

# Valutazione della sostenibilità ambientale della produzione di latte e formaggio caprino mediante approccio LCA



STEFANIA CELOZZI, SILVANA MATTIELLO, MONICA BATTINI, GIOVANNI BAILO, LUCIANA BAVA, ALBERTO TAMBURINI, IRENE VALSECCHI, MADDALENA ZUCALI\*

Dipartimento di Scienze Agrarie e Ambientali - Produzione, Territorio, Agroenergia, Università degli Studi di Milano, Via Giovanni Celoria 2, 20133 Milano, Italy

## SUMMARY

Although the contribution to greenhouse gas emissions of dairy goat breeding has a limited weight in respect to the whole livestock sector, it is yet paramount to reduce the carbon footprint in order to limit the impact on climate change. The objective of this study was to quantify the environmental impact of milk production in 8 dairy goat farms in Lombardy region (Northern Italy) by using a Life Cycle Assessment approach; the focus was set on critical points of the production process. Environmental impact results were very variable, ranging from 1.12 to 3.05 kg CO<sub>2</sub> eq/kg fat and protein corrected milk. Farms with a different milk production level (946 and 1260 kg per goat/year) showed similar levels of kg CO<sub>2</sub> eq emitted (1.46 vs 1.48). This suggests that the intensification of milk production alone is not enough to make the goat milk production system more efficient: in fact, appropriate feeding strategies, in particular the increase of feed self-sufficiency and a rational management of livestock effluents, can also help to reduce the emission load of goat milk production. Our study confirms that enteric methane emissions and purchased feed are the main drivers of environmental impact of goat milk production, although with a different weight of these hotspots, according to the production context. During goat cheese production, only 10% of greenhouse gas emissions depend on cheese making process *per se*, whereas the major impact (90%) is due to goat milk production. Farms that are characterized by extensive systems had worse environmental results expressed by kg fat and protein corrected milk; when 1 ha of usable agricultural area is considered as functional unit, these farms obtain better environmental results, because their impact is diluted on a higher soil availability. This study has highlighted that, although there are processes such as enteric methane emission in which the intervention of farmer is limited, there are management strategies that can contribute to reduce the environmental impact of goat milk production.

## KEY WORDS

Environmental impact, Dairy goat production, Life Cycle Assessment.

## INTRODUZIONE

La sostenibilità di un processo è un concetto complesso, al quale si fa fatica a dare una definizione. Ancor più complessa è la valutazione della sostenibilità dei processi biologici, quali sono quelli che caratterizzano la produzione zootecnica. Quest'ultima è una filiera lunga e con molti attori, che include molteplici prodotti, sottoprodotti e scarti. Ad aumentare la complessità dell'analisi di tale processo produttivo vi è poi l'aspetto del management aziendale, che varia da azienda ad azienda, così come l'attenzione alla registrazione dei dati che caratterizzano il processo produttivo. In generale, possiamo affermare che una produzione zootecnica sostenibile fa riferimento ad un contesto di produzione efficiente, sicuro e che mira a proteggere, migliorare e soprattutto preservare a lungo termine l'ambiente naturale, le condizioni sociali ed economiche degli allevatori, i loro dipendenti e le comunità locali, salvaguardando la salute e il benessere di tutti gli animali allevati. Le emissioni di gas ser-

ra rappresentano, soprattutto in ambito scientifico, uno fra i metodi più utilizzati per esprimere il carico ambientale di un processo, sebbene si tratti solo di una delle possibili misure adottabili. La sostenibilità di un processo può essere considerata anche attraverso altri punti di vista, per esempio in relazione alla biodiversità, ai servizi di mantenimento del territorio, ai servizi sociali e fra quest'ultimi la conservazione delle tradizioni locali.

A livello globale la zootecnia ha un peso del 14,5% sul totale delle emissioni antropiche; il settore ovino e caprino impatta per il 6,5% sulle emissioni di gas climalteranti imputate al settore zootecnico<sup>1</sup>. A livello italiano questo dato è sicuramente più basso, se si considera che l'impatto ambientale dell'intero settore agricolo rappresenta il 7% delle attività antropiche, in termini di emissione di gas ad effetto serra<sup>2</sup>. Rispetto al passato tuttavia, si sta assistendo ad un aumento delle aziende intensive, con possibile peggioramento dell'impatto ambientale di questo comparto zootecnico. Pertanto, se si vuole mitigare il cambiamento climatico, anche il settore caprino deve ridurre la sua impronta carbonica. Anche l'allevatore può trarne dei vantaggi, come quello di indentificare i punti critici della propria azienda, anche da un punto di vista economico. Vi

Corresponding Author:  
Maddalena Zucali (maddalena.zucali@unimi.it)

può essere inoltre l'opportunità di valorizzare il prodotto (diversi sono gli esempi di marchi di dichiarazione ambientale di prodotto), e difenderlo da attacchi mediatici.

Il metodo più comunemente utilizzato per valutare il carico ambientale della produzione di latte è quello dell'LCA (*Life Cycle Assessment*), che consente di identificare e quantificare i consumi di materia ed energia e le emissioni nell'ambiente<sup>3</sup>. Tale metodo permette da una parte di valutare il processo produttivo nella sua totalità, identificandone i punti critici, e dall'altra di comparare processi diversi (ad esempio biologico vs convenzionale) o che portano alla produzione di alimenti differenti. Si tratta di uno strumento che può essere utile non solo all'allevatore per prendere decisioni a livello aziendale, ma anche ai politici per prendere decisioni a livello locale e nazionale. Nonostante ciò, tale metodo non è in grado di considerare la totalità degli impatti ambientali che si generano dalla produzione di un alimento, non quantificando ad esempio l'impatto sulla biodiversità, sui servizi di mantenimento del territorio, sui servizi sociali, ecc. I risultati sono inoltre fortemente dipendenti dalle scelte di calcolo utilizzate, come ad esempio quella dell'unità funzionale (ossia l'unità di prodotto o di superficie sulla quale viene ripartito l'impatto) e non sono di facile comprensione. L'impatto ambientale può essere valutato considerando differenti fattori, come le emissioni di gas serra, l'acidificazione, l'eutrofizzazione, l'uso del suolo e quello dell'energia da fonti non rinnovabili: fra queste, la prima è senz'altro quella più utilizzata.

La produzione di alimenti utilizza risorse ambientali e determina l'immissione nell'ambiente di gas e prodotti con potere inquinante. Nell'allevamento dei ruminanti, e dunque anche nella produzione del latte di capra, le fermentazioni enteriche e la produzione degli alimenti rappresentano i principali *hot-spot*, ossia i processi che contribuiscono all'impatto ambientale.

Lo scopo dello studio è stato quello di quantificare l'impatto ambientale della produzione di latte di capra in un campione di aziende lombarde mediante metodo LCA, al fine di individuare i punti critici del processo produttivo.

## MATERIALI E METODI

Lo studio ha visto il coinvolgimento di 8 aziende commerciali di capre da latte, situate in 7 differenti province della regione Lombardia.

Il metodo LCA è stato implementato per valutare l'impatto ambientale delle produzioni aziendali; sono state prese in considerazione le emissioni di gas serra (o "*Carbon Footprint*" = impronta carbonica) come categoria d'impatto. La fase di inventario ha visto la raccolta dei dati sulle produzioni e sugli acquisti effettuati in un anno dalle aziende zootecniche; queste informazioni sono state raccolte sottoponendo gli allevatori a questionari. Le emissioni di gas ad effetto serra sono state quantificate utilizzando il software SIMAPRO e il metodo di caratterizzazione ILCD (International Life Cycle Data system) 2011 Midpoint V1.03 - ISO 14040/44<sup>5</sup>. Le emissioni di metano enterico (CH<sub>4</sub>) sono state stimate con il metodo TIER 2, applicando un'equazione INRA (2018)<sup>6</sup> che tiene conto della digeribilità della razione, mentre per le emissioni durante la stabulazione e dai reflui seguendo le linee guida elaborate nel 2006 dall'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)<sup>7</sup>. Le emissioni sono state calcolate per ogni categoria di animali pre-

senti in allevamento: capre in lattazione, caprette, capretti e becchi.

I risultati di impatto ambientale sono stati espressi come chilogrammi di anidride carbonica equivalente emessa in atmosfera e sono stati ripartiti su a) un chilogrammo di latte corretto per grasso e proteina (kg CO<sub>2</sub> eq/kg latte corretto); b) un chilogrammo di formaggio; c) un ettaro di superficie aziendale. Al fine di quantificare il latte corretto per grasso e proteina è stata utilizzata la seguente equazione dell'INRA:

$$FPCM = \text{Milk}_{\text{DEL}} (0.26 + 0.1352 \text{ fat}\% + 0.079 \text{ prot}\%)$$

Dove:

Milk<sub>DEL</sub> è il latte totale consegnato per anno e per azienda (kg/anno)

fat% è la percentuale in grasso del latte consegnato (%)

prot% è la percentuale in proteina grezza del latte consegnato (%)

Considerando come unità funzionale il chilogrammo di formaggio è stato preso in considerazione un "equivalente formaggio medio", un ipotetico formaggio semi stagionato con resa al 12%, che ha consentito di paragonare le diverse produzioni a livello aziendale e fra le aziende. Il sottoprodotto principale del processo di caseificazione è rappresentato dal siero, che viene somministrato ai suini in 6 aziende su 7; una sola azienda non dichiara la modalità di smaltimento di questo sottoprodotto.

Per il latte è stato utilizzato un metodo di allocazione fisico, al fine di ripartire l'impatto ambientale tra latte e carne prodotti in azienda, secondo quanto suggerito da IDF 2015<sup>8</sup>. Per il formaggio è stata presa in considerazione un'allocazione per sostanza secca, che permette di ripartire l'impatto in funzione del contenuto di sostanza secca del formaggio e del siero. La percentuale di sostanza secca del siero dolce (6%) è stata ottenuta dal database del United States Department of Agriculture (USDA, 2019<sup>9</sup>).

## RISULTATI

In tabella 1 vengono mostrate le caratteristiche principali delle aziende, che sono state coinvolte nella fase dimostrativa del progetto DEMOCAPRA - Divulgazione partecipativa di modelli gestionali sostenibili per l'allevamento della capra da latte in Lombardia mediante strumenti innovativi, finanziato dalla regione Lombardia (FEASR - Programma di Sviluppo Rurale 2014 - 2020 Misura 1 Operazione 1.2.01). I valori soglia presentati in questo paragrafo seguono le indicazioni dei tecnici Aral del team DEMOCAPRA.

Il numero medio di capre per azienda nel 2018 (137) è stato più alto della media delle aziende italiane nel 2016 (78,7 capre/azienda<sup>10</sup>). In sei aziende sono allevate razze cosmopolite (Camosciata delle Alpi o Saanen), mentre in due aziende sono allevate anche razze autoctone come la Nera di Verzasca (azienda F) e Nera di Verzasca e meticce (azienda H). L'orientamento produttivo riscontrato nelle aziende era diverso: tre aziende trasformavano il 70% del latte prodotto e vendevano il restante 30%; l'intera produzione aziendale veniva invece trasformata in quattro aziende e venduta interamente in una soltanto. La prolificità ha fatto registrare un numero medio di capretti nati per parto inferiore al valore soglia che, fa-

**Tabella 1** - Caratteristiche medie delle aziende analizzate.

Variabili	Unità	Media	Deviazione standard	Min	Max
Carico di bestiame	UBA*/ha	1,08	0,84	0,05	2,85
Capi munti fuori stagione	%	8	22	0	62
Capi in lattazione lunga	%	4,0	8,0	0	21,0
Fertilità ai parti**	%	83	10	69	96
Prolificità	n capretti/parto	1,68	0,20	1,45	1,95
Tasso di rimonta	%	22	11,4	2,0	36
Mortalità capretti	%	7	7	1	19
Mortalità capre	%	4	3	0	10
Capi improduttivi	%	3	3	0	7
Superficie totale	ha	56,7	103,8	9,75	310
Superficie a pascolo	% della SAU*** totale	17	26	0	65
Superficie a erba medica	% della SAU*** totale	19	33	0	82
Autosufficienza foraggera	%	74	19	50	100

\*UBA= Unità di Bestiame Adulto

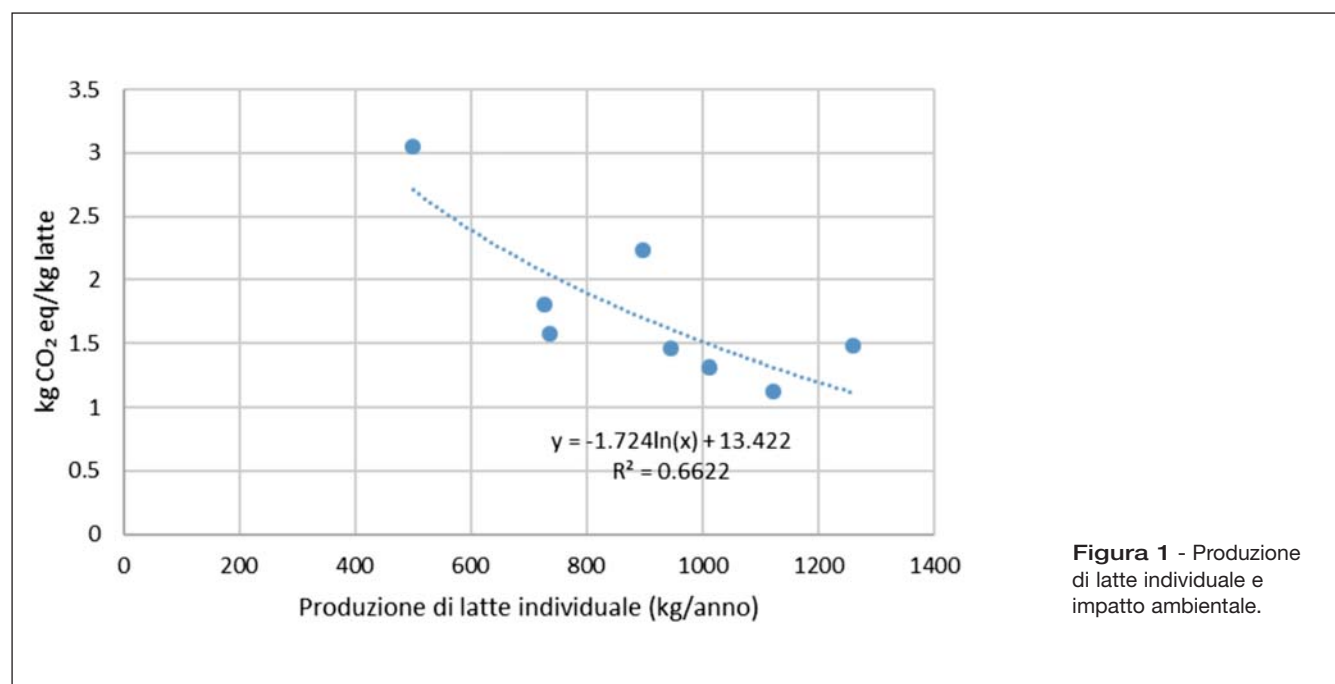
\*\*Fertilità ai parti calcolata come parti/capi alla monta in 7 aziende (l'azienda G non disponeva del dato del numero di parti)

\*\*\*SAU= Superficie Agricola Utile

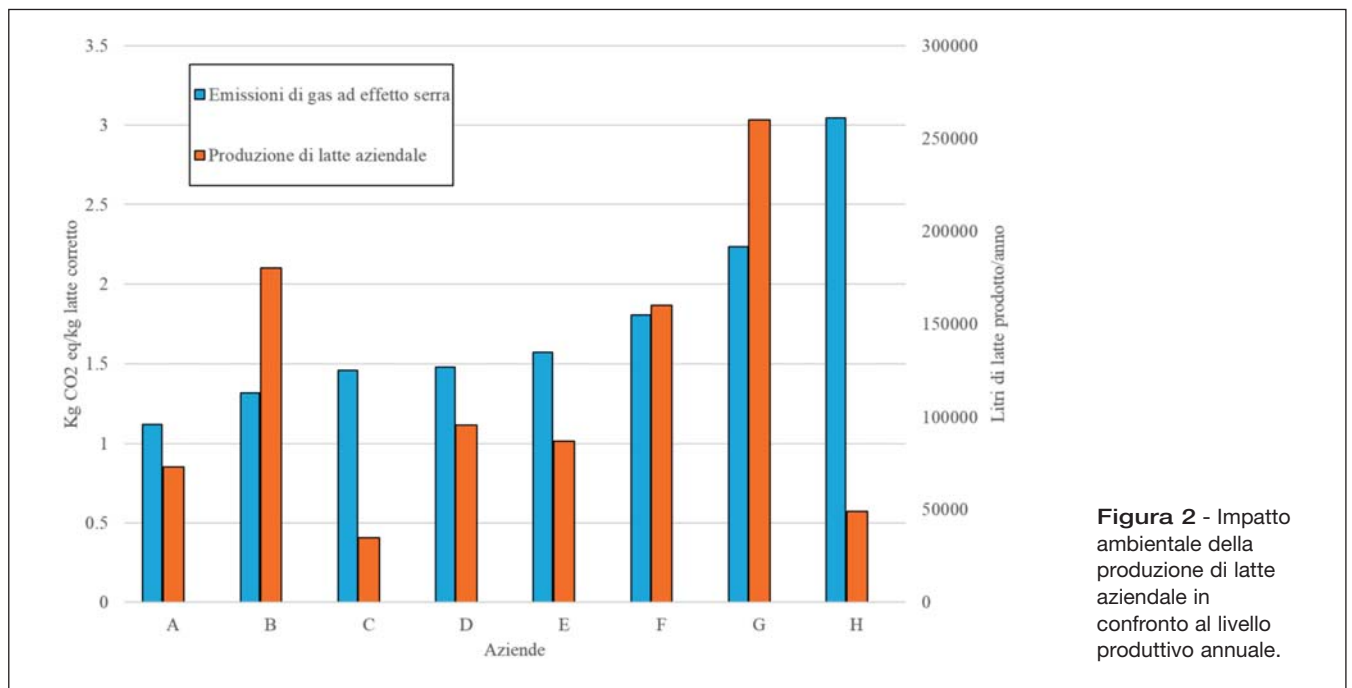
ciendo riferimento alle indicazioni dei tecnici del team DEMOCAPRA<sup>11</sup>, dovrebbe essere  $\geq 1,8$ . La mortalità delle caprette è stata appena sotto al valore limite dell'8%<sup>11</sup> ad indicare un aspetto di criticità nella gestione dei primi momenti di vita degli animali. La mortalità delle capre adulte è stata invece entro limiti ritenuti accettabili (valore soglia  $<10\%$ )<sup>11</sup>. Il valore medio dei capi improduttivi è stato al di sotto del 10%, valore oltre il quale devono essere ricercate le cause della scarsa efficienza produttiva<sup>11</sup>. Più di un terzo della SAU è stata utilizzata per il pascolo e la produzione di erba medica; l'autonomia foraggera media si è rivelata infatti essere piuttosto elevata. Come si può osservare nelle Figure 1 e 4, l'emissione di gas climalteranti delle 8 aziende è stata assai variabile, passando da 1,12 a 3,05 kg di CO<sub>2</sub> equivalenti/kg latte corretto. Questi risultati di impatto ambientale non sempre sono stati influenzati dal livello di produzione di latte individuale (espresso in

kg di latte per capra/anno), anche se si può notare un trend interessante. Le aziende C e D hanno mostrato un impatto ambientale simile (1,46 e 1,48 kg di CO<sub>2</sub> equivalenti/kg latte corretto rispettivamente), nonostante abbiano presentato livelli produttivi differenti (946 e 1.260 kg di latte per capra/anno).

Valutando le aziende in termini di latte consegnato annualmente (Figura 2), si è potuto osservare che l'azienda G, che ha mostrato la produzione di latte annua più elevata (259.956 litri di latte prodotto/anno), ha fatto anche registrare il secondo peggior risultato dal punto di vista dell'impatto ambientale (2,24 kg di CO<sub>2</sub> equivalenti/kg latte corretto). L'azienda H, caratterizzata da un regime di allevamento semi estensivo e dalla presenza nel gregge anche di razze locali (Nera di Verzasca e mesticce), ha conseguito l'impatto ambientale più elevato (3,05 kg di CO<sub>2</sub> equivalenti/kg latte corretto), sebbene la sua produzione di latte sia stata di poco superiore a quella dell'azienda C, che



**Figura 1** - Produzione di latte individuale e impatto ambientale.



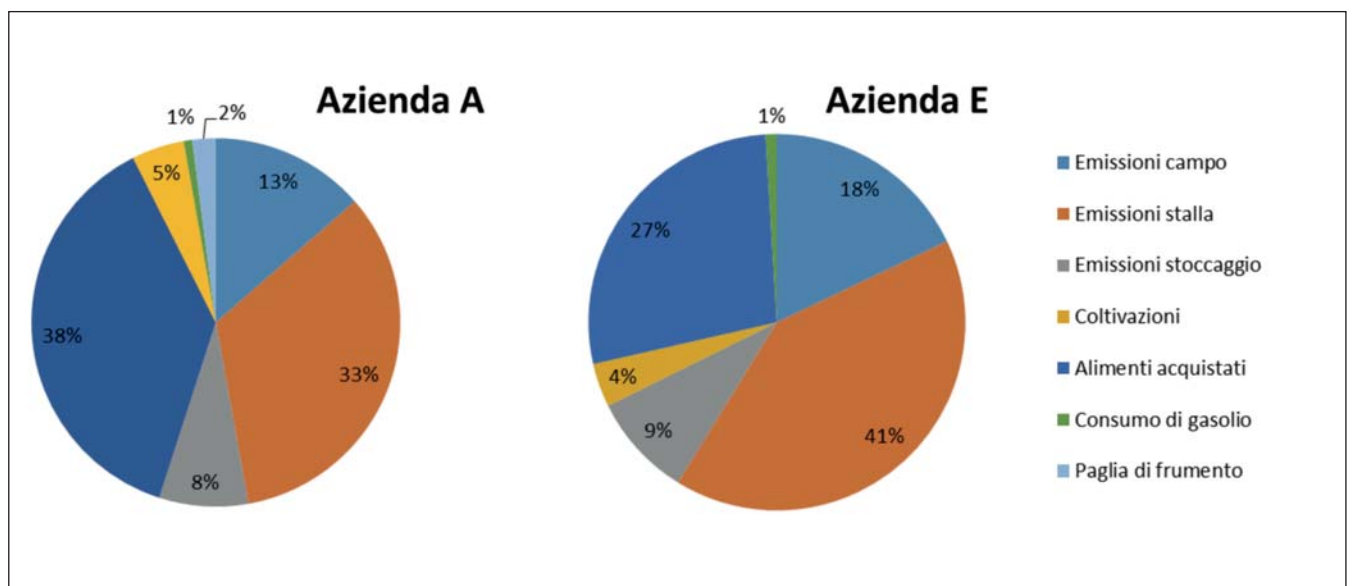
**Figura 2** - Impatto ambientale della produzione di latte aziendale in confronto al livello produttivo annuale.

invece ha avuto un carico emissivo decisamente più modesto (1,46 kg di CO<sub>2</sub> equivalenti/kg latte corretto). Ciò è da ricondurre prevalentemente ad un acquisto rilevante di concentrati da parte dell'azienda H e dunque a uno scarso sfruttamento del pascolo.

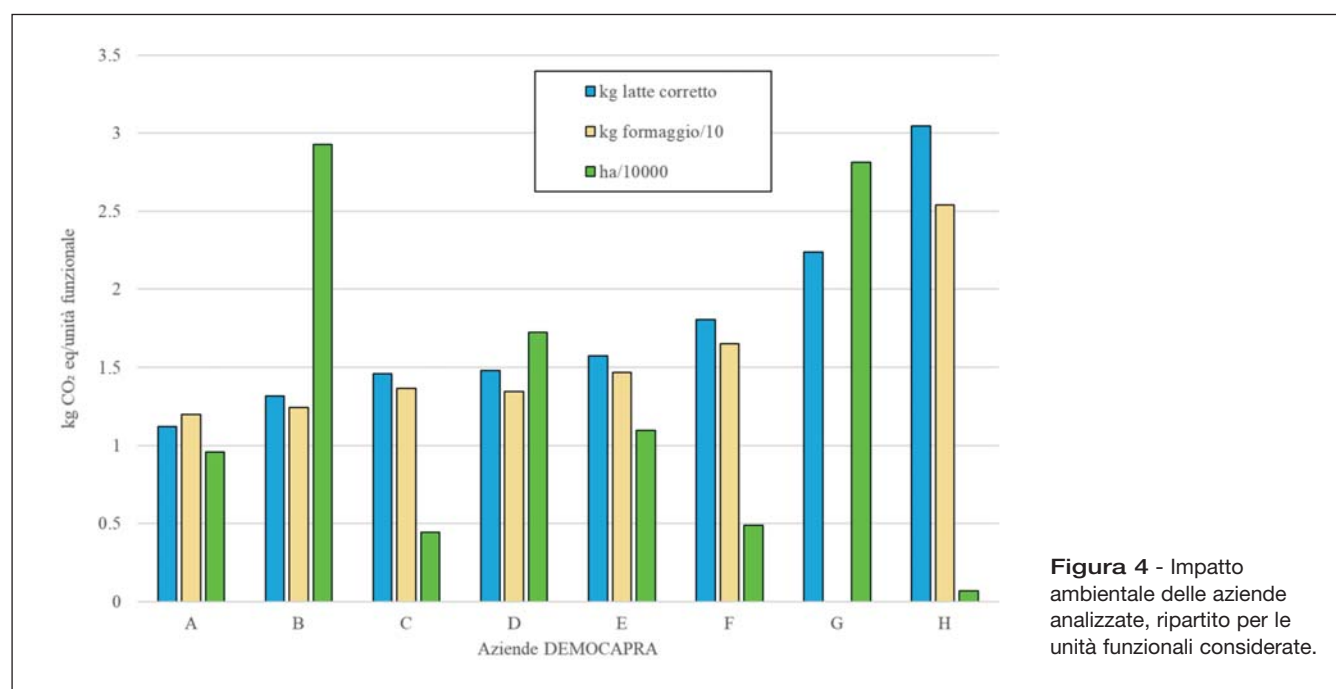
Le emissioni di metano enterico alla stalla e l'acquisto di alimenti sono risultati essere i principali *driver* dell'impatto ambientale della produzione di latte di capra. Nonostante ciò, aziende con impatto simile sull'ambiente (1,12 e 1,57 kg di CO<sub>2</sub> equivalenti/kg di latte corretto per l'azienda A ed E, rispettivamente) hanno mostrato un diverso "peso" di queste voci di impatto, come mostrato nella Figura 3. Il processo che più degli altri si rende responsabile dell'impatto ambientale dell'azienda E è rappresentato dalle emissioni di metano enterico, seguite dall'acquisto di alimenti. Un'altra voce importante di impatto è rappresentata dalle emissioni di campo, a evidenziare una gestione non ottimale della fertilizzazione organica e minerale. Anche nell'azienda A le emissioni di gas climalteranti sono sta-

te dovute ai medesimi *hotspot*, ma con il peso maggiore attribuito all'acquisto di alimenti, determinato da un elevato livello di concentrati della razione e una minore autosufficienza alimentare di questa azienda. In entrambe le aziende, lo stoccaggio delle deiezioni zootecniche ha rappresentato un ulteriore punto critico in termini ambientali, essendo la quarta voce che ha influenzato le emissioni in aria di gas serra.

I dati di impatto ambientale ripartito per chilogrammo di formaggio vengono riportati in Figura 4 per le sette aziende che hanno trasformato interamente o in massima parte (70%) il latte prodotto (ad eccezione dunque dell'azienda G, che ha venduto tutto il latte). Sebbene l'impatto ambientale della produzione di formaggio di capra sia risultato essere superiore a quello del latte in termini di chilogrammi di CO<sub>2</sub> equivalenti emessi in atmosfera, le differenze che sono state riscontrate tra le varie aziende relativamente all'emissione di gas climalteranti espressa per chilogrammo di formaggio sono state analoghe a quelle espresse per chilogrammo di latte corretto (Figure 1



**Figura 3** - Processi responsabili dell'emissione di gas climalteranti nelle aziende A ed E.



**Figura 4** - Impatto ambientale delle aziende analizzate, ripartito per le unità funzionali considerate.

e 4). Ciò è dovuto al fatto che circa il 90% dell'impatto ambientale della produzione del formaggio è dovuto alla produzione del latte; solo un rimanente 10% è dovuto alla corrente elettrica utilizzata in caseificio e ad altri input come il sale e i detersivi per la pulizia in caseificio. Questi risultati di impatto ambientale non si allontanano molto da quelli della produzione di Grana Padano DOP, dove il 95,3% dell'impatto ambientale è imputabile alla produzione della materia prima latte, mentre il 3,93% è dovuto al processo di caseificazione. Il restante 0,78% è dovuto alla stagionatura<sup>12</sup>.

Considerando come unità funzionale l'ettaro di superficie aziendale, i risultati di impatto ambientale sono cambiati notevolmente (Figura 4). La Superficie Agricola Utile (SAU) media delle 8 aziende analizzate è risultata essere pari a 56,7 ettari, ma ha presentato un'ampia variabilità (circa 10 ettari nell'azienda D vs 310 ettari nell'azienda H). L'azienda H, che ha mostrato l'impatto ambientale più elevato se espresso per kg di CO<sub>2</sub> eq/kg di latte corretto, ha mostrato il minor valore di emissioni di gas climalteranti per ettaro di superficie, poiché l'ampia disponibilità di suolo ha consentito di "diluire" tale impatto.

## DISCUSSIONE

I risultati di impatto ambientale sono stati dapprima ripartiti sul chilogrammo di latte corretto; questa unità funzionale consente di avere una qualità del latte standardizzata e quindi risultati comparabili tra le varie aziende. Al pari di quanto evidenziato in molti studi scientifici<sup>13</sup>, l'impatto ambientale è risultato inversamente proporzionale alla produzione di latte individuale, ma sono state evidenziate situazioni aziendali differenti che suggeriscono come le scelte gestionali e alimentari possano avere un effetto molto importante sull'impatto ambientale della produzione lattea. Per lo stesso motivo, non sempre le aziende che annualmente consegnano più latte (che sono generalmente quelle con dimensioni maggiori del gregge) hanno conseguito i migliori risultati da un punto di vista ambientale. Anche la razza allevata può influire sull'impatto ambientale, in quanto razze più produttive, come la Saanen o la

Camosciata, presentando produzioni più elevate, permettono di ripartire le emissioni su un maggior numero di kg di latte; viceversa, razze meno produttive, come ad esempio la Nera di Verzasca, allevata nell'azienda H, forniscono risultati peggiori dal punto di vista dell'impatto in termini di kg di CO<sub>2</sub> equivalenti/kg latte corretto, ma rappresentano una risorsa positiva per la sostenibilità delle produzioni animali dal punto di vista della biodiversità zootecnica<sup>14</sup>. I risultati del presente studio hanno confermato le emissioni di metano enterico alla stalla e l'acquisto di alimenti quali principali *drivers* dell'impatto ambientale della produzione di latte di capra<sup>15,16</sup>, sebbene con un diverso peso di queste voci di impatto a seconda del contesto aziendale considerato. In particolare, una minor autosufficienza alimentare aziendale e l'acquisto di sostanze proteiche dal mercato, come ad esempio la farina di estrazione di soia, hanno comportato un aumento importante delle emissioni di gas climalteranti, in quanto tale materia prima proviene in gran parte dal Brasile, dove la soia viene coltivata su terreni dove prima era presente foresta. Occorre tuttavia considerare che vi sono processi nei confronti dei quali è più facile intervenire rispetto ad altri: tra questi troviamo le emissioni dagli stoccaggi, così come le emissioni di campo e gli alimenti acquistati. La riduzione dell'emissione di metano enterico è sicuramente più difficile da contenere, essendovi una quota fissa di metano imputabile al metabolismo delle capre. L'incremento della produzione di latte individuale e l'adozione di corrette strategie alimentari e gestionali possono però consentire di ridurre anche il peso ambientale di questo processo fisiologico, con un conseguente miglioramento dell'impatto dell'intero processo produttivo. La ripartizione dell'impatto ambientale in funzione della produzione di formaggio di capra è interessante, in quanto prende in considerazione l'impatto del prodotto finale, che potrebbe essere influenzato dal tipo di formaggio e dalle tecniche di caseificazione. Tale impatto è risultato essere superiore a quello della produzione di latte, con un andamento ad esso sovrapponibile. Ciò si spiega con il fatto che la maggior parte dei kg di CO<sub>2</sub> equivalenti emessi in atmosfera nel processo di produzione di formaggio di capra è da imputare alla produzione del latte. L'impiego dell'unità di superficie



come unità funzionale è considerato da diversi autori interessante quando la disponibilità di superficie aziendale è un fattore limitante. La ripartizione per ettaro ha permesso di evidenziare l'effetto "diluizione" sulla superficie aziendale, che ovviamente può risentire fortemente della tipologia di allevamento (intensivo *vs* estensivo).

Analogamente a quanto riscontrato da altri autori (<sup>17</sup> e <sup>18</sup>) infatti, le aziende caratterizzate da un sistema gestionale estensivo o semi-estensivo (come quello dell'azienda H) sono risultate essere caratterizzate da un impatto ambientale per ettaro di superficie inferiore rispetto a quello di aziende intensive o semi-intensive (sistema gestionale che caratterizza invece le altre 7 aziende analizzate). Nelle aziende con diverso grado di estensivizzazione, inoltre, la presenza di pascolo, se ben gestito, rappresenta anche un modo per ridurre l'acquisto di alimenti.

## CONCLUSIONI

Sebbene nei confronti di processi come l'emissione di metano enterico l'allevatore abbia un margine di intervento limitato, alcune scelte aziendali possono sicuramente contribuire a ridurre il carico emissivo della produzione del latte di capra. L'incremento della produzione di latte dev'essere infatti accompagnato da scelte alimentari corrette, che devono puntare a ridurre l'acquisto di concentrati in un'ottica di aumento dell'efficienza alimentare. Particolare attenzione dev'essere rivolta all'autoproduzione della quota proteica della razione. Parimenti la gestione delle emissioni dagli stocaggi e la distribuzione delle deiezioni in campo necessitano di particolare cura. L'utilizzo dell'ettaro di superficie come unità funzionale consente di valorizzare le aziende caratterizzate da un sistema estensivo che, producendo meno latte, risultano essere penalizzate quando ad essere considerato è il chilogrammo di latte prodotto.

## RINGRAZIAMENTI

Si ringraziano gli allevatori che sono stati coinvolti nel progetto PSR DEMOCAPRA; un grazie particolare è rivolto alla società agricola Cascina Bagaggera, che il 13 novembre 2019 ha ospitato la giornata dimostrativa sulla sostenibilità ambientale dell'allevamento caprino. Il presente studio è stato realizzato nell'ambito del progetto DEMOCAPRA - Divulgazione partecipativa di modelli gestionali sostenibili per l'allevamento della capra da latte in Lombardia mediante strumenti innovativi, finanziato dalla Regione Lombardia (FEASR - Programma di Sviluppo Rurale 2014 - 2020 Misura 1 Operazione 1.2.01).

## Bibliografia

1. FAO, Tackling climate change through livestock. [www.fao.org](http://www.fao.org) visitato novembre 2019.
2. ISPRA, Annuario dei dati ambientali 2013. [www.isprambiente.gov.it](http://www.isprambiente.gov.it) visitato novembre 2019.
3. IDF, 2015. A common carbon footprint approach for dairy. The IDF guide to standard lifecycle assessment methodology for the dairy sector. In the Bulletin of the IDF No 479/2010. International Dairy Federation, Brussels, Belgium.
4. McClelland S.C., Arndt C., Gordon D.R., Thoma G. (2018). Type and number of environmental impact categories used in livestock life cycle assessment: A systematic review. *Livest. Sci.* 209, 39-45.
5. International Reference Life Cycle Data System (ILCD), 2011. Handbook-Recommendations for Life Cycle Impact Assessment in the European context, 2011. EUR 24571 EN. Luxembourg. Publications Office of the EU.
6. INRA, 2018. INRA feeding system for ruminants. Wageningen Academic Publisher, Wageningen, the Netherland 640 pp.
7. IPCC, 2006. Emissions from livestock and manure management. In: IPCC, Eggleston, H., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., Tanabe, K. (Eds.), IPCC Guidelines for National Greenhouse gas Inventories. Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use. Chapter 10. Institute for Global Environmental Strategies, Hayama, Japan.
8. IDF, 2015. A common carbon footprint approach for dairy. The IDF guide to standard lifecycle assessment methodology for the dairy sector. In the Bulletin of the IDF No 479/2010. International Dairy Federation, Brussels, Belgium.
9. United States Department of Agriculture (USDA), [www.fas.usda.com](http://www.fas.usda.com) visitato novembre 2019.
10. Associazione Italiana Allevatori (AIA), [www.aia.it](http://www.aia.it) visitato novembre 2019.
11. DEMOCAPRA (2020) Schede tecniche DEMOCAPRA. Università degli Studi di Milano & Associazione Regionale Allevatori della Lombardia, Milano
12. Bava L., Bacenetti J., Gislou G., Pellegrino L., D'Incecco P., Sandrucci A., Tamburini A., Fiala M., Zucali M. (2018). Impact assessment of traditional food manufacturing: The case of Grana Padano cheese. *Sci. Total. Environ.* 626, 1200-1209.
13. Beukes, P.C., Gregorini, P., Romera, A.J., Levy, G., Waghorn, G.C. (2010). Improving production efficiency as a strategy to mitigate greenhouse gas emissions on pastoral dairy farms in New Zealand. *Agric. Ecosyst. Environ.* 136, 358-365.
14. Loszach S., Bianco E., Bovolenta S. (2008) Biodiversità e zootecnia montana in Friuli Venezia Giulia. *Quaderno SOZOOALP*, 5: 279-285.
15. Marino R., Atzori A.S., D'andrea M., Iovane G., Tralbalza-Marinucci, M., Rinaldi, L., 2016. Climate change: Production performance, health issues, greenhouse gas emissions and mitigation strategies in sheep and goat farming. *Small Rumin. Res.* 135, 50-59
16. 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.
17. Robertson, K., Symes, W., Garnham, M., 2015. Carbon footprint of dairy goat milk production in New Zealand. *J. Dairy Sci.* 98, 4279-4293.
18. Gutiérrez-Peña, R., Mena, Y., Batalla, I., Mancilla-Leytón, J.M., 2019. Carbon footprint of dairy goat production systems: A comparison of three contrasting grazing levels in the Sierra de Grazalema Natural Park (Southern Spain). *J. Environ. Manag.* 232, 993-998.