



QAES - Qualità dell'Aria negli Edifici Scolastici

La misura della qualità dell'aria



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

Gianmaria Fulci, Clara Peretti, Luca Verdi



Contenuti

- Un po' di storia, per iniziare... (L. Verdi)
- Focus inquinanti 1: radon (L. Verdi)
- Focus inquinanti 2: VOC e formaldeide (G. Fulici)
- Protocollo di misura: strumentazione, allestimento (C. Peretti)
- Analisi e interpretazione dei risultati: esempi applicativi (*inserita nei contenuti precedenti*)



Un po' di storia, per iniziare...



Laboratorio analisi aria e radioprotezione

- **Qualità dell'aria:** outdoor e indoor
outdoor: PM₁₀, NO₂, Ozon, Brennerlec A22, effetto Canyon
indoor: scuole (formaldeide, radon, CO₂, VOC)
- **acustica:** tempo di riverberazione nelle scuole, determinante per l'apprendimento, soprattutto nel caso di inclusione e stranieri
- **Radiazioni ionizzanti:** radioattività (sistema di allarme), alimenti e ambiente, radon
- **Rete UV**
- **Radiazioni non ionizzanti:** elettrosmog, telefonia cellulare, antenne, ...



storia...

- Dagli anni '70 sono eseguite misure di qualità dell'aria nelle scuole
- Dagli anni '90 è stata introdotta la misura del radon
- Nel 2012 Accredитamento ISO 17025 per misura formaldeide
- Dal 2010 misure di acustica nelle scuole



formaldeide

- 2010 Formaldeide nel settore del legno e dell'arredo- **corso**
- 2013 **Capitolato speciale** per opere pubbliche Parte I della Provincia Autonoma di Bolzano Alto Adige
- 2013 Formaldeide: Sicurezza degli arredi e rivestimenti a base di legno - **Circolare** dell'Azienda Sanitaria dell'Alto Adige ad associazioni, camere, collegi, Provincia, Comuni, Intendenze scolastiche
- 2014 Collaborazione attiva con la Provincia ed il Comune di Bolzano: costruzione di Scuole nuove
- 2014 Formaldeide - Inquinamento dell'aria - **corso** - addetti alla sicurezza della Provincia di Bolzano
- 2017 Qualità dell'aria indoor in ambienti di vita e lavoro- **congresso** - Azienda Sanitaria dell'Alto Adige
- 2017 La qualità dell'aria negli edifici: attenzione anche all'inquinamento indoor. GNews Production- **video**
- 2017 Umwelt Aktiv - Schadstoffe in Innenräumen - **film**
- 2018 **Corso** di aggiornamento „Responsabili Unici di Progetto“ - Ufficio Ediliza - Comune di Bolzano
- 2018 Collaborazione attiva con il Comune di Brunico
- 2019 Acustica e Formaldeide nelle scuole - Presentazione del tema al Consiglio dei Comuni



CO₂

Tema Aria Viziata nelle classi

- **2016** Misure della CO₂ in **150** aule scolastiche coinvolgendo 3000 persone
- **2016** [Aria viziata a scuola, misurazioni in 150 classi](#) - **video**
- **2017** Educazione ambientale: distribuzione strumenti per la misura di CO₂ in **115** classi della Provincia di Bolzano - Alto Adige
- **2017** La qualità dell'aria negli edifici: attenzione anche all'inquinamento indoor - **video**
- **2018** Educazione ambientale: distribuito strumenti per la misura di CO₂ in **102** classi della Provincia di Bolzano - Alto Adige
- **2018** Aria Viziata a scuola – **video**



radon

	numero dosimetri	note
1990-1991	70	campagna nazionale
1992-1995	1830	scuole e abitazioni, zone a rischio
1995-1996	331	scuole e abitazioni
1997-2001	2300	scuole e abitazioni per mappatura
2001-2002	896	scuole e abitazioni
2003-2020	8420	scuole, abitazioni e ambienti di lavoro
2020	700	citizen science

Parametri caratteristici della qualità dell'aria indoor: focus scuole

Parametro di misura	Strumentazione/dettagli
Formaldeide	Misuratore in continuo
	Misura puntuale (fiale DNPH)
CO ₂	Misura in continuo
VOC	Misura puntuale con Canister
TVOC	Misura in continuo
Radon	Misura in continuo
	Misura puntuale (dosimetri – 1 anno di misura)
Polveri (PM _x)	Misura in continuo
	Misura puntuale
Temperatura Umidità relativa	Misura in continuo
Analisi biologiche	Campionatore microbiologico, misura puntuale
Termocamera	Misura delle temperature superficiali (misura puntuale)
Anemometro	Misura in continuo/puntuale
Tasso di ventilazione	Blower Door Test
Portata aria condotti di ventilazione	Balometro
Strumento per misura di temperatura superficiale (sistema radiante/radiatori)	Sensore a contatto Sensore IR
Strumento per la misura dell'apertura/chiusura delle finestre	Sensori a contatto magnetico



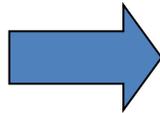
Il radon



QAES

- Gas nobile radioattivo naturale
- Inodore, insapore, incolore, non reagisce chimicamente
- Tempo di dimezzamento ca. 4 giorni

^{222}Rn



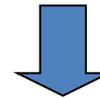
RADON



Il radon è inquadrato al secondo posto, dopo il fumo, come causa per l'insorgenza di tumori polmonari.

(foto: Radon, Ufficio federale di sanità pubblica di Berna, CH).

salute



Rischio tumore ai polmoni

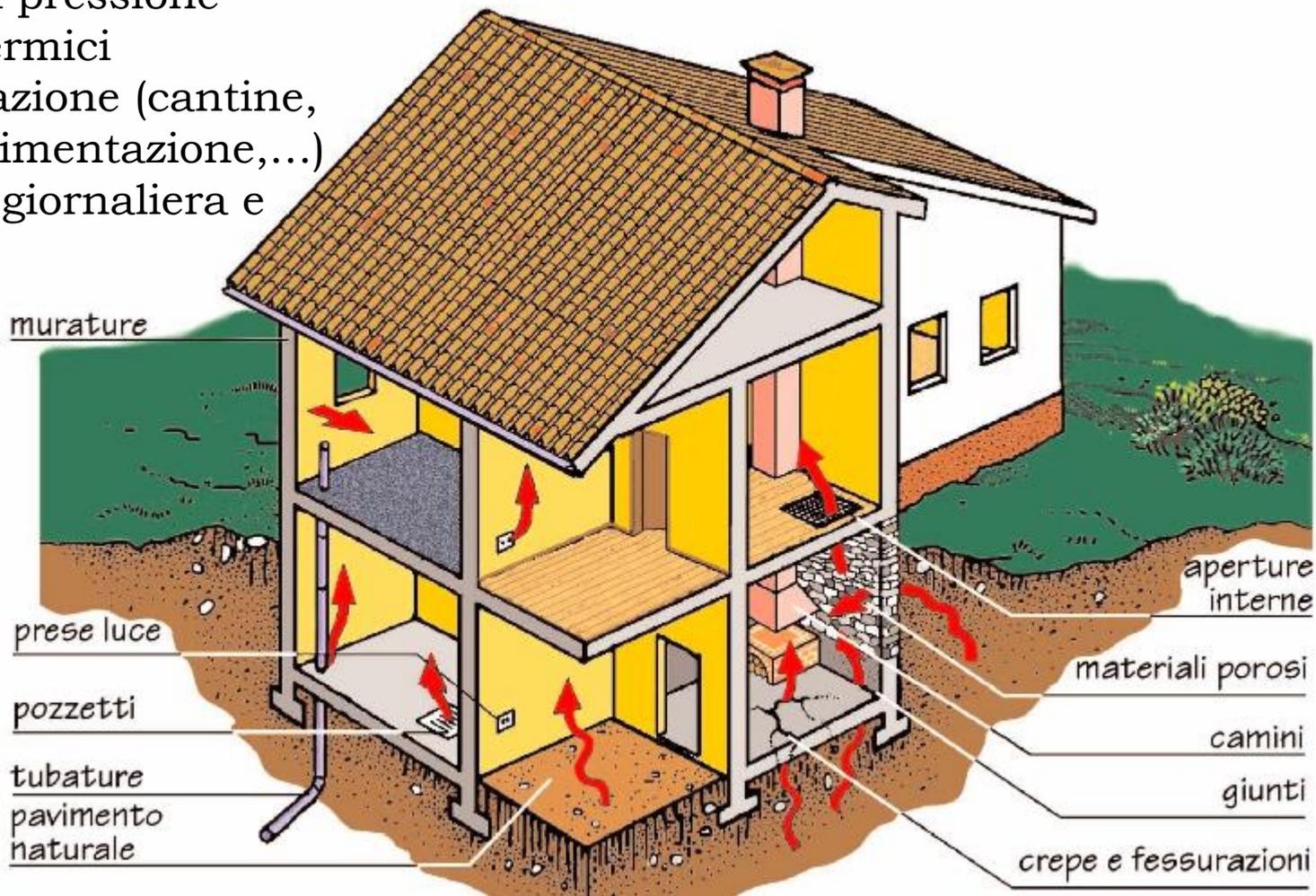
(IARC)



QAES

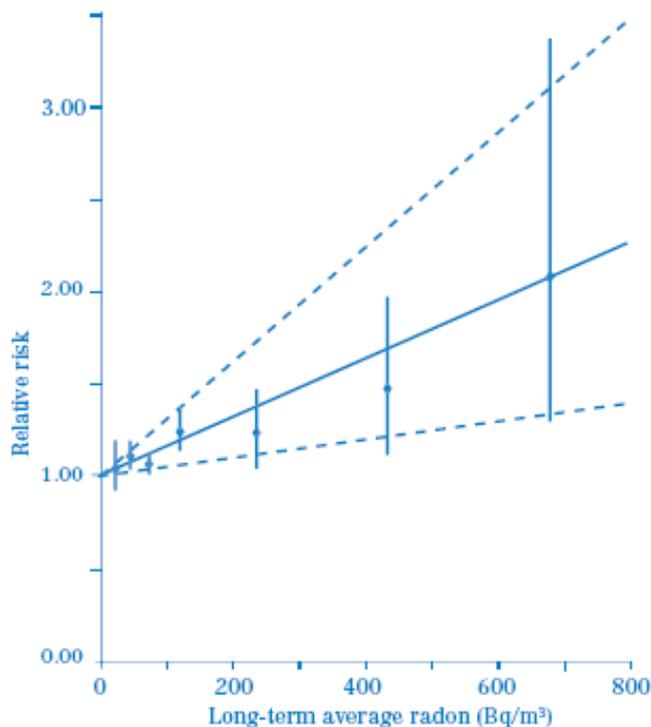
Radon negli ambienti chiusi

- gradienti di pressione
- gradienti termici
- scarsa isolamento (cantine, crepe, pavimentazione,...)
- Variazioni: giornaliera e stagionale





effetti sanitari



Source: Darby et al. 2005

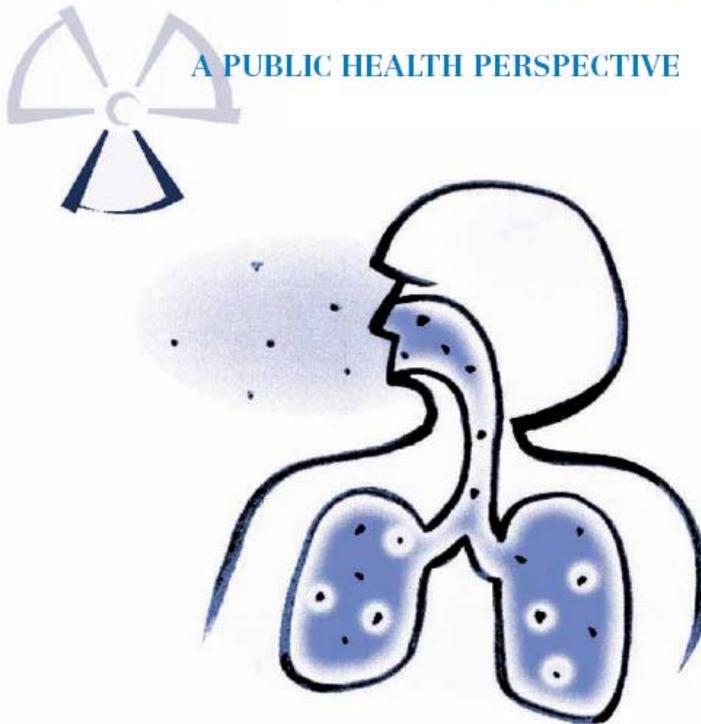
Relative risks and 95% confidence intervals are shown for categorical analyses and also best fitting straight line. Risks are relative to that at 0 Bq/m³.

Figure 1. Relative risk of lung cancer versus long-term average residential radon concentration in the European pooling study



WHO HANDBOOK ON INDOOR RADON

A PUBLIC HEALTH PERSPECTIVE

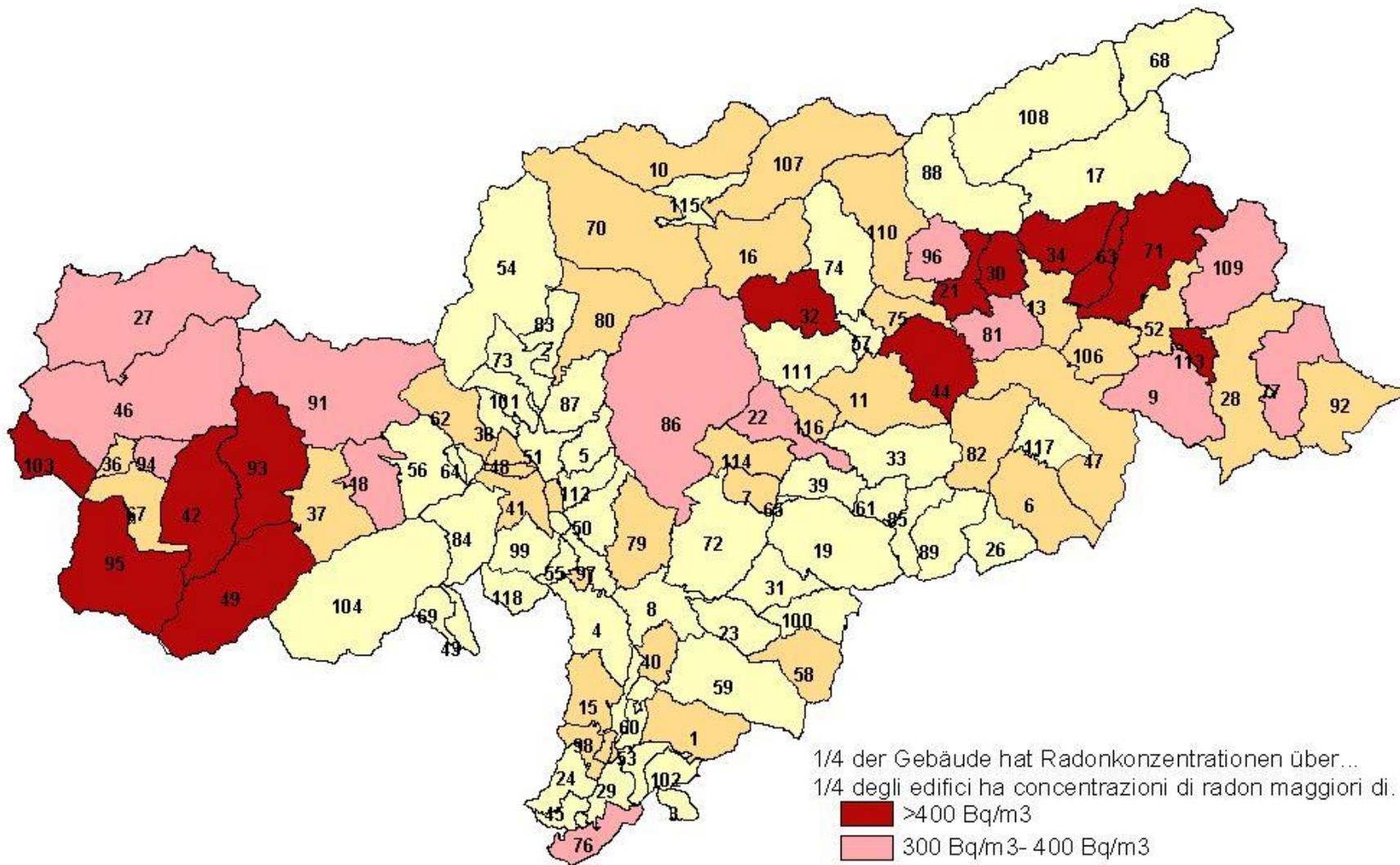


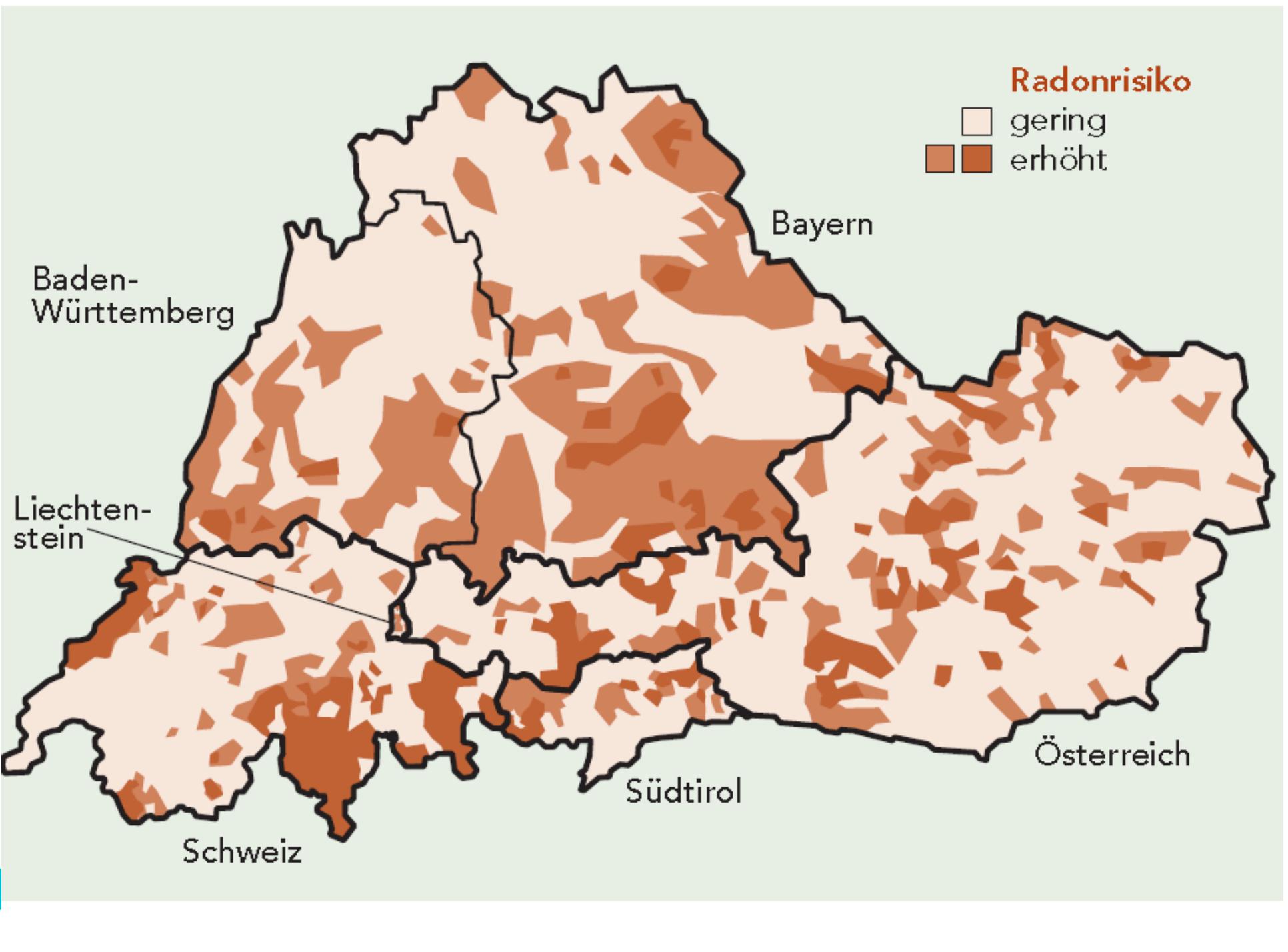
Current estimates of the proportion of lung cancers attributable to radon range **from 3 to 14%**, depending on the average radon concentration in the country concerned and the calculation methods.

In view of the latest scientific data, WHO proposes a reference level of **100 Bq/m³** to minimize health hazards due to indoor radon exposure. However, if this level cannot be reached under the prevailing country-specific conditions, the chosen reference level should not exceed **300 Bq/m³** which represents approximately 10 mSv per year according to recent calculations by the ICRP.

Taking account of the new findings, the Commission has revised the upper value for the reference level for radon gas in dwellings from the value in the 2007 Recommendations of 600 Bq/m³ to 300 Bq/m³ (ICRP 2009)

Radon in Südtirol - Radonkonzentration in bewohnten Gebäuden (Wintersemester) - Jahr 2003
Radon in Alto Adige - Concentrazione di radon in edifici abitati (semestre invernale) - anno 2003







QAES

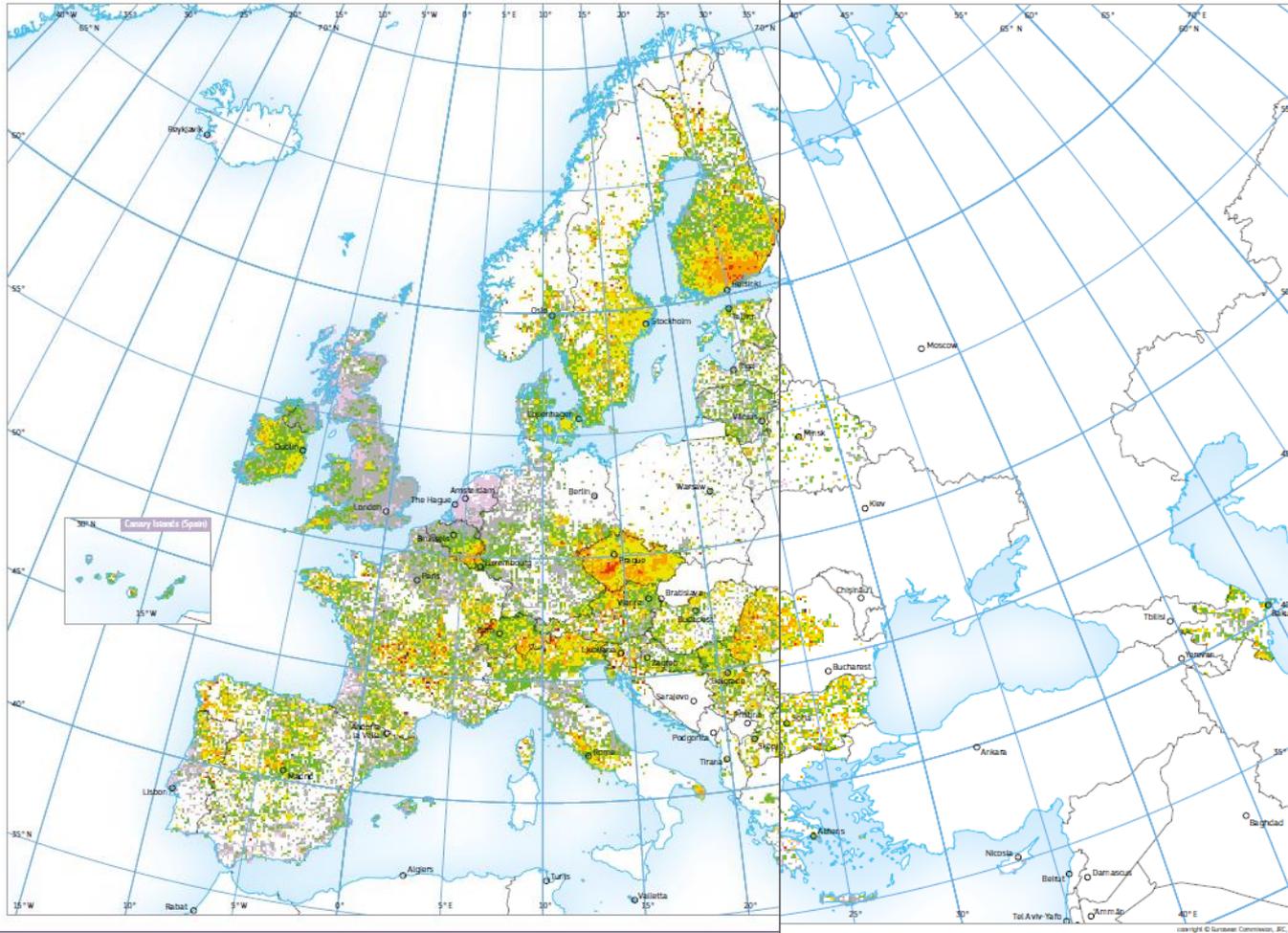


Plate 7:
European Indoor Radon Map:
Indoor radon concentration.
Arithmetic means
per grid cell
(Bq/m³)

- 2000-10120
- 1000-2000
- 500-1000
- 200-500
- 100-200
- 50-100
- 20-50
- 1-20

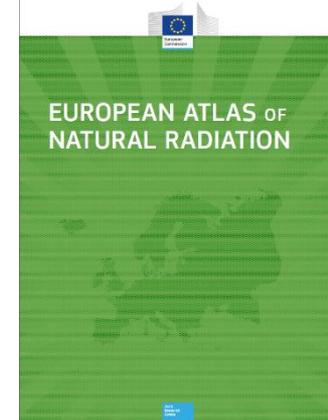


Plate 7: European Indoor Radon Map: Indoor radon concentration. Arithmetic means per grid cell. The map shows the arithmetic means (AM) over 10km x 10km grid cells of annual indoor radon concentration in ground-floor rooms. (Data received until September 2018 included.)
Source: IANU, EC-IRC, 2019.

copyright © Euratom Commission, EC, 2019



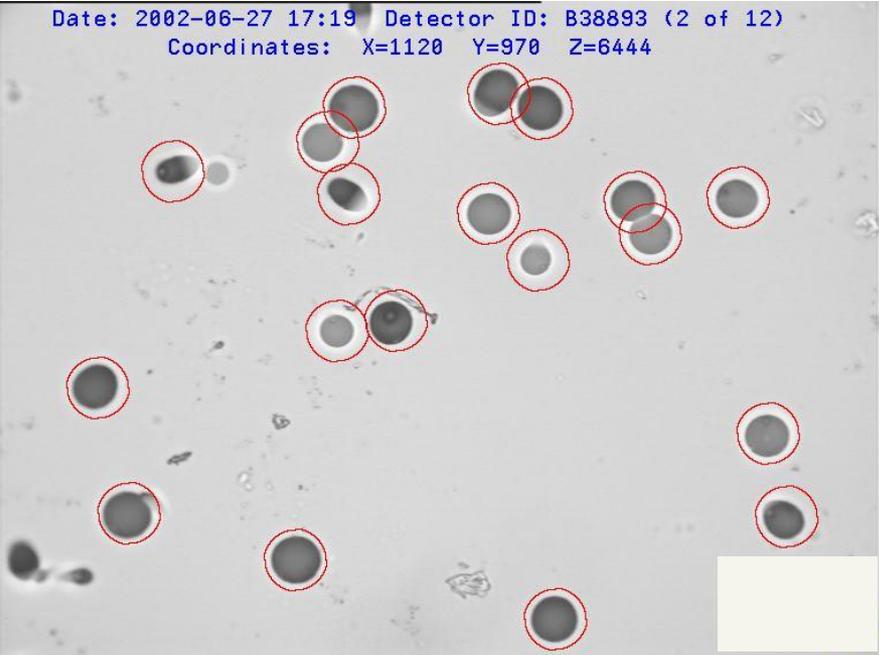
Misura del radon in aria

- sistemi passivi: ...un numero
- sistemi attivi: ...molte informazioni



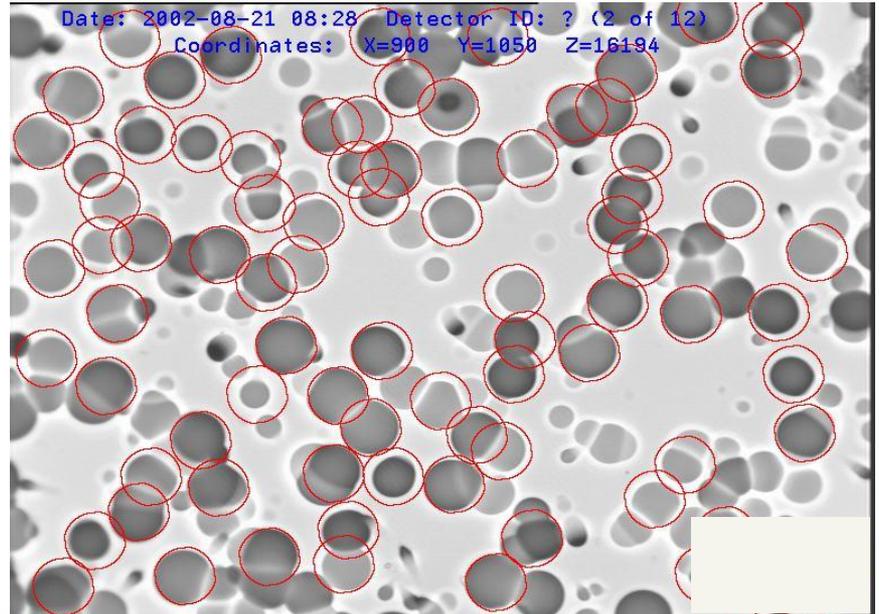
QAES

Date: 2002-06-27 17:19 Detector ID: B38893 (2 of 12)
Coordinates: X=1120 Y=970 Z=6444



rivelatori a tracce nucleari

Date: 2002-08-21 08:28 Detector ID: ? (2 of 12)
Coordinates: X=900 Y=1050 Z=16194



Il numero di tracce
è proporzionale alla
concentrazione di radon

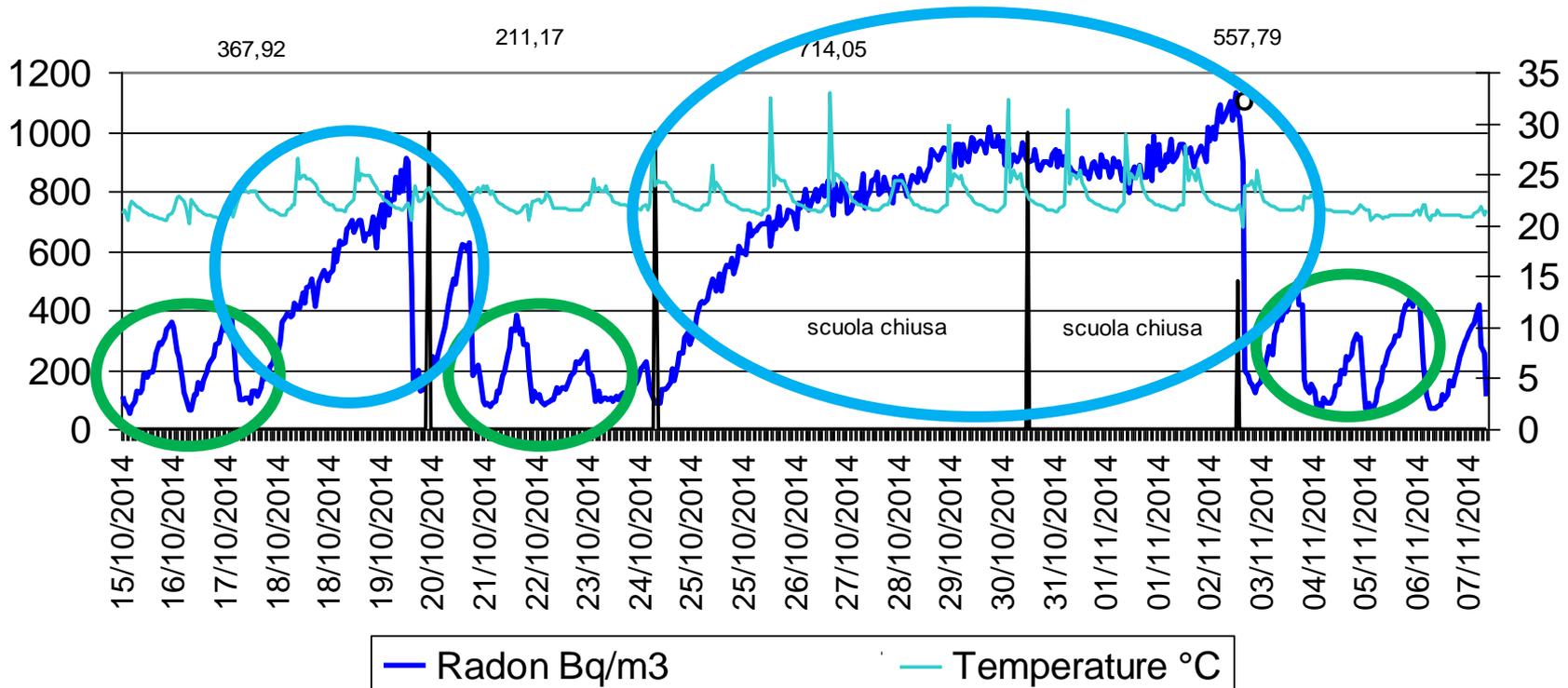


QAES

sistemi attivi



Klasse Stock 1





QAES

Bonifica e prevenzione radon



arieggiare meglio la cantina



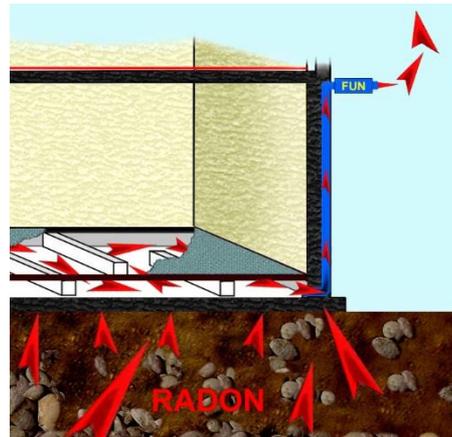
la depressione in cantina



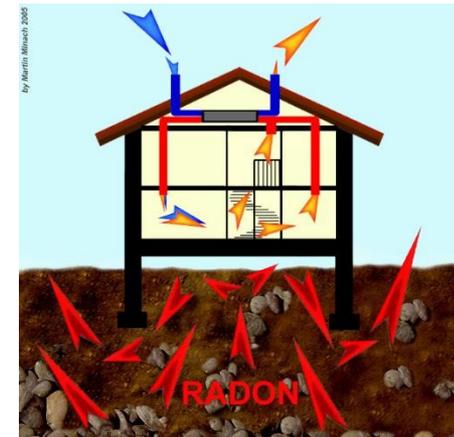
la sovrappressione in casa



il pozzetto o sistema di drenaggio radon



l'aspirazione dall'intercapedine

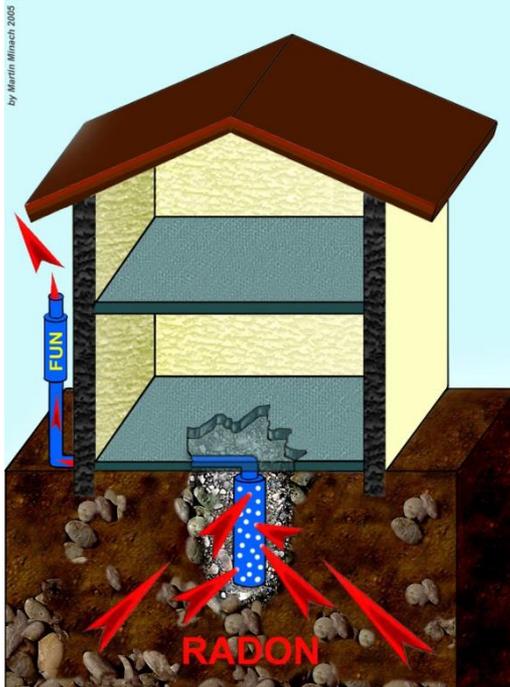


ventilazione con recupero del calore



QAES

Il pozzetto radon



Radon Protection System



The most practical, the most economical, the most effective.



QAES



Radiazioni e campi elettromagnetici

Radon - Effetti del risanamento energetico

Autore: Agenzia provinciale per l'ambiente e altre istituzioni.

Anno pubblicazione: 2012

[Download](#)



Radiazioni e campi elettromagnetici

Radon - Misure di risanamento in edifici esistenti

Autore: Agenzia provinciale per l'ambiente e altre istituzioni.

Anno pubblicazione: 2012

[Download](#)



Radiazioni e campi elettromagnetici

Radon - Misure di prevenzione negli edifici nuovi

Autore: Agenzia provinciale per l'ambiente e altre istituzioni.

Anno pubblicazione: 2012

[Download](#)



Radiazioni e campi elettromagnetici

Radon - Misurazione e valutazione

Autore: Agenzia provinciale per l'ambiente e altre istituzioni.

Anno pubblicazione: 2012

[Download](#)

<https://ambiente.provincia.bz.it/radiazioni/publicazioni-radon.asp>



Decreto legislativo 101 del 2020

Titolo IV

SORGENTI NATURALI DI RADIAZIONI IONIZZANTI

Capo I

Esposizione al radon

Sezione I

Disposizioni generali

<u>10</u>	Piano nazionale d'azione per il radon
<u>11</u>	Individuazione delle aree prioritarie
<u>12</u>	Livelli di riferimento radon
<u>13</u>	Registrazione dati radon
<u>14</u>	Informazione e campagne di sensibilizzazione
<u>15</u>	Esperti in interventi di risanamento radon
	Sezione II
	Esposizione al radon nei luoghi di lavoro
<u>16</u>	Campo di applicazione
<u>17</u>	Obblighi dell'esercente
<u>18</u>	Comunicazione e trasmissione dei risultati delle misurazioni e delle relazioni tecniche
	Sezione III
	Protezione dall'esposizione al radon nelle abitazioni
<u>19</u>	Radon nelle abitazioni-Interventi nelle aree prioritarie



Art. 12

Livelli di riferimento radon

1. I **livelli massimi di riferimento** per le abitazioni e i luoghi di lavoro, espressi in termini di valore **medio annuo** della concentrazione di attività di radon in aria, sono di seguito indicati:

a) **300 Bq/m³** in termini di concentrazione media annua di attività di radon in aria per le abitazioni esistenti;

b) **200 Bq/m³** in termini di concentrazione media annua di attività di radon in aria per abitazioni costruite dopo il 31 dicembre 2024;

c) **300 Bq/m³** in termini di concentrazione media annua di attività di radon in aria per i luoghi di lavoro;

novità

Prima era
500 Bq/m³



Art. 15 Esperti in interventi di risanamento radon

1. Gli **esperti in interventi di risanamento radon** devono essere in possesso delle abilitazioni e dei requisiti formativi di cui all'Allegato II.

Allegato II

2. Requisiti minimi degli esperti in interventi di risanamento da radon

Gli esperti in interventi di risanamento radon devono essere in possesso dei seguenti requisiti:

- a) abilitazione all'esercizio della professione di **geometra, di ingegnere e di architetto**;
- b) partecipazione a **corsi di formazione ed aggiornamento universitari dedicati**, della durata di **60 ore**, organizzati da **enti pubblici, associazioni, ordini professionali** su progettazione, attuazione, gestione e controllo degli interventi correttivi per la riduzione della concentrazione di attività di radon negli edifici;



Art. 19

Radon nelle **abitazioni** - Interventi nelle aree prioritarie

1. Fermo restando quanto stabilito all'articolo 10, comma 2, al fine di tutelare la popolazione dai rischi conseguenti all'esposizione al radon nelle abitazioni, le Regioni e le Province autonome di Trento e Bolzano **promuovono** campagne e azioni, nelle **aree definite prioritarie** ai sensi dell'articolo 11, **per incentivare i proprietari di immobili** adibiti a uso abitativo, aventi locali situati al pianterreno o a un livello semi sotterraneo o sotterraneo, a **effettuare la misura della concentrazione di radon** nell'ambiente chiuso attraverso i servizi di cui all'articolo 155, comma 3, o intraprendono specifici programmi di misurazione.

2. Le Regioni e le Province autonome di Trento e Bolzano provvedono altresì nelle aree definite prioritarie ai sensi dell'articolo 11, a intraprendere **specifici programmi di misurazione della concentrazione di radon nell'ambiente chiuso per il patrimonio di edilizia residenziale pubblica**, provvedendo conseguentemente all'adozione di **misure correttive**.



Focus inquinanti VOC e formaldeide

Strumenti di misura, taratura



punto di misura		Esterno Prima	Esterno Dopo	IIA Inizio lezioni	IIA Fine lezioni	IIIA Inizio lezioni	IIIA Fine lezioni
data		25/11/19	22/11/20	25/11/16	22/11/19	25/11/19	22/11/19
ora		06:15:00	13:35:00	06:10:00	13:03:00	06:10:00	13:06:00
parametro							
Metilcicloesano	µg/m ³			8	420		286
n-Eptano	µg/m ³						119
2,3,3 trimetil pentano	µg/m ³				141		94
Etanolo	µg/m ³		9	24	120	31	28
3-Metil esano	µg/m ³				81		85
2,3,4 trimetil pentano	µg/m ³				77		52
Cicloesano	µg/m ³	7		2	69		104
2,2,5 trimetilesano	µg/m ³				68		46
Metilciclopentano	µg/m ³						9
2,4 dimetil pentano	µg/m ³						6
2-Metilesano	µg/m ³				44		57
Aceton	µg/m ³			6	20	8	16
Acetonitrile	µg/m ³						
Etil acetato	µg/m ³				18	7	7
2,3,5 trimetilesano	µg/m ³				13		10
Xilene	µg/m ³				10		6
Isopropil alcohol	µg/m ³			5	8	33	18
Isoprene	µg/m ³				7		7
3-etilpentan	µg/m ³				5		
Limonene	µg/m ³				5		
Toluene	µg/m ³		5			5	
somma	µg/m ³	7	14	45	1106	84	950



Il contributo del Laboratorio analisi Aria e Radioprotezione all'interno del progetto QAES è di supporto per tutto quello che riguarda la parte **misure e controlli strumentali** ed è questo il tema che andiamo ora ad affrontare.



Scuola universitaria professionale
della Svizzera italiana

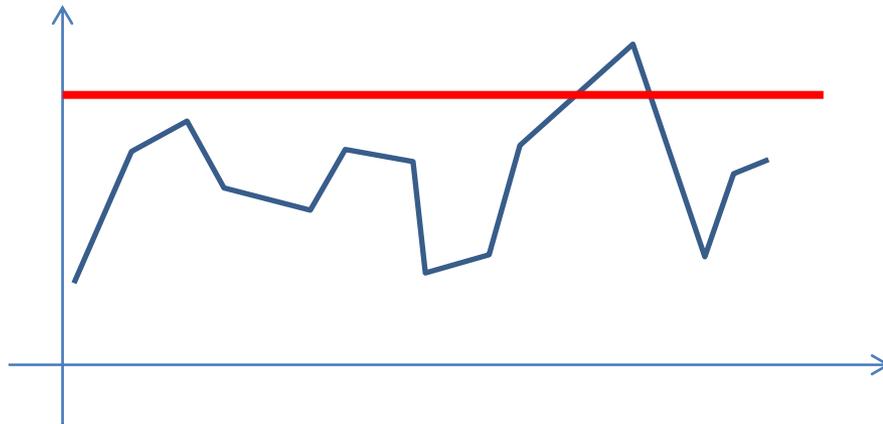
SUPSI



Gli obiettivi delle misure di IAQ

Le misure di qualità dell'aria all'interno di ambienti di vita hanno diversi **obiettivi**:

1. Ad es. un organo di controllo deve **verificare la conformità della concentrazione** di un certo inquinante rispetto a un valore limite previsto da una legge





Gli obiettivi delle misure di IAQ

Le misure di qualità dell'aria all'interno di ambienti di vita hanno diversi **obiettivi**:

2. un amministratore pubblico vuole **verificare la conformità di un materiale** che ha acquistato e che intende inserire in una scuola





Gli obiettivi delle misure di IAQ

Le misure di qualità dell'aria all'interno di ambienti di vita hanno diversi **obiettivi**:

3. un ricercatore vuole verificare gli effetti dell'esposizione di un inquinante sulla qualità della vita delle persone che soggiornano in quell'ambiente





Gli obiettivi delle misure di IAQ

Le misure di qualità dell'aria all'interno di ambienti di vita hanno diversi **obiettivi**:

4. un dirigente scolastico vuole avere sotto controllo lo stato dell'qualità dell'aria della sua scuola

IAQ





Le conseguenze di errate valutazioni sulla IAQ

- A prescindere dall'obiettivo della misura, una **valutazione errata** di questa può implicare conseguenze importanti in termini economici, ma anche di salute.
- Pensiamo all'imprenditore che acquista una partita di pannelli acustici, sulla base di un certificato di conformità sbagliato. Ma ancora peggio va all'operatore che entra dentro una cisterna perché il suo esposimetro (starato) gli indica che la concentrazione di monossido di carbonio è ok.



Le misure di IAQ

- Una misura deve dare un'informazione **corretta** e chi la fa deve avere quindi conoscenze specifiche sulle tecniche e il contesto in cui viene fatta.

**COMPETENZA +
CONOSCENZA TECNICA**



QAES

Le misure di IAQ

- Una misura è il **risultato** dell'impiego di **strumentazione** abbinato a **procedure** standardizzate, ma anche conoscenza delle variabili che condizionano il risultato della misura e del contesto in cui la misura viene effettuata.
- In mancanza di questo quello che vediamo apparire sul display è solamente un numero con un significato molto limitato, ben lontano dall'essere un valore misurato.





Misurare con affidabilità e precisione
la qualità dell'aria può essere molto
costoso.





Il progetto QAES

- Un **obiettivo** del progetto QAES è di verificare se da procedure che prevedono l'impiego di strumentazione "*low cost*", adatta quindi a tutte le tasche, si possono comunque ottenere informazioni **utili** sullo stato della qualità dell'aria di un ambiente indoor e di essere quindi impiegate, ad es. all'interno di aule scolastiche, per lunghi periodi.



Gli strumenti

I problemi principali di uno strumento di misura sono:

- la taratura,
- la sensibilità
- La selettività

Sotto questo aspetto ci sono grandezze che più di altre si adattano alla misura “*low cost*”, in particolare la temperatura, l’umidità relativa, la pressione atmosferica e l’anidride carbonica.





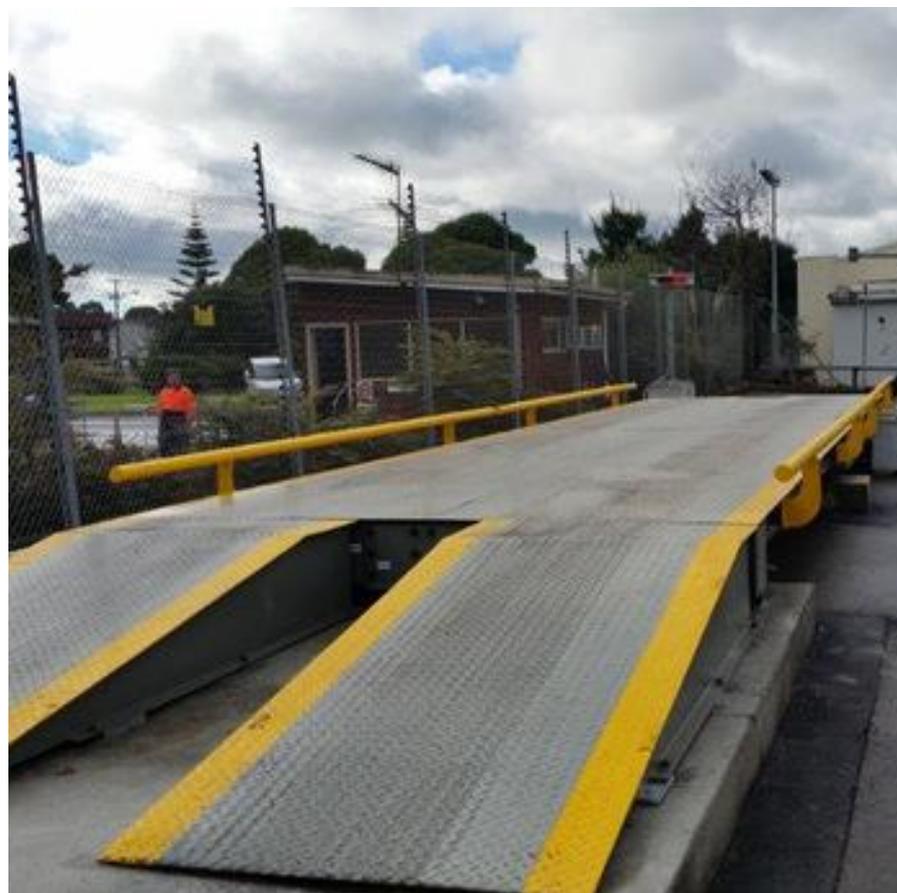
La taratura



- è l'operazione con cui il segnale di uno strumento viene messo a confronto con quello di uno strumento di riferimento, di livello superiore, la cui precisione è nota.
- Questa operazione è **fondamentale**, senza di essa non possiamo fidarci dei numeri che il nostro strumento ci indica, non sappiamo neanche se sta funzionando.



Il giusto strumento di misura..





La taratura

- Molti strumenti low cost **non** permettono di essere tarati dall'utente, il più delle volte sono accompagnati da una dichiarazione di conformità prodotta dal costruttore e un eventuale taratura successiva, sempre che il costruttore la faccia, può avere dei costi che superano il valore dello strumento stesso.
- Il **controllo della taratura** tuttavia va fatto, e va fatto a intervalli di tempo stabiliti perché qualsiasi apparecchio si stara col tempo.
- Strumenti per la misura di temperatura, umidità relativa, pressione atmosferica e anidride carbonica possono essere controllati dall'utente a costo quasi zero, tutte le volte che è necessario farlo.



Temperatura

- si immerge il sensore una volta nel ghiaccio fondente (un bicchiere pieno di cubetti di ghiaccio ricoperto d'acqua) e una volta in acqua in ebollizione per avere con buona approssimazione il valore 0°C e 100°C.
- I sensori inseriti negli strumenti low cost, spesso non consentono di essere immersi in un liquido ma con pochi euro si può acquistare un termometro a immersione, tararlo come sopra descritto e quindi verificare per confronto gli altri sensori.



Umidità relativa



- un controllo, non completo, ma comunque sufficiente, di un sensore di umidità può essere effettuato esponendo il sensore prima a un gel igroscopico (es gel di silice, è economico e si acquista facilmente in internet o in drogheria) e poi a una soluzione satura di sale da cucina.
- In questo modo avremo due punti di taratura: uno vicino allo zero e uno vicino al 75% di umidità relativa. Con un po' di manualità si può adattare due barattolini di plastica, uno per il gel e l'altro per la soluzione satura di sale, metà dei barattolini verranno riempiti con il gel o la soluzione, nell'altra metà si inserisce il sensore (senza immergerlo).



Umidità relativa

- Come per la temperatura anche in questo caso può essere più pratico procurarsi un sensore economico che si adatti a essere inserito nel foro di un barattolino e con questo confrontare successivamente i sensori montati nei vari ambienti.

Pressione atmosferica

- questo dato si può ottenere dal sito web dell'aeroporto o della stazione meteo più vicini.
- Bisogna fare attenzione che il valore di pressione indicato dagli aeroporti è sempre riferito al livello del mare, per portarlo alla quota in cui mi trovo va applicato quindi un piccolo calcolo (in internet si trova la funzione per riportare il valore di pressione a una quota diversa).

Stazione meteo Bolzano



Valori rilevati il 09/12/2020 12:20

Altitudine: **254 m s.l.m.**

Temperatura dell'aria: **5.3 °C**

Umidità relativa: **94 %**

Pressione atmosferica: 1003.6 hPa

Somma delle precipitazioni dalla mezzanotte: **1.8 mm**

Direzione del vento: **E**

Velocità media del vento: **5.8 km/h**



Pressione atmosferica

$$P_z = P_m * \text{EXP} (-0,127 * (Q_z / 1000))$$

P_z pressione alla quota Z in mbar

P_m pressione livello del mare in mbar

Q_z quota di destinazione in m



Anidride Carbonica (CO₂)

- come riferimento può essere presa, con buona approssimazione, la concentrazione di CO₂ esterna che in ambiente urbano, non eccessivamente trafficato, ha un valore intorno ai **450 ppm**.
- Temperatura, umidità relativa, pressione atmosferica e anidride carbonica, misurati con strumentazione low cost, il cui stato di taratura è stato controllato come descritto, possono quindi darci informazioni affidabili e utili sulla qualità dell'aria all'interno di un ambiente di vita.



Sensibilità e selettività

- Per altri parametri come ad es. composti organici volatili e formaldeide, l'applicazione low cost **risulta più critica**. Il problema principale è che si vanno a misurare **quantità molto piccole con sensori non sufficientemente sensibili**.
- Ad es. ci sono sensori commerciali, low cost, per la misura della formaldeide riportano un campo di misura da 0 a 5 ppm.





Sensibilità e selettività

- 5 ppm per un ambiente indoor è un **valore enorme**, che non è assolutamente possibile trovare in un aula scolastica. Infatti il valore limite di formaldeide che non deve essere superato in un ambiente indoor è di **0,1 ppm** e per poterlo determinare il sensore dovrebbe essere così sensibile da rilevare con precisione una concentrazione di almeno 0,05 ppm (100 volte più piccola del fondoscala), sarà così?
- In pratica è come misurare lo spessore di un foglio di carta utilizzando una squadretta da disegno.



Sensibilità e selettività

- Quindi la sensibilità è il **problema principale** di questi sensori e di conseguenza anche la **selettività**, ovvero la capacità di “isolare” il segnale della sostanza ricercata da quello generato da altre sostanze “interferenti”, più piccola è la quantità che andiamo a misurare, più alto è il peso che possono avere gli interferenti sul risultato.



Sensibilità e selettività

- Per interferente si intende che la presenza di una sostanza diversa nell'aria, ma anche condizioni fisiche diverse (T, UR, P) cambia il segnale di quella che sto misurando causando quindi un errore.



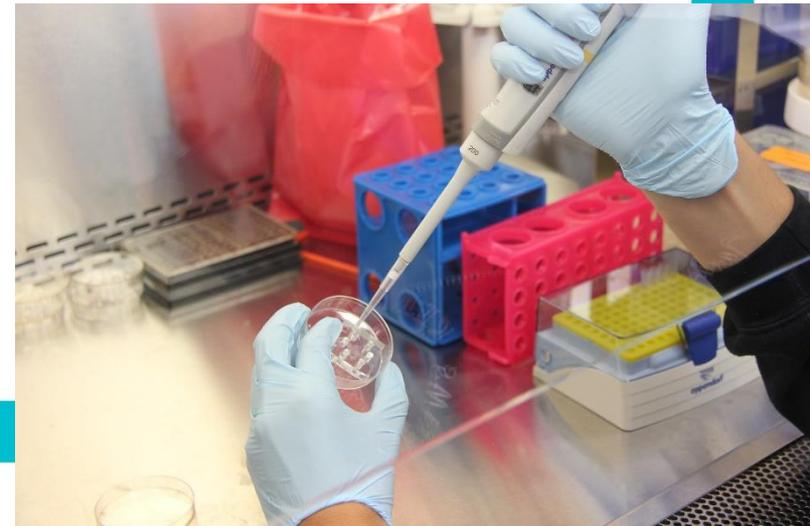


In sintesi, per misurare quantità piccole di sostanze serve strumentazione sofisticata e costosa.



perché voglio monitorare la concentrazione di sostanze come la formaldeide o i VOC all'interno di un ambiente indoor?

In un laboratorio dove si effettuano esami istologici è effettivamente importate monitorare in continuo la concentrazione di formaldeide, viene utilizzata in quantità elevata in un ambiente dove medico e operatori sono continuamente esposti.





monitorare formaldeide o i VOC all'interno di un ambiente di vita?

In un'aula scolastica la situazione è un po' diversa, quando in seguito a una ristrutturazione o all'inserimento di nuovi arredi misuro correttamente la concentrazione di formaldeide, so che se non cambio nulla questa rimarrà tale per anni.





monitorare formaldeide o i VOC all'interno di un ambiente di vita?

- Stesso dicasi per i **composti organici volatili** dove, salvo casi particolari, l'inquinamento prodotto dell'attività svolta dalle persone e dalle persone stesse è molto maggiore di quello dato da arredi e struttura. Quindi conoscendo l'attività svolta, l'emissione di VOC non cambierà sensibilmente nel tempo.





monitorare formaldeide o i VOC all'interno di un ambiente di vita?

In pratica se questi inquinanti vengono misurati **correttamente una volta**, allora la sola misura della CO₂, temperatura e umidità dell'aria sono sufficienti a tenere sotto controllo la qualità dell'aria di un ambiente.

IAQ





Se mi rivolgo ad un Laboratorio...

- ho quindi necessità di misurare la concentrazione di alcuni inquinanti particolari all'interno di un ambiente, in questo caso potrebbe essere utile appoggiarsi a un **laboratorio di prova**, il quale dovrebbe disporre delle apparecchiature e delle conoscenze adeguate a poter effettuare le misure che la strumentazione in mio possesso non è in grado di fare.
- In questa eventualità, a mio parere, è **necessaria comunque una conoscenza di base**, per valutare l'attività svolta dal laboratorio che ho incaricato (e pagato).



Le analisi eseguite da un Laboratorio

- Il passo iniziale per misurare un inquinante in aria è l'applicazione di un **metodo di prova standardizzato**, questo documento riporta la procedura da adottare, la tecnica, le caratteristiche delle apparecchiature, i materiali da impiegare.
- I metodi di prova sono elaborati ed emessi da enti nazionali e internazionali come **UNI, EN, ISO**, la loro applicazione non è obbligatoria a meno che non sia previsto da qualche legge.



Le analisi eseguite da un Laboratorio

- È comunque importate che un laboratorio li applichi, pensiamo alla situazione di dover confrontare dati misurati nello stesso ambiente ma da istituti diversi, se sono stati impiegati metodi diversi e non si conosce il livello di equivalenza fra un metodo e l'altro, anche l'interpretazione ne risulterà difficoltosa.
- Per questo motivo i metodi EN-ISO sono detti “**metodi di riferimento**” tutti gli altri metodi, nazionali o alternativi, possono essere comunque impiegati, previa verifica che i risultati ottenuti siano equivalenti a quelli ottenuti con il metodo di riferimento (per questo esistono delle norme dedicate).



Il metodo di prova

Il metodo di prova descrive le **tecniche** che consentono di misurare un parametro fisico o chimico che caratterizza la qualità dell'aria di un ambiente. Queste tecniche hanno sostanzialmente due approcci:

1. Misura **indiretta**, in questo caso la sostanza da misurare viene prima concentrata su un supporto idoneo (fiala, filtro, soluzione) e poi determinato in un altro momento.
2. Misura **diretta**, è caratteristica della strumentazione automatica dove il risultato della misura è ottenuto in tempi molto brevi (secondi)



Il metodo di prova

- La misura **indiretta** è più sensibile, precisa di quella diretta, il risultato che ottengo rappresenta la concentrazione media dell'inquinante nel tempo che ho impiegato a prelevarlo (30 min, 1 ora ecc.). Uno svantaggio della misura indiretta é che si presta poco a prelievi di breve durata e il suo impiego è più costoso di quella diretta.



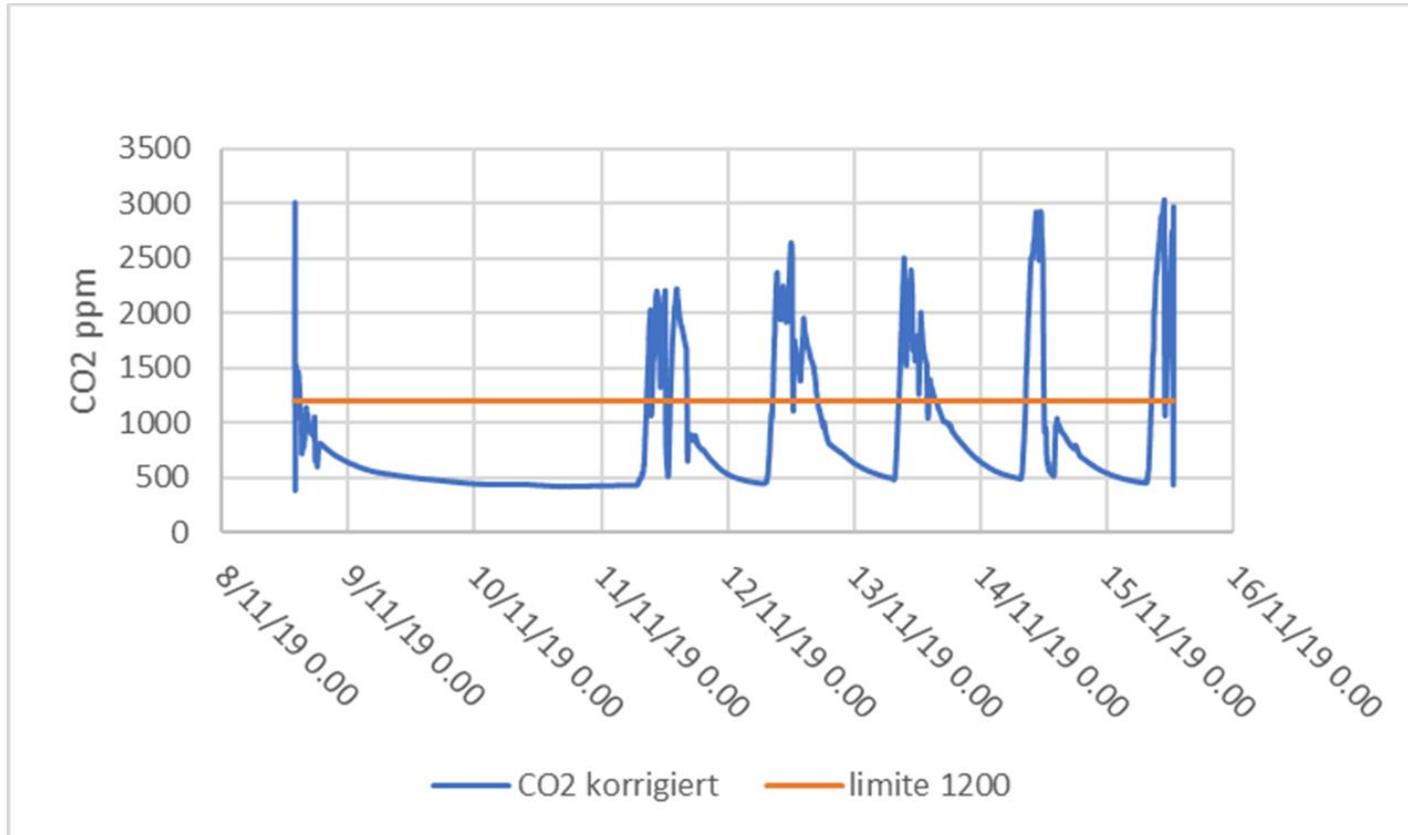


Il metodo di prova

- La misura **diretta** è alle volte meno sensibile di quella indiretta ma ha il vantaggio di ottenere gli andamenti nel tempo della concentrazione di un inquinante, che ad es., nel caso della CO₂ può essere un dato molto importante.
- Importante nella misura diretta è che lo strumento sia in grado di misurare l'evento nello stesso tempo in cui questo avviene.

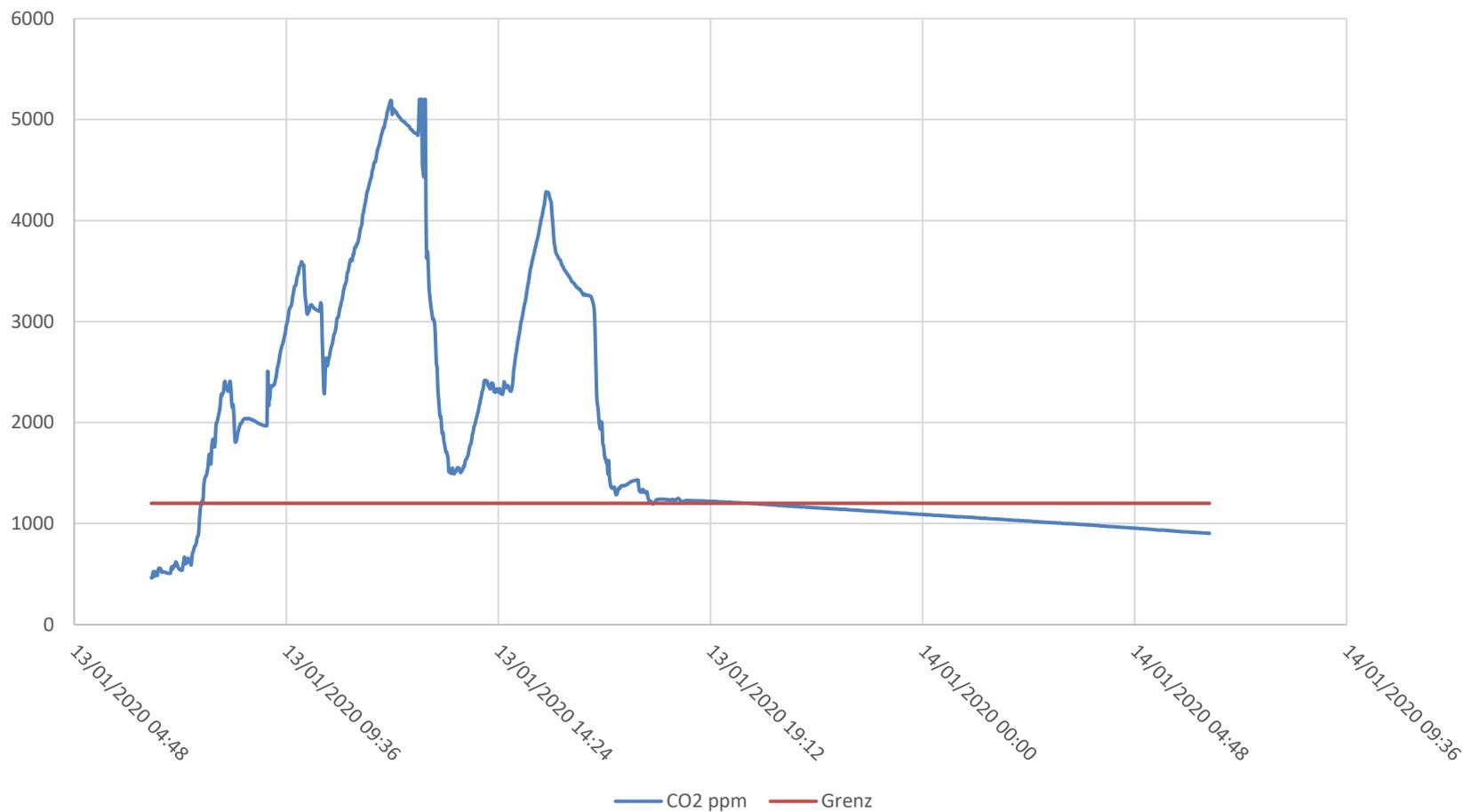


Il metodo di prova





QAES





Il metodo di prova

- Ad esempio, se voglio verificare in quanto tempo l'aria si cambia aprendo le finestre dovrò disporre di un apparecchio con tempi di risposta molto veloci, altrimenti non riuscirò a valutare correttamente il tempo necessario a cambiare l'aria.



Il metodo di prova

Il metodo mi dice anche quali sono le variabili ambientali che condizionano il risultato della prova.

Conoscere queste variabili è fondamentale per ottenere una misura corretta

Facciamo un esempio



Misura della formaldeide

- metodo ISO 16000-2-3
- misura indiretta
- campionamento con fiala DNPH
- determinazione in HPLC

tralasciamo il principio chimico che trattiene la formaldeide sulla fiala e concentriamoci sulle variabili ambientali, riportate nella parte 2 del metodo, che condizionano la misura.



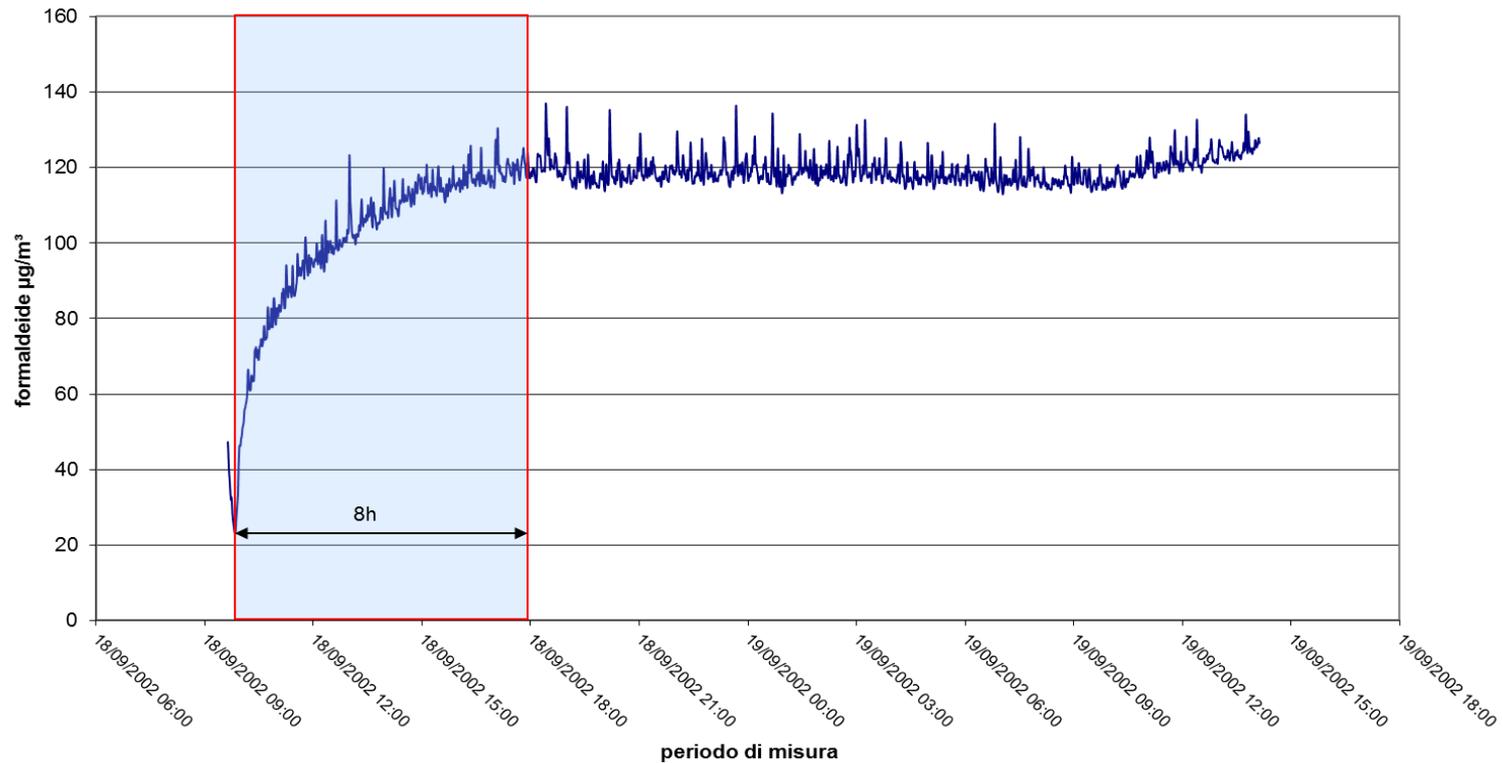
Misura della formaldeide

- La prima condizione che mi chiede il metodo è di effettuare la misura in **condizioni di equilibrio**, è una condizione che si raggiunge quando la concentrazione della sostanza all'interno di un locale, dopo che è stato abbondantemente arieggiato e poi chiuso, non aumenta e non diminuisce più (andamento orizzontale).
- La misura, quindi, viene effettuata in questa condizione, sotto questo aspetto la durata del prelievo è influente, la misura risulterà comunque rappresentativa della massima concentrazione che può svilupparsi in quell'ambiente.



Misura della formaldeide

Andamento della formaldeide all'interno di un locale in condizioni di equilibrio

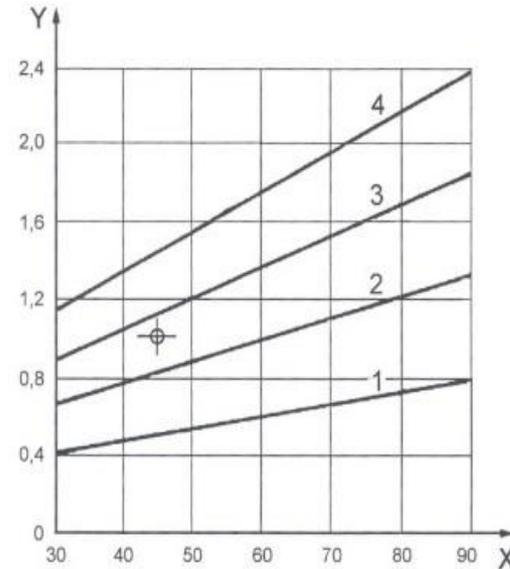


Misura della formaldeide

A determinare questa condizione il metodo mi avvisa che ci sono tre variabili:

- Temperatura,
- umidità
- ricambi d'aria.

Lo stesso metodo mi dice anche in che misura queste variabili possono incidere sul risultato.



Legende

X relative Luftfeuchte, H , in Prozent
 Y Faktor K

- 1 Temperatur = 15 °C
- 2 Temperatur = 20 °C
- 3 Temperatur = 25 °C
- 4 Temperatur = 30 °C

ANMERKUNG 1 Parameter für $K = 1$: Temperatur 23 °C; relative Luftfeuchte 45 %; Luftwechselzahl 1 h^{-1} ; Raumbeladung $1 \text{ m}^2/\text{m}^3$.

ANMERKUNG 2 $C_{24\text{h}} = C_{23/45} \cdot K$, ausgedrückt in Milliliter je Kubikmeter (ppm).

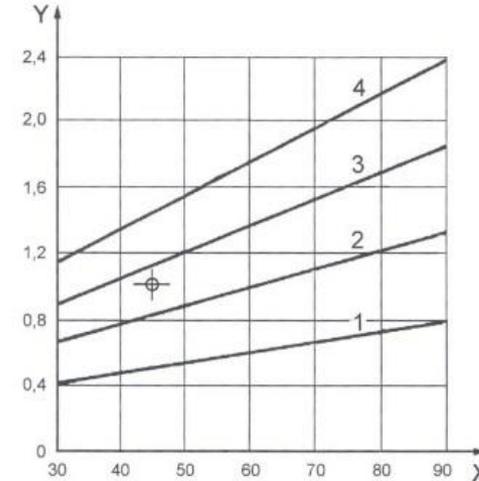
Bild 1 — Graphische Darstellung zur Umrechnung der Raumluftkonzentration in Abhängigkeit von Temperatur und relativer Luftfeuchte^{[1], [4]}



Misura della formaldeide

Questo diagramma mi dice che temperatura e umidità, più alte sono, più alta sarà la concentrazione che andrò a misurare.

EN ISO 16000-2:2006 (D)



Legende

X relative Luftfeuchte, H , in Prozent
 Y Faktor K

- 1 Temperatur = 15 °C
- 2 Temperatur = 20 °C
- 3 Temperatur = 25 °C
- 4 Temperatur = 30 °C

ANMERKUNG 1 Parameter für $K = 1$: Temperatur 23 °C; relative Luftfeuchte 45 %; Luftwechselzahl 1 h^{-1} ; Raumbeladung $1 \text{ m}^3/\text{m}^3$.

ANMERKUNG 2 $C_{3H} = C_{23/45} \cdot K$, ausgedrückt in Milliliter je Kubikmeter (ppm).

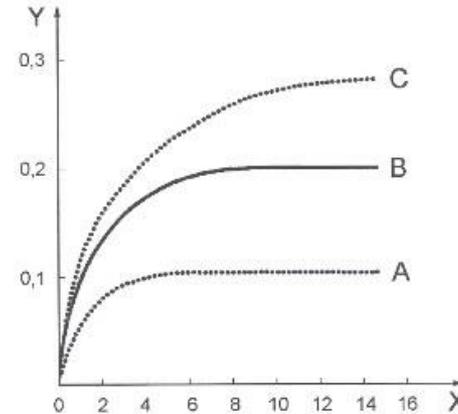
Bild 1 — Graphische Darstellung zur Umrechnung der Raumluftkonzentration in Abhängigkeit von Temperatur und relativer Luftfeuchte^{[1], [4]}



Misura della formaldeide

Questo diagramma mi dice che meno ricambi d'aria ci sono, più alta sarà la concentrazione che andrò a misurare.

EN ISO 16000-2:2006 (D)



Legende

- X Zeit, ausgedrückt in Stunden
- Y Formaldehyd-Konzentration, ausgedrückt in Milligramm je Kubikmeter
- A Luftwechselzahl $> 0,5 \text{ h}^{-1}$
- B Luftwechselzahl $= 0,5 \text{ h}^{-1}$
- C Luftwechselzahl $< 0,5 \text{ h}^{-1}$

Bild 2 — Formaldehyd-Gleichgewichtskonzentration im Verhältnis zur Luftwechselzahl



Misura della formaldeide

È chiaro quindi che prima di procedere alla misura dovrò individuare le condizioni più gravose di utilizzo del locale (T e UR più elevate) e comunicarle al laboratorio.

- La misura della temperatura e dell'umidità è relativamente semplice, più impegnativa è la valutazione dei ricambi d'aria.
- Questo dato posso però ottenerlo attraverso la misura degli andamenti della CO₂ con ambiente affollato e vuoto. Valutando questi andamenti posso “estrapolare” con buona approssimazione i ricambi d'aria.



Misura della formaldeide

- È per questo motivo che noi riteniamo la misura della CO₂ il miglior indicatore della qualità dell'aria in un ambiente indoor, appunto perché oltre al valore della CO₂ otteniamo informazioni utili alla valutazione dell'esposizione di altri inquinanti e queste informazioni possiamo ottenerle anche impiegando strumentazione low cost, ben tarata.



Dal rapporto di prova risulta un'elevata concentrazione di formaldeide, come mai?

La formaldeide che misuriamo all'interno di un ambiente può avere tre origini:

1. Formaldeide "libera", rilasciata dall'utilizzo di alcuni prodotti (ad es. per la pulizia) oppure da fonti di combustione (ad es. fumo di tabacco). Questa formaldeide viene eliminata molto rapidamente con l'areeggiamento del locale.
2. Formaldeide rilasciata per idrolisi da materiali che contengono resine urea-formaldeide (ad es. materiali a base di legno: multistrato, MDF, truciolari, schiume). Questa formaldeide viene rilasciata continuamente, per anni, dai materiali che la contengono e tende ad accumularsi negli ambienti chiusi.
3. Formaldeide passiva, assorbita da alcuni materiali e poi rilasciata nell'aria. Gli effetti di questo fenomeno sono tuttavia limitati.



Dal rapporto di prova risulta un'elevata concentrazione di formaldeide, come mai?

- Considerata la modalità di ottenimento delle condizioni di equilibrio che ho descritto prima, con abbondante arieggiamento del locale prima della sua chiusura, è chiaro che la maggior parte di formaldeide che misuriamo all'interno di un locale, è formaldeide prodotta per idrolisi, inutile quindi andare a cercare la causa nei prodotti di pulizia o nel fumo di tabacco (fra l'altro proibito all'interno di un'aula scolastica)
- È possibile, inoltre, che concentrazioni elevate di formaldeide non siano solo causate dall'impiego di materiali che ne contengono troppa. Abbiamo accennato agli effetti di temperatura, umidità e ricambi d'aria sulla misura.



Dal rapporto di prova risulta un'elevata concentrazione di formaldeide, come mai?

Concentrazioni elevate di formaldeide possono essere provocate da:

- Impiego di materiali non a norma
- Impiego di materiali a norma ma condizioni di temperatura e umidità elevate
- Impiego di materiali a norma ma ricambi d'aria insufficienti
- Impiego di materiali a norma, ma in quantità eccessiva
- Tutte le variabili precedenti



Il simulatore

Con questo simulatore, nei suoi limiti, abbastanza fedele alla realtà, possiamo verificare gli effetti di riempimento, temperatura, umidità e ricambi d'aria sulla concentrazione di formaldeide.



Commenti:

- *in questa simulazione sono stati impiegati materiali con emissione di formaldeide pari a $\frac{1}{2}$ della classe E1, con un fattore di riempimento 1, temperatura 23 °C, 45% ur, 1 ricambio aria ora.*
- *In queste condizioni la concentrazione di formaldeide è di molto inferiore al limite di 123 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, le condizioni di equilibrio si raggiungono in meno di 4 ore.*



Commenti:

- *in questa seconda simulazione sono stati impiegati i medesimi materiali con emissione di formaldeide pari a ½ della classe E1 e con un fattore di riempimento 1. La temperatura è stata portata a 27 °C, l'umidità a 60% UR, i ricambi ridotti a 0,5.*
- *In queste condizioni (non rare nelle stagioni più calde) la concentrazione di formaldeide supera il limite di 123 µg/m³, le condizioni di equilibrio si raggiungono in circa 8 ore e tutto questo senza aver cambiato nulla nell'arredamento.*



Faccio osservare che in edifici scolastici, di recente realizzazione, senza ventilazione meccanica controllata, i ricambi d'aria sono prossimi allo zero, la progettazione della superficie finestrata apribile e il suo corretto posizionamento diventano quindi **fondamentali** per una buona qualità dell'aria all'interno delle aule come in qualsiasi altro ambiente di vita.



Protocollo di misura: strumentazione, allestimento



Per ulteriori approfondimenti consultare:

<https://www.qaes.it/deliverables>



WP4 Misurazione e monitoraggio *Task 4.1 – Definizione di un protocollo di misurazione*



Datalogger CO₂





Misure di VOC



Misure di TVOC

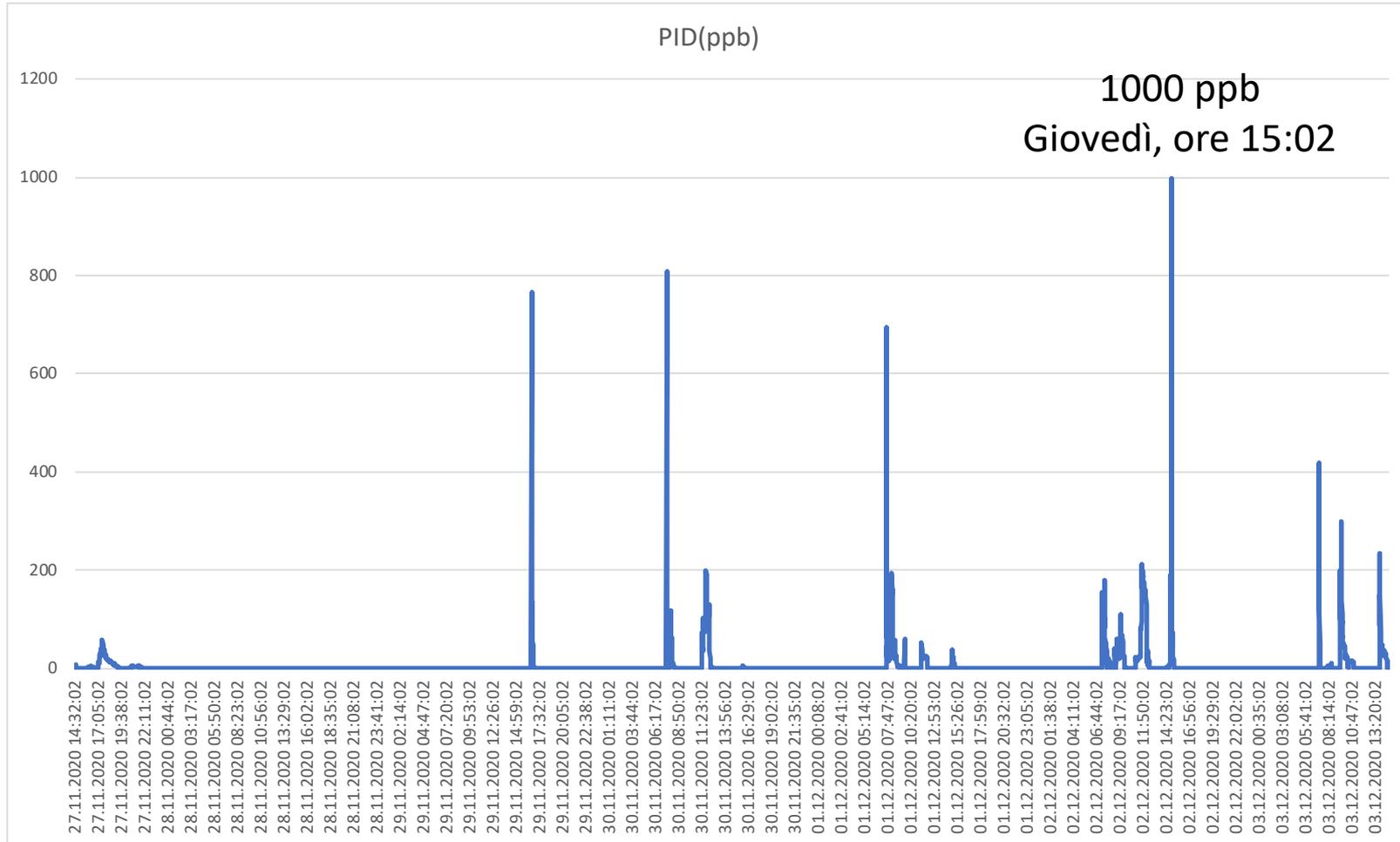


fotoionizzatore





QAES





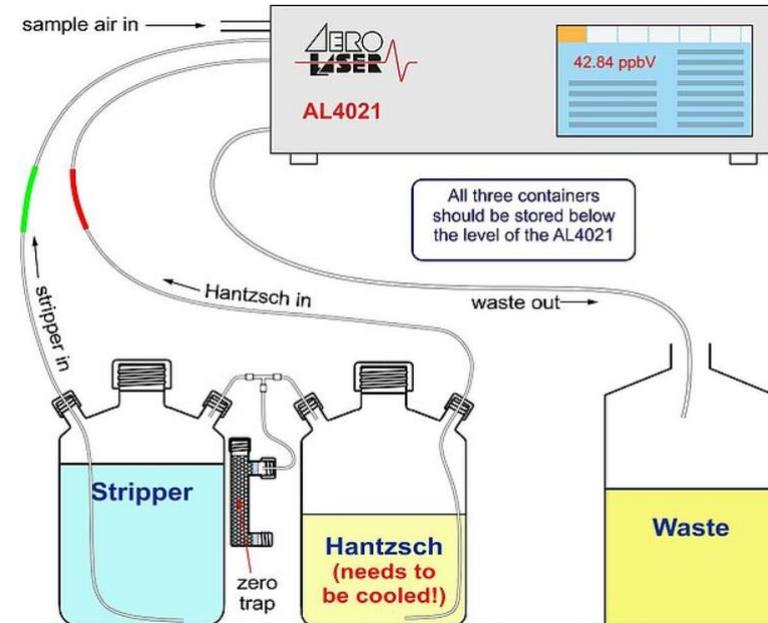
Misure di formaldeide (puntuale)

ISO 16000-3



Misure di formaldeide in continuo

HCHO - Monitor AL4021



Scheme of tubing between the AL4021 and the cooled reagents (Hantzsch, Stripper).



Misure di radon





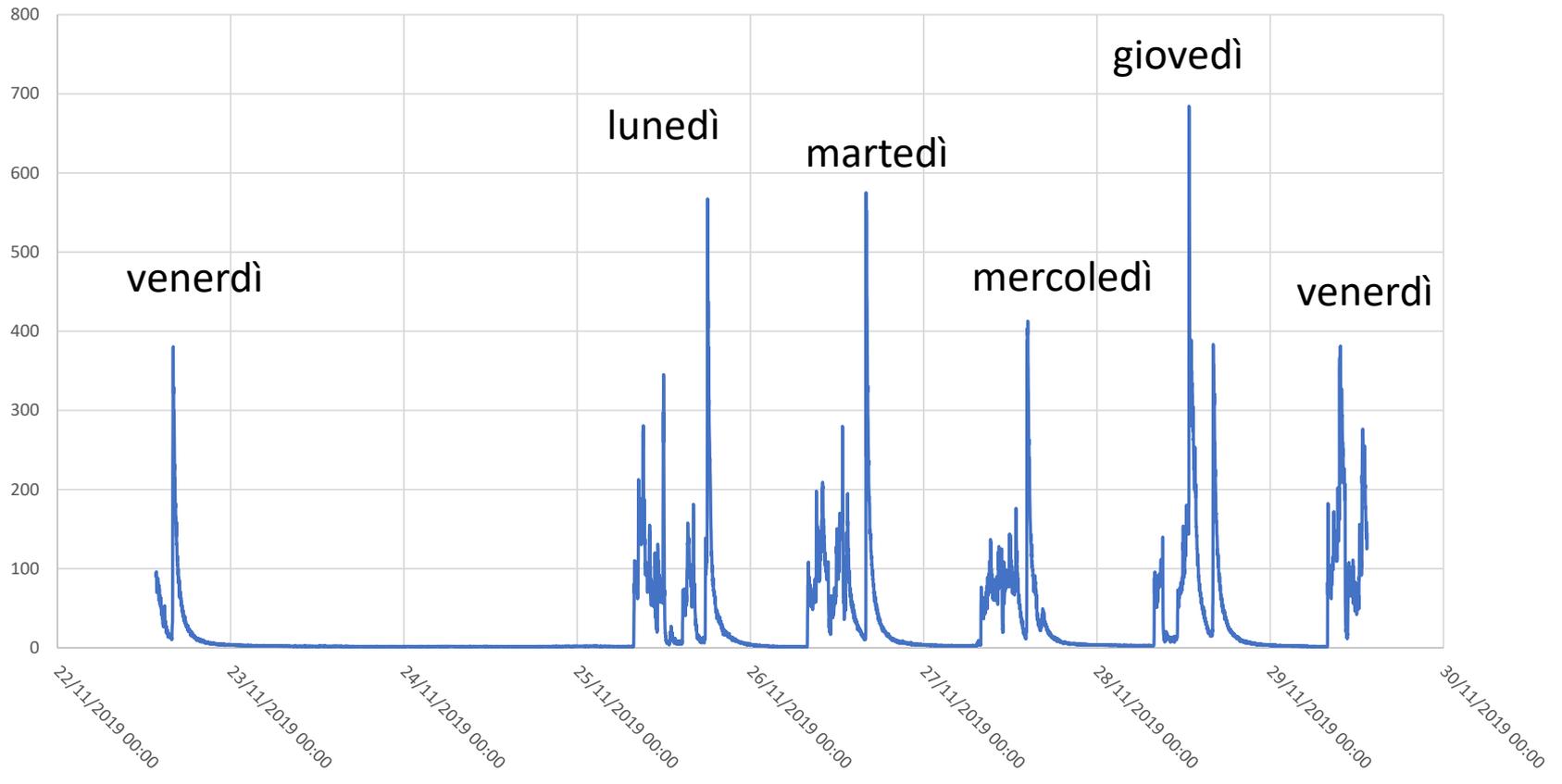
Misura di PM (diretta – in continuo / indiretta)



Spettrometro ad alta precisione



PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]





Misure biologiche



Campionatore attivo per il campionamento microbiologico dell'aria



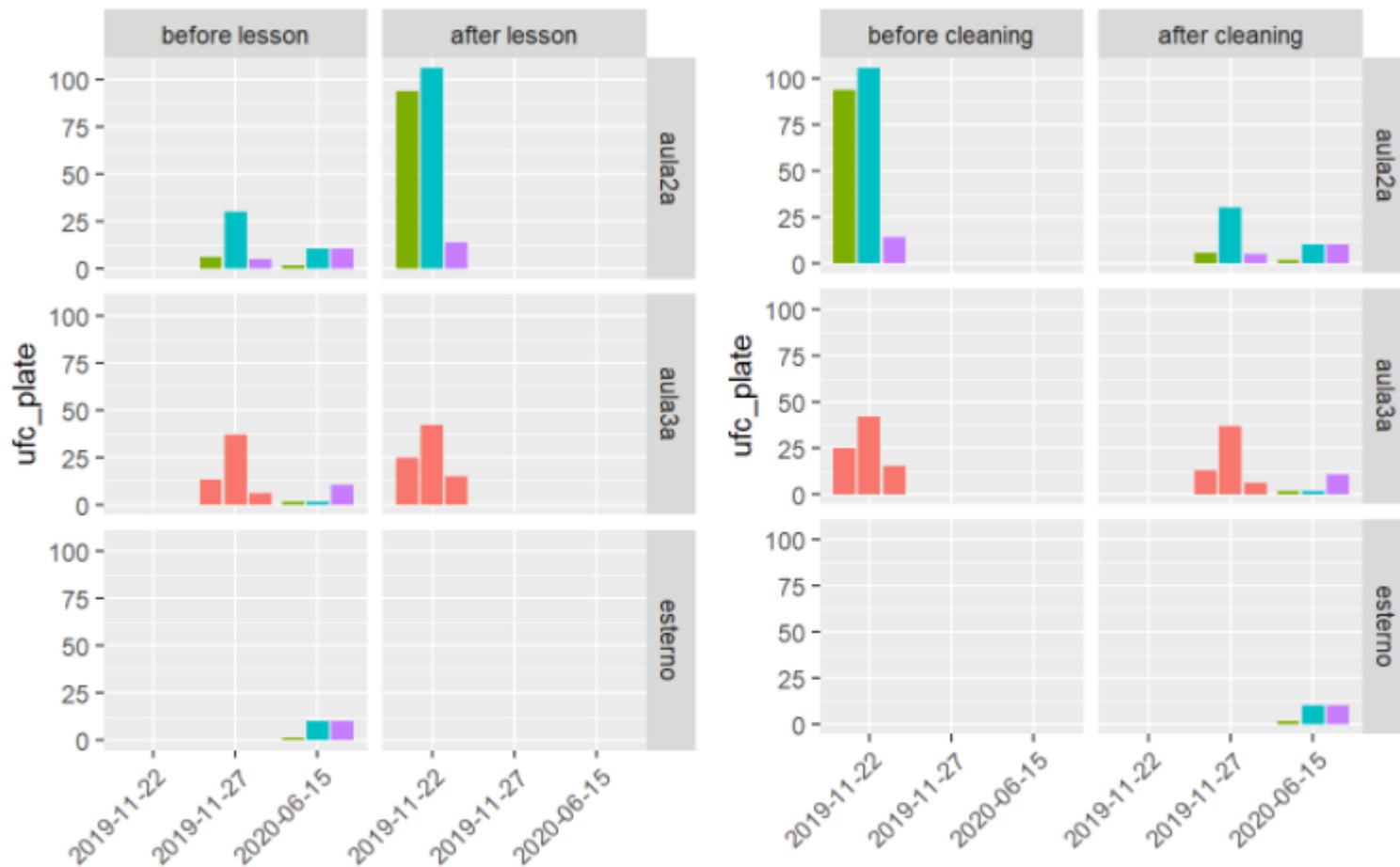


Misure biologiche





QAES



Archimede aula 2a, aula 3a, esterno, tabella appa_microbiology

colture_type 0 Colonie a 22°C Colonie a 36°C Muffe



Contatti:

Gianmaria Fulici

Laboratorio analisi aria e radioprotezione

Gianmaria.Fulici@provincia.bz.it