

UTILIZZO DELLE RETI NEURALI ARTIFICIALI PER LO STUDIO DELLA CAVITAZIONE ULTRASONICA: *abstract*

Nicolo' Viti

Laurea triennale in Ingegneria per l'ambiente e il territorio, aa 2012/2013

FedericoII, Napoli

Il lavoro di tesi da me presentato si propone di effettuare una revisione di letteratura riguardo le tecniche di trattamento avanzato dei microinquinanti ed in particolare la cavitazione ultrasonica. Il lavoro proposto si pone l'ulteriore obiettivo di creare e testare un modello predittivo del fenomeno attraverso l'utilizzo di reti neurali artificiali. Negli ultimi anni, soprattutto grazie all'avanzamento delle tecniche analitiche, sono stati identificati negli effluenti degli impianti di trattamento delle acque reflue e nelle acque superficiali, nuovi inquinanti organici. Essi sono derivati in larga parte da farmaci, antibiotici (di uso umano e animale), steroidi, detersivi, antiparassitari e prodotti per l'igiene personale. Il termine "microinquinanti" è riferito alla concentrazione molto bassa dei composti in ambiente (con valori dell'ordine dei $\mu\text{g/L}$) ed il termine emergente indica che tali sostanze non sono sottoposte a normative o sono tuttora in via di regolamentazione. Tra i microinquinanti principali, una particolare attenzione è data ai distruttori endocrini (EDC), alla cui categoria appartengono gli alchilfenoli etossilati, i fenoli, gli ormoni naturali e sintetici, i difenili, i pesticidi, i PCDB e i PCDD, gli idrocarburi policiclici aromatici (IPA), gli ftalati e i composti organo stannici. La principale via di contaminazione nell'ambiente è legata agli effluenti degli impianti di depurazione dei reflui civili, i quali subiscono un forte incremento del carico di PPCP (*pharmaceuticals and personal care products*) integratori alimentari, prodotti di cosmesi e altri composti presenti nei prodotti per l'igiene personale, così come i rispettivi metaboliti e i prodotti di trasformazione, con gli scarichi ospedalieri che convergono in quelli civili. Gli attuali depuratori tuttavia non sono progettati per rimuovere sostanze tanto eterogenee, così diverse tra loro e a concentrazioni tanto basse. Da qui nasce la necessità di migliorare le unità già esistenti negli impianti o di implementarli con nuovi trattamenti avanzati. Gli effetti riscontrati della presenza dei microinquinanti emergenti nell'ambiente sono danni al sistema riproduttivo, immunitario ed endocrino di pesci, rettili, uccelli e mammiferi, bioaccumulo nella fauna marina, formazione di classi di batteri farmaco-resistenti e svariati effetti causati dai singoli principi attivi dei farmaci. Risulta facile quindi la conseguente diffusione nella catena alimentare "fino ad arrivare all'uomo", per questo è necessario un trattamento ad hoc ai fini della rimozione di questi microinquinanti. Tra i diversi trattamenti avanzati, la tecnica ad ultrasuoni rientra nella categoria dei processi di ossidazione avanzata e si è rivelata un ottimo strumento per la rimozione dei microinquinanti a differenza di altre tecniche che non riescono a rendere completamente innocue le sostanze spostando semplicemente il problema sulla linea fanghi. I processi ad ultrasuoni si basano sulla propagazione di onde sonore ad alta frequenza nel liquido. Queste all'interno del mezzo liquido creano variazioni di pressione con andamento

sinusoidale determinando la “cavitazione acustica” cioè la creazione, crescita e collasso implosivo di bolle di vapore all’interno del liquido. Una volta prodotte le bolle, a causa dell’alternarsi di cicli di compressione ed espansione, esse aumentano fino al raggiungimento della dimensione critica per la quale la bolla collassa violentemente (Mason *et al.*, 1988). Dall’implosione si determinano condizioni estreme di pressione e temperatura, oltre che la termolisi delle molecole di vapore intrappolate. Da essa ne consegue l’innesco delle reazioni radicaliche e la conseguente rimozione dei microinquinanti. Questo fenomeno dipende principalmente dalla densità, dalla tensione di vapore e dalla purezza del liquido. La velocità di crescita delle bolle dipende invece dalle onde sonore, in particolare dall’intensità e dalla frequenza. È possibile suddividere la degradazione dei microinquinanti in tre diversi contributi: quello all’interno della bolla, quello all’interfaccia liquido-gas e quello nel bulk liquido. Lo studio della cavitazione ultrasonica per la rimozione dei microinquinanti è stato effettuato tramite l’utilizzo di reti neurali artificiali. Queste sono dei sistemi di elaborazione dell’informazione che cercano di simulare all’interno di un sistema informatico il funzionamento dei sistemi nervosi biologici, costituiti da un gran numero di neuroni collegati tra di loro in una complessa rete (sinapsi). Il legame input-output, ovvero la funzione di trasferimento della rete, non viene programmato ma è ottenuto da un processo di apprendimento basato su dati empirici, così come in natura, anche nel caso delle reti artificiali. Tramite l’apprendimento, si formano connessioni tra i vari neuroni che danno all’intera rete una capacità predittiva, tanto accurata quanto sono efficaci le modalità di apprendimento. Quest’ultimo tipicamente è di tipo supervisionato, qualora si disponga di un insieme di dati per l’addestramento e si predisponga un algoritmo di apprendimento. Quest’ultimo attribuisce dei pesi e delle relazioni alla rete (rami) per ottenere una capacità previsionale mediante diversi cicli di apprendimento. Se l’addestramento ha successo (l’errore tra l’output previsto e quello reale è accettabile), la rete impara a riconoscere la relazione incognita che lega le variabili d’ingresso a quelle d’uscita ed è quindi in grado di fare previsioni basandosi soltanto su un numero limitato di esempi di corrispondenza. Per la progettazione della rete è stato scelto un modello a tre livelli tramite l’utilizzo di alcuni layer nascosti immettendoli tra gli input e l’output. La scelta della configurazione ottimale può essere fatta in relazione al numero di neuroni nel layer: in concordanza all’aumento dei neuroni, diminuisce lo scarto quadratico medio tra l’output (target) e l’input (parametri). Per aumentare l’accuratezza del calcolo diminuendo lo scarto quadratico medio si è deciso di utilizzare 6 *hidden layer* con un valore relativo allo scarto quadratico medio di $1,72 \cdot 10^{-3}$. È possibile notare che, all’aumentare di f , le proprietà delle molecole considerate hanno sempre minore influenza e vengono tutte degradate con un valore di k simile (Figura 1). Questo comportamento è ascrivibile al fatto che ad alta frequenza diminuisce il tempo disponibile al trasporto e le differenze tra i meccanismi di reazione in diverse zone della bolla e del suo intorno. I risultati dell’addestramento sono visualizzati nel Diagramma di Parità riportato nella Figura 2 dove è possibile confrontare i dati prodotti dall’ANN con quelli sperimentali. Lo strumento realizzato si propone come un “simulatore di dati sperimentali” quindi potrà essere testato per la discussione degli effetti delle variabili e per

il confronto con altri dati di letteratura. Sviluppi futuri di questa tecnica applicata agli ultrasuoni possono consistere nell'aggiunta di nuovi dati sperimentali, numerici o comprensivi di altri parametri operativi, quali il fattore di aspetto o forma. Dal punto di vista progettuale, lo studio sempre più affinato e l'utilizzo delle reti neurali nella cavitazione ultrasonica permetterebbero la realizzazione di esperimenti con nuove molecole. Test ideati in questo modo su scala pilota possono predisporre velocemente al fine della progettazione di apparati industriali con una valutazione quantitativa dell'effetto dei parametri e della stima della spesa energetica. Inoltre è possibile realizzare e addestrare apparecchiature di controllo in tempo reale dei processi.

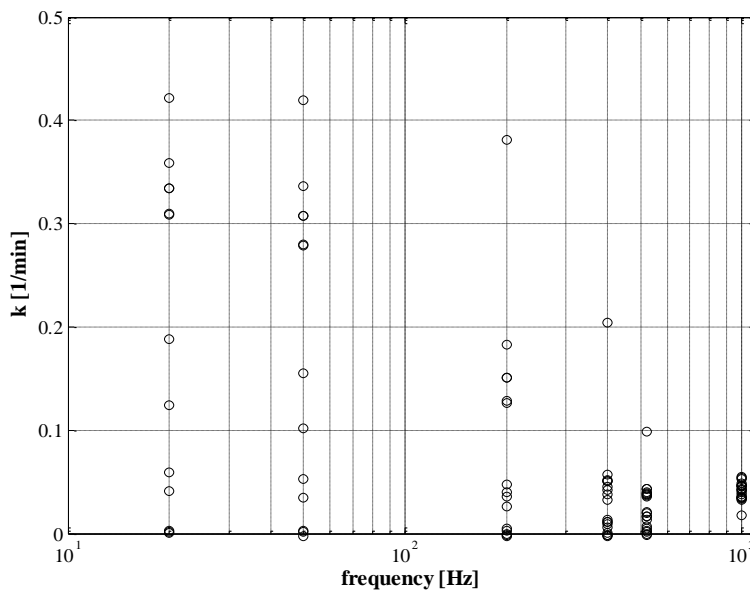


Figura 1: Costante di degradazione di pseudo-primo ordine k (min^{-1}) al variare della frequenza per diversi inquinanti organici. Densità di potenza $D=0.1$ W/L, $T=25^\circ\text{C}$, $\text{pH}=5$.

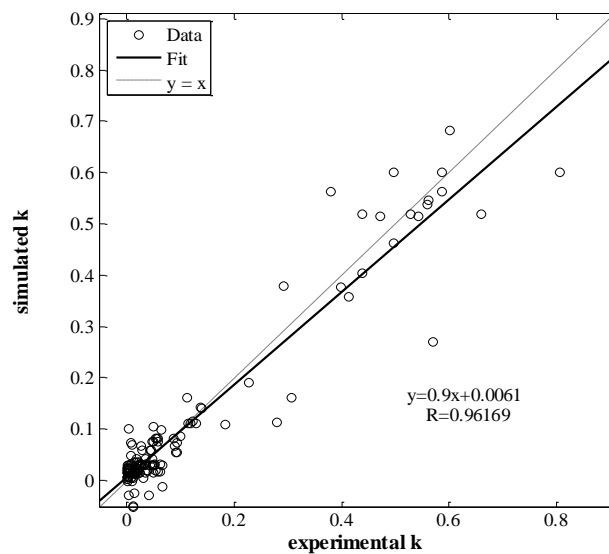


Figura 2: Diagramma di Parità tra dati prodotti dall'ANN e quelli sperimentali..