



QAES - Qualità dell'Aria negli Edifici Scolastici

Corso di formazione QAES: "Progettare, gestire e migliorare la qualità dell'aria nelle scuole"

La qualità dell'aria interna (IAQ): introduzione e concetti base

Programma di Cooperazione Interreg V A "Italia – Svizzera 2014-2020"
Progetto "Qualità dell'Aria negli Edifici Scolastici - QAES" (ID n. 613474)



About me



Senior researcher presso Eurac Research

- Temi di ricerca: indoor environmental quality (IEQ), salubrità & comfort nell'ambiente costruito
- Esperienza in modellazione numerica, ad esempio CFD, programmazione (Python), e ricerca sperimentale
- Coordinatore progetti FESR «New-Air» e H2020 «MEZeroE»
- Membro dell'IEA EBC annex 86 «Energy Efficient Smart IAQ Management for residential buildings »
- Membro di tre ASHRAE Technical Committees:
 - 2.1 «Physiology and Human Environment»
 - 2.3 «Gaseous Air Contaminants and Gas Contaminant Removal Equipment»
 - 4.10 «Indoor Environmental Modeling»

PhD - Loughborough University

- Part of LoLo, the London – Loughborough EPSRC Centre for Doctoral Research in Energy Demand (Loughborough and UCL)



Contenuti

- Composizione dell'aria e unità di misura
- Qualità dell'aria interna:
 - Che cos'è?
 - Inquinanti interni e fonti di inquinamento
 - Aspetti di salute e comfort legati alla qualità dell'aria interna
- Ventilazione per una qualità dell'aria interna accettabile
 - Requisiti di ventilazione per salute e comfort
 - Efficacia della ventilazione



Composizione dell'aria esterna

- L'aria secca esterna è composta da:
 - Azoto (N_2) 78.09%
 - Ossigeno (O_2) 20.9%
 - Argon (Ar) 0.93%
 - Anidride carbonica (CO_2) 0.04% (400ppm)
 - altri componenti (incluse particelle) 0.04%
- L'aria umida può contenere fino al 7% in volume di vapore acqueo



Unità di misura

- Concentrazione (numero # per volume d'aria)
 - # molecole per m^3 (sostanze molto reattive)
 - # particelle per m^3 (particolati)
 - # colonie o cellule per m^3 (sostanze biologiche)
- Concentrazione (massa per volume d'aria)
 - ng/m^3 (metalli e composti organici semi-volatili)
 - $\mu g/m^3$ (particolati e composti organici volatili indoor)
 - mg/m^3 (elementi maggiori, ad esempio generati da cottura)
- Concentrazione molare
 - Frazione molare ($y_i = mol_i / mol_{aria}$)
 - Percentuale ($100 * y_i$)
 - Parti per milione ($1ppm = 10^{-6} * y_i$)
 - Parti per miliardo ($1ppb = 10^{-9} * y_i$)

Attenzione alle unità di misura
quando si confrontano strumenti o
valori da normative e linee guida



Che cos'è la qualità dell'aria interna (IAQ)?

- **Aria interna:** «aria all'interno di un edificio occupato per almeno un'ora da persone con diversi stati di salute» (NHMRC, 2003)
- **Qualità dell'aria:** «caratteristica del clima interno di un edificio che include composizione gassosa, temperatura, umidità relativa e livelli di inquinanti aerei» (IEA, 2001)
- **IAQ:** «natura dell'aria che ha un effetto su salute e benessere degli occupanti»



Perché parlare di IAQ è così importante oggi?



1. Edifici molto ermetici
2. Fonti non percepibili dalle persone né “note” alla persona comune



Fattori che hanno un effetto su IAQ



(Environmental Testing Company 2012)

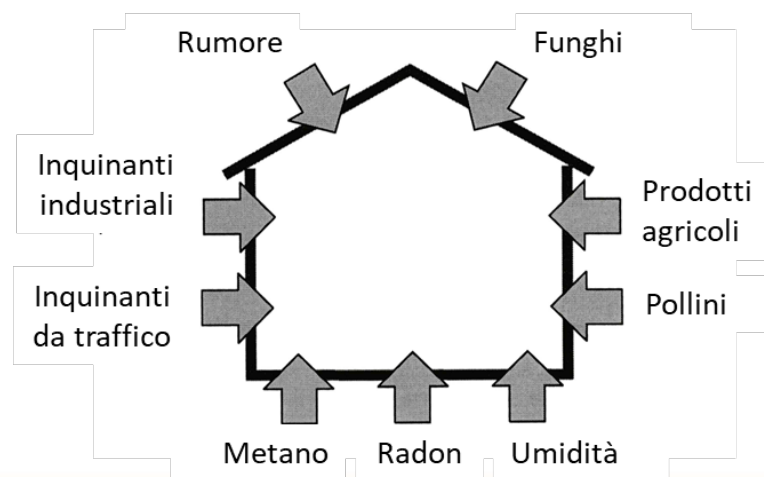


Fonti di inquinamento esterne

- **Inquinanti industriali:**
 - NO₂ and SO₂
 - Ozono
 - Piombo
 - Composti organici volati (VOC)
 - Fumo e particolati
- **Inquinamento da traffico**
 - Monossido di carbonio
 - Particolato
 - Piombo
 - Ossidi di azoto (NO_x)
- **Inquinamento rurale**
 - Pollini
 - Funghi
 - Prodotti chimici usati in agricoltura

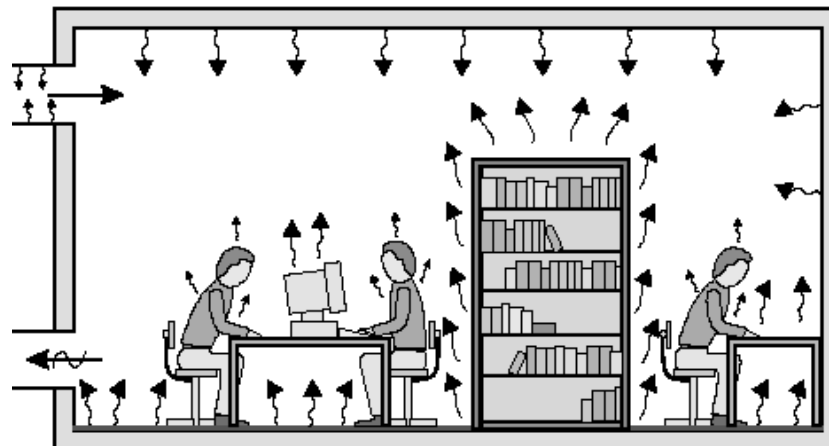
- **Inquinamento dal suolo:**

- Radon
- Metano
- Umidità



Fonti di inquinamento interne

- Persone
- Materiali da costruzione
- Mobili
- Tappezzeria
- Strumentazione da ufficio
- Cucinare



Inquinanti interni comuni

- **Inquinanti emessi dalle persone:**

- Anidride carbonica (CO₂)
- Odori
- Umidità

- **Particolato:**

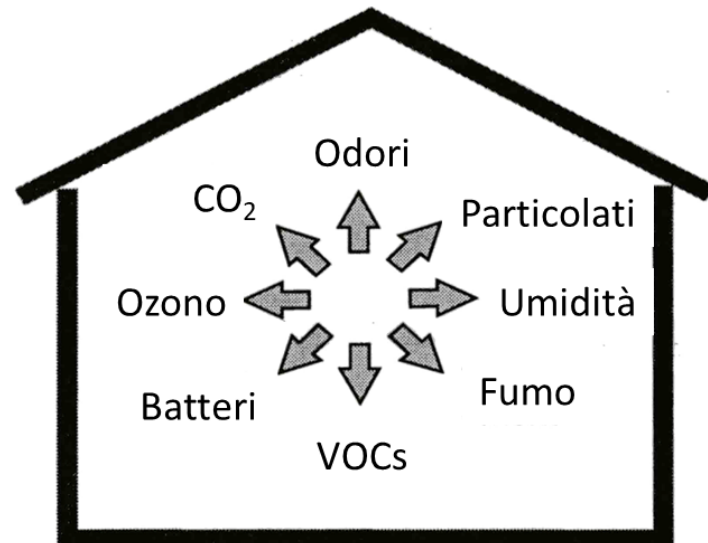
- Polveri
- Fibre

- **Fumo**

- **VOCs (formaldeide)**

- **Batteri e virus**

- **Ozono**





Anidride carbonica (CO₂)

- 0.04% dell'atmosfera terrestre
- Gas inodore e non tossico
- Ad alte concentrazioni ha un impatto negativo sulla respirazione (asfissiante)
- Più importante inquinante emesso dalle persone
- È un buon indicatore degli altri inquinanti emessi dalle persone
- Usato come indicatore per la ventilazione





Fumo di tabacco

- Principale fonte di inquinamento interno
- Il fumo di tabacco contiene oltre 3000 sostanze fra cui idrocarburi policiclici aromatici (PAH), CO, particolato sottile e odori
- Effetti nocivi sulla salute: irritazione degli occhi, mal di testa, infiammazione di naso e gola, cancro
- Richiede molta più ventilazione





Composti organici volatili (VOCs)

- Ampia gamma di composti con temperatura di ebollizione fra 50°C – 260°C
- Alcuni VOCs sono stati definiti tossici, mentre non è ancora noto l'effetto di altri
- Odore spesso molto forte:
 - TVOC < 300 mg/m³: lamentele improbabili
 - 300 mg/m³ < TVOC < 3000 mg/m³: lamentele possibili
 - TVOC > 3000 mg/m³: lamentele probabili



Batteri e virus

- Batteri e virus presenti nell'aria possono generare infezioni, anche se il rischio è spesso basso
- Legionella e «febbre da umidificatore» possono essere causate da cattiva manutenzione dei sistemi HVAC
- Micro-organismi come funghi e muffe
- Acari della polvere
- Connessione possibile con reazioni allergiche e asma



«dopo due anni di utilizzo, un terzo del peso di un cuscino è composto da cellule di pelle morta, insetti e acari morti e loro prodotti»

news.discovery.com/human

Sick Building Syndrome (SBS)

- «Sindrome da edificio malato»
- Non ci sono cause identificabili
- Sintomi persistenti per almeno il 20% degli occupanti
- I sintomi si alleviano una volta lasciato l'edificio
- Sintomi: irritazione a occhi, naso gola; irritabilità; mal di testa; pelle secca e sfoghi cutanei; fatica; congestione nasale; difficoltà di concentrazione; difficoltà respiratorie





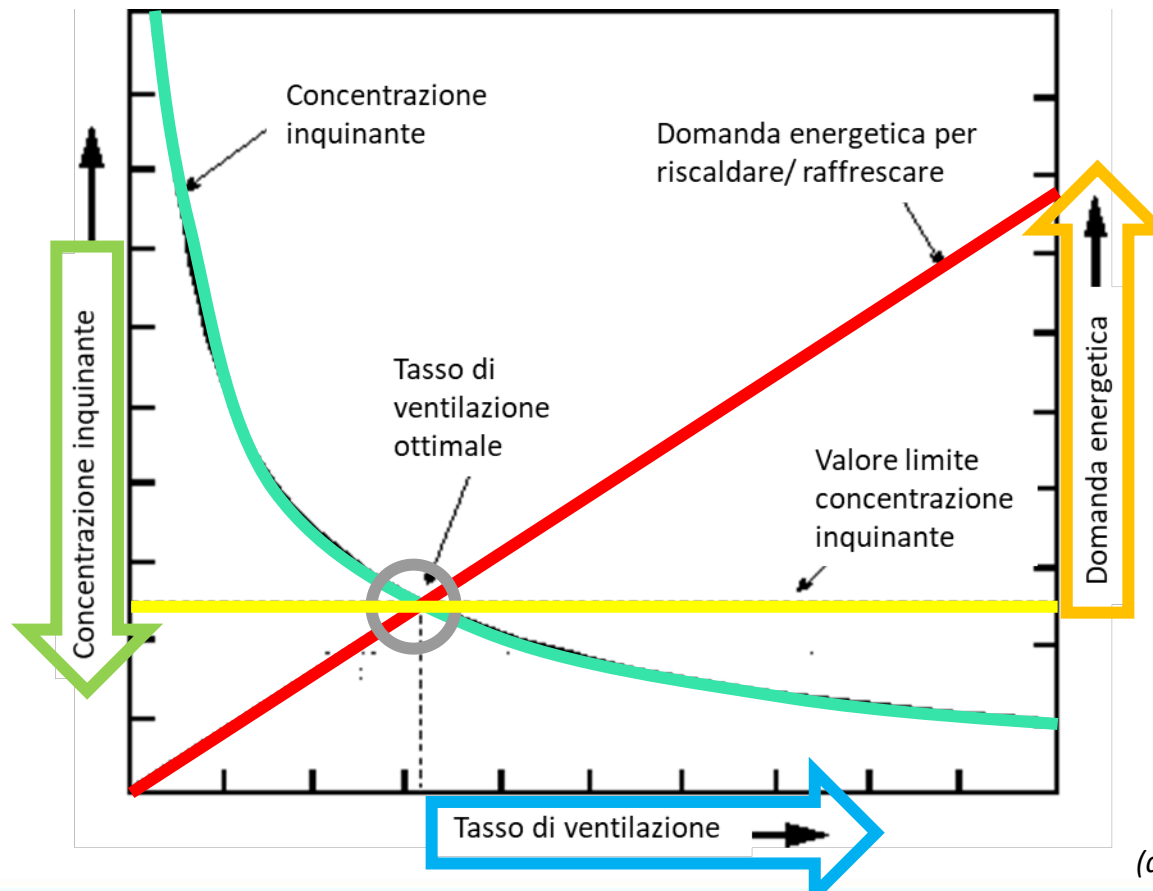
Building Related Illness (BRI)

- «Malattia collegata all'edificio»
- Malattia legata all'esposizione a inquinanti dell'aria interna
- Causa chiara e identificabile (spesso chimica o biologica)
- Spesso stato avanzato di SBS
- Sintomi specifici, fra cui: tosse, dolori al petto, febbre, brividi, dolori muscolari
- Spesso richiede un tempo di recupero lungo e può diventare cronica





IAQ, ventilazione e domanda energetica



(adattato da Liddament, 1996)



Qualità dell'aria interna accettabile

«Aria in cui non sono presenti contaminanti noti a concentrazioni nocive in base a quanto determinato dalle autorità competenti e con cui una larga maggioranza (80% o più) delle persone esposte non esprime insoddisfazione»

(tradotto da ASHRAE, 2016)



Criteri per progettare la ventilazione

- **Soggettivi**

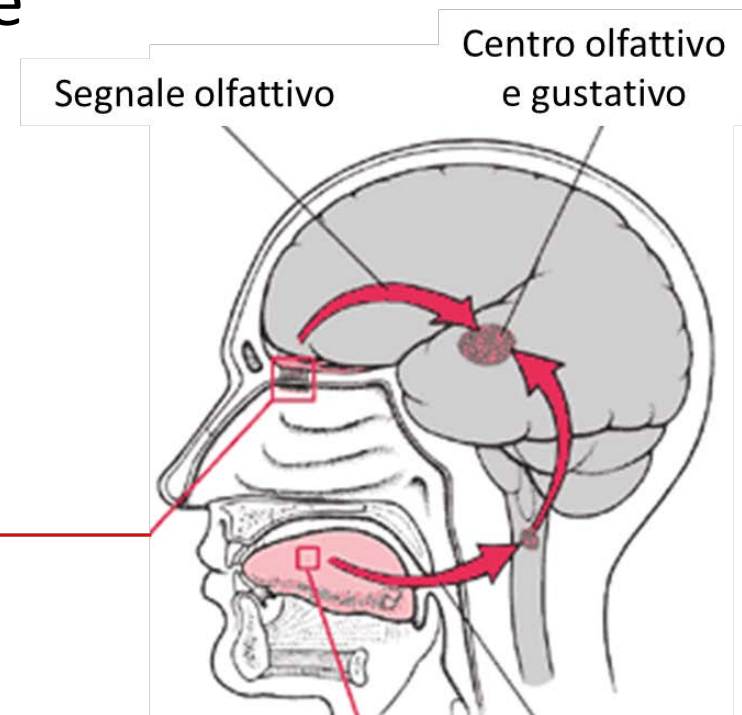
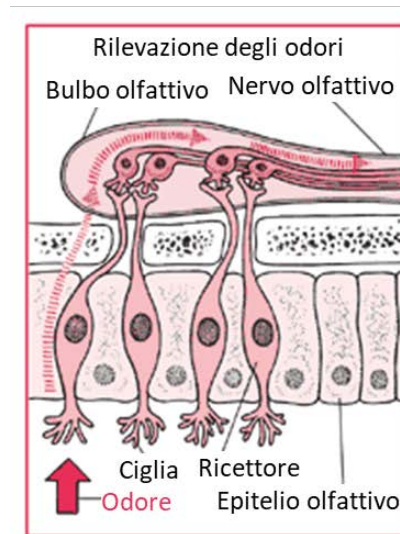
- Basati sui sensi
- Qualità dell'aria percepita

- **Oggettivi**

- Basati su linee guida e normative (*ad esempio: WHO Regional Publication: Air Quality Guidelines for Europe, 2nd Edition. 2001*)

Percezione umana della qualità dell'aria

- Percezione chimica generale
- Olfatto





Qualità dell'aria percepita: olf

1 olf: tasso di emissione di odore di una persona «standard»

- Persona standard: persona adulta in condizioni termiche neutre
- 1 met (seduto tranquillo) = 58.2 W/m² produzione metabolica

Source	Sensory Load
Sedentary person (1 to 1.5 met)	1 olf
Person exercising	
Low level (3 met)	4 olf
Medium level (6 met)	10 olf
Children, kindergarten (3 to 6 yrs)	1.2 olf
Children, school (4 to 16 yrs)	1.3 olf
Low-polluting building	0.1 olf/m ²
Non-low-polluting building	0.2 olf/m ²

Source: CEN (1998).

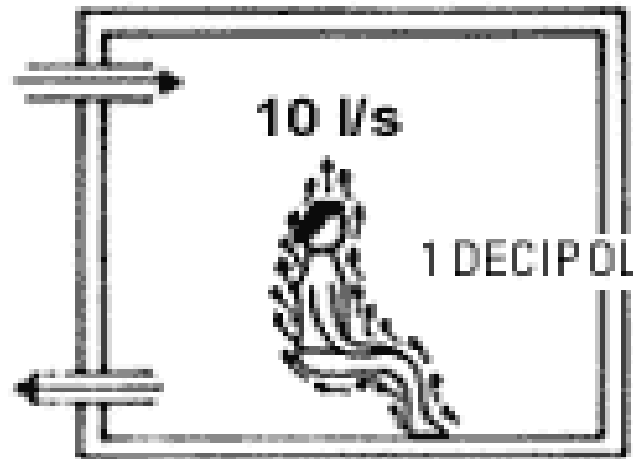
L'intensità dalla maggior parte delle fonti di inquinamento interno può essere espressa come il numero di persone standard («persone equivalenti») necessarie per rendere l'aria tanto fastidiosa quanto il livello generato dalla fonte stessa.



Qualità dell'aria percepita: decipol (dp)

1 dp: qualità dell'aria in uno spazio con una fonte inquinante con un'intensità di 1 olf ventilata con 10 l/s di aria pulita

$$1 dp = 0.1 \frac{olf}{l/s}$$



Qualità dell'aria percepita: percentuale di insoddisfatti (D)

D: percentuale di persone che considera la qualità dell'aria percepita non accettabile

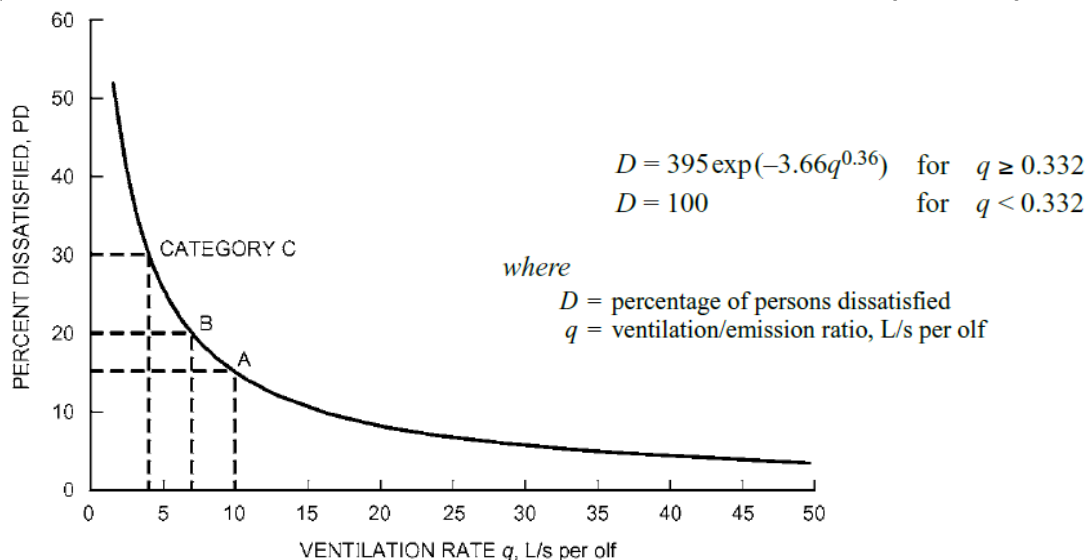


Fig. 5 Percentage of Dissatisfied Persons as a Function of Ventilation Rate per Standard Person (i.e., per Olf)
 (CEN 1998)



Categoria di qualità dell'aria percepita

Categoria	Percentuale insoddisfatti [%]	Decipol [dp]	Tasso di ventilazione richiesto [l/s per olf]
A	15	1.0	10
B	20	1.4	7
C	30	2.5	4



Definire il carico di inquinamento

- **Carico chimico**

- Tasso/fattore di emissione di ciascun inquinante
- Espresso in $\mu\text{g/s}$ or $\mu\text{g}/(\text{m}^2\text{s})$
- Somma delle varie fonti

- **Carico sensoriale/percepito**

- Causato da fonti inquinanti che influenzano la qualità dell'aria percepita
- Espresso in olf
- Somma delle varie fonti



Inquinamento generato dalle persone

	Carico sensoriale [olf/persona]	CO2 [l/h/persona]	CO [l/h/persona]	Vapore acqueo [g/h/persona]
Sedentarie				
0% fumatori	1	19	-	50
20% fumatori	2	19	11×10^{-3}	50
40% fumatori	3	19	21×10^{-3}	50
Attive				
Livello basso (3 met)	4	50	-	200
Livello medio (6 met)	10	100	-	430
Livello alto (10 met)	20	170	-	730
Bambini				
3-6 anni (2.7 met)	1.2	18		90
14-16 anni (1.0-1.2 met)	1.3	19		20

(tradotto da BSI, 1999)



Esempi di carico sensoriale per tipo di edificio

	Media [olf/m ²]	Range [olf/m ²]
Edifici esistenti		
Uffici	0.3	0.02-0.95
Uffici (<i>altro studio</i>)	0.6	0.00-3.00
Scuole (classe)	0.3	0.12-0.54
Asili	0.4	0.20-0.74
Atrii	0.3	0.13-1.32
Edifici nuovi (senza fumo di tabacco)		
Edifici poco inquinanti	0.1	
Edifici standard	0.2	

(tradotto da BSI, 1999)



Qualità dell'aria esterna

	Percepita [dp]	CO2 [mg/m3]	CO [mg/m3]	NO2 [µg/m3]	SO2 [µg/m3]	Particolati [µg/m3]
Eccellente	0	680	0.0-0.2	2	1	<30
In città, buona qualità	<0.1	700	1.0-2.0	5-20	5-20	40-70
In città, scarsa qualità	>0.5	700-800	4.0-6.0	50-80	50-10	>100

NB: non c'è una relazione diretta fra qualità dell'aria percepita e i valori riportati in tabella. I valori «percepiti» sono le tipiche medie giornaliere. I valori degli inquinanti sono medie annuali.

(tradotto da BSI, 1999)



Efficacia della ventilazione

- La qualità dell'aria può variare in un certo spazio
- Il focus primario è la zona in cui si respira
- Una distribuzione dell'aria disomogenea altera i requisiti della ventilazione

Efficacia della ventilazione: è la modalità in cui l'aria pulita in entrata e quella inquinata si mescolano con la massa d'aria in una zona

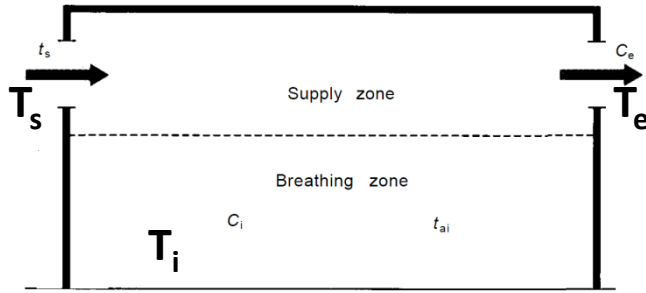
$$\varepsilon_v = \frac{C_e - C_s}{C_i - C_s}$$

Dove:

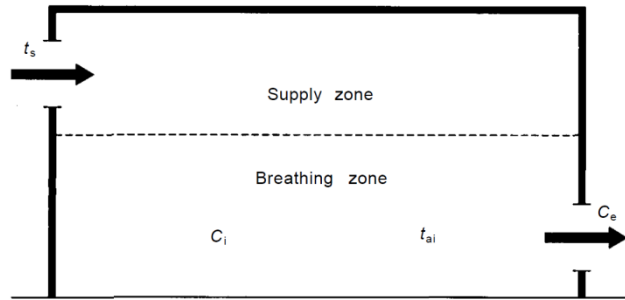
C_e concentrazione inquinante aria esausta

C_s concentrazione inquinante aria entrante

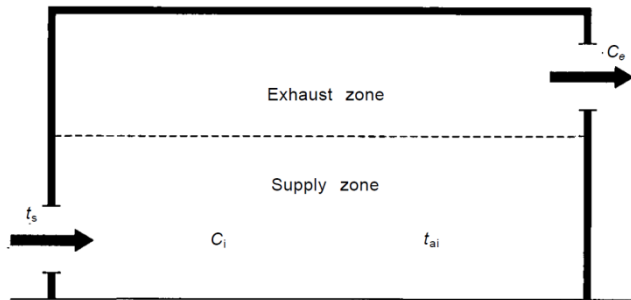
C_i concentrazione inquinante nella zona dove si respira



(a)



(b)



(c)

Tipologia	$T_s - T_i$ [K]	ϵ_v [-]
Mixing (uscita dall'alto)	< 0	0.9 – 1.0
	0 – 2	0.9
	2 – 5	0.8
	> 5	0.4 – 0.7
Mixing (uscita dal basso)	< -5	0.9
	$(-5) - 0$	0.9-1.0
	> 0	1.0
Displacement (lett. Rimozione, spostamento)	< 0	1.2 – 1.4
	0 – 2	0.7 – 0.9
	> 2	0.2 – 0.7



Ventilazione per il comfort

$$Q_C = 10 \times \frac{G_C}{C_{C,i} - C_{C,o}} \times \frac{1}{\varepsilon_v}$$

Q_C portata di ventilazione richiesta [L/s]

G_C carico inquinamento sensoriale [olf]

$C_{C,i}$ target IAQ percepita [decipol]

$C_{C,o}$ livello IAQ percepita in mandata [decipol]

ε_v efficacia della ventilazione [-]



Ventilazione per la salubrità

$$Q_h = 10 \times \frac{G_h}{C_{h,i} - C_{h,o}} \times \frac{1}{\varepsilon_v}$$

Q_h portata di ventilazione richiesta [L/s]

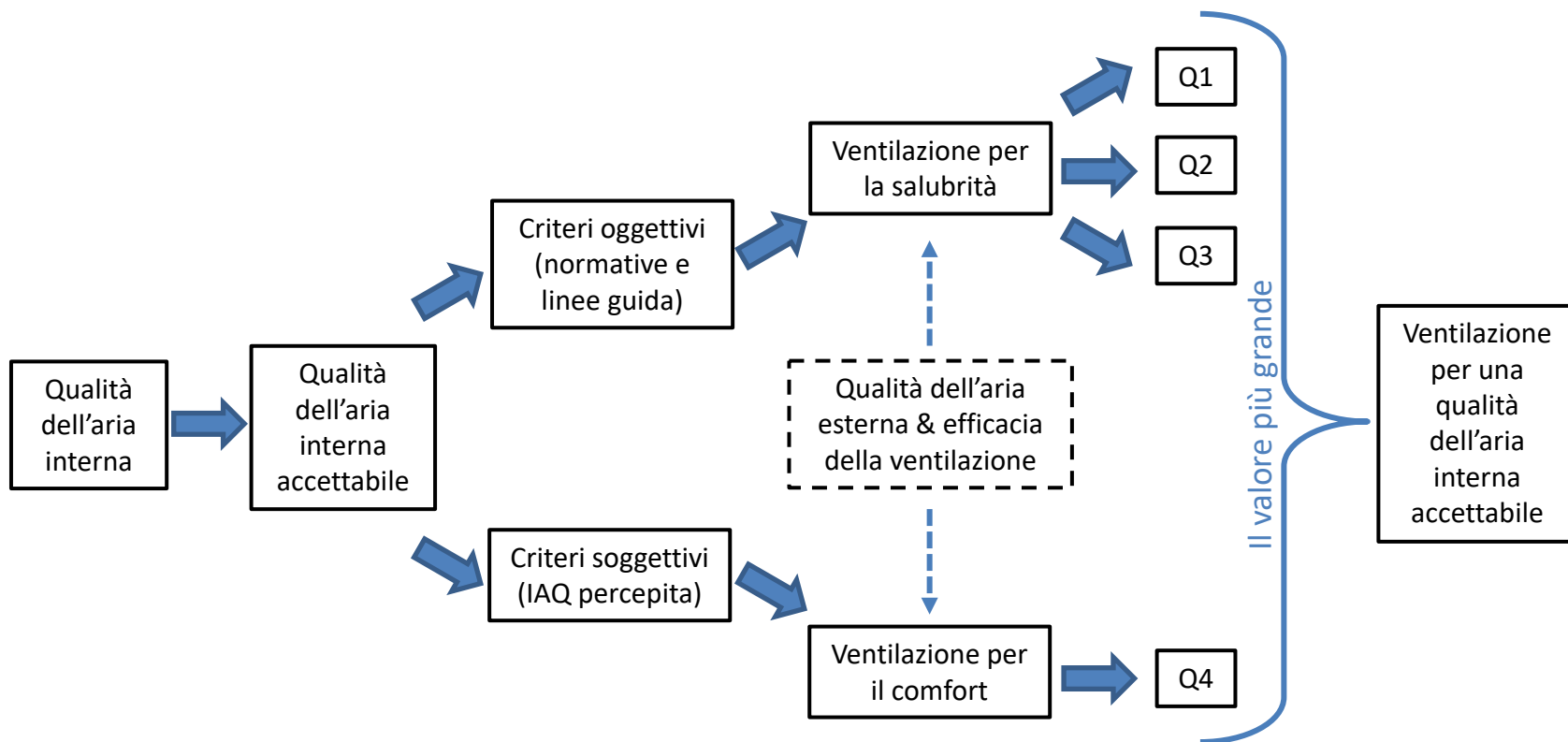
G_h carico inquinamento da un inquinante [$\mu\text{g/s}$]

$C_{h,i}$ valore target dell'inquinante [$\mu\text{g/L}$]

$C_{h,o}$ concentrazione dell'inquinante in mandata [$\mu\text{g/L}$]

ε_v efficacia della ventilazione [-]

Riassunto: IAQ & ventilazione





Referenze e fonti utili



ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2016
 (Supersedes ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2013)
 Includes ANSI/ASHRAE addenda listed in Appendix K

Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality

See Appendix K for approval dates by the ASHRAE Standards Committee, the ASHRAE Board of Directors, and the American National Standards Institute.

This Standard is under continuous maintenance by a Standing Standard Project Committee (SSPC) for which the Standards Committee has established a documented program for regular publication of addenda or revisions, including procedures for timely, documented, consensus action on requests for change to any part of the Standard. The change submittal form, instructions, and deadlines may be obtained in electronic form from the ASHRAE website (www.ashrae.org) or in paper form from the Senior Manager of Standards. The latest edition of an ASHRAE Standard may be purchased from the ASHRAE website (www.ashrae.org) or from ASHRAE Customer Service, 1791 Tullie Circle, NE, Atlanta, GA 30329-2305. E-mail: orders@ashrae.org. Fax: 678-539-2129. Telephone: 404-636-8400 (worldwide), or toll free 1-800-527-4723 (for orders in US and Canada). For reprint permission, go to www.ashrae.org/permissions.

© 2016 ASHRAE ISSN 1041-2336



EUROPEAN STANDARD

EN 16798-1

NORME EUROPÉENNE

EUROPÄISCHE NORM

May 2019

ICS 91.120.10; 91.140.01

Supersedes [EN 15251:2007](#)

English Version

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



Referenze e fonti utili



Contributors
Preface
Technical Committees, Task Groups, Technical Resource Groups, and Multidisciplinary Task Groups

PRINCIPLES

F01. Psychrometrics
F02. Thermodynamics and Refrigeration Cycles
F03. Fluid Flow
F04. Heat Transfer
F05. Two-Phase Flow
F06. Mass Transfer
F07. Fundamentals of Control
F08. Sound and Vibration

INDOOR ENVIRONMENTAL QUALITY

F09. Thermal Comfort
F10. Indoor Environmental Health
F11. Air Contaminants
F12. Odors
F13. Indoor Environmental Modeling

BUILDING ENVELOPE

F25. Heat, Air, and Moisture Control in Building Assemblies—Fundamentals
F26. Heat, Air, and Moisture Control in Building Assemblies—Material Properties
F27. Heat, Air, and Moisture Control in Building Assemblies—Examples

MATERIALS

F28. Combustion and Fuels
F29. Refrigerants
F30. Thermophysical Properties of Refrigerants
F31. Physical Properties of Secondary Coolants
F32. Sorbents and Desiccants
F33. Physical Properties of Materials

LOAD AND ENERGY CALCULATIONS

F14. Climate Design Information
F15. Fenestration
F16. Ventilation and Infiltration
F17. Residential Cooling and Heating Load Calculations
F18. Nonresidential Cooling and Heating Load Calculations
F19. Energy Estimating and Modeling Methods

HVAC DESIGN

F20. Space Air Diffusion
F21. Duct Design
F22. Pipe Sizing
F23. Insulation for Mechanical Systems
F24. Airflow Around Buildings

GENERAL

F34. Energy Resources
F35. Sustainability
F36. Moisture Management in Buildings
F37. Measurement and Instruments
F38. Abbreviations and Symbols
F39. Units and Conversions
F40. Codes and Standards

Additions and Corrections to the 2014, 2015, and 2016 volumes

Index

CHAPTER 10

INDOOR ENVIRONMENTAL HEALTH

<i>Background</i>	10.1	<i>Outdoor Air Ventilation and Health</i>	10.16
<i>Descriptions of Selected Health Sciences</i>	10.3	<i>PHYSICAL AGENTS</i>	10.17
<i>Hazard Recognition, Analysis, and Control</i>	10.4	<i>Thermal Environment</i>	10.17
<i>AIRBORNE CONTAMINANTS</i>	10.4	<i>Electrical Hazards</i>	10.19
<i>Particles</i>	10.4	<i>Mechanical Energies</i>	10.19
<i>Gaseous Contaminants</i>	10.10	<i>Electromagnetic Radiation</i>	10.22
		<i>Ergonomics</i>	10.24

CHAPTER 11

AIR CONTAMINANTS

<i>Classes of Air Contaminants</i>	11.1	<i>Outdoor Air Contaminants</i>	11.15
<i>PARTICULATE CONTAMINANTS</i>	11.2	<i>Industrial Air Contaminants</i>	11.15
<i>Particulate Matter</i>	11.2	<i>Nonindustrial Indoor Air Contaminants</i>	11.16
<i>GASEOUS CONTAMINANTS</i>	11.8	<i>Flammable Gases and Vapors</i>	11.18
<i>Volatile Organic Compounds</i>	11.12	<i>Combustible Dusts</i>	11.18
<i>Semivolatile Organic Compounds</i>	11.14	<i>Radioactive Air Contaminants</i>	11.19
<i>Inorganic Gases</i>	11.14	<i>Soil Gases</i>	11.20
<i>AIR CONTAMINANTS BY SOURCE</i>	11.15		

CHAPTER 12

ODORS

<i>Odor Sources</i>	12.1	<i>Odor Sensation Attributes</i>	12.3
<i>Sense of Smell</i>	12.1	<i>Dilution of Odors by Ventilation</i>	12.5
<i>Factors Affecting Odor Perception</i>	12.2	<i>Odor Concentration</i>	12.5
		<i>Off Units</i>	12.6



Referenze e fonti utili

- British Standards PD CR1752:1999 – Ventilation for buildings – Design criteria for the indoor environment
- CIBSE Guide A: Environmental design, 1999.
- CIBSE TM40: 2006 – Health issues in building services
- M. Liddament, A Guide to Energy Efficient Ventilation, 1996
- USEPA. (2003). IAQ Building Education and Assessment Model (I-BEAM).
- Demanega, I., Mujan, I., Singer, B. C., Anđelković, A. S., Babich, F., & Licina, D. (2020). Performance assessment of low-cost environmental monitors and single sensors under variable indoor air quality and thermal conditions. Building and Environment
- Demanega, I. & Babich, F. (2020). Qualità dell'aria nelle abitazioni: cosa respiriamo? Casa&Clima, 84, pp 25-28



Grazie

Francesco Babich
Senior Researcher
Eurac Research

Tel +39 0471 055 678
Francesco.Babich@eurac.edu

<https://www.linkedin.com/in/francescobabich>

