

STUDIO DELLA SEPARAZIONE MAGNETICA DEI MICROINQUINANTI PRIORITARI DALLE ACQUE REFLUE

Giacomo Mariani, Massimo Fabbri, Francesco Negrini

Dipartimento di Ingegneria Elettrica
Università di Bologna
viale Risorgimento 2, 40136 Bologna

I più recenti orientamenti normativi impongono l'adozione di una elevata efficienza nella rimozione dei microinquinanti (metalli pesanti e composti organici aromatici e clorurati) dalle acque reflue al fine di facilitare il riutilizzo della risorsa idrica e mantenere per quanto possibile inalterate le caratteristiche dei corpi ricettori. Obiettivo dell'attività di ricerca è l'individuazione di un processo per la rimozione ad elevata efficienza dei metalli pesanti, tramite l'additivazione dei reflui con polveri di ossido di ferro, in grado di fornire acque trattate caratterizzate da concentrazioni di microinquinanti prossimi ai livelli di back-ground ambientale o, quantomeno, accettabili per il successivo trattamento in impianti di depurazione di tipo convenzionale. Al diminuire delle dimensioni delle particelle di additivo, grazie all'aumento della superficie specifica, migliorano le proprietà adsorbenti, mentre peggiorano le proprietà magnetiche. Tuttavia, lo sviluppo delle tecnologie superconduttive ha fornito la possibilità di generare alti campi magnetici su grandi volumi con consumi energetici relativamente bassi [1-2]. Si è quindi aperta la possibilità di trattare portate industrialmente rilevanti di fluidi con sospensioni di particolato di dimensioni micrometriche con deboli proprietà magnetiche.

I processi di separazione e filtrazione magnetica sono generalmente basati sulla forza che agisce su di una particella magnetizzabile quando è immersa in un campo magnetico non uniforme. Tale forza è proporzionale sia al volume ed alla suscettività magnetica della particella, sia all'intensità del campo di induzione magnetica ed al suo gradiente. Il campo prodotto dal magnete non è soggetto a vincoli stringenti di uniformità in quanto esso ha il solo scopo di magnetizzare le particelle in sospensione e l'elemento filtrante. L'elemento filtrante è costituito da filamenti ferromagnetici di diametro inferiore a 30 micron (lana di ferro [3]) a sezione tendenzialmente triangolare che, saturando in presenza del campo magnetico esterno, generano un elevato gradiente di campo nelle loro immediate prossimità. Agendo sul fattore di riempimento dell'elemento filtrante è possibile generare un campo di forza sufficientemente intenso da attrarre e trattenere le particelle magnetizzate ed i metalli pesanti da esse adsorbiti. L'efficienza del processo di cattura dipende criticamente dalle proprietà adsorbenti dell'additivo, dal regime fluidodinamico nei meati della lana di ferro e dalla struttura fine del campo magnetico.

Il modello di calcolo sviluppato è in grado di simulare il moto delle particelle ed analizzare la loro interazione con i filamenti dell'elemento filtrante e con il campo magnetico. Data la differenza di ordini di grandezza tra le dimensioni micrometriche dei filamenti della lana che forma l'elemento filtrante, la cui geometria è incognita ed irregolare, e quelle macroscopiche del dispositivo, si è impostato uno studio statistico dell'interazione particella - filamenti su un volume di controllo al centro del filtro (cella), con condizioni di periodicità. Tale analisi di una porzione piccola, ma statisticamente rappresentativa, del filtro elimina la necessità di

modellare l'intero dispositivo su scala micrometrica, con oneri computazionali inaccettabili, e costituisce la base per l'analisi dell'efficienza del processo di filtrazione magnetica proposto. Obiettivo del modello è fornire delle indicazioni relative all'influenza dei parametri progettuali sull'efficienza di separazione.

Il problema magnetostatico è stato risolto all'interno della cella calcolando analiticamente il campo generato dai filamenti, scomponendoli in un'insieme di prismi a base triangolare uniformemente magnetizzati. Per quanto riguarda la fluidodinamica si è utilizzato un'approssimazione al primo ordine [4] che tiene conto correttamente delle interazioni tra le particelle e i filamenti per velocità in un intervallo compatibile con i valori sperimentali. La Figura 1 mostra le traiettorie di alcune particelle in una cella in cui i filamenti sono disposti casualmente nel piano x-y. Queste sono ottenute trascurando l'impulso delle particelle nel bilancio delle forze (approssimazione verificata a velocità compatibili con l'intervallo considerato per la fluidodinamica) e uguagliando quindi le forze di origine magnetica e di trascinamento da parte del fluido.

Dall'analisi dimensionale dell'equazione del moto delle particelle si è dedotto un parametro adimensionale Ω , che tiene conto dei parametri fisici e geometrici del fluido, dei filamenti e delle particelle. Definito il fattore di cattura σ come frazione delle particelle entrate bloccate dai filamenti e il fattore di riempimento ρ come rapporto tra il volume occupato dai filamenti e quello occupato dal fluido, è possibile ottenere la funzione $\sigma = \sigma(\rho, \Omega)$ tramite l'analisi statistica delle traiettorie delle particelle al variare della geometria del filtro, mostrata nella Figura 2. La fase successiva dello studio, ancora in corso, prevede l'estensione del modello nel dominio del tempo, cioè il calcolo del fattore di cattura dinamico dovuto al progressivo accumularsi di un sedimento sui filamenti che ne diminuisce la capacità di cattura.

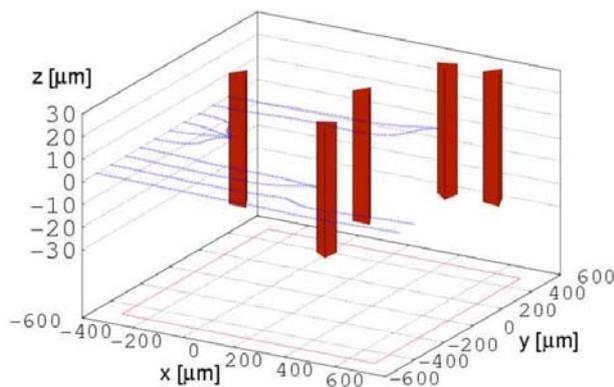


Figura 1 - Traiettorie di alcune particelle in una cella in cui i filamenti sono disposti casualmente nel piano x-y.

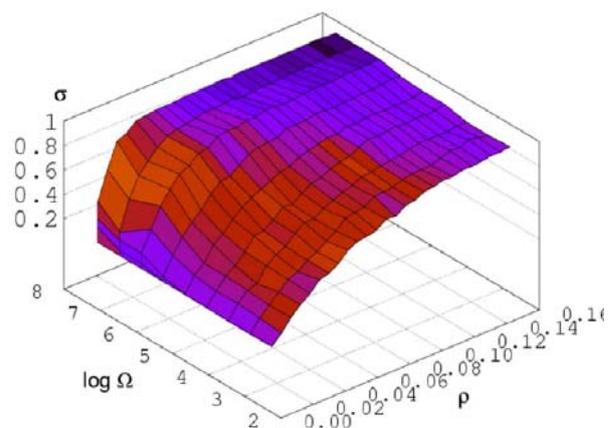


Figura 2 - Fattore di cattura in funzione del fattore di riempimento e del parametro adimensionale Ω .

- [1] G. Friedman, B. Yellan, "Magnetic separation, manipulation and assembly of solid phase in fluids", *Colloids and interface science*, 10, pp. 158-166, 2005.
- [2] N. Karapinar, "Magnetic separation of ferrihydrite from wastewater by magnetic seeding and high-gradient magnetic separation", *Int. J. of mineral processing*, 71, pp. 45-54, 2003.
- [3] <http://www.gmt-inc.com/products.aspx>
- [4] D. L. Young et al., "Method of fundamental solution for multidimensional Stokes equation by the dual-potential formulation", *European J. of mechanics B*, 25, pp. 877-893, 2006.