



Ambasciata d'Italia

CANBERRA

Ufficio dell'Addetto Scientifico

**L'Idrogeno come vettore energetico:
la Ricerca in Australia**

Agosto 2006

*a cura di:
Dott.ssa Chiara Bancone
ing. Nicola Sasanelli*

INDICE

Introduzione pag.1

Capitolo 1

IL CONTINENTE AUSTRALIANO E IL SETTORE ENERGETICO

1.1 Australia pag.2
1.2 Sistema politico-territoriale australiano pag.2
1.3 Il settore energetico pag.3
1.4 Cambiamenti climatici ed energia pag.4
1.5 Fonti di emissione pag.5
1.6 Il quadro dei finanziamenti australiani in ricerca e sviluppo pag.8

Capitolo 2

L'IDROGENO

2.1 L'idrogeno e le sue caratteristiche pag.10
2.2 "Energy carriers": elettricità e idrogeno pag.11
2.3 Come viene prodotto l'idrogeno pag.12
2.4 Utilizzi dell'H₂ pag.14

Capitolo 3

PRODUZIONE DI IDROGENO

3.1. Produzione di idrogeno da combustibili fossili pag.15
 3.1.1 "Steam reforming" del gas naturale pag.15
 3.1.2 Gasificazione del carbone pag.17
 3.1.3 Parziale ossidazione dei combustibili fossili pag.20
 3.1.4 "Hydrocarbon cracking" (cricatura degli idrocarburi) pag.21
 3.1.5 Gasificazione della biomassa pag.22
 3.1.6 "Reforming" solare e termico dei combustibili fossili pag.24

3.1.7 Membrane separatrici	pag.25
3.1.8 Il sequestro di carbonio	pag.26
3.2. Produzione di idrogeno dall'acqua	pag.29
3.2.1 Elettrolisi	pag.29
3.2.2 Fotoelettrolisi	pag.32
3.2.3 Biofotolisi	pag.34
3.2.4 Termolisi	pag.36
3.2.5 Cicli termochimici	pag.37

Capitolo 4

DISTRIBUZIONE DELL'IDROGENO E IMMAGAZZINAMENTO

4.1 Idrogeno gassoso	pag.39
4.1.1 Condotte	pag.39
4.1.2 Immagazzinamento sotterraneo	pag.39
4.1.3 Recipienti a pressione	pag.40
4.2 Idrogeno liquido	pag.41
4.3 Idruri metallici	pag.41
4.4 Nanomateriali al carbonio	pag.43
4.5 Composti ricchi in idrogeno	pag.44

Capitolo 5

GENERAZIONE DI IDROGENO DISTRIBUITO

5.1 Idrogeno distribuito	pag.46
--------------------------	--------

Capitolo 6

UTILIZZO DELL'IDROGENO

6.1 Pile a combustibile	pag.49
6.1.1 Pile a combustibile con membrana di scambio protonico: PEM (Proton Membrane Exchange).	pag.50
6.1.2 Pile a combustibile alcaline : AFC (Alkali Fuel Cell)	pag.51

6.1.3 Pile ad acido fosforico: PAFC (Phosphoric Acid FC)	pag.52
6.1.4 Pile ad ossidi solidi: SOFC (Solid Oxide Fuel Cell)	pag.53
6.1.5 Pile a carbonati fusi: MCFC (Molten Carbonate Fuel Cell)	pag.54
6.1.6 Pile a metanolo diretto: DMFC (Direct Methanol Fuel Cell)	pag.55
6.1.7 Applicazioni nei trasporti	pag.58
6.1.8 Applicazioni portatili	pag.59
6.2 Motori a combustione interna e turbine	pag.60
6.2.1 Motori a combustione interna	pag.60
6.2.2 Turbine	pag.61

Capitolo 7 **“FACILITATING TECHNOLOGIES”**

7.1 Batterie e condensatori	pag.63
-----------------------------	--------

Capitolo 8 **“STANDARDS AND IMPLEMENTATION”**

8.1 Regolamentazioni australiane, codici e standard	pag.65
8.2 Studi sull’approvazione a livello pubblico	pag.66

<i>Riferimenti bibliografici</i>	pag.71
----------------------------------	--------

INTRODUZIONE

Il presente rapporto intende fornire una visione d'insieme della ricerca in Australia nel campo delle fonti di energia rinnovabili e in particolare dell'idrogeno.

La seguente pubblicazione e' costituita da un primo capitolo, all'inizio del quale si illustrano le principali fonti energetiche naturali dell'Australia. La particolare ricchezza di carbone, petrolio e gas naturale giustifica l'attuale politica del Governo Australiano in campo energetico, inclusa la posizione del Paese nei confronti del protocollo di Kyoto.

Il capitolo si conclude con un' esamina della spesa pubblica e privata in ricerca e sviluppo nel campo delle fonti di energia rinnovabili.

Il secondo capitolo tratta le potenzialita' dell'idrogeno come vettore energetico, le diverse modalita' di produzione e il suo utilizzo per produrre energia "pulita".

Gli ultimi capitoli intendono illustrare, attraverso la presentazione dei principali progetti nazionali, lo stato della ricerca e della tecnologia australiana nel campo della produzione di energia dall'idrogeno. Si prendono in considerazione le diverse tecniche di produzione di idrogeno (dai combustibili fossili e dall'acqua), di distribuzione e immagazzinamento (storage), di generazione di idrogeno distribuito. Si analizzano anche i possibili utilizzi, le tecnologie "facilitating" (che facilitano l'uso di idrogeno) e gli standards e le regolamentazioni in materia gia' esistenti ed eventualmente da approfondire e integrare.

Il documento ha lo scopo di informare i ricercatori italiani dello stato della ricerca australiana nel settore dello sfruttamento dell'idrogeno come vettore energetico al fine di stimolare una maggiore cooperazione scientifica e tecnologica bilaterale.

Capitolo 1

IL CONTINENTE AUSTRALIANO E IL SETTORE ENERGETICO

1.1 AUSTRALIA

L'Australia e' un paese estremamente vasto, scarsamente popolato e ricco di risorse naturali, tra le quali vi sono il carbone (hard and brown), il gas naturale, il petrolio, l'uranio, la bauxite, il minerale ferroso, il rame, l'oro, il nichel e lo stagno.

E' il sesto paese piu' esteso al mondo, con una superficie equivalente a quella dei 48 stati contigui degli Stati Uniti d'America e circa il 50% piu' vasto dei 25 stati costituenti l'Unione Europea. Basti pensare, infatti, che mentre il continente australiano ha una superficie quadrata di circa 7.6 milioni di km², l'Europa ha una superficie quadrata di circa 3.9 milioni di Km² e gli Stati Uniti d'America di 9.2 milioni di Km².

L'Australia ha una popolazione di 20 milioni di abitanti e la densita' di popolazione e' pari a 2.6 persone per km², il piu' basso dei valori di densita' dei paesi dell'OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development) e uno dei piu' bassi al mondo.

La popolazione e' principalmente concentrata sulla costa orientale e sud-orientale; meno abitata e' la costa occidentale, mentre solo poche persone vivono nel centro arido del paese.

Gran parte del continente e' desertica o semi-arida con circa il 40% della terra ricoperta di dune sabbiose. Esclusivamente le estremita' sud-orientale e sud-occidentale hanno un clima temperato e suoli abbastanza fertili.

La parte settentrionale del Paese, invece, e' caratterizzata da un clima tropicale e il paesaggio e' prevalentemente costituito da foreste, praterie e deserto.

La Grande Barriera Corallina, la piu' lunga al mondo, si trova a nord-est e si estende per piu' di 1200 chilometri.

Le precipitazioni sono altamente variabili, con frequenti periodi di siccita' che possono durare anche parecchie stagioni.

1.2 SISTEMA POLITICO-TERRITORIALE AUSTRALIANO

L'Australia e' un Paese Federale con un Governo del Commonwealth, costituito da sei Stati e due Territori. I sei Stati sono: New South Wales, Victoria, Queensland, South Australia, Western Australia e Tasmania, mentre i due Territori sono l' Australian Capital Territory e il Northern Territory.

Il Parlamento Federale bicamerale e' formato dal Senato e dalla Camera dei Deputati .

La Costituzione australiana ripartisce il potere tra il Commonwealth e i singoli Stati.

Per quanto riguarda il settore energetico, il primo e' responsabile delle entrate e delle imposte, del commercio interstatale ed estero, degli investimenti all'estero, delle negoziazioni, della ratifica e dell'adesione a trattati internazionali.

Gli Stati, invece, hanno la responsabilita' principale della produzione di energia, dei trasporti, dell'utilizzo della terra, delle risorse minerarie e delle valutazioni di carattere ambientale.

Tutte le risorse che vengono trovate all'interno del territorio di uno degli Stati vengono considerate proprieta' dello Stato stesso e tutti i poteri e i compiti non esplicitamente assegnati al Commonwealth ricadono sui singoli Stati.

Negli ultimi dieci anni si e' assistito ad una considerevole crescita economica del paese. Dal 1993 al 2003, infatti, il prodotto interno lordo australiano e' cresciuto con un tasso annuale medio pari al 3.9%, mentre il tasso di crescita del PIL in Giappone e' risultato essere pari a 1.2%, a 3.2% negli Stati Uniti d'America e a 1.8% nei 15 paesi dell'Unione Europea.

1.3 IL SETTORE ENERGETICO

Il settore energetico ha giocato un ruolo fondamentale nella crescita economica australiana. L'utilizzo delle grandi risorse energetiche ha permesso al paese di disporre di energia a basso costo e di poter ricavare proventi anche dalla sua esportazione.

L'Australia guadagna, infatti, piu' di 24 miliardi di dollari australiani all'anno grazie all'esportazione di energia sotto forma di carbone, gas naturale, petrolio, prodotti del petrolio e uranio (dati forniti dell'Australian Bureau of Agricultural and Resource Economics ABARE 2004).

La grande disponibilita' di energia, inoltre, risulta fondamentale per lo sviluppo di industrie chiave dell'economia del paese, quali quelle legate alla produzione di alluminio, cemento, acciaio e carta. Inoltre, non e' da trascurare un altro aspetto importante che e' quello legato al tasso di occupazione: nel settore energetico, infatti, trovano lavoro piu' di 120.000 australiani.

Le fonti energetiche nazionali provvedono al rifornimento di energia "stazionaria" (come l'elettricit  e il gas), di energia necessaria per i trasporti (principalmente il petrolio) e per l'esportazione.

Le attivita' all'interno del settore sono varie e differenti, molte sono quelle legate alla fase di identificazione e sfruttamento delle risorse primarie come il carbone, il gas, il petrolio e l'uranio, cosi' come di quelle rinnovabili (ad esempio l'energia idroelettrica, eolica, l'energia solare e la biomassa).

Gli Australiani consumano circa 50 miliardi di dollari australiani (circa 30 miliardi di euro) di energia all'anno; enormi sono gli investimenti a lungo termine che vengono fatti nel settore per la costruzione di centrali elettriche e per il trasporto di energia, e di strutture per la produzione di gas e petrolio, oleo e gas-dotti, raffinerie, impianti per lo sfruttamento dell'energia eolica e una moltitudine di strutture minori. Mentre, per quanto riguarda l'importazione, l'Australia importa energia per un valore di circa 9 miliardi di dollari australiani all'anno, l'80% dei quali viene speso per il petrolio.

Nel 2000-01 (fonte IEA/OECD) la produzione primaria di energia nazionale (circa 15.237 pj) era costituita per il 60% da combustibili fossili (50% carbone e 10% petrolio), per il 30% da uranio e circa per l'8% da gas naturale. Inoltre, sempre nel 2000-01, il consumo nazionale per la produzione di energia elettrica si attestava su circa 2173 pj, così ripartita per fonti primarie: carbone 77,2%; petrolio 1,3%; gas naturale 12,6%; idroelettrico 8,1%; rifiuti e biomassa 0,8%.

Negli ultimi trenta anni la quantità di energia totale utilizzata in Australia è cresciuta di un valore pari a circa il 2,6% all'anno, dato che viene confrontato con il tasso di crescita economica annua equivalente al 3,2%. Nel 2000-2001 il consumo totale è risultato essere pari a 5037 petajoules (PJ). L'ABARE ha calcolato che il consumo australiano di energia primaria è destinato a crescere con un tasso medio annuo pari al 2,1%.

La produzione e l'uso di energia sono i due settori che maggiormente contribuiscono alle emissioni mondiali di gas serra.

Anche le emissioni legate al trasporto sono una fonte significativa di inquinamento atmosferico. Pertanto le iniziative e i progetti in campo energetico si ripercuotono sulla qualità dell'aria e dell'acqua, sulla biodiversità e sui livelli di inquinamento acustico e devono, di conseguenza, essere gestite con accuratezza e lungimiranza.

La domanda energetica australiana è destinata a crescere del 50% entro il 2020, anno in cui è stato stimato che saranno necessari investimenti di almeno 37 miliardi di dollari australiani per soddisfare i bisogni della nazione.

Gli obiettivi del Governo Federale sono quindi assicurare l'accesso al bene "energia" a prezzi competitivi, ottimizzare il valore delle fonti energetiche e riuscire a gestire nel migliore dei modi le problematiche di carattere ambientale connesse al settore.

1.4 L'EFFETTO DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SULL'ECONOMIA AUSTRALIANA

I cambiamenti climatici legati alle attività dell'uomo sono tra i problemi principali e più gravi del ventunesimo secolo.

Le emissioni di gas serra tendono ad innalzare le temperature globali, comportando una serie di effetti deleteri per il pianeta, tra i quali l'aumento di incendi, alluvioni, inondazioni e tempeste violente. In assenza di interventi decisi, le emissioni globali di questi pericolosi gas sono destinate a crescere enormemente.

Gli scienziati sono tutti della stessa opinione: per evitare pericolosi cambiamenti climatici risulta necessario ridurre le emissioni di gas serra.

Analisi effettuate dal "Intergovernmental Panel On Climate Change" indicano che bisognerebbe abbassare ogni anno del 60% le emissioni globali fino al 2100 per evitare di raggiungere livelli di gas serra in atmosfera superiori al doppio di quelli che c'erano nell'epoca pre-industriale.

Un cambiamento del genere richiede infrastrutture specifiche e del tempo per studiare e introdurre nuove tecnologie. La sostanziale riduzione delle emissioni in atmosfera non sarà comunque sufficiente a evitare cambiamenti climatici, peraltro già in corso.

In particolare, il continente australiano è soggetto a fenomeni di siccità per la sua collocazione geografica subito al di sotto della cintura subtropicale di alta pressione, a causa della quale si crea nell'intero territorio una zona di aria stabile e secca.

Negli ultimi anni l'Australia è stata investita da fenomeni di siccità più frequenti e più severi, dovuti, in base a quanto dedotto dalle ricerche realizzate all'interno del principale centro di ricerca nazionale CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Organisation), agli effetti dei cambiamenti climatici causati dai gas serra.

Dal 1990 la periodicità dei fenomeni di siccità ha indotto il Governo di Canberra a considerare tale evento parte integrante del clima australiano; a causa di ciò gli interventi finanziari pubblici a favore dei produttori agricoli danneggiati dalla siccità vengono attualmente previsti esclusivamente in caso di calamità naturali.

Volendo tracciare un quadro degli effetti della siccità sul sistema economico australiano, si può affermare che, in base ai dati dell'Australian Bureau of Statistics, l'ultima manifestazione del fenomeno naturale è costata al settore agricolo il 71.6% dei suoi introiti, con una riduzione della crescita economica nazionale pari circa all'1%. La produzione agricola nell'anno finanziario 2001-02 ha registrato un fatturato di 22.119 milioni di dollari australiani (ovvero il 2.3% del PIL nazionale), mentre nell'anno 2000-01 esso è stato di 21.647 milioni di dollari (3.2 % del PIL). Inoltre, l'area nazionale destinata all'attività agricola è diminuita dai 462.2 milioni di ettari del 1997 (ovvero circa il 60.1% dell'area nazionale) ai 447 milioni di ettari del 2002 (ovvero circa il 58.1% dell'area nazionale).

Dal 1965 il Bureau of Meteorology ha attivato il *Drought Watch Service*, un servizio dedicato al monitoraggio della siccità che, tramite la misura giornaliera delle precipitazioni su rete nazionale, studia le relazioni esistenti tra la mancanza di precipitazioni e la severità della siccità. Il Bureau, inoltre, partecipa e contribuisce ai programmi mondiali di monitoraggio del clima all'interno della World Meteorological Organization (WMO).

L'economia australiana dipende in misura rilevante dal settore agricolo, al punto che nei casi di grave siccità, l'intero sistema economico risente delle conseguenze negative. L'agricoltura e l'allevamento sono ovviamente i primi settori a subire gli effetti della siccità, fonte altresì di un danno ambientale generato dalla perdita di vegetazione e dell'erosione del suolo, che a loro volta producono effetti deleteri irreversibili.

Il fenomeno della siccità comporta anche due ulteriori conseguenze: la prima comprende gli effetti sulle industrie "a valle" del settore agricolo, quali i trasporti, le vendite all'ingrosso e la produzione di beni derivati dall'agricoltura; la seconda gli effetti multipli generati dal ridotto valore della produzione agricola e delle industrie ad essa collegate.

1.5 FONTI DI EMISSIONE

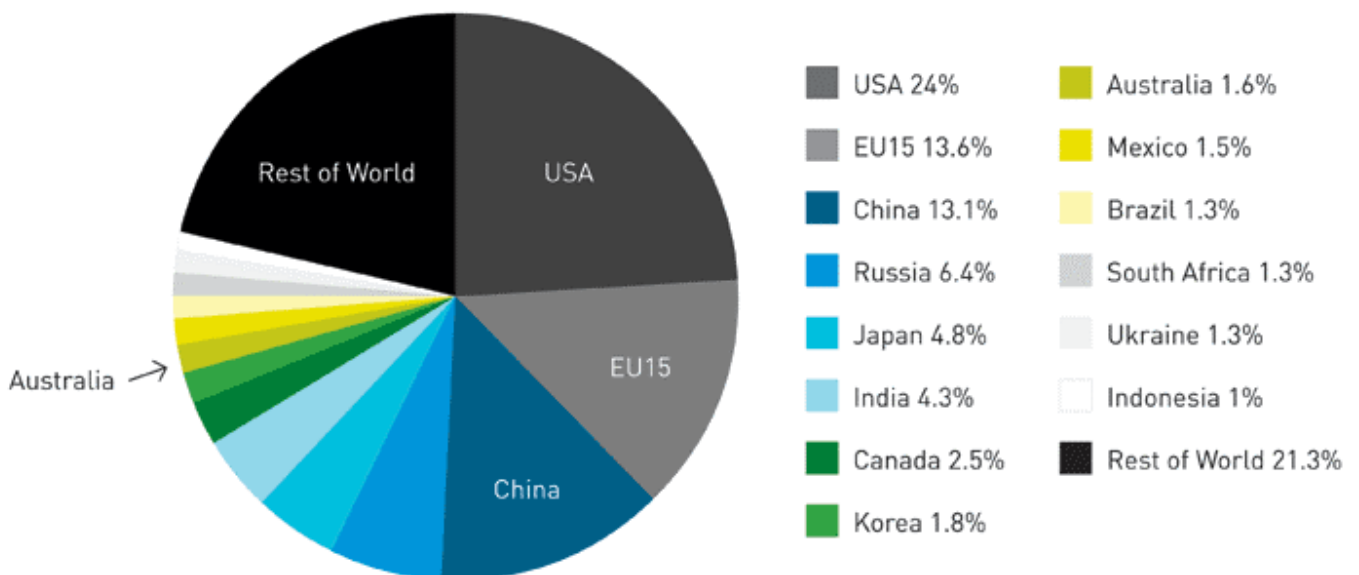
Le emissioni dei gas serra provengono da una serie di fonti e attività. Dal momento che non esistono dati totali e precisi relativi alle emissioni in atmosfera di molte nazioni, risulta piuttosto complicato avere un quadro della situazione globale. Ad ogni modo, è

possibile fare alcune osservazioni generali che rendono l'idea della politica effettuata dall'Australia.

La prima considerazione riguarda la produzione e il consumo di energia che costituiscono una grande fonte di emissioni. Una stima effettuata dal World Resources Institute rivela che il 60% circa delle emissioni globali del 2000 e' legato al rilascio di biossido di carbonio conseguente all'uso di energia.

La seconda e' che un numero ridotto di nazioni, basti pensare a quelle costituenti l'Unione Europea, e' responsabile di una grande quantita' di emissioni in atmosfera. Sempre basandosi sulle stime effettuate dal World Resources Institute (WRI), solo Stati Uniti, Unione Europea, Cina, Russia, Giappone e India risultano essere responsabili di quasi la meta' delle emissioni globali (rilasciate in totale in atmosfera) e di quasi 2/3 dell'anidride carbonica totale derivante dall'utilizzo di energia.

Shares of global energy based CO2 emissions, 2001



Dal momento che nei paesi meno sviluppati, come l'India e la Cina, si sta registrando una crescita economica significativa, le emissioni da parte di queste nazioni sono destinate a aumentare enormemente nei prossimi 20/30 anni. Non solo, ma le emissioni totali rilasciate dai paesi meno sviluppati, che non hanno target di tipo quantitativo e che non sono vincolati dal Protocollo di Kyoto, sono destinate a superare in breve tempo quelle dei paesi industrializzati. E' evidente che, perche' risulti efficace, un provvedimento di tipo globale dovrebbe colpire tutti i paesi che emettono maggiori quantitativi di gas inquinanti.

Per quanto riguarda il continente australiano, esso contribuisce per l'1.6% (come si puo' notare osservando la figura sopra riportata) alle emissioni mondiali di biossido di carbonio, legate all'uso di energia. Eventuali variazioni nel "profilo energetico

australiano”, non apportano alcuna sostanziale modifica a livello globale nelle emissioni totali. Soltanto in comune accordo con gli altri paesi, seguendo una strategia comune per la riduzione dei quantitativi di gas inquinanti rilasciati in atmosfera, si potrebbe intervenire arginando i cambiamenti climatici.

Le emissioni dell’Australia provengono da una grande varietà di fonti. Facendo riferimento, ad esempio, a dati relativi all’anno 2002, la produzione e l’uso di energia sono stati i settori responsabili del rilascio in atmosfera di gas inquinanti per il 68% delle emissioni totali (con la produzione di elettricità che contribuisce per il 33% e il trasporto di energia per il 14% del totale nazionale).

L’agricoltura nel 2002 ha contribuito per il 19%, mentre il restante 13% delle emissioni è stato rilasciato a seguito di cambiamenti nel modo di utilizzo della terra e delle foreste, dai processi industriali e di smaltimento dei rifiuti.

Le emissioni correlate a settori non-energetici, presentano invece tra il 1990 e il 2002 una tendenza a decrescere dovuta alla diminuzione di emissioni legate all’utilizzo del territorio. In compenso, quelle legate al settore energetico sono in continua crescita se si prende in considerazione lo stesso periodo.

Inevitabilmente la sottoscrizione di trattati che prevedano un significativo abbattimento dei gas serra deve necessariamente cambiare il modo in cui viene prodotta e utilizzata l’energia.

Secondo studi attuali, il tasso di emissioni legato alla produzione e all’utilizzo di energia è destinato a crescere del 72% entro il 2020. Le emissioni del settore energetico australiano riflettono sia il “fuel mix” del Paese, che la sua struttura economica e lo stile di vita: la generazione di elettricità avviene prevalentemente grazie alla combustione di carbone; uno dei settori principali dell’economia del continente australiano è proprio quello legato alla produzione di energia ai fini dell’esportazione e, infine, l’uso e la domanda dell’elettricità crescono rapidamente.

Il Governo Australiano rimane inflessibile nella sua determinazione a non voler firmare il Protocollo di Kyoto, adducendo a giustificazione la mancanza di limiti nelle emissioni di gas da parte dei paesi in via di sviluppo (Cina e India), considerati dal Governo di Canberra i maggiori produttori di gas serra.

Come già trattato nei paragrafi precedenti, la dipendenza dell’Australia dal carbone (77,2%) e dai combustibili fossili in generale (91,1%) per la produzione di energia elettrica giustifica la posizione contraria alla firma del Protocollo di Kyoto da parte del Governo Federale.

L’opinione pubblica è divisa sulla posizione assunta in proposito dal Governo australiano, soprattutto dopo l’orientamento della Russia favorevole alla ratifica del Protocollo di Kyoto. Ci si chiede se sia giusto continuare a sostenere una posizione contraria al Protocollo in cambio di un vantaggio a breve termine. Il rischio è di perdere di vista la salvaguardia dell’ambiente e di avere in futuro ingenti perdite economiche legate soprattutto al fenomeno della siccità. Inoltre, l’assenza dell’Australia dal Protocollo di Kyoto danneggia le stesse imprese australiane desiderose di investire nelle fonti di energia rinnovabili, escludendole dai sistemi di crediti ed incentivi previsti dallo stesso. È per quest’ultima ragione che non esiste una politica specifica in Australia tesa a promuovere e valorizzare le fonti di energia rinnovabili.

Solo nel gennaio 2001, a seguito di un intenso dibattito e di un accurato processo di analisi, il Primo Ministro annuncio' la creazione di un programma integrato di fondi per la scienza e l'innovazione chiamato "Backing Australia's Ability" (BAA).

Il Backing Australia's Ability fornisce un investimento addizionale da parte del governo complessivamente di 8 miliardi di dollari australiani, per un arco di tempo che va dal 2001 al 2011, per una serie di programmi di tipo scientifico e nel campo dell'innovazione tecnologica, settore nel quale rientrano anche le fonti rinnovabili.

1.6 IL QUADRO DEI FINANZIAMENTI AUSTRALIANI IN RICERCA E SVILUPPO

Sulla base delle considerazioni relative all'impatto dell'uso e produzione di energia sulle emissioni di gas serra, gli obiettivi del Governo Australiano si sintetizzano in:

- 1-fare in modo che ci sia accesso sicuro all'energia con un prezzo che venga fissato in maniera concorrenziale;
- 2-ottimizzare il valore delle fonti di energia;
- 3-gestire nel migliore dei modi i problemi a carattere ambientale, allo scopo di utilizzare un approccio integrato che tenga conto degli obiettivi in campo energetico del Governo, della sicurezza e della sostenibilita'.

In Australia la piu' grande fonte di energia e' rappresentata dai combustibili fossili: petrolio, carbone nero, gas naturale e carbone marrone, che soddisfano rispettivamente il 35%, il 28%, il 19% e il 13% del fabbisogno di energia primaria. Attualmente le fonti rinnovabili forniscono solo il 5-6% dell'energia, anche se si prevede in futuro che l'utilizzo di gas naturale e di fonti rinnovabili per la produzione di elettricita' crescerà in modo rilevante, in particolare, l'impiego dell'energia eolica e solare aumenterà significativamente nei prossimi 20 anni. Tuttavia, il carbone e il petrolio continueranno a essere ancora per molto tempo le principali fonti utilizzate, mentre, per quanto riguarda l'uranio, risorsa importante per l'Australia che detiene circa il 30% delle risorse mondiali, esso non viene usato come fonte di energia ma viene totalmente esportato. Il 40% dell'energia primaria viene utilizzato per produrre elettricita'; il carbone, in particolare, nel 2000-2001 ha prodotto il 78% dell'elettricita'.

Come già detto, non risulta facile identificare il finanziamento pubblico e privato destinato all'attivita' di ricerca e sviluppo sulle nuove tecnologie per lo sfruttamento energetico dell'idrogeno. Solo di recente l'Australia, paese ricco di fonti energetiche fossili, ha iniziato ad investire nelle settore complessivo delle energie rinnovabili. Nel 2002 la spesa nazionale in ricerca e sviluppo e' stata di circa 7,8 miliardi US\$, dei quali circa 3.6 miliardi US\$ sono stati forniti dalle imprese private, circa 3.5 miliardi US\$ dal settore pubblico e circa 600 milioni da altre fonti. Per quanto riguarda l'attivita' di ricerca e sviluppo nel settore energetico, nel 2002 l'Australia ha speso circa 353 milioni di dollari US (470 milioni di dollari australiani), ovvero il 2.8% della spesa nazionale. Tale spesa e' sostenuta per circa il 70% dal settore privato.

In particolare, gli investimenti nel settore “Ricerca e Sviluppo” effettuati nel campo dell’energia rinnovabile sono stati pari nel 2002 a 65 milioni di dollari australiani, ovvero al 14% circa della spesa totale in R&D per quanto concerne il settore energetico.

Tali fondi sono stati destinati per il 53.6 % alle attività di sviluppo sperimentale, per il 36.8% alla ricerca applicata e per il 9.7 a quella di base.

Rilevante è il confronto con la spesa destinata all’estrazione di materie prime che ammonta, sempre nel 2002, a circa 227 milioni di dollari australiani, ovvero circa il 48% del totale.

Il principale programma del Governo Federale, “Mandatory Renewable Energy Target”, fornirà fino al 2020, incentivi per più di 2 miliardi di dollari australiani da investire nelle energie alternative.

Inoltre, il Governo Australiano ha stanziato 134 milioni di dollari in progetti finalizzati all’abbattimento delle barriere che finora hanno reso difficile e hanno limitato l’utilizzo delle fonti rinnovabili.

I fondi sono così suddivisi:

- 100 milioni di A\$ vengono investiti, distribuiti nell’arco di 7 anni, per promuovere strategie di sviluppo delle tecnologie applicate all’uso dell’energia rinnovabile, nei sistemi e processi che hanno rilevanza commerciale;
- 20 milioni di A\$ vengono usati per promuovere lo sviluppo di avanzate tecnologie di “storage” dell’elettricità, incluse batterie, “storage” elettromeccanico e chimico e lo sviluppo di tecnologie per l’utilizzo di energia rinnovabile, inclusa quella eolica e solare.
- 14 milioni di dollari sono stanziati al fine di sviluppare e installare sistemi che permettano previsioni a lungo termine sull’energia eolica. Tali sistemi faciliteranno una maggior penetrazione del settore eolico nel mercato energetico.

Inoltre, il Governo Australiano intende introdurre misure significative per promuovere le tecnologie a basso tasso di emissione, investendo:

- 500 milioni all’interno del Fondo per lo Sviluppo di Tecnologie a Basse Emissioni (Low Emission Technology Development Fund) che serviranno a sviluppare e promuovere le nuove tecnologie.
- 75 milioni per il collaudo delle “Solar Cities” (Città solari), per ottimizzare lo sfruttamento dall’energia solare, per aumentare l’efficienza dei sistemi già esistenti e stabilire criteri per determinarne il prezzo sul mercato.
- 230 milioni per continuare a sostenere tutti i progetti sull’abbattimento dei gas serra.

Complessivamente, il Governo Australiano ha investito attraverso l’ “Energy White Paper” e il Budget 2004-2005 più di 700 milioni di dollari con lo scopo di consolidare le tecnologie per l’abbattimento delle emissioni, portando il capitale investito in totale a 1 miliardo di dollari australiani.

Capitolo 2

L'IDROGENO

2.1 L'IDROGENO E LE SUE CARATTERISTICHE

L'idrogeno (H_2) è il primo elemento della tavola periodica, il più semplice degli elementi noti all'uomo e il più abbondante nell'universo (basti pensare che le stelle sono essenzialmente costituite da H_2). Ogni atomo contiene unicamente un elettrone e un protone.

L'idrogeno in forma molecolare, H_2 , si presenta in condizioni normali come un gas incolore e inodore; non si decompone, non è tossico, né cancerogeno.

Gli alti valori di diffusività in aria e l'alta temperatura di ignizione fanno sì che l'idrogeno non si autoaccenda né dia luogo a detonazioni in aria aperta. Inoltre, esso non è corrosivo, seppure, a causa dell'alta affinità col carbonio presente negli acciai, possa dare luogo a fenomeni di "embrittlement", minandone la struttura metallica.

Sulla Terra l'idrogeno non esiste come gas (H_2), ma si combina con altri elementi, principalmente ossigeno (O_2) e carbonio (C). Se si lega all'ossigeno esso forma la molecola d'acqua, con il carbonio, invece, può dare origine a diversi composti come il metano (CH_4), il carbone e il petrolio.

È presente in tutti gli esseri viventi –biomassa- e possiede il più elevato contenuto energetico rispetto a ogni altro combustibile se rapportato al peso atomico, ma il più basso se rapportato al volume. È l'elemento più leggero e si trova sotto forma gassosa già in condizioni normali di temperatura e pressione.

L' H_2 rappresenta una valida soluzione alla necessità di ridurre le emissioni di gas tossici in atmosfera e la possibilità di avere energia "pulita" e un futuro "verde".

La prospettiva di un'economia basata sull'idrogeno porta con sé la promessa di una sostanziale riduzione delle emissioni inquinanti in generale, e di gas serra in particolare, associate al consumo di energia in tutti i settori dell'economia.

Nonostante i molti aspetti positivi, sussistono comunque dei problemi legati all'impiego di questo elemento: 1) per poter essere utilizzato, H_2 deve essere estratto perché, come già detto, si trova sempre legato ad altri elementi; 2) la miscela con l'ossigeno presente in atmosfera è esplosiva; 3) è un gas altamente fugace che necessita metodi di stoccaggio appropriati.

Sebbene le tecnologie attuali offrano parecchi procedimenti differenti per produrre, conservare e utilizzare l'idrogeno, questi sono stati sviluppati principalmente per applicazioni in ambiti industriali per cui l'impiego di idrogeno, considerato come materia prima, risulta economico in quanto il costo di quest'ultimo è internalizzato nel costo del prodotto finito.

I limiti correnti all'utilizzazione dell'idrogeno come vettore energetico riguardano i livelli di competitività con i combustibili tradizionali di origine fossile in termini di costo, performance e sicurezza.

Questi limiti, al contempo, giustificano e sono giustificati dall'assenza di un'infrastruttura adeguata per la generazione, trasmissione, stoccaggio e distribuzione dell'idrogeno agli utenti finali

2.2 “ENERGY CARRIERS”: ELETTRICITA’ E IDROGENO

La maggior parte dell’energia che utilizziamo attualmente proviene dai combustibili fossili, solo il 6% circa, come già’ detto in precedenza, proviene da fonti rinnovabili, piu’ “pulite” e rigenerabili in un breve periodo di tempo.

La produzione di energia da fonti rinnovabili è limitata da risorse primarie – come il sole e il vento – a carattere intermittente e/o distribuzione geografica irregolare e spesso poco favorevole in termini di distanza dalle utenze finali (citta’, complessi industriali etc.)

Le fonti secondarie, denominate vettori energetici o “**energy carriers**”, sono funzionali alla trasmissione, immagazzinamento e distribuzione di energia alle utenze finali, dove questa viene trasformata nei diversi servizi (illuminazione, riscaldamento, mobilita’, potenza motrice, etc.).

L’elettricitá’, generata da diverse fonti primarie (fossili, rinnovabili ed assimilate come i rifiuti urbani), è una fonte secondaria di energia, estremamente versatile che contribuisce alla fornitura di una vasta gamma di servizi energetici per mezzo di svariate tecnologie di utilizzo finale (dalla lampadina, ai motori elettrici ed alle resistenze dissipative, fino a sistemi complessi come elettrodomestici e macchine industriali basate su queste tecnologie).

Questa versatilita’ fa si’ che l’energia elettrica copra una frazione sempre crescente dei servizi energetici in tutti i settori dell’economia, dal residenziale al terziario, dal commercio all’industria. I limiti posti dal costo di tecnologie e metodi di stoccaggio dell’energia elettrica ne riducono pero’ l’applicazione nei settori del trasporto al solo trasporto ferroviario e, in misura inferiore, alle altre forme di trasporto pubblico su strada (tram, filobus) o speciali (metropolitane, funivie e teleferiche).

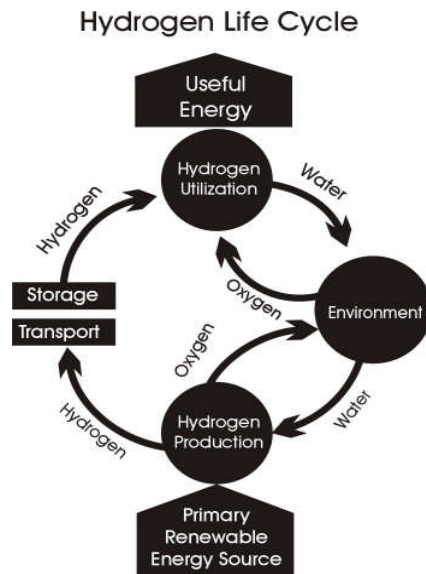
Al pari dell’elettricitá’, l’idrogeno molecolare H_2 è un vettore energetico, la cui produzione puo’ avvenire a partire dalle piu’ svariate fonti primarie di energia (e di idrogeno) e l’uso del quale comporta impatti ambientali pressoché’ irrilevanti.

Il legame idrogeno rappresenta una forma di stoccaggio di energia per via chimica, caratteristica che lo rende un’ attraente alternativa ai tradizionali combustibili di origine fossile che dominano oggi la fornitura di energia ai vari settori del trasporto.

Seppure lo stoccaggio di sufficienti quantita’ di idrogeno a bordo di veicoli rappresenti ancora, per via delle caratteristiche fisiche dell’idrogeno, una sfida tecnologica, l’intrinseca capacita’ di immagazzinare l’energia a lungo e medio termine, senza incorrere in significative perdite, dá’ luogo all’idea di un mercato dell’energia futuro in cui l’idrogeno si affianchi all’elettricitá’. Sarebbe possibile, in tal modo, fornire una piu’ ampia gamma dei servizi energetici per mezzo di due vettori “puliti”.

Lo sviluppo di un’infrastruttura energetica basata su H_2 come vettore energetico principe per la trasmissione su larghe distanze e lo stoccaggio di energia, in combinazione con l’energia elettrica a livello di distribuzione all’utenza finale, permette inoltre l’adozione su larga scala di sistemi basati sulle fonti rinnovabili e la riduzione della dipendenza dalle fonti di origine fossile.

Nella pagina successiva, in figura, si riporta il ciclo di vita dell’idrogeno.



2.3 COME VIENE PRODOTTO L'IDROGENO?

Dal momento che l' H_2 non esiste sulla Terra come gas, dobbiamo ricavarlo per dissociazione della molecola di acqua (H_2O), o dalla biomassa, o dal gas naturale.

I processi di produzione dell'idrogeno rispondono all'esigenza di una riduzione dell'inquinamento legato all'utilizzo dei combustibili di origine fossile nei centri urbani ed industriali, e, in seguito a un eventuale sequestro dell'anidride carbonica generata, ai problemi climatici. Sul lungo termine, però, essi contribuiranno inevitabilmente ad accelerare il depauperamento delle risorse fossili mondiali.

I sistemi di produzione di H_2 per dissociazione dell'acqua, associati a sistemi basati su fonti di energia rinnovabile, rispondono, invece, sia alle esigenze ambientali-climatiche, quanto a quelle di sicurezza dell'approvvigionamento energetico e, nel medio termine, è auspicabile una loro prevalenza.

-Reforming di idrocarburi, gasificazione:

I processi di "fuel reforming" presentano degli aspetti comuni: tutti prevedono una reazione di reforming primaria che trasforma il combustibile liquido o gassoso in un composto gassoso di sintesi (fuel reformate o syngas) ricco in H_2 , in cui sono presenti altre impurità (principalmente monossido di carbonio). Successivamente sono previsti uno o più livelli di pulizia (clean-up) del gas di sintesi prodotto nel reattore di reforming primario, progettati per convertire il monossido di carbonio in anidride carbonica, a mezzo di reazioni con acqua o con ossigeno.

I processi di gasificazione prevedono la produzione di syngas a partire da combustibili solidi e liquidi (idrocarburi e biomassa). Per tutti i processi a valle della sezione di clean-up possono essere previsti ulteriori sistemi di purificazione dell'idrogeno che separano

CO₂ ed altre impurità. L'anidride carbonica così separata, se ad alte temperature, può essere processata in sezioni a recupero energetico, per poi essere compressa ed inviata allo stoccaggio.

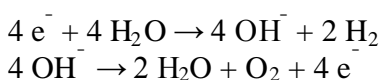
~Processi di dissociazione dell'acqua:

Prevedono la produzione di idrogeno per dissociazione delle molecole di acqua nei componenti elementari idrogeno e ossigeno, secondo diversi tipi di reazioni:

- Elettrolisi: separazione dell'acqua in idrogeno e ossigeno, consumando energia elettrica.
- Elettrolisi di vapore: variante dell'elettrolisi convenzionale, riceve parte dell'energia sotto forma di calore, rendendo il processo più efficiente.
- Dissociazione dell'acqua per via termochimica: la separazione per via termochimica utilizza calore e sostanze chimiche intermedie per la separazione dell'acqua in idrogeno e ossigeno.
- Dissociazione dell'acqua per via fotoelettrochimica: si utilizzano dei semiconduttori per la separazione dell'acqua a mezzo della radiazione solare.
- Sistemi fotobiologici: utilizzano microrganismi per la separazione dell'acqua a mezzo della radiazione solare.
- Dissociazione termica dell'acqua: separazione per via puramente termica, che richiede temperature molto alte (oltre i 1273 K).

I processi di elettrolisi operano la dissociazione dell'acqua nei componenti elementari, idrogeno e ossigeno, attraverso il passaggio di corrente elettrica. L'acqua pura viene quindi ionizzata disciogliendo un sale, un acido o una base.

Al catodo viene prodotto idrogeno a bassa pressione, con un elevato grado di purezza (~100%). I sottoprodotti H₂O e O₂ devono essere rimossi prima dell'erogazione. Le reazioni di riduzione (catodo) e di ossidazione (anodo) sono:



La cella elettrolitica è costituita dagli elettrodi (anodo e catodo), da un elettrolita e da un setto separatore (membrana). I tipi più comuni sono le celle alcaline, le celle ad elettrolita polimerico e le celle ad alta temperatura, classificate in maniera differente in base all'elettrolita usato e alla temperatura operativa.

Nei processi termochimici, invece, si giunge alla dissociazione dell'acqua nei suoi componenti idrogeno e ossigeno attraverso reazioni di ossidoriduzione di vari composti intermedi. L'energia necessaria al completamento delle reazioni può essere fornita da un'ampia varietà di sorgenti (solare, combustibili fossili, nucleare).

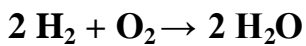
Attualmente è abbastanza costoso ricavare l'idrogeno, ma sono in continuo sviluppo tecnologie che renderanno tale processo molto meno dispendioso. L'idrogeno può essere prodotto in impianti per la distribuzione su larga scala o in piccoli impianti destinati ad un

uso locale. Ogni regione del paese (e del mondo) possiede risorse che possono essere usate al fine di produrre H_2 .

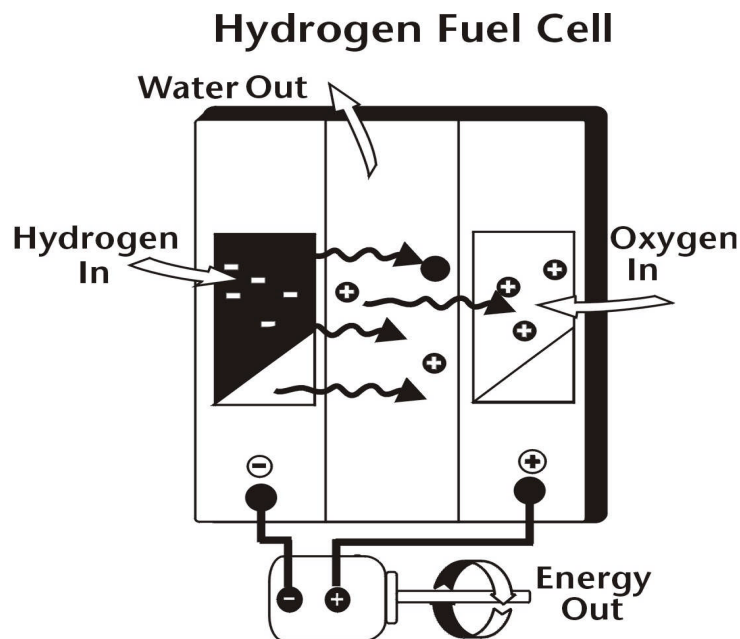
La flessibilita' e' uno dei principali vantaggi dell'utilizzo di tale fonte alternativa di energia.

2.4 UTILIZZI DELL' H_2

L'idrogeno viene impiegato in batterie chiamate "fuel cells" che alimentano un sistema elettrico. L'unico sottoprodotto e' l'acqua, non vi sono ne' inquinanti primari, ne' secondari, ne' gas serra e ne' ossidi di azoto (NO_x). Questo e' un aspetto rilevante se si considera invece che le tradizionali fonti di energia portano all'emissione in atmosfera di ossidi di zolfo (SO_x), di azoto (NO_x), di monossido di carbonio (CO), particolato e piombo e ozono, che sono tra i principali inquinanti atmosferici. Le "Hydrogen fuel cells" (batterie) producono elettricita', sono molto efficienti ma costose da costruire. Batterie di piccole dimensioni possono alimentare automobili elettriche, batterie di grandi dimensioni possono fornire elettricita' alle aree piu' remote di un paese.



$$\Delta G = - 474 \text{ KJ}$$



Capitolo 3

PRODUZIONE DI IDROGENO

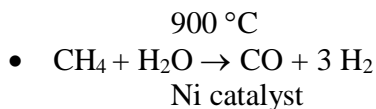
Nella seguente sezione si procede illustrando la fase del ciclo di produzione e di utilizzo dell'idrogeno oggetti di studio ed elencando i nomi dei progetti e degli enti che, sviluppando aspetti differenti, vi lavorano.

3.1. PRODUZIONE DI IDROGENO DA COMBUSTIBILI FOSSILI

3.1.1 "STEAM REFORMING" DEL GAS NATURALE

La produzione di idrogeno mediante uso di combustibili fossili puo' avvenire secondo differenti modalita'. Al giorno d'oggi il processo dello "steam reforming" del gas naturale e' sicuramente il piu' efficiente e ampiamente utilizzato. In realta' esso e' anche il metodo di produzione disponibile piu' economico.

Il metano viene fatto reagire con il vapore acqueo e con l'aria in presenza di un catalizzatore a base di nichel secondo la reazione che si riporta qui di seguito:



Il prodotto della reazione e' quello che viene comunemente chiamato "synthesis gas" (o "syngas"), ovvero un gas di sintesi che puo' essere utilizzato nella preparazione di una serie di prodotti commerciali, tra i quali l'idrogeno, l'ammoniaca, il metanolo e vari composti chimici organici.

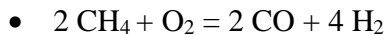
Per incrementare la resa di idrogeno, il processo dello "steam reforming" puo' essere combinato con quello del "water-gas shift reaction" nel quale il monossido di carbonio viene fatto reagire con il calore, aiutato dalla presenza di un catalizzatore:



Si tratta di una reazione in cui il biossido di carbonio, piu' comunemente conosciuto come anidride carbonica, puo' essere rimosso mediante una varieta' di tecniche di "gas scrubbing" (lavaggio con gas).

In genere un impianto che basa il proprio funzionamento sul processo dello steam-reforming ha una capacita' che varia da 10^4 a 10^5 tonnellate di idrogeno all'anno (p.e. da 10^8 a 10^9 m³). Soltanto negli Stati Uniti d'America vengono prodotti, mediante la tecnica dello steam reforming di combustibili fossili, tra i quali viene utilizzato principalmente il metano, 90 miliardi di metri cubici di idrogeno all'anno, destinati all'utilizzo nelle industrie petrolchimiche e in quelle correlate a questo settore.

La parziale ossidazione del gas naturale con l'aria o con l'ossigeno e' una reazione fortemente esotermica.



Pertanto, per bilanciare dal punto di vista energetico la reazione endotermica dello "steam reforming", spesso i due processi vengono accoppiati.

PROGETTI AUSTRALIANI nel settore

www.industry.gov.au (cerca « hydrogen »)

La maggior parte dell'idrogeno che viene prodotto in Australia proviene dal processo dello steam reforming del gas naturale.

L'idrogeno viene impiegato principalmente per la produzione di ammoniaca per i fertilizzanti e nel processo di raffinamento del petrolio; minori quantita' vengono utilizzate dalle industrie del settore alimentare, chimico e metallurgico. Solo tre gruppi di ricerca hanno condotto studi sul processo di reforming del gas naturale, con lo scopo principale di sviluppare "reformer" su piccola scala. La ricerca viene condotta nell'ambito di tecnologie che utilizzano reattori di ultima generazione a water-gas e tecnologie di separazione di gas, come parte dei programmi di gasificazione del carbone.

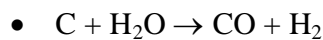
- **Progetto: "Natural gas reforming"**
Obiettivo: Procedimento di steam reforming applicato con gas naturale "reverse". Minimizzazione della formazione di carbone nel riformare il gas naturale.
Ente: CSIRO Petroleum Resources
(D.L. Trimm) 03 9545 8385, david.trimm@csiro.au
- **Progetto: "Chemical looping reforming"**
Obiettivo: Produzione innovativa di idrogeno dal gas naturale utilizzando un ossido di metallo, sia come catalizzatore per riformare il gas naturale, sia come portatore (carrier) di ossigeno per evitare di dover ricorrere a un aiuto per la separazione in aria. In tal modo, si evita anche la produzione di CO₂ nel flusso di gas.
Ente: Centre for Fuels and Energy, Curtin university of technology
(D. Zhang) + 61892661133, dkzang@che.curtin.edu.au,
www.feewa.curtin.edu.au.
- **Progetto: "Nano-scale catalyst systems for hydrogen generation for fuel cells".**
Obiettivo: Sviluppare avanzati materiali catalitici per il trattamento dei combustibili (principalmente steam reforming, shift reaction e combustione catalitica) per generare idrogeno e syngas, e per incorporare questi materiali all'interno di reattori chimici in micro-scala.
Ente: ARC Centre for Functional Nanomaterials, University of Queensland
(A. Dicks) + 61 733653699 andrewd@cheque.uq.edu.au

3.1.2 GASIFICAZIONE DEL CARBONE

Il metodo piu' antico per la produzione di idrogeno consiste nella gasificazione del carbone.

Se riscaldato in condizioni di ridotto apporto di aria (condizione detta "destructive distillation" or "pyrolysis"), il carbone viene convertito in una miscela di idrogeno, metano, monossido di carbonio (in proporzioni in genere pari rispettivamente a 50, 35 e 8%), insieme con il catrame di carbone e con il carbone coke.

Diversamente, quando il carbone riscaldato viene fatto reagire con il vapore acqueo avviene la reazione water-gas, che si riporta qui di seguito:

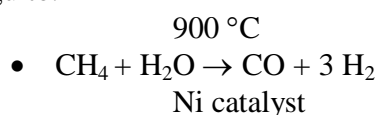


Questa reazione e' stata ampiamente utilizzata prima della Seconda Guerra Mondiale per ottenere idrogeno, indispensabile per la sintesi di ammoniaca attraverso il processo di Haber.

Al giorno d'oggi, invece, la maggior parte dell'idrogeno utilizzato a tale scopo viene ricavata dal gas naturale attraverso la reazione dello steam-reforming, che non e' solo meno inquinante, ma anche meno costosa. La reazione "water-gas" e' fortemente endotermica (ovvero necessita di calore perche' si verifichi) e pertanto cessa non appena non venga piu' fornito calore a sufficienza. Al contrario, la reazione di combustione del carbone o del carbone coke in aria e' fortemente esotermica, il che significa che sprigiona calore. E' pertanto procedimento comune accoppiare le due reazioni di cui si e' parlato sopra, in modo da raggiungere un equilibrio tra il calore liberato e quello assorbito. Le due reazioni potrebbero essere condotte una di seguito all'altra, o, come avviene solitamente, contemporaneamente, alimentando una miscela di aria e vapore acqueo "to the heated bed".

Il gas risultante da questa reazione e' una miscela di monossido di carbonio, idrogeno, diossido di carbonio e azoto. Usando l'ossigeno al posto dell'aria, si puo' ottenere un gas con un superiore potere calorifico, ma per molte applicazioni questa non e' una scelta molto conveniente.

La miscela di gas che si ottiene attraverso la reazione water-gas puo' essere migliorata, in termini di produzione di idrogeno, attraverso la water-gas shift reaction. Scegliendo opportunamente il combustibile, i gas utilizzati e le condizioni operative, e' possibile ottenere il gas con la composizione desiderata. Due esempi sono: 1) "chemical synthesis gas" che e' una miscela di idrogeno e di monossido di carbonio, utilizzata come materia chimica prima per la produzione di ammoniaca (come detto precedentemente), metanolo e altri composti organici; 2) "synthetic natural gas" (SNG) che e' soprattutto costituito da metano e che viene prodotto dalla reazione inversa rispetto a quella che si riporta di seguito.



Il metano potrebbe comunque essere ottenuto anche dalla reazione dell'idrogeno con il carbone.

Il procedimento della gasificazione del carbone è abbastanza complesso. Ad ogni modo, sono stati sviluppati e creati parecchi gasificatori che operano su larga-scala. Fra questi, uno dei migliori è considerato il gasificatore Lurgi. All'interno di questo strumento, un letto di carbone si muove verso il basso attraverso un reattore verticale per andare in contro a un flusso in risalita di gas (una miscela di ossigeno e vapore acqueo) che è pressurizzato a circa 3 Mpa (30 atm). A mano a mano che il carbone scende, la temperatura sale progressivamente. Nella zona superiore avviene la pirolisi, poi la gasificazione e, per finire, la combustione nella zona inferiore dove si raggiungono temperature di 1200 °C.

Il potere calorifico del gas risultante varia a seconda che si utilizzi ossigeno puro o una miscela di ossigeno e aria.

L'intero ciclo combinato di gasificazione integrata (IGCC, integrated gasification combined-cycle) per la generazione dell'elettricità dal carbone, ha la caratteristica di innalzare l'efficienza termica fino a più del 50%, con il vantaggio, inoltre, di ridurre enormemente l'emissione di gas serra

In sintesi, dunque, è necessaria l'ottimizzazione del processo di gasificazione del carbone per una produzione efficiente di idrogeno economico e pulito.

L'uso di ossigeno per gasificare il carbone ha la capacità potenziale di ridurre i costi e aumentare l'efficienza dell'intero sistema. Se invece al posto dell'ossigeno si usa aria, allora il costo della separazione del gas diventa molto alto poiché, oltre all'anidride carbonica, bisogna provvedere a separare anche una grande quantità di azoto. Dato che l'utilizzo di un impianto criogenico per la separazione dell'ossigeno sarebbe troppo dispendioso, si sta prestando molta attenzione alle tecnologie alternative basate sulle membrane in ceramica o polimeriche.

Il costo della produzione di idrogeno potrebbe essere ampiamente ridotto se si trovasse il modo di separare o produrre l'ossigeno dall'aria attraverso meccanismi non dispendiosi.

Per quanto riguarda la separazione dell'idrogeno dal diossido di carbonio si necessitano tecnologie meno dispendiose. Attualmente si stanno cercando di sviluppare diverse metodologie, in modo da avere più opzioni, basate sull'utilizzo di metalli, ceramica o membrane polimeriche.

PROGETTI AUSTRALIANI nel settore

www.industry.gov.au (cerca « hydrogen »)

Ci sono parecchi progetti in questo campo sotto il patrocinio di “Cooperative Research Centre for Clean Coal from Lignite”, “Cooperative Centre for Greenhouse Gas Technologies (CO2CRC)”, del “Centre for Low Emissions Technology (cLET)” e di “Coal 21”. I progetti vengono elencati di seguito e una parte di essi viene invece riportata nella sezione che tratta le tecnologie per la separazione dell'idrogeno.

- Progetto: “Coal gasification in advanced low-emission power-generation technologies”**
Obiettivo: supportare l’implementazione di tecnologie per la generazione di energia a basso tasso di emissioni in Australia e contribuire allo sviluppo di tecnologie per poter avere in futuro sistemi di produzione dell’energia basati sull’utilizzo di idrogeno.
Ente: CSIRO Energy Transformed Flagship
(D. Harris) + 61 733274617 david.harris@csiro.au
- Progetto: “Entrained-flow gasification”**
Obiettivo: procurarsi un ampio range di dati necessari a valutare le performance del combustibile e i modelli interpretativi per ridurre i rischi e i costi correlati alla scelta del combustibile e all’uso di tecnologie di gasificazione con fluido-trascinato accoppiate ai sistemi di generazione di potenza con il processo IGCC (integrated gasification combined-cycle).
Ente: CSIRO Energy Technology
(D. Harris) + 61 733274617 david.harris@csiro.au
- Progetto: “Integrated coal gasification and coal-bed methane reforming”**
Obiettivo: Produrre syngas e idrogeno dal combustibile e dal metano su strato di carbone (coal-bed methane).
Ente: Centre for Fuels and Energy, Curtin University of Technology
(D. Zhang) + 61 892661133 dkzhang@che.curtin.edu.au
www.feewa.curtin.edu.au
- Progetto: „Advanced water-gas shift technologies“**
Obiettivo: Migliorare il costo e la produzione di idrogeno su larga scala e i sistemi di produzione dell’idrogeno basati sul sistema energetico di gasificazione del carbone.
Ente: CSIRO Energy Technology, CSIRO Energy Transformed Flagship
(G. Duffy) + 61 249606063 greg.duffy@csiro.au
- Progetto: “Membrane reactor for the water-gas-shift reaction”**
Obiettivo: Integrare l’uso di membrane di silice a “molecular sieve” nei reattori con scorrimento di gas d’acqua (water-gas shift reactors) per accrescere la produzione di idrogeno mediante gasificazione del carbone.
Ente: ARC Centre for Functional Nanomaterials, University of Queensland
(J. da Costa) + 61 733656960 joedac@cheque.uq.edu.au
- Progetto: “Gas – separation technologies for low-emission power systems”**
Obiettivo: Migliorare le tecnologie per la separazione dell’idrogeno dagli altri gas
Ente: CSIRO Energy Technology, CSIRO Energy Transformed Flagship
(D. Harris) + 61 733274617 david.harris@csiro.au
- Progetto: “Cost of carbon dioxide capture with integrated drying gasification combined cycle (IDGCC) technology”**

Obiettivo: Studio della fattibilità e dei costi per installare un reattore a scorrimento (shift reactor) e a cattura dell'anidride carbonica al gas combustibile prodotto dalla gasificazione del brown coal per il processo IDGCC, integrated drying gasification combined-cycle; il sequestro del diossido di carbonio porta ad avere un gas combustibile con un elevato contenuto di idrogeno e che potrebbe essere fonte di idrogeno, appunto, ottenibile attraverso una separazione secondaria.

Ente: HRL Developments Pty Ltd
(T. Johnston) + 61 395659804 johnt@hrl.com.au

3.1.3 PARZIALE OSSIDAZIONE DEI COMBUSTIBILI FOSSILI

La parziale ossidazione dei combustibili fossili è un metodo di produzione dell'idrogeno nel quale il combustibile e l'ossigeno (e anche vapore acqueo) vengono combinati in proporzioni tale da fare in modo che il combustibile venga convertito in una miscela di idrogeno e monossido di carbonio. Il totale di idrogeno prodotto rappresenta solo il 75% di quello prodotto grazie al processo dello steam-reforming. A seconda della composizione "dell'alimentazione" e del tipo di combustibile fossile che viene utilizzato, il processo di ossidazione parziale viene portato avanti in maniera catalitica o non catalitica.

Nell'ultimo caso si opera con temperature elevate (tra i 1100 e i 1500 °C) e si può procedere con ogni carica (feedstock) possibile, inclusi gli olii combustibili residui pesanti e il carbone. Al contrario, il processo catalitico avviene a temperature significativamente più basse (tra i 600 e i 900 °C) e in genere si utilizzano idrocarburi combustibili leggeri come carica, quali ad esempio il gas naturale e la nafta.

Lo svantaggio della reazione di ossidazione parziale è che essa richiede dei costi aggiuntivi legati all'esigenza di utilizzare ossigeno (piuttosto che l'aria, che darebbe origine agli ossidi di azoto e che diluirebbe inoltre il prodotto idrogeno con l'azoto).

Nella reazione designata col nome di "autothermal reforming" il processo esotermico di parziale ossidazione viene combinato con quello endotermico dello "steam reforming" in modo tale che il processo di gasificazione non richieda in teoria alcun input energetico esterno.

Dal punto di vista della ricerca, si rende necessario progettare e ottimizzare reattori-caldi (hot-reactors) catalitici basati sull'uso di ossigeno come ossidante, piuttosto che sull'utilizzo di aria, e sviluppare tecnologie avanzate e meno costose per la separazione dell'ossigeno.

Grazie alla natura esotermica di queste reazioni, dovrebbe essere anche approfondita e ottimizzata la loro integrazione, all'interno dei reattori, con il processo dello steam reforming per ottenere un migliore bilancio energetico.

PROGETTI AUSTRALIANI nel settore:

www.industry.gov.au (cerca « hydrogen »)

- **Progetto: “Catalytic partial oxidation of natural gas”**
Obiettivo: Ottimizzare e commercializzare il processo di ossidazione catalitica parziale del gas naturale.
Ente: CSIRO, Petroleum Resources, CSIRO Energy transformed Flagship
(N. Burke) + 61 395458357 nick.burke@csiro.au
- **Progetto: “Partial oxidation reforming of methane”.**
Obiettivo: Investigare i meccanismi di reazione, ottimizzare i parametri del reattore e sviluppare un modello per il procedimento.
Ente: Università di Adelaide
(K. King) +61 883035448 kking@chemeng.adelaide.edu.au
- **Progetto: “Fluid dynamic characterization of a novel micro-reactor for production of hydrogen by partial oxidation of methane”**
Obiettivo: Studiare la struttura di flusso all’interno di un micro-reattore per la produzione di idrogeno attraverso la parziale ossidazione del metano. La ricerca, in particolare, si focalizzerà sull’efficienza del progetto del reattore in termini di mescolamento dei flussi reagenti.
Ente: Department of Chemical Engineering, University of Newcastle
(B. Moghtaderi) +61 249216183 behdad@newcastle.edu.au

3.1.4 “HYDROCARBON CRACKING” (CRICCATURA DEGLI IDROCARBURI)

L’idrogeno può essere prodotto attraverso la decomposizione termocatalitica diretta (definita “cracking”) del metano o degli altri idrocarburi. È stato proposto, a tale fine, di utilizzare il calore generato dalla “torcia al plasma” o dai dischi e torri solari. L’energia richiesta, infatti, per mole di idrogeno è minore che per il processo dello steam reforming e il meccanismo è anche più semplice. Inoltre, viene generato un sottoprodotto -carbone solido pulito- che ovviamente può essere catturato e immagazzinato molto più facilmente del biossido di carbonio gassoso. Rimane tuttavia il problema della progressiva deattivazione del catalizzatore attraverso il deposito del carbonio: la riattivazione risulterebbe in indesiderate emissioni di biossido di carbonio.

PROGETTI AUSTRALIANI nel settore:

Non esistono progetti australiani di ricerca in questo ambito.

3.1.5 GASIFICAZIONE DELLA BIOMASSA

Il processo di gasificazione della biomassa per produrre potenza non è affatto una nuova tecnologia, ma esso fiorì poco prima della Seconda Guerra Mondiale. Si smise di produrre potenza con tale procedimento quando petrolio e diesel divennero disponibili in grandi quantità e a basso prezzo.

Attualmente, la biomassa è considerata un'alternativa all'utilizzo del carbone, grazie al suo breve periodo di rigenerazione e al suo ciclo di utilizzo che non è peraltro legato a alcun rilascio di gas-serra in atmosfera.

Col termine "biomassa" si designano materiali quali il legno, il carbone vegetale, rifiuti biologici (bio-waste) (trucioli di legno, segatura, e altri), fango di perforazione, residui delle colture (steli del cotone, gusci del cocco, e altri), gli scarti della potatura dei giardini e del raccolto (canapa, pioppi, salici...). La maggior parte dei materiali considerati biomassa ha un contenuto in acqua che varia tra il 5 e il 30 wt% ed è adatta al processo di gasificazione, sebbene ci siano delle eccezioni e non sia sempre possibile portare a gasificazione alcuni tipi di materiale.

La gasificazione è un processo termochimico che viene usato per la conversione della biomassa in un gas di gasogeno che contiene monossido di carbonio (15-30%), idrogeno (10-20%), metano (2-4%), acqua (6-8%) e i gas inerti biossido di carbonio (5-10%) e azoto (45-60%).

Il meccanismo è abbastanza complesso, i diversi passaggi previsti sono: il trattamento della biomassa (livellamento, tagliare, disidratazione), gasificazione e depurazione dei gas (per rimuovere catrame e polvere).

Il gas ottenuto può essere impiegato per alimentare un motore a combustione interna con un'efficienza dal 30 al 50% inferiore rispetto a quella di un motore a benzina, o per la generazione di potenza attraverso una turbina a vapore o a gas.

Chiaramente ci sono molte differenti versioni di gasificatore a seconda del tipo di biomassa che viene usata per il processo di gasificazione e a seconda del modello dei diversi impianti.

La maggior parte degli argomenti di ricerca è legata al progetto e all'ottimizzazione sia del gasificatore, che del processo stesso di gasificazione (aria, ossigeno o vapore) per un dato combustibile.

Per abbassare il costo legato alla separazione dell'idrogeno dagli altri gas, sarebbe auspicabile gasificare la biomassa con ossigeno o con il vapore.

Inoltre, sono necessarie anche tecnologie di purificazione del gas per produrre gas adatto e essere utilizzato in celle a combustione a bassa temperatura.

PROGETTI AUSTRALIANI nel settore

Sono otto i progetti che rientrano in quest'area di ricerca e spaziano da analisi di tipo economico e del ciclo di vita della biomassa, all'ottimizzazione del processo di gasificazione fisica per diversi carichi. Il settore sembra essere ragionevolmente ben coperto nei suoi vari aspetti in Australia.

Si elencano qui di seguito gli otto progetti appena menzionati.

- **Progetto: “Isasmelt/Hydromax hydrogen production process”**
Obiettivo: Valutare e dimostrare il diagramma di flusso per la produzione di idrogeno da biomassa.
Ente: CSIRO Minerals
(R.N. Taylor, S. Jahanshahi) + 61 395458621 sharif.jahanshahi@csiro.au
- **Progetto: “Techno-economic and life-cycle analysis of alternative hydrogen production technologies”**
Obiettivo: Valutare le tecnologie alternative che usano la biomassa come combustibile per la produzione di idrogeno.
Ente: CSIRO Minerals
(T. Borgate, S. Jahanshahi) + 61 395458621 sharif.jahanshahi@csiro.au
- **Progetto: “Catalytic steam gasification of biomass fuels for hydrogen production”**
Obiettivo: Analizzare la fattibilita’ della produzione di idrogeno mediante gasificazione catalitica del vapore (catalytic steam gasification) della biomassa in unita’ stazionarie di dimensioni medie.
Ente: Department of Chemical Engineering, University of Newcastle
(B.Moghtaderi) + 61 249216183 behad.moghtaderi@newcastle.edu.au
- **Progetto: “Hydrogen production from biomass using sub-critical water hydrolysis”**
Obiettivo: Produrre idrogeno dalla biomassa usando energia rinnovabile
Ente: Centre for Fuels and Energy, Curtin University of Technology
(H. Wu) + 61 892661133 dkzhang@che.curtin.edu.au
- **Progetto: “Hydrogen production from biomass”**
Obiettivo: Studiare e valutare le opzioni per quanto riguarda la produzione di idrogeno dai materiali di rifiuto (biomassa) in termini di analisi tecniche e finanziarie.
Ente: Department of Chemical Engineering, University of Sydney
(B. D. Shakya) + 6 293513411 sbik9285@usyd.edu.au
- **Progetto: “Steam reforming of sugar”**
Obiettivo: Analizzare il processo “aqueous catalytic steam reforming” dello zucchero per la produzione di idrogeno.
Ente: University of Queensland
(J. Beltrami) jorgeb@cheque.uq.edu.au
- **Progetto: “Reforming of renewable fuels such as biogas, biofuels (e.g., ethanol)”**
Obiettivo: Riformare combustibili rinnovabili per diretta conversione in una pila “solide oxide fuel cell”.
Ente: Ceramic Fuel Cells Limited
(K. Föger) + 61 395542300 karlf@cfcl.com.au

- **Progetto: “Production of hydrogen by low-temperature catalytic steam gasification of pine sawdust in a fluidized-bed reactor”**

Obiettivo: Studiare l’impatto dei parametri che controllano il processo di gasificazione del legno di pino in condizioni di bassa temperatura, catalitiche e di steam-reforming. L’ultimo scopo del progetto e’ di sviluppare una tecnica a bassa intensita’ di energia per la produzione di idrogeno dalla biomassa.

Ente: Department of Chemical Engineering, University of Newcastle
(B.Moghtaderi) + 61 249216183 behad.moghtaderi@newcastle.edu.au

3.1.6 “REFORMING” SOLARE E TERMICO DEI COMBUSTIBILI FOSSILI

L’energia solare puo’ essere utilizzata per produrre gas di sintesi (monossido di carbonio e idrogeno) da gas contenenti metano. Il gas prodotto puo’ essere fatto reagire, come gia’ visto in precedenza, con il vapore acqueo per dare origine ad ancor piu’ idrogeno insieme con il diossido di carbonio. Dato che il gas di sintesi che deriva da questo processo contiene una grande quantita’ di energia solare incorporata (embodied) (fino al 25%), il reforming termico e solare offre la possibilita’ di avere elevate efficienze termiche e di ridurre le emissioni di biossido di carbonio. Il CSIRO ha sviluppato un progetto di tipo “dimostrativo” (disco solare) ed e’ attualmente coinvolto nello sviluppo di piu’ pratiche “mini” torri solari per la cattura dell’energia solare.

Per quanto riguarda la ricerca, la sfida piu’ grande consiste nel riuscire a abbassare i costi dell’intero processo. La tecnologia dei “dischi solari” e’ infatti ancora troppo costosa.

PROGETTI AUSTRALIANI nel settore

In questo settore di ricerca il CSIRO Energy technology e’ estrapamente coinvolto e impegnato e esso lavora e opera in collaborazione con il Sesto Programma Quadro della Comunita’ Europea.

- **Progetto: “Solar enhanced hydrogen production”**
Obiettivo: sviluppare un nuovo “solar concentrator” e un nuovo reattore per produrre idrogeno attraverso il processo del “solar reforming” del gas naturale.
Ente: CSIRO Energy Technology, CSIRO Energy Transformed Flagship
(W. Stein) +61 249606094 wes.stein@csiro.au
- **Progetto: “Low-emission hydrogen”**
Obiettivo: sviluppare un meccanismo per la produzione di idrogeno basato sull’energia rinnovabile e sostenibile dal punto di vista economico che possa risultare competitivo rispetto agli altri processi di produzione dell’idrogeno a emissione zero o con la minima emissione di biossido di carbonio.
Ente: CSIRO Petroleum Resources, CSIRO Energy Technology , CSIRO Energy Transformed Flagship

(D. Trimm, G. Duffy) +61 395458385

- **Progetto: “Mass solar-thermal hydrogen production feasibility; mass solar-thermal electricity plant/chemical storage.**

Obiettivo: Studio di fattibilità di un impianto di generazione dell'idrogeno mediante l'utilizzo di paraboloidi solari termiche.

Ente: Solar Hydrogen Research Pty Ltd

(S. Zorbas) + 61 296102906 stephen@hydrogen.id.au

3.1.7 MEMBRANE SEPARATRICI

Un settore in cui si investe molto in ricerca e' quello che riguarda lo studio delle membrane separatrici, dal momento che queste offrono la possibilita' di creare sistemi compatti che permettono di integrare processi chimici come lo “steam reforming” del gas naturale e la reazione “water-gas shift”.

Le membrane separatrici disponibili per lavorare con l'idrogeno possono essere classificate in 1) membrane non porose; 2) membrane porose.

Le membrane costituite da un metallo (metal-based) e quelle non-porose possono produrre un flusso di idrogeno caratterizzato da una purezza molto elevata (99%+) che puo' essere direttamente utilizzato in una cella a combustibile.

In questo tipo di membrane l'efficienza del processo di separazione dipende dall'abilita' del metallo di permettere la diffusione attraverso la membrana unicamente dell'idrogeno.

La permeazione dell'idrogeno attraverso la membrana sembra avvenire attraverso diversi passaggi: l'adsorbimento di idrogeno molecolare, dissociazione nella forma monoatomica, ionizzazione, diffusione, ri-associazione e, infine, desorbimento. La densita' del flusso di idrogeno e' funzione delle caratteristiche di diffusione del materiale, che, a loro volta, sono funzione della temperatura, dello spessore della membrana e della perdita di carico attraverso la membrana.

Una membrana porosa, invece, di solito e' costituita da uno strato sottile di un materiale poroso come silice, carbone o zeolite su un supporto poroso ancora piu' sottile. L'idrogeno viene trasportato attraverso la struttura porosa della membrana principalmente mediante diffusione molecolare, che e' un processo di tipo fisico con caratteristiche che dipendono unicamente dal diametro dei pori della membrana.

Per poter separare in maniera efficiente l'idrogeno, i pori della membrana devono avere un diametro inferiore a 1 nanometro. L'intensita' del flusso di idrogeno e' solitamente proporzionale alla pressione trans-membrana.

E' necessario sviluppare un ampio range di tecnologie per poter separare e purificare l'idrogeno dagli altri gas, specialmente quando esso viene prodotto mediante “steam reforming” o ossidazione parziale.

La maggior parte di ricerca che si effettua sulle membrane microporose e' diretta al perfezionamento nell'utilizzo di uno strato separatore in silice che risulti stabile in presenza di vapore a una temperatura che puo' arrivare sino a 500 °C.

A differenza delle membrane inorganiche e dei filtri che vengono comunemente commercializzati da parecchie compagnie oltreoceano, le membrane porose per

l'idrogeno non sono ancora state commercializzate per un ampio uso industriale. Il severo controllo delle dimensioni dei pori e' il problema principale.

PROGETTI AUSTRALIANI nel settore

Vengono riportati due progetti sulle membrane. Il CSIRO sta conducendo una ricerca sulle membrane costituite da un metallo per la separazione dell'idrogeno e dell'anidride carbonica per produrre idrogeno da utilizzare direttamente in una cella a combustibile, senza purificazione. Tentativi di ridurre il costo delle membrane sono indirizzati verso l'utilizzo di pellicole molto sottili (<10 µm) di palladio o di leghe di questo elemento, supportate da un substrato metallico o di ceramica, in cui siano controllate le dimensioni dei pori e la loro distribuzione. Si sta cercando anche di sviluppare membrane ancora meno costose di leghe amorfe, alternative al palladio.

L'Universita' del Queensland, invece, sta cercando di creare membrane porose per simili usi e applicazioni, ma i fondi stanziati in questo settore della ricerca sono relativamente ridotti.

- **Progetto: "Hydrogen separation/gas cleaning"**

Obiettivo: sviluppare tecnologie basate sull'uso di membrane per la depurazione dei gas e la separazione dell'idrogeno per i gas di "reformig" da diversi tipi di combustibile fossile (gas naturale, metanolo, petrolio, carbone gasificato e altri..)

Ente: CSIRO Manufacturing & Infrastructure Technology
(R. Donelson, S.P.S Badwall) + 61 395452719
sukhvinder.badwal@csiro.au

- **Progetto: "Molecular sieve membranes for hydrogen separation"**

Obiettivo: sviluppare membrane resistenti e a basso costo per i sistemi delle celle a combustibile e per i processi di produzione del "syngas".

Ente: University of Queensland
(J. da Costa) + 61 733656960
joedac@cheque.uq.edu.au

3.1.8 IL SEQUESTRO DI CARBONIO

La produzione di idrogeno da combustibili fossili e' purtroppo associata al rilascio di anidride carbonica, processo che sembra essere controproducente per gli effetti ambientali negativi. Chiaramente, il futuro di questi meccanismi di produzione dipende dallo sviluppo di metodiche efficienti per la separazione e il giusto trattamento dei gas serra.

Il gruppo di metodi per catturare il gas e per isolarlo in maniera permanente viene comunemente chiamato "carbon sequestration", ovvero "sequestro di carbonio".

Tra i diversi metodi vi sono:

1) ENHANCED OIL RECOVERY, DISUSED OIL AND GAS WELLS.

L'industria del petrolio di norma utilizza il biossido di carbonio per il recupero del petrolio. Il gas può essere pompato nelle riserve di petrolio o di gas, o in giacimenti carboniferi non accessibili per potenziare il processo di riproduzione del letto metanifero del petrolio o del carbone. Una volta intrappolato in queste formazioni, il gas serra risulterebbe isolato dall'atmosfera in modo permanente.

2) UNDERGROUND SALINE FORMATIONS.

Le formazioni sotterranee, che spesso contengono acqua salata che risulta essere a profondità eccessive (migliaia di metri sotto la superficie) e troppo salata per essere utilizzata, costituiscono il deposito del biossido di carbonio potenzialmente più grande.

Il vantaggio delle riserve saline è che, essendo permeabili, si potrebbe pompare all'interno di esse il gas inquinante con una certa frequenza.

In ogni caso, bisogna prestare grande attenzione a tutti i tipi di formazioni geologiche e valutarne la stabilità. Infatti, la presenza di faglie potrebbe creare dei passaggi, attraverso i quali il gas nocivo potrebbe risalire in superficie (trasporto verticale). Bisogna anche assicurarsi che il gas non abbia la possibilità di abbandonare la riserva salina in cui viene pompato mediante trasporto laterale.

Chiaramente le formazioni scelte per il sequestro del biossido devono essere caratterizzate da uno strato sovrastante di materiali tali da prevenire la fuga di gas verso l'atmosfera. Infine, prima di depositare il gas in profondità, bisognerà considerare e valutare tutti gli effetti conseguenti all'acidificazione dell'acqua, legata all'iniezione di CO₂, e i potenziali impatti negativi a livello ambientale.

3) COAL SEAMS AND ENHANCED COAL-BED METHANE.

Il carbone, in profondità, spesso contiene significative quantità di metano.

Inoltre, il biossido di carbonio ha grande affinità per il carbone, il quale può arrivare a immagazzinare quasi il doppio del gas serra come metano.

Di conseguenza, gli strati di carbone sembrano costituire un potenziale "pozzo" per il sequestro di anidride carbonica.

4) DEEP OCEAN.

Grazie al variare di temperatura e pressione con la profondità, il biossido di carbonio negli oceani può esistere sia in forma gassosa che in forma liquida.

Sopra i 500 metri circa, il biossido tende a essere in forma gassosa, mentre, a profondità maggiori, in forma liquida.

Al di sotto dei 3000 metri circa, il gas è più denso e tende a depositarsi sul fondo.

Attualmente, sono due i metodi principali per l'accumulo del gas tossico all'interno degli oceani:

-il primo consiste nel pompare/iniettarle il biossido al di sotto del termocline (uno strato d'acqua all'interno del quale la temperatura decresce rapidamente e che si trova tra lo strato superficiale rimescolato e gli strati più profondi), all'interno del quale si scioglierà e verrà trasportato negli abissi oceanici dalla circolazione oceanica.

-il secondo metodo prevede l'iniezione del gas a elevate profondita' dove esso puo' trovarsi in forma liquida o formare idrati. Gli idrati sono piu' densi e tenderanno a depositarsi sul fondo.

Chiaramente, la profondita' di iniezione e' un fattore critico e determinante.

Il problema principale legato a questa tecnica di sequestro e' di carattere ambientale. Non si conoscono, infatti, gli effetti di cosi' grandi quantita' di biossido pompate in mare. Esse potrebbero portare a cambiamenti del pH delle acque oceaniche che potrebbero avere forti impatti negativi sulla flora e sulla fauna, oltre che sull'equilibrio in generale del sistema dei carbonati.

5) MINERALISATION

Il biossido di carbonio puo' formare carbonati stabili se fatto reagire con materiali che contengono magnesio e ossido di calcio. Sebbene questo processo sia favorito dal punto di vista termodinamico, la cinetica della reazione di formazione dei carbonati e' lenta. Per poter sfruttare al meglio questa via per il sequestro del gas serra, bisognerebbe trovare il modo di agire sulla cinetica di reazione, rendendola molto piu' rapida.

Se le tecnologie di sequestro venissero sviluppate maggiormente, la generazione di idrogeno produrrebbe quantita' molto minori di gas serra.

PROGETTI AUSTRALIANI nel settore

- **Progetto: "Greenhouse gas reduction and options".**
- **Obiettivi:** i) valutare le tecnologie nascenti in tutto il mondo per cercare di attenuare il problema delle emissioni di gas serra; ii) identificare tecnologie per soluzioni a lungo termine e individuare il modo per attenuare i rischi legati a tali emissioni; iii) identificare le tecnologie piu' rilevanti per ridurre le emissioni legate all'uso di carbone australiano per la generazione della potenza; iv) identificare e attuare programmi che offrano l'opportunita' di ridurre o annullare le emissioni a costi realistici legate all'utilizzo dei diversi tipi di carbone australiano; v) valutare gli sviluppi nelle tecnologie legate alla cattura e sequestro del biossido di carbonio in Australia e oltreoceano e cercare di determinare il loro impatto una volta integrati nei sistemi di generazione della potenza australiani; vi) identificare, tra le varie opzioni nelle tecnologie che si hanno a disposizione, quelle piu' adatte a essere utilizzate in progetti di tipo dimostrativo.

Ente: CSIRO Energy Technology, CSIRO Petroleum Resources, CSIRO Energy Transformed Flagship

(G. Duffy, D. Whitford) +61 249606063

greg.duffy@csiro.au

- **Progetto: "Atmospheric monitoring and verification of geosequestration"**
- **Obiettivo:** identificare tecniche per rilevare e quantificare fughe in atmosfera dei gas "geosequestrati".
- **Ente:** CSIRO atmospheric Research
- (C. Etheridge) +61 392394590

david.etheridge@csiro.au

Un trattato completo riguardo ai cambiamenti nel campo della ricerca, dello sviluppo e dei progetti dimostrativi sul sequestro di carbonio e' rappresentato da "Carbon Dioxide Capture & Storage: Research Development & Demonstrations in Australia", che costituisce una "Technology Roadmap", ovvero una guida, e che e' stata redatta dal "Cooperative Research Centre for Greenhouse Gas Technologies" (CO2CRC).

3.2. PRODUZIONE DI IDROGENO DALL'ACQUA

L'acqua e' un'altra enorme "riserva" di idrogeno, e l'idrogeno che si puo' ricavare dall'acqua ha un grado di purezza tale per cui puo' essere utilizzato immediatamente in celle a combustibile, anche se il processo attraverso il quale si rompe la molecola di acqua richiede a sua volta energia. Che sia di tipo elettrico, chimico, che si tratti della luce o di energia termica, comunque va usata e investita energia.

3.2.1 ELETTROLISI

L'elettrolisi dell'acqua e' compatibile con un ampio numero di tecnologie per la produzione di elettricit , sia attuali che future (come ad esempio quelle che prevedono l'uso di carbone o gas naturale con sequestro del biossido di carbonio, o le fonti rinnovabili). L'integrazione dell'elettrolisi dell'acqua con la produzione di elettricit  mediante uso di fonti rinnovabili di energia (solare, eolica, idroelettrica..) crea un ciclo di produzione dell'elettricit  totalmente sostenibile.

L'idrolisi puo' anche essere associata facilmente ad una fonte di energia rinnovabile intermittente, come ad esempio una turbina a vento per la produzione di idrogeno su larga scala. Cio' rende possibile la creazione di un sistema di funzionamento grazie al quale l'energia in eccesso viene utilizzata per la produzione di idrogeno.

Nonostante sia una tecnologia abbastanza matura e conosciuta, solo una piccola percentuale dell'idrogeno prodotto a livello mondiale viene ottenuta grazie alla reazione di elettrolisi, a causa del fatto che si tratta di un meccanismo a grande dispendio energetico. Infatti, quanto piu' velocemente avviene la generazione dell'idrogeno, tanto maggiore e' la potenza richiesta per chilogrammo prodotto.

Cos  gli elettrolizzatori risultano molto piu' efficienti quando operano a bassa densita' di corrente e, quindi, a bassi tassi di produzione. Al giorno d'oggi, sistemi di dimensioni ridotte con elettroliti polimerici (polymer electrolytes) possono raggiungere un'efficienza dell'80-85%, mentre unita' di ampie dimensioni che utilizzano elettroliti alcalini (alkaline electrolyte) possono raggiungere il 70-75% di efficienza.

Gli elettrolizzatori a vapore, nei quali parte dell'energia richiesta per scindere la molecola di acqua viene fornita dal calore, possono raggiungere un'efficienza veramente elevata (superiore al 90%), ma al giorno d'oggi non sono ancora stati commercializzati.

Per quanto concerne il settore della ricerca, l'elettrolisi dell'acqua e' considerata la tecnologia chiave per la distribuzione di idrogeno e un aspetto molto importante e' che

essa e' compatibile sia con le tecnologie di generazione della potenza gia' esistenti e in uso, sia con quelle alternative considerate "environmentally friendly".

In questo settore si investe in primo luogo per lo sviluppo di sistemi di elettrolisi a basso costo, compatti e con un' elevata efficienza.

Inoltre, si stanziavano fondi anche nello studio dell'integrazione di impianti di elettrolisi con fonti di energia rinnovabili. Difatti le pile a combustibile / sistemi di elettrolisi hanno la capacita' potenziale di ridurre i costi dell'intero sistema di produzione, grazie al fatto che combinano due funzioni in una singola unita'.

Numerosi sono anche i progetti dimostrativi; pertanto quest'area di ricerca sembra essere pienamente coperta da molti e differenti progetti in atto, che si elencano qui di seguito.

PROGETTI AUSTRALIANI nel settore

- **Progetto: "Hydrogen generation via water electolysis".**
Obiettivo: Sviluppare elettrodi con un elevata area superficiale ed elettrocatalizzatori per la produzione dell'idrogeno.
Ente: CSIRO Energy Technology, CSIRO Energy Transformed Flagship
(L. Lam) +61 395458401
lam.lam.@csiro.au
- **Progetto: "High temperature steam electrolysis".**
Obiettivo: Sviluppare un efficiente reattore di elettrolisi a vapore basato sulla tecnologia della pila a combustibile sotto forma di ossido.
Ente: Ceramic Fuel Cells Limited
(K. Föger) +61 395542300
karlf@cfcl.com.au
www.cfcl.com.au
- **Progetto: "Water electrolysis with polymer electrolyte membranes and integration with renewable energy".**
Obiettivo: Sviluppare e creare, a livello dimostrativo, una tecnologia per l'elettrolisi per la generazione di idrogeno in situ e in base alla domanda e riuscire a integrare tale tecnologia con le fonti di energia rinnovabili.
Ente: CSIRO Manufacturing and Infrastructure Technology, CSIRO Energy Transformed Flagship
(S. P. S. Badwal) + 61 395452719
sukhvinder.badwal@csiro.au
- **Progetto: "Solar-powered, high-temperature endothermic electrolysis"**
Obiettivo: Produrre idrogeno da utilizzarsi come combustibile per i veicoli o come mezzo di immagazzinamento dell'energia dall'energia solare.
Ente: Solar Systems Pty Ltd
(J. Lasich) jlasich@solarsystems.com.au
www.solar systems.com.au

- **Progetto: “Integrated hydrogen project”**
Obiettivo: Creare un “impianto pilota” per la produzione di idrogeno mediante elettrolisi dell’acqua utilizzando energia eolica e solare, per poi usare l’idrogeno prodotto nei veicoli.
Ente: Ian Wark Research Institute, University of South Australia
(P. Majeski) + 61 883023162
peter.majewski@unisa.edu.au
- **Progetto: “Renewable-energy hydrogen systems”.**
Obiettivo: i) valutare le prestazioni di un laboratorio “scale PV/wind – proton exchange membrane electrolyser/fuel cell experimental ring with storage of hydrogen as compressed gas”
ii) sviluppare, servendosi dei principi della teoria dei sistemi, un modello di simulazione al computer di “small scale solar PV/wind-PEM hydrogen systems for remote energy supply with climatic conditions and load profile as inputs”.
Ente: Mechanical and Manufacturing Engineering, RMIT University
(J. Andrews) + 61 399256085
andrews.john@rmit.edu.au
- **Progetto: “Mawson Hydrogen Demonstration Project”**
Obiettivo: dimostrare che e’ possibile generare idrogeno in modo sicuro in Antartide, attraverso l’energia eolica, che e’ possibile il suo immagazzinamento in condizioni di elevata pressione e il suo successivo utilizzo per alimentare le stazioni antartiche, servendosi unicamente di fonti rinnovabili
Ente: Australian Antarctic Division
(P. Magill) + 61 362323238
peter.magill@aad.gov.au
- **Progetto: “Integration of wind energy to remote power supplies through electrolysis”**
Obiettivo: sviluppare un elettrolizzatore a carico variabile che possa simulare e operare con differenti cariche generate da una turbina a vento.
Ente: Hydro Tasmania and university of Tasmania
(V. Karri) + 61 362262433
vishy.karri@utas.edu.au
- **Progetto: “HydroGen”**
Obiettivo: Dimostrare che e’ possibile creare un sistema energetico a idrogeno completo per le aree piu’ remote: “ocean turbines” che generano energia rinnovabile sfruttando l’energia che proviene dalle correnti oceaniche e dalle maree.
Ente: EnGen Institute
(W. Hollier) + 61 395892259 o + 61 413348869
will@engen.org.au

- **Progetto: “Hydrogen storage”**
Obiettivo: Valutare gli approcci dell’uso di idrogeno nel settore dell’immagazzinamento di energia.
Ente: Future Enterprise Pty Ltd
(T. Main) + 61 883512249
tony.maine@bigpond.com.au

3.2.2 FOTOLETTROLISI

La fotoelettrolisi e’ uno dei tre possibili metodi di produzione diretta dell’idrogeno mediante l’utilizzo della radiazione solare. La luce viene convertita in energia elettrica e chimica usando un ossido semi-conduttore, come il diossido di titanio (TiO_2) per assorbire i fotoni e fornire ossigeno e elettroni. Questi fluiscono attraverso un circuito esterno e liberano l’idrogeno passandolo al “metal counter electrode”.

Grazie al suo costo relativamente basso, il diossido di titanio e’ molto piu’ invitante del materiale fotovoltaico. Purtroppo, pero’, il titanio possiede una elevata “band-gap energy”, equivalente a circa 3.2 eV, e assorbe energia luminosa solo nell’intervallo ultravioletto dello spettro e non nella parte visibile.

L’efficienza di produzione dell’idrogeno di questo sistema varia tra l’1 e il 2%, valori al di sotto del “target commerciale” pari al 10%.

Per ottenere risultati migliori nello sviluppo di tale tecnologia, la maggior parte delle ricerche nel settore sono mirate a trovare il modo per far slittare la risposta del diossido di titanio nel campo visibile dello spettro, attraverso la modifica della band-gap e delle proprieta’ di assorbimento della radiazione luminosa.

Le tecnologie legate alla scissione della molecola di acqua offrono numerosi benefici in termini di conversione diretta della luce del sole in idrogeno. Purtroppo, pero’, numerose sono ancora le barriere tecniche e scientifiche che vanno superate prima che questo tipo di tecnologia possa essere commercializzata. Tra i problemi a cui bisogna trovare una soluzione al piu’ presto vi sono: i costi troppo elevati, l’efficienza molto bassa, la dipendenza dalla radiazione solare, la complessita’ della costruzione dei sistemi che si basano sulla fotoelettrolisi, il breve tempo-di vita (short life-time), la bassa intensita’ di corrente, il vincolo di dover raccogliere l’idrogeno all’interno di un’area molto vasta.

PROGETTI AUSTRALIANI nel settore

Tra i progetti che si riportano sotto, almeno tre riguardano le modalita’ d’impiego del diossido di titanio.

I fondi totali investiti in questo campo negli anni 2003-2004 sono risultati essere pari a 2.5 milioni di dollari australiani. Queste tecnologie, infatti, fanno intravedere la possibilita’ di bassi costi di produzione dell’energia e bassi costi di mantenimento. Attraverso lo sfruttamento dell’energia solare il continente australiano potrebbe un domani soddisfare la domanda energetica della nazione.

Un certo numero di progetti e' svolto in collaborazione con Istituzioni d'Oltreoceano, Tra le quali compare la "US National Renewable Energy Laboratory, NREL".

- **Progetto: "Photoelectrodes for efficient water-splitting"**
Obiettivo: cercare di ridurre il "salto energetico" all'interno della banda di assorbimento del diossido di titanio, in modo da utilizzare in maniera piu' efficace la radiazione solare incidente per produrre l'idrogeno attraverso la scissione della molecola di acqua in una cella fotoelettrochimica. Se si potesse abbassare il salto energetico al valore di 2 eV, sarebbe possibile raggiungere un'efficienza pari al 10%.
Ente: CSIRO Industrial Physics, CSIRO Minerals, CSIRO Energy Transformed Flagship
(I.Plumb, I. E. Grey)
www.tip.csiro.au/TMP/EnergySustain/hydrogen.htm
+ 61 294137351 ian.plumb@csiro.au
+ 61 395458840 ian.grey.@csiro.au
- **Progetto: "Processing technology of photo-sensitive materials for hydrogen generation using solar energy"**
Obiettivo: Sviluppo di tecnologie di processo degli ossidi semiconduttori con ottimizzazione della foto-sensibilita'.
Ente: Centre for Material Research In Energy Conversion, University of New South Wales
(J. Nowotny, C. C. Sorrell)
+ 61 293856465 j.nowotny@unsw.edu.au
+ 61 293854421 c.sorrel@unsw.edu.au
- **Progetto: "Device technology of photo-electrodes for hydrogen generation using solar energy"**
Obiettivo: Sviluppare foto-elettrodi per la generazione foto-elettrochimica di idrogeno
Ente: Centre for Material Research In Energy Conversion, University of New South Wales
(J. Nowotny, C. C. Sorrell)
+ 61 293856465 j.nowotny@unsw.edu.au
+ 61 293854421 c.sorrel@unsw.edu.au
- **Progetto: "Direct solar hydrogen production"**
Obiettivo: Sviluppare una piu' elevata efficienza nei materiali fotocatalitici e dei sistemi di produzione dell'idrogeno dall'acqua, utilizzando l'energia solare.
Ente: Queensland University of Technology
(G. Will) www.bee.qut.edu.au/research/
+61 738642297 g.will@qut.edu.au

- **Progetto: “The production of photosensitive thin films using the charged cluster model”.**
Obiettivi: i) sviluppare una metodologia per controllare le dimensioni dei “cluster” e la distribuzione della dimensione;
 ii) determinare quale tipo di microstruttura corrisponde a una particolare dimensione dei cluster;
 iii) quantificare le condizioni che potrebbero migliorare la cristallinità;
 iv) sviluppare un metodo efficiente per le sottili pellicole fotosensibili cristalline e caratterizzate da una nanostruttura;
 v) caratterizzare queste pellicole per le loro proprietà di semiconduttori e per l’abilità di produrre idrogeno attraverso la scissione dell’acqua.
Ente: Ian Wark Research Institute, University of South Australia
 (M. Campbell Barnes) + 61 883023691 mark.barnes@unisa.edu.au
- **Progetto: “Simultaneous production of hydrogen with purification of waste water”.**
Obiettivo: Utilizzare un ossido di metallo come catalizzatore per la purificazione dell’acqua in coppia con un elettrocatalizzatore riducente per produrre idrogeno.
Ente: Future Enterprise Pty Ltd
 (T.Maine) tony.maine@bigpond.com
- **Progetto: “Photocatalytic production of hydrogen from water”.**
Obiettivo: Utilizzare l’energia della radiazione solare incidente più efficacemente, riducendo il salto all’interno della banda di assorbimento (band gap) del diossido di titanio “nanostrutturato” attraverso il trattamento con i lantanidi.
Ente: University of Sydney
 (T. Maschmeyer) www.chemusyd.edu.au/~maschmeyer_th
 + 61 293512581
- **Progetto: “Synthesis of hydrogen at functionalised surfaces”.**
Obiettivo: Produrre idrogeno utilizzando superfici funzionali.
Ente: Ian Wark Research Institute, University of South Australia
 (P. Majewski) + 61 883023162, peter.majewski@unisa.edu.au

3.2.3 BIOFOTOLISI

La fotosintesi è alla base della vita sulla Terra. Il primo passo prevede la scissione della molecola d’acqua in ossigeno e idrogeno, dopodiché l’idrogeno reagisce con il biossido di carbonio a dare carboidrati. Ci sono alcuni gruppi di micro alghe che sono in grado di rilasciare idrogeno; le alghe verdi, ad esempio, contengono un enzima, l’idrogenasi, che catalizza la riduzione dei protoni da parte degli elettroni per formare idrogeno. In ogni caso, dal punto di vista biologico il sistema non è strutturato in modo tale da lavorare in continuo. Ciò è dovuto al fatto che l’enzima è veramente molto sensibile all’ossigeno e viene sintetizzato solo dopo parecchie ore di pre-incubazione al buio in condizioni

anaerobiche. Così, quando le alghe producono ossigeno dopo un breve periodo di esposizione alla luce del sole, il tasso di produzione dell'idrogeno decresce. Per superare questo problema, si stanno investigando dei processi a due stage di "biofotolisi indiretta" nei quali a uno stage fotosintetico in cui viene fissata l'anidride carbonica, segue uno stage di fermentazione anaerobica, in assenza, di luce che produce l'idrogeno.

La produzione di idrogeno foto-biologica ha minime implicazioni dal punto di vista dell'inquinamento e del rilascio di gas serra ed è pertanto un'ottima tecnologia da implementare. Ci si trova, in ogni caso, in una fase iniziale di sviluppo di tali sistemi, che hanno pertanto un'efficienza ancora troppo bassa. Quindi, è necessario effettuare un'attenta valutazione, mirata a stabilire la direzione strategica verso cui indirizzare gli sforzi della ricerca futura.

PROGETTI AUSTRALIANI nel settore

Si riportano di seguito sette progetti, meta' dei quali si focalizza unicamente sulla produzione di idrogeno mediante l'uso delle alghe, mentre l'altra meta' dei progetti combina la produzione di idrogeno con il trattamento di rifiuti organici. L'attività di ricerca in questo settore sembra essere tuttavia ancora molto limitata e parecchi progetti non hanno alcun budget.

- **Progetto: "Feasibility of biological hydrogen production from biomass wastes using activated sludge micro-organisms".**
Obiettivi: Studio di fattibilità del meccanismo di produzione biologica dell'idrogeno da un corso d'acqua contenente rifiuti organici, attraverso la produzione di idrogeno da parte dei batteri che siano stati isolati e arricchiti con fanghi pretrattati digeriti e attivati. Tale processo rende necessaria una comprensione maggiore dei meccanismi biochimici e delle vie metaboliche che influiscono sui prodotti intermedi e finali in modo da ottenere un'elevata produzione di idrogeno.
Ente: University of South Australia
(B.Jin) +61 883025071
bo.jin@unisa.edu.au
- **Progetto: "Bioidrogenazione".**
Obiettivo: Ottimizzare il processo di produzione dell'idrogeno da rifiuti del settore agricolo. Elaborazione a blocchi dei batteri anaerobici che hanno portato alla produzione di idrogeno e ottimizzazione dei parametri operativi.
Ente: University of Wollongong
(M. Sivakumar) + 61 0417403852 siva@uow.edu.au
- **Progetto: "Microbiological methods".**
Obiettivo: Isolare nuovi e efficienti gruppi batterici in grado di produrre idrogeno e comparare i tassi di produzione dell'idrogeno con le tecnologie di fermentazione attualmente conosciute.

Ente: CSIRO Energy Technology
(N.Rogers) + 61 297106853
nicola.rogers@csiro.au

- **Project: “Bio hydrogen production using algae”**
Obiettivo: Incrementare la produzione di idrogeno guidata dall’energia solare, incluso lo sviluppo di sistemi per il contenimento delle alghe e per la fase di hydrogen harvesting
Ente: Centre for Sustainable Energy Systems, Australian National University
(J. Fernandez) + 61 261254736
Javier.Fernandez-velasco@anu.edu.au
- **Progetto: “Hydrogen from algae”**
Obiettivo: esaminare la capacita’ potenziale di certe alghe per la produzione di idrogeno e portare avanti lo studio dei bioreattori, sempre per la produzione di idrogeno dalle alghe.
Ente: University of Adelaide
(K.King) +61 883035448
kking@chemeng.adelaide.edu.au
- **Progetto: “Sustainable hydrogen production by biological methods”**
Obiettivo: approfondire il meccanismo di generazione dell’idrogeno da fonti biologiche (alghe verdi).
Ente: University of Queensland
(B.Hankamer) + 61 733462012
b.hankamer@imb.uq.edu.au
- **Progetto: “Bio proton exchange membrane fuel cell”.**
Obiettivo: Sviluppare un “air cathode” e un anodo con un digestore microbico (yielding protons).
Ente: Avery Technology Pty Ltd
(N.Avery) + 61 39850 6769
neilavery@optusnet.com.au

3.2.4 TERMOLISI

La dissociazione dell’acqua e’ una reazione altamente endotermica. A temperature superiori ai 1500 °C, il vapore acqueo inizia a dissociarsi in idrogeno e ossigeno con un aumento del tasso di dissociazione al crescere della temperatura e al diminuire della pressione. Per la completa dissociazione della molecola di acqua in idrogeno e ossigeno, sono richieste temperature superiori ai 3200 °C. In ogni caso e’ possibile produrre idrogeno dall’acqua a temperature piu’ basse utilizzando dei catalizzatori insieme con membrane permeabili gas-selettive.

La continua rimozione dell’ossigeno fa in modo che esso non si combini a ridare la molecola di acqua cosicche’ si possano raggiungere livelli di idrogeno apprezzabili anche

a 1000 °C. Tale temperatura può essere facilmente raggiunta indirizzando i raggi solari provenienti da migliaia di specchi verso un accumulatore termico posto sulla cima di un'alta "torre solare". Dal momento che l'idrogeno dovrebbe essere generato vicino a dove se ne ha bisogno, dato che produrlo su larga scala in aree non servite da un sufficiente numero di strade o comunque isolate non avrebbe senso, sono state create delle "mini" torri solari per la generazione decentralizzata di idrogeno. Tali strutture sarebbero più facili da installare e più elastiche nell'utilizzo, nel senso che si comporrebbero di unità e, all'occorrenza, potrebbero essere ingrandite mediante aggiunta di unità, per soddisfare la sempre crescente domanda energetica.

Il problema principale con gli impianti di termolisi sono i bassi tassi di efficienza di conversione e le grosse perdite di calore.

È stato anche suggerito che la radiazione solare-termica possa rendere più semplice e migliorare la decomposizione fotoelettrochimica dell'acqua, permettendo di condurre il processo ad alti valori di temperatura e pressione. La radiazione ricevuta dalla torre solare verrebbe separata nella componente infrarossa per portare acqua pressurizzata a temperature intorno almeno ai 3000 °C e nella radiazione visibile/ultravioletta per far avvenire la reazione di scissione (splitting) dell'acqua. Dal momento che calcoli di termodinamica suggeriscono che l'energia richiesta viene sostanzialmente ridotta a alti valori di temperatura e di pressione, dovrebbe essere possibile, per la conversione dell'energia solare in idrogeno, raggiungere efficienze attorno al 20%.

PROGETTI AUSTRALIANI nel settore

In quest'area di ricerca non si riporta alcun progetto.

3.2.5 CICLI TERMOCHIMICI

È possibile decomporre l'acqua per formare l'idrogeno utilizzando energia termica attraverso i "cicli termochimici". Questi sono l'esatto risultato di una sequenza di reazioni chimiche e portano alla decomposizione dell'acqua in idrogeno e ossigeno attraverso il calore fornito da una fonte esterna. All'interno del ciclo viene fornita energia a una reazione chimica endotermica e viene rilasciata da una reazione esotermica.

Il ciclo termochimico permette di produrre idrogeno dall'acqua a temperature molto più basse rispetto a quelle richieste dalla termolisi e permette di arrivare a efficienze del 40-50 %. I cicli possibili sono molteplici e diversi tra loro, fra questi si ricordano i due allo stadio più avanzato (i due più studiati e attualmente meglio conosciuti) che sono il ciclo zolfo-iodio e calcio- bromo che richiedono temperature di processo rispettivamente di 850 e 760 °C. Si sta inoltre tentando di studiare e capire meglio il ciclo rame-cloro, che richiede temperature minori (attorno ai 550°C). Si cerca ovviamente di trovare il modo di accoppiare i cicli termochimici con concentratori solari e con il calore di scarto proveniente dalle centrali elettriche e dai processi industriali.

PROGETTI AUSTRALIANI nel settore

In questa area di ricerca si ritrova un unico progetto, che sembra anche essere relativamente di modeste dimensioni/ piccolo.

- **Progetto: ‘Hydrogen generation via chemical reactions’**
Obiettivo: innalzare l’efficienza nella generazione dell’idrogeno utilizzando una reazione chimica brevettata.
Ente: Queensland University of Technology
(G. Will) + 61 738642297
g.will@qut.edu.au

Capitolo 4

DISTRIBUZIONE DELL'IDROGENO E IMMAGAZZINAMENTO

Nella seguente sezione si illustrano i metodi distribuzione e di immagazzinamento dell'idrogeno e si riportano i nomi dei progetti e degli enti che, sviluppando aspetti differenti, vi lavorano.

4.1 IDROGENO GASSOSO

4.1.1 CONDOTTE

Se si parla di idrogeno allo stato gassoso, il metodo piu' ovvio per distribuirlo sembrerebbe essere attraverso le condotte. Nel 2004 c'erano 1126 km di condotte per l'idrogeno negli U.S e 1529 km nella UE. Piu' di recente altre reti di condotte sono state installate nella Francia del Nord, negli U.S.A., nella Corea del Sud e in Thailandia. Ci sono pero' dei problemi legati al sistema delle condotte:

- 1) l'idrogeno puo' dare problemi legati ad alcuni materiali con cui si costruiscono le condotte.
- 2) Le ridotte dimensioni molecolari dell'idrogeno e la sua elevata fugacita' potrebbero renderlo facilmente diffusibile, al punto che riuscirebbe a "scappare" attraverso le condotte precedentemente costruite per il gas naturale
- 3) Il basso valore di densita' di energia rapportata al volume dell'idrogeno significa che per poter distribuire un determinato quantitativo di energia il flusso dovrebbe essere almeno 3 volte superiore a quello che si utilizza per il gas naturale
- 4) Su lunghe distanze ci sara' sicuramente il bisogno di ripressurizzare regolarmente il flusso ogni 100 km.

4.1.2 IMMAGAZZINAMENTO SOTTERRANEO

Per diversi anni il gas naturale e' stato conservato sottoterra in bacini petroliferi e gassiferi naturali ormai esauriti, metodo di immagazzinamento dai costi veramente limitati. Chiaramente la capacita' di conservare il gas sottoterra dipende in modo critico dalla natura degli strati di rocce sopra e sottostanti il bacino. Sono necessarie, infatti, rocce porose permeabili, mentre la "chiusura" del sistema viene completata dall'azione capillare dell'acqua nella formazione di copertura sovrastante la riserva. Talvolta, sempre per poter utilizzare bacini gassiferi esauriti, e' possibile contenere il gas all'interno di acquiferi porosi semplicemente asportando l'acqua e creando uno spazio artificiale per l'immagazzinamento del gas, assicurandosi che vi sia una formazione di copertura impermeabile che prevenga la fuga di gas.

La domanda che ci si pone e' dunque la seguente: si potrebbe utilizzare questo metodo di conservazione anche per l'idrogeno?

La principale differenza tra l'idrogeno e il gas naturale risiede nelle dimensioni minori della molecola di idrogeno e nel suo piu' elevato coefficiente di diffusione, entrambi fattori che potrebbero rendere piu' facile la fuga del gas dalla riserva.

Fortunatamente, le dimensioni dei pori nella formazione di copertura sono di dimensioni talmente ridotte che l'acqua viene rimossa con estrema difficolta' e che, facendo attenzione che la pressione del gas non raggiunga valori eccessivi, la copertura e' perfettamente in grado di trattenerne l'idrogeno. Dall'altro lato, invece, il piu' elevato coefficiente di diffusione dell'idrogeno dovrebbe rendere piu' semplice sia riempire che svuotare le riserve. Altre opzioni per il deposito sotterraneo sono le miniere abbandonate, le cave calcaree naturali o le cavita' create dall'uomo all'interno dei depositi di sale sotterranei (anche se i costi per scavare le cavita' artificiali rendono questa opzione meno allettante rispetto alla possibilita' di utilizzare cavita' naturali pre-esistenti). A cavita' differenti e' associata un'efficienza di immagazzinamento differente, in ogni caso diversi esempi di riserve di idrogeno sotterraneo sono gia' in commercio.

4.1.3 RECIPIENTI A PRESSIONE

Su scala minore rispetto all'utilizzo delle condotte, si possono impiegare per la conservazione dell'idrogeno, dei recipienti a pressione, che richiedono l'uso, pero', di compressori specifici. A volte le industrie che necessitano di idrogeno per le loro produzioni utilizzano metodi di immagazzinamento che consistono in file verticali o in pile orizzontali di cilindri a pressioni di 20 Mpa, fino a un massimo di 80 Mpa.

Pressioni cosi' elevate necessitano di contenitori con determinati requisiti, pertanto la fabbricazione di questi recipienti e' soggetta a severi standards e codici.

Per applicazioni particolari, in cui si richiede che l'idrogeno venga trasportato (ad esempio nel caso in cui venga usato come combustibile delle autovetture), sia il peso che il volume dei recipienti sono parametri di fondamentale importanza.

I cilindri convenzionali di acciaio sono limitanti in termini di densita' dell'energia che si puo' immagazzinare, a causa del loro peso eccessivo. Si rende pertanto necessario incrementare gli studi in questo campo, al fine di arrivare a utilizzare piu' idonei e nuovi materiali al posto dell'acciaio, in grado di sostenere pressioni maggiori, pur pesando molto di meno.

I problemi maggiori legati ai recipienti a pressione sono i costi elevati e le perdite durante la compressione dell'idrogeno, insieme con la necessita' di sviluppare materiali molto leggeri e adatti all'immagazzinamento (storage) a pressioni molto elevate, fino ai 70 Mpa.

Lo "storage" di idrogeno in contenitori cilindrici per il gas e' gia' una tecnologia in commercio utilizzata per gli usi che dell'idrogeno vengono fatti attualmente, pertanto non vi e' alcun progetto di ricerca in atto in Australia al giorno d'oggi.

La compressione ad elevate pressioni e lo "storage" nelle vetture di idrogeno, in modo che esso possa essere utilizzato come combustibile, sono oggetto di studio da parte delle grandi compagnie e case produttrici di macchine oltreoceano.

4.2 IDROGENO LIQUIDO

L'idrogeno liquido è un liquido criogeno con temperatura di ebollizione attorno ai 20 K (-253 °C). Ad una prima analisi superficiale, l'idrogeno liquido è la forma ottimale per conservare l'idrogeno, se si tiene conto della sua compattezza rispetto all'idrogeno gassoso. Difatti, l'idrogeno in forma liquida è circa 850 volte più denso di quello in forma gassosa.

Ci sono però degli aspetti negativi da tenere in considerazione. Prima di tutto il solo processo di liquefazione richiede di per sé un grande dispendio energetico, che in teoria dovrebbe essere di 4 MJ di elettricità per chilogrammo di idrogeno liquefatto, ma che in pratica è molto maggiore e varia al variare della scala su cui si opera.

Per impianti che operano su larga scala (da 1000 a 10000 kg/h) l'input energetico è equivalente a circa il 30% del contenuto energetico dell'idrogeno che è stato liquefatto, valore che è uguale o superiore negli impianti che lavorano su piccola scala.

Inoltre, la strumentazione criogenica necessaria per liquefare e contenere successivamente l'idrogeno è molto sofisticata e costosa. Infine, persino in condizioni di ottimo isolamento, il tasso di vaporizzazione è tale che l'idrogeno liquido (in quantità misurabili in chilogrammi) può essere conservato al massimo per pochi giorni. Sebbene la tecnologia per maneggiare e conservare l'idrogeno liquido esista già, i limiti di cui si è appena parlato lo rendono poco pratico per la maggior parte delle applicazioni potenziali.

Non esistono progetti australiani di ricerca in questo campo, e la probabilità che vi sia un cambiamento imminente in questa situazione è minima.

4.3 IDRURI METALLICI

Certi metalli e amalgame assorbono l'idrogeno in modo reversibile per formare idruri metallici. Questi vengono classificati in 5 famiglie denominate A, A₂B, AB, AB₂ e AB₅, dove il metallo A è un metallo di quasi transizione (an early transition metal) come il titanio, il vanadio, un metallo raro o il magnesio, e B è l'alluminio, il cromo, il cobalto, il ferro, il nichel o il manganese. Il ruolo chiave dell'uso di idruri di metalli sta nella loro capacità di assorbire e rilasciare l'idrogeno molte volte senza deterioramento. L'idrogeno viene inizialmente assorbito sulla superficie, dopodiché gli atomi di idrogeno diffondono all'interno del metallo o dell'amalgama. Questi atomi possono prendere la forma di un "random solid solution" o assumere la struttura ordinata di idruro, in entrambi i casi è molto elevata la densità volumetrica.

Da un punto di vista volumetrico, infatti, il contenuto in idrogeno può essere elevato tanto quanto nel caso di idrogeno liquido.

Il processo di assorbimento è generalmente esotermico, così per fare in modo che il processo continui ininterrottamente fino al valore massimo di capacità, il calore deve essere rimosso. La direzione del processo di assorbimento-desorbimento è determinata dalla pressione dell'idrogeno gassoso. Se la pressione è al di sopra del valore dell'equilibrio, allora verrà formato l'idruro. Al contrario, sotto il valore di pressione che si ha all'equilibrio, l'idrogeno viene rilasciato e il metallo o amalgama ritorna al suo stato originario. Il valore di pressione all'equilibrio, a sua volta, dipende dalla temperatura:

esso cresce al crescere della temperatura e viceversa. Sulla base di questa relazione, gli idruri possono essere suddivisi in tre categorie: idruri di alta-temperatura, di temperatura media e di bassa temperatura.

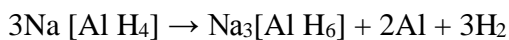
Da diversi studi effettuati, si è potuto concludere che le amalgame per poter essere utilizzati come riserve di idrogeno devono possedere specifici requisiti:

- La pressione di dissociazione di un amalgama dovrebbe essere compresa tra 0.1 e 1 MPa a temperatura ambiente.
- Gli idruri dovrebbero avere un elevato contenuto di idrogeno per unità di massa
- Le amalgame dovrebbero avere un costo ridotto e poter essere rapidamente preparati
- Il sistema dovrebbe essere caratterizzato da cinetica di reazione favorita e riproducibile
- L'entalpia della formazione di idruri dovrebbe essere il più possibile bassa
- Il letto del reagente dovrebbe avere un'alta conduttività termica
- Le amalgame non dovrebbero essere inquinate da impurità gassose
- Il sistema dovrebbe essere sicuro, anche se esposto all'aria

Non vi è un' amalgama che rifletta tutte queste caratteristiche precise, pertanto la scelta di un amalgama rispetto a un'altra è vincolata all'uso e all'applicazione che se ne vuole fare.

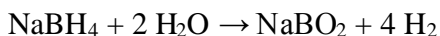
L'idrogeno può anche essere immagazzinato chimicamente sotto forma di sali ionici solubili $\text{Na}^+[\text{AH}_x]^-$, dove A rappresenta il boro o l'alluminio. Tali composti sono generalmente conosciuti con il nome di "complessi di idruri".

Per l'accumulo di idrogeno i sali di alluminio sono considerati i reagenti migliori ($\text{Na}[\text{AlH}_4]$ e $\text{Na}_3[\text{AlH}_6]$); la decomposizione termica del primo composto avviene in due passaggi:



Le reazioni sono reversibili solo a temperature e pressioni molto elevate.

Il sodioboroidruro, invece, è stabile fino a 400 °C e non è adatto a fornire idrogeno mediante un processo di attivazione termica. Esso rilascia idrogeno mediante la reazione con l'acqua che si riporta qui di seguito:



Tale reazione è irreversibile, ma il vantaggio sta nel fatto che il 50% dell'idrogeno proviene dall'acqua, in effetti NaBH_4 viene definito un agente "water-splitting", ovvero che separa la molecola di acqua.

Lo svantaggio legato all'utilizzo di idruri chimici sta nel fatto che le soluzioni utilizzate devono essere ricondotte ad un impianto di lavorazione per la rigenerazione degli idruri.

PROGETTI AUSTRALIANI nel settore

- **Progetto: “Development of the theory of solid-state diffusion and nuclear spin relaxation of hydrogen in metals”.**
Obiettivo: indagare e procurarsi delle basi teoriche per capire i dettagli microscopici della diffusione nei sistemi metallo-idruro.
Ente: University of New England
(C.Sholl) + 61 267732387
csholl@metz.une.edu.au
- **Progetto: “Hydrogen storage”.**
Obiettivo: esaminare le proprietà di immagazzinamento di idrogeno dei materiali meso-porosi, materiali organo-metallici di supporto, amalgama metallici.
Ente: Department of Applied Physics, Curtin University of Technology
(C.Buckley) + 61 892663532
GPO Box U1987, Perth, WA 6845, Australia.
- **Progetto: “Hydrogen storage using zeolites”**
Obiettivo: L'idrogeno viene immagazzinato mediante utilizzo di materiali dalla struttura cristallina come gli zeoliti.
Ente: University of Sydney
(T.Maschmeyer) +61 293512581
www.chem.usyd.edu.au/~maschmeyer_th
- **Progetto: “Feasibility study of a novel hydrogen storage material”**
Obiettivo: Trovare un nuovo materiale che possiede i requisiti termici e cinetici per poter essere utilizzato nei veicoli.
Ente: CSIRO Manufacturing & Infrastructure Technology
(A.Hill) + 61 395452665
anita.hill@csiro.au

4.4 NANOMATERIALI AL CARBONIO

Un altro possibile approccio per lo “storage” di idrogeno è suggerito da uno studio recente sui materiali i cui elementi strutturali hanno dimensioni nell'ordine della nanoscala. Questi materiali definiti “nanostrutturati” hanno un'elevata superficie specifica-area ($\text{m}^2 \text{g}^{-1}$) che può essere ottenuta creando piccole particelle o cluster con un elevato rapporto superficie – volume . Un forte interesse verso questi materiali è iniziato negli anni '90 con la scoperta di nuove tecniche per produrre differenti tipi di materiali con nanostrutture al carbonio. Questo, infatti, sottoforma di nanofibre o nanotubi, è in grado di trattenere ragionevoli quantità di idrogeno.

PROGETTI AUSTRALIANI nel settore

I problemi da risolvere in questo settore sono principalmente legati all'elevato costo delle strutture in carbonio, alla preparazione di materiali omogenei e facilmente riproducibili con una grande capacità di "storage" dell'idrogeno.

Inoltre, rimane anche da dimostrare l'abilità di queste strutture di immagazzinare e recuperare l'idrogeno.

Si riportano di seguito cinque progetti che indagano diversi aspetti fondamentali dei materiali basati sul utilizzo di carbonio.

- **Progetto: "Non-dissociative hydrogen storage on functionalised surfaces".**
Obiettivo: Arrivare a una conoscenza approfondita della debole interazione molecolare dell'idrogeno con le superfici funzionalizzate e con le nanoparticelle.
Ente: Ian Wark Research Institute, University of South Australia
(P.Majewski) + 61 883023162
Peter.majewski@unisa.edu.au
- **Progetto: "Nanoporous carbons for hydrogen storage".**
Obiettivo: Sviluppare e testare materiali nanoporosi assorbenti al carbonio per l'immagazzinamento (storage) di idrogeno.
Ente: Department of Chemical Engineering, Monash University
(P.A.Webley) + 61 399051874 o + 61 408338656
- **Progetto: "Hydrogen absorption by nanostructured carbons".**
Obiettivo: Cercare di capire i motivi per i quali l'idrogeno dovrebbe o non dovrebbe essere assorbito da materiali al carbone e cercare di determinare le capacità dell'idrogeno di selezionare i diversi tipi di "carbons" utilizzando "muon spinrelaxation" e tecniche di diffrazione neutronica.
Ente: Griffith University
(E.Gray) + 61 738757240
e.gray@griffin.edu.au
- **Progetto: "Quantum-mechanistic modelling of hydrogen adsorption on carbon nanotubes".**
Obiettivo: Arrivare a capire l'esatto meccanismo del legame con l'idrogeno nei nanotubi al carbonio e fornire un'accurata predizione della capacità di tali materiali di accumulare idrogeno.
Ente: ARC Centre for Functional Nanomaterials, University of Queensland
(J.Finnerty) + 61 733653884
j.finnerty@uq.edu.au

4.5 COMPOSTI RICCHI IN IDROGENO

Un elevato numero di composti, come l'ammoniaca, cicloesano, etanolo, metanolo, possono agire come trasportatori chimici di idrogeno. Il gas viene poi recuperato mediante decomposizione catalitica. Il metanolo viene generalmente ottenuto in seguito

dal “synthesis gas” attraverso reazione catalitica di due molecole di idrogeno con una di monossido di carbonio. Si tratta di un composto chimico estremamente versatile e viene utilizzato anche come combustibile per le vetture. Il metanolo che si ottiene dai combustibili fossili e’ inoltre un possibile candidato per essere utilizzato nelle celle a combustibile nelle vetture, ma anche nelle applicazioni portatili. In generale, non e’ particolarmente economico immagazzinare idrogeno prodotto attraverso altre vie (elettrolitica o fotoelettrolitica) in composti chimici come il metanolo, ammoniaca e etanolo. La spinta a investire in tali tecnologie, basate sui sistemi di accumulo reversibile di idrogeno, e’ pertanto minore rispetto a altre.

PROGETTI AUSTRALIANI nel settore

Vengono riportati solo due progetti in questo settore di ricerca; si possiedono dati relativi al budget solo del progetto dell’Australian National University, che e’ molto ridotto, pari a \$200 K.

- **Progetto: “Direct methanol production from natural gas by partial oxidation aided with a homogeneous catalyst and sensitizers”.**
Obiettivo: produrre metanolo come “carrier” di idrogeno.
Ente: Centre for Fuels and Energy, Curtin University of Technology
(D.Zhang) + 61 892661133 dkzang@che.curtin.edu.au
www.feewa.curtin.edu.au
- **Progetto: “Thermochemical storage of solar energy via ammonia dissociation”.**
Obiettivo: sviluppare una tecnologia per la produzione di elettricitá’ “solare” 24 ore su 24 e su larga scala.
Ente: Centre for Sustainable Energy System, Australian National University
(K. Lovegrove) + 61 261255433
Keith.lovegrove@anu.edu.au

Capitolo 5

GENERAZIONE DI IDROGENO DISTRIBUITO

5.1 IDROGENO DISTRIBUITO

I sistemi distribuiti sono situati o vicino o presso il luogo in cui si trova il consumatore e offrono un'elevata efficienza (fino all'80-90%) grazie alla loro abilita' di co-generare e di tri-generare elettricit , calore e raffreddamento, riducendo enormemente le perdite nella trasmissione e distribuzione.

Inoltre, questi sistemi offrono delle buone prospettive per quanto riguarda la riduzione delle emissioni di gas serra.

Le pile a combustibile sono molto adatte a essere utilizzate nei sistemi di energia distribuita e il loro ulteriore sviluppo richieder  la produzione di idrogeno su piccola scala. La produzione di "idrogeno distribuito" sar  necessaria prima di tutto nelle stazioni di servizio (per rifornire da 200 a 300 macchine al giorno), per le case, e sar  necessario anche sviluppare le infrastrutture per il trasporto e la distribuzione di idrogeno.

Possibili opzioni per la produzione di idrogeno distribuito sono le seguenti:

- Processo di "reforming" in situ di combustibili come il diesel, etanolo, metanolo, gas naturale con l'integrazione di sistemi di depurazione dei gas. Considerazioni di tipo economico, a ogni modo, richiedono lo sviluppo di reattori a basso costo integrati con sistemi di depurazione dei gas, sempre a basso costo.
- Gli elettrolizzatori d'acqua non necessitano alcun sistema di depurazione di gas e l'idrogeno generato puo' essere direttamente utilizzato in una cella a combustibile senza alcuna elaborazione. Sfortunatamente gli elettrolizzatori attuali sono molto dispendiosi e hanno anche un'efficienza abbastanza bassa. Pertanto, e' necessario produrre sistemi con bassi costi di mantenimento, alti valori di efficienza (attorno a 85-90%) che possano operare a densita' di corrente superiori ai 10000 A m^{-2} e che siano vadano incontro a una modesta riduzione delle performance con il passare del tempo. Tutti i sistemi elettrochimici offrono parecchi vantaggi rispetto agli elettrolizzatori convenzionali basati su uso di acidi o alcali. In particolare, tendono a lavorare con alte pressioni e cio' riduce i costi legati al procedimento di compressione dell'idrogeno per l'immagazzinamento.
- Gli elettrolizzatori che operano a elevate temperature, integrati con l'energia solare hanno la capacita' potenziale di ridurre la domanda di elettricit  per la produzione di idrogeno includendo energia sotto forma di calore nel processo di scissione della molecola di acqua.

PROGETTI AUSTRALIANI nel settore

Le attività di ricerca includono la dimostrazione di un sistema di elettrolisi allo stato solido per la produzione di idrogeno in situ, per la generazione di idrogeno in base alla richiesta, la progettazione di impianti per il rifornimento di energia alle aree più remote e il processo di “pre-reforming” di idrocarburi combustibili per il loro utilizzo in celle a combustibile sotto forma di ossido solido e la costruzione di stazioni per il rifornimento di idrogeno. Sono sei i progetti di ricerca in questo settore, condotti dal CSIRO, università, centri privati.

- **Progetto: “ Water electrolysis with polymer electrolyte membranes and integration with renewable energy (note this project is repeated from an earlier section on water electrolysis)**
Obiettivi: dimostrare il possibile sviluppo di una efficiente tecnologia per l'elettrolisi per la generazione di idrogeno in situ e in base alla richiesta e cercare di integrarla con una tecnologia che si basa sull'utilizzo di una fonte di energia rinnovabile.
Ente: CSIRO Manufacturing and Infrastructure Technology,
CSIRO Energy Transformed Flagship
(S.P.S.Badwal) + 61 395452719
sukhvinder.badwal@csiro.au
- **Progetto: “Optimisation of remote-area power-supply designs for life-cycle environmental effects”.**
Obiettivi: Ottimizzare la capacità di carico variabile e i costi per il rifornimento di potenza a un'area remota per la produzione, l'immagazzinamento e l'utilizzo di idrogeno attraverso elettrolizzatori e un motore a combustione interna a idrogeno.
Ente: Hydro Tasmania and University of Tasmania
(T.Houstein) + 61 3622620994
toddh@utas.edu.au
- **Progetto: “Hybrid wind-photovoltaic system”.**
Obiettivo: Valutare la fattibilità da un punto di vista tecnico e effettuare un'analisi finanziaria di un sistema “ibrido” fotovoltaico e eolico con immagazzinamento di idrogeno per Cooma (New South Wales).
Ente: Department of Chemical Engineering, University of Sydney,
(B.D.Shakya) + 61 293513411, 0421 103744
lau@unimelb.edu.au
sbik9285@usyd.edu.au
- **Progetto: “Reforming of fuels for use in solid oxide fuel cells”.**
Obiettivo: Trasformare i combustibili per la diretta conversione all'interno delle celle a combustibile sotto forma di ossido solido.
Ente: Ceramic Fuel Cells Limited
(K. Foger) + 61 395542300
karlf@cfcl.com.au

- **Progetto: “Hydrogen refueling stations for Tasmania”.**
 Obiettivo: Studio degli aspetti economici, tecnici ed ergonomici dei “vehicle fleet deployment” e delle associate stazioni di rifornimento.
Ente: Hydro Tasmania and University of Tasmania
 (V.Karri) + 61 362262433
vishy.karry@utas.edu.au

- **Progetto: “Decentralised power and water for housing and industry“.**
Obiettivo: Utilizzare la tecnologia delle celle a combustibile per creare un sistema integrato di rifornimento di energia a un gruppo di case e/o a un piccolo complesso industriale, insieme con la tecnologia di purificazione dell’acqua, per poter arrivare a avere una totale indipendenza dalle reti di distribuzione sia dell’energia che di acqua.
Ente: National Hydrogen Institute of Australia\
 (S.Zorbas) + 61 296102906
www.hydrogen.asn.au

- **Progetto: “Feasibility of fuel cells for remote-area power supply (RAPS) applications”.**
Obiettivo: testare la fattibilita’ di sistemi con celle a combustibile per le applicazioni di tipo RAPS conducendo test in ambienti controllati.
Ente:”Research Institute for Sustainable Energy (RISE), Murdoch University
 (T.Pryor) + 61 893606286
t.pryor@murdoch.edu.au
ncoad@rise.murdoch.edu.au

Capitolo 6

UTILIZZO DELL'IDROGENO

A parte l'uso attuale di idrogeno nella produzione di ammoniaca e fertilizzanti, raffinerie e processi metallurgici, l'altro potenziale maggior uso dell'idrogeno e' come "energy carrier", ovvero come trasportatore di energia.

L'energia contenuta nell'idrogeno puo' essere estratta sia bruciando il gas all'interno di un motore a combustione interna o in una turbina, sia combinando in maniera elettrochimica l'idrogeno con l'ossigeno in una cella a combustibile per produrre elettricità, calore e acqua.

6.1 PILE A COMBUSTIBILE

La pila a combustibile e' un generatore elettrochimico in cui, in linea di principio, entrano un combustibile (tipicamente idrogeno) e un ossidante (ossigeno o aria) e da cui si ricavano corrente elettrica continua, acqua e calore .

Il combustibile (idrogeno) e i gas ossidanti (ossigeno dato semplicemente dall'aria) lambiscono rispettivamente l'anodo e il catodo (sulle facce opposte a quelle in contatto con l'elettrolita).

Data la porosità degli elettrodi, vengono in questo modo continuamente alimentate le reazioni di ossidazione del combustibile e di riduzione dei gas ossidanti.

Come combustibile possono essere usati, oltre all'idrogeno, anche il metano e il metanolo; da questi naturalmente l'idrogeno deve essere estratto con un particolare procedimento. Le pile a combustione possono essere pensate come uno strumento che fa l'inverso dei più conosciuti esperimenti dove, facendo passare una corrente elettrica attraverso l'acqua, questa si divide in idrogeno e ossigeno.

Un aspetto di importanza fondamentale per le applicazioni delle pile a combustibile, e' rappresentato dal fatto che gli effluenti (acqua e gas esausti), che vanno continuamente rimossi dalla cella, non contengono sostanze inquinanti.

La cella ha struttura piatta a tre strati, di cui quello centrale, compreso fra il catodo e l'anodo, costituisce o contiene l'elettrolita. Alcuni tipi di celle funzionano in orizzontale, altre in verticale.

Essendo simile alle batterie , così come gli altri elementi voltaici, una pila a combustibile e' formata essenzialmente da due elettrodi, catodo e anodo, e da un elettrolita che permette la migrazione degli ioni. A differenza delle batterie comuni, nella pila a combustibile, la materia attiva viene continuamente rinnovata e quindi la corrente elettrica continua può essere erogata indefinitamente, se si mantiene l'alimentazione di combustibile e di gas ossidanti.

In pratica, le superfici affacciate devono avere un'area sufficiente per ottenere intensità di corrente adeguate alle esigenze applicative. Si può così arrivare, in funzione dell'applicazione e della filiera di celle, a superfici dell'ordine del metro quadrato. Le singole celle (caratterizzate da tensioni comprese da mezzo volt a un volt , secondo la tecnologia adottata e il carico elettrico ad essa collegato) vengono sovrapposte una all'altra, collegandole in serie in modo da ricavare una tensione complessiva del valore

desiderato. L'impilamento di celle che così si ottiene, forma il cosiddetto stack (o "pila"), che rappresenta la base della sezione elettrochimica. Generalmente un impianto a celle a combustibile è composto, oltre che dal modulo di potenza (contenente la sezione elettrochimica) anche da un convertitore di corrente (inverter) e di un trasformatore che convertono la corrente continua generata dalla pila in corrente alternata alla tensione e alla frequenza desiderate.

6.1.1 PILE A COMBUSTIBILE CON MEMBRANA DI SCAMBIO PROTONICO: PEM (PROTON MEMBRANE EXCHANGE)

Conosciute anche come SPFC (Solid Polymer Fuel Cell) e PEFC (Proton Exchange Fuel Cell) queste pile a combustibile (o celle a combustibile) funzionano a temperature relativamente basse (60-120 °C), hanno un'alta densità di energia e il loro rendimento può variare velocemente a seconda delle esigenze. Sono adatte per applicazioni che necessitano di un avvio veloce.

Secondo il Dipartimento di Energia Statunitense “sono le più indicate per i veicoli a basso rendimento, per gli edifici e, potenzialmente, per piccoli strumenti, essendo utilizzabili come batterie sostituibili o ricaricabili”. La membrana di scambio dei protoni, ricoperta da entrambi i lati da una lega di particelle metalliche (in origine platino ma ora anche altri materiali meno costosi) sparpagliate che fungono da catalizzatori, è un sottile foglio di plastica che permette il passaggio dell'idrogeno. Gli atomi di idrogeno vengono attirati verso l'anodo della pila a combustibile dove, grazie al catalizzatore, sprigionano elettroni diventando ioni di idrogeno (protoni). Gli elettroni così prodotti creano corrente elettrica che può essere utilizzata prima che venga raggiunto il catodo, dove si trova l'ossigeno.

Nello stesso tempo i protoni, attraverso la membrana, arrivano al catodo dove idrogeno e ossigeno hanno prodotto acqua, completando l'intero processo.

La reazione all'interno di ogni elettrodo è:



Il gas di idrogeno viene ionizzato producendo elettroni liberi e H⁺ ioni.

Gli elettroni percorrono il circuito esterno della cella, e arrivano al catodo. Gli H⁺ ioni si muovono attraverso la soluzione elettrolitica e arrivano anch'essi al catodo.



Nel catodo gli H⁺ ioni e gli elettroni reagiscono con l'ossigeno producendo l'acqua:



L'unico "inquinante" che produce questo tipo di cella è l'acqua.

L'unico carburante consentito è l'idrogeno, gli idrocarburi possono essere utilizzati ma il loro reform deve essere fatto perfettamente. Una piccola quantità di monossido di carbonio nella cella e' un veleno permanente per il catalizzatore.

Generalmente lavorano ad una temperatura di esercizio di 90°C e questo permette di usare anche materiali poco costosi. Sfortunatamente queste basse temperature sono vicine alla temperatura ambiente e questo e' un problema perché non si riesce a disperdere il calore in eccesso.

E' richiesto un catalizzatore per avviare la reazione a queste basse temperature; agli inizi veniva usato il platino ma il suo alto costo ha portato a sviluppare nuovi materiali, ed ora il costo per automobile del catalizzatore e' di circa 150\$.

Se si usa un reformer sono richiesti alcuni minuti ulteriori per il riscaldamento. La riserva di idrogeno deve essere usata nella fase di start-up.

E' richiesto l'uso di un impianto di raffreddamento, questo per la presenza di acqua pura nella cella. La gestione di questa acqua e' un problema per le prestazioni della cella; la cella infatti, deve operare in condizioni tali che l'acqua prodotta non evapori troppo velocemente altrimenti la membrana polimerica non e' sufficientemente idratata.

Le celle a membrana polimerica sono state inizialmente sviluppate per impieghi spaziali (Gemini) e, a partire dalla metà degli anni Ottanta, sono oggetto di crescente attenzione per applicazioni di trazione elettrica a causa dell'elevata densità di potenza e dell'assenza di problemi di corrosione.

Nel settore della generazione stazionaria di energia elettrica, l'uso delle pile a combustibile a membrana polimerica e' previsto nelle seguenti applicazioni: sistemi di emergenza (con potenze da poche decine di watt fino a 10 kW) adatti a rimpiazzare i tradizionali sistemi diesel, generazione di energia localizzata per usi residenziali (moduli da 3-5 kW), generazione di energia per il settore commerciale (moduli da 50-200 kW), conversione dell'idrogeno, sottoprodotto di processi chimici, in energia elettrica per usi industriali (moduli da 200 kW).

6.1.2 PILE A COMBUSTIBILE ALCALINE : AFC (ALKALI FUEL CELL)

La soluzione elettrolita e' usualmente una soluzione acquosa di KOH, ossia idrossido di potassio. Hanno elettrodi porosi, nelle condizioni più comuni a base di Nichel, meglio se della famiglia del Platino: questo permette ad esse di operare a temperature di esercizio tra i 60 e 100°C.

La chiave per l'innesco della reazione nelle celle è un eccesso di OH-ioni.

La reazione all'interno di ogni elettrodo e':



Il gas d'idrogeno reagisce con gli OH-ioni, producendo acqua e rilasciando elettroni: gli elettroni percorrono il circuito elettrico connesso alla cella e giungono al catodo.



Qui gli ioni reagiscono con l'ossigeno e l'acqua producendo ancora ioni OH⁻ per rifornire quelli usati nell'anodo:



Gli ioni OH⁻ si muovono attraverso la soluzione elettrolita e gli elettroni attraverso il circuito.

L'acqua è prodotta nell'anodo due volte più velocemente quanto più è usata nel catodo. Il catodo è il terminale positivo, gli elettroni scorrono verso di lui.

Il carburante è l'idrogeno, in alcuni casi viene usata anche idrazina.

Non possono operare con biossido di carbonio o altri carburanti o ossidanti; perfino la piccola quantità di biossido di carbonio nell'aria è inutilizzabile. Per quanto riguarda le potenzialità specifiche delle singole filiere, la tecnologia delle celle alcaline AFC si può considerare ormai matura, ma le caratteristiche di queste pile le rendono adatte solo quando siano disponibili idrogeno e ossigeno puri.

Operano a varie temperature, e l'efficienza è elevata e può arrivare oltre al 70% in esercizio a piena potenza.

Il vantaggio è che riescono ad avere uno start-up veloce a freddo.

APPLICAZIONI

A dispetto dell'efficienza, il costo dei materiali di costruzione ne impediscono una distribuzione di massa. Esse sono state sperimentate soprattutto in applicazioni spaziali e militari e di trasporto terrestre, ma la mancanza di flessibilità nei riguardi del combustibile da impiegare rallenta il loro sviluppo.

6.1.3 PILE AD ACIDO FOSFORICO: PAFC (PHOSPHORIC ACID FC)

Usano come elettrolita una soluzione di acido fosforico imbevuto in una matrice di carburo di silicio posta fra due elettrodi di grafite opportunamente trattata (temperatura media di esercizio: 180-200 °C).

Vi sono gravi problemi di corrosione che restringono la scelta del materiale degli elettrodi e del catalizzatore. Gli elettrodi possono essere fatti di oro, titanio e carbone e il catalizzatore può essere solo di materiali della famiglia del platino. L'acido usato non deve essere volatile, così che sia solo l'acqua l'unico elemento ad evaporare.

Le reazioni all'interno di ogni elettrodo sono:





Avendo un'alta tolleranza di CO₂ si possono usare gli idrocarburi, alcoli oppure anche idrogeno impuro.

Lavorano ad una temperatura tra i 150 e 220°C. A queste temperature sono ideali per piccoli e medi impianti. Un impianto di 200kW AC ha un'efficienza del 40%. Possono essere usate anche per produrre acqua calda e per il riscaldamento domestico.

APPLICAZIONI

Le pile ad acido fosforico rappresentano l'unica filiera di pile a combustibile a livello commerciale, con impianti package di taglia 100 - 200 kW. Impianti di taglia maggiore (vari megawatt) sono stati installati già da tempo negli Stati Uniti e in Giappone.

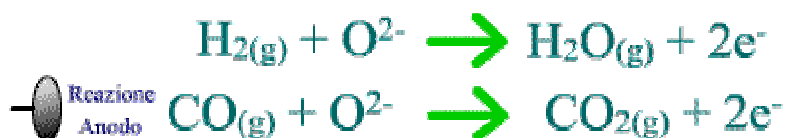
Il loro uso in tali paesi prevede applicazioni in ospedali, case di cura, uffici, scuole e terminali di aeroporto.

La temperatura di funzionamento delle celle PAFC e' sufficientemente alta per consentire l'utilizzazione del calore prodotto sia per il preriscaldamento del processo di reforming del combustibile (gas naturale) sia per utenze esterne di cogenerazione.

6.1.4 PILE AD OSSIDI SOLIDI: SOFC (SOLID OXIDE FUEL CELL)

Sono considerate le più ricercate tra le pile che usano carburanti basati su idrocarburi. Infatti risultano semplici, altamente efficienti, tolleranti alle impurità e possono fare il reforming internamente alla cella. L' elettrolita e' formato da ossido di zirconio stabilizzato con ossido di ittrio; il catodo e' costituito da manganito di lantanio opportunamente trattato, l'anodo da un cermet a base di nichel-ossido di zirconio (temperatura media di esercizio: 800-1000 °C).

La reazione all'interno di ogni elettrodo e':



Fuel: metano. Possono essere usati come carburante sia l'idrogeno che il monossido di carbonio. Non c'è bisogno di reforming esterno il tutto è perfettamente funzionante all'interno della cella.

La reazione, essendo ottima alle alte temperature, non necessita di aria compressa. Queste celle non necessitano neanche l'uso di un catalizzatore, e di un circuito di raffreddamento; infatti nei piccoli sistemi l'isolamento serve per mantenere in temperatura il sistema. La cella si raffredda tramite l'azione di reforming interna e dal particolare circuito d'aria disegnato intorno alla cella. L'efficienza è oltre il 60%, le loro immensa dimensione ne impediscono l'uso in piccole applicazioni.

I vantaggi sono pochi, ma importanti; per l'elevata temperatura a cui lavorano non serve usare un catalizzatore per alimentare la reazione e di conseguenza il costo di esercizio non è troppo elevato. La densità di potenza è elevata quindi si riescono ad ottenere sistemi abbastanza compatti.

Sono richiesti un po' di minuti per far arrivare il sistema a una temperatura di almeno 650°C. Quindi la richiesta di un tempo di start-up abbastanza lungo, concede l'utilizzo di tali sistemi soprattutto per apparati che funzionano con continuità. Sempre per l'alta temperatura non conviene creare impianti sotto i 1000W. Piccole SOFC danno un'efficienza del 50%. Per garantire una più elevata potenza vengono combinate con turbine a gas. Praticamente le fuel cell sono pressurizzate e le turbine a gas originano elettricità grazie al calore prodotto dalle celle. Queste celle danno un'efficienza tra il 60-70%.

6.1.5 PILE A CARBONATI FUSI: MCFC (MOLTEN CARBONATE FUEL CELL)

Usano come elettrolita una miscela di carbonati (tipicamente di litio e di potassio), i due elettrodi sono entrambi a base di nichel: il catodo impiega ossido di nichel litiato, l'anodo usa nichel con piccole percentuali di cromo (temperatura media di esercizio: 600-700 °C). Nessuno dei due elettrodi necessita di essere costruito con metalli nobili.

La reazione all'interno di ogni elettrodo è:



Qui viene usato Nickel



Si usa Ossido di Nickel



Tutti i prodotti del petrolio possono essere usati come combustibile; un semplice combustibile come idrogeno o metanolo e' inutile fino a che le alte temperature della reazione degli idrocarburi all'elettrodo sono completamente favorevoli. Si possono quindi usare prodotti basati sul carbone o gas naturali. L'alta temperatura e' richiesta per ottenere la giusta conduttività nell'elettrolita.

Come le SOFC non necessitano di reformer, per questo sono definite anche "Fuel Cell Dirette"

Nota: in queste celle il CO₂ è fatto "ricircolare", in pratica viene riutilizzato come parziale carburante e non immesso in atmosfera.

Queste pile hanno un elevato rapporto di carburante immesso/elettricità ottenuta. La loro temperatura di esercizio e' tra i 600-650°C.

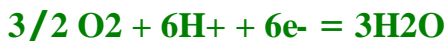
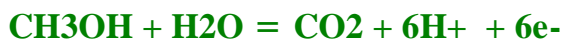
Effettuano il reforming all'interno dello stack; lo svantaggio sta nella la corrosività dell'ettrolita (molten carbonate).

Possono raggiungere un'efficienza del 60%.

6.1.6 PILE A METANOLO DIRETTO: DMFC (DIRECT METHANOL FUEL CELL)

Sono tra le tecnologie più recenti in ambito alle celle a combustibile, come la PEM sfrutta un polimero come elettrolita. Tuttavia, nella DMFC l'anodo catalizzatore estrae l'idrogeno direttamente dal metanolo, senza la necessità di un reformer di combustibile. Queste pile a combustibile raggiungono un rendimento pari circa al 40% e sono operative tra i 60° e i 90°C. Temperature più alte permettono un rendimento maggiore. Le piccole dimensioni delle DMFC, spesso simili a una scatola di fiammiferi, le rendono adatte a essere utilizzate come batterie per strumenti portatili.

La reazione all'interno di ogni elettrodo:



L'efficienza teorica è del 40%, ma le attuali applicazioni sono testate ad una efficienza del 20%, non è chiaro se il metanolo "incombusto" possa essere riciclato, nel qual caso l'efficienza aumenta di conseguenza.

PROGETTI AUSTRALIANI

In Australia, gli investimenti nelle pile a combustibile sono relativamente piccoli e concentrati principalmente sulla tecnologia delle pile a ossidi solidi da parte della Ceramic Fuel Cells Ltd. Il CSIRO ha condotto un sacco di ricerca sia sulle pile a ossidi solidi, sia sulle pile a combustibile con membrana di scambio protonico e sta cercando di commercializzare quest'ultime che sono oggetto di studio e sviluppo sin dal 1998. Non solo il CSIRO, ma anche un ampio numero di università (anche in collaborazione con il Ceramic Fuel Cells Ltd, o in maniera indipendente) e alcune piccole compagnie private investono in ricerca in questo campo.

- **Progetto: “Commercialisation of solid oxide fuel cells”.**
Obiettivo: sviluppare prodotti commerciali che incorporino pile di celle a combustibile sotto forma di ossido solido.
Ente: Ceramic Fuel Cells Limited
(K.Foger) + 61 395542300
karlf@cfcl.com.au
- **Progetto: “Proton exchange membrane fuel cell (PEMFC) technology”.**
Obiettivo: Sviluppare una “piattaforma” per la tecnologia PEMFC per la commercializzazione di un ampio range di prodotti fino a 20kW.
Ente: CSIRO Manufacturing & Infrastructure Technology
(S.P.S. Badwal) + 61 395452719 o + 61 402014644
sukhvinder.badwal@csiro.au
- **Progetto: “Development of robust solid oxide fuel cells”.**
Obiettivi: i) sviluppare nanomateriali per la prossima generazione planare di pile a combustibile sotto forma di ossido solido che opereranno tra i 600 e gli 800 °C.
ii) identificare i materiali che incontrano i requisiti specifici per i generatori di potenza su piccola scala, alla scala di 3-5 kW per applicazioni nella generazione di potenza stazionaria, per rifornire potenza alle aree remote e potenza ausiliaria nei veicoli.
Ente: ARC Centre for Functional Nanomaterials, University of Queensland
(A.Dicks) + 61 733653699, andrewd@cheque.uq.edu.au
- **Progetto:” Adiabatic proton exchange membrane fuel cell (PEMFC)”.**
Obiettivo: Sviluppare una pila PEMFC auto-raffreddante
Ente: Avery Technology Pty Ltd
(N.Avery) + 61 398506769
neilavery@optusnet.com.au
- **Progetto: “Sputter deposition of platinum nano-clusters for fuel cell electrodes”.**
Obiettivo: creare una pila a combustibile con membrana di scambio protonico PEM a costi minori e più efficiente dal punto di vista energetico.
Ente: Plasma Research Laboratori, Australian National University
(R.Boswell) + 61 261253442
www.sp3.anu.edu.au

- **Progetto: “Development of catalysts for internal reforming fuel cells”.**
Obiettivo: sviluppare materiali avanzati (sottili pellicole) per le pile a ossidi solidi e a carbonati fusi.
Ente: University of Queensland
 (A.Dicks) + 61 733653699
andrewd@cheque.uq.edu.au
- **Progetto: “Zirconia for solid oxide fuel cell”.**
Obiettivo: Sviluppare, caratterizzare, produrre ossido di zirconio per la realizzazione di pile a ossidi solidi.
Ente: Millennium Chemicals
 (V.Latrie) + 61 894111238
viv.latrie@millenniumchem.com
- **Progetto: “High-efficiency, durable, low- cost polymer electrolyte membrane fuel cells”.**
Obiettivo: Sviluppare assemblaggi di elettrodi avanzati a membrana e nuovi catalizzatori depositati su supporti con un elevato rapporto superficie-area.
Ente: CSIRO Energy Technology, CSIRO Energy Transformed Flagship
 (M.Horne) + 61 395458866
mike.horne@csiro.au
- **Progetto: “Proton-conducting membranes for polymer electrolyte membrane (PEMFC) and direct methanol (DMFC) fuel cells”.**
Obiettivo: preparare e caratterizzare nuove membrane a conduzione protonica che renderanno possibile operare con elevate temperature nel caso di PEMFCs migliori performances attraverso un minore passaggio di metanolo nel caso di DMFCs; creare membrane composite formate dalle convenzionali membrane polimeriche ad acido solfonato intercalate con specie a conduzione protonica come fosfati di zirconio e silicati.
Ente: ARC Centre for Functional Nanomaterials, University of Queensland
 (M.Lu, J. da Costa) + 61 733656960, joedac@cheque.uq.edu.au
- **Progetto: “Electrolyte membranes for fuel cells”.**
Obiettivo: Sviluppare e testare nuove membrane per le pile a combustibile con membrana a scambio protonico.
Ente: Monash University
 (M. Forsythe) + 61 99054540
m.forsythe@spme.monash.edu.au
- **Progetto: “Mesoporous electrode materials”.**
Obiettivo: Sviluppare nuovi materiali a elettrodi per supercondensatori e sistemi a pile a combustibile.
Ente: CSIRO Molecular Science, CSIRO Energy Transformed Flagship
 P. Hartley) + 61 395452595 o + 61 402444908
patrick.hartley@csiro.au

- **Progetto: “Polymer electrolyte membrane fuel cell”.**

Obiettivo: Sviluppare una PEMFC con polimeri con un nuovo settore a scambio protonico per le operazioni a elevate temperature (da 120 a 160 °C) e bassa umidità (da 25 a 50% di umidità relativa) relativamente ai sistemi che funzionano con celle a combustibile a idrogeno e a elevate concentrazioni di metanolo (>2M) per quanto riguarda i sistemi a combustibile alimentati da metanolo.

Ente: CSIRO Molecular Science, CSIRO Energy Transformed Flagship

(P. Hartley) + 61 395452595 o + 61 402444908

patrick.hartley@csiro.au

- **Progetto: “Johnson Matthey fuel cells”.**

Obiettivo: dare risalto all’interno del mercato australiano ai vantaggi delle pile a combustibile Johnson Matthey.

Ente: Kandls Consultants

(K. Peakman) + 61 295012669 o + 61 401326162

kandls@optusnet.com.au

6.1.7 APPLICAZIONI NEI TRASPORTI

La maggior parte delle case produttrici automobilistiche sta sviluppando vetture con celle a combustibile. Tali automobili sono solitamente equipaggiate con batterie o super condensatori che forniscono un potere di spinta durante l’accelerazione e in salita.

Sono molteplici i prototipi di vetture che si sta cercando di sviluppare, caratterizzati da metodi differenti di immagazzinamento dell’idrogeno a bordo.

Molte delle ditte produttrici sostengono che la commercializzazione delle vetture a idrogeno avverrà tra il 2015 e il 2020.

PROGETTI AUSTRALIANI nel settore

Sono tre gli autobus che sono stati presentati come progetto dimostrativo dalla Ditta DaimlerChrysler a Perth. Il CSIRO è coinvolto con la General Motors in progetto di sviluppo dei componenti per la costruzione di una macchina a celle a combustibile. Anche la ricerca condotta dal CSIRO e da un certo numero di università australiane riguardo alle PEMFC ha notevole importanza per le applicazioni al settore dei trasporti.

- **Progetto: “Sustainable Transport Energy for Perth (STEP) hydrogen bus trial”.**

Obiettivo: Collaudare l’uso dell’idrogeno e delle celle a combustibile nel settore del trasporto pubblico (da notare che questo progetto include anche elementi riguardanti la produzione di idrogeno dai combustibili fossili, produzione di idrogeno da fonti rinnovabili di energia, sicurezza, infrastrutture, regolamentazioni, analisi del ciclo di vita e percezione pubblica).

Ente: Western Australian Department for Planning and Infrastructure
(S.Whitehouse) + 61 892168490 0 + 61 418947590
simon.whitehouse@dpi.wa.gov.au

- **Progetto: “Postie bike”.**

Obiettivo: sviluppare una motocicletta che funzioni con pile a combustibile a idrogeno per i servizi di distribuzione postale.

Ente: EnGen Institute
(W. Hollier) + 61 395892259 o + 61 413348869
will@engen.org

- **Progetto: “Hydrogen fuel-cell Scooter”.**

Obiettivo: Convertire uno scooter elettrico in modo che possa funzionare con una cella a combustibile a idrogeno e con “storage” di idruro di metallo.

Ente: Hydro Tasmania and University of Tasmania
(H.Siedel) + 61 362305196
www.hydro.com.au

- **Progetto: “On-board hydrogen production”.**

Obiettivo: convertire veicoli alimentati con combustibili immediatamente disponibili, in veicoli alimentati con idrogeno a bordo.

Ente: CSIRO petroleum Resources, CSIRO Energy Transformed Flagship
(D.Trimm) + 61 395458385
david.trim@csiro.au

- **Progetto: “Urban transport pollution reduction via hydrogen compressed natural gas (HCNG), blended fuels, and fuel cell vehicles”.**

Obiettivo: investigare la possibilità di ridurre l’inquinamento grazie all’introduzione di combustibile HCNG all’interno degli autocarri per la spazzatura e agli autobus, dove l’idrogeno sarebbe altrimenti utilizzato in un ridotto numero di veicoli a celle a combustibile.

Ente: National Hydrogen Institute of Australia
(S.Zorbas) + 61 296102906 o + 61 423721383
stephen@hydrogen.id.au
www.hydrogen.asn.au/australian-hydrogen-systems-approach.htm

6.1.8 APPLICAZIONI PORTATILI

Si stanno ampiamente approfondendo la ricerca e gli studi sulle pile a combustibile con membrana di scambio protonico (PEMFC) che operano con l’idrogeno o il metanolo e che hanno valori di potenza in uscita tra 1 e 50 Watt per applicazioni portatili come computer portatili, telefoni cellulari, apparecchi elettronici, sistemi di luce di emergenza. Queste “micro celle a combustibile” possono procurare una quantità di energia elettrica dieci volte superiore a quella fornita dalle migliori batterie con una massa equivalente.

Molte compagnie stanno cercando di sviluppare questo tipo di tecnologia compatibile sia con l'idrogeno che con il metanolo.

Prototipi di telefoni o computer portatili alimentati da pile a combustibile sono già stati creati.

PROGETTI AUSTRALIANI nel settore

Il CSIRO è l'unica organizzazione che sta conducendo ricerca nel campo delle "micro fuel cells", ovvero delle micro celle a combustibile.

- **Progetto: "Micro fuel cells for portable power applications".**

Obiettivo: sviluppare e dimostrare la tecnologia delle micro celle a combustibile sia a idrogeno che a metanolo.

Ente: CSIRO Manufacturing & Infrastructure Technology

(S.Guddey, S.P.S. Badwall)

+ 61 395452734 sarb.giddey@csiro.au

+ 61 402014644 sukhvinder.badwal@csiro.au

6.2 MOTORI A COMBUSTIONE INTERNA E TURBINE

6.2.1 MOTORI A COMBUSTIONE INTERNA

L'idrogeno può essere bruciato all'interno di un motore con accensione standard a scintilla con una modifica marginale, ma con una penalità a livello di performance. Questa è dovuta alle grandi differenze che intercorrono tra la velocità della fiamma e il range di infiammabilità dell'idrogeno e degli idrocarburi.

Per quanto riguarda l'idrogeno, il flusso di combustibile e la quantità devono essere ottimizzati utilizzando un regolatore di pressione, piuttosto che una pompa per i liquidi, e modificando il tempo della scintilla. Inoltre, dal momento che l'idrogeno è meno denso di un combustibile allo stato liquido, bisognerà introdurre per il processo di combustione un volume di gas superiore. C'è pertanto meno spazio per l'aria nel cilindro, l'espansione è ridotta e così, di conseguenza, anche la potenza in uscita (più o meno del 30 % rispetto a quella di un motore originariamente concepito per essere alimentato da combustibile liquido).

Pertanto, per raggiungere un'uguale performance, o addirittura migliore, bisogna utilizzare un motore concepito appositamente per essere alimentato da idrogeno. Sono già stati presentati sia in Europa, che in Giappone, che nel Nord America, macchine e autobus che utilizzano motori che si basano sulla combustione di idrogeno liquido. La tecnologia delle celle a combustibile nei motori è vicina a raggiungere la "maturità", sia in termini di costi che di sviluppo da un punto di vista tecnico.

Inoltre, sono state anche numerose le dimostrazioni relative alla possibilità di convertire scooter e motociclette di ridotte dimensioni all'utilizzo di idrogeno. Il combustibile viene

generalmente immagazzinato (stored) sia come gas compresso che sottoforma di idruro di metallo e garantisce un'autonomia di circa 100 km.

Una tecnologia simile e' in via di sviluppo in India per i veicoli a due o tre ruote che comunemente utilizzano i motori a due "stroke" che sono la causa di un alto livello di inquinamento urbano.

6.2.2 TURBINE

Le turbine che si basano sulla combustione di idrogeno (hydrogen-burning) vengono studiate per applicazioni prima di tutto nel campo degli aeromobili.

I progetti delle turbine a idrogeno prevedono l'utilizzo di idrogeno liquido, anche se in Giappone si sta cercando di sviluppare anche turbine a idrogeno sottoforma di gas stazionario. Queste unita' hanno il vantaggio di non produrre ceneri o residui che possono dare origine a sedimenti o fenomeni di corrosione, a differenza del processo di combustione di combustibili fossili.

L'aspetto negativo, pero', e' che le condizioni operative sono fonte di grande stress per i materiali e pertanto e' necessaria la diluizione del combustibile con azoto, che potrebbe dare origine a inaccettabili livelli di ossidi di azoto.

PROGETTI AUSTRALIANI nel settore

Diversi gruppi di ricerca australiani hanno effettuato studi nel campo dell'utilizzo di idrogeno nei motori a combustione interna.

I settori della ricerca includono anche studi per modificare i motori perche' possano essere utilizzati con idrogeno o idrogeno e gas naturale, per convertire un generatore a diesel in modo che funzioni anche con una miscela di idrogeno e diesel, e un'analisi dell'efficienza energetica.

- **Progetto: "Conversion of Golden Vectra to hydrogen".**

Obiettivo: convertire una Holden Vectra in modo che funzioni con gas idrogeno compresso.

Ente: Hydro Tasmania and University of Tasmania

(V.Karri) + 61 362262433

vishy.karri@utas.edu.au

- **Progetto: "H2GO hydrogen vehicles".**

Obiettivo: progetto dimostrativo che ha per oggetto un veicolo con motore a combustione interna di idrogeno, basato su utilizzo di BMC Mini Moke.

Ente: EnGen Institute

(W.Collier) + 61 395892259 0 + 61 413348869

will@engen.org

- **Progetto: “Hythane vehicle”.**

Obiettivo: dimostrare i benefici legati alla riduzione di emissioni conseguente all'utilizzo di una miscela costituita per il 50% di gas naturale e per il restante 50% di idrogeno, come combustibile di transizione nei motori a combustione interna.

Ente: The Natural Gas Vehicles Group Pty Ltd
(K.Black) + 61 297303673 o + 61 402288858
kevin.black@naturalgasvehicles.com.au

- **Progetto: “Conversion of diesel generator for hydrogen-diesel fuel mixtures”.**

Obiettivo: ridurre significativamente le emissioni da parte di un'infrastruttura a diesel

Ente: Hydro Tasmania and University of Tasmania
(V.Karri) + 61 362262433
vishy.karri@utas.edu.au

Progetto: “Development of ultracommuter vehicle”.

Obiettivo: sviluppare il concetto di “veicolo sostenibile”, ultraleggero, con una bassa resistenza, efficienza energetica, basso potere inquinante e che venga ottimizzata tenendo conto dei requisiti che deve possedere una vettura australiana e delle condizioni di guida australiane. Il progetto sviluppera' anche lo studio di varie opzioni per l'utilizzo di idrogeno prodotto da diversi combustibili fossili e fonti di energia rinnovabile e “in treni con trazioni differenti”.

Ente: Sustainable Energy Research Group, University of Queensland
(G.Walker) + 61 733653573
walkerg@csee.uq.edu.au
walkerg@itee.uq.edu.au

Capitolo 7

“FACILITATING TECHNOLOGIES”

7.1 BATTERIE E CONDENSATORI

Le celle a combustione presentano alcuni particolari problemi operazionali che non risultano essere critici per le applicazioni di tipo stazionario. Le principali difficoltà si riscontrano nelle operazioni intermittenti di un veicolo, durante la fase di accensione a freddo, o quando dev'essere fornita maggiore potenza alla vettura per l'accelerazione o durante i percorsi in salita.

Per queste ragioni, la maggior parte delle ditte produttrici ha scelto di “ibridizzare” la cella a combustibile con un'unità di potenza (surge-power) sotto forma di batteria a trazione e/o di condensatore elettrochimico.

Tali sistemi permettono anche di catturare l'energia dalla fase di frenatura a recupero.

Fino a oggi, l'idruro di metallo nichel (nickel-metal-hydride) e' stata considerata la batteria di prima scelta.

Tale sistema e' in grado di produrre impulsi di potenza molto elevata, puo' operare tra i -30 e i +45 °C, e da' un accettabile ciclo di vita alla vettura.

Ci sono comunque degli svantaggi legati ai tassi elevati con cui si scaricano, bassa quantita' di elettricità a elevate temperature e costi elevati.

I condensatori elettrochimici differiscono da quelli elettrostatici e elettrolitici convenzionali poiche' essi immagazzinano la carica elettrica sotto forma di ioni, piuttosto che di elettroni, sulle superfici di materiali con elevata area specifica.

Nei “supercondensatori” gli elettrodi sono solitamente costituiti da prodotti sinterizzati di carbone poroso che fornisce una densita' di carica molto piu' elevata rispetto a quella degli elettrodi planari non porosi.

Gran parte della capacita' di immagazzinamento (dell'energia) e' dovuta al caricamento e scaricamento dei doppi starti elettrici che sono formati dalle interfacce elettrodo | elettrolita.

Il voltaggio e' inferiore a quello dei condensatori tradizionali, anche se il tempo di caricamento e scaricamento e' superiore poiche' gli ioni si muovono e orientano piu' lentamente degli elettroni.

Sotto questo punto di vista, i supercondensatori iniziano a acquisire alcune caratteristiche delle batterie, sebbene non si verifichi alcuna reazione elettrochimica durante il processo di caricamento e scaricamento.

In un tipico ultracondensatore, un elettrodo con un elevato rapporto superficie specifica – area viene combinato con un materiale che puo' essere in maniera reversibile ossidato e ridotto all'interno di un ampio range di potenziale. Poiche' gli ioni sono confinati agli strati superficiali, le reazioni redox sono rapide e reversibili, ripetibili per migliaia di volte e pertanto il ciclo di vita del condensatore e' lungo.'

L'elettrolita' puo' essere sia una soluzione acquosa che una soluzione organica.

Le differenze tra batterie e condensatori si possono riassumere in questo modo:

- Le batterie immagazzinano energia elettrica, i condensatori sono dispositivi di potenza.
- Le batterie si caricano o scaricano lentamente (minuti o ore), mentre i condensatori in pochi secondi o meno
- I condensatori possono essere riutilizzate migliaia di volte prima di deteriorarsi
- I condensatori operano a temperature minori della maggior parte di batterie

Le differenti caratteristiche rendono le batterie e i condensatori partner ideali, per esempio, nei veicoli “ibridi” elettrici o a cella a combustibile nei quali ci si imbatte in richieste di picchi di potenza di breve durata.

PROGETTI AUSTRALIANI nel settore

Il CSIRO ha prodotto una batteria innovativa e un supercondensatore per le macchine elettriche ibride di “axcessaustralia LEV” e della Holden “ECOmmodore”. L’altro progetto riportato in quest’area riguarda l’applicazione della batteria zinco-bromuro in via di sviluppo a ZBB Technologies.

- **Progetto: “Innovative electrical machines and hybrid vehicles”.**
Obiettivo: sviluppare componenti con elevata efficienza, macchine elettriche compatte e veicoli ibridi elettrici con celle a combustibile idrogeno-aria.
Ente: CSIRO Industrial Physics, CSIRO Energy Transformed Flagship
 (S.Collocott) + 61 294137130
Stephen.collocott@csiro.au
- **Progetto: “Zinc-bromine battery development”**
Obiettivo: Provvedere allo “storage” di energia per rendere possibile l’utilizzo di celle a combustibile a idrogeno.
Ente: ZBB Technologies
 (B.Jonshagen) + 61 894942055 o + 61 419902138
bjorn@zbbenergy.com

Capitolo 8

“STANDARDS AND IMPLEMENTATION”

8.1 REGOLAMENTAZIONI AUSTRALIANE, CODICI E STANDARD

Regolamentazioni, leggi e standard per le tecnologie correlate all'utilizzo di idrogeno sono state approfondite e analizzate sia a livello statale in Australia, sia a livello internazionale.

I paesi che possiedono oleo- e gas-dotti per la distribuzione dell'idrogeno in forma liquida e gassosa possiedono leggi che ne regolamentano la distribuzione e lo “storage”, ma molto lavoro bisogna ancora svolgere per uniformare le leggi a livello internazionale.

Il lavoro a livello internazionale per identificare che cosa è stato fatto in materia di regolamentazione del settore e cosa ancora si deve fare viene coordinato da APEC Energy Working Group, da IPHE International Partnership for the Hydrogen Economy, da European Hydrogen e Fuel Cell Technology Platform e dal Dipartimento americano dell'energia.

PROGETTI AUSTRALIANI nel settore

- **Progetto: “Government System Analysis”.**
Obiettivo: osservare e registrare il perfezionamento del collaudo dell'autobus a cella a combustibile a Perth e cercare di proporre le modifiche delle regolamentazioni e delle procedure in modo tale da identificare e superare gli impedimenti sistematici e a livello di norme fissate dal Governo.
Ente: Western Australia Department for Planning and Infrastructure
(S.Whitehouse) + 61 892168490
simon.whitehouse@dpi.wa.gov.au
- **Progetto: “Implementation of hydrogen energy in Tasmania for stationary and mobile applications and system integration with allied infrastructure”.**
Obiettivo: perfezionare l'uso di energia a idrogeno in Tasmania per applicazioni stazionarie e mobili e sistemi di integrazione con le infrastrutture a essi connesse.
Ente: Hydro Tasmania and University of Tasmania
(Y.Alabdeli) + 61 62262128
yasir.alabdeli@utas.edu.au
- **Progetto: “Operation of hydrogen fleet vehicles on Tasmania roads”.**
Obiettivo: Cercare di superare le barriere per il funzionamento dei veicoli a idrogeno sulle strade pubbliche in Tasmania.
La natura generica degli standard sviluppati a livello internazionale necessita di essere valutata e verificata sulla base delle condizioni Australiane.
Ente: Hydro Tasmania and University of Tasmania
(V.Karri) + 61 36226 2433
vishy.karri@utas.edu.au

8.2 STUDI SULL'APPROVAZIONE A LIVELLO PUBBLICO

Per accelerare una tendenza a livello mondiale a volgersi verso un'economia basata sull'idrogeno, deve esserci un'ampia approvazione a livello pubblico dell'idrogeno come "energy carrier". Sia in Australia, che oltreoceano si stanno pertanto conducendo numerosi studi per valutare l'opinione corrente circa l'idrogeno e l'atteggiamento del pubblico rispetto agli esperimenti e il collaudo della tecnologia a idrogeno.

PROGETTI AUSTRALIANI nel settore

- **Progetto: "Community Education and Information: Perth STEP bus trial".**
Obiettivo: Informare la comunità riguardo la possibilità di utilizzare idrogeno e celle a combustibile come mezzi di trasporto dell'energia e riguardo ai vantaggi e gli svantaggi di questa opzione.
Stabilire opportunità di tirocinio e istruzione nell'ambito delle tecnologie legate a uso di idrogeno per le professioni pertinenti.
Ente: Western Australian Department for Planning and Infrastructure, Murdoch University
(S.Whitehouse, D.Biletic) + 61 892168490
simon.whitehouse@dpi.wa.gov.au
+ 61 892168358
diane.biletic@dpi.wa.gov.au
- **Progetto: "Implementing hydrogen energy technologies in remote communities—a case study of research stations in Antarctica".**
Obiettivo: Identificare i ruoli possibili delle tecnologie per uso di energia derivante da idrogeno nei servizi di distribuzione dell'energia alle comunità remote di scienziati in Antartide.
Sviluppare strategie per riuscire a perfezionare queste tecnologie in futuro attraverso la valutazione sia dei problemi di tipo tecnico, che di quelli di tipo sociale correlati all'introduzione delle nuove tecnologie a idrogeno.
Ente: University of Tasmania
(D.Pointing) + 61 362261752
dsp@utas.edu.au
- **Progetto: "Public Perception Project: Perth STEP bus trial".**
Obiettivi: valutare la risposta del pubblico e degli operatori agli autobus con celle a combustibile;
Valutare le percezioni della comunità rispetto all'idrogeno, celle a combustibile, e economia a idrogeno, così come il concetto di sostenibilità e le problematiche di carattere ambientale connesse al trasporto;
Comparare i risultati ottenuti a Perth con quelli di progetti simili svoltisi in altre parti del mondo, tra i quali in particolare quelli coordinati da Imperial College a Londra e da ACTtransit in California.

Ente: Western Australian Department for Planning and Infrastructure
(S.Whitehouse, L.Garrity) + 61 892168490 simon.whitehouse@dpi.wa.gov.au
+ 61 892168490, lgarrity@central.murdoch.edu.au

- **Progetto: “Full-cycle assessment of alternative fuels for light-duty road vehicles in Australia”.**

Obiettivo: comparare i requisiti di un ciclo completo dell’energia primaria e le emissioni di gas serra di diversi e alternativi meccanismi di trasporto, con particolare attenzione all’analisi della performance dei meccanismi legati all’idrogeno.

Ente: Sustainable Energy Research Group, University of Queensland
(A.Simpson) + 61 733658889
simpson@itee.uq.edu.au

- **Progetto: “Bus operations project : Perth STEP bus trial”.**

Obiettivo: Valutare il funzionamento degli autobus e delle celle a combustibile, così come dei sistemi di rifornimento di idrogeno, in termini di performance, affidabilità e durata sulla prospettiva del funzionamento di un parco autobus.

Registrare e valutare dati dettagliati e specifici sulla performance tecnica in collaborazione con EvoBus in Germania e Ballard in Canada.

Collaborare con i progetti NEFLEET, ECTOS e CUTE, così come con altri progetti simili in altre parti del mondo, in maniera particolare con quello di AC Transit in California.

Ente: Western Australian Department for Planning and Infrastructure, Murdoch University

(S.Whitehouse, T.Pryor) + 61 892168490

simon.whitehouse@dpi.wa.gov.au

+ 61 893606286

t.pryor@murdoch.edu.au

- **Progetto: “A cost-benefit analysis of Perth’s fuel cell buses”.**

Obiettivo: Analizzare i costi e i benefici per la comunità del Western Australia legati al perfezionamento degli autobus con celle a combustibile a idrogeno a Perth.

Ente: Western Australian Department for Planning and Infrastructure, Murdoch University

(S.Whitehouse, A.D.Owen) + 61 892168490

simon.whitehouse@dpi.wa.gov.au

+ 61 293853351, a.owen@unsw.edu.au

- **Progetto: “Life-cycle analysis of Perth STEP bus trial”.**

Obiettivo: Analizzare il ciclo di vita della risorsa e gli input e output energetici nel caso Perth Fuel Bus Trial in stretta collaborazione con le analisi dei due progetti Transport for Europe (CUTE) e Ecological City Transport System (ECTOS).

Ente: Western Australian Department for Planning and Infrastructure, Murdoch University

(S.Whitehouse, T.Pryor) + 61 892168490

simon.whitehouse@dpi.wa.gov.au

+ 61 893606286

t.pryor@murdoch.edu.au

- **Progetto: “Role of hydrogen in the future energy system”.**
Obiettivo: Cercare di capire le problematiche di tipo economico legate all’adozione di un sistema energetico basato sull’uso di idrogeno.
Ente: Queensland University of Technology
(A.Das) + 61 738644298
a.das@qut.edu.au
- **Progetto: “Commercial development of hydrogen activities“.**
Obiettivo: sviluppare le aree tecnologiche legate all’idrogeno: gas naturale, steam reforming della nafta, dissociazione del metanolo, elettrolisi dell’acqua, compressione nell’immagazzinamento di idrogeno, audit di sicurezza e studi HAZOP, petrolio, PSA (pressure swing adsorption purification).
Ente: Mackenzie Hydrocarbons Pty Ltd
(G.Mackenzie) + 61 394823445
+ 61 417948294
mackenzieprojects@bigpond.com.au
- **Progetto: “Industry development opportunities: Perth STEP bus trial”.**
Obiettivo: Identificare opportunita’ di sviluppo industriale associate con la possibile attuazione di celle a combustibile alimentate a idrogeno e di un’economia a idrogeno e fare delle considerazioni riguardo a come queste potrebbero essere sfruttate dall’industria del Western Australia.
Ente: Western Australian Department for Planning and Infrastructure, Murdoch University
(S.Whitehouse, D.Annandale, D.Harries) + 61 892168490
simon.whitehouse@dpi.wa.gov.au
+ 61 893606081 d.annandale@murdoch.edu.au
+ 61 893606623 d.harries@murdoch.edu.au
- **Progetto: “The atmospheric hydrogen budget”.**
Obiettivo: capire le fonti e dell’idrogeno atmosferico attraverso il monitoraggio atmosferico, analisi del ghiaccio e uso di modelli; da cio’ cercare di capire gli effetti ambientali atmosferici dell’idrogeno, cosi’ come del riscaldamento globale dovuto ai gas serra e del buco dell’ozono, con diversi scenari di emissioni.
Ente: CSIRO Atmospheric Research, CSIRO Energy Transformed Flagship
(P.Steele, R.Langenfelds) + 61 392394578 paul.steele@csiro.au
+ 61 395394598 ray.langenfelds@csiro.au
- **Progetto: “Sustainability assesment of hydrogen energy pathways”.**

Obiettivo: sviluppare una metodologia per un'analisi degli effetti ambientali dei vari meccanismi per la produzione di idrogeno per la generazione di potenza stazionaria; studi del ciclo di vita da integrare con sistemi di misura della sostenibilità'.

Ente: ARC Centre for Functional Nanomaterials, University of Queensland
(j da Costa, A.Dicks) + 61 733656960

joedac@cheque.uq.edu.au

+ 61 733653699

andrewd@cheque.uq.edu.au

- **Progetto: “Construction of hydrogen laboratory”.**

Obiettivo: costruire un laboratorio interamente dedicato alla ricerca sulle tecnologie per l'idrogeno

Ente: Hydro Tasmania and University of Tasmania

(V.Karri) + 61 362262433

vishy.karri@utas.edu.au

- **Progetto: “Clean Fuels and Energy Program”.**

Obiettivo: Promuovere l'utilizzo di “combustibili puliti” e energia attraverso la creazione di un Centre for Clean Fuels and Energy, un centro specifico per ricerca, sviluppo e istruzione.

Ente: Luigi Bonario and Associates, with Centre for Education and Research in Environmental Studies

(L.Bonadio, E.Bottomley) +61 393808274 info@lbaa.com.au

+ 61 393801556 eric@ceres.org.au

- **Progetto: “Australian HYWAY Program”.**

Obiettivo: Aumentare il livello di consapevolezza riguardo all'idrogeno e alla tecnologie delle celle a combustibile tra i leader industriali, nelle scuole e universita' e nei diversi gruppi della comunita', da Melbourne a Brisbane, in visione della World Hydrogen Energy Conference.

Ente: Luigi Bonario and Associates

(L.Bonario) +61 393808274 info@lbaa.com.au

- **Progetto: “Pilot hydrogen and fuel cell science and engineering programme for secondary school students”.**

Obiettivo: introdurre insegnamenti in materia di idrogeno e scienza e ingegneria delle celle a combustibile all'interno dei curricula studiorum australiani all'interno dei quattro anni.

Ente: Fuel Cell Institute of Australia Pty Limited

(S.Zorbas) + 61 296102906 o + 61 423721383

stephen@hydrogen.id.au

www.hydrogen.asn.au

- **Progetto: “Educational fuel cell manufacturing facility”.**
Obiettivo: produrre celle a combustione in Australia in forma di kit per il settore dell’istruzione che siano molto piu’ economiche e che evitino di spendere denaro per importarle.
Ente: Fuel Cell Institute of Australia Pty Limited
 (S.Zorbas) + 61 296102906 o + 61 423721383
stephen@hydrogen.id.au
www.hydrogen.asn.au
- **Progetto: “Advanced materials for environment and energy research”.**
Obiettivo: utilizzare il range unico di materiali caratterizzati da una struttura aperta prodotti dall’ANSTO per cercare di risolvere problemi industriali in ambito di decontaminazione ambientale, lavorazione dei minerali, e generazione, utilizzo e conservazione dell’energia.
Ente: Australian Nuclear Science and Technology Organisation (ANSTO)
 (V.Luca) + 61 297173087 o + 61 419221504
vlu@ansto.gov.au
- **Progetto: “Cooper Basin hot fractured rock geothermal project”.**
Obiettivo: generare potenza a emissioni-zero e con un carico minimo (>1000 MW)
Ente: Geodynamics Limited
 (B.de Graaf) + 61 737217504
bdegraaf@geodynamics.com.au

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Australian Government, Department of Industry Tourism and Resources, “Energy Research and Development in Australia, a statistical profile of expenditure”, a report prepared by Dr Mark Matthews of Policy Intelligence Pty Ltd for the Department of Industry Tourism and Resources, 2005
- Australian Government, “Securing Australia’s Energy Future”, 2004
- Australian Government, Department of Industry Tourism and Resources, “Australian Hydrogen Activity”, May 2005
- Dennis Trewin Australian Statistician, “2005 Year Book Australia” Australian Bureau of Statistics, Canberra, Number 87, 2005
- Australian Academy of Science, Science on the way to the hydrogen economy. *Proceedings* of “Science at the Shine Dome Annual Symposium”, Annual General Meeting, 2006
<<http://www.science.org.au/>>
- An Australian Government Initiative, “Backing Australia’s Ability, The Australian Government’s Innovation Report 2003-2004”
- International Energy Agency, “Energy Policies of IEA Countries, Australia 2005 Review”, OECD/IEA, 2005
- Pigneri A., “Hydrogen Production-La Produzione di Idrogeno”, *Bollettino della Comunità Scientifica in Australasia*, December 2004, 17-32.
<<http://www.scientificambitalia.org/>>
- Australasian Science, Volume 27, Number 4, May 2006
- <<http://www.eia.doe.gov/>>
- <<http://www.energoclub.it/Fuel%20cell.htm>>