



3° FORUM DELL'INFORMAZIONE CATTOLICA PER LA SALVAGUARDIA DEL CREATO

“Energia rinnovabile: un scelta etica”

Banca CR Firenze, “Sala Verde” di Palazzo Incontri, Via de' Pucci, 1 Firenze

17-18 giugno 2006

Intervento di:

PROF. MARIO MALINCONICO

Il prof. Mario Malinconico è dell'ICTP del CNR, quindi dell'Istituto di Chimica e Tecnologia dei polimeri, Laureato in Chimica industriale all'Università “Federico II”, membro del Comitato Scientifico dell'ICTP dal '90 al '95, corresponsabile coordinatore dell'attività di ricerca sempre dell'ICTP ma a livello europeo nel progetto “Life” della CEE, sulle plastiche biodegradabili. Ci parlerà naturalmente del batterio, di un particolare batterio che produce idrogeno.

Sostanzialmente partiamo dal problema dell'energia. Già l'amico Andrea Masullo ci ha parlato dei problemi concernenti il fabbisogno planetario, che a tutt'oggi è ancora principalmente basato sulle fonti fossili e quindi: carbonio, petrolio, carbone e gas naturali; che si sono formati durante i milioni di anni dalla decomposizione della biomassa principalmente di origine vegetale. Comunque, l'utilizzo sempre più intenso di queste fonti, dovuto anche allo sviluppo di paesi emergenti, come Cina, India e Brasile che si stanno affacciando a consumi energetici impressionanti, oltre a creare problemi che riguardano l'approvvigionamento energetico in sé, provoca il rilascio del carbonio legato sotto forma di CO₂; quindi da una parte, la previsione di consumo energetico è in continua crescita, dall'altra parte, come vediamo, le fonti non rinnovabili sono destinate a ridursi progressivamente secondo previsioni che sono in alcuni casi ottimistiche e in alcuni casi pessimistiche. E comunque è un destino inevitabile. Il problema di aumento della concentrazione di CO₂ nell'atmosfera terrestre, che come sappiamo è riconosciuto oramai generalmente come la causa principale nel riscaldamento globale e quindi dei conseguenti cambiamenti climatici, rientra nel quadro del protocollo di Kyoto che è ratificato oggi da 140 paesi con delle eccezioni, come sappiamo, importanti: gli USA e l'Australia. Un certo numero di nazioni industrializzate si è impegnato a ridurre il proprio livello di emissioni di anidride carbonica del 5% fra il '90 e il 2010. Come ridurre l'anidride carbonica? Semplicemente aumentando l'efficienza dei processi di produzione di elettricità tramite un utilizzo più efficiente dell'energia nell'industria e nel trasporto. Altre opzioni prevedono la sostituzione dei combustibili fossili con altri a più basse emissioni come il gas naturale. Metodi più radicali ovviamente prevedono, invece, l'utilizzo di fonti di energia rinnovabili come l'eolica, il solare, l'idroelettrica, le biomasse. Tutte queste ultime fonti si basano direttamente o indirettamente sull'energia solare in maniera tale da non rilasciare anidride carbonica nell'atmosfera, sono le cosiddette fonti CO₂ neutre. Attualmente l'abbiamo visto, l'effettivo consumo mondiale di energia è di circa 4x10 alla 20 Joule, che equivale appena allo 0,1% della disponibilità di energia solare. Tuttavia, anche se il rifornimento attuale di energia solare, eccede di gran lunga il fabbisogno che noi avremmo, esistono degli ostacoli principalmente di natura economica che impediscono la creazione di un sistema energetico rinnovabile. Alla fine di tutto ciò, l'85% del fabbisogno energetico mondiale è ancora oggi soddisfatto da fonti fossili, il 7% dall'energia nucleare e solo l'8% da fonti rinnovabili. Una transizione su grande scala per le energie rinnovabili, non è pensabile purtroppo nei tempi

brevvissimi, a causa dei costi ancora elevati, come vediamo da questa tabella, (**Inserire slide**) confrontando i grossi di produzione dell'energia dalle varie fonti nell'UE, diventa chiaro che con le tecnologie attualmente disponibili, il costo delle energie da fonti rinnovabili è ancora 2-3 volte maggiore rispetto a combustibili fossili, anche se osserviamo che, per alcune energie, come le eoliche e le biomasse, ci stiamo rapidamente avvicinando, sia per il miglioramento delle tecnologie di utilizzo di queste fonti, sia per l'aumento esponenziale che sta avendo il costo dei combustibili fossili.

Perché quindi dobbiamo cercare nuove fonti energetiche? Mi piace citare questa frase che Jules Verne scriveva nell'Isola Misteriosa, nel 1970 lui diceva: " Credo che l'acqua un giorno sarà impiegata come combustibile, l'idrogeno e l'ossigeno che la costituiscono usati separatamente o insieme forniranno una fonte inesauribile di calore e di luce, di una intensità di cui il carbone non è capace, credo allora che quando i depositi di carbone saranno esauriti, ci riscaldiamo con l'acqua. L'acqua sarà il carbone del futuro" 1870. In molte cose effettivamente Jules Verne è stato un profeta. Al giorno d'oggi, più di 130 anni dopo, non è soltanto l'esaurimento delle fonti di energia fossile che ci impone di studiare nuove possibilità per produrre energia; abbiamo come vediamo in questo lucido (**inserire slide**), i problemi collegati all'inquinamento ambientale e l'aumento della popolazione mondiale, per cui c'è l'imposizione della ricerca di fonti alternative. La maggior parte delle fonti di energia sono però limitate a determinate località, come le zone ricche di venti o di sole e l'energia deve essere quindi trasportata dai luoghi di produzione a quelli in cui è necessaria. Inoltre, l'energia deve essere immagazzinata, poiché la maggior parte delle fonti di energia rinnovabili non sono disponibili con continuità.

Sottoforma di idrogeno, l'energia può essere immagazzinata fino a che non sia necessaria e trasportata là dove è necessaria. I benefici dell'idrogeno lo rendono un componente ideale per lo sviluppo del concetto di energia rinnovabile e sostenibile per il futuro, quindi l'idrogeno è un vettore energetico, in quanto non esistono giacimenti di idrogeno sulla terra, è necessario produrlo. La produzione di idrogeno è quindi una forma di immagazzinamento di energia e questa energia viene poi restituita al momento in cui l'idrogeno viene impiegato. La reazione di combustione dell'idrogeno è una reazione che fornisce energia nella ricombinazione con l'ossigeno, per dare acqua, ed è indubbiamente vantaggiosa, è un combustibile pulito. Come unica possibile fonte di inquinamento c'è la produzione per le alte temperature della reazione di ossidi di azoto, per le alte temperature di combustione, ed è un combustibile che ha una rilevata efficienza energetica: bruciando un chilo di idrogeno si producono 33,4 kwh, 9 chili di acqua e non si produce anidride carbonica. Già per produrre la stessa quantità di energia bisogna bruciare 3 chili di metano, con la produzione di 4 chili e mezzo di acqua e 11 chili di anidride carbonica. (**Inserire slide**) Attualmente la produzione mondiale di idrogeno è di 500 miliardi di newton metri cubo, che equivalgono a 44 milioni di tonnellate, ottenute per il 60% dal processo chimico del *reforming* degli idrocarburi leggeri, principalmente metano, per il 30% dal *coating* di idrocarburi più pesanti, il petrolio, e per il 6% dalla gassificazione del carbonio. Solo il 4% dell'attuale produzione è ottenuto per elettrolisi; questo 4% che è qui raffigurato in azzurro. I processi termochimici sono lo *steam-reforming* cioè la trasformazione con vapore, che si effettua partendo da gas metano o da frazioni leggere del petrolio col vapore d'acqua, in presenza di un catalizzatore. In genere viene utilizzato il nichel alla temperatura di 800 gradi. Il gas risultante contiene anche monossido di carbonio che, reagendo però con il vapore, si trasforma in anidride carbonica. Un'evoluzione di questo processo dello *steam reforming* consente di ottenere idrogeno estremamente puro, con delle temperature di reazione più basse, rendendo quindi il processo più economico. La gassificazione del carbonio, invece, si ottiene facendo reagire a 900 gradi il vapore d'acqua con il carbone coke e poi a 500 gradi con un catalizzatore a base di ossido di ferro. Il gas risultante è quello noto come gas di città che veniva utilizzato. Quindi la produzione per gassificazione del carbone dell'idrogeno, è una tecnologia che trova ancora oggi numerose applicazioni commerciali, ma è competitiva rispetto alla *steam reforming*, solo in quelle zone dove il costo del gas naturale è molto elevato. Considerando quindi l'elettrolisi dell'acqua, quindi il processo in azzurro, esso attualmente è l'unico modo per ottenere idrogeno ma anche ossigeno, dall'acqua. Questo processo consiste nell'introdurre nell'acqua un anodo e un catodo e stabilire una differenza di potenziale affinché avvenga la separazione dell'idrogeno dall'ossigeno. Gli elettrolizzatori in commercio, ottengono un metro cubo di idrogeno con 3,7kwh di energia elettrica; è un metodo che ha un'elevata efficienza e produce idrogeno con un elevato grado di purezza. Con l'elettrolisi attualmente si producono 20 miliardi di metri cubi all'anno di idrogeno, che come abbiamo detto è pari al 4% della produzione mondiale

di idrogeno e viene confinato a quei settori in cui l'idrogeno si produce e deve essere estremamente puro. L'altro metodo di cui dobbiamo parlare è appunto il processo biologico e fotobiologico, cioè quei processi che usano microrganismi: cioè, accoppiano gli enzimi idrogenati alla fermentazione o alla fotosintesi, **(Inserire slide con tabella)**

In questa tabella è raffigurato il confronto fra le efficienze e i costi della produzione di idrogeno con i diversi metodi di cui abbiamo parlato. Notiamo da questa tabella come dai metodi già impiegati, il reforming del gas naturale sia conveniente dal punto di vista economico, parliamo di 7 euro per giga joule di idrogeno, mentre i processi basati sulla fermentazione e sulla bio fotolisi operata da microrganismi, sono ancora a livello di ricerca e sviluppo. Ed è questo il progetto su cui noi stiamo esercitando le nostre competenze, nel CNR come in altri istituti di ricerca universitari e dell'ENEA. La produzione di metano attraverso la digestione anaerobica di acqua di scarico e di residui, compresi i fanghi provenienti dalla depurazione della frazione organica di rifiuti organici, è già ampiamente applicata. In questo processo, però, l'idrogeno è un prodotto intermedio, non è disponibile in quanto viene convertito velocemente in metano dai microrganismi metanogeni. Quindi oggi oltre il 96% dell'idrogeno prodotto in tutto il mondo dipende da fonti energetiche fossili e consuma circa il 2% della domanda energetica. Parecchi programmi di ricerca internazionali sono orientati allo studio di mezzi alternativi per la generazione eco sostenibile di idrogeno, fra cui appunto la produzione biologica dell'idrogeno. Parecchi processi sono attualmente allo studio, **(inserire slide)** tra i quali le fermentazioni delle biomasse che qui vedete sulla sinistra, o i processi fotobiologici che vedete qui raffigurato sulla destra, in cui l'idrogeno può essere prodotto direttamente dalla luce solare. I vantaggi di questo bio idrogeno, come abbiamo detto, sono di ottenere idrogeno con processi CO₂ neutri, quindi non producono anidride carbonica. L'idrogeno che si produce, è per esempio utilizzabile nell'alimentazione di celle a combustibili, in quanto non presenta contaminanti, e l'aumento dell'efficienza per la produzione di questo idrogeno da acqua ed energia solare, è possibile accoppiando questo processo con altri processi di produzione di idrogeno. **(Inserire tabella)**

L'idrogeno può essere prodotto, come vediamo da questa tabella, con processi biologici che siano sia a base della fermentazione di substrati organici al buio che alla luce, sia mediante la diretta fotolisi dell'acqua, in cui l'energia per l'aerazione è fornita dalla luce solare. Qui si vede un processo combinato di produzione dell'idrogeno, in cui l'alimentazione di biomasse produce carboidrati, produce acidi organici e produce parzialmente idrogeno e anidride carbonica. In questa fase del processo, non è necessaria la presenza della luce. I prodotti di queste reazioni, in particolare gli acidi organici, vanno ad essere alimentati ad un altro reattore, il quale attraverso l'utilizzo della luce produce ulteriormente idrogeno, questo è il sistema combinato.

I processi fotobiologici strettamente intesi, vengono effettuati attraverso dei microrganismi, i quali contengono enzimi conosciuti come idrogenasi, che ossidano l'idrogeno formando protoni ed elettroni, o riducono i protoni liberando idrogeno molecolare. Il ruolo fisiologico e le caratteristiche biochimiche di quest'idrogenasi sono variabili; la maggior parte dell'idrogeno prodotto da fonti biologiche nella biosfera deriva da processi di fermentazione microbica. Questi organismi decompongono la materia organica in anidride carbonica e idrogeno. L'idrogeno prodotto è solitamente catturato dai sistemi che consumano l'idrogeno all'interno dello stesso ecosistema, questi organismi usano il potere riducente dell'idrogeno, per ripescare alcuni processi biologici. I batteri a idrogeno possono perfino svilupparsi autotroficamente, con l'idrogeno, quindi utilizzando solo l'idrogeno come substrato per la riduzione di energia e di alimentazione. Per quanto riguarda la produzione di idrogeno mediante la fotobiolisi dell'acqua, già 70 anni fa, Graffon dimostrò la capacità dell'alga verde di metabolizzare l'idrogeno molecolare, anche se il significato "molecologico" del metabolismo dell'idrogeno delle alghe è ancora pertinente alle ricerche di base. Il processo di produzione di foto idrogeno dalle alghe verdi è di grande interesse tecnologico perché genera idrogeno dalla risorsa universalmente più abbondante, cioè dalla luce e dall'acqua. Il requisito fondamentale è l'adattamento delle alghe ad una atmosfera anaerobica. Purtroppo, la quantità di idrogeno prodotto in questo processo è abbastanza ridotto, perché l'ossigeno simultaneamente prodotto inibisce l'enzima idrogenasi, quindi in presenza di luce, lo sviluppo di idrogeno cessa solitamente dopo alcuni minuti a causa dell'inibizione da parte dell'ossigeno. In questo campo, la maggior parte degli sforzi sono quindi rivolti allo studio di requisiti fisiologici necessari per il metabolismo dell'idrogeno in presenza di luce in alghe verdi, in

cianobatteri e in altri batteri fotosintetici, e allo sviluppo di tecnologie impiantistiche che è il nostro target, con l'obiettivo di aumentare l'efficienza degli impianti. (inserire slide)

Qui vedete due sistemi fotoautotrofi a base di alghe verdi e infatti il colore è rivelatore, e fotoeterotrofi a base di batteri rossi. Nel caso delle alghe verdi il problema più grande è quello dell'inibizione da parte dell'ossigeno, invece, nel caso degli anaerobici il problema dell'inibizione dell'ossigeno è molto ridotto. Il problema più serio per questo tipo di produzione dell'idrogeno è il fatto che le colture vengono tenute in sospensione e quindi si è in presenza di basse concentrazioni cellulari, e quindi di basse produttività. La produttività è limitata nel tempo in quanto queste colture tendono ad esaurirsi e quindi devono essere scaricate e ricaricate. Questi sistemi essendo in sospensione, necessitano di agitazione e quindi vanno soggetti a shock meccanici che li danneggiano; non è possibile con questi sistemi immaginare dei reattori in flusso e quindi bisogna caricare, produrre l'idrogeno, scaricare e ricaricare il sistema e poi è necessario garantire strettamente l'anaerobiosi. In queste condizioni il ruolo dei polimeri è importante. Il progetto Idrobio, a cui noi collaboriamo, è un progetto che mira a migliorare la tecnologia e la microbiologia della produzione di idrogeno. Quindi ci sono colleghi dell'Università di Padova, dell'Enea, che stanno selezionando in queste due grandi famiglie delle alghe verdi e dei batteri rossi, quei ceppi che sono più indicati per massima efficienza della produttività. Nel momento in cui vengono selezionati questi ceppi più efficaci, entra il ruolo del chimico industriale. (inserire slide?) Qui vedete i concetti: quelli di inglobare, per esempio, questi microrganismi, queste alghe, all'interno di membrane (polimeriche sostenibili), all'interno delle quali, la colonia cresca meglio, cioè sia più protetta dagli shock meccanici. In questo caso si crea la possibilità del riutilizzo della biomassa, è possibile immaginare processi in continuo in quanto la discarica della soluzione nutritiva non comporta contemporaneamente la perdita della sospensione, poiché è immobilizzata e quindi può essere rimessa in attività. L'immobilizzazione, per esempio, si può fare con dei co-polimeri sintetici, come è fatto in questo caso utilizzando biomasse, cioè reflui da rifiuti solidi urbani. Si possono immobilizzare questi microrganismi su supporti di vetro poroso. Qui vedete (inserire slide) come con questo principio, ottimizzando i flussi delle soluzioni nutrienti sia stato possibile (Tsygankov è un ricercatore russo che si sta dedicando da anni a questo progetto di aumentare la produttività dell'idrogeno di quasi un ordine di grandezza rispetto ai sistemi in sospensione senza agitazione), sia possibile immobilizzare queste cellule su pareti cellulari che costituiscono sia il supporto che, contemporaneamente, anche il nutrimento di queste cellule. Le cellule per poter crescere hanno bisogno di un supporto, noi stiamo lavorando a questi sistemi immaginando dei polimeri naturali, polisaccaridi in particolare, gli stessi che utilizziamo per l'agricoltura, in miscela con altri polimeri, in maniera da realizzare quelle condizioni ottimali per la crescita di questi sistemi cellulari a loro volta ottimizzati. Di questi materiali, noi verifichiamo le loro caratteristiche, li modifichiamo anche chimicamente per migliorare le caratteristiche del network, cioè della struttura immobilizzante per favorire la crescita cellulare. Un altro obiettivo che noi ci siamo posti è quello di ottimizzare l'utilizzo della luce solare attraverso dei *coating* sui bioreattori. (inserire slide?) Qui vedete un sistema di bioreattori in continuo per alghe verdi, sono dei tubi che necessitano di essere raffreddati perché l'eccessivo riscaldamento porta le cellule in sofferenza. Noi, dalla conoscenza dello spettro di vita e di utilizzo di queste cellule, rispetto allo spettro solare, stiamo selezionando dei polimeri che fanno da *coating* su questi bioreattori, cioè che siano in grado di tagliare completamente la radiazione ultravioletta che è dannosa anche per la crescita delle cellule, ma senza togliere niente della radiazione solare diretta e quindi di quella visibile, che è necessaria per la vita delle cellule. Cerchiamo anche di ottimizzare con dei filtri ottici, l'utilizzo della radiazione solare, per esempio spostando alcune frequenze dall'UV al visibile, dove queste cellule crescono meglio, con dei sali minerali che vengono inglobati all'interno di queste cellule. In sostanza, è possibile anche usare i polimeri per migliorare la purificazione dell'idrogeno, quindi membrane, assorbimenti chimici e fisici. (Inserire slide?) Qui ci sono altri esempi di chimica macromolecolare al servizio di questi obiettivi. Sostanzialmente, quindi, in tutti questi meccanismi, noi puntiamo in tempi non rapidissimi, perché in tempi più rapidi, riteniamo che l'elettrolisi sia il metodo ancora più indicato per la produzione di energia dall'idrogeno, in particolare quelli che sono più promettenti sono: l'elettrolisi utilizzando il vento come sorgente di energia. Le stime portano a pensare che questo sistema di produzione di idrogeno, quello fotobiologico raggiunga l'equilibrio economico rispetto ai sistemi fotoelettrochimici (verso il 2030), e quindi la diversificazione con questi sistemi potrà portare ad avere questo spettro di

potenzialità e quindi, ad utilizzare al meglio questi microrganismi, in modo tale da avere un altro aiuto dalla natura per lo sviluppo dei nostri obiettivi energetici.

Una riflessione da ricercatore pubblico, che soffre la limitazione dei finanziamenti per queste attività, come quelle che vi ho presentato e che fa *pendant* con il progetto LIFE.

Noi, per questo progetto idrogeno, abbiamo ricevuto dal Fondo per lo Sviluppo per la Ricerca di Base, perché è considerabile una ricerca di base questa sull'idrogeno biologico, qualcosa come credo 2 milioni di euro "spalmati" fra 10 partner. Negli USA, che possiamo considerare il paese antesignano della battaglia contro l'idea che l'uomo sia in qualche modo irresponsabile di quello che sta facendo, vista anche la resistenza rispetto all'accettazione del Protocollo di Kyoto, il governo attuale, cioè quello di Bush, ha investito qualcosa come 5 o 6 miliardi di dollari, attraverso il dipartimento dell'agricoltura, per lo sviluppo dell'idrogeno fotobiologico. E se l'America si muove in questa direzione per le sue restrizioni, qualcosa di vero ci deve essere. Il dislivello fa impressione, credo che sia il caso di spingere anche gli organi di stampa a sensibilizzare di più l'opinione pubblica su quello che oggi sembra un *divertissement*, ma in realtà è qualcosa di più, qualcosa che investiamo per il futuro. Grazie.