

## CELLE A COMBUSTIBILE

*Il quadro attuale della produzione di energia elettrica da combustibili fossili (centrali termoelettriche), presenta tra le caratteristiche comuni a tutti i sistemi di generazione l'esigenza di realizzare in una parte dell'impianto un processo di combustione nel quale l'energia chimica del combustibile viene trasformata in calore.*

*Questo processo è tanto più efficiente per il ciclo termodinamico che si vuole realizzare quanto più elevate sono le temperature alle quali vengono prodotti ed utilizzati i gas della combustione.*

*Tale esigenza termodinamica è già da anni interpretata e sviluppata al meglio dalla tecnologia delle turbine a gas e dei cicli combinati. Dal dopoguerra ad oggi infatti, lo sviluppo tecnologico in special modo nel campo dei turbogas si è rivolto alla ricerca di materiali sempre più resistenti alle alte temperature, in modo da poter utilizzare gas sempre più caldi in ingresso alle turbine, nonché alla ricerca di tecniche di raffreddamento delle palettature sempre più efficaci. I due effetti combinati hanno fatto sì che nell'ultimo decennio le temperature massime di ingresso dei gas in turbina crescessero di circa 15°C/anno.*

*E' ovvio però che il veloce ritmo di incremento annuo delle temperature massime non potrà rimanere tale né durare indefinitamente, sia in relazione ai limiti tecnologici, sia a quelli di tipo economico e di affidabilità degli impianti.*

*In questo quadro già da alcuni anni sta prendendo piede e si sta sviluppando già con applicazioni pilota, la tecnologia delle celle a combustibile.*

*Nelle celle a combustibile si realizza, contrariamente a quanto avviene con la combustione, la trasformazione diretta di energia chimica in elettrica in modo analogo a quanto avviene nelle comuni batterie, mediante reazioni a temperatura e pressione costante all'interno delle celle stesse.*

*Contrariamente dunque a quanto accade nelle macchine convenzionali per la produzione di energia elettrica da combustibili le celle a combustibile sono basate su reazioni elettrochimiche invece che su processi termofluidodinamici.*

*Questo tipo di reazioni non coinvolge il passaggio attraverso il calore come forma intermedia di energia come accade nella conversione energia chimica-*

calore-lavoro caratteristica dello sfruttamento della reazione di combustione e pertanto non si deve sottostare alle limitazioni sui rendimenti legati al secondo principio della termodinamica.

In una cella a combustibile, il combustibile gassoso è alimentato con continuità al comparto anodico ossia all'elettrodo negativo, dove avviene l'ossidazione del combustibile e la produzione di elettroni, mentre il comburente (ad es. aria) può essere rifornito al catodo ossia all'elettrodo positivo, dove avviene la riduzione dell'ossigeno con gli elettroni provenienti da un circuito esterno (utenza) collegato con l'anodo.

La reazione chimica avviene mediante scambio di ioni attraverso l'elettrolita e produce corrente elettrica chiudendo il circuito tra gli elettrodi.

Le celle a combustibile contrariamente alle batterie, le quali producono energia elettrica in quantità determinata dall'ammontare dei reagenti chimici immagazzinati nel suo interno, sono dei sistemi statici di conversione dell'energia che possono almeno teoricamente produrre energia finché gli elettrodi sono alimentati da combustibili e comburente. Solo un progressivo deterioramento o un malfunzionamento dei componenti possono porre un limite alla loro vita utile.

### **Caratteristiche principali delle celle a combustibile**

1. Il combustibile principale utilizzato dalle celle è l'idrogeno, generalmente non disponibile tal quale e per la cui produzione si rende necessario un impianto di trattamento del combustibile di partenza per:
  - convertire il combustibile di partenza (carbone, petrolio, metano, altro) in uno con un contenuto più elevato di idrogeno mediante un trattamento di reforming che per alcune tipi di celle è esterno alla cella mentre per alcune (carbonati fusi od ossidi solidi) avviene direttamente nell'interno della cella stessa;
  - ridurre le impurità e/o gli elementi dannosi (ad esempio lo zolfo per alcune celle) in grado di avvelenare la cella e di pregiudicarne il funzionamento e la durata;

2. *Densità di energia non troppo elevata con volumi richiesti pari 0.01-0.02 m<sup>3</sup>/kW e pesi da 10 a 30 kg/kW;*
3. *Produzione di energia elettrica in corrente continua la quale poi necessita di convertitore DC/AC ossia da continuo in alternato mediante inverter con un rendimento di conversione intorno al 96%;*
4. *buoni rendimenti a carichi parziali: in pratica il rendimento rimane costante e pari a quello nominale fra il 30% ed il 100% del carico con un massimo di poco rilievo intorno al 75% della potenza nominale;*
5. *capacità di seguire l'andamento dei carichi con rapidità;*
6. *generazione di calore utilizzabile per cogenerazione (celle ad acido fosforico) e/o per cicli combinati (celle a carbonati fusi e ad ossidi solidi);*
7. *produzione praticamente nulla di inquinanti come NO<sub>x</sub> (ossidi di Azoto) ed SO<sub>x</sub> (Ossidi di Zolfo);*
8. *funzionamento statico senza rumore e vibrazioni;*
9. *modularità degli impianti: la formazione di impianti di taglia crescente avviene unendo elementi di piccola potenza (una singola cella può avere una potenza da 100 W a qualche kW);*
10. *capacità di convertire energia chimica in elettrica con rendimenti molto elevati (40%-60%) indipendentemente dalla taglia dell'impianto e dal carico.*

### **Tipi di celle a combustibile**

*Il metodo più diffuso per la classificazione delle celle a combustibile si basa sul tipo di elettrolita utilizzato.*

*Le proprietà dell'elettrolita condizionano infatti le principali caratteristiche delle celle quali:*

- *il tipo di purezza del combustibile da utilizzare;*
- *la temperatura di funzionamento della cella;*
- *il rendimento di conversione dell'energia da chimica ad elettrica;*
- *la temperatura a cui rendono disponibile l'energia termica sviluppatasi nel processo di conversione.*

In base a tale metodologia di classificazione sono state allo stato attuale realizzate in fase operativa/commerciale o di ricerca le seguenti tipologie di celle:

#### *Celle ad elettrolita polimerico*

Le celle ad elettrolita polimerico note come SPFC (Solid Polymer Fuel Cell) operano a temperature molto basse, comprese fra 70°C ed 100°C ed utilizzano come elettrolita una membrana solforica perfluorata. Gli elettrodi sono invece costituiti da strutture porose a base di carbone, su cui è disperso un catalizzatore costituito da platino e sue leghe.

Le principali caratteristiche delle SPFC sono:

- rapidità di partenza a freddo (qualche minuto);
- elevata densità di potenza ( $>1 \text{ kW/dm}^3$ );
- assenza di problemi di corrosione, tipici di altre celle a liquido;
- semplicità costruttiva.

Queste celle sono particolarmente interessanti per applicazioni di cogenerazione nel settore residenziale, commerciale e piccolo industriale e per la realizzazione di sistemi per la trazione elettrica.

#### *Celle ad acido fosforico*

Le celle ad acido fosforico note come PAFC (Phosphoric Acid Fuel Cell) operano ad una temperatura di circa 200°C con un elettrolita costituito da una soluzione concentrata di acido fosforico.

Gli impianti basati su tali celle possono raggiungere rendimenti di produzione di energia elettrica ben superiori al 40% anche a carichi parziali, essi inoltre rendono disponibile buona parte del calore prodotto nel processo per la produzione di vapore saturo ad pressione massima di 3.5 bar e/o acqua calda ad una temperatura di circa 90°C, utilizzabili per applicazioni cogenerative.

I tempi necessari per l'avviamento delle celle PAFC sono di circa 10 minuti se in partenza da stand-by e fra 12 e 24 ore per partenza a freddo.

Queste celle a combustibile è l'unico che ha raggiunto lo stato commerciale, anche se con limitato numero di installazioni (ca. 200 impianti nel mondo).

### *Celle a carbonati fusi*

*Le celle a carbonati fusi, note come MCFC (Molten Carbonate Fuel Cells), sono caratterizzate da elevate temperature di funzionamento (600-700°C) ed utilizzano un elettrolita costituito da una soluzione di carbonati alcalini contenuti in un matrice di ceramica fusa.*

*Gli elettrodi utilizzati in tali celle sono a base di nichel ed in particolare l'anodo è costituito da lega nichel cromo mentre il catodo da ossido di nichel litiato.*

*L'alta temperatura di funzionamento di queste celle presenta alcuni vantaggi quali:*

- maggiore flessibilità di utilizzo dei combustibili, potendo alimentare la cella direttamente con gas naturale o distillati leggeri (es. GPL) senza un pre-trattamento esterno di reforming del combustibile;*
- cinetiche delle reazioni chimiche molto più veloci, che consentono di eliminare la presenza di metalli preziosi (es. platino) come catalizzatori, con conseguente abbattimento dei costi;*
- disponibilità di energia termica ad elevata temperatura idonea per la cogenerazione industriale;*
- possibilità di raggiungere rendimenti di produzione di energia elettrica con cicli combinati a vapore o a gas che possono superare il 65%.*

*Queste celle sono quindi in particolar modo idonee per applicazioni industriali di cogenerazione e per impianti di produzione energia elettrica. Attualmente esistono solo applicazioni sperimentali, ma se ne prevede un ingresso sul mercato nei prossimi anni ad un costo di impianto previsto di 1000 €/kW.*

### *Celle ad ossidi solidi*

*Le celle a combustibile ad ossidi solidi, note come SOFC (Solid Oxide Fuel Cells), il cui elettrolita è costituito da un ossido metallico non poroso (ossido di zirconio stabilizzato con ltrio), sono caratterizzate da elevatissime temperature di funzionamento ed in particolare comprese fra i 700°C ed i 1000°C.*

*Gli elettrodi sono invece tipicamente costituiti da ossido di zirconio al cobalto o nichel per l'anodo e manganite di lantanio drogata con stronzio per il catodo.*

*Le temperature particolarmente elevate di funzionamento, se da un lato rendono più sofisticate e costose le tecnologie di produzione, dall'altro rendono tali celle estremamente interessanti per i rendimenti elevatissimi di produzione di energia elettrica in cicli combinati (sino al 70%) e per applicazioni cogenerative industriali.*

*Esse inoltre presentano i vantaggi già elencati per le celle MCFC quali la flessibilità di uso dei combustibili senza reforming esterno ed inoltre hanno una elevata tolleranza alle impurità nel combustibile, flessibilità di forme geometriche, grazie all'elettrolita solido, e proiezioni di costo vantaggiose rispetto alle altre celle.*

*Esse attualmente sono state realizzate solo per impianti sperimentali in quanto, prima di una loro possibile uscita sul mercato, sono ancora da risolvere i problemi tecnologici legati alla produzione in serie di sistemi affidabili alle elevatissime temperature di funzionamento previste.*