

## **Rete virtuale di microcentrali elettriche ibride integrate con fuel-cell: un passo verso l'economia dell'idrogeno**

**FRANCO CASADIO, RICCARDO MORICI, SERGIO ZANARINI**  
**ELETTRONICA SANTERNO SPA,**

Via G. di Vittorio 3, 40020 Casalfiumanese (BO) ITALY;  
tel. +39 0542668611, fax. +39 0542668622, e-mail: moricir@elettronicasanterno.it

**Abstract:** L'aumento dell'inquinamento anche nelle piccole città, il riscaldamento globale e la continua variabilità dei costi dell'energia sono solo tre tra le molte problematiche dell'attuale economia basata sul petrolio. Molti governi hanno incoraggiato la ricerca sulla generazione, immagazzinamento e trasporto delle energie rinnovabili. L'idrogeno prodotto dall'energia solare rappresenta l'alternativa più attraente al petrolio e carbone non solo come fonte di energia ma anche come mezzo di vettorizzazione e immagazzinamento delle energie rinnovabili. Addirittura è stato coniato il termine "Solar-Hydrogen" per intendere l'idrogeno prodotto da fonti rinnovabili, e cioè in ultima analisi da tutte le fonti (Fotovoltaica, Eolica, ecc..) riconducibili alla energia generata dalla nostra stella più vicina.

Elettronica Santerno Spa ha sviluppato un generatore solare ibrido integrato con una fuel-cell che può essere considerato come un generatore domestico ed autonomo di energia elettrica e termica autosufficiente. L'unità opera come una fonte continuamente disponibile di energia elettrica e termica capace di alimentare utenze sia in sistemi elettrici isolati che in parallelo con l'esistente rete di distribuzione. Il sistema, basato sull'alta efficienza resa possibile da convertitori di potenza a stato solido gestiti da un dispacciatore intelligente di energia, è capace di ottimizzare lo sfruttamento sia di energia solare che eolica.

La funzione di immagazzinamento dell'energia, sempre necessaria per adattare il livello di potenza disponibile dalla fonte rinnovabile alla potenza richiesta dai carichi, è ottenuta stoccando idrogeno. Il sistema realizza un processo di accumulo della energia a ciclo chiuso e completamente ecologico producendo idrogeno e ossigeno tramite una cella elettrolitica, comprimendo l'idrogeno in bombole e recuperando energia elettrica e termica, al livello di potenza desiderato, grazie ad una fuel-cell di tipo PEM (Proton Exchange Membrane).

Per ridurre il consumo di acqua demineralizzata, l'acqua pura esausta dalla fuel-cell viene raffreddata e rigenerata, in un processo chiuso, nel serbatoio di alimentazione della cella elettrolitica. Inoltre, se necessario, l'acqua calda che deriva dal raffreddamento dell'unità può essere utilizzata per uso sanitario.

Sono quindi evitati l'inquinamento e gli alti costi di manutenzione e di riciclaggio legati al classico immagazzinamento di energia elettrica con batterie di accumulatori che contengono di solito metalli pesanti (cadmio, piombo, ...) ed elettroliti fortemente acidi o alcalini.

Un'altra caratteristica innovativa è rappresentata dalla unità di controllo integrata, in grado non solo di prendersi carico della gestione intelligente ed automatica del sistema, ma capace anche di gestire una connessione dati remota attraverso un modem o un collegamento radio satellitare. Il monitoraggio continuo della disponibilità, dell'accumulo e della contabilizzazione della energia rinnovabile può essere assicurata da un unico centro di controllo per molte unità sparse nel territorio. Negli anni a venire dell'economia basata sull'idrogeno molte compagnie energetiche disporranno di centri di controllo di distribuzione dell'energia virtuale operanti come sopra descritto.

Nell'articolo vengono discussi i criteri di progetto e descritti tecnicamente i componenti del sistema e le politiche di dispacciamento della energia. Sono mostrati i dati relativi ad un caratteristico sistema posto a medie latitudini e connesso, come sorgenti primarie di energia, ad un campo fotovoltaico con potenza di picco di 7.5kW ed a un piccolo generatore eolico da 5kW. Il lavoro qui descritto è stato oggetto di un progetto di ricerca comunitario "Eureka!", noto con l'acronimo di "Wireless Energy", a cui Elettronica Santerno SpA ha contribuito come project leader.

## INTRODUZIONE

Negli ultimi anni molte ricerche nel campo delle energie rinnovabili sono focalizzate sulla progressiva sostituzione del petrolio con idrogeno come vettore di energia ecologicamente compatibile. Alcuni ricercatori suggeriscono di convertire in idrogeno tipi differenti di energie rinnovabili come il vento, il sole, le biomasse, ecc... e di utilizzarlo come combustibile per la produzione di energia o per uso diretto nei motori endotermici dei mezzi di trasporto.

Altri suggeriscono di utilizzare la conversione intermedia in idrogeno ed il suo stoccaggio per risolvere i problemi che sorgono dove le fonti rinnovabili rappresentano una quota significativa (più del 20%) della capacità totale di potenza di una rete di distribuzione elettrica. L'andamento di potenza continuamente variabile, anche su scala temporale ridotta, che caratterizza l'energia solare e eolica, produce fenomeni di instabilità nella rete elettrica su cui insistono i generatori. Questo fatto riduce altamente la qualità dell'energia elettrica (microinterruzioni, buchi di rete, scostamenti di frequenza, distorsione armonica, ecc...) e limita la quota totale dell'energia rinnovabile che può essere immessa verso la distribuzione. Questo fatto costituisce il principale problema da affrontare per il dimensionamento e l'esercizio di reti di generazione distribuita da fonte rinnovabile.

Il cosiddetto "Solar-Hydrogen" accumulato, invece, può essere riconvertito in elettricità al livello di potenza desiderato, evitando i fenomeni di instabilità di rete, e permette di estendere la disponibilità dell'energia anche quando la fonte primaria è nulla (es. energia solare fotovoltaica durante la notte).

Il vincolo maggiore di questa applicazione è la bassa efficienza delle due conversioni energetiche che devono essere effettuate in serie: energia rinnovabile in idrogeno e idrogeno in energia meccanica o elettrica. Sebbene sia stato compiuto un grande sforzo di ricerca allo scopo di incrementare l'efficienza di conversione degli electrolyzers (sistemi di elettrolisi dell'acqua) e delle fuel-cell, i due apparati allo stato attuale della tecnologia più promettenti per produrre idrogeno e di riconvertirlo a elettricità, il processo totale di conversione è tutt'ora lontano dal raggiungere l'obiettivo del 50% di efficienza energetica.

Per superare questa bassa efficienza deve esistere un canale preferenziale tra la fonte dell'energia rinnovabile e l'utilizzatore dell'energia. La conversione e l'immagazzinamento dell'idrogeno avvengono solo per la parte dell'energia rinnovabile che eccede la richiesta o che eccede la potenza istantanea che può essere introdotta nella rete elettrica. Il canale preferenziale è caratterizzato da un'alta efficienza di conversione e, con un appropriato dimensionamento, l'efficienza media pesata tra il percorso diretto dell'energia e il percorso che prevede l'immagazzinamento, può essere accettabile.

Un sistema così concepito può essere realizzato adottando lo stato dell'arte dell'elettronica di potenza, dell'elettronica di controllo e della tecnologia elettrochimica. Esso lavora come un generatore elettrico medio-piccolo che sfrutta al massimo l'energia solare e eolica disponibile e assicura disponibilità ininterrotta di energia elettrica sia per utilizzatori connessi in rete di distribuzione che in rete isolata.

## IL GENERATORE IBRIDO SOLARE CON FUEL-CELL

L'idea base nasce dalla considerazione che la potenza istantanea richiesta dai carichi è sempre differente dalla energia istantanea prodotta dalla fonte rinnovabile, mentre nel medio termine l'energia prodotta dalle fonti rinnovabili e quella consumata dal carico sono pressoché equivalenti.

Ovviamente questo è vero a patto che il sistema sia correttamente dimensionato e che il periodo considerato per calcolare il bilancio energetico sia maggiore della varianza della disponibilità temporale delle sorgenti rinnovabili. Aggiungendo un accumulatore

correttamente dimensionato al generatore di energia rinnovabile si può dunque ottenere una sorgente energetica sempre disponibile.

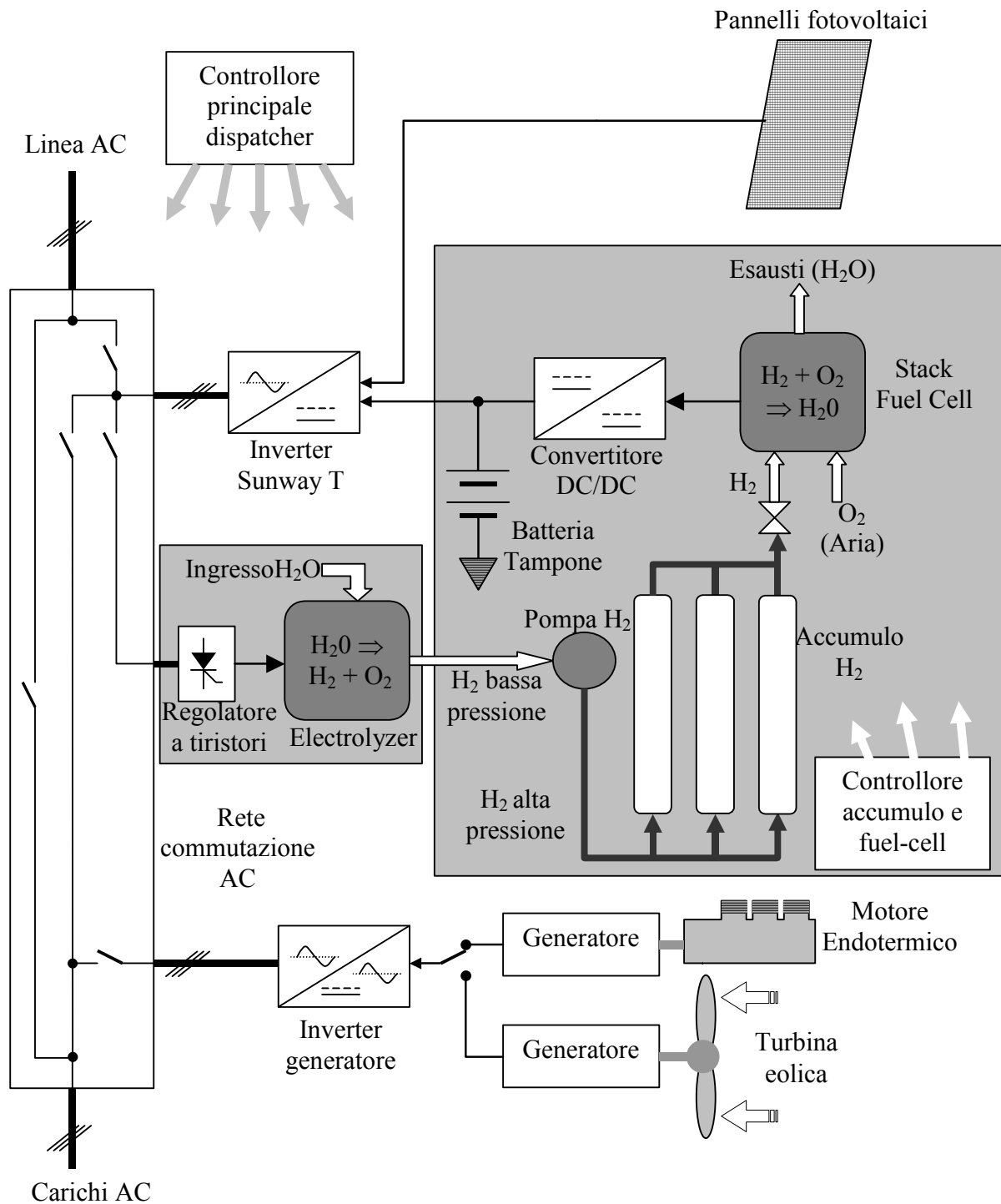
Il sistema proposto utilizza sia l'energia fotovoltaica che quella eolica come fonte rinnovabile, mentre l'immagazzinamento dell'energia è realizzato stoccando l'idrogeno compresso ottenuto dall'idrolisi dell'acqua in una cella ad elettrolita alcalino. Una fuel-cell di tipo PEM riconverte l'idrogeno immagazzinato in elettricità.

Il disegno dettagliato del generatore ibrido sviluppato da Elettronica Santerno SpA è rappresentato in figura 1.

Il sistema è composto da due unità principali di generazione realizzate con convertitori a stato solido: un Sunway-T modificato (inverter solare trifase) e un inverter di controllo per generatore sincrono; da un anello di immagazzinamento dell'energia composto da un electrolyzer, dal sistema di immagazzinamento dell'idrogeno e infine dalla fuel-cell con il relativo convertitore di potenza.

Un dispacciatore di energia principale supervisiona le operazioni del sistema nel suo complesso, mentre un secondo controllore si occupa di gestire in particolare l'operatività della fuel-cell e dell'electrolyzer, dispositivi sui quali è basata la funzione di immagazzinamento dell'energia.

Una rete di commutazione AC permette differenti percorsi di energia tra unità di generazione, electrolyzer, rete e carichi. L'unità di commutazione permette al sistema di operare sia in modalità grid-connected in parallelo alla rete di distribuzione, che in modo stand-alone connesso direttamente ai carichi, e le unità di generazione sono in grado di commutare quasi simultaneamente tra le due modalità operative.



**Figura 1 – Schema a blocchi della microcentrale ibrida**

Nella modalità di funzionamento grid-connected, sia il Sunway T che l'inverter generatore sono collegati in parallelo con la rete di distribuzione della energia elettrica, e forniscono corrente alla linea in fase con la tensione di rete. Nella modalità stand alone, nella quale la rete è sia assente o disconnessa, l'unità di generazione impone la tensione mentre le correnti di uscita sono definite dall'assorbimento dei carichi. La modalità stand-alone viene attivata sia quando la rete di distribuzione pubblica non è presente nel luogo dell'installazione, sia quando la rete è presente ma temporaneamente assente per guasto o disservizio.

In entrambi i casi, il dispacciatore energetico supervisiona la quantità dell'energia consegnata dalle due unità di generazione alla rete e/o ai carichi.

Il Sunway T modificato accetta due ingressi DC. L'input principale deriva dal campo fotovoltaico, mentre il secondo ingresso proviene dalla batteria tampone della fuel-cell. L'inverter seleziona automaticamente l'ingresso DC in base alla risorsa disponibile. Se il campo FV fornisce potenza, questa viene completamente utilizzata per la conversione in AC, mentre quando la corrente del campo fotovoltaico diminuisce, la potenza di uscita dell'inverter, necessaria ai carichi, è garantita ricavando l'energia dalla batteria tampone della fuel-cell.

L'unità di accumulo energetico basata sulla fuel-cell contiene il compressore di idrogeno, le bombole di idrogeno, il convertitore DC/DC e la batteria tampone in aggiunta allo stack fuel-cell e al suo sistema di condotti e valvole. È stata scelta una fuel-cell di tipo PEM per la sua semplicità, assenza di elettroliti corrosivi e elevata efficienza.

Il controllore di accumulo energetico si occupa anche della corretta gestione del funzionamento dello stack. È in grado di monitorare tutte le variabili elettrochimiche e, in accordo ad esse, imposta il punto di lavoro ottimale dello stack in modo da raggiungere la massima efficienza di conversione e la massima affidabilità. Ad esempio, il controllore limita i gradienti di potenza durante l'avvio e l'arresto dello stack, ed è in grado di intervenire prontamente sulla corrente istantanea dello stack e sui flussi di carburante, agendo sul convertitore DC/DC dedicato alla fuel-cell e sul circuito di alimentazione idrogeno/aria, quando l'andamento delle variabili elettrochimiche mostra che lo stack si trova in condizioni operative critiche.

L'anello di immagazzinamento dell'idrogeno è completato dall'unità dell'electrolyzer. L'electrolyzer semplicemente genera idrogeno gassoso a una fissata pressione. Un convertitore a tiristori dedicato regola la corrente di elettrolisi sotto la supervisione del dispacciatore dell'energia.

Il controllore di accumulo energetico controlla anche la pompa di compressione dell'idrogeno. La velocità della pompa, e quindi la portata, sono regolate in modo istantaneo in accordo alla produzione di idrogeno dell'electrolyzer. Quanto la corrente dell'electrolyzer sale, il controllo dell'immagazzinamento dell'energia aumenta simultaneamente il trasporto del compressore.

L'ultima unità del sistema è l'inverter generatore che è in grado sia di sfruttare energia eolica oppure energia non rinnovabile prodotta localmente tramite un motore endotermico.

Ciò viene ottenuto in due modalità operative simili. Se connesso a una semplice turbina eolica equipaggiata con un generatore AC a magneti permanenti, l'inverter è in grado di fissare il valore di corrente assorbita a valle del rettificatore interno in funzione della tensione, ottenendo quindi il controllo del profilo di coppia della turbina desiderato in funzione della velocità. Connettendolo invece ad un motogeneratore equipaggiato con generatore AC a magneti permanenti o sincro ad eccitazione separata, si è un grado di assicurare in ogni caso produzione dell'energia. Il passaggio tra le due modalità operative può essere ottenuto grazie a un contattore che seleziona alternativamente i due generatori.

Ovviamente il motore endotermico viene avviato solo se non sono disponibili rete, potenza dal campo fotovoltaico e se le bombole di idrogeno sono vuote. In questa situazione, non frequente, l'inverter generatore sostiene la potenza dei carichi.

Se la turbina eolica non è richiesta, l'inverter generatore può essere sostituito con un motogeneratore di produzione commerciale. Se questo necessita della rete per operare, il Sunway T è usato come riferimento di rete. La potenza di rete scambiata con la batteria tampone è nulla, mentre il Sunway T è capace di imporre la ampiezza, frequenza e fase della rete compensando contemporaneamente la differenza della potenza reattiva tra il motogeneratore ed i carichi.

## CRITERI DI DIMENSIONAMENTO

La situazione più probabile nella quale verrà utilizzata la microcentrale è per utenti domestici o residenziali medio-piccoli come rifugi alpini, piccole isole, fattorie isolate, centri residenziali e siti turistici in aree ambientali protette, non serviti o serviti malamente dalla rete elettrica. Una potenza nominale di 4.5kW continuativi 10kVA di picco è stata scelta come riferimento per dimensionare il sistema. Tutti le unità sono state dimensionate in accordo a questi dati. Per ottenere concreta fattibilità per il sistema e abbattimento dei costi di materiale sono state selezionate, se disponibili, unità commercialmente disponibili e prodotte in serie, adeguando opportunamente il dimensionamento alle taglie.

La potenza di picco del campo fotovoltaico è stata dimensionata considerando il bilancio dell'energia consumata dall'utente e l'energia fotovoltaica prodotta su un anno solare. La produzione di energia a una latitudine media è tipicamente 1200 kWh/anno per kilowatt di pannelli, mentre l'energia consumata da un utente residenziale tipico è circa 2000kWh/all'anno per ciascun kilowatt di potenza disponibile, quindi con un rapporto tipico di 0,6. Di conseguenza la potenza di picco del campo fotovoltaico è stata fissata a 7,5kW.

La potenza nominale della fuel-cell è stata fissata a 4kW, pressoché coincidente con la potenza nominale dei carichi. La corrente di picco in eccesso rispetto alle possibilità della fuel-cell è stata considerata come condizione transitoria e quindi viene sostenuta dalla batteria tampone. La capacità di immagazzinamento dell'idrogeno è stata scelta per supportare la potenza nominale della fuel-cell per un massimo di 24 ore. E' stato adottato un processo di ottimizzazione numerica per identificare le specifiche di immagazzinamento del sottosistema di accumulo dell'idrogeno. La migliore unità di immagazzinamento risultante è la bombola standard di 50 litri di capacità con una pressione di esercizio di 25Mpa. Un assieme di dieci di tali bombole permettono di immagazzinare quasi 90 metri cubi di idrogeno corrispondenti a 124 kWh di energia elettrica calcolati considerando il rendimento della fuel-cell alla potenza massima. I kWh effettivamente disponibili in pratica possono essere anche di più se si considera che il rendimento della fuel-cell aumenta quando viene impiegata a potenze inferiori alla nominale.

Nella tabella seguente, sono riassunti i dati di dimensionamento.

<b>Parametro</b>	<b>valore</b>	<b>Unità</b>
Potenza nominale della fuel-cell	4400	W
Consumo specifico di idrogeno alla massima potenza	3.14	Nm <sup>3</sup> /h
Efficienza energetica della fuel-cell a potenza nominale	50.4	%
Densità di potenza superficiale della stack	2.6	kW/m <sup>2</sup>
Durata nominale di vita dello stack	8000	ore
Volume totale idrogeno compresso	0.5	m <sup>3</sup>
Numero di bombole di idrogeno	10	-
Pressione di accumulo dell'idrogeno	20	MPa
Volume di idrogeno a condizioni normali immagazzinato	88	Nm <sup>3</sup>
Peso totale del pacco di bombole	688	kg
Energia totale immagazzinata	124	kWh
Peso specifico della energia immagazzinata	0.181	kWh/kg
Volume specifico della energia immagazzinata	248	kWh/m <sup>3</sup>
Autonomia alla massima potenza	28	ore

La produzione dell'idrogeno e' basata su un electrolyzer disponibile commercialmente capace di generare una quantità oraria di idrogeno pari al consumo nominale della fuel-cell. Per ottenere una migliore efficienza di produzione e per ridurre la potenza richiesta dalla pompa

di compressione dell'idrogeno, e' stato scelto un electrolyzer a media pressione. Il lavoro di compressione è proporzionale al logaritmo del rapporto tra pressione di accumulo e pressione di uscita, per cui pochi bar in più di pressione dell'electrolyzer comportano maggiore convenienza energetica di compressione.

I dati salienti dall'electrolyzer e dalla pompa di compressione sono riportati nella tabella seguente.

<i>Parametro</i>	<i>Valore</i>	<i>Unità</i>
Produzione dall'electrolyzer a piena potenza	3	Nm <sup>3</sup> /h
Potenza elettrica nominale dell'electrolyzer	12.7	kW
Efficienza di produzione	4250	Wh/Nm <sup>3</sup>
Pressione di uscita dell'idrogeno	0.9	MPa
Potenza netta di compressione alla massima portata	0,31	kW
Potenza elettrica del compressore	0,88	kW
Tempo di riempimento delle bombole alla massima potenza	29.5	ore

La seguente tabella riassume il bilancio energetico e l'efficienza di stoccaggio dell'energia.

<i>Parametro</i>	<i>Valore</i>	<i>Unità</i>
Energia consumata dall'electrolyzer per riempimento completo	374	kWh
Energia consumata dal compressore per riempimento completo	26	kWh
Energia totale spesa per riempimento completo	400	kWh
Efficienza energetica di accumulo	30.94	%

L'inverter Sunway T è stato dimensionato per supportare la potenza di picco del campo FV, e in modo stand-alone, per poter sostenere la potenza apparente, e quindi anche la componente reattiva, dei carichi. L'inverter generatore e il motogeneratore endotermico sono dimensionati per supportare i carichi quando nessun altra fonte, fotovoltaica e fuel-cell, sono disponibili per produrre energia. La tabella seguente riporta le caratteristiche dei due inverter, del motore endotermico e della turbina eolica.

<i>Unità</i>	<i>Specifiche</i>
Sunway T Inverter	Inverter solare Elettronica Santerno SUNWAY T Pout= 9,5KVA Overload 200% per 15 secondi; 150% per 1 minuto
Inverter generatore	Inverter Elettronica Santerno progettato appositamente allo scopo Pout= 7.5KVA overload. 125% per 1 minuto
Motore endotermico	“YANMAR” modello L70AE Motore diesel a quattro tempi da 211cc Potenza continuativa 4,5 KW @ 3000RPM
Turbina eolica	Vergnet model GEV 5/5 Diametro pale 5m Potenza nominale 5kW, velocità nominale del vento 12,5 m/s, velocità iniziale del vento di generazione 4,5m/s

Infine va notato che l'electrolyzer viene attivato solo quando un eccesso di energia rinnovabile, solare o eolica, è presente. La potenza piena di elettrolisi viene raggiunta solo nella condizione nella quale sia il campo FV che il generatore eolico stanno lavorando alla

piena potenza, e i carichi AC sono trascurabili o assenti. E' infatti inutile e senza senso utilizzare energia proveniente dalla rete o prodotta dal motogeneratore per produrre idrogeno.

### **DISPACCIAMENTO DELL' ENERGIA E EFFICIENZA DI SFRUTTAMENTO DELLE FONTI RINNOVABILI**

Il controllore dispacciatore dell'energia, basato su una unità di controllo digitale "Microfast" Elettronica Santerno, si occupa della gestione e supervisione di tutte le parti del sistema. Si possono fissare i punti di lavoro istantanei e acquisire i dati rilevanti per ciascun modulo di sistema.

Oltre alla interfaccia e alle funzioni di collegamento, il dispatcher dell'energia implementa le politiche adatte per il massimo sfruttamento delle energie rinnovabili e per assicurare comunque della disponibilità continua per l'utilizzatore.

La regola base adottata è che la potenza disponibile dalla fonte rinnovabile, fotovoltaica e eolica, è direttamente convogliata all'utilizzatore attraverso la via più efficiente. Solo l'eccesso di energia rinnovabile è utilizzato per la produzione dell'idrogeno tramite elettrolisi. Quando l'energia rinnovabile scende sotto il consumo dell'utilizzatore, il controller di dispacciamento dell'energia ferma l'electrolyzer e l'eccesso di consumo è sostenuto dalla rete, se questa è disponibile, o dalla batteria tampone.

Se una prefissata quantità di energia è consumata dalla batteria tampone, il controllore di accumulo dell'energia considera stabile la situazione di mancanza di sorgenti rinnovabili e decide di attivare la fuel-cell. L'energia necessaria viene quindi recuperata dall'idrogeno immagazzinato. Il controllore di accumulo dell'energia gestisce anche il bilanciamento dell'energia riguardante la batteria, e quindi il suo stato di carica.

Quando la fonte di energia rinnovabile permane sotto la corrente di carica e tutto l'idrogeno immagazzinato è consumato e la rete non è presente, il dispatcher dell'energia decide di attivare il motore endotermico. Questo assicura disponibilità ininterrotta di energia per l'utilizzatore. Il motore viene fermato solo quando la fonte rinnovabile ritorna disponibile e una prefissata minima quantità di idrogeno è immagazzinata nelle bombole.

Si può notare che il sistema, sebbene in presenza di una bassa efficienza di immagazzinamento dell'energia, è in grado di sfruttare l'energia rinnovabile con una efficienza abbastanza buona grazie alla corsia preferenziale tra la fonte rinnovabile ed i carichi. Basandosi sulla distribuzione di probabilità di disponibilità del sole e del vento, si può calcolare che l'operatività della fuel-cell è richiesta per un tempo cumulativo di circa 1000 ore annuali, e quindi per 1/8 di un anno. Considerando che la conversione diretta dell'energia presenta una percentuale di efficienza non inferiore al 90%, e l'efficienza stimata di accumulo è del 31%, l'efficienza dello sfruttamento dell'energia rinnovabile può essere calcolata con la media pesata  $(7*90\% + 1*31\%)/8 = 82.5\%$ .

Questo significa che il sistema, nel lungo periodo, è in grado di consegnare all'utilizzatore più dell'80% dei kilowattora rinnovabili entranti. Deve inoltre essere notato che con tempo cumulativo di 1000 ore di operatività annuale della fuel-cell, lo stack ha un tempo di vita stimato di otto anni senza necessità di manutenzione.

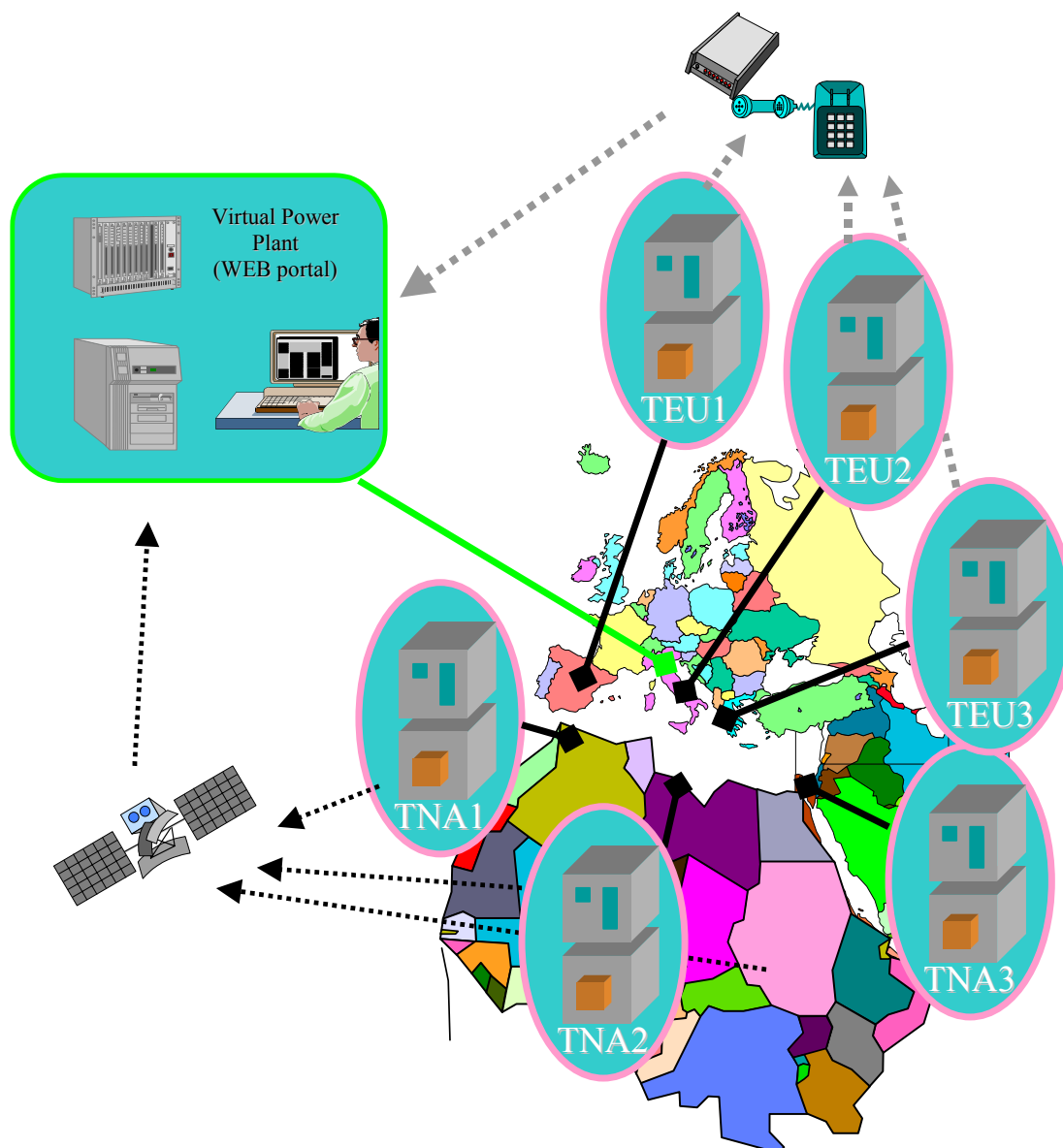
### **WIRELESS ENERGY: LA RETE VIRTUALE DI DISTRIBUZIONE DELL'ENERGIA.**

Una caratteristica importante del controllore dispacciatore dell'energia è la possibilità di essere connesso con dispositivi di comunicazione come modem, GSM, GPRS o con un collegamento radio satellitare. Grazie alla connessione dati, tutti i parametri del sistema, le

variabili attuali e i dati storici di lavoro sono disponibili agli utenti remoti autorizzati ad accedere all'unità.

Lo stato della salute del sistema può essere facilmente rilevato dall'andamento delle variabili di sistema o dai messaggi di avvertimento ed errore automaticamente emessi e registrati dal controllore in una lista temporale.

Il controllo remoto permette anche di trattare una rete di microcentrali ibride esattamente come un sistema di distribuzione tradizionale, formato da sottostazioni di distribuzione interconnesse alimentate da una centrale. Questa centrale virtuale è semplicemente costituita da un centro di controllo delle operazioni dal quale, nell'immediato futuro, sarà possibile vendere energia ad ogni singolo utente anche attraverso un portale internet. Nella figura 2 viene mostrata la rappresentazione schematica della struttura della centrale virtuale.



**Figura 2 – Rappresentazione schematica del sistema di distribuzione virtuale dell'energia**

Dato che ogni microcentrale produce essa stessa l'energia necessaria all'utilizzatore, le costose ed inefficienti linee di distribuzione sono eliminate. La domanda di energia può essere soddisfatta liberamente inserendo le microcentrali sul territorio e istituendo una rete di assistenza in grado di effettuare la scarsa attività di manutenzione che consiste principalmente in rifornire il serbatoio del generatore endotermico. Grazie a un adatto dimensionamento delle fonti rinnovabili e della capacità accumulo energetico, raramente sarà necessario ricorrere al generatore endotermico, e quindi il consumo di carburante sarà veramente basso.

Tutti gli utenti che saranno connessi elettricamente alla microcentrale ibrida acquisteranno energia dalla società di distribuzione virtuale esattamente come fanno oggi gli utenti connessi in rete, oppure potranno scegliere di ottenere in affitto una microcentrale ibrida pagando un canone di affitto e manutenzione prefissato comprensivo dei servizi di manutenzione e supervisione remota.

La rete di distribuzione basata sulle microcentrali ibride può potenzialmente diventare una rilevante innovazione nel mercato dell'energia e permetterà sicuramente un aumento della penetrazione delle fonti rinnovabili nello scenario dell'energia.

### **CONCLUSIONI E PROSPETTIVE**

E' stato presentato il concetto realizzativo ed una possibile implementazione di una microcentrale elettrica ibrida, basata sull'accumulo dell'idrogeno, che sfrutta fonti di energia rinnovabili. La microcentrale è in grado di sfruttare energia solare e eolica e alimentare utilizzatori domestici con un minimo consumo di carburante fossile. Prendendo in considerazione l'adozione di tradizionali bombole commercialmente disponibili per l'immagazzinamento dell'energia sotto forma di idrogeno compresso, lo sfruttamento delle fonti energetiche rinnovabile presenta un rendimento di circa l'80%, e il peso ed il volume specifico della energia immagazzinata assumono valori rispettivamente 0.181 kWh/kg e 248 kWh/m<sup>3</sup>.

E' inoltre stato dimostrato come un sistema così creato si può connettere facilmente con un centro di controllo delle operazioni per poter realizzare una rete di distribuzione della energia virtuale.

Nel futuro la quantità di energia immagazzinata e il suo volume potranno essere ottimizzati grazie all'uso di dispositivi agli idruri metallici invece che con le tradizionali bombole di acciaio. Anche la conversione dell'energia rinnovabile in idrogeno può essere resa più efficiente adottando un electrolyzer ad alta pressione. Accanto ad un aumento dell'efficienza del processo di elettrolisi all'aumentare della pressione di lavoro, l'idrogeno pre-compresso ha bisogno di meno energia per essere pompato alla pressione di immagazzinamento e così vengono ridotte le perdite energetiche dovute al lavoro di compressione.

Nel caso di installazioni in aree con elevata disponibilità di spazio è possibile pensare addirittura di evitare la compressione dell'idrogeno affidando l'accumulo a dispositivi operanti direttamente a pressioni di esercizio dell'electrolyzer. E' pensabile ricorrere di nuovo ai gasometri in auge nelle reti di distribuzione del gas di città ad inizio secolo, che peraltro accumulavano proprio un gas ricco di idrogeno.

In questo caso si può ipotizzare di realizzare per isole e piccole comunità isolate una centrale ibrida fotovoltaica e/o eolica di medio-grosse dimensioni per la produzione diretta di energia elettrica, di calore e di idrogeno. Tale centrale di produzione può essere corredata di una rete di distribuzione dell'idrogeno capace di alimentare una pluralità di microcentrali individuali, come quella realizzata da Elettronica Santerno SpA presso i suoi laboratori e rappresentata nella figura 3.



In tal modo ogni singola unità abitativa disporrebbe di gas ed elettricità per impieghi domestici e calore per impieghi sanitari e di riscaldamento.

Tale ipotesi comporta impatto ambientale pressoché nullo, ridotto alla sola occupazione di spazio del campo fotovoltaico e di quello eolico, poichè la produzione di idrogeno per via elettrolitica e il suo consumo entro fuel-cell o per combustione diretta sono processi completamente puliti.