

Indice

1.	Prefazione.....	2
2.	Scopo	2
3.	Ambito	2
4.	Caratteristiche del modello di flusso d'aria pulito basato sulla salute	3
4.1.	Trasmissione aerea delle malattie	3
	Modello omogeneo completamente misto	3
	Dalle particelle alla miscela	3
	Introduzione dei quanta	3
	Probabilità di rischio di infezione individuale.....	3
	Tasso di emissione individuale di quanta, aerosol respiratorio e tasso di emissione del volume delle gocce	4
	Tasso totale di emissione quanta: approccio stocastico	4
4.2.	Probabilità di rischio di infezione come modello stocastico dose-risposta	4
4.3.	Portata d'aria pulita basata sulla salute	5
5.	Portata d'aria progettata in base alla CO ₂ prodotta.....	6
6.	EN 16798-1 Modello di qualità dell'aria percepita	6
7.	Modello Procedura di Portata di Ventilazione ASHRAE 62.1	7
8.	prEN 16798-1-3 Modello per il progetto con trasmissione aerotrasportata	7
9.	ASHRAE 241 Controllo degli aerosol infettivi.....	8
10.	EN 16798-1 Modello qualità dell'aria percepita - Allegato A italiano	9
11.	Avvio del programma	10
12.	Input del programma	10
12.1.	Portata d'aria pulita basata sulla salute e dati generali di ingresso	11
12.2.	EN 16798-1 Dati di ingresso della qualità dell'aria percepita	12
12.3.	Dati di ingresso della Procedura di Portata di Ventilazione ASHRAE 62.1	13
12.4.	prEN 16798-1-3 Dati di ingresso per la ventilazione dovuta alla trasmissione aerea.....	13
12.1.	ASHRAE 241 Dati di input per il controllo degli aerosol infettivi.....	13
12.1.	EN 16798-1 Qualità dell'aria percezione Allegato Anello italiano Dati di ingresso.....	14
13.	Parametri calcolati dallo strumento	14
14.	Output del programma	15
15.	Osservazioni finali.....	16
16.	Riconoscimenti	17

17.	Disclaimer	17
18.	Riferimenti	17

1. Prefazione

Il Calcolatore di Progettazione IAQ basato sulla salute è uno strumento per definire una portata minima d'aria pulita da utilizzare come obiettivo di progettazione per mantenere a un livello predefinito la probabilità di rischio di infezione dovuta a patogeni trasportati dall'aria in un unico spazio. La metodologia utilizzata non si basa sul consueto approccio a regime stazionario, ma, per evitare il sovradimensionamento del sistema, si utilizza una soluzione dipendente dal tempo basata sul tempo di esposizione con sorgente a emissione costante. I dettagli sul metodo utilizzato sono riportati nel Engineering Manual (Mazzarella, 2026).

Il programma sviluppato calcola tali valori obiettivo per diverse capacità infettive dei patogeni disponibili, espressi in quanta, con le condizioni al contorno specificate dall'utente, quali l'attività e il livello di attività sia degli individui infettivi che suscettibili, il loro numero, la dimensione della stanza, ecc.

Vengono contemporaneamente calcolate le portate d'aria di ventilazione o purificata proposte dai metodi standardizzati di progettazione della qualità dell'aria come la EN 16798-1, ASHRAE 62.1, ASHRAE 241 per poter verificare la differenza di portata volumetrica tra gli approcci basati sulla salute e tali approcci standardizzati.

2. Scopo

Lo scopo del “Health-based IAQ Design Calculator” è fornire la portata d'aria pulita minima per il controllo degli aerosol infettivi, al fine di ridurre il rischio di trasmissione di malattie tra gli occupanti di un unico spazio per un insieme di diversi patogeni aerotrasportati. Successivamente, questa portata minima d'aria pulita può essere utilizzata per progettare sia sistemi con aria esterna (di ventilazione) sia sistemi di purificazione dell'aria o qualsiasi combinazione di essi, quando si ritenga necessario (ad esempio per la modalità di funzionamento d'emergenza), rispetto al progetto standardizzato del sistema (modalità operativa standard).

Uno scopo secondario è verificare se la portata standardizzata di progetto, calcolata secondo gli standard internazionali più utilizzati sulla Qualità dell'Aria Interna (IAQ), sia in grado o meno di soddisfare i requisiti calcolati per il controllo degli aerosol infettivi per specifici patogeni e condizioni al contorno.

3. Ambito

Lo strumento, nel calcolo della portata d'aria pulita basato sulla salute, considera solo la trasmissione interna a lunga distanza derivante dall'inalazione di aerosol infettivo emesso da una o più persone infettive che non si trovano in prossimità di uno o più occupanti suscettibili.

L'applicazione della portata d'aria pulita risultante potrebbe non ridurre sostanzialmente il rischio di trasmissione in tutte le situazioni a causa della trasmissione di prossimità, della suscettibilità personale e di particolari distribuzioni del flusso d'aria all'interno dello spazio considerato, fenomeni non coperti dallo strumento.

Lo strumento non si basa su modelli epidemiologici mesoscopici o macroscopici, ma su un modello a livello individuale; Pertanto, non può essere utilizzato per linee guida di politica sanitaria perché non fornisce una stima di quanto spesso sia probabile il verificarsi di uno specifico scenario di esposizione. Fornisce semplicemente la portata d'aria pulita necessaria per mantenere a un livello predefinito la probabilità di rischio di infezione personale dovuta a patogeni trasportati dall'aria in un singolo spazio.

La definizione del livello minimo accettabile per la probabilità personale di rischio di infezione per

ciascun patogeno riportato non è direttamente affrontata dallo strumento. Invece, lo strumento utilizza il Numero di Riproduzione dell'Evento Infettivo (NREI) per vincolare il valore massimo della probabilità personale di rischio di infezione. Nello strumento, l'NREI può essere impostato solo a un valore inferiore o uguale a 1 per evitare una potenziale rapida diffusione dell'infezione all'interno dello spazio considerato, limitando così al massimo a uno il numero di potenziali casi secondari di infezione per individuo infettivo.

Nella versione attuale dello strumento, quando si specifica la presenza di più di una persona infettiva, l'attività e il livello di attività così come il tempo di permanenza sono gli stessi per tutte le persone infettive presenti lo spazio considerato.

4. Caratteristiche del modello per il calcolo della portata d'aria pulita basato sulla salute

4.1. Trasmissione aerea delle malattie

Il modello di trasmissione aerea della malattia si basa su un modello concettuale che rappresenta la concentrazione di piccole gocce cariche di patogeni come una nube, in cui contenuto in patogeni espirato viene diluito immediatamente dopo l'espirazione mentre viaggia nell'aria trasportato dal flusso d'aria. Di conseguenza, la concentrazione dei patogeni non aumenta uniformemente nell'ambiente, ma è a concentrazioni più elevate quanto si è più vicini al soggetto infettivo.

Modello omogeneo completamente misto

A causa della difficoltà connesse alla risoluzione dell'associato complesso problema di dinamica dei fluidi, è usuale presumere che l'emissione di piccole gocce cariche di patogeni nell'ambiente sia istantanea e avvenga con completo mescolamento (**ipotesi del mix completo o modello omogeneo**). Questo modello semplificato è chiamato "trasmissione aerea a lungo raggio": inalazione di nuclei di gocce trasportati nell'aria, o aerosol, a distanze di separazione che possono essere superiori a 2 metri da un'emissione infettiva, dove possiamo assumere che l'ipotesi dell'omogeneità sia sufficientemente vera.

Dalle particelle alla miscela

Questi nuclei di goccioline trasportate nell'aria contenenti patogeni (virus o batteri) sono molto piccoli e possono essere trattati come particelle o molecole inquinanti; ne consegue che per descrivere il fenomeno si possono utilizzare con una certa confidenza le classiche equazioni di bilancio della concentrazione in una miscela fluida. L'accuratezza di questo modello omogeneo dipende anche dallo spazio considerato: più piccolo è lo spazio chiuso e più l'aria è completamente mescolata, più i risultati si avvicineranno alla realtà. Sebbene sia difficile fissare un limite superiore per la dimensione appropriata della stanza, l'applicazione del modello a spazi di circa 500 metri quadrati o meno (Mikszewski et al, 2021) è più probabile di produrre buoni risultati. Per spazi più grandi una procedura di zonizzazione può essere una soluzione alternativa, applicando il modello a diversi spazi più piccoli.

Introduzione dei quanta

Il passo successivo nel modello è passare dalla concentrazione di nuclei di gocce alla sua forza infettiva. Nel 1955 Well (Wells, 1955) introdusse i quanti o **quanta** (q) per descrivere qualunque fosse quel numero sconosciuto. Capì anche che l'inalazione e l'infezione erano un processo intrinsecamente statistico che comportava basse probabilità dovute alla diluizione e ad altri fattori, e introdusse la distribuzione di Poisson nella sua definizione di quantum: *un quantum è la dose di nuclei di gocce trasportate nell'aria necessaria per causare infezione nel 63% delle persone suscettibili*.

Probabilità di rischio di infezione individuale

Successivamente, negli anni '70, Richard L. Riley e altri si basarono sul lavoro di Wells per creare il **modello Wells-Riley (WR)**, che utilizza l'unità quanta per prevedere il rischio di infezione in spazi chiusi. Questo modello tratta la probabilità che una persona, tra S persone suscettibili, che respira un quanto di aerosol infetto **distribuito casualmente** nello spazio, venga infettata da I persone infettive. Questa probabilità è data dal rapporto tra il numero di individui esposti E (cioè contagiati ma non ancora infetti) e il numero di persone suscettibili S ed è definita da una funzione di distribuzione di Poisson. Si assume che il periodo di latenza virale, ovvero il periodo tra l'essere stati

infettati e l'essere infetti, sia molto più lungo del tempo di esposizione, cioè della durata dell'esposizione degli individui al patogeno.

Il modello originale di Wells-Riley (Riley et al., 1978) si riferisce alla concentrazione di equilibrio dei quanta nell'aria nello stato stazionario con una sorgente di emissione costante nel tempo e una portata d'aria pulita costante. Gammaitoni e Nucci (Gammaitoni e Nucci, 1997) estendono il modello Wells-Riley a condizioni variabili nel tempo, introducendo la concentrazione media di quanta durante il tempo di esposizione ma mantenendo costanti la velocità di emissione e la portata d'aria pulita.

Tasso di emissione individuale di quanta, aerosol respiratorio e tasso di emissione del volume delle gocce

Per questo strumento è stato adottato un approccio un po' diverso rispetto a quelli citati. Seguendo i lavori di Buonanno et al. (2020a, 2020b) come riportato in (Mikszewski et al., 2022a), per definire il tasso di emissione individuale dei quanta q_{ER} , questo viene correlato a un **modello di emissione di aerosol respiratorio e volume di gocce**. Quindi, noto il tasso di emissione del volume delle goccioline, il carico virale e la portata di espirazione, il tasso di emissione individuale viene calcolato come:

$$q_{ER} = c_v \cdot c_i \cdot V_d \cdot q_{V;b,ex} \quad (1)$$

dove

c_v	carica virale nell'espettorato, [copie di RNA/mL]
c_i	fattore di conversione definito come il rapporto tra una dose quantica e quella infettiva espressa nelle copie virali di RNA, [copie q/RNA]
V_d	concentrazione di volume di gocce espulsa dalla persona infettiva, [mL/m ³]
$q_{V;b,ex}$	frequenza di espirazione polmonare, [m ³ /h]

Tasso totale di emissione quanta: approccio stocastico

Quando nello stesso spazio dove si trovano le persone suscettibili sono presenti più persone infettive, il tasso totale di emissione ER_q viene solitamente calcolato come espresso nel modello originale WR, cioè come prodotto del numero di persone infettive I e del tasso di emissione individuale q_{ER} . Questo non è vero nemmeno se ogni persona infetta ha la stessa attività e livello di attività, perché non rilasciano mai lo stesso q_{ER} contemporaneamente. Per tenere conto di tale diversità è stato impiegato un approccio di simulazione stocastica, come descritto in (Mikszewski et al., 2021).

Se I è il numero di persone infettive contemporaneamente presenti nello stesso spazio, si effettua un'estrazione stocastica di I campioni di percentile dall'inversa della distribuzione cumulata lognormale di q_{ER} ottenendo i valori di q_{ER} per ciascuna delle I persone. Infine, sommando questi valori, si calcola il tasso totale di emissione dei quanta ER_q . Questa procedura viene ripetuta 10.000 volte per ottenere un valore medio stabile e la sua deviazione standard, che rappresentano il tasso totale di emissione per il numero specificato di persone infettive.

Questa procedura consente anche di tenere conto delle diverse attività e livelli di attività tra le persone infette, oltre a un diverso programma di presenza durante le ore di occupazione spaziale (non ancora implementato).

4.2. Probabilità di rischio di infezione come modello stocastico dose-risposta

Per ridurre la grande incertezza relativa alle emissioni di quanta sui dati oggi disponibili, è stato seguito un approccio stocastico applicando una simulazione di Monte Carlo al calcolo del rischio di infezione individuale.

La probabilità individuale di infezione è espressa tramite un **modello stocastico dose-risposta** descritto da una distribuzione lognormale cumulativa del tasso totale di ER_q emissione, $\Phi(\log_{10} ER_q; \mu, \sigma)$ e dalla sua inversa $\log_{10} ER_q = \Phi^{-1}(p; \mu, \sigma)$, funzione del percentile p :

$$P_I(p) = 1 - e^{-\frac{10^{\Phi^{-1}(p; \mu, \sigma)}}{\lambda V} \left[1 - \frac{1 - e^{-\lambda \cdot t_{ex}}}{\lambda \cdot t_{ex}} \right] q_{V;b,in} \cdot t_{ex}} \quad (2)$$

con una probabilità di occorrenza espressa in forma discreta, $P_{ER_q,i}$, tramite la funzione densità di probabilità lognormale $N(\log_{10} ER_q)$, come

$$\forall i \in \mathbb{N} \quad P_{ER_{q,i}} = N(\log_{10} ER_{q,i}; \mu, \sigma) \cdot (\log_{10} ER_{q,i} - \log_{10} ER_{q,i-1}) \quad (3)$$

dove $N(\cdot)$ rappresenta la funzione di distribuzione normale, $\mu = \log_{10} ER_{q,av}$ e $\sigma = \log_{10} ER_{q,SD}$, e $\log_{10} ER_{q,i} = \Phi^{-1}(p_i; \mu, \sigma)$ è funzione del i -esimo percentile p_i .

Pertanto, la probabilità individuale di infezione data dalla equazione (2) assume valori diversi in base al tasso di emissione dei quanta definito dal percentile considerato p_i , con una probabilità di occorrenza differente. Di conseguenza, la probabilità individuale di infezione è ridefinita come **probabilità condizionata**, $R_{I,i} = R_I(p_i)$, e è data dal prodotto della probabilità individuale di infezione per la sua probabilità di occorrenza a ciascun percentile p_i :

$$\forall i \in \mathbb{N} \quad R_{I,i} = R_I(ER_q(p_i)) = P_{I,i} \cdot P_{ER_{q,i}} \quad (4)$$

Il rischio individuale (R_I) di una persona esposta (cioè *la percentuale di probabilità di infezione di un occupante suscettibile esposto tenendo conto di tutti i possibili valori di emissione ER_q per una certa attività definiti da una funzione di densità di probabilità*), considerando l'intero spettro dei valori ER_q possibili all'interno della distribuzione considerata, può quindi essere calcolato integrando la probabilità condizionata $R_{I,i}$ per tutti possibili valori di $ER_q(p_i)$, cioè sommando i valori $R_I(ER_{q,i})$ come segue:

$$R_I(ER_{q,av}, ER_{q,SD}) = \sum_{i=1}^{N_p} R_I(ER_q(p_i)) = \sum_{i=1}^{N_p} P_{I,i}(p_i) \cdot P_{ER_{q,i}}(p_i) \quad (5)$$

con $N_p = 200$

Si può calcolare un **tasso di emissione totale e individuale equivalente** assumendo

$$R_I(ER_{q,av}, ER_{q,SD}) = \frac{E}{S} = 1 - e^{-\frac{ER_{q,av,eq}}{\lambda V} q_{V;b,in} \cdot t_{ex}} \quad (6)$$

come

$$ER_{q,av,eq} = -\ln(1 - R_I) \frac{\lambda V}{q_{V;b,in} \cdot t_{ex}} \quad (7)$$

$$q_{ER,av,eq} = \frac{ER_{q,av,eq}}{I}$$

Il tasso medio di emissione individuale equivalente $q_{ER,av,eq}$ può essere confrontato con il dato iniziale $q_{ER,av}$ per valutare l'impatto dell'approccio stocastico (simulazione di MonteCarlo) sulla valutazione individuale del rischio.

4.3. Portata d'aria pulita basata sulla salute

Nella progettazione di sistemi di ventilazione e condizionamento dell'aria, il punto di partenza è la portata d'aria pulita di progetto, cioè la portata dell'aria pulita che, rispetto a uno specifico inquinante, riesce a mantenere la concentrazione di tale inquinante al valore al valore di soglia richiesto (metodo prestazionale). Di solito, però, la progettazione viene eseguita utilizzando metodi che fanno riferimento alle condizioni di comfort delle persone, principalmente legate alla qualità dell'aria percepita e alla concentrazione di CO_2 .

Se l'inquinante considerato è un virus polmonare o bacillo aerotrasportato, allora la salute umana domina la scena e si dovrebbe calcolare il flusso d'aria pulito che garantisce una certa probabilità di rischio di infezione R_I o un numero di riproduzione dell'evento infettivo R_E .

Fissando come input nella procedura di calcolo il numero di riproduzione dell'evento infettivo R_E , la probabilità individuale di rischio di infezione R_I si calcola come

$$R_E = \frac{E}{I} ; R_I = \frac{E}{S} \quad \Rightarrow \quad R_{I,req} = \frac{I}{S} R_E \quad (8)$$

Definito così R_I , si impiega una procedura iterativa che calcola per diverse portate d'aria pulita il rischio di infezione individuale (R_I) usando l'equazione (5) fintanto che non viene trovato il valore richiesto di R_I . Cioè:

$$\forall \lambda = 0.0001 \div MaxReal; variable \Delta \lambda step \rightarrow R_I[ER_{q,av}(\lambda), ER_{q,SD}(\lambda)] \rightarrow till R_I \leq R_{I,req} \quad (9)$$

Successivamente si effettua una interpolazione lineare usando l'ultimo valore $R_I(\lambda_i)$ e il precedente $R_I(\lambda_{i-1})$, cioè

$$\lambda(R_{I,req}) = \lambda(R_{I,i-1}) + \frac{\lambda(R_{I,1}) - \lambda(R_{I,i-1})}{R_{I,1} - R_{I,i-1}}(R_{I,req} - R_{I,i-1}) \quad (10)$$

dove λ è il tasso totale di rimozione con efficienza di ventilazione unitaria e senza il contributo locale di eventuali purificatori dell'aria, cioè:

$$\lambda = \lambda_V + \lambda_d + \kappa \quad (11)$$

dove

λ_V portata d'aria di alimentazione per volume della stanza, [h^{-1}]

λ_d tasso di deposizione di inquinanti, [h^{-1}]

κ coefficiente di decadimento del virus, [h^{-1}]

Infine, la portata d'aria pulita richiesta è data da

$$q_{V,HB} = V \cdot [\lambda(R_{I,req}) - \lambda_d - \kappa] \quad (12)$$

Contemporaneamente si calcola la corrispondente velocità media totale di emissione utilizzando l'interpolazione lineare:

$$ER_{q,av}(R_{I,req}) = ER_{q,av}(R_{I,i-1}) + \frac{ER_{q,av}(R_{I,1}) - ER_{q,av}(R_{I,i-1})}{R_{I,1} - R_{I,i-1}}(R_{I,req} - R_{I,i-1}) \quad (13)$$

5. Portata d'aria progettata in base alla CO₂ prodotta

Secondo la EN 16798-1 (CEN, 2019) la portata d'aria di ventilazione di progetto richiesta per la diluizione della CO₂ prodotta nell'ambiente interno in condizioni stazionarie è data da

$$q_{V,CO_2} = \lambda_V V = \frac{(C_{SS} - C_{SUP})_{CO_2}}{G_{CO_2}} \quad (14)$$

dove $(C_{SS} - C_{SUP})_{CO_2}$ è il valore soglia relativo alla concentrazione esterna riportato in Tabella 1, secondo l'Allegato B della EN 16798-1.

Tabella 1 Concentrazioni predefinite di CO₂ al di sopra di quelle esterne assumendo un'emissione standard di CO₂ di 20 L/(h per persona) (CEN, 2019)

Categoria	Concentrazione corrispondente di CO ₂ sopra l'esterno in PPM per persone non adattate
I	500
II	800
III	1 350
IV	1 350

Lo standard non riporta come calcolare la produzione di CO₂ in un ambiente chiuso, G_{CO_2} . Di conseguenza, nel tool questa sarà limitata alla produzione respiratoria umana, determinata utilizzando l'approccio EN ISO 8996:2022 (vedi l'Engineering Manual per i dettagli).

6. EN 16798-1 Modello di qualità dell'aria percepita

Nello standard EN 16798-1 (CEN, 2019) la portata totale di ventilazione per la zona di aerazione si trova combinando la ventilazione per persone e quella per l'edificio calcolata con l'equazione (15)

$$q_V = N_p \cdot q_p + A_R \cdot q_B \quad (15)$$

dove

q_V	portata totale di ventilazione per la zona di aerazione, [L/s]
N_p	valore di progetto del numero di persone presenti nella stanza, [persone]
q_p	portata di ventilazione per occupazione per persona, [L/(s persona)]
A_R	superficie del pavimento, [m ²]
q_B	portata di ventilazione per le emissioni dall'edificio, [L/(s·m ²)]

I livelli percepiti di qualità dell'aria sono definiti separatamente per la portata di ventilazione per occupazione per persona, q_p , e per la portata di ventilazione per le emissioni provenienti dall'edificio, q_B , i cui valori soglia per categoria di qualità sono riportati per il primo in Tabella 2, specifica a persone non adattate in edifici non residenziali, e per il secondo in Tabella 3.

Tabella 2 Progettare la tariffa di ventilazione per occupazione per persona

Categoria	Percentuale attesa di insoddisfatti	Flusso d'aria per persona non adattata.
I	15	10
II	20	7
III	30	4
IV	40	2,5

Tabella 3 Progettare i tassi di ventilazione per diluire le emissioni di diversi tipi di edifici

Categoria	Edificio a bassa inquinante L/(s m2)	Edificio a basso inquinamento L/(s m2)	Edificio non a basso inquinamento L/(s m2)
I	0,5	1,0	2,0
II	0,35	0,7	1,4
III	0,29	0,4	0,8
IV	0,14	0,3	0,6

7. Modello Procedura di Portata di Ventilazione ASHRAE 62.1

Il modello di calcolo della portata di aria di ventilazione dell'ASHRAE Standard 62.1 (ASHRAE, 2022) è esattamente lo stesso dell'EN 16798-1; differiscono solo per le tabelle che nello standard ASHRAE sono più dettagliate rispetto alle categorie di occupazione, ma di contro non hanno le categorie di qualità della EN 16708-1. Un esempio è riportato in Tabella 4. La principale differenza tra i valori dei coefficienti tabellati nella EN 16708-1 e nell'ASHRAE 62.1 a parità di condizioni è dovuta all'uso della valutazione percettiva da parte di persone adattate in ASHRAE 62.1 rispetto a persone non adattate nella EN 16798-1, e alla dipendenza del tasso di ventilazione per le emissioni dell'edificio dalla qualità dei materiali edilizi.

Tabella 4 Componenti della portata di ventilazione di progetto per categoria di occupazione

Categoria	q_p L/(s·persona)	q_B L/(s m2)
Strutture penitenziari		
Cella	2.5	0.6
Sala di soggiorno	2.5	0.3
Postazioni di guardia	2.5	0.3
Prenotazione/attesa	3.8	0.3

8. prEN 16798-1-3 Modello per il progetto con trasmissione aerotrasportata

Questo metodo calcola la portata di ventilazione imponendo che i tassi attesi di attacco secondario a livello di popolazione dell'ambiente considerato sia pari a 1,0 utilizzando un solo individuo infettivo

in uno scenario di esposizione relativo a un singolo ambiente (CEN, 2025). Il modello di valutazione del rischio si basa sul valore accettabile del numero di riproduzione dell'evento R_E definito per specifica categoria di ambiente, durante la sua occupazione da parte di un individuo infettivo. Si assume che la probabilità di infettare altri (cioè il numero di infezioni per unità di tempo) sia costante durante il periodo di infezione presintomatico. Integra l'esposizione durante eventi esterni introducendo un tempo medio di interazione tra il soggetto infettivo e gli occupanti suscettibili durante il periodo di infettività. Il metodo si applica alla trasmissione a lunga distanza e presuppone che si eviti un contatto ravvicinato.

La portata di ventilazione basata sul rischio di infezione per la zona di aerazione si trova combinando la ventilazione necessaria per diluire il carico virale e la sua rimozione con altri meccanismi oltre alla ventilazione, e viene calcolata con l'equazione (16)

$$q_V = q_q \cdot (N_p - 1) - V \cdot q_r \quad (16)$$

dove

- q_V portata di ventilazione richiesta per la zona di aerazione, [L/s]
- q_q portata di ventilazione necessaria per diluire l'emissione di quanta, specifica per occupazione per persona, [L/(s persona)]
- q_r tasso di rimozione per decadimento virale, deposizione, filtrazione dell'aria e disinfezione, [L/(s m³)]
- N_p valore di progetto del numero di persone nella stanza con il distanziamento >1,0 m per evitare un contatto ravvicinato
- V volume dell'ambiente, [m³]

Nell'Allegato B sono indicati i valori predefiniti per q_q e q_r per diverse categorie d'uso dello spazio senza alcuna specifica su quale tipo di virus, attività, ecc., siano state derivate. Tali valori predefiniti sono riportati in Tabella 5. Il tool consistentemente con il suo obbiettivo impone $\lambda_{AC} = 0$.

Tabella 5 Progettare i tassi di ventilazione per diluire le emissioni di diversi tipi di edifici

Categoria d'uso dello spazio	q_q L/(persona s)	q_r L/(s m ³) ^{a)}
Aula	10	$0.24 + \eta_{AC}\lambda_{AC}/3.6$
Ufficio	23	$0.24 + \eta_{AC}\lambda_{AC}/3.6$
Sala assemblee	30	$0.24 + \eta_{AC}\lambda_{AC}/3.6$
Sala riunioni	40	$0.24 + \eta_{AC}\lambda_{AC}/3.6$
Ristorante	40	$0.24 + \eta_{AC}\lambda_{AC}/3.6$
Palestra, fitness	70	$0.24 + \eta_{AC}\lambda_{AC}/3.6$
^{a)} Nel caso in cui non ci sia un depuratore d'aria nella stanza, $\lambda_{AC} = 0$		

Nel riferimento (Kurnitski et al., 2023) sono fornite ulteriori spiegazioni sulla derivazione dei valori riportati in Tabella 5. Per maggiori informazioni vedasi l'Engineering Manual.

9. ASHRAE 241 Controllo degli aerosol infettivi

Lo Standard ASHRAE 241 (ASHRAE, 2023) stabilisce i requisiti minimi per il controllo degli aerosol infettivi al fine di ridurre il rischio di trasmissione di malattie negli spazi occupabili. Ciò si ottiene attraverso la definizione della portata minima **equivalente di flusso d'aria pulita** richiesta nella zona di respirazione per ogni spazio occupabile al fine di mitigare il rischio di trasmissione a lungo raggio nella Modalità di Gestione del Rischio di Infezione (MGRI), V_{ECA_i} , che viene determinata come

$$V_{ECA_i} = ECA_i \cdot P_{Z,IRMM} \quad (17)$$

dove

- V_{ECA_i} portata d'aria pulita equivalente minima richiesta nella zona di aerazione per mitigare il rischio di trasmissione a lunga distanza in MGRI, [L/s]
- ECA_i portata d'aria pulita equivalente richiesta per persona in MGRI, da Tabella 6, [L/(s persona)]

$P_{Z,IRMM}$ numero di persone nella zona di respirazione in *IRMM*. $P_{Z,IRMM}$ coincide con il numero di occupanti utilizzati per calcolare la portata di ventilazione secondo lo standard applicabile o con l'occupazione di progetto o con un numero inferiore di occupanti durante la MGRI concordato con il proprietario.

La portata d'aria pulita equivalente minima richiesta per persona, ECA_i , è indicata in Tabella 6.

Tabella 6 Flusso d'aria minimo equivalente per persona nella zona respiratoria in IRMM

Categoria di occupazione	ECA _i L/s/persona
Strutture penitenziari	
Cell	15
Dayroom	20
Commerciale/Retail	
Strutture per ristorazione e bevande	30
Palestra	40
Ufficio	15
Vendita al dettaglio	20
Attesa di trasporto	30
Strutture educative	
Aula	20
Aula grande	25
Industriale	
Produzione	
Smistamento, imballaggio, assemblaggio leggero	10
Magazzino	10
Assistenza sanitaria	
Sala visite	20
Area di trattamento di gruppo	35
Stanza paziente	35
Stanza per residenti	25
Sala d'attesa	45
Assemblea Pubblica/Sport e Intrattenimento	
Auditorium	25
Luogo di culto religioso	25
Museo	30
Convenzione	30
Area spettatori	25
Lobby	25
Residenziale	
Spazio comune	25
Unità abitativa	15

Come nella prEN 16798-1-3, anche in questo standard non sono state fornite informazioni né specifiche sul tipo di virus, attività, ecc., utilizzate per derivare tali valori. Solo nel 2025 è stato pubblicato un articolo che spiega la metodologia utilizzata per costruire lo standard ASHRAE 241 (Jones B. et al., 2025).

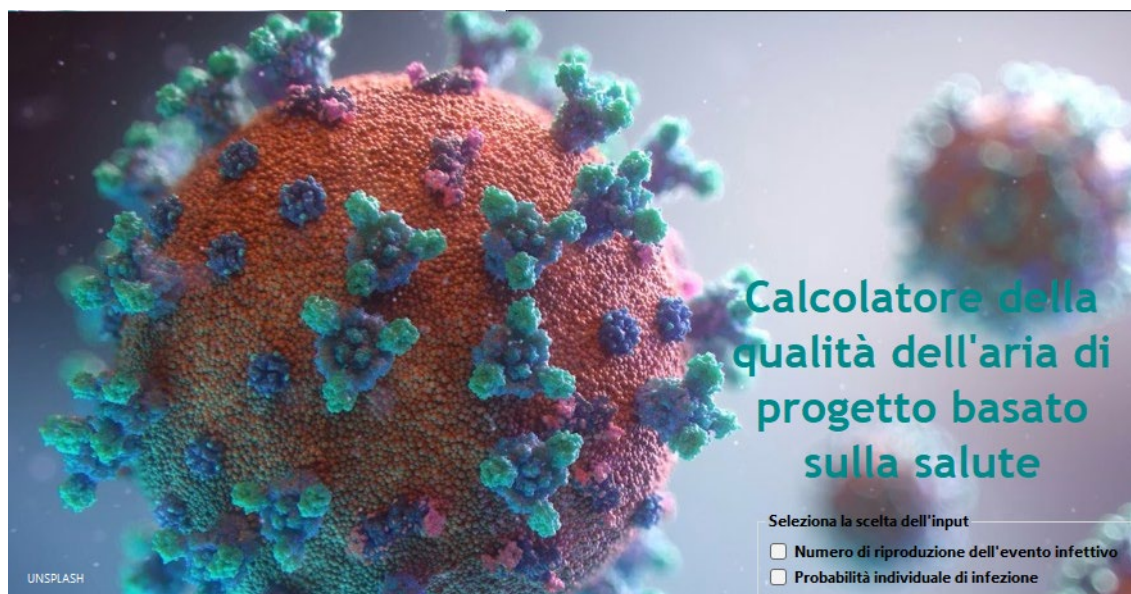
10. EN 16798-1 Modello qualità dell'aria percepita - Allegato A italiano

L'ultimo modello implementato è ancora la qualità dell'aria percepita EN 16798-1 come descritta dall'equazione (15) con l'unica differenza che la portata di ventilazione per occupazione per persona, q_p , e la portata di ventilazione per le emissioni dell'edificio, q_B , sono riportati da tabelle più dettagliate di quelle fornite per default dalla EN 16798-1. Tali tabelle, riportate nell'Allegato Nazionale A, sono non solo parametriche rispetto alla categoria IAQ e al tipo di edificio (edificio molto poco inquinante, poco inquinante e non poco inquinante), ma anche all'uso finale dell'edificio e al tipo di spazio considerato.

11. Avvio del programma

All'avvio del programma viene visualizzata una schermata iniziale in cui, in basso a destra, all'interno di una cornice, sono presenti due caselle di controllo che richiedono di selezionare l'opzione di input (vedere Figura 1). Per procedere, è necessario selezionare una delle due caselle di controllo. La diversa scelta fa sì che lo strumento utilizzi come input primario:

- il numero di riproduzione dell'evento di infezione, impostato minore o uguale a 1, nel primo caso, e di conseguenza calcoli la probabilità di infezione individuale;
- la probabilità di infezione individuale, nel secondo caso, e di conseguenza calcoli il numero di riproduzione dell'evento di infezione individuale.



12. Input del programma

I dati di ingresso del programma sono introdotti tramite una maschera che si trova nel riquadro a sinistra nella finestra principale, come mostrato in Figura 1.

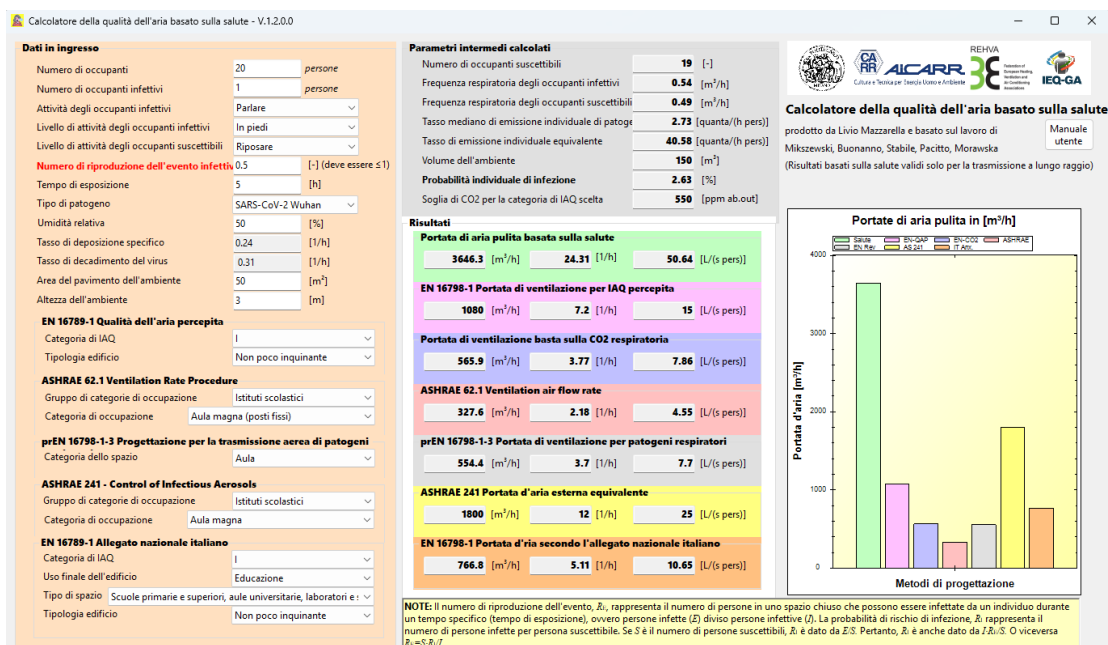


Figura 1 - Finestra principale con input e risultati intermedi, output e colonne grafici.

Gli input sono suddivisi in sei sezioni, la prima riguardante i dati necessari per il qui chiamato calcolo della portata d'aria pulita basato sulla salute, secondo il modello stocastico delle emissioni patogene infettive da persone infettive, mentre le altre riportano gli input relativi agli standard più utilizzati per dimensionare la ventilazione o i sistemi di purificazione dell'aria.

12.1. Portata d'aria pulita basata sulla salute e dati generali di ingresso

Figura 2 -Input: dati generali e per la portata d'aria pulita basata sulla salute.

Come mostrato in Figura 2, i dati da fornire in input sono:

1. **Numero di occupanti:** numero di persone che rimangono nello spazio chiuso per tutto il periodo di esposizione
2. **Numero di occupanti infettivi:** numero di persone infettive che rimangono nello spazio chiuso per tutto il periodo di esposizione
3. **Attività degli occupanti infettivi:** attività comune a tutti gli occupanti infettivi, tra *respiranti, parlando e parlando ad alta voce* (*parametro che influisce sul tasso di emissione del patogeno*)
4. **Livello di attività degli occupanti infettivi:** livello di attività comune di tutti gli occupanti infettivi, tra *a riposo, in piedi, esercizi leggeri ed esercizi intensi* (*parametro che influisce sul tasso di emissione del patogeno*)
5. **Livello di attività degli occupanti suscettibili:** livello di attività comune di tutti gli occupanti suscettibili (numero di occupanti meno numero di occupanti infetti), tra *a riposo, in piedi, esercizio leggero ed esercizio intenso* (*parametro che influisce sulla dose di patogeno inalato*)
6. **Numero di riproduzione dell'evento infettivo (≤ 1):** il numero R_E rappresenta il numero di persone in uno spazio chiuso che possono essere infettate da un individuo durante un tempo specifico (tempo di esposizione), cioè persone infette (E) diviso persone infettive (I) (*parametro che influisce sulla probabilità di rischio di infezione individuale*)

NOTA: Questo parametro, R_E , rappresenta il numero potenziale di casi secondari di infezione, E , prodotti da ciascuna persona infettiva presente nello spazio chiuso dato, I . È un parametro locale, e il suo significato è totalmente diverso dal numero di riproduzione base o effettivo, R_0 e R , che invece sono parametri epidemiologici su mesoscala e macroscale. Per evitare la propagazione di un'infezione all'interno dello spazio dato deve essere inferiore a uno.

Poiché è correlato alla probabilità di rischio di infezione individuale, R_I , dalla relazione $R_E = E/I = S \cdot R_I/I$, viene poi usato per applicare un vincolo superiore a questo parametro che viene calcolato come $R_I = I \cdot R_E/S$, valore mostrato nella casella dei risultati intermedi.

7. **Tempo di esposizione:** è il tempo di permanenza nello spazio chiuso considerato sia delle persone infettive che di quelle suscettibili (*parametro che influisce sia sul tasso di emissione del patogeno sia sulla dose inalata del patogeno*)
8. **Umidità relativa:** umidità relativa dell'aria interna (*parametro che influisce su un certo tasso di decadimento del patogeno*)
9. **Tasso specifico di deposizione:** è la velocità con cui i patogeni trasportati dall'aria si depositano sulle superfici a causa della gravità e delle forze di adesione superficiali (*parametro che influisce direttamente sulla portata richiesta d'aria pulita*)
10. **Tasso di decadimento del virus:** è il tasso di inattivazione dei patogeni dovuto a mezzi naturali come l'umidità dell'aria e le radiazioni UV (*parametro che influisce direttamente sulla portata richiesta d'aria pulita*)
11. **Area del pavimento dell'ambiente:** superficie del pavimento dello spazio chiuso (*parametro che impatta direttamente sul volume dello spazio chiuso*)
12. **Altezza dell'ambiente:** altezza dello spazio chiuso (*parametro che impatta direttamente sul volume dello spazio chiuso*)

12.2. EN 16798-1 Dati di ingresso della qualità dell'aria percepita

Come mostrato in Figura 3, i dati da fornire in input sono:

13. **Categoria IAQ:** lo standard indica quattro categorie di Qualità dell'Aria Interna (I, II, III e IV) in relazione a un livello minimo di aspettative di qualità che per l'IAQ sono fissate come Percentuale Attesa di Persone Insoddisfatte rispettivamente al 15%, 20%, 30% e 40%, che corrispondono a una specifica portata esterna (supposta pulita) per persone non adattate di 10, 7, 4 e 2,5 [l/(s per persona)]
14. **Tipologia edificio:** la concentrazione di inquinanti negli spazi chiusi dipende anche dalle emissioni dei materiali degli edifici; quindi, lo standard prevede tre tipi diversi di edifici in relazione alle loro emissioni di inquinanti (edificio molto poco inquinante, edificio poco inquinante e edifici non poco inquinante)

Figura 3 -Input: dati EN 16798.1

Per calcolare la portata correlata devono essere assegnati anche gli input 1), 2) e 11).

12.3. Dati di ingresso della Procedura di Portata di Ventilazione ASHRAE 62.1

Come mostrato in Figura 4, i dati da fornire in input sono:

15. **Gruppo di categorie di occupazione:** gruppo di categorie di edifici rispetto alla tipologia occupazionale, come “Istituti scolastici” e altre
16. **Categoria di occupazione:** destinazione di occupazione di spazi chiusi specifica per ogni gruppo di categorie di occupazione, come “Aula magna (posti fissi)” e altre.

Figura 4 -Input: dati ASHRAE 62.1.

Per calcolare la portata correlata devono essere assegnati anche gli input 1), 2) e 11).

12.4. prEN 16798-1-3 Dati di ingresso per la ventilazione dovuta alla trasmissione aerea

Come mostrato in Figura 5Figura 4, i dati da fornire in input sono:

17. **Categoria dello spazio:** destinazione di occupazione di spazi chiusi, come “Aula” e altri.

Figura 5 -Input: prEN 16798-1-3 dati.

Per calcolare la portata correlata devono essere assegnati anche gli input 1), 2), 11) e 12).

12.5. ASHRAE 241 Dati di input per il controllo degli aerosol infettivi

Come mostrato in Figura 6 I dati da fornire in input sono simili a quelli necessari per ASHRAE 62.1 e sono:

18. **Gruppo di categorie di occupazione:** gruppo di categorie di edifici rispetto alla tipologia occupazionale, come “Istituti scolastici” e altre
19. **Categoria di occupazione:** destinazione di occupazione di spazi chiusi specifica per ogni gruppo di categorie di occupazione, come “Aula magna” e altre.

Figura 6 -Input: dati ASHRAE 241.

Per calcolare la portata correlata, anche 1) devono essere assegnati input. Questo perché lo standard valuta la portata d'aria pulita necessaria considerando una sola persona infetta presente nello spazio chiuso.

12.6. EN 16798-1 Qualità dell'aria percezione Allegato Anello italiano Dati di ingresso

Come mostrato in Figura 6 i dati da fornire in input sono simili a quelli necessari per l'EN 16798-1 ma un po' più dettagliati e sono:

20. **Categoria IAQ:** l'allegato italiano allo standard prevede tre categorie per la Qualità dell'Aria Interna (I, II e III) in relazione a un livello minimo di aspettative di qualità che per l'IAQ sono fissate come Percentuale Attesa di Persone Insoddisfatte rispettivamente al 15%, 20% e 30%, che corrispondono a determinate portate esterne (che dovrebbero essere di aria pulita) per persone non adattate di 10 persone, 7 e 4 [l/(s per persona)]
21. **Uso finale dell'edificio:** gruppo di tipologie di edifici rispetto alla tipologia di utilizzo finale come "Educazione"
22. **Tipo di spazio:** destinazione di occupazione di spazi chiusi specifica per ogni gruppo tipologico di edificio, come "Scuole primarie e superiori, aule universitarie, laboratori e aule insegnanti", e altri
23. **Tipologia edificio:** la concentrazione di inquinanti negli spazi chiusi dipende anche dalle emissioni dei materiali degli edifici; quindi, lo standard prevede tre tipi diversi di edifici in relazione alle loro emissioni di inquinanti (edificio molto poco inquinante, edificio poco inquinante e edifici non poco inquinante)

EN 16798-1 Allegato nazionale italiano

Categoria di IAQ	I
Uso finale dell'edificio	Educazione
Tipo di spazio	Scuole primarie e superiori, aule universitarie, laboratori e :
Tipologia edificio	Non poco inquinante

Figura 7 -Input: EN 16798.1, dati dell'Allegato A italiano.

Per calcolare la portata correlata devono essere assegnati anche gli input 1), 2) e 11).

13. Parametri calcolati dallo strumento

Il pannello grigio riporta alcuni input e parametri intermedi calcolati che sono significativi per l'interpretazione della portata d'aria pulita basata sulla salute e per altre portate standardizzate.

Parametri intermedi calcolati		
Numero di occupanti suscettibili	19	[-]
Frequenza respiratoria degli occupanti infettivi	0.54	[m ³ /h]
Frequenza respiratoria degli occupanti suscettibili	0.49	[m ³ /h]
Tasso mediano di emissione individuale di patoge	2.73	[quanta/(h pers)]
Tasso di emissione individuale equivalente	40.58	[quanta/(h pers)]
Volume dell'ambiente	150	[m ³]
Probabilità individuale di infezione	2.63	[%]
Soglia di CO ₂ per la categoria di IAQ scelta	550	[ppm ab.out]

Figura 8 -Parametri calcolati

Questi parametri sono:

1. **Numero di occupanti suscettibili:** numero di occupanti meno numero di occupanti infettivi
2. **Frequenza respiratoria degli occupanti infettivi:** per ciascun singolo occupante infettivo calcolata in base all'input 3) (attività dell'occupante infettivo) e 4) (livello di attività dell'occupante infettivo)
3. **Frequenza respiratoria degli occupanti suscettibili:** per ciascun singolo occupante suscettibile calcolata in base all'input 5) (livello di attività degli occupanti suscettibili)
4. **Tasso di emissione individuale di patogeni, valore mediano:** è il valore mediano del tasso medio di emissione individuale di quanta per singolo occupante infettivo calcolato con una procedura stocastica per tenere conto delle potenziali differenze di emissione da parte di diversi soggetti. Dipende dal patogeno scelto e dalla frequenza respiratoria degli occupanti infettivi, parametro intermedio 2).
5. **Tasso di emissione individuale equivalente di quanta:** questo tasso di emissione individuale di quanta è un valore equivalente che deriva dall'applicazione inversa della distribuzione di probabilità di Poisson ($R_I = 1 - e^{-\frac{ER_{q,av,eq}}{\lambda V} q_{V;b,in} \cdot t_{ex}}$) alla probabilità di rischio di infezione individuale calcolata tramite simulazione di Monte Carlo (R_I), cioè $q_{ER,av,eq} = \frac{ER_{q,av,eq}}{I} = -\frac{1}{I} \ln(1 - R_I) \frac{\lambda V}{q_{V;b,in} \cdot t_{ex}}$. È utile per valutare l'impatto della simulazione di Monte Carlo rispetto all'uso diretto della distribuzione individuale del tasso di emissione dei quanti per un dato percentile.
6. **Volume dell'ambiente:** è il prodotto dell'input 11) (area del pavimento) e dell'input 12) (altezza) relativi allo spazio chiuso.
7. **Probabilità individuale di infezione:** è il valore "secondario" degli input 1), 2) e 6) ($R_I = I \cdot R_E/S$), che corrisponde alla probabilità di rischio di infezione individuale composta risultante dalla simulazione di Monte Carlo.
8. **Soglia di CO₂ per la categoria IEQ scelta:** è la soglia di CO₂ che l'EN 16798-1 assegna a ciascuna categoria IAQ da I a IV, ed è utilizzata per calcolare la portata di ventilazione necessaria a limitare a tale soglia la concentrazione di CO₂ dovuta solo alla respirazione umana.

14. Output del programma

Il pannello dei risultati riporta le portate calcolate secondo le diverse procedura. Per ogni metodo la portata d'aria pulita o esterna è indicata in tre diverse unità SI: [m³/h], ricambi d'aria orari [1/h] e [L/(s persona)], come riportato in Figura 9.

Risultati			
Portata di aria pulita basata sulla salute			
3646.3	[m ³ /h]	24.31	[1/h]
50.64	[L/(s pers)]		
EN 16798-1 Portata di ventilazione per IAQ percepita			
1080	[m ³ /h]	7.2	[1/h]
15	[L/(s pers)]		
Portata di ventilazione basta sulla CO2 respiratoria			
565.9	[m ³ /h]	3.77	[1/h]
7.86	[L/(s pers)]		
ASHRAE 62.1 Ventilation air flow rate			
327.6	[m ³ /h]	2.18	[1/h]
4.55	[L/(s pers)]		
prEN 16798-1-3 Portata di ventilazione per patogeni respiratori			
554.4	[m ³ /h]	3.7	[1/h]
7.7	[L/(s pers)]		
ASHRAE 241 Portata d'aria esterna equivalente			
1800	[m ³ /h]	12	[1/h]
25	[L/(s pers)]		
EN 16798-1 Portata d'ria secondo l'allegato nazionale italiano			
766.8	[m ³ /h]	5.11	[1/h]
10.65	[L/(s pers)]		

Figura 9 -Portate di uscita.

dove:

- Il pannello verde chiaro riporta la portata d'aria pulita basata sulla salute;
- Il pannello magenta chiaro riporta la portata di ventilazione per IAQ percepita della EN 16798-1;
- Il pannello viola chiaro riporta la portata di ventilazione per CO₂ dovuta alla sola respirazione umana, calcolata utilizzando la procedura prestazionale della EN 16798-1 e le soglie riportate per ciascuna categoria di qualità;
- Il pannello salmone chiaro riporta la portata d'aria di ventilazione della ASHRAE 62.1;
- Il pannello grigio chiaro riporta la velocità di ventilazione per la trasmissione aerotrasportata della prEN 16798-1-3
- Il pannello giallo chiaro riporta la portata d'aria esterna equivalente dell'ASHRAE 241
- Il pannello arancione chiaro riporta la portata di ventilazione per IAQ percepita dell'allegato italiano A alla EN 16798-1.

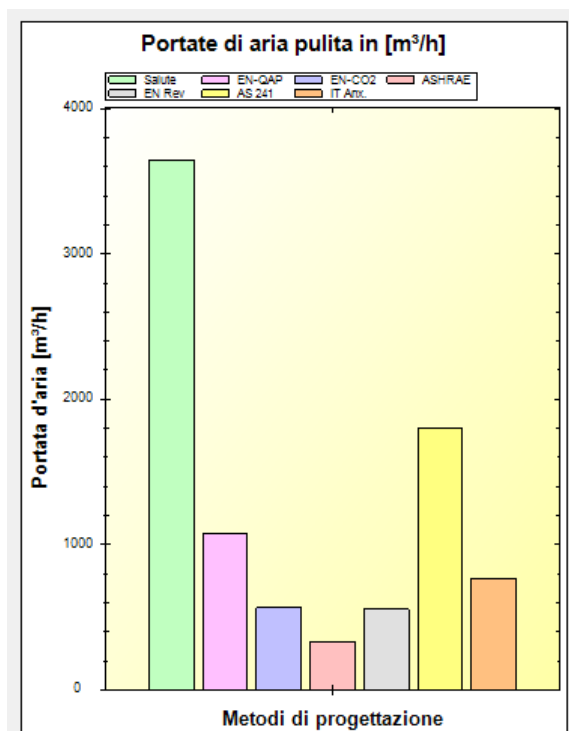


Figura 10 -Grafico delle portate.

15. Osservazioni finali

In alcune circostanze (attività e livello di attività molto bassi di una sola persona infettiva, e bassa infettività del patogeno considerato), il flusso d'aria pulita basato sulla salute può risultare nullo. Ciò è dovuto al fatto che, secondo le ipotesi del modello utilizzato (vedi il Manuale di Ingegneria per dettagli), il numero richiesto di riproduzione dell'evento e la probabilità di rischio di infezione individuale impostata in input possono essere soddisfatti semplicemente tramite decadimento naturale dovuto al tasso di decadimento dell'infettività e al tasso di deposizione. Naturalmente, ciò non significa necessariamente che non si verificherà la propagazione delle infezioni, né che la ventilazione possa essere evitata: ciò è comunque necessario per motivi di qualità dell'aria come indicato dagli standard riportati.

Per evitare malintesi, quando si verifica questa situazione, in cima al grafico viene mostrata una casella gialla che riporta tale spiegazione (vedi Figura 11) .

I soli tassi di decadimento e deposizione del virus sono sufficienti per ottenere la probabilità di infezione individuale richiesta

Figura 11 -Scatola di avvertimento.

16. Riconoscimenti

Questo strumento è stato costruito sui lavori svolti da Giorgio Buonanno, Alex Mikszewski, Lidia Morawska, Antonio Pacitto e Luca Stabile riportati nei riferimenti. Un ringraziamento speciale a Giorgio Buonanno e Alex Miksewsky per le loro verifiche e le spiegazioni, così come un ringraziamento speciale per i loro commenti deve essere rivolto sia al gruppo di revisione REHVA, al gruppo di revisione IEQ-GA e al gruppo di revisione AiCARR. Il gruppo di revisione REHVA è composto da Pierre Caquelin, Michal Krajcik, Jarek Kurnisky, Jiannan Luo. Il gruppo di revisione IEQ-GA è composto da William Bahnfleth, Chris Iddon, Arnold Janssens, Benjamin Jones. I gruppo di revisione AiCARR non è stato reso pubblico.

Infine un ringraziamento speciale a Pablo Carnero Melero per il suo lavoro di coordinamento sui commenti ricevuti e a Luca Piterà, segretario generale AiCARR, per il suo supporto e le revisioni durante lo sviluppo.

17. Disclaimer

Questo strumento è fornito così com'è ed è distribuito nella speranza che possa essere utile, ma SENZA ALCUNA GARANZIA, senza nemmeno la garanzia implicita di COMMERCIALITÀ dell'IDONEITÀ A UNO SCOPO PARTICOLARE. L'autore declina ogni responsabilità per l'uso improprio dei risultati dello strumento.

18. Riferimenti

ASHRAE, 2022. Ventilation and Acceptable Indoor Air Quality. ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2022. ASHRAE, Peachtree Corners, Georgia, USA

ASHRAE, 2023. Control of Infectious Aerosol. ASHRAE Standard 241-2023. ASHRAE, Peachtree Corners, Georgia, USA

Buonanno G., Stabile L., Morawska L., 2020a. Estimation of Airborne Viral Emission: Quanta Emission Rate of SARS-CoV-2 for Infection Risk Assessment. *Environment International*. <https://doi.org/10.1101/2020.04.12.20062828>

Buonanno G., Morawska L., Stabile L., 2020b. Quantitative Assessment of the Risk of Airborne Transmission of SARS-CoV-2 Infection: Prospective and Retrospective Applications. *Environment International*. <https://doi.org/10.3201/eid0303.970310>

CEN. 2019. Energy performance of buildings - Ventilation for buildings - Part 1: Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics - Module M1-6. EN 16798-1 Standard. Brussels: European Committee for Standardization.

CEN. 2025. Energy performance of buildings - Indoor environmental parameters - Part 1.3: Design and assessment of indoor air quality. CEN/TC 156/WG 25 N 96- 2025-05-14 working document (private communication).

Gammaitoni L., Nucci M.C., 1997. Using a Mathematical Model to Evaluate the Efficacy of TB Control Measures. *Emerg. Infect. Dis.* 335-342. <https://doi.org/10.3201/eid0303.970310>

Jones B., Iddon C., Zaatari M., Wargocki P. 2025. Risk modeling for ASHRAE Standard 241-2023 – Control of infectious. *Building and Environment* 283,113318. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2025.113318>

Kurnitski J., Kiil M., Mikola A., Vösa K.-V., Aganovic A., Schild P., Seppänen O., 2023. Post-COVID ventilation design: Infection risk-based target ventilation rates and point source ventilation effectiveness, *Energy and Buildings*, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113386>

Mazzarella L. 2026. Health-based IAQ Design Calculator. Engineering Manual. REHVA Report.

Mikszewski A., Buonanno G., Stabile L., Pacitto A., Morawska L., 2021. Airborne Infection Risk Calculator.

<https://research.qut.edu.au/ilagh/wp-content/uploads/sites/174/2021/04/AIRC-v3.0-Beta-Draft-Manual.pdf>

Mikszewski A., Stabile L., Buonanno G., Morawska L., 2022. The airborne contagiousness of respiratory viruses: A comparative analysis and implications for mitigation. *Geoscience Frontiers* 13, 101285, <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2021.101285>

Riley E.C., Murphy G., Riley R.L., 1978. Airborne spread of measles in a suburban elementary school. *Am. J. Epidemiol.* 1978;107:421-432. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aje.a112560>.

Wells W, 1955. Airborne contagion and air hygiene: an ecological study of droplet infections. *J. Am. Med. Assoc.* 1955;159:90. <https://doi.org/10.1001/jama.1955.02960180092033>.