Università degli Studi di Genova

CAMBIO VIA
“Cammini e Biodiversità : valorizzazione itinerari e accessibilità per la transumanza”

CONVENZIONE
Regione Liguria- Università degli Studi di Genova – Dipartimento di Scienze della Terra dell'Ambiente e della Vita (DISTAV)

Comp. T1: supporto alla governance per la gestione integrata del patrimonio naturale e culturale

Sviluppo di un sistema di contabilità ambientale per la valutazione del livello di sostenibilità ambientale delle produzioni zootecniche liguri (analisi emergetica)

Responsabile Scientifico

Paolo Vassallo

Al fine di realizzare uno schema di contabilità ambientale applicabile ai sistemi di produzione zootecnica della Liguria è stato sviluppato un approccio biofisico alla valutazione basato sull'analisi emergetica (Odum, 1996).

La valutazione biofisica di un bene o un sistema di produzione richiede lo sviluppo di metodologie basate sul "Systems Thinking" (ST). ST è un approccio sviluppato per "vedere i sistemi" e valutare i risultati delle politiche di gestione sia fra i componenti del sistema, sia nel tempo (Meadows 1980; Randers 1980; Richardson e Pugh 1981; Forrester 2002). Il ST può aiutare a valutare in che modo le diverse variabili di un sistema interagiscono tra loro per disegnare le tendenze (storiche e future) e dunque fornisce importanti indicazioni per la gestione di un sistema.

L'analisi emergetica ha anche sviluppato nel tempo un sistema di conversione del valore ecologico in termini monetari permettendo di ottenere valutazioni che sono facilmente comprensibili a fini gestionali e di sviluppare un sistema di contabilità ambientale che possa avere una diretta interfaccia con i sistemi di contabilità ambientale tipici dell'economia ecologica o della contabilità economica tradizionale.

In termini biofisici, i sistemi agricoli implicano interazioni tra entità fisiche (risorse) ed economiche (denaro). Ad ogni stadio del processo produttivo, l'impiego di energia, materiali e lavoro umano comporta l'aumento del valore del bene che può essere quantificato attraverso l'analisi emergetica. Introducendo un'analisi biofisica in un'analisi monetaria può essere più evidente vedere dove maturano i benefici per il produttore e dove si accumula maggiormente il valore del bene (Ulgiati et al. 1995). In un'economia agricola che dipende fortemente dall'impiego di combustibili fossili (risorse impiegate, meccanizzazione, stoccaggio, trasporto) il consumo di energia lungo la catena di produzione è un attributo importante che incide sul valore biofisico della produzione e sul suo livello di sostenibilità.

L'analisi emergetica è una metodologia termodinamica introdotta negli anni '80 da H.T. Odum (Odum, 1988; 1996). Rappresenta una sorta di "memoria energetica" poiché si basa sull'inventario dettagliato di tutte le risorse che hanno permesso di ottenere un prodotto o mantengono un processo. In termini più rigorosi l'emergia è il quantitativo di energia solare che è stata necessaria, direttamente o indirettamente, per ottenere un certo prodotto, mantenere un servizio, un processo, un territorio o una popolazione.

È una tecnica di analisi quantitativa che standardizza il valore di qualsiasi risorsa in termini di energia solare equivalente (Brown and Herendeen, 1996). In termini biofisici l'emergia è quantificata in solar emergy Joule (sej). Maggiore è il flusso emergetico necessario per un processo, maggiore è la quantità di energia solare che questo "consuma" e quindi il costo ambientale necessario a mantenerlo. La conversione dei flussi energetici a energia solare viene effettuata attraverso un fattore di conversione chiamato solar transformity (l'energia solare equivalente necessaria per ottenere un'unità energetica (Joule) di un certo prodotto). La transformity è un indicatore di qualità e di efficienza. Valori elevati di transformity (sej J^{-1}) caratterizzano processi complessi e una qualità superiore dei prodotti.

La monetizzazione del valore emergetico viene effettuata a valle della contabilizzazione su base biofisica attraverso l'emergy to money ratio (EMR), un indice che rappresenta il potere di acquisto di una singola unità emergetica.
In questo modo è possibile definire quale sia il contributo della natura alla generazione di un bene o un servizio, anche in termini economici, per facilitare le decisioni gestionali.
L'EMR (sej €$^{-1}$) si ottiene mediante il rapporto tra l'emergia necessaria per mantenere la nazione in cui si effettua lo studio e il PIL della nazione stessa:
Si definisce così quanto vale economicamente un singolo solar emergy joule, per poi poter stabilire quanto la natura abbia speso per mantenere il sistema in esame o produrre il bene analizzato.
Dall'analisi bibliografica svolta nelle precedenti fasi di questo progetto si è verificato che lo schema generale di ST applicato ai sistemi di produzione zootecnica è quello riportato in figura 1 in cui sia flussi di risorse naturali (dal valore economico nullo) sia flussi economici e monetari sono contabilizzati e impiegati nell'analisi emergetica.

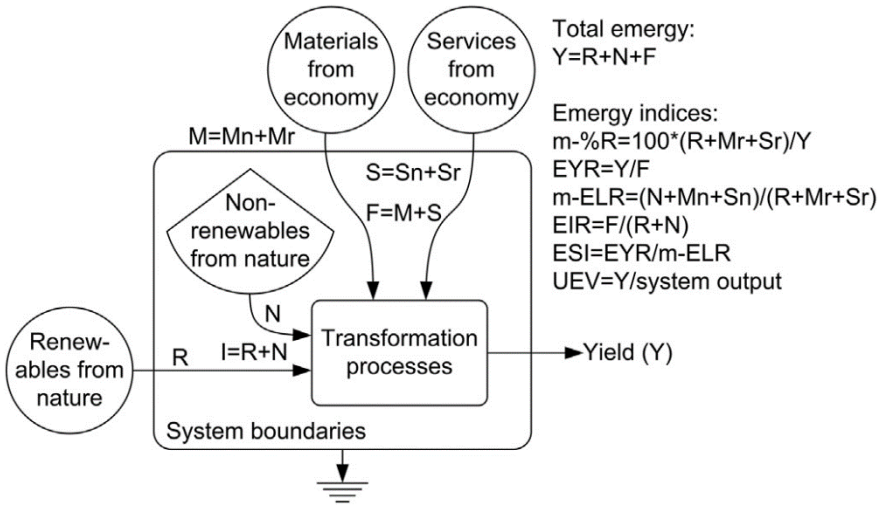


Figura 1: schema di analisi dei sistemi di contabilità ambientale applicato nelle pubblicazioni analizzate

Per l'applicazione pratica di questo sistema generale occorre una base di informazioni che rappresentino l'intensità dei consumi dei sistemi di produzione e caratterizzino le diverse tipologie di produzione. Per l'identificazione delle risorse necessarie al funzionamento del sistema l'analisi emergetica prevede lo sviluppo di un diagramma sistemico che rappresenti il funzionamento del sistema in esame e ne evidenzi le risorse necessarie al mantenimento.

Il diagramma sistemi sviluppato per rappresentare i sistemi di produzione zootecnica in Liguria è riportato in figura 2

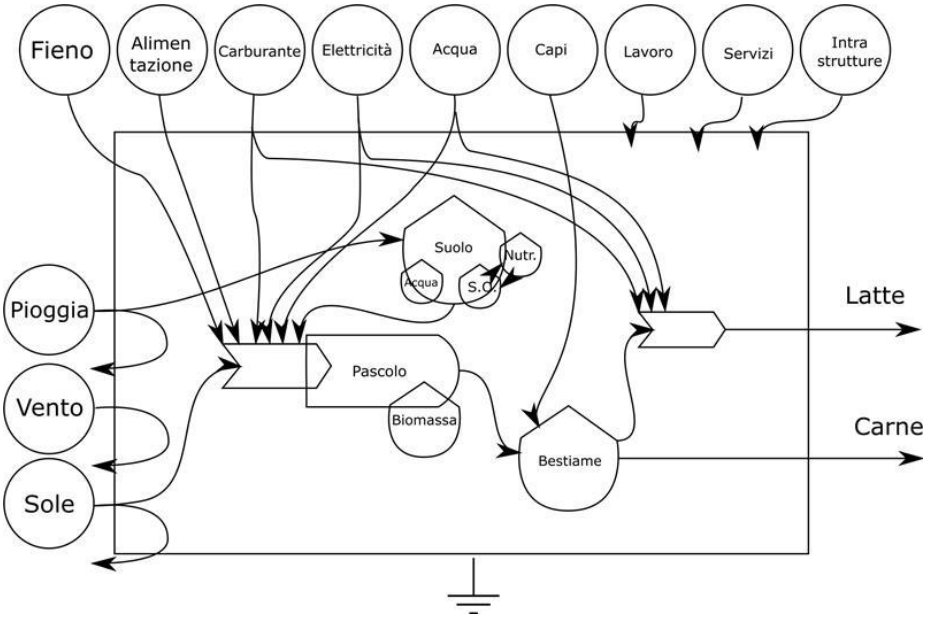


Figura 2: diagramma sistemico sei sistemi di produzione zootecnica

Dall'interpretazione del diagramma sistemico si ottiene la lista delle risorse necessarie al funzionamento del sistema e dunque delle informazioni necessarie per lo sviluppo dell'analisi. Le informazioni relative all'intensità di sfruttamento di queste risorse sono state ottenute tramite intervista ad un campione di aziende. Durante l'intervista sono state richieste informazioni specifiche riguardanti diverse categorie di consumi e processi come, ad esempio, la modalità di alimentazione, i consumi energetici e le modalità di gestione.

Di seguito (Tabella 1) sono riportati i dati che sono stati richiesti ai proprietari delle aziende (righe) e gli input della tabella emergetica per cui sono serviti tali informazioni (colonne).

Tabella 1. Struttura intervista alle aziende.

Categorie	Domande	**Radiazione solare**	**Vento**	**Pioggia**	**Calore geotermico**	**Macchinari**	**Fieno**	**Cereali**	**Mangime**	**Paglia**	**Acqua potabile**	**Acqua da falda**	**Gasolio**	**Benzina**	**GPL**	**Elettricità**	**Cemento**	**Latte in polvere**	**Capi bovini**	**Semi per pascolo**	**Fertilizzanti**	**Lavoro**	**Servizi**	**Elaborazione dati**
Produzione	Produzione principale (carne o latte)																							x
	Quantità produzione (latte, formaggio, capi e carne)																							x

	Produzione bio																							x
	Fatturato annuo																							x
Azienda	Estensione pascoli	x	x	x	x																			
	Estensione prati fieno	x	x	x	x																			
	Estensione stalle/edifici	x	x	x	x																			
	Numero capi						x	x	x															
	Numero capi in lattazione/fattrici																							x
	Numero capi acquistati																		x					
	Mesi al pascolo						x																	
	Sussidi annui																							x
	Ore di lavoro																					x		
	Fatturato annuo																							x
	Affitto/proprietà																						x	x
Alimentazione	Quantità fieno						x																	
	% fieno prodotto						x																	
	Quantità semi																			x				
	Quantità cereali/mangime							x	x															
	% cereali prodotta							x	x															
	Quantità paglia									x														
	Quantità/spesa per fertilizzanti/diserbanti/concimi																				x			
Consumi annui	Carburante												x	x										
	Acqua da acquedotto										x													
	Acqua da falda											x												
	Elettricità															x								
	Gas														x									
	Distribuzione % consumi (fienagione, stalla, produzione)										x	x	x	x	x	x								
Cura dell'animale	Spesa per veterinario																						x	
	Spesa per medicine/integratori																						x	
	Spesa per alimentarista																						x	
	Analisi DNA																						x	
	Spesa per mascalcia																						x	
	Spesa per macello																						x	

Servizi esterni all'azienda	Spesa per manutenzione macchinari/frigo																						x	
	Spesa per altri servizi esterni																						x	
Macchinari	Lista dei principali macchinari utilizzati per la produzione					x																		

Aziende analizzate

Durante questa fase di progetto sono state analizzate sette aziende zootecniche con tre diverse tipologie di allevamento e collocate in tre macroaree differenti della Liguria (Tabella 2).

Tabella 2. Descrizione sintetica della distribuzione e del tipo di allevamento delle sette aziende analizzate

Zona	Parco Naturale Regionale del Beigua			Parco Naturale Regionale dell'Antola			Val di Vara
Azienda	Monterosso	Battura	Lavagè	Bruzzone	Fortunato	Pensa	Gotelli
Produzione	capre da latte	bovini da latte	bovini da latte	bovini da carne	bovini da carne	capre da latte	bovini da carne

Sono state scelte due aziende che allevano bovini da latte e producono formaggio, tre aziende che allevano bovini da carne e due aziende che allevano caprini per produrre latte e formaggio.

Ad eccezione dell'allevamento Gotelli, tutte le aziende analizzate appartengono ad un territorio protetto da un Parco Naturale Regionale.

Azienda Agrituristica Monterosso

L'Azienda agrituristica Monterosso è un allevamento biologico di circa 60 capre della razza Camosciata della Alpi localizzato all'interno del Parco del Beigua UNESCO Global Geopark, nel comune di Rossiglione a circa 290 m s.l.m. nel mezzo della Valle Gargassa. L'azienda è proprietaria di oltre 100 ettari di terreno, utilizzati, in parte come prati da fieno e, in parte come pascoli, nei quali gli animali trascorrono circa 9 mesi all'anno.

Le produzioni principali sono il formaggio e lo yogurt, trasformati in un caseificio della zona e poi venduti direttamente dall'azienda. Inoltre, una percentuale dei capretti nati vengono venduti, sia da vita che da carne, le capre a fine carriera vengono macellate e la carne viene mischiata con pancetta di maiale per la realizzazione di salamini.

Per quanto riguarda l'alimentazione, il fieno è totalmente autoprodotto, noleggiando i macchinari da aziende vicine, e l'integrazione consiste in mangime misto (16% di proteine), con una composizione che varia a seconda di quello che è necessario prediligere per la produzione del latte. Oltre alla produzione alimentare, l'azienda offre la possibilità di fare degustazioni dei propri prodotti e ha due edifici che affitta a gruppi di persone. L'azienda, dal 2010, ha una copertura fotovoltaica significativa che produce il 100% dell'energia utilizzata.

Azienda Agricola Cascina Battura

La Cascina Battura è un allevamento di vacche da latte con circa 65 capi, 35 delle quali in lattazione. La stalla, di 800 mq, consente l'accesso diretto al pascolo circostante, che si estende per 7 ettari, dove i bovini possono foraggiarsi autonomamente dalla primavera all'inizio dall'inverno.

La produzione principale dell'azienda è il latte, che viene conferito ogni giorno al progetto di filiera dei produttori del latte di Genova. Circa il 20% del latte prodotto viene trasformato all'interno del caseificio aziendale per dare vita a prodotti caseari, principalmente formaggi freschi, yogurt e dolci a base di latte. Inoltre, l'azienda vende capi vivi giovani e capi a fine carriera.

L'azienda, nel 2011, ha rinnovato la stalla predisponendo una copertura fotovoltaica, con cui viene prodotto il 30% dell'energia utilizzata, e una sala di mungitura con un impianto a spina di pesce ad otto posti. L'alimentazione è autoprodotta al 40% e consiste in fieno stabile, erba medica, cereali (crusca, mais, orzo, soia) che vengono somministrati come unifeed (alimento unico). L'alimentazione, inoltre, per le vacche in lattazione, viene integrata con sali minerali in polvere.

Azienda Agrituristica Lavagè

L'Azienda Agrituristica Lavagè si trova all'interno del Parco del Beigua UNESCO Global Geopark, nel comune di Rossiglione, a 600 metri s.l.m., sul versante occidentale della Valle Gargassa. Si tratta di un allevamento di vacche da latte di Razza Bruna di circa 200 capi, di cui circa 60 in lattazione.

La produzione principale è quella del latte, il quale viene conferito ogni giorno al progetto di filiera dei produttori del latte di Genova. Inoltre, il piccolo caseificio, presente all'interno dell'azienda, consente la produzione di circa 24 tipi di formaggio e altri prodotti caseari come yogurt e dolci a base di latte. È consistente anche la produzione di carne, derivante dai capi maschi, che vengono cresciuti in una stalla a parte.

L'azienda si autoproduce totalmente il fieno, che viene miscelato ad alcuni cereali per creare l'unifeed; questa alimentazione base, quando gli animali sono in lattazione, viene integrata con mangime in pellet, contenente minerali e vitamine. Dalla primavera fino all'arrivo dell'inverno, le vacche pascolano libere nelle praterie circostanti l'azienda, che si estendono per circa cinque ettari. L'azienda vanta di avanzate tecnologie come il robot di mungitura, che consente l'automatizzazione completa di alcuni processi: il singolo capo in lattazione viene riconosciuto, viene munto e alimentato con una quantità di mangime personalizzata; inoltre, il latte viene automaticamente trasferito in un contenitore refrigerato e conservato fino al mattino seguente, quando viene conferito e trasformato.

Azienda Agricola Pensa

L’azienda agricola Pensa è un allevamento di circa 50 capre meticce, localizzato a circa 1000 m s.l.m., tra il fiume Trebbia e il Lago del Brugneto, all’interno del territorio del Parco dell’Antola, nel Comune di Torriglia. Per quanto riguarda l’alimentazione, le capre pascolano in 11 ettari di terreno per circa 7 mesi l’anno; inoltre, l’azienda ha deciso di iniziare ad eliminare le materie prime che provengono da coltivazione come mais, fave, pisello proteico, orzo soia, a favore di fieno non coltivato e integrazione derivata da sottoprodotti della lavorazione come ad esempio crusca, cruschello, pannello di girasole e pannello di lino. Questo progetto, ancora in fase di lavorazione, è stato pensato per una maggiore sostenibilità ambientale del prodotto finale.

Il latte delle loro capre, munto senza l’aiuto dei macchinari, viene trasformato nel piccolo caseificio aziendale per produrre formaggio fresco, stagionato o erborinato.

Uno dei problemi più grandi dell’azienda è la gestione degli animali selvatici: principalmente i daini, che creano danni alle recinzioni, e i lupi, gestiti grazie all’aiuto di cinque cani da guardiania: sia la manutenzione delle recinzioni, sia il mantenimento dei cani da protezione delle greggi risultano essere un peso economico piuttosto significativo per l’azienda.

Azienda Agricola Fortunato Mario

Si tratta di un allevamento biologico di circa 260 bovini da carne di razza Limousine, linea vacca-vitello, localizzato a 1200 m s.l.m. nel territorio del Parco dell’Antola, nel Comune di Propata. L’azienda ha a disposizione 700 ettari di pascoli in cui gli animali trascorrono circa 9 mesi l’anno e alimentano autonomamente. L’alimentazione in stalla, invece, comprende sia fieno autoprodotto, sia mangime in pellet; durante l’anno vengono fatte analisi del fieno e dei mangimi per la distribuzione della giusta razione ai vitelli.

Il ciclo di produzione prevede una prima fase in cui il vitello trascorre 6 mesi con la fattrice al pascolo, una seconda fase di svezzamento, seguita dalla fase di ingrasso, che avviene in stalla fino a 13-18 mesi di vita. Dopodiché, l’azienda vende un 80% dei capi vivi e il resto lo macella e lo vende tramite distribuzione diretta.

Azienda Agricola Bruzzone Marco

Si tratta di un allevamento bovino di 600 capi di razza Limousine, con stalle ad Alessandria e pascoli di 1000 ettari all’interno del Parco dell’Antola, a circa 1200 m s.l.m., nei pressi di Caprile, dove la mandria viene trasportata tra la primavera e l’estate e alpeggia per circa 6 mesi.

L’azienda propone la linea vacca-vitello a ciclo chiuso con 300 fattrici e un’alimentazione in parte autoprodotta, sia per quanto riguarda il fieno, sia per il mangime, che viene prodotto nel loro mangimificio. Durante i mesi invernali, gli animali vengono ricondotti, tramite un trasporto apposito, nelle stalle ad Alessandria. Nelle vicinanze delle stalle vengono coltivati 90 ettari di campi per produrre fieno, loietto, erba medica, mais e orzo, che andranno a costituire parte dell’alimentazione degli animali durante l’inverno.

Azienda Agricola Gotelli Fulvio

L'allevamento bovino di Gotelli Fulvio è una delle 90 aziende socie della Cooperativa di San Pietro Vara. Si tratta di un allevamento biologico di 120 bovini da carne, di razza Limousine, localizzato nel Comune di Varese Ligure, a circa 1000 m s.l.m., nei pressi del Passo di Centocroci.

L'azienda prevede il pascolamento dei bovini, fino a 9 mesi l'anno, in circa 200 ettari di terreno circostante l'azienda. Si tratta di un allevamento a linea vacca-vitello in cui la prima fase del ciclo di produzione prevede che il vitello stia al pascolo con la fattrice fino a 8-9 mesi di vita; questa fase è seguita dall'ingrasso in stalla, che dura fino a 5 mesi, in cui l'animale viene alimentato a fieno, autoprodotto totalmente, e cereali in granella, acquistati e schiacciati in azienda tramite un apposito macchinario. I capi, successivamente, vengono venduti alla Cooperativa di San Pietro Vara per essere macellati.

La produzione delle aziende analizzate

La produzione delle sette aziende analizzate è piuttosto eterogenea e riguarda latte, formaggio e carne, sia bovini sia caprini (Tabella 3).

Le aziende che allevano capi da latte, sia bovini sia caprini, trasformano parte del latte in prodotti derivati e vendono capi a fine carriera e capi maschi vivi o, in alcuni casi, macellati; le aziende che allevano bovini da carne vendono i loro capi sia vivi sia già macellati.

La produzione di latte è riportata in grammi ed è stata calcolata prendendo come riferimento la massa media di un litro di latte. I grammi di formaggio prodotto sono stati calcolati, a partire dalla quantità di latte trasformato, applicando una resa media, oppure utilizzando direttamente il dato di produzione fornito dall'azienda.

Per gli allevamenti da carne la produzione è esplicitata in grammi di capi vivi ed è stata quantificata facendo riferimento alla massa media di un capo della razza allevata (razza Limousine). Anche per quanto riguarda i capi venduti dalle aziende che producono latte, la quantità è stata calcolata considerando il peso medio di un capo della razza in questione (razza Bruna).

Tabella 3. Produzione delle diverse aziende riportata in grammi/anno.

Produzione (g/anno)	Monterosso	Battura	Lavagè	Bruzzone	Fortunato	Pensa	Gotelli
Latte totale	2,87E+07	2,95E+08	4,98E+08			9,58E+06	
Latte per formaggio	1,67E+07	1,10E+07	7,67E+07			9,58E+06	
Latte venduto	1,21E+07	2,84E+08	4,22E+08				
Formaggio	2,00E+06	1,86E+06	8,76E+06			1,15E+06	
Capi totali	9,53E+05	7,95E+06	2,55E+07	1,50E+08	9,75E+07	2,81E+05	3,38E+07
Capi per carne	5,01E+05			1,50E+08	1,95E+07	2,81E+05	
Capi vivi	4,51E+05	7,95E+06	2,55E+07		7,80E+07		3,38E+07

Tabella dei valori degli input

I flussi in entrata, dopo essere opportunamente elaborati, sono stati quantificati e riportati in una tabella con le unità di misura classiche (Joule, grammi, ore, €) (Tabella 4).

Tabella 4. Tabella degli input per l'analisi emergetica.

N° elemento	Input	UdM	Valore						
			Monterosso	Battura	Lavagè	Bruzzone	Fortunato	Pensa	Gotelli
1	**Radiazione solare**	**J/anno**	**4,52E+07**	**8,61E+06**	**2,49E+07**	**4,65E+08**	**3,43E+08**	**4,98E+06**	**1,13E+08**
2	**Vento**	**J/anno**	**2,14E+13**	**4,07E+12**	**1,18E+13**	**1,98E+14**	**1,47E+14**	**2,13E+12**	**5,84E+13**
3	**Pioggia**	**g/anno**	**1,70E+12**	**3,24E+11**	**9,37E+11**	**1,81E+13**	**1,36E+13**	**1,98E+11**	**4,72E+12**
4	**Calore geotermico**	**J/anno**	**2,78E+12**	**5,29E+11**	**1,53E+12**	**2,08E+13**	**1,56E+13**	**2,26E+11**	**6,93E+12**
5	**Macchinari**								
5.a	Acciaio	g/anno	1,53E+05	3,08E+06	3,16E+06	1,38E+07	7,29E+06	1,86E+05	3,26E+06
5.b	Plastica	g/anno	2,14E+04	2,14E+04	2,14E+04			1,14E+04	
5.c	Vetroresina	g/anno	0,00E+00	1,50E+05	2,00E+05	2,50E+05	1,00E+05		
6	**Alimentazione**								
6.a	Fieno	g/anno		7,96E+07			5,85E+08	1,84E+07	
6.b	Cereali	g/anno				3,78E+08		1,08E+07	5,04E+07
6.c	Mangime	g/anno	1,14E+07	4,20E+07	8,00E+07		1,32E+08		
6.d	Latte in polvere	g/anno		5,88E+05	2,02E+06				
7	**Paglia**	**g/anno**				**2,00E+08**			
8	**Acqua**								
8.a	Acqua potabile	g/anno		2,97E+09	4,82E+09			9,13E+07	
8.b	Acqua da falda	g/anno	3,65E+08			5,05E+09	2,19E+09		1,01E+09
9	**Carburante**								
9.a	Gasolio	g/anno		9,05E+06	1,50E+07	2,71E+07	1,67E+07	2,51E+05	1,25E+07
9.b	Benzina	g/anno	4,28E+05						
9.c	Gpl	J/anno			3,60E+10				
10	**Elettricità**	**J/anno**		**4,32E+10**	**1,56E+11**	**6,60E+10**	**2,16E+10**	**7,20E+09**	**1,01E+10**
11	**Cemento**	**g/anno**	**2,28E+07**	**2,08E+07**	**3,51E+07**	**2,55E+08**	**1,97E+08**	**3,65E+06**	**1,57E+07**
12	**Capi bovini**	**g/anno**					**1,69E+07**		
13	**Semi per pascolo**	**€/anno**			**1,00E+03**	**9,00E+03**			**5,00E+02**

14	**Fertilizzanti**	**€/anno**				**1,30E+04**			
15	**Lavoro**	**h/anno**	**3,50E+03**	**7,32E+03**	**7,98E+03**	**1,06E+04**	**9,60E+03**	**5,02E+03**	**2,40E+03**
16	**Servizi**	**€/anno**	**4,42E+04**	**3,30E+03**	**1,50E+04**	**5,07E+04**	**8,12E+04**	**4,60E+03**	**1,20E+04**

Dopo la quantificazione degli input si è proceduto uniformando i valori alla stessa unità di misura (solar emergy Joule, seJ).

Per attuare questa conversione è stato necessario ricavare dalla letteratura il valore unitario emergetico (UEV) di ogni input e aggiornarlo alla Geobiosphere Emergy Baseline GEB2016 12,0E+24 sej/anno. Nella tabella sottostante sono riportati i UEV utilizzati in questa analisi e i rispettivi riferimenti bibliografici (Tabella 5).

Tabella 5. Lista delle transformities impiegate in questa analisi.

Input	**UEV (GEB_{2016} baseline)**	**sej/Unit**	**Riferimento bibliografico**
Energia solare	1,00E+00	sej/J	Odum, 1996
Vento	1,86E+03	sej/J	Brown and Bardi, 2001
Calore geotermico	7,73E+03	sej/J	Odum et al., 2000
Pioggia	1,09E+05	sej/g	Odum et al., 2000
Acqua da falda	9,86E+05	sej/g	Buenfill, 2001
Acqua potabile	2,38E+06	sej/g	Pulselli et al.,2011
Diesel	3,71E+09	sej/g	Bastianoni et al., 2009
GPL	5,18E+05	sej/J	Bastianoni et al., 2005
Benzina	3,78E+09	sej/g	Bastianoni et al., 2009
Elettricità	1,18E+05	sej/J	Caruso et al., 2001
Acciaio	4,38E+09	sej/g	Cabezas et al., 2010
Plastica	1,04E+10	sej/g	Brown et al., 2003
Vetroresina	5,97E+09	sej/g	Cabezas et al., 2010
Semi	8,76E+08	sej/g	Bastianoni, 2001
Latte (peso secco)	1,40E+09	sej/g	Spagnolo, 2017
Capi bovini	1,89E+10	sej/g	Da Fonseca, 2016
Fieno	4,81E+07	sej/g	Patrizi et al., 2018
Mangime	1,43E+09	sej/g	Jaklič et al.,2014
Cereali	1,08E+09	sej/g	Castellini et al., 2006
Paglia	1,44E+05	sej/g	Coppola et al.,2009
Lavoro	3,82E+12	sej/h	Pulselli et al. 2008 (a)
Cemento	3,04E+09	sej/g	Pulselli et al. 2008 (b)

Euro	7,28E+11	sej/€	Pereira et al. 2013

La tabella emergetica

Al fine di ottenere il contenuto emergetico di ognuno dei flussi in entrata, ogni valore di input è stato moltiplicato per il rispettivo UEV (Tabella 6). Uniformare le unità di misura classiche al solar emergy Joule (seJ) permette il confronto tra il contributo dei diversi input.

Nella penultima riga è riportato il totale dell'emergia consumata dalle diverse aziende

Tabella 6. Tabella emergetica (valori in seJ/anno).

N° elemento	Input	UEV in GEB baseline	Emergy						
			Monterosso	Battura	Lavagè	Bruzzone	Fortunato	Pensa	Gotelli
1	**Radiazione solare**	**1,00E+00**	**4,52E+07**	**8,61E+06**	**2,49E+07**	**4,65E+08**	**3,43E+08**	**4,98E+06**	**1,13E+08**
2	**Vento**	**1,86E+03**	**3,97E+16**	**7,56E+15**	**2,18E+16**	**3,67E+17**	**2,72E+17**	**3,95E+15**	**1,08E+17**
3	**Pioggia**	**1,09E+05**	**1,85E+17**	**3,54E+16**	**1,02E+17**	**1,98E+18**	**1,49E+18**	**2,16E+16**	**5,15E+17**
4	**Calore geotermico**	**7,73E+03**	**2,15E+16**	**4,09E+15**	**1,18E+16**	**1,61E+17**	**1,20E+17**	**1,75E+15**	**5,36E+16**
5	**Macchinari**		**8,92E+14**	**1,46E+16**	**1,52E+16**	**6,18E+16**	**3,25E+16**	**9,34E+14**	**1,43E+16**
5.a	Acciaio	4,38E+09	6,69E+14	1,35E+16	1,38E+16	6,03E+16	3,19E+16	8,15E+14	1,43E+16
5.b	Plastica	1,04E+10	2,23E+14	2,23E+14	2,23E+14	0,00E+00	0,00E+00	1,19E+14	0,00E+00
5.c	Vetroresina	5,97E+09		8,96E+14	1,19E+15	1,49E+15	5,97E+14	0,00E+00	0,00E+00
6	**Alimentazione**		**1,63E+16**	**6,49E+16**	**1,18E+17**	**4,07E+17**	**2,17E+17**	**1,25E+16**	**5,43E+16**
6.a	Fieno	4,81E+07		3,83E+15			2,81E+16	8,83E+14	
6.b	Cereali	1,08E+09				4,07E+17		1,16E+16	5,43E+16
6.c	Mangime	1,43E+09	1,63E+16	6,02E+16	1,15E+17		1,89E+17		
6.d	Latte in polvere	1,40E+09		8,23E+14	2,82E+15				
7	**Paglia**	**1,44E+05**				**2,88E+13**			
8	**Acqua**	**3,37E+06**	**3,60E+14**	**7,07E+15**	**1,15E+16**	**4,98E+15**	**2,16E+15**	**2,18E+14**	**9,97E+14**
8.a	Acqua potabile	2,38E+06		7,07E+15	1,15E+16			2,18E+14	
8.b	Acqua da falda	9,86E+05	3,60E+14			4,98E+15	2,16E+15		9,97E+14
9	**Carburante**	**7,49E+09**	**1,62E+15**	**3,35E+16**	**7,43E+16**	**1,01E+17**	**6,19E+16**	**9,28E+14**	**4,64E+16**
9.a	Gasolio	3,71E+09		3,35E+16	5,57E+16	1,01E+17	6,19E+16	9,28E+14	4,64E+16
9.b	Benzina	3,78E+09	1,62E+15						
9.c	Gpl	5,18E+05			1,86E+16				
10	**Elettricità**	**1,18E+05**		**5,11E+15**	**1,84E+16**	**7,80E+15**	**2,55E+15**	**8,51E+14**	**1,19E+15**
11	**Cemento**	**3,04E+09**	**6,95E+16**	**6,33E+16**	**1,07E+17**	**7,75E+17**	**6,00E+17**	**1,11E+16**	**4,79E+16**

12	**Capi bovini**	**1,89E+10**					**3,19E+17**		
13	**Semi per pascolo**	**8,76E+08**			**8,76E+11**	**7,88E+12**			**4,38E+11**
14	**Fertilizzanti**	**7,28E+11**				**9,46E+15**			
15	**Lavoro**	**3,82E+12**	**1,34E+16**	**2,80E+16**	**3,05E+16**	**4,04E+16**	**3,67E+16**	**1,92E+16**	**9,17E+15**
16	**Servizi**	**7,28E+11**	**3,22E+16**	**2,40E+15**	**1,09E+16**	**3,69E+16**	**5,91E+16**	**3,35E+15**	**8,73E+15**
		TOTALE	3,41E+17	2,58E+17	4,99E+17	3,58E+18	2,94E+18	7,24E+16	7,51E+17

Rinnovabilità della produzione

La conversione in termini emergetici consente di mettere a confronto diretto le diverse risorse utilizzate nel processo che ora sono convertite in energia solare equivalente e permetterà di sviluppare indici di sostenibilità e di valutare il contributo delle risorse naturali al valore delle produzioni.

In questo senso in tabella 7 si riporta il contributo in termini percentuali dei diversi input alle produzioni al fine di evidenziare la rilevanza dei contributi di risorse rinnovabili.

Tabella 7. Contributi emergetici percentuali dei flussi in entrata nel sistema

N° elemento	Input	%						
		Monterosso	Battura	Lavagè	Bruzzone	Fortunato	Pensa	Gotelli
1	Radiazione solare	-	-	-	-	-	-	-
2	Vento	-	-	-	-	-	-	-
3	**Pioggia**	**54,25%**	**13,72%**	**20,44%**	**55,31%**	**50,72%**	**29,83%**	**68,58%**
4	**Calore geotermico**	**6,30%**	**1,59%**	**2,36%**	**4,50%**	**4,09%**	**2,42%**	**7,14%**
5	**Macchinari**	**0,26%**	**5,67%**	**3,05%**	**1,73%**	**1,11%**	**1,29%**	**1,90%**
5.a	Acciaio	0,20%	5,23%	2,77%	1,68%	1,09%	1,13%	1,90%
5.b	Plastica	0,07%	0,09%	0,04%	0,00%	0,00%	0,16%	0,00%
5.c	Vetroresina	0,00%	0,35%	0,24%	0,04%	0,02%	0,00%	0,00%
6	**Alimentazione**	**4,78%**	**25,14%**	**23,61%**	**11,37%**	**7,39%**	**17,24%**	**7,23%**
6.a	Fieno	0,00%	1,48%	0,00%	0,00%	0,96%	1,22%	0,00%
6.b	Cereali	0,00%	0,00%	0,00%	11,37%	0,00%	16,02%	7,23%
6.c	Mangime	4,78%	23,33%	23,05%	0,00%	6,43%	0,00%	0,00%
6.d	Latte in polvere	0,00%	0,32%	0,57%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
7	**Paglia**	**0,00%**	**0,00%**	**0,00%**	**0,00%**	**0,00%**	**0,00%**	**0,00%**
8	**Acqua**	**0,11%**	**2,74%**	**2,30%**	**0,14%**	**0,07%**	**0,30%**	**0,13%**
8.a	Acqua potabile	0,00%	2,74%	2,30%	0,00%	0,00%	0,30%	0,00%

8.b	Acqua da falda	0,11%	0,00%	0,00%	0,14%	0,07%	0,00%	0,13%
9	**Carburante**	**0,48%**	**12,98%**	**14,89%**	**2,82%**	**2,11%**	**1,28%**	**6,18%**
9.a	Gasolio	0,00%	12,98%	11,16%	2,82%	2,11%	1,28%	6,18%
9.b	Benzina	0,48%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
9.c	Gpl	0,00%	0,00%	3,73%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
10	**Elettricità**	**0,00%**	**1,98%**	**3,69%**	**0,22%**	**0,09%**	**1,18%**	**0,16%**
11	**Cemento**	**20,38%**	**24,53%**	**21,44%**	**21,65%**	**20,41%**	**15,33%**	**6,38%**
12	**Capi bovini**	**0,00%**	**0,00%**	**0,00%**	**0,00%**	**10,86%**	**0,00%**	**0,00%**
13	**Semi per pascolo**	**0,00%**	**0,00%**	**0,00%**	**0,00%**	**0,00%**	**0,00%**	**0,00%**
14	**Fertilizzanti**	**0,00%**	**0,00%**	**0,00%**	**0,26%**	**0,00%**	**0,00%**	**0,00%**
15	**Lavoro**	**3,93%**	**10,85%**	**6,11%**	**1,13%**	**1,25%**	**26,52%**	**1,22%**
16	**Servizi**	**9,44%**	**0,93%**	**2,18%**	**1,03%**	**2,01%**	**4,63%**	**1,16%**

Emerge il forte contributo delle risorse rinnovabili che contribuisce, in media, per circa il 45% dell'emergia totale fino ad un massimo pari al 75% del totale delle risorse impiegate. L'alta percentuale di risorse rinnovabili che entrano nei sistemi è dovuta, principalmente, alle elevate estensioni dei pascoli e dei prati da fieno, che, allo stesso tempo concorrono ad abbassare il contributo richiesto ai flussi connessi all'alimentazione.

Da evidenziare come emerga, in tutti i sistemi analizzati, il forte contributo emergetico delle infrastrutture, che raggiunge il 20% in quasi tutte le aziende.

Al fine di fornire indicazioni relative al livello di sostenibilità ambientale, i flussi in entrata al sistema possono essere scomposti in tre categorie: i flussi originati da risorse rinnovabili (R), quelli originati da risorse non rinnovabili interne al sistema (N) e quelli originati da risorse non rinnovabili provenienti dall'ambiente esterno rispetto al sistema (F). Nel nostro caso i flussi N sono quasi nulli e riguardano solo una frazione di acqua da falda (figura 3).

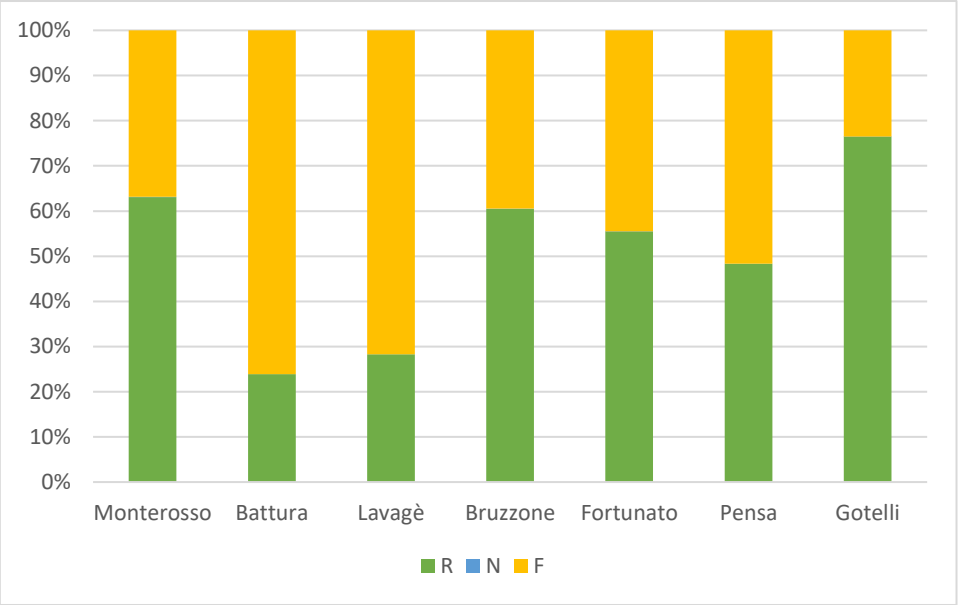


Figura 3. Ripartizione dei contributi rinnovabile (R), non rinnovabile proveniente dall'interno del sistema (N) e non rinnovabile proveniente dall'esterno del sistema (F).

Dal grafico si può notare come il contributo rinnovabile sia maggiore del 50% nelle aziende Monterosso, Bruzzone, Fortunato e Gotelli, leggermente inferiore al 50% nel caso di Fortunato e nettamente inferiore negli allevamenti di bovini da latte Battura e Lavagè.

L'emergia degli output e la relativa intensità emergetica.

Dopo aver calcolato il totale dell'emergia che contribuisce al funzionamento del sistema, è possibile ripartirla tra i diversi output che produce, per calcolare l'intensità emergetica di ognuno (Tabella 8). I calcoli sulla ripartizione dell'emergia sono stati effettuati secondo le regole dell'algebra emergetica (Figura 4).

Tabella 8. Intensità emergetica degli output dei sistemi analizzati.

	Intensità emergetica (sej/g)						
Produzione	Monterosso	Battura	Lavagè	Bruzzone	Fortunato	Pensa	Gotelli
Latte	1,19E+10	8,75E+08	1,00E+09			7,56E+09	
Formaggio	9,89E+10	5,15E+09	8,77E+09			6,30E+10	
Capi bovini		3,25E+10	1,96E+10		3,01E+10		2,23E+10
Carne bovina				3,73E+10	4,71E+10		
Capi caprini	6,81E+11						
Carne caprina	1,61E+12					4,95E+11	

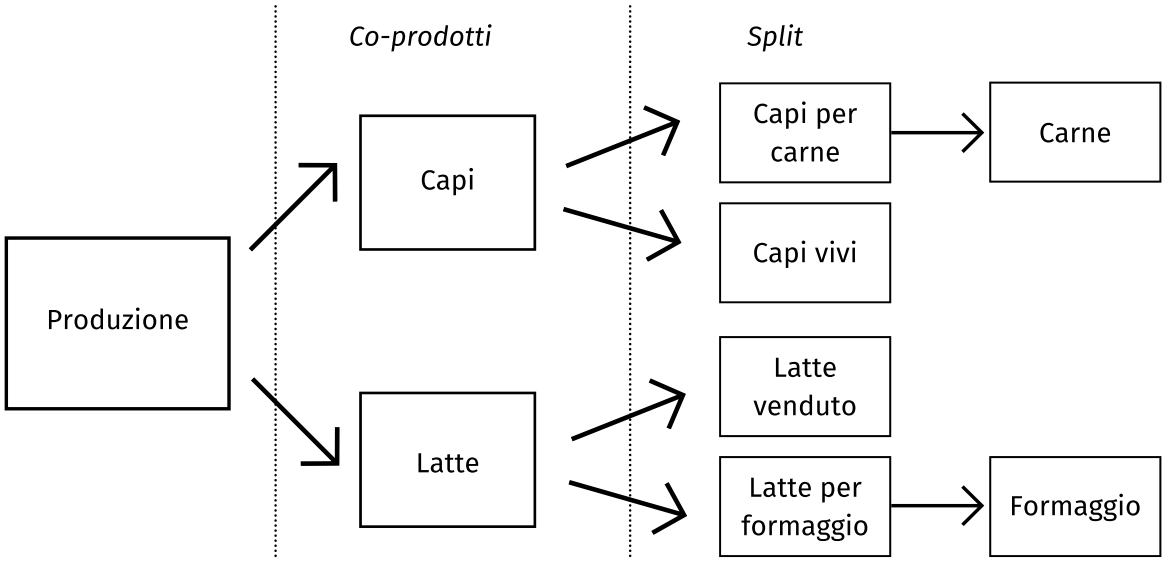


Figura 4 Rappresentazione schematica di co-prodotti e split.

Per quanto riguarda gli allevamenti di bovini da carne Gotelli e Bruzzone abbiamo un solo output, poiché il primo vende capi vivi pronti per la macellazione e il secondo porta al macello tutti i capi che produce e vende carne. Per ottenere l'intensità emergetica dei capi vivi è stata divisa l'emergia totale del sistema per i grammi di capi prodotti, mentre per il calcolo dell'intensità emergetica della carne è stato necessario dividere ulteriormente per la resa media di un capo della razza allevata.

Nell'allevamento di bovini da carne Fortunato abbiamo un solo output (capi) che, però, viene diviso in due split (capi vivi e capi per carne). Successivamente, lo split "capi per carne" è stato diviso per la resa media di un capo della razza allevata per ottenere l'intensità emergetica della carne.

Negli allevamenti di bovini e caprini da latte (Battura, Lavagè, Monterosso e Pensa) abbiamo due co-prodotti, ovvero "latte" e "capi".

Il co-prodotto "latte" viene diviso in due split ("latte venduto" e "latte per formaggio") e per ottenere l'intensità emergetica del formaggio, dopo aver calcolato il flusso emergetico che fluisce nello split "latte per formaggio", questo è stato diviso per la quantità di formaggio prodotto.

Il co-prodotto "capi", nel caso di Battura, Lavagè e Pensa, non viene ulteriormente diviso, poiché nei primi due allevamenti vengono prodotti solamente capi vivi e nel terzo solamente capi per carne. Nel caso di Monterosso, il co-prodotto "capi" viene diviso in due split ("capi vivi" e "capi per carne") e per calcolare l'intensità emergetica della carne è stato moltiplicato il flusso che fluisce in "capi per carne" per la resa media di un capo della razza allevata.

Queste valutazioni hanno permesso di sviluppare confronti tra le filiera produttive bovine e caprine che indicano come la produzione di un litro di latte di capra, dal punto di vista emergetico, sia mediamente dieci volte più costosa (o di maggior valore) rispetto alla produzione di un litro di latte vaccino (stessa valutazione anche per la produzione di formaggio).

La filiera lattiero-casearia delle aziende analizzate risulta meno efficiente e più costosa, in termini di sforzo ambientale, rispetto a quella della carne. Questo risultato è dovuto principalmente al fatto che le aziende analizzate che producono carne hanno un'estensione di pascoli molto più elevata, che permette dei buoni risultati di rinnovabilità e di sostenibilità.

Confronto con altre realtà

Per comprendere meglio la situazione locale e mettere in luce i punti di forza e di debolezza della filiera di produzione ligure si propone un confronto con realtà diverse analizzate con la stessa metodologia.

Ci sono troppo pochi dati a disposizione per confrontare i risultati di questo studio con altri allevamenti italiani, per questo motivo sono stati scelti alcuni studi effettuati in Slovenia (Jaklič et al., 2014), nel Montado (da Fonseca, 2016), in Florida (Brandt-Williams, 2001) e in Argentina (Rotolo et al., 2007).

Le aziende agricole ligure del settore lattiero-caseario analizzate sono state messe a confronto con tre aziende slovene dello stesso settore (Jaklič et al., 2014). Le tre aziende con cui sono stati fatti i confronti sono state definite dagli autori allevamenti "Biologico estensivo", "Convenzionale" e "Intensivo" (Tabella 9).

Tabella 9. Confronto tra la filiera di produzione ligure e tre aziende slovene di diversi tipo analizzate da Jaklič et al. (2014).

Tipo di allevamento	**Battura**	**Lavagè**	**Monterosso**	**Pensa**	**Biologico estensivo**	**Convenzionale**	**Intensivo**
Intensità emergetica (seJ/g)	8,75E+08	1,00E+09	1,19E+10	7,56E+09	9,35E+08	6,45E+08	6,71E+08
%R	0,24	0,28	0,63	0,48	0,65	0,23	0,14

La tabella mostra che l'intensità emergetica delle produzioni bovine liguri è mediamente più alta rispetto all'intensità emergetica delle produzioni slovene. La produzione di Battura (8,75E+08 sej/g) risulta più efficiente della produzione biologica estensiva (9,35E+08 sej/g), mentre le altre sono meno efficienti di tutte e tre le aziende prese a confronto.

È bene ricordare, però, che una maggiore intensità emergetica riflette una maggiore qualità del prodotto, siccome risulta maggiore l'investimento dell'ecosistema nella filiera di produzione.

Se si considera la percentuale di rinnovabilità (%R), i valori delle aziende liguri che producono latte vaccino si stabilizzano sui valori dell'allevamento definito convenzionale. Questo valore è dovuto al fatto che i pascoli delle aziende analizzate non sono abbastanza ricchi, o abbastanza ampi, da soddisfare il totale foraggiamento ed è, quindi, necessario integrare l'alimentazione con altro fieno, anche durante il periodo di pascolo.

Per quanto riguarda il latte caprino, la rinnovabilità del sistema dell'azienda Monterosso (63%) è pienamente al pari dell'allevamento biologico estensivo (65%) analizzato dagli autori, e l'azienda Pensa (48%) si colloca a metà tra il convenzionale (23%) e il biologico estensivo (65%).

Le aziende liguri che producono bovini da carne sono state messe a confronto con un'azienda di produzione integrata del Montado (da Fonseca, 2016), con la produzione di carne bovina in Florida (Brandt-Williams, 2001) e con un allevamento di bovini nella Pampa in Argentina (Rotolo et al., 2007) (Tabella 10*Tabella*).

Tabella10 Confronto tra le produzioni bovine liguri con tre aziende, una del Montado, una della Florida e una dell'Argentina.

Tipo di allevamento	**Bruzzone**	**Fortunato**	**Gotelli**	**Montado**	**Florida**	**Argentina**
Intensità emergetica (seJ/g)	2,39E+10	3,01E+10	2,23E+10	1,83E+10	3,64E+09	4,99E+09
%R	0,64	0,69	0,78	0,46	0,77	0,65

L'intensità emergetica dei capi prodotti nelle aziende liguri sono 2,39E+10 sej/g, 3,01E+10 sej/g, 2,23E+10 sej/g e questi valori sono leggermente più alti rispetto all'intensità emergetica dei capi del Montado (1,83E+10 sej/g) e più alti rispetto all'UEV della produzione della Florida (3,64E+09 sej/g) e dell'Argentina (4,99E+09 sej/g). D'altra parte, una maggiore intensità emergetica è associata ad una maggiore qualità del prodotto, derivante da un maggiore investimento dell'ecosistema nella loro produzione.

Guardando i valori di rinnovabilità del sistema (%R) si può vedere come le aziende liguri abbiano una percentuale di rinnovabilità alta, in alcuni casi più alta di quelle analizzate dagli autori. Questi valori, che superano in tutti i casi il 50%, riflettono l'elevato utilizzo di risorse locali per la loro produzione.

Il valore naturale nascosto dei prodotti

Oltre agli indici emergetici, è stato calcolato il valore emergetico in € (Em€), che indica il prezzo che dovrebbe avere il prodotto se fosse contabilizzato anche lo sforzo che la natura impiega nella produzione (Tabella 11*Tabell*). L'Em€ si ottiene dividendo l'intensità emergetica (sej/g) del prodotto, che si vuole considerare, per il valore emergetico unitario dell'euro (7,28E+11 sej/€). Il valore viene poi convertito all'unità di misura di mercato (€/litro per il latte e €/kg per la carne) per una più facile 'interpretazione.

Dalla tabella emerge che i valori emergetici in € sono molto più alti dei prezzi a cui l'azienda vende il prodotto.

Tabella 11 Valori emergetici espressi in €.

Em€ latte vaccino	Battura	Lavagè
€/litro	1,26	1,45

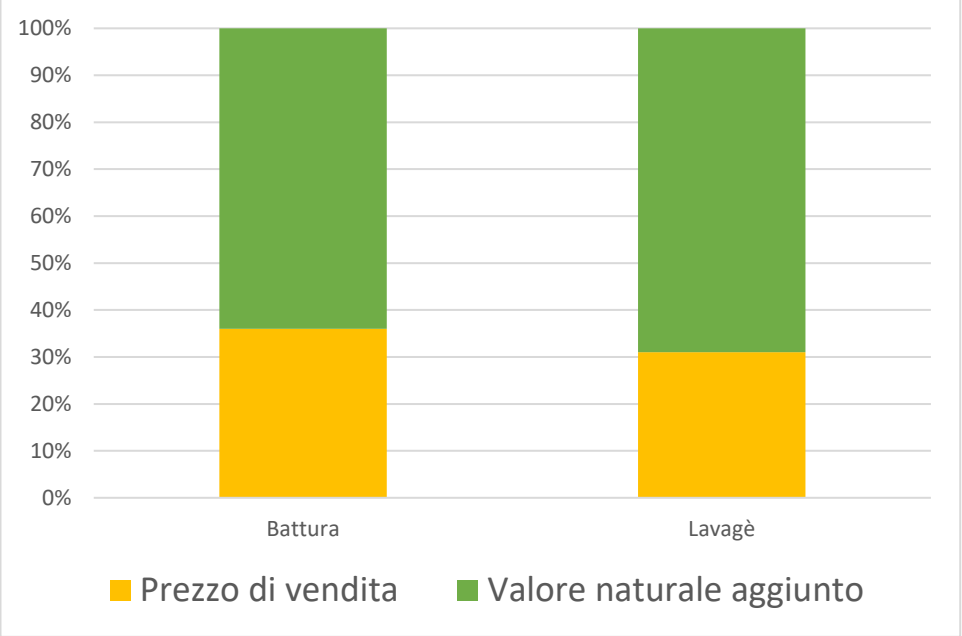
Em€ latte caprino	Monterosso	Pensa
€/litro	17,12	10,90

Em€ carne bovina	Bruzzone	Fortunato	Gotelli
€/kg	60,75	76,67	56,64

La differenza tra il valore emergetico in € (Em€) e il prezzo a cui l'azienda vende il prodotto può essere definito il valore naturale aggiunto. Il valore naturale aggiunto può essere definito come lo sforzo che la natura impiega nella produzione, che in termini economici non viene contabilizzato, ma che, in realtà, è parte integrante della qualità del prodotto.

Per quanto riguarda il latte vaccino, di cui conoscevamo il prezzo di vendita, è stato possibile rappresentare il valore naturale aggiunto in un grafico percentuale, in cui in giallo è rappresentato il valore a cui l'azienda vende il prodotto, e in verde è rappresentato il valore naturale aggiunto (Figura 5).

Figura 5 Valore naturale aggiunto della produzione di latte vaccino ligure.



Come si può notare, il valore naturale aggiunto supera il 60% in entrambe le aziende. Il valore naturale nascosto è importante che venga contabilizzato, in modo da valorizzare i processi naturali e biologici, che partecipano attivamente alla filiera di produzione.

Considerazioni conclusive

L'analisi effettuata sulle sette aziende liguri ha riportato buoni risultati e ha reso possibile la realizzazione di una analisi di sostenibilità ambientale degli allevamenti bovini e caprini in Liguria.

In particolare, lo studio ha evidenziato che:

- gli allevamenti analizzati che producono carne bovina e che producono latte caprino, hanno un'alta percentuale di rinnovabilità;

- le aziende analizzate che producono carne bovina e latte caprino presentano valori che suggeriscono una buona sostenibilità ambientale;
- in generale, le performance ambientali delle aziende da carne risultano migliori di quelle da latte;
- le aziende che producono autonomamente il fieno e che, soprattutto, acquistano i cereali per schiacciarli, o trasformarli in mangime, risultano più efficienti di quelli che acquistano il mangime in pellet o in polvere;
- il tempo che gli animali trascorrono nutrendosi autonomamente al pascolo è direttamente proporzionale alla rinnovabilità del sistema;
- le aziende che non possiedono pascoli abbastanza ricchi, o un'estensione sufficiente a permettere il totale foraggiamento degli animali durante il periodo di pascolo risultano molto meno efficienti, dal punto di vista della rinnovabilità del sistema;
- il consumo di acqua non risulta significativo dal punto di vista emergetico;
- l'utilizzo di macchinari automatizzanti, come la mungitrice automatica, può portare ad un'efficienza emergetica maggiore;
- i valori Em€ di tutti i prodotti risultano molto maggiori rispetto al prezzo a cui le aziende li vendono (per il latte vaccino risulta essere maggiore del 60%);

Riferimenti bibliografici

Bastianoni, S., Campbell, D., Susani, L., Tiezzi, E., et al., 2005. The solar transformity of oil and petroleum natural gas, Ecological Modelling, 186, 2, 212-220.

Bastianoni, S., Campbell, D.E., Ridolfi, R., Pulselli, F.M., 2009. The solar transformity of petroleum fuels, Ecol. Model., 220, 40-50.

Bastianoni, S., Marchettini, N., Panzieri, M., Tiezzi, E., 2001. Sustainability assessment of a farm in the Chianti area (Italy), Journal of Cleaner Production, 9, 4, 365-373.

Brown M.T, Herendeen R.A, 1996. Embodied energy analysis and EMERGY analysis: a comparative view. Ecological Economics 19: 219-235

Brown, M. T., Bardi, E., 2001. "Emergy of Ecosystems," Handbook of Emergy Evaluation, University of Florida, Gainsville.

Brown, M.T., Vorasun Buranakarn, 2003. Emergy indices and ratios for sustainable material cycles and recycle options, Resources, Conservation and Recycling, 38, 1, 1-22.

Buenfil, A., 2001. Emergy of Water. A dissertation presented to the graduate school of the University of Florida in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosofy. University of Florida, 264.

Cabezas, H., Campbell, D.E., Eason, T., Garmestani, A.S., Heberling, M.T., Hopton, M.E., Templeton, J., White, D., Zanowick, M., 2010. San Luis Basin Sustainability Metrics Project: A Methodology for Evaluating Regional Sustainability. Report Number EP A/600/R-10/182 of the Office of Research and Development National Risk Management Research Laboratory, USA.

Caruso, C., Catenacci, G., Marchettini, N. et al., 2001. Emergy Based Analysis of Italian Electricity Production System. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry 66, 265–272.

Castellini, C., Bastianoni, S., Granai, C., Dal Bosco, A., Brunetti, M., 2006. Sustainability of poultry production using the emergy approach: comparison of conventional and organic rearing systems. Agric. Ecosyst. Environ. 114, 343–350.

Coppola, F., Bastianoni, S., Østergård, H., 2009. Sustainability of bioethanol production from wheat with recycled residues as evaluate by emergy assessment. Biomass Bioenergy 33, 1626–1642.

da Fonseca, A.M.P., Marques, C.A.F., Pinto-Correia, T., Campbell, D.E., 2016. Emergy analysis of a silvo-pastoral system, a case study in southern Portugal. Agrofor. Syst. 90, 137-157.

Forrester, J. (2002). Road Maps: A guide to learning system dynamics. Cambridge: System Dynamics Group, Sloan School of Management, MIT

Jaklič, T., Juvančič, L., Kavčič, S., Debeljak, M., 2014. Complementarity of socio-economic and emergy evaluation of agricultural production systems: The case of Slovenian dairy sector, Ecological Economics, 107, 469-481.

Meadows, D. (1980). The unavoidable A Priori. In Randers (ed.) Elements of the system dynamics method (pp. 23-57). Cambridge: MIT Press

Odum, H.T., 1988. Self organization, transformity and information. Science 242,1132–1139.

Odum, H.T., 1996. Environmental Accounting: Emergy and Environmental DecisionMaking. John Wiley and Sons, New York, 370 pp.

Odum, H.T., S.J. Doherty, F.N. Scatena, and P.A. Kharecha, 2000. Emergy evaluation of reforestation alternatives in Puerto Rico. Forest Sci., 46, 521-530.

Patrizi, N., Niccolucci, V., Castellini, C., Pulselli, F.M., Bastianoni, S., 2018. Sustainability of agro-livestock integration: implications and results of Emergy evaluation. Sci. Total Environ. 1543-1552.

Pereira L., Zucaro A., Ortega E., Ulgiati S., 2013. Wealth, Trade and the Environment: Carrying Capacity, Economic Performance and Wellbeing in Brazil and Italy. Journal of Environmental Accounting and Management, 1(2): 161-190.

Pulselli, F.M., Patrizi, N., Focardi, S., 2011. Calculation of the unit emergy value of water in an Italian watershed, Ecol. Model., 222, 2929-2938.

Pulselli, R.M., Pulselli, F.M., Rustici M., 2008a. Emergy accounting of the province of Siena: towards a thermodynamic geography for regional studies, J. Environ. Manag., 86, 342-353.

Pulselli, R.M., Simoncini, E., Ridolfi, R., Bastianoni, S., 2008b. Specific emergy of cement and concrete: an energy-based appraisal of building materials and their transport, Ecol. Indic., 8, 647-656.

Randers, J. (1980). Elements of the System Dynamics method. Cambridge: MA: MIT Press.

Richardson, G. and Pugh, A. (1981). Introduction to System Dynamics with Dynamo. Portland: OR: Productivity Press

Spagnolo, S., 2017. PhD Thesis, Emergy-based sustainability assessment of a renewable energy system at different scales.

Ulgiati, S., Brown, M.T., Bastianoni, S. and Marchettini, N. (1995). Emergy-based indices and ratios to evaluate the sustainable use of resources. Ecological engineering, 5(4), 519-53