

Fluidodinamica applicata ai terminali di aspirazione OCRIM: la separazione polveri

Lo studio congiunto OCRIM – FMB per ottimizzare il recupero polveri nelle aspirazioni e nei trasporti

Un mulino, così come la maggior parte degli impianti produttivi, è un insieme di macchine collegate tra loro e attraversate da un flusso più o meno continuo di prodotto; una delle sue particolarità è che i flussi di prodotto tra una macchina e l'altra possono avvenire anche per mezzo di sistemi di trasporto pneumatico.

La progettazione di questo "apparato locomotore" è tutt'altro che semplice:

- Vanno garantiti i giusti flussi d'aria per movimentare le quantità di prodotto desiderate nei vari rami dell'impianto,
- I flussi devono essere contenuti per limitare l'aspirazione di prodotto fine "buono"
- Vanno valutati il più possibile i consumi energetici e, di conseguenza, i costi di funzionamento del mulino.

Negli ultimi anni la ricerca di OCRIM, in collaborazione con la sua azienda partner FMB Eng.In.E., spin off dell'Università di Parma, è stata fortemente indirizzata all'ottimizzazione degli impianti di aspirazione e di trasporto pneumatico in quanto da essi dipende direttamente il buon funzionamento dell'intero impianto molitorio. In seguito si esporrà sinteticamente quanto è stato fatto, e quanto ancora si sta facendo, in merito ad alcuni dei componenti chiave del sistema di aspirazione e di trasporto pneumatico: gli elementi filtranti.

Gli elementi filtranti

Parlando di filtrazione dobbiamo ricondurci alla separazione di fase aria-solido in generale. Tale dissociazione si realizza generalmente per mezzo di cicloni separatori che sfruttano il differente peso specifico della fase solida rispetto alla gassosa ottenendo la decantazione per combinazione di forza centrifuga e forza gravitazionale. Grazie ad una progettazione mirata, i cicloni sono in grado di raggiungere elevate efficienze di separazione anche con consumi energetici contenuti. La capacità di sedimentazione delle particelle sospese in un flusso aumenta notevolmente se vengono impiegate forze centrifughe in aggiunta al solo peso gravitazionale. Attraverso un massiccio utilizzo della fluidodinamica computazionale (CFD) è stato possibile raggiungere una conoscenza approfondita del fenomeno e quindi di ottimizzare la geometria dei cicloni tenendo in considerazione molte delle possibili condizioni di funzionamento.

Studio preliminare fluidodinamico su ciclonetto OCRIM
Preliminary fluid dynamic analysis on OCRIM cyclone



Fluid dynamics applied to OCRIM vacuum terminals: dust separation

OCRIM – FMB joint study to optimize dust recovery in vacuum and transport lines

Like most production plants, a mill is a set of interconnected machines crossed by a continuous (or so) product flow rate. One of its peculiarities is that product flow rate between one machine and the other can also occur by means of pneumatic transport systems.

The design of this "locomotive apparatus" is far from being simple:

- The right air flow to handle the amount of product you want in the various branches of the plant must be guaranteed,
- Flow rates must be not too high as to limit the suction of "good" products
- Energy consumption and, as a consequence, running expenses of the mill must be evaluated.

In recent years, OCRIM's research – in cooperation with its partner company FMB Eng.In.E., spin-off of University of Parma, has been strongly oriented toward the optimization of suction and pneumatic transport plants since proper functioning of the entire milling plant depends on them.

This article will briefly describe what has been done and what is still being done as regards the key components of the suction system and pneumatic transport: filtration elements.

Filtration elements

When we speak of filtration we cannot but go back to air-solid phase in general. Such separation is generally possible by means of separation cyclones that exploit the density difference between the solid and gaseous phases by separation due to a combination of centrifugal and gravitational forces. Thanks to specific design, the cyclone can hit high separation efficiency also with low energy consumption. The sedimentation rate of the suspended particles may increase if centrifugal forces are used as well as the gravitational ones.

Through an extensive use of computational fluid dynamics – CFD, it was possible to get deep understanding of the phenomenon and therefore to optimize the cyclone geometry while taking into account many possible operation conditions. Despite the very high efficiency that have been achieved thanks to simulative approach and advanced design, it is not possible, with cyclones only, to prevent a product fraction from being sucked by a fan.



Nonostante le elevatissime efficienze che si sono raggiunte grazie all'approccio simulativo ed alla progettazione avanzata non è però possibile, con i soli cicloni, evitare che una frazione di prodotto venga aspirata dal ventilatore attraverso l'aspirazione.

Questa percentuale va recuperata per:

- Non diminuire la resa di impianto
- Garantire un livello di emissione di polveri nell'atmosfera nel rispetto delle normative vigenti

Tale recupero avviene grazie ai filtri, solitamente del tipo "a maniche".

L'aumento di efficienza dei cicloni, oltre ad avere un riscontro positivo sulla produttività dell'impianto (si riduce la quantità di prodotto che rimane in sospensione nella corrente d'aria), si ripercuote positivamente anche sul funzionamento del filtro a maniche: si riduce il contenuto di polveri sul condotto di aspirazione, permettendo al filtro di lavorare in condizioni meno "proibitive", garantendo una maggiore durata delle maniche e mantenendo il filtro più pulito e più a lungo. Si può dire quindi, che un aumento di efficienza dei cicloni si ripercuote favorevolmente anche sul funzionamento del filtro a maniche aumentandone, in maniera indiretta, l'efficienza.

Questi risultati possono essere migliorati grazie ad un'ulteriore fase di progettazione avanzata, tuttora in corso, attuata sui filtri a maniche mediante la simulazione fluidodinamica ed un'opportuna campagna sperimentale. Questa fase ha l'obiettivo di incrementare notevolmente le performance intrinseche del filtro stesso con gli obiettivi di:

- Aumentare ulteriormente la durata delle maniche;
- Ridurre le dimensioni del filtro a parità di superficie filtrante;
- Contenere le perdite di carico e, conseguentemente, i consumi energetici dell'intero impianto.

Per il raggiungimento di tali obiettivi la ricerca approfondirà tre differenti aspetti:

1. Ottimizzazione del materiale filtrante
2. Indagine di massimizzazione della superficie filtrante
3. Ottimizzazione dei parametri geometrici della macchina.

La ricerca, come per i cicloni, procede attraverso una stretta sinergia tra attività sperimentali ed attività simulative. Questo è possibile grazie alla stretta collaborazione con lo spin-off dell'Università degli studi di Parma, FMB Eng.In.E. che per OCRIM è una piattaforma di ricerca integrata in grado di combinare approfondite competenze teoriche nel campo della simulazione, modellazione e virtualizzazione dei processi industriali, con i vantaggi connessi al mondo accademico, qual è, ad esempio, la disponibilità di personale di alto livello e laboratori ed attrezzature all'avanguardia.

Un importante investimento è stato fatto per installare presso il Dipartimento di Ingegneria Industriale dell'Università degli Studi di Parma un impianto pilota in grado di sperimentare e testare i diversi componenti di un impianto di aspirazione. L'impianto è costituito da una serie di tubazioni, un filtro a maniche ed un ventilatore, e offre la possibilità di collegare ad esso tutti i componenti che si ha intenzione di testare (sezioni di trasporto pneumatico, cicloni, macchine aspirate, etc.). Tale impianto è di fondamentale importanza per raccogliere tutti i dati necessari ad interpretare e a validare i risultati delle simulazioni fluidodinamiche. La validazione è un passo fondamentale dell'iter di sviluppo in quanto consente di certificare l'affidabilità dello strumento simulativo che può successivamente essere utilizzato per testare differenti configurazioni progettuali senza la necessità di predisporre tutte le volte una prova sperimentale. L'utilizzo abbinato di simulazione fluidodinamica e sperimentazione consente di ottenere risultati robusti ed affidabili contenendo notevolmente i costi di sperimentazione, di progettazione e di prototipazione.



This percentage needs to be recovered:

- Not to decrease the yield of the plant
- To grant that dust emission levels into the atmosphere comply with the regulations in force. This recovery is usually by bag-type filters.

The increase in efficiency of the cyclones positively affect not only plant productivity (for the product quantity in suspension in air stream is reduced), but also the operating conditions of the bag-type filters; it reduces the dust content in the suction pipe, thus enabling the filter to work in less difficult conditions and guaranteeing longer life of the bags and keeping the filter cleaner for longer. We can state that an increase in cyclones efficiency positively influence the operating conditions of the bag-type filter, indirectly improving efficiency.

These results may be further improved thanks to further advanced design, still underway, carried out in bag-type filters by means of fluid dynamic simulation and proper experimentation tests. This stage aims at remarkably increasing the intrinsic performances of the filter in order to:

- Further increase the bag life,
- Reduce the size of the filter at the same filtration surface,
- Curb pressure losses and, consequently, energy consumption of the plant.

To achieve such goals, this research will focus on three different aspects, as follows:

1. To optimize filtration material,
2. Investigation on the maximization of the filtration surface,
3. To optimize the machine geometrical parameters.

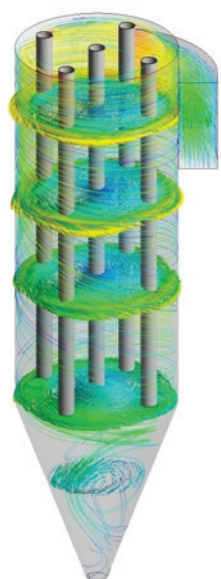
This research, as it was for the cyclones, proceeds through a close synergy between experimental activity and simulation tests. All that is possible thanks to a close cooperation with the spin-off of the University of Parma, FMB Eng.In.E., which is to OCRIM an integrated research platform able to combine in-depth theoretical knowledge of simulation, modelling and visualization of industrial processes, with the advantages of the academic world, such as for instance, the availability of highly skilled people, laboratories and equipment at the cutting edge of technology. Significant investment has been made to install a pilot plant to experiment and test the different components of a suction plant, at the Department of Industrial Engineering of the University of Parma. The plant consists of a set of pipes, a bag-type filter and a fan, and it offers the possibility of connecting all the components to be tested (pneumatic transport sections, cyclones, aspirated machines, etc.). This plant is of fundamental important to collect all the necessary information to interpret and validate the results of the fluid dynamic simulations. The validation is a step of crucial importance in the development process because it enables us to certify the reliability of the simulation equipment that can be later used to test different design configuration without carrying out an experimental test again. The combined used of fluid dynamic simulation and experimentation enables to achieve sound and reliable results while keeping experimentation, design and prototyping costs low.

Optimization of the filtration material

To put it very simple, the goal of filtration material is to hold dust and let air flow, opposing the least resistance possible to its flow. The research is therefore addressed to materials with the same cut-of-size (minimal dimension of retained particles), but with increased air permeability than those ones commonly used. Laboratory test and, concurrently, simulations have enabled to identify materials that can ensure the same filtration capacity, but with considerable lower energy consumption and filtration surface required. These advantages will turn into improved energy efficiency of the plant, and reduction of the number of bags, and, as a consequence, the filter size.

Investigation on the maximization of the filtration surface

In addition to analyzing filtration material, the geometry of the filtration element is also researched in order to optimize its surface and reduce the number of bags necessary.



Banco prova OCRIM presso l'Università di Parma per lo studio fluidodinamico dei filtri OCRIM test bench at the University of Parma for the filter fluid dynamics research



Ottimizzazione del materiale filtrante

Semplificando al massimo il concetto, lo scopo del materiale filtrante è quello di trattenere la polvere e lasciare passare l'aria, contrapponendo la minor resistenza possibile al passaggio della stessa. La ricerca si sta quindi indirizzando verso materiali che possano avere la stessa dimensione di cut-off (minima dimensione di particelle trattenute) ma con una maggiore permeabilità all'aria rispetto a quelli attualmente utilizzati. Test di laboratorio e, in parallelo, simulazioni hanno consentito di identificare materiali in grado di garantire la stessa capacità filtrante ma con riduzioni consistenti dei consumi energetici e della superficie filtrante necessaria. Questi vantaggi si potranno tradurre in un miglioramento dell'efficienza energetica dell'impianto ed una riduzione del numero di maniche e, di conseguenza, delle dimensioni del filtro.

Indagine di massimizzazione della superficie filtrante

Oltre a lavorare sul materiale filtrante, si sta indagando la geometria dell'elemento filtrante al fine di ottimizzarne la superficie utile cercando di ridurre il numero di maniche necessarie.

Ridefinizione ed ottimizzazione dei parametri geometrici della macchina

Tramite simulazione e misure si valutano alcuni accorgimenti che possano limitare gli effetti abrasivo e di urto delle particelle sugli elementi filtranti: ridefinendo in modo mirato le geometrie si cerca di ridistribuire i flussi d'aria per evitare elementi particolarmente sollecitati. La geometria ottimale è quella che massimizza i due effetti separativi all'interno della macchina: quello ciclonico, al fine di rimuovere la frazione di polveri più grosse, e quello filtrante in grado di trattenere anche le polveri più fini che "sfuggono" all'effetto ciclonico.

Simulazione fluidodinamica preliminare su sezioni interne al filtro

L'effetto ciclonico all'interno del corpo filtro ha una funzione protettiva nei confronti delle maniche, principalmente per due motivi:

- Rimuove quella frazione di polveri più pesanti a più elevato effetto abrasivo
- Dà sfogo alla miscela aria/polvere dissipando gran parte della sua energia prima del suo "impatto" con le maniche, garantendo così una maggiore durata degli elementi filtranti.

Grazie alla simulazione fluidodinamica è possibile "valutare virtualmente" differenti configurazioni di filtro, in termini sia di numero sia di disposizione delle maniche al fine di individuare la configurazione che permetta di minimizzare la velocità di impatto della miscela aria/polvere contro gli elementi filtranti.

La simulazione fluidodinamica infatti, a differenza di un approccio sperimentale classico, permette di avere una fotografia completa di quello che avviene all'interno del filtro: questo significa conoscere, istante per istante, la distribuzione dei flussi all'interno del filtro, e di conseguenza i valori di pressione e di velocità dell'aria in tutti i punti del dominio fluido (contrariamente a quanto avviene per le prove sperimentali, che invece forniscono dati solo in quei punti in cui sono posizionati gli organi di misura).

Questo aspetto consente quindi di ottenere una valutazione globale delle prestazioni di ogni singola configurazione, consente di testare più configurazioni rispetto ad un approccio tradizionale e permette quindi di individuare con più precisione e più rapidamente la configurazione ottimale dell'impianto.

Per concludere un esempio concreto: grazie allo studio approfondito dei flussi d'aria ottenibile grazie alla simulazione fluidodinamica, ad esempio, è stato possibile definire un'altezza ottimale del fondo piatto, nel caso di filtro con scopatore, in modo che lo stesso impatti nel minor modo possibile sull'effetto ciclonico del filtro stesso garantendo, anche in questo caso, una maggiore durata degli elementi filtranti.

Optimization of the geometrical parameters of the machine

With the goal of limiting the abrasion effect and particles impact on the filtering elements, simulation and tests are carried out; by re-defining the geometry, it is possible to distribute the air flows to avoid excessively stressed elements. The optimal geometry maximizes the two separation effects inside the machine: the cyclonic effect that removes the fraction of larger dust, and the filtering effect that retains the finest dust that "escape" from the cyclonic effect.

Preliminary fluid dynamic simulation on the filter inside section

The cyclonic effect inside the filter body perform a protection function against the bags, basically for two reasons:

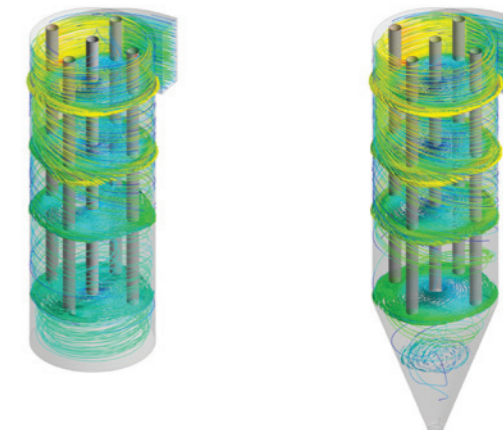
- To remove that fraction of larger dust of higher abrasive effect
- It enables air/dust mix to dissipate most of its energy before its "impact" on the bags, thus guaranteeing higher life of the filtration elements.

Thanks to fluid dynamics simulation, it is possible to "virtually evaluate" different filter configurations in term of both the number and arrangement of the bags in order to identify the configuration that enables to minimize the impact speed of the air-dust mix against the filtering elements.

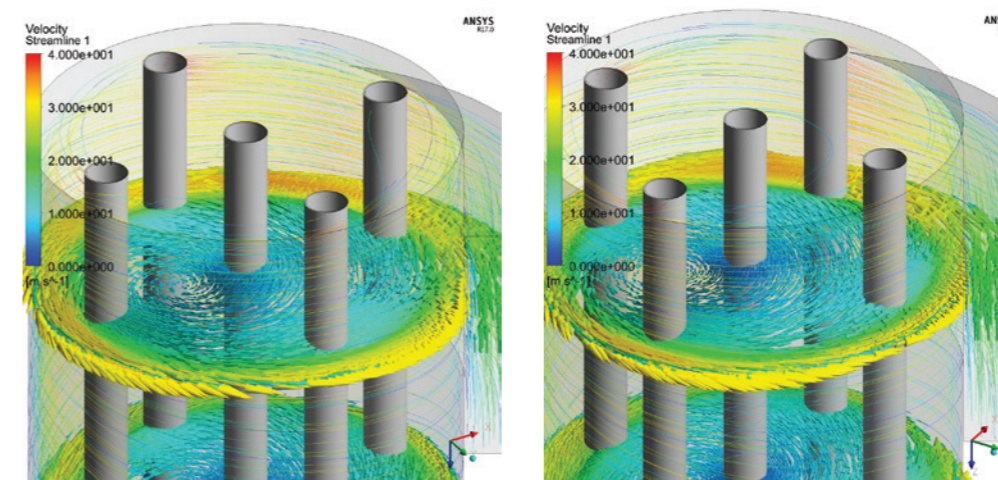
In fact, unlike the classic experimental approach, the fluid dynamic simulation enables to get a complete picture of what happens inside the filter; this means knowing, moment by moment, the distribution of the flows inside the filter, and therefore pressure and air speed values at any point of the fluid domain (diversely from what happens in experimental tests that provide the data of the points where reading equipment is placed).

This aspect enabled to achieve a global evaluation of the performance of every single configuration, it enables to test more configurations than a traditional approach, and enabled to identify the best configuration for the system more precisely and quickly.

To conclude, a concrete example: thanks to an in-depth study on air flow achievable by means of fluid dynamic simulation, for instance, it was possible to define the optimal height of the flat bottom, in the case of a filter with sweeper, in order to maximize its impact on the cyclonic effect of the same filter guaranteeing a longer life of the filtering elements.



Definizione dell'altezza del fondo piatto mediante CFD Identification of the height from the flat bottom by CFD



Simulazione fluidodinamica preliminare su sezioni interne al filtro Preliminary fluid dynamic simulation on the filter inside section