



UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE

FACOLTÀ DI INGEGNERIA

CORSO DI LAUREA TRIENNALE IN INGEGNERIA CIVILE ED AMBIENTALE

TEST DI EFFICIENZA SU DISPOSITIVI DEPURANTI PER AMBIENTI
INTERNI

DEVICES FOR IAQ IMPROVEMENT:
STUDING OF THE FILTARTION EFFICIENTY

Relatore:

Dott.ssa Maria Letizia Ruello

Tesi di laurea di:

Martina Pittori

ANNO ACCADEMICO 2021-2022

Indice

Introduzione

Capitolo 1 : La qualità dell'aria

Capitolo 2: Le tipologie di filtrazione

Capitolo 3: La prova

- 3.1: Il dispositivo Faber
- 3.2: Filtri
- 3.3: Strumenti utilizzati
- 3.4: Inquinanti analizzati e risultati

Capitolo 4: Conclusioni

Introduzione

Dal 2020 ad oggi, la popolazione mondiale sta combattendo la pandemia da Covid-19, una battaglia che ci ha reso consapevoli di quanto la salute e la qualità dell'aria siano fattori strettamente legati.

Oggi più che mai, quindi, la qualità dell'aria interna (IAQ – Indoor Air Quality) degli spazi in cui viviamo va controllata e analizzata, con l'obiettivo di ridurre al minimo l'inquinamento interno.

Eppure, l'inquinamento indoor è un problema in che continua a diffondersi e ad aumentare; infatti, le fonti di inquinamento ormai fanno parte della nostra quotidianità.

L'inquinamento negli ambienti interni, quindi confinati, risulta essere fino a cinque volte più inquinata rispetto a quella esterna, nonostante si possa pensare al contrario.

Con questo progetto andiamo ad analizzare e a studiare un ambiente confinato, utilizzando un dispositivo depuratore in fase di progettazione e diverse fonti di inquinanti, osservando come la qualità cambi in funzione delle diverse configurazioni utilizzate.

Capitolo 1

La qualità dell'aria

Per qualità dell'aria interna o indoor (Indoor Air Quality-IAQ), intendiamo una caratteristica relativa agli ambienti confinati, come:

- abitazioni
- uffici pubblici e privati
- strutture comunitarie
- ambienti destinati ad attività ricreative e sociali mezzi di trasporto pubblici e/o privati

L'unica eccezione riguarda gli ambienti di tipo industriale, che pur essendo ambienti "chiusi", non rientrano nella definizione di ambienti indoor, in quanto la qualità dell'aria dipende dal tipo di attività produttiva di cui si occupa.

L'OMS (Organizzazione Mondiale della Sanità) con un documento chiamato "The Right to Healthy Indoor Air", nel 2000, ha indicato la qualità dell'aria interna come un diritto umano fondamentale, riconoscendo lo stretto legame tra salute e qualità dell'aria.

Nel 2003, invece, la Commissione Europea, con la Strategia Ambiente e Salute ha posto come obiettivi prioritari la riduzione di allergie, asma e problemi respiratori, dovuti all'inquinamento indoor.

Studiando e analizzando la vita dei cittadini e gli ambienti in cui trascorrono più tempo, è stato osservato che gli ambienti indoor sono i più frequentati.

Gli ambienti indoor sono molto più inquinanti rispetto a quelli esterni anche per questo, oltre al fatto che, essendo confinati, non è possibile avere un continuo ricambio dell'aria.

Gli indoor possono arrivare ad essere anche cinque volte più inquinati rispetto gli esterni.

La strategia utilizzata per avere una migliore qualità dell'aria possibile è quella di ridurre al minimo l'inquinante rilasciato in ambiente.

Il problema è che le fonti di inquinanti sono di molteplici tipo, possono essere rilasciati sia dagli ambienti interni che esterni, con più o meno concentrazioni.

Per questo il controllo delle fonti di inquinanti e delle sue concentrazioni, non è un fattore facile da controllare e soprattutto non è l'unico fattore che influisce sulla qualità dell'aria.

Man mano sono state studiate e realizzate vere e proprie tecnologie che permettono la riduzione di concentrazioni di inquinanti.

Le più utilizzate sono i sistemi filtranti.

Il **Ministero della Salute** ha definito l'inquinamento indoor come: *“la modificazione della normale composizione o stato fisico dell'aria atmosferica interna, dovuta alla presenza nella stessa di una o più sostanze in quantità e con caratteristiche tali da alterare le normali condizioni ambientali e di salubrità dell'aria stessa e tali da costituire un pericolo ovvero un pregiudizio diretto o indiretto per la salute dell'uomo.”*

L'**inquinamento indoor, quindi**, è caratterizzato da una variazione rispetto all'aria atmosferica, dovuta alla presenza degli inquinanti.

Gli inquinanti possono essere:

1. Chimici;
2. Fisici;
3. Biologici.

Le principali sostanze chimiche che troviamo negli ambienti interni sono:

- Monossido di carbonio
- Fumo di tabacco
- Composti organici volatili (COV)
- Amianto
- Fumo di legna
- Fibre di lana sintetiche (lana di roccia e lana di vetro)
- Antiparassitari (usati per zanzare ed altri insetti)
- Ossidi di zolfo e di azoto
- Ozono (emesso da alcuni tipi di stampanti laser e fotocopiatrici)
- Idrocarburi policiclici aromatici (IPA)

Molti inquinanti derivano anche da fonti interne e spesso fanno parte della nostra vita quotidiana e possono essere:

- Prodotti utilizzati per la pulizia;

- Impianti (condizionatori, umidificatori, impianti idraulici);
- Materiali per la costruzione, vernici, colle, arredi;
- Fibre minerali;
- Tutti i processi di combustione e le attività metaboliche di piante ed esseri umani presenti in un ambiente.

È importante prestare attenzione al ricambio d'aria degli ambienti interni, anche attraverso impianti di ventilazione, per evitare di un accumulo di concentrazioni di inquinanti, superando la soglia limite.

Inoltre, è stato valutato, come la qualità dell'aria sia anche legata al lavoro, in quanto una cattiva qualità dell'aria influenza negativamente la performance dei lavoratori.

Infatti, una cattiva qualità dell'aria porta a:

- Diminuzione delle capacità cognitive;
- Maggiori tempi di “non lavoro”;
- Maggiori assenze per malattia.

Di conseguenza una cattiva qualità dell'aria porta a un calo delle prestazioni di un'azienda anche in termini di fatturato.

I responsabili della sicurezza di un ambiente lavorativo devono studiare e mettere in programma l'esecuzione periodica di un'analisi della qualità dell'aria indoor, per preservare la salute dei lavoratori e garantire le giuste condizioni di lavoro.

La migliore strategia per avere una migliore qualità dell'aria possibile è quella di prevenire il più possibile l'inquinamento.

Nel 2009, l'OMS ha pubblicato le “Linee Guida per la Qualità dell'aria indoor”, che tramite degli indicatori, fornisce delle pratiche indicazioni per garantire la qualità dell'aria e il controllo degli inquinanti.

Poi man mano con nuovi studi e analisi, sono state emanate nuove norme tecniche e nuove indicazioni che fornivano parametri sempre più aggiornati, per avere sempre più controllo sulla qualità dell'aria e sui possibili danni che può provocare.

Col tempo inoltre sono state studiate delle vere e proprie tecnologie che fanno a lavorare meccanicamente sull'aria.

Vediamo nel dettaglio quali sono:

1. Ventilazione

La **ventilazione meccanica controllata (VMC)** è la soluzione più utilizzata poiché è la più immediata ed efficace per rimuovere gli inquinanti dell'aria interna, in quanto è la tipologia che garantisce maggiori prestazioni in termini di qualità dell'aria ottenuta

Sostanzialmente, i VMC purifica l'aria interna con i filtri e immettono l'aria dall'esterno.

La norma tecnica di riferimento è la UNI 10339 e impone come parametri che gli impianti di trattamento dell'aria debbano assicurare:

- Immissione di aria esterna pari a determinati valori minimi, considerati sempre in funzione all'ambiente di destinazione;
- Limiti di movimentazione dell'aria e velocità e tale da mantenere adeguate caratteristiche termiche ed igrometriche dell'aria;
- Filtrazione minima dell'aria.

È fondamentale, inoltre, collocare la prese d'aria esterna lontano da zone ad elevato tasso di inquinamento, per evitare l'ingresso degli inquinanti presenti nell'atmosfera.

Garantire che le prese d'aria siano sempre ad un'altezza maggiore di 4 m dal piano stradale più elevato di accesso all'edificio.

2. Umidità relativa

Una buona Indoor Air Quality è legata anche alle condizioni termiche dell'ambiente.

Un'umidità eccessivamente alta influisce anche sulla temperatura effettiva, esasperando tutti i danni ed i malesseri fisici dovuti al caldo.

Allo stesso modo, in un ambiente secco dove il livello di umidità eccessivamente basso, possiamo avere disturbi alle mucose e agli occhi.

L'umidità relativa ideale è un valore costante compreso tra il 30% e il 70%.

Il valore ottimale corrisponde a quello tra il 50% e il 60%, sia in estate che in inverno.

3. Temperatura

Per la temperatura è lo stesso discorso dell'umidità.

Le temperature eccessivamente alte o eccessivamente basse incidono sul comportamento igrometrico.

Se non si ha un giusto ambiente termico, le persone avranno minori prestazioni e minori confort fisici.

È stato visto che la temperatura ideale è tra i 19-22°C in inverno e tra i 24-26°C in estate.

4. Concentrazione di inquinanti

Tra gli inquinanti indoor che vanno a condizionare maggiormente la qualità dell'aria ci sono principalmente:

- Anidride carbonica (CO₂), prodotta soprattutto dalle attività umane;
- Monossido di Carbonio (CO);
- Composti organici volatili (VOC), che comprendono radon, particolato

5. Filtrazione

La norma di riferimento è sempre la UNI 10339, la stessa della ventilazione.

Infatti, sia l'aria proveniente dall'esterno che l'aria di ricircolo devono essere sempre filtrate con filtri di classe adeguata all'efficienza degli impianti, ovvero filtri di categoria:

- M (media efficienza);
- A (alta efficienza);
- AS (altissima efficienza).

Indipendentemente dalla classe, ogni filtro deve sempre essere preceduto da un filtro aggiuntivo avente efficienza compresa della categoria precedente.

È fondamentale per garantire l'efficienza del filtro, pulirli periodicamente o, all'occorrenza, sostituirli.

Questo è il parametro che andremo ad utilizzare e ad approfondire con la prova in esame.

Capitolo 2

Le tipologie di filtrazione

I filtri o depuratori d'aria si basano su dei materiali ad adsorbimento e assorbimento fisico per rimuovere contaminanti gassosi dai flussi d'aria su materiali porosi solidi.

Il meccanismo con il quale funzionano sono le forze di Van der Waals (attrazione nucleare).

Questo è un processo reversibile in quanto gas, una volta adsorbiti, possono successivamente desorbirsi nel flusso d'aria.

L'adsorbente più utilizzato è il carbone attivo, oppure l'allumina attivata (ossidi di alluminio), zeoliti naturali e sintetiche in forma granulare, ossidi di silicio setacci molecolari e vari polimeri.

Il chemisorbimento o assorbimento è caratterizzato, al contrario, da un adsorbimento irreversibile.

Ha infatti reazioni chimiche sulla superficie assorbente attivata con additivi o impregnati chimici specifici che vengono aggiunti durante la fabbricazione.

Gli assorbenti più comuni includono allumina attivata impregnata di permanganato di potassio o di sodio e carboni attivi impregnati con composti acidi o basici.

Il sistema di purificazione dell'aria che utilizzi il singolo mezzo di filtrazione dell'aria in fase gassosa non risulta quindi essere adeguato per il controllo degli inquinanti particellari (PM).

I materiali adsorbenti non assorbono tutti i contaminanti gassosi allo stesso modo, le loro prestazioni di adsorbimento per i composti organici non polari aumenta, aumentando il punto di ebollizione, il peso molecolare e la loro concentrazione in aria.

Composti polari come formaldeide, metano o etanolo non sono facilmente assorbiti a basse concentrazioni. I sistemi filtranti che usano adsorbenti possono rimuovere una vasta gamma di contaminanti gassosi con un'efficienza

moderata ed elevata anche in relazione al tempo di contatto che non deve essere inferiore al decimo di secondo.

Sebbene esistano materiali chemisorbenti che possono essere addirittura rigenerati spesso questi risultano essere troppo costosi e poco utilizzabili nei sistemi commerciali HVAC e nei depuratori d'aria portatili e quindi devono essere sostituiti spesso e smaltiti in maniera corretta.

Studi hanno dimostrato una valutazione significativamente migliorata dell'accettabilità e della soddisfazione in merito alla qualità dell'aria da parte di persone non adattate in relazione all'intensità degli odori percepita. La percezione della qualità dell'aria in merito al comfort comunque non deve essere considerata come un risultato di salubrità ambientale.

I filtri per l'aria sono classificati in funzione alla loro caratteristica di trattenimento e separazione delle particelle e/o polveri presenti nell'aria che li attraversa.

Essi possono trattenere e separare particolati di piccolissime dimensioni e particolati di grandi dimensioni, ma nessun filtro dell'aria anche nella sua massima "performance" (filtri ULPA) & in grado di separare e trattenere inquinanti in fase gassosa o molecolare.

Infatti, tutti i filtri vengono chiamati a trattenere unicamente sostanze inquinanti di natura particolata, ovverosia sostanze che abbiano una massa, anche se di piccolissime dimensioni, che si può presentare sia in forma solida che liquida. I filtri a più bassa efficienza di separazione sono utilizzati generalmente per trattenere particola di grandi dimensioni (2 di 10-20 μm), I filtri a media e alta efficienza vengono utilizzati per separate particolati con dimensioni prossimi al micron (0,4 μm UNI EN 779 e UNI 11254), mentre i filtri ad altissima efficienza e assoluti (EPA, HEPA e ULPA) sono utilizzati per la separazione di particola con dimensione frazionaria del micron denominati MPPS, particelle che hanno un alto indice 6 penetrazione.

La tecnologia di costruzione, l'utilizzo e la durata variano a seconda delle prestazioni di efficienza volute e richieste dall'impiego specifico. Per quanto riguarda i filtri costituiti da un materassino fibroso, la regola generale è che l'efficienza di filtrazione è inversamente proporzionale al diametro delle fibre stesse e direttamente proporzionale alla loro densità e in relazione alla tipologia e modalità di costruzione del filtro stesso.

Tutte le tipologie di filtro sfruttano i medesimi e fondamentali principi, che sono:

- principio inerziale,
- principio di setaccio,
- principio di intercettazione
- principio di diffusione
- effetto elettrostatico

Non tutti i sistemi filtranti utilizzano gli stessi principi in modi e tempi uguali, infatti alcuni sfruttando solo un determinato principio massimizzandolo, altri la combinazione di alcuni di essi, altri ancora la totalità degli stessi contemporaneamente.

Tali principi vengono sfruttati a seconda della tipologia, della concentrazione, della dimensione della particella da trattenere.

Filtri che utilizzano il principio inerziale e di setaccio vengono utilizzati su particolati di grandi dimensioni, per sfruttarne la loro energia cinetica e la loro massa.

Filtri a media e alta efficienza utilizzano in massima parte i principi rispettivamente di intercettazione e diffusione, i filtri ad altissima efficienza la totalità di questi principi.

Capitolo 3

La prova

La prova ha come protagonista il dispositivo di depurazione Faber.



Lo scopo della prova è quello di valutare il funzionamento del dispositivo in aria interna, in relazione all'inquinante analizzato.

L'ambiente domestico è stato simulato da una camera di prova di 150 m³ (2.5x2x3 m), provvista di n° 2 ventilatori per garantire la corretta omogeneizzazione delle condizioni all'interno della camera.

Ad ogni misurazione la stanza è stata isolata, per quanto possibile, con l'applicazione di un nastro adesivo.

Lo scopo della prova è quello di analizzare il funzionamento del dispositivo utilizzando inquinanti di natura particellare e/o COV.

COV	Mek	Incenso
PARTICELLARE	Soluzione salina	Incenso

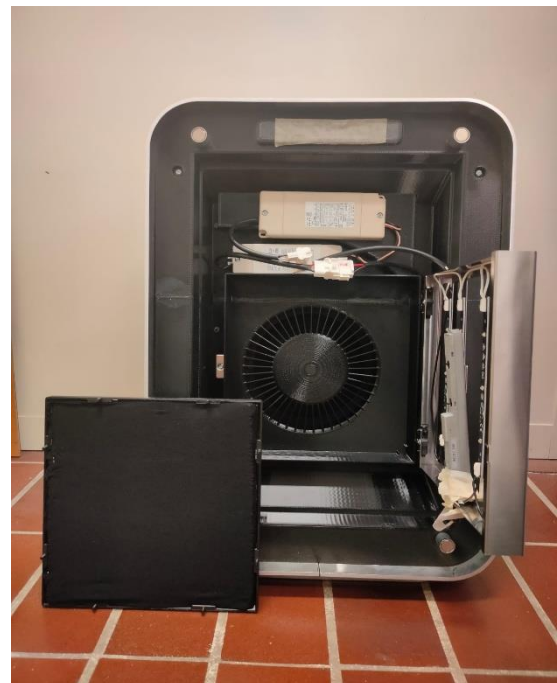
Vedremo, infatti, che l'incenso è riconoscibile in entrambi le forme

3.1 Strumenti della prova:

- **Dispositivo di purificazione Faber**



Dispositivo di purificazione Faber



Contiene al suo interno un filtro al carbone.



Il filtro al carbone sarà inserito aprendo lo sportellino metallico.





Successivamente inseriremo il filtro Hepa H13



Verrà applicata una griglia in metallo che sarà fissata superiormente tramite un gancio



Infine, sarà applicato lo strato superiore tramite
Delle calamite alle estremità



Il dispositivo è provvisto di una tastiera comando con il quale
accendere, spegnere o regolare la velocità

- **3.2 Filtri**

Come già detto che il parametro che andremo ad analizzare nella prova è la filtrazione.

Nel corso delle varie misurazioni abbiamo utilizzato:

Filtro	Tipologia
Filtro Hepa	H13
Carbone 1 (C1)	Nanosorb
Carbone 2 (C2)	Nanosorb
Carbone 3 (C3)	MHGS

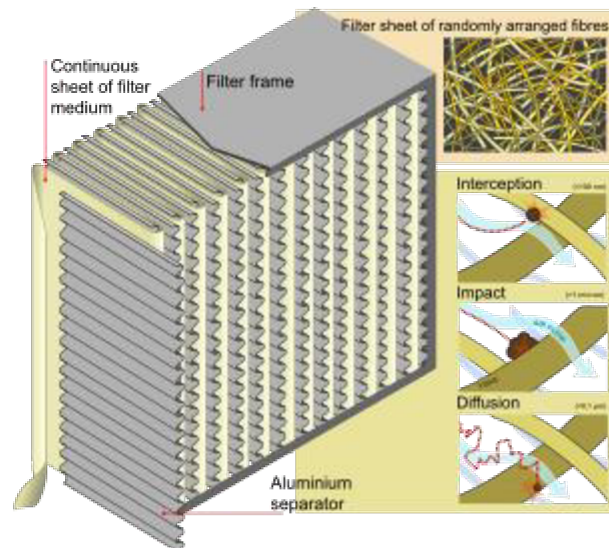
Filtro Hepa

Il filtro Hepa è stato utilizzato in tutte le prove.



È composto da foglietti filtranti di microfibre (generalmente in borosilicato^[1]) assemblati in più strati, separati da setti in alluminio. I foglietti filtranti in microfibra hanno il compito di bloccare le particelle solide inquinanti (o

particolato) presenti nella corrente fluida da trattare. Le particelle solide possono essere infatti nocive per la salute oppure possono pregiudicare la qualità del prodotto finale che si desidera ottenere.



Con il termine **filtro HEPA** (dall'inglese High Efficiency Particulate Air filter) si indica un particolare sistema di filtrazione ad elevata efficienza di fluidi (liquidi o gas).

Nel nostro caso abbiamo un filtro Hepa H13, cioè un filtro ad altissima efficienza.

I filtri HEPA H13 fanno parte della categoria dei cosiddetti "filtri assoluti", a cui appartengono anche i filtri ULPA (*Ultra Low Penetration Air*). Il termine "filtro assoluto" è giustificato dal fatto che i filtri HEPA e ULPA hanno una elevata efficienza di filtrazione. In particolare, nel nostro caso abbiamo un'efficienza tra l'85 % e il 99 %.

In generale vengono classificati in base all'efficienza di filtrazione delle particelle di $0,3 \mu\text{m}$, in accordo alle norme UNI EN 1822. Sono infatti raggruppati in 5 classi (da H10 ad H14) con caratteristiche prestazionali crescenti.

Sono collaudati con il metodo della dispersione di un aerosol di dioctilftalato (DOP test): l'efficienza calcolata è $>$ del 99,999 % con particelle con diametro $0,3 \mu\text{m}$ (penetrazione 0,001%)

- **Filtri al Carbone**

Nella prova sono stati utilizzati in totale tre filtri al carbone.

Il primo filtro ad esser stato utilizzato è il filtro “nanosorb” che per comodità chiameremo Carbone 1.

Durante le prove il primo filtro si è “sporcat”, per questo è stato sostituito con un altro filtro della stessa tipologia che chiameremo Carbone 2.

Infine, nell’ultima prova (che vedremo essere quella in cui è stato analizzato il Mek), abbiamo utilizzato una nuova tipologia di filtro “MHGS”, che chiameremo carbone 3.

I filtri sono utilizzati condizionati, cioè scaldati in stufa a 60°C (overnight).



A destra filtro “nanosorb”, che chiameremo C2

A sinistra filtro “MHGS”, che chiameremo C3

SINTEC SRL
 P.ZA SILVABELLA 12 - 27036 MORTARA (PV) ITALY
 TEL. +39 0384 91732 - CELL. +39 338 8369488

Air filter media

SA104TC633



TECHNICAL DATA (PRELIMINARY DATA SHEET)

Specified value

Maximal size

Thickness

Area weight

Adsorber content

Pressure loss
 @ 0,35 m/s
 @ 0,73 m/s
 @ 1,0 m/s

Value	Unit	
1800 x 850	mm	
10 +/- 1	mm	
2650 +/- 250	g/m ²	
> 75	%	
< 15	Pa	
< 40	Pa	
< 60	Pa	

Test method

DIN EN ISO 5084

DIN EN 12127

ISO 11155/1, 20 mm

Typical values

Adsorption data
 @ 80 ppmv Toluene
 @ 0,73 m/s
 Initial efficiency
 Time 90% efficiency
 Time 50% efficiency

Value	Unit	
99	%	
2,7	h	
3,6	h	

Test method

ISO 11155/2, 40 mm

Complementary values

Flammability
 Edge
 Area
 Vertical
 Outgassing
 Operating temperature

Value	Unit	
K1	Class	
F1	Class	
V-0	Class	
very low	Class	
-40 to +100	°C	

Test method

DIN 53438/2, 20 mm
 DIN 53438/3, 20 mm
 UL94 V, 20 mm
 IEST WG 31

More information can be provided upon request.



Via G. Brodolini, 75 60044 FABRIANO (AN) ITALY
Tel. – Fax +39 0732 4871 P.I. 01441160429
<http://www.serfsrl.it> e-mail : info@serfsrl.it

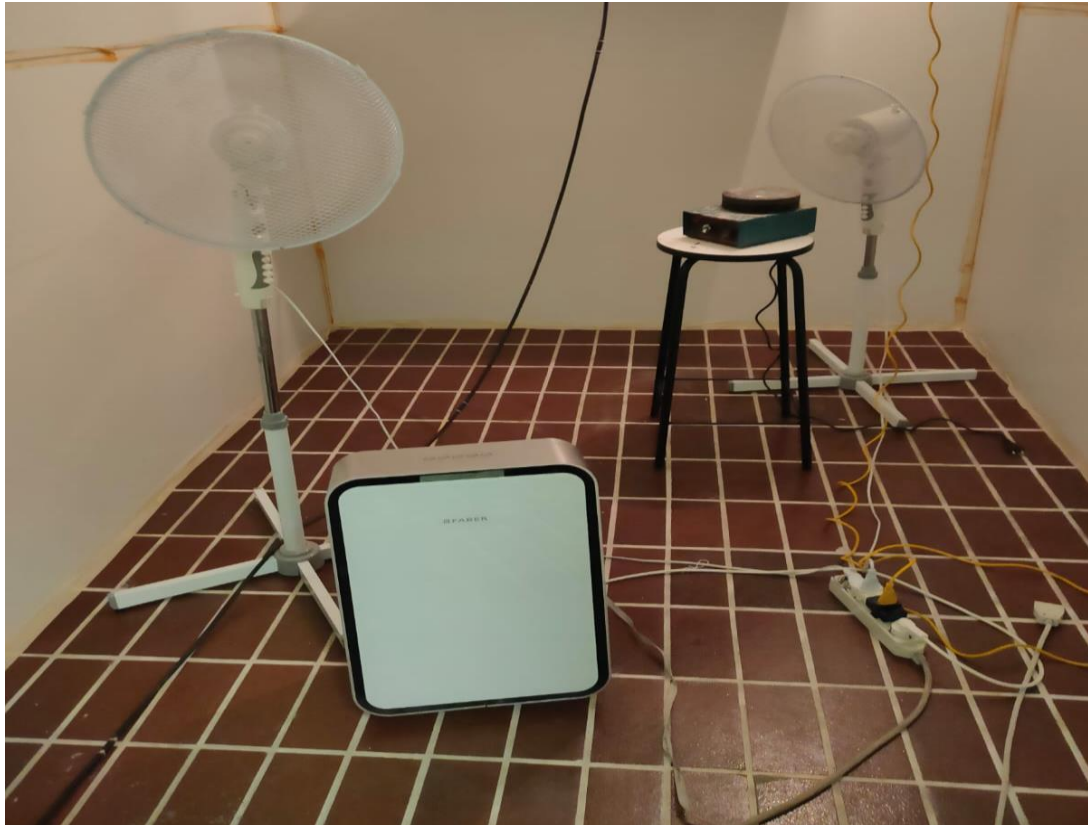
TECHNICAL DATA SHEET

POLYURETHANE FOAM WITH GRANULAR ACTIVATED CARBON	
COMPOSITION	Reticulated polyurethane foam coated with granular activated carbon
USE	Cooker hoods
WEIGHT PER UNIT AREA (g/m ²)	2200+/- 300
CONTENT OF ACTIVATED CARBON (g/m ²)	1400+/-200
THICKNESS (mm)	10+/- 0,5
ADSORPTION OF IODINE	900 mg/g (test method: GB/T12496-1999)
ADSORPTION OF BENZENE	30% (percentage of weight)
FLAMMABILITY (DIN 53438-PART 3)	F1

- **3.3 Strumenti utilizzati:**

- **Ventilatori**

Come già specificato, la camera di prova di 150 m³, è provvista di due ventilatori in modo da garantire la corretta distribuzione e omogenizzazione dell'inquinante.



Agitatore magnetico per favorire la vaporizzazione del mek per le prove di rimozione dei voc

- **PID**

Come già detto, nello studio dell'efficienza del dispositivo, abbiamo utilizzato due approcci: uno che si basa su inquinanti particolati e uno che si basa su COV. In funzione del tipo di inquinante che utilizziamo saremo costretti a utilizzare due diversi tipi di misurazione.

Nel caso del COV utilizzeremo il PID:

Un rivelatore a fotoionizzazione, comunemente indicato con l'acronimo PID.



Dall'inglese photoionization detector, il PID è un tipo di rivelatore usato in gascromatografia. L'intervallo di concentrazione nel quale viene impiegato questo rivelatore va da meno di 1 ppb a 10000 ppm.

In un rivelatore a fotoionizzazione, fotoni con energia opportuna, tipicamente ultravioletti, ionizzano positivamente le molecole eluite.

La corrente elettrica prodotta da questa ionizzazione viene amplificata e misurata. Nel rivelatore a fotoionizzazione le molecole che fluiscono dalla colonna gas-cromatografica vengono ionizzate da una radiazione ultravioletta proveniente da una lampada a idrogeno di 10,2 eV o ad argon di 11,7 eV. Tale sorgente ionizza le specie che hanno un potenziale di ionizzazione al di sotto dell'energia specifica della lampada. I composti con un potenziale superiore non assorbono la radiazione e perciò non vengono rivelati. Gli ioni e gli elettroni prodotti per fotoionizzazione vengono quindi raccolti da un paio di elettrodi polarizzati. Il rivelatore è più sensibile nei confronti degli idrocarburi e degli organosolfuri aromatici o verso i composti organofosforici, tutti facilmente fotoionizzati. L'intervallo lineare arriva a 6 ordini di grandezza.

- **GRIMM**

Nel caso di inquinanti particellari utilizzeremo il GRIMM:



GRIMM è un dispositivo in grado di rilevare la quantità di particelle di una determinata dimensione, tramite la spettrografia.

È un analizzatore di particolato laser, misura contemporaneamente concentrazioni di PM10, PM2,5, PM4, PM1 e *31 classi granulometriche di particolato*.

Ha un filtro di deposizione del Particolato da 47 mm, funzionamento a rete o batteria, memorizzazioni programmabili. I dati possono essere visualizzati con il software in dotazione o in file excel.

3.4 Inquinanti analizzati

- Incenso:** gli incensi bruciati nel nostro caso, in realtà possono rivelarsi potenti fonti di inquinamento indoor, con livelli di benzene, PM10 e particelle ultrafini ben al di sopra della soglia fissata dai regolamenti europei. I risultati, pubblicati recentemente negli Annali dell'ISS, hanno mostrato concentrazioni di benzene che toccano addirittura i 200 microgrammi per metro cubo, laddove il valore medio annuale non dovrebbe superare i 5 microgrammi. E questo pur tenendo conto del breve periodo di attività dell'incenso. Per il PM10 si sono riscontrati valori di 342 microgrammi per metro cubo, mentre il valore medio prima dell'accensione era 6 microgrammi. Infine, durante la combustione di incenso sono state rilevate in media 173 700 particelle ultrafini per centimetro cubo, quando la media pre-accensione si attesta sulle 18 500 particelle per centimetro cubo.

	Prova 1		Prova 2	
Filtri utilizzati	1.Filtro Hepa 2.Filtro al carbone 1 (nanosorb)		1.Filtro Hepa 2.Filtro al carbone2 (nanosorb)	
Configurazioni	Uv + bipolare, con il nuovo filtro di carbonio	Velocità alta	Uv + bipolare, con il nuovo filtro di carbonio	Velocità alta
		Velocità bassa		Velocità bassa
	Uv + bipolare senza alcun filtro di carbonio	Velocità alta	Uv + bipolare senza alcun filtro di carbonio	Velocità alta
		Velocità bassa		Velocità bassa
	solo filtro di carbonio	Velocità alta	solo filtro di carbonio	Velocità alta
		Velocità bassa		Velocità bassa

Procedimento:

1. Preparazione della camera di prova: abbiamo inserito il filtro al carbone nel dispositivo (condizionato prima nella stufa in 60°C, overnight). Un bastoncino di incenso è stato acceso e lasciato in una stanza di prova chiusa per essere completamente bruciato.
2. Misurazione "blank" (o bianco): abbiamo misurato la concentrazione con il PID senza accendere il dispositivo filtrante
3. Misurazione uv + bipolare con filtro al carbone: alta velocità e bassa velocità
4. Misurazione uv + bipolare senza filtro al carbone: alta velocità e bassa velocità
5. Misurazione con solo filtro al carbone: alta velocità e bassa velocità
6. I dati raccolti non mostrano particolari rendimenti, perciò abbiamo ripetuto il procedimento utilizzando un nuovo filtro al carbone.

Prima di ogni misurazione è stato reinserito l'inquinante, ogni volta nelle stesse concentrazioni e condizioni.

Ogni misurazione è stata ripetuta almeno una volta per controprova di verifica.

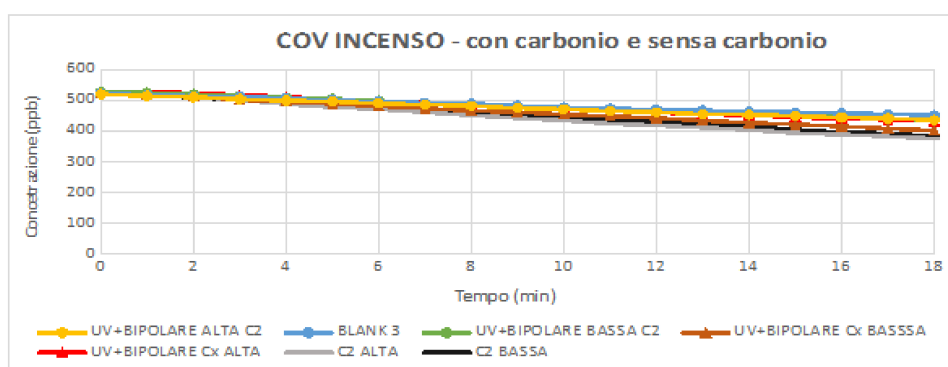
Tutti i dati raccolti sono stati riportati su un grafico studiando le differenze tra le varie configurazioni.

Legenda:

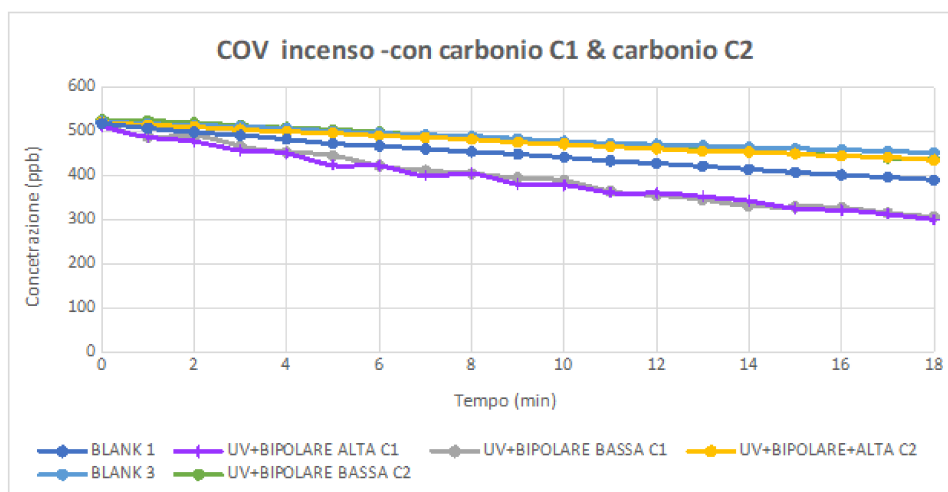
C1 - filtro di carbone attivo 1 (vecchio)

C2 - filtro di carbone attivo 2, condizionato prima nella stufa in 60°C, overnight

Cx - senza filtro di carbone attivo



Confronto uv + bipolare con il nuovo filtro di carbonio (C2) e uv + bipolare senza alcun filtro di carbonio (Cx) e solo nuovo filtro di carbone C2, a velocita bassa e alta



Confronto UV + bipolare con il nuovo filtro di carbonio (C2) e UV + bipolare con il vecchio filtro di carbonio (C1), a velocita bassa e alta.

Come si può notare dai due grafici, la rimozione di COV generati con combustione di incenso non mostra efficienze apprezzabili, non si osservano correlazioni né con la velocità di filtrazione né con la qualità del filtro in carbone

attivo, per questo le analisi effettuate tramite l'incenso sono state interrotte, poiché non particolarmente significative.

- **Soluzione salina:** il secondo inquinante analizzato è stata la soluzione salina (NaCl).

Filtri utilizzati	1.Filtro Hepa 2.Filtro al carbone 2 (nanosorb)	
Configurazioni	uv+bipolare,	Velocità alta
		Velocità bassa
	uv	Velocità alta
		Velocità bassa
	bipolare	Velocità alta
		Velocità bassa

L'idrolisi salina fa parte degli inquinanti particellari.

Le elaborazioni dei dati si basano sui particolati di dimensioni PM2 e PM10.

Procedimento:

1. Produzione particolato: generatore ad ultrasuoni, particolato salino (NaCl)
2. Blank test: generazione di particolato che si interrompe una volta raggiunto il valore di 1800-1600 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, a quel punto si interrompe la generazione e si monitora il decadimento naturale
3. Misurazione uv + bipolare: alta velocità e bassa velocità
4. Misurazione uv : alta velocità e bassa velocità
5. Misurazione bipolare: alta velocità e bassa velocità

Prima di ogni misurazione è stato reinserito l'inquinante, ogni volta nelle stesse concentrazioni e condizioni.

Ogni misurazione è stata ripetuta almeno una volta per controprova di verifica.

Il dispositivo Faber viene acceso dopo circa 5 minuti dalla generazione dell'inquinante, per garantire l'omogenizzazione delle condizioni ambientali della camera di prova.

L'efficienza di rimozione è calcolata come la differenza tra la concentrazione rilevata (PM2 o PM10) al momento dell'accensione del sistema filtrante (t_0) e dopo 15 minuti dal suo funzionamento. Al dato ottenuto è stato sottratto il decadimento naturale delle concentrazioni di particolato.

Risultati:

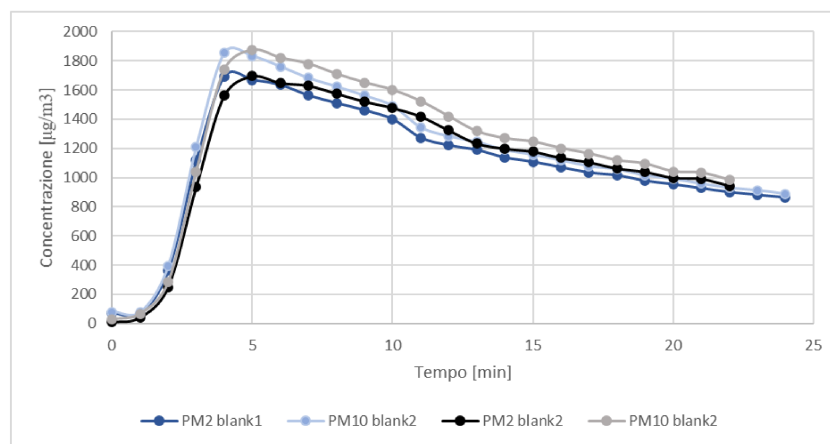


Fig1: replica bianco

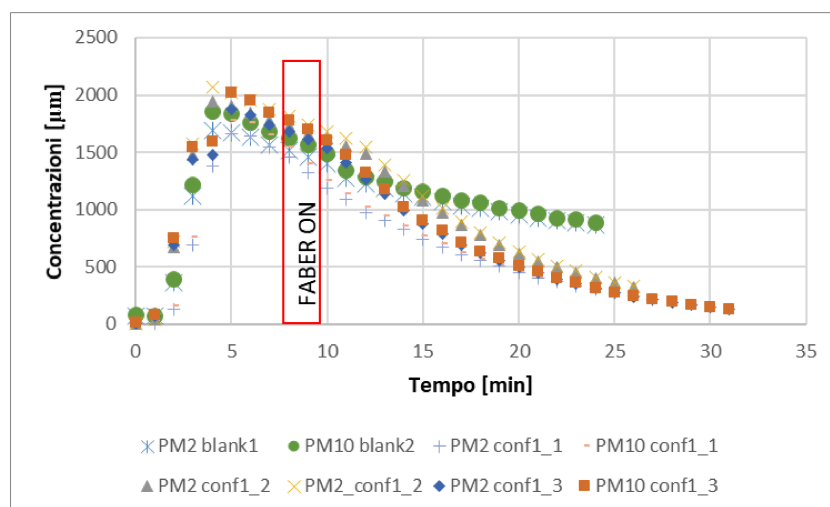


Fig 2: esempio e replica di test con configurazione 1 (bipolare + UV, vel bassa)

Dalle fig1 e fig2 si nota come i dati siano ripetibili sia per la prova blank sia quando FABER è acceso.

Dalla figura 2 si ricavano anche i diversi tempi di durata del test. Significativi per l'elaborazione risultano però i 15 minuti in cui FABER è acceso.

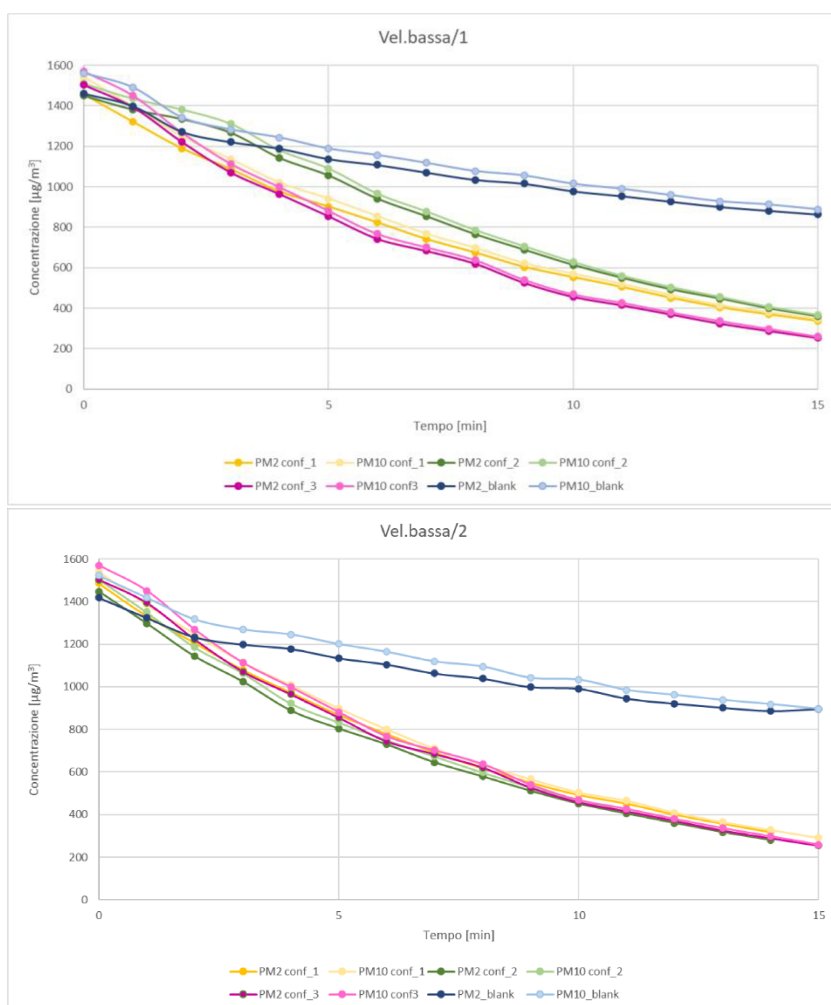


Figura 3: conf1 (BIPOLARE+UV), conf2 (UV) e conf3 (BIPOLARE) + blank a confronto, velocità bassa, 2 repliche

Dal grafico di confronto a velocità basse (fig3) risulta che, per quanto riguarda l'efficienza di rimozione di PM2 e PM10, non risultino essere influenti le diverse configurazioni adottate.

Più influente invece la velocità adottata (fig 4). Il sistema è stato testato 2 volte ed entrambi i risultati confermano la tesi

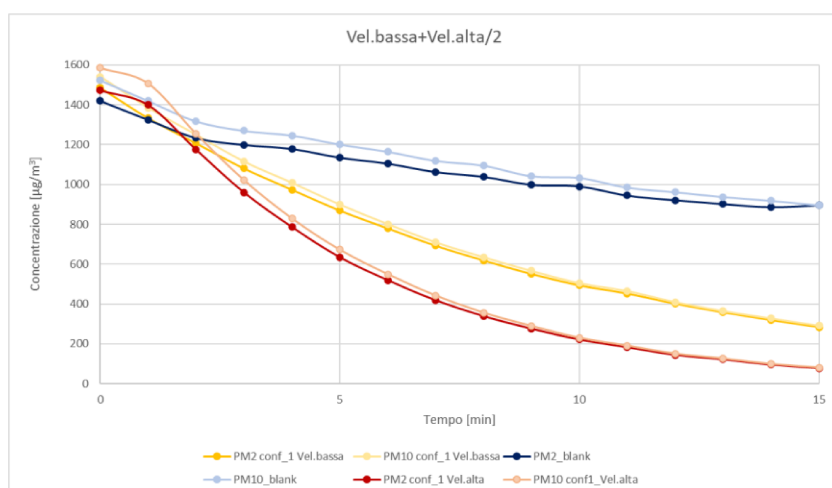
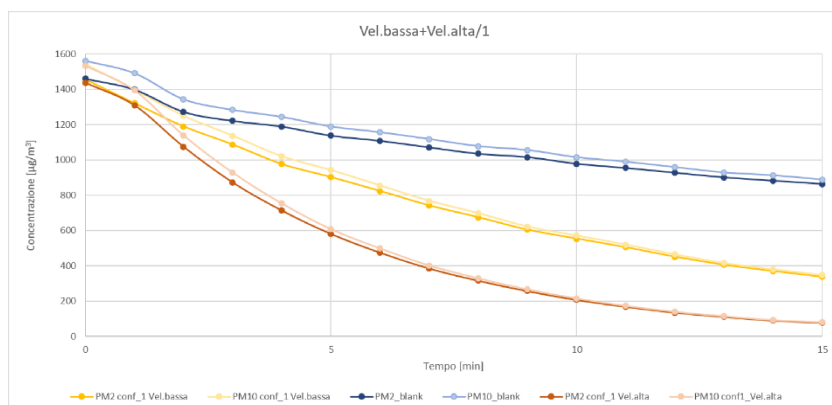


fig4 conf1 (BIPOLARE+UV), confronto velocità bassa e alta. 2 repliche

In conclusione, è possibile mediare i diversi risultati e calcolare le efficienze.

Percentuali di rimozione dopo 15 minuti:

	Bipolare+UV		UV		Bipolare	
	Vel.bassa	Vel.alta	Vel.bassa	Vel.alta	Vel.bassa	Vel.alta
PM2/TEST	39%	54%	41%		43%	
PM10/TETST	36%	51%	37%		40%	

- **Mek:** infine abbiamo analizzato il mek, Il metiletilchetone è noto anche come butanone e viene commercializzato con la sigla MEK che indica 2 butanone, etil metil chetone e metil acetone. In natura si trova nel succo di mela, nel pollo, in alcuni formaggi, nel miele e nei fagioli. Gli utilizzi del metiletilchetone sono: come solvente nella produzione di materie plastiche, prodotti tessili, paraffina, prodotti per la casa, sverniciatori e come agente di pulizia. Come solvente è indispensabile per officine, per riparazione di battelli pneumatici in PVC e per la pulizia pre-riparazione come agente di saldatura plastica infatti è spesso considerato un adesivo oppure come formatore di polimeri.

Come già detto il mek è stato analizzato con due filtri diversi, poiché si è visto che il filtro “nanosorb” non ha evidenziato miglioramenti della qualità dell’aria apprezzabili.

- **FILTRO CARBONE 2 (NANOSORB)**

Filtri utilizzati	1.Filtro Hepa 2.Filtro al carbone 2 (nanosorb)	
Configurazioni	Uv + bipolare,	Velocità alta
		Velocità bassa
	Solo filtro al carbone	Velocità alta
		Velocità bassa

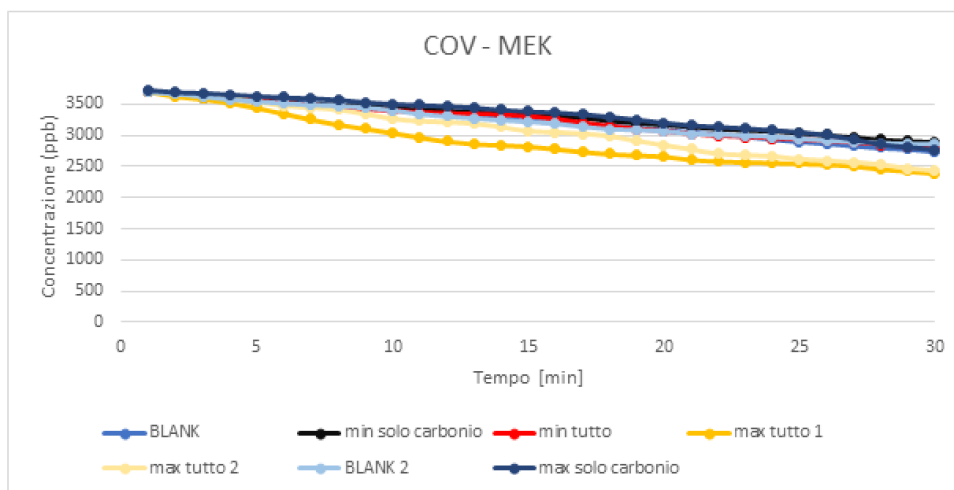
1. Preparazione della camera di prova: abbiamo inserito il nuovo filtro al carbone nel dispositivo (condizionato prima nella stufa in 60°C, overnight), Inserito l’inquinante usando una pipetta con 0,25ml di MEK e versati sul vetro dell'orologio. Il flusso d'aria dalla ventola è stato diretto direttamente al liquido per un'evaporazione più rapida

2. Blank test: generazione di particolato che si interrompe una volta raggiunto il valore di 1800-1600 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, a quel punto si interrompe la generazione e si monitora il decadimento naturale
3. Misurazione uv + bipolare: alta velocità e bassa velocità
4. Misurazione solo filtro al carbone

Ogni misurazione è stata eseguita nuovamente come controprova.

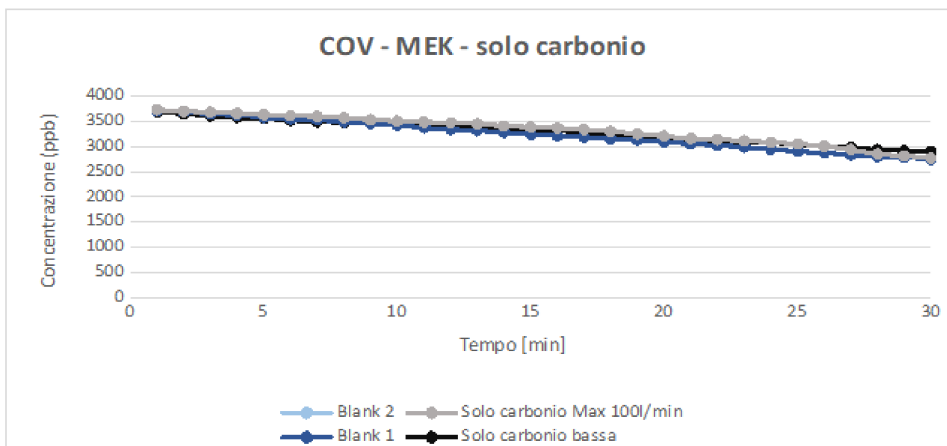
Legenda:

C3 - filtro di carbone attivo 2, condizionato prima nella stufa in 60°C, overnight



Confronto UV + bipolare con il filtro di carbonio C3 + solo filtro di carbonio, a velocità bassa e di **100l/min (MAX)**.

Questo test ha utilizzato la terza velocità massima (100 l/min), che in seguito si è rivelata non applicabile a noi e non dovremmo testarla. Tuttavia, in questo caso possiamo notare che l'intera quantità di MEK è stata rimossa.



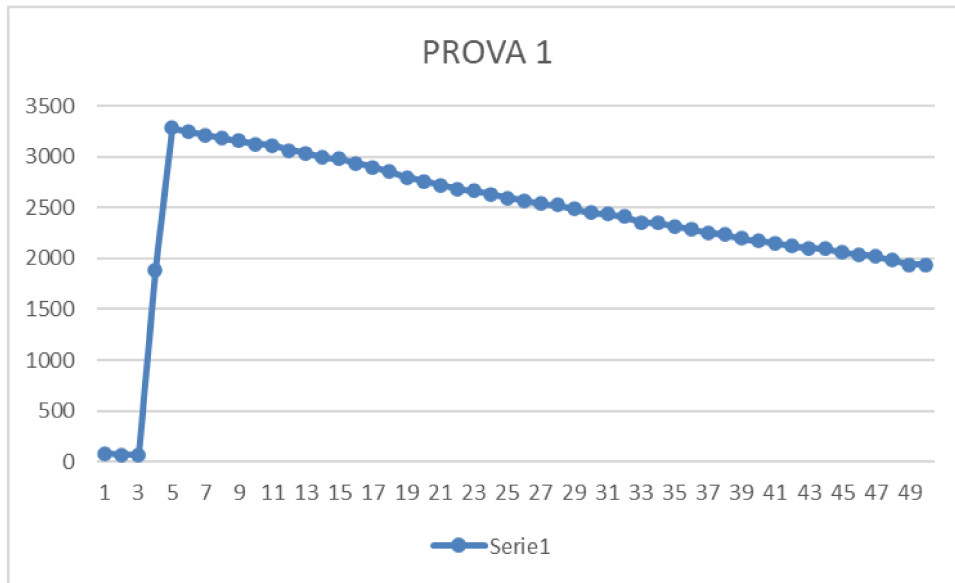
Confronto ~~UV + bipolare con il filtro di carbonio C2blank~~ e solo filtro di carbonio, a velocità bassa e di **100l/min (MAX)**.

La rimozione di COV generati con vaporizzazione di MEK non mostra efficienze apprezzabili e ripetibili, non si osservano correlazioni né con la velocità di filtrazione né con la qualità del filtro in carbone attivo.

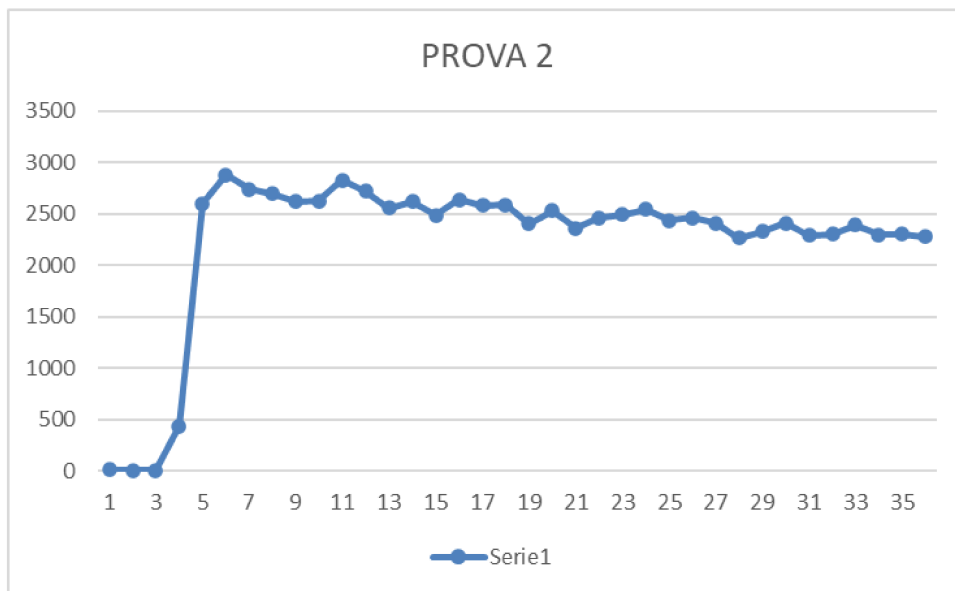
- **FILTRO CARBONE 3 (MHGS)**

Filtri utilizzati	1. Filtro Hepa 2. Filtro al carbone 3 (MHGS)	
Configurazioni	Solo filtro al carbone	Velocità alta
		Velocità bassa

1. Preparazione della camera di prova: abbiamo inserito il nuovo filtro al carbone nel dispositivo (condizionato prima nella stufa in 60°C, overnight), Inserito l'inquinante usando una pipetta con 0,25ml di MEK e versati sul vetro dell'orologio. Il flusso d'aria dalla ventola è stato diretto direttamente al liquido per un'evaporazione più rapida
2. Prima misurazione blank, cioè misuriamo la concentrazione di inquinante senza accendere il dispositivo

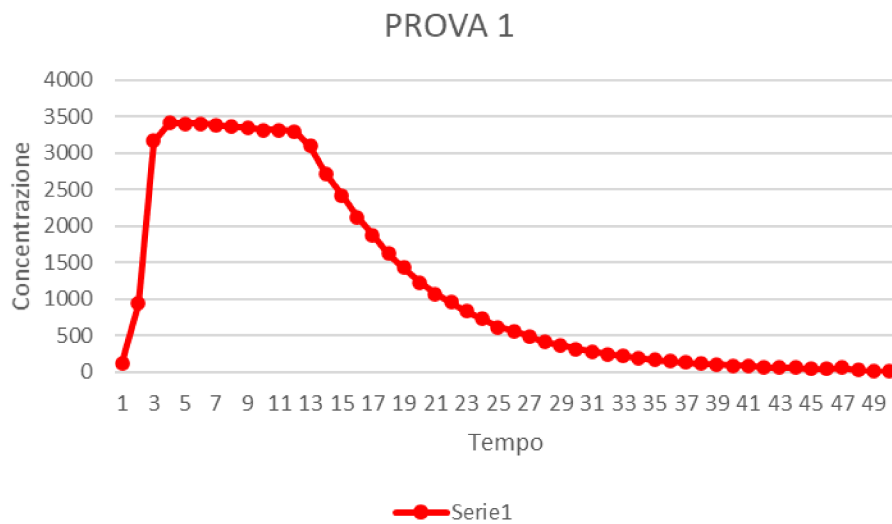


3. Seconda misurazione blank di controprova

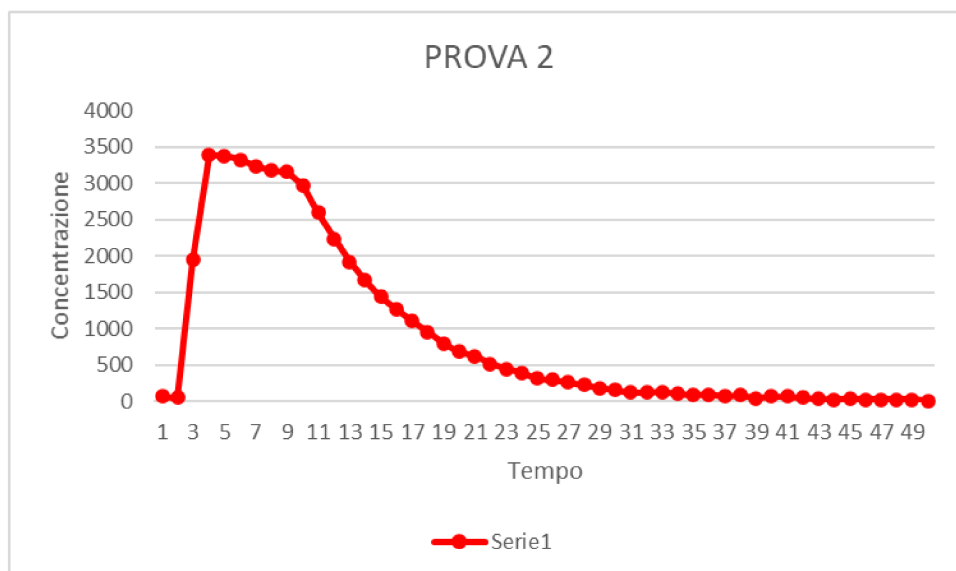


4. Prima misurazione con dispositivo accesso a velocità massima: una volta reinserito l'inquinante, si accende il dispositivo nel punto in cui il PID

misura la concentrazione massima, in genere intorno ai 3200 ppm che corrispondo a 20 minuti circa, fino ad una concentrazione minima (in genere 40/45 minuti)

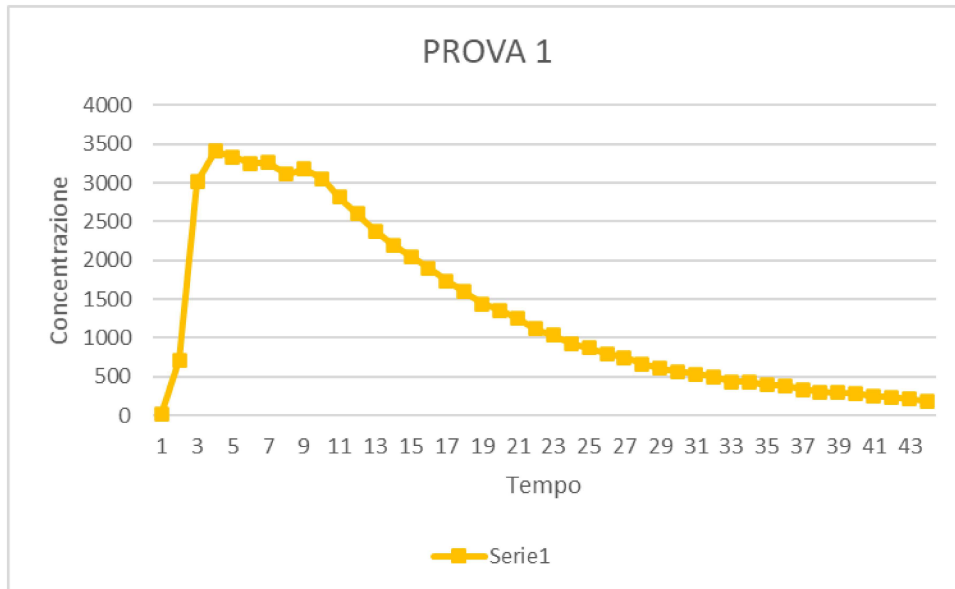


5. Seconda misurazione con dispositivo acceso a velocità massima, di controprova

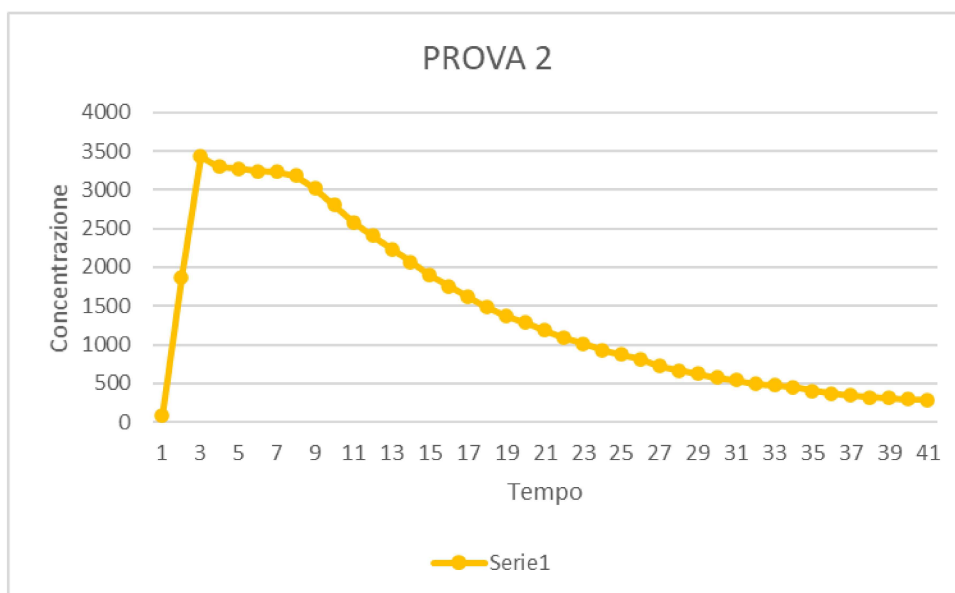


6. Prima misurazione con dispositivo acceso a velocità minima: una volta reinserito l'inquinante, si accende il dispositivo nel punto in cui il PID

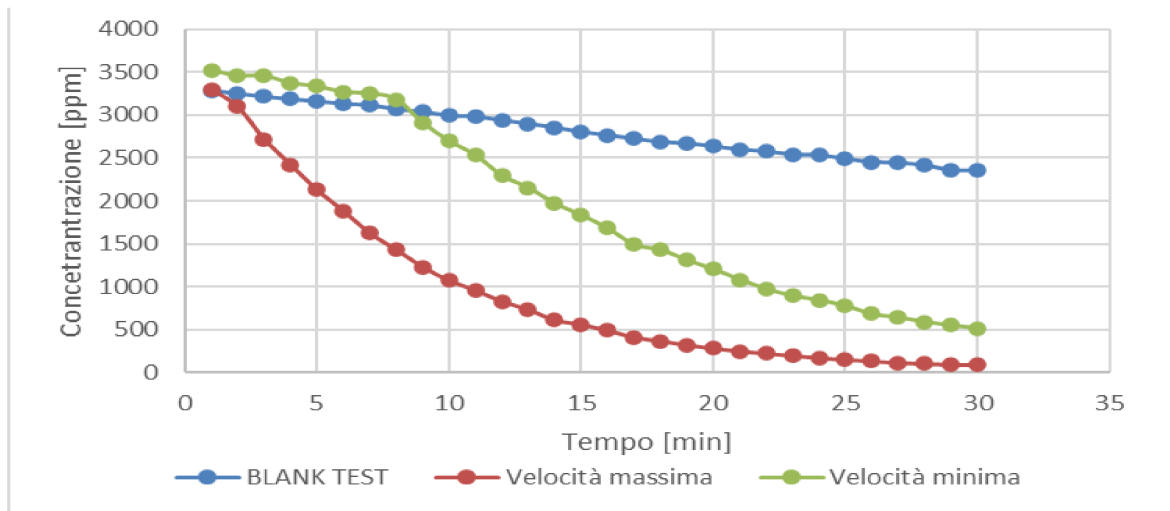
misura la concentrazione massima, in genere intorno ai 3200 ppm che corrispondo a 20 minuti circa, fino ad una concentrazione minima (in genere 40/45 minuti)



7. Seconda misurazione con dispositivo acceso a velocità minima di controprova



8. Facendo la media di tutte le misurazioni per ogni tipo di situazione analizzata, è stato sviluppato un unico grafico che evidenzia il cambiamento di concentrazione di COV in relazione alla velocità di assorbimento del dispositivo



9. Percentuali di rimozione:

	Blank	Vel.alta	Vel.bassa
% Rimozione	29%	98%	92%

Capitolo 4: Conclusioni

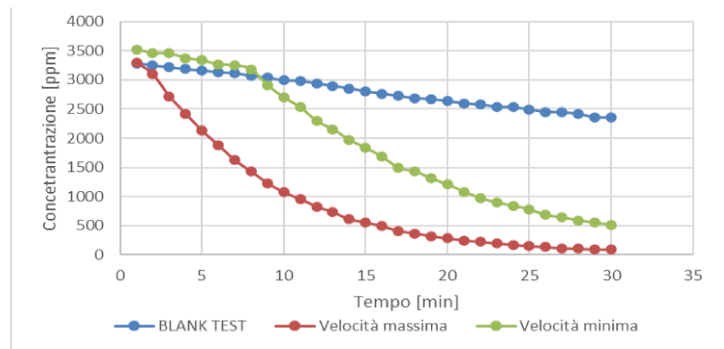
Inquinante	Generazione	Risultati ottenuti
Incenso (carbone 1, "nanosorb")	COV	La prova non mostra efficienze apprezzabili pe quanto riguarda la rimozione COV. Non si osservano correlazioni né con la velocità di filtrazione né con la qualità del filtro in carbone attivo.
Incenso (carbone 1, "nanosorb")	Particellare	La prova non mostra dati utilizzabili e affidabili
Soluzione salina (carbone 2, "nanosorb")	Particellare	L'efficienza di rimozione di PM2 e PM10, non risulta influenzata dalle diverse configurazioni adottate. L'unico parametro influente è invece la velocità adottata.
Volume noto di MEK (carbone 2, "nonosorb")	COV	La rimozione di COV non mostra efficienze apprezzabili e ripetibili, non si osservano correlazioni né con la velocità di filtrazione né con la qualità del filtro in carbone attivo.
Volume noto di MEK (carbone 3, "mhgs")	COV	La rimozione di COV mostra efficienze apprezzabili, in correlazione alla nuova tipologia di filtro al carbone attivo utilizzato. Notiamo inoltre, una maggiore efficienza di rimozione per velocità maggiori.

In conclusione, per quanto riguarda gli inquinanti di tipo particellare possiamo analizzare solo la prova fatta con la soluzione salina, nella quale notiamo efficienza di rimozione significativa dipendente prevalentemente dalla velocità.

Per quanto riguarda gli inquinanti di tipo COV, vediamo che la prova che mostra maggiori efficienze di rimozione è quella fatta con MEK e filtro al carbone attivo di tipo "mhgs".

Nello specifico, in questo caso, notiamo che la rimozione di COV, dipende non solo dal nuovo filtro al carbone attivo, ma anche dalla velocità imposta al

dispositivo, arrivando comunque in entrambi le configurazioni di velocità, ad alte percentuali di rimozione.



Bibliografia

<http://archspace.unicam.it:8080/xmlui/handle/1336/5990>

https://s7d9.scene7.com/is/content/minesafetyappliances/ALTAIR-5X-PID_White%20Paper_Technical%20Brief%20-%20IT

<http://greenpeople.labservice.it/web/fotoionizzatore-portatile-pid/>

<https://www.chimica-online.it/composti-organici/butanone.htm>

<https://www.arpa.vda.it/it/aria/la-qualit%C3%A0-dell-aria>

https://www.salute.gov.it/portale/temi/p2_6.jsp?id=4384&area=indor&menu=vuoto

<https://www.ingegneriaemissioni.it/classificazione-filtri-statici/>

<https://www.focus.it/scienza/salute/inquinamento-aria-covid>

<https://www.ingenio-web.it/26642-indoor-air-quality-covid-19-indicazioni-per-ridurre-il-rischio-da-contagio-nei-luoghi-del-lavoro-e-in-casa>

<https://www.airmonitoring.it/prodotto/grimm-1-109-pm10-pm2-5-e-pm1/>

<http://greenpeople.labservice.it/web/fotoionizzatore-portatile-pid/>