

## PROGETTAZIONE DI DISPOSITIVI PER LA FILTRAZIONE DELL'ARIA PER CUCINE DI TIPO INDUSTRIALE: OTTIMIZZAZIONE E VERIFICA SPERIMENTALE

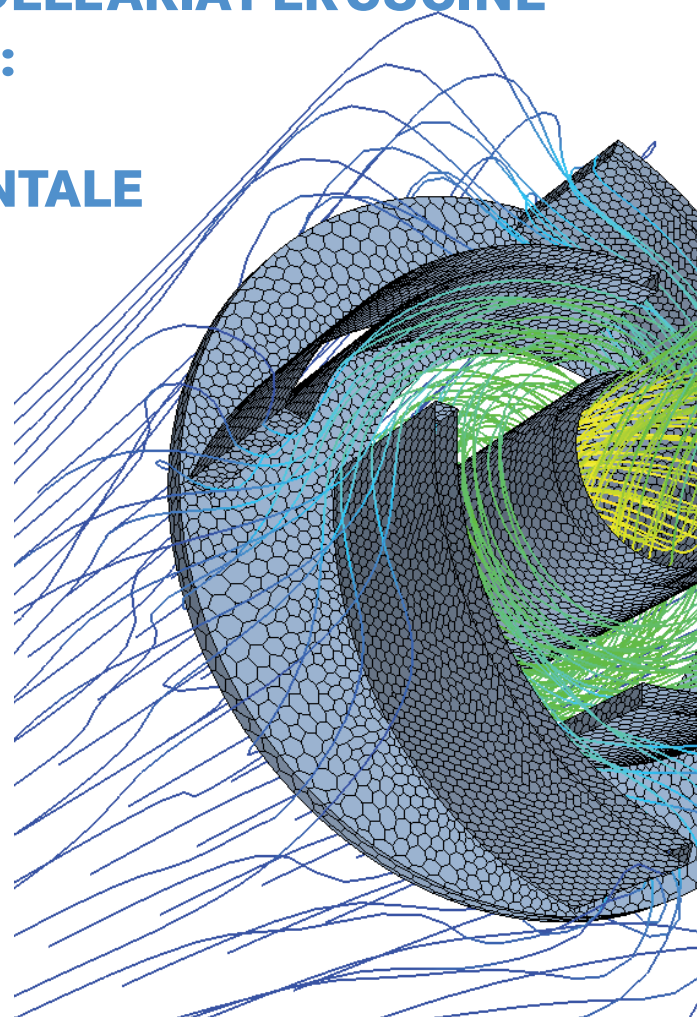
Marco Carriglio

Università degli Studi di Trieste

*L'asportazione del particolato presente nei fumi è oggi fondamentale in numerosi processi e impianti industriali. In particolari circostanze, per esempio nelle stazioni di cottura delle cucine industriali, una filtrazione insufficiente del particolato di grasso e vapori può essere pericolosa, dal momento che si tratta di sostanze infiammabili che possono entrare in contatto con parti del sistema di ventilazione. Anche per questo la cappa ad aspirazione forzata è diventata parte integrante delle cucine sia private che industriali e nel corso degli anni questo elettrodomestico si è evoluto sia dal punto di vista tecnologico che sotto il profilo estetico, migliorando in prestazioni e design.*

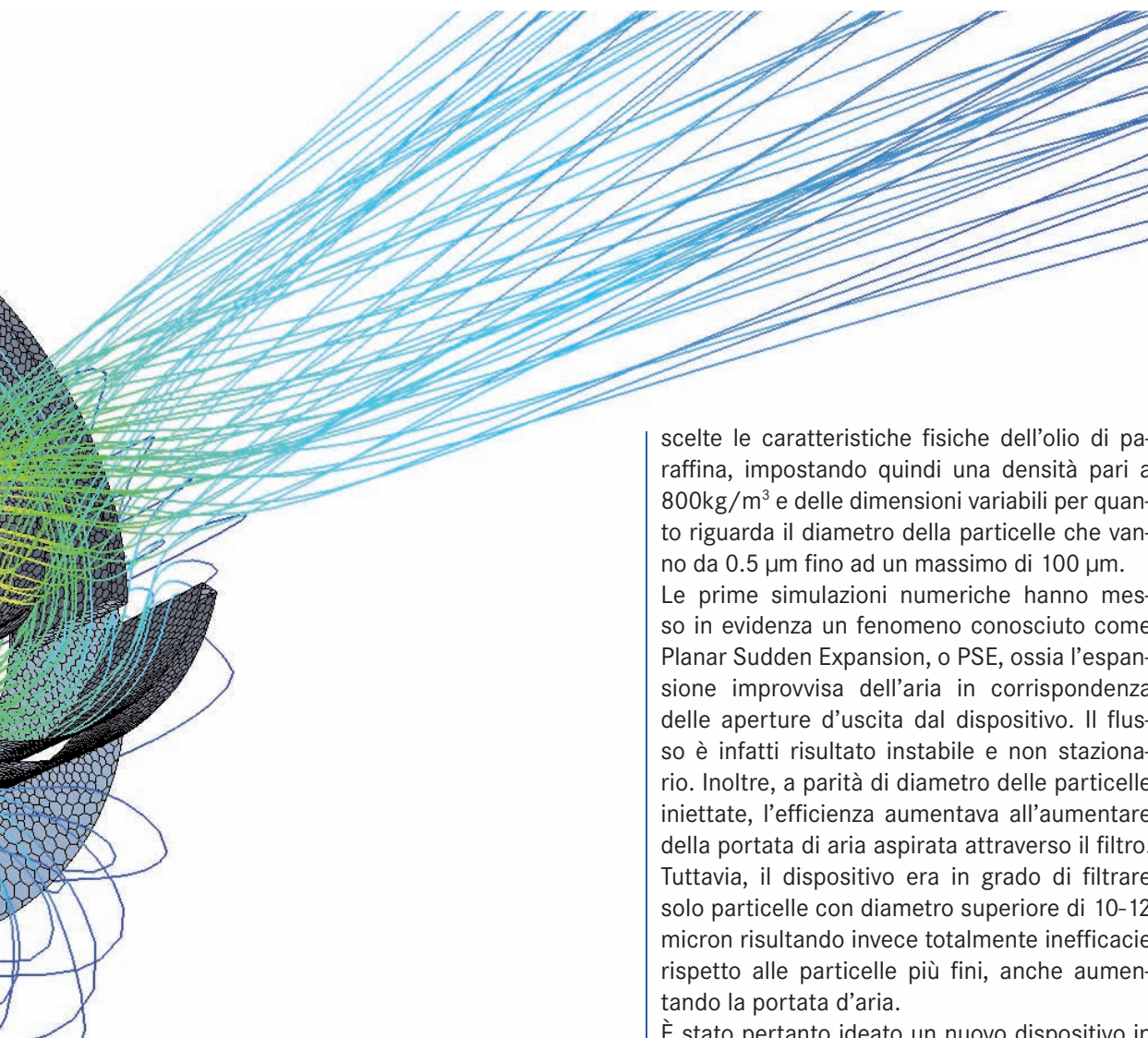
La produzione di filtri di separazione per dispositivi di ventilazione è ormai consolidata, al punto che risulta standardizzato l'impiego di acciaio inossidabile per la loro produzione. Questi filtri sono progettati con l'obiettivo di ridurre la formazione di depositi e incrostazioni nei condotti e nei ventilatori, diminuendo in questo modo la necessità di pulizia del sistema di ventilazione e migliorando la prevenzione di incendi e la salubrità dei luoghi in cui gli impianti di ventilazione sono installati.

I dispositivi di filtraggio sono collegati al sistema di ventilazione e installati, generalmente, in obliquo al di sopra di una zona di cottura, per catturare e rimuovere i vapori e le particelle generati dalla preparazione dei cibi. Le attuali tecnologie offrono filtri comprendenti reti metalliche a nido d'ape, oppure filtri che presentano al loro interno dei labirinti in cui l'aria viene incanalata



seguendo percorsi a due direzioni, imponendo così ai fumi spostamenti bidimensionali che inducono il particolare a impattare con le pareti dei filtri e a rimanervi imprigionato. Questo tipo di filtrazione meccanica, tuttavia, risulta poco efficiente per particelle di dimensioni al di sotto dei 10 micron di diametro. Un altro problema è legato al fatto che per incrementare l'efficienza dei filtri è necessario definire cammini di percorrenza dei fumi lunghi e il più possibile contorti, cosa non particolarmente facile con lamierato in acciaio inossidabile che generalmente viene lavorato mediante presso-piegatura.

Grazie all'impiego di avanzate tecnologie di ottimizzazione, il presente lavoro ha prodotto due diversi modelli di filtro ottimizzati. In primo luogo, partendo da una tipologia di filtro meccanico ampiamente in uso sul mercato nazionale e internazionale, è stata impostata la corretta



modellazione numerica del filtro e della fisica coinvolta sulla base della quale l'ottimizzazione ha consentito un miglioramento della geometria esistente. In seconda istanza, per ovviare ai limiti della geometria considerata, è stato ideato e ottimizzato un dispositivo completamente nuovo, con un considerevole aumento di efficienza.

#### GEOMETRIA, SIMULAZIONE E OTTIMIZZAZIONE

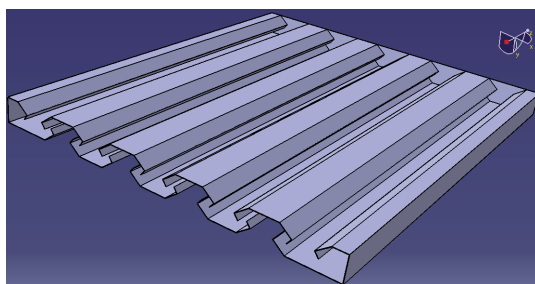
L'aria è stata considerata a densità costante e pari al valore di  $1.18415 \text{ kg/m}^3$ , che avrebbe alla temperatura d'ambiente di  $23^\circ\text{C}$  e a pressione atmosferica. Le simulazioni sono state impostate come non stazionarie nel campo temporale, integrando i risultati in un intervallo temporale massimo di 10 secondi (con step da 1/10 di secondo.) Per la definizione del grasso si sono

scelte le caratteristiche fisiche dell'olio di paraffina, impostando quindi una densità pari a  $800 \text{ kg/m}^3$  e delle dimensioni variabili per quanto riguarda il diametro della particelle che vanno da  $0.5 \text{ }\mu\text{m}$  fino ad un massimo di  $100 \text{ }\mu\text{m}$ .

Le prime simulazioni numeriche hanno messo in evidenza un fenomeno conosciuto come Planar Sudden Expansion, o PSE, ossia l'espansione improvvisa dell'aria in corrispondenza delle aperture d'uscita dal dispositivo. Il flusso è infatti risultato instabile e non stazionario. Inoltre, a parità di diametro delle particelle iniettate, l'efficienza aumentava all'aumentare della portata di aria aspirata attraverso il filtro. Tuttavia, il dispositivo era in grado di filtrare solo particelle con diametro superiore di 10-12 micron risultando invece totalmente inefficace rispetto alle particelle più fini, anche aumentando la portata d'aria.

È stato pertanto ideato un nuovo dispositivo in grado di risolvere gli inconvenienti riscontrati e quindi caratterizzato da una geometria che consenta un percorso tridimensionale del fluido, con prestazioni di separazione maggiorate. Il nuovo filtro è composto da una piastra sulla quale è prevista una matrice di moduli di filtrazione uguali; questi ultimi comprendono un elemento palettato avente forma tronco-cilindrica e definente un percorso centripeto la cui uscita è in comunicazione con un condotto anulare a sviluppo assiale definito da un primo condotto interno e concentrico ad un secondo condotto. Il flusso d'aria "sporca" di grasso entra nella zona superiore del filtro di forma cilindrica, e anche grazie a palette opportunamente disposte e angolate, l'aria al suo interno incomincia a girare vorticosamente dirigendosi verso il fondo conico dello stesso. A causa della forza centrifuga le particelle di grasso vengono proiettate sulle pareti dove scivolano verso la parte bassa. L'aria prosegue il suo percorso lungo il canale

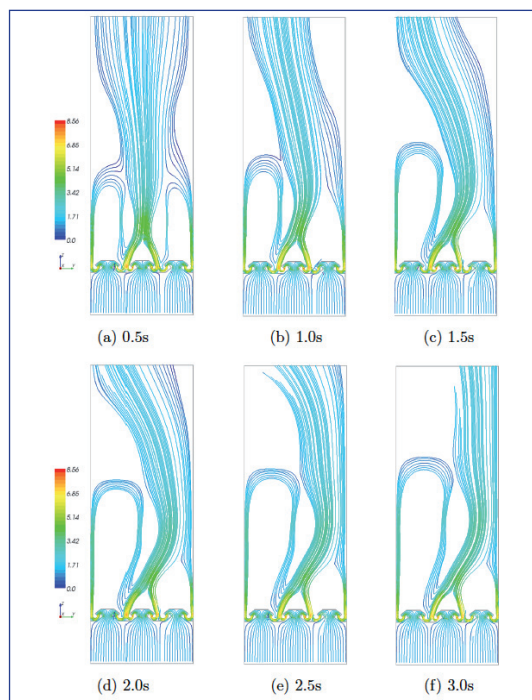




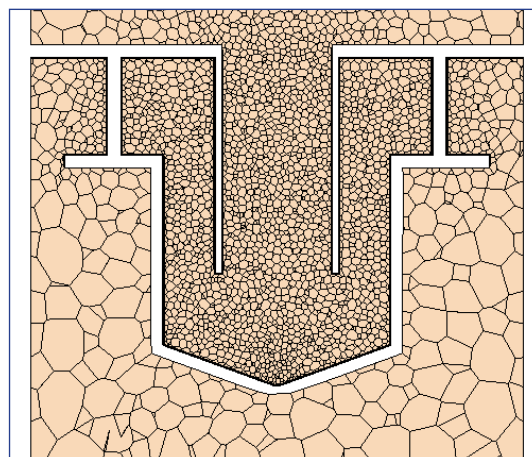
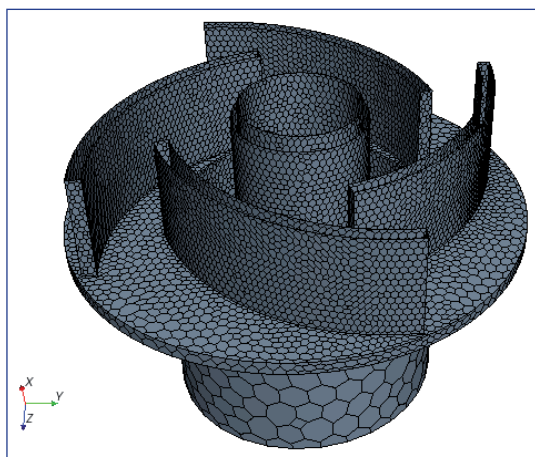
CAD del filtro

centrale uscendo assialmente dalla sommità del dispositivo.

La geometria del nuovo filtro è stata parametrizzata con il software CAD CATIA, mentre le simulazioni numeriche CFD sono state effettuate tramite il software STAR-CCM+. Tutte le mesh sono composte da poliedri per l'intero dominio di calcolo e da prismi in prossimità delle superfici solide in modo tale da cogliere lo strato limite che si genera a parete. La geometrie del filtro in produzione e del nuovo filtro sono state ottimizzate utilizzando il software modeFRONTIER, sviluppato da ESTECO, che ha consentito di integrare in un unico workflow la



Andamenti dei flussi di velocità all'interno del dominio di calcolo al variare del tempo

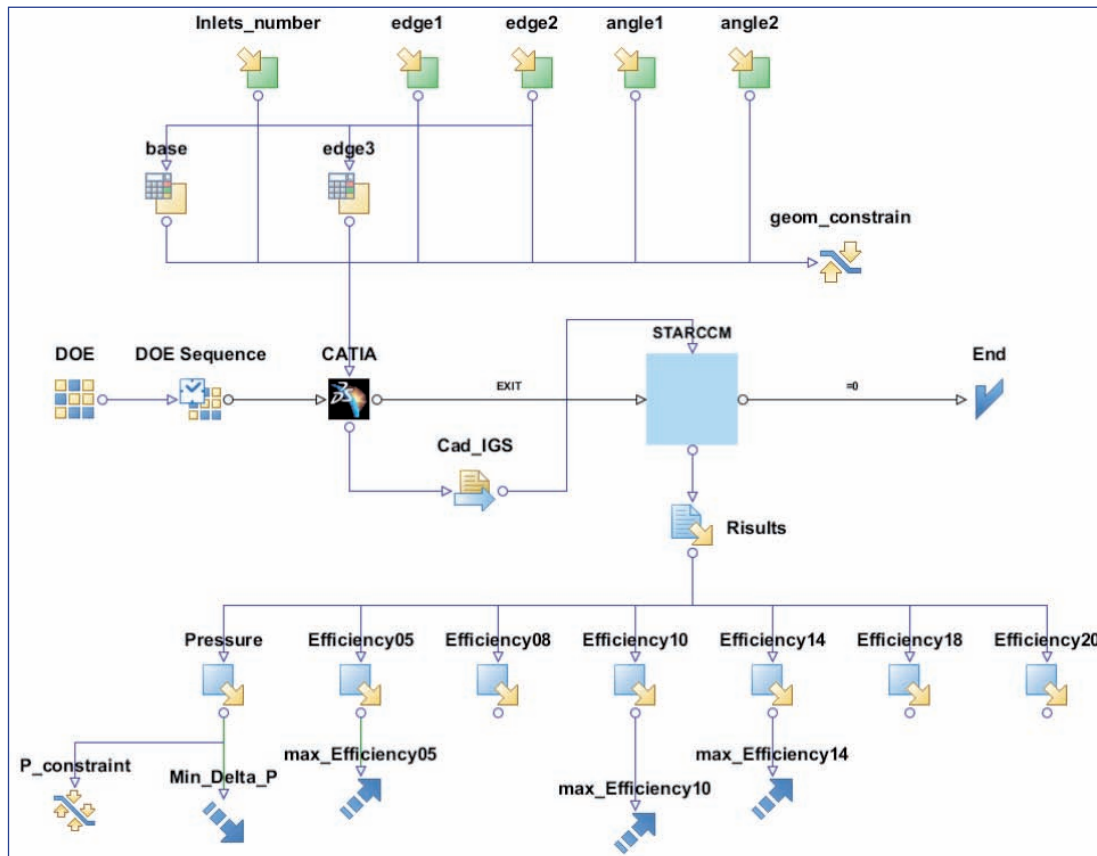


Mesh e sezione della mesh del nuovo filtro

geometria e le simulazioni fluidodinamiche in funzione degli obiettivi prefissati per questo lavoro, ossia la minimizzazione delle perdite di carico e la massimizzazione dell'efficienza di separazione.

Dopo aver generato e valutato 40 configurazioni DOE, si è deciso di utilizzare la tecnica delle superfici di risposta o RSM per ridurre i tempi di calcolo visto l'elevato onere computazionale richiesto, principalmente per la fase di creazione della mesh e di risoluzione da parte del solver CFD (la computazione di ogni design richiedeva quasi 2 ore). Utilizzando gli strumenti

numerici avanzati disponibili in modeFRONTIER, sono state create diverse RSM (una per ciascun output definito nel workflow) attraverso l'algoritmo interpolante Kriging. Le RSM, essendo dei modelli matematici approssimanti, rendono possibile la valutazione di un numero elevato di configurazioni in tempi pressoché trascurabili in confronto alla loro risoluzione calcolata attraverso il solver CFD. Di seguito si è avviata un'ottimizzazione con l'algoritmo genetico NSGA-II basata interamente sulle RSM, impostando un valore massimo pari a 100 generazioni. Tale ottimizzazione viene definita virtuale in quan-

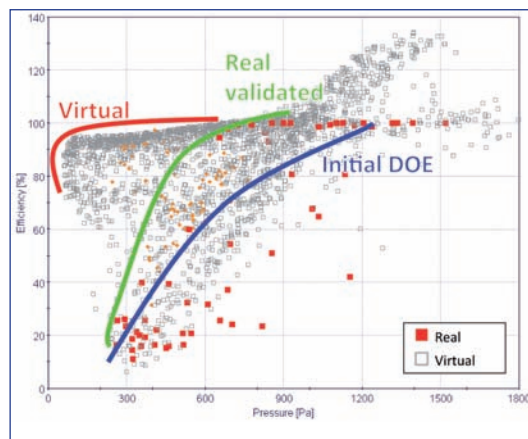


Il workflow definito in modeFRONTIER

to il calcolo non viene effettuato in base alla definizione del workflow (quindi attraverso un software CFD), ma sui modelli matematici. Infatti, questa ottimizzazione è durata solamente 1,2 secondi per la valutazione di 4000 configurazioni geometriche. Da un'analisi del fronte di Pareto virtuale, che rappresenta l'insieme delle soluzioni non dominate, sono stati selezionati 20 design e calcolati nuovamente senza l'uso delle RSM, ottenendo così il loro valore reale tramite il solver CFD. Questo procedimento è stato ripetuto più volte al fine di ottenere superfici di risposta più accurate e il maggior numero di design reali possibile con le risorse computazionali a disposizione.

### I RISULTATI

Al termine dell'ottimizzazione è stato effettuato un confronto dell'efficienza del filtro originale in produzione, del filtro originale ottimizzato e del nuovo dispositivo. Il nuovo dispositivo presenta ottimi valori di efficienza pari al 95% (+206% rispetto all'originale) per il range di dimensione di particelle che non vengono filtrate dal dispositivo attualmente in produzione. Tuttavia, questo tipo di filtro presenta perdite di



Scatter chart dei design reali e virtuali a confronto e dei relativi fronti di Pareto ottenuti

carico che richiedono l'adozione di un sistema per aumentare la pressione d'aspirazione. Nel caso di un'azienda già dotata del filtro originale nelle proprie cucine, l'adozione dello stesso modello nella versione ottimizzata non comporterebbe la necessità del cambio del sistema di aspirazione in quanto le perdite di carico sono solo lievemente superiori (+9%), con l'aumento di efficienza pari al 165%. Tuttavia, il nuovo filtro ha presentato notevoli vantaggi e visto il potenziale innovativo dello stesso, ne è stato registrato il brevetto.