GRID-CONNECTED OPERATION OF A HYBRID MICROGRID

Design, operation, and control of a Wind-Solar-Hydrogen Energy System

Laurea Magistrale in Ingegneria Elettrica

Candidato: **Jonny Esteban Villa Londoño**

Relatori**: Prof. Ettore Bompard, Prof. Enrico Pons, Dott. Abouzar Estebsari, Dott. Andrea Mazza.**

1. Obiettivo

Questa tesi si propone i seguenti obiettivi:

- Sviluppo dei modelli dinamici dei componenti che compongono una microrete ibrida (*HμG*) ovvero: unità di generazione distribuita (eolica e solare), elettrolizzatore, serbatoio ad idrogeno e celle a combustibile.
- Validazione dei modelli dinamici.
- Strategia di controllo della *HμG.*
- Sviluppo di uno strumento per la simulazione di *HμG* composte da impianti eolico (wind), solare (*PV*) e sistema ad idrogeno.

2. Introduzione

Negli ultimi anni sono stati introdotti numerosi progetti di ricerca e sviluppo (*R&D*) aventi come tema principale la produzione di energia da fonti rinnovabili. Questo ha causato un aumento della penetrazione di potenza generata dalle fonti di energia rinnovabile (*RES*) nella rete. Nei sistemi elettrici, una microrete (*μG*) accoppiata con *RES* può portare a significativi vantaggi economici ed ambientali. Tuttavia, è necessario compensare tutti i problemi causati dalla natura intermittente delle *RES*. Un modo per superare questa sfida è l'introduzione di nuove tecnologie come mezzi per l'immagazzinamento dell'energia, ad esempio l'uso di serbatoi per lo stoccaggio dell'idrogeno. L'idrogeno possiede un'energia specifica che è cinque volte quella del petrolio.

Una microrete ibrida (*HμG*) è un nuovo concetto che può essere introdotto nell'ambito dei sistemi elettrici. Le *HμG* sono composte da unità di generazione distribuita alimentate da fonti rinnovabili e tradizionali (es: wind, *PV*, ma anche generatori Diesel o microturbine), da sistemi di accumulo elettrochimico (batterie) e da sistemi ad idrogeno (elettrolizzatori, celle a combustibile e serbatoi per lo stoccaggio dell'idrogeno). Nella Figura 1 viene schematizzata la *HμG.*

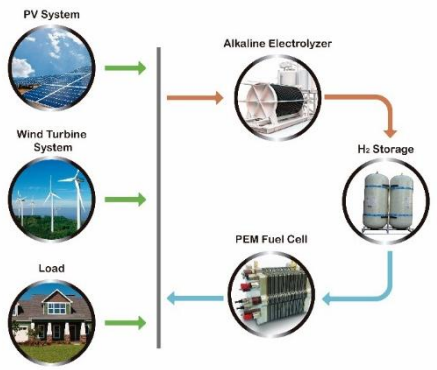

Figura 1. Schematizzazione di una HμG.

3. Specifiche tecniche dei singoli sistemi della *HμG* e modelli dinamici.

Si propone una *HμG* da integrare alla rete, composta nello specifico da: (i) turbina eolica, (*ii*) impianto fotovoltaico, (*iii*) cella a combustibile di tipo *PEM*, (*iv*) elettrolizzatore di tipo alcalino ed (*v*) serbatoio ad idrogeno. Nella Tabella 1 vengono riassunte le caratteristiche dei singoli sistemi. Tutti i sistemi vengono rappresentati con modelli matematici in grado di simulare la loro dinamica.

Tabella 1. Specifiche tecniche singoli sistemi della HμG.

SISTEMA	SPECIFICHE
Turbina eolica	Potenza nominale 15 kW. Velocità nominale 15 m/s.
Impianto fotovoltaico	Potenza nominale di 23 kW_p. Connessione di 4 moduli in serie e 27 in parallelo.
***PEM* fuel cell**	Consumo nominale di $H_{2,40\%[O2]}$, 178 lpm. Potenza prodotta a 178 $lpm_{40[\%]O2}$, 12,5 kW.
Elettrolizzatore alcalino	Potenza nominale di 8 kW. Produzione di 19.91 lpm.
Serbatoio ad idrogeno	Capacità di immagazzinamento di 12 m^3. Operazione fra 10 % – 95 % della sua capacità.

4. Validazione dei modelli

Per dimostrare la corretta risposta dei modelli dinamici dell'elettrolizzatore e della cella a combustibile, essi vengono validati confrontandoli con dati esperimentali ottenuti da misure fatte in laboratorio, come mostrato in Figura 2.

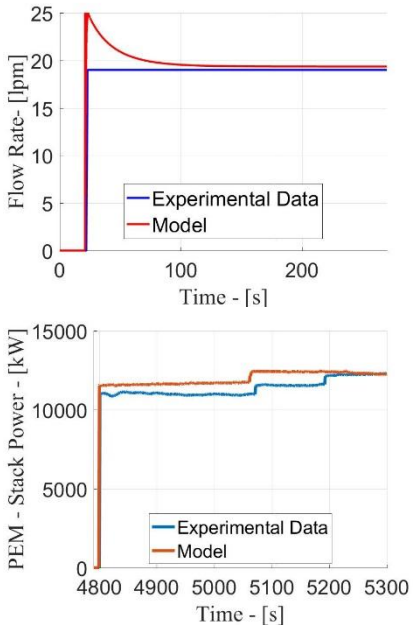

Figura 2. Confronto della risposta dei modelli con valori esperimentali. (a) Produzione H_2 nell'elettrolizzatore. (b) Potenza prodotta dalla cella a combustibile.

5. Proposta di controllo

Il sistema di controllo centrale (*CCS*) riceve come variabili di stato i segnali di potenza dei singoli sistemi più il livello di H_2 presente nel serbatoio. Il principale obiettivo del *CCS* è coordinare tutti i componenti della *HμG* in modo di soddisfare la domanda di potenza.

6. Risultati

I risultati della simulazione hanno evidenziato un funzionamento soddisfacente delle unità di generazione e il sistema di idrogeno. Il modello globale della *HμG* ha funzionato in modo simile in tutti i due casi studio, ottenendo una risposta elettrica adeguata. Nella Figura 3 si presenta la risposta della *HμG* a un carico variabile della seguente maniera: (*a*) curva della domanda e il contributo della rete, (*b*) potenza generata dalle *RES* (PV e wind), (*c*) sistema ad idrogeno (elettrolizzatore e cella a combustibile) e (*d*) serbatoio ad idrogeno. Si osserva dalla valutazione del sistema un disaccoppiamento tra l'elettrolizzatore e la cella a combustibile.

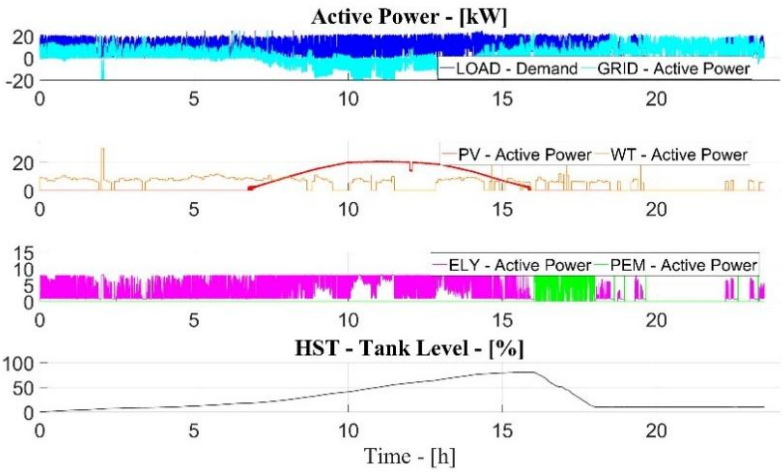

Figura 3. Risposta a carico variabile.

Quando la produzione di energia dalle *RES* è alta, l'elettrolizzatore lavora e produce idrogeno il cui viene immagazzinato nel serbatoio ad idrogeno. D'altra parte, quando non c'è un contributo dalle RES, la cella a combustibile produce energia.

7. Conclusioni e lavori futuri

Questa tesi ha presentato una metodologia per la simulazione di una *HμG* composta da sistema ad idrogeno, eolico e solare. Il sistema può generare idrogeno a partire dall'eccesso di energia prodotta dagli impianti eolico e solare. Sono stati presentati modelli matematici per simulare la dinamica di ogni componente della *HμG*. Inoltre, sono stati validati i modelli dinamici dell'elettrolizzatore e della cella a combustibile ottenendo un errore del 2% e 6% nella produzione di idrogeno, e nella potenza prodotta dalla cella a combustibile. I modelli sono stati integrati in un unico sistema. É stata proposta una strategia di controllo per il modello complessivo. La risposta del modello globale è stata valutata con due casi di studio basati su di carici reali, ove i risultati dimostrano il funzionamento soddisfacente tra l'integrazione dei diversi sistemi. In sintesi, il modello sviluppato in questa tesi si è rivelato uno strumento affidabile per la valutazione delle prestazioni delle *HμG* composte da impianti eolici, solari, e ad idrogeno. Il modello creato potrà contribuire a nuovi studi che propongono l'idrogeno come soluzione energetica.