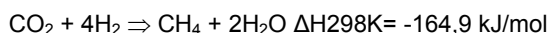


# Accumulo di energia con produzione di metano e assorbimento di CO<sub>2</sub>

IN BREVE

- PROCESSO, APPLICAZIONI, STATO DELLA TECNOLOGIA** - Il progetto *Prometeo* si propone di utilizzare “eccedenze” di energia elettrica da fonti rinnovabili (prodotte in ore di ridotta domanda) per produrre idrogeno elettrolitico (H<sub>2</sub>) che, reagendo con anidride carbonica (CO<sub>2</sub>), viene poi convertito in metano (CH<sub>4</sub>). Al momento della combustione, il metano così prodotto restituisce all’ambiente la CO<sub>2</sub> assorbita nel processo dando luogo ad un ciclo virtualmente esente da emissioni di CO<sub>2</sub>. Esso può essere immesso in rete, usato per alimentare veicoli ad “emissioni zero”, accumulato per successivi utilizzi o anche utilizzato in celle a combustibile di tipo MCFC o SOFC. Il sistema si comporta come un volano energetico ad emissioni zero e si basa su tecnologie mature di immediata disponibilità quali l’elettrolisi e il processo di metanazione. La CO<sub>2</sub> proviene da processi industriali, impianti chimici, impianti di gassificazione del carbone, o anche da impianti di separazione della CO<sub>2</sub> (questi ultimi ancora in fase di sviluppo) installati in impianti termoelettrici.
- PRESTAZIONI & COSTI** - Rispetto alla semplice produzione di idrogeno elettrolitico, il processo *Prometeo* consente, con modesto aggravio di costo dovuto al reattore di metanazione, di assorbire CO<sub>2</sub> e produrre metano che, oltre ad essere ad emissioni zero, può essere utilizzato in dispositivi di uso corrente e non richiede necessariamente, a differenza dell’idrogeno, l’uso di tecnologie avanzate e costose, come ad esempio le celle a combustibile. Il processo utilizza energia elettrica a basso costo (eccedenze notturne) e potrebbe beneficiare dei meccanismi di incentivazione in essere (e.g., certificati verdi) in riconoscimento della produzione di metano ad emissioni zero. Utilizzando ad esempio la produzione notturna di un generatore eolico da 100 kW, il processo è in grado di assorbire 5 Nm<sup>3</sup>/h di CO<sub>2</sub> producendo 5 Nm<sup>3</sup> di metano per ogni ora di esercizio dell’impianto, capaci di alimentare un piccolo autobus a metano (16 passeggeri) per circa 120 km. Considerando il costo dell’elettrolizzatore, l’analisi economica fornisce costi piuttosto elevati del metano prodotto (un minimo di 2 €/m<sup>3</sup>). Tuttavia, l’aggravio di costi rispetto alla sola produzione di idrogeno è modesto e la valenza economica dell’idea alla base del progetto va valutata tenendo conto degli aspetti di flessibilità e diversificazioni legati al processo di accumulo energetico.
- POTENZIALE & BARRIERE** - *Prometeo* si configura come un sistema di accumulo energetico di taglia modulabile in base alle disponibilità di energia elettrica, idoneo per l’integrazione in piccoli sistemi di generazione distribuita. Può essere anche installato presso piccoli impianti industriali o termoelettrici assorbendo (almeno in parte) le emissioni di CO<sub>2</sub>. L’accumulo di metano permette anche di fornire energia elettrica quando richiesto dalla rete contribuendo a ridurre lo sfasamento temporale tra domanda ed offerta tipico delle fonti rinnovabili. Basato su tecnologie commerciali, il processo *Prometeo* offre potenziali applicazioni e sviluppi per quanto riguarda l’accumulo di energia e di idrogeno, l’assorbimento di CO<sub>2</sub>, lo sviluppo di sistemi di trasporto ad emissioni zero, l’uso di celle a combustibile. Il processo ovviamente condivide gli stessi ostacoli e barriere della produzione di idrogeno elettrolitico da fonti rinnovabili (costi economici ed energetici dell’elettrolisi, scarsa disponibilità di eccedenze di energia elettrica da fonti rinnovabili, etc.) ma rispetto a questa offre un prodotto finale più facilmente utilizzabile e quindi vantaggi economici, a parità di emissioni, in termini di *life-cycle analysis*.

**PROCESSO, STATO DI SVILUPPO E PRESTAZIONI** - Il progetto *Prometeo* si propone di utilizzare “eccedenze” di energia elettrica da fonti rinnovabili (prodotte in ore di ridotta domanda) per produrre idrogeno (H<sub>2</sub>) mediante elettrolisi. Aggiunto con anidride carbonica (CO<sub>2</sub>), l’idrogeno viene poi convertito in metano (metanazione) secondo la ben nota reazione esotermica di Sabatier :



Il metano prodotto può essere immesso nella rete gas, usato in veicoli a combustione interna alimentati a metano, accumulato per utilizzi successivi, o anche utilizzato in celle a combustibile di tipo MCFC o SOFC. Se la CO<sub>2</sub> utilizzata nel processo proviene dalla combustione di fossili, la combustione del metano così prodotto è di fatto esente da emissioni di CO<sub>2</sub> e il sistema si comporta come un volano energetico ad emissioni zero. Il processo (Fig. 1) si basa su tecnologie mature e di immediata disponibilità. I dispositivi principali sono l’elettrolizzatore e il reattore di metanazione che utilizza CO<sub>2</sub> ed H<sub>2</sub> per produrre CH<sub>4</sub>. Nessuna delle fasi del processo richiede gravose condizioni operative. La cella elettrolitica può operare a temperatura ambiente con rendimenti anche del 70%. La reazione di metanazione (operante a 2 bar; 300 °C) è leggermente esotermica e quindi non necessita di significativi apporti energetici. Con un rapporto molare di alimentazione idrogeno/metano maggiore di 4, l’efficienza della reazione è dell’ordine del

90% in reattori tradizionali che utilizzano catalizzatori a base di Ru e si approssima al 100% nel caso in cui vengano utilizzate membrane di separazione (in questo caso tuttavia si tratterebbe di componenti non ancora diffusi a livello commerciale). All’uscita del reattore si ottiene una fase gassosa costituita da CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>O, oltre a CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub> che non hanno reagito. Nel processo viene impiegato un separatore gas/liquido per sottrarre l’H<sub>2</sub>O ed un separatore gas/gas (e.g., a membrana) per recuperare l’H<sub>2</sub> che può essere riciclato nel reattore di metanazione. In tal modo, il processo produce una miscela al 90% di CH<sub>4</sub> con 10% di CO<sub>2</sub>. Il progetto *Prometeo* prevede la realizzazione di un impianto dimostrativo con una potenza installata di circa 100 kW e con l’intento di produrre

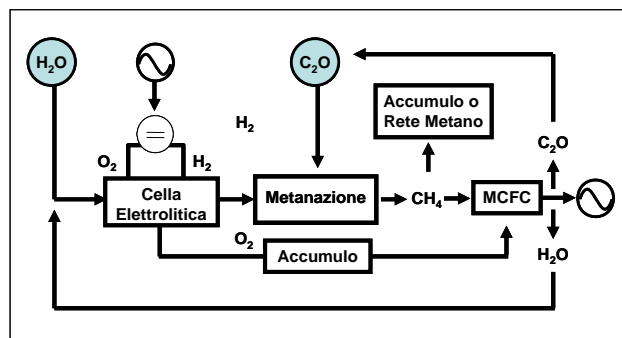


Fig. 1. Schema del sistema *Prometeo*

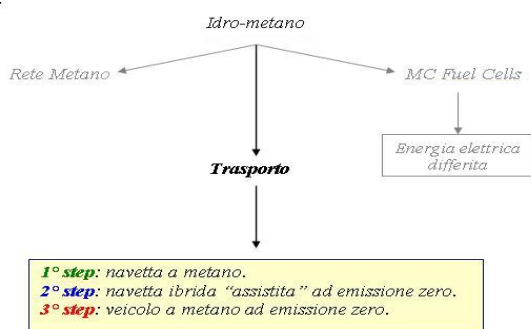
metano per trasporto urbano o da immettere nella rete metanifera, oppure da usare come combustibile per elettrogenazione differita nel tempo. La potenza di 100 kW (che costituisce, nel prototipo, l'eccedenza di produzione) può essere ottenuta con un generatore eolico di potenza e dimensioni contenute oppure da un impianto fotovoltaico o idroelettrico. Con tale potenza un elettrolizzatore di ultima generazione è in grado di produrre circa 20 Nm<sup>3</sup>/h di H<sub>2</sub> (pari a circa 0.24 GJ/h o poco meno di 2 kg H<sub>2</sub>/h) per una vita operativa stimabile in circa 15 anni. In queste condizioni, l'impianto è in grado di produrre circa 5 Nm<sup>3</sup> di metano all'ora sottraendo all'ambiente 5 Nm<sup>3</sup> di CO<sub>2</sub>. Se il metano viene utilizzato per alimentare veicoli a combustione interna destinati al trasporto urbano, per ogni ora di esercizio, l'impianto è in grado di alimentare un bus da 16 passeggeri per una percorrenza di circa 120 km. In alternativa, il metano può essere immagazzinato per alimentare generatori termoelettrici o celle a combustibile tipo MCFC (rendimento 45-50%, temperatura operativa >650°C, vita operativa di circa 50.000 ore) per la produzione di energia elettrica quando richiesto dall'utenza. Nella prima fase, il progetto dimostrativo prevede l'installazione e la messa a punto delle tecnologie industrialmente disponibili per la realizzazione del processo a partire da fonti rinnovabili (generatore eolico e/o fotovoltaico, elettrolizzatore, reattore di metanazione, sistemi di controllo, separazione e stoccaggio del gas) e la realizzazione di un sistema di rifornimento per veicoli a metano per trasporto urbano.

**COSTI** — *Prometeo* si propone, come obiettivo primario, l'uso di eccedenze di energia elettrica (tipicamente da fonte rinnovabile) e il loro accumulo sotto forma di metano che potrà poi essere utilizzato direttamente come combustibile ad emissioni zero o impiegato per la produzione differita di energia elettrica quando richiesto dalla rete. L'analisi dei costi non tiene quindi conto dei costi di investimento dell'impianto di primario di produzione di energia elettrica ma solo del valore della energia elettrica eccedente e del costo dei dispositivi per la sua conversione prima in idrogeno e poi in metano (elettrolizzatore e reattore di metanazione). Una analisi dei costi più favorevole al processo *Prometeo* (che non viene proposta in questa sede) dovrebbe in realtà confrontare i ridotti costi aggiuntivi del processo di metanazione con quelli (elevati) dell'elettrolisi, per dimostrare che, qualora si optasse per un sistema di accumulo basato sull'elettrolisi, sarebbe conveniente convertire l'idrogeno in metano con minimo aggravio dei costi, a fronte dei vantaggi di uso finale che il metano offre rispetto all'idrogeno, il tutto senza aggravio di emissioni. Nella discussione che segue vengono forniti per completezza anche elementi di costo degli impianti di elettrogenazione che potrebbero alimentare il processo *Prometeo*. ■ Le eccedenze di energia elettrica prodotte in ore notturne da impianti *base-load* o da impianti da fonte rinnovabile (eolico), hanno generalmente prezzi contenuti, più prossimi ai costi di produzione, in quanto le tecnologie di accumulo dell'energia elettrica sono scarsamente diffuse con l'unica eccezione degli impianti di idroelettrici di pompaggio, che tuttavia sono presenti soltanto in alcuni paesi e in alcune aree. Il valore economico medio delle eccedenze è stimato nell'ordine di un quinto del prezzo medio di riferimento dell'energia elettrica presso la borsa elettrica (90-100 €/MWh). ■ Il componente più costoso dell'impianto *Prometeo* è l'elettrolizzatore. Il costo di sistemi ad alta efficienza (70-75%) con capacità di circa 4 Nm<sup>3</sup>H<sub>2</sub>/h (unità da 20 kWe) è dell'ordine di 40.000 € per Nm<sup>3</sup>/h (quotazioni "IdroGen2 s.r.l."). Elettrolizzatori con minore efficienza sono disponibili a prezzi non inferiori a 8.000

€/Nm<sup>3</sup>/h (fonte: Hydrogen Appliances®). ■ Per il reattore di metanazione si può stimare un costo di circa 25.000 € per Nm<sup>3</sup>/h con una vita utile di circa 15 anni. I reattori tradizionali utilizzano catalizzatori a base di vari materiali come il Ru, Ni, Pt, Zr etc. e possono utilizzare membrane per spostare la reazione verso una maggiore conversione, a parità di efficienza energetica. Nel caso di *Prometeo* l'uso di membrane di separazione può essere evitato, dovendo produrre una miscela di circa 90% CH<sub>4</sub> e 10% H<sub>2</sub>. ■ Oltre ai componenti principali descritti, a seconda della strategia di esercizio dell'impianto (produzione diretta di metano o stoccaggio intermedio dell'idrogeno), può essere richiesto un sistema di accumulo per l'idrogeno e l'ossigeno prodotti nella fase di elettrolisi. Sistemi commerciali di accumulo dell'idrogeno sono costituiti da serbatoi in pressione il cui costo è circa 14-16 k€/m<sup>3</sup> (quotazione IdroGen2 s.r.l.). Sistemi più innovativi per l'accumulo dell'idrogeno allo stato solido, che potrebbero essere provati nella fase di esercizio di un impianto pilota, sono quelli basati sugli idruri metallici (magnesio), attualmente utilizzati prevalentemente in applicazioni fisse, a causa del peso. Un costo di massima per gli idruri metallici è di circa 60 €/kg. Una quantità di 250 kg garantirebbe un volume di H<sub>2</sub> accumulabile di circa 20 m<sup>3</sup> (circa 5 ore di funzionamento dell'elettrolizzatore a pieno regime) ■ Gli altri componenti dell'impianto pilota (fasci tuberi, serbatoi di accumulo CH<sub>4</sub>, separatori CH<sub>4</sub>/H<sub>2</sub>O a membrana o a condensazione con portata < 100 L/min) sono componenti tradizionali con un peso economico contenuto dell'ordine del 5% dell'investimento totale. ■ L'impianto di elettrogenazione che alimenterebbe il processo non rientra nel computo dei costi di produzione del metano., allo stato attuale sono disponibili sul mercato generatori eolici ad asse orizzontale a costi compresi tra 900 e 1300 €/kW, per potenze superiori a 600 kW, e a costi di 1500-2500 €/kW per potenze dell'ordine del centinaio di kW (generatori minieolici). I sistemi fotovoltaici, più flessibili nella taglia, hanno costi nettamente superiori pari circa 4000-5000 €/kW per potenze dell'ordine dei 100 kW. ■ Nel caso di impiego del metano per la produzione differita di energia elettrica nelle ore di maggior carico della rete (e di maggiore remunerazione della produzione), l'impianto *Prometeo* può considerare sia elettrogenatori a gas di tipo convenzionale (motori e piccole turbine con costi indicativi dell'ordine di 800-1200 €/kW) sia, per fini dimostrativo-sperimentali, celle a combustibile ad alta temperatura (650°C) di tipo MCFC (molten carbonate fuel cells) con rendimento nominale elettrico pari 50-55% (con eventuale accoppiamento con turbine a gas presenti in applicazioni prototipali) e costo indicativo dell'ordine di 6000-8000 €/kW (Ansaldo). I costi di tali sistemi non rientrano comunque nelle analisi di costo del metano prodotto. ■ Nel progetto *Prometeo* si ipotizza l'uso di eccedenze di energia elettrica prodotta da impianti senza emissioni di CO<sub>2</sub>. In considerazione di tale ipotesi il fattore di utilizzazione dell'impianto *Prometeo* è stato assunto pari al 10% nel caso di alimentazione da fonte eolica e pari al 30% nel caso di alimentazione da fonte idroelettrica. Per quanto riguarda i costi di investimento, sono stati considerati i costi dell'elettrolizzatore in base a tecnologia e prestazioni, del reattore di metanazione e di altri componenti minori per un investimento complessivo massimo dell'ordine di 900.000 €. La vita dell'impianto è stimata conservativamente in 15 anni e i costi di manutenzione ed esercizio in circa il 3% del costo di investimento all'anno. Con una capacità dell'impianto di produzione di metano di 5 Nm<sup>3</sup>/h, si ottiene una produzione annua variabile da circa 4400 Nm<sup>3</sup>/anno nel caso di alimentazione da fonte eolica, a 13150 Nm<sup>3</sup>/anno per l'alimentazione da fonte idroelettrica, con assorbimento,

rispettivamente nei due casi, di circa 10 e 30 tonnellate di CO<sub>2</sub> e la produzione (dall'elettrolisi) di 6 e 18 tonnellate di O<sub>2</sub>. Il costo del metano prodotto risulta compreso tra un minimo assoluto intorno ai 2 €/m<sup>3</sup> (fonte idroelettrica con elettrolizzatore a basso costo ed efficienza) e un massimo di 15 €/m<sup>3</sup> (fonte eolica con elettrolizzatore ad alta costo ed efficienza). A tali costi occorre sottrarre il ricavato dell'assorbimento della CO<sub>2</sub> (25-30 €/tCO<sub>2</sub>, valore tipico del mercato europeo dell'emission trading) e il ricavato della vendita dell'O<sub>2</sub> prodotto (15 €/tO<sub>2</sub>).

**POTENZIALE E BARRIERE** - Le fonti rinnovabili presentano una produzione energetica poco flessibile rispetto alla domanda. L'accumulo energetico consente di conseguire un'offerta energetica maggiormente in fase con la domanda. Ciò comporta vantaggi economici per il dimensionamento e il funzionamento complessivo del sistema elettrico (non valutati in questa sede) e vantaggi in termini diversificazione energetica. L'idea alla base del progetto Prometeo presenta un grado di flessibilità maggiore rispetto ad altri sistemi di accumulo energetico in quanto il vettore energetico prodotto (metano) trova applicazione, oltre che nell'elettrogenazione, anche nei trasporti, o in alternativa può essere immesso direttamente nella rete di distribuzione del gas naturale. Se inoltre il metano viene prodotto a partire fonti primarie senza emissioni di CO<sub>2</sub> (es., eolico, idroelettrico) la sua combustione restituisce all'ambiente le emissioni sottratte nel processo di produzione e quindi il ciclo sarebbe virtualmente ad emissioni zero. La Figura 2 illustra in sintesi uno schema esplicativo di tale flessibilità di impiego ed eventuali sviluppi applicativi del progetto dimostrativo Prometeo nel settore dei trasporti. Oltre all'alimentazione di veicoli a metano ad emissione zero, il progetto prevede in prospettiva la prova di veicoli ibridi di tipo plug-in in cui il caricamento delle batterie può avvenire tramite connessione diretta al sistema di elettrogenazione primario (ipotesi di generazione distribuita da fonte eolica) oppure tramite le celle a combustibile MCFC installate nell'impianto Prometeo per la generazione differita di elettricità, fornendo ulteriori elementi di flessibilità al progetto. In una fase successiva, il progetto prevede di affrontare anche la tematica della separazione (e.g., membrane ceramiche) della CO<sub>2</sub>.



**Fig. 2 – Applicazioni dell'idrometano**

La separazione e l'assorbimento di CO<sub>2</sub> hanno grande rilevanza nel progetto Prometeo e possono costituire una ulteriore area di sviluppo del progetto stesso. Ingenti sforzi di ricerca sono attualmente in corso sulla separazione della CO<sub>2</sub> dai combustibili fossili a monte e a valle del processo di combustione (e.g., gassificazione del carbone, cattura e sequestro della CO<sub>2</sub> dai fumi degli impianti di generazione termoelettrica). Queste tecnologie di grande rilevanza industriale (abbattimenti conseguibili dell'ordine del 90%)

sono applicabili in genere soltanto ad impianti di grande scala. Sono anche in fase di sviluppo tecnologie alternative applicabili ad impianti e dispositivi di dimensioni minori. Tra queste, i separatori a membrana (membrane polimeriche o ceramiche) e l'uso di celle a combustibile di tipo MCFC utilizzate come concentratori di CO<sub>2</sub> (il rapporto di concentrazione della CO<sub>2</sub> tra uscita e ingresso della cella è pari a circa 10 ed il rapporto delle portate al catodo ed all'anodo è di circa 7, A. Moreno, S. McPhail; R. Bove JRC-IE "International Status of MCFC technology" January 2008). Questa ultima opzione è di interesse per il progetto Prometeo che già considera l'eventuale uso di MCFC per la produzione d'energia elettrica differita e produce entrambi i gas (O<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub>) necessari per il funzionamento delle celle. Il ruolo delle MCFC come separatrici di CO<sub>2</sub> è in corso di valutazione anche in ambito industriale (ANSALDO Energia) per piccoli impianti da 125 kW con portate dell'ordine di grandezza di quelle di interesse per il progetto Prometeo. L'uso di tali celle nel processo Prometeo potrebbe dar luogo ad ulteriori integrazioni e sinergie che sono attualmente in fase di valutazione. ■ Il progetto Prometeo trova le principali barriere nei costi e nella disponibilità di eccedenze nella produzione elettrica. L'aspetto economico è condizionato dall'elettrolizzatore, il componente più costoso, il cui costo tuttavia dovrebbe subire riduzioni grazie alla diffusione di impianti dimostrativi per la produzione di idrogeno come combustibile nei trasporti. E' inoltre in corso un notevole incremento di impianti eolici che, tra le fonti rinnovabili, si prestano più di altri (eccedenze notturne ed esigenze di accumulo) agli scopi del progetto Prometeo. La validità generale dell'idea (oggetto di brevetto) alla base del progetto Prometeo va valutata tuttavia in un contesto più ampio di quello strettamente economico. La flessibilità e la diversificazione delle applicazioni e degli eventuali usi finali, nel contesto di sistemi con significative componenti di generazione distribuita, vanno valutate in ambiti economici più vasti del solo costo del metano prodotto. Sembra comunque indubbio che ove si optasse per sistemi di accumulo elettrico basati sulla produzione di idrogeno, la successiva conversione dell'idrogeno in metano con assorbimento di CO<sub>2</sub> potrebbe, con un contenuto aggravio di spesa e a parità di emissioni, conferire maggiore flessibilità di impiego al vettore finale ed eventualmente ridurre i costi di investimento del sistema, qualora l'impiego dell'idrogeno fosse associato all'uso di celle a combustibile.

**Riferimenti e Ulteriori Informazioni** - ● F.J. Martin and W.L. Kubic, Green Freedom - A concept for producing carbon-neutral synthetic fuels and chemicals, Los Alamos Report La-UR-07-7897, Nov. 2007; ● Haruhiko Ohya et al., Methanation of carbon dioxide by using membrane reactor integrated with water vapor permselective membrane and its analysis, J. of Membrane Science 131 (1997) 237-247; ● T. Nardo, A.M. Nardo, A. Basile, F. Gallucci, Impianto modulare per l'abbattimento degli inquinanti contenuti nei fumi industriali e costituente il sistema AST-CNR/ITM ad emissione zero per il trattamento dei fumi, Dom. brevetto n. RM2007A000446; ● A. Capriccioli; S.Tosti "Produrre metano con energia rinnovabile", La Chimica & L'Industria "Primo Piano", Ottobre 2008.

**Principali Istituzioni e Operatori** - ANSALDO Energia; Università di Tor Vergata; Associazione "Frascati Scienza"; ENEA; HidroGen2 S.r.L.; Claind S.r.L.



**Tab.1 - Informazioni sulle attività svolte da ENEA**

<p><b>Processi/tecnologie sviluppati da ENEA e motivazione delle scelte</b></p> <p>La tecnologia descritta nel progetto è stata oggetto di domanda di brevetto n. RM2007A000433: "Processo per l'utilizzazione di fonti energetiche rinnovabili mediante conversione di anidride carbonica in metano". Le principali attività di ricerca riguardano progetti finanziati dalla Comunità Europea relativi allo sviluppo di tecnologie a membrana per la separazione di idrogeno ed isotopi. Il gruppo di ricerca coinvolto ha coordinato un progetto finanziato dal MIUR (FIRB n. RBAU01K4HJ) per lo sviluppo di un reformer a membrana per celle a combustibile di tipo polimerico. Per il progetto Prometeo è stata presentata domanda di partecipazione a BIC Lazio 2008. La proposta di attività si articola in applicazioni immediate e sviluppi futuri. ● La prima fase del progetto richiede solamente l'uso di elettrolizzatori e un reattore di metanazione con un costo &lt; 1000 k€ e con l'impegno di tre professionisti e tre tecnici di laboratorio. ● Le fasi successive mirano allo sviluppo di sistemi e tecnologie (accumulo di idrogeno in matrici metalliche; componenti ceramici per la separazione della CO<sub>2</sub>, celle a combustibile) con elevato impatto per il settore trasporto, per gassificazione del carbone e per l'abbattimento delle emissioni di CO<sub>2</sub> dai impianti termoelettrici</p>
<p><b>Realizzazioni e impianti dimostrativi</b></p> <p>Il sistema proposto è stato oggetto di studio di fattibilità e analisi preliminare dei costi. Il progetto prevede la realizzazione e l'esercizio di un impianto dimostrativo da 100 kW con utilizzo di energia elettrica da fonti rinnovabili e l'uso di elettrolizzatori ad alto rendimento (72%) per la produzione di circa 20 Nm<sup>3</sup>/h di idrogeno, con produzione di 5 Nm<sup>3</sup>/h di metano e assorbimento di circa 9 kg/h di CO<sub>2</sub>. L'impianto prevede l'impiego di componenti commerciali che non richiedono ulteriori attività di ricerca e sviluppo. L'impianto pilota può essere adattato a piccole imprese industriali o centri di ricerca.</p>
<p><b>Obiettivi di R&amp;S, risultati conseguiti e attesi da ENEA</b></p> <p>1) Dimostrazione di fattibilità del progetto Prometeo e della produzione di idrometano come sistema di accumulo; 2) Sviluppo delle tecnologie di accumulo/rilascio Idrogeno; 3) Analisi e sviluppo di sistemi di metanazione in reattori a membrana ad altissimo rendimento; 4) Sviluppo sistemi di separazione CO<sub>2</sub> (membrane ceramiche, uso di MCFC). Gli obiettivi 2, 3, e 4 si collocano nella fase di sperimentazione avanzata con obiettivo temporale non inferiore a 3/5 anni.</p>
<p><b>Risorse impegnate in attività di R&amp;S e dimostrazione</b></p> <p>● La prima fase dimostrativa richiede solamente l'uso di elettrolizzatori e un reattore di metanazione con un costo minore di 1000 k€, con impiego di 3 professionisti e 3 tecnici. ● Le fasi successive richiedono 5 professionisti ed un costo di circa 1000 k€.</p>
<p><b>Finanziamenti esterni, collaborazioni, espressioni di interesse per progetti dimostrativi/applicativi</b></p> <p>Espressioni di interesse e possibilità di finanziamento da parte di regione Lazio, Frascati Scienza e Università di Tor Vergata. Possibili finanziamenti da "Industria 2015" (tramite ENEA). Contatti acquisiti e collaborazioni in fase di discussione con l'Università di Tor Vergata, Facoltà di Ingegneria Energetica. Interesse da parte di ANSALDO Energia e CLAIND S.p.A.</p>
<p><b>Brevetti, Pubblicazioni, Citazioni su primarie riviste/publicazioni scientifiche</b></p> <p>● Brevetto "Processo per l'utilizzazione di fonti energetiche rinnovabili per la conversione di Anidride Carbonica in Metano", autori A.Capriccioli, S.Tosti. ● Articolo su rivista "Conversione di anidride carbonica in metano ed utilizzazione di fonti energetiche rinnovabili." Su "La Chimica &amp; L'Industria", Ottobre 2008.</p>

**ANDREA CAPRICCIOLI** è Ricercatore Senior presso il Dipartimento Fusione, Tecnologie e Presidio Nucleare dell'ENEA (CR Frascati), dove è responsabile per le analisi e la modellistica ad elementi finiti per i progetti IGNITOR ed ITER. Nel biennio 2004-2005 è stato responsabile dello sviluppo di un nuovo modello dello stellarator W7-X presso il Max Planck Institute di Greifswald (Germania). In passato è stato responsabile della fabbricazione del combustibile del reattore nucleare CIRENE e dei relativi processi di qualificazione e controllo. Laureato in Ingegneria Meccanica con specializzazione in Bio-Ingegneria, ha lavorato anche nel settore privato presso Ericson e Tecnobionica.



**SILVANO TOSTI** è Ricercatore Senior presso il Dipartimento Fusione, Tecnologie e Presidio Nucleare dell'ENEA (CR Frascati), dove si occupa dello sviluppo e della caratterizzazione di membrane metalliche per la separazione di idrogeno ed isotopi, e della produzione di idrogeno ultrapuro mediante reazioni di reforming. E' stato coordinatore del Progetto FIRB "Propulsore elettrico per la trazione di veicoli: studio di un reformer a membrana per la produzione di idrogeno da idrocarburi" (2004-2007) e Responsabile del progetto "Processi Chimico-Fisici per la Fusione".(1997-2001). Laureato in Ingegneria Chimica (1983) lavora in ENEA come ricercatore dal 1985.

