWA>.
- Moreno D., 1986 - *Boschi, storia e archeologia. Riprese, continuità, attese*. *Quaderni Storici*, 62: 435-444.
- Moreno D., 1990 - *Dal documento al terreno. Storia e archeologia dei sistemi agro-silvo-pastorali*. Bologna.
- Piccioli L., 1923 - *Selvicoltura*. Seconda edizione, riveduta e ampliata. Parte V della Nuova Enciclopedia Agraria Italiana. Unione tipografico editrice torinese, Torino, 587 p.
- Pinto G., 1982 - *La Toscana nel tardo Medioevo. Ambiente, economia rurale, società*. Firenze.
- Pinto G., 2002 - *Campagne e paesaggi toscani nel Medioevo*. Firenze.
- Pinto G., Pirillo P. (a cura di), 2005 - *Lontano dalle città. Il Valdarno di Sopra nei secoli XII-XIII*, Roma.
- Pinto G., Pirillo P. (a cura di), 2013 - *I centri minori della Toscana nel Medioevo*, Firenze. <https://doi.org/10.2307/j.ctt1tqx7rx>
- Pirillo P., 2008 - *Forme e strutture del popolamento nel contado fiorentino, II, Gli insediamenti fortificati (1280-1380)*. Firenze.
- Raab A., Takla M., Raab T., Nicolay A., Schneider A., Rösler H., Heußner K.-U., Bönisch E., 2015 - *Pre-industrial charcoal production in Lower Lusatia (Brandenburg, Germany): detection and evaluation of a large charcoal-burning field by combining archaeological studies, GIS-based analyses of shaded-relief maps and dendrochronological age determination*. *Quaternary International*, Vol. 367: 111-122. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2014.09.041>
- Raab A., Bonhage A., Schneider A., Raab T., Rösler H., Heußner K.-U., Hirsch F., 2019 - *Spatial distribution of relict charcoal hearths in the former royal forest district Tauer (SE Brandenburg, Germany)*. *Quaternary International*, 511: 153-165. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2017.07.022>
- Rajman J., 2009 - *Dzieje hutnictwa żelaza na środkową małą panwię*. In J. Szulc, (a cura di), *Z Biegiem Małej Panwi, Z Biegiem Lat. Zarys Dziejów Terytorium Gminy Zawadzkie*, Wydawnictwo Leyko, Kraków, p. 94-103.
- Rauty N., 2003 - *Documenti per la storia dei conti Guidi in Toscana. Le origini e i primi secoli. 887-1164*. Firenze.



- Repetti E., 1833-1846 - *Dizionario geografico, fisico, storico della Toscana*. 6 Voll. Firenze.
- Risbøl O., 2010 - *Towards an improved archaeological record through the use of airborne laser scanning*. In: M. Forte, S. Campana, C. Liuzza, (a cura di), Space, time and place, 3<sup>rd</sup> International Conference on Remote Sensing in Archaeology. *British Archaeological Review*, 2118: 105-112.
- Risbøl O., Bollandås O. M., Nesbakken A., Ørka H. O., Næsset E., Gobakken T., 2013 - *Interpreting cultural remains in airborne laser scanning generated digital terrain models: effects of size and shape on detection success rates*. *Journal of Archaeological Science*, 40: 4688-4700. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2013.07.002>
- Rutkiewicz P., Malik I., Wistuba M., Osika A., 2019 - *High concentration of charcoal hearth remains as legacy of historical ferrous metallurgy in southern Poland*. *Quaternary International*, 512: 133-143. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2019.04.015>
- Stagno A.M., 2019 - *Gli spazi dell'archeologia rurale. Risorse ambientali e insediamenti nell'Appennino ligure tra XV e XXI secolo*. Firenze.
- Vannini G., 1995 - *Una terra di castelli. Appunti casentinesi tra storia e archeologia*. In: P. Schiatti (a cura di), Il patrimonio architettonico minore diffuso del Casentino. Raggiolo e la valle del Teggina, Lecce, p. 27-32.
- Wickham C., 1997 - *La montagna e la città. L'Appennino toscano nell'Alto Medioevo*. Torino.