

H. Torio, A. Angelotti, D. Schmidt

## **Exergy analysis of renewable energy based climatisation systems for buildings: a critical view**

### ***Analisi exergetica di impianti di climatizzazione per edifici basati su fonti rinnovabili: una rassegna critica***

#### ***Abstract***

Se la letteratura scientifica relativa all'analisi exergetica di impianti di generazione di potenza può essere considerata ampia, ad indicare un campo di applicazione consolidato, l'utilizzo della metodologia di analisi exergetica nell'ambito dei sistemi energetici per l'ambiente costruito è invece un campo di ricerca relativamente recente. I consumi energetici nel settore edilizio sono prevalentemente connessi agli usi termici a bassa temperatura (climatizzazione, produzione di acqua calda sanitaria) e vengono soddisfatti ricorrendo principalmente a fonti fossili. Esiste quindi un ampio margine per incrementare l'uso razionale dell'energia, attraverso l'adeguamento della qualità energetica della fornitura alla qualità energetica della domanda. D'altra parte le fonti energetiche rinnovabili possono fornire un contributo importante alla riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub> nell'ambiente costruito. Tuttavia alcune di esse, ad esempio le biomasse, non sono disponibili in quantità illimitata e la loro velocità di sfruttamento deve essere confrontata con la loro rapidità di rigenerazione. Pertanto l'analisi exergetica applicata ai sistemi di climatizzazione alimentati da fonti rinnovabili può fornire utili indicazioni su un uso efficiente ed ottimale di queste fonti.

La rassegna effettuata ha quindi lo scopo di analizzare lo stato dell'arte nel campo, evidenziando limiti e potenzialità dell'applicazione dell'analisi exergetica ai sistemi di climatizzazione alimentati da fonti rinnovabili. La rassegna riguarda oltre 90 contributi scientifici, riguardanti diverse tipologie impiantistiche, quali impianti di riscaldamento e raffrescamento solari, pannelli fotovoltaici ibridi, caldaie a biomasse, pompe di calore a terreno, impianti di raffrescamento evaporativo. L'analisi critica delle metodologie adottate e dei risultati conseguiti in letteratura consente di formulare le seguenti conclusioni:

#### **– Stato di riferimento**

La scelta dello stato di riferimento è particolarmente importante per sistemi di conversione energetica che operino in condizioni vicine a quelle dell'ambiente di riferimento stesso, quali i sistemi di climatizzazione. Nonostante l'attesa sensibilità dei risultati delle analisi alla scelta dello stato di riferimento, non si riscontra nella letteratura analizzata un approccio univoco e condiviso su tale scelta. Nella maggior parte degli articoli considerati infatti lo stato di riferimento viene identificato con un valore costante della temperatura dell'aria esterna (approccio stazionario), posto uguale di volta in volta ad un valore di progetto o ad un valor medio sul periodo considerato. Viceversa alcuni altri autori propongono di adottare una temperatura esterna variabile nel tempo (approccio dinamico). Alcuni studi di comparazione tra risultati di analisi exergetiche effettuate in condizioni stazionarie e dinamiche mostrano che le discrepanze fra i due approcci si riscontrano maggiormente nei climi caldi rispetto a quelli freddi, e per i sistemi di raffrescamento piuttosto che per quelli di riscaldamento. Diversi approcci sono evidenziabili inoltre relativamente alla definizione del contenuto di umidità dello stato di riferimento: alcuni autori assumono

l'effettivo contenuto di umidità dell'aria esterna, altri assumono lo stato di saturazione dell'aria esterna.

– Indici di prestazione exergetica

L'indice di prestazione exergetica di un sistema più frequentemente adottato è l'efficienza exergetica. Tuttavia almeno due diverse definizioni di efficienza exergetica sono impiegate, ovvero l'efficienza exergetica "semplice" o "universale", basata sulla quantificazione dei flussi exergetici in ingresso ed in uscita dal sistema, e l'efficienza exergetica "razionale" o "funzionale", basata sulla quantificazione dei flussi exergetici utilmente prodotti e consumati dal sistema. La scelta tra le due definizioni dovrebbe essere sempre chiaramente esplicitata negli studi scientifici, in quanto influisce sui risultati ottenuti e può compromettere la possibilità di effettuare un confronto fra di essi.

– Confine dell'analisi e ottimizzazione del sistema

L'analisi exergetica è frequentemente utilizzata per ottimizzare la prestazione di un sistema energetico, attraverso un processo di localizzazione e quantificazione delle perdite exergetiche nei vari componenti del sistema. Tuttavia si nota come la minimizzazione delle irreversibilità riscontrate in un componente del sistema non comporti necessariamente la riduzione delle irreversibilità dell'intero sistema, che possono anche aumentare. Affinchè quindi l'analisi exergetica sia uno strumento efficace di ottimizzazione, è opportuno che venga applicata in maniera olistica, con riferimento all'interdipendenza dei processi energetici all'interno del sistema. Il confine dell'analisi exergetica effettuata dovrebbe inoltre essere sempre chiaramente dichiarato dagli autori, non solo relativamente ai livelli di componente oppure di sistema, ma anche per quanto riguarda i livelli della conversione di energia primaria oppure della fornitura di energia utile all'edificio.

– Proposte per l'adozione di indici di prestazione exergetica a livello normativo

L'inserimento a livello legislativo, accanto ai requisiti di risparmio energetico nell'ambiente costruito, di requisiti connessi al risparmio exergetico è attualmente ancora limitato a pochi esempi o a proposte. E' evidente che l'esistenza di un approccio metodologico condiviso per l'analisi delle prestazioni exergetiche dei sistemi di climatizzazione, e fra questi dei sistemi alimentati a fonti rinnovabili, rappresenta una condizione necessaria per la formulazione e il successo di iniziative di questo genere.

– Rapporto tra analisi energetica ed exergetica

Le due analisi dovrebbero sempre essere effettuate in parallelo, anche allo scopo di evidenziare l'eventuale valore aggiunto della seconda rispetto alla prima. Negli articoli analizzati in questa rassegna, le prestazioni energetiche dei sistemi considerati non sono sempre chiaramente riportate, cosicché la comprensione dei risultati risulta spesso parziale. Allo stesso tempo si rileva come, nei casi nei quali i risultati delle due analisi porterebbero a scelte diverse o opposte, spesso manchi da parte degli autori una sintesi finale. L'interesse per il metodo di analisi exergetica risulterebbe invece amplificato se la sua utilità risultasse, nelle applicazioni effettuate, maggiormente evidente.

– Sistemi rinnovabili e sistemi a bassa exergia

Le fonti rinnovabili non sono necessariamente a basso contenuto exergetico. L'energia solare può essere classificata come sorgente ad alto contenuto exergetico se si adotta un confine dell'analisi di tipo "tecnico", oppure viceversa come una sorgente a bassa exergia se si adotta il confine "fisico", proposto recentemente da alcuni autori e posto a valle della conversione energetica che avviene in un sistema solare diretto. Le biomasse hanno un contenuto exergetico comparabile a quello dei combustibili fossili, e quindi devono essere considerate sorgenti ad alta exergia. I serbatoi naturali di caldo e di freddo utilizzabili come sorgenti per le pompe di calore possono invece essere considerati a bassa exergia. Si pone pertanto l'interrogativo se sia più importante risparmiare energia primaria fossile, ovvero ricorrere il più possibile a fonti rinnovabili, oppure risparmiare exergia primaria, cioè utilizzare in maniera più efficiente possibile sia le fonti fossili che quelle rinnovabili. Si ritiene pertanto che sia necessario sviluppare un dibattito scientifico ulteriore sugli obiettivi finali di un'analisi combinata energetico-exergetica dei sistemi di climatizzazione.