



# Qualità dell'aria negli spazi confinati

**Claudio Buttà**

**Dir. Relazioni Esterne Aldes spa**

# Principali inquinanti indoor

(Fonte: Ministero della Salute, 2001)

- A** – VOC (composti organici volatili): benzene, toluene, formaldeide, composti ossigenati
- B** – Gas prodotti dalla combustione
- C** – Particolato aerodisperso
- D** – Batteri, muffe ed altri organismi
- E** – Derivati organici di animali e dell'uomo
- F** – Amianto e fibre minerali
- G** – Radon
- H** – Fumo di sigaretta

## ▶ Gli inquinanti percepibili



**Odori di cucina e corporali.**



**Vapori d'acqua** contenuti nell'aria o per uso domestico (doccia, cucina, ecc.).



**Fumi di tabacco e di cottura.**

## ▶ Gli inquinanti nascosti



**Allergie**  
Insetti, animali, polline.



**Radon**  
Il radon (gas radioattivo) è presente in natura ed è contenuto nel terreno.



**Composti organici volatili (VOC)** presenti nei prodotti per la pulizia domestica e nei materiali di costruzione.

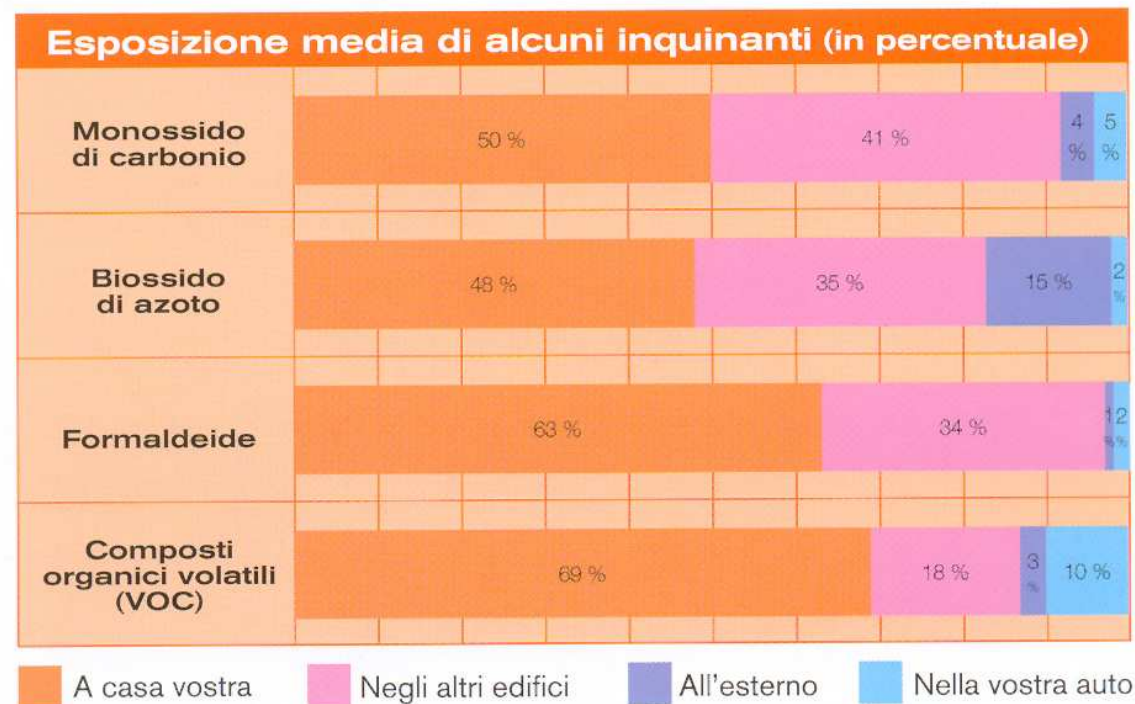


**Monossido di carbonio**  
Il CO si crea per effetto dell'errata combustione nei sistemi di riscaldamento.

# Esposizione ai principali inquinanti indoor- percentuali in 4 zone

Ventilare? Perché?

## Più inquinamento all'interno che all'esterno?



## Alcuni inquinanti presenti nelle residenze

Molte indagini condotte negli Stati Uniti ed in Europa hanno dimostrato che sulla totalità dei casi esaminati la percentuale di “edifici malati” varia tra il 20 ed il 30%;

INQUINANTI	FONTI DI INQUINAMENTO
Prodotti della combustione	riscaldamento a gas (NO <sub>x</sub> , CO), riscaldamento a cherosene (NO <sub>x</sub> , CO, SO <sub>2</sub> ), carbone, forni a legna (PM <sub>10</sub> , CO, IPA idrocarburi policiclici aromatici), fumo di tabacco (PM <sub>10</sub> , CO, VOC), fornelli a gas (NO <sub>x</sub> , CO)...
Contaminanti biologici	trasporto da parte di persone, di animali (virus, forfora e peli di animali, saliva dei gatti), provenienza dal suolo o da frammenti di piante (batteri), muffe (eccessiva UR interna, materiali deteriorati, tappeti e materiali di arredo umidi), polvere, pollini, proteine contenute nell'urina di ratti o gatti, centrali di trattamento dell'aria contaminate , acari...
Prodotti chimici	prodotti usati per la casa, pitture, vernici, cera (contengono solventi organici), prodotti per la pulizia, disinfettanti, cosmetici, sgrassanti e materiali per gli hobbies, formaldeide, pesticidi...
Radon	fratture tra pavimento e pareti del piano terreno, fratture o crepe tra blocchi o mattoni nelle pareti degli edifici, fratture dovute a cedimenti delle strutture, aperture causate da fenomeni di ritiro, corridoi e gioscale in comunicazione con scantinati, aperture attorno a tubazioni, sbocchi, cavi, ecc, impermeabilizzazione difettosa nelle zone di drenaggio; pareti costruite con laterizi composti da scorie d'altoforno.

## Alcuni dati

Inquinanti	Effetti sulla salute	Inquinanti	Effetti sulla salute
Radon	No sintomi immediati. Insorgenza di cancro al polmone in seguito ad esposizioni continuative.	Particolato	Irritazione agli occhi, al naso e alla gola, infezioni del tratto respiratorio, bronchiti, cancro al polmone.
ETS (fumo di sigaretta)	Irritazione al naso, agli occhi ed alla gola; mal di testa; cancro al polmone; disturbi al sistema cardiaco; aumento del rischio di infezioni del tratto respiratorio più basso; aumento della gravità e frequenza degli episodi di asma; diminuzione delle funzioni polmonari.	Contaminanti chimici	Irritazione a occhi, naso e gola, mal di testa, difficoltà di coordinazione, nausea, possibili danni a fegato e reni, possibili danni al sistema centrale, causa di cancro in alcuni animali; sospetta causa di cancro negli esseri umani.
Pb	<u>Livelli di 10 µg/dl nel sangue:</u> diminuzione dello sviluppo fisico e mentale; <u>Oltre 80 µg /dl di sangue:</u> convulsioni, coma ed eventualmente la morte; <u>Livelli più contenuti:</u> diversi effetti sulla salute, sul sistema nervoso, ai reni ed alle cellule.	Contaminanti biologici	Irritazione al naso, agli occhi ed alla gola; difficoltà respiratorie; capogiri; letargia; febbre e problemi digestivi; asma; febbre da umidificatori, influenza ed altri disturbi di carattere infettivo .

Inquinanti	Effetti sulla salute	Inquinanti	Effetti sulla salute
Asbesto	No rischi immediati, ma a lungo termine. Danni a torace, addome e problemi ai polmoni; i fumatori sono a più alto rischio per il rischio di cancro al polmone.	Pesticidi	Irritazione agli occhi, al naso e alla gola, danni al sistema centrale nervoso ed ai reni, aumento del rischio di contrarre il cancro.
NO <sub>2</sub>	Irritazione agli occhi, al naso e alla gola, possibile causa di deterioramento delle funzioni polmonari, possibile aumento delle infezioni respiratorie nei bambini.	Formaldeide	Irritazione agli occhi, al naso e alla gola, respiro affannoso e tosse, affaticamento, problemi alla pelle (allergie cutanee), forti reazioni allergiche, possibile causa di cancro.
CO	<u>A basse concentrazioni (10 ppm):</u> affaticamento nelle persone in salute e dolori al torace nelle persone con problemi cardiaci; <u>ad elevate concentrazioni:</u> disturbi alla vista ed al coordinamento, capogiri e confusione, nausea; <u>a concentrazioni molto elevate:</u> morte.	CO <sub>2</sub>	Valori inferiori a 800 ppm sono indici di buona qualità dell'aria. Valori superiori a 1000 ppm indicano insufficiente igienicità dell'aria.



## Limiti relativi alla qualità dell'aria esterna (US EPA, 1994)

<i>Contaminante</i>	<i>Concentrazione a lungo termine</i>			<i>Concentrazione a breve termine</i>		
	$[\mu\text{g}/\text{m}^3]$	[ppm]	tempo medio	$[\mu\text{g}/\text{m}^3]$	[ppm]	tempo medio
Biossido di zolfo	80	0,03	1 anno	365 <sup>a</sup>	0,14 <sup>a</sup>	24 ore
Particelle ( $PM_{10}$ )	50 <sup>b</sup>	-	1 anno	150 <sup>a</sup>	-	24 ore
Monossido di carbonio	-	-	-	40000 <sup>c</sup>	35 <sup>a</sup>	1 ora
Monossido di carbonio	-	-	-	10000 <sup>a</sup>	9 <sup>a</sup>	8 ore
Ozono	-	-	-	235 <sup>a</sup>	0,12 <sup>a</sup>	1 ora
Biossido di azoto	100	0,055	1 anno	-	-	-
Idrocarburi	-	-	-	160	0,24	3 ore
Piombo	1,5	-	3 mesi	-	-	-

<sup>a</sup> Non più di una volta in un anno.

<sup>b</sup> Media aritmetica.

<sup>c</sup> EPA ha proposto una riduzione a 29 mg/m<sup>3</sup>.

Limiti massimi consentiti per le concentrazioni di inquinanti presenti in atmosfera, ai sensi delle normative nazionali vigenti.

LIMITI MASSIMI DI ACCETTABILITA' DELLE CONCENTRAZIONI E LIMITI MASSIMI DI ESPOSIZIONE RELATIVI AD INQUINANTI DELL'ARIA NELL'AMBIENTE ESTERNO			
STANDARD DI QUALITA' (DPCM 28-03-83)			
Inquinanti	Standard: concentrazione massima ammissibile per un determinato tempo di esposizione	[ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	[ppm]
Biossido di zolfo, $\text{SO}_2$	Media delle concentrazioni medie di 24 ore rilevate nell'arco di 1 anno	80	0,031
Particelle sospese	$P_{98}$ delle concentrazioni medie di 24 ore rilevate nell'arco di 1 anno	250	0,096
	Media delle concentrazioni medie di 24 ore rilevate nell'arco di 1 anno	150	
	$P_{95}$ delle concentrazioni medie di 24 ore rilevate nell'arco di 1 anno	300	
Biossido di azoto, $\text{NO}_2$	Concentrazione media di 1 ora da non superare più di 1 volta al giorno	200	0,106
Ozono, $\text{O}_3$	Concentrazione media di 1 ora da non superare più di 1 volta al mese	200	0,102
Monossido di carbonio CO	Concentrazione media di 8 ore	10000	8734
	Concentrazione media di 1 ora	40000	34936
Piombo	Media aritmetica delle concentraz. medie di 24 ore rilevate in un anno	2	
Fluoro	Concentrazione media di 24 ore	20	
	Media delle concentrazioni medie di 24 ore rilevate in 1 mese	10	
Idrocarburi totali escluso il metano, C	Concentrazione media di 3 ore consecutive in periodo del giorno da specificarsi secondo le zone a cura delle autorità regionali competenti	200	
VALORI LIMITE DI QUALITA' DELL'ARIA (DPR N. 203 DEL 24-05-88)			
Inquinante	Valore limite	Periodo di riferimento	
Biossido di zolfo $\text{SO}_2$	Media delle concentrazioni medie di 24 ore nell'arco di 1 anno: $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$	1° aprile - 31 marzo	
	$P_{98}$ concentrazioni medie di 24 ore rilevate nell'arco di 1 anno: $250 \text{mg}/\text{m}^3$	1° aprile - 31 marzo	
	Media delle concentrazioni medie rilevate durante l'inverno: $130 \mu\text{g}/\text{m}^3$	1° ottobre - 31 marzo	
Biossido di azoto $\text{NO}_2$	$P_{98}$ concentrazioni medie di 1 ora rilevate durante l'anno: $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$	1° gennaio - 31 dicembre	
VALORI GUIDA DI QUALITA' DELL'ARIA (DPR N. 203 DEL 24-05-88)			
Inquinante	Valore limite	Periodo di riferimento	
Biossido di zolfo $\text{SO}_2$	Media aritmetica delle concentrazioni medie di 24 ore rilevate nell'arco di 1 anno: da $40$ a $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Valore medio delle 24 ore: da $100$ a $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$	1° aprile - 31 marzo dalle 00 alle 24 di ciascun giorno	
Biossido di azoto $\text{NO}_2$	$P_{50}$ concentrazioni medie di 1 ora rilevate durante l'anno: $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$	1° gennaio - 31 dicembre	
	$P_{98}$ concentrazioni medie di 1 ora rilevate durante l'anno: $135 \mu\text{g}/\text{m}^3$	1° gennaio - 31 dicembre	
Particelle sospese PTS	Media aritmetica delle concentrazioni medie di 24 ore rilevate nell'arco di 1 anno: da $40$ a $60 \mu\text{g}$ fumo nero equivalente/ $\text{m}^3$ Valore medio delle 24 ore: da $100$ a $150 \mu\text{g}$ fumo nero equivalente/ $\text{m}^3$	1° aprile - 31 marzo dalle 00 alle 24 di ciascun giorno	

$P_{50}$   $P_{95}$   $P_{98}$  rappresentano rispettivamente il 50°, 95° e 98° percentile, definito come serie di valori che dividono la frequenza totale in cento parti uguali.



# Sorgenti e tipiche concentrazioni dei principali inquinanti presenti negli ambienti interni (ASHRAE Handbook, Fundamentals, 1997)

<i>Inquinante</i>	<i>Sorgente</i>	<i>Concentrazione</i>	<i>Rapporto interno/esterno</i>
Monossido di carbonio	Combustione, motori	100 mg/kg	>>1
Particelle respirabili	Sigarette, aerosol, cucine	100-500 µg/m <sup>3</sup>	>>1
Vapori organici	Combustione, solventi, aerosol	—	>1
Biossido di azoto	Sigarette, motori, combustione	200-1000 µg/m <sup>3</sup>	>>1
Biossido di zolfo	Riscaldamento	20 µg/m <sup>3</sup>	<1
Particelle in sospensione (in assenza di fumatori)	Combustione, riscaldamento	100 µg/m <sup>3</sup>	1
Solfati	Fiammiferi	5 µg/m <sup>3</sup>	<1
Formaldeide	Isolamenti, prodotti	0,05-1 mg/kg	>1
Radon	Materiali costruzione, terreno, acque sotterranee	0,1-200 nCi/m <sup>3</sup>	>>1
Asbesto	Protezione incendio	<1000000 fibre/m <sup>3</sup>	1
Fibre sintetiche	Prodotti, vestiti, parati	—	—
Biossido di carbonio	Attività umane, combustione, animali	3000 mg/m <sup>3</sup>	>>1
Organismi viventi	Attività umane, piante, funghi, HVAC	—	>1
Ozono	Archi elettrici, sorgenti UV	20-200 µg/kg	>1

# Confronto tra Guidelines e Standards riguardanti l'ambiente interno

	<i>Canadian</i>	<i>WHO/Europe</i>	<i>NAAQS/EPA</i>	<i>NIOSH</i>	<i>OSHA</i>	<i>ACGIH</i>	<i>MAK</i>
Formaldeide	0,1 ppm [L] 0,05 ppm [L] <sup>b</sup>	0,081 ppm [30 min]		0,016 ppm 0,1 ppm [15 min]	0,75 ppm 2 ppm [15 min]	0,3 ppm [C]	0,5 ppm 1 ppm [5 min]
Biossido di carbonio	3.500 ppm [L]			5.000 ppm 30.000 ppm [15 min]	10.000 ppm 30.000 ppm [15 min]	5.000 ppm 30.000 ppm [15 min]	5.000 ppm 10.000 ppm [1 h]
Monossido di carbonio <sup>c</sup>	11 ppm [8 h] 25 ppm [1 h]	87 ppm [15 min] 52 ppm [30 min] 26 ppm [1 h] 8,7 ppm [8 min]	9 ppm <sup>g</sup> 35 ppm [1 h] <sup>g</sup>	35 ppm 299 ppm [C]	35 ppm 200 ppm [5 min] 1500 [C]	25 ppm	30 ppm 60 ppm [30 min]
Biossido di azoto	0,05 ppm 0,25 ppm [1 h]	0,2 ppm [1 h] 0,08 ppm [24 h]	0,05 ppm [1 anno]	1 ppm [15 min]	1 ppm [15 min]	3 ppm 5 ppm [15 min]	5 ppm 10 ppm [5 min]
Ozono	0,12 ppm [1 h]	0,08-0,1 ppm [1 h] 0,05-0,06 ppm [8 h]	0,12 ppm [1 h]	0,1 ppm [C]	0,1 ppm 0,3 ppm [15 min]	0,05 ppm 0,2 ppm [15 min]	0,1 ppm 0,2 ppm [5 min]
Particolato <2,5 MMAD <sup>d</sup>	0,1 mg/m <sup>3</sup> [1 h] 0,040 mg/m <sup>3</sup> [L]				5 mg/m <sup>3</sup>	3 mg/m <sup>3</sup>	
Particolato <sup>e</sup> <10 MMAD <sup>d</sup>			0,05 mg/m <sup>3</sup> [1 anno] 0,15 mg/m <sup>3</sup> [24 h] <sup>g</sup>			10 mg/m <sup>3</sup>	
Particolato totale					15 mg/m <sup>3</sup>		
Biossido di zolfo	0,38 ppm [5 min] 0,019 ppm	0,19 ppm [10 min] 0,13 ppm [1 h]	0,03 ppm [1 anno] 0,14 ppm [24 h] <sup>g</sup>	2 ppm 5 ppm [15 min]	2 ppm 5 ppm [15 min]	2 ppm 5 ppm [15 min]	2 ppm 4 ppm [5 min]
Piombo		0,5-1,0 mg/m <sup>3</sup> [1 anno]	1,5 mg/m <sup>3</sup> [3 mesi]	<0,1 mg/m <sup>3</sup> [10 h]	0,05 mg/m <sup>3</sup>	0,05 mg/m <sup>3</sup>	0,1 mg/m <sup>3</sup> 1 mg/m <sup>3</sup> [30 min]
Radon		2,7 pCi/L [1 anno]	4 pCi/L [L] <sup>f</sup>				2 ppm

## Classificazione dei materiali e degli ambienti in base alle emissioni e alle concentrazioni di alcune sostanze guida (Fonte: Mini guida Aicarr 2005)

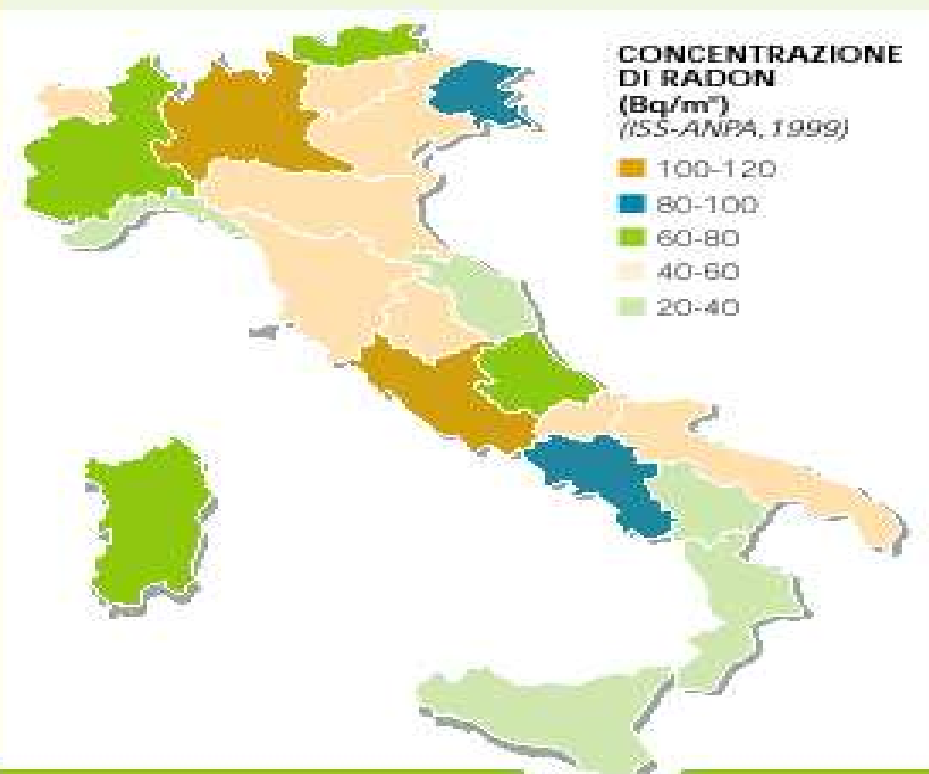
<i>Sostanza</i>	<i>Limite accettabile ASHRAE 62-89R</i>	<i>Limite accettabile FISIAQ</i>	<i>Materiali senza odore</i>	<i>Materiali accettabili</i>
Biossido di carbonio		1000 ppm		
Ossido di carbonio	3 mg/m <sup>3</sup>	2 mg/m <sup>3</sup>		
TVOC	0,3 mg/m <sup>3</sup>	0,2 mg/m <sup>3</sup>	0,2 mg/m <sup>3</sup>	0,4 mg/m <sup>3</sup>
Ozono	0,1 mg/m <sup>3</sup>	0,05 mg/m <sup>3</sup>		
Ammoniaca		0,02 mg/m <sup>3</sup>	0,03 mg/m <sup>3</sup>	0,06 mg/m <sup>3</sup>
Formaldeide	0,12 mg/m <sup>3</sup>	0,03 mg/m <sup>3</sup>	0,05 mg/m <sup>3</sup>	0,125 mg/m <sup>3</sup>
Particolato	0,05 mg/m <sup>3</sup>	0,06 mg/m <sup>3</sup>		

# Inquinamento indoor causato dal radon

## IL RADON IN ITALIA

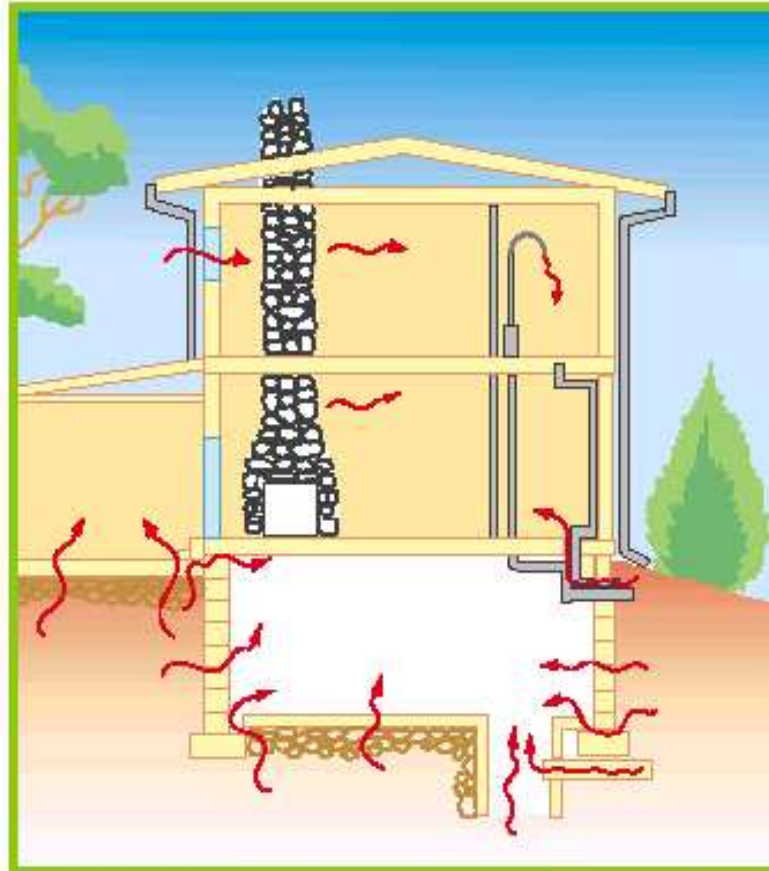
■ Concentrazione di radon, in Bequerel per metro cubo, nelle diverse regioni italiane. I valori medi regionali sono stati ricavati da un'indagine nazionale condotta alla fine degli anni ottanta, che ha indicato come valore medio nazionale 70 Bequerel per metro cubo.

(Fonte: ARPAV)





## Inquinamento indoor causato dal radon



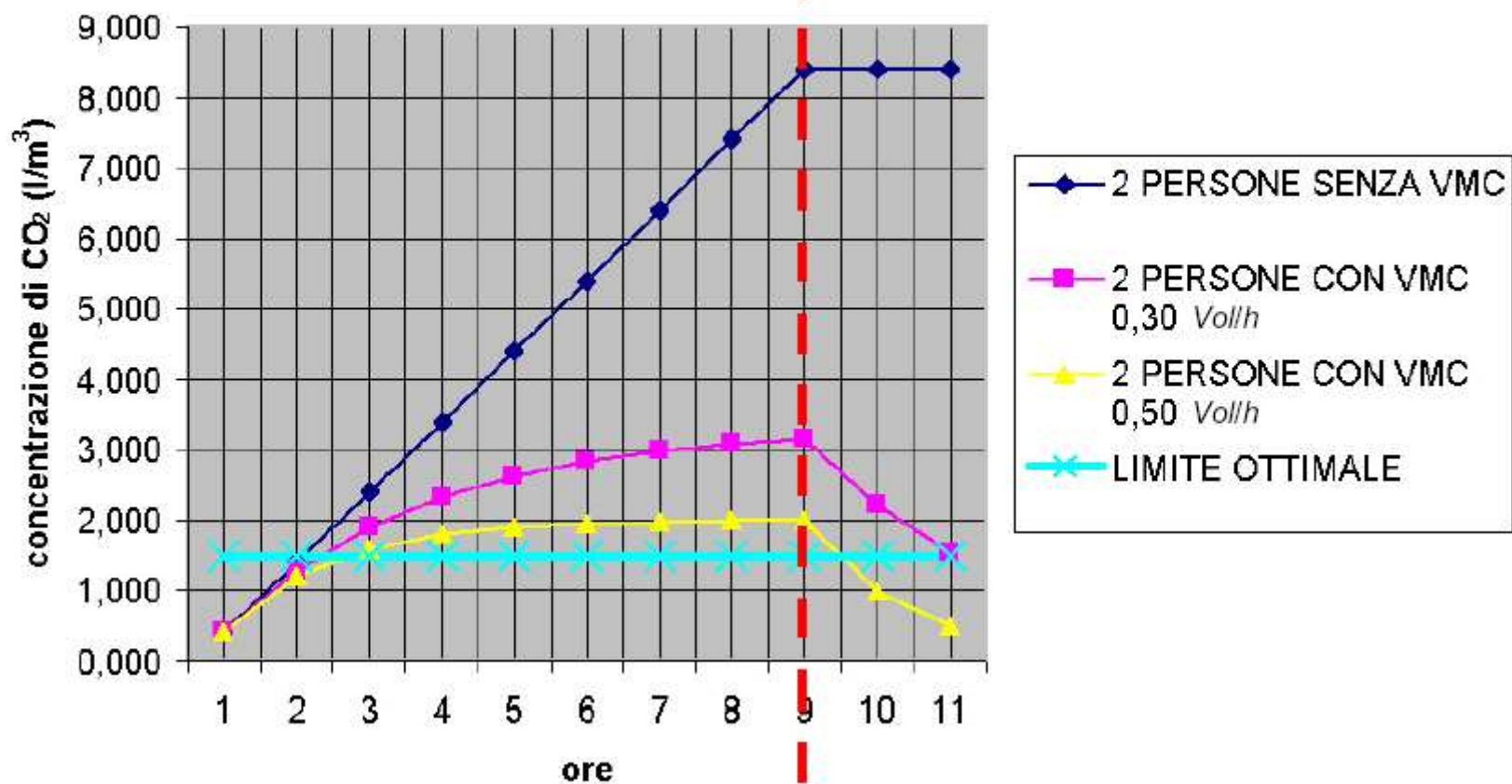
### I PUNTI DI INGRESSO DEL GAS

- Tra i meccanismi di ingresso del gas nella casa vi è la depressione rispetto all'aria del sottosuolo, che può essere prodotta dalla differenza di temperatura tra interno ed esterno o dall'azione del vento sulla casa. La depressione aspira il gas dal suolo attraverso le aperture dell'edificio
- La sorgente più importante di radon è di certo il suolo. Da qui il gas può penetrare nell'edificio attraverso crepe e fessure a contatto con il terreno, o attraverso le strutture realizzate per il passaggio delle tubazioni dell'acqua, dell'elettricità, degli scarichi
- All'esterno la concentrazione è più bassa, in quanto il gas si disperde velocemente in atmosfera. L'ingresso diretto del gas da porte e finestre è quindi poco importante
- I soli materiali da costruzione che contengono molto radio, come quelli di origine vulcanica, possono contribuire in misura considerevole alla presenza di radon nelle case



## INQUINAMENTO INDOOR causato da co2

aumento della CO<sub>2</sub> con due persone in una camera da letto



Esempi portate d'aria per rimuovere la CO<sub>2</sub> in una stanza da letto (presenza simultanea di due perone). Appendice F del PR CR 14788: "Ventilation for buildings - Design and dimensioning of residential ventilation systems"

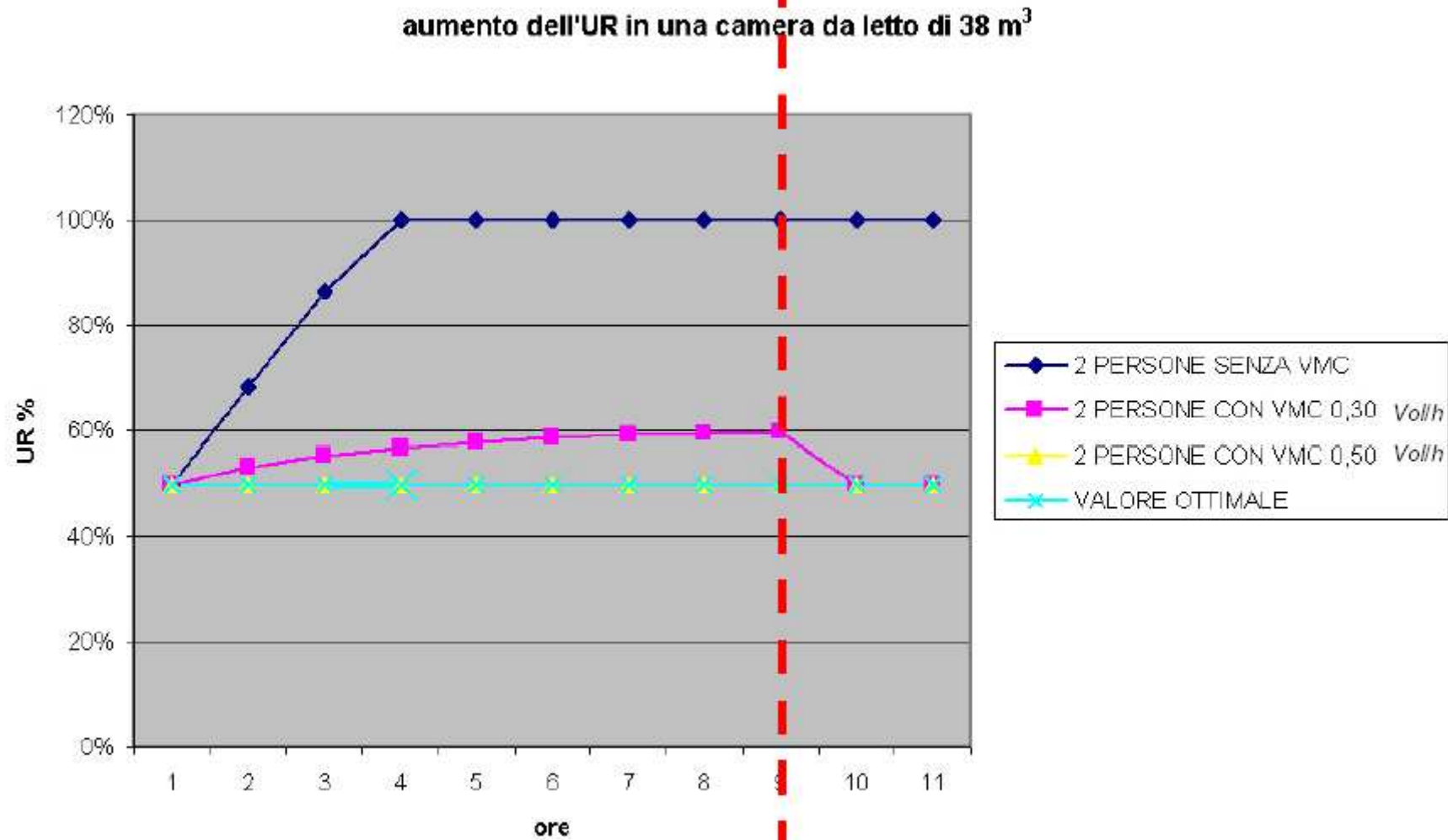
### F.3.2 Calculated ventilation air flow rates for a bedroom

#### F.3.2.1 Calculated ventilation air flow rates for CO<sub>2</sub> removal from a bedroom

Table F.1 - Calculated ventilation air flow rates for CO<sub>2</sub> removal from a bedroom

Maximum CO <sub>2</sub> level at Equilibrium (vppm)	Required ventilation air flow rate	
	m <sup>3</sup> /h	dm <sup>3</sup> /s
1 000	36,4	10,1
1 500	20,7	5,8
2 000	14,4	4,0
2 500	10,8	3,0
3 500	6,9	1,9
5000	3,8	1,1

# INQUINAMENTO INDOOR causato da umidità



## Segue: Esempi di generazione di vapore acqueo.

**Table A.2 — Moisture generation rates expressed as litres per second of vapour with suggested design emission durations for each activity/source**

Room	Emission rate (of vapour)	Duration	Activity
Kitchen	0,6 l/s	10 min	Cooking (including vapour from cooking), three outputs each occurring consecutively during one session
	followed by 1,0 l/s	10 min	
	followed by 1,5 l/s	10 min	
Bathroom	0,5 l/s	10 min	One person taking a shower
	0,06 l/s	12 h	Clothes drying

NOTE Density of water vapour is approximately 0,8 kg/m<sup>3</sup> at 0 °C and 1 013,25 mbar.

### A.3 Production rates of combustion appliances

NOTE For ducted appliances, the major part of pollutants is discharged outside.

**Table A.3 — Combustion appliances: typical carbon dioxide and water vapour production rates**

Fuel	CO <sub>2</sub> production rate (L/s per kW input)	Water vapour production rate (g/h per kW input)
Natural gas	0,027	150
Manufactured gas	0,027	100
Liquefied petroleum gas	0,033	130
Kerosene	0,034	100

For a single cooking period with natural gas it is suggested that a CO<sub>2</sub> emission rate of 0,05 l/s is used with a duration of 30 min.

# A: Concentrazione di vapore

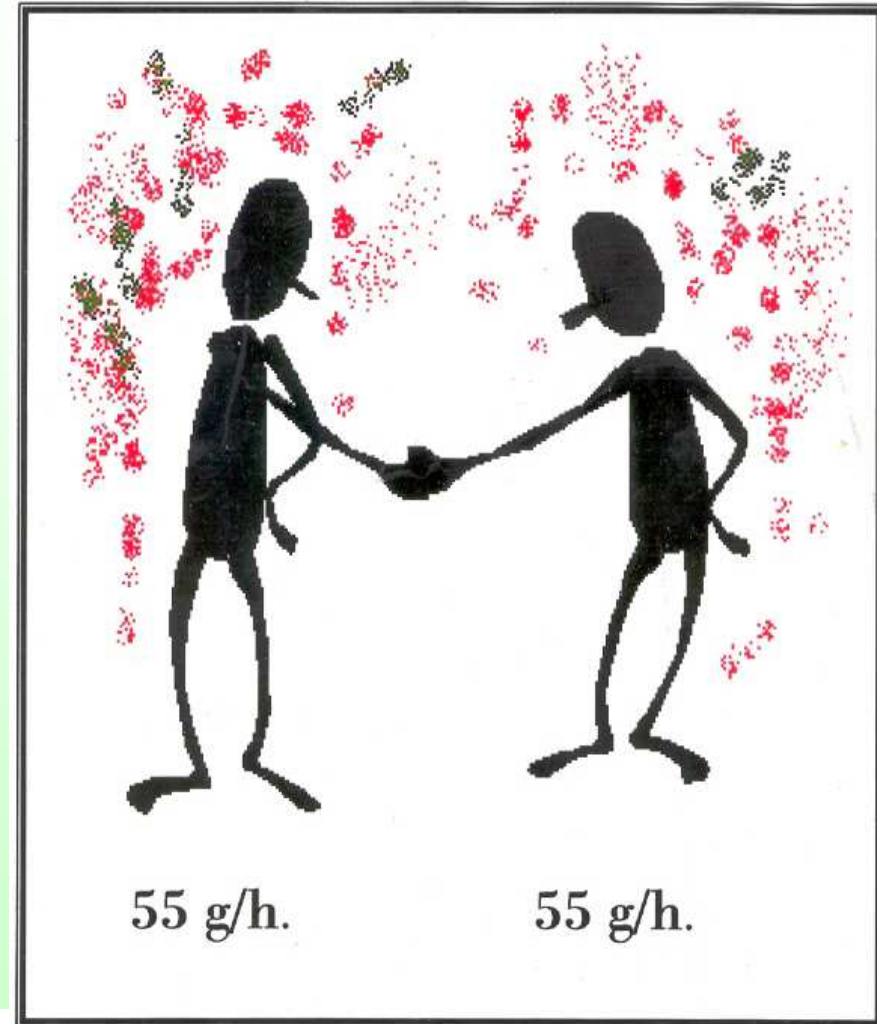
## ESEMPIO 1:

Stanza con 2 persone

Volume: 54 m<sup>3</sup>

T.(ideale): 20 Gradi

UR 50%





**Es. 1:** Stanza con 2 persone –Vol. 54 m<sup>3</sup> - T.id. 20° - UR 50%

**Umidità assoluta 7,4 gr/Kg**

X

**peso specifico dell'aria secca  
interna (1.2 Kg/m<sup>3</sup>)**

=

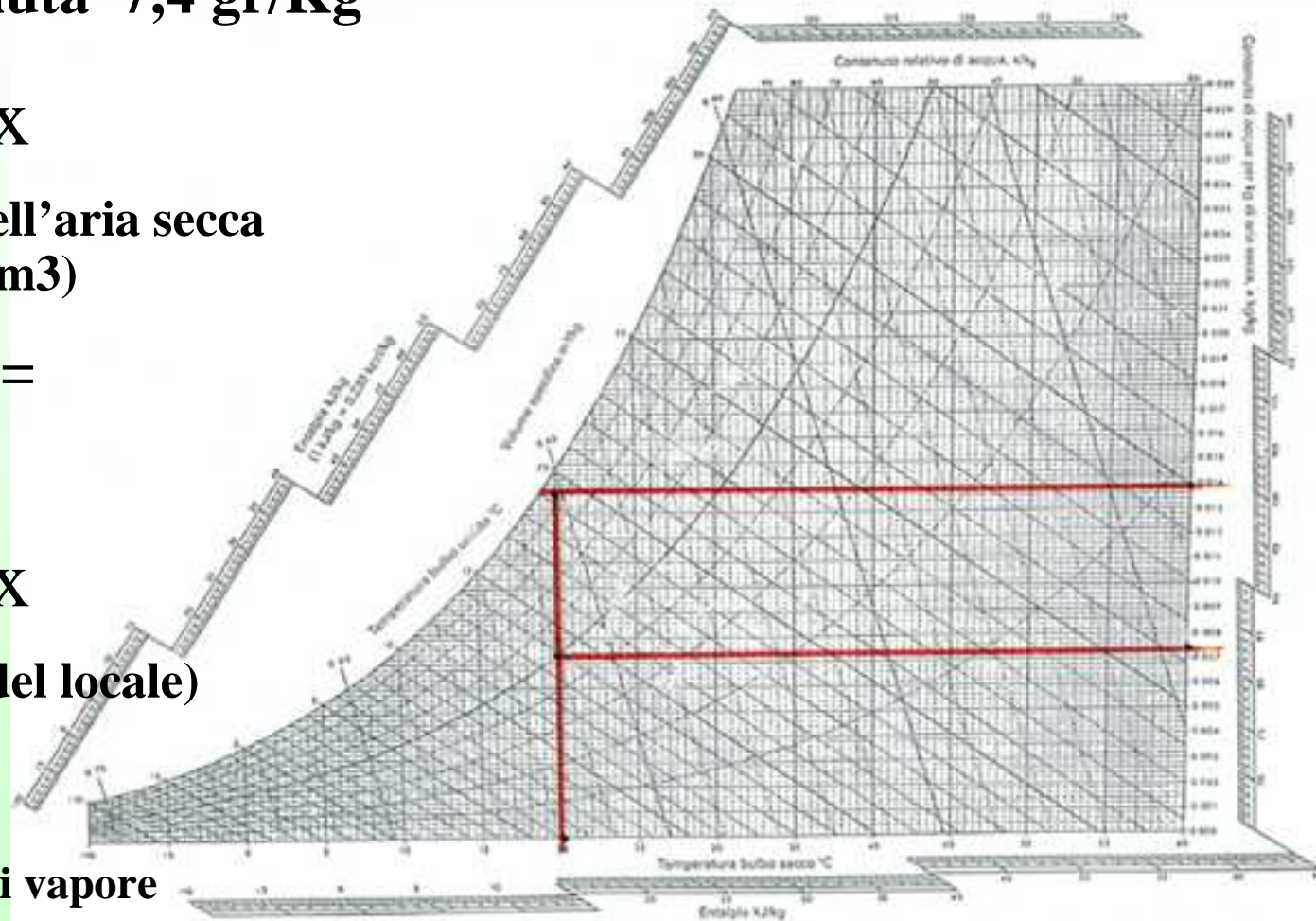
**8,8 gr/m<sup>3</sup>**

X

**54 m<sup>3</sup> (volume del locale)**

=

**circa 470 gr. di vapore**



**Es. 1:** Stanza con 2 persone – Vol. 54 m<sup>3</sup> - T.id. 20° - UR 50%

## Situazione interna della stanza dopo 4 ore



2 persone

X

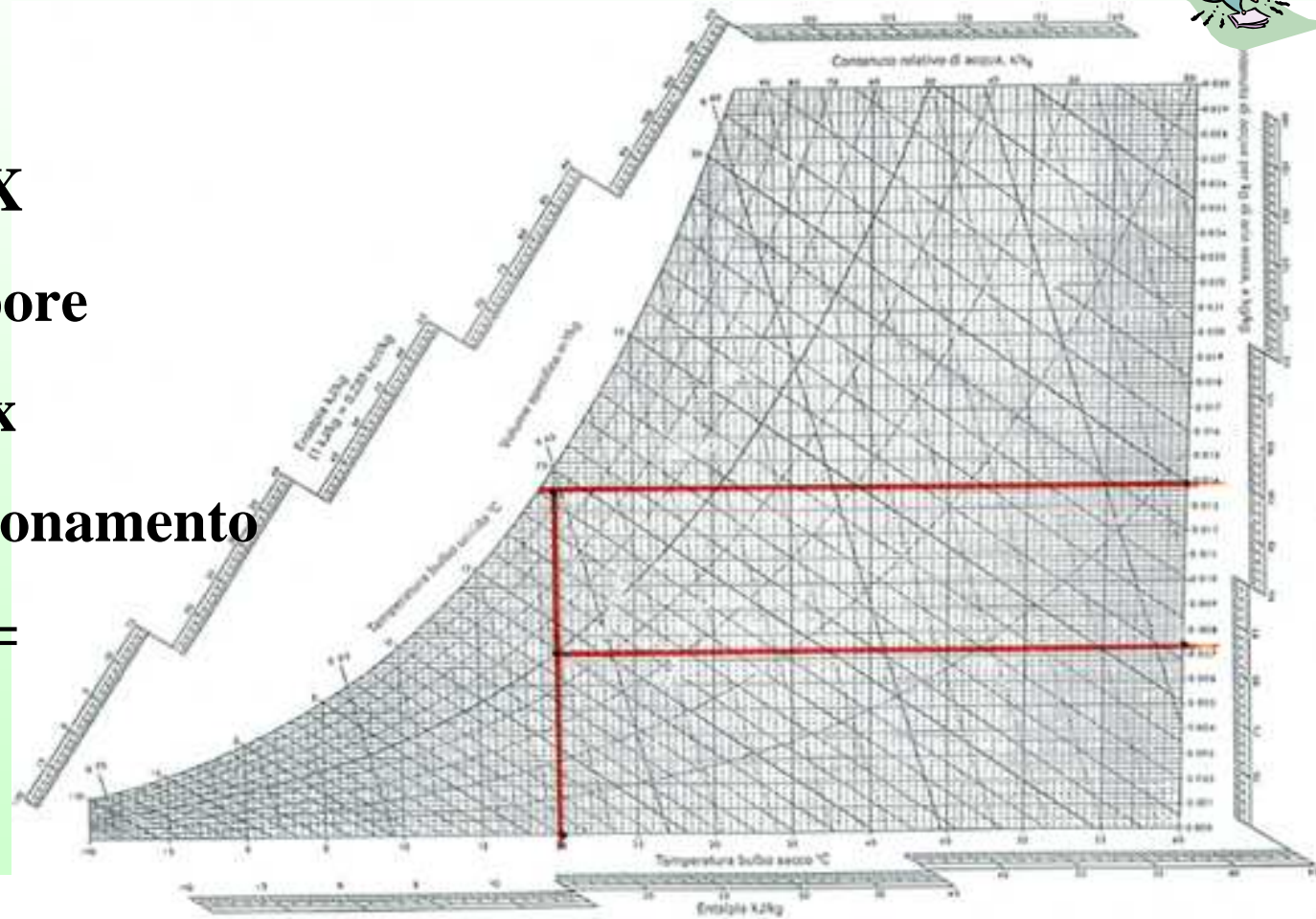
55 g/h di vapore

X

4 ore di stazionamento

=

440 gr.



**Es. 1:** Stanza con 2 persone – Vol. 54 m<sup>3</sup> - T.id. 20° - UR 50%

## Situazione interna della stanza dopo 4 ore



Concentrazione di vapore dell'aria (470 gr) (1)

+

Quantità di vapore prodotto dalle due persone (440 gr) (2)

**= 910 gr. Totali**

**pari a 14 gr/Kg**

**corrispondenti al 90% circa di umidità relativa (UR)**

## QUANTITA' DI ARIA NECESSARIA PER MANTENERE 60% DI U.R.

$$N = \frac{W}{(X_i - X_e)}$$

dove **N** = RICAMBI ORA

**W** = UMIDITA' PRODOTTA  
PER M3 PER ORA

**X<sub>i</sub>** = UMIDITA' ASS. CONTENUTA  
IN ARIA AMBIENTE 20°C 60%

**X<sub>e</sub>** = UMIDITA' ASS. CONTENUTA  
IN ARIA ESTERNA - 5°C 80%

**W** = 2,03 gr/h/m<sup>3</sup> (2 x 55/54)

**X<sub>i</sub>** = 10 gr/m<sup>3</sup>

**X<sub>e</sub>** = 2,4 gr/m<sup>3</sup>

**N** = 2,03 / (10 - 2,4)

**N<sub>i</sub>** = 0,26 ricambi/ora

**PARI A CIRCA 14-15 mc/h.**



## Es.2 concentrazione di co2

### ESEMPIO 2:

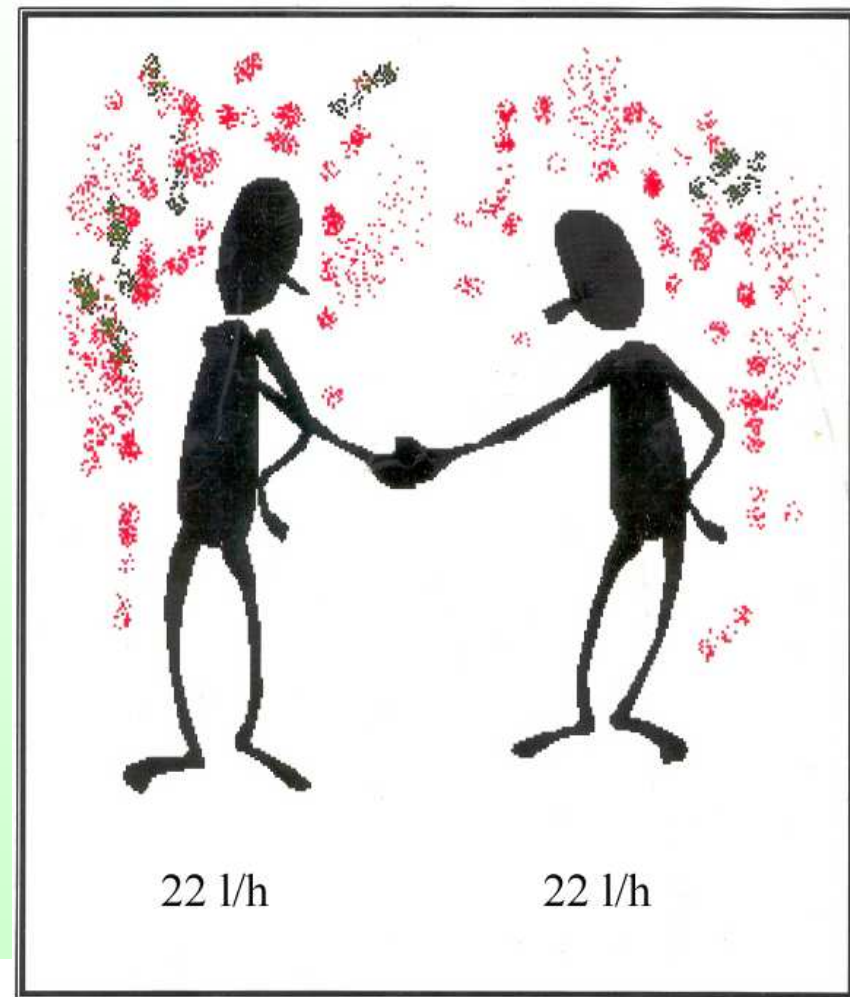
Stanza con 2 persone

Volume: 54 m<sup>3</sup>

Concentraz. ideale di CO<sub>2</sub>=1,5 lt/m<sup>3</sup>

Concentraz. esterna media CO<sub>2</sub>=0,4 lt/m<sup>3</sup>

Emissione di CO<sub>2</sub> per persona = 22 l/h





Es. 2: Stanza con 2 persone – Vol. 54 m<sup>3</sup> - Co<sub>2</sub> id.: 1,5 l/m<sup>3</sup>

## Situazione interna della stanza dopo 4 ore



Dopo 4 ore la concentrazione di CO<sub>2</sub> è pari a 3,26 l/m<sup>3</sup>

$$(22 \text{ l/h} \times 2\text{p} \times 4\text{h} / 54 \text{ m}^3) = 3,26 \text{ l/m}^3$$

Dove:

22 l/h: concentrazione di anidride carbonica

2p: numero di persone presenti nell'ambiente

4H: numero delle ore di permanenza

54m<sup>3</sup>: volume della stanza

# QUANTITA' DI ARIA NECESSARIA PER MANTENERE LA CONCENTRAZIONE DI CO2 A LIVELLI OTTIMALI

$$N = \frac{W}{(X_i - X_e)}$$

dove **N** = PORTATA ARIA ESTERNA ORA

**W** = PRODUZIONE ORARIA CO2 PER M3

**X<sub>i</sub>** = CONTENUTO DI CO2 ARIA INTERNA

**X<sub>e</sub>** = CONTENUTO DI CO2 ARIA ESTERNA MEDIO

**W** = 0,81 lt/h/m<sup>3</sup> (22 x 2/54)

**X<sub>i</sub>** = 1,5 lt/m<sup>3</sup>

**X<sub>e</sub>** = 0,4 lt/m<sup>3</sup>

**N** = 0,81 / (1,5 - 0,4)

**N<sub>i</sub>** = 0,73 ricambi/ora

**PARI A CIRCA 40-45 mc/h.**

Perché sostenere la ventilazione a norme della legge 10/91

**VALORE MINIMO IMPOSTO DALLA LEGGE PER  
UNA CORRETTA VENTILAZIONE DEGLI  
AMBIENTI CONFINATI = 0,5 Vol/h**

Dove:

R1: portata d'aria per mantenere la  
concentrazione di UR pari a 60% =  
0,26 ricambi orari

R2: portata d'aria per mantenere la  
concentrazione di Co2 a livelli ottimali  
= 0,73 ricambi orari

$$N_{ottimale} = \frac{R1+R2}{2}$$

$$N_{ottimale} = 0,495$$

**0,5 ricambi orari**

# Inquinamento indoor: effetti della condensazione superficiale

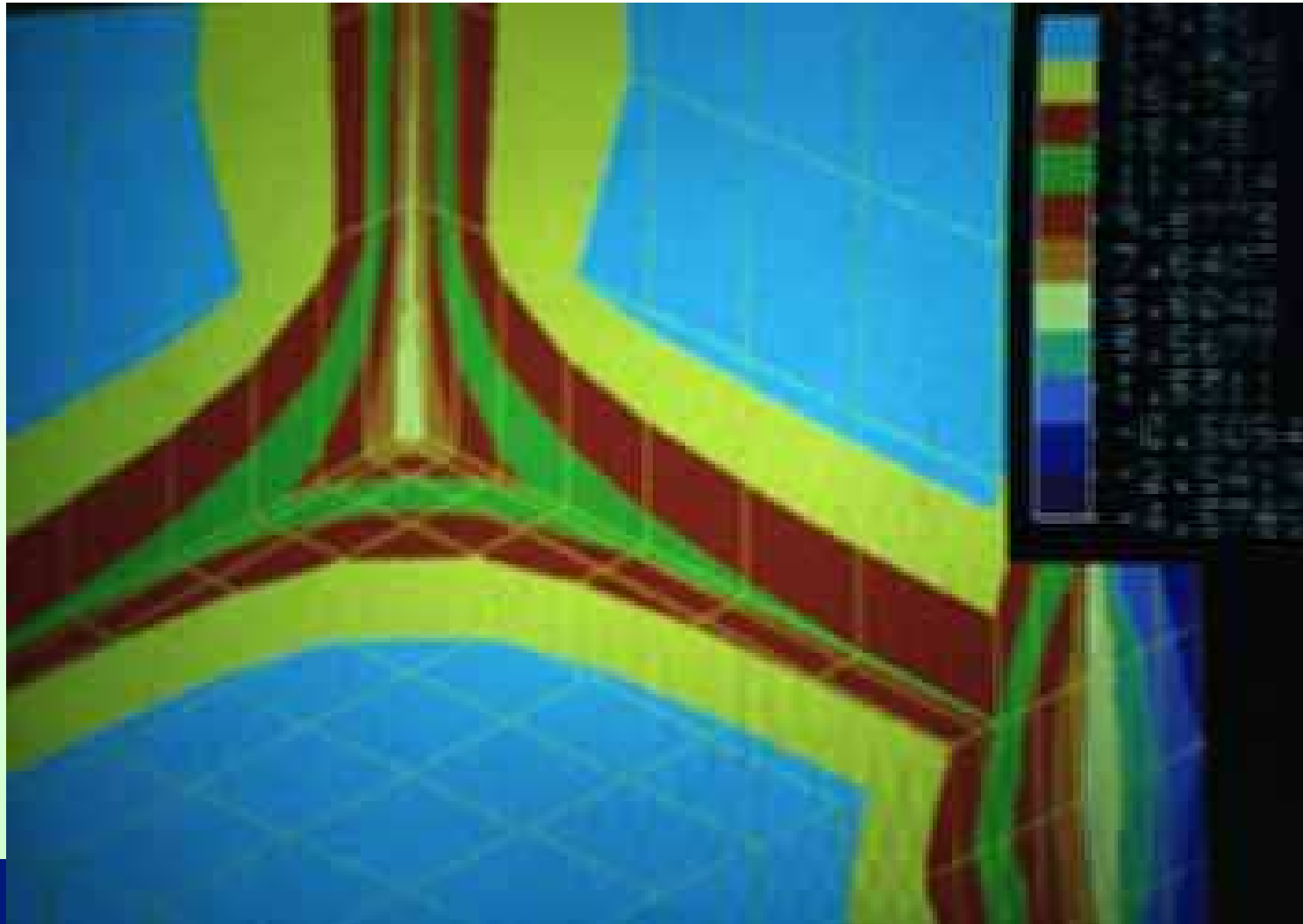


## Inquinamento indoor: effetti della condensazione superficiale





## Inquinamento indoor: termografia di un ponte termico



**Caso 1** (alloggio per 4 abitanti)

$$S = 75 \text{ m}^2 \quad V = 200 \text{ m}^3$$

Ricambio ipotizzato : 0,5 Vol / h

$$G_v = 50 \text{ g/h per persona}$$

$x_0$  aria esterna (non trattata): 5 g/kg a.s.

$$x_i = 5 + (4 \times 50) / (0,5 \times 200 \times 1,2) = 6,7 \text{ g / kg a.s.}$$

Condizioni accettabili 45 % U.R. a 20 °C

**Caso 2** (camera da letto da 2 persone)

$$S = 14 \text{ m}^2 \quad V = 38 \text{ m}^3$$

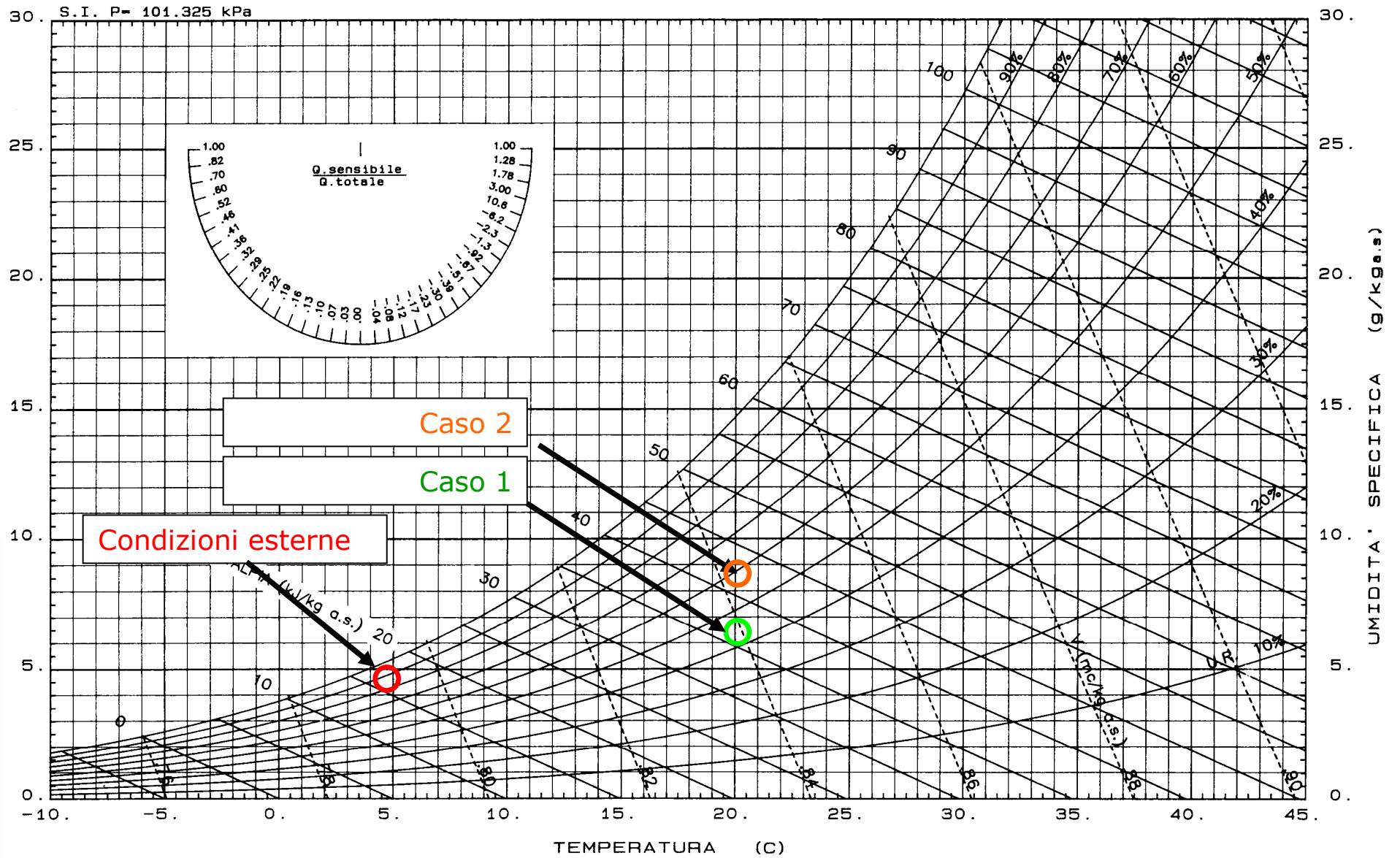
Ricambio ipotizzato : 0,5 Vol / h

$$G_v = 50 \text{ g/h per persona}$$

$x_0$  aria esterna (non trattata): 5 g/kg a.s.

$$x_i = 5 + (2 \times 50) / (0,5 \times 38 \times 1,2) = 9,4 \text{ g / kg a.s.}$$

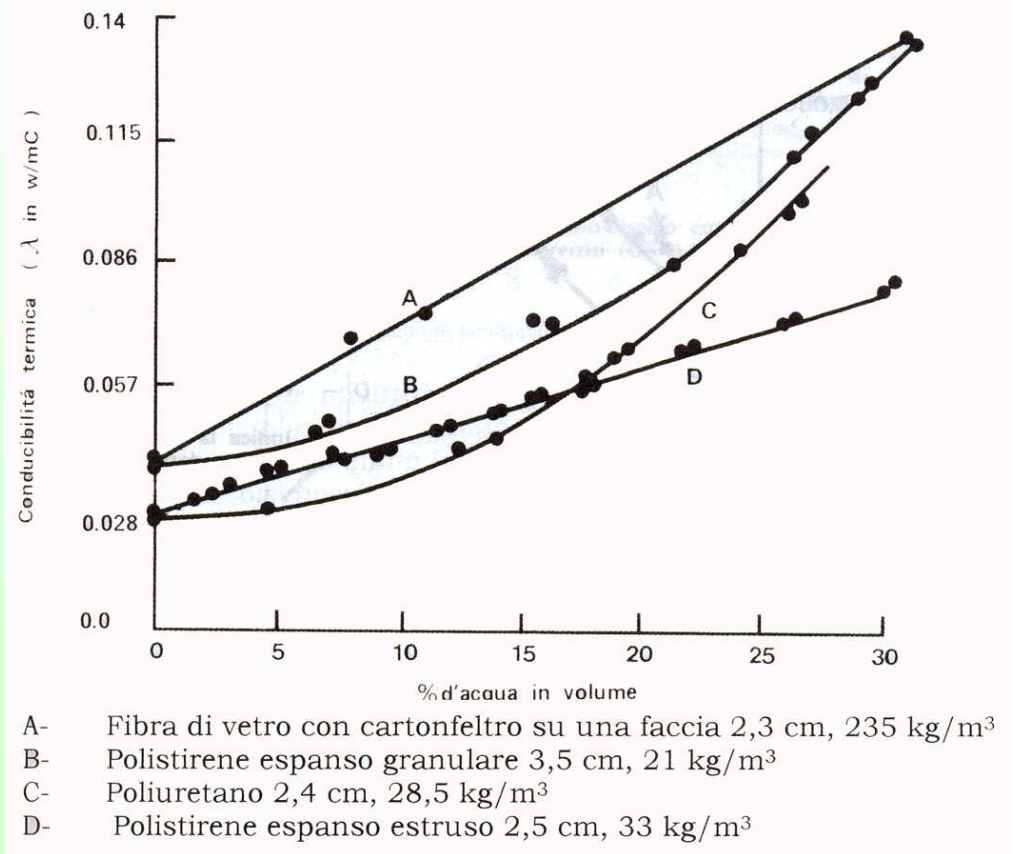
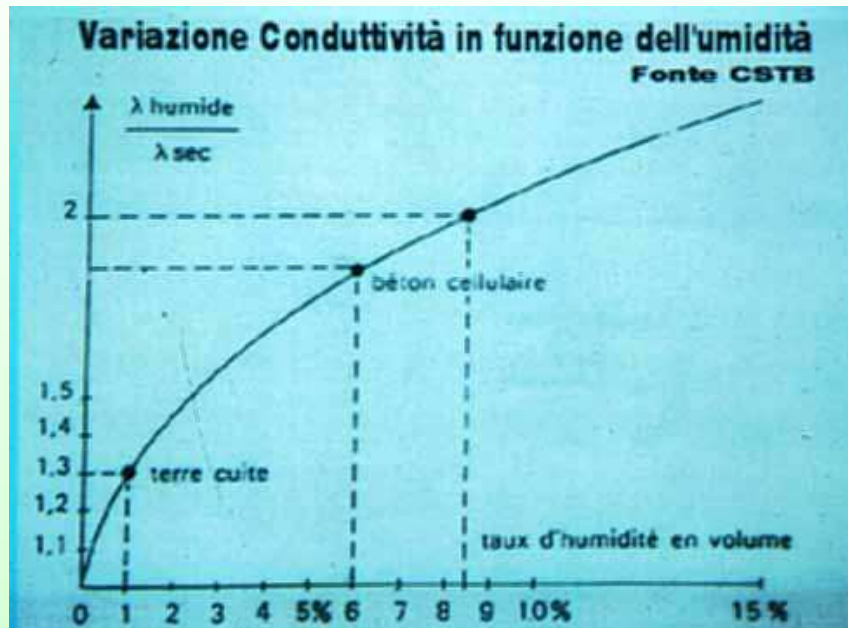
Condizioni al limite di accettabilità 65 % U.R. a 20 °C



## Esempi di formazione di muffa



Effetto dell'umidità assorbita sulla conducibilità termica di alcuni materiali – Fonte: ANIT 2005



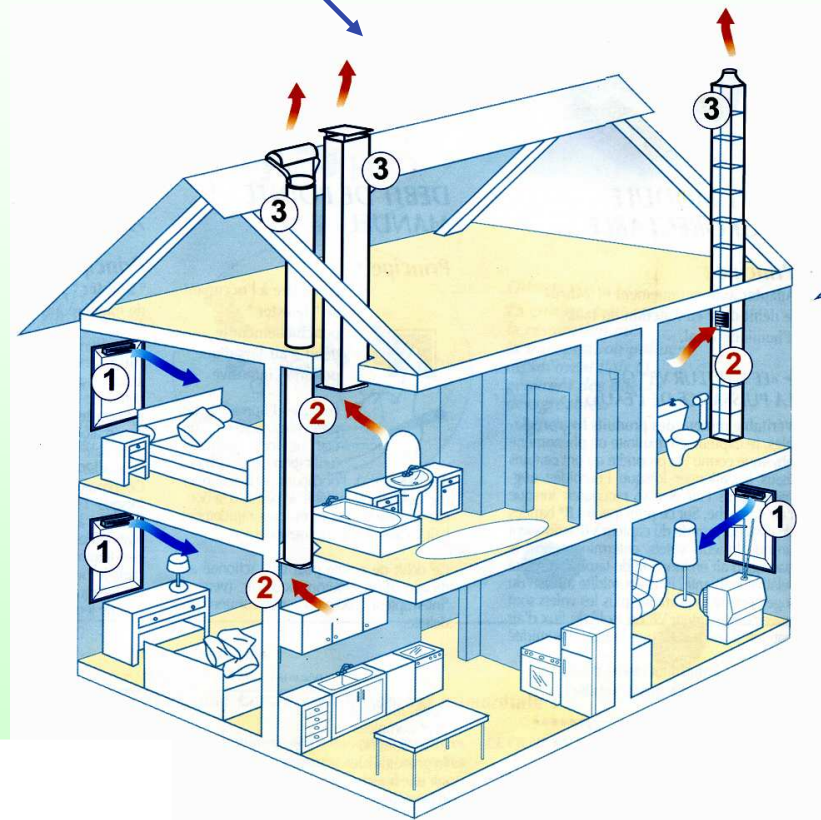


## La soluzione: il rinnovo dell'aria

### Le diverse possibilità:

1. aerazione (apertura della finestre, infiltrazioni attraverso i serramenti)
2. ventilazione naturale (aperture variabili eventualmente con effetto camino)
3. ventilazione meccanica controllata
4. ventilazione ibrida

## Aerazione e ventilazione naturale





GRAZIE DELL'ATTENZIONE

Per informazioni  
Claudio Buttà  
[Claudio.butta@aldes.com](mailto:Claudio.butta@aldes.com)

