

# Il ruolo dell'azienda agricola con biogas nella lotta al cambiamento climatico

**I risultati del progetto Agrienercarbon indicano le strategie per gestire la fertilità carbonica del suolo e come il BiogasFattoBene contribuisca a migliorare l'impronta carbonica dell'azienda.**

di Arianna Pignagnoli<sup>2</sup>,  
Alessio Ferioli<sup>1</sup>, Guido  
Bezzi<sup>3</sup>, Marco Acutis<sup>1</sup> e  
Alessia Perego<sup>1</sup>

<sup>1</sup>DISAA – Università degli  
Studi di Milano

<sup>2</sup>CRPA – Centro Ricerche  
Produzioni Animali

<sup>3</sup>CIB – Consorzio Italiano  
Biogas



La riduzione dell'impatto ambientale delle attività produttive, oltre ad essere uno dei principali obiettivi della lotta al cambiamento climatico, è uno dei pilastri di sviluppo Comunitario. In questo l'agricoltura è, allo stesso tempo, esposta direttamente al clima e strategica poiché, gestendo il suolo e la sua fertilità (Carbon Farming), può garantire uno dei maggiori potenziali di mitigazione.

Inoltre, essendo per definizione multifunzionale, l'agricoltura può concorrere direttamente alla riduzione del suo stesso impatto oltre a garantire esternalità positive. Infatti, attuando tecniche conservative e producendo energia rinnovabile da sottoprodotti agricoli e agroindustriali, si crea un modello agricolo integrato che ottimizza l'utilizzo delle risorse riciclandole, favorisce il ritorno del carbonio organico al suolo e fornisce prodotti ed energia sostenibili alle filiere connesse.

Grazie al progetto Agrienercarbon (Misura 16 finanziata dal PSR di Regione Lombardia), coordinato dal CIB con la responsabilità scientifica del DISAA dell'Università di Milano e con il supporto tecnico del CRPA di Reggio Emilia, è stato possibile misurare gli effetti della gestione agronomica di 4 realtà agro-zootecniche Lombarde produttrici di biogas e valutare le possibili strategie conservative per migliorare l'accumulo di carbonio nel terreno. Parallelamente, con la misura dell'impronta di carbonio, è stato valutato il livello di sostenibilità degli stessi sistemi produttivi avanzati rispetto a sistemi ordinari.

## L'ACCUMULO DI CARBONIO NEL TERRENO

Nelle quattro aziende agricole partner del progetto, sono stati individuati alcuni appezzamenti rappresentativi con l'obiettivo di campionare, analizzare e monitorare gli indici di fertilità di aree omogenee in cui vengono applicate diverse pratiche agronomiche. I fattori agronomici e gestionali che sono risultati comuni a tutte le aziende sono: utilizzo di minime lavorazioni e assenza di arature; concimazione organica con digestato e limitato uso di concime minerale; asporto dei residui colturali; utilizzo di doppie colture e predominanza del mais da insilato/biomassa in rotazione.

Su tutti gli appezzamenti oggetto di analisi, nell'annata 2023 è stato impostato un campionamento di suolo nell'orizzonte 0-30cm, applicando uno schema georeferenziato. Contestualmente al prelievo del campione di suolo è stata effettuata anche la valutazione della densità (bulk density), fattore fondamentale per la quantificazione del contenuto di carbonio (Figura 1).

Ai fini del confronto e della valutazione del trend evolutivo del carbonio organico, infine, sono state raccolte dalle aziende agricole le analisi disponibili degli stessi suoli antecedenti il 2020.



Figura 1: Da sinistra a destra: esempio di schema di campionamento suolo; prelievo per determinazione della densità di suolo; sistema di campionamento del suolo; valutazione dei residui colturali

È stato possibile analizzare 22 scenari di confronto nel periodo 2016-2023. Il 50% di questi ha mostrato un aumento del carbonio organico nei primi 30cm di suolo (es. 2016 1.4% C Org – 2023 1.6% C Org); il 23% degli scenari è rimasto invariato; il 27% ha registrato una diminuzione (es. 2016 1.38% C-Org – 2023 1.22% C-Org).

Questi risultati indicano come le pratiche agronomiche attualmente adottate dalle aziende agricole non hanno un impatto negativo significativo sul carbonio nel suolo, quindi, l'attuale gestione agronomica contribuisce alla sua conservazione.

In parallelo al lavoro di analisi dei suoli, è stato implementato un database nel quale sono stati raccolti tutti i dati delle operazioni colturali eseguite nelle aziende e tutti i dati produttivi. Questo database è stato utilizzato come base di simulazione aziendale applicando il modello Armosa, sviluppato dal gruppo di ricerca DISAA dell'Università di Milano (UniMi). Questo strumento, in particolare, consente di simulare variabili agro-meteorologiche, il bilancio idrico e dell'azoto, le caratteristiche del suolo, la crescita delle colture e il bilancio del carbonio.

Con le prime simulazioni è stata valutata la capacità del modello di riprodurre i trend di carbonio osservati con le analisi. Successivamente, alcune simulazioni sono state utilizzate come Baseline per ipotizzare scenari alternativi con lo scopo di valutarne il loro effetto sulla conservazione del carbonio organico con l'obiettivo di individuare potenziali azioni migliorative del sistema (Figura 2).

Le simulazioni hanno evidenziato l'effettiva efficacia di al-

cune pratiche. In generale, come noto, l'applicazione delle minime lavorazioni e del no-till consentono una migliore conservazione della sostanza organica. L'accoppiamento di queste pratiche con la concimazione organica e senza concimazione chimica consente una potenzialità di stoccaggio ancora maggiore che con le sole lavorazioni. Inoltre, la gestione corretta dei residui colturali e l'inserimento in rotazione di cover-crops a ciclo lungo (terminazione a marzo), sono da considerarsi come azioni positive in termini di incremento del carbonio nel suolo e miglioramento dei sistemi agronomici studiati.

#### L'IMPRONTA CARBONICA AZIENDALE

La sostenibilità ambientale è stata stimata considerando l'impronta carbonica aziendale, valutando il ruolo che hanno le pratiche agronomiche "virtuose" nella riduzione dell'impatto ambientale. L'impronta carbonica rappresenta la misura del contributo al cambiamento climatico generato da un processo durante tutto il suo ciclo di vita e viene quantificato considerando la somma di tutte le emissioni di gas ad effetto serra associate alle produzioni agricole analizzate, andando dalla fase di campo, all'allevamento e agli impianti di digestione anaerobica. L'intervista diretta in azienda con il supporto di questionari specifici ha permesso di ottenere una serie di informazioni necessarie per quantificare l'impatto ambientale, relativo alle emissioni enteriche, alle emissioni dalla fase di gestione delle deiezioni, le emissioni derivanti dall'uso delle fonti energetiche, e quelle che avvengono nella fase di coltivazione dei terreni aziendali, quali le emissioni di protossido di azoto dovute alle fertilizzazioni azotate e le emissioni derivanti dall'uso dei combustibili per le macchine agricole e per i trasporti. L'analisi ha adottato l'approccio "from cradle to

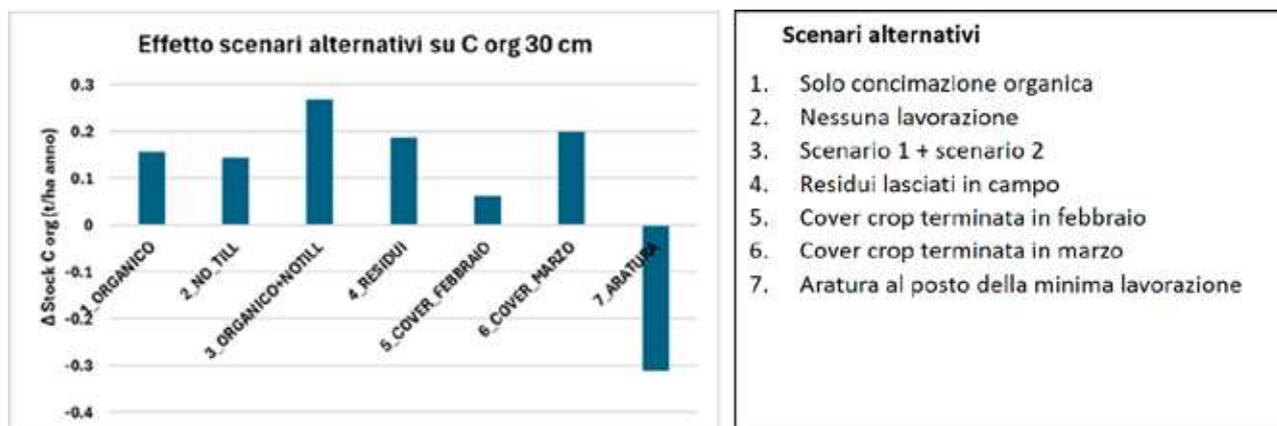


Figura 2: Differenza di contenuto di Carbonio Organico C org (t/ha anno) fra gli scenari alternativi osservati e le loro baseline.

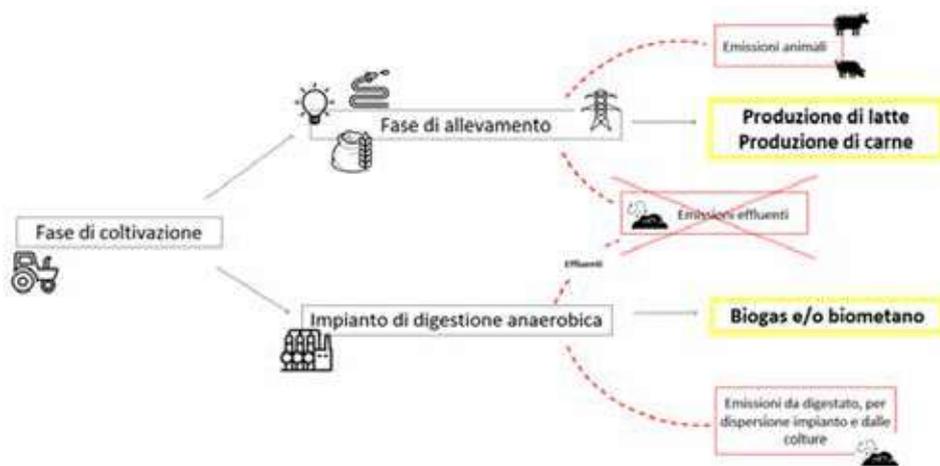


Figura 3: Confini del sistema dei casi studio analizzati

farm gate” e ha incluso sia la fase di produzione zootecnica sia quella di digestione anaerobica, mentre non si è considerata la fase di trasformazione del prodotto a valle della azienda zootecnica (Figura 3).

Nell'ambito del progetto, sulla base degli indirizzi produttivi delle aziende agricole partner, è stato possibile stimare il contributo al cambiamento climatico della filiera lattiero-casearia, espresso in termini di kg CO<sub>2</sub>eq per kg di latte FPCM (“Fat Protein Content Milk”, ovvero “Latte corretto per la percentuale di grassi e proteine”), della filiera suinicola e della filiera bovina da carne è stato espresso come kg CO<sub>2</sub>eq per kg di peso vivo. Per quanto riguarda le produzioni di carne, l'impronta carbonica della produzione suinicola è risultata pari a 0,34kg CO<sub>2</sub>eq/kg peso vivo, con principale voce di contributo al cambia-

mento climatico l'acquisto di alimenti extra-aziendali. Considerato che il valore di riferimento per la produzione del suino pesante tradizionale è 4,25 kg CO<sub>2</sub>eq/kg peso vivo (Bava et al., 2017), risulta evidente come il sistema produttivo integrato con la digestione anaerobica permetta di migliorare significativamente l'impronta carbonica aziendale (risparmio di circa 4kg CO<sub>2</sub>eq/kg peso vivo) della filiera suinicola. Infatti, oltre alla produzione di energia rinnovabile in sostituzione di quella fossile, la presenza di biogas/biometano consente di evitare le emissioni dovute alla fase di stoccaggio degli effluenti zootecnici che, negli allevamenti convenzionali, rappresentano una delle principali voci d'impatto (Figura 4).

Per gli stessi motivi, anche per la filiera del bovino da carne, il sistema produttivo integrato con biogas/biometano evidenzia una riduzione dell'impronta

carbonica rispetto ai sistemi convenzionali confermando quanto già considerato anche per la filiera del suino. Il risparmio ottenuto è di circa 8 kg CO<sub>2</sub>eq/kg peso vivo (da 18,86 a 10,58kg CO<sub>2</sub>eq/kg peso vivo). Nel caso specifico, la voce di maggiore impatto è quella riconducibile agli animali in ingresso, ovvero l'impatto della fase precedente l'ingrasso, seguita dai foraggi extra-aziendali e dalle emissioni enteriche (Figura 4).

Infine, per quanto riguarda la filiera lattiera casearia, l'impronta carbonica dei

due casi studio analizzata è risultata rispettivamente 0,64 e 0,39 kg CO<sub>2</sub>eq/kg di latte FPCM ovvero, un impatto medio del sistema integrato con biogas/biometano pari a 0,51 kg CO<sub>2</sub>eq/kg di latte FPCM. In questo caso, le emissioni enteriche rappresentano la prima voce d'impatto seguite dall'utilizzo di alimenti extra-aziendali per la mandria. Il risultato ottenuto risulta essere più basso di circa il 57% rispetto al dato di letteratura (1,42 kg CO<sub>2</sub>eq/kg FPCM - progetto Forage4Climate) grazie, anche in questo caso, alla presenza del biogas/biometano che garantisce la produzione di energia rinnovabile ed evita le emissioni generate dalla fase di stoccaggio degli effluenti zootecnici (Figura 5).

## CONCLUSIONI

I risultati ottenuti nel progetto Agriercarbon dimostrano come il sistema agricolo integrato con biogas e

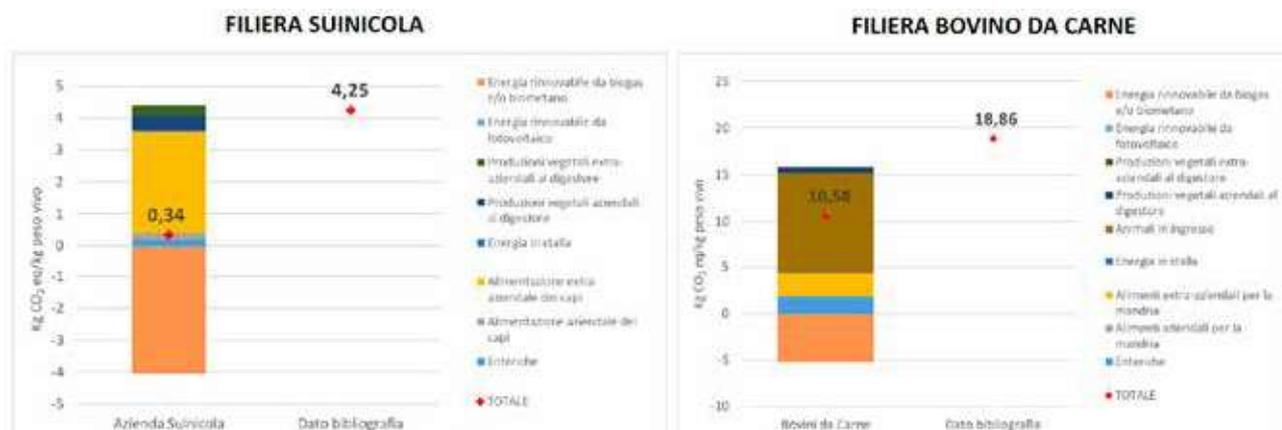


Figura 4: Impronta Carbonica (IC) della filiera suinicola (a sinistra) e del bovino da carne (a destra) analizzate e confronto con i dati da letteratura

## FILIERA LATTIERO-CASEARIA



Figura 5: Impronta Carbonica (IC) della filiera lattiero casearia analizzata (2 casi studio) e confronto con il dato da letteratura (Elab. CIB su fonte CRPA e varie)

biometano stimola le aziende ad un approccio agronomico più conservativo e, quindi, ad un mantenimento o miglioramento della fertilità dei suoli con trend positivi di carbonio organico accumulato nei primi 30cm di suolo in 16 scenari su 22 analizzati. Inoltre, grazie alle simulazioni con il modello Armosa è stato possibile definire alcuni margini di ulteriore miglioramento nel caso in cui si lascino i residui delle colture in campo, si utilizzino esclusivamente fertilizzanti organici e lavorazioni conservative e vengano inserite in rotazione cover crop a terminazione tardiva. Anche per quanto riguarda l'impronta carbonica complessiva,

il sistema produttivo integrato con biogas/biometano consente significativi miglioramenti rispetto alla gestione convenzionale principalmente perché, oltre alla produzione di energia rinnovabile in sostituzione della fossile, vengono evitate le emissioni generate dallo stoccaggio degli effluenti poiché direttamente inviati a digestione anaerobica. La capacità di sequestro di carbonio organico nel suolo, dimostrato con il modello Armosa, dimostra come sia possibile ottenere ulteriori miglioramenti sia per le filiere di produzione carne che per la filiera di produzione del latte.

### BIBLIOGRAFIA

- Bava L., Zucali M., Sandrucci A., Tamburini A. Environmental impact of the typical heavy pig production in Italy, *Journal of Cleaner Production*, Volume 140, Part 2, 2017, Pages 685-691.
- F. Battini, A. Agostini, V. Tabaglio, S. Amaducci, Environmental impacts of different dairy farming systems in the Po Valley, *Journal of Cleaner Production*, Volume 112, Part 1, 2016, Pages 91-102.
- Perego, A., Giussani, A., Sanna, M., Fumagalli, M., Carozzi, M., Alfieri, L., Brenna, S., Acutis, M., 2013. The ARMOSA simulation crop model: overall features, calibration and validation results. *Ital. J. Agrometeorol.* 3, 23-38
- Valkama, E., Kunyupiyeva, G., Zhapayev, R., Karabayev, M., Zhusupbekov, E., Perego, A., Schillaci, C., Sacco, D., Moretti, B., Grignani, C., Acutis, M., 2020. Can conservation agriculture increase soil carbon sequestration? A modelling approach. *Geoderma* 369, 114298. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114298>

## The role of farms with biogas against climate change

### The results of Agrienercarbon Project indicate the strategies to manage soil carbon fertility and how BiogasDoneRight contribute to improve the farm's carbon foot print.

The Reduction of the environmental impact of productions, is one of the main objectives in the fight against climate change and one of the pillars of Community development. In this topic, agriculture is, at the same time, directly exposed to the climate and strategic since, by managing the soil and its fertility (Carbon Farming), it can guarantee one of the greatest mitigation potentials. Moreover agriculture, as a multifunctional sector, can di-

rectly contribute to reducing its own impact as well as guaranteeing positive externalities. In fact, an agricultural integrated system with the implementation of conservation techniques and producing renewable energy from agricultural and agro-industrial by-products, optimises the use of resources by recycling them, promotes the return of organic carbon to the soil and provides sustainable products and energy to the related supply chains. Thanks to the Agrienercarbon project (Measure 16 financed by the PSR of the Lombardy Region), coordinated by the CIB under the scientific responsibility of the DiSAA of the University of Milan and with the technical support of the CRPA of Reggio Emilia, it was possible to measure the effects of agronomic management of 4 livestock farms in Lombardy that produce biogas. Moreover, possible conservation strategies to improve the accumulation of carbon in the soil was also assessed. At the same time, by measuring the carbon footprint, the level of sustainability of the same advanced production systems was assessed in comparison with ordinary systems.



Figure 1: From left to right: example of soil sampling scheme; sampling for soil density determination; soil sampling system; evaluation of crop residues

### CARBON SOIL ACCUMULATION DYNAMICS

In the four farms partner of the project, several representative plots were identified with the aim of sampling, analysing, and monitoring the fertility indices of homogeneous areas where different agronomic practices are applied. The agronomic and management factors that were found to be common to all the farms are: use of minimum tillage and no ploughing; organic fertilisation with digestate and limited use of mineral fertiliser; removal of crop residues; use of double crops and predominance of silage/biomass maize in rotation.

On all plots analysed, soil sampling in the 0-30cm horizon was set up in 2023, applying a georeferenced scheme. At the same time was carried out, an assessment of the soil density (bulk density), a fundamental factor in the quantification of carbon content (Figure 1).

Finally, to compare and assess the trend of organic carbon content during years, available analyses of the same soils prior to 2020 were collected from the farms.

It was possible to analyse 22 comparison scenarios over the period 2016-

2023. 50% of these showed an increase in organic carbon in the 30cm topsoil (e.g. 2016 1.4% C Org - 2023 1.6% C Org); 23% of the scenarios remained unchanged; 27% showed a decrease (e.g. 2016 1.38% C-Org - 2023 1.22% C-Org).

These results indicate that the agronomic practices currently adopted by farms do not have a significant negative impact on soil carbon, therefore, current agronomic management contributes to its conservation.

In parallel with the soil analysis, a database was implemented in which all data from the cultivation activities and productions data were collected. This database was used as a basis for farm simulation by applying the Armosa model, developed by the DI-SAA research group of the University of Milan (UniMi). This tool allows the simulation of agro-meteorological variables, water and nitrogen balance, soil characteristics, crop growth and carbon balance.

With the first simulations, was evaluated the model's accuracy to reproduce the carbon trends observed with the analyses. Subsequently, some simulations were used as a baseline to hypothesise alternative scenarios with the aim of assessing their effect on the conservation of organic carbon

to identifying potential improvement actions in the systems (Figure 2).

Simulations have shown the actual effectiveness of certain practices. In general, as is well known, the application of minimum tillage and no-till allows for better storage of organic matter. The coupling of these practices (organic fertilisation and no-till) allows even greater storage potential than with tillage alone. Furthermore, the correct management of crop residues and the inclusion of long-cycle cover-crops in the rotation (termination on the end of March) are to be considered positive actions in terms of increasing soil carbon and improving the agronomic systems studied.

### THE FARM'S CARBON FOOTPRINT

Environmental sustainability was estimated by considering the farm's carbon footprint, assessing the role of 'virtuous' agronomic practices in reducing environmental impact.

The carbon footprint represents a measure of the contribution to climate change generated by a process throughout its life cycle and is quantified by considering the sum of all greenhouse gas emissions associated with the agricultural production, ranging from the field stage, to livestock farming

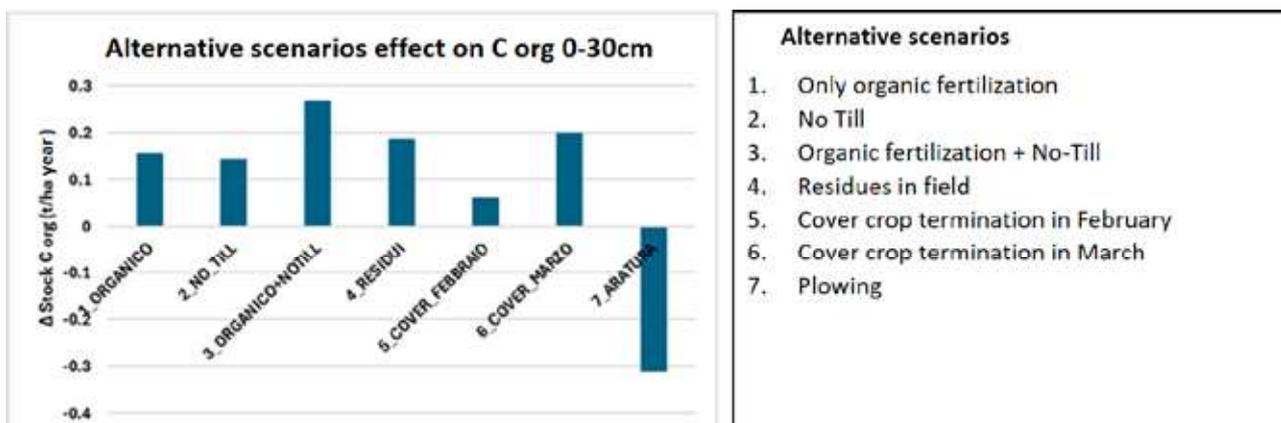


Figure 2: Difference in Organic Carbon C org content (t/ha year) between the observed alternative scenarios and their baselines.

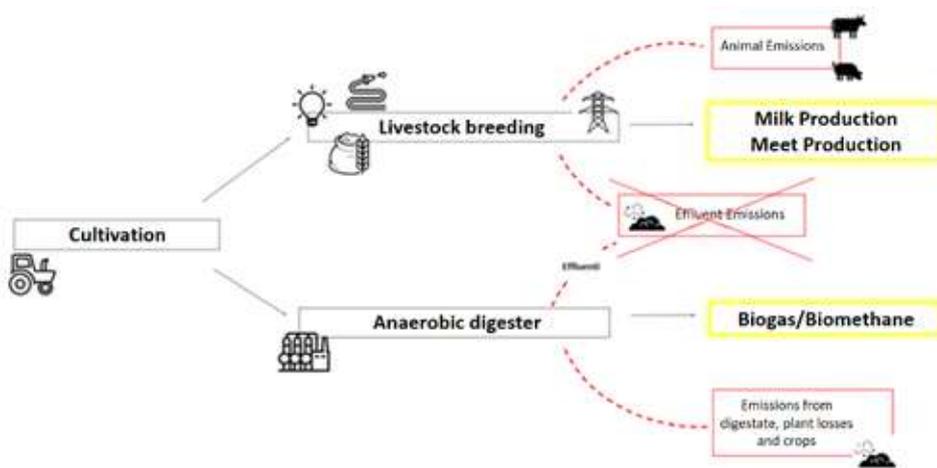


Figure 3: System boundaries of the analysed case studies

and anaerobic digestion plants. The direct on-farm interview with the support of specific questionnaires made it possible to obtain some information needed to quantify the environmental impact, relative to enteric emissions, emissions from the manure management phase, emissions deriving from the use of energy sources, and those occurring in the cultivation phase, such as nitrous oxide emissions due to nitrogen fertilisation and fuel emissions from agricultural machinery and transports. The analysis adopted the 'from cradle to farm gate' approach and included both the livestock production and anaerobic digestion phases, while the product processing phase downstream of the livestock farm was not considered (Figure 3).

Within the project, based on the production addresses of the partner farms, it was possible to estimate the contribution to climate change of the dairy chain, expressed in terms of kg CO<sub>2</sub>eq per kg FPCM ('Fat Protein Content Milk'), of the pig production chain and of the beef cattle chain was expressed as kg CO<sub>2</sub>eq per kg live weight. For meat production, the carbon footprint of pig chain was 0.34kg CO<sub>2</sub>eq/kg live weight, with the main contributor to climate change being the off-farm feed. Considering that the reference value for traditional heavy pig production is 4.25 kg CO<sub>2</sub>eq/kg live weight (Bava et al., 2017), it is evident how the production system integrated with anaerobic

digestion allows to significantly improve the farm's carbon footprint (saving of about 4kg CO<sub>2</sub>eq/kg live weight) of the pig supply chain. In fact, in addition to the production of renewable energy to replace fossil energy, the presence of biogas/biomethane makes it possible to avoid emissions due to the effluent storage phase which, in conventional livestock farms, represent one of the main impact factor (Figure 4).

For the same reasons, the integrated production system with biogas/biomethane also shows a reduction in carbon footprint compared to conventional systems for the beef cattle sector, confirming what has already been considered for the pig sector. The saving obtained is about 8 kg CO<sub>2</sub>eq/kg live weight (from 18.86 to 10.58 kg CO<sub>2</sub>eq/kg live weight). In this specific case, the biggest impact item is attributable to incoming animals (i.e. the impact of the pre-fattening phase), followed by off-farm feed and enteric emissions (Figure 4).

Finally, as far as the dairy chain is concerned, the carbon footprint of the two case studies analysed was respectively 0.64 and 0.39 kg CO<sub>2</sub> eq/kg FPCM milk. It follows that the average impact of the integrated biogas/biomethane system was 0.51 kg CO<sub>2</sub> eq/kg FPCM milk. In this case, enteric emissions are the first impact factor followed using off-farm feed. The results obtained is about 57% lower than the literature data (1.42 kg CO<sub>2</sub> eq/kg FPCM - Forage4Climate Project) thanks, again, to the presence of biogas/biomethane that guarantees the production of renewable energy and avoids the emissions generated by the storage phase of livestock effluents (Figure 5).

## CONCLUSIONS

The results obtained in the Agrienercarbon project show how the agricultural system integrated with biogas and

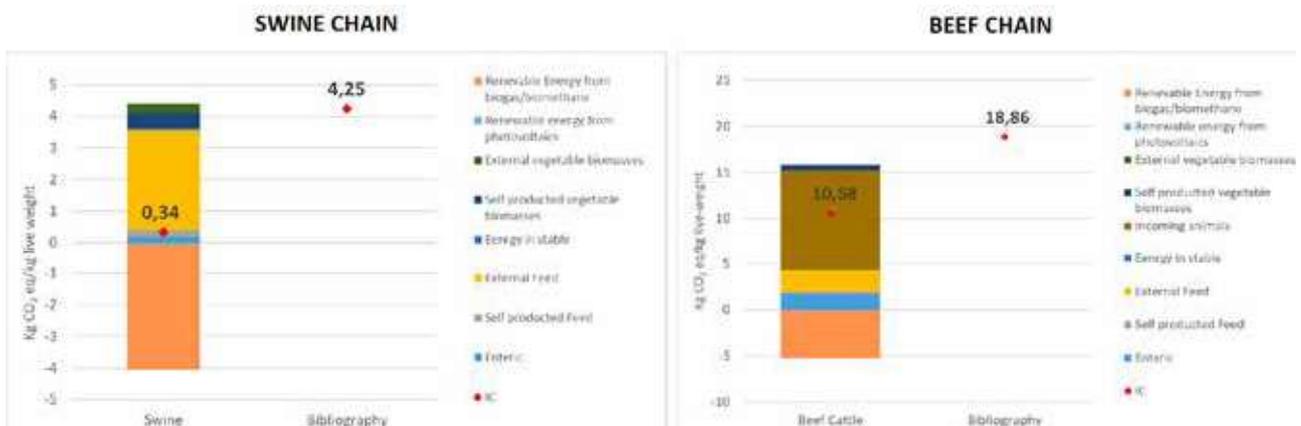


Figure 4: Carbon Footprint (IC) of the pig (left) and beef cattle (right) sectors analysed and comparison with literature data

## DAIRY CHAIN

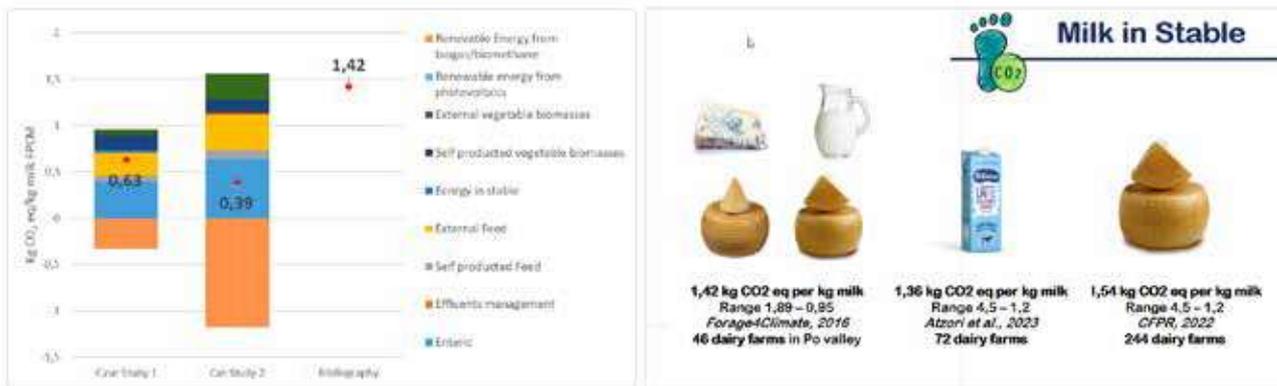


Figure 5: Carbon Footprint (IC) of the dairy chain analysed (2 case studies) and comparison with literature data (Elabor. CIB on CRPA source and various)

biomethane encourages farms to adopt a more conservative agronomic approach and, therefore, to maintain or improve soil fertility with positive trends of accumulated organic carbon in the first 30cm of soil in 16 out of 22 scenarios analysed. Furthermore, thanks to simulations with the Armosa model, it was possible to define some margins of further improvement in the case of leaving crop residues in the field, using only organ-

nic fertilisers and conservative tillage, and inserting in rotation late terminating cover crops. Also, regarding the overall carbon footprint, the integrated production system with biogas/biomethane allows significant improvements over conventional management because, in addition to the production of renewable energy to replace fossil energy, emissions generated by the storage of effluents are avoided as

they are directly sent to anaerobic digestion. The ability to sequester organic carbon in the soil, demonstrated with the Armosa model, shows also how further improvements can be achieved for both meat and milk production chains.

### BIBLIOGRAPHY

- Bava L., Zucali M., Sandrucci A., Tamburini A. Environmental impact of the typical heavy pig production in Italy, *Journal of Cleaner Production*, Volume 140, Part 2, 2017, Pages 685-691.
- F. Battini, A. Agostini, V. Tabaglio, S. Amaducci, Environmental impacts of different dairy farming systems in the Po Valley, *Journal of Cleaner Production*, Volume 112, Part 1, 2016, Pages 91-102.
- Perego, A., Giussani, A., Sanna, M., Fumagalli, M., Carozzi, M., Alfieri, L., Brenna, S., Acutis, M., 2013. The ARMOSA simulation crop model: overall features, calibration and validation results. *Ital. J. Agrometeorol.* 3, 23-38
- Valkama, E., Kunyupiyeva, G., Zhapayev, R., Karabayev, M., Zhusupbekov, E., Perego, A., Schillaci, C., Sacco, D., Moretti, B., Grignani, C., Acutis, M., 2020. Can conservation agriculture increase soil carbon sequestration? A modelling approach. *Geoderma* 369, 114298. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114298>