



---

# L'analisi energetica e l'approccio "Life Cycle Assessment" per la progettazione e la gestione degli impianti agroalimentari

Riccardo Guidetti, Roberto Beghi, Valentina Giovenzana

Dipartimento di Scienze Agrarie e Ambientali – Produzione, Territorio, Agroenergia, Università degli Studi di Milano, via Celoria, 2 – 20131 Milano

---

## Sommario

La filiera agroalimentare è sottoposta a continue sollecitazioni provenienti da un incremento demografico non più trascurabile. Studi provenienti da diverse fonti hanno sottolineato come gli impatti ambientali riconducibili alla produzione di alimenti non siano marginali e, come tali, devono essere gestiti sia a livello politico, sia operativo. E' necessario mettere a punto strumenti che aiutino le aziende ad affrontare tali problemi suggerendo metodi di analisi e possibili soluzioni. Il lavoro presenta un approccio metodologico che il gruppo di lavoro ha applicato a diversi casi (filiera enologica, della birra, lattiero-casearia, della produzione di valerianella in IV gamma, della pasta). Le soluzioni hanno portato a scelte e decisioni evidenziando come sia necessario sempre fornire dati oggettivi condivisibili da parte di tutti gli attori coinvolti nei vari processi. E' necessario che tra le specifiche di progetto o di gestione degli impianti siano incluse anche valutazioni oggettive dal punto di vista ambientale. Gli autori ritengono che da tali valutazioni emerga come la figura del "meccanico agrario" sia centrale per fornire un approccio condiviso e sufficientemente robusto al fine di contribuire con soluzioni realistiche al miglioramento delle prestazioni tecniche ed ambientali della parte di filiera relativa alle trasformazioni alimentari.

*Parole chiave:* impianti, trasformazioni di prodotti agroalimentari, analisi di processo, impatto ambientale.

## 1. Contesto di riferimento

La cosiddetta filiera agroalimentare allargata, intesa come comprendente anche tutti gli elementi ausiliari (impianti, packaging, etc.) secondo recenti studi provenienti dalla Comunità Europea (Monforti-Ferrario et al. 2015) è causa di impatti ambientali non marginali quali:

- 90 % di emissione di ammoniaca;
- 80 % di emissioni di metano;
- 80 % di utilizzo di acque dolci;
- 180 kg/persona anno di spreco alimentare;
- Etc.

Secondo alcuni autori (Morawicki, 2012) inoltre, attualmente non ci sono i presupposti per poter pensare a una filiera agroalimentare sostenibile al 100% in quanto alcuni elementi non sono proprio realizzabili come per esempio, richiesta di energia al di sopra della produzione rinnovabile, materiale di packaging ancora non completamente biodegradabile, eccessivo consumo di acqua, etc.

Se consideriamo, d'altra parte, l'elevato incremento demografico di questi ultimi anni è evidente come ci si trovi di fronte anche a un aumento complessivo della quantità di alimenti: questa pressione sulla filiera non può che peggiorare l'impatto ambientale rendendo necessario il disaccoppiamento delle due tendenze (crescita degli impatti vs crescita della popolazione) (UN, 2013).

E' necessario, pertanto, adottare delle politiche opportune che si declinino in strategie sia a livello decisionale, sia operativo, al fine di contenere l'impatto della filiera agroalimentare tenuto presente, però, che stiamo parlando di una delle necessità primarie per l'essere umano (Notarnicola et al., 2017).

## 2. Obiettivi e problematiche trattate

Gli studi e le ricerche effettuate dal gruppo di lavoro hanno riguardato:

- ❖ *l'identificazione di strumenti* in grado di fornire indicazioni atte a innescare *processi virtuosi* in termini di gestione degli impianti del settore agroalimentare;
- ❖ suggerire *soluzioni progettuali innovative* che valutino tra le specifiche anche il rispetto dei parametri energetici e ambientali;
- ❖ *monitorare e contabilizzare* i consumi energetici e gli impatti dei processi agroindustriali al fine di definire approcci utili sia al sistema produttivo, sia per le scelte del consumatore.

## 3. Materiali e Metodi

L'approccio seguito parte dalle classiche analisi energetiche dei processi arricchendole, però, con valutazioni provenienti sia da considerazioni tecnologiche, sia da principi di ottimizzazione, sia dai concetti base propri dello sviluppo sostenibile. Gli studi sono stati articolati secondo le seguenti fasi:

### *Fase 1: Identificazione delle filiere*

Sono stati considerati alcuni parametri tecnico-economici che hanno suggerito alcune filiere particolarmente significative in termini di impatto sul territorio, valore strategico, innovazione di processo. In modo particolare sono state analizzate le seguenti filiere: enologica, della birra, lattiero casearia, delle produzioni di IV gamma, della pasta.

Tabella 1 – Casi di studio analizzati

Filiera	Ambito	Riferimento
Enologica	Sono state analizzate tre diverse cantine situate nel nord Italia	R. Guidetti, 2005
Birraria	Microbirrifico, Birrifico industriale	R. Guidetti, 2005

Lattiero casearia	E' stata analizzata tutta la filiera integrando l'allevamento zootecnico, la trasformazione, la vendita	Giovenzana V. et al (2011), Giovenzana et al. (2012)
Produzione di IV gamma	E' stato analizzato il processo di produzione di Valerianella in busta presso un'azienda agricola del nord Italia	Fusi et al (2016)
Pasta	Sono stati analizzati due processi con due diverse finalità: ampliamento dell'impianto produttivo, scelte logistiche alternative	Bodria L., Guidetti R. (2006)

#### *Fase 2: Studio del processo*

Lo studio del processo viene effettuato tramite bilanci energetici sia teorici, sia strumentali; bilanci di massa dell'intero sistema produttivo e delle singole fasi. Viene effettuato un rigoroso censimento di tutte le utenze identificando tutti i parametri tecnico-energetici in maniera tale da ottenere una mappatura puntuale e specifica. Viene analizzata tutta la documentazione tecnica propria del processo: bollette, schede tecniche degli impianti e delle macchine, etc.

#### *Fase 3: Rielaborazione dei dati.*

I dati ottenuti, spesso aggregati e riferiti a unità specifiche diverse, richiedono una rielaborazione per la normalizzazione, per una eventuale ripartizione in funzione dell'obiettivo specifico o per la comparazione con valori benchmark di riferimento (ad esempio quelli provenienti dalle Best Available Techniques – BAT o da altre fonti). Sono state, pertanto, messi a punto dei modelli specifici per ogni caso tenuto conto, in modo particolare, delle rese produttive, delle specificità tecnologiche, della vocazione aziendale rispetto all'intera filiera, etc.

#### *Fase 4: Applicazione della tecnica Life Cycle Assessment per identificare gli impatti delle soluzioni proposte*

In alcuni casi si è voluto analizzare la qualità degli impatti ambientali tramite uno studio di life cycle assessment (LCA) del processo. In modo particolare questo si è reso necessario a fronte di scenari tecnologici adottati diversi che implicano quindi un impatto ambientale diversificato. Con questo metodo si sono voluti integrare tra le specifiche di scelta tecnologica anche quelle riconducibili a un approccio ambientale, oggettivato dagli output di tale modello.

#### *Fase 5: soluzioni tecnologiche alternative ottimizzate per gli aspetti energetici ed ambientali*

Le analisi effettuate, grazie al livello di approfondimento e di continuo benchmark effettuato, permettono di suggerire soluzioni tecniche alternative finalizzate a ottimizzare i consumi energetici; a ridurre gli impatti ambientali; a comunicare al consumatore informazioni legate alla sostenibilità ambientale dell'intera filiera o della parte che è oggetto di analisi.

## 4. Risultati

I risultati che si ottengono da questi studi possono essere così riassunti:

1. diagramma tecnologico di processo con dati energetici associati (elettrici e termici) (figura 1). L'analisi di questi dati permette di evidenziare eventuali punti critici (maggiori consumi) e suggerire, fin

dall'inizio, dove orientare le valutazioni successive. Se disponibili sono interessanti anche i consumi idrici.

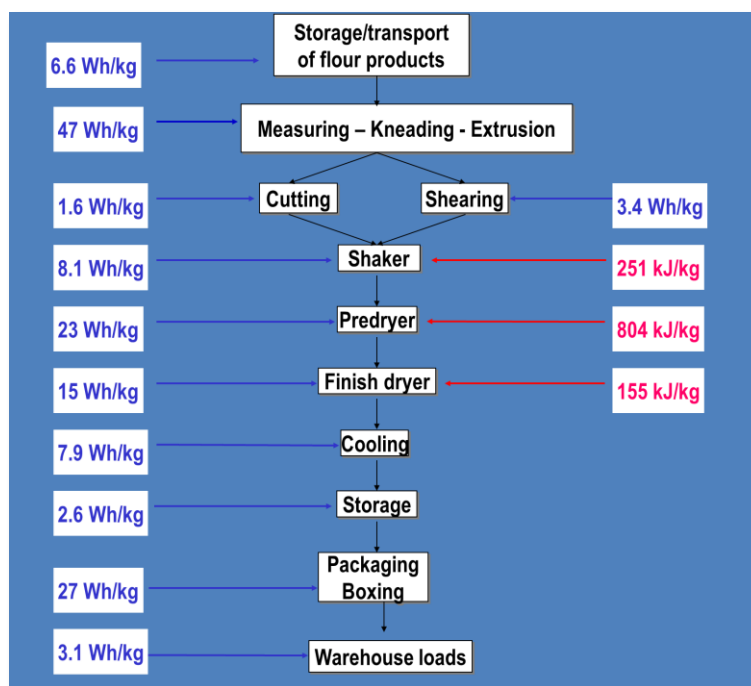


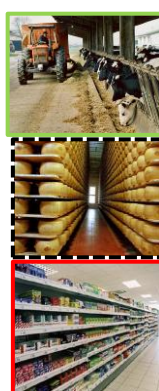
Figura 1 – Studio della filiera della pasta: studio energetico del processo di pastificazione. Nel processo riportato in figura vengono evidenziati i consumi energetici associati. In blu sono riportati i dati elettrici, in rosso quelli termici.

2. valutazione delle soluzioni tecniche adottate, o suggerite, confrontate con i dati presenti nelle Best Available Techniques o in letteratura tecnica (figura 2);

Fase	Ciclo con recupero termico totale	Ciclo con recupero termico parziale
Ammostratura	Acqua: disponibile a 50°C dal giorno prima. Mosto: $300 \cdot 3,89 \cdot (52-50) = 2334 \text{ kJ}$ $300 \cdot 3,60 \cdot (62-52) = 10800 \text{ kJ}$ $300 \cdot 3,56 \cdot (72-62) = 10680 \text{ kJ}$ $300 \cdot 3,56 \cdot (78-72) = 6408 \text{ kJ}$ Totale fase: 30222 kJ	Acqua: $300 \cdot 4,18 \cdot (50-30) = 25080 \text{ kJ}$ Mosto: $300 \cdot 3,89 \cdot (52-50) = 2334 \text{ kJ}$ $300 \cdot 3,60 \cdot (62-52) = 10800 \text{ kJ}$ $300 \cdot 3,56 \cdot (72-62) = 10680 \text{ kJ}$ $300 \cdot 3,56 \cdot (78-72) = 6408 \text{ kJ}$ Totale fase: 55302 kJ
Estrazione degli zuccheri residui	Riscaldamento acqua: $200 \cdot 4,18 \cdot (80-50) = 25080 \text{ kJ}$	Riscaldamento acqua: $200 \cdot 4,18 \cdot (80-30) = 41800 \text{ kJ}$
Luppolaggio	Nota: temperatura di miscela pari a 78,8 °C, $\Delta H = 2302,3 \text{ kJ/kg}$ (calore latente di evaporazione). $500 \cdot 3,75 \cdot (96-78,8) + 40 \cdot 2302,3 = 32250 + 92092 = 124342 \text{ kJ}$	Nota: temperatura di miscela pari a 78,8 °C, $\Delta H = 2302,3 \text{ kJ/kg}$ (calore latente di evaporazione). $500 \cdot 3,75 \cdot (96-78,8) + 40 \cdot 2302,3 = 32250 + 92092 = 124342 \text{ kJ}$
Totale	$30222 + 25080 + 124342 = 179644 \text{ kJ}$ $Q_e = 49,9 \text{ kWh}$	$55302 + 41800 + 124342 = 221444 \text{ kJ}$ $Q_e = 61,5 \text{ kWh}$
Rendimento	Nota: $Q_e = 80 \text{ kWh}$ , da lettura diretta $\eta = Q_e / Q_c$ $\eta = 49,9 / 80 = 0,62$	Nota: $Q_e = 94 \text{ kWh}$ , da lettura diretta $\eta = Q_e / Q_c$ $\eta = 61,5 / 94 = 0,65$

Figura 2 – Studio del processo produttivo della birra presso un microbirrifico: confronto tra i dati ottenuti con recupero termico totale (utilizzo dell'acqua a 50°C del giorno prima) e con recupero termico parziale.

3. ripartizione dei consumi nell'ambito della filiera globale o della parte analizzata: identificazione dei punti critici dal punto di vista energetico; caratterizzazione energetica del prodotto dal campo allo scaffale (es. kWh/kg fieno + kWh/litro di latte + kWh/kg di formaggio) (figura 3);



COMPANY	Specific electric consumption kWh <sub>E</sub>	MEAN	Specific thermal value kWh <sub>T</sub>	MEAN
Serraglio	77 (t <sub>milk</sub> )	92 kWh <sub>E</sub> /t <sub>milk</sub>	95 (t <sub>milk</sub> )	92 kWh <sub>T</sub> /t <sub>milk</sub>
Cascine Orsine	107 (t <sub>milk</sub> )		89 (t <sub>milk</sub> )	
Caramasche	60 (t <sub>processed milk</sub> )	240 kWh <sub>E</sub> /t <sub>processed milk</sub>	350 (t <sub>processed milk</sub> )	557 kWh <sub>T</sub> /t <sub>processed milk</sub>
Demeter	420 (t <sub>processed milk</sub> )		760 (t <sub>processed milk</sub> )	
DS Assago	615 (m <sup>2</sup> <sub>store</sub> )	718 kWh <sub>E</sub> /m <sup>2</sup> <sub>store</sub>	125 m <sup>2</sup> <sub>store</sub>	124 kWh <sub>T</sub> /m <sup>2</sup> <sub>store</sub>
DS Varallo P.	820 (m <sup>2</sup> <sub>store</sub> )		123 m <sup>2</sup> <sub>store</sub>	

Figura 3 – Studio della filiera lattiero-casearia: in tabella sono riportati i dati ottenuti dall'analisi di due aziende zootecniche, due caseifici e due punti vendita. Si noti come i dati siano riferiti a unità diverse. Si rende necessario un processo di normalizzazione.

4. Impatti ambientali LCA (se previsto): confronti in termini di soluzioni tecnologiche diverse (recupero acqua nella IV gamma) o di logistica modificata (filiera pasta) (figura 4).

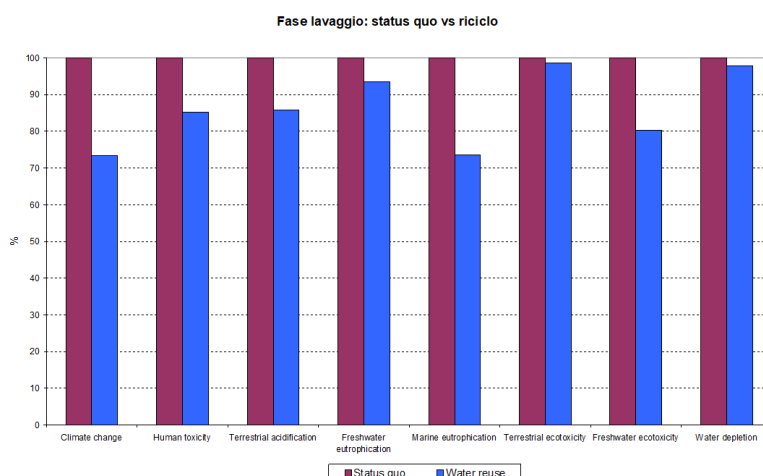


Figura 4 – Studio della filiera per la produzione di valerianella in IV gamma: il diagramma riporta i diversi impatti ambientali confrontando il caso in cui si preveda il riciclo dell'acqua (colonne blu, water reuse) o meno (colonne viole, status quo).

## 5. Discussione e conclusioni

La fase di trasformazione tipica della filiera agroalimentare genera la maggior quota di valore aggiunto anche in termini di prodotto interno lordo (PIL, 4 % fase agricola, 17/18 % filiera agroalimentare): questa osservazione deve essere tenuta in considerazione da parte dei tecnici che si occupano di applicazione di aspetti ingegneristici a tutta la filiera agroalimentare. L'ottimizzazione e l'efficientamento dell'impiantistica rappresenta ad oggi una delle sfide che ci si deve porre, al fine di migliorare e rendere sempre più competitive le aziende nazionali che, relativamente alle produzioni agroalimentari, costituiscono un'eccellenza riconosciuta.

L'impiantistica agroalimentare, d'altra parte, si caratterizza per le forti competenze interdisciplinari: mentre in campo le competenze complementari sono proprie degli agronomi, quando si parla di trasformazione le figure di riferimento sono i tecnologi alimentari, figura ormai consolidata e presente anche a livello professionale tramite un proprio ordine. Nella formazione di queste figure, quindi, la competenza del "Meccanico Agrario"

recupera la "visione di sistema" che ha sempre fatto parte della matrice culturale di chi si è occupato della tecnica applicata al mondo agricolo. Tale approccio implica conoscenze sia dal punto di vista tecnico e tecnologico, sia tipiche del prodotto (cinetiche di trasformazione, esigenze microbiologiche, etc.): la capacità di sintesi di tali elementi costituisce una delle peculiarità tipiche della nostra figura professionale. I lavori presentati si ispirano proprio a questa visione fornendo soluzioni tecnologiche che hanno un impatto sui consumi energetici e, pertanto sull'ambiente circostante. E' ormai necessario che le fasi di progettazione e di gestione degli impianti siano caratterizzate da specifiche oggettive che valutino sempre più attentamente l'impatto ambientale e, più in generale, la stessa sostenibilità di ogni singola filiera.

La "Meccanica agraria" deve vedersi proiettata verso tutti quegli ambiti dove le competenze ingegneristiche impattano sui materiali biologici (Biosystem Engineering) presidiando con attenzione tutti i livelli, dalla produzione primaria alla somministrazione. Questo ruolo di mediazione rispetto alle classiche discipline ingegneristiche rimane fondamentale per coniugare il prodotto, con le sue peculiarità, alla scelta tecnica che deve essere effettuata alla luce delle nuove esigenze provenienti dai concetti dello sviluppo sostenibile.

Ci sono, inoltre, alcuni settori emergenti dove la presenza del „Meccanico Agrario“ è richiesta: pensiamo al settore della ristorazione dove il valore aggiunto è estremamente elevato ed il contenuto tecnologico delle attrezzature ha raggiunto livelli altissimi (non più forni ma centri di cottura, etc.). Tali competenze, pertanto, sono essenziali per trasformare il concetto di sviluppo sostenibile ed i 17 SDG's in soluzioni concrete nell'ambito della filiera agroalimentare (UN, 2015).

## Bibliografia

- Notarnicola, B., Tassielli, G., Renzulli, P. A., Castellani, V., & Sala, S. 2017. Environmental impacts of food consumption in Europe. *Journal of Cleaner Production*, 140: 753-765.
- A. Fusi, V. Castellani, J. Bacenetti, G. Cocetta, M. Fiala, R. Guidetti (2016) The environmental impact of the production of fresh cut salad: a case study in Italy *Int J Life Cycle Assess.* DOI:10.1007/s11367-015-1019-z
- United Nations, General Assembly 2015. *Transforming our world: The 2030 agenda for sustainable development.*
- United Nations, Department of Economic and Social Affairs 2013. *World Population Prospects: The 2012 Revision, Key Findings and Advance Tables.*
- Morawicki, R.O. 2012. *Handbook of Sustainability for the Food Sciences.* Wiley-Blackwell, Chichester, UK.
- Giovenzana, V., Fusi, A., Beghi, R., & Guidetti R. (2012). Energy analysis to assess the environmental sustainability of the dairy chain. *Journal of Agricultural Engineering*, 63(3): 103-107.
- Giovenzana, V., Beghi, R., & Guidetti R., 2011. L'analisi energetica integrata per la filiera lattiero casearia. Convegno di medio termine AIIA 2011 "Gestione e controllo dei sistemi agrari e forestali", Belgirate (VB) ISBN 978-88-906273-0-9.
- Bodria, L., & Guidetti, R. 2006. Energy analysis of a pasta factory and application of cogeneration, *CIGR Congress, Agricultural Engineering for a better World, Bonn, 3-7 sept.*
- Guidetti, R. 2005. Analisi energetica di in microbirrificio: controllo dell'andamento del processo sotto l'aspetto energetico, *La Rivista di Ingegneria Agraria*, edizioni ETS (Pisa).
- Guidetti, R. 2005. L'analisi energetica come indicatore di processo nel settore enologico, *Atti IX Convegno Nazionale di Ingegneria Agraria.* Catania, 27-30 giugno.
- Monforti-Ferrario, F., & Pascua, I. P. 2015. *Energy use in the EU food sector: State of play and opportunities for improvement.* Publications Office.