Strategie di riduzione del particolato

La rimozione locale di PM_{10} nei parcheggi coperti può essere una strategia efficace per migliorare la qualità dell'aria nei centri urbani. I risultati di un caso di studio condotto a Eindhoven

*R. Vervoort, T. van Hooff, B. Blocken, R. Gijsbers**

L'alta intensità di traffico nelle città è causa di elevate concentrazioni di polveri sottili dovute alle emissioni di gas di scarico e al consumo dei freni e degli pneumatici. L'obiettivo di questo studio è valutare se l'eliminazione del particolato nei parcheggi coperti attraverso precipitazioni elettrostatiche possa diminuire la concentrazione di PM anche nell'ambiente urbano circostante.

Gli effetti dell'esposizione al particolato

Il particolato, PM, acronimo di *Particulate Matter*, ovvero l'insieme di tutte le particelle liquide e solide sospese nell'atmosfera, è attualmente una delle forme di inquinamento dell'aria più pericolose. Secondo l'OMS, un'esposizione giornaliera e a lungo termine alle polveri sottili è fortemente correlata alla morbilità e alla mortalità [1]. Gli effetti sulla salute sono strettamente legati alla dimensione delle particelle inalate [1]: le particelle più grandi possono essere filtrate da naso e gola, mentre quelle inferiori ai 10 µm (PM_{10}) possono penetrare nei bronchi e nei polmoni. Particelle più piccole di 0,1 µm ($PM_{0,1}$) possono entrare direttamente nel sistema circolatorio [1]. Molti studi collegano l'esposizione alle polveri sottili all'insorgenza del cancro ai polmoni e di malattie respiratorie, cardiovascolari e cardiopolmonari (Blocken et al., 2016a), [2]; una panoramica esaustiva si trova in (Blocken et al., 2016a). Inoltre, sono state individuate delle relazioni con l'incidenza di Alzheimer, Parkinson, demenza, sclerosi multipla e ictus. Anziani, bambini e persone con malattie cardiache o polmonari pre-esistenti sono le categorie più vulnerabili [2, 3]. Nei bambini l'esposizione al PM influenza lo sviluppo polmonare, compromettendone il funzionamento e riducendo drasticamente il tasso di crescita dei polmoni [3]. Secondo l'Organizzazione per la Cooperazione e lo Sviluppo Economico, OCSE, l'inquinamento atmosferico diventerà la principale causa di mortalità prematura a livello mondiale entro il 2050, se non saranno prese delle misure per contrastarlo [4]. Secondo l'Agenzia Europea dell'Ambiente, il numero di decessi prematuri a livello mondiale dovuti all'esposizione al PM, come illustrato nella Figura 1, salirà da circa 1,5 milioni oggi a 3,5 milioni nel 2050 [5]. Data l'importanza che la società riconosce alla salute e alla durata della vita, l'analisi mostra che l'inquinamento atmosferico determina anche dei costi economici significativi [6].

Inquinamento atmosferico in città

L'OMS fornisce dei limiti per le concentrazioni medie annue di PM; per esempio, per il PM_{10} la media annuale è pari a 20 µg/m^3 e quella per 24 ore è pari a 50 µg/m^3 [7]. Per il $PM_{2,5}$ questi valori devono essere

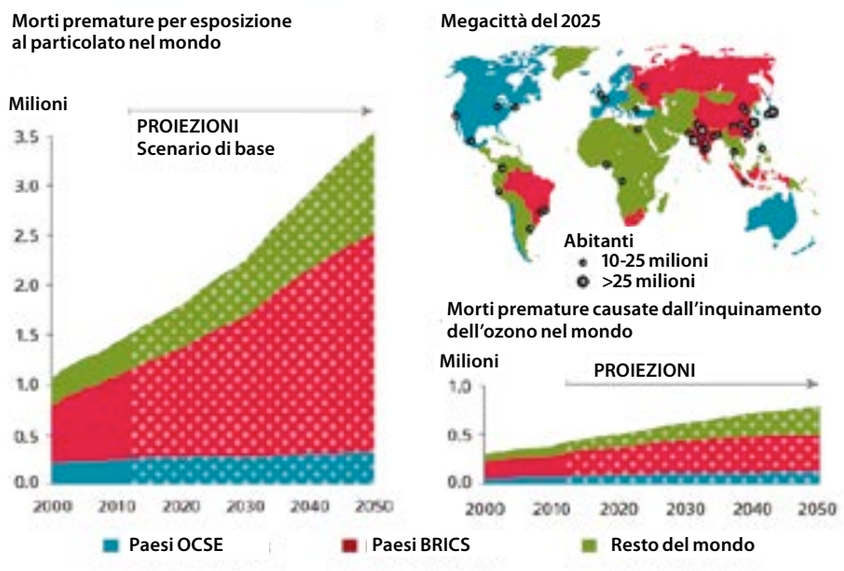

Figura 1 – Morti premature dovute al PM e all'ozono nella troposfera

ALTRI STUDI SULL'ARGOMENTO

A cura della Redazione

Negli ultimi anni l'esposizione al particolato nei parcheggi coperti e i relativi rischi per la salute sono stati oggetto di diversi studi, con differenti approcci e modelli di analisi. Vukovic et al. (2013), per esempio, hanno misurato la concentrazione di particolato PM_{10} in quattro parcheggi coperti di Belgrado, riscontrando valori eccedenti rispetto ai limiti stabiliti dall'Unione Europea, e una presenza allarmante di metalli pesanti (Cr, Cd, Ni e Pb). I ricercatori in questo caso hanno calcolato anche il rischio di cancerogenicità connesso all'esposizione ai prodotti delle emissioni automobilistiche, riscontrando la responsabilità soprattutto dei metalli pesanti. Zhao e Zhao (2016) hanno elaborato un modello tridimensionale per studiare il movimento delle particelle delle emissioni all'interno di un parcheggio coperto di Harbin, Cina, dimostrando un livello di esposizione al particolato di almeno un ordine di grandezza superiore rispetto a quello misurabile all'esterno. Zhao et al. (2017) si sono concentrati sull'andamento stagionale delle concentrazioni di PM_{10}, $PM_{2,5}$ e $PM_{1,0}$ in tre parcheggi sotterranei ventilati naturalmente in Cina, rispettivamente a Changchun, Shenyang e Beijing, riscontrando livelli massimi durante l'inverno e minimi durante l'estate. I ricercatori concludono che la sola ventilazione naturale non basta a garantire un livello di esposizione sicuro al particolato. Altre ricerche, come Demir (2015) e Gladyszewska-Fiedoruk e Nieciecki (2016) hanno preso invece in considerazione non il particolato ma le emissioni gassose, rilevando dati più incoraggianti: Demir (2015), misurando le emissioni in alcuni parcheggi coperti di Istanbul, conclude che un'esposizione a breve termine ai gas di scarico automobilistici non pone seri rischi per la salute: solo le emissioni di CO sono risultate al di sopra dei parametri consentiti. Anche la misurazione condotta da Gladyszewska-Fiedoruk e Nieciecki (2016) nel garage di un edificio residenziale di Varsavia ha rilevato valori accettabili di CO e CO_2.

PARTICULATE MATTER REDUCTION IN EINDHOVEN

Traffic is one of the main sources of particulate matter, PM, inside urban areas. This paper provides a preliminary assessment of the potential to reduce outdoor PM concentrations by local removal inside semi-enclosed parking garages. A computational fluid dynamics, CFD, case study is conducted for the city center of Eindhoven (the Netherlands), including ESP (electrostatic precipitators) units in 16 parking garages. Although the study has some limitations, it can be concluded that local removal of PM in parking garages can be an effective strategy towards higher outdoor air quality. Further research will focus on the limitations of the current study. In addition, thermal effects can be included in future studies. In this way, the dispersion of emissions can be taken into account in a more accurate way and different meteorological situations can be analyzed. While the current research work and suggestions will certainly not solve the PM city problem completely, at least it can be a significant step in the right direction.

Keywords: **air quality, air pollution, fine dust, particulate matter, computational fluid dynamics (CFD), electrostatic precipitation, positive ionization, urban physics**

rispettivamente pari a 10 e 25 µg/m³ [7]. In tutto il mondo, più dell'80% delle persone che vivono in aree urbane è esposto a livelli di qualità dell'aria che superano i limiti dell'OMS [8]. Mentre in Asia tutte le grandi metropoli non riescono a rimanere entro il limite di 10 µg/m³ per il $PM_{2,5}$, in Europa solo poche sono in grado di rispettarlo, tra cui Helsinki, Edimburgo e Stoccolma [8]. Nel contesto globale, le concentrazioni di $PM_{2,5}$ nelle città europee sembrano relativamente basse. Per esempio, le concentrazioni medie annue di Parigi superano il limite di 1,8 volte, mentre quelle di Delhi di 12,2 volte [8]. Sebbene i limiti dell'OMS siano rigorosamente definiti, è importante tener presente che gli studi epidemiologici non sono stati in grado di definire una soglia specifica per la quale le concentrazioni di PM non hanno alcun effetto sulla salute dell'uomo [2]. Si ipotizza che ci possa essere una gamma molto ampia di predisposizione; pertanto alcuni individui potrebbero essere a rischio anche se esposti a concentrazioni molto basse [2].

Alte concentrazioni ambientali di PM sono riscontrate nelle regioni con maggiori intensità di traffico, comprese le aree urbane, a causa delle emissioni di scarico e del consumo di pneumatici e freni (Rogge et al., 1993). Altri studi hanno dimostrato che il PM si accumula nei parcheggi coperti (Kim et al., 2007; Zhang et al., 2008), nelle cui vicinanze le concentrazioni di PM dipendono in gran parte da alcuni parametri quali l'intensità del traffico, le condizioni meteorologiche e la geometria urbana. L'esposizione a elevate concentrazioni di PM non si verifica solo all'esterno, nelle strade in cui l'intensità del traffico è elevata, ma anche negli edifici a causa della ventilazione. Dal momento che le persone trascorrono circa l'85-90% del proprio tempo al chiuso (Valavanidis et al., 2008), l'esposizione al PM è certamente un problema molto serio, che mette a rischio la salute.

Purificazione dell'aria nei parcheggi coperti

Esistono varie soluzioni per limitare le concentrazioni di PM in ambiente, come filtri porosi, separatori ciclonici, sistemi di lavaggio e precipitatori elettrostatici (ESP, ElectroStatic Precipitators). ENS (Environmental Nano Solutions) Technology [9], azienda che produce ESP basati su tecnologia a ionizzazione positiva, ha utilizzato due unità ESP in un parcheggio coperto a Cuijk, nei Paesi Bassi. Questa tecnologia cattura le particelle fini e quelle ultrafini senza utilizzare le tecniche di filtraggio tradizionali. All'interno dell'ESP, le particelle vengono legate insieme, formando una polvere grossolana che non può essere inalata, poiché non è un aerodisperso. Uno dei vantaggi di questo sistema è che la maggior parte delle perdite di efficienza che si hanno usando la tecnica tradizionale a causa della caduta di pressione nella filtrazione viene eliminata. Inoltre, si è riscontrato che questa tecnologia non incrementa il normale livello di ozono, a

differenza di molte altre tecnologie basate su ESP. A Cuijk è stata riscontrata una forte riduzione delle concentrazioni di PM_{10} non solo all'interno del parcheggio coperto, ma anche nel centro commerciale ad esso collegato (Blocken, 2016b). Da qui l'idea di un'applicazione su larga scala delle unità ESP nei parcheggi coperti, che potrebbero funzionare quindi come "polmoni della città".

Il modello CFD del centro di Eindhoven

È stato condotto uno studio con un modello CFD nel centro città di Eindhoven, considerando le unità ESP in 16 parcheggi coperti. Eindhoven si trova nel sud dei Paesi Bassi ed è la quinta città più grande della Nazione, con 225.020 abitanti [10]; il suo centro è caratterizzato da edifici bassi e pochi edifici alti, sia commerciali che residenziali, con aree aperte come strade, parchi e piazze. La griglia computazionale che è stata generata è composta da 65,7 milioni di celle e copre un'area di circa 5,1 km^2, come mostrato in Figura 2.

Per determinare le sorgenti di PM_{10}, nel modello vengono presi in considerazione l'intensità del traffico, i dati sulle emissioni, l'utilizzo dei parcheggi coperti e le concentrazioni di PM_{10} già presenti. La rugosità del terreno viene tenuta in conto fissando un valore di rugosità aerodinamica corretta, un'altezza di rugosità in grani di sabbia equivalente e una costante di rugosità alle superfici della parete. Le simulazioni sono state eseguite assumendo per il vento una velocità di riferimento di 1 m/s a 10 m di altezza e la direzione sud-est, scelta, quest'ultima, dovuta al fatto che le concentrazioni ambientali a Eindhoven sono generalmente più alte in questa direzione [11]. Gli effetti termici non sono stati presi in considerazione.

Le unità ESP vengono implementate nei parcheggi coperti mediante un dispositivo di dissipazione di PM_{10}. Le unità funzionano con una portata di 9.000 m^3/h e con un'efficienza di rimozione del PM_{10} del 70% (Blocken, 2016b). Sono stati considerati tre diversi casi di riferimento: il primo senza unità ESP, il secondo con 99 unità, 1 unità per 65 zone del parcheggio, e un terzo che comprende 594 unità (6 unità per 65 zone del parcheggio), distribuite su 16 parcheggi coperti. La ventilazione del parcheggio è imposta in base ai regolamenti edilizi olandesi ed è pari a 10,8 $m^3/(m^2\ h)$.

In questo studio, l'approccio utilizzato è basato sulle equazioni di Navier-Stokes mediate alla Reynolds s (RANS) in regime stazionario e viene utilizzato in combinazione con il modello di chiusura "realizable k-ε" per la turbolenza (Shih et al., 1995). Uno studio di validazione sperimentale in galleria del vento è stato inoltre condotto mediante misurazioni della dispersione con una disposizione regolare di edifici a forma rettangolare (Garbero et al., 2010). Per ulteriori informazioni su questo studio di convalida si rimanda a (Blocken et al., 2016a).

Figura 2 – Panoramica della griglia computazionale del centro della città di Eindhoven (65,7 milioni di celle). Da (Blocken et al., 2016a)

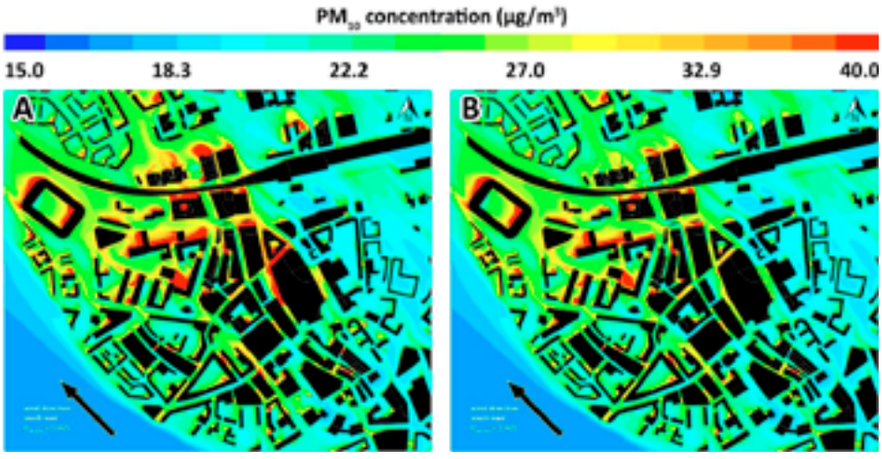

Figura 3 – Contorni delle concentrazioni di PM_{10} (µg/m³) nel piano orizzontale a 1,75 m di altezza senza unità (a) e con 594 unità installate (b) nei 16 parcheggi coperti del centro di Eindhoven

Risultati del caso di studio

La Figura 3 illustra i contorni di concentrazione di PM_{10} a un'altezza di 1,75 m, livello pedonale, per il caso di riferimento senza unità ESP in Figura 3a e per quello che include 594 unità ESP in Figura 3b. I risultati sono forniti per le zone in cui si trova la maggior parte dei parcheggi coperti e dove la densità urbana è relativamente alta. Le concentrazioni superano i 60 µg/m^3, ma in questo caso la concentrazione massima mostrata si limita a 40 µg/m^3, per semplicità di visualizzazione.

La Figura 3 mostra che concentrazioni di PM_{10} relativamente alte sono riscontrate vicino alle aperture di espulsione dei gas esausti presenti nei parcheggi (>40 µg/m^3). Inoltre, elevate concentrazioni di PM_{10} si trovano nell'area con un'alta concentrazione di parcheggi coperti. In questa zona la densità urbana è relativamente elevata rispetto al resto della città, di conseguenza, la velocità del vento è relativamente bassa. La Figura 3 mostra che le concentrazioni di PM_{10} sono significativamente ridotte vicino alle aperture di espulsione dei gas esausti presenti nei parcheggi. Questo è anche evidente dalla Figura 4 dove la concentrazione di PM_{10} viene confrontata con il caso di riferimento. La Figura 4 (a**,** c) presenta la percentuale di riduzione di PM_{10} per il caso con 99 unità ESP, mentre la Figura 4 (b, d) presenta la riduzione di PM_{10} per il caso con 594 unità ESP. Per il caso con 99 unità ESP, si riscontrano riduzioni fino al 10% vicino ai parcheggi. Tuttavia, se ci si allontana le riduzioni sono insignificanti. Per il caso con 594 unità ESP si riscontrano invece riduzioni fino al 30% (localmente anche fino al 50%). Se ci si allontana le riduzioni scendono fino al 10%.

Conclusioni

Sebbene lo studio abbia alcuni limiti, si può concludere che la

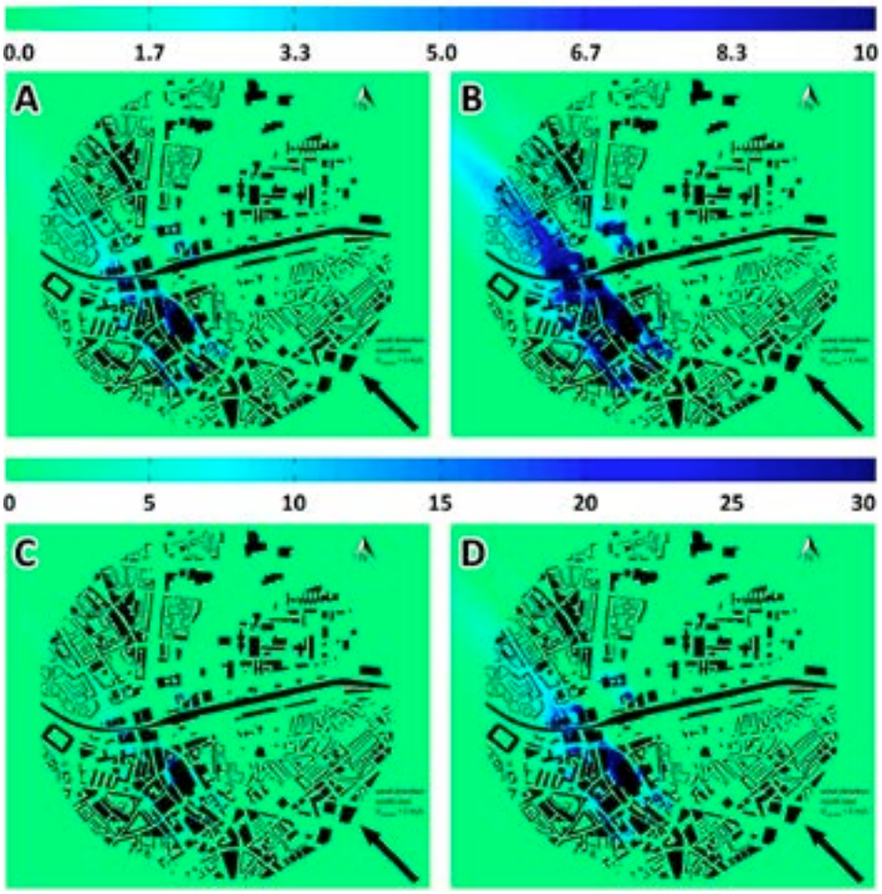

Figura 4 – Contorni della percentuale di riduzione della concentrazione di PM_{10} a un'altezza di 1,75 m per il caso con 99 unità (a, c) e 594 unità (b, d) relative al caso di riferimento senza unità. Da (Blocken et al., 2016)

BIBLIOGRAFIA

- Blocken B., Vervoort R., van Hooff T. 2016a. Reduction of outdoor particulate matter concentrations by local removal in semi-enclosed parking garages: a preliminary case study for Eindhoven city center. Journal Wind Engineering & Industrial Aerodynamics, 159, 80-98.
- BlockenB. 2016b. Environmental Nano Solutions. Personal communication B. Blocken and ENS. 30 August 2016.
- Chen H., Kwong J.C., Copes R., Tu K., Villeneuve P.J., van Donkelaar A., Hystad P., Martin R.V., Murray B.J., Jessiman B., Wilton A.S., Kopp A., Burnett R.T. 2017. Living near major roads and the incidence of dementia, Parkinson's disease, and multiple sclerosis: a population-based cohort study. Lancet 389, 718-726.
- Garbero V, Salizzoni P, Soulhac L. 2010. Experimental study of pollutant dispersion within a network of streets. Boundary-Layer Meteor. 136, 45.
- Kim S.R., Dominici F, Buckley T.J. 2007. Concentrations of vehicle-related air pollutants in an urban parking garage. Environmental Research, 105(3), 291-299.
- Rogge W.F., Hildemann L.M., Mazurek M.A., Cass G.R., Simoneit B.R.T. 1993. Sources of fine organic aerosol. 3. Road dust, tire debris, and organometallic brake lining dust – roads as sources and sinks. Environmental Science & Technology, 27(9), 1892-904.
- Shih T.H., Liou W.W., Shabbir A., Yang Z., Zhu J. 1995. A new k-ε eddy viscosity model for high Reynolds number turbulent flows. Computational Fluids, 24, 227–238.
- Valavanidis A., Fiotakis K., Vlacogianni T. 2008. Airborne particulate matter and human health: toxicological assessment and importance of the size and composition of particles for oxidative damage and carcinogenic mechanisms. Journal of Environmental Science and Health Part C, 26(4), 339-362.
- Zhang G.S., Li T.T., Luo M., Liu J.F., Liu Z.R., Bai Y.H. 2008. Air pollution in the microenvironment of parked new cars. Building and Environment, 43(3), 315-319.

WEBGRAFIA

[1] http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/en/
[2] http://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/air-quality/publications/2013/health-effects-of-particulate-matter.-policy-implications-for-countries-in-eastern-europe,-caucasus-and-central-asia-2013
[3] https://www.rivm.nl/
[4] https://www.oecd.org/env/indicators-modelling-outlooks/oecd-environmental-outlook-1999155x.htm
[5] http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/world-premature-deaths-due-to
[6] http://www.euro.who.int/en/media-
[7] http://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/air-quality/publications/pre2009/air-quality-guidelines.-global-update-2005.-particulate-matter,-ozone,-nitrogen-dioxide-and-sulfur-dioxide
[8] http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/databases/cities/en/
[9] www.enstechnology.nl/en
[10] http://www.eindhoven.nl/home.htm
[11] www.aireas.com

rimozione locale di PM nei parcheggi coperti può essere una strategia efficace verso una qualità migliore dell'aria esterna. Come accennato in precedenza, gli studi hanno dimostrato che l'esposizione al PM è fortemente correlata alla morbilità e alla mortalità. Per questo motivo il lavoro presentato potrebbe essere molto interessante per le città in cui i problemi legati all'esposizione alle PM sono gravi, ad esempio dove la densità urbana è elevata. Ulteriori ricerche si concentreranno sui limiti del presente studio. Prima di tutto, le concentrazioni massime di PM_{10} nelle simulazioni attuali sono piuttosto limitate, inferiori a 80 $\mu g/m^3$, perché tutte le emissioni sono distribuite uniformemente sui sottodomini e non nelle posizioni esatte delle strade e perché le emissioni sono mediate su un periodo di 10 ore. Ci si può aspettare che durante le ore di punta le concentrazioni locali siano più alte. Per questo motivo si terrà conto della diffusione disuniforme, nel tempo e nello spazio, del traffico e quindi delle emissioni di PM. Inoltre, negli studi futuri si potrà tenere conto anche degli effetti termici. In questo modo, la dispersione delle emissioni potrà essere presa in considerazione in modo più accurato e potranno essere analizzate diverse situazioni meteorologiche. Il lavoro di ricerca e i suggerimenti attuali non risolveranno certamente il problema del PM urbano, ma almeno rappresentano un passo significativo nella giusta direzione. ■

* *Rob Vervoort,* Eindhoven University of Technology
Twan van Hooff, Eindhoven University of Technology and KU Leuven
Bert Blocken, KU Leuven and Eindhoven University of Technology
Roel Gijsbers, ENS Technology, Cuijkm NL

RINGRAZIAMENTI

Twan van Hooff è attualmente borsista postdottorato della Research Foundation – Flanders (FWO) ed è grato per il suo sostegno finanziario (progetto FWO 12R9715N). Gli autori riconoscono anche la partnership con ANSYS CFD.

Questo articolo, pubblicato per gentile concessione di REHVA, Federation of European Heating, Ventilation and Air Conditioning Associations, è apparso sul numero di giugno 2017 di REHVA Journal.
La traduzione, di cui REHVA non è responsabile e che è stata curata dalla Redazione, rientra nell'ambito degli accordi tra AiCARR e REHVA.