

UTILIZZO INTEGRATO DELLA TECNOLOGIA DELL'IDROGENO LIQUIDO E DEI SUPERCONDUTTORI PER L'USO EFFICIENTE DELL'ENERGIA ELETTRICA PRODOTTA DA FONTI RINNOVABILI

L. Trevisani, M. Breschi, M. Fabbri, A. Morandi, F. Negrini, P.L. Ribani

Dipartimento di Ingegneria Elettrica
Università di Bologna
Viale Risorgimento 2, 40136 Bologna

Il crescente utilizzo di fonti energetiche rinnovabili (in particolare eoliche e/o fotovoltaiche) consente in prospettiva una notevole riduzione delle emissioni di CO₂. Tuttavia, a causa del loro impatto ambientale, è possibile installare grandi centrali eoliche e/o fotovoltaiche soltanto in zone remote. In questo caso la connessione alla rete elettrica di potenza mediante collegamento in corrente continua (d.c.) è una soluzione possibile e l'impiego della tecnologia superconduttiva riduce significativamente l'energia dissipata nella connessione. La variabilità intrinseca della potenza prodotta da fonti rinnovabili può generare fenomeni di instabilità nella rete e ridurre la qualità della energia elettrica prodotta: è necessario quindi prevedere l'accumulo di una quantità di energia sufficiente a garantire un la qualità della energia prodotta mediante fonti rinnovabili. L'idrogeno, ottenibile per elettrolisi dall'acqua, è un mezzo di accumulo di energia molto efficiente e "pulito". Tuttavia il suo uso è limitato dalla difficoltà di trasporto e stoccaggio, sia per la bassa densità energetica, sia perché esplosivo, infiammabile ed estremamente volatile. La sola liquefazione dell'idrogeno (a 20 K) non è la soluzione più conveniente dal punto di vista energetico (circa il 30% dell'energia dell'idrogeno è spesa per il suo raffreddamento), ma se è utilizzata in simbiosi con la tecnologia del superconduttore MgB₂, avente una temperatura di transizione superiore a quella dell'idrogeno liquido (LH₂) utilizzato per raffreddarlo, potrebbe rivelarsi vantaggiosa. Inoltre, l'utilizzo dell'idrogeno liquido per raffreddare la linea di trasmissione consentirebbe di trasportare tre tipi diversi di energia: chimica, elettrica e termica. Infatti, prima dell'utilizzo dell'idrogeno come combustibile (a temperatura ambiente) è pensabile il suo impiego come refrigerante, recuperando in tal modo parte della potenza spesa per liquefarlo. Infine, la tecnologia superconduttiva può contribuire anche a superare il problema della qualità della energia elettrica prodotta accumulando energia in uno SMES (Superconducting Magnetic Energy Storage system), riducendo le instabilità ed i "flickers" e contribuendo ad aumentare la quantità integrabile di potenza prodotta da fonti rinnovabili.

Il sistema oggetto di studio è rappresentato schematicamente in Fig. 1 ed è costituito principalmente da:

1. una o più fonti di energia rinnovabile in installazioni remote;
2. un sistema di accumulo primario dell'energia realizzato mediante produzione e stoccaggio di idrogeno (in forma gassosa e liquida) e fuel cell, per compensare le fluttuazioni delle sorgenti di energia rinnovabile;
3. una linea di trasmissione in dc, realizzata con materiale superconduttore MgB₂;
4. un sistema di accumulo secondario dell'energia realizzato mediante avvolgimenti superconduttori (SMES) per compensare le oscillazioni rapide di corrente (con tempi caratteristici dei secondi);
5. uno (o più) inverter per l'interfacciamento della linea in corrente continua con la rete in corrente alternata.

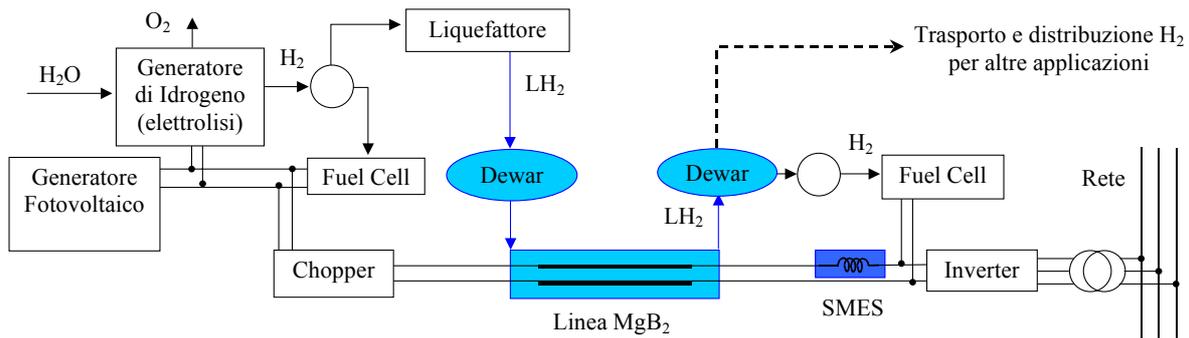


Fig. 1 - Schema della linea di trasporto di idrogeno ed energia elettrica.

Lo scenario di riferimento è una linea subacquea che colleghi il sito di produzione offshore al sito di utilizzo locale e alla rete elettrica di potenza, in cui l'intero percorso dei cavi sia inaccessibile e non sia possibile la manutenzione. La portata di idrogeno effettivamente necessaria per la refrigerazione della linea, viene ottenuta ricircolando lo LH₂ tra le stazioni di pompaggio alle estremità, in modo da svincolarla dal tasso di produzione. Gli ingressi termici complessivi su ciascun cavo (ambientali, perdite nel superconduttore dovute al ripple di corrente, e perdite meccaniche per pompaggio) sono circa 2 W_{th}/m. Per una linea di 10 km la potenza per la refrigerazione dell'impianto è circa 5 MW_e, indipendentemente dalla potenza elettrica trasmessa.

Le proprietà del LH₂, fortemente variabili con la temperatura, e le specifiche di funzionamento del cavo superconduttivo in MgB₂ (120 MA/m²@25K-1T max) limitano gli intervalli di pressione e temperatura ammissibili nel progetto del circuito di refrigerazione (14.5 - 25 K e 5 - 17.5 bar).

La sorgente di energia rinnovabile è costituita da un campo di generatori eolici e/o fotovoltaici; ciascun generatore fornisce potenza elettrica in dc ed è collegato in parallelo al bus dc. Nel caso di generatori eolici, ogni unità di produzione è costituita da un generatore sincrono con magneti permanenti e da un raddrizzatore trifase ad onda intera controllato per massimizzare il rendimento dell'aerogeneratore. Nel caso di generatori fotovoltaici, ciascun generatore è collegato in parallelo al bus dc per mezzo di un diodo di blocco e di un chopper che deve garantire il funzionamento del generatore nelle condizioni di massimo rendimento. Il sistema di accumulo primario dell'energia è costituito da un generatore elettrolitico di idrogeno gassoso ed una cella a combustibile. In parallelo al bus dc è inoltre collegato un diodo di ricircolo ed un resistore che conducono solo in condizioni di guasto, permettendo la dissipazione in sicurezza della energia accumulata nello (o negli) SMES collegato in serie a (o agli) inverter.

L'allacciamento alla rete trifase avviene mediante più gruppi costituiti ciascuno da un inverter, realizzato mediante GTO, ed un trasformatore. Si è imposto che ciascun inverter lavori ad una tensione nominale di 4 kV ed una corrente nominale di 3 kA. La configurazione con gli inverter collegati in parallelo permette di lavorare con la tensione nominale più bassa, riducendo quindi i problemi di isolamento e di protezione degli SMES e quindi con la corrente di linea più alta, massimizzando l'utilizzo delle proprietà superconduttive del cavo.