

Docenti e studenti a confronto su:

**LO STUDIO DELL' ARIA  
E DEI FENOMENI ATMOSFERICI**  
**Osservare e sperimentare nella scienza.**

Firenze, 19-20 aprile 2023

**SECONDO CLASSIFICATO**

SEZIONE TESINE BIENNIO

**ABBATTIMENTO DELL'INQUINAMENTO**

*Studenti*

Ballestri Francesco - Bonechi Francesco - Corsi Davide

Curcio Stefano - Soldi Guglielmo

Classi 2Fmc – 2Gce

*Istituto di Istruzione Superiore*

ISIS Valdarno

San Giovanni Valdarno (AR)

*Docente Coordinatore*

Granchi Simona

Gli studenti, nel progettare ed eseguire la simulazione del funzionamento di un filtro elettrostatico per l'abbattimento di polveri sottili, hanno mostrato capacità di valutazione dei parametri da considerare e delle loro reciproche influenze. Nell'allestimento del set up sperimentale hanno mostrato abilità operativa e capacità critica, traendo utili insegnamenti dai primi tentativi senza successo. L'esigenza di arrivare alla verifica quantitativa e l'elaborazione dei dati denota una piena consapevolezza dell'approccio sperimentale.

Lo studio dell'aria e dei fenomeni atmosferici  
Osservare e sperimentare nella scienza

Come possiamo pulire l'aria?

# Abbattimento dell' inquinamento!



# Indice

<b>1. INTRODUZIONE</b>	<b>3</b>
<b>2. PRINCIPI FISICI</b>	<b>3</b>
2.1. Le cariche elettriche	4
2.2. Elettrizzazione	4
2.3 La Forza di Coulomb e il Campo Elettrico	5
2.4 Il Potenziale elettrico e la differenza di potenziale	5
<b>3. IL FILTRO ELETTROSTATICO</b>	<b>6</b>
3.1. Caratteristiche tecniche e principio di funzionamento	6
3.2. Applicazioni in ambito industriale	8
<b>4. SPERIMENTAZIONE IN LABORATORIO</b>	<b>8</b>
4.1. Catena di misura	9
4.2. Caratteristiche degli strumenti utilizzati	11
4.3. Protocollo di misura	12
<b>5. ELABORAZIONE DATI</b>	<b>13</b>
5.1. Risultati	14
<b>6. CONCLUSIONI</b>	<b>17</b>
<b>7. BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA</b>	<b>18</b>

Siamo stati interessati a partecipare al progetto di ScienzaFirenze, per mettere in gioco le nostre abilità ampliando le conoscenze.

Inoltre visto l'occasione che ci è stata proposta l'abbiamo sfruttata per colmare le nostre curiosità nel campo dell'elettrostatica, essendo un argomento che affronteremo più avanti nel nostro percorso didattico.

## **1. Introduzione**

Lo scopo della nostra esperienza è quello di simulare il funzionamento di un filtro elettrostatico per l'abbattimento di particolato, come una possibile soluzione all'inquinamento atmosferico.

Prima abbiamo approfondito l'argomento cercando in rete possibili simulazioni poi avendo a disposizione uno strumento per la rilevazione del particolato  $PM_{10}$  e  $PM_{2.5}$  [1], realizzato da degli studenti del nostro Istituto negli anni precedenti abbiamo provato a simulare il funzionamento di un filtro elettrostatico, non solo qualitativamente, ma anche quantitativamente, cercando di valutare quali parametri potessero influenzare l'abbattimento della concentrazione del particolato.

Abbiamo realizzato una catena di misura, individuando un protocollo da seguire e determinando i parametri da variare per valutare la loro influenza sulla riduzione della concentrazione del particolato. Abbiamo infine cercato di individuare differenti sospensioni di particelle da analizzare e la nostra scelta è ricaduta su due soluzioni: la soluzione fisiologica con NaCl al 0,9% e semplice acqua del rubinetto da cui creare delle sospensioni attraverso l'apparecchio medico per l'aerosol e valutare i risultati.

## **2. Principi fisici**

### **2.1 Le cariche elettriche [2]**

L'elettrostatica è quella parte della fisica che studia i fenomeni legati all'interazione tra cariche statiche. La carica è una proprietà di alcuni corpi e può essere di soli due tipi: positiva o negativa.

Questa proprietà dei corpi è legata alla struttura microscopica della materia. Infatti gli atomi, sono costituiti da un nucleo formato da protoni (particelle con carica positiva) e neutroni a cui ruotano intorno, gli elettroni, particelle con carica negativa elementare. In natura gli atomi hanno carica nulla in quanto il numero di protoni e

elettroni è lo stesso, a meno che non si intervenga chimicamente o meccanicamente per trasferire una certa quantità di elettroni (le particelle mobili dell'atomo) da un atomo all'altro, trasformandolo in uno ione.

Quando un atomo acquista elettroni diventa uno ione negativo, viceversa, quando li perde diventa uno ione positivo.

Conseguentemente, quando un corpo ha un eccesso di elettroni si dice carico negativamente, quando è in difetto degli stessi, si dice carico positivamente. L'unità di misura della carica elettrica, nel Sistema Internazionale è il Coulomb (C).

L'elettrone ha carica elementare negativa ed è pari a  $e^- = 1,602176634 \times 10^{-19}$  C. La carica posseduta da un corpo carico è un multiplo intero della carica elementare.

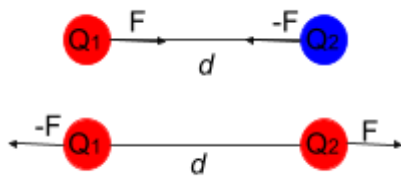
## 2.2. Elettrizzazione [2]

L'elettrizzazione è un fenomeno fisico nel quale avviene un passaggio di cariche per il quale un corpo diventa o carico positivamente o carico negativamente. Il fenomeno può essere di tre tipi:

- per *strofinio*, tra isolanti (materiali con bassa mobilità degli elettroni) e tra conduttori (materiali con alta mobilità degli elettroni) isolati, in cui una quantità di elettroni si trasferisce meccanicamente da un corpo all'altro, generando un corpo carico positivamente e uno negativamente.
- per *contatto*, tra un conduttore neutro isolato carico messo a contatto con un conduttore carico. Si generano due corpi carichi dello stesso tipo di carica.
- per *induzione elettrostatica*, tra un corpo carico che viene posto vicino ad un conduttore (neutro) isolato. In questo caso le cariche che si trovano su di esso si ridistribuiscono sicché le cariche di segno opposto a quelle del corpo carico sono da esso attratte, le altre allontanate; le sue cariche sono in totale nulle ma distribuite vicine e lontane dal corpo carico e se il conduttore si può dividere in due parti, è sufficiente separarle affinché risultino elettrizzate con cariche uguali e di segno opposto.

### 2.3 La Forza di Coulomb e il Campo Elettrico [2]

Tra le cariche elettriche si genera una forza, la Forza di Coulomb, che può essere



attrattiva, nel caso di cariche di diversa natura, o repulsiva se le cariche sono diverse e definita dalla seguente relazione:

$$F = k \frac{Q_1 Q_2}{d^2}$$

In uno spazio in cui sono presenti una o più cariche si crea un campo Elettrico (E), che ha una direzione, un verso e un modulo in ogni punto di tale spazio, definito dalla seguente relazione:

$$E = \frac{F}{q}$$

in cui F è la forza elettrica subita dalla carica campione  $q$ .

### 2.4 Il Potenziale elettrico e la differenza di potenziale [2]

Una carica in un campo elettrico, come nel campo gravitazionale, possiede una determinata energia Potenziale (U), legata alla posizione della carica nel campo elettrico. In ogni punto del campo è possibile anche definire il Potenziale elettrico (V) definito dalla rapporto tra l'energia potenziale e la carica campione posta nel punto del campo, come riportato nella seguente relazione:

$$V = \frac{U}{q}$$

Il Potenziale elettrico si misura in Volt (V).

Quando una carica all'interno di un campo elettrico è libera di muoversi sotto l'azione della forza elettrica, compie lavoro a spese della variazione di energia potenziale, in particolare se la carica è unitaria il lavoro compiuto dalle forze è uguale alla differenza di potenziale ( $\Delta V$ ) esistente tra i due punti:

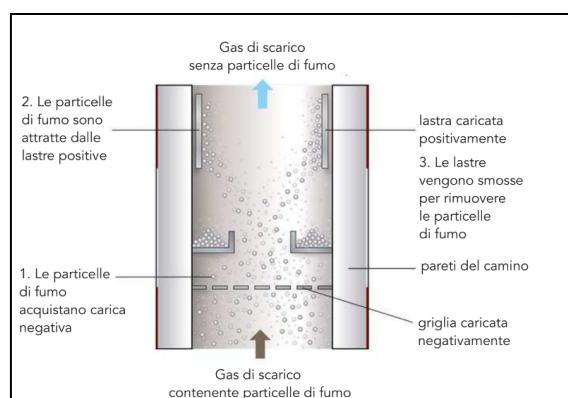
$$\Delta V = \frac{L}{q} = \frac{F \cdot d}{q} = E \cdot d$$

Dalla relazione, riportata sopra, è possibile capire che generando una differenza di potenziale si genera un definito campo elettrico. in cui le cariche sono soggette ad una definita forza elettrica in ogni suo punto.

### 3. Il filtro elettrostatico

#### 3.1 Caratteristiche tecniche e principio di funzionamento [2-3-4]

Il filtro elettrostatico, definito più semplicemente elettrofiltro, è una delle prime vere tecnologie relative alla filtrazione dell'aria apparse nell'età dell'industrializzazione moderna. La sua funzione è quella di abbattere le particelle presenti nei gas di scarico, originati da differenti sorgenti. I gas di scarico contengono spesso particelle di fumo, definite come particolato, pericolose per la salute umana.



**Fig.1.** Schema base di un filtro elettrostatico

Il funzionamento base del filtro consiste di tre passaggi fondamentali, visibili in Fig.1.:

- 1) Il gas viene fatto passare attraverso una griglia metallica caricata negativamente, che elettrizza le particelle di fumo in sospensione.
- 2) Le particelle elettrizzate vengono attratte verso delle lastre cariche positivamente liberando il gas dalle particelle dannose.
- 3) Attraverso vibrazioni periodiche sulle lastre, queste vengono liberate dalle polveri di particolato e smaltite.

Questa tecnologia, è stata impiegata fin da subito nelle operazioni di filtrazione delle polveri provenienti da processi industriali "critici", quali inceneritori, produzione del vetro, combustione in genere, cementifici ecc. Infatti, per queste applicazioni ad alte temperature (che possono anche superare i 250-350 °C) non era possibile effettuare una filtrazione utilizzando i filtri a tessuto e/o meccanici, e si rendeva quindi necessaria una soluzione nuova e alternativa [3-5].

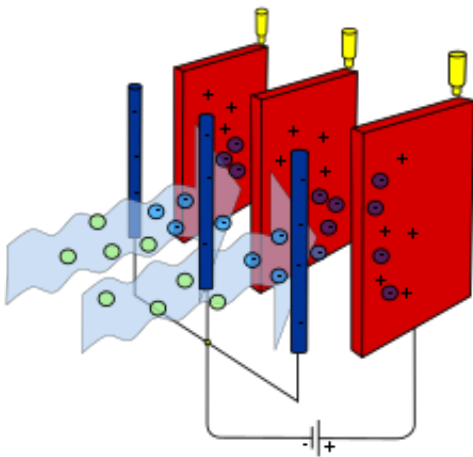
In ambito industriale i passaggi riportati sopra si sviluppano più dettagliatamente così: si caricano degli elettrodi ad alta tensione (fili metallici o punte seghettate),

questi elettrodi sono interposti tra piastre e/o tubi metallici messi a massa. La carica degli elettrodi in corrente continua può essere positiva o negativa e serve per creare un “vento ionizzante” tra ionizzatore e captatore. Gli ioni con carica elettrica investono le particelle caricandole con una carica (positiva o negativa) e creando quindi un differenziale di potenziale tra la particella e le piastre o tubi che sono a massa. Le particelle precipitano quindi sulla piastra/tubo metallico, che le capta.

Le tensioni sono in corrente continua e partono da 5.000 Volt per arrivare anche a 100.000 Volt, a seconda del campo di applicazione e della tipologia di elettrofiltro.

La filtrazione elettrostatica si effettua in due o tre stadi. Nel primo stadio si separano meccanicamente le particelle fino a 50  $\mu\text{m}$  in un prefiltro in alluminio.

Nel secondo stadio si caricano tutte le rimanenti particelle a 12.000V attraverso i fili in tungsteno della cella ionizzante; queste particelle verranno poi attratte dalle piastre a carica negativa della cella di raccolta. Se si utilizza anche il filtro a carboni attivi, si ha un terzo stadio filtrante, per gas ed odori.



L'aria così depurata lascia il filtro per tornare in ambiente. Nella sezione ionizzante l'aria passa attraverso elettrodi che caricano le particelle ed i microrganismi. Quando le particelle arrivano nella sezione di raccolta, vengono catturate dal campo elettrico generato dalle piastre parallele che le attirano sulla loro superficie (Fig. 2).

**Fig.2.** *Struttura di un filtro elettrostatico industriale*

Il filtro elettrostatico prodotto da Filtrotecnica Italiana è considerato il mezzo più sofisticato, attualmente disponibile, per la captazione di particelle solide e liquide esistenti in un flusso d'aria. La captazione elettrostatica permette la separazione dall'aria di una qualsiasi particella, indipendentemente dalla sua dimensione. Infatti è possibile l'agglomerazione di particelle finissime con efficienze fino al 99% su polvere atmosferica secondo il metodo EN 779 [5]. L'impiego dei filtri elettrostatici



permette quindi di ottenere aria completamente esente da polvere, fumo, spore, batteri, polline.

### **3.2 Applicazione in ambito industriale [5-6]**

In ambito industriale si distinguono due tipologie di filtro elettrostatico a seconda del campo di utilizzo. La prima è rappresentata da dispositivi modulari pre assemblati, impiegati per l'abbattimento dei fumi di saldatura, delle nebbie d'olio, del particolato ambientale, dei fumi prodotti dalla lavorazione e trattamento termico dei metalli (forgiatura, stampaggio, tempra) e da lavorazione di materie plastiche (taglio, macinatura).

La seconda tipologia è utilizzata per trattare flussi gassosi consistenti come quelli che derivano dalle lavorazioni industriali, dagli impianti estrattivi e di trattamento dei minerali, dalle centrali per la produzione di energia elettrica e di lavorazione di prodotti petroliferi trovano inoltre impiego in impianti di demolizione e riciclaggio.

Il particolato atmosferico è un insieme di particelle, solide e liquide, con una grande varietà di caratteristiche fisiche, chimiche, geometriche e morfologiche [1]. Le sorgenti possono essere di tipo naturale (erosione del suolo, spray marino, vulcani, incendi boschivi, dispersione di pollini, etc.) o antropogenico (industrie, riscaldamento, traffico veicolare e processi di combustione in generale). Può essere di tipo primario se immesso in atmosfera direttamente dalla sorgente o secondario se si forma successivamente, in seguito a trasformazioni chimico-fisiche di altre sostanze. Si tratta, dunque, di un inquinante molto diverso da tutti gli altri, presentandosi non come una specifica entità chimica ma come una miscela di particelle dalle più svariate proprietà. I maggiori componenti del particolato atmosferico sono il solfato, il nitrato, l'ammoniaca, il cloruro di sodio, il carbonio, le polveri minerali e si stima che in alcuni contesti urbani più del 50% sia di origine secondaria [7].

### **4. Sperimentazione in laboratorio**

L'obiettivo della sperimentazione è stato quello di costruire una catena di misura semplice per simulare il funzionamento del filtro elettrostatico.

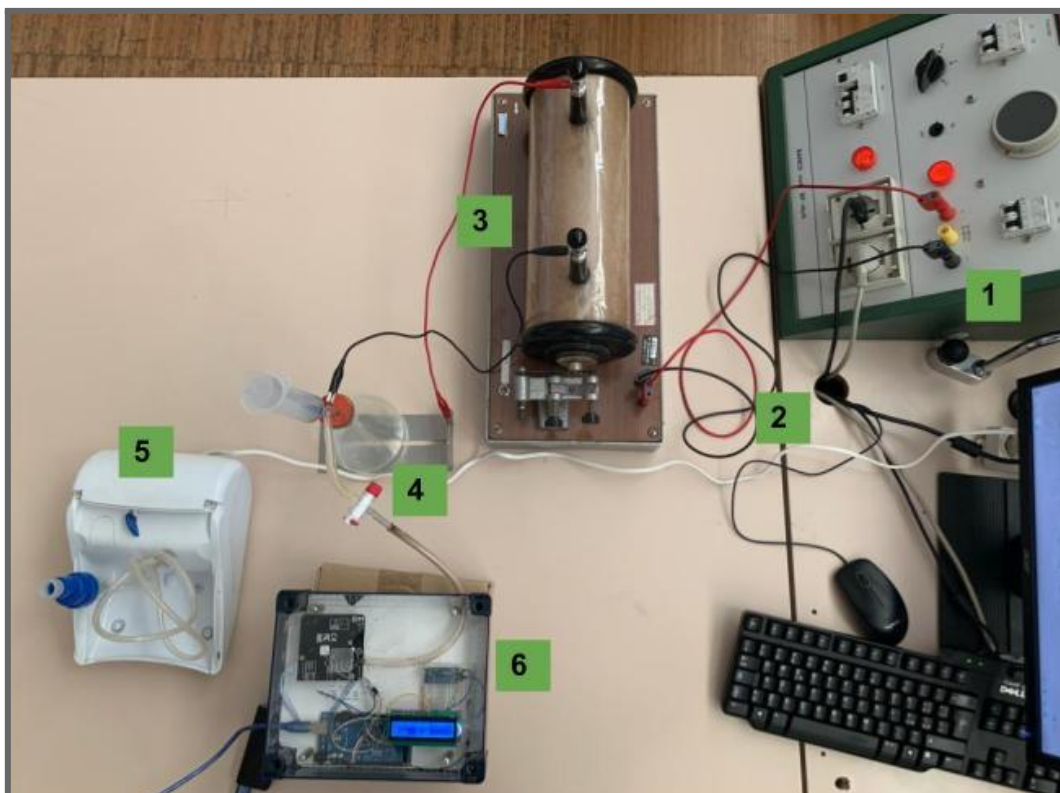
Facendo una preliminare indagine in Internet abbiamo individuato alcuni video [8-9] a cui ci siamo ispirati per la realizzazione. In tutti i casi visti, però, l'indagine era di

tipo qualitativo. Abbiamo invece cercato di fare una verifica quantitativa, visto che in laboratorio disponiamo di un misuratore di particolato  $PM_{10}$  e  $PM_{2.5}$ . Inoltre abbiamo deciso di non usare il fumo di sigaretta come simulatore di particolato, come avevamo visto nei video guardati, per cui abbiamo dovuto trovare un'altra soluzione. La nostra scelta è stata quella di usare un'apparecchiatura medica per aerosol, in grado di generare particelle in sospensioni con dimensioni vicine a quelle del particolato  $PM_{2.5}$ .

Abbiamo usato due liquidi: soluzione fisiologica e acqua di rubinetto.

#### 4.1 Catena di misura

Per simulare il funzionamento del filtro elettrostatico abbiamo realizzato la catena di misura riportata in Fig.3.



**Fig. 3:** Catena di misura realizzata per la simulazione del funzionamento del filtro elettrostatico. 1. Alimentatore, 2. fili elettrici in rame, 3. Rocchetto di Ruhmkorff, 4. beuta (filtro elettrostatico). 5. apparecchio per aerosol. 6. Misuratore di particolato.

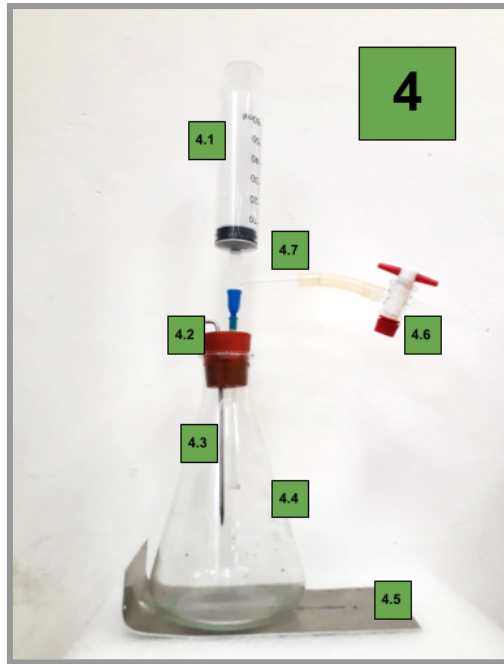





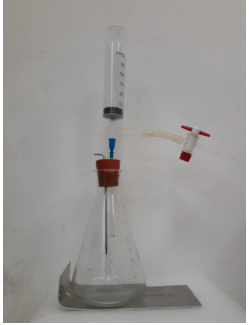
Fig.4. Realizzazione della struttura per simulare un filtro elettrostatico

Per simulare il filtro è stata utilizzata una beuta di vetro (Fig.4-4.4) nella quale abbiamo inserito un tappo di gomma siliconica (connettore) (Fig.4-4.2) opportunamente forata per inserirci:

- Un tubo di vetro piegato a 90° per collegare l'interno della beuta al rilevatore di particelle (Fig.4-4.7).
- Una siringa per aumentare la pressione e favorire il flusso del contenuto della beuta verso il sensore rileva particolato (Fig.4-4.1).
- Una bacchetta appuntita di metallo (Fig.4-4.3) che insieme alla piastra di metallo sotto la beuta (Fig.4-4.5) simulano gli elettrodi a cui applicare l'elevata differenza di potenziale generata dal rocchetto di Ruhmkorff.
- un rubinetto per consentire l'uscita del flusso d'aria dalla beuta al rilevatore di particelle (Fig.4-4.6).

La differenza di potenziale è generata attraverso una particolare macchina elettrostatica: il rocchetto di Ruhmkorff (Fig.3.3), alimentato da un generatore di C.A. da banco (Fig.3.1). Il secondario del rocchetto Ruhmkorff è collegato mediante cavetti a coccodrillo ai due elettrodi (bacchetta di metallo e piastra) (Fig.3.2).

## 4.2 Caratteristiche degli strumenti utilizzati

Apparecchi, materiali e strumenti	Immagini	Descrizione	Utilizzo
Alimentatore		<p>ALIMENTATORE DA BANCO  disponibile nel laboratorio di Fisica con tensione variabile (sensibilità: 0,1V portata: 60V) (sensibilità: 0,01A)</p>	<p>L'alimentatore è stato utilizzato per alimentare il rocchetto di Ruhmkorff.</p>
Rocchetto di Ruhmkorff		<p>E' realizzato con due bobine coassiali tra loro e con un nucleo di fili di ferro dolce isolati tra loro e che costituiscono il circuito primario e secondario, .Il funzionamento del rocchetto si basa sul principio di induzione. Ogni volta che si chiude e si apre il circuito primario la corrente pulsante su di esso induce nel secondario una forte differenza di potenziale che provoca, tra le estremità dello spinterometro, scariche elettriche di elevata intensità e di breve durata.</p>	<p>il rocchetto è stato utilizzato per creare una differenza di potenziale in tra gli elettrodi della beuta.</p>
Rilevatore di particelle		<p>Misuratore della concentrazione di particelle, PM<sub>2,5</sub> e PM<sub>10</sub>.</p>	<p>Abbiamo utilizzato il rilevatore di particelle per misurare la concentrazione di particelle PM<sub>2,5</sub> e PM<sub>10</sub> all'interno della beuta prima e dopo la scarica.</p>
Beuta con elettrodi e connettore		<p>Per creare il connettore, abbiamo adattato un tappo di silicone con il diametro della bocca della beuta, lo abbiamo forato per inserire l'elettrodo, una siringa e un tubo di vetro a 90° per collegare il misuratore di particolato. Sotto la beuta abbiamo posto una piastra come secondo elettrodo.</p>	<p>è stata simulata la struttura semplificata di un filtro elettrostatico.</p>

<p><b>Apparecchio per Aerosol</b></p>		<p>Apparecchio medico a pistone per la generazione di aerosol con particelle di diametro compreso tra 2 <math>\mu\text{m}</math> e 10 <math>\mu\text{m}</math>.</p>	<p>E' stato utilizzato per creare le nostre sospensioni di particelle in sospensioni.</p>
---------------------------------------	---	---	---

**Tab.1.** *Strumentazione e materiali utilizzati nella catena di misura*

### 4.3. Protocollo di misura

Le misure effettuate riguardano le sostanze da noi prese in esame: acqua potabile e la soluzione fisiologica sodio cloruro (NaCl) 0,9%. Questa scelta è scaturita dopo aver fallito un primo tentativo, dove la sostanza che avevamo deciso di prendere in esame, era il fumo prodotto dalla combustione di un pezzo di carta. In questa prima fase dell'esperimento abbiamo riscontrato la difficoltà di poter valutare l'abbattimento del particolato  $\text{PM}_{2,5}$   $\text{PM}_{10}$ , dopo l'intervento della scarica elettrostatica. I dati raccolti infatti erano fortemente influenzati dal fatto che la scelta di aumentare la pressione iniettando aria con la siringa, riattivava la combustione della carta rimasta sul fondo della beuta e quindi i dati raccolti in questa fase, prima e dopo l'abbattimento non si differenziavano.

Rilevata questa difficoltà nel gestire la misura del particolato prima e dopo l'intervento dell'abbattitore abbiamo deciso di scegliere altre sostanze per la produzione di particolato e abbiamo scelto di utilizzare un apparecchio medico per l'aerosol.

Per effettuare le misure abbiamo usato due protocolli diversi per entrambe le sostanze: il primo protocollo prevedeva di modificare come parametro il tempo di riempimento della beuta mantenendo costante il parametro della tensione di alimentazione del rocchetto .

Il secondo protocollo invece prevedeva di modificare la tensione di alimentazione mantenendo costante il tempo di abbattimento e del tempo di riempimento.

### *Protocollo 1*

Abbiamo riempito la beuta per il tempo prestabilito utilizzando l'apparecchio per l'aerosol contenente la sostanza oggetto di misurazione. Il diffusore dell'apparecchio è stato mantenuto in verticale costantemente, consentendo il riempimento di tutto il volume della beuta.

Raggiunto il tempo di riempimento ( $T_{rie}$ ) prestabilito abbiamo inserito il tappo sulla beuta ed aperto il rubinetto per effettuare la misurazione del particolato ( $PM_{2.5}$ ). Non abbiamo potuto misurare il  $PM_{10}$ , perché secondo le istruzioni dell'aerosol sarebbe rimasto nella bocchetta d'uscita. per agevolare il flusso del particolato verso l'apparecchio di misura abbiamo aumentato la pressione agendo sul pistone della siringa iniettando circa 30 ml di aria.

Osservando la misura sul display del rilevatore si è notato che la concentrazione di particolato aumentava fino ad un picco massimo e poi gradualmente diminuiva. La misura considerata è stato il valore massimo.

A questo punto dopo aver chiuso il rubinetto è iniziata la fase d'abbattimento.

La scelta di modificare il tempo di riempimento della beuta è scaturita dal fatto che è possibile mettere in relazione il quantitativo di sospensione prodotta dall'apparecchio con il tempo di accensione.

Il tempo d'abbattimento ( $T_{abb}$ ) è stato scelto come segue:

$$T_{abb} = \frac{T_{rie}}{2}$$

mentre la tensione è stata mantenuta costante. È stato acceso il rocchetto per il tempo e la tensione prestabiliti e successivamente è stata effettuata nuovamente la misura del particolato con gli stessi criteri utilizzati nella fase precedente. Le misure sono state ripetute tutte 2 volte e sono stati registrati i valori medi raccolti successivamente in una tabella realizzata su un foglio di calcolo.

### *Protocollo 2*

Nel secondo protocollo è stato realizzato seguendo la stessa procedura del primo ma mantenendo costante il tempo di riempimento e variando la tensione.

## 5. Elaborazione dati

I dati sono stati raccolti in tabelle suddivisi per le sostanze utilizzate e per i protocolli di misura eseguiti.

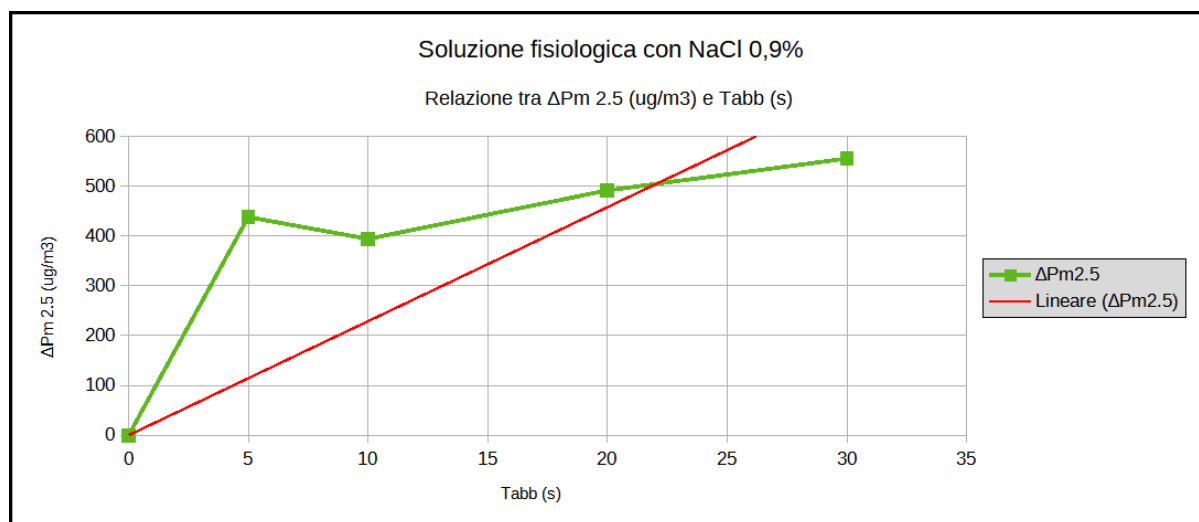
Per ogni sostanza le grandezze che abbiamo deciso di mettere in relazione sono state la variazione di concentrazione del particolato e il tempo di abbattimento.

### 5.1. Risultati

Di seguito sono riportate le tabelle e i grafici ottenuti.

SOLUZIONE FISIOLGICA NaCl 0,9%								
Numero prove	$T_{rie}$ (s)	$T_{abb}$ (s)	Tensione (V)	Corrente (A)	PM 2.5i ( $\mu\text{m}^3$ )	PM 2.5f ( $\mu\text{m}^3$ )	$\Delta\text{PM 2.5}$ ( $\mu\text{m}^3$ )	$\Delta\text{Pm 2.5}$ ( $\mu\text{m}^3$ )
1	10	5	$\approx 19$	$\approx 4,5$	681	266	455	438
2					640	219	421	
3	20	10			643	203	440	394
4					595	247	348	
5	40	20			661	161	500	491,5
6					645	162	483	
7	60	30			679	134	545	555,5
8					661	95	566	

**Tab.2.** Dati relativi all'abbattimento su sospensione con soluzione fisiologica con Protocollo 1.  $\text{PM}_{2.5i}$ : concentrazione iniziale di particolato.  $\text{PM}_{2.5f}$ : concentrazione finale di particolato, dopo l'abbattimento.  $\Delta\text{Pm}$ : valor medio della variazione di concentrazione di particolato.



**Fig.5.** rappresentazione della variazione della concentrazione di particolato ( $\Delta\text{Pm}$ ) dopo l'abbattimento in funzione del tempo di abbattimento ( $T_{abb}$ )

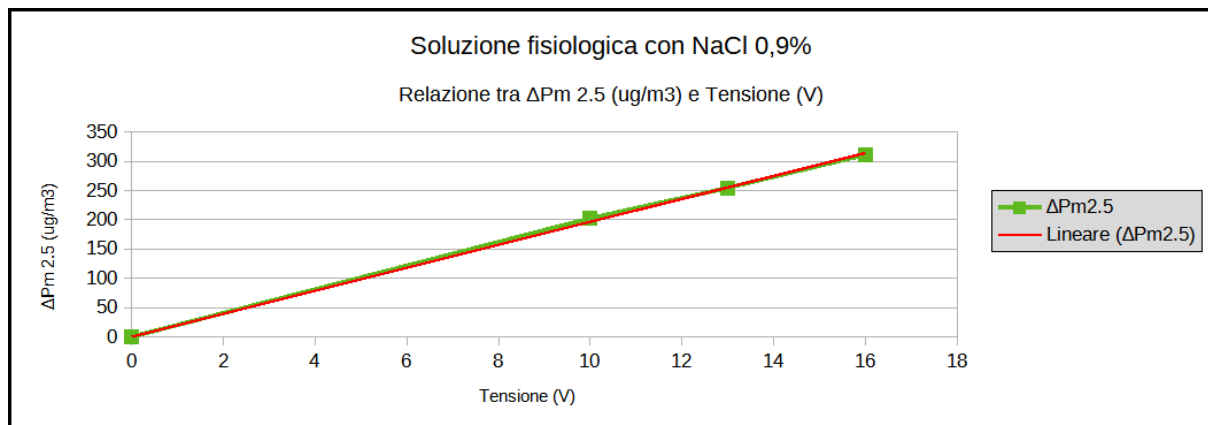
Nelle prime due prove svolte con la soluzione fisiologica con NaCl 0,9% (Tab.2) abbiamo potuto osservare come il tempo di accensione del rocchetto ( $T_{abb}$ ) inferiore a 5s non sia sufficiente a provocare un abbattimento considerevole del particolato, come confermato dal grafico in Fig.5 , in cui la concentrazione del particolato resta elevata.

Le seguenti 6 prove hanno dimostrato, come ci aspettavamo, che con l'aumentare del tempo di abbattimento ( $T_{abb}$ ) la concentrazione di particolato abbattuto ( $\Delta Pm_{2.5}$ ) aumenta, come si deduce dalla tendenza lineare del grafico di Fig.5.

Dopo aver messo in relazione il tempo di abbattimento ( $T_{abb}$ ) e la concentrazione di particolato abbattuto ( $\Delta Pm_{2.5}$ ) abbiamo deciso di metterle quest'ultimo in relazione alla tensione (Tensione). Mettendo in relazione queste due serie di dati, riportati in Tab.3, abbiamo ottenuto il grafico riportato in Fig.6, in cui si osserva la diretta proporzionalità tra la tensione (Tensione) e la concentrazione di particolato abbattuto ( $\Delta Pm_{2.5}$ ).

SOLUZIONE FISIOLGICA NaCl 0,9%								
Numero prove	$T_{rie}$ (s)	$T_{abb}$ (s)	Tensione (V)	Corrente (A)	PM 2.5i ( $\mu m^3$ )	PM 2.5f ( $\mu m^3$ )	$\Delta PM_{2.5}$ ( $\mu m^3$ )	$\Delta Pm_{2.5}$ ( $\mu m^3$ )
1	20	10	10	$\approx 3$	463	320	143	202,5
2					582	320	262	
3			13	$\approx 3$	574	315	259	254,5
4					592	342	250	
5			16	$\approx 2.5$	658	315	343	311
6					667	388	279	

**Tab.3.** Dati relativi all'abbattimento su sospensione con soluzione fisiologica con Protocollo 2.  $PM_{2.5i}$ : concentrazione iniziale di particolato.  $PM_{2.5f}$ : concentrazione finale di particolato, dopo l'abbattimento.  $\Delta Pm$ : valor medio della variazione di concentrazione di particolato



**Fig.6.** Rappresentazione della variazione della concentrazione di particolato ( $\Delta Pm$ ) dopo l'abbattimento in funzione della tensione (V)



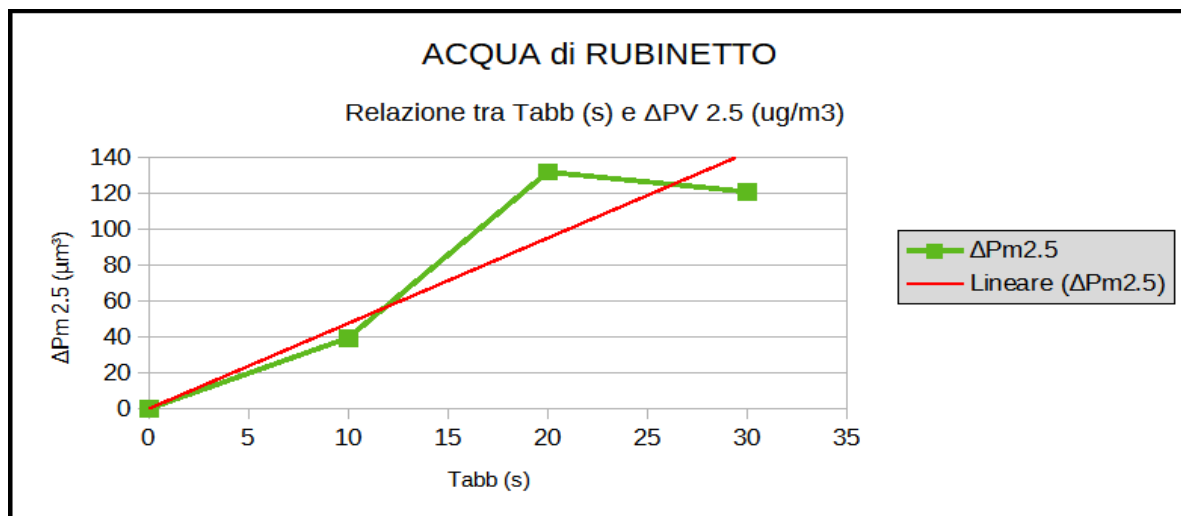
Per le tabelle e i grafici seguenti abbiamo usato gli stessi metodi di comparazione dei dati precedenti ma abbiamo variato la sostanza per generare particelle di aerosol. Infatti per queste due ultime esperienze abbiamo usato della comune acqua di rubinetto.

I risultati dell'acqua di rubinetto, però, non sono stati come ce li aspettavamo.

Dai grafici riportati in Fig.7 e in Fig.8, si nota che i risultati mantengono una tendenza lineare come nel caso della soluzione fisiologica sia mantenendo la tensione (Tensione) costante ( Tab. 4 , Fig.7) sia mantenendo il tempo di abbattimento ( $T_{abb}$ ) costante (Tab.5, Fig.8). A differenza, però del precedente caso, osservando i valori di  $\Delta Pm$ , riportati nelle tabelle Tab.4 e Tab.5, si nota come questi siano molto più bassi. Questo potrebbe essere stato causato dal modo in cui l'apparecchio per aerosol nebulizza le diverse sostanze.

ACQUA di RUBINETTO								
Numero prove	$T_{rie}$ (s)	$T_{abb}$ (s)	Tensione (V)	Corrente (A)	PM 2.5i ( $\mu m^3$ )	PM 2.5f ( $\mu m^3$ )	$\Delta PM$ 2.5 ( $\mu m^3$ )	$\Delta Pm$ 2.5 ( $\mu m^3$ )
1	20	10	$\approx 19$	$\approx 4,5$	370	332	38	39,5
2					444	403	41	
3	40	20			360	257	103	132
4					339	178	161	
5	60	30			312	184	128	121
6					223	109	114	

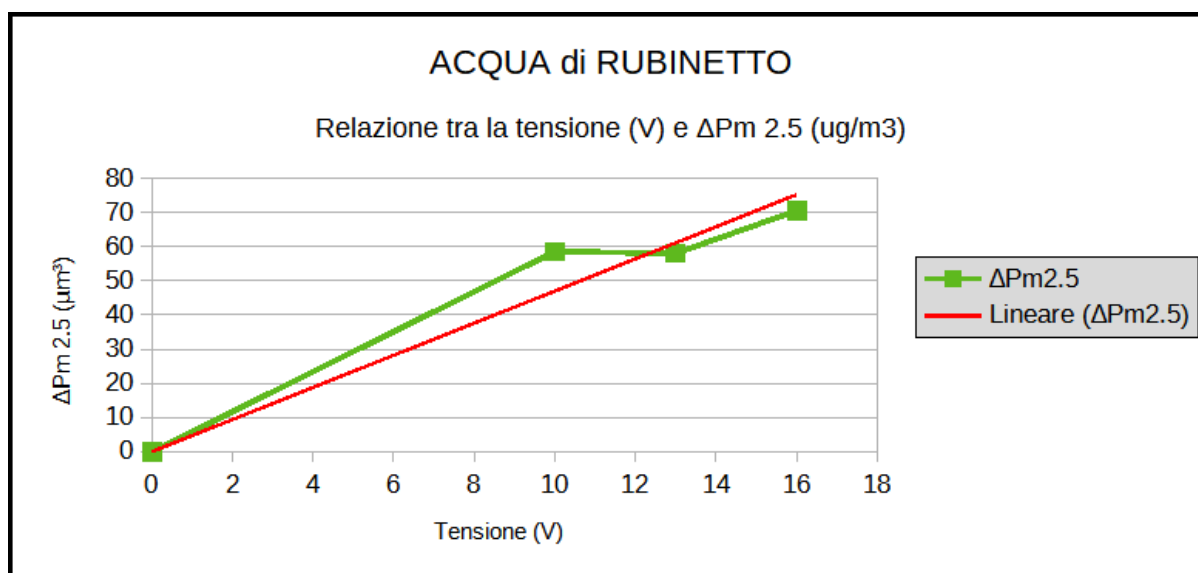
**Tab.4.** Dati relativi all'abbattimento su sospensione con acqua di rubinetto con Protocollo 1.  $PM_{2.5i}$ : concentrazione iniziale di particolato.  $PM_{2.5f}$ : concentrazione finale di particolato, dopo l'abbattimento.  $\Delta Pm$ : valor medio della variazione di concentrazione di particolato.



**Fig.7.** rappresentazione della variazione della concentrazione di particolato ( $\Delta Pm$ ) dopo l'abbattimento in funzione del tempo di abbattimento ( $T_{abb}$ )

ACQUA di RUBINETTO								
Numero prove	$T_{rie}$ (s)	$T_{abb}$ (s)	Tensione (V)	Corrente (A)	PM 2.5i ( $\mu\text{m}^3$ )	PM 2.5f ( $\mu\text{m}^3$ )	$\Delta\text{PM} 2.5$ ( $\mu\text{m}^3$ )	$\Delta\text{Pm} 2.5$ ( $\mu\text{m}^3$ )
1	20	10	10	$\approx 3$	231	198	33	58,5
2					182	98	84	
3			13	$\approx 3$	234	163	71	58
4					196	151	45	
5			16	$\approx 2.5$	197	125	72	70,5
6					207	138	69	

**Tab.5.** Dati relativi all'abbattimento su sospensione con acqua di rubinetto con Protocollo 2.  $PM_{2.5i}$ : concentrazione iniziale di particolato.  $PM_{2.5f}$ : concentrazione finale di particolato, dopo l'abbattimento.  $\Delta\text{Pm}$ : valor medio della variazione di concentrazione di particolato.



**Fig.8.** Rappresentazione della variazione della concentrazione di particolato ( $\Delta\text{Pm}$ ) dopo l'abbattimento in funzione della tensione (V)

## 6. Conclusioni

Il nostro obiettivo era quello di simulare un filtro elettrostatico per l'abbattimento di particolato. Siamo riusciti a ricreare un filtro elettrostatico con il materiale che avevamo a disposizione nel laboratorio di fisica. Abbiamo comunque potuto rilevare che il parametro più importante per l'abbattimento del particolato risulta essere il Tempo di abbattimento, che avremo potuto variare con risoluzione più raffinata in modo da ottenere una relazione più precisa tra le due grandezze.

Avremo potuto ottenere altre informazioni eseguendo una sperimentazione con sostanze contenenti particolati con differenti dimensioni e valutare l'effetto dell'abbattimento al variare delle dimensioni stesse.

Abbiamo comunque, potuto verificare, anche quantitativamente, come sfruttando gli effetti elettrostatici sia possibile migliorare la qualità dell'aria.

## 7. Bibliografia e sitografia

- [1] <https://www.arpalombardia.it/Pages/Aria/Inquinanti/PM10-PM2.5.aspx>
- [2] Piero Stroppa, "Fisica intorno a te", A. Mondadori, pagine : da 358 a 367, da 380 a 391
- [3] <https://www.coral.it/wp-content/uploads/2021/07/Filtro-elettrostatico-EF-Smoke.pdf>
- [4] <https://expansion-electronic.eu/index.php/it/filtri-elettrostatici.html>
- [5] <https://www.unoenergyis.it/filtri-elettrostatici-dove-quando-e-perche-applicarli/#:~:text=Principio%20operativo%20dei%20filtri%20elettrostatici.le%20attirano%20sulla%20loro%20superficie.>
- [7] <https://www.plymovent.it/public/La%20filtrazione%20elettrostatica.pdf>
- [8] [https://www.youtube.com/watch?v=YcB\\_Fqrh70A](https://www.youtube.com/watch?v=YcB_Fqrh70A)
- [9] <https://www.youtube.com/watch?v=LwuDrMZIoIM>
- [10] <https://www.filtrotecnica.com/filtro-elettrostatico/>
- [11] <https://www.tamaaernova.com/it/blog/detail/elettrofiltro-che-cose-a-cosa-serve-e-come-funziona.html>