

LCA di caldaie a condensazione nell'ambito delle Direttiva EuP¹

Marzia Tremonti², Leo Breedveld², Gianfranco Padovan³, Simone Bosio⁴, Marco Corsini⁴

ABSTRACT

In the light of the EuP Directive (2005/32/EC), producers of Energy using Products (EuP) are obliged to initiate ecodesign activities. Fourteen product groups are currently under study, one being the preparatory EC study EcoBoiler, and will result in a EuP Working Plan. The LCA of a condensing boiler, commissioned by an Italian SME in the Lombardy region, has been conducted to support its environmental strategy and communication, to start implementing ecodesign activities and to anticipate implications to the EuP Directive. In line with the EcoBoiler study, no detailed LCA has been applied, instead a simplified LCA proves to be a strategic tool to support the company environmental objectives. Specifically, the condensing boiler (the option with the best environmental performance and the lowest life cycle costs for the final consumer) has been internally compared to other boilers, resulting in useful ecodesign recommendations [1].

Ecoprogettazione nell'ambito della direttiva EuP

I cambiamenti climatici, la sicurezza degli approvvigionamenti energetici, la qualità dell'aria e dell'acqua, la gestione delle risorse e dei rifiuti, così come la realizzazione di un mercato unico europeo e l'Agenda di Lisbona sono le priorità dell'Unione Europea.

I prodotti che consumano energia (EuPs, Energy-using Products) giocano un ruolo chiave nell'ambito di queste tematiche. Infatti, la loro produzione, la distribuzione, l'uso e lo smaltimento comportano, oltre al considerevole consumo di risorse ed energia, anche rilevanti impatti ambientali.

Il governo italiano ha recepito con il decreto legislativo n. 201 del 6 novembre 2007 la Direttiva 2005/32/CE EuP del 6 luglio 2005 [2], con la quale viene fissato un quadro per l'elaborazione di specifiche per la progettazione ecocompatibile dei prodotti che consumano energia.

La EuP richiede che le aziende interessate svolgano attività di *ecodesign*, ovvero sviluppino prodotti attraverso l'applicazione di criteri orientati alla riduzione degli impatti ambientali lungo tutte le fasi del ciclo di vita del prodotto. Ciò è possibile attraverso l'utilizzo della LCA (*Life Cycle Assessment*) o Valutazione del Ciclo di Vita. Alla base

della Direttiva c'è la consapevolezza che proprio nella fase progettuale del prodotto si determina l'inquinamento provocato durante il ciclo di vita. Il miglioramento del rendimento energetico dei prodotti contribuisce, inoltre, a garantire la sicurezza dell'approvvigionamento energetico, presupposto indispensabile per un'attività economica solida e sostenibile e per il raggiungimento dei target per le emissioni dei gas serra nella Comunità.

Per ognuno dei quattordici gruppi di prodotto identificati nella Direttiva EuP (**tabella 1**) è stato attivato uno studio di ricerca nel quale sono stati coinvolti – attraverso workshop, questionari e contraddittori – associazioni di categoria, fabbricanti e i vari stakeholders. Molti di questi studi sono in dirittura di arrivo e altri sono già

1 Direttiva 2005/32/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio, del 6 luglio 2005, relativa all'istituzione di un quadro per l'elaborazione di specifiche per la progettazione ecocompatibile dei prodotti che consumano energia e recante modifica della direttiva 92/42/CEE del Consiglio e delle direttive 96/57/CE e 2000/55/CE del Parlamento europeo e del Consiglio GU L 191 del 22.7.2005, pagg. 29-58.

2 2B Consulenza Ambientale

3 EnergoClub

4 Gruppo IMAR

Tabella 1 - 14 gruppi di prodotto identificati dalla Direttiva 2005/32/CE.

| Categorie di prodotti | |
|-----------------------|---|
| 1. | Boiler |
| 2. | Generatori di acqua calda |
| 3. | Personal computer e monitor |
| 4. | Fotocopiatrici, fax, stampanti, scanner, multifunzione |
| 5. | Televisori |
| 6. | Perdite in modalità stand-by e off |
| 7. | Caricabatterie e attrezzature per la fornitura di potenza esterna |
| 8. | Sistemi di illuminazione per uffici |
| 9. | Sistemi di illuminazione stradali |
| 10. | Apparecchiature per il condizionamento |
| 11. | Motori elettrici da 1 a 150 KW |
| 12. | Frigoriferi e refrigeratori commerciali |
| 13. | Frigoriferi e refrigeratori domestici |
| 14. | Lavastoviglie e lavatrici domestiche |

completati: le indicazioni che ne emergono sono interessanti perché prefigurano le specifiche per la progettazione che verranno richieste per i futuri prodotti.

Lo studio di ricerca sulle caldaie per la definizione dei criteri di ecodesign sulla base di analisi tecniche, economiche ed ambientali, ha raggiunto le seguenti conclusioni [3]: per quanto riguarda gli impatti ambientali, le caldaie sono alla lunga il gruppo più ampio nell'ambito della direttiva nel settore residenziale e terziario, comportando il 35-40% di tutte le emissioni. Nel 2005 le caldaie a gas e a gasolio hanno consumato 10.880 PJ di

energia primaria ed emesso il 16-17% di tutta la CO₂ da combustibili nell'Europa 25. Le emissioni di carbonio sono dello stesso ordine di grandezza del trasporto su strada totale; contribuiscono con il 4% all'acidificazione totale (NO_x, SO_x) e per la maggior parte delle categorie d'impatto l'80-99% dell'impatto si verifica nella fase d'uso.

Il settore delle caldaie ha un rilevante significato economico, basti pensare che vengono prodotte 6,6 milioni di unità all'anno, con un 5% di importazioni ed un 12% di esportazioni verso paesi extra europei; le caldaie vengono utilizzate nei 2/3 delle case e comportano il 18% delle spese totali di un'abitazione residenziale.

I miglioramenti potenziali sono considerevoli, specialmente applicando un approccio di sistema. A livello di target di LLCC (*Least Life Cycle Costs*: più bassi costi nell'intero ciclo di vita) può essere raggiunto, in media, un risparmio energetico vicino al 40% per unità rispetto al modello base. Con le BAT (*Best Available Technology*: migliori tecnologie disponibili) i miglioramenti sull'efficienza energetica possono essere oltre il 60%. Le riduzioni di emissioni di carbonio e di NO_x per unità sono dello stesso ordine di grandezza [3].

LCA di caldaie italiane

Le due caldaie considerate per l'applicazione della LCA sono prodotte dal Gruppo IMAR SpA, che è da oltre trent'anni protagonista nel mondo del riscaldamento e offre diversi tipi di caldaie che garantiscono standard di alta qualità. All'inizio degli anni '90 il Gruppo ha fatto la scelta strategica di produrre e vendere solo caldaie a premiscelazio-

Figura 1
Caldaia Preminox (a sinistra) e la caldaia Bimetal Inka (a destra).



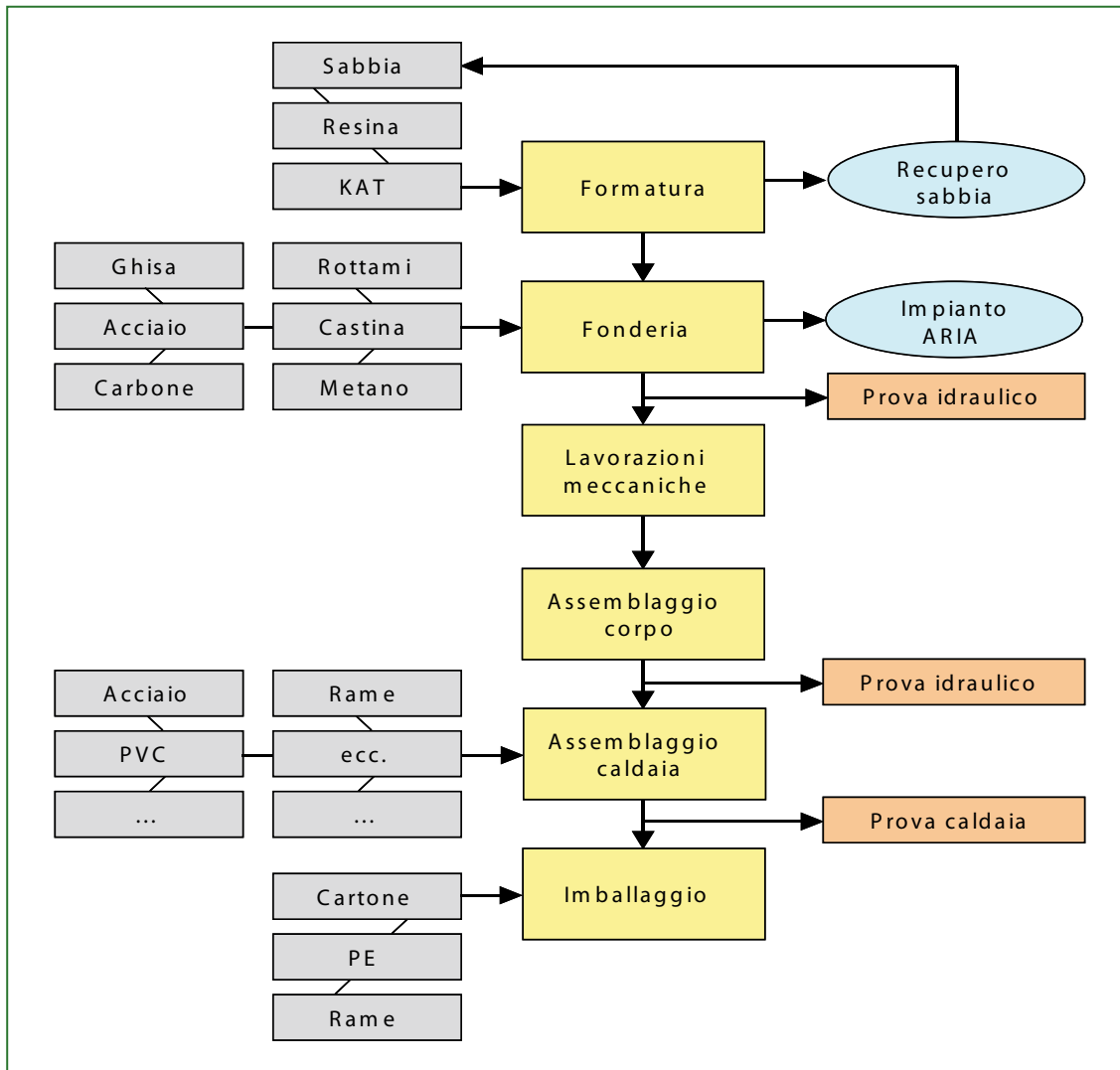


Figura 2
 Diagramma
 semplificato del
 processo produttivo
 delle caldaie
 IMAR.

ne e a condensazione e di minimizzare il proprio impatto ambientale. Tale percorso sostenibile, in combinazione con la recente direttiva EuP (2005/32/CE), e la sempre crescente richiesta di un elevato livello di qualità ambientale da parte del mercato, ha motivato il Gruppo a rafforzare l'attenzione per l'ambiente e a intraprendere così attività di LCA, soprattutto nell'ambito dell'eco-progettazione dei propri prodotti [4].

Con questi obiettivi il Gruppo IMAR ha avviato uno studio di LCA su due dei propri prodotti: la caldaia premiselaione Preminox e la caldaia a condensazione Bimetal Inka (**figura 1**); in una fase successiva le due caldaie sono state messe a confronto con una caldaia tradizionale ed infine lo studio è stato arricchito con un'analisi quantitativa dei costi nell'intero ciclo di vita delle caldaie e del tempo necessario per recuperare l'investimento. Lo studio è stato condotto utilizzando il software LCA SimaPro [5] e seguendo la metodologia specifica della LCA (codificata dalle norme ISO 14040) che prevede le fasi di:

- definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione: fase in cui si definiscono le finalità

dello studio, l'unità funzionale, i confini del sistema, il fabbisogno di dati;

- analisi dell'inventario: fase che riguarda la quantificazione dei flussi in entrata ed in uscita durante il ciclo di vita, ovvero la raccolta dei dati;
- valutazione dell'impatto: fase orientata a stimare e a comprendere l'ampiezza e l'importanza dei potenziali impatti ambientali. Si sono utilizzati per lo studio due metodi: Ecoindicator 99 e CML 2001 [6-7];
- interpretazione: fase finale con la quale, attraverso una combinazione degli obiettivi con la valutazione dell'impatto, si arriva a formulare conclusioni e raccomandazioni [8].

Lo studio LCA

Lo studio LCA è stato avviato per analizzare l'impatto ambientale delle caldaie Preminox e Bimetal Inka lungo l'intero ciclo di vita, considerando quindi ogni singola fase, dall'estrazione delle materie prime, il trasporto, la produzione, la distribuzione, la fase d'uso, fino alla fine vita del prodotto.

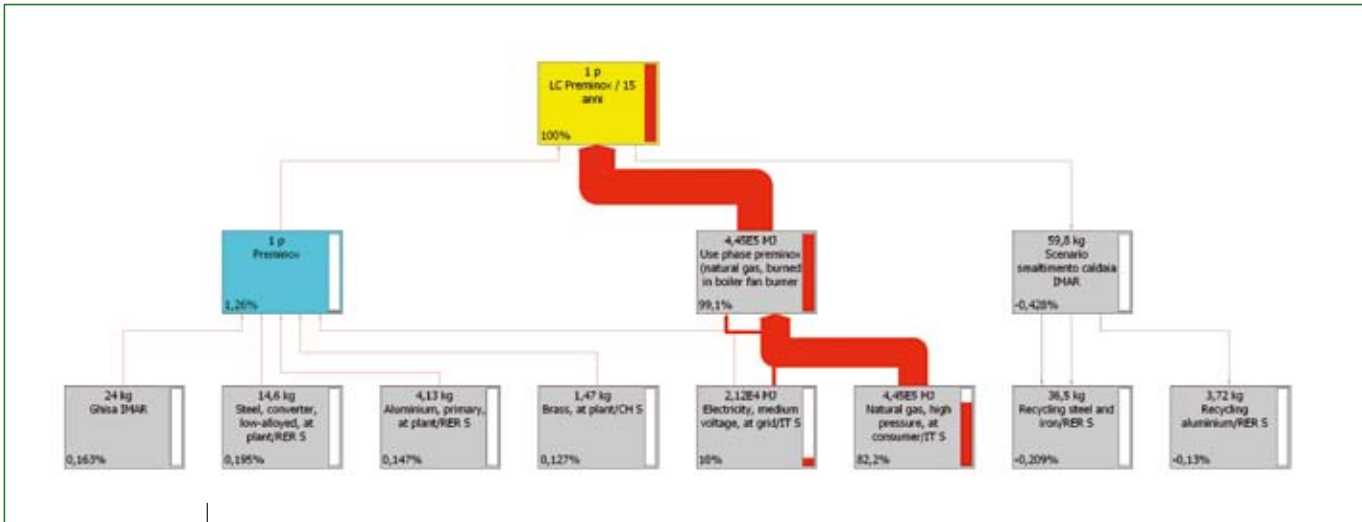


Figura 3
 Diagramma dei flussi della caldaia Preminox.

Ha preso il via con la realizzazione del diagramma dei processi produttivi delle caldaie che vengono realizzate all'interno dell'azienda partendo dalla fonderia, poi attraverso la formatura, le lavorazioni meccaniche, le prove idrauliche, e gli assemblaggi si arriva al prodotto finito, che viene infine imballato (Figura 2).

La caldaia Preminox presenta una notevole semplificazione costruttiva garantendo comunque elevati rendimenti, circa l'85% sul Potere Calorifico Superiore (GCV: *Gross Calorific Value*); il modello Bimetal Inka, grazie al sistema di combustione a premiscelazione unito alla tecnologia della condensazione, garantisce rendimenti fino al 95% sul GCV, con livelli di emissioni di gas nocivi molto ridotti rispetto alle caldaie tradizionali.

Come unità funzionale si è scelto di utilizzare il calore in MJ fornito dalla caldaia, per un appartamento in classe energetica tipica della fascia padana e prealpina (area climatica E), per un periodo di 15 anni, inteso come vita media della caldaia. I confini del sistema, nonostante si tratti di una LCA semplificata e che la fase più rilevante sia quella d'uso, comprendono tutte le fasi del ciclo di vita: consumo di materie prime, energia e acqua, trasporto allo stabilimento, produzione della caldaia, distribuzione, fase d'uso e fine vita della caldaia.

Per quanto riguarda le fonti dei dati per l'inventario, sono stati utilizzati dati primari per gli aspetti più importanti dello studio, in particolar modo per la maggior parte dei processi svolti all'interno dello stabilimento, mentre per gli aspetti meno significativi si è ricorsi a dati secondari, attraverso l'utilizzo del database Ecoinvent (il più aggiornato d'Europa con circa 4000 processi) [9].

Nella fase più laboriosa ed impegnativa della LCA, che è l'analisi dell'inventario, sono stati raccolti dati su 95 processi per la caldaia Preminox e 91 processi per la Bimetal Inka. Grazie a questi è stato possibile costruire il diagramma dei flussi per le

due caldaie (Figura 3 e 4), i quali non sono altro che dei modelli della realtà rappresentanti, nella maniera più fedele possibile, tutti gli scambi tra i singoli processi appartenenti alla catena produttiva analizzata.

In queste figure sono visibili solo i processi che contribuiscono in maniera superiore allo 0,1% sul totale dei processi. Si può notare che per entrambe le caldaie il ciclo di vita è composto di tre momenti principali: l'assemblaggio della caldaia, la fase d'uso e lo scenario di smaltimento.

Per la fase di valutazione dell'impatto vengono riportati alcuni risultati ottenuti con il metodo Ecoindicator 99, che esprime l'impatto ripartendolo nelle categorie d'impatto: sostanze cancerogene, danni al sistema respiratorio da sostanze organiche, danni al sistema respiratorio da sostanze inorganiche, effetto serra, radiazioni, assottigliamento dello strato di ozono, tossicità per gli ecosistemi, acidificazione/eutrofizzazione, uso del suolo, consumo delle risorse non rinnovabili (minerali e fossili).

Nelle figure 5 e 6 vengono mostrati i risultati della caratterizzazione (quantificazione degli impatti mediante l'utilizzo di modelli scientifici) rispettivamente della fase di produzione e dell'intero ciclo di vita delle due caldaie a confronto. Si può notare come nel confronto della sola fase di produzione (Figura 5) la caldaia Preminox comporti, nei vari temi utilizzati dal metodo di valutazione, un impatto inferiore rispetto alla caldaia Bimetal Inka.

Questo è dovuto principalmente ai materiali utilizzati nella produzione delle caldaie, infatti nella caldaia Bimetal Inka viene impiegata una quantità maggiore di alluminio, presente negli elementi inferiori dello scambiatore di calore, preposti alla condensazione. Contrariamente, nell'analisi dell'intero ciclo di vita (Figura 6), la caldaia Bimetal Inka risulta avere un impatto inferiore rispetto alla Preminox, in quasi tutte le categorie di

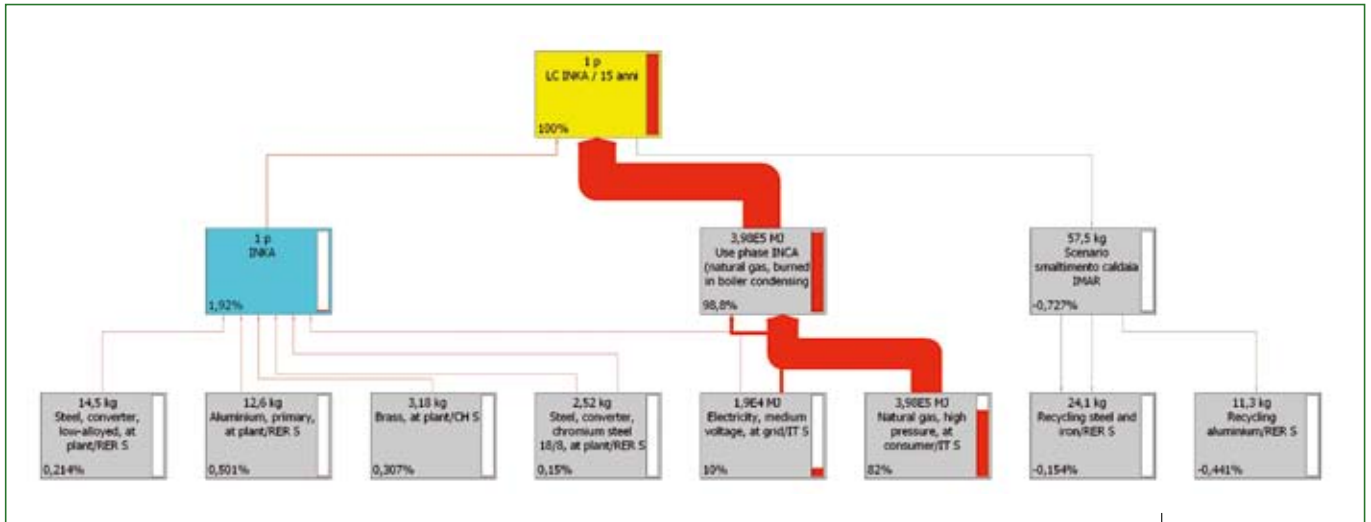


Figura 4
Diagramma dei flussi della caldaia Bimetal Inka.

impatto, da imputare alla fase d'uso caratterizzata da consumi inferiori di risorse.

Il metodo Eco-indicator 99 permette inoltre di aggregare le categorie d'impatto in tre categorie di danni ambientali: danni alla salute umana, danni agli ecosistemi e danni alle risorse non rinnovabili. La normalizzazione è una tecnica opzionale, nell'ambito della valutazione dell'impatto, per quantificare il contributo di ciascuna categoria d'impatto ai problemi ambientali a livello regionale o globale. Nella **figura 7**, le tre categorie di danno sono state normalizzate per permettere il confronto con la situazione europea. Elencando le categorie in ordine di contributo crescente si ha: danni agli ecosistemi, danni alla salute umana, danni alle risorse. Il danno che emerge maggiormente da questa figura è il danno alle risorse esauribili, dovuto principalmente alla fase d'uso di entrambe le caldaie.

Un'altra tecnica opzionale è la pesatura, la quale

permette di confrontare tra loro l'importanza dei singoli effetti ambientali per ottenere un solo indice. Nella **figura 8** la pesatura è stata sperimentata per confrontare l'impatto ambientale dovuto al ciclo di vita delle due caldaie. Risulta evidente che la caldaia Preminox ha un peso maggiore rispetto alla Bimetal Inka, dovuto principalmente al consumo di combustibili fossili.

Nell'ultima fase della LCA, l'interpretazione, che ha consentito di giungere alle conclusioni ed alle conseguenti raccomandazioni, è stata svolta un'analisi di contributo per evidenziare i processi più rilevanti del sistema di prodotto; questi risultano essere, in ordine decrescente (metodo Eco-indicator): gas naturale, elettricità e fase d'uso per ciò che concerne le emissioni in aria, acqua, suolo. Un modo alternativo per effettuare l'analisi di contributo, che fornisce le stesse informazioni è visualizzare il diagramma dei flussi (figure 3 e 4). Da queste, è possibile fare un confronto dell'im-

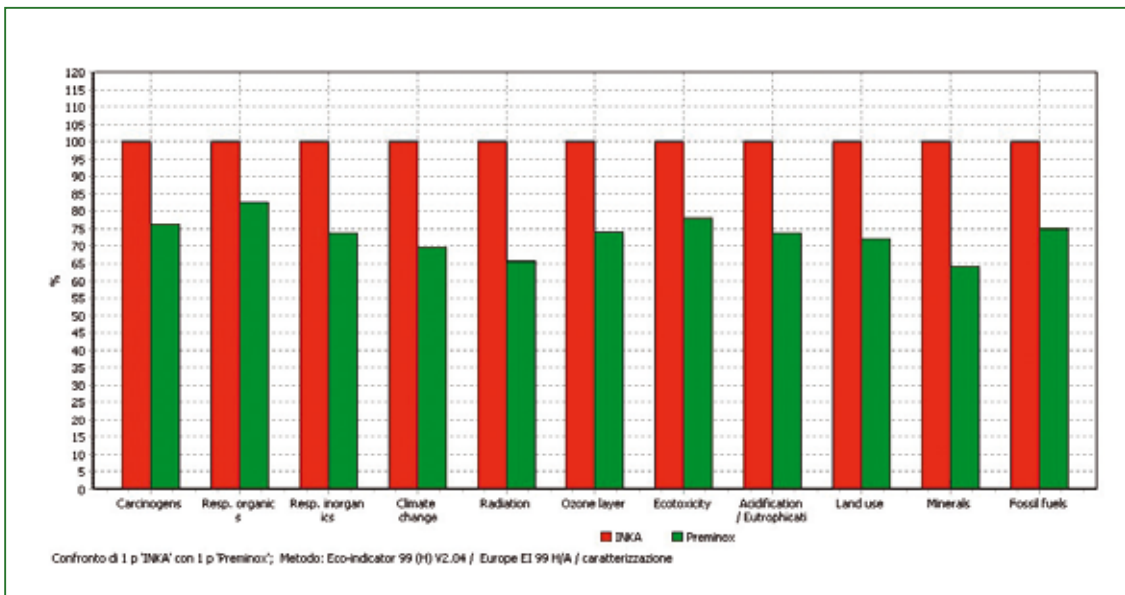


Figura 5
Risultati della caratterizzazione della produzione delle caldaie Preminox e Bimetal Inka a confronto

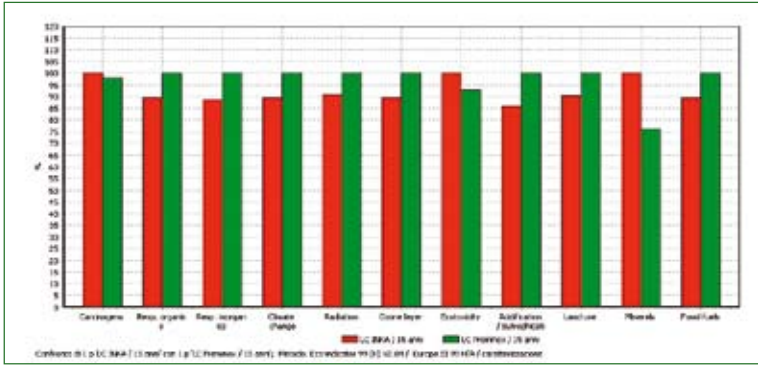


Figura 6 - Risultati della caratterizzazione del ciclo di vita delle caldaie Preminox e Bimetal Inka a confronto. (Eco-indicator 99).

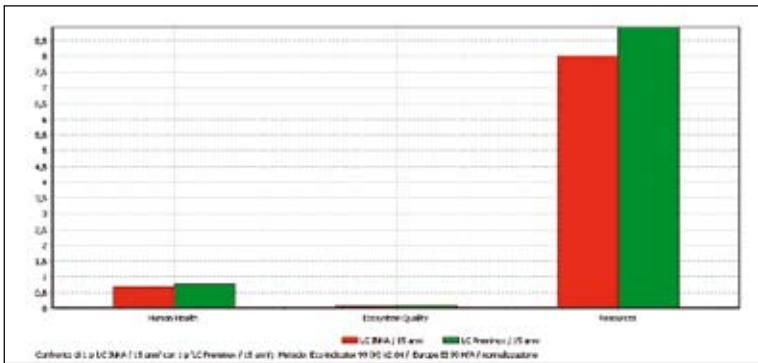


Figura 7 - Risultati della normalizzazione espressa in tre categorie di danni (salute umana, qualità degli ecosistemi e risorse) del ciclo di vita delle caldaie Preminox e Bimetal Inka a confronto. (Eco-indicator 99).

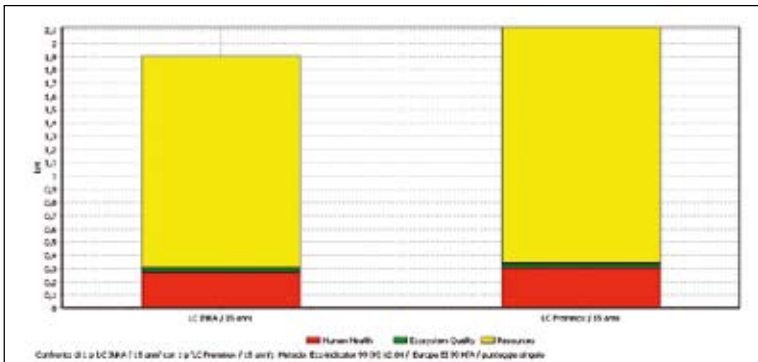


Figura 8 - Risultati della pesatura del ciclo di vita delle caldaie Preminox e Bimetal Inka a confronto. (Eco-indicator 99).

patto ambientale tra le diverse fasi della LCA, che per la caldaia Preminox sono:

- Fase di produzione: 1,26%
- Fase d'uso: 99,10%
- Fase di smaltimento: - 0,43%
- Imballaggio: 0,02%

Mentre per la caldaia Bimetal Inka sono:

- Fase di produzione: 1,92%
- Fase d'uso: 98,80%
- Fase di smaltimento: - 0,73%
- Imballaggio: 0,03%

In entrambi i casi risulta chiaro come la fase più

impattante sia quella d'uso, dovuta fondamentalmente ai due processi: gas naturale ed elettricità. I relativi contributi sono rispettivamente dell'82% e del 10% per entrambe le caldaie Preminox e Bimetal Inka.

La fase di smaltimento risulta avere un impatto ambientale negativo che si traduce quindi in un effetto positivo [10].

Confronto tra le caldaie IMAR e due caldaie tradizionali

Nel proseguimento dello studio si è voluto fare un confronto tra le due caldaie esaminate e due caldaie standard a diverso rendimento medio stagionale, rispettivamente del 60% (sul GCV) e del 75% (sul GCV). Nella figura 9 vengono riportati i risultati della caratterizzazione dell'impatto del ciclo di vita derivanti da questo confronto, mentre nella figura 10 vengono riportati i risultati ottenuti aggregando le categorie di impatto nelle tre categorie principali di danni ambientali: danni alla salute umana, danni agli ecosistemi e danni alle risorse non rinnovabili.

Da queste figure si deduce che la caldaia tradizionale a rendimento più basso comporta i danni maggiori, prevalentemente per il consumo di risorse, seguita dall'altra caldaia tradizionale, dalla caldaia Preminox ed infine dalla Bimetal Inka, la caldaia con le prestazioni ambientali migliori [10].

Analisi dei costi

Si è voluto rendere lo studio più completo attraverso una valutazione quantitativa dei costi che la caldaia comporta lungo il ciclo di vita, metodologia che prende il nome di LCC (Life Cycle Costing). In questo calcolo si è tenuto conto delle spese per l'acquisto e l'installazione della caldaia, del consumo di gas e di elettricità nei 15 anni di vita media del prodotto e delle spese di manutenzione, nel caso di utilizzo in un appartamento medio di 70 m².

Nella figura 11 viene riportata l'analisi dei costi delle caldaie Preminox e Bimetal Inka messe anche a confronto con due caldaie tradizionali a diverso rendimento, rispettivamente del 60% e del 75%. In particolare per le due caldaie esaminate dai costi totali sono stati sottratti gli importi previsti dalla legge per il recupero del patrimonio edilizio e dalla legge finanziaria 2008; quest'ultima prevede benefici fiscali sulle spese di investimento che si traducono, nel nostro caso, in detrazioni dalle imposte sui redditi pari al 36% sui costi di acquisto e installazione per la caldaia Preminox ed al 55% per la caldaia a condensazione Bimetal Inka.

Le tabelle 2 e 3 riportano il calcolo del tempo necessario per recuperare l'investimento nel caso di acquisto di una delle due caldaie esaminate rispetto ad una caldaia tradizionale con rendimento sem-

pre del 60% e del 75%. È evidente che, anche se la spesa iniziale risulta essere più alta per le caldaie IMAR rispetto a quelle tradizionali, andando a considerare la durata della caldaia, il risparmio in termini di gas e di elettricità fa rientrare abbastanza velocemente le spese di investimento con un ulteriore risparmio per gli anni successivi [10].

Utilità della LCA applicata alle caldaie

L'applicazione della metodologia LCA alle caldaie IMAR ha consentito, da un lato, di quantificare gli impatti potenziali delle caldaie lungo il loro ciclo di vita e dall'altro lato di sfruttare l'intrinseco valore aggiunto di questo strumento, ossia la sua applicazione come supporto alla strategia ambientale aziendale e al marketing ambientale.

A tal riguardo bisogna riconoscere che l'azienda, decidendo di svolgere uno studio di LCA, ha dimostrato un interesse per le possibili implicazioni ambientali dei propri prodotti. E, d'altro canto, le aziende come membri della società dovrebbero sì avere l'obiettivo del profitto ma sempre con un comportamento etico e con impegno sociale ed ambientale. A sostegno di ciò vi sono anche le evidenze che l'adozione di misure per ridurre l'impatto ambientale porta comunque ad elevate performance economiche.

Lo studio di LCA delle caldaie IMAR ha permesso di anticipare le future richieste dalla Direttiva EuP, ha fornito un strumento quantitativo per supportare le scelte strategiche dell'azienda e ha evidenziato una serie di raccomandazioni per l'eco-progettazione, tra cui il focus sul rendimento della caldaia, un aspetto già ben curato nelle caldaie del Gruppo.

Inoltre, i risultati dello studio LCA e LCC rappresentano uno strumento per il miglioramento del prodotto e offrono, anche, una serie di informazioni facilmente interpretabili e di supporto per descrivere i vantaggi offerti dal prodotto studiato. In particolar modo lo studio di LCC evidenzia il risparmio economico offerto dalle caldaie del Gruppo IMAR.

Conclusioni e raccomandazioni

L'obiettivo dello studio di LCA delle caldaie era valutare l'impatto ambientale delle caldaie in modo quantitativo, offrendo supporto all'ecoprogettazione e allo stesso tempo fornendo suggerimenti per la comunicazione ambientale dei prodotti e la strategia ambientale aziendale.

L'analisi di LCA e LCC delle caldaie Preminox e Bimetal Inka ha evidenziato che la seconda ha prestazioni ambientali superiori dovute al suo maggior rendimento. È proprio il rendimento il fattore cruciale nella valutazione dell'impatto ambientale delle caldaie e, nel caso della Bimetal Inka, compensa anche il maggior utilizzo di materie prime per la sua realizzazione rispetto all'altro

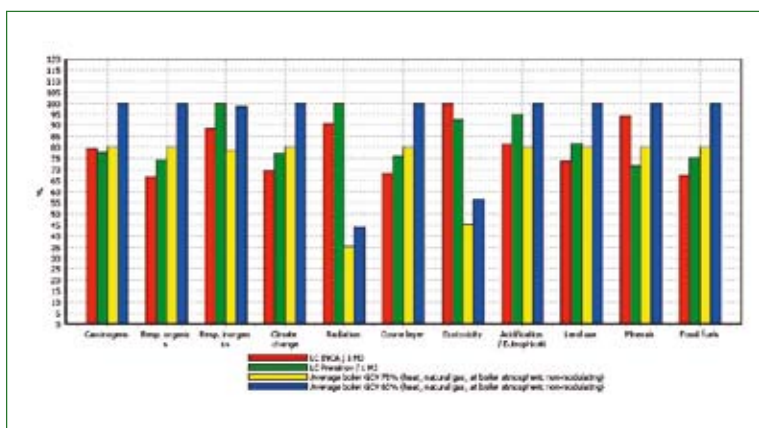


Figura 9 - Risultati della caratterizzazione del ciclo di vita delle caldaie Preminox, Bimetal Inka e di due caldaie tradizionali a diverso rendimento a confronto. (Eco-indicator 99)

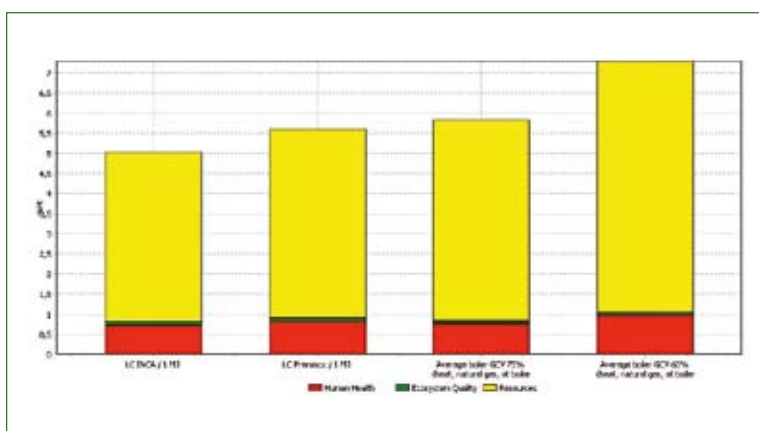


Figura 10 - confronto, espresso in tre categorie, tra il ciclo di vita delle caldaie Preminox, Bimetal Inka e di due caldaie tradizionali a diverso rendimento. (Eco-indicator 99)

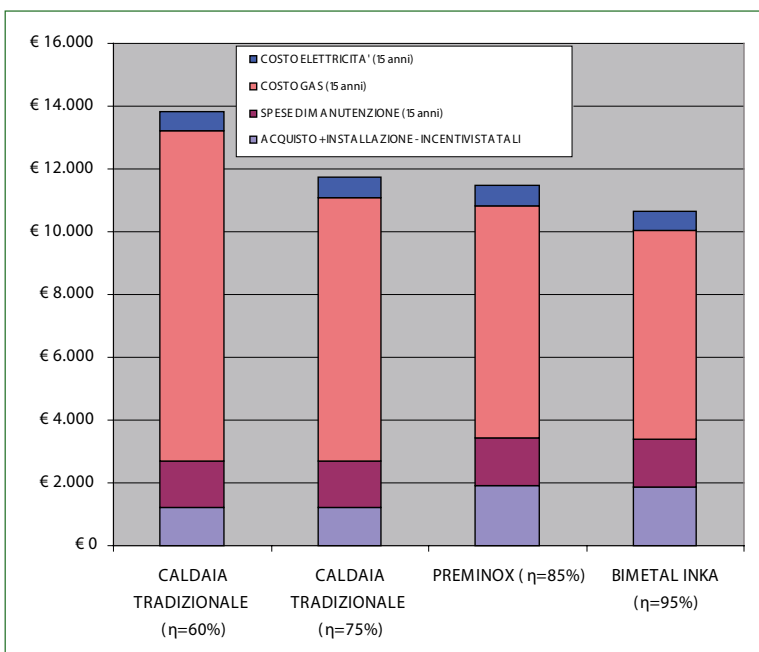


Figura 11 - calcolo del LCC delle caldaie Preminox, Bimetal Inka e di due caldaie tradizionali a diverso rendimento. (Eco-indicator 99)

Tabella 2 - Calcolo del payback time dell'investimento rispetto ad una caldaia tradizionale con rendimento del 60%.

| | Investimento | Differenza di investimento | Risparmio all'anno | Payback time |
|--------------------------------------|--------------|----------------------------|--------------------|--------------|
| Caldaia tradizionale ($\eta=60\%$) | 1.200 | 0 | 0 | x |
| Preminox ($\eta=85\%$) | 1.920 | 720 | 206 | 3,5 anni |
| Bimetal Inka ($\eta=95\%$) | 1.890 | 690 | 258 | 2,7 anni |

Tabella 3 - Calcolo del payback time dell'investimento rispetto ad una caldaia tradizionale con rendimento del 75%.

| | Investimento | Differenza di investimento | Risparmio all'anno | Payback time |
|--------------------------------------|--------------|----------------------------|--------------------|--------------|
| Caldaia tradizionale ($\eta=75\%$) | 1.200 | 0 | 0 | x |
| Preminox ($\eta=85\%$) | 1.920 | 720 | 65 | 11 anni |
| Bimetal Inka ($\eta=95\%$) | 1.890 | 690 | 118 | 5,8 anni |

modello studiato. Un'elevata prestazione della caldaia si traduce inoltre in un risparmio in termini economici per il cliente, il che rende il prodotto ulteriormente appetibile e competitivo.

La realizzazione da parte dell'azienda del nuovo sistema Inka Solar brevettato per sfruttare i vantaggi dell'energia solare termica, dimostra l'atten-

zione sempre maggiore da parte dell'azienda per l'ambiente e rappresenta la continuazione logica nel percorso intrapreso. La raccomandazione per il futuro è stata quindi di continuare su questa strada puntando ad un miglioramento continuo del rendimento che rappresenta il fattore determinante dell'impatto ambientale.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Breedveld L., 2007: **Abstract dalla partecipazione al meeting annuale SETAC**, Porto, 20-24 maggio 2007.
- [2] **Direttiva 2005/32/CE del 6 luglio 2005** relativa all'istituzione di un quadro per l'elaborazione di specifiche per la progettazione ecocompatibile dei prodotti che consumano energia (EuP).
- [3] Kemna R., van Elburg M., Li W., van Holsteijn R., 2007: **Preparatory Study on Eco-design of CH-Boilers**, Delft, 2007.
- [4] Best Up (a cura di), 2007: **LCA, la valutazione del ciclo di vita del prodotto**, rivista **Ottagono**, Bologna, novembre 2007, pp. 104-109.
- [5] PRé Consultants, Olanda. **Software SimaPro 7.1**.
- [6] Goedkoop, M & R. Spriensma, 2001: **The Ecoindicator 99, a damage oriented method for life cycle impact assessment**. PRé Consultants, Amersfoort.
- [7] Guinée J.B., Gorrée M. & Heijungs R., 2001: **Handbook on Life Cycle Assessment. Operational Guide to the ISO Standards**. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- [8] **ISO series on Life Cycle Assessment** (Valutazione del ciclo di vita) CEN, EN ISO 14040-14044.
- [9] **Ecoinvent, 2007**: Sito internet del "Swiss Centre for Life Cycle Assessment", il fornitore del database ecoinvent (www.ecoinvent.ch).
- [10] Breedveld L., Padovan G., Tremonti M., 2008: **Rapporto finale contenente la LCA delle caldaie Gruppo IMAR**. 2B Consulenza Ambientale, Mogliano Veneto, 2008.