

Energia: indici e misurazione

Introduzione

La richiesta energetica di un processo produttivo incide in maniera sostanziale sul suo impatto ambientale; le ragioni alla base di questa affermazione vanno ricercate nelle emissioni e nei rifiuti che vengono generati per la produzione dell'energia (ad esempio: ricorso a combustibili fossili): questi fattori, infatti, posseggono un elevato impatto ambientale. È, addirittura, possibile vedere un'innocua reazione di laboratorio come fonte di rifiuti nucleari¹. Per questi motivi, assume fondamentale importanza la diminuzione del consumo energetico a livello dei processi industriali; in vista della protezione dell'ambiente e di uno sviluppo sostenibile, questo stesso obiettivo rimane molto importante anche in laboratorio, sebbene solo per scopi educativi.

Per raggiungere questo traguardo è, innanzitutto, necessario misurare e valutare il consumo energetico con l'ausilio di opportuni indici: solo in questo modo, infatti, è possibile affrontare la sfida di ottimizzare una sintesi. A livello di laboratorio, queste valutazioni possono essere realizzate con estrema semplicità, adottando dispositivi relativamente economici. Di seguito, viene fornita una descrizione dettagliata degli strumenti da adottare e delle procedure da seguire per misurare il consumo energetico.

Misurare il consumo energetico

L'energia elettrica impiegata per una determinata reazione può essere misurata con uno sforzo relativamente contenuto. Sono, infatti, disponibili svariati contatori di energia efficienti e dotati di un'accuratezza adeguata agli scopi di laboratorio; alcuni degli strumenti disponibili commercialmente sono riportati a pagina seguente:

¹ Il semplice prelievo di energia elettrica dalla rete può essere visto come sorgente di rifiuto nucleare. Tale affermazione è valida (ad esempio) in Germania, dove la produzione energetica si basa su impianti a carbone, a olio combustibile, a gas, idroelettrici o nucleari.



Figura 1: dispositivo 1



Figura 2: dispositivo 2



Figura 3: dispositivo 3

Per prima cosa (prima di iniziare la misurazione), è necessario connettere al contatore tutti gli utilizzatori che verranno successivamente impiegati per realizzare ogni singolo passaggio del processo; nel caso venissero impiegati più strumenti, sarebbe sufficiente collegare il misuratore ad una ciabatta elettrica. Per assicurare delle rilevazioni confrontabili, si suggerisce di impostare tutti i dispositivi nelle condizioni operative prima di iniziare la registrazione dei dati; questo significa, ad esempio, che la temperatura desiderata per il bagno ad olio o per il criostato deve già essere stata raggiunta. Questo aspetto è molto importante, in quanto il consumo energetico per raffreddare e/o riscaldare dipende dalla temperatura iniziale. Una volta completata questa fase, la misurazione può avere inizio; al termine della reazione, è sufficiente leggere il consumo energetico direttamente sul contatore. Tale valore può variare in funzione dell'operatore, dello strumento usato e della scala dell'esperimento; l'apparato di prova non deve (ovviamente) essere modificato, qualora si vogliano realizzare delle misurazioni comparabili tra loro.

I contatori di energia misurano solitamente il consumo energetico in Wh (Watt-ora); utilizzando il fattore di conversione 3,6, il valore fornito dal dispositivo può essere tradotto nell'unità del Sistema Internazionale (SI) kJ (kilo-Joules). Sulla base del consumo, è possibile calcolare alcune caratteristiche energetiche del processo: esse possono quindi essere usate per identificare gli strumenti che richiedono il maggiore apporto di energia ed individuare, di conseguenza, le possibili vie di ottimizzazione.

Indici energetici

Gli indici energetici vengono definiti, in analogia agli analoghi di tipo economico, come “delle variabili ambientali importanti, che possono essere considerate alla stregua di parametri relativi o assoluti, utili a fornire informazioni su determinate tematiche” [1]. Degli indici ambientali appropriati possono essere – come accade in campo economico – uno strumento

molto potente per organizzare e processare dati con l'intento di assumere una certa decisione. Tra gli indici ambientali più importanti, bisogna ricordare quelli di natura energetica: nel contesto delle sintesi chimiche, questi indicatori possono essere utilizzati per descrivere (rispettivamente) le connessioni esistenti tra il consumo di energia e di sostanze, oppure il rapporto tra l'utilizzo di energia nella reazione e nel work up; per finire, essi potrebbero indicare gli eventuali punti deboli di un metodo e suggerirne dei miglioramenti (in funzione dei risultati ottenuti). Ovviamente la validità degli indici dipende in maniera diretta dalla qualità dei dati acquisiti; più accuratamente viene condotta la misurazione e maggiore significato viene assunto dagli indici stessi: di conseguenza, risulta possibile pianificare un'ottimizzazione più efficiente. A seconda delle esigenze, si può scegliere (ad esempio) di valutare una reazione nel senso più esteso possibile, oppure di focalizzare la propria attenzione esclusivamente sul work up. Durante la valutazione di certi indici, tuttavia, è importante ricordare che essi tengono conto del solo consumo di energia elettrica: l'energia primaria impiegata, tuttavia, è decisamente maggiore (ad esempio: il quantitativo di combustibile fossile bruciato per produrre l'energia elettrica utilizzata); in funzione della tipologia di centrale elettrica, è possibile calcolare dei costi primari che differiscono tra loro per un fattore pari a 3.

Efficienza energetica

L'efficienza energetica viene definita come il rapporto tra l'energia elettrica impiegata in una sintesi e la quantità di prodotto isolata.

$$E_E = \frac{m_{\text{prodotto}}}{E_{\text{consumata}}}$$

E_E	= efficienza energetica [kg/kJ]
m_{prodotto}	= massa del prodotto [kg]
$E_{\text{consumata}}$	= consumo energetico della sintesi (reazione + work up) [kJ]

Si considerino i costi ambientali legati alla produzione di energia elettrica: l'unica alternativa per diminuirli consiste nell'aumentare l'efficienza energetica. Ragionando in termini di efficienza energetica caratteristica, è opportuno sottolineare l'impossibilità di confrontare tra loro reazioni differenti, in quanto esse presentano consumi energetici teorici diversi: è quindi necessario tracciare paragoni solo tra processi analoghi. L'efficienza energetica è un parametro caratteristico piuttosto grezzo, che risulta simile ad una "scatola nera": tramite questo criterio, infatti, è possibile stabilire unicamente se, apportando delle modifiche al sistema reattivo, il consumo di energia elettrica venga alterato o meno; per ricavare informazioni più dettagliate, tuttavia, è necessario raffinare la procedura.

Consumo energetico durante il work up

Il work up di una miscela di reazione occupa una porzione molto estesa all'interno del lavoro necessario per portare a termine una sintesi chimica. Trascurando le quantità di reattivi che vengono impiegate in questa fase (normalmente superiori a quelle utilizzate per la reazione vera e propria), bisogna ricordare che spesso il work up richiede un enorme quantitativo di energia elettrica, soprattutto per quanto riguarda l'isolamento e la purificazione del prodotto. La determinazione della "spesa energetica specifica per il work up" permette di ottenere informazioni circa la quantità di energia richiesta per unità di prodotto. Essa può essere calcolata facendo il rapporto tra l'energia richiesta per la fase di work up e la massa del prodotto.

$$A_E = \frac{E_{\text{work up}}}{m_{\text{prodotto}}}$$

A_E	= spesa energetica specifica per il work up [kg/kJ]
$E_{\text{work up}}$	= energia richiesta per il work up [kJ]
m_{prodotto}	= massa del prodotto [kg]

Rapporto reazione/work up

Il consumo energetico a livello di reazione e work up costituisce la maggior parte dell'impatto ambientale che una reazione di laboratorio può avere: è molto interessante sottolineare come molto spesso la situazione sia sbilanciata verso la fase di work up, almeno per quanto riguarda il consumo di energia. Le cause di tutto ciò vanno ricercate nelle possibili reazioni contemporanee o successive che accompagnano quella desiderata, così come nelle sostanze indesiderate che si trovano al termine del processo (catalizzatore, solvente, ...): per ottenere il prodotto puro, quindi, esse devono essere separate e spesso questo può richiedere svariati passaggi. Comparando il consumo energetico della reazione e del work up, è possibile ottenere informazioni circa il lavoro necessario per ottenere effettivamente il prodotto, dopo averlo preparato.

$$E_{r/w} = \frac{E_{\text{work up}}}{E_{\text{reazione}}}$$

$E_{r/w}$	= rapporto tra i consumi energetici di reazione e work up
$E_{\text{work up}}$	= consumo energetico per il work up [kJ]
E_{reazione}	= consumo energetico per la reazione [kJ]

Più piccolo è il rapporto, migliore è la reazione; in caso contrario, maggiore è lo sforzo da compiere per ottimizzare la reazione e semplificare il work up.

Energia in equivalenti di metano

Gli “equivalenti di metano” sono un metodo per descrivere la richiesta energetica di una reazione e del relativo work up. Questo modello rispecchia molto bene la situazione, in quanto in diversi stati la maggior parte dell’energia viene prodotta a partire da combustibili fossili: per determinare gli equivalenti di metano, si presuppone che l’elettricità venga prodotta esclusivamente bruciando metano ($H_U = 47,5 \text{ MJ/kg}$)². Nel modello alla base di questo calcolo, si ipotizza che le centrali elettriche non funzionino a ciclo combinato e abbiano un rendimento in termini di energia elettrica prodotta pari al 43 %. A partire da questi presupposti, è possibile calcolare il quantitativo di metano (in moli) necessario per condurre una determinata reazione: in funzione delle esigenze specifiche, è possibile focalizzare l’attenzione esclusivamente sul processo sintetico, oppure andare a considerare anche tutti i passaggi accessori (1 MJ = 3,052 moli di metano). In quest’ottica, non è più l’energia ad essere il cuore del discorso, bensì si paragona la reazione



per la produzione dell’energia con le diverse sintesi di laboratorio. Questa estrapolazione enfatizza il significato che il consumo energetico assume rispetto al costo ambientale di una certa reazione chimica. Per realizzare un certo processo chimico in laboratorio, infatti, è necessario convertire i combustibili fossili in energia, la quale permette, a sua volta di realizzare un’altra reazione. Gli “equivalenti di metano (K_M)” specifici vengono calcolati dividendo la resa di una reazione (espressa in moli) per il quantitativo di metano calcolato.

$$K_M = \frac{n_{\text{metano}}}{n_{\text{prodotto}}}$$

K_M	= equivalenti di metano
n_{metano}	= quantitativo di metano per fornire l’energia necessaria [mol]
n_{prodotto}	= quantità di prodotto [mol]

Questo genere di metrica evita di ricorrere alle unità di misura proprie dell’energia kJ o Wh (che potrebbero essere un po’ astratte per i chimici); in aggiunta, questo approccio permette di avere un’idea del contributo di una reazione all’effetto serra di natura antropica.

Bibliografia:

[1] Loew, Thomas und Kottmann, Heinz, 1996. Kennzahlen im Umweltmanagement Ökologisches Wirtschaften 2/96, S. 10-12.

² H_U (valore calorico netto): porzione utilizzabile dell’energia generata attraverso una combustione.