

INDAGINE SPERIMENTALE SULLA PRODUZIONE DI IDROGENO MEDIANTE SONOFOTOLISI

Federico Rossi¹, Michele Urbani¹, Naida Corsi²

¹Università degli Studi di Perugia, via G. Duranti, 67 – 06125 Perugia

²IPASS – Consorzio Ingegneria Per l'Ambiente e lo Sviluppo Sostenibile, via G. Guerra, 23 – 06127 Perugia

SOMMARIO

Allo stato attuale le fonti rinnovabili rappresentano, rispetto alle tradizionali risorse offerte dai combustibili fossili, una bassa percentuale della produzione energetica mondiale. Non si prevedono, nell'immediato futuro, sostanziali cambiamenti in tal senso; questo perché l'odierno assetto planetario favorisce il consumo del petrolio, del gas naturale e del carbone per evidenti motivazioni di costi e rendimenti. Ciò implica che le fonti rinnovabili, pur essendosi sviluppate nel tempo, non presentano ancora quella maturità che consentirebbe loro di fronteggiare l'enorme richiesta energetica coperta dalle fonti fossili. Da questa scomoda situazione, si evince che risultano di estremo interesse studi e ricerche che consentano di rendere competitive le fonti rinnovabili. In tale ambito si inserisce il presente lavoro, che ha previsto il progetto e la realizzazione di un apparato sperimentale di concezione originale per la verifica del processo di scissione della molecola dell'acqua attraverso l'impiego combinato di energia solare ed ultrasuoni (sonofotolisi). Le prove sono state effettuate al variare delle condizioni operative quali durata di esposizione, frequenza degli ultrasuoni, pressione e temperatura. Le prove hanno dato esito positivo, quindi è stata valutata l'efficienza di produzione di idrogeno, nel caso di effetto combinato di luce e vibrazioni nel reattore contenente acqua. Si è inoltre riscontrata una linearità temporale nella produzione dell'idrogeno. Seppur ancora allo stato embrionale, questa tecnologia ha messo in luce, attraverso le prove effettuate, notevoli margini di miglioramento ed interessanti spunti per futuri sviluppi.

INTRODUZIONE

La quasi totalità della richiesta energetica mondiale è fronteggiata mediante l'impiego di fonti fossili. Le previsioni circa la disponibilità di tali fonti mostrano tuttavia che nell'ipotesi di una crescita della domanda energetica per gli anni futuri pari a quella registrata nell'ultimo decennio, le scorte attuali saranno sufficienti a coprire il fabbisogno energetico solo per i prossimi cinquanta anni.

L'uso intenso di queste fonti comporta inoltre un irreversibile incremento delle emissioni inquinanti in atmosfera con gravi conseguenze climatiche.

Una possibile soluzione a questi problemi è rappresentata dall'impiego dell'idrogeno, la cui combustione non produce effetti dannosi all'ambiente.

L'acqua è il composto contenente idrogeno più largamente diffuso sul nostro pianeta. Questa potrebbe quindi rappresentare un'interessante fonte di idrogeno a patto di riuscire a scindere la molecola dell'acqua mediante l'impiego di fonti rinnovabili.

Lo scopo del presente lavoro è verificare che la scissione di questa molecola è realizzabile con l'applicazione di un campo di ultrasuoni (i quali generano il fenomeno della cavitazione dell'acqua) coadiuvata dall'azione della radiazione solare; a tale scopo è stato realizzato un apparato sperimentale che consente sollecitare un campione d'acqua con onde meccaniche a frequenza ultrasonica e onde elettromagnetiche a frequenze tali da simulare lo spettro solare.

SONOFOTOLISI

La sonofotolisi è un processo di scissione molecolare che impiega l'effetto combinato della sonolisi e della fotolisi.

La sonolisi è generata dall'azione delle onde meccaniche che inducono nell'acqua il fenomeno della cavitazione; il secondo processo, quello della fotolisi, è legato all'interazione tra la molecola dell'acqua e la radiazione solare [1].

La sonolisi dell'acqua prevede la scissione della molecola mediante l'impiego di onde meccaniche di opportuna frequenza, generate da trasduttori piezoelettrici in grado di cedere all'acqua energia attraverso gli ultrasuoni; quest'ultimi inducono nel liquido il fenomeno della cavitazione, il quale crea, localmente, condizioni di pressione e temperature adatte alla formazione di idrogeno [2].

Le reazioni sonochimiche dell'acqua avvengono in più stadi:



L'idrogeno e il perossido di idrogeno vengono prodotti dalla dimerizzazione dei rispettivi radicali (equazioni (2) e (3)). La produzione di idrogeno è accompagnata dallo sviluppo di ossigeno dovuto alla reazione di decomposizione del perossido di idrogeno, il quale è instabile in condizioni standard e disproporziona formando acqua ed ossigeno.

L'energia necessaria alla reazione (1) viene fornita dagli ultrasuoni i quali inducono, attraverso onde successive di compressione e di espansione (figura 1), il fenomeno della cavitazione acustica; il riscaldamento dell'acqua provoca la formazione di cavità di vapore, formate dall'aria disciolta nell'acqua stessa. Quando le bolle vengono sollecitate meccanicamente, esse cominciano vibrare rapidamente. Le vibrazioni determinano compressioni delle bolle fino al limite

fisico che impedisce ulteriori avvicinamenti tra le molecole di gas. Successivamente alla fase di compressione segue una rapida espansione; in quest'ultima condizione all'interno della bolla si hanno condizioni simili al vuoto e poiché intorno alla bolla c'è una pressione infinitamente maggiore, la bolla implode alla velocità di 1,4 chilometri al secondo. In quel momento la temperatura all'interno della bolla è dell'ordine dei 5000 Kelvin. Non esiste ancora una spiegazione completa del fenomeno. La teoria più accreditata assegna alla ionizzazione la responsabilità della generazione di onde elettromagnetiche e calore [3]. Il gas che rimane intrappolato all'interno della bolla viene attraversato dalle onde d'urto provocate dalle altre bolle: in questo modo si verifica un riscaldamento tale che i suoi elettroni acquistano l'energia per staccarsi dai propri atomi; successivamente questi ultimi collidono e vengono ricatturati, restituendo l'energia cinetica sotto forma di calore.

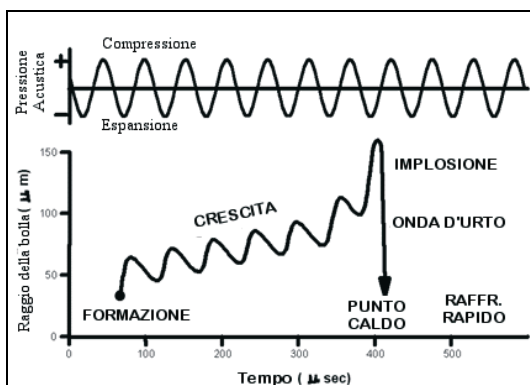


Figura 1 – Dimensione della bolla in funzione del tempo.

L'intensità media della radiazione solare incidente in direzione normale ad una superficie posta fuori dall'atmosfera è mediamente 1353 W/m^2 .

Il discorso è differente quando si parla di radiazione a terra, in quanto insorge l'assorbimento e la diffusione dovuta all'atmosfera.

L'energia associata ad una mole di fotoni è espressa dall'equazione (6).

$$E = h\nu \quad (6)$$

Inserendo nell'equazione precedente l'energia del legame O-H (460 kJ/mol) si ottiene che il valore minimo della lunghezza d'onda capace di operare la scissione della molecola d'acqua in ossigeno e idrogeno risulta pari a 261 nm; tale lunghezza d'onda corrisponde alle radiazioni ultraviolette.

Considerando che la componente UV nello spettro solare è presente in misura minore rispetto a quella del visibile e dell'infrarosso e che lo strato di ozono presente nella parte superiore dell'atmosfera costituisce una vera e propria barriera all'ultravioletto, si deduce come la radiazione disponibile al suolo sia quasi totalmente priva dell'energia richiesta a tale scopo.

Studi effettuati circa le proprietà di assorbimento dell'acqua di radiazioni elettromagnetiche sottoposta a vibrazioni [4], mostrano tuttavia che l'effetto delle stesse altera le proprietà di assorbimento dell'acqua. Sollecitando il campione d'acqua con ultrasuoni alla frequenza di 22,5 kHz, si introducono nuove bande di assorbimento in corrispondenza delle lunghezze d'onda dello spettro visibile.

Tali motivazioni hanno indotto alla sperimentazione

dell'effetto combinato della radiazione luminosa con le onde meccaniche degli ultrasuoni. L'apparato sperimentale proposto sfrutta i due effetti e permette l'individuazione delle migliori condizioni di sonofotolisi.

APPARATO SPERIMENTALE

L'apparato sperimentale è costituito da un insieme di strumenti, apparecchiature, condotti, che, assemblati in modo opportuno, ha reso possibile lo studio del fenomeno della sonofotolisi; il sistema è composto da un reattore, nel quale viene inserito il campione d'acqua per l'esecuzione delle prove, da un sistema di generazione di ultrasuoni e da un apparato dedicato all'irraggiamento elettromagnetico.

I trasduttori piezoelettrici per la generazione degli ultrasuoni sono posizionati nella parte inferiore del reattore; le onde elettromagnetiche, simulanti la radiazione solare, sono generate da una lampada allo xeno.

Il sistema offre inoltre notevoli margini di espansibilità: può essere infatti integrato con sistemi di separazione dell'idrogeno prodotto (quali, ad esempio, membrane al palladio), nonché sistemi di captazione passiva dell'idrogeno (idruri metallici, nanotubi di carbonio).

L'apparato progettato e realizzato è estremamente versatile in quanto permette di indagare il fenomeno della sonofotolisi con diverse combinazioni di pressione ed in condizioni variabili di illuminazione e frequenza applicata; lo stesso è costituito da differenti componenti principali, classificabili a seconda della funzione che svolgono.

Reattore

Il reattore costituisce il cuore del sistema: qui ha luogo la reazione di sonofotolisi dell'acqua. Il corpo (figura 2), realizzato in acciaio inossidabile AISI 304, è chiuso superiormente da un lastra in vetro la cui tenuta è garantita da un collegamento flangiato e da due guarnizioni in Viton opportunamente modellate.

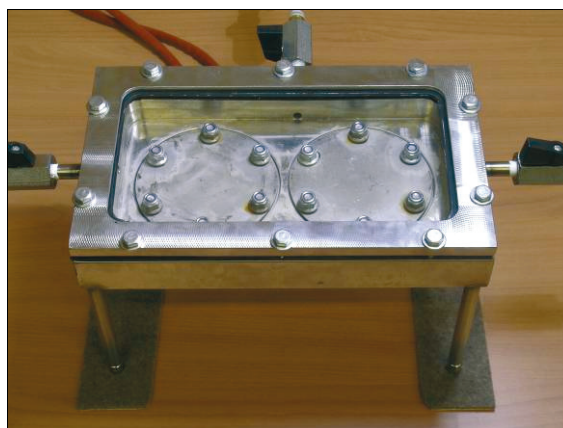


Figura 2 – Reattore.

Il corpo del reattore è munito di tre aperture cilindriche che consentono il passaggio dell'acqua e dei gas; in particolare uno dei condotti è dedicato all'ingresso e all'uscita dell'acqua necessaria per l'esperimento; un secondo condotto, invece, è connesso ad un setto poroso, dal quale si estrae per mezzo di una siringa a tenuta di gas il campione aeriforme da analizzare. Il terzo condotto, infine, consente l'inertizzazione

del reattore stesso mediante un lavaggio operato attraverso una connessione ad una pompa da vuoto e ad una bombola di gas inerte. Questa parte è provvista di barometro e di vuotometro per il monitoraggio delle condizioni di pressione interne al reattore.

Gruppo generazione ultrasuoni

Il fenomeno della cavitazione è indotto nell'acqua dal movimento di una coppia di trasduttori piezoelettrici collegati ad un generatore d'onda amplificato, il quale garantisce una frequenza di oscillazione di 22,5 kHz ed una potenza di 50 watt per ciascun trasduttore.

Il trasduttore piezoelettrico è collegato al fondo del reattore tramite un collegamento flangiato la cui tenuta è affidata ad una coppia di o-ring in Viton opportunamente dimensionati; in tal modo si ottiene un contatto ottimale tra il piezoelettrico e l'acqua.

Il trasduttore è costituito da elementi elettrostrittivi in zirconato-titanato di piombo (PZT). Questo materiale presenta proprietà piezoelettriche: cambia, cioè, di dimensioni se sottoposto ad un campo elettrico. Il coefficiente di conversione è molto elevato. Il singolo trasduttore è costituito da un sandwich di due anelli PZT stretti tra due cilindri metallici con funzione di amplificatore meccanico di ampiezza di vibrazione (figura 3).

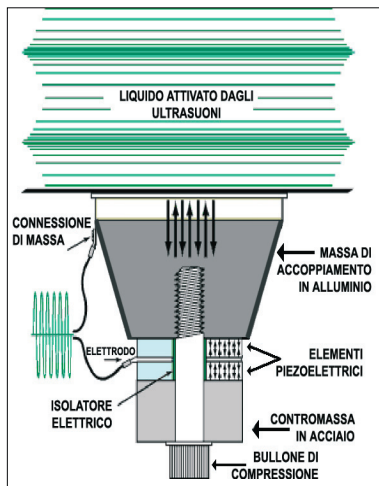


Figura 3 – Accoppiamento trasduttore piezoelettrico–acqua.

Tramite il trasduttore a sandwich è possibile ottenere una frequenza di risonanza pari a 25 kHz, molto più bassa di quella propria dell'anello di ceramica. L'uso di queste masse metalliche permette anche un buon raffreddamento delle ceramiche. Speciali resine con coefficiente di dilatazione termica vicino a quello dell'acciaio assicurano una perfetta aderenza dei blocchi piezoelettrici alla vasca.

Gruppo generazione radiazione luminosa

L'apparato per la generazione della radiazione luminosa è stato inserito nella struttura al fine di coadiuvare la scissione della molecola dell'acqua, in cooperazione con il gruppo di generazione di ultrasuoni appena descritto. Questo sistema è costituito da una lampada e da un accumulatore.

Per l'irraggiamento del campione d'acqua è stata scelta una lampada allo xeno con uno spettro di emissione vicino a quello solare; la lampada utilizzata, della potenza di 35 watt,

garantisce un illuminamento di 500 W/m² quando la distanza tra la stessa ed il reattore è di 5 centimetri.

La parte superiore del reattore è chiusa attraverso una lastra di vetro al quarzo di elevata purezza.

Le proprietà meccaniche di questo materiale sono pressoché identiche a quelle del vetro comune non temprato, mentre le caratteristiche di trasparenza ottica sono notevolmente differenti, in quanto il quarzo permette il passaggio di una gamma di lunghezze d'onda ben più ampia rispetto al vetro comune (figura 4).

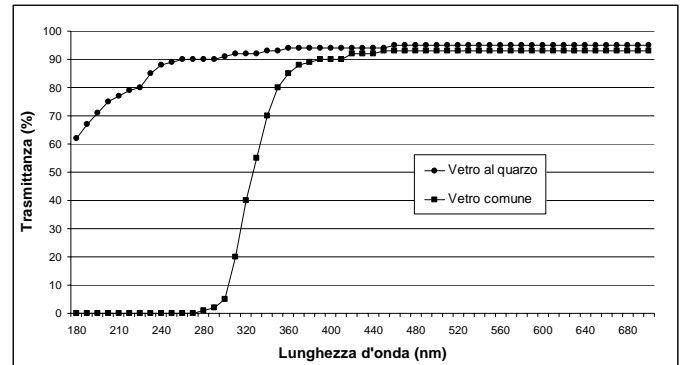


Figura 4 – Trasmittanza a confronto: vetro comune e quarzo.

Gruppo inertizzazione reattore e controllo pressione

Il gruppo di controllo della pressione consente di regolare il valore della stessa all'interno del reattore a seconda delle esigenze dell'utente.

La pompa da vuoto, collegata direttamente al reattore, consente di realizzare una notevole depressione. Per ripristinare all'interno del reattore valori della pressione pari o superiori a quella atmosferica è stata impiegata una bombola di gas (argon) munita di riduttore di pressione. La soluzione adottata consente di ottenere all'interno del dispositivo valori di pressione che variano da un minimo di 10⁻⁴ mBar ad un massimo di 10 Bar (pressione massima consentita alle giunzioni pneumatiche).

La pompa da vuoto utilizzata per questo esperimento è il modello PD 40L della Leybold-Hereaus a due stadi: un primo stadio rotativo, raffreddato ad aria, ed un secondo a diffusione di olio, raffreddato ad acqua; lo stadio rotativo è caratterizzato da una pressione minima raggiungibile pari a 2,5 x 10⁻⁴ mBar, da una portata nominale di 20 m³/h, da una portata di pompaggio di 15,2 m³/h e da una velocità di rotazione di 1500 giri al minuto; la potenza elettrica del motore di trascinamento è pari a 750 W.

Per incrementare la pressione all'interno del reattore è stato utilizzato un particolare gas: l'argon; la scelta è ricaduta su questo elemento per due principali motivazioni:

- è un gas inerte, quindi non pericoloso in quanto non partecipa a nessuna reazione chimica;
- ha proprietà termiche notevolmente differenti dall'idrogeno; tale caratteristica permette un'accurata analisi gascromatografica delle specie prodotte nell'esperimento.

E' stato scelto un elevato grado di purezza per l'argon (99,9999%) per rendere il più possibile attendibili i risultati ottenuti, evitando, in tal modo, la contaminazione da impurezze presenti nella bombola stessa. Gli altri elementi presenti nella bombola sono illustrati nella tabella 1.

Tabella 1 – Elementi presenti nella bombola di argon.

ELEMENTO	QUANTITÀ
Ar	99,9999 %
H ₂ O	0,5 ppm
O ₂	0,1 ppm
C _n H _m	0,1 ppm
CO	0,1 ppm
CO ₂	0,1 ppm
H ₂	0,1 ppm
N ₂	0,3 ppm

La concentrazione di H₂ presente è 0,1 parti per milione: tale valore può essere considerato trascurabile rispetto a quello ottenuto per sonofotolisi.

La pressione interna al reattore è stata monitorata attraverso due barometri analogici i cui intervalli di pressione misurabile sono rispettivamente [0, 1] bar e [1, 15] bar.

Campionamento ed analisi gascromatografiche

Il campionamento del gas da analizzare è stato effettuato per mezzo di una siringa a tenuta di gas inserita nel reattore, attraverso un condotto dotato di setto poroso in gomma butilica e teflon. Una volta effettuato il campionamento si è proceduto all'iniezione della miscela aeriforme in uno strumento in grado di separare, identificare e quantificare le specie presenti: il gascromatografo.

La separazione dei singoli componenti della miscela avviene lungo una parte del gascromatografo denominata colonna; una volta separati, i componenti vengono identificati attraverso il tempo di ritenzione. L'ultima operazione è la quantificazione delle specie identificate: questa fase avviene mediante una opportuna calibrazione dello strumento; in particolare è stato impiegato, per queste analisi, un MicroGC CP-4900 della Varian, provvisto di una colonna con setacci molecolari, la quale rende possibile la separazione di idrogeno, ossigeno e azoto.

Il cromatogramma, diagramma che si ottiene in uscita dallo strumento, è ottenuto mediante un'analisi della differente conducibilità termica dei gas che attraversano il detector del gascromatografo; il detector del GC-4900 è un TCD (Thermal Conductivity Detector).

Il grafico tracciato dallo strumento (figura 5) mostra l'andamento della tensione misurata in funzione del tempo.

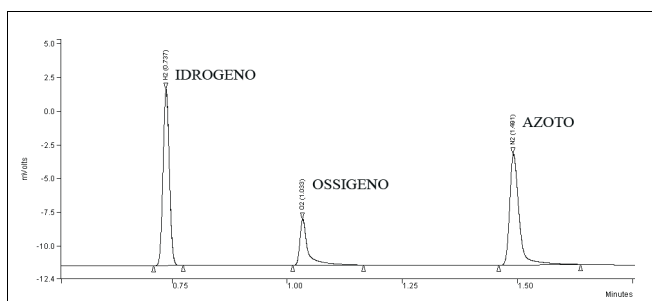


Figura 5 – Cromatogramma ottenuto dalle prove sperimentali.

INDAGINI SPERIMENTALI

Tutte le prove sono state effettuate inserendo 100 centimetri cubici di acqua bidistillata all'interno del reattore e

procedendo all'inertizzazione dell'atmosfera sopra il pelo libero dell'acqua.

Due differenti tipologie di campagna di misura sono state condotte: la prima mediante l'impiego del solo generatore di ultrasuoni per valutare la produzione di idrogeno per effetto della sola sonolisi; la seconda mediante l'impiego combinato del generatore di ultrasuoni e del generatore per la radiazione luminosa al fine di verificare l'incremento di produzione di idrogeno dovuto all'interazione tra la sollecitazione meccanica e la sollecitazione elettromagnetica.

Entrambe le campagne sono state effettuate al variare della pressione all'interno del reattore; di seguito sono riportate le prove realizzate:

- sonolisi a 1,0 atm;
- sonolisi a 1,5 atm;
- sonolisi a 2,5 atm;
- sonofotolisi a 1,0 atm;
- sonofotolisi a 1,5 atm;
- sonofotolisi a 2,5 atm.

Prima di effettuare le prove sperimentali è stata calcolata la quantità di idrogeno massima solubile nell'acqua presente nel reattore [8]; questa segue la legge di Henry della solubilità (equazione 7):

$$k_H = \frac{c_a}{p_g} \quad (7)$$

dove:

- k_H è la costante di Henry;
- c_a è la concentrazione nell'acqua del gas;
- p_g è la pressione parziale del gas nella fase gassosa.

La dipendenza della costante di Henry dalla temperatura è fornita dalla legge esponenziale:

$$k_H = k_H^\theta \cdot \exp\left(\frac{-\Delta_{sol}H}{R} \cdot \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T^\theta}\right)\right) \quad (8)$$

dove:

- $-\Delta_{sol}H$ è l'entalpia della soluzione;
- k_H^θ è la costante di Henry calcolata a 298,15 K;
- T è la temperatura alla quale si calcola la k_H ;
- T^θ è la temperatura standard (298,15 K);
- R è la costante universale dei gas.

Dalle equazioni 7 e 8, inserendo i parametri di funzionamento del reattore descritto, sono stati calcolati i valori della solubilità dell'idrogeno nell'acqua al variare della temperatura (figura 6).

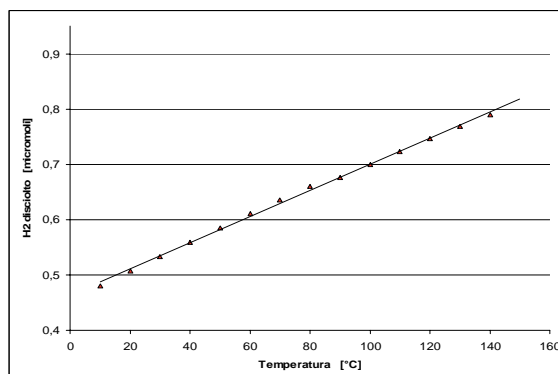


Figura 6 – Solubilità dell'idrogeno nell'acqua al variare della temperatura.

La quantità di idrogeno disciolta nell'acqua in condizioni di saturazione alla temperatura di 80 °C (temperatura di esecuzione delle prove), è 0,67 μmol . Tale valore, essendo estremamente basso consente di affermare che la porzione di idrogeno intrappolata in soluzione può considerarsi trascurabile rispetto alla quantità complessivamente prodotta nel corso delle prove.

Prove di sonolisi

Le prove di sonolisi sono state eseguite con l'impiego delle sole onde ultrasoniche generate dai trasduttori piezoelettrici; il campionamento del gas da analizzare è stato effettuato ad intervalli di tempo prestabiliti (figura 7).

Le prove sono state condotte al variare della pressione interna al reattore; al fine di confrontare i risultati ottenuti a differenti pressioni è risultato indispensabile effettuare un paragone in termini di moli di idrogeno prodotto, dato che la percentuale volumetrica di idrogeno è fortemente influenzata dalla pressione interna al reattore.

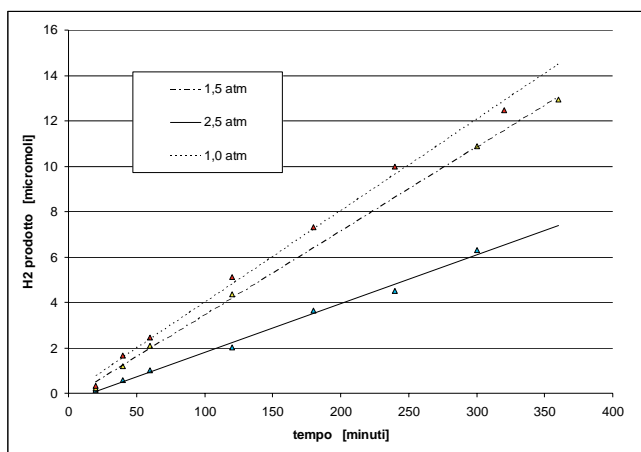


Figura 7 – Idrogeno prodotto per sonolisi.

I risultati mostrano che la maggiore produzione di idrogeno si è verificata alla pressione di 1,0 atmosfera.

Prove di sonofotolisi

La seconda campagna di prove ha previsto l'impiego simultaneo delle onde sonore e della lampada solare.

La configurazione di prova è analoga alla precedente eccetto che per la presenza della lampada allo xeno posta in prossimità del vetro al quarzo.

Anche in questo caso si è riscontrato un andamento decrescente della quantità di idrogeno prodotta in funzione dell'aumento di pressione (figura 8). I risultati delle prove di sonolisi mostrano una produzione di idrogeno maggiore rispetto a quella ottenuta senza la radiazione luminosa. L'irraggiamento con la radiazione solare produce un incremento dell'idrogeno captato, seppur modesto.

I risultati ottenuti nelle due differenti configurazioni sono riassunti nella tabella 2, dove è stato preso in considerazione, ai fini di confronto, un tempo di prova di 180 minuti.

Nella figura 9 sono messe a confronto le due campagne di esperimenti realizzate alla pressione di 1 atm (corrispondenti alla massima produzione di idrogeno): uno in presenza di radiazione luminosa, l'altro senza l'apporto energetico della stessa.

Dal grafico in figura 9 si evince, oltre alla maggiore capacità di produzione di idrogeno mediante sonofotolisi, che il suddetto fenomeno presenta una linearità temporale.

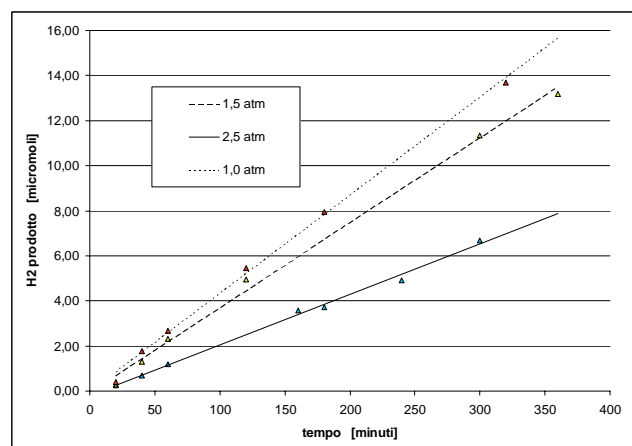


Figura 8 – Idrogeno prodotto per sonofotolisi.

Tabella 2 – Idrogeno prodotto nelle differenti configurazioni.

H ₂ PRODOTTO IN 180 MINUTI		
Metodo impiegato	Pressione interna [atm]	H ₂ prodotto [μmol]
SONOLISI	1,0	7,32
SONOLISI	1,5	6,82
SONOLISI	2,5	3,65
SONOFOTOLISI	1,0	7,69
SONOFOTOLISI	1,5	7,03
SONOFOTOLISI	2,5	3,71

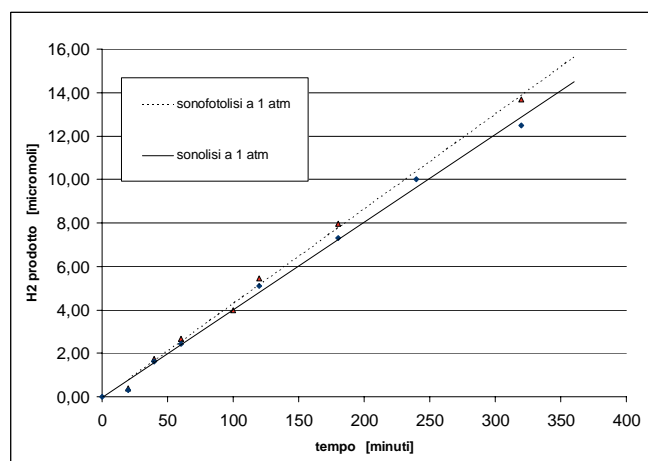


Figura 9 – Risultati di prove di sonolisi e sonofotolisi a parità di pressione.

CONCLUSIONI

Nell'ambito della ricerca di una tecnologia volta allo sviluppo di idrogeno da fonti rinnovabili, nel presente lavoro è

stato studiato il fenomeno della sonofotolisi dell'acqua.

Gli ultrasuoni determinano una diminuzione del coefficiente di trasmissione con conseguente incremento dell'energia assorbita da parte dell'acqua in tutto lo spettro visibile. Tale effetto è dovuto alla presenza di fenomeni di cavitazione indotti nel campione d'acqua dagli ultrasuoni e favoriti dalla presenza di bolle di vapore all'interno del liquido; la formazione di bolle è, a sua volta, favorita da valori elevati della temperatura.

Tale comportamento è sfruttato per la produzione di idrogeno; allo scopo è stato realizzato in laboratorio un apparato sperimentale con il quale è stato possibile apprezzare l'andamento lineare della produzione di idrogeno per sonofotolisi nel tempo, nonché una dipendenza del fenomeno sonofotolitico dalla pressione.

In particolare si è notato che la produzione di idrogeno è maggiore nel caso delle prove sperimentali a bassa pressione.

Il fenomeno della sonofotolisi presenta interessanti prospettive; è stata analizzata la possibilità di sfruttare questo fenomeno attraverso l'impiego combinato di ultrasuoni e luce solare.

E' stata analizzata la dipendenza della quantità di gas prodotto nel tempo e ne è verificata la linearità a parità delle altre condizioni sperimentali; in particolare è stato sperimentato il differente comportamento del fenomeno sonolitico rispetto a quello sonofotolitico in termini di produzione netta di idrogeno. Come ipotizzato, si è verificato un incremento di idrogeno prodotto con l'impiego della radiazione luminosa.

L'attuale tecnologia presenta notevoli interessanti prospettive di sviluppo quali l'introduzione di un fotocatalizzatore in grado di sfruttare una più ampia gamma di lunghezze d'onda nel campo del visibile, particolari geometrie atte all'amplificazione degli ultrasuoni e l'introduzione di innovativi sistemi di captazione di idrogeno in grado di stoccare l'idrogeno prodotto direttamente immersi nell'acqua.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- [1]. H. Harada, Isolation of hydrogen from water and/or artificial seawater by sonophotocatalysis using alternating irradiation method, *International Journal of Hydrogen Energy* 26, pp. 303–307, 2001.
- [2]. P. R. Williams, P. M. Williams, S. W. J. Brown, Cavitation phenomena in water involving the reflection of ultrasound pulses from a free surface, or from flexible membranes, *Phys. Med. Biol.*, 43, pp. 3101–3111, 1998.

- [3]. H. Yanagida, Y. Masubuchi, K. Minagawa, T. Ogata, J. Takimoto, K. Koyama, A reaction kinetics model of water sonolysis in the presence of a spin-trap, *Ultrasonics Sonochemistry* 5, pp. 133–139, 1999.
- [4]. G. Moncada Lo Giudice, F. Rossi, U. Di Matteo, Produzione dell'idrogeno mediante la luce solare: proprietà di assorbimento dell'acqua sottoposta a vibrazioni, *ATTI Congresso Nazionale AIDI*, Perugia 5–6 dicembre 2001.
- [5]. C. Konigstein, Some aspects of photochemical system for direct light-induced hydrogen, *Journal of Photochemistry and Photobiology*, pp. 141-152, 1995.
- [6]. E. Amouyal, Photochemical production of hydrogen and oxygen from water: A review and state of the art, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, pp. 249-276, 1995.
- [7]. J. R. Bolton, Solar photoproduction of hydrogen: a review, *Solar Energy*, vol. 57, pp. 37-50, 1996.
- [8]. D. W. Oxtoby, H. P. Gillis, N. H. Nachtrieb, *Chimica Moderna*, pp. 360-388, 2005.

SUMMARY

This paper deals with an experimental investigation on water sonophotolysis for hydrogen production.

The separation of water molecules is obtained by the interaction between photolysis and sonolysis which is induced by the combined action of ultraviolet radiation and ultrasounds. Ultrasounds determine a variation of the transmission coefficient and an increase of the visible radiation energy absorbed by water. Such effect is due to cavitation phenomena induced in the water by ultrasounds. This phenomenon is supported by the vapour bubbles inside the water; the generation of bubbles is encouraged by high temperatures. An experimental device has been realized in laboratory; experimental tests were carried out. Results show that hydrogen production due to sonophotolysis is linear versus time; besides, hydrogen production is higher for low pressure systems.

Thus, the proposed sonophotolysis investigation introduces good future perspectives: new reactor geometries for ultrasound amplification and innovative systems for hydrogen storage in the water will be proposed and tested.