
**XIV Convegno della rete Italiana LCA
IX Convegno dell'Associazione Rete Italiana LCA**

**La sostenibilità della LCA tra sfide globali e
competitività delle organizzazioni**

**Cortina d'Ampezzo
9-11 dicembre 2020**

A cura di Erika Mancuso, Sara Corrado, Arianna Dominici Loprieno, Laura Cutaia

1222 • 2022
800
ANNI



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

ENEA

AGENZIA NAZIONALE PER LE NUOVE TECNOLOGIE,
L'ENERGIA E LO SVILUPPO ECONOMICO SOSTENIBILE

Rete Italiana LCA



La sostenibilità della LCA tra sfide globali e competitività delle organizzazioni

ATTI
del XIV Convegno della rete Italiana LCA -
IX Convegno dell'Associazione Rete Italiana LCA

Cortina d'Ampezzo
9-11 dicembre 2020

A cura di Erika Mancuso, Sara Corrado, Arianna Dominici Loprieno, Laura Cutaia

La sostenibilità della LCA tra sfide globali e competitività delle organizzazioni

Atti del del XIV Convegno della rete Italiana LCA - IX Convegno dell'Associazione Rete Italiana LCA
Cortina d'Ampezzo 9-11 dicembre 2020

A cura di Erika Mancuso, Sara Corrado, Arianna Dominici Loprieno, Laura Cutaia

ISBN: 978-88-8286-416-3

2021 ENEA

Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile

Copertina: Flavio Miglietta

Stampa: Laboratorio Tecnografico ENEA - Centro Ricerche Frascati

5. Aldo Ravazzi Douvan, Università di Roma Tor Vergata - Past President Comitato OCSE: LCA fra strumenti economici e strumenti volontari, imprese e accordi globali

16.00-18.00

SESSIONE I

Sostenibilità Agroalimentare

Chair: Maurizio Cellura, Roberta Salomone

Impronta ambientale delle soluzioni di confezionamento del Grana Padano DOP

Luca Gianelli, *Politecnico di Milano*

Analisi dell'impatto ambientale della produzione di carne bovina in un sistema di allevamento semi-intensivo in Paraguay

Michele Costantini, *Università degli Studi di Milano*

Sviluppo di un database italiano di Life Cycle Inventory dei prodotti agroalimentari: la metodologia

Bruno Notarnicola, *Università degli Studi di Bari Aldo Moro*

Assessment of carbon footprint of Italian red wines

Daniele D'Ammaro, *Università Cattolica del Sacro Cuore, Piacenza*

Lo stoccaggio di carbonio organico nei suoli come indicatore addizionale negli studi di Product Environmental Footprint: il modello RothC applicato a un uliveto biologico in Italia

Valentina Fantin, Serena Righi, *ENEA*

La definizione dei sistemi di prodotto di riferimento negli standard ISO 14000: applicazione nel Passaporto Ambientale per i prodotti agroalimentari della Montagna Vicentina

Alessandro Manzardo, *Università degli Studi di Padova*

Lo stoccaggio di carbonio organico nei suoli come indicatore addizionale negli studi di Product Environmental Footprint: il modello RothC applicato a un uliveto biologico in Italia

Valentina Fantin¹, Alessandro Buscaroli², Patrizia Buttol¹, Elisa Novelli³, Cristian Soldati², Denis Zannoni², Giovanni Zucchi³, Serena Righi²

¹ENEA – Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie, l'Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile, Laboratorio Valorizzazione delle Risorse nei Sistemi produttivi e territoriali (SSPT-USER-RISE), Via Martiri di Monte Sole 4, 40129 Bologna (Italia)

²Centro di Ricerca Interdipartimentale per le Scienze Ambientali – CIRSA, Alma Mater Studiorum Università Bologna, Via S. Alberto 163, 48123 Ravenna (Italia)

³Oleificio Zucchi Spa, Via Acquaviva 12, 26100 Cremona (Italia)

Email: valentina.fantin@enea.it

Abstract

Questo articolo presenta l'applicazione del modello RothC, suggerito dalle Product Environmental Footprint Category Rules (PEFCR) dell'olio di oliva, attualmente in fase di bozza, per il calcolo dello stoccaggio del carbonio organico nel suolo in un'area coltivata ad ulivi della regione Lazio. Il quadro di riferimento è il metodo Product Environmental Footprint (PEF) sviluppato dalla Commissione Europea, che è in fase di sperimentazione all'interno del progetto LIFE EFFIGE. I risultati mostrano che la scelta delle pratiche colturali, ed in particolare delle colture di copertura, può agire come fattore di mitigazione su un orizzonte temporale di un centinaio di anni. Si osserva inoltre che il modello RothC, nonostante permetta di evidenziare informazioni addizionali importanti relative allo stoccaggio di carbonio organico negli studi PEF, richiede un utilizzo di dati e conoscenze tali da metterne in dubbio l'applicabilità in autonomia da parte delle imprese.

1. Introduzione

Il metodo Product Environmental Footprint (PEF) sviluppato dalla Commissione Europea (Commissione Europea, 2013) permette di calcolare le prestazioni ambientali di un prodotto lungo il suo ciclo di vita. Nelle Product Environmental Footprint Category Rules (PEFCR) sono indicate le categorie di impatto da includere nella valutazione, in funzione della specifica categoria di prodotto, e gli indicatori ambientali addizionali che si possono utilizzare. Sono inclusi fra questi ultimi quegli impatti ambientali che non vengono messi in evidenza nei modelli di valutazione di impatto dell'impronta ambientale, quali per esempio la biodiversità

o il carbonio organico nel suolo. Per quest'ultimo aspetto, in particolare, il metodo PEF indica che l'informazione ambientale sia trasmessa separatamente dal conteggio delle emissioni di gas climalteranti. Un esempio di questo approccio si trova nella PEF CR dell'olio di oliva (Technical Secretariat for Olive Oil, 2016), in cui si indica di includere il calcolo del carbonio stoccato nel suolo come "informazione ambientale addizionale" e di utilizzare per il calcolo RothC (Coleman and Jenkinson, 1996), un modello che nasce con lo scopo di valutare il turnover del carbonio nei suoli arabili del Rothamsted Long Term Field Experiments e la cui applicabilità si è estesa nel tempo ad altri ecosistemi (Francaviglia et al, 2013; FAO, 2018). RothC è stato utilizzato recentemente in alcuni studi di Life Cycle Assessment e Carbon Footprint per valutare lo stoccaggio di carbonio in alcune colture (Peter et al., 2016; Yao et al., 2017).

Nell'ambito del progetto LIFE EFFIGE (www.lifeeffige.eu) è in corso lo sviluppo della PEF di una produzione biologica di olio di oliva. In questo contesto si inserisce il lavoro presentato in questo articolo, che consiste nell'applicare il modello RothC per il calcolo dello stoccaggio del carbonio organico nel suolo in un'area coltivata ad ulivi della regione Lazio, con l'obiettivo di valutare: 1) l'influenza di differenti pratiche agricole sullo stoccaggio di carbonio nel suolo; 2) quanto lo stoccaggio di carbonio al suolo sia rilevante in termini di CO₂ equivalente rispetto alle emissioni globali di gas climalteranti del ciclo di vita dell'olio di oliva; 3) l'applicabilità del modello negli studi PEF.

2. Applicazione del modello RothC ad un uliveto nel Lazio

2.1. Il modello Roth C

Il modello RothC simula il turnover del carbonio organico in un suolo non saturo di acqua, in funzione del tipo di suolo, della temperatura, del contenuto di umidità e della copertura vegetale (Coleman and Jenkinson, 1996). RothC permette di stimare le dinamiche degli stock di carbonio (in tC·ha⁻¹) attraverso la conoscenza di variabili climatiche, pedologiche e di gestione e uso del suolo. Il calcolo delle variazioni di carbonio organico del suolo (SOC – Soil Organic Carbon) avviene mediante equazioni matematiche che ne descrivono i processi fisici e chimici coinvolti. RothC suddivide il SOC in quattro pool attivi (Materiale vegetale decomponibile – DPM; Materiale vegetale resistente – RPM; Biomassa microbica – BIO; Materia organica umificata - HUM) e un pool relativo alla materia organica inerte (Inert Organic Matter – IOM) non coinvolto nei processi di turnover. I pool attivi DPM, BIO, RPM e HUM hanno tempi di turnover rispettivamente di: 0,1; 1,5; 3,3 e 50 anni (Jenkinson, 1990). Il carbonio proveniente dalle piante è diviso nei pool DPM e RPM, secondo il rapporto DPM/RPM caratteristico di ogni coltura. I pool di carbonio DPM e RPM in seguito si decompongono dando origine a CO₂, BIO e HUM. La ripartizione tra CO₂ e BIO+HUM (46% BIO e 54% HUM) è determinata dal contenuto in argilla del suolo. BIO e HUM a loro volta si decompongono ulteriormente in CO₂, BIO e HUM. Nelle simulazioni RothC restituisce a intervalli mensili i valori di SOC e dei quattro pool che lo costituiscono, oltre al carbonio emesso come CO₂. Questo permette di valutare, all'interno di simulazioni variabili da anni a secoli, la ripartizione dei pool di

carbonio e la loro variazione nel tempo. In input il modello necessita dei seguenti parametri a cadenza mensile: precipitazione ed evapotraspirazione potenziale (mm); temperatura media ($^{\circ}\text{C}$); grado di copertura del suolo (nudo o vegetato); apporti di carbonio da residui colturali ($\text{tC}\cdot\text{ha}^{-1}$) con il relativo rapporto DPM/RPM; apporti di carbonio da letamazioni ($\text{tC}\cdot\text{ha}^{-1}$). I parametri relativi al suolo sono invece la concentrazione di argilla (%); la profondità di lavorazione del suolo (cm) e il contenuto di IOM ($\text{tC}\cdot\text{ha}^{-1}$) calcolato dal valore iniziale del SOC misurato dall'analisi di laboratorio.

1.1. Dati raccolti e descrizione degli scenari

L'area in esame si trova nella provincia di Roma ed è caratterizzata da una produzione olivicola biologica. La situazione analizzata nel caso studio è rappresentativa delle pratiche di coltivazione e rese di produzione di questa area.

Il primo scenario analizzato (Scenario 1) è relativo all'attuale gestione agricola dell'area in esame, in cui sono presenti residui di potatura degli ulivi e colture di copertura, rappresentate da un prato polifita. Nel secondo scenario (Scenario 2) si assume che il prato polifita venga sostituito da favino, in modo da valutare come questa diversa pratica agricola influenzi lo stoccaggio di carbonio nel suolo. In entrambi gli scenari, la profondità di lavorazione del suolo è di 15 cm, pari al valore massimo raggiunto dagli interventi di erpicatura svolti in azienda. Il modello è stato applicato utilizzando una combinazione di dati sito-specifici e di letteratura.

I dati climatici (temperature medie e precipitazioni dell'area studiata) sono stati ricavati dal sito Arsiad della Regione Lazio e sono riferiti agli anni 2016 e 2017 (Regione Lazio, 2019). In assenza di dati primari, l'evapotraspirazione potenziale mensile è stata calcolata a partire dai dati meteorologici contenuti in Muller (1982) relativi al sito di Roma. Per i dati pedologici, si sono utilizzate le analisi chimico-fisiche di un campione di suolo rappresentativo dell'area oggetto dello studio. Sono stati considerati in particolare l'argilla (33%) e il valore di carbonio organico totale (1,33%), dal quale, previa la stima della densità apparente (Saxton and Rawls 2006), è stato calcolato il SOC misurato iniziale ($29 \text{ tC}\cdot\text{ha}^{-1}$). Si è inoltre stimato che dal mese successivo all'erpicatura il suolo risulti scoperto per un periodo di circa 5 mesi (da giugno a ottobre). L'apporto di carbonio derivante da residui di potatura degli ulivi, pari a $0,50 \text{ tC}\cdot\text{ha}^{-1}$, è stato calcolato a partire da un valore medio di residui ($2,2 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) (Di Blasi et al., 1997), considerando un contenuto di umidità del 50% e un contenuto di carbonio organico pari al 45% (Farina et al., 2018). Per quanto riguarda le colture di copertura, e in particolare per il prato polifita nello Scenario 1, si è considerato che l'intera pianta, una volta erpicata, rimanga sul suolo. Per calcolare l'apporto di carbonio del prato polifita, si sono dapprima calcolati la resa per ettaro derivante dallo sfalcio effettuato (Grain Dry Weight - GDW), la resa dei residui per ettaro soprasuolo (Aboveground residues - AGR) e la resa dei residui per ettaro sottosuolo (Belowground residues - BGR) (Stewart et al., 2007), considerando una resa del prato pari a $18 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ (CREA, 2019) e un contenuto di umidità del 91% (Francaviglia et al., 2013). In seguito, tali valori sono stati moltiplicati per il contenuto di carbonio organico del prato polifita (45%) (Farina et al., 2018), e

ridotti a 2/3 in quanto dalle fotointerpretazioni delle immagini satellitari (Google earth) si è osservato che l'area coltivata a ulivo risulta disomogenea come copertura del manto erboso. Ciò ha permesso di ottenere un apporto di carbonio derivante dal prato polifita pari a $0,9 \text{ tC}\cdot\text{ha}^{-1}$. In modo analogo, si è calcolato l'apporto di carbonio derivante dall'uso del favino nello Scenario 2, considerando: una resa media di $4,5 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ (Istruzione Agraria online, 2020) di residui lasciati dalla pianta del favino dopo la raccolta della granella, una resa media della granella di $2,5 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ e un'umidità del 12,5% (Agriservice S.p.A., 2020). I valori di GDW, AGR e BGR sono stati poi moltiplicati per 0,45 (contenuto di C nel favio) e ridotti a 2/3, come per il prato polifita, ottenendo $3,8 \text{ tC}\cdot\text{ha}^{-1}$ quale apporto totale di carbonio dal favino. Seguendo le indicazioni del manuale di RothC (Coleman and Jenkinson, 2014), ai residui di potatura si è attribuito un rapporto DPM/RPM pari a 0,25 (biomassa più ricca di lignina), mentre per le colture di copertura (prato polifita e favino) si è scelto 1,44 (biomassa più ricca in cellulosa). Dovendo fornire al software un valore unico, si è calcolato un dato medio del rapporto DPM/RPM, pesandolo rispetto ai rispettivi apporti di carbonio organico, ottenendo un valore di 1,02 per lo scenario 1 e 1,30 per lo scenario 2. Negli Scenari 1 e 2, gli apporti di carbonio da residui di potatura degli ulivi sono presenti in gennaio, febbraio e marzo, mentre quelli da colture di copertura sono presenti a maggio al momento dell'erpicoltura per il prato polifita (Scenario 1), e a giugno al momento della raccolta per il favino (Scenario 2).

2. Risultati e discussione

Le Figure 1 e 2 mostrano i risultati, relativi agli scenari 1 e 2 rispettivamente, dell'andamento dei pool di carbonio ottenuto con RothC, utilizzando simulazioni di 1000 anni, con restituzione del dato al temine di ogni anno. Nello Scenario 1 il pool DPM si azzerava prima della fine di ogni anno, mentre nello Scenario 2 permane un piccolo stock ($5,2\text{E}-03 \text{ tC}\cdot\text{ha}^{-1}$) mantenuto costante dall'apporto del favino. I valori nulli o esigui di questo pool sono spiegati dal suo veloce turnover. Nello Scenario 2 si evidenzia un aumento di tutti gli altri pool (HUM, RPM e BIO), seppur in diversa misura e con diversi tempi di assestamento all'equilibrio. Questo si traduce in un aumento del SOC, che arriva a $45 \text{ tC}\cdot\text{ha}^{-1}$. Per contro, si può osservare come nello Scenario 1, si abbia una diminuzione del SOC che da un valore di carbonio pari $29 \text{ tC}\cdot\text{ha}^{-1}$, corrispondenti all'attuale gestione agricola dell'uliveto, scende fino a $11 \text{ tC}\cdot\text{ha}^{-1}$.

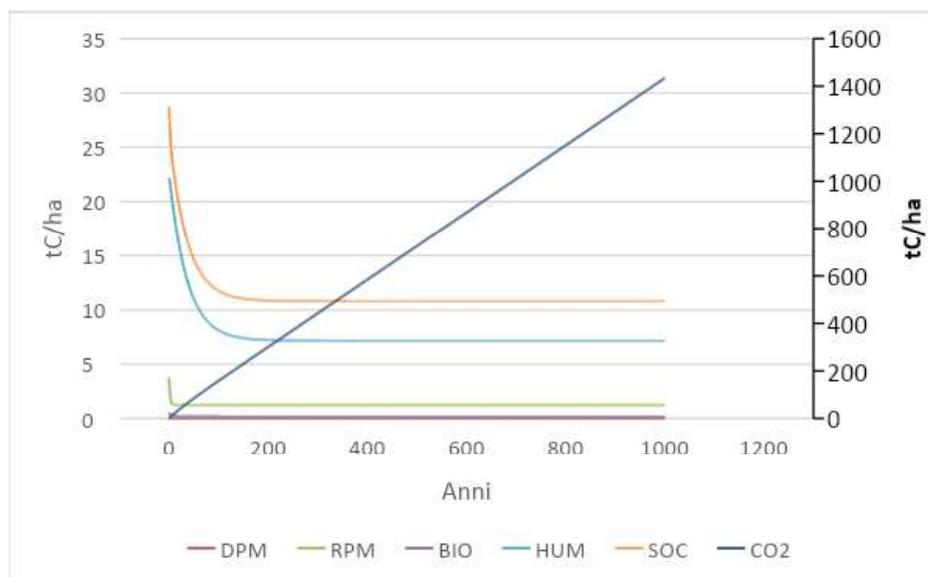


Figura 1: La Figura 1 si riferisce allo Scenario 1. Le ordinate di sinistra e di destra sono espresse in tC/ha e si riferiscono rispettivamente ai valori dei pool di carbonio, nella fattispecie a DPM, RPM, BIO, HUM e SOC e ai valori cumulati del C emesso sottoforma di CO2. In ascissa vi è il tempo di simulazione di 1000 anni con step annuali. Si osservi come il pool di SOC si riduca da 29tC/ha a 11 tC/ha, raggiungendo valori costanti dopo circa 447 anni, mentre il valore cumulato del C emesso sottoforma di CO2 presenta un andamento crescente pressoché lineare che raggiunge le 1434 tC/ha.

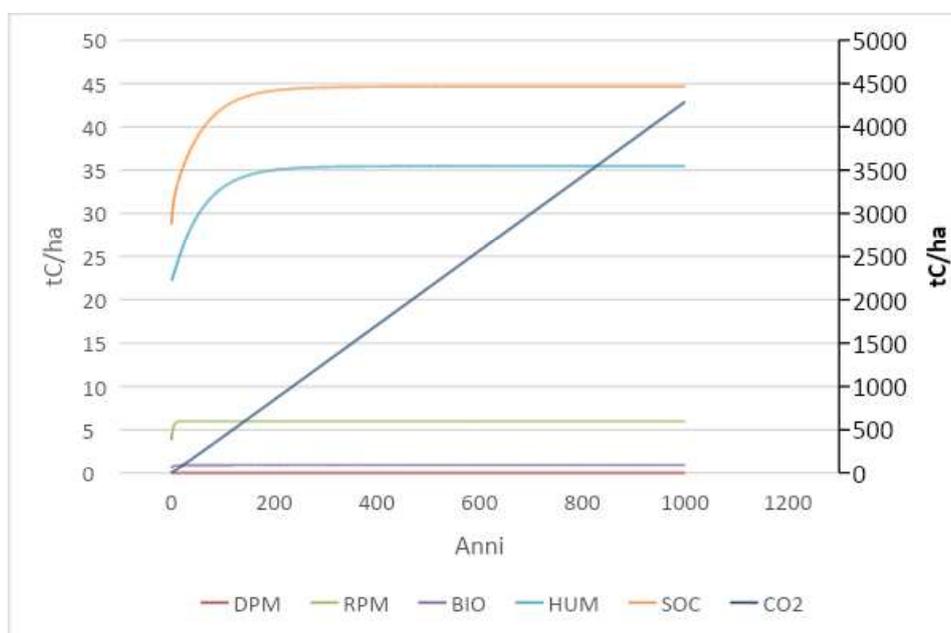


Figura 2: La Figura 2 si riferisce allo Scenario 2. Le ordinate di sinistra e di destra sono espresse in tC/ha e si riferiscono rispettivamente ai valori dei pool di carbonio, nella fattispecie a DPM, RPM, BIO, HUM e SOC e ai valori cumulati

del C emesso sottoforma di CO₂. In ascissa vi è il tempo di simulazione di 1000 anni con step annuali. Si osservi come il pool di SOC aumenti da 29tC/ha a 45 tC/ha, raggiungendo valori costanti dopo circa 745 anni, mentre il valore cumulato del C emesso sottoforma di CO₂ presenta un andamento crescente pressoché lineare che raggiunge le 4289 tC/ha.

I risultati riguardanti le variazioni di SOC ottenuti con RothC sono in seguito stati utilizzati per valutare se lo stoccaggio di carbonio sia rilevante in termini di CO₂ equivalente rispetto alle emissioni totali di gas climalteranti della produzione di olio di oliva. In particolare, si sono utilizzati i valori della categoria di impatto Global Warming Potential a 100 anni (GWP100) dello studio di Iraldo et al. (2014), considerando che si riferisce alla stessa area dello studio qui analizzato. Considerando che in questo studio la produzione annuale di olive è pari a circa 2,7 t•ha⁻¹ e la resa di produzione di olio è pari al 15%, si ottiene un valore di 1,5 t CO₂ eq. •ha⁻¹ per anno. I valori del SOC relativi a 100 anni ottenuti con RothC sono pari a 12 tC ha⁻¹ per lo Scenario 1 e 42 tC•ha⁻¹ per lo Scenario 2. Si è quindi applicata la seguente formula per il calcolo della variazione annuale di SOC in un tempo di 100 anni (Yao et al., 2017):

$$\Delta SOC (tC ha^{-1}y^{-1}) = \frac{SOC_{finale}(tC ha^{-1}) - SOC_{iniziale}(tC ha^{-1})}{T (y)}$$

Dove T(y) è il periodo di tempo tra il valore finale e il valore iniziale di SOC, ossia 100 anni, SOC_{finale} è il valore di SOC al tempo T(y) e SOC_{iniziale} è il SOC fornito dall'analisi chimico-fisica (29 tC•ha⁻¹). La variazione ΔSOC è pari a -0,17 tC•ha⁻¹y⁻¹ per lo Scenario 1 e 0,13 tC•ha⁻¹y⁻¹ per lo Scenario 2, che equivalgono a -0,62 t CO₂ eq. •ha⁻¹y⁻¹ e 0,49 t CO₂ eq. •ha⁻¹y⁻¹, rispettivamente. Nello Scenario 2, quindi, grazie all'introduzione del favino come coltura di copertura, vi è un importante stoccaggio netto annuo di carbonio.

I risultati evidenziano anche che la coltivazione biologica non è necessariamente sinonimo di “protezione del carbonio presente nel suolo”, sebbene alcune pratiche agronomiche tipiche della gestione biologica (es.: colture di copertura, minima lavorazione e fertilizzazione organica) conducano generalmente ad un minor rischio di depauperamento del SOC, rispetto alla gestione convenzionale (Lynch, 2014). Se si attua un sistema di coltivazione biologica, ma gli apporti di carbonio sono insufficienti a mantenere in equilibrio il carbonio nel suolo, si ha comunque depauperamento del suolo stesso, come osservato anche in Hábová et al. (2019) e Kirchmann et al. (2007).

Infine, è necessario fare alcune osservazioni sull'applicabilità di RothC negli studi PEF. L'uso del modello da parte delle imprese, a cui il metodo PEF si rivolge primariamente, è limitato dal fatto che alcuni dei dati necessari non sono in possesso dell'azienda (es. dati climatici, calcolo dell'apporto di residui colturali, evapotraspirazione, ecc.), ma devono essere reperiti in banche dati e letteratura scientifica. Inoltre, l'interpretazione dei risultati di RothC richiede conoscenze dell'algoritmo su cui è basato il modello, che difficilmente le imprese possiedono, e/o il supporto di un esperto pedologo e/o agronomo. Per questi motivi si ritiene

che il ricorso a RothC per il calcolo dello stoccaggio della CO₂ nel suolo, indicato nella bozza di PEF_{CR} dell'olio di oliva come strumento per l'azienda che intenda produrre dataset specifici relativi alla coltivazione delle olive, non sia allineato rispetto all'obiettivo di una facile applicazione e una maggior diffusione del metodo PEF nelle imprese, soprattutto se piccole e medie.

3. Conclusioni

L'applicazione del modello RothC ad un'area coltivata ad ulivo nel Lazio ha permesso di mettere in luce che il rispetto del disciplinare di coltivazione biologica non garantisce di per sé che sia preservata la qualità del suolo in termini di contenuto di carbonio organico e che la scelta delle colture di copertura (per esempio prato polifita o favino) è tra i fattori che possono fare la differenza rispetto a questo tema. Dati i valori in gioco relativi alla quantità di CO₂ associata al carbonio organico stoccato nel suolo, la scelta delle pratiche colturali può agire come fattore di mitigazione su un orizzonte temporale di un centinaio di anni.

Infine, il modello RothC, nonostante permetta di evidenziare informazioni addizionali importanti relativi allo stoccaggio di carbonio organico negli studi PEF, richiede un utilizzo di dati e conoscenze tali da metterne in dubbio l'applicabilità in autonomia da parte delle imprese, a cui il metodo PEF invece si rivolge.

Ringraziamenti

Questa attività è stata svolta all'interno del progetto LIFE EFFIGE (Environmental Footprint for Improving and Growing Eco-efficiency, LIFE16 ENV/IT/000172), cofinanziato dal programma LIFE dell'Unione Europea.

4. Bibliografia

Agriservice S.p.A, 2020. Caratteri botanici, biologia, esigenze ambientali, avversità e principali rimedi, varietà più diffuse, tecnica colturale. Disponibile su: <https://www.agroservicespa.it/>

Centro di Politiche e Bioeconomia (CREA), 2020. Disponibile su: http://polaris.crea.gov.it/psr_2014_2020/Regioni/UMBRIA/ANNUALITA2016/MIS_2015/SOTTOMIS.1/OPERAZIONE%204.1.1/UMB_M4.1.1_2017_All_A3_Tab_Produs_Media_Colture_Foraggiere.pdf

Coleman, K., Jenkinson, D.S., 1996. RothC-26.3 – A model for the turnover of carbon in soil. In Powlson, D.S., Smith, P., Smith, J.U., (Eds), Evaluation of Soil Organic Matter Models Using Existing Long-Term Dataset. Springer-Verlag, Heidelberg, 237-246. https://doi.org/10.1007/978-3-642-61094-3_17.

Coleman, K., Jenkinson, D.S., 2014. RothC-26.3 – A model for the turnover of carbon in soil. Model description and user guide (Windows version). Rothamsted Research, Harpenden Herts ALQ 2JQ, UK. https://www.rothamsted.ac.uk/sites/default/files/RothC_guide_WIN.pdf

di Blasi C., Tanzi V., Lanzetta M., 1997. A study on the production of agricultural residues in Italy. Biomass and Bioenergy. 12, 321-331.

FAO, 2018. Measuring and modelling soil carbon stocks and stock changes in livestock production systems – Guidelines for assessment (Draft for public review). Livestock Environmental Assessment and Performance (LEAP) Partnership. FAO, Rome, Italy. <http://www.fao.org/3/I9693EN/i9693en.pdf>

Farina R., Testani E., Campanelli G., Leteo F., Napoli R., Canali S., Tittarelli F., 2018. Potential carbon sequestration in a Mediterranean organic vegetable cropping system. A model approach for evaluating the effects of compost and Agro-ecological Service Crops (ASCs). *Agricultural Systems*, 162, 239-248.

Francaviglia, R., Baffi, C., Nassisi, A., Cassinari, C., Farina, R., 2013. Use of the “RothC” model to simulate soil organic carbon dynamics on a silty-loam inceptisol in northern Italy under different fertilization practices. *Environmental quality*, 11, 17-28. <https://doi.org/10.6092/issn.2281-4485/4085>.

Hábová M., Pospíšilová L., Hlavinka P., Trnka M., Barančíková G., Tarasovičová Z., Takac J., Koco J., Menšík L., Nerušil P., 2019. Carbon pool in soil under organic and conventional farming systems. *Soil and Water Research* 14, 145–152.

Iraldo, F., Testa, F., Bartolozzi, I., 2014. An application of Life Cycle Assessment (LCA) as a green marketing tool for agricultural products: the case of extra-virgin olive oil in Val di Cornia, Italy. *Journal of Environmental Planning and Management*, 57, 78-103. <https://doi.org/10.1080/09640568.2012.735991>.

Istruzione Agraria online, 2020. Disponibile su: <http://www.agraria.org/coltivazionierbacee/fava.htm>.

Kirchmann H., Bergström L., Kätterer T., Mattsson L., Gesslein, S., 2007. Comparison of Long-Term Organic and Conventional Crop–Livestock Systems on a Previously Nutrient-Depleted Soil in Sweden. *Agronomy Journal*, 99, 960-972.

Lynch D., 2014. Sustaining soil organic carbon, soil quality, and soil health in organic field crop management systems. In Martin R. C., MacRae R., (Eds), *Managing energy, nutrients and pests in organic field crops*. CRC Press, Taylor and Francis Group, 107-131.

Muller. J. 1982. Selected climatic data for a global set of standard stations for vegetation science. Springer Netherlands.

Jenkinson, D.S., 1990. The turnover of organic carbon and nitrogen in soil. *Phil. Trans. R. Soc. London Ser. B*, 329, 361-369.

Peter C., Fiore A., Hagemann U., Nendel C., Xiloyannis C., 2016. Improving the accounting of field emissions in the carbon footprint of agricultural products: a comparison of default IPCC methods with readily available medium-effort modelling approaches. *Int J Life Cycle Assess*, 21,791–805

Regione Lazio, 2019. SIARL Arisial: dati agrometeorologici della Regione Lazio. Disponibile su: <http://www.arsial.it/portalearsial/agrometeo/D3.asp#>

Saxton, K. E., Rawls, W. J., 2006. Soil water characteristic estimates by texture and organic matter for hydrologic solutions. *Soil Science Society of America Journal*, 70(5), 1569–1578. <https://doi.org/10.2136/sssaj2005.0117>

Stewart E., Paustian K., Conant R. T., Plante A. F., Six J., 2007. Soil carbon saturation: concept, evidence and evaluation. *Biogeochemistry*, 86, 19-31.

Technical Secretariat for Olive Oil, Product Environmental Footprint Category Rules for Olive Oil, 3rd Draft, Draft version 0.5, 22/09/2016, Editors: Erwin M. Schau (European Commission, Joint Research Centre), Juan Antonio Polo Palomino (CO2Consulting), George Michalopoulos (RodaxAgro) & Carlo Russo (University of Foggia).

Yao Z., Zhang D., Yao P., Zhao N., Liu N., Zhai B., Zhang S., Li Y., Huang D., Cao W., Gao Y., 2017. Coupling life-cycle assessment and the RothC model to estimate the carbon footprint of green manure-based wheat production in China. *Science of the Total Environment* 607–608, 433–442.