

EFFICIENZA DEGLI IMPIANTI DI VENTILAZIONE NELLA RIMOZIONE DI AGENTI CONTAMINANTI

P. Tavazzi ^{a,1}, F. Piscaglia ^a, M. Quadrio ^a, A. Frezzotti ^a

^aDept. of Aerospace Science and Technology (DAER), Politecnico di Milano, Italy

¹ Corresponding author: pietro.tavazzi@mail.polimi.it

1 Introduzione

L'emergenza pandemica ha messo in primo piano il ruolo che gli impianti di ventilazione e climatizzazione possono avere nel controllo del rischio di diffusione del virus negli edifici esistenti. Presso il Dipartimento di Scienze e Tecnologie Aerospaziali del Politecnico di Milano è in corso uno studio per la valutazione dell'efficienza dei sistemi di ventilazione forzata in ambienti chiusi associata alla rimozione di agenti infettivi. La simulazione fluidodinamica (CFD) con il codice OpenFOAM è stata applicata allo studio della dispersione di patogeni associati alle attività respiratorie di un ipotetico individuo contagioso al SARS-Cov-2 in ambienti confinati. Il test-case considerato per gli studi è un'aula del Politecnico di Milano.

Obiettivo del lavoro è l'implementazione di una metodologia che aiuti nell'analisi dell'efficienza del sistema di ventilazione delle aule nella rimozione di patogeni emessi dalla semplice respirazione di persone (studenti, docente), dalla conversazione (docente) e da eventuali colpi di tosse o starnuti. Eventi che, in modo differente, possono portare alla diffusione del contagio. Per due diverse aule del Politecnico di Milano, entrambe dotate di un sistema di ventilazione meccanica, è stato simulato lo svolgimento di una lezione frontale da parte di un docente ad una platea di 24 e 52 alunni, capienze massime supportate dalle aule sulla base delle norme vigenti. Nelle simulazioni si suppone che ciascun individuo emetta una quantità di espirato (composto di aria e particelle) proporzionale alla specifica

attività respiratoria. Una vasta letteratura è disponibile per la modellazione dei meccanismi bio-fluidodinamici coinvolti nella trasmissione di virus in relazione alle modalità in esame (Seminara et al., 2020). In prima analisi si focalizza l'attenzione sull'emissione dei patogeni dovuta alla conversazione del docente con riferimento agli studi di Johnson et al. (2011), Abkarian et al. (2020) e Asadi et al. (2019), considerando come contagiante l'intero espirato.

2 Impostazione dell'analisi numerica

Le analisi sono condotte considerando un flusso incomprimibile e stazionario in regime turbolento. Le scale turbolente vengono modellate mediante approccio RANS (Reynolds Average Navier Stokes) a due equazioni. È stata simulata la dispersione dell'espirato nell'aula per differenti gradi di occupazione dei posti a sedere da parte degli individui presenti. Con riferimento ad una tipica giornata invernale, nella simulazione è stato calcolato lo scambio termico per conduzione, convezione ed irraggiamento attraverso le pareti opache e quelle vetrate, nel rispetto delle normative in termini di temperatura della stanza e di ricambi d'aria, nonché l'effetto sul riscaldamento dell'aria dato dalla presenza delle persone. La dispersione dell'espirato viene modellata tramite il trasporto della sua frazione massica e, per quanto riguarda il trasporto delle particelle, mediante Lagrangian Particle Tracking (LPT), queste ultime con caratteristiche chimico-fisiche in riferimento ad un modello semplificato (Vejerano and Marr, 2018).

Come evidenziato in Rosti et al. (2020), per fornire una base scientifica alle regole di distanziamento sociale è necessaria un'attenta caratterizzazione della distribuzione iniziale delle particelle per le specifiche attività respiratorie che si considerano. In questo senso si vuole mettere in relazione le informazioni derivanti da simulazioni di dettaglio sull'espirato con quelle dell'intera stanza, così da trarre conclusioni sull'evoluzione del contagiante in ambienti chiusi grazie all'accoppiamento dei moti alle larghe scale con quelli dell'interno delle vie respiratorie.

3 Analisi dei risultati

Dai risultati delle simulazioni è possibile identificare le aree di ricircolo della stanza, dove il tempo di permanenza dell'aria risulta elevato e quindi la ventilazione meno efficace. Essendo i risultati dipendenti dalla disposizione degli occupanti, il metodo descritto permette di determinare con buona approssimazione quale sia la più sicura. I parametri impiegati per caratterizzare la capacità del sistema di ventilazione di distribuire aria nella zona di respiro e di rimuovere gli agenti contaminanti dalla stanza sono rispettivamente:

Air Change Efficiency (ACE, ϵ_a): definito come il rapporto tra una costante τ_n , funzione del volume della stanza e della portata del sistema di ventilazione ($\tau_n = V/Q$), e il tempo di permanenza dell'aria τ ; un esempio di postprocess legato ad ϵ_a in Figura 1.

$$\epsilon_a = \frac{\tau_n}{\tau}$$

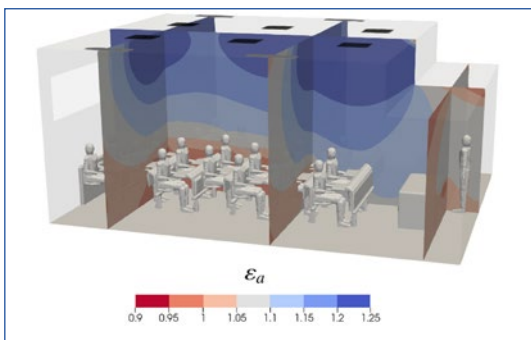


Figura 1: $\epsilon_a < 1.05$ ad indicare possibili aree di ricircolo nella stanza.

Contaminant Removal Effectiveness (CRE, ϵ_c): definito come il rapporto tra la concentrazione di contaminante in corrispondenza delle griglie di aspirazione e la concentrazione all'interno della stanza; un esempio di postprocess legato ad ϵ_c in Figura 2.

$$\epsilon_c = \frac{C_e}{C}$$

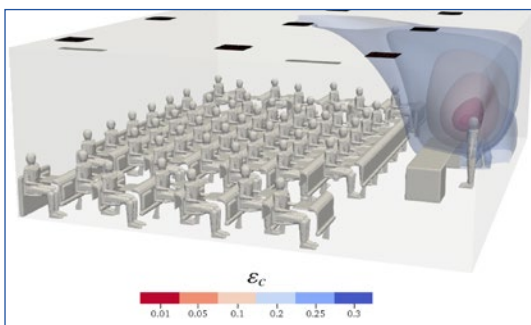


Figura 2: Isosuperfici che rappresentano crescente concentrazione del contaminante.

ϵ_a e ϵ_c vengono calcolati sia in ogni punto del dominio sia considerando il valore medio di τ e C nella zona di respiro; valori inferiori all'unità indicano rispettivamente la presenza di possibili aree di ricircolo ed alta concentrazione del contaminante relativa alla quantità estratta dalle griglie di aspirazione. Oltre questi due parametri, tracciare l'evoluzione delle particelle emesse consente di rilevare la loro effettiva distribuzione nella stanza e quindi conoscere, approssimativamente, le zone più a rischio contagio per una elevata carica virale.

4 Informazioni sul progetto

Questo studio, iniziato nel Settembre 2020, intende rendere disponibili i risultati con una dettagliata descrizione della procedura utilizzata. Queste analisi potranno successivamente essere ampliate considerando altre cause di trasmissibilità di malattie e altre configurazioni di ambienti chiusi, per valutare la disposizione più opportuna degli individui nel dominio considerato rispetto alla regolazione della portata degli impianti di ventilazione.

References

M. Abkarian, S. Mendez, N. Xue, F. Yang, and H. A. Stone. Speech can produce jet-like transport relevant to asymptomatic spreading of virus. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117 (41): 2523725245, Sep 2020. ISSN 1091-6490. 10.1073/pnas.2012156117. URL <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.2012156117>.

S. Asadi, A. S. Wexler, C. D. Cappa, S. Barreda, N. M. Bouvier, and W. D. Ristenpart. Aerosol emission and superemission during human speech increase with voice loudness. *Scientific reports*, 9 (1): 1–10, 2019.

G. Johnson, L. Morawska, Z. Ristovski, M. Hargreaves, K. Mengersen, C. Chao, M. Wan, Y. Li, X. Xie, D. Katoshevski, and S. Corbett. Modality of human expired aerosol size distributions. *Journal of Aerosol Science*, 42 (12): 839 – 851, 2011. ISSN 0021-8502. <https://doi.org/10.1016/j.jaerosci.2011.07.009>. URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0021850211001200>.

M. Rosti, S. Olivieri, M. Cavaiola, A. Seminara, and A. Mazzino. Urgent data for covid-19 are needed for a scientific design of social distancing. *arXiv preprint arXiv:2009.00870*, 2020.

G. Seminara, B. Carli, G. Forni, S. Fuzzi, A. Mazzino, A. Rinaldo, and A. N. dei Lincei. Biological fluid dynamics of airborne covid-19 infection: a review. 2020. E. P. Vejerano and L. C. Marr. Physico-chemical characteristics of evaporating respiratory fluid droplets. *Journal of The Royal Society Interface*, 15 (139): 20170939, 2018.

E. P. Vejerano and L. C. Marr. Physico-chemical characteristics of evaporating respiratory fluid droplets. *Journal of The Royal Society Interface*, 15(139):20170939, 2018.