

ANALISI DEI FABBISOGNI ENERGETICI DI UN'AZIENDA AGROALIMENTARE

Federico Rossi¹, Andrea Nicolini¹, Mirko Filipponi¹

¹CIRIAF, Università degli Studi di Perugia – Via G. Duranti 67, 06125 Perugia (PG)

SOMMARIO

Lo sviluppo di un'agricoltura sostenibile, in grado di mantenere una buona capacità di produzione a fronte di un ridotto inquinamento ambientale, congiuntamente alla liberalizzazione del mercato dell'energia, hanno focalizzato l'attenzione degli operatori del settore verso le celle a combustibile.

Fra le varie tipologie in fase di studio e sperimentazione le celle a carbonati fusi, MCFC (Molten Carbonate Fuel Cells), sono quelle che presentano i requisiti più promettenti per applicazioni su larga scala.

Uno dei vantaggi offerti da questa tecnologia è la possibilità di realizzare impianti per la produzione contemporanea di energia elettrica e termica mediante l'integrazione con macchine ad assorbimento.

Nel presente articolo viene presentato uno studio sull'analisi del fabbisogno energetico di una azienda agroalimentare, sia dal punto di vista elettrico che termico, al fine di individuare la taglia e le caratteristiche ottimali di un'impianto a celle a combustibile in grado di soddisfarne le esigenze.

1 INTRODUZIONE

L'incremento demografico, la trasformazione dei costumi alimentari, il progresso scientifico e tecnologico, lo sviluppo economico e commerciale avranno nel prossimo futuro l'effetto di aumentare la domanda dei prodotti agricoli e delle relative risorse necessarie alla loro produzione, anche in competizione con altre forme d'uso (industria, edilizia, trasporti, infrastrutture, ecc.). Se in passato i principali obiettivi dell'agricoltura erano legati all'aumento della produttività delle colture, adesso è diventato altrettanto importante lo sviluppo di un'agricoltura sostenibile, in grado di ridurre l'inquinamento e il degrado ambientale, di fornire servizi ambientali e, al tempo stesso, mantenere una buona capacità di produzione. Le linee di politica agricola comunitaria emanate negli ultimi decenni e le riforme intraprese nell'ambito dell'Agenda 2000, insieme agli impegni nazionali indicati per il settore agricolo nel Piano Nazionale per lo Sviluppo Sostenibile (in attuazione dell'Agenda 21) sono volti a trasformare gli attuali metodi e orientamenti produttivi nella direzione di un'agricoltura sostenibile tesa alla conservazione del suolo, del paesaggio agrario, delle risorse idriche e degli ecosistemi, salvaguardando il reddito agricolo e le comunità rurali. Dalle disposizioni dei recenti accordi internazionali in tema di salvaguardia dell'ambiente, quali il Protocollo di Kyoto, la conferenza di Johannesburg e coerentemente con quanto espresso in Italia dal Piano Energetico Nazionale, emerge inoltre la necessità di individuare, sviluppare e diffondere sistemi di produzione, trasporto e distribuzione dell'energia razionali che integrino la salvaguardia dell'ambiente con i crescenti ed eterogenei fabbisogni di energia. Tali circostanze, congiuntamente alla liberalizzazione del mercato dell'energia, hanno focalizzato l'attenzione degli operatori del settore verso le celle a

combustibile: queste ultime possiedono infatti il vantaggio di produrre contemporaneamente energia elettrica e calore con elevati rendimenti impiegando fonti rinnovabili.

Fra le varie tipologie di celle a combustibile quelle a carbonati fusi, le MCFC (Molten Carbonate Fuel Cells), presentano requisiti molto promettenti per applicazioni su larga scala. Le principali caratteristiche delle MCFC sono:

- Elevati rendimenti elettrici anche superiori al 55%.
- Elevata temperatura di funzionamento (650°C) che permette di utilizzare convenientemente i cascami di calore a fini cogenerativi mediante l'impiego diretto del calore, l'integrazione con macchine ad assorbimento o l'integrazione con turbine a gas ad alto rendimento.
- Possibilità di alimentazione della cella con combustibili di diversa natura quali gas naturale, metano di rete, gpl.

Le caratteristiche delle celle a combustibile a carbonati fusi MCFC suggeriscono lo studio e la realizzazione di impianti cogenerativi che prevedono l'integrazione con macchine ad assorbimento, per la soluzione di numerose problematiche energetiche ed ambientali connesse alle varie tipologie di filiere agroalimentari. Infatti, il fabbisogno energetico di una filiera agroalimentare è particolarmente complesso sia in termini di qualità dell'energia che di distribuzione temporale delle richieste energetiche; basti pensare alle originali problematiche energetiche di una serra, di un essiccatoio, di una stalla piuttosto che di una cella frigorifera per la conservazione degli alimenti

Tra i vantaggi offerti da un impianto di cogenerazione con tecnologia MCFC non va infine dimenticato l'aumento dei rendimenti di generazione rispetto alla generazione separata di energia elettrica e calore e la riduzione delle perdite di trasporto e distribuzione, connesse alla distanza fra sito di generazione e sito di utilizzazione dell'energia, praticamente coincidenti nel caso della cogenerazione in filiera

agroalimentare. L'individuazione della taglia ottimale della cella a combustibile per questo tipo di applicazioni risulta strettamente legata alla valutazione dei fabbisogni energetici della filiera agroalimentare in cui verrà installato l'impianto di cogenerazione. Nel presente articolo viene presentato uno studio sull'analisi del fabbisogno energetico di un'azienda agroalimentare mediante confronto tra i consumi realmente rilevati ed i risultati forniti da un software previsionale realizzato nel corso dello studio.

Il software previsionale consiste in un modello matematico con il quale è possibile ottenere una stima dei consumi elettrici e termici delle principali tipologie di filiere agroalimentari.

2 CONSUMI ENERGETICI NELLE FILIERE AGROALIMENTARI

I consumi energetici nelle aziende agroalimentari si suddividono in quelli dovuti alle operazioni di pieno campo e quelli presso il centro aziendale. Le utenze a punto fisso sono dedicate a svolgere molteplici lavori e funzioni, e possono essere molto diverse secondo l'orientamento produttivo dell'azienda agroalimentare. Queste utenze producono energia meccanica o termica, utilizzando diverse fonti energetiche (energia elettrica dalla rete o combustibili, solidi, liquidi o gassosi). In termini generali si è soliti fare delle distinzioni in base al periodo d'impiego e in base al tipo di lavoro effettuato.

In base al periodo d'impiego le utenze a punto fisso sono classificate in utenze ad uso giornaliero, bisettimanale, stagionale o casuale. Come esempi di questa classificazione si possono citare le utenze legate alla raccolta del latte, caratterizzate da un impiego giornaliero, i mulini per la preparazione degli alimenti, con impiego quindicinale, gli essiccatoi per granella o per foraggio, con impiego stagionale, ed infine le attrezzature per la manutenzione e lo svolgimento dei lavori d'officina, con impiego casuale. Si comprende dunque la complessità del fabbisogno energetico di una filiera agroalimentare, sia in termini di qualità dell'energia, che di distribuzione temporale delle richieste energetiche

I parametri fondamentali per descrivere il comportamento del consumo elettrico e termico sono l'intensità e la durata. Le curve di carico giornaliero ed annuali consentono di visualizzare in modo immediato l'andamento dei consumi di un determinato numero di utenze.

2.1 Metodi di rilevamento

Le informazioni relative al consumo elettrico di un'azienda possono essere in prima approssimazione ricavati dalle letture dei contatori installati presso i locali della stessa. Se l'azienda in questione ha un contatore dedicato alla stalla e in essa è presente un numero costante di animali nell'anno, dividendo il numero di kWh consumati per il numero di animali e per 365 si ottiene il consumo energetico per capo al giorno.

Altro parametro rilevabile è quello rappresentato dal fattore di potenza ($\cos \Phi$). Il rapporto che lega la potenza reale e la potenza reattiva nella determinazione della potenza apparente è il seguente:

$$P_{apparente} = \sqrt{(P_{reale})^2 + (P_{reattiva})^2} \quad (1)$$

Pertanto, mediante la lettura dei contatori è possibile ricavare il valore della potenza apparente mediante le informazioni sulla potenza reale e quella reattiva. In realtà,

poiché dai contatori si ottiene la quantità di energia consumata in chilowattora, è necessaria un'approssimazione facendo coincidere kWh e kW, come se tutta l'energia fosse stata consumata in un'ora soltanto di funzionamento.

Ottenuto il valore della potenza apparente, dal rapporto tra potenza reale e potenza apparente si ottiene il valore del fattore di potenza medio ($\cos \Phi$) al quale l'impianto elettrico ha lavorato per il periodo in esame. Il sistema più semplice di rilevamento dei consumi energetici, su base giornaliera o oraria, è la lettura a scadenze periodiche del contatore. Per aziende con contratti di fornitura dai 15 kW in su potrebbe essere disponibile, oltre al contatore dei kilowattora (kWh), anche quello dei kilovarora (kvar). Se si hanno a disposizione i due contatori, effettuando letture a scadenze prefissate, ad esempio ogni ora si riescono ad avere dati indicativi dai quali è possibile ricostruire approssimativamente le curve di carico dell'azienda e l'andamento del fattore di potenza.

Per un rilievo completo e preciso dei consumi, e del funzionamento delle utenze e di tutto l'impianto elettrico, è necessario tuttavia ricorrere ad analizzatori di rete elettrica. Vi sono vari tipi di analizzatori, concepiti per un uso industriale, che ben si adattano a rilevare i consumi di un'azienda agricola o zootecnica. Essi si compongono di una centralina di acquisizione e elaborazione dati, di pinze amperometriche e di morsetti per la misura di amperaggio e voltaggio. Gli strumenti di misura sono piazzati al contatore elettrico e lasciati sul posto per un periodo sufficiente a fornire informazioni esaurienti del funzionamento degli impianti. Per esempio, nel caso di un'azienda zootecnica, dove le operazioni si svolgono in modo abbastanza uniforme tutti i giorni, un periodo di 24 ore è sufficiente a rilevare il funzionamento di tutti i macchinari dell'azienda, salvo quelli, come il miscelatore, che sono utilizzati a scadenze più lunghe.

Mediante le strumentazioni suddette è possibile ricavare l'andamento temporale dei seguenti parametri: amperaggio delle tre fasi; voltaggio delle tre fasi; fattore di potenza ($\cos \Phi$) complessivo e per ogni fase; potenza attiva istantanea; potenza reattiva istantanea. Si può così risalire con esattezza alle ore di funzionamento dei vari componenti dell'impianto e ai loro consumi. Se si rilevano scarsi fattori di potenza si risale immediatamente a quali sono i motori che li determinano, e in quale misura. Dai dati raccolti con gli analizzatori ed elaborati è possibile allora determinare gli interventi per migliorare l'efficienza del sistema. Se si nota un'eccessiva sovrapposizione di funzionamento di alcune utenze, si può intervenire, ad esempio, applicando dei timer, per evitare picchi di assorbimento, escludendo dalle linee elettriche, per i periodi più critici, quelle utenze il cui funzionamento può essere ritardato. Se le utenze che si sovrappongono non sono ad innesto automatico è sufficiente prevedere una diversa successione delle operazioni. Se sono rilevati scarsi fattori di potenza nel funzionamento di alcuni motori, è facile calcolare l'esatta capacità dei condensatori da inserire in parallelo ai motori che necessitano di una correzione.

Per quanto riguarda la rilevazione dei consumi termici si fa usualmente riferimento alle quantità di combustibile consumate in un determinato arco di tempo, al suo potere calorifico inferiore (p.c.i.) e al livello di efficienza delle caldaie, maggiore per i combustibili gassosi e liquidi.

2.2 Analisi del fabbisogno energetico dell'azienda agroalimentare Parco dei Lecci

L'azienda agroalimentare "Parco dei Lecci" su cui è stato effettuato il presente studio sull'analisi del fabbisogno

energetico si trova a Massa Marittima, in provincia di Grosseto. Essa è stata selezionata in virtù della posizione geografica, dell'estensione territoriale, della diversificazione dei servizi offerti e dei beni prodotti e pertanto per l'eterogeneità dei fabbisogni energetici. La tenuta ha un'estensione aziendale di 300 ha all'interno dei quali si svolgono attività agricole ed attività agrituristiche. Attraverso lo svolgimento delle attività agrituristiche, in particolare, l'azienda persegue quello che è il concetto di multifunzionalità agricola.

Durante l'arco di un anno, è stato effettuato il monitoraggio dei consumi elettrici e termici dell'azienda individuandone gli andamenti giornalieri ed annuali.

Le attività agrituristiche si svolgono fanno registrare il "tutto esaurito" nei mesi che vanno da Aprile ad Ottobre, mentre in Marzo e Novembre si registrano i tre quarti delle presenze massime. Nei mesi invernali (Dicembre, Gennaio e Febbraio) l'attività alberghiera si arresta.

L'azienda agroalimentare "Parco dei Lecci" è strutturata in diversi poderi: Ceppo, Poderino, Cicalino, Parco dei Lecci, Podernuovo e Lame, a cui si aggiungono altre quattro strutture: villa padronale, reception, centro fitness e ristorante.

La superficie totale destinata alle attività agrituristiche è pari ad oltre 2000 m² per un volume di circa 6900 m³. Per ogni struttura sono state ricavate le curve di carico giornaliero ed annuali dei carichi elettrici.

La Figura 1 riporta, a titolo di esempio, la curva di carico elettrico giornaliero relativa ad uno dei poderi dell'azienda agroalimentare Parco dei Lecci.

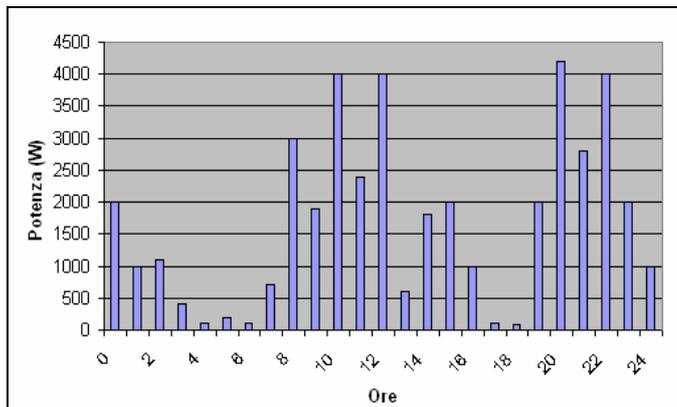


Figura 1. Curva di carico elettrico giornaliero relativa a uno dei poderi dell'azienda (Il Ceppo) per una giornata tipo del mese di Marzo.

Il consumo elettrico annuo registrato è pari a 102.760 kWh. La Figura 2 mostra il contributo percentuale a tale consumo da parte di ogni singola struttura della tenuta.

Per quanto riguarda la richiesta di energia termica dell'azienda, essa viene soddisfatta principalmente grazie a delle caldaie che usano come combustibile GPL. Le uniche strutture che utilizzano gasolio come combustibile per la produzione di energia termica sono il podere Il Cicalino ed il Centro fitness ad esso adiacente. La Reception durante i periodi freddi viene riscaldata con una stufa a legna per cui questo locale non incide sul consumo di GPL e di gasolio all'interno dell'azienda.

Il consumo termico totale annuale è stato calcolato individuando separatamente il carico termico relativo al riscaldamento e quello per la produzione di acqua calda

sanitaria.

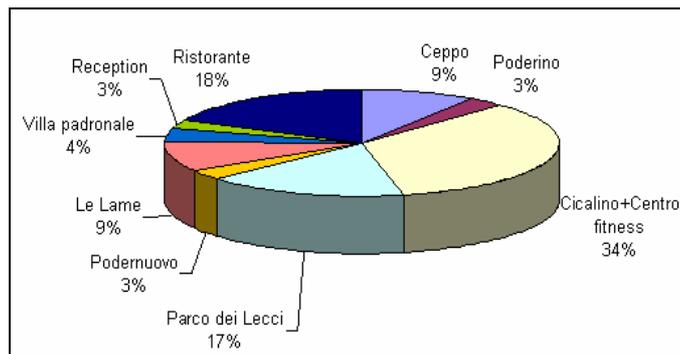


Figura 2. Contributo percentuale delle varie strutture al consumo elettrico annuale totale relativo alle attività agrituristiche

I diagrammi di carico termico per il riscaldamento sono stati realizzati al variare della temperatura esterna supponendo di mantenere all'interno dei locali una temperatura costante di 20°C, tenendo conto delle temperature medie mensili della zona [1].

Basandosi sulle planimetrie di ogni singola struttura, è stata inoltre calcolata la quantità di energia oraria necessaria ad ognuna di esse. In Figura 3 è riportata, a titolo di esempio, la curva di carico termico giornaliero totale relativa all'azienda agroalimentare Parco dei Lecci per un giorno tipo del mese di Ottobre.

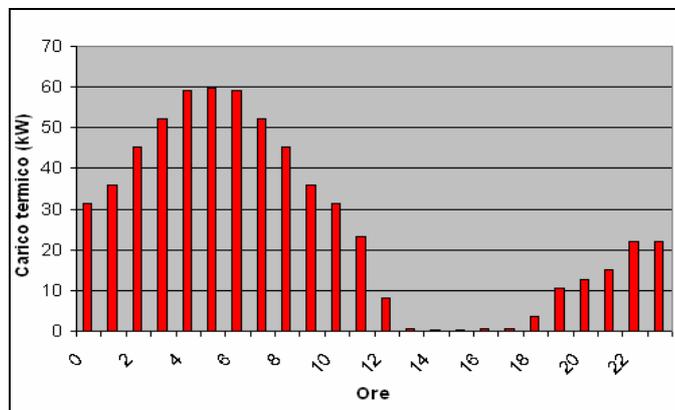


Figura 3. Curva di carico termico giornaliero totale relativa all'azienda agroalimentare Parco dei Lecci per un giorno tipo del mese di Ottobre.

Il consumo termico annuo destinato al riscaldamento è pari a 105.554 kWh. La Figura 4 mostra il contributo percentuale a tale consumo da parte di ogni singola struttura della tenuta.

Per quanto riguarda il carico termico destinato alla produzione di acqua calda sanitaria, il consumo totale annuo rilevato è pari a 109.419 kWh; la Figura 5 riporta il contributo percentuale delle varie strutture al consumo termico annuale totale destinato alla produzione di acqua calda sanitaria.

Il consumo termico totale annuo dell'azienda agroalimentare Parco dei Lecci è quindi pari a 214.973 kWh. La Figura 6 riporta il contributo percentuale delle varie strutture al consumo termico annuale totale.

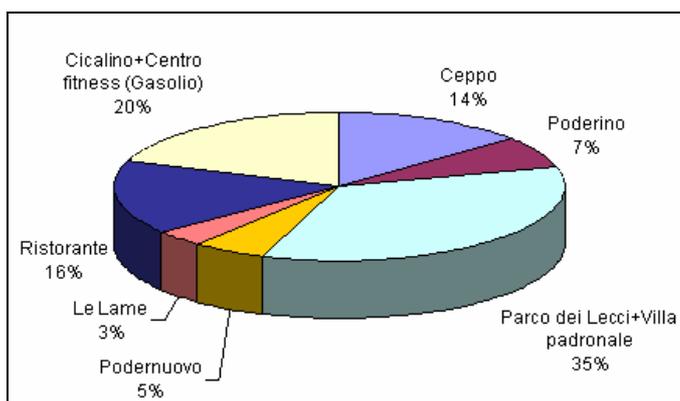


Figura 4. Contributo percentuale delle varie strutture al consumo termico per il riscaldamento annuale totale relativo alle attività turistiche.

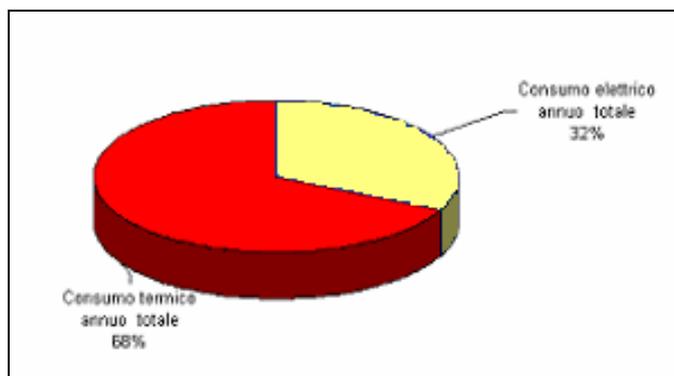


Figura 7. Ripartizione percentuale dei consumi elettrici e termici annuali totali rispetto al consumo energetico totale relativo alle attività agrituristiche

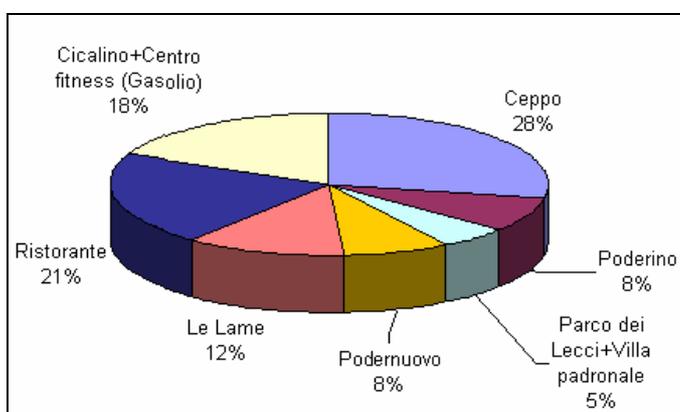


Figura 5. Contributo percentuale delle varie strutture al consumo termico annuale totale per la produzione di acqua calda sanitaria.

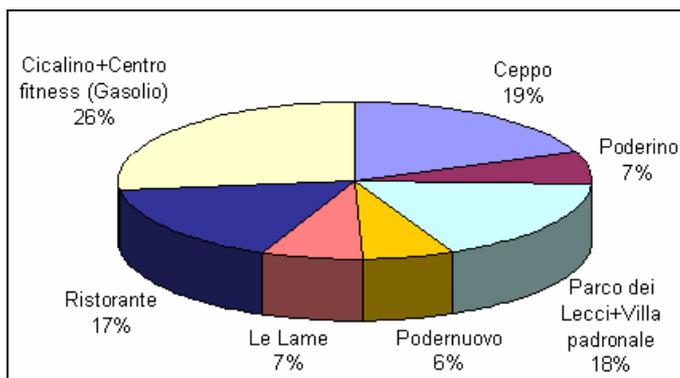


Figura 6. Contributo percentuale delle varie strutture al consumo termico annuale totale relativo alle attività agrituristiche

La Figura 7 mostra invece la ripartizione percentuale dei consumi elettrici e termici annuali rispetto al consumo energetico totale annuo delle attività agrituristiche pari a 317.733 kWh.

Tabella 1. Caratteristiche agricole dell'azienda

Tipo di coltivazione	Estensione della coltura [Ha]	Produzione annua [q/anno]
oliveto specializzato	22,00	300,0
orticole (pomodori, carciofi, peperoni)	0,70	1,7
Frutteto (pesche, susine, albicocche)	1,00	50,0
altre destinazioni (sorgo ed altre biomasse)	4,11	1027,5
Totale superficie aziendale	27,81	

Per quanto riguarda le attività agricole, esse si svolgono durante tutto il periodo dell'anno con vari tipi di colture, riassunte sinteticamente nella Tab. 1.

Per quanto riguarda l'irrigazione dei campi, la sua influenza sulla richiesta di energia ha un'influenza trascurabile in quanto avviene per caduta da due laghi artificiali situati sulle colline vicine. Il contributo principale ai consumi elettrici è quello dovuto all'impiego del frantoio per la produzione di olio extravergine di oliva; la raccolta è invece effettuata manualmente. Il sistema di molitura è a freddo ed il periodo di funzionamento del frantoio è quello che va da Novembre a Gennaio. Per quanto riguarda i consumi energetici del frantoio, come precedentemente riportato, sono essenzialmente di tipo elettrico. Durante il rilevamento è stata effettuata una distinzione tra consumi destinati all'illuminazione e alla manutenzione del frantoio e consumi destinati alla produzione dell'olio. Il consumo elettrico totale rilevato relativo al frantoio è pari a 1450 kWh.

L'83 % di tale valore, pari a 1200 kWh, è destinato alle macchine che operano durante le varie fasi di produzione dell'olio, tale consumo è quindi concentrato nell'arco dei mesi di Novembre, Dicembre e Gennaio. La Figura 8 riporta l'andamento dei consumi elettrici mensili per i vari mesi dell'anno, mentre nella Figura 9 viene rappresentata la ripartizione percentuale dei consumi elettrici totali annui del frantoio.

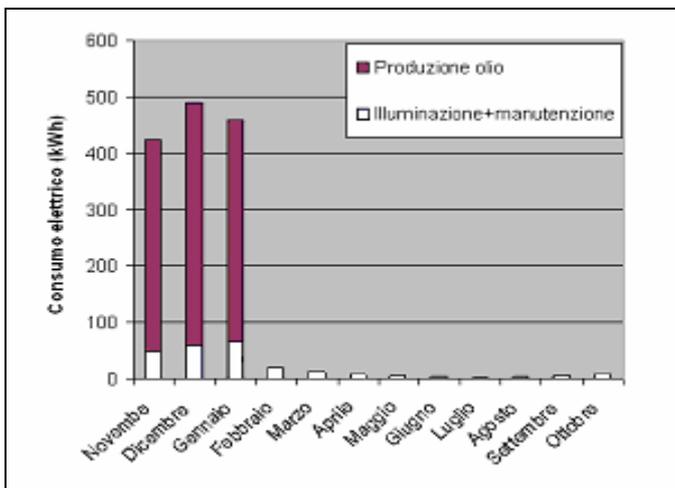


Figura 8. Andamento dei consumi elettrici mensili per i vari mesi dell'anno

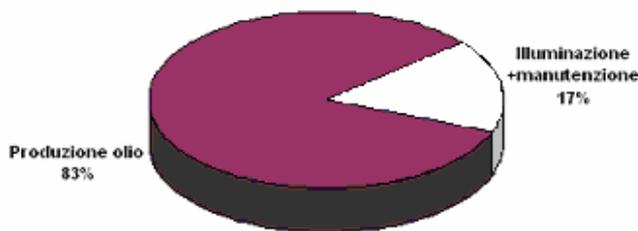


Figura 9. Ripartizione percentuale dei consumi elettrici annui del frantoio

3. REALIZZAZIONE DI UN MODELLO MATEMATICO PER LA CARATTERIZZAZIONE ENERGETICA DELLE DIVERSE TIPOLOGIE DI FILIERA AGROALIMENTARE

Il modello matematico implementato nel corso della presente ricerca consiste in fogli di calcolo ognuno dei quali permette di caratterizzare energeticamente le seguenti tipologie di filiera agroalimentare: filiera zootecnica da latte (allevamento bovini), filiera zootecnica da carne (allevamento bovini, suini, avicoli), filiera zootecnica per la produzione di uova (allevamento avicoli), filiera colture protette, filiera colture estensive (settore enologico, settore oleario, settore cerealicolo). Un altro foglio di calcolo è dedicato a due processi strettamente collegati alle filiere zootecniche: essiccazione dei foraggi e trattamento dei liquami

Infine un foglio di calcolo consente la caratterizzazione energetica delle attività agrituristiche che costituiscono uno degli aspetti della multifunzionalità agricola messa in atto in seguito alla Riforma Politica Agricola Comune (PAC) e che quindi rientrano nella stima dei consumi energetici delle filiere agroalimentari.

3.1 Caratteristiche Generali del Modello Matematico

I dati sulla base dei quali è stato realizzato il modello matematico sono essenzialmente i valori dei consumi specifici giornalieri ed annui relativi alle principali tipologie di aziende agroalimentari. E' stata condotta una ricerca bibliografica

[2,3] che ha permesso di individuare per ogni tipo di filiera, le tipologie di utenza e i carichi termici ed elettrici specifici ad essa associati. I fogli di calcolo consentono, mediante specifici dati di input, di individuare i consumi energetici giornalieri (distinguendo tra giornate estive ed invernali), i consumi energetici annuali di ogni singola utenza ed i consumi energetici giornalieri ed annuali totali. In alcuni casi (filiera di essiccazione dei cereali, filiera delle colture protette, filiera delle colture estensive ed attività agrituristiche), non essendo stato possibile reperire dati sui consumi energetici specifici giornalieri delle varie utenze, si è fatto riferimento ai dati dei consumi energetici per unità di prodotto (tonnellata di semente essiccata) o per unità di superficie impegnata.

3.2 Inserimento dei dati

I dati di input del modello di calcolo sono informazioni facilmente reperibili, caratteristiche della particolare filiera come il numero di capi allevati o di tonnellate di peso vivo (nel caso di filiere zootecniche); la quantità totale di prodotto, la superficie totale coltivata, etc.

3.3 Descrizione dei singoli fogli di calcolo

Filiera zootecnica da latte (allevamento bovini)

Per questo tipo di filiera sono state prese in considerazione le seguenti utenze elettriche: illuminazione (distinguendo caso estivo e caso invernale), governo, distribuzione alimenti, mungitura, refrigerazione latte. Sono state inoltre considerate le seguenti utenze termiche: lavaggio (impianto, mammelle), riscaldamento sala mungitura (solo nella stagione invernale).

Sono stati individuati per ogni utenza i consumi elettrici e termici giornalieri specifici per capo allevato, per tonnellata di peso vivo e per kg di latte prodotto. I dati di input del modello sono, a seconda dei casi, le quantità giornaliere totali di tonnellate di peso vivo, capi allevati e kg di latte prodotto.

I dati di output sono: i consumi elettrici e termici giornalieri di ogni utenza e totali sia nel caso estivo che nel caso invernale, i consumi elettrici e termici annui totali della filiera, i consumi energetici annui totali della filiera.

Filiera zootecnica da carne (allevamento vitelli carne bianca)

Per questo tipo di filiera sono state prese in considerazione le seguenti utenze elettriche: ventilazione ambientale (distinguendo caso estivo e caso invernale), illuminazione (distinguendo caso estivo e caso invernale), preparazione alimenti. Sono stati individuati per ogni utenza i consumi elettrici e termici giornalieri specifici per tonnellata di peso vivo.

I dati di input del modello sono le quantità giornaliere totali di tonnellate di peso vivo. I dati di output sono costituiti dai consumi elettrici giornalieri di ogni utenza e totali sia nel caso estivo che nel caso invernale e dai consumi elettrici annui totali della filiera

Filiera zootecnica da carne (allevamento suini)

Il modello è stato implementato facendo una distinzione tra allevamenti di suinetti (1,5-20 kg) e allevamenti di suini da ingrasso (20-120 kg). Nel primo caso le utenze considerate sono di tipo elettrico e sono destinate alla ventilazione ambientale (distinguendo caso estivo e caso invernale) ed al condizionamento della sala parto (durante le prime 2-3 settimane attraverso lampade e resistenze)

I dati di output sono: consumi elettrici giornalieri di ogni utenza e totali sia nel caso estivo che nel caso invernale, consumi elettrici annui totali della filiera .

Nel secondo caso le utenze prese in considerazione sono sia di tipo elettrico (ventilazione ambientale nella stagione estiva, preparazione alimenti) che di tipo termico (riscaldamento nella stagione invernale).

I dati di input del modello sono, a seconda dei casi, il numero di scrofe, le tonnellate di peso vivo e di capi allevati. I dati di output sono: i consumi elettrici e termici giornalieri di ogni utenza e totali sia nel caso estivo che nel caso invernale, i consumi elettrici e termici annui totali della filiera, i consumi energetici annui totali della filiera.

Filiera zootecnica da carne (allevamento avicoli a terra)

In questo caso le utenze considerate sono di tipo elettrico: incubazione, madri artificiali, preparazione e distribuzione alimenti, ventilazione (è stato preso in considerazione un valore medio tra quello estivo e quello invernale del carico elettrico specifico). A tali utenze, nel caso invernale, se ne aggiunge una di tipo termico per il riscaldamento dell'acqua.

I dati di input sono, a seconda dei casi, il numero di uova ed il numero di pulcini o di capi allevati. I dati di output sono: i consumi elettrici giornalieri (costanti per tutto l'anno) e termici giornalieri (solo nel caso invernale) di ogni utenza e totali; i consumi elettrici e termici annui totali della filiera; i consumi energetici annui totali della filiera.

Filiera zootecnica per la produzione di uova (allevamento avicoli in batteria)

Per questo tipo di filiera le utenze considerate sono unicamente di tipo elettrico: illuminazione, conservazione uova, preparazione e distribuzione alimenti, ventilazione. Il dato di input è il numero di capi allevati in migliaia. I dati di output sono: consumi elettrici giornalieri di ogni utenza e totali, consumi elettrici annui totali della filiera.

Filiera colture protette

In questo caso sono state prese in considerazione le utenze presenti per la climatizzazione delle serre: quelle di tipo elettrico riguardano la ventilazione, l'illuminazione e l'irrigazione, quelle di tipo termico il riscaldamento. Il consumo di quest'ultima utenza è quello più variabile in quanto dipende dal tipo di coltura e dalla località in cui si trova la serra.

Sono stati considerati tre possibili valori del consumo specifico relativo al riscaldamento a seconda che le colture in serra siano a basse, medie o alte esigenze termiche [4]. I dati di output del modello sono: consumi elettrici e termici giornalieri delle singole utenze e totali, consumi elettrici e termici annui totali della filiera, consumi energetici annui totali della filiera

Filiera colture estensive

All'interno della filiera delle colture estensive vengono presi in considerazione tre settori: enologico, oleario e cerealicolo. Per questo tipo di filiera è stata innanzitutto considerata un'utenza che riguarda in generale tutte le colture estensive, quella del sistema di irrigazione, che rappresenta una delle voci più importanti per le colture in pieno campo. Essa comporta dei consumi di tipo elettrico diversi a seconda della tipologia di sistema utilizzato. I tipi di sistema considerati sono: impianto stanziale, rotolone gigante, rotolone con barra, pivot. I consumi specifici individuati per tali sistemi sono i consumi elettrici per ettaro di superficie coltivata o per m³ di acqua distribuita. Il foglio di calcolo comprende, per quanto riguarda i sistemi di irrigazione, due diverse sezioni che consentono di calcolare i consumi elettrici totali (in base alla superficie irrigata o al volume di acqua distribuita) e le perdite di energia elettrica persa per il trasporto dell'acqua nel tubo (al variare del diametro delle tubazioni e delle portate degli irrigatori).

I dati di input del modello sono la superficie di terreno coltivato o il volume in m³ di acqua distribuita. I dati di output sono il consumo elettrico totale necessario per irrigare una determinata superficie, a seconda del sistema di irrigazione utilizzato, o le perdite elettriche per il trasporto dell'acqua e il consumo elettrico totale necessario per distribuire un certo volume di acqua per i vari sistemi di irrigazione. Lo stesso foglio di calcolo consente inoltre la stima dei consumi energetici dei tre settori inizialmente elencati, strettamente collegati con le colture estensive: il settore enologico, quello oleario e quello cerealicolo.

Per quanto riguarda il settore enologico le utenze prese in considerazione sono di tipo elettrico: stoccaggio del moscato (relativa ai mesi di Ottobre-Novembre), refrigerazione, filtrazione (di 3 tipi: sottovuoto, filtro con elementi ceramici, filtro ad alluvionaggio), chiarificazione (per centrifugazione), flottazione (per mosto grezzo). I consumi specifici individuati per tali utenze sono consumi elettrici per ettolitro di prodotto finito.

Anche per il settore oleario le utenze sono di tipo elettrico e riguardano le varie fasi di lavorazione delle olive e dell'olio: lavaggio, frangitura, gramolatura, estrazione, separazione. I consumi specifici sono relativi ad ogni carico di olive macinate (circa 400 kg)[5].

Per quanto riguarda il settore cerealicolo, le utenze considerate sono ventilazione (utenza elettrica) e riscaldamento (utenza termica). E' prevista una distinzione tra l'essiccazione del seme e l'essiccazione del mangime. La differenza riguarda il processo di riscaldamento che per il mangime viene effettuato ad una temperatura maggiore (120 °C contro i 40 °C del seme) e quindi comporta un consumo termico specifico maggiore. Per il consumo elettrico specifico, dovuto alla fase di ventilazione, che è uguale sia per il seme che per il mangime e può essere a bassa ed alta temperatura, è stato considerato un valore medio riferito ad un kg di acqua da far evaporare.

In questo caso i dati di input sono l'umidità iniziale e finale del prodotto da essiccare. Il foglio calcola la quantità di acqua da far evaporare in base alla seguente formula:

$$\text{kg } H_2O \text{ da asportare} = \frac{\text{Umidità iniziale} - \text{Umidità finale}}{1 - \text{Umidità finale}} \quad (2)$$

da cui viene ottenuto il carico termico totale.

Essiccazione dei foraggi e trattamento liquami

Il presente foglio di calcolo è dedicato a due processi che potrebbero interessare le filiere zootecniche e che, dal momento che coinvolgono utenze saltuarie, vengono trattati separatamente. Le utenze considerate sono: ventilazione + trasporto interno (utenze elettriche) e riscaldamento (utenza termica). In questo foglio di calcolo vengono considerati valori dei consumi energetici specifici ottenuti da una media tra quelli del processo ad alta e a bassa temperatura.

Il consumo elettrico specifico della prima utenza (ventilazione + trasporto interno) si riferisce ad un quintale di prodotto essiccato, quindi per ottenere il consumo elettrico totale, il dato di input richiesto è la quantità totale di foraggio essiccato.

Il consumo termico specifico della seconda utenza (riscaldamento) si riferisce ad un kg di acqua da evaporare. I dati di input sono l'umidità iniziale e finale del prodotto da essiccare. Il foglio calcola la quantità di acqua da far evaporare in base alla Eq. (2), da cui si ottiene il carico termico totale e conseguentemente il consumo energetico totale.

Per quanto riguarda il trattamento dei liquami tra i vari processi è stato preso in considerazione quello di tipo aerobico [6].

Le utenze in gioco sono di tipo elettrico: omogeneizzazione della massa (miscelatori ad elica), vagli separatori. Per la prima utenza è stato individuato un consumo elettrico specifico giornaliero per m³ di sostanze trattate. Per la seconda utenza viene riportato un consumo elettrico specifico giornaliero per kg di solidi separati. I dati di input sono le quantità giornaliere totali di sostanza trattata (m³) e di solidi separati (kg). I dati di output sono i consumi elettrici totali giornalieri ed annuali.

Attività agrituristiche

Questo foglio di calcolo permette di calcolare i consumi elettrici e termici totali relativi alle attività agrituristiche.

I consumi elettrici considerati sono di tipo globale. Viene infatti riportato un unico valore specifico del carico elettrico medio (potenza elettrica media) per unità di superficie (W/m²) che comprende tutte le utenze di tipo elettrico tipiche di una utenza alberghiera. Lo stesso vale per il carico termico destinato al riscaldamento di cui si riporta il valore specifico del carico termico medio (potenza termica media) per unità di volume (W/m³). In questo caso i dati di input sono la superficie ed il volume delle strutture interessate ma anche il numero di ore di impiego giornaliero ed annuali. I dati di output sono i valori giornalieri ed annuali totali del consumo elettrico e del consumo termico destinato al riscaldamento.

Per quanto riguarda il carico termico destinato alla produzione di acqua sanitaria in questo caso vengono impiegati i valori del fabbisogno giornaliero di acqua calda per persona (in litri per persona al giorno) a seconda del tipo di strutture che fanno parte dell'attività alberghiera (appartamenti, camere, ristoranti, centri fitness).

Il modello calcola il fabbisogno totale di acqua calda in grammi e, considerando che la temperatura dell'acqua sanitaria dovrà essere pari a 48°C [7], assumendo una temperatura dell'acqua di sorgente pari a 10 °C viene calcolato automaticamente il carico termico giornaliero destinato alla produzione di acqua calda mediante la seguente formula:

$$Q = \frac{m_{acqua} / gg (gr) \cdot c_p (kj / gr \cdot ^\circ C) \cdot \Delta T (^{\circ} C)}{3600 s / h} \quad (3)$$

Il foglio di calcolo restituisce quindi i valori giornalieri ed annuali dei consumi elettrici, termici ed energetici totali.

4. CONFRONTO TRA DATI RILEVATI E RISULTATI OTTENUTI CON IL MODELLO MATEMATICO

Le stime dei consumi energetici dell'azienda agroalimentare Parco dei Lecci precedentemente ricavate sono state confrontate con i valori forniti dal modello di calcolo allo scopo di validarlo e verificarne l'applicabilità a filiere analoghe.

Nel caso dell'azienda Parco dei Lecci sono stati presi in considerazione i modelli relativi alle attività agrituristiche ed alla filiera delle colture estensive per il settore oleario.

Attività agrituristiche

Per verificare che i dati forniti dal software previsionale e quelli reali dell'azienda agroalimentare Parco dei Lecci siano paragonabili, sono stati confrontati inizialmente i valori del consumo elettrico giornaliero ed annuale. Il calcolo è stato eseguito sulla base della potenza elettrica media spesa per

unità di superficie destinata alle attività agrituristiche. Nel caso dell'azienda agroalimentare Parco dei Lecci la superficie totale da considerare è pari a 2313 m². Le ore giornaliere di impiego delle utenze elettriche da parte della clientela sono in media 4 e quelle annuali circa 1080.

Il modello di calcolo ha fornito una stima del consumo elettrico giornaliero medio di 370,08 kWh ed del consumo annuale di 99.921,6 kWh. Il valore del consumo elettrico giornaliero, mediando i valori rilevati dai contatori nei vari periodi dell'anno, è circa 352 kWh, mentre il valore del carico elettrico annuale è pari a 102.760 kWh. Tali valori sono simili a quelli ottenuti utilizzando il modello di calcolo (errore inferiore al 3% sul dato annuale).

Per quanto i carichi termici relativi al riscaldamento, il calcolo eseguito dal modello viene eseguito sulla base della potenza termica media spesa per il riscaldamento per unità di volume destinata alle attività agrituristiche. Nel caso dell'azienda agroalimentare Parco dei Lecci il volume totale da considerare è pari a 6879 m³. Le ore giornaliere di impiego delle utenze da parte della clientela sono in media 10 e quelle annuali circa 1000.

Il modello ha fornito una stima del consumo termico giornaliero medio pari a 1031,85 kWh e del consumo annuale di 103.185 kWh.

Come precedentemente riportato, i valori medi dei consumi termici giornalieri ed annuali per il riscaldamento sono pari rispettivamente a 1.176 e 105.554 kWh, Tali valori sono simili a quelli ottenuti utilizzando il modello di calcolo (errore di stima inferiore al 3% sul dato annuale).

Considerando un numero massimo di 171 persone ospitate, distribuite nelle varie strutture (appartamenti, camere, ristorante, centro fitness), le ore di impiego giornaliero sono in media 1,2 al massimo della contemporaneità (si è considerato un numero di ore relativamente inferiore a quello reale poiché il numero di persone ospitate in genere non è sempre uguale al massimo) ed i giorni di impiego annuali circa 210.

Il modello ha fornito una stima del consumo termico giornaliero medio di 518 kWh ed del consumo annuale di 108.897,95 kWh

I valori medi dei consumi termici giornalieri ed annuali per l'acqua calda sanitaria sono pari rispettivamente a 525 e 109.419 kWh Tali valori sono anche in questo caso simili a quelli ottenuti utilizzando il modello di calcolo (errore di stima inferiore allo 0.5% sul dato annuale).

I consumi termici giornalieri ed annuali totali forniti dal modello sono pari a 1549,85 e 212.082,95 kWh, valori simili a quelli rilevati mediante i consumi di combustibile, pari a 1701 e 214.973 kWh (errore di stima inferiore all'1.5% sul dato annuale).

Infine, il consumo energetico totale stimato dal modello (312.004,55 kWh) è anch'esso simile a quello ottenuto dal monitoraggio in sito all'interno dell'azienda agroalimentare Parco dei Lecci, pari a 317.733 kWh (errore di stima inferiore al 2%).

Attività agricole

Per verificare che i dati forniti dal software previsionale e quelli reali dell'azienda agroalimentare Parco dei Lecci siano paragonabili, sono stati confrontati i valori del consumo elettrico annuo destinato alla produzione di olio.

Dall'analisi dei contatori elettrici del frantoio, il consumo elettrico annuo totale è di 1.450 kWh, si evince che 250 sono destinati all'illuminazione e alla manutenzione e 1.200 alla produzione di olio. Inserendo come dato di input nel modello di calcolo la quantità di olive raccolte in un anno all'interno dell'azienda agroalimentare Parco dei Lecci, pari a 30.000 kg,

si è ottenuto che il consumo elettrico totale annuo stimato è pari a 1.190 kWh (vedi Figura 10). Tale valore è molto simile a quello reale (errore di stima pari allo 0.8%).

SETTORE OLEARIO					
CONSUMI ELETTRICI	Utenza	NOTE	Consumo elettrico (kWh/carico)	Quantità olive lavorate (kg)	Consumo elettrico (kWh)
	Lavaggio		1,24	30.000	93
	Frangitura	Molazze-Martelli	6,41	30.000	480,75
	Gramolatura		5,06	30.000	379,5
	Estrazione		2,06	30.000	154,5
	Separazione		1,1	30.000	82,5
					Consumo elettrico totale (kWh)
					1.190

Figura 10. Modello di calcolo per la stima del consumo elettrico del frantoio

In base ai risultati forniti, il modello di calcolo implementato nel corso del presente studio può essere considerato di significativa utilità per una stima di massima dei fabbisogni energetici di una filiera agroalimentare.

5. CONCLUSIONI

Lo studio oggetto del presente articolo è stato condotto con lo scopo di individuare la taglia ottimale di una cella a combustibile MCFC per un impianto di cogenerazione di energia elettrica e calore, a ridotto impatto ambientale, avente le caratteristiche atte a soddisfare il fabbisogno energetico di una filiera agroalimentare.

A tale scopo, lo studio ha previsto una fase volta alla caratterizzazione dei fabbisogni energetici delle diverse tipologie di filiere agroalimentare mediante la realizzazione di un software di simulazione in grado di prevedere i fabbisogni di energia termica ed elettrica di filiera in funzione delle sue dimensioni, della destinazione d'uso e della tipologia di apparecchiature impiegate. Successivamente, l'analisi si è rivolta ad una specifica azienda, il "Parco dei Lecci" sito presso Massa Marittima (GR), che costituisce un tipo di filiera agroalimentare caratterizzata da una certa eterogeneità dei fabbisogni energetici.

L'entità dei carichi elettrici e termici rilevati presso l'azienda suddetta mediante monitoraggio in sito sono stati confrontati con quelli restituiti dal software previsionale nel caso di una filiera avente le stesse caratteristiche dell'azienda in esame ottenendo valori simili (errori di stima inferiori al 3%).

L'azienda agroalimentare Parco dei Lecci si sta attualmente dotando di sistemi a ridotto impatto ambientale, quali tetti fotovoltaici e a pannelli termici solari, per il fabbisogno energetico di parte della filiera. Di conseguenza, sulla base dei dati forniti dal presente studio e dalla individuazione delle utenze già coperte dai sistemi suddetti, è in corso di definizione il progetto dell'impianto di cogenerazione a celle a combustibile destinato a coprire totalmente i fabbisogni energetici dell'azienda agroalimentare Parco dei Lecci.

6. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

1. A.R.S.I.A. – Agenzia Regionale per lo Sviluppo e l'innovazione nel settore Agricolo e Forestale, *Dati Meteo Massa Marittima*, 2003.
2. Regione Piemonte, "Il risparmio energetico e la razionalizzazione dei consumi nelle aziende agricole", Quaderni della Regione Piemonte, Agricoltura, n.15, Maggio 1999.
3. M. Fiala , *Uso delle risorse energetiche in agricoltura. Appunti del Corso*, Edolo, 2002.
4. M.A. Snelle, S.H. Dobbs, D.C. Needham, J.M. Dole, *The Hobby Greenhouse*, Oklahoma Cooperative Extension Service, Division of Agricultural Sciences and natural Resources, F-6705, 1991.
5. Mugelli Marco, *L'estrazione dell'olio dalle olive, La qualità dell'olio d'oliva* 4, 1999.
6. Pierluigi Navarotto, I.P.P.C.: *La riduzione delle i.p.p.c.: la riduzione delle emissioni in atmosfera nel settore zootecnico*, Convegno A.R.P.A.- *La zootecnia tra realtà ed evoluzione normativa in campo ambientale*, Mantova, 4 giugno 2004.
7. Decreto Presidente della Repubblica n. 412 del 26/08/1993, Regolamento recante norme per la progettazione, l'installazione, l'esercizio e la manutenzione degli impianti termici degli edifici ai fini del contenimento dei consumi di energia, in attuazione dell'art.4, comma 4, della legge 9 gennaio 1991, n.10.