



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA  
TERRITORIO E SISTEMI AGRO-FORESTALI

Corso di laurea magistrale in Scienze forestali e ambientali

**Influenza della temperatura e dell'umidità nella  
misurazione di formaldeide e TVOC su prodotti a  
base di legno**

Relatore  
Prof.ssa Tiziana Urso  
Correlatore  
Dott. Martino Negri

Laureando:  
Pasquale Destefano  
Matricola n. 1058592

ANNO ACCADEMICO 2014-2015



*Dedicato a Marisa  
e la mia famiglia*

## **Indice**

RIASSUNTO .....	3
ABSTRACT.....	4
1. INTRODUZIONE.....	5
1.1 La qualità dell'aria negli ambienti indoor .....	5
1.2 Inquinamento indoor .....	7
1.2.1 Sorgenti di inquinamento indoor .....	7
1.2.2 Sostanze inquinanti.....	8
1.2.3 Effetti sulla salute umana.....	11
1.3 Composti organici volatili (VOC).....	13
1.3.1 Tecniche di campionamento e di analisi dei composti organici volatili.....	17
1.4 Formaldeide (HCHO).....	18
1.4.1 Sistemi di classificazione delle emissioni di formaldeide dai pannelli a base di legno .....	19
2. Riferimenti Normativi.....	22
2.1 La situazione internazionale ed europea.....	22
2.2 La situazione in Italia .....	23
2.3 Norme tecniche.....	24
3. MATERIALI E METODI.....	26
3.1 Materiali e prodotti a base di legno .....	26
3.1.1 Semi-lavorati.....	26
3.1.2 Parquet composito.....	33
3.1.3 Legno massiccio da costruzione (Larice) .....	34
3.2 Strumenti per il monitoraggio .....	36
3.2.1 Sistema di campionamento .....	36
3.2.2 Interscan 4000.....	41

3.2.3 PhoCheck Tiger (PID) .....	42
3.3 Prove preliminari camera di campionamento.....	43
3.4 Monitoraggio composti organici volatili totali (TVOC) e formaldeide .....	45
3.4 Analisi dei dati.....	49
3.4.1 Calcolo incertezza delle misure .....	50
3.4.2 Procedura di normalizzazione secondo il fattore di carico e il ricambio d'aria .....	51
4. RISULTATI .....	53
4.1 Presentazione dei risultati.....	53
4.1.1 Ripetizioni a condizioni costanti.....	54
4.1.2 Prove sui diversi materiali .....	55
4.1.3 Prove sui materiali normalizzate per fattore di carico e ricambio d'aria.....	58
4.1.4 Prove sui materiali normalizzate secondo UNI EN ISO 16000-2 .....	60
4.1.5 Prove sui materiali normalizzate secondo coefficienti sperimentali .....	64
4.2 Discussione dei risultati.....	66
5. CONCLUSIONI .....	68
RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI .....	70
RIFERIMENTI SITOGRAFICI.....	74

ALLEGATO I - Scheda tecnica Interscan 4000

ALLEGATO II - Scheda tecnica PhoCheck Tiger (PID)

## **RIASSUNTO**

I materiali a base di legno possono rilasciare una vasta gamma di sostanze, in particolare sostanze organiche volatili e formaldeide, e svolgono un ruolo importante nella determinazione della qualità dell'aria interna.

Lo scopo del presente studio è di approfondire e analizzare, mediante l'ausilio di metodi di misurazione speditivi, l'impatto di temperatura e umidità sulle concentrazioni di TVOC e formaldeide emesse da alcuni prodotti a base di legno.

Nella prima parte del lavoro sono stati definiti i parametri che caratterizzano gli ambienti interni: sorgenti inquinanti, sostanze inquinanti e gli effetti sulla salute. In particolare sono stati approfonditi i temi riguardanti i composti organici volatili con le tecniche di misura, quali monitoraggi tramite strumentazione e la formaldeide descrivendo i sistemi di classificazione delle sue emissioni dai pannelli a base di legno.

Nel secondo capitolo sono state analizzate le normative e le linee guida vigenti a livello internazionale, europeo e nazionale, approfondendo la norma UNI EN ISO 16000 di primario interesse per la qualità degli ambienti indoor.

Nella terza parte del lavoro sono stati descritti i materiali a base di legno su cui è stata eseguita la sperimentazione; la concezione, l'assemblaggio e il monitoraggio di un sistema di campionamento delle emissioni a diversa temperatura e umidità e l'acquisizione delle tecniche d'impiego di due strumentazioni di misura: un misuratore di VOC totali (TVOC) a fotoionizzazione e un misuratore di formaldeide con sensore elettrochimico. In seguito si è proceduto alle misurazioni sperimentali sul materiale selezionato e all'analisi dei dati.

L'elaborazione dei dati grezzi realizzata nell'ultima parte del lavoro, ha previsto dapprima una normalizzazione dei dati stessi secondo il fattore di carico e il tasso di ricambio d'aria, in seguito si è eseguita una correzione secondo la norma UNI EN ISO 16000-2 e una differente correzione utilizzando un coefficiente calcolato sperimentalmente.

## **ABSTRACT**

Materials that are wood based can release a wide range of substances, in particular volatile organic substances and formaldehyde. They also play an important part in determining the quality of indoor air.

The purpose of this study is to investigate and analyse, using expeditious measurement methods, the impact of temperature and humidity on concentrations of TVOC and formaldehyde emitted from certain wood based products.

In the first part the parameters which characterise the internal air will be discussed, which are pollutant sources, pollutant substances and the effects these have on health. In particular the themes regarding the volatile organic compounds will be discussed with regards to the measuring techniques, such as monitoring using specific instruments and analysing the formaldehyde in accordance with the classification of their emissions from panels that are wood based.

In the second chapter the standards and the international, European and national guide lines will be analysed, deepening the UNI EN ISO 16000 standards with the primary interest of the quality of indoor air.

The third section will analyse the wood based materials which were experimented on, the concept, the design assembly and monitoring of a range of samples of emissions in different temperatures and levels of humidity, and the acquisition of the technical application of two measurement instruments: one that detects the total VOC photo ionization and one that measures the levels of formaldehyde with electrochemical sensors. This will then proceed to the experimental measurements on the selected material, and data analysis.

The processing of the data collected in the latter part of the work provided first a standardisation of the data according to the loading factor and the rate of air exchange. Following this the results were adjusted according to the UNI EN ISO 16000-2 standards and in accordance to the coefficient calculated during the experimental stage.

## **1. INTRODUZIONE**

I materiali a base di legno svolgono un ruolo importante nella determinazione della qualità dell'aria in ambiente indoor, poiché possono rilasciare una vasta gamma di sostanze, in particolare i composti organici volatili (VOC) e formaldeide (HCHO).

La misura dei composti organici volatili e formaldeide è influenzata da importanti parametri climatici, in particolare temperatura e umidità.

Precedenti studi di laboratorio, sulle emissioni dei VOC e formaldeide su prodotti a base di legno, sono stati condotti in determinate condizioni standard (23°C di temperatura, 45% di umidità relativa). Tuttavia le condizioni al contorno degli edifici reali sono solitamente diverse da tali valori di temperatura e umidità.

Pertanto in letteratura sono forniti dei coefficienti correttivi che consentono di normalizzare i rilievi eseguiti a condizioni non standard.

Lo scopo di questo studio è analizzare quantitativamente, mediante l'ausilio di metodi (apparecchiature e procedure) di misurazione speditivi, l'impatto di temperatura e umidità sulle concentrazioni di TVOC e formaldeide su alcuni prodotti a base di legno. Tali informazioni possono essere utili per i progettisti, nella scelta dei migliori prodotti a base di legno per uso interno, e ridurre l'esposizione ai composti organici volatili (VOC) e formaldeide con conseguente miglioramento della qualità dell'aria.

### **1.1 La qualità dell'aria negli ambienti indoor**

La qualità di vita all'interno di un edificio dipende da molti fattori, tra cui uno dei più importanti è la qualità dell'aria. L'espressione "ambiente indoor" è riferita agli ambienti di vita e di lavoro non industriale (per il lavoro industriale vige una specifica normativa). Secondo questo criterio il termine "ambiente indoor" comprende ambienti di vita (uffici pubblici e privati), ambienti adibiti a servizi per la collettività (scuole, ospedali, alberghi ecc.), ambienti destinati ad attività ricreative e/o sociali (cinema, musei, bar, ristoranti, negozi, strutture sportive, ecc.) e infine i mezzi di trasporto (aerei, treni, navi ecc.).

Nel corso degli anni il problema della qualità dell'aria negli ambienti indoor ha assunto una notevole importanza in relazione soprattutto al progressivo deterioramento della qualità dell'aria stessa, con conseguenze sul benessere e sulla



salute umana. Numerosi studi scientifici, hanno infatti dimostrato la presenza nell'aria, negli ambienti confinati non industriali, di agenti inquinanti a bassa concentrazione che possono comportare conseguenze importanti sulla salute fisica e mentale (Sarigiannis Dimosthenis *et al.*, 2011).

In particolare i problemi possono (Moncada Lo Giudice e De Santoli, 1999):

- aumentare i problemi di salute, come tosse, irritazioni, mal di testa, allergie;
- ridurre la produttività conseguente allo stato di malessere o assenteismo;
- peggiorare i rapporti delle persone all'interno del luogo di lavoro;
  - accelerare il deperimento dei materiali di cui è costituito l'edificio, come arredi, tappezzerie ecc.

Le cause di tale situazione sono attribuibili ai seguenti motivi (Coordinamento Tecnico per la sicurezza nei luoghi di lavoro delle Regioni e delle Province Autonome, in collaborazione con ISPESL, 2006):

- le misure di contenimento dei consumi termici negli edifici, in seguito all'emanazione della legge 373/76, che ha indotto a utilizzare tecniche costruttive che riducono gli scambi termici verso l'esterno, limitando i ricambi d'aria;
- l'impiego di nuovi materiali per l'edilizia e per gli arredi;
- la scarsa attenzione progettuale nei confronti della pulizia edilizia e l'impiego di prodotti chimici quali insetticidi, deodoranti, detersivi ecc.;
- il più frequente utilizzo di impianti di ventilazione forzata e di condizionamento.

Inoltre, come risulta da alcune indagini a livello europeo, la popolazione nelle società moderne trascorre una parte molto rilevante negli ambienti confinati. Di conseguenza l'esposizione all'inquinamento indoor è maggiore rispetto a quello esterno.

Studi in ambiente indoor hanno dimostrato che in presenza di fonti con uno scarso ricircolo di aria, i livelli di inquinanti in particolare i composti organici volatili, possono essere 10 - 20 volte superiori a quelli rilevati all'esterno, come nel caso della formaldeide (Salthammer *et al.*, 2010).

## **1.2 Inquinamento indoor**

Il Ministero dell'Ambiente italiano (1991) dà la seguente definizione di inquinamento indoor: "La presenza nell'aria di ambienti confinati di contaminanti fisici, chimici e biologici non presenti naturalmente nell'aria esterna di sistemi ecologici di elevata qualità".

### **1.2.1 Sorgenti di inquinamento indoor**

L'inquinamento indoor può essere originato da diverse sorgenti. Le concentrazioni sono molto variabili nel tempo e dipendono dalla tipologia di sorgente, dalla ventilazione e dalle abitudini e attività svolte dagli occupanti negli ambienti interni. Le sorgenti che rilasciano inquinanti nell'aria costituiscono la principale causa dei problemi concernenti, la qualità dell'aria.

Le attività degli occupanti e le condizioni igieniche rivestono un ruolo importante per l'inquinamento dell'aria negli ambienti indoor: le fonti più comuni sono il fumo di tabacco, i processi di combustione, prodotti di largo consumo per la pulizia e manutenzione, l'uso di colle, adesivi ecc. (Lepore *et al.*, 2010).

Un'altra importante fonte di inquinamento indoor sono i materiali da costruzione a contatto con l'aria, inclusi pavimenti, soffitti, pareti, controsoffitti e i materiali da arredamento (es. mobili in legno truciolare, compensato o pannelli di fibre) (Busa *et al.*, 2014). Inoltre gli studi condotti hanno mostrato come la scorretta gestione o manutenzione degli impianti di ventilazione o una posizione errata delle prese d'aria in prossimità di aree ad elevato inquinamento può determinare l'entrata di inquinanti dall'esterno (Lepore *et al.*, 2010).

Nel complesso, quindi, è possibile sinteticamente classificare come sorgenti inquinanti i *materiali edili* utilizzati nell'edificio, gli *arredi*, la presenza (eventuale) di *impianti di ventilazione* (ed anche il tipo di impianto), di *macchinari* ed *elettrodomestici*, gli *occupanti* e le *relative attività che vi svolgono*, compresa la gestione del sistema edificio-impianto.

Per l'elevato numero di sorgenti di emissione presenti in spazi ristretti e la conseguente elevata presenza di sostanze inquinanti, l'inquinamento indoor si presenta quindi come una forma di inquinamento estremamente complessa, difficilmente controllabile.

In figura 1 sono riassunte le tipiche fonti di inquinanti che è possibile riscontrare in diversi ambienti confinati.

AMBIENTE	FONTI ED INQUINANTI
CASA	<p><b>Sorgenti di natura metabolica:</b> CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, odori</p> <p><b>Fumo di tabacco:</b> particolato respirabile (PM 10), monossido di carbonio (CO), composti organici volatili (VOC)</p> <p><b>Fornelli a gas:</b> NO<sub>2</sub>, CO</p> <p><b>Forni a legna e camini:</b> PM10, CO, idrocarburi policiclici aromatici (IPA)</p> <p><b>Materiali da costruzione:</b> radon e formaldeide</p> <p><b>Terreno sottostante i fabbricati:</b> radon</p> <p><b>Mobili e prodotti per la casa:</b> VOC, formaldeide</p> <p><b>Riscaldamento a gas:</b> NO<sub>2</sub>, CO</p> <p><b>Riscaldamento a kerosene:</b> NO<sub>2</sub>, CO, SO<sub>2</sub></p> <p><b>Isolanti:</b> asbesto</p> <p><b>Agenti esterni:</b> CO, ossidi di azoto, idrocarburi, particolato aerodisperso</p>
UFFICIO	<p><b>Sorgenti di natura metabolica:</b> CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, odori</p> <p><b>Fumo di tabacco:</b> PM10, CO, VOC</p> <p><b>Materiali da costruzione:</b> VOC, formaldeide</p> <p><b>Arredamento:</b> VOC, formaldeide</p> <p><b>Fotocopiatrici:</b> VOC</p> <p><b>Condizionatori:</b> agenti biologici</p> <p><b>Agenti esterni:</b> CO, ossidi di azoto, idrocarburi, particolato aerodisperso</p>
TRASPORTI	<p><b>Aria ambiente:</b> ozono negli aerei, CO e idrocarburi in automobile</p> <p><b>Condizionatori per auto:</b> agenti biologici</p>

**Figura 1:** possibili fonti di inquinanti presenti in diversi ambienti confinati (fonte: Fuselli e Santarsiero 2009)

### 1.2.2 Sostanze inquinanti

Gli inquinanti presenti nell'aria degli ambienti interni sono in gran parte gli stessi rilevabili all'esterno e, in alcuni casi, provengono direttamente da sorgenti esterne. Le sostanze presenti con concentrazioni più elevate si originano, generalmente, nell'interno dell'edificio stesso o nelle strutture immediatamente sottostanti ed i loro valori elevati sono dovuti al fatto che devono risiedere in spazi relativamente ristretti.

Le concentrazioni dei gas e dei vapori sono generalmente espresse in parti per milione o parti per miliardo (ppm o ppb, sono delle unità di misura adimensionali, essendo un rapporto di sostanza sulla stessa sostanza) oppure in unità di massa per un'unità di volume (mg/m<sup>3</sup> o µg/m<sup>3</sup>). In particolare si ha:

$$(ppm \cdot \text{peso molecolare})/24,45 = mg/m^3$$

e viceversa

$$(mg/m^3 \cdot 24.45)/\text{peso molecolare} = ppm$$

Secondo una classificazione canonica si possono individuare tre categorie di inquinanti: **chimici, fisici e biologici**.

Gli **inquinanti di natura chimica** possono essere naturali o artificiali e presenti nell'aria indoor in forma liquida, solida o gassosa; alcuni si originano all'interno degli ambienti stessi, altri provengono dall'aria esterna e penetrano tramite le fessurazioni delle strutture edilizie o dagli infissi. Tra i principali contaminatori chimici provenienti dall'esterno si annoverano prodotti da combustione (ossidi di azoto), l'ozono, il particolato aerodisperso, il benzene; i contaminatori chimici derivati dall'ambiente confinato sono la formaldeide, i composti volatili organici (VOC), gli idrocarburi aromatici policiclici (IPA), amianto e fibre minerali sintetiche, prodotti fitosanitari.

I maggiori contaminanti di natura chimica sono:

- o monossido di carbonio (CO);
- o biossido di azoto (NO<sub>2</sub>);
- o biossido di zolfo (SO<sub>2</sub>);
- o composti organici volatili (VOC);
- o formaldeide (CH<sub>2</sub>O);
- o benzene (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>);
- o idrocarburi aromatici policiclici (IPA);
- o ozono (O<sub>3</sub>);
- o particolato aerodisperso (PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>);
- o composti presenti nel fumo di tabacco ambientale;
- o pesticidi;
- o amianto.

Per **contaminanti biologici** si intendono particelle organiche aerodisperse (bioaerosol) costituite da microrganismi (in particolare virus, muffe, batteri), insetti (acari) ed alcuni loro prodotti (es. spore) che sono capaci di svolgere parte del loro ciclo biologico in ambienti chiusi e di disperdersi nell'aria dando luogo ad inquinamento indoor.

Le principali fonti di inquinamento microbiologico degli ambienti indoor sono rappresentate dal sistema costruttivo, l'arredo ed i servizi degli edifici, gli occupanti (uomo, animali e piante) e dalla polvere che costituisce un ottimo ricettacolo per i microrganismi. Altre possibili sorgenti di microrganismi sono gli *umidificatori* e i *condizionatori dell'aria*, dove la presenza di elevata umidità e la scarsa manutenzione provocano l'insediamento e la moltiplicazione dei microrganismi che vengono diffusi negli ambienti dall'impianto di distribuzione dell'aria.

I contaminanti biologici più comuni sono:

- o i batteri, trasmessi dalle persone e dagli animali ma presenti anche in luoghi con condizioni di temperatura ed umidità che ne favoriscono la crescita;
- o i virus, trasmessi dalle persone e dagli animali infettati;
- o I pollini delle piante, provenienti dall'ambiente esterno;
- o funghi e muffe che si formano all'interno dei luoghi confinati in condizioni di elevata umidità o che penetrano dagli ambienti esterni;
- o gli acari, che tramite le loro feci, producono dei potenti allergeni facilmente inalabili;
- o gli allergeni degli animali domestici sono presenti nella saliva, nella forfora e urina. La principale fonte è costituita dagli animali con pelliccia (cani, gatti, etc.), ma anche da uccelli, scarafaggi e insetti (Lepore *et al.*, 2010).

Gli **inquinanti di natura fisica** determinano l'immissione nell'ambiente indoor di energia termica, sonora, elettromagnetica ecc. Sono prevalentemente di tre tipi:

- o campi elettromagnetici: prodotti da impianti per trasmettere informazioni attraverso onde elettromagnetiche (impianti radio-TV e telefonia mobile), impianti per il trasporto e la trasformazione dell'energia elettrica (elettrodotti), da impianti per lavorazioni industriali;
- o rumore: comporta l'inquinamento acustico, causato dall'intensità eccessiva dei suoni, la cui ricezione arreca fastidi da parte dell'orecchio umano;

o radon: è un gas radiattivo incolore estremamente volatile. È comunemente prodotto da alcune rocce laviche, come tufi, pozzolane e graniti. Le principali sorgenti di provenienza del radon indoor sono il suolo sottostante l'edificio ed i materiali da costruzione, da cui si diffonde facilmente nell'ambiente interno. Non raggiunge quasi mai concentrazioni elevate, eccetto nei luoghi chiusi, dove può arrivare a concentrazioni rilevanti (Busa *et al.*, 2014).

### 1.2.3 Effetti sulla salute umana

L'esposizione dell'uomo alle sostanze indoor sono difficili da quantificare poiché varia in relazione al microambiente e al soggetto, inoltre il livello di inquinamento nelle abitazioni è legato alle fonti presenti nell'edificio, alla ventilazione e alle abitudini degli occupanti.

Gli impatti sull'uomo derivanti dall'inquinamento indoor possono causare una serie di effetti indesiderati che vanno dalle sollecitazioni a livello sensoriale (come gli odori), a gravi affezioni dello stato di salute. In molti casi è difficile individuare il rapporto causa-effetto, poiché i sintomi possono essere non specifici e le sorgenti inquinanti, legate ad uno stesso effetto, possono essere più di una.

Le malattie per le quali può essere identificato uno specifico agente causale presente negli ambienti interni vengono incluse nella categoria delle **malattie associate agli edifici o Building-related illness (B.R.I.)**. Questa categoria include le malattie causate da specifici agenti biologici, chimici e fisici (microrganismi, polveri, formaldeide, amianto ecc.). Si manifestano comunemente a livello dei polmoni, cute, mucose esposte, sistema nervoso e immunologico; possono essere responsabili di specifici quadri morbosi quali asma, febbre da umidificatori, alveoliti allergiche, legionellosi ecc.<sup>1</sup>

I sintomi generali più caratteristici comprendono effetti neurosensoriali che determinano condizioni di malessere, difficoltà di concentrazione, diminuzione del comfort degli occupanti e in alcuni casi nausea. Queste manifestazioni insorgono dopo poche ore di permanenza in un edificio e tendono a regredire in modo completo, nel corso di poche ore o 2-3 giorni dopo l'abbandono dell'edificio

---

<sup>1</sup> Accordo tra il Ministro della salute, le regioni e le province autonome sul documento concernente: "Linee-guida per la tutela e la promozione della salute negli ambienti confinati", 27 settembre 2001

(Abbritti, 2004). All'insieme di questi sintomi è stato dato il nome di **sindrome dell'edificio malato o Sick Building Syndrome (S.B.S.)**. L'Organizzazione mondiale della Sanità definisce la SBS come *una reazione al microclima che colpisce una considerevole percentuale di occupanti e che spesso non può venir correlata con una causa evidente quale una eccessiva esposizione ad un singolo agente inquinante od un difetto specifico nel sistema di ventilazione meccanica*.

L'eziologia di tale sindrome non è ancora stata definita. Tuttavia i fattori di rischio associabili alla SBS, identificati dall'European Concerted Action (1989), sono i seguenti:

- o *Condizioni non ottimali di temperatura*: attorno ai 24°C di temperatura è stata osservata una diminuzione della capacità di concentrazione e di lavoro. La velocità e l'intensità di molte sostanze volatili sono in funzione della temperatura.
- o *Umidità relativa*: valori di umidità relativa maggiori del 70% in condizioni di temperatura dell'aria elevate, possono portare ad una diminuzione del comfort e favorire la presenza degli agenti microbici. Valori di umidità minori del 30% provocano secchezza delle mucose oculari e delle vie aeree. La velocità e l'intensità di molte sostanze volatili sono in funzione anche dell'umidità relativa.
- o *Ventilazione*: valori minimi di ventilazione devono essere garantiti per contribuire alla riduzione delle concentrazioni dei materiali da costruzione e dei processi all'interno dell'edificio. L'aria deve essere percepita come "pulita e fresca", pertanto l'attenzione deve essere rivolta alla manutenzione degli impianti di ventilazione e al ricambio dell'aria stessa.
- o *Illuminazione artificiale*: eccessiva illuminazione può favorire mal di testa ed irritazioni oculari provocando stress visivo.
- o *Rumore*: il rumore ha influenza sul benessere, sulla sfera emotiva e sulla concentrazione, con conseguenti fenomeni di stanchezza.
- o *Presenza di fibre*: la presenza di fibre minerali artificiali può portare a problemi di irritazione oculare e della cute; si deve prestare

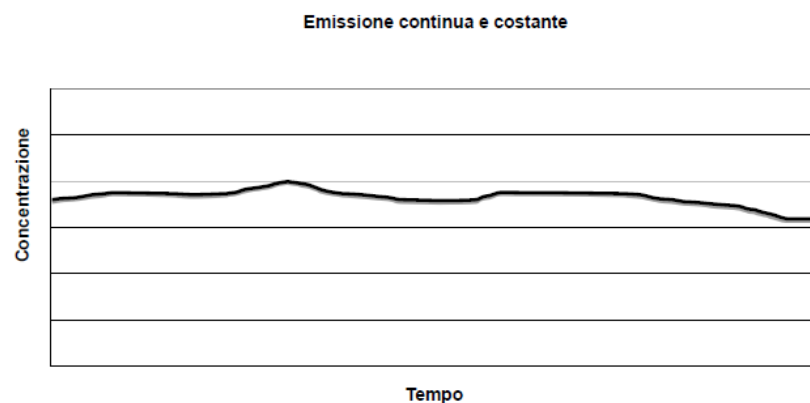
particolare attenzione alla manutenzione di controsoffitti coibentati con pannelli in materiale fibroso.

- o *Presenza di contaminanti chimici*: formaldeide, VOC, ossidi di azoto ed altri contaminanti di natura inorganica vengono emessi da adesivi, moquette, adesivi, mobili, macchine fotocopiatrici ecc.
- o *Presenza di contaminanti biologici*: batteri, virus, pollini, muffe possono svilupparsi nell'acqua stagnante che può formarsi negli umidificatori, nei condotti.

### 1.3 Composti organici volatili (VOC)

I composti organici volatili, comunemente indicati con l'acronimo VOC (Volatile Organic Compounds) sono costituiti da numerose sostanze tra cui idrocarburi aromatici e clorurati, i terpeni, le aldeidi, alcoli, esteri e chetoni. I VOC sono sempre presenti negli ambienti confinati e derivano da diverse fonti di inquinamento che, in relazione alla tipologia di emissione, sono distinte in continue e intermittenti.

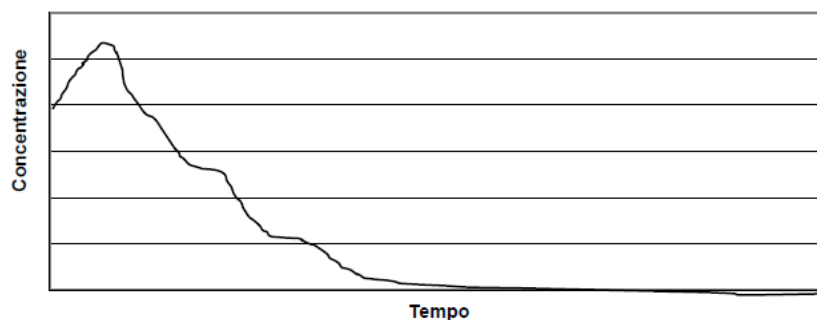
Le fonti continue possono determinare emissioni continue e durature nel tempo e si distinguono a loro volta in costanti e irregolari. Le fonti continue-costanti generano emissioni costanti nel tempo, per esempio i materiali d'arredamento o per l'edilizia (es. sughero, parquet, rivestimenti, moquet ecc.) che emettono formaldeide per lunghi periodi di tempo. Le fonti continue-irregolari generano emissioni che diminuiscono nel tempo in relazione anche alle variazioni delle condizioni microclimatiche (velocità dell'aria, umidità, temperatura). Comprendono vernici, adesivi utilizzati per la protezione dei materiali che in seguito a degradazione generano delle emissioni (Fuselli *et al.*, 2013).



**Figura 2:** Profilo emissivo di una sorgente continua - costante con andamento uniforme



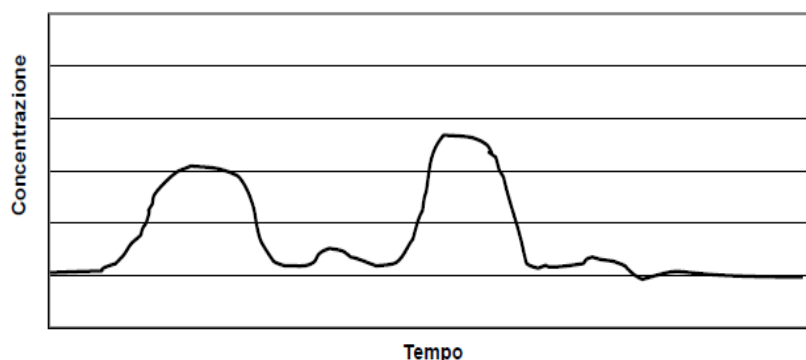
Emissione continua e irregolare



**Figura 3:** Profilo emissivo di una sorgente continua - irregolare con andamento discendente

Le fonti intermittenti possono determinare emissioni rilevanti, anche se di breve durata, includono: i prodotti per la casa e per il restauro (es. colle, solventi, adesivi), nonché gli occupanti e le attività da loro svolte (es. lavoro, hobby, fumo). L'aria ambiente deve essere considerata una fonte, anche se il suo contributo all'inquinamento dell'aria interna da VOC è generalmente meno importante.

Emissione intermittente



**Figura 4:** Profilo emissivo caratteristico di una sorgente intermittente con andamento variabile

Le fonti emettono una vasta gamma di composti organici volatili, che presentano varie caratteristiche chimico/fisiche. Alcune sostanze sono particolarmente nocive come la formaldeide, che verrà approfondita in seguito.

E' difficile realizzare un elenco completo dei VOC emessi dalle sorgenti di inquinamento, a causa della continua produzione di prodotti diversi con conseguente cambiamento nella composizione della miscela di VOC emessi. L'UNI EN ISO 16000-5 Part 5: Sampling strategy for volatile organic compounds (VOCs) classifica

i composti organici volatili in base ai punti di ebollizione, con un limite inferiore tra 50 ÷ 100°C e un limite superiore fra 240 ÷ 260°C (molto volatili, volatili, semivolatili, materiale particolato). Nella tabella 1 è riportato un elenco dei VOC che spesso si riscontrano in ambiente indoor.

<b>inquinante</b>	<b>punto ebollizione [°C]</b>
acetaldeide	21
acetone	56
ammoniacca	-33
benzene	80
cloruro di benzile	179
2-butanone	79
biossido di carbonio	-78
monossido di carbonio	-192
bisolfuro di carbonio	46
tetracloruro di carbonio	77
cloro	-34
cloroformio	124
diclorodifluoro metano	-30
dibromuro di etilene	131
dicloruro di etilene	84
ossido di etilene	10
formaldeide	97
<i>n-eptano</i>	98
cloruro di idrogeno	-121
fluoruro di idrogeno	19
solfo di idrogeno	-60
mercurio	357
metano	-164
metanolo	64
cloruro di metile	74
cloruro di metilene	40
acido nitrico	84
ossido di azoto	-152
ozono	-112
fenolo	182
propano	-42
biossido di zolfo	-10
acido solforico	270
tetracloroetano	146
tetracloroetilene	121
toluene	111
toluene disocianato	251
1,1,1 tricloroetano	113
tricloroetilene	87
cloruro di vinile	-14
xilene	137

**Tabella 1:** Elenco dei principali COV che possono essere presenti negli ambienti indoor (fonte: Fuselli *et al.*, 2013)

La misura dei composti organici totali (TVOC) può essere un mezzo per verificare gli effetti di un ambiente inquinato sulla salute e benessere dell'uomo. I TVOC si possono impiegare come *indicatori* della qualità dell'aria, anche se è necessaria una certa cautela nello stabilire scale di valori; questo sia perché non si ha una definizione univoca dei VOC stessi, sia per la scarsa confrontabilità dei metodi di misura. Le tecniche di misura sono molto complesse e possono portare a risultati diversi.

### **1.3.1 Tecniche di campionamento e di analisi dei composti organici volatili**

In relazione agli obiettivi del monitoraggio e alle caratteristiche emissive delle sorgenti possono essere compiuti campionamenti a breve e lungo termine. Le misure a breve termine comprendono un periodo di tempo da pochi minuti a qualche ora, a seconda dello scopo della misurazione. Vengono generalmente realizzati dei campionamenti attivi su cartucce adsorbenti. Le misure a lungo termine sono eseguite per un periodo di tempo che va da qualche ora a diversi giorni o settimane. Sono realizzati mediante metodi passivi (diffusivi) (Fuselli *et al.*, 2013)

**Il campionamento attivo** è specificato nella norma UNI EN ISO 16017-1 e UNI EN ISO 16000. Il prelievo dei campioni di aria viene realizzato mediante campionatori d'aria calibrati (personal-pump), costituiti da pompe d'aspirazione connesse mediante un software ad un flussimetro che consente di regolare i volumi totali e la velocità di aspirazione. Per i campionamenti vengono utilizzate trappole costituite da cartucce contenenti solidi assorbenti che sono in grado di "catturare" i composti volatili. La cartuccia viene posta al centro del locale da analizzare a 150 cm di altezza da terra (Busa *et al.*, 2014). Questo metodo può essere definito come medio - continuo in quanto viene eseguito prelevando, in maniera continua per un intervallo di tempo di 4-8 ore, un volume di aria proporzionale al valore del flusso impostato (Fuselli e Santarsiero, 2009).

**Il campionamento passivo**, secondo la norma UNI EN 14412:2005, prevede un esame dell'aria indoor eseguita esponendo un campionatore di tipo diffusivo a simmetria radiale. Il campionatore è costituito da una cartuccia contenente un opportuno materiale solido assorbente, specifico per aldeidi e VOC. Questo tipo di campionamento viene effettuato senza l'utilizzo di flussi di aspirazione forzata e controllata. La cartuccia adsorbente, viene posta al centro del locale da analizzare a

150 cm di altezza da terra, per un periodo di tempo stabilito dalle specifiche tecniche della cartuccia stessa (Busa *et al.*, 2014). I campionatori passivi forniscono dei valori medi di concentrazione per un tempo più o meno prolungato e quindi sono un'ottima soluzione per risalire alle concentrazioni medie degli inquinanti indoor (Fuselli e Santarsiero, 2009).

Il **campionamento speditivo** consente di esaminare in modo rapido ed attendibile la presenza dei composti organici volatili, misurandone la concentrazione totale (TVOC). L'analisi quantitativa avviene mediante uno strumento di misurazione a fotoionizzazione (PID). Tale misura può essere utile per caratterizzare un ambiente e i diversi materiali utilizzati (Busa *et al.*, 2014).

#### **1.4 Formaldeide (HCHO)**

La formaldeide o aldeide formica (HCHO) è la più semplice delle aldeidi (sostanze organiche contenenti il gruppo CHO, derivante dalla prima ossidazione degli alcoli). Essa si forma dalla combustione incompleta di molte sostanze, fra cui lo zucchero e il legno. Una molecola di formaldeide è costituita da un atomo di carbonio, uno di ossigeno e due di idrogeno. E' un gas di natura carbonilica, incolore, molto volatile avendo punto di ebollizione a -21 °C. E' molto solubile in acqua e in alcuni solventi organici e viene normalmente prodotta per ossidazione del metanolo alla temperatura di 700° e in presenza di un catalizzatore metallico (Ag) (Bulian e Ciroi).

La formaldeide è un composto molto reattivo. E' impiegata nella manifattura di plastica e resine (urea-formaldeide, fenoliche, poliacetiche e melamminica); nei prodotti utilizzati per la cosmesi, per la pulizia e deodoranti per ambienti; come reagente di laboratorio; additivo alimentare (es. per amidi); in agricoltura per il trattamento dei semi e disinfezione del suolo ([www.dors.it](http://www.dors.it)).

La formaldeide è presente sia in ambienti interni (indoor) che esterni, generandosi per foto-ossidazione del metano e di altri composti organici naturali o antropogenici o ancora come prodotto metabolico delle piante. Il rilascio di formaldeide negli ambienti indoor è dovuto in particolare alla sua presenza nei materiali utilizzati per l'arredamento. Infatti, tutte le tipologie di pannelli (particellari, compensati, pannelli a media densità) utilizzate dall'industria del mobile, nonché vernici, adesivi e carte impiegate per la nobilitazione, contengono resine derivate dalla condensazione dell'urea con la formaldeide. Per effetto di fenomeni chimici di idrolisi, la

formaldeide viene rilasciata dalla stessa resina ureica in modo graduale nel tempo, in funzione della temperatura, dell'umidità e della ventilazione (Fuselli e Santarsiero, 2009).

I vantaggi nell'impiego di resine ureiche sono (Bulian e Ciroi):

- o i costi relativamente bassi;
- o una struttura legante molto efficace per il legno;
- o facilità di impiego.

La pericolosità della formaldeide è dovuta principalmente alla sua volatilità, infatti, la via di penetrazione principale è quella respiratoria, alla quale sono legati alcuni effetti negativi sull'organismo umano (Fuselli e Santarsiero, 2009). L'Organizzazione Mondiale della Sanità, tramite l'Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro (IARC) (2004) la classifica come "cancerogeno Gruppo 1", senza però alcuna conseguenza di natura legale. Infatti, nella premessa alle monografie IARC viene esplicitamente dichiarato che "non si fornisce alcuna raccomandazione di natura normativa o legislativa". A livello europeo, la raccomandazione IARC ha prodotto una revisione della classificazione in uso (categoria 3) per la formaldeide, la categoria UE più bassa fra i sospetti cancerogeni.

L'Organizzazione Mondiale della Sanità propone un limite consigliato di concentrazione di formaldeide in ambienti interni di  $0,1 \text{ mg/m}^3$  per un'esposizione di lungo-breve termine. L'esposizione alla formaldeide, se prolungata per lungo tempo, può dar luogo a effetti nocivi, prevalentemente irritazioni, ma anche, per elevate concentrazioni, a lacrimazione, tosse, nausea e dispnea. Generalmente tali sintomi si attenuano con l'adattamento (Fuselli e Zanetti, 2006).

#### **1.4.1 Sistemi di classificazione delle emissioni di formaldeide dai pannelli a base di legno**

I pannelli a base di legno vengono classificati in base alle loro emissioni di formaldeide seguendo i criteri delineati nelle norme tecniche di settore.

La normativa tecnica UNI EN 13986, dedicata ai pannelli a base di legno destinati ad uso strutturale, e le altre norme UNI EN sui diversi tipi di pannelli a base di legno (UNI EN 312 per il pannello di particelle, UNI EN 1084 per il compensato, UNI EN 622 per i pannelli di fibra) definiscono due classi di emissione di formaldeide, E1 ed

E2. Tali classi sono poi diventate il riferimento anche in altri settori come l'arredamento, i pavimenti ecc. Questo sistema realizzato dalla legislazione nazionale tedesca è stato adottato in vari paesi dell'Unione Europea, i quali vietano la commercializzazione e l'utilizzo di pannelli di classe E2. L'Italia, col Decreto 10 ottobre 2008, dall'11 dicembre 2008 rientra in questo gruppo di Paesi.

La classificazione, in conformità alle norme UNI EN 636, è basata su (Federlegno, 2008):

- o prove iniziali: eseguite con il metodo UNI EN 717-1 (metodo della camera) su tutti i tipi di pannello;
- o prove di controllo della produzione: misurate con il metodo UNI EN 120 (metodo del perforatore) su pannelli grezzi di particelle, di MDF (particelle di fibre a media densità) o di OSB; tutti gli altri tipi di pannello: compensato e pannelli verniciati, placcati o nobilitati sono misurati con il metodo UNI EN 717-2 (metodo della gas-analisi).

I parametri che caratterizzano i pannelli di **classe E1** sono schematizzati in tabella 2.

	EN 717-1	EN 120		EN 717-2		
	ppm	mg HCHO/ 100 g		mg HCHO/ m <sup>2</sup> h		
		valore medio	valore singolo	valore medio	valore singolo	
<b>pannelli di particelle grezzi</b>	0,1	≤ 6,5	≤ 8,0			
<b>pannelli di fibre grezzi</b>		≤ 7,0	≤ 8,0			
<b>pannelli di particelle e di fibre rivestiti</b>				≤ 2,5	≤ 3,5	
<b>pannelli di particelle e di fibre destinati ad essere rivestiti</b>			≤ 10,0			
<b>compensati e piallacci grezzi</b>		entro 3 d dalla produzione			≤ 5,0	≤ 6,0
		dopo 28 d dalla produzione			≤ 2,5	≤ 3,5
<b>compensati rivestiti</b>					≤ 2,5	≤ 3,5

**Tabella 2:** Classificazione secondo la direttiva BIBt 100 tedesca (fonte: Bulian e Ciroi)

I pannelli di classe E1 (a basse emissioni) possono essere quindi utilizzati senza causare una concentrazione di equilibrio di formaldeide nell'aria della camera di prova (definita nella norma UNI EN 717-1) maggiore di 0,1 ppm, limite raccomandato dall'Organizzazione Mondiale della Sanità per gli ambienti di vita e soggiorno. La classificazione secondo la normativa tecnica europea, per quanto riguarda le emissioni limite, per le varie classi è schematizzata in tabella 3.

Tipo di pannello	Norma di riferimento	Classe	metodo di prova	Requisito	
				valore	unità di misura
Pannello di particelle (truciolare)	EN 312-1	1	EN 120	≤ 8,0	mg /100 g
		2			
MDF (pannello di fibra a media densità)	EN 622-1	A	EN 120	≤ 9,0	mg /100 g
		B		≤ 40,0	
Pannello compensato	EN 1084	A	EN 712-2	≤ 3,5	mg /m <sup>2</sup> h
		B		≤ 8,0	
		C		≥ 8,0	

**Tabella 3:** Classificazione secondo la normativa tecnica europea (fonte: Bulian e Ciroi)



## **2. Riferimenti Normativi**

A differenza degli ambienti lavorativi e dell'aria esterna, che sono soggetti a legislazione atta a ridurre l'esposizione dagli agenti inquinanti, la qualità dell'aria negli ambienti indoor non è regolata da riferimenti normativi specifici.

### **2.1 La situazione internazionale ed europea**

Il problema dell'inquinamento indoor è stato recentemente rivisto dall'apparato legislativo. Sono di recente pubblicazione le linee guida "WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants" (2010), dell'Organizzazione Mondiale della Sanità inerenti alcuni inquinanti chimici comunemente presenti nell'aria degli ambienti indoor.

L'attenzione alla tematica era già stata evidenziata nella Direttiva 89/106/CEE del Consiglio Europeo sui materiali da costruzione nella quale sono integrati alcuni requisiti ritenuti essenziali per la sicurezza, la salute e le esigenze della collettività. La Direttiva 89/106/CEE dispone tramite il CEN (Comitato europeo per la standardizzazione) di elaborare norme armonizzate e metodi di prova inerenti alla qualità dell'aria all'interno degli edifici. Tale Direttiva è stata abrogata dal Parlamento Europeo, il quale ha approvato e firmato il Regolamento n. 305/2011, pubblicato sulla Gazzetta ufficiale dell'Unione europea nell'aprile 2011, che "*fissa condizioni armonizzate per la commercializzazione dei prodotti da costruzione*".

Il benessere degli occupanti gli ambienti di vita è stato trattato nel documento "Verso una strategia per un ambiente urbano sostenibile" [COM (2004)60] in cui tra le priorità segnalate è menzionata anche la qualità dell'aria all'interno degli edifici, l'accessibilità, il comfort, la qualità ambientale dei materiali.

Con riferimento al problema dell'inquinamento indoor il VI Programma di Azione Ambientale, istituito dalla Decisione n. 1600/2002/CE, promuove di esaminare l'impatto della qualità dell'aria interna sulla salute umana e di svolgere attività di ricerca nel campo per definire le priorità e valutare la necessità di proporre una strategia ed un piano d'azione comunitaria per affrontare il problema.

In ambito internazionale, per i limiti di concentrazione degli inquinanti indoor si fa riferimento alle recenti linee guida dell'Organizzazione Mondiale della Sanità (WHO, 2010), dove per la formaldeide viene raccomandato di non superare la soglia

di 0,1 mg/m<sup>3</sup>. Per le soglie degli inquinanti atmosferici non inclusi si ricorre alle linee guida per la qualità dell'aria esterna pubblicate dalla stessa Organizzazione (WHO, 2000, 2006).

## **2.2 La situazione in Italia**

Per il controllo della qualità dell'aria negli ambienti indoor, l'Italia non dispone ancora di una normativa specifica, ma a seguito di un accordo tra il Ministero della Salute, le Regioni e le Province Autonome sono state emanate le “Linee - guida per la tutela e la promozione della salute negli ambienti confinati” (Acc. del 27/09/2001). In questo elaborato vengono identificati diversi agenti inquinanti fisici, chimici e microbiologici, le sorgenti e gli effetti sulla salute. Inoltre presenta delle linee strategiche per la messa in opera di un programma di prevenzione. A questo documento ha fatto seguito l'accordo tra Governo, Regioni e Province autonome sul documento “Linee guida per la definizione di protocolli tecnici di manutenzione predittiva sugli impianti di climatizzazione” (Prov. 5 ottobre 2006 n. 2636), che si basa sul presupposto che impianti di climatizzazione non opportunamente installati o gestiti possono influire sulla qualità dell'aria indoor causando rischi per la salute ed il benessere degli occupanti.

Attualmente, non esistendo valori di concentrazione limite per gli inquinanti indoor, si fa riferimento ai limiti di concentrazione previsti dalla normativa che disciplina l'inquinamento atmosferico esterno, che è definita dal D.Lgs. n.155 del 13/08/2010. L'unico valore cautelativo per gli ambienti indoor, indicato dalla normativa italiana, riguarda la formaldeide. La Circolare n. 57 del 22/06/1983 del Ministero della Sanità fissa come limite massimo di esposizione all'inquinante il valore di 0,1 ppm (corrispondente a 124 microgrammi per metro cubo di aria interna [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]) negli ambienti in cui siano presenti compensati, truciolati, materiale tessile, vernici, moquette ecc.

In Italia la direttiva europea 89/106/CEE sui materiali da costruzione è stata recepita con il DPR n. 246 del 21 aprile 1993. Attualmente con il DM 10 ottobre 2008 sono state stabilite le disposizioni riguardanti la fabbricazione, l'importazione e l'immissione in commercio di pannelli a base di legno e manufatti con essi realizzati contenenti formaldeide, al fine di garantire la protezione della salute umana nel loro impiego negli ambienti di vita e soggiorno. L'Art. 2 dispone che tali prodotti non

possono essere immessi in commercio se la concentrazione di equilibrio di formaldeide nell'aria dell'ambiente di prova supera il valore di 0,1 ppm (0,124 mg/m<sup>3</sup>). Nell'Art. 3 sono indicati i procedimenti di prova, adottati per misurare la concentrazione di equilibrio della formaldeide:

- o norma UNI EN 717-1:2004 recante “Pannelli a base di legno. Determinazione del rilascio di formaldeide con il metodo di camera”;
- o norma UNI EN 717-2:1996 recante “Pannelli a base di legno. Determinazione del rilascio di formaldeide con il metodo dell'analisi dei gas”.

Per quanto riguarda le sostanze organiche volatili, il decreto legislativo n. 161 del 27 marzo 2006 recepito in Italia dalla Direttiva 2004/42/CE definisce delle categorie omogenee di prodotti pronti all'uso (vernici, pitture) e detta, per ciascuna di esse, dei limiti di concentrazione massima di VOC.

### **2.3 Norme tecniche**

Le norme tecniche italiane (UNI), europee (EN) e internazionali (ISO) di interesse per la qualità degli ambienti indoor, attualmente in vigore sono:

- o **UNI EN ISO 16000-1:2006** Aria in ambienti confinati - Parte 1: Aspetti generali della strategia di campionamento.
- o **UNI EN ISO 16000-2:2006** Aria in ambienti confinati - Parte 2: Strategia di campionamento per la formaldeide.
- o **UNI EN ISO 16000-5:2007** Aria in ambienti confinati - Parte 5: Strategia di campionamento per i composti organici volatili (VOC).
- o **UNI EN ISO 16000-7:2008** Aria in ambienti confinati - Parte 7: Strategia di campionamento per la determinazione di concentrazioni di fibre di amianto sospese in aria.
- o **UNI EN ISO 16000-9:2006** Aria in ambienti confinati - Parte 9: Determinazione delle emissioni di composti organici volatili da prodotti da costruzione e da prodotti di finitura - Metodo in camera di prova di emissione.
- o **UNI EN ISO 16000-10:2006** Aria in ambienti confinati - Parte 10: Determinazione delle emissioni di composti organici volatili da

prodotti da costruzione e da prodotti di finitura - Metodo in cella di prova di emissione.

- o **UNI EN ISO 16000-11:2006** Aria in ambienti confinati - Parte 11: Determinazione delle emissioni di composti organici volatili da prodotti da costruzione e da prodotti di finitura - Campionamento, conservazione dei campioni e preparazione dei provini.
- o **UNI EN ISO 16000-12:2008** Aria in ambienti confinati - Parte 12: Strategia di campionamento per policlorobifenili (PCB), policlorodibenzo-p-diossine (PCDD), policlorodibenzofurani (PCDF) e idrocarburi policiclici aromatici (IPA).
- o **UNI EN ISO 16017-2:2004** Aria in ambienti confinati, aria ambiente ed aria negli ambienti di lavoro - Campionamento ed analisi di composti organici volatili mediante tubo di adsorbimento/desorbimento termico/cromatografia gassosa capillare - Parte 2: Campionamento per diffusione.
- o **UNI EN ISO 16017-1:2002** Aria in ambienti confinati, aria ambiente ed aria negli ambienti di lavoro - Campionamento ed analisi di composti organici volatili mediante tubo di adsorbimento/desorbimento termico/cromatografia gassosa capillare - Campionamento mediante aspirazione con pompa.

### **3. MATERIALI E METODI**

Per l'esecuzione della parte sperimentale sono stati effettuati i seguenti passi:

- o selezione di legno e materiali a base legno su cui eseguire la sperimentazione;
- o concezione, assemblaggio, monitoraggio e controllo di una cella in vetro di campionamento delle emissioni;
- o acquisizione delle tecniche di impiego, manutenzione, pulizia e controllo di due strumentazioni di misura:
  - misuratore di VOC totali a fotoionizzazione;
  - misuratore di formaldeide con sensore elettrochimico;
- o misurazioni sperimentali sul materiale selezionato;
- o elaborazione dei dati.

#### **3.1 Materiali e prodotti a base di legno**

I materiali e prodotti a base di legno presi in considerazione per l'analisi dei TVOC e Formaldeide (HCHO), sono stati forniti da singole ditte collaboratrici in diversi progetti con il CNR-IVALSA di San Michele all'Adige (TR). Sono stati campionati cinque materiali diversi riconducibili alle seguenti categorie: semi-lavorati (pannello di particelle laminato, OSB, compensato), parquet composito, legno massiccio (Larice). I campioni in oggetto sono stati esaminati attraverso la lettura delle schede tecniche, certificazioni e marchi di qualità. Da ciascun campione è stato ricavato un provino, delle dimensioni 480x75 con spessore variabile, cui è stato attribuito un codice identificativo da C a G. I provini sono stati condizionati per quattro settimane in cella climatica a 20°C e 65% di umidità relativa prima delle prove.

##### **3.1.1 Semi-lavorati**

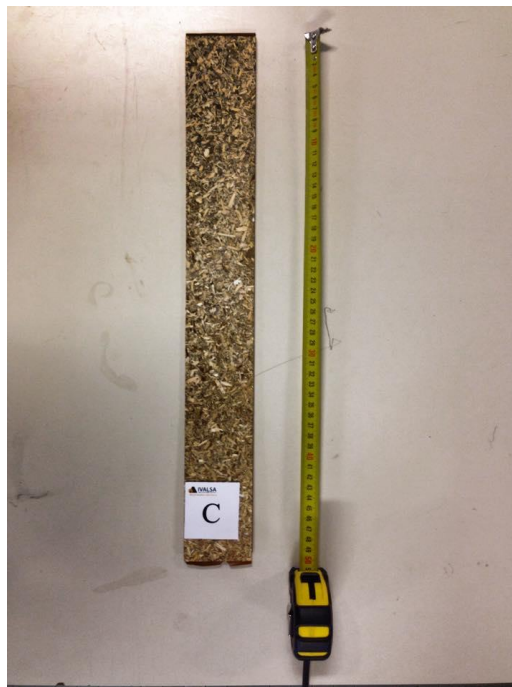
I semi-lavorati costituiscono il materiale di lavorazione per le industrie di lavoro in legno. Vengono prodotti in una vasta gamma di tipologie, per soddisfare le varie esigenze tecniche dei progettisti e possono essere raggruppati in quattro categorie:

- o pannelli di legno compensato;
- o pannelli di legno massiccio;
- o pannelli di particelle in legno;

o pannelli di fibre in legno.

Nel presente lavoro sono state analizzate tre tipologie di pannelli (pannello di particelle laminato, pannello di scaglie orientate - OSB, pannello di compensato) di seguito descritti con le relative schede tecniche.

### **Pannello di particelle laminato**



**Figura 5:** provino pannello di particelle laminato

### **Descrizione generale**

Il pannello di particelle o truciolato è un prodotto a forma di lastra formato da materiale ligno-cellulosico di varia provenienza, ridotto previa sminuzzatura in frammenti più o meno grossolani (trucioli) resi solidali con l'aggiunta di leganti (colle) tramite pressatura (mediante l'azione del calore), utilizzando prevalentemente processi in continuo. E' un prodotto pesante, resistente poco alla flessione, economico ma poco pregiato dal punto di vista estetico. Viene spesso utilizzato nelle industrie del mobile e rivestito con due fogli di laminato, oppure laccati. In edilizia l'impiego principale è costituito dal rivestimento di costruzioni leggere (sistemi intelaiati).

## Scheda tecnica

Dimensioni tipiche dei pannelli (mm)	
Lunghezza	2800 / 5610
Larghezza	2070
Spessore	6 – 40
Settore d'impiego	
in conformità alla certificazione del produttore in conformità alla EN 312	
Tipo di pannello	Requisiti
Pannello P4	applicazioni portanti
Pannello P5	applicazioni portanti, umido
Pannello P6	applicazioni portanti, secco, carico elevato
Pannello P7	applicazioni portanti, umido, carico elevato

Normative di riferimento	
UNI EN 312	Pannelli di particelle di legno - Specifiche
UNI EN 1995-1-1/2	Eurocodice 5 - Progettazione delle strutture di legno Parte 1-1: Regole generali e regole per edifici Parte 1-2: Progettazione strutturale contro l'incendio
UNI EN 12369-1	Pannelli a base di legno - Valori caratteristici per la progettazione strutturale Parte 1: OSB, pannelli di particelle e pannelli di fibra
UNI EN 13501-1	Classificazione al fuoco dei prodotti e degli elementi da costruzione Parte 1: Classificazione in base ai risultati delle prove di reazione al fuoco
UNI EN 13986	Pannelli a base di legno per l'uso nelle costruzioni - Caratteristiche, valutazione di conformità e marcatura

Proprietà fisiche			
in conformità alla certificazione del produttore in conformità alla UNI EN 13986			
	Pannelli P4, P5		
$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	300	600	900
$\lambda$ [W/mK]	0,07	0,12	0,18
$\mu$	10/50	15/50	20/50
Comportamento al fuoco			
in conformità alla certificazione del produttore in conformità alla decisione 2007/348/EC della commissione			
	$\geq 600$ kg/m <sup>3</sup> , $\geq 9$ mm		
<b>Euroclasse</b>	D		
in conformita a UNI EN 1995-1-2			
	$\rho_k=450$ kg/m <sup>3</sup> , 20 mm		
<b>Velocità di carbonizzazione</b>	0,9 mm/min		
$\rho_k$ = massa volumica caratteristica in kg/m <sup>3</sup>			

**Tabella 4:** scheda tecnica pannello di particelle (fonte dataholz.com)

## Pannello di scaglie di legno orientate (OSB)



**Figura 6:** provino pannello di scaglie di legno orientate (OSB)

### **Descrizione generale**

Con il termine OSB (Oriented Strand Board) si indica un pannello a base di legno costituito da diversi strati, a loro volta costituiti da materiale truciolare con frammenti allungati e stretti (strand) e resi solidali con sostanze adesive tramite pressatura a caldo in piano. Gli strand degli strati esterni sono paralleli al lato longitudinale o trasversale del pannello. Mentre gli strand dello strato interno possono essere orientati in maniera casuale o in direzione perpendicolare agli strand degli strati esterni (fibratura incrociata). In genere vengono utilizzate colle diverse per gli strati esterni e per lo strato interno, soprattutto per ragioni tecniche di produzione ed economicità. Generalmente viene utilizzato legno di conifera (principalmente pino proveniente dalla ripulitura delle foreste).

L'OSB trova applicazione nell'edilizia residenziale per rivestimenti di costruzioni leggere (sistemi intelaiati), nell'industria dell'imballaggio e dei mobili (Schickhofer, 2005).



## Scheda tecnica

Dimensioni tipiche dei pannelli (mm)	
Lunghezza	2500 / 5000
Larghezza	607 - 2500
Spessore	8 - 40
Settore d'impiego	
in conformità alla certificazione del produttore in conformità alla EN 300	
Tipo di pannello	Requisiti
OSB/2	Impieghi strutturali in ambienti asciutti
OSB/3	Impieghi strutturali in ambienti umidi
OSB/4	Impieghi strutturali in ambienti umidi, carico elevato

Normative di riferimento	
UNI EN 300	Pannelli di scaglie di legno orientate (OSB) - Definizioni, classificazione e specifiche
UNI EN 1995-1-1/2	Eurocodice 5 - Progettazione delle strutture di legno Parte 1-1: Regole generali e regole per edifici Parte 1-2: Progettazione strutturale contro l'incendio
UNI EN 12369-1	Pannelli a base di legno - Valori caratteristici per la progettazione strutturale Parte 1: OSB, pannelli di particelle e pannelli di fibra
UNI EN 13501-1	Classificazione al fuoco dei prodotti e degli elementi da costruzione Parte 1: Classificazione in base ai risultati delle prove di reazione al fuoco
UNI EN 13986	Pannelli a base di legno per l'uso nelle costruzioni - Caratteristiche, valutazione di conformità e marcatura

Proprietà fisiche	
in conformità alla certificazione del produttore in conformità alla UNI EN 13986	
	<b>OSB</b>
$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	650
$\lambda$ [W/mK]	0,13
$\mu$	30/50
Comportamento al fuoco	
in conformità alla certificazione del produttore in conformità alla decisione 2007/348/EC della commissione	
	$\geq 600 \text{ kg/m}^3, \geq 9 \text{ mm}$
<b>Euroclasse</b>	<b>D</b>
in conformità a UNI EN 1995-1-2	
	$\rho_k=450 \text{ kg/m}^3, 20 \text{ mm}$
<b>Velocità di carbonizzazione</b>	0,9 mm/min
$\rho_k =$ massa volumica caratteristica in kg/m <sup>3</sup>	

**Tabella 5:** scheda tecnica pannello OSB (fonte dataholz.com)

## Pannello di compensato



**Figura 7:** provino pannello di compensato

### **Descrizione generale**

Il pannello di compensato è realizzato incollando un insieme di strati di sfogliati disposti ortogonalmente l'uno rispetto all'altro. I pannelli devono avere una struttura simmetrica rispetto al loro spessore. La specie legnosa più utilizzata è il faggio. In base al tipo di colla utilizzata, si producono pannelli per ambienti asciutti, umidi ed esterni.

A causa degli elevati costi, i pannelli di compensato per l'edilizia trovano limitato impiego. Una delle principali applicazioni è il rivestimento di costruzioni leggere (sistemi intelaiati). Altri utilizzi prevalenti del compensato si concentrano nel settore dell'arredamento in senso lato, ma anche in ambiti diversi quali l'industria dei trasporti, il settore dei giocattoli, gli attrezzi per lo sport.

## Scheda tecnica

Dimensioni tipiche dei pannelli (mm)	
Lunghezza	2200 / 5000
Larghezza	1250 – 1500 - 1850
Spessore	10 – 40
Settore d'impiego	
in conformità alla certificazione del produttore in conformità alla UNI EN 636	
Tipo di pannello	Requisiti
EN 636-1	Ambiente asciutto
EN 636-2	Ambiente umido
EN 636-3	Ambiente esterno

Normative di riferimento	
UNI EN 636	Pannelli di legno compensato - Specifiche
UNI EN 1995-1-1/2	Eurocodice 5 - Progettazione delle strutture di legno Parte 1-1: Regole generali e regole per edifici Parte 1-2: Progettazione strutturale contro l'incendio
UNI EN 12369-2	Pannelli a base di legno - Valori caratteristici per la progettazione strutturale - Parte 2: Legno compensato
UNI EN 13501-1	Classificazione al fuoco dei prodotti e degli elementi da costruzione Parte 1: Classificazione in base ai risultati delle prove di reazione al fuoco
UNI EN 13986	Pannelli a base di legno per l'uso nelle costruzioni - Caratteristiche, valutazione di conformità e marcatura

Proprietà fisiche				
in conformità alla certificazione del produttore in conformità alla UNI EN 13986				
Pannelli di legno massiccio e compensato				
$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	300	500	700	1000
$\lambda$ [W/mK]	0,09	0,13	0,17	0,24
$\mu$	50/150	70/200	90/220	110/250
Comportamento al fuoco				
in conformità alla certificazione del produttore in conformità alla decisione 2007/348/EC della commissione				
Euroclasse			$\geq 400$ kg/m <sup>3</sup> , $\geq 9$ mm	
Euroclasse			D	
in conformità a UNI EN 1995-1-2				
Velocità di carbonizzazione			$\rho_k=450$ kg/m <sup>3</sup> , 20 mm	
Velocità di carbonizzazione			1 mm/min	
$\rho_k$ = massa volumica caratteristica in kg/m <sup>3</sup>				

**Tabella 6:** scheda tecnica pannello di compensato (fonte dataholz.com)

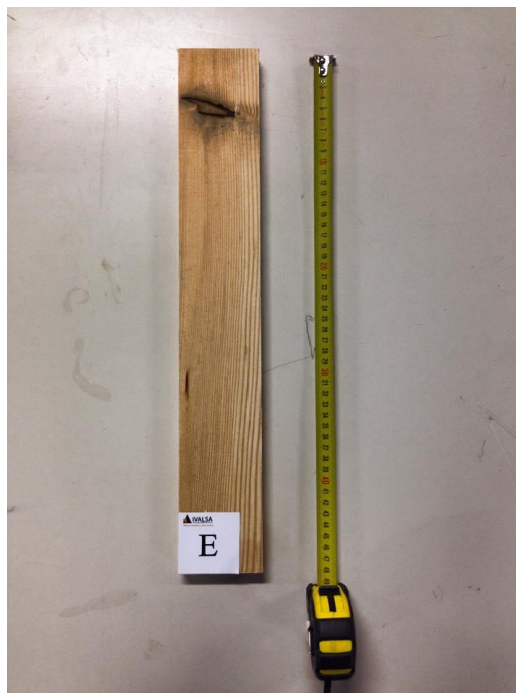
### 3.1.2 Parquet composito



**Figura 8:** provino parquet composito

I compositi a base di legno associano materiali diversi dalle proprietà complementari e consentono di ottenere ottime prestazioni con una massa volumica contenuta. Nel caso specifico si è analizzato un parquet composito legno-legno costituito da compensato e legno massiccio di abete.

### 3.1.3 Legno massiccio da costruzione (Larice)



**Figura 9:** provino legno massiccio da costruzione (Larice)

#### **Definizione generale**

Per legno massiccio da costruzione si intendono tavole, listelli, tavoloni e legno squadrato dal taglio di tondame in segheria (taglio parallelo all'asse del tronco). In Europa centrale le specie legnose impiegate sono soprattutto le Conifere locali come l'abete rosso, l'abete bianco, il pino, il larice e la douglasia. A seconda della specie legnosa, il legno da costruzione presenta una resistenza naturale diversa all'attacco di organismi nocivi. Per aumentare la durabilità, il legno può essere trattato con sostanze protettive. Il legno massiccio viene impiegato principalmente allo stato grezzo. Come elemento base per il legno lamellare, per le costruzioni a vista e gli elementi profilati (p. es. i rivestimenti), si procede di regola alla piallatura. Per impieghi nell'edilizia il legno massiccio deve essere classificato secondo la resistenza in modo visivo o meccanico.

## Scheda tecnica

Dimensioni tipiche (mm)				
Altezza	Larghezza			
	60	80	100	120
120	✓	✓	✓	✓
160	✓	✓		
200	✓	✓	✓	✓
240	✓	✓		✓
Lunghezze fino a 8000 m				
Settore d'impiego				
Materiale da costruzione	Requisiti			
Legno da costruzione	Asciutto, umido, esterno			

Normative di riferimento	
UNI EN 338	Legno strutturale – Classi di resistenza
UNI EN 1995-1-1/2	Eurocodice 5 - Progettazione delle strutture di legno Parte 1-1: Regole generali e regole per edifici Parte 1-2: Progettazione strutturale contro l'incendio

Proprietà fisiche					
secondo "Katalog für wärmeschutztechnische Rechenwerte von Baustoffen und Bauteilen", Österreichisches Normungsinstitut (2001)					
	Pannelli di legno massiccio e compensato				
$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	400	500	600	700	800
$\lambda$ [W/mK]	0,11	0,13	0,15	0,17	0,20
C [kJ/kgK]	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
Comportamento al fuoco					
in conformità alla certificazione del produttore in conformità alla decisione 2003/593/EC della commissione					
	$\geq 350 \text{ kg/m}^3, \geq 22 \text{ mm}$				
<b>Euroclasse</b>	D				
in conformità a UNI EN 1995-1-2					
	Legno Conifere e faggio $\rho_k \geq 290 \text{ kg/m}^3$	Legno Latifoglie $\rho_k \geq 290 \text{ kg/m}^3$	Legno Latifoglie $\rho_k \geq 450 \text{ kg/m}^3$		
<b>Velocità di carbonizzazione</b>	0,65 mm/min	0,65 mm/min	0,50 mm/min		
$\rho_k =$ massa volumica caratteristica in kg/m <sup>3</sup>					

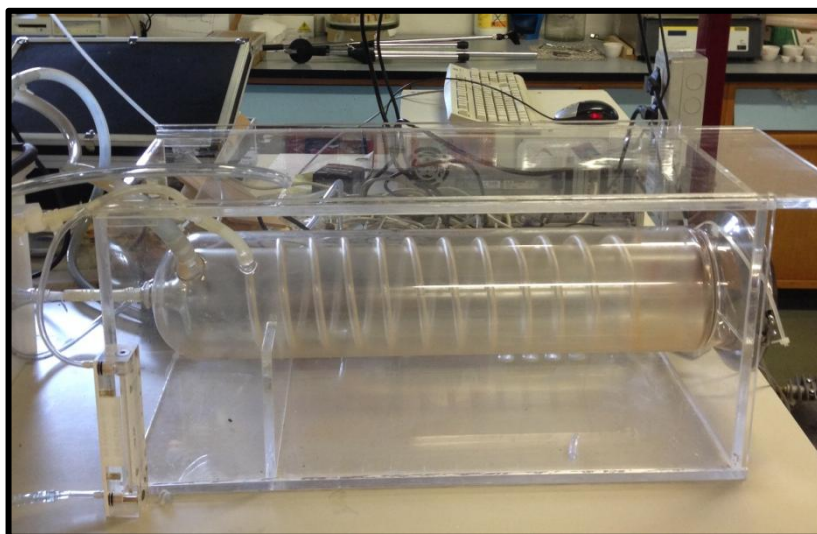
**Tabella 7:** scheda tecnica legno massiccio da costruzione (fonte dataholz.com)

## 3.2 Strumenti per il monitoraggio

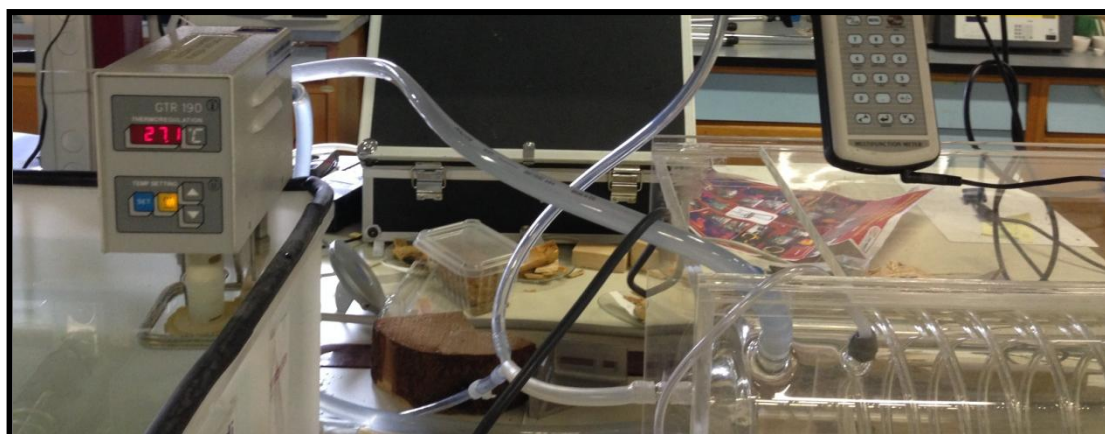
### 3.2.1 Sistema di campionamento

Il sistema per la misura di composti organici volatili e della formaldeide in carico ai laboratori CNR-IVALSA era costituito da una camera di prova di vetro, con un volume di 5,2 litri, che consentiva analisi speditive dei composti alle condizioni ambientali di laboratorio (figura 10). Per tale motivo è stato messo a punto un nuovo sistema di campionamento che consenta di lavorare a diverse condizioni di temperatura e umidità.

Le condizioni di temperatura sono state regolate attraverso un termoregolatore, che riscalda l'acqua contenuta in una vaschetta e la mette in circolo all'interno della camera costituita da una doppia entrata (figura 11).



**Figura 10:** camera di prova di vetro



**Figura 11:** sistema di controllo della temperatura

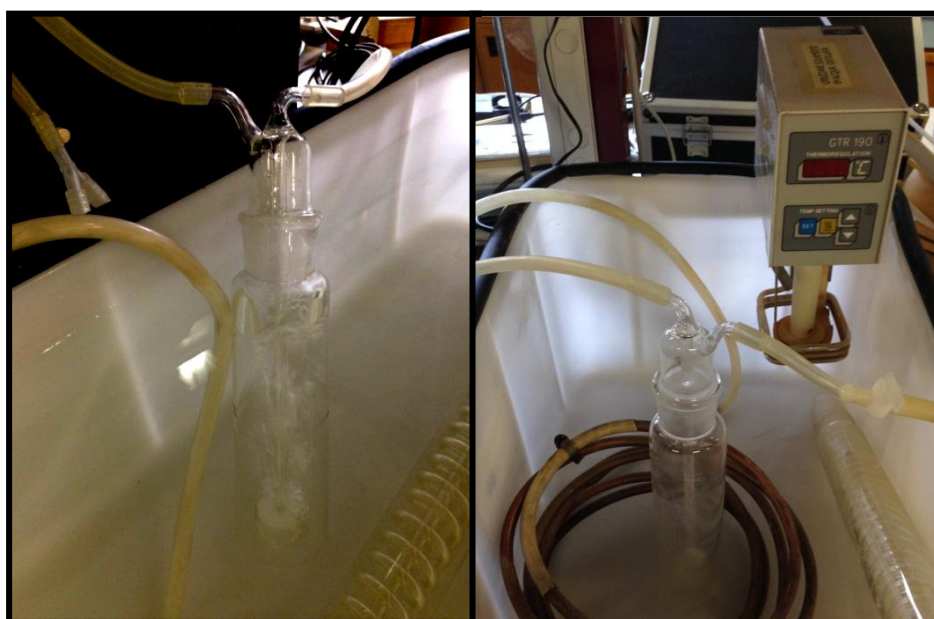
Il sistema di campionamento si può descrivere nelle sue parti principali:

1. il trattamento dell'aria in ingresso;
2. la camera di prova;
3. la misura di TVOC e HCHO.

L'aria presente in laboratorio viene aspirata da una pompa e purificata attraverso un filtro a carboni attivi. Successivamente l'aria pulita da questo filtro attraversa due sistemi:

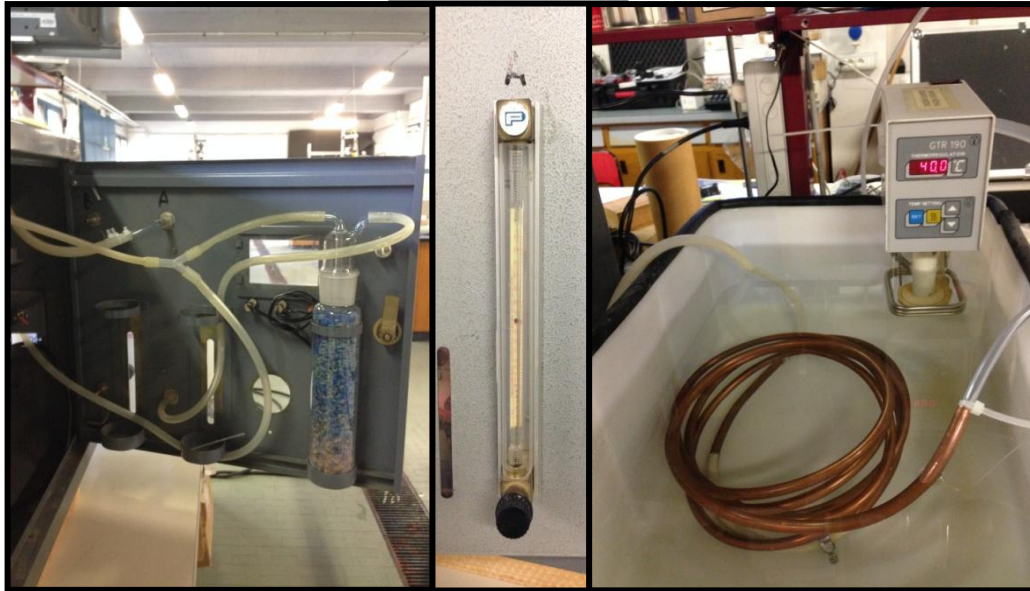
- o nel primo una porzione del flusso passa all'interno di un gorgogliatore, contenente dell'acqua posto all'interno della vaschetta. L'aria attraversando il gorgogliatore viene così umidificata e riscaldata alla temperatura controllata dal termoregolatore (figura 12).
- o Nel secondo sistema, invece, la restante porzione di aria viene seccata con silica gel. Mediante l'ausilio di un flussimetro, con scala dl/m, l'aria secca viene regolata e riscaldata alle stesse condizioni di temperatura della camera, passando attraverso una serpentina di rame immessa nella vaschetta (figura 13).

I due flussi vengono miscelati mediante un raccordo a T (figura 14) ed immessi all'interno della camera ottenendo così le condizioni di umidità prefissate.



**Figura 12:** sistema di umidificazione dell'aria



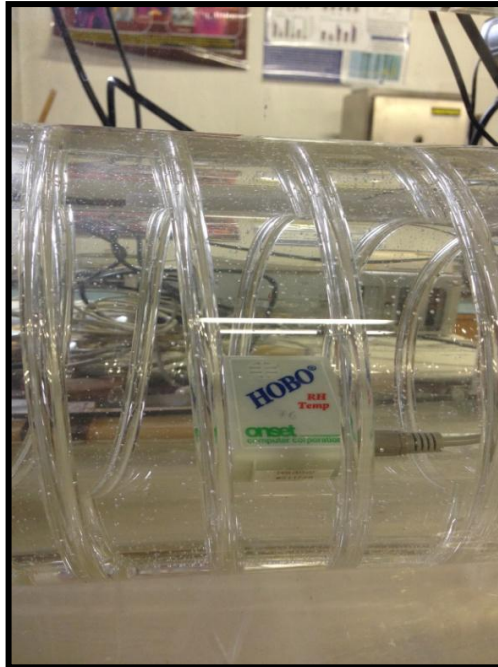


**Figura 13:** sistema di essiccazione aria

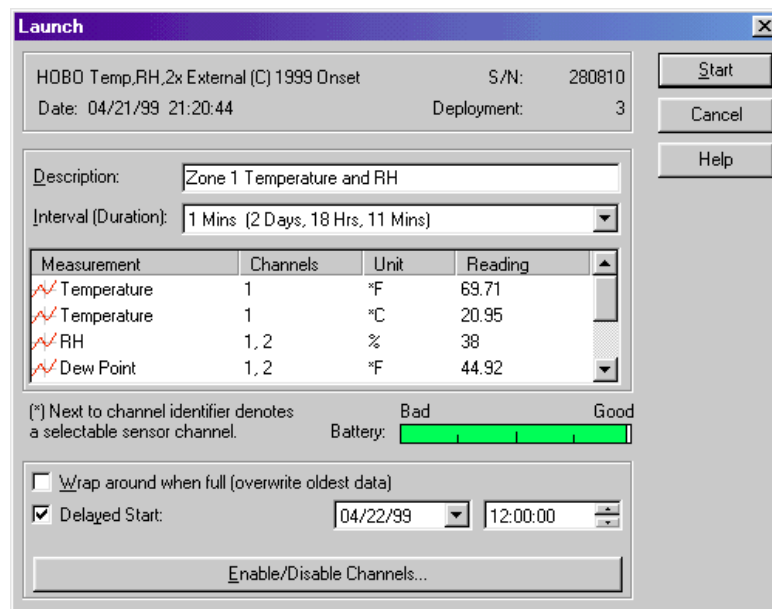


**Figura 14:** miscelazione del flusso saturo e secco mediante raccordo a T

I valori di temperatura e umidità vengono monitorati costantemente attraverso un sensore (data logger Hobo) posto all'interno della camera di campionamento (figura 15). Il data logger ha un campo di funzionamento da  $-20\text{ °C}$  a  $+70\text{ °C}$  e  $0 \div 95\%$  di umidità relativa senza condensa. Il sensore dispone di un cavo con uscita jack da 3,5 mm che consente il collegamento, tramite porta seriale, al PC. Mediante il software dedicato (BoxCar Pro 4.3) è possibile visualizzare sul monitor del PC i valori di temperatura ed umidità relativa (figura 16). Inoltre questo software consente di programmare la registrazione dei dati con una frequenza di campionamento variabile da 0,5 secondi a 9 ore. I dati registrati possono essere scaricati in forma tabellare o grafica.



**Figura 15:** data logger Hobo all'interno della camera di campionamento



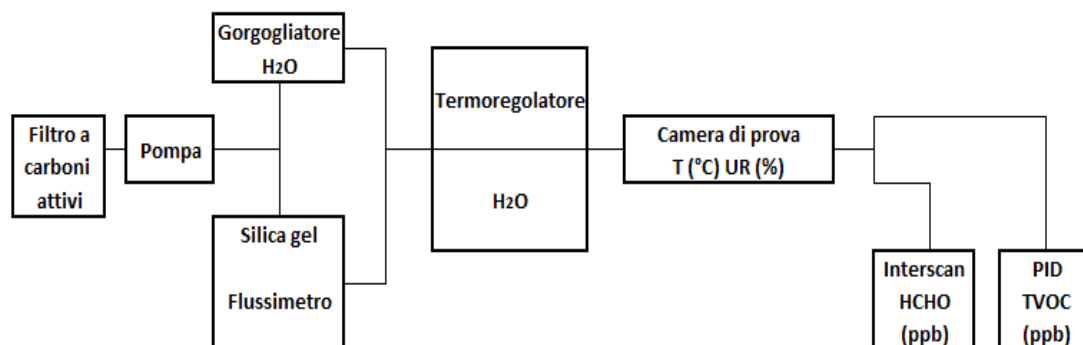
**Figura 16:** valori di temperatura e umidità visualizzati con software BoxCar 4.3

Conclusa la fase di realizzazione della miscela d'aria si è pronti ad inserire l'eventuale provino da testare. L'aria che si è generata fuoriesce dalla camera e il flusso viene diviso in due: una parte dell'aria va al misuratore di HCHO (Interscan 4000) e un'altra al misuratore dei TVOC (Phothack Tiger - PID); entrambi i misuratori rappresentano una parte integrante del sistema di monitoraggio poiché contribuiscono al pompaggio dell'aria.

Per collegare le diverse parti del sistema sono stati utilizzati diversi tubi di gomma di vario diametro e fissate con guarnizioni e fascette. Grazie all'ausilio di questi collegamenti ogni parte del sistema è esente da emissione di composti organici volatili e formaldeide.



**Figura 17:** tubi utilizzati per i collegamenti



**Figura 18:** Schema costruttivo del sistema di campionamento per l'analisi dei TVOC e della formaldeide (HCHO)

### 3.2.2 Interscan 4000



**Figura 19:** strumento misuratore HCHO – Interscan 4000

L'Interscan 4000 è un analizzatore portatile di gas, delle dimensioni 178 x 102 x 225 mm, che consente di monitorare varie tipologie di gas con sensibilità nell'ordine dei ppb. Ogni analizzatore è destinato alla rilevazione di un singolo gas; l'Interscan in dotazione presso il CNR-IVALSA di San Michele all'Adige rileva la formaldeide (HCHO). Lo strumento dispone di un display digitale che consente la lettura delle concentrazioni in tempo reale; inoltre può essere abbinato al suo sistema di acquisizione dati (data logger). Le concentrazioni vengono rilevate attraverso un sensore elettrochimico che consente di eseguire delle misurazioni con una risoluzione di 1 ppb nel range compreso tra 0 e 1999 ppb. Il termine elettrochimico sta ad indicare che il sensore produce una corrente elettrica proporzionale alla concentrazione di formaldeide che viene aspirata all'interno dello strumento per mezzo di una pompa integrata in grado di campionare  $1 \pm 0,2$  litri di aria al minuto.



**Figura 20:** manopole di regolazione Interscan 4000

Prima di eseguire qualsiasi misurazione lo strumento deve essere azzerato e la regolazione dello zero deve essere eseguita con la modalità "SAMPLE" cioè con la pompa accesa, collegando lo strumento ad un filtro a carboni attivi. Si attende per

circa 10 minuti, fino al momento in cui la lettura dello strumento è stabile, dopodiché si regola il contatore a “0” attraverso la manopola ZERO. Una volta azzerato, si procede alla rimozione del filtro a carboni attivi e si esegue la misurazione (Interscan corporation, 2011).

### 3.2.3 PhoCheck Tiger (PID)



**Figura 21:** strumento misuratore TVOC – PhoCheck Tiger (PID)

Il PhoCheck Tiger (photo ionization detector - PID) è un rilevatore di gas portatile che utilizza la tecnica di fotoionizzazione per la determinazione dei composti organici volatili (VOC). Il principio di funzionamento è basato su una lampada a raggi UV posta all'interno dell'apparecchio che emette fotoni di energia definita, in grado di provocare l'allontanamento di un elettrone da determinati composti chimici, trasformando, di fatto, una molecola in uno ione carico positivamente. Gli ioni immessi in un campo elettrico, creato dagli elettrodi di una batteria, creano una micro corrente che attraverso opportuni traduttori viene proporzionalmente correlata alla concentrazione dell'inquinante presente nell'aria aspirata dal PID. Lo strumento non distingue un composto dall'altro ma ne misura la concentrazione in aria, sommando le quantità dei singoli composti organici volatili (TVOC). Lo strumento è calibrato in fabbrica e fissa due valori: lo zero assoluto ed il valore noto dell'isobutilene in concentrazione nota, conservato nell'apposita bombola di calibrazione.

Il PID ha una risoluzione di 1 ppb e un range dinamico da 1 ppb a 20.000 ppm per VOC specifici e dotato di una memoria interna per la registrazione dei dati che possono essere scaricati al computer mediante un software dedicato.

L'impiego del PID non fa riferimento a Norme ma segue un protocollo interno.

### **3.3 Prove preliminari camera di campionamento**

I primi test sono stati realizzati con camera vuota e hanno permesso di verificare il funzionamento e il campo di utilizzo del sistema.

Si è proceduto:

1. alla regolazione dell'aria secca, che andrà a mescolarsi con l'aria satura, tramite il flussimetro (costituito da una scala da 0 a 30 dl/m) ad intervalli di 5 dl/min;
2. alla regolazione della temperatura tramite termoregolatore a 20°C, 30°C, 40°C, 50°C.

Per ogni combinazione sono state misurate e registrate (ad intervalli di 5 minuti) le condizioni di temperatura e umidità relativa raggiunte all'interno della camera mediante il data logger HOBO. I risultati di ciascuna registrazione, salvati di default su un file di testo TXT, sono stati predisposti su un foglio di calcolo Excel. Si riporta un estratto dei valori ottenuti, fissando il termoregolatore ad una temperatura di 40°C e flussimetro variabile, ad intervalli di 5 dl/min (tabella 8):

Ora	Flussimetro (dl/min)	T (°C)	RH (%)	Ora	Flussimetro (dl/min)	T (°C)	RH (%)
09:00	30	29,5	23,1	11:55	15	39,67	36
09:05	30	30,31	23	12:00	15	39,67	40,5
09:10	30	31,52	22,9	12:05	15	39,67	41,8
09:15	30	33,17	22,8	12:10	15	39,67	42,5
09:20	30	34,85	22,7	12:15	15	39,67	42,8
09:25	30	36,57	22,5	12:20	15	39,67	43,1
09:30	30	37,88	22,4	12:25	15	39,67	43,6
09:35	30	38,32	22,4	12:30	15	39,67	43,6
09:40	30	38,77	22,4	12:35	15	39,67	43,7
09:45	30	39,22	22,3	12:40	10	39,67	39,4
09:50	30	39,22	22,3	12:45	10	39,67	45,8
09:55	30	39,22	22,3	12:50	10	39,67	48,4
10:00	30	39,22	22,3	12:55	10	39,67	49,3
10:05	30	39,22	22,3	13:00	10	39,67	49,7
10:10	30	39,22	22,3	13:05	10	39,67	49,9
10:15	30	39,22	22,3	13:10	10	39,67	50
10:20	25	39,67	60	13:15	<b>10</b>	<b>39,67</b>	<b>50,2</b>
10:25	25	39,67	62,3	13:20	5	39,67	51,6
10:30	25	39,67	56,6	13:25	5	39,67	53,7
10:35	25	39,67	50,2	13:30	5	39,67	54,6
10:40	25	39,67	46,7	13:35	5	39,67	54,9
10:45	25	39,67	43,1	13:40	5	39,67	63,4
10:50	25	39,67	39,5	13:45	5	39,67	65
10:55	25	39,67	34,8	13:50	<b>5</b>	<b>39,67</b>	<b>62,7</b>
11:00	25	39,67	32,3	13:55	0	39,67	63,8
11:05	25	39,67	31,2	14:00	0	39,67	67,7
11:10	25	39,67	30,3	14:05	0	39,67	67,7
11:15	<b>25</b>	<b>39,67</b>	<b>29,7</b>	14:10	0	39,67	63,4
11:20	20	39,67	33,8	14:15	0	39,67	61,6
11:25	20	39,67	36,8	14:20	0	39,67	60,6
11:30	20	39,67	37,3	14:25	0	39,67	66,8
11:35	20	39,67	37,1	14:30	<b>0</b>	<b>39,67</b>	<b>66,3</b>
11:40	20	39,67	36,8				
11:45	20	39,67	36,6				
11:50	<b>20</b>	<b>39,67</b>	<b>36,6</b>				

**Tabella 8:** valori di temperatura e umidità relativa registrati dal data logger Hobo

Dai dati grezzi registrati dal data logger Hobo è stata ricavata una tabella in cui sono riepilogati i valori limite di umidità relativa e temperatura ottenuti dai test all'interno della camera di campionamento.

Flussimetro dl/min	50°C	40°C	30°C	20°C
<b>30</b>	22	<b>22</b>	<b>23</b>	<b>24</b>
<b>25</b>	24,2	<b>29,7</b>	40	34
<b>20</b>	31,8	<b>36,6</b>	<b>52,5</b>	<b>60,3</b>
<b>15</b>	36,7	<b>43,6</b>	61,9	98,9
<b>10</b>	41,1	<b>50,2</b>	<b>67,9</b>	
<b>5</b>		<b>62,7</b>	73,5	
<b>0</b>		<b>66</b>	77,8	

**Tabella 9:** valori di temperatura e umidità relativa all'interno della camera di prova

Dalla tabella 9 è stato possibile delineare il campo di applicazione della camera di campionamento:

- o range di temperatura:  $20^{\circ}\text{C} \div 40^{\circ}\text{C}$ ;
- o range di umidità relativa  $30\% \div 60\%$ .

Per valori di temperatura  $> 40^{\circ}\text{C}$  e umidità relativa  $> 60\%$  si sono riscontrati problemi di condensa all'interno della camera legati alle diverse condizioni ambientali presenti in laboratorio.

Una volta definita e verificata la validità del sistema di campionamento, si è proceduto al monitoraggio dei composti organici totali (TVOC) e della formaldeide.

### **3.4 Monitoraggio composti organici volatili totali (TVOC) e formaldeide**

Il processo di campionamento realizzato in laboratorio prevede una prima fase in cui devono essere impostate le condizioni climatiche all'interno della camera. Le condizioni di temperatura vengono controllate mediante il termoregolatore, impostando la temperatura richiesta per il campionamento. La temperatura all'interno della camera è stata controllata con una precisione di  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ . Dopo aver collegato il filtro a carboni attivi al sistema di pompaggio e all'accensione dello stesso, si procede alla regolazione del flusso di aria secca mediante il flussimetro (figura 22). L'aria secca andrà a miscelarsi con l'aria satura proveniente dal gorgogliatore creando le condizioni di umidità volute all'interno della camera di prova. Per le condizioni di umidità utilizzate in questo studio (30%, 50%, 60%), il sistema può controllare il livello di umidità con una precisione di  $\pm 3\%$ .



**Figura 22:** carboni attivi, sistema di pompaggio, silica gel, flussimetro



Le condizioni di temperatura e umidità relativa vengono monitorate costantemente, attraverso il data logger Hobo inserito all'interno della camera e collegato mediante lo specifico cavo di collegamento al PC (figura 23).

Si procede con l'apertura della camera per consentire l'inserimento del provino (figura 24). Dopo la chiusura è necessario attendere circa dieci di minuti per ripristinare le condizioni interne di umidità e temperatura che hanno subito delle variazioni in seguito all'apertura della camera. In tabella 10 sono riportati i valori registrati dal data logger Hobo in seguito all'inserimento di un provino nella camera di prova con condizioni di temperatura e umidità relativa rispettivamente 23°C e 50%.

Simultaneamente si esegue l'azzeramento degli strumenti collegandoli ai rispettivi filtri a carboni attivi. Non appena gli strumenti abbiano raggiunto il valore costante di lettura pari allo zero, si può procedere alla misurazione e ciò comporta la chiusura dei rispettivi filtri a carboni attivi, e l'apertura di una seconda valvola che consente il passaggio del flusso di aria da campionare verso gli strumenti (figura 25).

Prima di ciascun campionamento, la camera di prova viene pulita con aria compressa e asciugata con un panno.



**Figura 23:** monitoraggio delle condizioni della camera con Hobo – cavo PC



**Figura 24:** inserimento del provino all'interno della camera e ripristino delle condizioni interne

<b>Condizioni di prova 23°C – 50% UR</b>	<b>ORE</b>	<b>T (°C)</b>	<b>UR (%)</b>
<b>Inserimento provino</b>	<b>15:49:43</b>	<b>22.48</b>	<b>37.3</b>
	15:50:13	22.48	37.3
	15:50:43	22.86	37
	15:51:13	22.86	37
	15:51:43	22.48	37.1
	15:52:13	22.48	37.1
	15:52:43	22.86	37
	15:53:13	22.86	37
	15:53:43	22.86	37
	15:54:13	22.48	37
	15:54:43	22.86	38.2
	15:55:13	22.86	40.6
	15:55:43	22.86	41.9
	15:56:13	22.86	42.6
	15:56:43	22.86	44.4
	15:57:13	22.86	46.1
	15:57:43	22.86	47.8
	15:58:13	22.86	49.1
	15:58:43	22.86	50.2
	15:59:13	22.86	51
<b>Condizioni ripristinate</b>	<b>15:59:43</b>	<b>22.86</b>	<b>51.6</b>
	16:00:13	22.86	51.6
	16:00:43	22.86	51.6
	16:01:13	22.86	51.6
	16:01:43	22.86	51.6
	16:02:13	22.86	51.6

**Tabella 10:** valori registrati dal data logger Hobo dopo l'inserimento del campione



**Figura 25:** Azzeramento strumento con carboni attivi e sistema di valvole per il passaggio dell'aria allo strumento

Le analisi realizzate si possono dividere in due fasi:

1. prove eseguite con condizioni climatiche della camera fissate a 23 °C di temperatura e umidità relativa al 30% - 50% - 60% su un pannello OSB;
2. analisi dei materiali a base di legno, con condizioni di temperatura comprese tra i 23°C e 40°C e umidità relativa compresa tra il 30% e 60%.

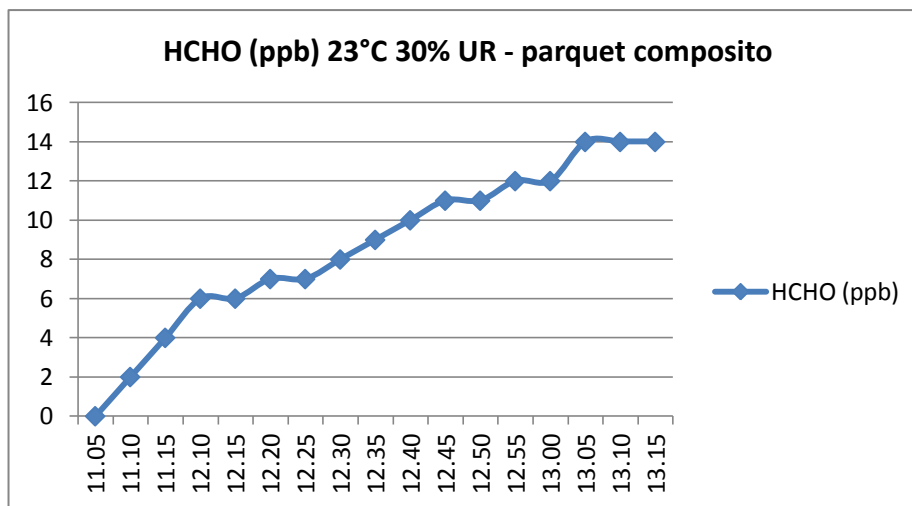
Le prime prove su pannello OSB sono state realizzate per un precedente test di funzionamento del sistema di campionamento al fine di ottenere un coefficiente di correzione da apportare alle successive misure dei provini.

Tale procedura è basata su ripetizioni eseguite a condizioni di temperatura fissa (23°C) e umidità variabile (30% - 50% - 60%).

La seconda fase di prova ha previsto il campionamento dei provini a base di legno, sottoponendoli a tre livelli di temperatura, 23, 30, 40°C e tre livelli di umidità relativa, 30, 50 e 60%. Per ciascun provino sono state condotte nove prove.

Le concentrazioni sono state registrate manualmente ad intervalli di 5 minuti.

La lettura della concentrazione finale di TVOC e HCHO nelle diverse prove è stata considerata quella dopo quindici minuti di letture invariate, come mostrato in figura 26.



**Figura 26:** Esempio della concentrazione di formaldeide su parquet composito

### 3.4 Analisi dei dati

L'elaborazione dei dati è avvenuta per gruppi omogenei e ricavando i dati statistici di base, quali: media, deviazione standard, coefficiente di variazione, valore massimo, valore minimo, incertezza della misura.

La media è data dalla somma delle misure osservate ad una determinata temperatura e umidità diviso il numero delle osservazioni fatte.

La deviazione standard (o scarto quadratico medio) indicata con  $\sigma$  è un indice di dispersione delle misure sperimentali, è cioè una stima della variabilità di un dato numero di dati. È uno dei modi per rappresentare la dispersione dei dati attorno al valore atteso, quale può essere ad esempio la media aritmetica. La formula per calcolarla è:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(x_i - m)^2}{n - 1}}$$

laddove " $x_i$ " è il singolo valore che assume il fenomeno da valutare;  $m$  è la media aritmetica;

l'unità di misura è la stessa dei valori osservati.

Il coefficiente di variazione o deviazione standard relativa, indicato con  $\sigma^*$  è definito, per un dato campione, come il rapporto tra la sua deviazione standard ( $\sigma$ ) e il valore assoluto della sua media aritmetica ( $m$ ):

$$\sigma^* = \sigma/m$$

E' un valore puro che non tiene conto dell'unità di misura e indica la sua precisione. Il valore massimo indica il valore più alto ad una determinata temperatura e umidità relativa. Il valore minimo indica il valore più basso ad una determinata temperatura e umidità relativa.

### 3.4.1 Calcolo incertezza delle misure

La dispersione dei valori che possono essere ragionevolmente attribuiti al misurando, viene valutata tramite l'incertezza estesa,  $U$ . Il risultato di una misura sarà espresso nel seguente modo :

$$\mu = x \pm U$$

Tale espressione dichiara che la miglior stima del valore vero  $\mu$  del misurando  $x$  è compresa tra i valori  $x-U$  e  $x+U$ . Nel caso di una singola misura diretta,  $x$  corrisponderà col valore misurato, mentre, nel caso di misure dirette ripetute,  $x$  corrisponderà col valore medio. I limiti  $x-U$  e  $x+U$  definiscono l'intervallo di fiducia entro cui il risultato di una misura ha una certa probabilità (Borromei, 2006).

Il valore  $U$  viene ricavato moltiplicando l'**incertezza tipo**  $u$  (il cui calcolo verrà definito in seguito) per un parametro  $K$  detto **fattore di copertura**. Tale parametro di solito viene fatto coincidere con quello del  $t$  di Student, per cui la sua valutazione viene fatta utilizzando le tabelle dei valori critici di  $t$ , andando a leggere il valore corrispondente al **livello di fiducia** con cui si vuole esprimere il risultato (posto di solito al 95%), e ai **gradi di libertà**, con cui viene eseguita la misurazione. L'incertezza tipo  $u$  coincide con la deviazione standard della media delle osservazioni ottenuta con la seguente formula:

$$u = \frac{\sigma}{\sqrt{N}}$$

dove  $\sigma$  è la deviazione standard della serie di misure,  $N$  è il numero di ripetizioni.

Assumendo come livello di fiducia un valore pari al 95%, basterà leggere (dalle tabelle dei valori critici di  $t$  di Student) il valore di  $t$  per un determinato livello di fiducia  $X\%$  e per un determinato  $n$ . di gradi di libertà ( $v = N - 1$ ). Il coefficiente  $K$  come già menzionato viene fatto coincidere con quello  $t$  di Student, pertanto l'incertezza estesa sarà data da :

$$U = u \cdot K$$

### 3.4.2 Procedura di normalizzazione secondo il fattore di carico e il ricambio d'aria

Prendendo come riferimento alcune condizioni presenti nella norma UNI EN 717-1, sono stati definiti i seguenti parametri di prova:

- a) Fattore di carico  $(1,0 \pm 0,02) \text{ m}^2/\text{m}^3$
- b) Tasso di aria scambiata  $(1,0 \pm 0,05)/\text{h}$

In caso di parametri di prova differenti da quelli su esposti è necessario correggere le concentrazioni rilevate con dei fattori di correzione, che vengono di seguito calcolati.

#### a) Fattore di correzione per carico ideale

$1 \text{ m}^2$  superficie provino esposta /  $1 \text{ m}^3$  volume camera di misura

La superficie esposta dai provini è stata calcolata con la seguente formula:

$$(\mathbf{L \cdot h \cdot 2 + L \cdot l \cdot 2 + l \cdot h \cdot 2}) / 10^6$$

Dove:

L = lato maggiore del provino

h = altezza del provino

l = lato minore del provino

Applicando la formula ai provini in oggetto si ottengono i seguenti dati:

- La superficie del provino C è di:  $0,07 \text{ m}^2$
- La superficie dei provini D, E, F, G misurati è di  $0,09 \text{ m}^2$
- Il volume della camera è pari a  $0,0052 \text{ m}^3$

Facendo il rapporto tra la superficie dei provini e il volume della camera si ottiene un tasso di carico pari a  $14 \text{ m}^2/\text{m}^3$  per il provino C e di  $17 \text{ m}^2/\text{m}^3$  per i provini D, E, F, G. Si ottengono in questo modo delle concentrazioni 14 volte e 17 volte superiori rispetto alle condizioni di  $(1,0 \pm 0,02) \text{ m}^2/\text{m}^3$ .

Per correggere il carico è necessario dividere le concentrazioni rilevate per il tasso di carico ottenuto.

**b) Fattore di correzione per tasso di aria scambiata**

La portata è di 1,2 l/min (valore dato dalla somma della portata dei due strumenti) che in un'ora sono 72 l/h. Dividendo la portata di un'ora per i litri della camera si ottengono i ricambi d'aria in un'ora:

$$Ta = Vc/Po$$

dove:

$$Ta = \text{Tasso di aria scambiata [l/h]}$$

$$Vc = \text{Volume della camera [l]}$$

$$Po = \text{Portata [l/h]}$$

e quindi

$$\mathbf{Ta = 72/5,2 = 13,8 \text{ ricambi/ora}}$$

Quindi le concentrazioni rilevate saranno 14 volte inferiori rispetto le condizioni previste di  $(1,0 \pm 0,05)/h$ . Per correggere tali concentrazioni è necessario moltiplicare i valori per 14 (tasso di aria scambiata).

## 4. RISULTATI

### 4.1 Presentazione dei risultati

Il primo risultato conseguito da questo lavoro è l'aver assemblato un sistema di campionamento delle emissioni con camera inerte in vetro con regolazione di temperatura e umidità, con intervallo di regolazione compreso tra  $23 \div 40^{\circ}\text{C}$  e  $30 \div 60\%$  di umidità relativa.



**Figura 27:** sistema di campionamento TVOC e formaldeide a condizioni di temperatura e umidità variabili



#### 4.1.1 Ripetizioni a condizioni costanti

Allo scopo di verificare l'affidabilità delle misure sono state portate a termine 6 ripetizioni per diversi valori di umidità nell'ambito di una temperatura prescelta. Di seguito vengono presentate le varie concentrazioni misurate durante le ripetizioni della prova prescelta. In tabella 11 sono riportate le concentrazioni di HCHO lette dallo strumento Interscan nelle prove su pannello OSB.

<b>Prove 23 °C</b>	<b>30%</b>	<b>50%</b>	<b>60%</b>
1° Ripetizione (ppb)	41	50	47
2° Ripetizione (ppb)	27	93	56
3° Ripetizione (ppb)	20	28	59
4° Ripetizione (ppb)	15	67	39
5° Ripetizione (ppb)	13	59	40
6° Ripetizione (ppb)	24	60	45
Media Aritmetica (ppb)	23	60	48
Deviazione standard $\sigma$ (ppb)	10	21	8
Coefficiente di variazione $\sigma^*$ (%)	43	36	17
Valore minimo (ppb)	13	28	39
Valore massimo (ppb)	41	93	59
Fattore di copertura K	2,571	2,571	2,571
Incertezza tipo $u$ (ppb)	4,13	8,68	3,36
Incertezza estesa $U$ (ppb)	11	22	9

Tabella 11: ripetizioni su pannello OSB e calcoli statistici

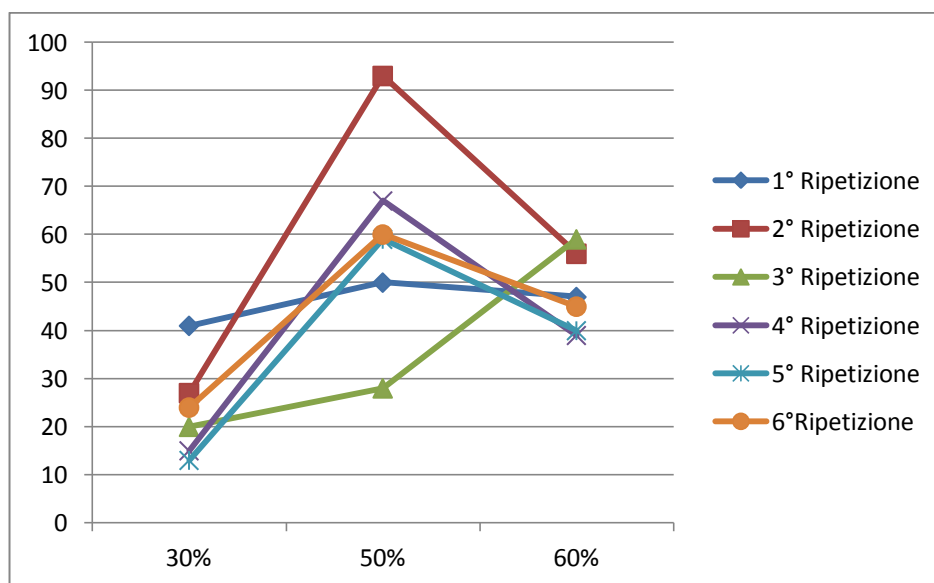


Figura 28: grafico ripetizioni pannello OSB

#### 4.1.2 Prove sui diversi materiali

Nella seguente tabella 12 sono riportati i risultati ottenuti dalle prove condotte su diversi provini a base di legno.

a)

Provino	Tipologia	T (°C)	UR (%)	HCHO (ppb)	TVOC (ppb)
<b>C</b>	<b>Pannello particelle laminato</b>	23	30	<b>9</b>	0
			50	<b>54</b>	0
			60	<b>16</b>	0
		30	30	<b>48</b>	0
			50	<b>61</b>	0
			60	<b>50</b>	0
		40	30	<b>170</b>	0
			50	<b>228</b>	0
			60	<b>189</b>	0
<b>F</b>	<b>OSB</b>	23	30	<b>74</b>	0
			50	<b>129</b>	0
			60	<b>94</b>	0
		30	30	<b>114</b>	2
			50	<b>256</b>	30
			60	<b>291</b>	0
		40	30	<b>243</b>	0
			50	<b>251</b>	0
			60	<b>264</b>	0
<b>G</b>	<b>Compensato</b>	23	30	<b>90</b>	0
			50	<b>149</b>	0
			60	<b>80</b>	0
		30	30	<b>180</b>	0
			50	<b>250</b>	0
			60	<b>218</b>	0
		40	30	-	-
			50	-	-
			60	-	-

b)

Provino	Tipologia	T (°C)	UR (%)	HCHO (ppb)	TVOC (ppb)
<b>D</b>	<b>Parquet composito</b>	23	30	<b>14</b>	1
			50	<b>18</b>	0
			60	<b>6</b>	0
		30	30	<b>20</b>	6
			50	<b>27</b>	0
			60	<b>31</b>	0
		40	30	<b>58</b>	79
			50	<b>63</b>	138
			60	<b>56</b>	-

c)

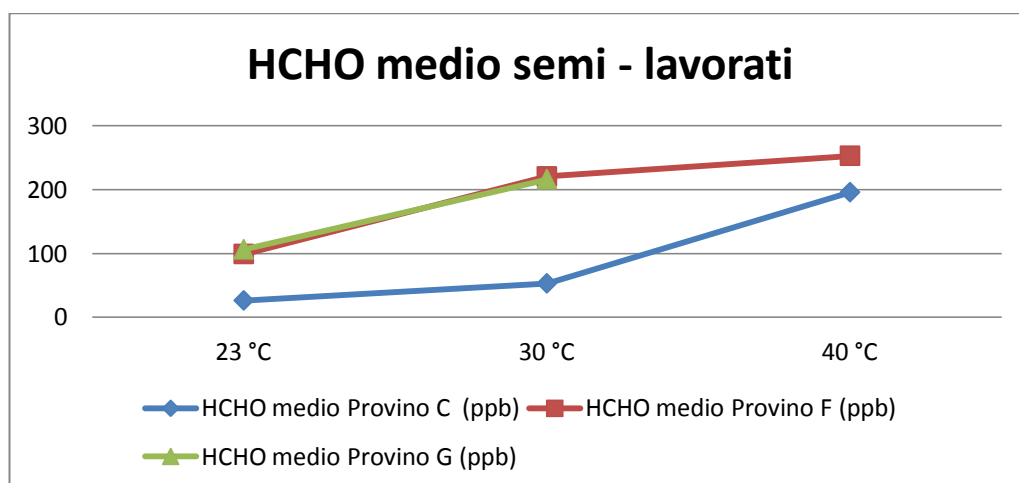
Provino	Tipologia	T (°C)	UR (%)	HCHO (ppb)	TVOC (ppb)
E	Larice	23	30	0	429
			50	0	450
			60	0	393
		30	30	0	317
			50	8	453
			60	0	340
		40	30	14	636
			50	0	758
			60	0	667

**Tabella 12:** dati dei provini di a) semi-lavorati, b) parquet composito c) larice sottoposti a misure di TVOC e HCHO

Partendo dai valori grezzi riportati in tabella 12 sono state calcolate le concentrazioni medie delle emissioni di formaldeide in funzione della temperatura e in funzione dell'umidità. In tabelle 13 e 14 sono riepilogati i valori medi delle emissioni di HCHO in funzione della temperatura.

Provino	Tipologia	T (°C)	HCHO medio (ppb)
C	Pannello particelle laminato	23	26
		30	53
		40	196
F	Pannello OSB	23	99
		30	220
		40	253
G	Pannello compensato	23	106
		30	216
		40	-

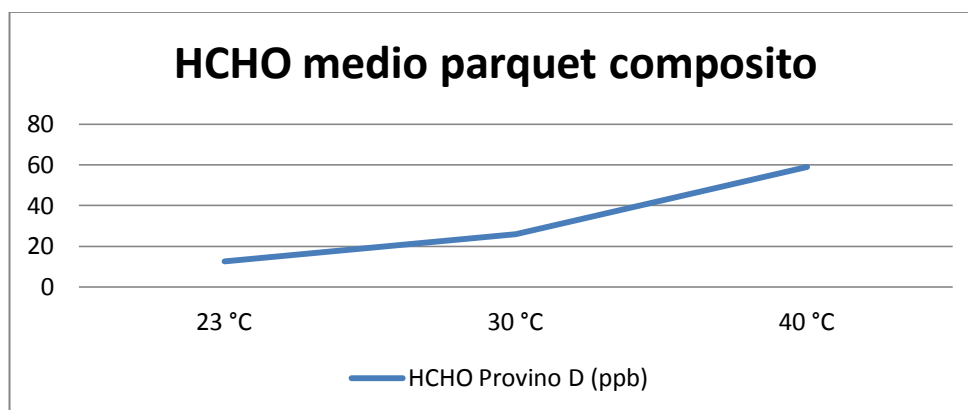
**Tabella 13:** semi-lavorati, valori medi delle concentrazioni in funzione della temperatura



**Figura 29:** grafico concentrazioni medie in funzione della temperatura dei semi-lavorati

Provino	Tipologia	T (°C)	HCHO medio (ppb)
D	Parquet composito	23	13
		30	26
		40	59

**Tabella 14:** parquet composito, valori medi delle concentrazioni in funzione della temperatura

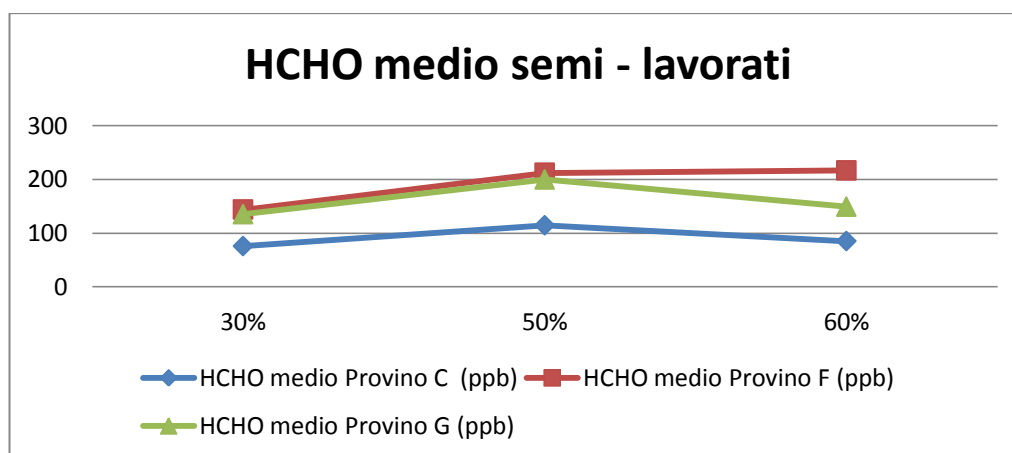


**Figura 30:** grafico concentrazioni medie in funzione della temperatura del parquet composito

In tabelle 15 e 16 sono riepilogati i valori medi delle emissioni di HCHO in funzione dell'umidità.

Provino	Tipologia	UR (%)	HCHO medio (ppb)
C	Pannello particelle laminato	30	76
		50	114
		60	85
F	Pannello OSB	30	144
		50	212
		60	216
G	Pannello compensato	30	135
		50	200
		60	149

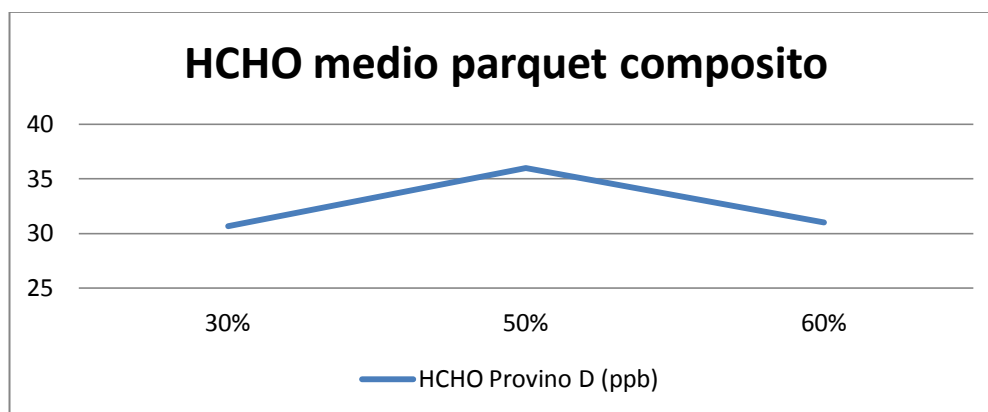
**Tabella 15:** semi-lavorati, valori medi delle concentrazioni in funzione dell'umidità



**Figura 31:** grafico concentrazioni medie in funzione dell'umidità dei semi-lavorati

Provino	Tipologia	UR (%)	HCHO medio (ppb)
D	Parquet composito	30	31
		50	36
		60	31

**Tabella 16:** parquet composito, valori medi delle concentrazioni in funzione dell'umidità



**Figura 32:** grafico concentrazioni medie in funzione dell'umidità del parquet composito

#### 4.1.3 Prove sui materiali normalizzate per fattore di carico e ricambio d'aria

La corretta interpretazione delle concentrazioni indicate dagli strumenti hanno tenuto conto di alcune condizioni presenti nella norma UNI EN 717-1:

- o Fattore di carico  $(1,0 \pm 0,02) \text{ m}^2/\text{m}^3$
- o Tasso di aria scambiata  $(1,0 \pm 0,05)/\text{h}$ .

Applicando tali condizioni si è proceduto alla normalizzazione dei valori misurati, tenendo conto della superficie esposta dei provini, delle dimensioni della camera e il ricambio d'aria. In tabella 17 sono riportati i dati riguardanti:

- o la superficie totale dei provini;
- o i ricambi d'aria;
- o il fattore di carico della camera di prova;
- o i risultati delle emissioni normalizzate per una camera di  $1 \text{ m}^3$  e superfici esposte di  $1 \text{ m}^2$ .

a)

Prov.	Tipologia	T (°C)	UR (%)	Sup. (m <sup>2</sup> )	Ric. d'aria (h <sup>-1</sup> )	Fattore di carico (m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )	Vol. Camera (m <sup>3</sup> )	HCHO norm (ppb)	TVOC norm (ppb)
<b>C</b>	<b>Pannello particelle laminato</b>	23	30	0,07	14	13,6	0,0052	<b>9</b>	<b>0</b>
			50					<b>56</b>	<b>0</b>
			60					<b>16</b>	<b>0</b>
		30	30					<b>49</b>	<b>0</b>
			50					<b>63</b>	<b>0</b>
			60					<b>52</b>	<b>0</b>
		40	30					<b>175</b>	<b>0</b>
			50					<b>235</b>	<b>0</b>
			60					<b>195</b>	<b>0</b>
<b>F</b>	<b>OSB</b>	23	30	0,09	14	17	0,0052	<b>61</b>	<b>0</b>
			50					<b>106</b>	<b>0</b>
			60					<b>77</b>	<b>0</b>
		30	30					<b>94</b>	<b>0</b>
			50					<b>210</b>	<b>0</b>
			60					<b>239</b>	<b>0</b>
		40	30					<b>200</b>	<b>0</b>
			50					<b>206</b>	<b>0</b>
			60					<b>217</b>	<b>0</b>
<b>G</b>	<b>Compensato</b>	23	30	0,09	14	17	0,0052	<b>74</b>	<b>0</b>
			50					<b>122</b>	<b>0</b>
			60					<b>66</b>	<b>0</b>
		30	30					<b>148</b>	<b>0</b>
			50					<b>205</b>	<b>0</b>
			60					<b>179</b>	<b>0</b>
		40	30					-	-
			50					-	-
			60					-	-

b)

<b>D</b>	<b>Parquet composito</b>	23	30	0,09	14	17	0,0052	<b>11</b>	<b>0</b>
			50					<b>15</b>	<b>0</b>
			60					<b>5</b>	<b>0</b>
		30	30					<b>16</b>	<b>0</b>
			50					<b>22</b>	<b>0</b>
			60					<b>25</b>	<b>0</b>
		40	30					<b>48</b>	<b>65</b>
			50					<b>52</b>	<b>113</b>
			60					<b>46</b>	<b>-</b>

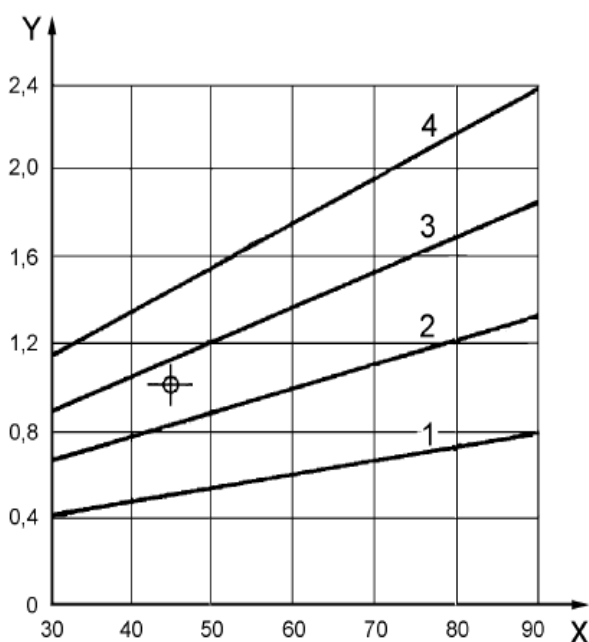
c)

<b>E</b>	<b>Larice</b>	23	30	0,09	14	17	0,0052	<b>0</b>	<b>352</b>
			50					<b>0</b>	<b>370</b>
			60					<b>0</b>	<b>323</b>
		30	30					<b>0</b>	<b>260</b>
			50					<b>0</b>	<b>372</b>
			60					<b>0</b>	<b>279</b>
		40	30					<b>0</b>	<b>522</b>
			50					<b>0</b>	<b>622</b>
			60					<b>0</b>	<b>548</b>

**Tabella 17:** a) b) c) emissioni normalizzate per fattore di carico e ricambio d'aria

#### 4.1.4 Prove sui materiali normalizzate secondo UNI EN ISO 16000-2

In una seconda fase i dati normalizzati per carico e ricambio d'aria delle concentrazioni di formaldeide, ottenute dalle misurazioni dei materiali a base di legno, sono stati corretti in base alle disposizioni date dalla norma UNI EN ISO 16000-2. Nella presente norma è descritto un abaco che consente di normalizzare, alle condizioni di 23°C e 45% di umidità relativa, i rilievi effettuati a temperature ed umidità differenti. L'abaco presenta in ascissa valori compresi tra 30-90% di umidità relativa, in ordinata i valori di un coefficiente K e 4 rette che rappresentano le temperature di 15, 20, 25 e 30°C.



#### Key

X relative humidity,  $H$ , in percent

Y factor  $K$

1 temperature = 15 °C

2 temperature = 20 °C

3 temperature = 25 °C

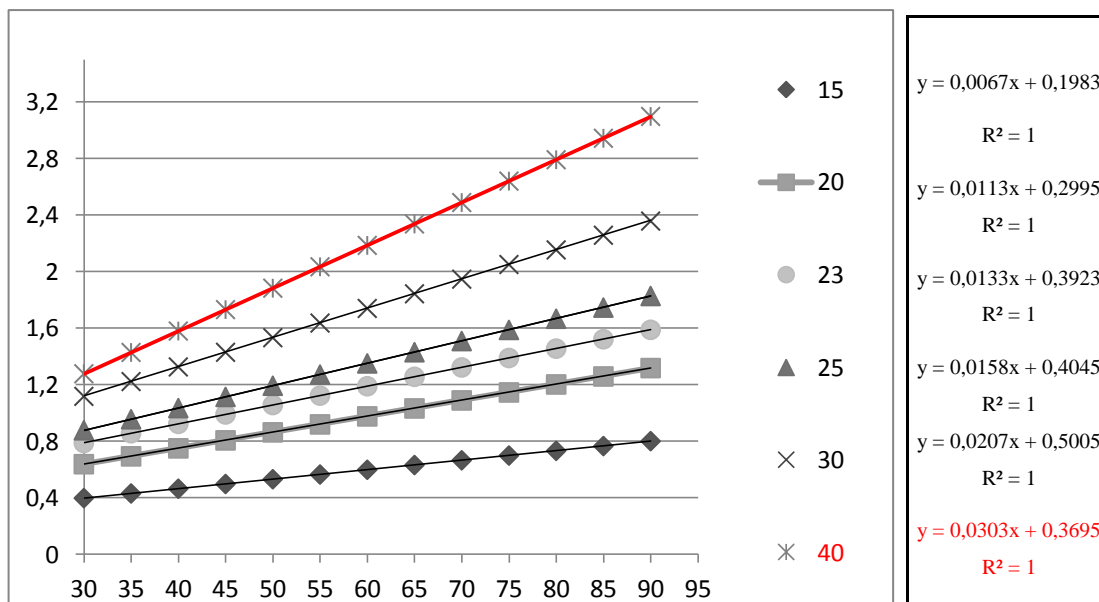
4 temperature = 30 °C

NOTE 1 Parameter for  $K = 1$ : temperature, 23 °C; relative humidity, 45 %; air exchange rate, 1  $\text{h}^{-1}$ ; loading, 1  $\text{m}^2/\text{m}^3$ .

NOTE 2  $C_{t/H} = C_{23/45} \cdot K$ , expressed in millilitres per cubic metre (ppm).

**Figura 33:** abaco norma UNI EN ISO 16000-2

Il presente abaco non prevede condizioni di misurazione a temperature elevate (possibili durante la stagione estiva), pertanto partendo da alcuni punti noti del grafico in Figura 33 si è proceduto alla elaborazione e la riproduzione su foglio di calcolo Excel della retta relativa alla temperatura di 40°C.



**Figura 34:** rielaborazione abaco norma UNI EN ISO 16000-2

Dal grafico (figura 34), mediante le equazioni ricavate da ciascuna linea di tendenza, sono stati calcolati i coefficienti K di correzione alle diverse temperature e umidità.

	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%
<b>15°C</b>	0,4	0,43	0,47	0,50	0,53	0,57	0,60	0,63	0,67	0,70	0,73	0,77	0,80
<b>20°C</b>	0,64	0,70	0,75	0,81	0,87	0,92	0,98	1,03	1,09	1,15	1,20	1,26	1,32
<b>23°C</b>	0,79	0,86	0,93	0,99	1,06	1,13	1,19	1,26	1,32	1,39	1,46	1,52	1,59
<b>25°C</b>	0,88	0,96	1,04	1,12	1,20	1,27	1,35	1,43	1,51	1,59	1,67	1,75	1,83
<b>30°C</b>	1,12	1,22	1,33	1,43	1,54	1,64	1,74	1,85	1,95	2,05	2,16	2,26	2,36
<b>40°C</b>	1,28	1,43	1,58	1,73	1,89	2,04	2,19	2,34	2,49	2,64	2,79	2,95	3,10

**Tabella 18:** coefficienti di correzione K norma UNI EN ISO 16000-2

Dalla tabella 18 sono stati estrapolati i coefficienti K di 23°C, 30°C, 40°C e 30%, 50%, 60% di umidità relativa, che hanno consentito la correzione dei dati normalizzati per fattore di carico e ricambio d'aria alle condizioni standard:

	30%	50%	60%
<b>23°C</b>	0,79	1,06	1,19
<b>30°C</b>	1,12	1,54	1,74
<b>40°C</b>	1,28	1,89	2,19

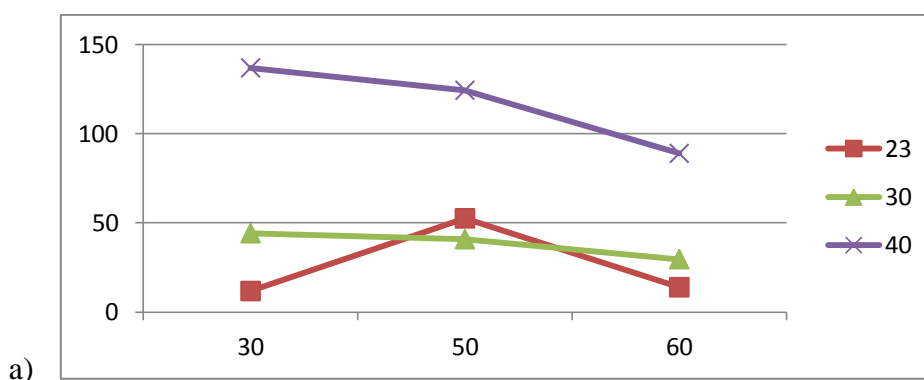
**Tabella 19:** coefficienti K della temperatura e umidità di prova

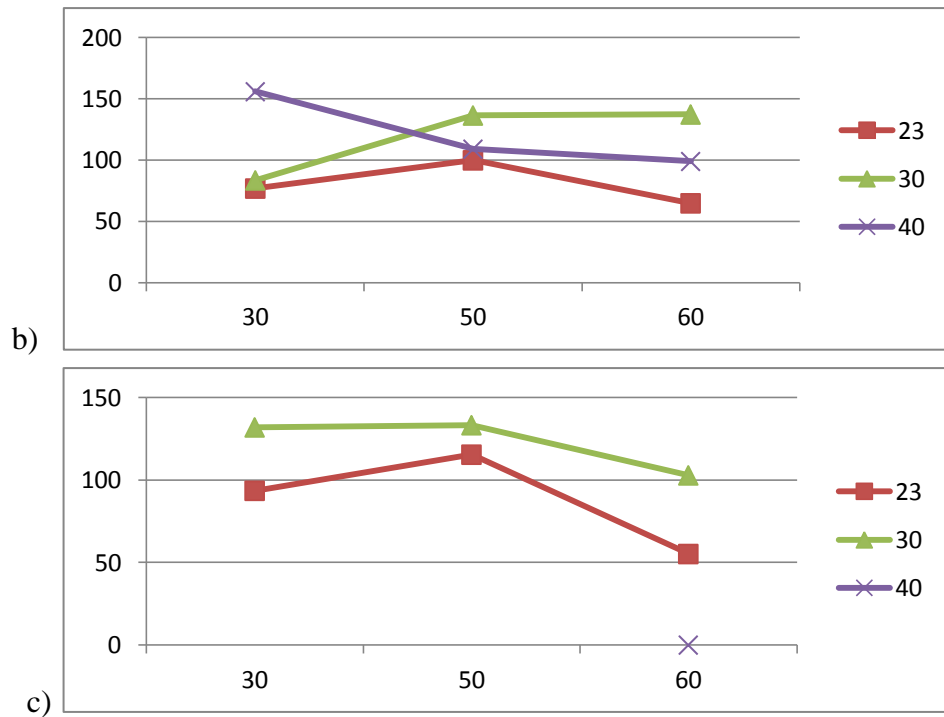


Le correzioni sono state realizzate dividendo i dati normalizzati per fattore di carico e ricambio d'aria delle misurazioni per i corrispondenti valori K. I risultati con i relativi grafici sono di seguito riepilogati:

Provino	Tipologia	T (°C)	UR (%)	HCHO (ppb)
C	Pannello particelle laminato	23	30	12
			50	53
			60	14
		30	30	44
			50	41
			60	30
		40	30	137
			50	124
			60	89
F	Pannello OSB	23	30	77
			50	100
			60	65
		30	30	84
			50	137
			60	137
		40	30	156
			50	109
			60	99
G	Pannello compensato	23	30	94
			50	115
			60	55
		30	30	132
			50	133
			60	103
		40	30	-
			50	-
			60	-

**Tabella 20:** semi-lavorati, valori corretti con rielaborazione abaco norma UNI EN ISO 16000-2

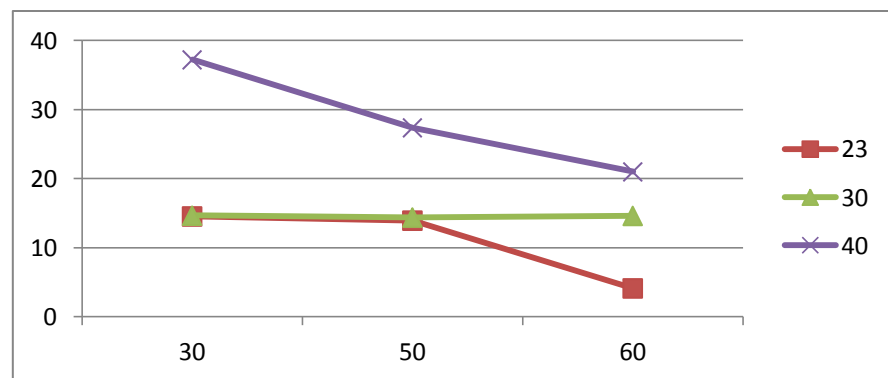




**Figura 35:** grafici a) pannello di particelle laminato, b) pannello OSB, c) compensato, valori corretti con rielaborazione abaco norma UNI EN ISO 16000-2

Provino	Tipologia	T (°C)	UR (%)	HCHO (ppb)
D	Parquet composito	23	30	15
			50	14
			60	4
		30	30	15
			50	14
			60	15
		40	30	37
			50	27
			60	21

**Tabella 21:** parquet composito, valori corretti con rielaborazione abaco norma UNI EN ISO 16000-2



**Figura 36:** grafico parquet composito, valori corretti con rielaborazione abaco norma UNI EN ISO 16000-2

#### 4.1.5 Prove sui materiali normalizzate secondo coefficienti sperimentali

Partendo dai dati ottenuti dalle prime prove realizzate su pannello OSB si è proceduto alla correzione, tramite l'abaco presente nella norma UNI EN ISO 16000-2, della media dei dati ottenuti a temperatura 23°C e umidità relativa 50% ottenendo una normalizzazione a 23°C e 45% UR.

Dividendo la media corretta con l'abaco per le rispettive medie dei valori calcolati con temperatura 23°C e umidità relativa 30%, 50% e 60% è stato possibile ottenere i seguenti coefficienti sperimentali:

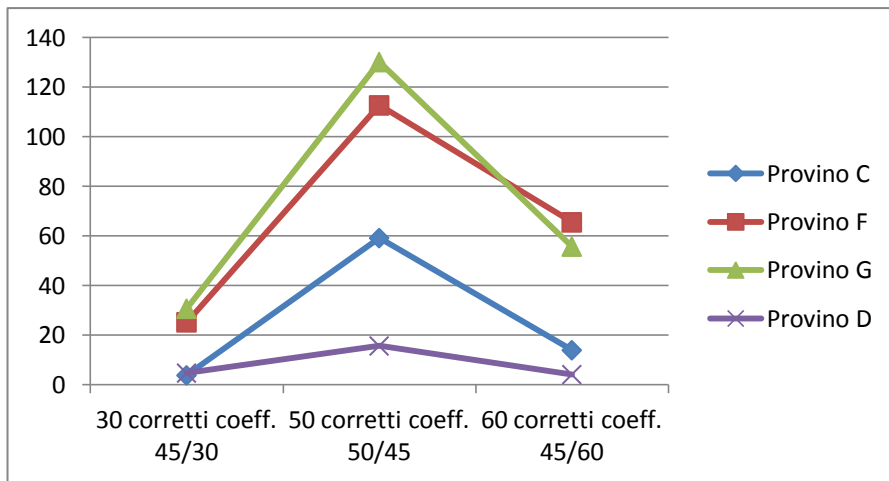
<b>Coefficiente 45/30</b>	2,41
<b>Coefficiente 45/50</b>	0,94
<b>Coefficiente 45/60</b>	1,18

**Tabella 22:** coefficienti sperimentali

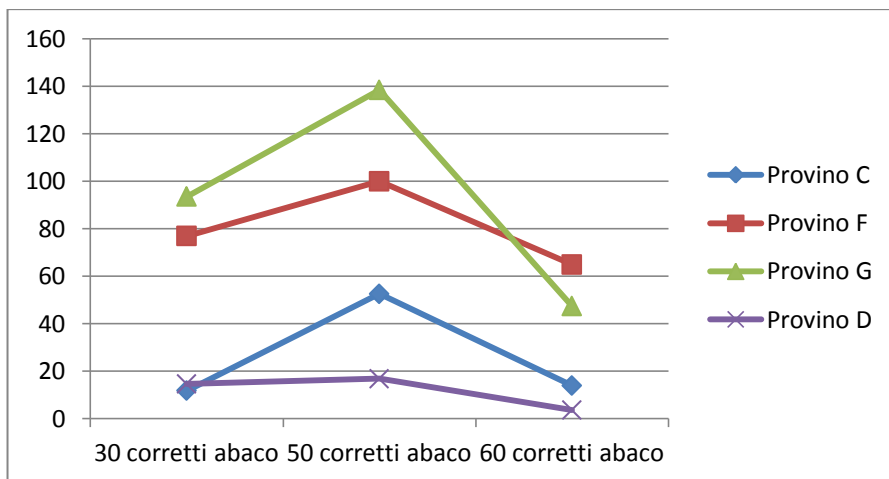
In seguito è stata eseguita una differente correzione dei dati normalizzati per fattore di carico e ricambio d'aria alle condizioni di 23°C di temperatura e umidità relativa 30,50 e 60%, utilizzando i coefficienti calcolati (tabella 22). I risultati sono riepilogati in tabella 23 in cui sono presenti anche i valori ottenuti dalla correzione mediante l'abaco della norma 16000-2, alle medesime condizioni di temperature ed umidità relativa (T: 23°C; UR: 30,50, 60%), allo scopo di eseguire un confronto.

<b>Provino</b>	<b>Tipologia</b>	<b>T (°C)</b>	<b>UR (%)</b>	<b>HCHO corretti coeff. sperim. (ppb)</b>	<b>HCHO corretti coeff. abaco 16000-2 (ppb)</b>
C	Pannello particelle laminato	23	30	4	12
			50	59	53
			60	14	14
F	Pannello OSB	23	30	25	77
			50	113	100
			60	66	65
G	Pannello compensato	23	30	31	94
			50	130	138
			60	56	47
D	Parquet composito	23	30	5	15
			50	16	17
			60	4	4

**Tabella 23:** valori corretti con coefficienti sperimentali



**Figura 37:** grafico valori corretti con coefficienti sperimentali, alle condizioni di 23°C di temperatura e 30,50,60% di umidità relativa



**Figura 38:** grafico valori corretti con rielaborazione abaco norma UNI EN ISO 16000-2 alle condizioni di 23°C di temperatura e 30,50,60% di umidità relativa

## 4.2 Discussione dei risultati

Le ripetizioni con diverse combinazioni di umidità alla stessa temperatura realizzati su pannelli OSB danno dei coefficienti di variazione del 43, 36 e 17% rispettivamente. In termini assoluti tali coefficienti hanno una variabilità elevata, ma nel caso specifico, dato il tipo di misurazione e strumentazione, indicano il campo di applicazione del metodo stesso. Tale metodo consente di avere delle informazioni di massima coerenti ma che limitano l'uso di questi strumenti a dei valori orientativi che comunque possono essere utili per la definizione del tipo di campionamento e di analisi da eseguire con le metodiche di riferimento. Questi risultati comunque hanno consentito la misura dell'affidabilità dei test effettuati nei vari materiali, basati sulla consapevolezza che i valori ottenuti presentano una certa incertezza sperimentale. Dalle ripetizioni realizzate è emersa, infatti, per le umidità del 30, 50 e 60% un'incertezza estesa rispettivamente di  $\pm 11$  ppb,  $\pm 22$  ppb e  $\pm 9$  ppb.

Osservando i valori riportati in tabella 17 si può notare che le emissioni di TVOC sono molto basse eccetto per il campione E di legno massiccio con concentrazioni comprese tra 260 e 622 ppb (alle diverse condizioni di prova) e il campione D parquet composito con concentrazioni medie di 89 ppb a temperature elevate (40°C).

Per quanto riguarda la formaldeide (HCHO) il pannello OSB (provino F) e il pannello di compensato (provino G) sono i materiali che hanno manifestato le maggiori emissioni alle condizioni standard. Segue il pannello di particelle laminato (provino C) e il parquet composito (provino D) che ha manifestato le minori emissioni di formaldeide, infine le misurazioni eseguite sul campione di legno massiccio hanno confermato la completa assenza di formaldeide.

Complessivamente valutando le concentrazioni medie delle emissioni di formaldeide in funzione della temperatura l'andamento rispecchia i precedenti studi presenti in letteratura in cui all'aumentare della temperatura si ha un incremento della concentrazione di formaldeide.

Valutando le concentrazioni medie delle emissioni di formaldeide in funzione dell'umidità si riscontra un andamento diverso da quello proposto in letteratura in quanto all'aumentare dell'umidità relativa si verifica una diminuzione delle concentrazioni di formaldeide. Tale risultato può essere dovuto al metodo di campionamento utilizzato e in particolare ad una caratteristica insita della

formaldeide in quanto idrosolubile e che quindi può essere stata alterata dalla presenza di punti di condensazione in un qualche punto della catena di misura.

I valori ottenuti con le correzioni mediante coefficienti della norma UNI EN ISO 16000-2 hanno un andamento sostanzialmente analogo a quello ottenuto mediante i coefficienti sperimentali, in cui nuovamente si osserva una diminuzione della formaldeide per valori di umidità del 60%; alla luce di tale risultato si ritiene che le misurazioni realizzate con umidità elevata siano afflitte da un errore di misura strumentale, non quantificato, legato alla presenza di punti di condensazione nel sistema di misura che faccia da “trappola” per una certa quantità di formaldeide che va a sottostimare il valore vero.

## 5. CONCLUSIONI

I primi risultati ottenuti da questo studio confermano che la misura di formaldeide e TVOC viene influenzata da temperatura e umidità. Per le misure normalizzate di laboratorio questi due parametri sono prefissati a seconda della norma utilizzata. La norma UNI EN 717 (metodo della camera) dispone di mantenere la temperatura e l'umidità relativa all'interno della camera di prova entro i seguenti limiti:

- o Temperatura:  $(23 \pm 0,5)^{\circ}\text{C}$ .
- o Umidità relativa:  $(45 \pm 3)\%$ .

Nel campionamento dell'aria in ambiente indoor, la temperatura e l'umidità dipendono dalle condizioni al contorno. All'uopo la norma UNI EN ISO 16000-2 fornisce un abaco per normalizzare i rilievi eseguiti a temperatura e umidità differenti. Le coordinate forniscono un coefficiente che permette di correggere i dati ottenuti e normalizzarli alle condizioni standard di  $23^{\circ}\text{C}$  e 45% di umidità relativa.

Attraverso l'impiego di un sistema di campionamento in camera climatizzata da 5,2 litri e due strumenti, l'Interscan per la misura della formaldeide e il PhoCheck Tiger (PID) per la misura dei TVOC, sono state eseguite misurazioni con valori di temperatura comprese tra  $23 \div 40^{\circ}\text{C}$  e umidità relativa  $30 \div 60\%$ .

I risultati di tali osservazioni evidenziano che l'abaco della normativa in oggetto non rappresenta le variazioni di concentrazione misurate sperimentalmente, almeno per quanto riguarda la catena di misura in oggetto.

Si osserva inoltre un fenomeno peculiare, ovvero che all'aumentare dell'umidità i valori di misura sono più bassi. Il motivo di tali risultati può essere attribuito al metodo utilizzato differente da quello normalizzato. In particolare tale fenomeno può essere attribuito alla presenza nel sistema di punti di condensazione, in condizioni di umidità pari al 60%, che vanno ad intrappolare in parte la formaldeide presente con conseguente sottostima delle concentrazioni da parte dello strumento di misurazione.

Tuttavia osservando le medie delle concentrazioni di formaldeide in merito alle variazioni di temperatura, l'andamento è coerente con gli studi presenti in letteratura, dove all'aumentare della temperatura si verifica un aumento delle concentrazioni di formaldeide in modo proporzionale.

Lo studio effettuato consente di applicare dei fattori correttivi in funzione di temperatura e umidità alla strumentazione utilizzata, identificando anche i punti deboli della stessa e i correttivi da adottare per eliminare le problematiche rilevate.



## **RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI**

- 1983. Circolare del Ministero della Sanità n°57. Usi della formaldeide. Rischi connessi alle possibili modalità di impiego, 22 giugno
- 1988. Direttiva 89/106/CEE del Consiglio relativa al ravvicinamento delle disposizioni legislative, regolamentari e amministrative degli Stati Membri concernenti i prodotti da costruzione, 21 dicembre
- 1993. Decreto del Presidente della Repubblica 21.4.1993 n. 246. Regolamento di attuazione della Direttiva 89/106/CEE relativa ai prodotti da costruzione. Gazzetta Ufficiale n. 170, 22 luglio
- 2001. Accordo tra il Ministro della salute, le regioni e le province autonome. Linee guida per la tutela e la promozione della salute negli ambienti confinati, 27 settembre
- 2002. Decisione n. 1600/2002/CE del Parlamento europeo e del Consiglio che istituisce il sesto programma comunitario di azione in materia di ambiente, , del 22 luglio
- 2004. Comunicazione commissione delle Comunità europee. Verso una strategia tematica sull'ambiente. Com (2004) 60 definitivo, 11 febbraio
- 2006. Decreto Legislativo 27.3.2006 n. 161. Attuazione della direttiva 2004/42/CE, per la limitazione delle emissioni di composti organici volatili conseguenti all'uso di solventi in talune pitture e vernici, nonché in prodotti per la carrozzeria. Gazzetta Ufficiale n. 100, 2 maggio
- 2006. Provvedimento n. 2636. Accordo, ai sensi dell'articolo 4 del decreto legislativo 28 agosto 1997, n. 281, tra il Governo, le Regioni e le Province Autonome di Trento e di Bolzano sul documento recante: «Linee guida per la definizione di protocolli tecnici di manutenzione predittiva sugli impianti di climatizzazione» , 5 ottobre
- 2008. Decreto del Ministero del Lavoro, della Salute e delle Politiche Sociali del 10.10.2008. Disposizioni atte a regolamentare l'emissione di aldeide formica da

pannelli a base di legno e manufatti con essi realizzati in ambienti di vita e soggiorno. Gazzetta Ufficiale n. 288, 10 dicembre.

-2010. Decreto Legislativo 13.08.2010, n. 155. Attuazione della direttiva 2008/50/CE relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa. Gazzetta Ufficiale n.216, 19 settembre

-2011. Regolamento (Ue) N. 305/2011 del Parlamento Europeo e del Consiglio che fissa condizioni armonizzate per la commercializzazione dei prodotti da costruzione e che abroga la direttiva 89/106/CEE del Consiglio, 9 marzo

Abbritti G., 2004. Qualità degli ambienti confinati non industriali (indoor): valutazione del rischio, prevenzione, sorveglianza sanitaria. Rischio chimico e biologico. Giornale Italiano di Medicina del Lavoro ed Ergonomia, 26 (4): 345-381

Bulian F., Ciroi S. Il problema formaldeide nel settore legno-arredo. <http://www.catas.com>

Busa L., Negri M., Santoni I., Fellin M., Menapace S., Mores M., Verdini A., 2014. Linee guida ARCA per la salubrità dell'aria indoor. ARCA Casa Legno Srl

Coordinamento Tecnico per la sicurezza nei luoghi di lavoro delle Regioni e delle Province Autonome, in collaborazione con ISPESL, 2006. Microclima, aerazione e illuminazione nei luoghi di lavoro. Requisiti e standard. Indicazioni operative e progettuali. Linee guida

European Concerted Action. Indoor Air Quality & Its Impact On Man. COST Project 613. Environment and Quality of Life ., 1989. Report N. 4. Sick Building Syndrome - A Practical Guide. Commission of the European Communities

Fuselli S., Pilozi A., Santarsiero A., Settimo G., Brini S., Lepore A., de Gennaro G., Demarinis Loiotile A., Marzocca A., de Martino A., Mabilia R., 2013. Strategie di monitoraggio dei composti organici volatili (COV) in ambiente indoor. Roma: Istituto superiore di sanità

Fuselli S., Santarsiero A., 2009. Convegno nazionale. Inquinamento indoor residenziale - abitazione e qualità dell'aria. Roma: Istituto Superiore di Sanità

Fuselli S., Zanetti C., 2006. Formaldeide in aria di ambienti interni ed esterni di un'area urbana, in relazione all'esposizione dell'uomo. Roma: Dipartimento di Ambiente e Connessa Prevenzione Primaria dell'Istituto Superiore di Sanità

IARC (International Agency for Research on Cancer), 2004. IARC classifies formaldehyde as carcinogenic to humans. Press release N°153. WHO.

Interscan corporation, 2011. Instruction Manual, 4000 Series Digital Portable Analyzer

Lepore A., Ubaldi V., Brini S., 2010. Inquinamento Indoor: aspetti generali e casi studio in Italia. Rapporti 117/2010. Roma: ISPRA

Moncada Lo Giudice G., De Santoli L., 1999. Fisica tecnica ambientale, Vol. 3. Benessere termico, acustico, visivo. Milano: Casa Editrice Ambrosiana

Renato Borronei, 2006. Quantificazione dell'incertezza nelle misure chimico - fisiche. Dipartimento di Chimica Generale ed Inorganica, Chimica Analitica

Salthammer T., Mentese S., Marutzky R., 2010. Formaldehyde in the Indoor Environment. Chemical Reviews 110 (4): 2536–2572

Sarigiannis Dimosthenis A., Karakitsios Spyros P., Gotti A., et al., 2011. Exposure to major volatile organic compounds and carbonyls in European indoor environments and associated health risk. Environment international 37: 743-765

Schickhofer G., Bernasconi A., Traetta G., 2005. I prodotti di legno per la costruzione. Materiale dei corsi promo legno

Ufficio normativa per il sistema legno – arredo, 2008. Sintesi dei sistemi di classificazione delle emissioni di formaldeide dai pannelli a base di legno, in vigore in vari ambiti geografici. Milano: Federlegno – Arredo

UNI EN 1084:1997. Pannelli di legno compensato. Classi di rilascio di formaldeide determinate con il metodo dell'analisi dei gas.

UNI EN 13986:2005. Pannelli a base di legno per l'utilizzo nelle costruzioni - Caratteristiche, valutazione di conformità e marcatura

UNI EN 312:2010. Pannelli di particelle di legno - Specifiche

UNI EN 622-1:1998. Pannelli di fibra di legno - Specifiche - Requisiti generali

UNI EN 636:2013. Pannelli di legno compensato - Specifiche

World Health Organization Regional, 2010. Office for Europe, WHO Guidelines for Indoor Air Quality: Selected Pollutants. Germany: WHO Guidelines for Indoor Air Quality

World Health Organization. Regional Office for Europe, 2000. Air quality guidelines for Europe. Copenhagen : WHO Regional Office for Europe

World Health Organization. Regional Office for Europe, 2006. Development of WHO Guidelines for Indoor Air Quality. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe

## **RIFERIMENTI SITOGRAFICI**

[www.arpaveneto.it](http://www.arpaveneto.it) Sito ufficiale Agenzia regionale per la prevenzione e protezione ambientale del Veneto. Ultimo accesso 20 Gennaio 2015.

[www.uni.com](http://www.uni.com) Sito ufficiale UNI - Ente Nazionale Italiano di Unificazione. Ultimo accesso Gennaio 2015

[www.ivalsa.cnr.it](http://www.ivalsa.cnr.it) Sito ufficiale del Consiglio Nazionale delle Ricerche *IVALSA* - Istituto per la Valorizzazione del Legno e delle Specie Arboree. Ultimo accesso Gennaio 2015

<http://www.salute.gov.it> Sito ufficiale del Ministero della Salute. Ultimo accesso Dicembre 2014

[www.ionscience.com](http://www.ionscience.com) Sito ufficiale ion science. Ultimo accesso Dicembre 2014

[www.dataholz.com](http://www.dataholz.com) Sito componenti in legno con proprietà fisiche, strutturali ed ecologiche testate. Ultimo accesso Gennaio 2015

[www.dors.it](http://www.dors.it) Sito del Centro Regionale di Documentazione per la Promozione della Salute. Ultimo accesso Gennaio 2015

# **ALLEGATO I**

## **Scheda tecnica Interscan 4000**

Interscan Corporation, [www.tecora.com](http://www.tecora.com)

## Linea Immissioni 2.300.01



### Analizzatori di gas

# Interscan 4000

#### Caratteristiche principali:

- Pompa di campionamento integrata alimentata da batterie ricaricabili (NI-Cd) con autonomia fino a 10 ore consecutive
- Lettura digitale della concentrazione in tempo reale
- Allarme visivo e sonoro
- Alimentatore a carica batterie
- Uscita analogica (0-100 mV)
- Peso: 2.0 Kg
- Dimensioni: 178 x 102 x 225 mm



Nota : ogni analizzatore è destinato alla rilevazione di un singolo gas.

#### Caratteristiche Tecniche

Gas	Campi di misura	Gas	Campi di misura	Gas	Campi di misura
Br2 bromo	0-1999 0-199.9 0-19.99 0-1999 ppb	H2NNH2	0-1999	NO2	0-1999
CO	0-1999	CH3NHNH2	0-199.9	diossido di azoto	0-199.9 0-19.99 0-1999 ppb
monossido di carbonio	0-199.9 0-19.99	(CH3)2NNH2	0-19.99	O3	0-1999 0-199.9 0-19.99 0-1999 ppb
Cl2 cloro	0-1999 0-199.9 0-19.99 0-1999 ppb	idrazina	0-1999 ppb 0-100 ppb	PrO	0-1999 0-199.9 0-19.99 0-1000 ppb
CIO2 diossido di cloro	0-1999 0-199.9 0-19.99 0-1000 ppb	H2 idrogeno	0-1999 0-199.9	SO2	0-1999 0-199.9 0-19.99 0-1999 ppb
C2H4 etilene	0-1999 0-199.9 0-19.99	HBr acido bromidrico	0-1999 0-199.9 0-19.99 0-1999 ppb		
EIO ossido di etilene	0-1999 0-199.9 0-19.99 0-500 ppb	HCl acido cloridrico	0-1999 0-199.9 0-19.99 0-1999 ppb		
HCHO formaldeide	0-1999 0-199.9 0-19.99 0-500 ppb	HCN acido cianidrico	0-1999 0-199.9 0-19.99		
		H2S acido solfidrico	0-1999 0-199.9 0-19.99 0-1999 ppb		
		NO ossido di azoto	0-1999 0-199.9 0-19.99 0-1999 ppb		

TORTECORA s.r.l. - Via Alessandro Volta, 22/24 - 20094 Corsico (Mi) Italy - Tel. 02 24505501 - Fax 02 48601811 - www.tecra.it - e-mail: torfec@tecra.it

Product Data Linea Immissioni 2.300.01 - Ed. 0 06/06 - Soggetto a modifiche senza preavviso

# TORTECORA

AZIENDA CON SISTEMA QUALITÀ  
 CERTIFICATO DA DNV  
**UNI EN ISO 9001**

# **ALLEGATO II**

## **Scheda tecnica PhoCheck Tiger (PID)**

Ion Science, [www.ionscience.com](http://www.ionscience.com), 2 pagine.



## PhoCheck Tiger

### Fotoionizzazione rivoluzionario per la determinazione dei composti organici volatili

Il rilevatore portatile di COV PhoCheck Tiger con la rivoluzionaria tecnologia PID prevede la migliore individuazione di COV attualmente disponibile con un software altamente funzionale e pronto all'uso all'accensione dello strumento.

#### Applicazioni tipiche:

- Monitoraggio Ambientale
- Determinazione contaminazione del suolo
- COV in discariche
- Indoor Air Quality - misurazione della qualità dell'aria nell'industria con presenza di VOC o SOV
- Health & Safety, STEL e TWA di monitoraggio in spazi ristretti carburanti o chimici
- Monitoraggio Atmosfera generale per i prodotti chimici
- Screening per prime indicazioni
- Controllo ai bordi e lungo le recinzioni degli impianti
- Controllo del filtro nelle Clean Rooms e negli impianti di condizionamento
- Controllo della fuoriuscita di carburante nella fabbricazione di veicoli.
- Monitoraggio gas traccianti per Fumo
- Gas medicali all'interno degli ospedali,
- Linea di dispersione di gas nei laboratori
- Gas di fumigazione (come formaldeide)
- Rilevazione delle emissioni fuggitive
- Fughe dalle stazioni di riempimento gas
- Controllo dei serbatoi di Jet Fuel prima dell'ingresso
- Scarico abusivo di sostanze chimiche

#### Caratteristiche

- La tecnologia brevettata Fence Electrode Technology
- Campo di misura da 1 ppb a 20.000 ppm per sostanze volatili specifiche
- Velocità di risposta 2 secondi
- Facile sostituzione miniPID Detector, elettrodi Stack e Lampade
- Uso eccezionalmente facile e intuitivo
- Programmazione tramite PC con semplici procedure.
- Le batterie certificate ATEX sostituibili in aree pericolose
- Completamente aggiornabile con funzioni selezionabili
- Scelta delle opzioni di registrazione
- La durata della batteria fino a 30 ore
- Sicurezza intrinseca con approvazioni

ATEX, IECEx e CUL

- Custodia robusta con la protezione in gomma rimovibile
- Potente allarme acustico 95 dBA
- Allarme luminoso e a vibrazione
- Opzione wireless
- Costo di gestione il più basso sul mercato
- Garanzia strumento di 5 anni

**PhoCheck Tiger** con tecnologia MiniPID è il più avanzato fotoionizzatore (PID) portatile sul mercato per la rilevazione di composti organici volatili (VOCs). Si può selezionare il nostro modello base completo o personalizzare lo strumento con funzioni in opzione.

**Migliori prestazioni del PID.** La tecnologia Fence Electrode Technology brevettata da Ion Science consente di ottenere i migliori risultati per velocità di risposta e accuratezza di lettura, mentre minimizza gli effetti dell'umidità e della contaminazione. Lo strumento se utilizzato in presenza di alte concentrazioni di umidità ambientale non subisce alcun indebolimento delle prestazioni.

**Campo di misura dinamico da 1 ppb a 20.000 ppm** (secondo il gas misurato). Offre il più ampio campo di misura disponibile. Determina valori di VOCs con il più basso valore 1 ppb o un alto valore fino a 20.000 ppm. Permette letture in ppb/ppm o mg/m<sup>3</sup>.

**Pronto all'uso.** Non richiede complicate programmazioni o procedure via PC

**Brevettata cella di misura miniPID a 6 PIN.** Con disegno anti-contaminazione e esteso tempo di funzionamento. La sostituzione del filtro e della lampada può essere fatta in pochi secondi e a basso costo.

**Batterie a Li-Ion di lunga durata facilmente sostituibili.** Con funzionamento superiore a 30 ore prima di effettuare la ricarica. Le batterie possono essere sostituite, in sicurezza, in aree a rischio di esplosione. La ricarica delle batterie avviene in 6 ore nel caso di batterie completamente scariche e in 1.5 ore dopo l'utilizzo per 8 ore. È possibile sostituire le batterie con batterie alcaline.

**Veloce tempo di risposta inferiore a 2 secondi.** Il più veloce del mercato e rapido nella nuova lettura.

**Fattore di correzione per 450 gas.** Lo strumento è programmato con i fattori di correzione per 450 gas.



**Veloce collegamento a mezzo USB.** I dati possono essere asportati direttamente in collegamento con PC o via USB

**Allarmi selezionabili ottico, sonori o a vibrazione.** Lo strumento ha due allarmi sonori a 95 dBA, due allarmi ottici con LED pulsante e allarme a vibrazione. Queste funzioni possono essere selezionate, tacitando o inserendo a richiesta.

**Sensore per mancanza di flusso.** Lo strumento è munito di un sensore che segnala quando il flusso di aspirazione è inferiore a 100 cc/min

**Sicurezza intrinseca.** Lo strumento ha le approvazioni Europea (ATEX), Canadese e statunitense per essere usato in aree con rischio di esplosione.

**Operazioni semplici con una mano.** Lo strumento è leggero, ben equilibrato comodo da tenere e viene fornito con una comoda cinghia da polso come standard

**Semplicità di funzionamento della tastiera e icone.** Menu guidato per un facile uso in tutto il mercato globale. I tasti sono abbastanza grandi da poter essere facilmente azionati anche indossando i guanti.

**Display largo chiaro e retroilluminato.** Consente un facile visione in ogni condizione di luce.

**Torcia integrata.** Per dirigere la sonda di campionamento in aree poco illuminate.

**Software Tiger per PC** fornito su supporto USB. Per gli utenti che desiderano personalizzare il sistema di raccolta dei dati, si possono configurare uno o più unità attraverso una schermata.

**Basso costo di manutenzione.** Parti da sostituire filtri e lampada a basso costo

**Garanzia dello strumento 5 anni.** Garanzia totale per lo strumento compresa elettronica e hardware, escluse parti rimovibili come lampada e filtri.

**Costruzione robusta.** per essere usato negli ambienti più disagiati

**Robusta custodia in gomma.** Costruita per una massima protezione dello strumento, può essere facilmente rimossa per bonifica.

**Protezione IP65.** Lo strumento resiste ottimamente all'acqua, polveri e a materiali contaminanti.

**Aggiornamenti in opzione**  
Interamente aggiornabile direttamente da parte degli utenti attraverso il desktop

**PhoCheck Tiger** è uno strumento con applicazioni multiple completamente basato su moduli da scegliere. L'unità base può essere aggiornata con registrazione dati, modo igiene ambientale o sicurezza e opzione ppb direttamente dal desktop senza dover essere inviato al costruttore.

**Registrazione dati**  
La registrazione dati ha le seguenti caratteristiche:

- Registrazione di 120.000 dati con data e ora.
- Registrazione eventi
- Pulsante per registrare un singolo punto
- Registrazione ora precisa di campionamento
- Registrazione continua
- Registrazione allarmi
- Registrazione zona

**Modo Igiene ambientale o sicurezza**  
La scelta del modo igiene ambientale o sicurezza include:

- tempo medio ponderato e di esposizione a breve termine, limite di allarme inserito tramite tabelle predefinite
- Standard selezionabili NIOSH, OSHA e EH40

**ppb capacità**  
Si può aumentare il range di rilevamento da ppb

- Determinazione VOCs da 1 ppb a 20.000 ppm (nota: l'unità base determina VOCs da 0,1 ppm a 20.000 ppm)

#### Bluetooth e comunicazione Wireless

Prossimamente saranno disponibili connessioni a mezzo Bluetooth e wireless

#### Specifiche tecniche

**Risoluzione minima\*:** 1 ppb o 0,001 mg/m<sup>3</sup>  
**Letture massima\*\*:** 20.000 o 20.000 ppm mg/m<sup>3</sup>  
**Precisione\*:** ± 5% lettura ± visualizzare una cifra

**Linearità\*:** ± 5% a 100 ppm

**Omologazioni a sicurezza intrinseca:** ATEX II 2G Ex ia IIC T4 (-15°C ≤ Ta ≤ 60°C), IECEx e CUL

**Vita Batteria:** Li-Ion: la vita fino a 30 ore, tempo di ricarica 6,5 ore

**Alcaline:** 3 x AA, di solito 15 ore di vita

**Lampade:** Lampade a 10,6 eV Krypton lampada PID (standard) 9,8eV e 11,7eV disponibili

**La registrazione dei dati\*:** > 120.000 dati di registro punti, tra cui data e ora (33 ore a 1 log al secondo)

**Comunicazione:** USB 1.1

**Calibrazione:** Kit di calibrazione con accessori

**Allarmi:** LED lampeggiante e 95 dBA a 300mm (12") ecoscandaglio acustico

**Allarme a vibrazione** selezionabile

Pre-programmati e TWA STEL \*

Pre-programmati con 450 gas \*

**Portata:** 220 ml/min con allarme basso flusso

**Temperatura di esercizio:** da -20 a 60°C, (non a sicurezza intrinseca)

**Umidità:** 0-99% RH (senza condensa)

**Protezione:** Progettato per IP65 (pioggia)

C E 1180

EMC testato per EN61326-1: 2006,

ENS0270: 2006 e CFR 47:2008 Classe A

**Peso e dimensioni:** Strumento senza sonda:

L340 x h90 x p60 mm

**Confezione standard:** 420 x 320 x 97 mm

Strumento di peso 0,72 kg)

\* Dipende dal gas e dal modello. \*\* La massima

lettura è realizzata con alcuni gas come l'etanolo.



#### PhoCheck KIT (Part no. PTXSLBME-000) contiene:

PhoCheck Tiger, Batterie ricaricabili (Li-Ion), Caricabatteria e adattatore di rete, Custodia in gomma, Valigetta di trasporto Memoria USB1, Filtro di zero con adattatore, PTFE Filtro (Filtro polveri), Utensili per la rimozione del MiniPID, Sonda di aspirazione (60mm), Kit di pulizia, Cinturino da polso, Cavo USB, Manuale di istruzioni

#### Accessori

- Batteria di ricambio Li-Ion
- Batterie alcaline
- Cavo di collegamento alla presa dell'accendino dell'auto
- Portafila per fiale selettive Benzene
- Sonda Flessibile
- Sonda da 5 o 10 metri
- Lampade da: 9,8eV, 10,6eV e 11,7eV

codice	descrizione
ISU/PTXSABME-0000	PhoCheck Tiger Alkaline Battery
ISU/PTXSABME-0001	PhoCheck Tiger Alkaline Battery -H&S
ISU/PTXSABME-0002	PhoCheck Tiger Alkaline Battery -PPB
ISU/PTXSABME-0003	PhoCheck Tiger Alkaline Battery -H&S / PPB
ISU/PTXSABME-0004	PhoCheck Tiger Alkaline Battery -Data Logging
ISU/PTXSABME-0005	PhoCheck Tiger Alkaline Battery -H&S / Data Logging
ISU/PTXSABME-0006	PhoCheck Tiger Alkaline Battery -PPB / Data Logging
ISU/PTXSABME-0007	PhoCheck Tiger Alkaline Battery -H&S / PPB / Data Logging
ISU/PTXSLBME-0000	PhoCheck Tiger Li-ion Battery
ISU/PTXSLBME-0001	PhoCheck Tiger Li-ion Battery -H&S
ISU/PTXSLBME-0002	PhoCheck Tiger Li-ion Battery -PPB
ISU/PTXSLBME-0003	PhoCheck Tiger Li-ion Battery -H&S / PPB
ISU/PTXSLBME-0004	PhoCheck Tiger Li-ion Battery -Data Logging
ISU/PTXSLBME-0005	PhoCheck Tiger Li-ion Battery -H&S / Data Logging
ISU/PTXSLBME-0006	PhoCheck Tiger Li-ion Battery -PPB / Data Logging
ISU/PTXSLBME-0007	PhoCheck Tiger Li-ion Battery -H&S / PPB / Data Logging

## **RINGRAZIAMENTI**

Un ringraziamento va rivolto alla mia famiglia per avermi sempre sostenuto durante questo periodo universitario, in particolare mia mamma e mio padre per avermi dato la possibilità di svolgere questa esperienza a Padova.

Un ringraziamento speciale va a Marisa, che grazie ai suoi consigli e alla sua positività mi ha permesso di superare i momenti difficili e che mi è stata sempre accanto durante questo percorso.

Ringrazio il Prof. A. Proto e il Prof. G. Bombino che hanno contribuito alla mia formazione nel precedente percorso di studio, fornendomi preziosi insegnamenti per proseguire al meglio questo cammino.

Vorrei ringraziare gli amici di sempre, in particolare Angelo, Ornella, Cristina che anche se lontani fisicamente mi hanno fatto sempre sentire la loro vicinanza e fiducia.

Infine ringrazio tutti gli amici conosciuti a Padova e Legnaro per aver reso unica questa mia permanenza in Veneto.