

## ECOSISTER

ECOSYSTEM FOR SUSTAINABLE TRANSITION  
IN EMILIA-ROMAGNA

PNRR M4C2 1.5 “ECOSISTEMI TERRITORIALI D’INNOVAZIONE”

# Il ruolo del vento e delle correnti d’aria per la salubrità e la sicurezza delle città e delle abitazioni

Sandro G. Longo

Dipartimento di Ingegneria e Architettura, DIA  
Università di Parma, Italy



### Gruppo di lavoro:

Luca Chiapponi

Fabio Addona

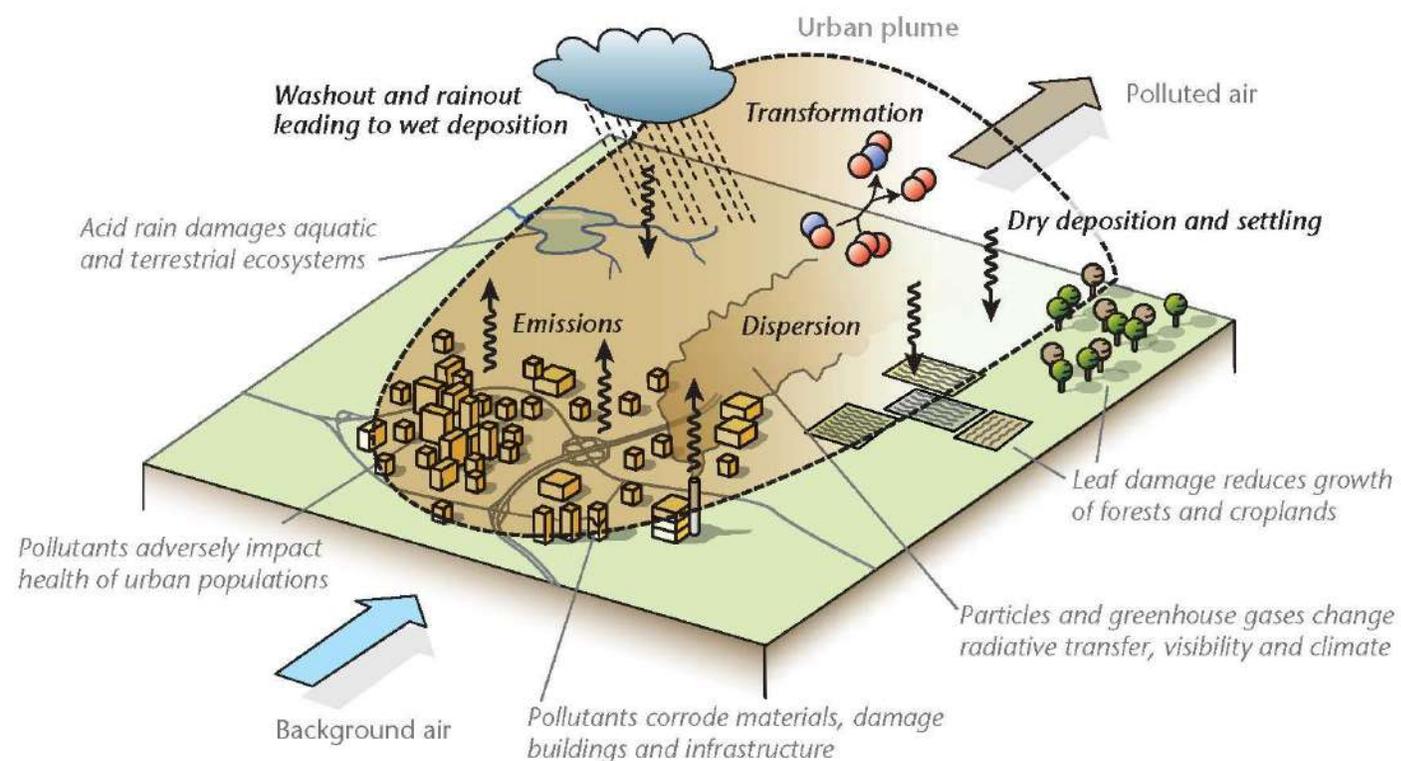
Nicolò Merli

## OUTDOOR AIR QUALITY

**DEFINIZIONI:** L'**inquinamento atmosferico** è la condizione nella quale gli inquinanti atmosferici sono presenti in concentrazioni tali da costituire una minaccia, o addirittura un pericolo immediato, per la salute umana, per gli ecosistemi o per le infrastrutture

L'**esposizione** si riferisce alla condizione in cui gli inquinanti atmosferici raggiungono gli individui (ad esempio, attraverso la respirazione)

La **dose** è la quantità effettiva di inquinanti assunta dal corpo umano (ad esempio, la massa di un inquinante che raggiunge i vasi sanguigni di un individuo in un determinato intervallo di tempo)



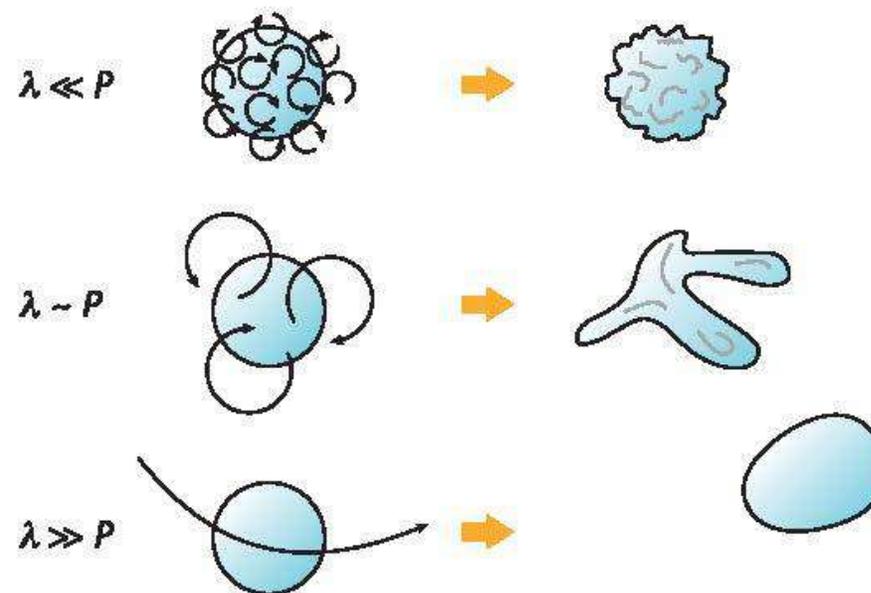
*Il ciclo degli inquinanti atmosferici nel plume urbano, con i processi rilevanti che regolano le concentrazioni di inquinanti atmosferici in nero e gli impatti degli inquinanti in grigio corsivo*

## OUTDOOR AIR QUALITY: L'AZIONE DEL VENTO SUGLI INQUINANTI

L'azione del vento sugli inquinanti si esplicita sia in termini di struttura delle emissioni, controllata dalla velocità media del vento, sia in termini di azione dispersiva, controllata dalle scale della turbolenza rispetto a quelle proprie delle emissioni.

Intuitivamente, una velocità del vento maggiore riduce la concentrazione degli inquinanti, mentre l'azione dispersiva (al netto della advezione) dipende dal rapporto tra la scala geometrica dei vortici della turbolenza e la scala geometrica dei 'puff' inquinanti.

Se  $\lambda \ll L$  la turbolenza semplicemente rimescola il puff; se  $\lambda$  e  $L$  sono dello stesso ordine di grandezza, la turbolenza distorce i puff; se  $\lambda \gg L$  la turbolenza trasporta i puff.



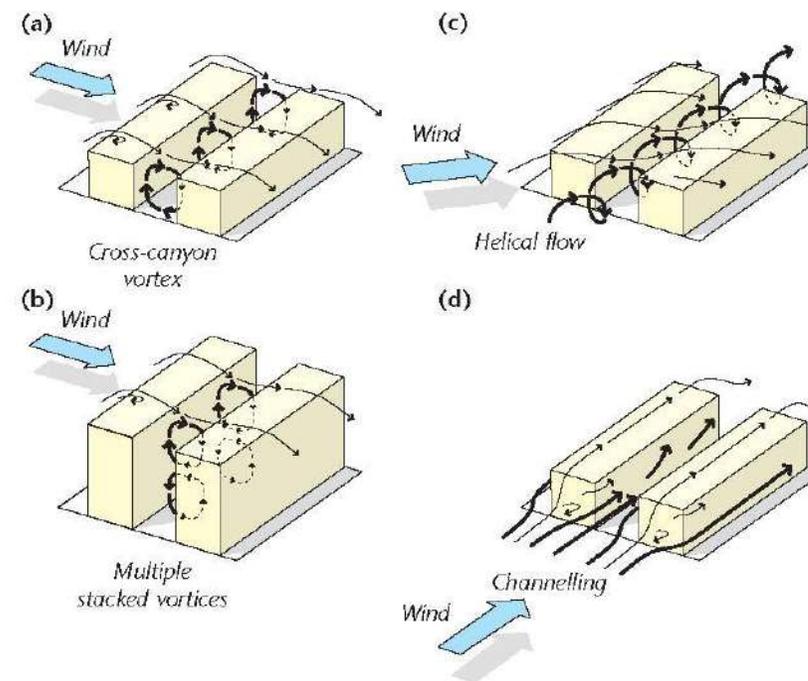
*Effetti concettuali della turbolenza sulla dispersione degli inquinanti atmosferici in funzione della differenza tra la scala del puff  $L$  e la scala caratteristica dei vortici  $\lambda$*

## OUTDOOR AIR QUALITY: GLI EFFETTI DELLA GEOMETRIA URBANA

La qualità dell'aria nelle strade in ambito urbano è stata oggetto di particolare attenzione a causa dell'ubiquità di tali ambienti di esposizione, del loro contesto relativamente ristretto e dell'intensità delle attività vicino al livello del suolo che generano inquinanti atmosferici

Gli effetti delle emissioni del traffico in strade lunghe e relativamente strette (canyon) sono studiati con particolare interesse, perché il limitato rimescolamento può inficiare gravemente la qualità dell'aria

A seconda della direzione del vento e delle caratteristiche geometriche del 'canyon', cambia la struttura del campo di flusso, con effetti rilevanti sul ricambio dell'aria



*Tipici modelli di flusso nei canyon urbani: (a) vortice trasversale al canyon, (b) vortici multipli sovrapposti in un canyon profondo, (c) flusso elicoidale lungo un canyon e (d) canalizzazione*

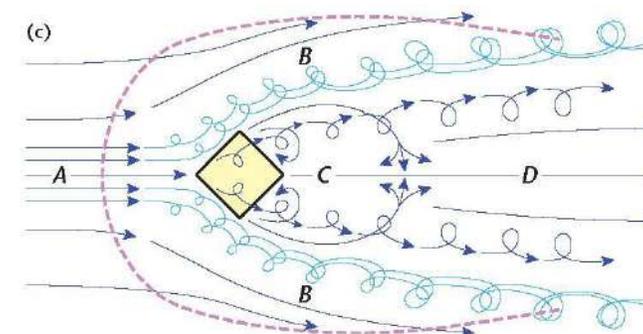
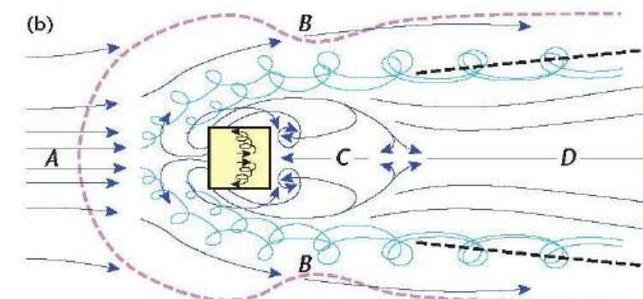
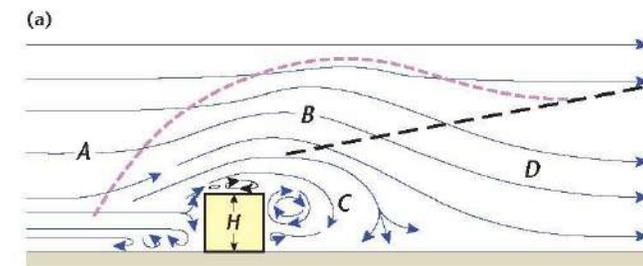
## OUTDOOR AIR QUALITY: GLI EFFETTI DELLA FORMA DELLE COSTRUZIONI

Prima ancora dello studio della struttura spaziale del tessuto urbano, è stato studiato l'effetto della geometria delle costruzioni. Si osserva l'effetto di blocking dei palazzi, con la formazione di una scia turbolenta e valle la cui struttura è influenzata dalla direzione del vento rispetto al palazzo

A parità di geometria, l'angolo di attacco del vento genera strutture differenti, con scie più o meno interessate da vortici elicoidali che dissipano energia e aumentano il mixing dell'aria

*Modelli tipici di flusso d'aria intorno a un "edificio" cubico isolato.*

- (a) *Vista laterale con flusso non ostruito A da sinistra a incidenza normale ( $0^\circ$ ), che mostra la zona di spostamento B, la cavità C e la scia D.*
- (b) *Vista in pianta vicino al livello del suolo dello stesso flusso di (a).*
- (c) *Vista in pianta del flusso con l'edificio orientato a  $45^\circ$  rispetto al flusso di avvicinamento.*

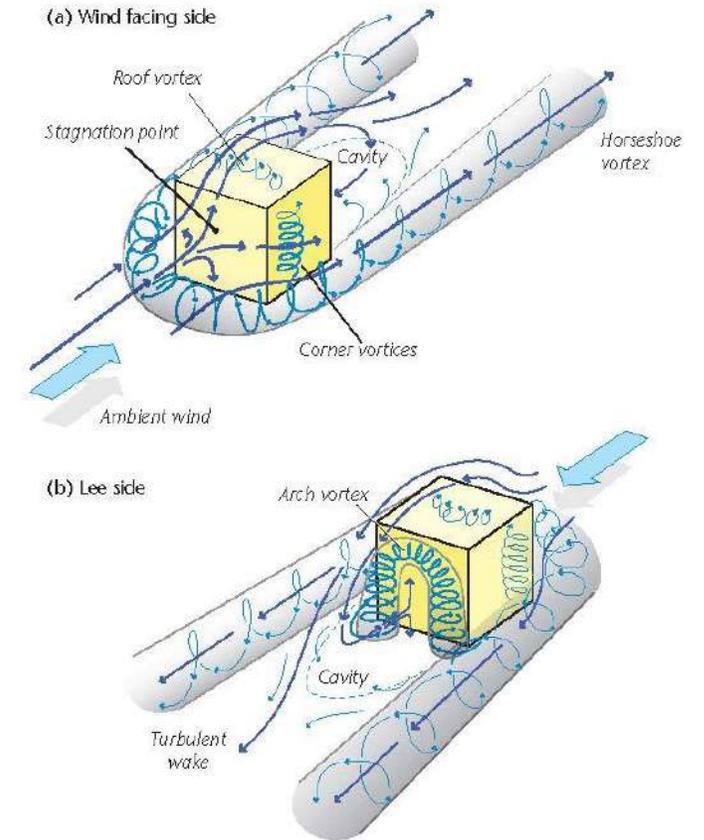


## OUTDOOR AIR QUALITY: GLI EFFETTI DELLA FORMA DELLE COSTRUZIONI



*Nuvole di spray che visualizzano il flusso su grattacieli a Panama City Beach, negli Stati Uniti. Il vento proviene dall'oceano*

*Caratteristiche del flusso attorno a un edificio cubico isolato con direzione del vento incidente normale a una faccia. Vista dal lato (a) sopravvento e (b) sottovento*

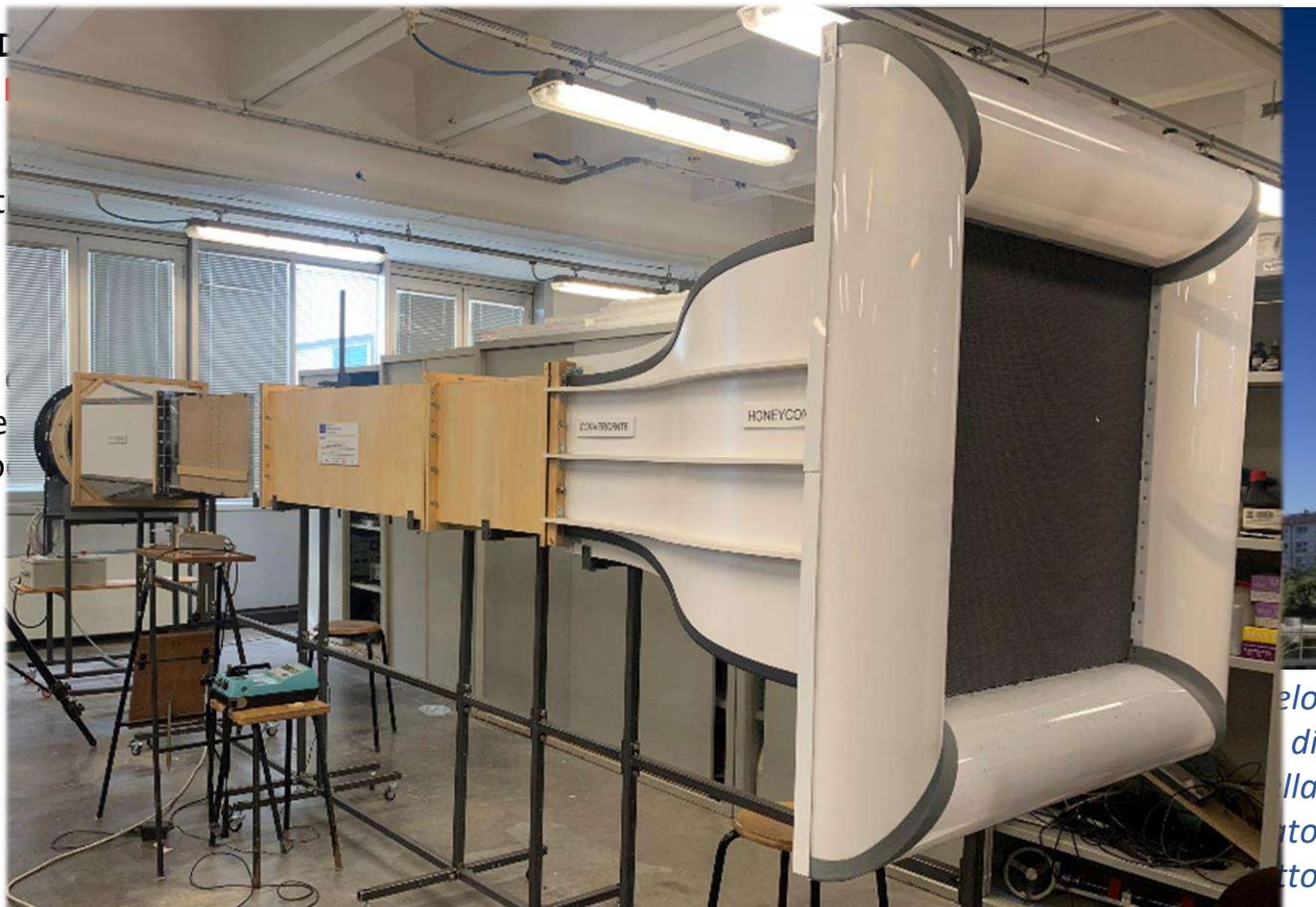


## OUTDOOR AIR QUALITY: GLI EFFETTI DI UN STUDIO ESEGUITO NELLO SPOKE 4 DI

**OBIETTIVO:** Il confronto della struttura  
dell'edificio

### STRUMENTI:

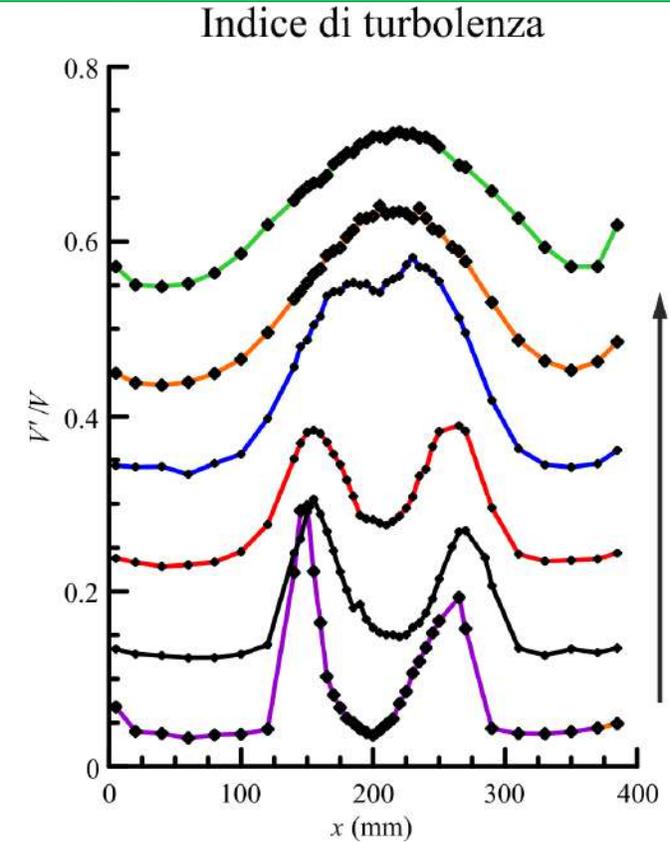
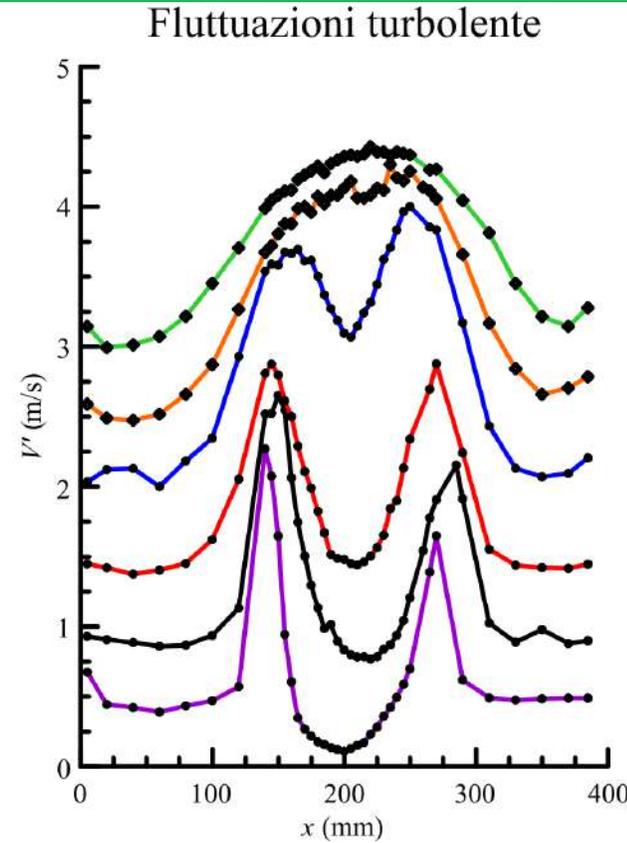
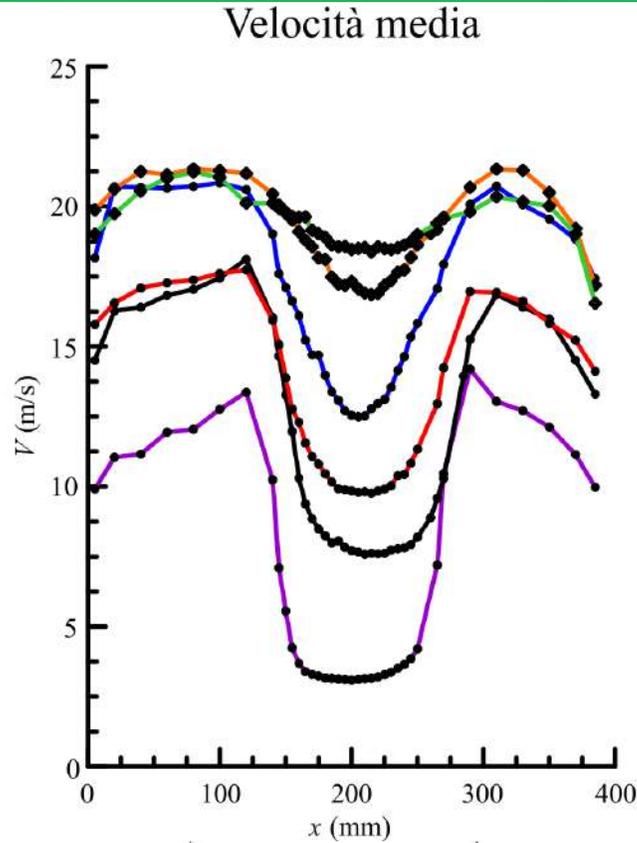
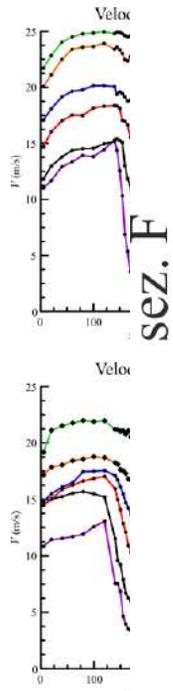
Modelli fisici in galleria del vento, con  
(Torso di Calatrava) e una geometria se  
Misure con film caldo a 50 kHz e video



Un classico palazzo a forma di  
parallelepipedo

spagnolo Santiago Calatrava

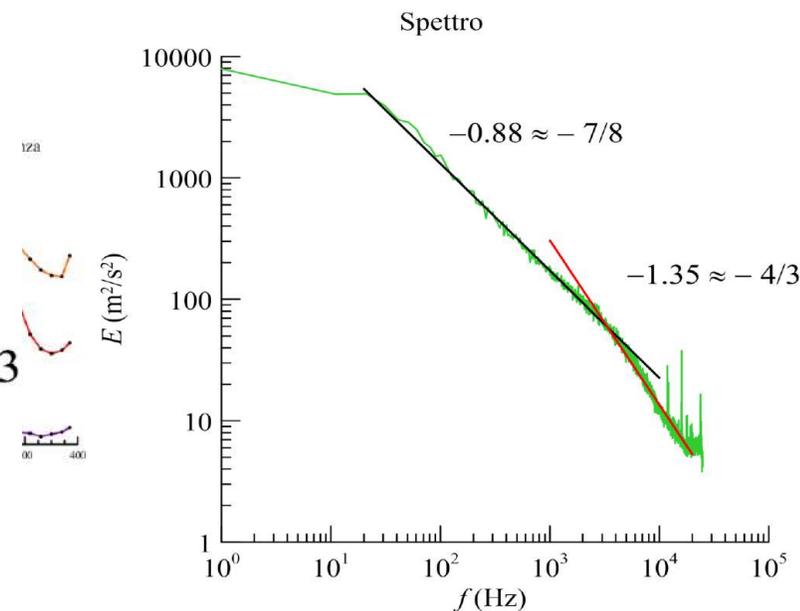
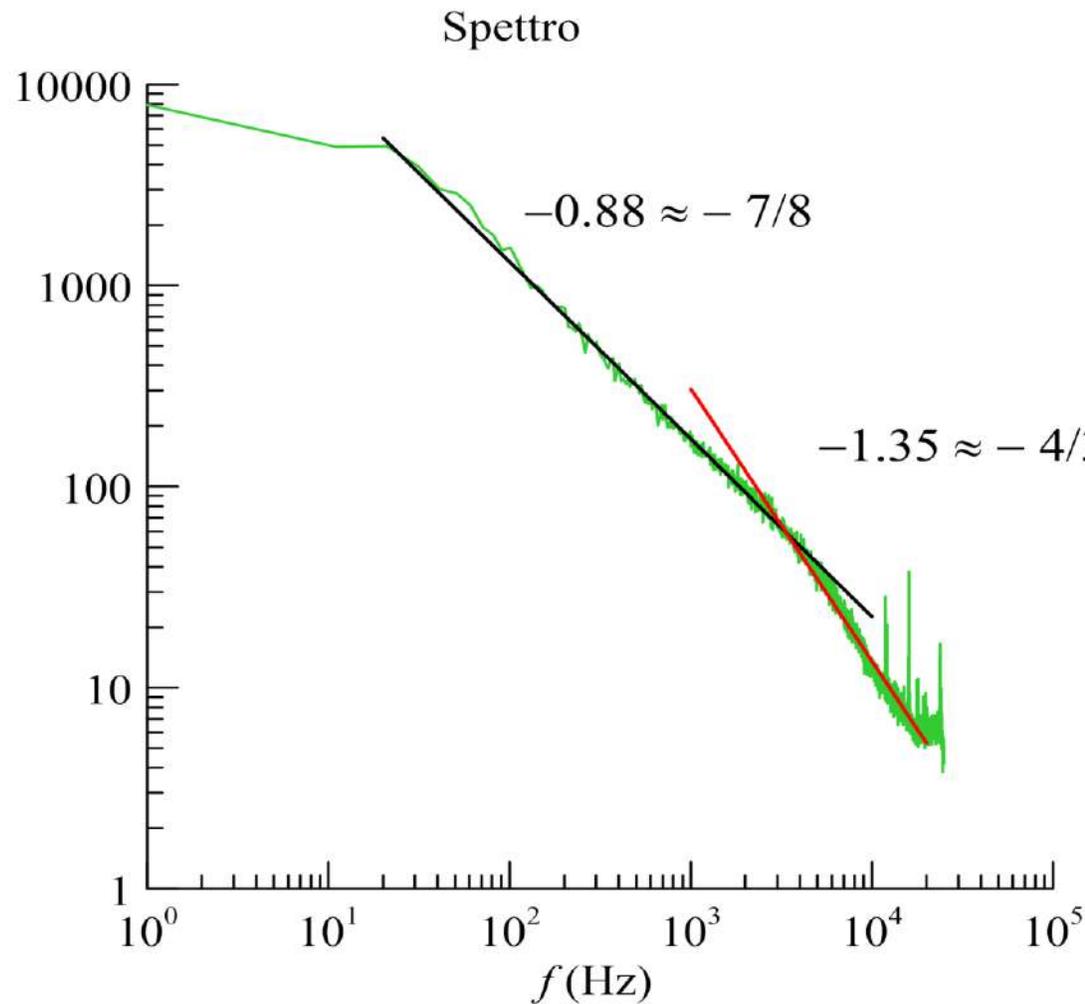
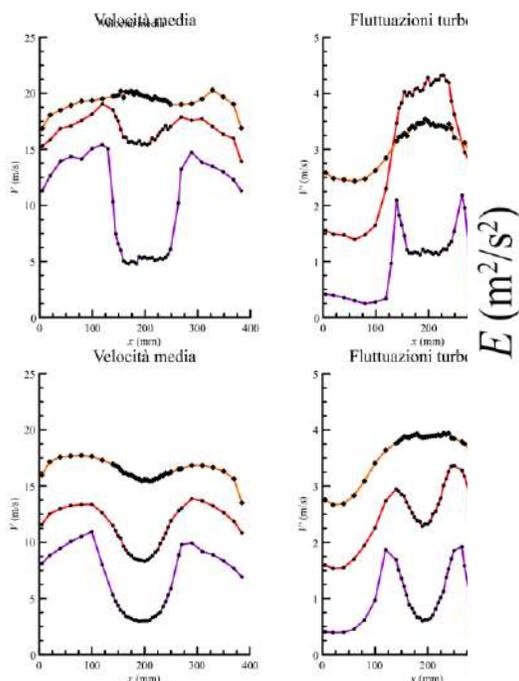
**OUTDOOR  
STUDIO**



↑  
y = 5, 10, ..., 30 cm  
del



**OUTDOOR AIR QUALITY: GLI E  
STUDIO ESEGUITO NELLO SPC**



*Il regime di turbolenza pienamente sviluppato inizia ad apparire al di sopra di circa 2000 Hz, dove la pendenza dello spettro aumenta fino a valori prossimi a  $-5/3$ , tipici del range di equilibrio dello spettro di Kolgomorov*

OUTDOOR AIR QUALITY:  
GLI EFFETTI DELLA FORMA  
DELLE COSTRUZIONI  
STUDIO ESEGUITO NELLO  
SPOKE 4 DI ECOSISTER,  
PNRR



---

## CONCLUSIONI (attività in progress)

- **Forme diverse, scie diverse**

La costruzione di una geometria complessa, a parità di altre condizioni, modifica la struttura del vento in misura maggiore rispetto al parallelepipedo, favorendo una scia di struttura diversa e la propagazione dei picchi turbolenti su distanze maggiori, con conseguente maggiore dispersione degli inquinanti

- Una geometria più complessa a parità di sezione trasversale può essere più efficace

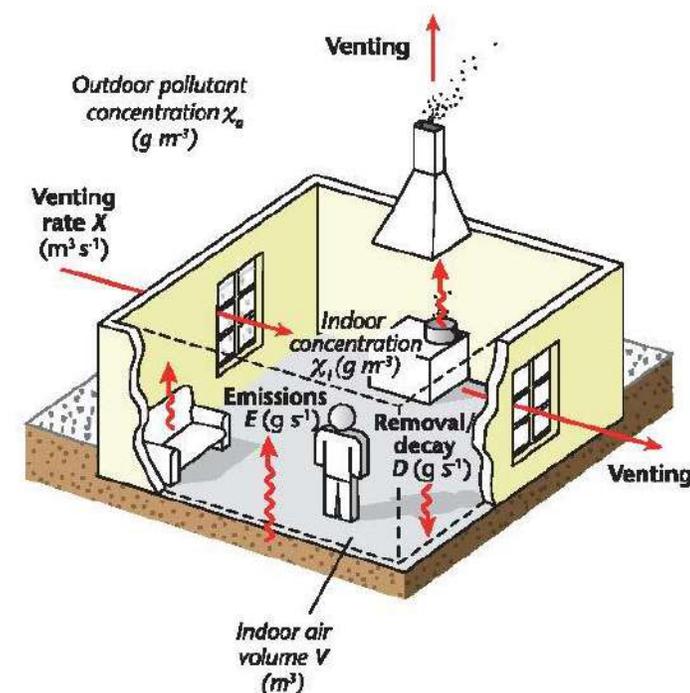
- **Attenzione:** lo studio si basa su edifici isolati. I risultati ottenuti si riferiscono a questa specifica configurazione

## INDOOR AIR QUALITY

Per una gran parte della vita in ambito urbano, l'ambiente interno alle abitazioni rappresenta la condizione ambientale dominante.

In effetti, l'inquinamento dell'aria interna potrebbe essere più preoccupante di quello esterno, semplicemente perché la maggior parte degli abitanti trascorre molto più tempo all'interno di edifici e veicoli, e in molte attività (domestiche e lavorative) l'emissione di inquinanti atmosferici avviene principalmente in un ambiente chiuso

Le sorgenti di inquinanti indoor sono molteplici e variegata, di natura biologica, chimica, fino all'inquinamento da radon, un gas radioattivo. I pavimenti e i mobili, e molti altri accessori, spesso liberano sostanze chimiche che contribuiscono all'inquinamento indoor

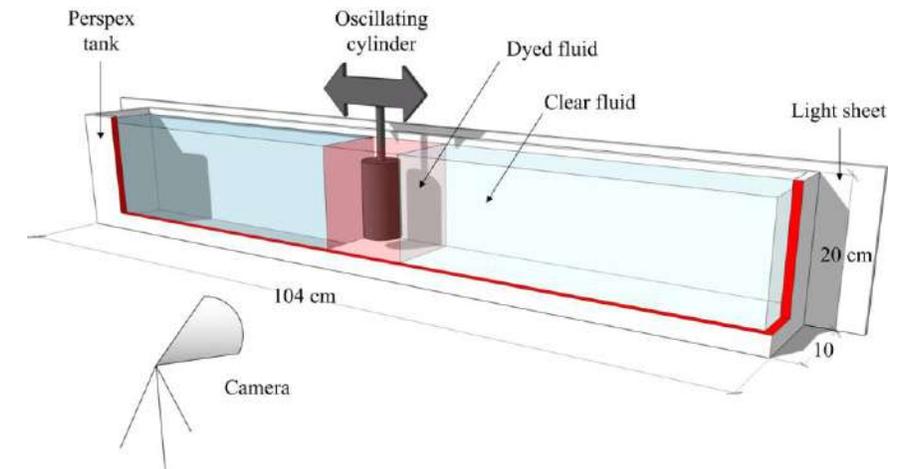


*Bilanci di massa per un volume di controllo in un ambiente chiuso*

## INDOOR AIR QUALITY

In alcune strutture civili, quali, ad esempio, gli ospedali, i teatri, i luoghi di culto, il rischio di scarsa ventilazione e di accumulo di sostanze nocive di varia natura richiede un'attenzione particolare.

A tal proposito, in occasione dagli approfondimenti sollecitati dalla recente pandemia, sono stati condotti studi su modello fisico per valutare, ad esempio, l'effetto di persone in movimento in un corridoio sulla dispersione di traccianti.



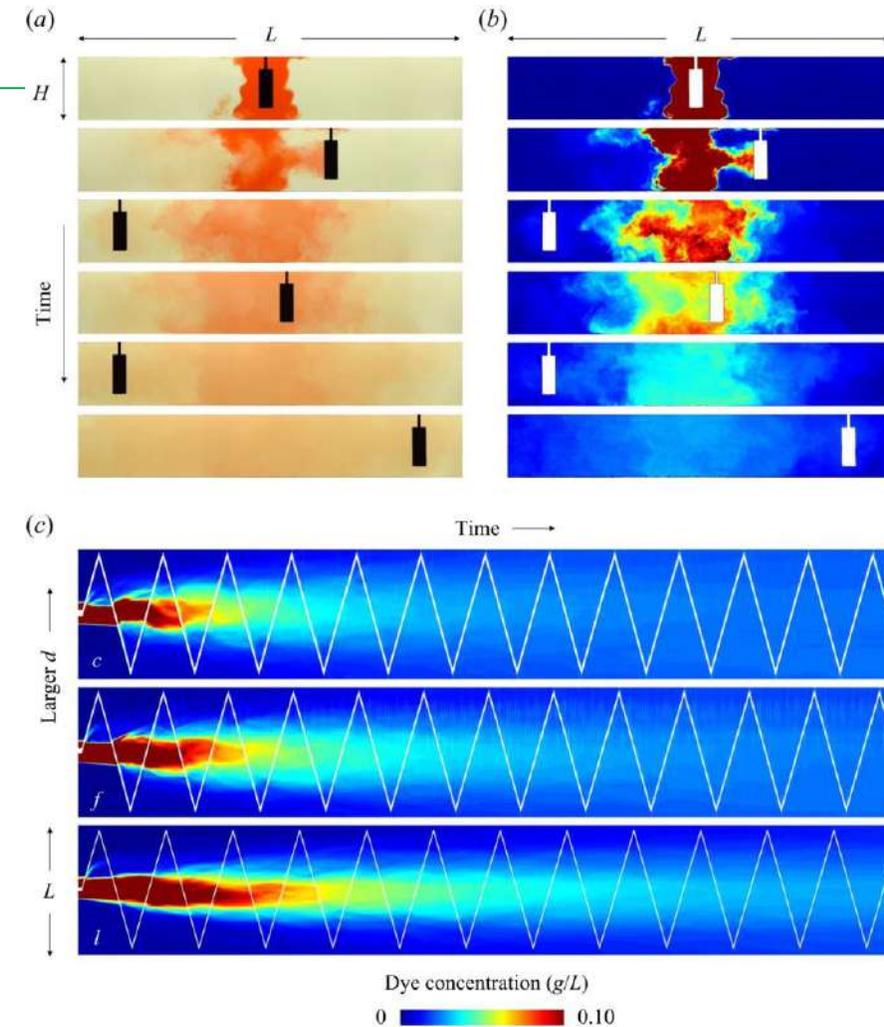
*Rappresentazione schematica di un corridoio e di un individuo che lo percorre (da Mingotti et al., JFM 2020)*

## INDOOR AIR QUALITY

(a) Serie di immagini che illustrano la dispersione di un impulso di colorante (tracciante) durante un esperimento. Le immagini sono state acquisite a 0, 16.3, 35.2, 45.9, 72.3 e 110.6 s dopo l'inizio dell'esperimento.

(b) Per ogni immagine, vengono utilizzati i falsi colori per illustrare il campo di concentrazione del colorante.

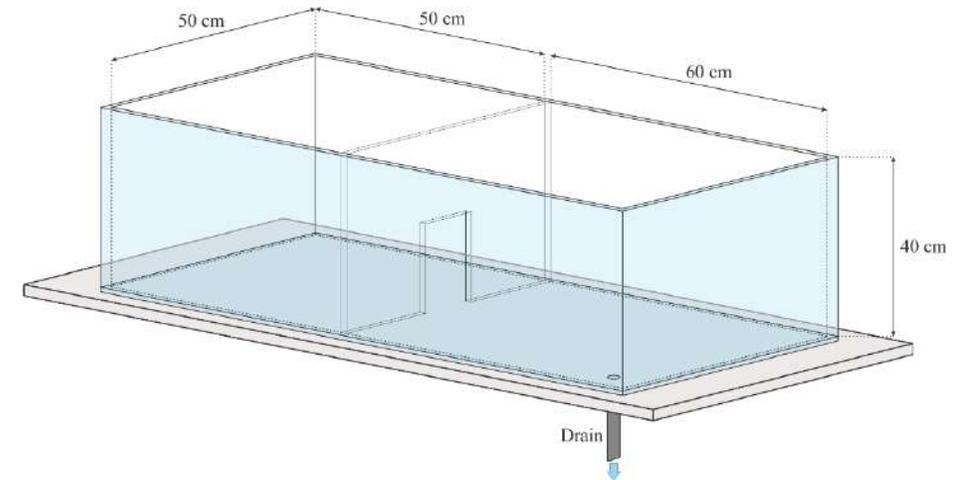
(c) Serie temporali dei profili, mediati verticalmente, della concentrazione di colorante in tre distinti esperimenti. In ogni immagine della serie temporale, la linea bianca diagonale corrisponde alla posizione del cilindro (l'individuo in movimento nel corridoio) in funzione del tempo. (da Mingotti et al., JFM 2020)



## INOOR AIR QUALITY: L'EFFETTO DI TRASPORTO NELL'ATTRAVERSAMENTO DI AMBIENTI COMUNICANTI

### STUDIO ESEGUITO NELLO SPOKE 4 DI ECOSISTER, PNRR

L'apparato sperimentale è stato progettato assumendo una scala geometrica  $\lambda \approx 15$ : l'altezza di una porta (2.25 m) nel prototipo corrisponde a 0.15 m nel modello.



*Schema tridimensionale della tank utilizzata per gli esperimenti*

## INOOR AIR QUALITY: L'EFFETTO DI TRASPORTO NELL'ATTRAVERSAMENTO DI AMBIENTI COMUNICANTI

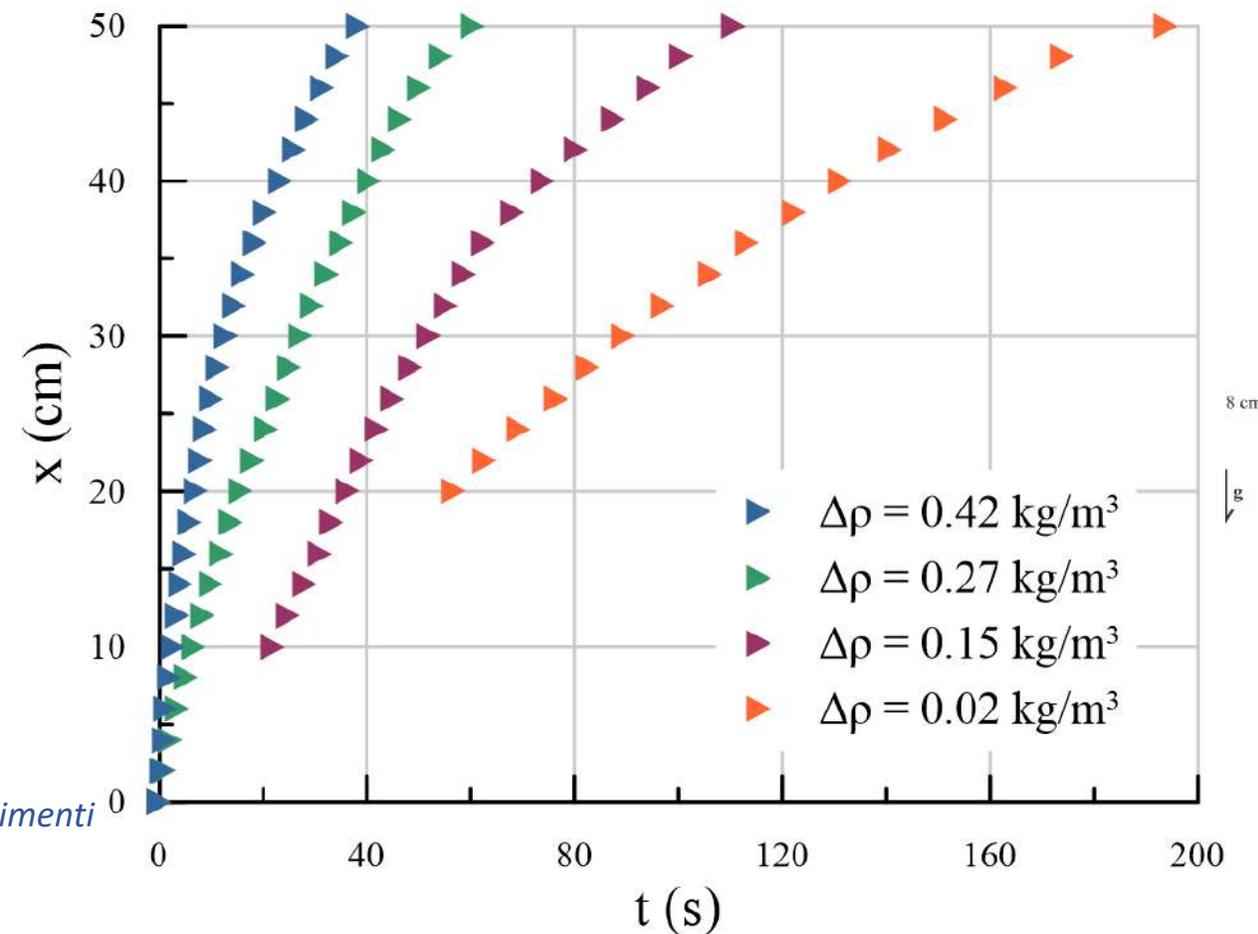
### STUDIO ESEGUITO NELLO SPOKE 4 DI ECOSISTER, PNRR

Una prima serie di esperimenti è consistita nel generare una differenza di densità  $\Delta\rho \neq 0$  (che corrisponde a una differenza di temperatura dell'aria  $\Delta T$  nel prototipo) tra i due ambienti e poi, dopo aver aperto la porta, nell'osservare la corrente di gravità che avanzava nell'ambiente più caldo.

Abbiamo lavorato con la similitudine di Froude e l'analogia di Reynolds con  $Re$  comparabili tra modello e prototipo.

Questa prima fase, di calibrazione, simula l'aria fredda che, d'inverno, entra in casa quando si apre una porta con affaccio diretto verso l'esterno.

*Avanzamento del fronte della corrente nel tempo per quattro diversi esperimenti con differenze di densità variabili ( $\Delta\rho$ )*



INOOR AIR  
QUALITY: L'EFFETTO  
DI TRASPORTO  
NELL'ATTRAVERSA  
MENTO DI  
AMBIENTI  
COMUNICANTI  
**STUDIO ESEGUITO  
NELLO SPOKE 4 DI  
ECOSISTER, PNRR**

# Indoor air dynamics

Video 1



UNIVERSITÀ  
DI PARMA

Luca Chiapponi, Nicolò Merli, Sandro Longo

*Effetti del transito di una persona tra due ambienti alla stessa temperatura*



INOOR AIR  
QUALITY: L'EFFETTO  
DI TRASPORTO  
NELL'ATTRAVERSA  
MENTO DI  
AMBIENTI  
COMUNICANTI  
**STUDIO ESEGUITO  
NELLO SPOKE 4 DI  
ECOSISTER, PNRR**

Video 2

# Indoor air dynamics



UNIVERSITÀ  
DI PARMA

Luca Chiapponi, Nicolò Merli, Sandro Longo

*Effetti del transito di una persona tra due ambienti uno dei quali in sovrappressione*



---

## CONCLUSIONI (attività in progress)

La dinamica dell'aria (e degli inquinanti) in ambienti confinati, è condizionata dalle attività degli occupanti, dai percorsi interni, dalle modalità di interconnessione tra gli ambienti

In ambienti con peculiarità elettive di una qualità elevata dell'aria (ad esempio, gli ospedali), è richiesta estrema accortezza nei protocolli di gestione dei percorsi, nella progettazione degli impianti di aerazione, nel controllo delle pressioni

La corretta programmazione del ricambio d'aria, sia attraverso gli impianti di condizionamento, sia attraverso le guarnizioni dei serramenti, appare come uno strumento immediato per il controllo della concentrazione degli inquinanti