

## LA COGENERAZIONE OGGI

Elaborato di **Beatrice Boffa, Elena Gasparin e Giorgia Topino**, classe II A, Liceo "G. Govone" – Alba.

L'incremento della dipendenza dall'utilizzo del petrolio greggio e di altri combustibili fossili, contrapposto all'aumento dei loro prezzi e alle ingenti preoccupazioni sul clima, ha spinto anche i più conservatori in tema di energia ad indirizzare le proprie attenzioni verso nuovi orizzonti. Dai primi anni Settanta si parla della limitatezza degli idrocarburi combustibili, i cui giacimenti sono destinati ad esaurirsi intorno al 2050, anno stimato, se si mantiene l'attuale richiesta, ovvero 86 milioni di barili al giorno. Tuttora l'energia mondiale è alimentata per  $\frac{3}{4}$  da combustibili fossili, il cui processo di formazione a partire dalla sostanza organica richiede diverse migliaia di anni.

Appare dunque necessario modulare l'uso di combustibili fossili e controllare le emissioni di gas serra per far fronte ai cambiamenti climatici e raggiungere l'indipendenza dai grandi paesi produttori di energie tradizionali. La crescente domanda di energia e la necessità di incrementare l'utilizzo di fonti energetiche alternative spingono a sviluppare metodi diversi: ne sono esempi processi meccanici alla base della formazione di energia geotermica, marina, eolica, ma anche il biogas, la zootecnia, i fanghi di depurazione, ovvero i biocombustibili.

Per *biogas* si intende la miscela di diversi tipi di gas, di cui metano (dal 50% al 80%), anidride carbonica, idrogeno molecolare, frutto della digestione anaerobica delle biomasse da parte di particolari batteri. Segue la trasformazione del biogas in energia:

- combustione diretta in caldaia con produzione di sola energia termica;
- combustione in motori azionanti gruppi elettrogeni con conseguente produzione di energia elettrica;
- combustione in cogeneratori, che permette di ricavare energia elettrica e termica.

Le *biomasse* – materiale organico di origine vegetale o animale - , sopra menzionate, comprendono vari materiali di origine biologica:

- 1) Scarti derivanti da attività agricole riutilizzati in apposite centrali termiche per produrre energia elettrica; \*I
- 2) Reflui da allevamento;
- 3) Reflui d' industria;
- 4) Reflui civili;
- 5) Legna da ardere;
- 6) Residui agricoli e forestali; \*II
- 7) Rifiuti urbani;
- 8) Specie vegetali coltivate per lo scopo; \*III
- 9) Residui organici di rifiuti vegetali o animali in decomposizione.

\*I Il Ministero dell'ambiente riconosce la possibilità di poter impiegare i residui di potatura derivanti da attività di manutenzione del verde a fini energetici al di fuori della normativa in materia di rifiuti. Walter Righini, presidente di Fiper (Federazione italiana produttori di energia da fonti rinnovabili) che il 19/05/2015 ha inviato richiesta di parere sul tema in questione alla Direzione Generale dei Rifiuti, così

commenta: "Da quattro anni Fiper combatte una battaglia sulle potature del verde urbano che fino a ieri sono state considerate un rifiuto e come tali dovevano essere smaltite, con un costo notevole per le amministrazioni comunali. Il chiarimento del Ministro dell'Ambiente significa che questi residui da costo potranno diventare una risorsa; infatti, il Comune invece di spendere dai 5 ai 7 euro al quintale di costo di smaltimento potrebbe recuperare 2-3 euro al quintale, nel rispetto dei requisiti definiti per i sottoprodotti, conferendolo alle centrali di teleriscaldamento e producendo calore. Il risparmio sarebbe notevole."

\* II La produzione combinata di energia elettrica e termica da biomasse prevede diverse tecnologie, in funzione del materiale di partenza.

Lo sfruttamento delle matrici umide (biomasse agricole, frazione organica dei rifiuti urbani) viene normalmente compiuto negli impianti di digestione anaerobica; da questi impianti si ottiene biogas che, dopo purificazione, viene bruciato in motori alternativi collegati a generatori elettrici. Il calore viene recuperato soprattutto dei gas di scarico, ma anche dai circuiti di raffreddamento dei cilindri e dell'olio lubrificante. {Esistono anche esempi di impiego del biogas per alimentare turbine a gas, di solito di piccola taglia, con recupero termico dei gas di combustione}.

Le matrici secche (soprattutto biomasse legnose) possono alimentare impianti di cogenerazione di diverse configurazioni: la combustione della biomassa può avvenire in caldaie di tipo tradizionale, che producono vapore utilizzando per teleriscaldamento e produzione di elettricità mediante turbine o motori alternativi a vapore. Il calore residuo può essere prelevato dallo scarico della turbina, oppure sfruttando mediante impianto ORC. Alcune soluzioni prevedono la pirolisi della biomassa, con produzione di combustibile liquido, o la pirogassificazione, con produzione di gas di sintesi. Esistono anche esempi di unità di cogenerazione alimentare a olio vegetale, che può essere bruciato in caldaie per la produzione di vapore, o in motori a combustione interna.

Una tipologia particolare di impianti di cogenerazione da biomasse è costituita dagli impianti per la produzione di pellets.

#### \* III *Il progetto Plant Power*

Il concetto delle "fuel cells microbiche" è oggetto di studi e ricerche di vari anni, ma solo recentemente è stato possibile dimostrare la sua fattibilità, sia pure ancora a livello di laboratorio. Questo risultato è stato ottenuto grazie al progetto europeo Plant Power, che ha realizzato un prototipo dimostrativo dal quale è stato possibile ricavare fino a 1,1 Watt di energia elettrica per ogni metro quadrato di cella.

Le prospettive sono molto promettenti, perché le fuel cells microbiche possono essere installate in aree non adatte né ad uso abitativo né per le coltivazioni agricole, senza effetti visivamente invasivi, producendo energia pulita e a basso costo 24 ore al giorno; si stima che in futuro questo tipo di fuel cells potrebbe coprire il 20% del fabbisogno di energia elettrica primaria dei Paesi europei.

#### *Come funziona?*

L'origine dell'energia prodotta dalle fuel cells microbiche è il sole, come d'altra parte per tutte le energie rinnovabili oggi conosciute. Le piante utilizzano l'energia della luce per fissare la CO<sub>2</sub> atmosferica, trasformandola in composti utili al loro metabolismo. Mediante esperimenti condotti con l'isotopo radioattivo C<sup>11</sup> è stato possibile dimostrare che il trasporto dalle foglie alla rizosfera avviene

in tempi relativamente brevi. Le sostanze prodotte dalla fotosintesi cominciano ad essere trasferite al terreno mediante un processo di essudazione delle radici.

Nell'ambiente naturale le reazioni di biodegradazione delle sostanze trasferite alla rizosfera producono CO<sub>2</sub> protoni ed elettroni; questi ultimi vengono utilizzati dai microorganismi dell'ambiente intorno alle radici per ottenere l'energia necessaria al loro metabolismo. Per realizzare una fuel cell microbica vegetale (indicata normalmente con la sigla inglese Plant-MFC) occorre canalizzare gli elettroni attraverso un circuito, che comprende:

- un anodo, dove vengono prodotti gli elettroni, producendo contemporaneamente protoni;
- il collegamento elettrico tra anodo e catodo;
- un catodo, dove gli elettroni vengono consumati effettuando la riduzione dell'ossigeno atmosferico a ione O<sup>2-</sup>;
- una membrana di separazione tra anodo e catodo, che consente il passaggio degli ioni H<sup>+</sup> prodotti all'anodo e la loro combinazione con gli ioni O<sup>2-</sup> del catodo per produrre acqua.

L'energia fornita da una Plant-MFC dipende da vari fattori: efficienza fotosintetica della pianta, trasferimento di materiali alle radici ed efficienza energetica del circuito della MFC.

#### *Applicazioni ai sedimenti naturali*

L'applicazione in ambienti naturali, cioè alle piante che affondano le loro radici nei sedimenti delle zone umide, ha richiesto la messa a punto di materiali idonei a raccogliere gli elettroni prodotti dalle radici, isolando queste dal sedimento. Il materiale più adatto si è rivelato essere il feltro di grafite.

#### *Valutazione economica*

I risultati ottenuti finora non sono ancora tali da considerare le Plant-MFC economicamente conveniente; esiste tuttavia un buon margine di miglioramento. In aggiunta è stato verificato che la produzione di energia elettrica mediante le Plant-MFC non interferisce con la resa delle colture.

I biocombustibili, sostanze in grado di generare energia, provenienti dal trattamento di biomasse, liberano nell'ambiente solo la quantità di carbonio che hanno assimilato ed emettono una minore quantità di anidride carbonica e di altre sostanze inquinanti, come l'ossido di azoto, in quanto prodotti del processo fotosintetico di batteri e vegetali. Essi sono definibili una fonte energetica rinnovabile: il loro utilizzo non produce emissioni superiori a quelle utilizzate per la loro generazione e si rigenerano alla stessa velocità con cui vengono consumate.

Nonostante i considerevoli effetti positivi, è necessario considerare il rapporto tra l'aspettativa di produzione e la produzione energetica stessa. È infatti constatabile la ridotta efficienza di una data mole di biocombustibile rispetto all'equivalente in combustibile fossile. È inoltre importante tenere a mente che, benché lo smaltimento di rifiuti o la depurazione delle acque reflue comportino investimenti economici maggiori di quelli del raffinamento del petrolio, è minimizzato, se non abbattuto, l'eventuale danno permanente agli ambienti circostanti le zone di lavorazione.

In vista del crescere delle economie emergenti le stime prospettano un aumento positivo, di oltre il 55% entro il 2030, dell'utilizzo di fonti energetiche rinnovabili.

In virtù della conoscenza di questi concetti tecnici, possiamo trattare le modalità di impiego, le varie tipologie di impianti ed i diversi processi implicati nella cogenerazione.

### *LA COGENERAZIONE*

La cogenerazione è un processo di produzione combinata di energia elettrica e termica partendo da una stessa fonte di energia primaria; il vantaggio principale dei sistemi di cogenerazione è la possibilità di ottenere rendimenti globali fino al 90%, mentre un generatore elettrico convenzionale difficilmente supera il 50%, e di utilizzare effettivamente il calore contemporaneamente prodotto.

Una suddivisione dei sistemi di cogenerazione può essere effettuata in base alla *modalità* di impiego delle due forme di energia prodotte:

- Modalità di impiego **topping**, quando lo scopo principale è la produzione di energia elettrica.

Questa modalità è di gran lunga la più diffusa ed importante.

L' impiego trova riscontro in grandi industrie ma anche nell' uso residenziale e si differenzia per il "motore primo" utilizzato: turbine a vapore, turbine a gas, motore a combustione interna, fuel cell, pannelli fotovoltaici.

- Turbine a vapore: gli impianti termoelettrici con turbine a vapore, basati sul ciclo di Rankine, sono stati la prima applicazione della cogenerazione, sia nel settore delle forniture pubbliche di energia elettrica sia nel settore dell' autoproduzione industriale. Il ciclo di Rankine tradizionale prevede la combustione del carbone (o di altri combustibili fossili) in grandi caldaie, le quali producono vapore surriscaldato ad alta temperatura (da 300 a oltre 500 °C) ed alta pressione (da 20 a 250 bar); la scelta di queste condizioni operative è dettata dal fatto che il rendimento del ciclo aumenta con l' aumentare della temperatura. Il vapore surriscaldato alimenta una turbina, collegata al generatore di elettricità. In uscita dalla turbina, il vapore ha ancora una temperatura corrispondente ad un notevole contenuto energetico, che può essere sfruttato secondo due diverse modalità: la prima prevede impianti a compressione, in cui tutto il vapore in uscita dalla turbina viene inviato ad una sezione di recupero termico, con riscaldamento di un fluido intermedio che distribuisce il calore alle utilizzazioni a valle. Questi impianti hanno un buon rendimento globale, consentono un' elevata produzione di calore e sono costruttivamente semplici e poco costosi, sono però poco flessibili, in quanto la produzione termica è strettamente legata a quella elettrica.

La seconda modalità di sfruttamento delle turbine a vapore comprende impianti a condensazione e spillamento, in cui il prelievo di vapore è parziale ed è effettuato dal corpo a bassa pressione della turbina. Questi impianti sono più flessibili, ma hanno rendimenti minori e costi maggiori; sono utilizzati per utenze con assorbimento termico discontinuo, come gli impianti di termo riscaldamento ed alcuni tipi di impianti industriali.

- Turbine a gas: le turbine a gas sono particolarmente atte alla cogenerazione, poiché i gas di combustione in uscita hanno una temperatura di 450 °C e oltre. Le turbine a gas di

cogenerazione possono essere a ciclo semplice o a ciclo combinato. Nella versione a ciclo semplice, i gas di combustione in uscita dalla turbina incontrano uno scambiatore di calore, prima di essere scaricate in atmosfera. Nella versione a ciclo combinato, i gas vengono convogliati ad un generatore di vapore a recupero termico, che produce vapore a medio-alta pressione, ancora utilizzabile per la produzione di energia elettrica in una seconda turbina; infine, il calore residuo dei gas in uscita dalla seconda turbina viene recuperato in un gruppo scambiatore. È possibile aumentare la produzione dell'energia elettrica e del calore nello stadio a recupero mediante sistemi di post-combustione, che immettono carburante nei gas dello scarico della prima turbina. In condizioni ideali il rendimento di una turbina a gas combinata ad una turbina a vapore e all'utilizzo termico del vapore a bassa pressione può raggiungere il 90%. Per ottenere rendimenti a questo livello è però necessario un sistema di raffreddamento dell'aria comburente, la cui temperatura di riferimento è 15°C. Le turbine a gas sono prevalentemente utilizzate per potenze superiori a 5MW in particolare per ricoprire la domanda elettrica dei carichi di punta. All'inizio degli anni 2000 sono apparse sul mercato le cosiddette "microturbine", con potenza tra i 30 e i 100 kWe; esse sono particolarmente adatte per le piccole e medie industrie, dove si trovano in concorrenza con i motori a combustione interna. Rispetto a questi ultimi, le microturbine presentano minori spese di manutenzione ed emissioni NOx (ossidi di azoto e tutte le loro miscele) più basse.

- Motori a combustione interna: i motori a ciclo Otto o Diesel combinati con generatori elettrici producono calore recuperabile dal sistema di raffreddamento dei cilindri e dell'olio lubrificante, ma soprattutto dei gas di scarico, dai quali si può ottenere vapore. I gruppi di cogenerazione a motori alternativi sono particolarmente diffusi per lo sfruttamento del biogas prodotto dalle discariche e dagli impianti di digestione anaerobica. Gli impianti a motore alternativo hanno un elevato rendimento di produzione elettrica. Gli inconvenienti sono la temperatura relativamente bassa del calore recuperato, i costi di manutenzione e le emissioni dei gas di scarico, che richiedono l'installazione di filtri per il particolato, marmitte catalitiche e sistemi di abbattimento degli NOx mediante SCR per i motori di maggiori dimensioni.
- Fuel cells: alcuni tipi di fuel cells, come quelli a carbonati fusi e ad ossidi fusi, lavorano a temperature elevate (oltre i 500°C), per cui si prestano bene all'installazione di sistemi di cogenerazione. Anche le celle a membrana di scambio protonico (PEM), che sono quelle più utilizzate per le auto elettriche, hanno buone possibilità di impiego in gruppi di micro generazione per usi residenziali, tanto da essere già state utilizzate in unità di piccola serie. I costi sono però ancora elevati ed esistono incertezze sulla reale durata del servizio.
- Pannelli fotovoltaici: le celle fotovoltaiche convertono in elettricità solo parte dell'energia solare che ricevono; una parte consistente viene trasformata in calore, che inoltre diminuisce il rendimento della cella. Sono stati realizzati moduli ibridi fotovoltaici/termici, nei quali i moduli fotovoltaici sono raffreddati facendo circolare un liquido al di sotto di essi; oltre al recupero dell'energia termica all'aumento della produzione elettrica, si ottiene anche una maggiore durata delle celle FV. La temperatura del liquido in uscita è relativamente bassa, ma è adeguata per le applicazioni domestiche.

- *Modalità di impiego **bottoming**:*

Questo tipo di impianti sono meno diffusi e limitati alle industrie che per esigenze di processo devono produrre energia termica ad alta temperatura; in particolare, questa tecnologia viene considerata applicabile a tutte le attività industriali che emettono fumi con temperature superiori a 300 C°, anche se il ciclo ORC consente di sfruttare temperature inferiori.

Il recupero di calore dai fumi può essere compiuto con acqua, che viene trasformata in vapore per autoalimentare una turbina e produrre energia elettrica, secondo il classico ciclo Rankine. Tuttavia, specialmente negli impianti di piccola potenza, il rendimento del ciclo acqua-vapore risulta insoddisfacente, a causa dell'elevato calore di vaporizzazione dell'acqua. Per questo motivo gli impianti bottoming impiegano nella maggior parte dei casi un fluido organico: si usano di solito ad alto peso molecolare e con basso calore latente di vaporizzazione. Questo tipo di impianti viene spesso indicato con la sigla ORC.

Il contatto con i fumi da cui viene estratto il calore è realizzato con scambiatori ad olio diatermico; l'olio poi trasferisce il calore all'evaporatore del gruppo ORC, senza contatto diretto.

Esistono numerosi esempi di applicazione di questo tipo di impianti in Italia, soprattutto nel settore degli impianti a biomasse per teleriscaldamento, per le industrie del legno e per l'essiccamento dei pellets.

#### *SITUAZIONE ITALIANA E PROSPETTIVE*

Escludendo i piccoli impianti, in Italia sono oggi presenti circa 1.400 impianti di cogenerazione, per una potenza elettrica installata di circa 25 GW ed una produzione di circa 110 TWhe e 55 TWht. Gli impianti più diffusi sono le turbine a gas a ciclo combinato, che rappresentano quasi l'80% del totale della potenza installata; seguono le turbine a vapore a condensazione/ spillamento, i motori alternativi, le turbine a vapore a contropressione e le turbine a gas con caldaie a recupero.

Le prospettive di sviluppo nel settore della fornitura pubblica di energia sono per ora ridotte dalla contrazione della domanda di energia elettrica e dalla crescente diffusione delle fonti rinnovabili; esistono ancora buone prospettive nel settore industriale, sia grazie al sostegno all'esercizio, sia perché molti impianti di produzione di energia delle industrie italiane sono ormai prossimi al termine della loro vita utile, e gli investimenti sono stati spesso rinviati negli scorsi anni a causa della crisi economica. Va sottolineato che l'Italia è al primo posto in Europa per l'utilizzo della cogenerazione, e quindi le nostre industrie hanno dimostrato di saper cogliere le opportunità offerte da queste tecnologie.

#### *LA TRIGENERAZIONE*

la trigenerazione costituisce un particolare sviluppo dei sistemi di cogenerazione, nei quali l'energia termica viene convertita, in tutto o in parte, in energia frigorifera. Per quanto appaia a prima vista paradossale, i sistemi per produrre freddo utilizzando energia termica sono noti da tempo e sono stati utilizzati in frigoriferi soprattutto in frigoriferi da campeggio.

Il loro funzionamento si basa su un ciclo ad assorbimento, nel quale un liquido a base di acqua viene fatto evaporare sotto vuoto; l'evaporazione produce il freddo, mentre il vapore acqueo viene assorbito da un essiccatore solido o da un sale igroscopico. La sostanza essiccante viene rigenerata

mediante calore, liberando il vapore acqueo; questo viene in uno scambiatore ad aria o ad evaporazione d'acqua, e rimesso in ciclo. Nei frigoriferi industriali si usa una soluzione di acqua e ammoniaca, il ciclo di evaporazione, mentre l'acqua compie la fase di assorbimento.

Come per i frigoriferi convenzionali, i frigoriferi termici consumano energia elettrica; ma, non essendo presente il compressore, il consumo di elettricità è molto più basso.

I sistemi di rigenerazione sono usati in utenze che richiedono sia calore che freddo, come ospedali, grandi alberghi, industrie alimentari, aeroporti, centri commerciali.