

IL SIGNIFICATO ECOLOGICO DELLE CARBONAIE PER LA VEGETAZIONE ERBACEO-ARBUSTIVA E LA RINNOVAZIONE ARBOREA DELLE FORESTE MEDITERRANEE

Elisa Carrari¹, Evy Ampoorter², Kris Verheyen², Andrea Coppi³, Federico Selvi¹

¹University of Firenze, Department of AgriFood Production and Environmental Sciences, Laboratories of Applied and Environmental Botany, Firenze, Italy; elisa.carrari@unifi.it

²Gent University, Department of Forest and Water Management, Forest & Nature Lab (ForNaLab), Gontrode, Belgium

³University of Firenze, Department of Biology, Botanical Laboratories, Firenze, Italy

Le vecchie carbonaie rappresentano la testimonianza di una delle più antiche forme di uso del bosco da parte dell'uomo, protrattasi per secoli soprattutto nelle foreste mediterranee ed oggi scomparsa. Qui si presentano i risultati di uno studio sugli effetti di questi siti sulla diversità e la produttività della vegetazione erbaceo-arbustiva del sottobosco (< 1.3 m) e la rinnovazione delle specie arboree, in tre ecosistemi forestali ben differenziati: boschi di sclerofille, querceti decidui misti e faggete. In generale, nelle carbonaie vi è una maggior diversità di specie rispetto al soprassuolo circostante, ed esistono significative differenze floristiche fra i due ambienti. Questo è particolarmente evidente nel caso dei querceti misti, nelle cui carbonaie vi è una maggiore disponibilità di luce (PAR) che consente anche un sensibile aumento di biomassa prodotta. Nelle carbonaie è risultata presente la rinnovazione di diverse specie arboree, con individui che però non sembrano quasi mai capaci di persistere oltre i primi 1-2 anni e superare i 20 cm di altezza. Il contenuto di C e il rapporto C:N sono risultati decisamente più elevati nelle carbonaie, ma senza implicare carenza di azoto né acidificazione, probabilmente a causa dell'inerzia biologica della frazione di carbonio derivata dal carbone. Sebbene abbandonate da decenni (o anche più), le vecchie carbonaie mantengono nel complesso condizioni particolari che ne fanno "micro-isole ecologiche" in cui si hanno processi di sviluppo della vegetazione forestale differenziati rispetto al soprassuolo circostante. Ciò suggerisce l'adozione di misure di conservazione per almeno alcuni di questi siti, soprattutto nelle aree protette.

Parole chiave: carbonaie, diversità, foreste mediterranee, rinnovazione arborea, vegetazione del sottobosco.

Keywords: charcoal sites, diversity, Mediterranean forests, tree regeneration, understory vegetation.

<http://dx.doi.org/10.4129/2cis-ec-sig>

1. Introduzione

Gli effetti a lungo termine delle forme tradizionali di uso del bosco sulle caratteristiche strutturali, composizionali e funzionali degli ecosistemi forestali sono da anni oggetto di approfondite ricerche ecologiche. Si ritiene infatti che la comprensione di tali effetti possa fornire indicazioni importanti per prevedere l'impatto degli attuali cambiamenti ambientali sulle foreste del futuro (Hermý e Verheyen, 2007). La produzione di carbone vegetale rappresenta forse la più antica forma di uso antropico del bosco, poiché questo materiale ha costituito la principale fonte di energia sin dall'età del ferro (Blondel, 2006).

Documenti storici dimostrano che essa è proseguita per millenni in gran parte delle regioni temperate, protraendosi fino a tempi relativamente recenti soprattutto nei paesi mediterranei, dove il ceduo è da sempre la forma di governo più diffusa nei boschi di latifoglie. Abbandonata nel dopoguerra per le mutate condizioni socio-economiche in diversi paesi, tra cui l'Italia, quest'attività ha lasciato come impronta un gran numero di carbonaie oggi riscontrabili in vari tipi

di boschi cedui di latifoglie (fino a 40 siti/ha; Blondel, 2006; Nocentini e Coll, 2013).

Per la loro conformazione a piccolo terrazzo pianeggiante e la colorazione scura del suolo determinata dall'accumulo di residui di carbone, questi siti sono ancora oggi facilmente riconoscibili.

La struttura aromatica condensata del carbone consente infatti ai frammenti e alle particelle di persistere nel suolo anche per millenni (Cheng *et al.*, 2008), fornendo un'opportunità per ricostruire variazioni ambientali e vegetazionali del passato (Ludemann, 2003, 2011; Nelle, 2003; Deforce *et al.*, 2013). Un ulteriore elemento distintivo delle carbonaie è la frequente mancanza di individui arborei radicati al loro interno, pur essendo spesso completamente racchiuse in densi popolamenti forestali.

Unitamente alle particolari condizioni del suolo, questo suggerisce che le vecchie carbonaie possano rappresentare piccole "isole ecologiche" di origine antropica in grado di influenzare significativamente e in modo persistente i processi di ricostituzione del bosco e la sua diversità biologica. Ad oggi, tuttavia, non esistono studi sugli effetti delle carbonaie né sulla diversità

della vegetazione del sottobosco né sui processi di ricolonizzazione arborea. Obiettivo del presente lavoro è stato quindi quello di contribuire alla comprensione di questi effetti e analizzare anche i principali fattori abiotici coinvolti, in particolare alcune caratteristiche del suolo e dell'ambiente luminoso.

2. Materiali e Metodi

Da un campione di oltre 150 siti individuati attraverso sopralluoghi in boschi cedui invecchiati della Toscana ne sono stati selezionati 59 senza segni evidenti di disturbo antropico o da fauna selvatica. I siti sono ripartiti fra i tre principali tipi forestali della regione secondo un gradiente altitudinale: foreste di sclerofille (18 siti: Maremma e Colline Metallifere), querceti decidui misti (22 siti: Colline Metallifere e del preappennino fiorentino), foreste montane di faggio (19 siti: Mt. Amiata, Mugello e Casentino). In ciascun sito è stata delimitata un'area di 3 x 3 m al cui interno è stata analizzata la vegetazione erbaceo-arbustiva e la rinnovazione arborea al di sotto di 1.3 m. All'interno di un quadrato di 50 x 50 cm, posizionato casualmente nel quadrato 3 x 3 m, è stata poi prelevata tutta la biomassa epigea. Infine sono stati prelevati campioni di suolo (15 cm di profondità) e misurata l'intensità luminosa come PAR.

Per ciascuna carbonaia, il protocollo di campionamento è stato ripetuto su un'area controllo individuata in modo random all'interno del soprassuolo circostante entro un raggio di 20 m dal margine della carbonaia, evitando le stazioni a valle della stessa.

I dati sono stati analizzati con metodi statistici univariati e multivariati al fine di testare la significatività statistica delle differenze fra carbonaie e controlli nei parametri di suolo e luce e quelle relative alla diversità (α , β , γ) e produttività della vegetazione del sottobosco.

3. Risultati

Sia il contenuto di carbonio totale che il rapporto C:N sono risultati significativamente più elevati nelle carbonaie, in tutti e tre i tipi forestali (Tab. 1), mentre quello di azoto è risultato più elevato nelle carbonaie dei querceti misti e dei boschi di sclerofille. I valori di pH sono risultati lievemente maggiori nelle carbonaie, ma con differenze significative solo nel caso dei boschi di faggio.

I valori di intensità luminosa (PAR, Tab. 1), sono risultati decisamente maggiori nelle carbonaie dei querceti misti, mentre non sono emerse differenze significative fra carbonaie e siti controllo negli altri due tipi di bosco. Per quanto riguarda la produttività, i querceti misti hanno mostrato in generale i maggiori valori di biomassa aerea (Tab. 2), e questi valori sono risultati significativamente superiori per le carbonaie rispetto ai siti controllo. Dal punto di vista della diversità, nei 118 plots sono state censite 240 specie di piante vascolari, di cui 219 nelle carbonaie e 140 nei controlli. Nelle faggete sono state identificate 15 specie esclusive delle carbonaie, mentre ben 55 sono state rinvenute solo nelle carbonaie dei boschi di sclerofille

e dei querceti misti (Tab. 2). Il pool di specie delle carbonaie (γ -diversità) è risultato più ricco di quello dei siti controllo, specialmente per i querceti misti e i boschi di sclerofille.

Per le carbonaie di questi ultimi due tipi forestali è inoltre emersa una maggior ricchezza specifica media a livello di sito (α -diversità). L'effetto positivo delle carbonaie sull' α -diversità è stato confermato dall'indice di Shannon solo nel caso dei boschi di sclerofille, ma non per i querceti misti.

Nelle carbonaie di questo ambiente forestale si ha infatti una sensibile diminuzione dell'equiripartizione delle specie, che contrasta l'effetto positivo portato dalla maggiore ricchezza specifica sull'indice di Shannon.

La dissimilarità floristica fra le singole carbonaie, quantificata con l'indice di Lennon (β -diversità), è sempre risultata maggiore rispetto a quella fra i singoli siti controllo, in tutti e tre i tipi forestali.

L'analisi MultiDimensional Scaling ha poi mostrato differenze significative di composizione specifica della vegetazione erbaceo-arbustiva delle carbonaie e dei siti controllo nel caso dei querceti misti (Fig. 1), ma non per le faggete e i boschi di sclerofille. Riguardo alla componente arborea, è emerso che nelle carbonaie dei querceti misti vi è un maggior numero di specie che nei siti controllo, ed una di esse (*Fraxinus ornus* L.) è risultata essere specie indicatrice da apposito test statistico (*Indicator Species Analysis*: Dufrene e Legendre, 1997). Non sono invece risultate differenze per gli altri due tipi forestali. Con rarissime eccezioni, tuttavia, le specie arboree rilevate nelle carbonaie erano presenti con semenzali di 1 o 2 anni di altezza inferiore ai 30 cm.

4. Considerazioni conclusive

Il presente studio dimostra che le carbonaie abbandonate influiscono in modo complessivamente positivo sulla diversità della vegetazione erbaceo-arbustiva del sottobosco forestale di ecosistemi mediterranei. In termini di diversità e produttività, gli effetti sono evidenti nel caso dei querceti misti, dove le carbonaie rappresentano delle piccole discontinuità anche in termini di copertura arborea.

Questo consente a molte specie erbacee ed arbustive non propriamente nemorali di trovare qui nicchie idonee alla loro sopravvivenza e allo svolgimento del ciclo riproduttivo. L'effetto "gap" determinato dalle carbonaie nei querceti misti è supportato dal turn-over floristico fra i due tipi di habitat e dal carattere pioniero di diverse di specie che vi si trovano esclusivamente o con maggiore frequenza rispetto ai siti controllo.

Specie legnose come la ginestra dei carbonai (*Cytisus scoparius* (L.) Link) e l'orniello appartengono a questo gruppo, mostrando di trovare nelle carbonaie un habitat idoneo per almeno le prime fasi della loro vita.

In generale, la maggior ricchezza specifica della componente arborea in questi siti, nei querceti misti, suggerisce che per diverse specie vi sono condizioni favorevoli per la germinazione dei semi e le prime fasi dello sviluppo delle piantule. Rimangono quindi da indagare i fattori che ostacolano lo sviluppo successivo

della componente arborea e quindi il ritorno del bosco. La maggiore illuminazione è plausibilmente anche una delle cause principali della maggiore produttività nelle carbonaie dei querceti misti, in linea con altri studi che dimostrano una stretta relazione fra queste due variabili nelle foreste decidue centro-europee (Axmanová *et al.*, 2011).

Il nostro studio mostra che laddove nelle carbonaie non c'è maggiore disponibilità di luce, quindi nei boschi di sclerofille e nelle faggete, non si ha maggiore produzione di biomassa da parte della vegetazione del sottobosco.

Per quanto concerne i fattori edafici, risulta evidente che il forte aumento del rapporto C:N, dovuto alla lenta incorporazione nel suolo di parte del carbone grazie all'azione anche dei vermi di terra, non implica carenze nutrizionali a livello di azoto o eccessiva acidifica-

zione. È probabile che buona parte di questo carbonio sia biologicamente inerte, quindi senza conseguenze negative per lo sviluppo della componente erbacea-arbustiva.

In particolare per i boschi misti di sclerofille e ancor più per quelli di latifoglie con querce, si dimostra quindi che le carbonaie possono contribuire a incrementare l'eterogeneità microspaziale dell'ambiente forestale, formando una fitta rete di "micro-isole" ecologiche capaci di ospitare una componente vegetazionale più ricca e differenziata.

Alla luce di questo, e unitamente al fatto che le carbonaie rappresentano una vivida testimonianza di un'antica forma di uso del bosco ormai scomparsa, sarebbe opportuno considerare la possibilità di adottare misure di conservazione per almeno parte di questi siti, soprattutto nelle aree protette.

Tabella 1. Caratteristiche del suolo (carbonio totale, azoto, rapporto carbonio-azoto e pH) e intensità luminosa (PAR, Photosynthetic Active Radiation) registrate nelle carbonaie (CS) e nei controlli (RS) nei tre tipi di bosco (valore medio \pm deviazione standard). I valori di *p*-value (*p*) indicano la significatività delle differenze, *n* il numero dei siti analizzati.

Table 1. Soil parameters (total carbon, nitrogen, C:N ratio and pH) and light (PAR, Photosynthetic Active Radiation) recorded in charcoal (CS) and reference sites (RS) in the three forest types (mean values \pm standard deviation); *p*-values (*p*) indicate the significance of the difference between site types within each forest type; *n* is the number of sites analysed.

	<i>faggete</i>			<i>querceti misti</i>			<i>sclerofille</i>		
	RS <i>n</i> =19	CS <i>n</i> =19	<i>p</i>	RS <i>n</i> =22	CS <i>n</i> =22	<i>p</i>	RS <i>n</i> =18	CS <i>n</i> =18	<i>p</i>
<i>Suolo</i>									
C tot (%)	4.7 \pm 2.2	7.3 \pm 1.6	<0.001	6.1 \pm 3.3	12.7 \pm 3.7	<0.001	6.0 \pm 3.1	11.2 \pm 2.9	<0.001
N (%)	0.4 \pm 0.2	0.4 \pm 0.1	0.254	0.4 \pm 0.2	0.6 \pm 0.2	0.019	0.4 \pm 0.2	0.5 \pm 0.1	0.019
C/N	11.2 \pm 1.3	17.3 \pm 2.9	<0.001	13.8 \pm 1.7	22.7 \pm 3.4	<0.001	14.9 \pm 2.2	22.5 \pm 3.5	<0.001
pH	5.40 \pm 0.58	5.56 \pm 0.48	0.04	6.16 \pm 1.02	6.39 \pm 0.95	0.36	6.18 \pm 1.00	6.34 \pm 0.98	0.242
<i>Intensità luminosa</i>									
PAR (μ mol/m ² s)	28.2 \pm 40.4	34.8 \pm 39.6	0.29	13.4 \pm 9.3	55.6 \pm 90.3	0.001	21.8 \pm 14.6	43.0 \pm 48.3	0.38

Tabella 2. Effetti delle carbonaie su produttività e diversità γ , α e β della vegetazione erbacea nei tre tipi forestali (media \pm deviazione standard). I valori di produttività sono espressi in termini di biomassa aerea; i valori di γ -diversità sono espressi come numero di specie, quelli di α -diversità ricchezza specifica e indice di Shannon. La β -diversità è misurata come dissimilarità di Lennon media tra tutti i siti all'interno dei gruppi "carbonaie" (CS) e "controlli" (RS) per tipo di bosco. La significatività delle differenze tra carbonaie e controlli per tipo forestale è indicata dal *p*-value (*p*). *n* indica il numero dei siti analizzati.

Table 2. Effects of charcoal sites (CS) on productivity and γ , α e β diversity of the understory vegetation in the three different forest types (mean \pm standard deviation). Productivity as above ground biomass, γ -diversity as pool species number and α -diversity, as means of species richness (SR) and Shannon index (*H'*) are given. β -diversity was calculated as the mean Lennon distance of each site (CS or RS) to other sites within each site type, separately for forest type. Significance of differences between site types or forest type are given (*p*); *n* is the number of sites analysed.

	<i>faggete</i>			<i>querceti misti</i>			<i>sclerofille</i>		
	RS <i>n</i> =19	CS <i>n</i> =19	<i>p</i>	RS <i>n</i> =22	CS <i>n</i> =22	<i>p</i>	RS <i>n</i> =18	CS <i>n</i> =18	<i>p</i>
<i>Produttività</i>									
Biomassa (g m ⁻²)	5.52 \pm 13.04	5.92 \pm 7.68	0.204	7.64 \pm 12.68	20.52 \pm 18	0.005	6.64 \pm 13.44	6.96 \pm 18	0.59
γ -diversità									
Pool specifico	62	77		86	141		48	103	

(Tabella 2. Continua)
 (Table 2. Continued)

<i>α-diversità</i>									
Ricchezza specifica	8.4±4.7	11.5±5.7	0.075	10.7±5.0	19.9±6.6	<0.001	7.3±3.6	12.5±6.0	0.003
Shannon	1.38±0.6	1.50±0.6	0.55	1.60±0.5	1.88±0.5	0.0787	1.35±0.6	1.74±0.5	0.03
<i>β-diversità</i>									
Distanza di Lennon	0.50±0.08	0.58±0.08	0.003	0.51±0.08	0.60±0.05	<0.001	0.43±0.07	0.57±0.07	<0.001

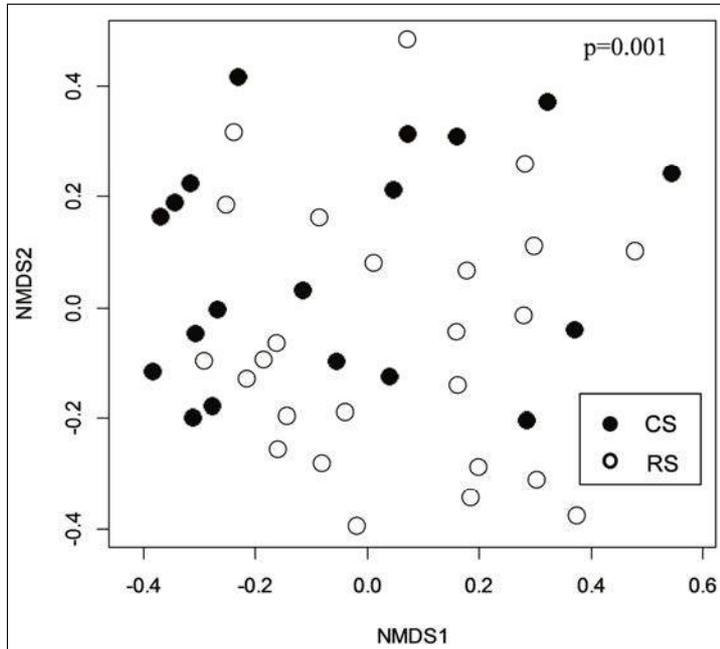


Figura 1. Scatter plot del Non-Metric Multidimensional Scaling che mostra la dissimilarità composizionale, calcolata con la distanza di Bray-Curtis (basata su presenza/assenza e copertura delle specie) tra carbonaie (CS) e controlli (RS) nei querceti misti. Il *p*-value mostrato nel grafico (*p*), indica la significatività della differenza calcolata tramite una PERMANOVA (999 permutazioni).

Figure 1. Non-Metric Multidimensional Scaling showing understorey compositional dissimilarities (using cover-weighted Bray Curtis distance) between charcoal (CS) and reference (RS) sites for oak forests. P-value (*p*) indicates the significance of the difference between site types using PERMANOVA with 999 permutations.

SUMMARY

The ecological role of former charcoal kiln sites for understorey vegetation and tree regeneration in Mediterranean forests

Old charcoal kiln sites are a legacy of possibly the oldest form of anthropic use of temperate forests, continued for centuries in especially Mediterranean countries but today mostly vanished. The results of a study on the effects of these sites on the diversity and productivity of the understorey vegetation (< 1.3 m) and the regeneration of tree species in evergreen and deciduous (oak and beech) forests are here presented. In general, species diversity of the understorey was higher in charcoal kiln sites than in the surrounding stands, and significant differences in the floristic composition were found in especially oak forests. Here, kiln sites are characterized by a higher light availability (PAR), allowing for an enhanced production of understorey biomass. Also, a higher number of tree species was present in these sites, though mostly with 1 or 2 years old seedlings. The content of total C and the C:N ratio were significantly higher in kiln sites, but this did not cause a decrease of N content or soil pH, both also higher. These findings show that charcoal

accumulation in the soil does not have detrimental effects on the understorey community, including young tree seedlings. Though abandoned since decades, kiln sites are still characterized by peculiar conditions that make of them small ecological “islands” where the understorey vegetation and tree regeneration processes differ from the surrounding forest environment. This suggests that conservation measures could be adopted for some of these sites in especially protected areas.

BIBLIOGRAFIA

- Axmanová I., Chytrý M., Zelený D., Li C.-F., Vymazalová M., Danihelka J., Horsák M., Kočí M., Kubešová S., Lososová Z., Otýpková Z., Tichý L., Martynenko V.B., Baisheva E.Z., Schuster B., Diekmann M., 2011 – *The species richness–productivity relationship in the herb layer of European deciduous forests*. *Global Ecology and Biogeography*: 1-11.
<http://dx.doi.org/10.1111/j.1466-8238.2011.00707.x>
- Blondel J., 2006 – *The ‘Design’ of Mediterranean Landscapes: A Millennial Story of Humans and Ecological Systems during the Historic Period*. *Human Ecology*, 34 (5): 713-729.
- Cheng C.H., Lehmann J., Thies J.E., Burton S.D., 2008 –

- Stability of black carbon in soils across a climatic gradient.* Journal of Geophysical Research, 113: G02027. <http://dx.doi.org/10.1029/2007JG000642>
- Deforce K., Boeren I., Adriaenssens S., Bastiaens J., De Keersmaeker L., Haneca K., Tysc 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 (1): 681-689. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jas.2012.07.009>
- Dufrière M., Legendre P., 1997 – *Species assemblages and indicator species: the need for a flexible asymmetrical approach.* Ecological monographs, 67(3): 345-366. <http://dx.doi.org/10.2307/2963459>
- Hermly M., Verheyen K., 2007 – *Legacies of the past in the present-day forest biodiversity: a review of past land-use effects on forest plant species composition and diversity.* In: Sustainability and Diversity of Forest Ecosystems, Springer, Japan, pp. 361-371. http://dx.doi.org/10.1007/978-4-431-73238-9_1
- Ludemann T., 2003 – *Large-scale reconstruction of ancient forest vegetation by anthracology. A contribution from the Black Forest.* Phytocoenologia, 33 (4): 645-666. <http://dx.doi.org/10.1127/0340-269X/2003/0033-0645>
- Ludemann T., 2011 – *Scanning the historical and scientific significance of charcoal production-local scale, high resolution kiln site anthracology at the landscape level.* SAGVNTVM Extra, 11: 23-24.
- Nelle O., 2003 – *Woodland history of the last 500 years revealed by anthracological studies of charcoal kiln sites in the Bavarian Forest, Germany.* Phytocoenologia, 33 (4): 667-682. <http://dx.doi.org/10.1127/0340-269X/2003/0033-0667>
- Nocentini S., Coll H., 2013 – *Mediterranean forests Human use and complex adaptive systems.* In: Managing Forests as Complex Adaptive Systems: Building Resilience to the Challenge of Global Change, pp. 214.