

Direct Numerical Simulation of particle dispersion in turbulent flows

Dottorato in Tecnologie chimiche ed energetiche– XXI ciclo

Lavezzo Valentina

Obiettivo della ricerca è l'analisi dei fenomeni che governano la dispersione/segregazione di particelle di diverso diametro in un moto turbolento.

I flussi bifase coinvolgono una fase dispersa (solido o liquido) ed una continua (liquido o gas) e sono presenti sia in processi naturali che in molte applicazioni industriali quali miscelazione di solventi, trasporto pneumatico in tubazioni, separazione di polveri in cicloni, trasporto di sabbia in fiumi o canali, formazione delle nubi etc. Risulta quindi chiaro come un'accurata analisi dei processi e parametri fisici che regolano tali flussi possa portare ad un miglioramento in termini di processo (ottimizzazione del design, dell'utilizzo di materiali etc.) e di conseguenza anche in termini economici. I flussi bifase sono estremamente complessi in quanto caratterizzati da processi simultanei e tra loro interconnessi quali (i) l'interazione delle particelle con il flusso turbolento a diverse scale, (ii) le possibili collisioni tra particelle e (iii) l'intervento di forze di diversa natura che possono influenzare il comportamento delle particelle nel fluido (forze di van der Waals, elettrostatiche, idrodinamiche etc.). Gli esperimenti in laboratorio ci permettono di analizzare alcune caratteristiche di questo tipo di flussi senza però essere in grado di isolare completamente l'effetto di un meccanismo dall'altro. Per esaminare il problema in modo approfondito sia da un punto di vista qualitativo che quantitativo risulta quindi necessario ricorrere alle simulazioni numeriche.

Nella presente ricerca si è scelto di utilizzare una Simulazione Numerica Diretta (DNS) in quanto permette di risolvere completamente le equazioni di Navier-Stokes fino alle più piccole scale del moto o scale di Kolmogorov e un tracciamento Lagrangiano per ottenere il moto di ciascuna particella dispersa nel fluido.

Per porre l'attenzione su alcuni aspetti di un flusso bifase si analizzano due casi. In particolare si studiano (i) l'interazione delle particelle con le diverse scale di un flusso turbolento in un reattore agitato e (ii) l'effetto delle collisioni nella dispersione/risospensione delle particelle in un flusso in un canale orizzontale.

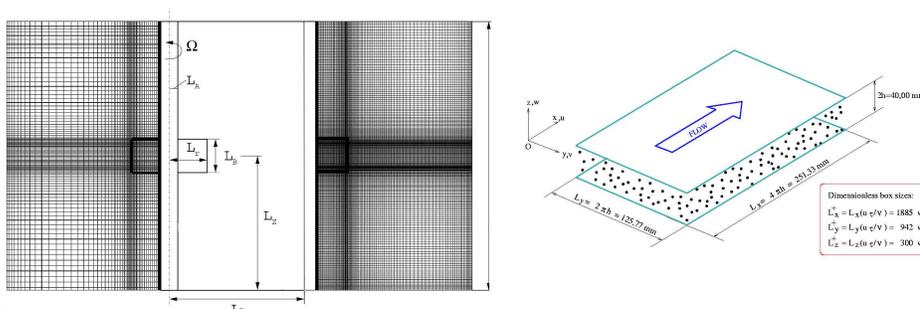


Figura 1: *Sinistra* – Geometria del reattore, e griglia computazionale utilizzata; *Destra* – Geometria del canale

Il primo caso considera un reattore dal fondo piatto e superficie superiore libera agitato da un impeller composto da 8 pale dritte, posizionato a metà altezza rispetto al reattore come è possibile vedere in Figura 1-Sinistra. Per un'ottimizzazione del processo di mescolamento e l'identificazione di eventuali regioni preferenziali di accumulo di particelle, si studia la possibile

correlazione tra le caratteristiche fisiche della frazione solida e le velocità del fluido nel reattore e la presenza di strutture del fluido responsabili della dispersione e risospensione delle particelle.

Si è osservato che le particelle tendono a disporsi in zone ad elevato sforzo di taglio e bassa vorticità corrispondenti ai bordi dei vortici come è stato verificato grazie all'utilizzo di parametri statistici trovati in letteratura. La diversa inerzia posseduta dalle particelle fa in modo che il moto di quelle più pesanti sia governato da forze inerziali che favoriscono la tendenza ad accumularsi in particolari regioni del dominio. Quelle di diametro inferiore, al contrario, seguono in modo più pronto le modificazioni del flusso turbolento e vengono intrappolate da fenomeni di natura viscosa, rimanendo omogeneamente distribuite all'interno del reattore.

Osservando, in particolare, il comportamento delle particelle più pesanti, è stato possibile notare la presenza di un vortice intermittente di larga scala che, partendo dal fondo del reattore, sale verso le pale dell'impeller, seguendo un moto rotatorio a spirale attorno all'albero. Questo vortice, dovuto all'effetto che prende il nome di "Ekman pumping", è il principale responsabile della risospensione delle particelle e della loro dispersione nel dominio in esame.

Il secondo caso considera un flusso turbolento in un canale infinito delimitato da due pareti orizzontali parallele tra loro, come è possibile vedere in Figura 1-Destra. Numerosi studi precedenti hanno dimostrato che le particelle in questa particolare geometria, tendono ad accumularsi nelle vicinanze delle pareti (fenomeno che prende il nome di *turboforesi*). Strutture coerenti del flusso definite *sweeps* trasportano le particelle verso la parete fino a che le *ejections* non riescono a riportarle verso il centro del canale. Questo fenomeno di trasporto non sempre risulta essere efficiente in quanto le particelle possono rimanere intrappolate nella regione tra due vortici consecutivi e ivi accumularsi. In corrispondenza della parete si possono, di conseguenza, raggiungere frazioni di solido molto elevate per cui il moto delle particelle è dominato non più dalla turbolenza come avviene al centro del canale, ma dalle collisioni tra particelle. È chiaro come l'accumulo di particelle alla parete rappresenti un problema sia per il mescolamento che per il trasporto di materiale solido in un canale poichè da un lato impedisce lo scambio uniforme tra le due fasi sia esso di calore, quantità di moto, chimico etc. e dall'altro ne aumenta le perdite di carico.

La ricerca in questo caso si ripropone di analizzare l'effetto che le collisioni tra particelle hanno sulla dispersione/risospensione della fase solida nel canale. Gli urti possono essere classificati in due categorie: urti ad alto contenuto energetico e urti a basso contenuto energetico. Si ritiene che i primi siano quelli responsabili della risospensione delle particelle in quanto avvengono tra una particella che possiede alta velocità, proveniente dal centro del canale, e particelle confinate alla parete. L'effetto può essere associato a quello di una palla da bowling che urta contro i birilli proiettandoli nelle varie direzioni. Allo stesso modo le particelle in prossimità della parete verranno disperse nel fluido dando luogo ad una possibile risospensione. La seconda tipologia di collisioni è quella che caratterizza gli urti reciproci tra particelle già segregate alla parete. In questo caso le particelle non presentano alte velocità relative e di conseguenza gli urti non hanno la capacità di trasferire grande quantità di moto come accade nel primo caso. Gli urti a bassa energia sono ugualmente importanti perchè impediscono alle particelle di occupare lo stesso spazio e le disperdono in direzione parallela alla parete lontano dalle zone preferenziali di accumulo.

Lo studio si ripropone di individuare le tipologie di collisioni e valutarne gli effetti complessivi sulla dinamica delle particelle e sulla loro dispersione. A tale scopo è stato introdotto un modello di collisione all'interno di un codice già utilizzato presso il laboratorio. Il modello consente alle particelle di "sentire" la presenza delle altre particelle e di urtare tra loro con semplice scambio di energia cinetica e quantità di moto (urto elastico). Allo stato attuale la ricerca è finalizzata allo studio degli effetti di tali collisioni al variare dell'inerzia delle particelle e del rapporto tra le densità del fluido e della frazione solida.