

PROPOSTE PER LA PRODUZIONE DI IDROGENO DA FONTI RINNOVABILI IN SARDEGNA PER INPIANTI INDUSTRIALI DI GRANDE POTENZA

P. G. Mura - R. Baccoli – U. Carlini – R. Innamorati – S. Mariotti

CREAS - Sezione Fisica Tecnica ed Energetica, Facoltà d'Ingegneria, Università di Cagliari

SOMMARIO

In questa memoria viene analizzata la possibilità di realizzare impianti di grande potenza per produrre Idrogeno dalle F.E.R. come vettore energetico intermedio, in particolare dal sole e dal vento, che essendo non programmabili pongono importanti problemi di accumulo.

Dopo aver esaminato la proposta dell'ENEA di produzione di Idrogeno dall'Energia solare mediante un processo chimico ad alta temperatura, si presenta la proposta di produrre l'idrogeno per via elettrolitica mediante impianti elettro-eolici. Infine si presenta un'analisi di fattibilità sintetica per un impianto elettrolitico da 1,5 MW eolici; inoltre si analizza uno scenario in cui l'Idrogeno prodotto per via elettro-eolica sia utilizzato su larga scala nel settore dei trasporti in Sardegna.

1. INTRODUZIONE.

Si parla oramai da trent'anni della possibilità che l'Energia solare e l'Energia eolica possano costituire le fonti di Energia principali per alimentare i sistemi energetici nazionali; molti progressi tecnologici sono stati conseguiti, ma in realtà le F.E.R. sono ancora condannate ad un ruolo marginale; in particolare in Italia persino l'Energia eolica ha conosciuto finora poca accoglienza, forse per un malinteso e squilibrato senso della compatibilità ambientale.

Dispiace dirlo in una relazione di tecnologia, ma è necessario precisare che se in Italia e in Sardegna si è fatto poco in trent'anni, non è certo perché le tecnologie non siano mature ed economicamente accettabili; anche negli ambienti universitari è prevalso a lungo lo scetticismo; riteniamo doveroso dirlo come ricercatori del settore della Fisica Tecnica ed Energetica che opera presso la facoltà di Ingegneria di Cagliari, perché ciò che viene proposto oggi come "innovativo", veniva già proposto trent'anni fa, come è documentato in [1], [2]. Certo oggi quelle proposte avveniristiche di allora sono diventate del tutto realizzabili e prossime alla compatibilità economica; pertanto giova che i giovani ricercatori riprendano la ricerca per riproporre in modo ancora più convinto la via maestra perché il Sole ed il Vento contribuiscano in modo determinante all'autonomia dalle fonti fossili: la via dell'Idrogeno dalle F.E.R. come vettore energetico intermedio, il solo Idrogeno compatibile con la tutela dell'Ambiente. "Il certificato Verde per l'Idrogeno" istituito dalla legge n. 239/2004 può rendere economicamente vantaggiosa la produzione di Idrogeno da F.E.R. Nel seguito si prendono in esame le due principali vie per ottenere Idrogeno dalle F.E.R.: una proposta dell'ENEA a lungo termine per produrre Idrogeno mediante collettori solari ad alta temperatura; una proposta già oggi attuabile per produrre Idrogeno dall'Energia eolica mediante elettrolisi.

2. IDROGENO DALL'ENERGIA SOLARE. UNA PROPOSTA PER IL LUNGO TERMINE: "IL PROGETTO DELL'ENEA".

La tecnologia dei collettori parabolici lineari per la concentrazione della radiazione solare, pur presentando notevoli vantaggi rispetto alle altre tecnologie basate sulla concentrazione della radiazione solare, evidenzia alcuni problemi che ne limitano la diffusione su larga scala.

Su questi problemi si è sviluppato il programma di ricerca dell'Enea sul "solare termodinamico" per la produzione di energia elettrica che ha permesso di evidenziarne alcuni e studiare le possibili soluzioni.

La tecnologia messa a punto dall'ENEA costituisce un sistema ibrido che sfrutta i pregi delle due tecnologie più promettenti, torre solare e specchi parabolici lineari, nel tentativo di ottenere il rendimento migliore con il costo più contenuto.

Della tecnologia a torre solare è stato utilizzato il sistema di trasporto di calore e quello di accumulo, che oltre a garantire una maggiore sicurezza dell'impianto (non essendo infiammabile), permette di avere serbatoi di accumulo. Degli specchi lineari sfrutta invece proprio l'elemento captante-assorbente.

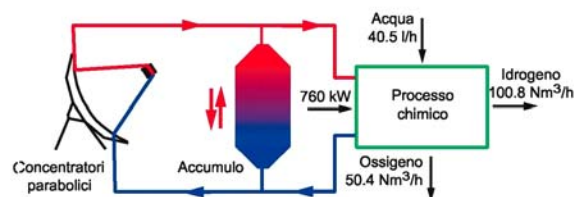


Fig. 1 - Produzione di Idrogeno per via termochimica

Per quanto riguarda la produzione d'Idrogeno invece l'ENEA ha avviato un programma di ricerca che porterà alla

sperimentazione su scala pre-pilota delle tecnologie solari oggi teoricamente più promettenti. Di fatto si tratta di accoppiare una delle tecnologie solari con un processo di produzione termica dell'Idrogeno [3].

Il processo di produzione termica dell'Idrogeno implica il raggiungimento di temperature dell'ordine dei 1000 °C, quindi maggiori di quelle necessarie per la produzione di energia elettrica basate su cicli a vapore di tipo Rankine, per cui le tecnologie del sistema di captazione utilizzabili sono quelle a maggior rapporto di concentrazione della radiazione: concentratori parabolici e torri solari.

L'ENEA non ha ancora reso noto quale di queste due tecnologie intenda adottare nello sviluppo della ricerca, tuttavia si tratterà certamente di adattarne una alle caratteristiche del processo chimico di produzione dell'Idrogeno, essendo infatti state sviluppate per la produzione di energia elettrica.

Una sperimentazione di questo tipo implica dunque un grande lavoro di ricerca dato che accoppia due diverse tecnologie entrambe in fase di sviluppo, ed anche se promettente non può essere in grado nel breve-medio termine di assicurare la produzione costante di una determinata quantità di Idrogeno.

La ricerca per le applicazioni di questo tipo a medio lungo termine è certamente da considerarsi una buona strada verso l'obiettivo che si vuole perseguire: approvvigionare la Sardegna con Idrogeno "primario" prodotto da fonte rinnovabile.

La proposta del prof. Rubbia comunque prevede che nel breve periodo si costruiscano le centrali elietermoelettriche per la generazione di energia elettrica e che si produca Idrogeno per via elettrolitica.

Ma indagini recenti mostrano che il costo del kWh prodotto con il sistema elio-termoelettrico è ancora da due a tre volte maggiore di quello prodotto con il sistema eolico, cosicché l'attuale premio del certificato verde non riesce a rendere competitivo il sistema elio-termo-elettrico.

Pertanto risulta importante considerare che nel breve-medio periodo questa fase di introduzione dell'Idrogeno da FER nel sistema energetico della Sardegna può essere già svolta dalla generazione di Idrogeno dall'Energia eolica, come illustra in dettaglio la proposta esposta nel seguito.

Si conferma comunque l'importanza di avviare subito la ricerca proposta dal prof. Rubbia in modo da esser certi che nella prospettiva del medio-lungo termine si possa avere un sistema di livello industriale per la produzione di Idrogeno dalla Energia solare in piena sinergia con il sistema alimentato dalla Energia eolica che può decollare nel breve termine.

3. ANALISI DI FATTIBILITÀ PER UN IMPIANTO EOLICO PILOTA DA 1.5 MW PER PRODURRE IDROGENO COMPRESSO

La fattibilità dell'accoppiamento diretto fra aerogeneratori e gruppo di produzione di Idrogeno per via elettrolitica è dimostrata dai numerosi casi di studio, di cui alcuni oggi realizzati e funzionanti nel mondo. Una ricerca industriale sul campo è dunque possibile già oggi con apparecchiature reperibili sul mercato Italiano ed Europeo e può portare a risultati attendibili già nel breve periodo.

Una valutazione di massima del costo di produzione dell'Idrogeno per via elettrolitica può essere operata seguendo la catena energetica che partendo dalla fonte di energia primaria e dall'acqua, passando per una serie di processi fondamentali, come riportato schematicamente nella fig.2,

porta alla produzione di Idrogeno ed ossigeno. L'ultimo anello della catena che precede la distribuzione del combustibile Idrogeno, l'accumulo, riveste un ruolo importante nelle scelte di carattere energetico ed economico, incidendo sulla densità energetica del vettore, sulla semplicità di distribuzione e sul costo del prodotto al consumatore.

Per una prima analisi economica determiniamo il costo iniziale di investimento come composto essenzialmente da tre voci: costo del generatore eolico installato, costo dell'elettrolizzatore e del sistema di stoccaggio. Il costo medio d'installazione e messa in opera della turbina eolica comprensivo dei sistemi di controllo e di connessione all'elettrolizzatore è stato stimato, in base alle attuali tecnologie disponibili sul mercato, in 1 000 000 €/MW. Si ipotizza di adottare un aerogeneratore Vestas V60 da 1.5 MW di potenza elettrica.

Il costo dell'elettrolizzatore per taglie del MW può essere stimato in 200 €/kW [1]. Di seguito vengono indicati, a titolo di esempio, i dati tecnici relativi ai generatori elettrolitici prodotti dalla Hydrogen Systems. Per la serie IMET 1000 si ha una produzione fino a 60 Nm³/h di Idrogeno con un consumo di energia elettrica pari a 4,20 kWh/Nm³ (vedi tab. 3).

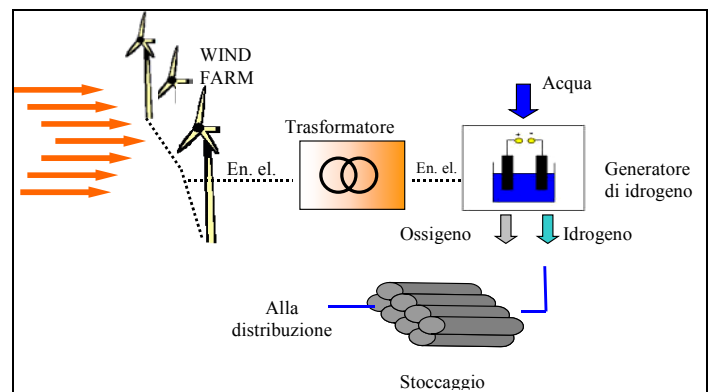


Fig.-2. Impianto per Idrogeno compresso da Energia eolica.

Tab. 3. Caratteristiche di elettrolizzatori Hydrogen Systems.

Specs		Vandenborre IMET* 300 Series		Vandenborre IMET* 1000 Series		
Hydrogen Production						
Hydrogen Output	Nm ³ /h (scfh)	1-3 (38-114)	4-15 (152-570)	16-30 (608-1140)	31-45 (1178-1710)	46-60* (1748-2280)
Number of Cell Stacks	1	1	2	3	4
Maximum Pressure	bar (psi)	25 (363)	10 or 25 (145 or 363)			
Cell Surface Area	cm ² (in ²)	300 (465)	1000 (155)			
Standard Purity	%	99,9**		99,9*		
Power Consumption (Electrolysis)	kWh/Nm ³ (kWh/100scfh)	4,20 (11,05)	4,20 (11,05)			
Power Consumption (inc. rectifier and auxiliaries)	kWh/Nm ³ (kWh/100scfh)	4,90 (12,89)	4,8 (12,63)			
Power Supply	380-600 VAC / 50-60 Hz, 3 phase				
Oxygen Production						
Oxygen Output	Nm ³ /h (scfh)	0,5-1,5 (19-57)	2,0-7,5 (76-285)	8-15 (304-570)	15,5-22,5 (589-855)	23-30 (874-1140)
Standard Purity	%	99,5**		99,5**		

Il costo del sistema di accumulo dipende dalla tecnologia utilizzata. Il metodo più vantaggioso per il tipo di applicazione

proposta, perché basata su tecnologie tradizionali e già ampiamente diffuse, è l'accumulo in serbatoi a 250 bar. Il costo di investimento del sistema di accumulo può essere stimato in 150 000 € complessivi per il sistema di compressione che elabora $1.87 \cdot 10^3 \text{ Nm}^3$ di gas al giorno ed i serbatoi di accumulo per l'immagazzinamento di $1.18 \cdot 10^3 \text{ kg}$ di Idrogeno equivalente alla produzione di una settimana.

Il fabbisogno energetico dell'accumulo per compressione può essere assunto pari al 4% del contenuto energetico del gas stoccato [6]. Valutiamo ora la quantità di Idrogeno producibile da un impianto sito in un'area industriale come quella di Macchiareddu (Cagliari- Assemini- CASIC).

La producibilità elettrica di un sito eolico si calcola con metodi di fluidodinamica computazionale partendo dalla Eq. (1) della potenza reale P_r di un aerogeneratore di diametro D :

$$P_r = \frac{1}{2} \cdot C_p(W) \cdot \rho \cdot W(z)^3 \cdot \pi \cdot \frac{D^2}{4} \text{ [watt]} \quad (1)$$

Inserendo nell'Eq. (1) i valori della velocità del vento $W(z)$ caratteristica del sito, funzione della quota z dell'asse dell'elica, determinato il coefficiente di potenza $C_p(W)$ si calcola la distribuzione della potenza sull'area del sito.

Nel grafico seguente è possibile leggere la potenza eolica disponibile a 50 m di quota sul piano di campagna per unità di superficie. Combinando i dati relativi alla distribuzione di potenza con le curve di produzione di un campione rappresentativo di aerogeneratori di potenza di targa superiore al MW, si può stimare la producibilità specifica di un impianto eolico pari a circa 2.5 GWh/MW installato [5]; una turbina eolica di 1.5 MW produrrebbe così, in tale zona, 3.75 GWh di Energia elettrica all'anno.

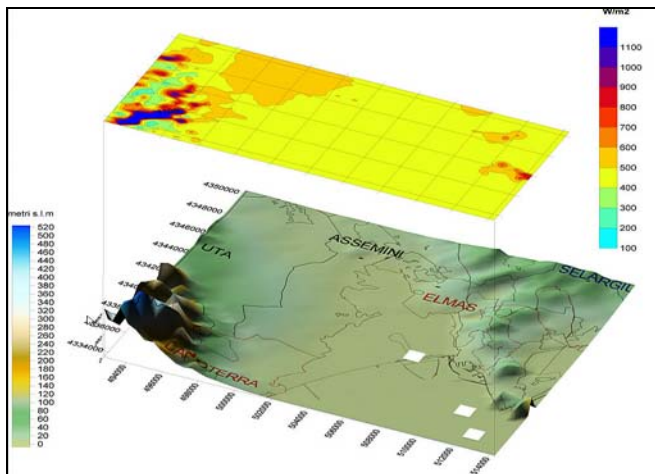


Fig. 3 - Dati anemometrici della zona Macchiareddu presso l'area industriale di Cagliari

Il generatore di Idrogeno, pur avendo la possibilità di funzionare con variazioni di carico pari all'80% del valore nominale, ha un limite inferiore di potenza di esercizio. Supposto un generatore d'Idrogeno della potenza nominale di 1.5 MW risulterebbe non sfruttabile l'Energia elettrica prodotta con potenze al di sotto di 200-300 kW. Si perde in questo modo circa il 20% dell'Energia prodotta annualmente dalla turbina, così come mostrato nel grafico in Fig.4 dove viene indicata una tipica curva "potenza-durata" dell'impianto eolico evidenziando l'area non sfruttabile dall'elettrolizzatore; l'Energia di bassa potenza può essere immessa nella RTN.

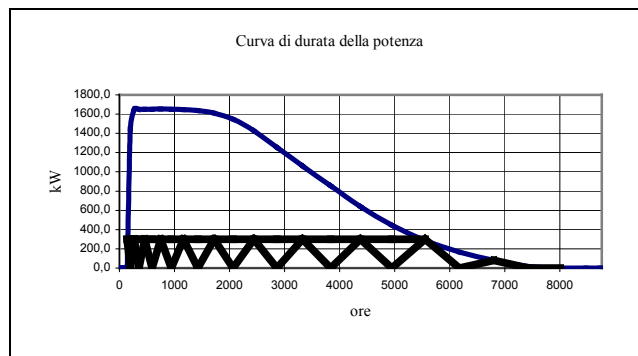


Fig. 4. Esempio di curva potenza-durata di un aerogeneratore di potenza nominale 1 650 kW.

Si può così concludere che la producibilità annua di Idrogeno (Q_{H_2}) con una turbina da 1.5 MW sarebbe di circa $685 \cdot 10^3 \text{ Nm}^3$.

$$Q_{H_2} = \frac{(3750 \cdot 10^3 \text{ kWh}) \cdot 0.8}{4.20 \frac{\text{kWh}}{\text{Nm}^3}} \cdot 0.96 \quad (2)$$

Tuttavia in una fase di ottimizzazione del progetto si potrà decidere di adottare un sistema di celle elettrolitiche in parallelo di potenza inferiore (ad esempio 300 kW) in modo da ridurre l'energia elettrica non utilizzabile; compatibilmente con la gestibilità di un sistema modulare più complesso. Riassumendo i costi di investimento dell'impianto:

Generatore eolico	1 500 000 €
Elettrolizzatore.....	300 000 €
Sistema di compressione e stoccaggio.....	150 000 €
Totale.....	1 950 000 €

4. SOSTENIBILITÀ ECONOMICA DEL PROGETTO IDROGENO

La sostenibilità economica dell'impianto può essere valutata con un'analisi dei flussi di cassa. Supposto un investimento pari a 1 950 000 € di cui 1 500 000 € finanziati in 15 anni ad un tasso fisso del 8%, un costo annuo di gestione, manutenzione e di imposte pari a 180 000 €, un tasso d'interesse di riferimento del 3% per capitale investito in altro progetto per calcolare il costo annuo del capitale immobilizzato, il costo di produzione unitario risulta pari a 0.59 euro/ Nm^3 .

Tab 1 Calcolo del costo unitario di produzione dell'Idrogeno

Costo annuo capitale investito €	46 739.02
Costi gestione + rata mutuo €	355 244.32
Produzione Idrogeno Nm^3 /anno	685 000
Costo unitario Idrogeno € / Nm^3	0.59

Ipotizzando un prezzo di vendita all'utente finale dell'Idrogeno pari a 0.72 euro/ Nm^3 , derivante dalla necessità di rendere l'investimento economicamente accettabile limitando il periodo di pay-back..

Il flusso di cassa F calcolato come differenza tra ricavi più esborsi e costi, attualizzato al tasso di interesse "j" pari al 8% , Eq (3) e (4), risulta avere l'andamento descritto nel grafico riportato in figura 5.

$$W_j = \sum_{k=1}^j F'_k \quad (3)$$

$$\text{dove } F'_j = \frac{F_j}{(1+i)^j} \quad (4)$$

F_j = flusso di cassa nell'anno j ;
 F'_j = flusso di cassa attualizzato;
 W = flusso di cassa cumulativo attualizzato;

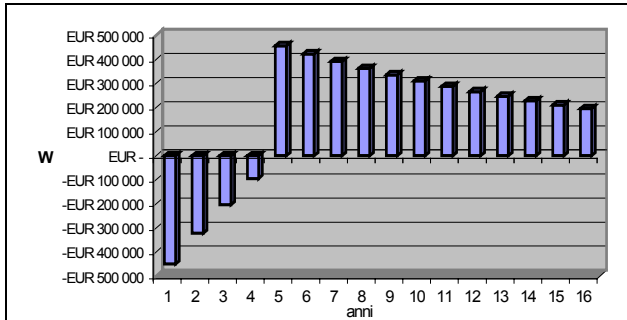


Fig. 5 Flusso di cassa cumulativo

Il prezzo di vendita dell'Idrogeno prodotto pari a 0.72 €/Nm^3 corrisponde a $6.67 \cdot 10^{-5} \text{ €/kJ}$ (potere calorifico inferiore dell'Idrogeno pari a 10.8 MJ/Nm^3).

Continuiamo ora l'analisi economica con un raffronto tra costo d'acquisto dell'Idrogeno per l'utente finale, così prodotto e un altro combustibile fossile tradizionale come la benzina.

Il potere calorifico inferiore dell'Idrogeno è pari a 10.8 MJ/Nm^3 mentre quello della benzina di 43.7 MJ/kg con un costo di vendita al pubblico di 1.15 €/litro ed una densità media a 25°C di 0.734 kg/litro . Il prezzo di vendita della benzina risulta quindi pari a $3.58 \cdot 10^{-5} \text{ €/kJ}$ contro i $6.67 \cdot 10^{-5} \text{ €/kJ}$ dell'Idrogeno. Perché quindi questa tecnologia di produzione dell'Idrogeno sia economicamente sostenibile da parte di un'azienda che voglia investire su un impianto di questo tipo, è necessario lo sviluppo di un mercato preferenziale per la vendita del vettore energetico "Idrogeno" così come avviene per l'energia elettrica prodotta da fonti rinnovabili attraverso i certificati verdi.

5. APPLICAZIONE DELLA TECNOLOGIA DELL'IDROGENO NELL'AUTOTRAZIONE

Una delle principali cause di inquinamento nei centri urbani è senza dubbio legata all'autotrasporto. E' dimostrato che i gas di scarico dei tradizionali motori a combustibili fossili hanno effetti nocivi sulla nostra salute e cresce in maniera preoccupante nelle città il rischio di contrarre malattie anche gravi come asma, bronchiti, patologie polmonari, causate dagli inquinanti atmosferici.

La soluzione utilizzata in questi ultimi anni di ricorrere alla circolazione a targhe alterne rappresenta soltanto una misura "tampono", un campanello d'allarme per interrogarsi seriamente sulle soluzioni da adottare in modo efficace e duraturo per riqualificare i trasporti pubblici e privati.

La politica europea dei trasporti procede ormai chiaramente verso una ben precisa direzione: promuovere l'utilizzo di combustibili alternativi, per decongestionare i centri urbani, salvaguardare l'ambiente e garantire quindi alle future generazioni una migliore qualità della vita.

In questo capitolo ci proponiamo di analizzare lo stato dell'arte del parco veicoli mossi da un motore elettrico, alimentato da celle a combustibile che utilizzano l'Idrogeno. Già diverse case automobilistiche hanno dato vita a veicoli prototipi che utilizzano l'Idrogeno come combustibile:

- la MINI Cooper Hydrogen della BMW, mossa da un motore a combustione interna con quattro cilindri che possono essere riempiti direttamente con una miscela criogenica (a bassissima temperatura, per mantenere l'Idrogeno allo stato liquido). Nella MINI è presente, per la prima volta, uno speciale serbatoio preformato, situato al di sotto dei sedili posteriori, che è stato studiato appositamente per non sacrificare spazio ai passeggeri ed ai loro bagagli.

- Da gennaio 2003, negli USA si può acquistare l'HONDA FCX, la prima vettura prodotta in serie alimentata a celle a combustibile. Attualmente sono state consegnate solo 5 vetture alla città di Los Angeles, vendute con una formula di leasing, con la promessa da parte di Honda di sviluppare un primo impianto base per il loro rifornimento. La Honda FCX è dotata di un motore elettrico asincrono AC da 60 kW alimentato da una pila, a celle a combustibile che utilizza come carburante l'Idrogeno gassoso. La vettura è dotata di due serbatoi ad alta pressione capaci di contenere 156.6 litri di Idrogeno e garantire un'autonomia di circa 355 Km . La velocità massima è di 150 km/h

Un freno allo sviluppo di queste macchine è la difficoltà nel rifornimento del combustibile, visto che le stazioni di rifornimento per l'Idrogeno non sono così diffuse, attualmente ne sono presenti solo due in Europa, una ad Amburgo ed una a Monaco, anche se tra qualche settimana dovrebbe aprirne una a Milano. Per questo motivo, una applicazione realizzabile nel breve periodo è quello di utilizzare la tecnologia dell'Idrogeno come combustibile nel parco dei veicoli di trasporto pubblico quali i bus, perché quest'ultimi hanno percorsi fissi e distanze da percorrere ben definite; quindi per un parco di mezzi pubblici è sufficiente un unico distributore al capolinea, ed un pieno di Idrogeno sufficiente a percorrere la tratta desiderata.

Tra i bus a Idrogeno in commercio, anche se a livello di prototipo, ricordiamo quello della Daimler Chrysler, che con la partnership tecnologica della Ballard, ha prodotto anche una versione del suo bus Citaro a celle a combustibile ad Idrogeno. Si tratta di un veicolo da 12 metri che ha una autonomia di circa 200 km ed una capacità di 70 passeggeri. L'unità a celle, che fornisce una potenza di oltre 200 kW , ed i serbatoi di Idrogeno ad alta pressione, a 350 bar , sono montati sul tetto del bus, mentre il motore elettrico, il cambio, la catena cinematica e l'asse di trazione meccanico sono ubicati nella parte posteriore. La velocità massima di esercizio è di 80 km/h . Tre porte senza gradini ed il corridoio completamente ribassato sino nella parte posteriore facilitano il flusso dei passeggeri. Sono stati prodotti 30 esemplari di questo veicolo che circolano dal 2003 in 10 città europee: Amburgo, Amsterdam, Barcellona, Londra, Lussemburgo, Madrid, Porto, ReyKjavik, Stoccarda, Stoccolma. E' stato scritto che tre di questi bus sono stati offerti anche alla Città di Milano; non è noto se l'offerta abbia avuto esito positivo.

Nel mese di maggio 2004, a Torino, il Gruppo Torinese Trasporti, ha messo in circolazione il primo ed unico autobus ad Idrogeno il CityClass Fuel Cell. A Settimo Torinese, sarà completato il primo edificio italiano all'Idrogeno: un palazzo di quattro piani dove ha sede l'Asm, la municipalizzata locale sponsor del progetto, che sarà totalmente autosufficiente e produrrà abbastanza Idrogeno da alimentare anche un distributore per autoveicoli. Il bus a Idrogeno, che nasce da una collaborazione fra Irisbus-Iveco, Sapió, Ansaldo, Enea e

Compagnie Valdotaïne des Eaux sotto la direzione del Gruppo Torinese Trasporti, entrerà fin dal primo giorno in concorrenza con la flotta di bus appena messa in circolazione da Daimler Chrysler. L'idea è quella di avere al più presto una piccola flotta di bus a Idrogeno da utilizzare per le olimpiadi del 2006.

Il CityClass Fuel Cell è azionato da un motore elettrico alimentato dalla cella a combustibile e da un sistema d'accumulatori elettrici.



Fig. 6. CityClass Fuel Cell



Fig. 7. Schema dell'autobus

Caratteristiche tecniche principali:

- Lunghezza/Larghezza/altezza.....11.995/2.50/3.30 m
- Velocità max.....60 km/h
- Autonomia.....12 ore in esercizio
- Massa totale a terra.....19 t
- Motore elettrico di trazione**.....asincrono trifase
- Potenza max.....160 kW a 1500 giri/min
- Coppia max.....1500 Nm fino a 1400 giri/min
- Accumulatori elettrici**Piombo - elettrolita assorbito
- Tensione.....576 V
- Capacità.....55 Ah
- Serbatoi:**N°/capacità.....n° 9 x 140 litri
- Materiale.....acciaio + vetroresina
- Pressione max.....200 bar
- Capacità H₂.....20 kg

- Generatore Cella a combustibile:**Idrogeno
- Potenza netta.....60 kW
- Tensione nominale.....175 V

6. UNA PROPOSTA CONCRETA: REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO PILOTA PER ALIMENTARE AUTOBUS A IDROGENO

Ci siamo soffermati sul CityClass Fuel Cell, in quanto è l'autobus che si è ipotizzato di utilizzare per un impianto realizzabile nel breve termine in Sardegna.

L'Energia elettrica per separare l'Idrogeno dall'acqua nella cella elettrolitica viene prodotta da una turbina eolica di media potenza che può essere installata nell'area industriale di Cagliari. L'Idrogeno prodotto e compresso funge da combustibile per una piccola flotta di autobus per i collegamenti continui e giornalieri tra Cagliari e il Parco Scientifico-tecnologico di Polaris nel comune di Pula.

Dati relativi alle corse dell'autobus indicato:

- corse giornaliere.....5 corse andata e 5 corse ritorno
- chilometri percorsi per ogni corsa (A/R).....2 x 43 km
- litri di gasolio consumati.....34.4 per ogni corsa (86 km)
- consumo giornaliero.....172 litri di gasolio/giorno

Tab 2 Caratteristiche dei combustibili

	Gasolio	Idrogeno
Densità [kg/m ³ _{Std}] a 288.15 K	835	0.084
Potere calorifico inferiore [kJ/kg]	42 698	120 200

Tab 3 Consumo di carburante autobus linea Cagliari-Polaris

Consumo giornaliero di gasolio [litri/giorno]	172
Consumo giornaliero di idrogeno [kg/giorno]	51.12
Consumo annuo di idrogeno [kg/anno]	15 949

Come precedentemente descritto nel paragrafo 3, si può stimare una produzione annua di Idrogeno pari a 50 000 kg per ogni MW eolico di potenza nominale installata; ciò vuol dire che per la produzione dell'Idrogeno necessario a rifornire per un anno il parco autobus in oggetto, sarebbe sufficiente una turbina da 320 kW.

7. IDROGENO DAL VENTO PER IL SETTORE TRASPORTI – PROPOSTA ALTERNATIVA PER SISTEMI ELETTRICI ISOLATI

Attualmente l'Energia eolica rappresenta fra le fonti energetiche rinnovabili quella che possiede il maggior grado di maturità tecnologica e commerciale; in Sardegna, grazie alla conformazione orografica del territorio ed alla buona disponibilità della fonte primaria, gli impianti elettro-eolici hanno una buona prospettiva di sviluppo, nel rispetto dell'Ambiente.

La proposta di produrre Idrogeno dall'Energia eolica ha diversi aspetti positivi: a) promuove la penetrazione delle FER nel mercato dell'Energia in ottemperanza agli obblighi di Kyoto, b) riduce gli effetti della generazione elettrica non programmabile sulla RTN locale, soprattutto per i sistemi elettrici regionali quasi isolati, come nel caso della Sardegna e della Corsica; c) rende al più presto disponibile una quantità significativa di Idrogeno primario perché possa decollare lo sviluppo delle FER nell'utenza mobile, avviando alla soluzione strutturale la riduzione dell'inquinamento urbano.

Lo scenario di sviluppo del parco di generazione elettrica elaborato nel Progetto di Piano Energetico Regionale 2002 [4] e successivamente approvato dalla giunta Regionale, prevede una sensibile penetrazione delle fonti rinnovabili nella generazione elettrica che porterebbe al 2012 alla produzione di circa 5 TWh da fonte rinnovabile, di cui circa quattro da energia eolica ed i restanti da energia solare-termodinamico e da biomassa.

A titolo d'esempio si presenta un calcolo di massima sulla potenzialità di produzione di Idrogeno degli impianti di generazione elettrica eolica in Sardegna.

Un sito eolico generalmente perché possa essere considerato remunerativo deve essere caratterizzato da una producibilità annua per megawatt installato pari ad almeno 2 GWh elettrici; in Sardegna la maggioranza dei siti sede di impianti già realizzati o ancora in fase di progetto supera

sensibilmente questo valore tanto che un valore medio può essere preso pari a 2,5 GWh/MW.

Considerando un rendimento di produzione di H₂ pari a 0,7 per le celle elettrolitiche di grande taglia si può stimare una produzione annua di Idrogeno pari a 50 000 kg_{H2} per ogni MW eolico di potenza nominale installata.

Producibilità media annua sito favorevole	Rendimento generatore Idrogeno	Produzione di Idrogeno a MW eolico installato
GWh/MW	K _{wH2} /kWh _{el}	Kg _{H2} /MW anno
2.5	0.7	50 000

Tab. 4 - Producibilità di Idrogeno per MW eolico installato

La previsione di un parco di generazione eolica di circa 2000 MW nominali installati al 2012 implicherebbe dunque in prima approssimazione, con la producibilità ed il rendimento di elettrolisi adottati, una produzione di Idrogeno annua pari a circa 100*10⁶ kg_{H2}.

Per valutare quale sia la rilevanza di questa cifra si può calcolare che tale quantità di Idrogeno sarebbe sufficiente a far percorrere 20 000 km all'anno a circa 300 000 automobili aventi un indice di consumo di benzina pari a 15 km/litro (Tab.5), supponendo di adattare gli attuali motori per l'alimentazione ad idrogeno; numero che aumenterà grazie all'introduzione della cella a combustibile che può avere rendimento elettrico dell'ordine di 0.50-0.60 ben superiore a quello dei motori a combustione interna; pertanto il parco veicoli alimentabile potrà essere maggiore in prospettiva.

Tab. 5. Consumo annuo di benzina di un parco di 300 000 automobili.

N° automobili	Percorrenza media annua per autoveicolo	Indice di Consumo medio di benzina	Potere calorifico inf. Benzina	Consumo totale annuo di benzina
	km	km/litro	kJ/litro	Kg *10 ⁶
300 000	20 000	15	32 085	300

Le previsioni di crescita delle FER in Sardegna seguono le direttive dell'UE per la quale lo sviluppo delle FER è divenuto uno degli obiettivi di fondo della politica energetica. Infatti la Direttiva della U.E. 2001/77/CE si pone l'obiettivo di raggiungere nel 2010 un contributo del 22% delle F.E.R. al bisogno complessivo di Energia elettrica.

Lo sviluppo dell'Energia eolica previsto per la Sardegna dallo scenario del PERS02 [4], e regolamentato dal sub Piano Eolico [5], prevede un valore massimo di potenza effettiva in rete di 2000 MW; questo limite alle installazioni eoliche è legato, oltre che a questioni di tipo territoriale e paesaggistico, alle dimensioni fisiche della rete regionale e della linea di connessione con la RTN tramite cavi sottomarini con la penisola e con la Corsica. Il valore di 2000 MW effettivi di potenza eolica è compatibile con il programma del GRTN che prometteva un nuovo cavo di connessione di 1000 MW per il 2005-06. Poiché il nuovo programma del GRTN rinvia la connessione da 1000 MW al 2009, la crescita della potenza eolica installata è possibile senza ripercussioni sulla RTN nel caso in cui l'Energia elettro-eolica prodotta non sia più asservita alla messa in rete bensì direttamente utilizzata per la produzione di Idrogeno per via elettrolitica.

8. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Perché l'economia dell'Idrogeno dia un contributo efficace al risanamento dell'ambiente urbano e dell'Ambiente planetario, secondo il Protocollo di Kyoto, l'Idrogeno deve essere prodotto dalle Fonti di Energia Rinnovabili. Perciò si ritiene necessario che gli Enti preposti finanzino la sperimentazione di prototipi a scala industriale di impianti elettro-eolici per la produzione di Idrogeno elettrolitico da FER.

Il costo dell'unità di Energia sotto forma di Idrogeno è maggiore del costo del kWh elettro-eolico, ciò è evidente ed accettabile perché un vettore energetico trasportabile ed accumulabile per le utenze mobili ha un maggior valore aggiunto. Perché la penetrazione nel mercato venga resa possibile in breve tempo è necessario varare con urgenza il *Certificato Verde per l'Idrogeno* da FER, previsto dalla Legge n.239/2004, attribuendogli un valore che copra i maggiori costi dovuti all'elettrolisi ed all'accumulo.

La produzione di Idrogeno compresso mediante impianti elettro-eolici è possibile e può rendere gli impianti eolici svincolati dal gravare sulla RTN; l'uso di tale Idrogeno nei trasporti permette di avviare a soluzione il problema dell'inquinamento delle aree urbane.

Si ritiene che le strutture di ricerca della Sardegna, come le sedi di Polaris, in collaborazione con l'ENEA e con l'Università, possano costituire il luogo adatto per istituire un centro nazionale di ricerca per l'Idrogeno da F.E.R. In questo quadro si inserisce la proposta di realizzare un piccolo impianto eolico per la produzione di Idrogeno per alimentare una linea di autobus Cagliari – Polaris.

Finanziamenti adeguati dovrebbero essere assicurati all'Enea ed all'Università per sviluppare la Ricerca di base su processi termochimici per la produzione di Idrogeno con captatori solari ad alta temperatura, per aprire la strada poi alla realizzazione nel medio-lungo termine di impianti solari di grande potenza per la produzione diretta di Idrogeno.

BIBLIOGRAFIA

1. C. Bernardini – P.G. Mura – “Prospettive della utilizzazione dell'Energia Solare” – Riv.: Critica Tecnica – Anno IV. N. 1/1975- Ordine degli Ingegneri Cagliari.
2. C. Bernardini – P.G. Mura – “Utilizzazione delle fonti di Energia Rinnovabili nelle aree agricole”- Critica Tecnica. Anno IV n. 4/1975 Riv. Ordine degli Ingegneri Cagliari.
3. A. Maccari; M. Vignolini – C. Rubbia-ENEA/TM/PRES/2001-16-25 Agosto “ Progetto di massima di un impianto pilota per la produzione di 2000m³/g di Idrogeno solare basato sul processo UT 3”.
4. Prof. Ing. P.G. Mura, R. Baccoli, U. Carlini, R. Innamorati G. Dessanai, B. Manca, S. Mariotti, - “Progetto P.E.R.S.”/Delibera G. RAS n°15/42 del 28/05/2003-Sintesi edizione CUEC- Quaderni CREAS Anno I n°1.
5. Prof. Ing. P.G. Mura, R. Baccoli, U. Carlini, R. Innamorati G. Dessanai, B. Manca, S. Mariotti, Sub P.E. “Linee di indirizzo e coordinamento per la realizzazione di parchi eolici in Sardegna” /deliberazione n.22/32 del 21/07/2003
6. Celle a combustibile, Marco Noro, Settembre 2003, Dario Flaccovio Editore.
7. Atlante eolico dell'Italia Novembre 2002, CESI, Università degli Studi di Genova, RdS.
8. Edizione telematica di “Ambiente Risorse Salute” Anno 2002.
9. Hydrogen Generation on-site and on-demand, Stuart Energy –Products brochure 2004.