



ATTI

X Convegno dell'Associazione Rete Italiana LCA
XV Convegno della Rete Italiana LCA

INNOVAZIONE E CIRCOLARITÀ

Il contributo del *Life Cycle Thinking*
nel Green Deal per la neutralità climatica



22-24 settembre 2021

**Università Mediterranea
di Reggio Calabria**

Via dell'Università, 25
Reggio Calabria



ATTI

X Convegno dell'Associazione Rete Italiana LCA
XV Convegno della Rete Italiana LCA

INNOVAZIONE E CIRCOLARITÀ

Il contributo del *Life Cycle Thinking*
nel Green Deal per la neutralità climatica

22-24 settembre 2021

**Università Mediterranea
di Reggio Calabria**

Via dell'Università, 25
Reggio Calabria

© 2022 Associazione Rete Italiana LCA

Publicato da: Associazione Rete Italiana LCA

Data di pubblicazione: 2022

Paese di pubblicazione: Italia

Lingua: Italiano

Formato dell'e-book: PDF

ISBN: 9791221004564

LCA e Emergy come strumenti di individuazione e valorizzazione di pratiche agricole circolari: un caso studio in Toscana

Gaia Esposito^{2,3,*}, Matteo Maccanti³, Nadia Marchettini^{2,3}, Elena Neri^{1,2,3},
Riccardo M. Pulselli^{1,2}, Federico M. Pulselli³

Abstract: Il presente studio espone i risultati di un'analisi congiunta di Life Cycle Assessment ed Emergy in ambito agroalimentare. Lo scopo di questo lavoro è stato quello di indagare la sostenibilità ambientale del modello di gestione di un'azienda agricola in Provincia di Siena, peculiare per il suo sistema agricolo caratterizzato da una produzione altamente differenziata, gestione integrata delle diverse attività aziendali ed elementi di circolarità. La discussione dei risultati è stata incentrata sui due prodotti più rappresentativi del sistema aziendale, il latte di vacca e di capra, i quali hanno evidenziato migliori prestazioni ambientali rispetto a prodotti di riferimento, in quanto il sistema integrato e le buone pratiche di gestione incidono positivamente sui risultati.

1. Introduzione

Il settore agroalimentare determina impatti rilevanti sull'ambiente attraverso l'utilizzo di risorse e produzione di emissioni (Cellura et al., 2011). Secondo il Report IPCC (2019) il 16-27% di tutte le emissioni antropogeniche di gas ad effetto serra (GHG) a livello globale è legato a questo settore. Un'economia circolare deve mirare al graduale disaccoppiamento dell'attività economica dal consumo di risorse limitate, e prendere le misure necessarie a ridurre gli sprechi e minimizzare i rifiuti prodotti dal sistema (Ellen MacArthur, 2015). Anche nel settore agroalimentare, la transizione verso un'economia circolare è un'opportunità per sviluppare tecnologie innovative e nuove pratiche commerciali (Toop et al., 2017). Toop et al. (2017) hanno rilevato l'importanza di progettare dei processi che riducano a monte la produzione di rifiuti, e dove non fosse possibile, riuscire predisporre il recupero all'interno del sistema, come se fossero coprodotti della produzione. Gli strumenti maggiormente utilizzati per la valutazione di un sistema agricolo restano ancora quelli economici, basati sulla produzione di ricchezza e il ritorno economico (Fonseca et al., 2019), ma questi approcci si sono dimostrati insufficienti per garantire la protezione ambientale (Costanza et al., 1997). L'applicazione in parallelo di due metodologie di contabilità ambientale, LCA e Emergy, fornisce una prospettiva completa, evidenziando il contributo diretto e indiretto in termini di capitale naturale e di servizi ecosistemici (Buonocore et al., 2015), oltre agli impatti legati al contributo antropico. Le due metodologie possono essere condotte in parallelo, ottenen-

¹ INDACO2 srl

² LABORIOSO, Laboratorio di Ricerca Congiunto, Università degli Studi di Siena

³ Ecodynamics Group, Università degli Studi di Siena

* Email: gaia.esposito@student.unisi.it

do delle informazioni complete riguardo la sostenibilità ambientale, sia in termini di risorse utilizzate che di impatti generati lungo il ciclo di vita di un certo prodotto (Santagata et al., 2020). Al fine di valutare le prestazioni ambientali, il livello di sostenibilità in modo più ampio e completo ed evidenziare i vantaggi derivanti da soluzioni di economia circolare, le due metodologie, LCA e Emergy, sono state applicate ad un caso studio in Toscana e interpretate in forma integrata. L'azienda oggetto dello studio, presenta caratteristiche peculiari quali la molteplicità delle produzioni, la presenza di coproduzioni ed elementi di circolarità, filiera corta, ed altro.

2. Materiali e metodi

2.1. L'oggetto dello studio: l'azienda

Poggio di Camporbiano è un'azienda agricola toscana, situata tra le colline di Gambassi Terme (Firenze) e San Gimignano (Siena). Si estende per circa 300 ettari, di cui 150 ettari sono aree coltivate, il resto è bosco e pascolo. La gestione è portata avanti da una cooperativa di 16 soci, che vivono e lavorano in azienda con le loro famiglie, e 16 dipendenti, di cui tre giovani extracomunitari che l'azienda ha assunto, contribuendo così alla loro integrazione. L'etica del loro stile di vita scaturisce da un profondo rispetto per l'ambiente, per i ritmi naturali e si riflette fortemente nel loro lavoro e nell'azienda. Il sistema produttivo segue un regime di produzione certificato biologico (Regolamento CE 2092/91) e biodinamico (Demeter). Le scelte etiche della direzione fanno sì che tutte le tecniche di produzione si spingano oltre i regolamenti delle norme di certificazione, adottando soluzioni che rendono l'azienda unica nel suo genere. Il sistema agricolo di Camporbiano ha una produzione altamente differenziata, a partire dalla coltivazione fino alla fase di trasformazione. In campo si coltivano molti tipi di cereali e legumi (i.e. a rotazioni di 7-8 anni), come grano duro, grano tenero, miglio, erba medica, girasole, ecc. oltre a ortaggi e frutta (i.e. ciliegie, prugne, albicocche, mele). La maggior parte delle varietà coltivate sono tradizionali e autoctone, selezionate anche per caratteristiche organolettiche. Il cuore dell'azienda è l'attività di allevamento di bovini e capre. Attualmente sono presenti in azienda 80 bovini e 90 capre, allevati unicamente allo scopo di produrre latte. Gli animali hanno grandi stalle (con lettiera a paglia e scarti della lavorazione dei cereali) e spazi aperti dedicati. In particolare, le vacche trascorrono circa 4 mesi al pascolo, a differenza delle capre che invece restano in stalla. L'alimentazione si basa prevalentemente su fieno ed erba medica prodotti in azienda, più gli scarti delle lavorazioni dei cereali e una piccola quantità di orzo biologico acquistato. L'azienda punta molto al benessere animale, infatti le stalle sono munite di ventilatori, anche se aperte su tutti i lati, e di zone "massaggio". Tutta la produzione è a filiera corta. I prodotti della coltivazione ed il latte sono trasformati direttamente in azienda (e.g. impianti di decorticazione, mulini per i cereali, frantoio per l'olio di girasole, un laboratorio per le conserve, caseificio), con l'impiego di energia elettrica da fotovoltaico per circa il 50%. La vendita avviene prevalentemente in azienda o in piccoli mercati locali. Nel 2014 la stessa cooperativa ha avviato un nuovo progetto, inaugurando un'azienda gemella in Brasile, dimostrando come il modello toscano sia riproducibile.

Per motivi di sintesi, sarà presentata l'analisi sui prodotti da allevamento (i.e. latte di vacca e di capra), in quanto racchiudono al loro interno tutto quello che accade in azienda a monte.

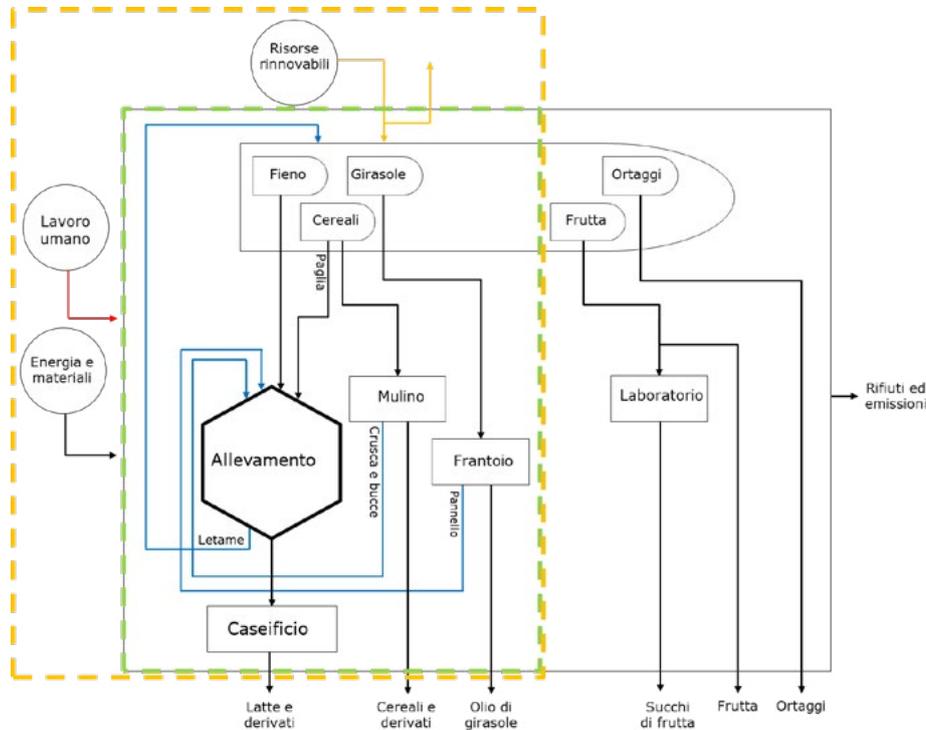
3. Metodologie: Life Cycle Assessment ed Emergy Evaluation

Lo scopo dell'analisi è stato la valutazione del livello di sostenibilità ambientale del sistema agricolo Poggio di Camporbiano che emerge dalla valutazione dei prodotti dell'allevamento (i.e. latte). I confini del sistema sono del tipo "from cradle to gate", e le unità funzionali (UF) sono 1 L di latte di vacca e di capra. I dati sono tutti primari, raccolti tramite intervista diretta in azienda e questionari, e riferiti all'anno 2018. I risultati sono stati elaborati utilizzando il software LCA SimaPro 9.1.1, database EcoInvent v.3.6. L'analisi, per richiesta aziendale, si è inizialmente focalizzata sull'indicatore GWP100 (metodo di calcolo IPCC GWP100a). L'Emergy (embodied energy) è stata applicata per evidenziare lo sforzo della natura per produrre le risorse che poi saranno utilizzate. L'Emergy è definita come la quantità di energia solare utilizzata, direttamente o indirettamente, per produrre un bene o un servizio (Odum, 1996). La principale caratteristica di questa metodologia è quella di riuscire a contabilizzare anche i flussi relativi alle risorse naturali necessarie a produrre un bene, poiché ogni input può essere convertito in un'unica unità di misura confrontabile, il solar emergy joule (sej). Inoltre, con questa metodologia è possibile tenere conto della caratteristica di rinnovabilità delle risorse utilizzate (%R) e della loro provenienza. I risultati ottenuti sono espressi in indicatori di eco-efficienza definiti Unit Emergy Value (UEV, espresso in sej/unità) ossia l'energia solare necessaria per generare un'unità di prodotto. L'Emergy e l'LCA condividono un approccio sistemico e metodologico dello studio del ciclo di vita del prodotto. L'inventario di base utilizzato per l'LCA è stato implementato con le informazioni utili al calcolo dell'Emergy (i.e. energia solare, pioggia, vento, calore geotermico, lavoro umano e percentuali di rinnovabilità).

3.1. System Boundaries e assunzioni

Nella Fig. 1 è rappresentato il diagramma di flusso semplificato, realizzato integrando la simbologia energetica a quello dell'LCA. In base al numero e al tipo di interazioni tra le varie attività aziendali è stato osservato che l'allevamento rappresenta il nucleo dell'azienda, in cui si evidenzia l'approccio di gestione integrata, circolare, tipica di questo sistema. I prodotti dell'allevamento sono stati scelti come rappresentativi del sistema poiché in essi confluiscono sia i flussi provenienti direttamente dalla fase di coltivazione dei mangimi che i flussi *circolari* (e.g. scarti della trasformazione dei prodotti della coltivazione che sono reimpiegati nell'allevamento, frecce blu in Fig.1), nonché il lavoro umano e gli altri input esterni. La fase di allevamento comprende la gestione dei capi e della stalla, dalla quale esce il flusso relativo al latte di vacca e di capra (il quale sarà processato per produrre latte e formaggi) ed il flusso "feedback" del letame (che è reimpiegato come fertilizzante nella coltivazione).

Figura 1 – Diagramma di flusso semplificato del sistema aziendale. I confini tratteggiati in verde sono i confini del sistema considerati per l’LCA, mentre in giallo quelli per l’Emergy. I flussi evidenziati in giallo e rosso sono gli input relativi alle risorse considerate dall’analisi emergetica. In blu i flussi circolari della gestione integrata aziendale.



L’approccio metodologico ai flussi circolari e feedback è differente tra l’LCA e l’Emergy. Per quanto riguarda l’LCA, nelle valutazioni dei flussi relativi a “scarti” di lavorazione (i.e. crusca, bucce dei cereali, pannello di girasole), è stata effettuata un’allocazione in massa poiché lo “scarto” è considerato come co-prodotto (i.e. mangime per l’allevamento). Al contrario, gli impatti della paglia e delle bucce utilizzate come lettiera sono stati allocati totalmente al prodotto principale della produzione (i.e. granella). Inoltre, al latte prodotto annualmente dagli animali (i.e. munto per il caseificio e nutrimento per i piccoli) è stata eseguita una ripartizione per massa del 23% e 77% (rispettivamente quantità per i vitelli/capretti e per la trasformazione), dato in linea con lo studio di Neri e Pulselli, 2018. Nel calcolo sono state incluse le emissioni relative alle fermentazioni enteriche degli animali, alla gestione del letame ed allo spandimento delle deiezioni nei campi (i.e. linee guida IPCC, 2006, 2019). In merito alla valutazione emergetica, gli scarti reimpiegati sono stati considerati utilizzando l’approccio dell’investimento (Patrizi et al., 2015), ovvero tutto ciò che è necessario aggiungere affinché uno scarto obbligatoriamente prodotto possa essere utilizzabile, escludendo ciò che è a monte della sua produzione. Ad esempio, per calcolare l’emergy della paglia prodotta in azienda è stato necessario considerare solo gli input (i.e. gasolio e rete per balle), senza considerare quelli per la coltivazione del grano (i.e. attribuiti tutti al grano). Per quanto riguarda i feedback, nell’emergy essi sono considerati dei flussi totalmente “gratuiti”.

4. Risultati e discussione

In totale, lo studio del sistema agricolo ha condotto all'analisi di 45 prodotti e coprodotti, appartenenti a diverse categorie (i.e. ortaggi, cereali e derivati, frutta, succhi di frutta, olio di girasole, latte e derivati). Nello specifico saranno esposti i risultati per i due prodotti scelti come rappresentativi del sistema aziendale, ovvero il latte di vacca e di capra (Tab.1).

Tabella 1 – Risultati degli indicatori GWP100, UEV e %R per 1 L dei prodotti latte di vacca e di capra.

	GWP100	UEV	
	kg CO ₂ eq	sej/g	%R
Latte di vacca	0.875	8.72E+08	50%
Latte di capra	1.232	1.03E+09	49%

Nelle figure 2 e 3 è possibile individuare il contributo percentuale delle diverse tipologie di input sul totale e gli hotspot dei processi produttivi rispettivamente del latte di vacca e di capra nelle due analisi. Nel calcolo del GWP100 non sono incluse le risorse rinnovabili ed il lavoro umano, come in emergy non sono considerate le emissioni da fermentazione enterica e deiezioni.

Figura 2 – Grafico dei risultati della GWP e UEV per 1 L di latte di vacca.

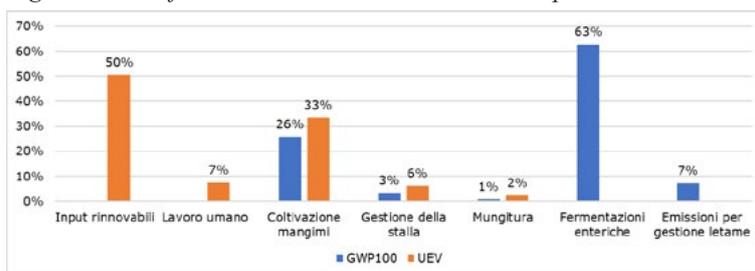
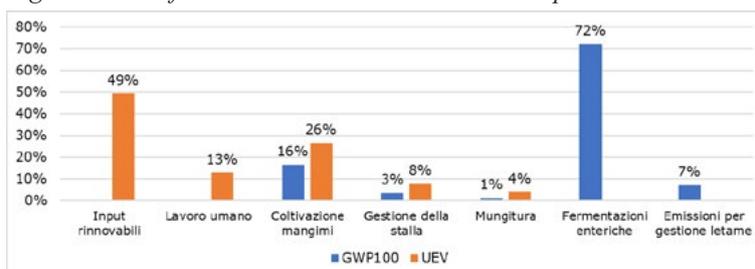


Figura 3 – Grafico dei risultati della GWP e UEV per 1 L di latte di capra.



Gli hotspot in termini di GWP sono associati prevalentemente alle fermentazioni enteriche degli animali ed alla produzione dei mangimi per entrambi i prodotti. Questi hotspot sono confermati anche in studi di letteratura (Laca et al., 2020; Zucali et al., 2020; Notarnicola et al., 2015). In termini assoluti le emissioni relative alle fermentazioni enteriche delle vacche corrispondono a 0.55 kg CO₂eq per L di latte (i.e. 63% sul GWP totale, Fig. 2), leggermente inferiori ai valori di letteratura pari a circa 0.6-0.7 kg CO₂eq (Laca et al., 2020; Castanheira et al., 2010). Questo risultato positivo può essere ricondotto alla dieta degli animali molto varia e bilanciata, la quale è stata dimostrata essere un fattore determinante sulle emissioni enteriche degli animali (Colombini et al. 2015; Del Prado et al. 2013; Thomassen et al. 2009). Anche la fase di coltivazione dei mangimi per le vacche, (i.e. 0.23 kg CO₂eq, 26% sul GWP totale, Fig. 2) è relativamente inferiore a confronto con i valori calcolati da Laca et al., 2020, pari a 0.2-0.5 kg CO₂eq per UF. Per

quanto riguarda il latte di capra, il valore relativo alle fermentazioni enteriche (i.e. 0.89 kg CO₂eq, 72% sul GWP totale, Fig.3), è invece più elevato rispetto alla media calcolata da Zucali et al., 2020 pari a circa 0.61 kg CO₂eq per UF. Questo risultato potrebbe essere ricondotto alla dieta e all'assenza di pascolo (Robertson et al., 2015), aspetti che potrebbero essere ottimizzati nell'ottica di un miglioramento delle prestazioni ambientali in termini di emissioni di GHG. In merito alla produzione dei mangimi anche nel latte di capra sono confermate le evidenze riscontrate per il latte di vacca relative alle migliori prestazioni a confronto con la letteratura: 0.20 kg CO₂eq per UF (i.e. 16%, Fig. 3) rispetto a 1.17 kg CO₂eq nello studio di Zucali et al., 2020. Questa differenza potrebbe derivare dal fatto che i mangimi di Camporbiano sono autoprodotti minimizzando l'utilizzo di input esterni, mentre nel caso di letteratura sono prodotti in modo convenzionale. Le *best practices* evidenziate si riflettono anche nel risultato complessivo. Per entrambi i prodotti sono stati riscontrati dei valori di emissione inferiori rispetto a quelli di letteratura. Il range di valori di riferimento per il latte di vacca varia da 0.9 a 4.7 kg CO₂eq per kg di latte (Laca et al., 2020), mentre per il latte di capra da 1.12 a 5.05 kg CO₂eq per kg di latte (Zucali et al., 2020). In merito ai risultati Emergetici, gli input rinnovabili costituiscono circa il 50% del totale per entrambi i prodotti (Fig. 2 e 3). Questi flussi rinnovabili derivano principalmente dagli alimenti consumati, autoprodotti in azienda, i quali contengono elevate percentuali di rinnovabilità (in media, circa 64%R), che si riscontrano nel prodotto latte. Il lavoro umano incide sul risultato finale per il 7% e 13%, rispettivamente per il latte di vacca e di capra. I valori ottenuti in questo studio evidenziano, anche in questo caso, performance migliori rispetto alla letteratura; sono disponibili unicamente lavori riguardanti il latte di vacca, in cui la UEV è risultata essere, in media, pari a 9.46E+09 sej/g (Cabezas et al., 2010; Campbell & Ohrt, 2009). La gestione aziendale integrata permette un consumo di risorse più basso e di "qualità" migliore (e.g. maggiore %R), se confrontato con produzioni convenzionali e lineari. L'ultimo step dello studio ha riguardato la valutazione di risorse risparmiate ed impatti evitati grazie all'implementazione del sistema circolare in azienda. È stato ipotizzato un secondo scenario "lineare", nel quale tutti gli input necessari all'allevamento sono stati sostituiti da input provenienti dall'esterno del sistema (i.e. utilizzando dati secondari reperiti in letteratura). I risultati (Tab. 4) evidenziano un risparmio di emissioni pari al 18% per il latte di vacca e per il 23% per il latte di capra. Questo è dovuto al fatto che nel sistema lineare sono stati inclusi anche paglia, lettiera, oltre al trasporto e la produzione esterna di altri input, come i mangimi (vs autoprodotti in azienda e/o provenienti da flussi circolari). Per quanto riguarda l'analisi emergetica, il risparmio di risorse è più alto (i.e. 27%) per entrambi i prodotti, anche in questo caso dovuto ad una UEV mediamente più alta delle risorse esterne. La differenza più rilevante si osserva nei risultati dell'indicatore di rinnovabilità (%R) che passa da circa il 50% per i prodotti del sistema circolare di Camporbiano all'1% per quelli del sistema lineare, dovuto a una bassissima rinnovabilità specifica delle risorse provenienti dall'esterno.

Tabella 4 – Risparmio percentuale rispetto allo scenario lineare.

	GWP100 – kg CO ₂ eq			UEV – sej/g			%R		
	Sist. Circolare	Sist. Lineare	Diff. %	Sist. Circolare	Sist. Lineare	Diff. %	Sist. Circolare	Sist. Lineare	Diff. %
Latte di vacca	0.875	1.069	18%	8.72E+08	1.19E+09	27%	50%	1%	98%
Latte di capra	1.179	1.535	23%	1.03E+09	1.41E+09	27%	49%	2%	96%

5. Conclusioni

Lo scopo di questo lavoro è stato quello di applicare in parallelo due metodologie, Emergy e LCA, per avere una visione più ampia e integrata del livello di sostenibilità e analizzare le peculiarità di un modello di gestione aziendale atipico, caratterizzato da una produzione altamente differenziata, con elementi di circolarità. L'analisi si è focalizzata sui prodotti rappresentativi dell'azienda e che racchiudono la maggior parte delle attività svolte/prodotti lavorati, ovvero il latte di vacca e capra. Sono state evidenziate molte *best practices* sia in termini qualitativi che quantitativi e.g. produzioni attente alla minimizzazione dell'utilizzo di prodotti chimici e in generale di input esterni, filiera corta gestita in azienda, riutilizzo degli scarti, autoproduzione dei mangimi, dieta variegata per gli animali. I risultati delle due analisi hanno riscontrato un contributo ridotto in termini di emissioni e risorse utilizzate, rispetto alla letteratura, e confermato la convenienza ambientale delle azioni intraprese. Il confronto con un modello analogo ma lineare ha permesso di evidenziare ulteriormente le performance ambientali del tipo di gestione ottimizzata/auto-organizzata e circolare dell'azienda. Rispetto al modello lineare il consumo di risorse e il GWP risultano ridotti in media rispettivamente del 27% e 21%. Tuttavia, la valutazione ha anche permesso di mettere in luce alcune criticità dei processi produttivi, al fine di intervenire in maniera puntuale, nell'ottica di un miglioramento continuo. Ovviamente, per avere una visione del livello di sostenibilità ancora più ampio è necessario non limitarsi solo ad una categoria di impatto per l'LCA, ma a un set di altri indicatori, ad esempio includere i potenziali di Acidificazione e Eutrofizzazione. Questo step farà parte dell'evoluzione futura del progetto, oltre ad un approfondimento riguardo le caratteristiche organolettiche del latte ed alla valutazione degli impatti per litro di latte FPCM.

6. Bibliografia

- Buonocore, E, Vanoli, L, Carotenuto, A, Ulgiati, S, 2015. Integrating Life Cycle Assessment and Emergy Synthesis for the Evaluation of a Dry Steam Geothermal Power Plant in Italy. *Energy*. 86, 476-87.
- Cabezas, H, Campbell, DE, Eason, T, Garmestani, AS, Heberling, MT, Hopton, ME, Templeton, J, White, D, Zanowick, M, 2010. Saint Luis Basin Sustainability Metrics Project: a methodology for evaluating regional sustainability.
- Campbell, DE, Ohrt, A, 2009. Environmental accounting using emergy: Evaluation of Minnesota. USEPA Project Report.
- Castanheira, EG, Dias, AC, Arroja, L, Amaro, R, 2010. The environmental performance of milk production on a typical Portuguese dairy farm. *Agric Syst* 103:498-507
- Cellura, M, Longo, S, Mistretta, M, 2011. The energy and environmental impacts of Italian households' consumptions: an input output approach. *Renew. Sust. Energ. Rev.* 15, 3897-3908.
- Colombini, S, Zucali, M, Rapetti, L, Crovetto, GM, Sandrucci, A, Bava, L, 2015. Substitution of corn silage with sorghum silages in lactating cow diets: in vivo methane emission and global warming potential of milk production. *Agric Syst* 136:106-113
- Costanza, R, d'Arge, R, de Groot, R, Farberk, S, Grasso, M, Hannon, B, Limburg, K, Naeem, S, V.O'Neill, R, Paruelo, J, Raskin, R, Sutton, P, van den Belt, M, 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*. 387, 253-260.

- Del Prado, A, Mas, K, Pardo, G, Gallejones, P, 2013. Modelling the interactions between C and N farm balances and GHG emissions from confinement dairy farms in northern Spain. *Sci Total Environ* 465: 156–165
- Ellen MacArthur Foundation, 2015. Growth within: a circular economy vision for a competitive Europe. Viewed 01 June 2021 <www.ellenmacarthurfoundation.org>
- Fonseca, AMP, Marques, CAF, Pinto-Correia, T, Guiomar, N, Campbell, DE, 2019. Emergy Evaluation for Decision-Making in Complex Multifunctional Farming Systems. *Agric. Syst.* 171, 1-12.
- IPCC, 2019. Report Ipcc Special on climate change and land.
- Laca, A, Gómez, N, Laca, A, Díaz, M, 2020. Overview on GHG emissions of raw milk production and a comparison of milk and cheese carbon footprints of two different systems from northern Spain. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 27:1650–1666
- Neri, E, Pulselli, RM 2018. Report Carbon Footprint del latte da fieno austriaco. Commissioned by Slow Food in the framework of DG ENV – NGOs Operating grant 2018 - LIFE17 NGO/SGA/IT/100050.
- Notarnicola, B, Salomone, R, Petti, L, Renzulli, PA, Roma, R, Cerutti, AK, 2015. Life Cycle Assessment in the Agri-food Sector Case Studies, Methodological Issues and Best Practices. Springer ed.
- Odum, HT, 1996. *Environmental Accounting: Emergy and Environmental decision making.* New York: Willey.
- Patrizi, N, Pulselli, FM, Morandi, F, Bastianoni, S, 2015. Evaluation of the emergy investment needed for bioethanol production in a biorefinery using residual resources and energy. *J. Clean. Prod.* 96, 549-556.
- Robertson, K, Symes, W, Garnham, M, 2015. Carbon footprint of dairy goat milk production in New Zealand. *J. Dairy Sci.* 98, 4279–4293.
- Santagata, R, Zucaro, A, Fiorentino, G, Lucagnano, E, Ulgiati, S, 2020. Developing a procedure for the integration of Life Cycle Assessment and Emergy Accounting approaches. The Amalfi paper case study. *Ecol. Indic.* 117, 106676.
- Thomassen, MA, Dolman, MA, van Calker, KJ, de Boer, IJM, 2009. Relating life cycle assessment indicators to gross value added for Dutch dairy farms. *Ecol Econ* 8–9:2278–2286
- Toop, TA, Ward, S, Oldfield, T, Hull, M, Kirby, ME, Theodorou, MK, 2017. AgroCycle - Developing a Circular Economy in Agriculture. In *Energy Procedia.* 123, 76-80.
- Zucali, M, Lovarelli, D, Celozzi, S, Bacenetti, J, Sandrucci, A, Bava, L, 2020. Management options to reduce the environmental impact of dairy goat milk production. *Livest. Sci.* 231, 103888.