

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II
SCUOLA POLITECNICA E DELLE SCIENZE DI BASE



DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, EDILE E AMBIENTALE
CORSO DI STUDIO MAGISTRALE IN INGEGNERIA PER L'AMBIENTE E IL TERRITORIO
Classe delle Lauree Magistrali in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio (classe LM35)

Tesi di Laurea

RIMOZIONE DELLE MICROPLASTICHE DALLE ACQUE MARINE

Relatori:

Chiar.mo Prof. Massimiliano Fabbricino

Chiar.mo Prof. Armando Carravetta

Correlatori:

Prof. Oreste Fecarotta

Dott. Ludovico Pontoni

Candidato:

Giovanni Carofaro

M67000163

MICROPLASTICHE:

Con il termine microplastiche, introdotto nella letteratura scientifica nel 2004, si identificano tutti quei frammenti di natura plastica, aventi dimensioni che vanno da pochi millimetri fino ai micron.

Classificazione granulometrica: Frammenti plastici

Macroplastiche	$d \geq 25 \text{ mm}$
Mesoplastiche	$25 \text{ mm} > d \geq 5 \text{ mm}$
Microplastiche	$5 \text{ mm} > d \geq 1 \text{ micron}$
Nanoplastiche	$d < 1 \text{ micron}$

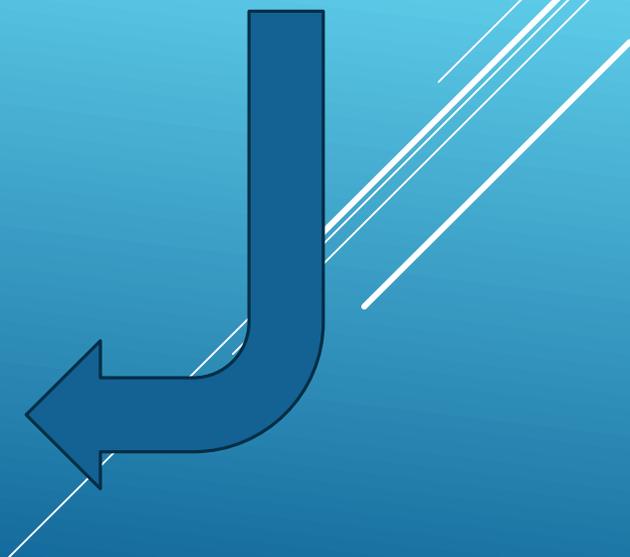
Campionature: Composizione

0,1%
5,3%
94,6%

% in numero

Elementi individuati

54,5%	Polietilene [PE] (PET, Pead, Pebd)
16,5%	Polipropilene [PP]
9,7%	Polistirene [PS]
5,5%	Altri polimeri (Plexiglass, nylon, Poliuretano, PVC...)
3,5%	Trucioli di vernice (matrice di biossido di titanio: TiO ₂)
10,3%	Non classificati (per lo più frammenti di MP)



FONTI DI INQUINAMENTO

Fonti Primarie

- Input diretto di particelle nell'ordine dei micron



Fonti Secondarie

- Frammentazione di detriti più grandi

Azioni

1. Chimiche
2. Fisiche
3. Biologiche
4. Termiche

MECCANISMI DI DISPERSIONE IN ACQUA

60%

Particelle sciolte e
flottanti

40%

Sedimenti

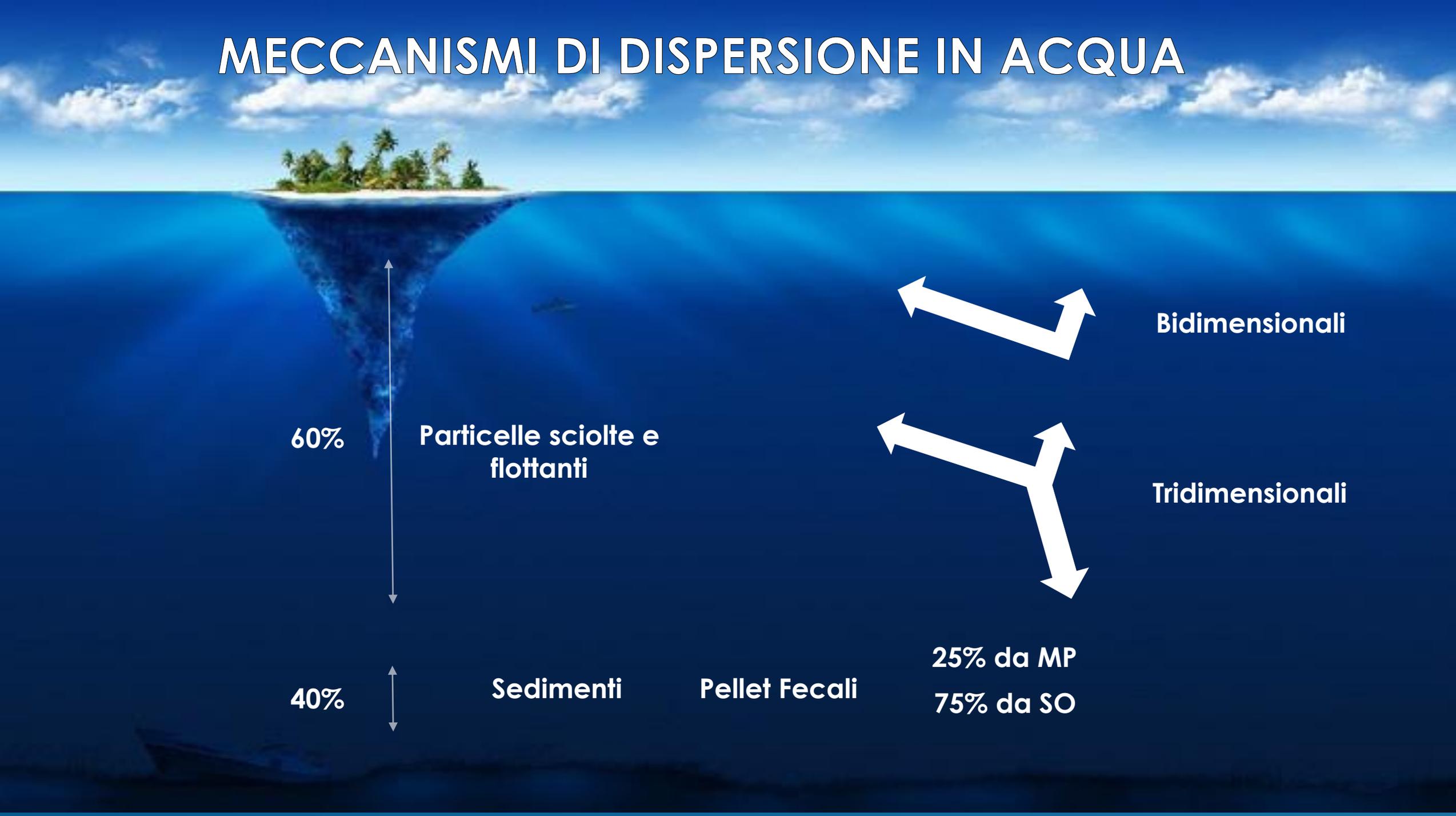
Pellet Fecali

25% da MP

75% da SO

Bidimensionali

Tridimensionali



OBIETTIVI E PROCEDURE ATTUATE

Obiettivo:

- **Verificare la possibilità di separare le Mp dalle acque**

Processi utilizzati:

- **FILTRAZIONE MECCANICA**

- **a gravità**
- **con aspirazione**

FILTRAZIONE:

«PROCESSO FISICO-MECCANICO CHE CONSENTE DI SEPARARE DELLE SOSTANZE SOLIDE, IN DISPERSIONE GROSSOLANA IN UN FLUIDO, MEDIANTE PASSAGGIO ATTRAVERSO UNO O PIÙ MEZZI FILTRANTI»

ITER SPERIMENTALE SEGUITO:

1° step:

Produzione del substrato necessario ad effettuare le sperimentazioni: le microplastiche



2° step:

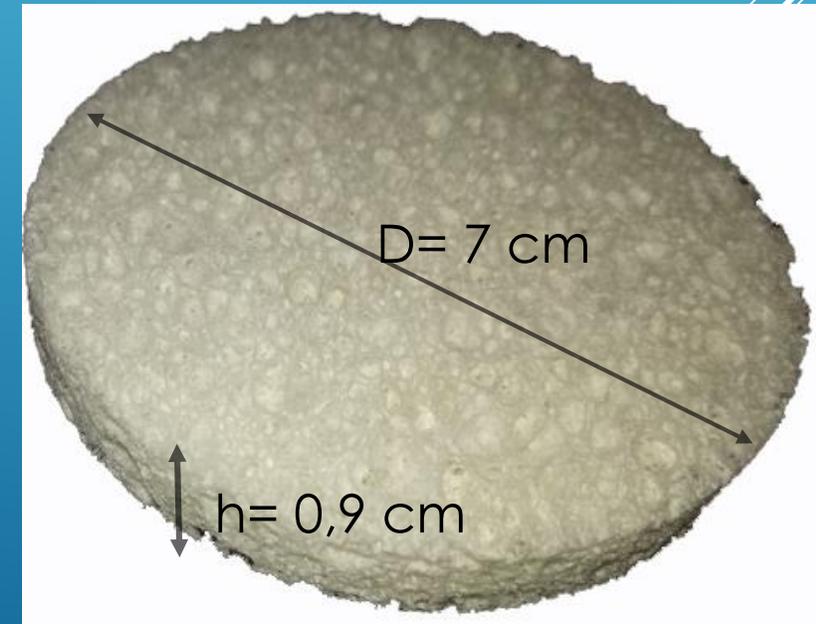
Definizione delle perdite di carico idrauliche del filtro

Legge di Forchheimer

$$\Delta H = K_1 v + K_2 v^2$$

3° step:

Determinazione dell'efficienza filtrante del filtro



1° STEP: PRODUZIONE DELLE MICROPLASTICHE

PET

una resina termoplastica appartenente alla famiglia dei poliesteri ed è formata da ftalati: composti organici derivanti dal petrolio

1° Creazione di lingotti

2° Limatura

3° Vetrificazione

4° Pestellatura



Plexiglass

classificato all'interno delle resine acriliche, formata da polimeri di metacrilato di metile, ottenuto dall'esterificazione dell'acido metacrilico.

1° Taglio delle lastre

2° Raccolta trucioli

3° Triturazione



1° STEP: PRODUZIONE DELLE MICROPLASTICHE

PET

una resina termoplastica appartenente alla famiglia dei poliesteri ed è formata da ftalati: composti organici derivanti dal petrolio

ISULTATI CONSEGUITI:

5 g di polvere di PET mista a frammenti grossolani
in circa 2 settimane di lavorazione

Plexiglass

classificato all'interno delle resine acriliche, formata da polimeri di metacrilato di metile, ottenuto dall'esterificazione dell'acido metacrilico.

RISULTATI CONSEGUITI:

369 g di polvere fine
2 settimane di lavorazione

ANALISI GRANULOMETRICA

Vagliatura



Pesatura

Apertura maglia dei setacci [mm]	Peso trattenuto [g]
9,500	0,000
4,750	2,000
2,000	8,700
0,850	16,000
0,425	101,300
0,180	180,000
0,075	44,000
0,063	8,000
fondo	8,700

24 ore

Capacità
setacciante

9,500 mm

4,750 mm

2,000 mm

0,850 mm

0,425 mm

0,180 mm

0,075 mm

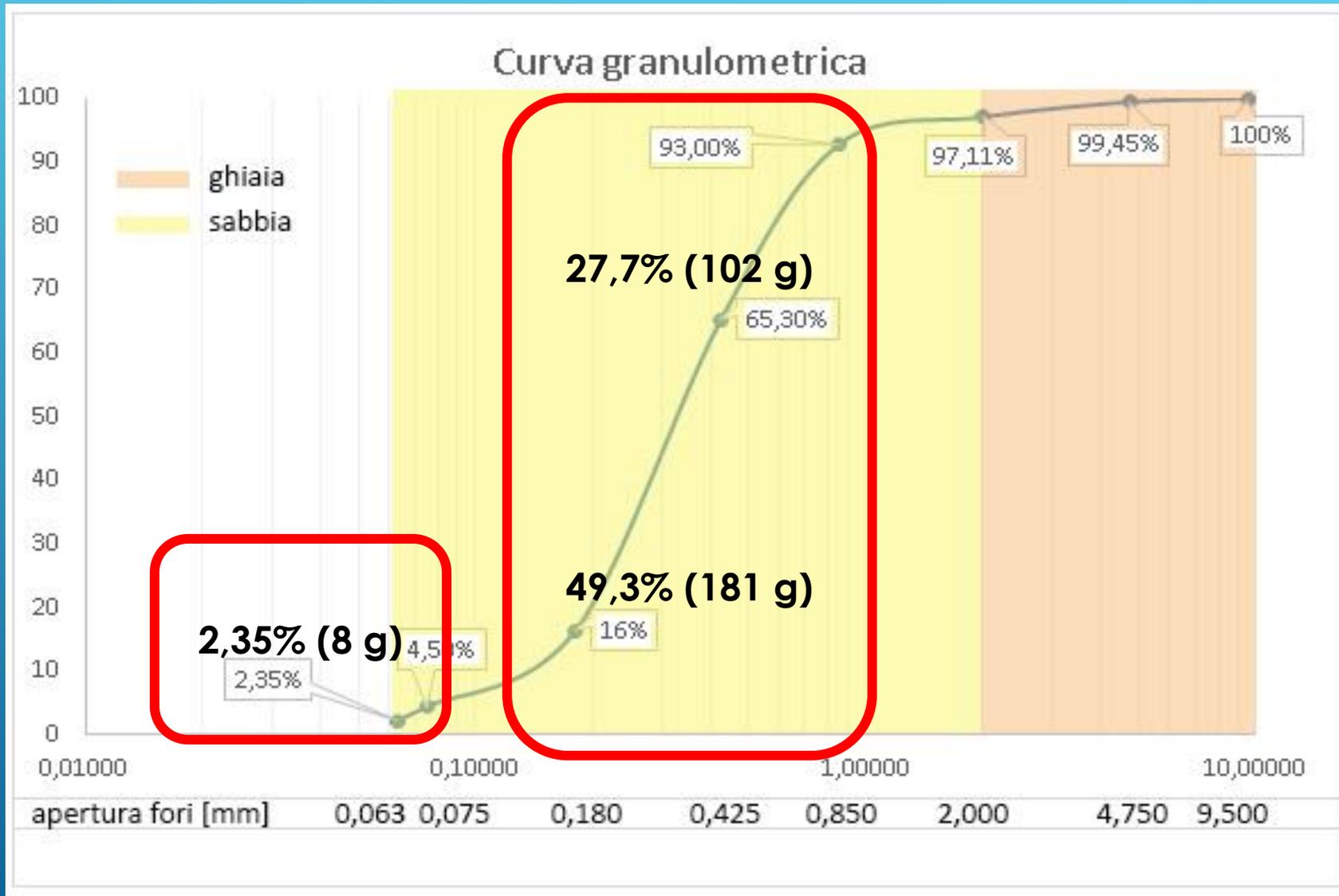
0,063 mm

fondo

Torre Vibrante



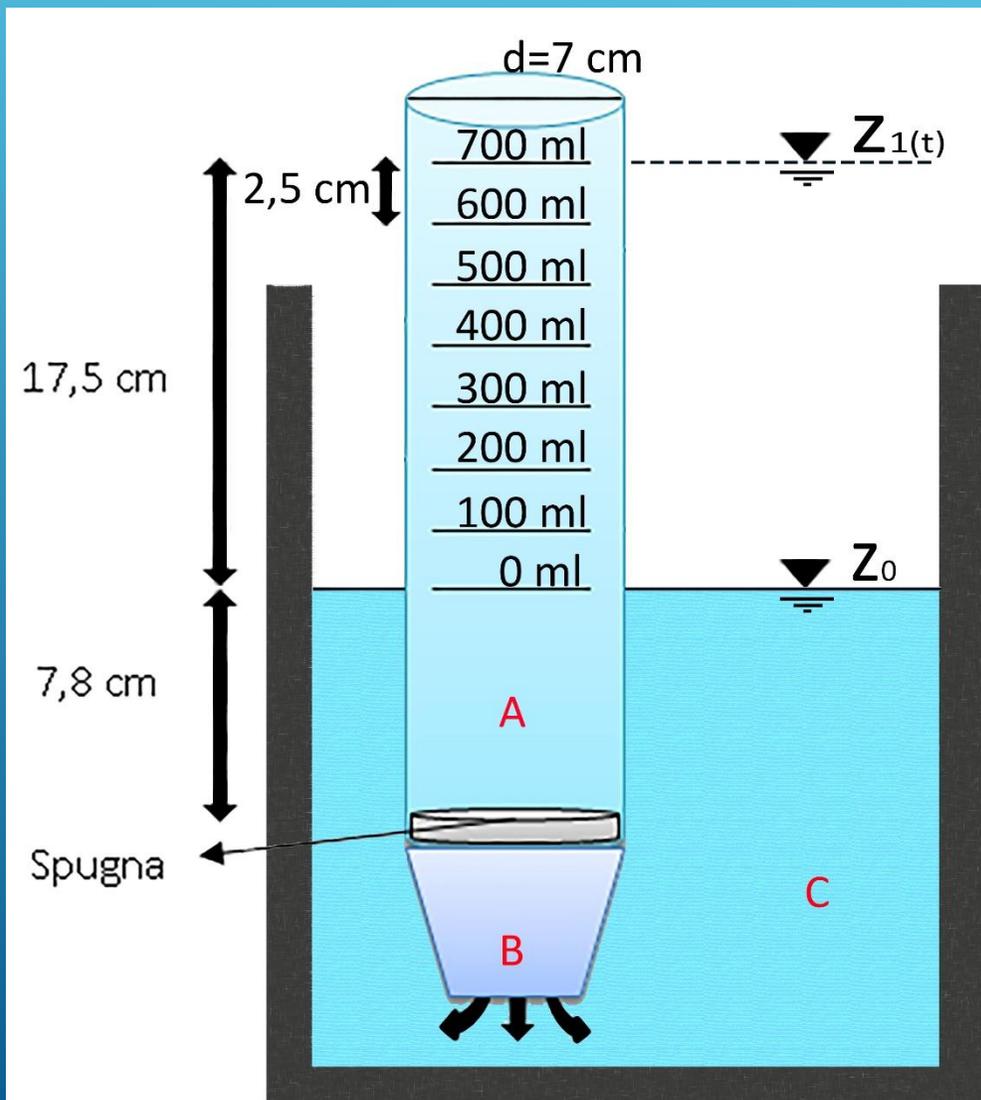
COSTRUZIONE DELLA CURVAGRANULOMETRICA



- sulle ascisse sono segnate in scala logaritmica le dimensioni medie delle particelle [mm]
- sulle ordinate le percentuali in peso rispetto al totale.

2° STEP: DEFINIZIONE DELLE PERDITE DI CARICO IDRAULICHE DEL FILTRO

Configurazione impiantistica:



A) Cilindro graduato

B) Imbuto

C) Vasca

Sperimentazione

1°
STEP:

Circuito idraulico aperto.
Battente d'acqua alla quota
indicata con $Z_0 = 0\text{ ml}$.

2°
STEP:

Isolamento idraulico tra A e C.
Battente d'acqua nella
tubazione fino al livello di **700 ml**.

3°
STEP:

Apertura della comunicazione
tra A e C.

4°
STEP:

Registrazione tempi di
svuotamento della colonna.

0 STEP: DEFINIZIONE DELLE PERDITE DI CARICO IDRAULICHE DEL FILTRO

Configurazione 0

Configurazione 1

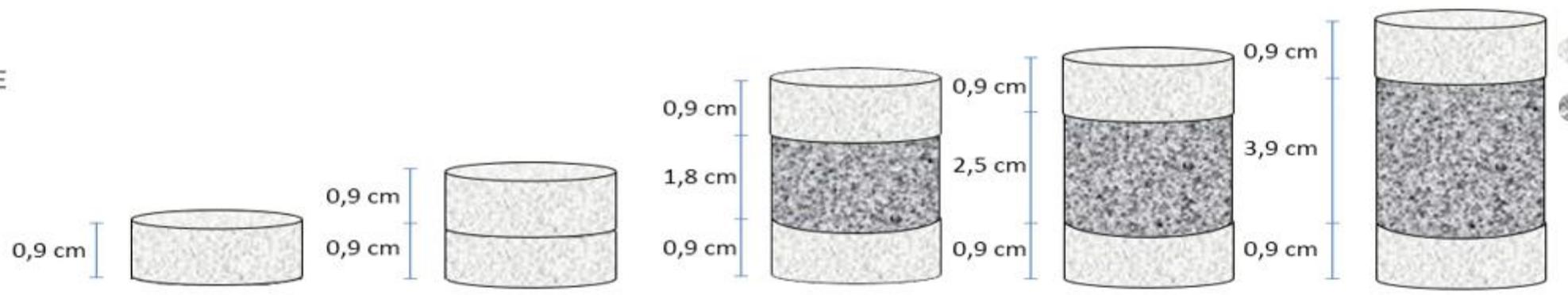
Configurazione 2

Configurazione 3

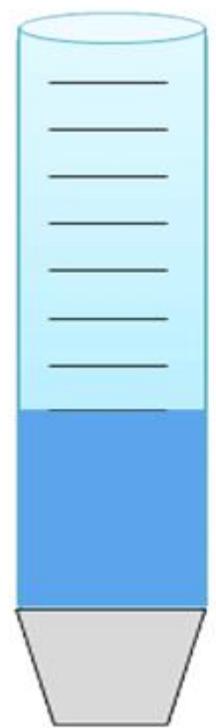
Configurazione 4

Configurazione 5

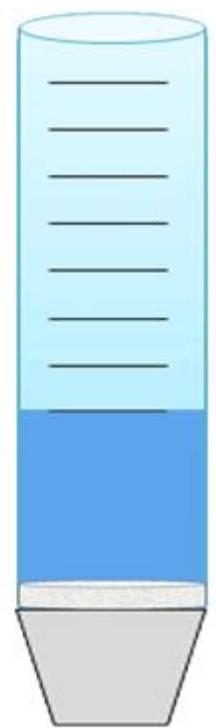
SOLO TUBAZIONE
SENZA FILTRO



700 ml
600 ml
500 ml
400 ml
300 ml
200 ml
100 ml
0 ml



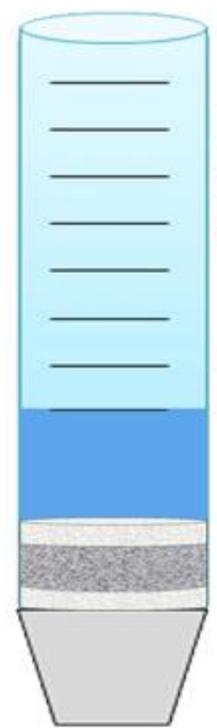
1,2 s
2,6 s
4,1 s
5,9 s
8,0 s
10,9



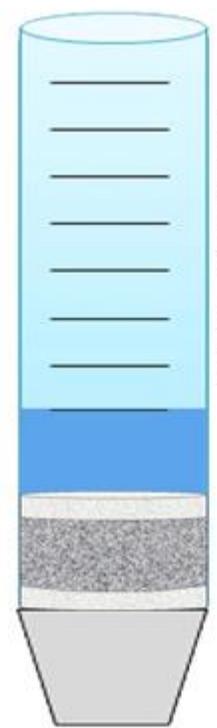
1,5 s
3,2 s
5,2 s
7,4 s
10,1
14,0



1,7 s
3,6 s
5,9 s
8,4 s
11,8
16,5



2,2 s
4,9 s
8,0 s
11,4
16,4
24,5



2,3 s
5,1 s
8,1 s
11,8
17,0
25,5



2,7 s
6,0 s
9,8 s
14,3
20,7
31,6

2° STEP: DEFINIZIONE DELLE PERDITE DI CARICO IDRAULICHE DEL FILTRO

Configurazione 0

Configurazione 1

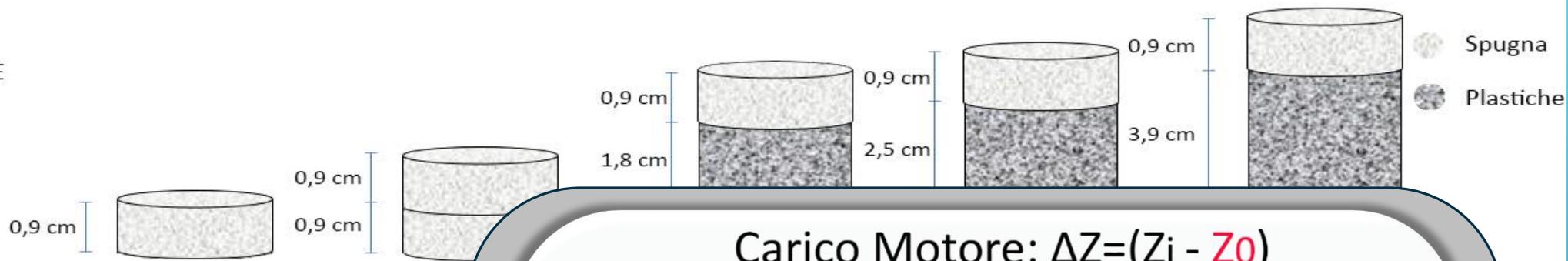
Configurazione 2

Configurazione 3

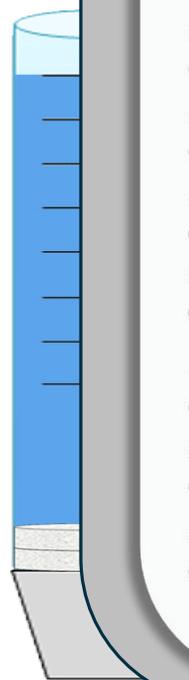
Configurazione 4

Configurazione 5

SOLO TUBAZIONE
SENZA FILTRO



700 ml
600 ml
500 ml
400 ml
300 ml
200 ml
100 ml
0 ml



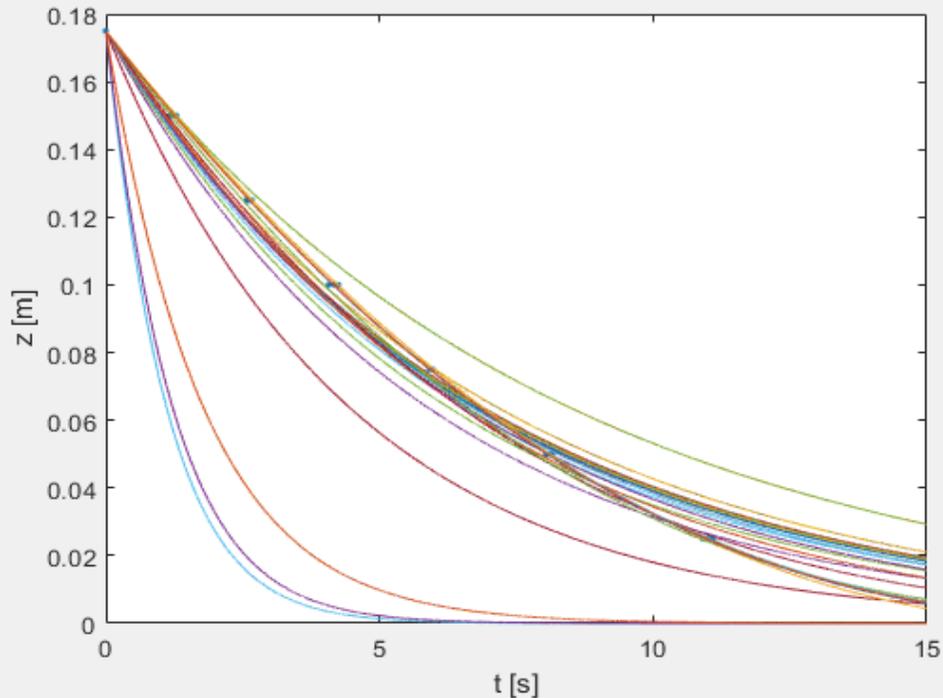
Carico Motore: $\Delta Z = (Z_i - Z_0)$

Z_1 :	700 ml	0,175 m	ΔZ_1
Z_2 :	600 ml	0,150 m	ΔZ_2
Z_3 :	500 ml	0,125 m	ΔZ_3
Z_4 :	400 ml	0,100 m	ΔZ_4
Z_5 :	300 ml	0,075 m	ΔZ_3
Z_6 :	200 ml	0,050 m	ΔZ_4
Z_7 :	100 ml	0,025 m	ΔZ_5
	0 ml	0 m	Z_0

RISOLUZIONE DELL'EQUAZIONE DIFFERENZIALE

Legge di Forchheimer : $\Delta H = K_1 v + K_2 v^2$ con : $v = -\frac{dz}{dt} \rightarrow (z_i - z_0) = -K_1 \left(\frac{dz}{dt}\right) + K_2 \left(\frac{dz}{dt}\right)^2$

Soluzione Numerica: supporto utilizzato MATLAB



reiterazione

**1°
STEP:**

RISOLUZIONE DELL'EQUAZIONE
DIFFERENZIALE :

vengono assegnati due valori di tentativo ai
parametri K_1 e K_2 , dopo di che è possibile
risolvere l'equazione differenziale

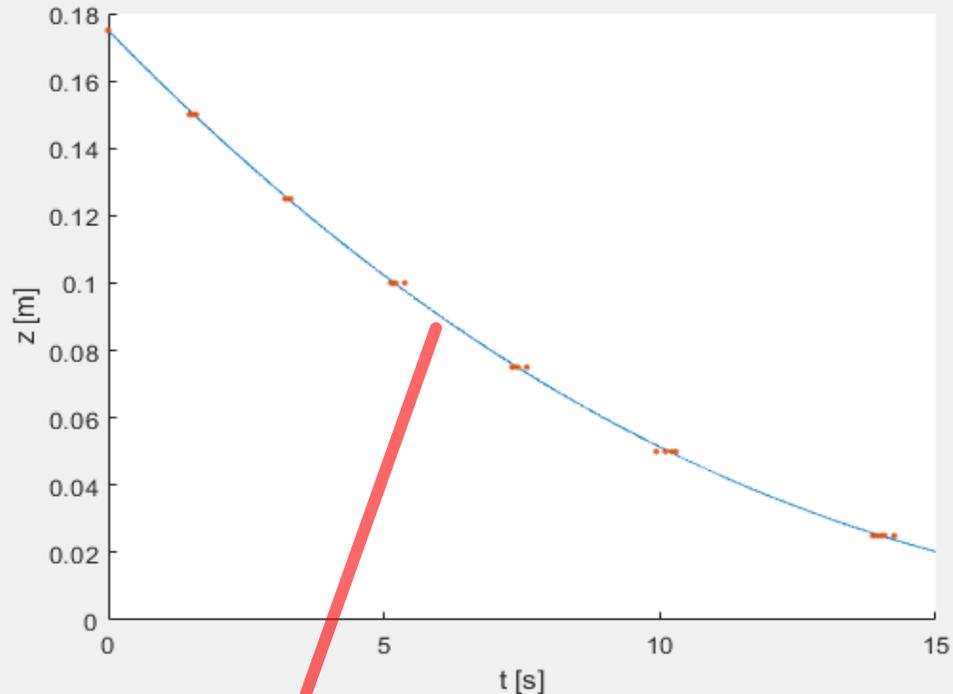
**2°
STEP:**

MINIMIZZAZIONE DELLO SCARTO:
vengono confrontati i risultati così ottenuti,
con quelli sperimentali, delineandone lo
scarto quadratico medio.

RISOLUZIONE DELL'EQUAZIONE DIFFERENZIALE

Legge di Forchheimer : $\Delta H = K_1 v + K_2 v^2$ con : $v = -\frac{dz}{dt} \rightarrow (z_i - z_0) = -K_1 \left(\frac{dz}{dt}\right) + K_2 \left(\frac{dz}{dt}\right)^2$

Soluzione Numerica: supporto utilizzato MATLAB



**1°
STEP:**

RISOLUZIONE DELL'EQUAZIONE
DIFFERENZIALE :

vengono assegnati due valori di tentativo ai
parametri K_1 e K_2 , dopo di che è possibile
risolvere l'equazione differenziale

**2°
STEP:**

MINIMIZZAZIONE DELLO SCARTO:
vengono confrontati i risultati così ottenuti,
con quelli sperimentali, delineandone lo
scarto quadratico medio.

In corrispondenza della curva con gli SCARTI QUADRATICI più piccoli si vanno ad ottenere i valori dei parametri: K_1 e K_2 .

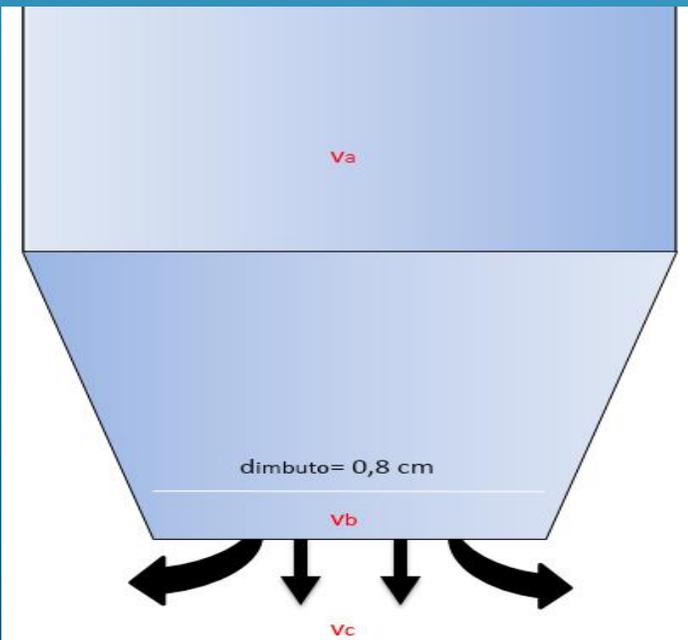
Calcolo delle perdite di carico idrauliche:

	K_1	K_2
Conf0	1,298	343,016
Conf1	2,518	469,420
Conf2	4,410	484,284
Conf3 (hmp:1,8 cm)	9,733	470,204
Conf4 (hmp:2,5 cm)	10,452	447,819
Conf5 (hmp:3,9 cm)	14,113	438,277

perdite di carico:

1. $\Delta H_1 = K_1 * v$
2. $\Delta H_2 = K_2 * v^2$
3. $\Delta H_{TOT} = \Delta H_1 + \Delta H_2$

Perdite per brusco allargamento:



Formula di Borda: $\Delta H = \frac{(v_B - \cancel{v_B})^2}{2g}$

dove: $v_B(t) = \frac{v_A(t) * d_A^2}{d_B^2}$

Moto vario
istante per istante
uniforme:

$$Q_A(t) = Q_B(t)$$

ANDAMENTI: PERDITE DI CARICO IDRAULICHE

Confronto differenti configurazioni:

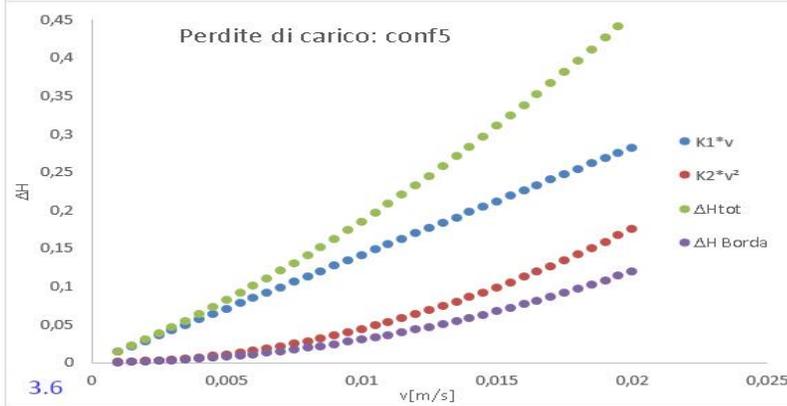
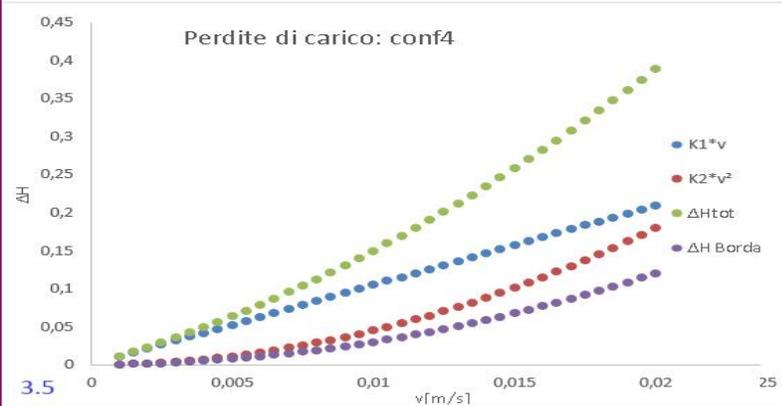
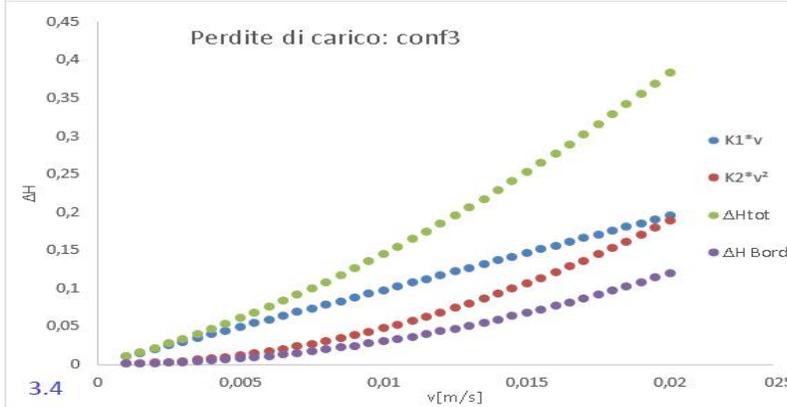
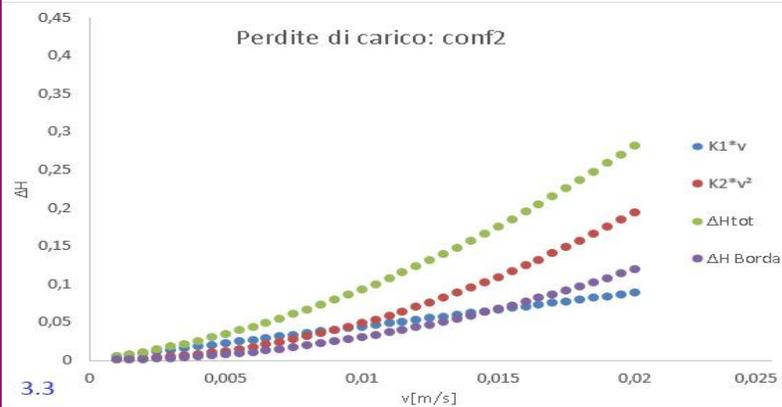
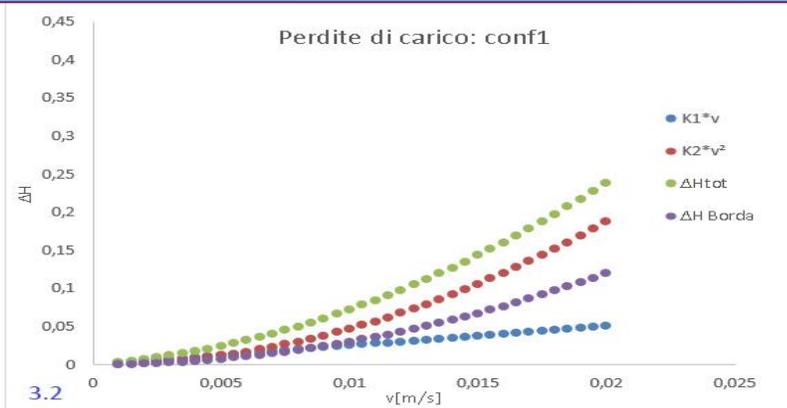
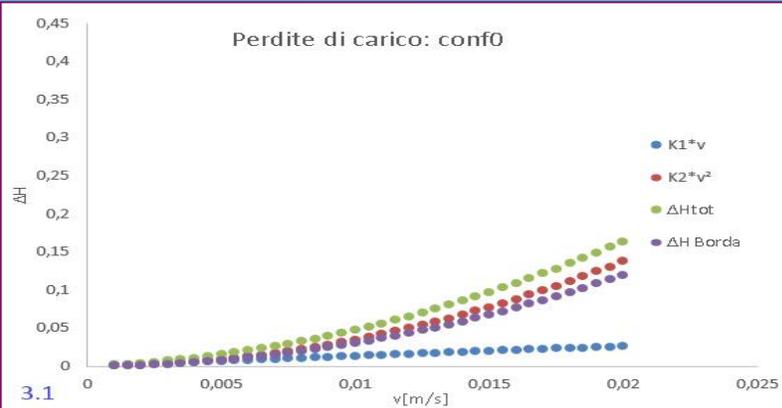
conf. 0,1,2:

prevalenza delle perdite di carico $\Delta H_2 > \Delta H_1$

conf. 3,4,5:

$\Delta H_1 \gg \Delta H_2$

In corrispondenza
dell'immissione
nelle pile filtranti
delle mp.

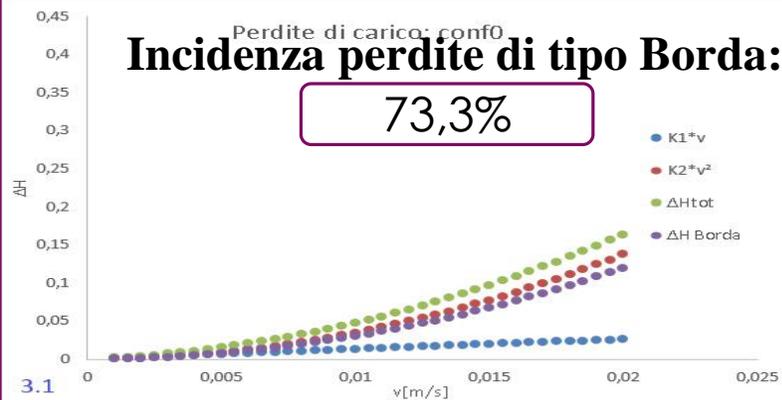


ANDAMENTI: PERDITE DI CARICO IDRAULICHE

Confronto differenti configurazioni:

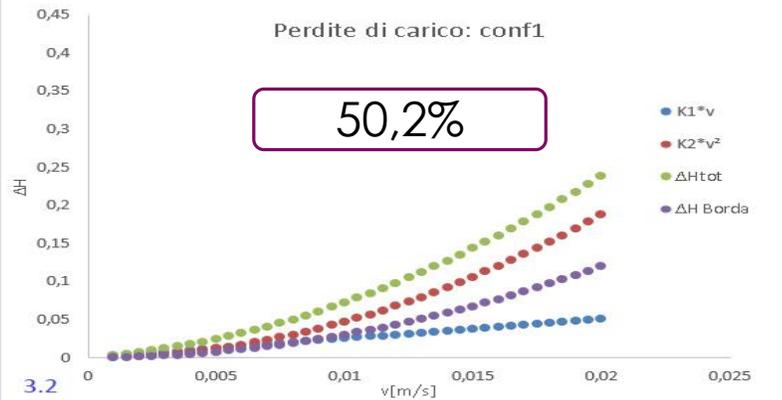
Perdite di carico: conf0 Incidenza perdite di tipo Borda:

73,3%



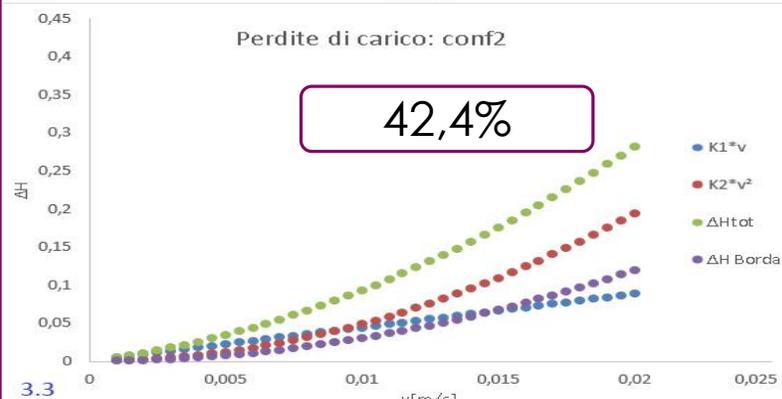
Perdite di carico: conf1

50,2%



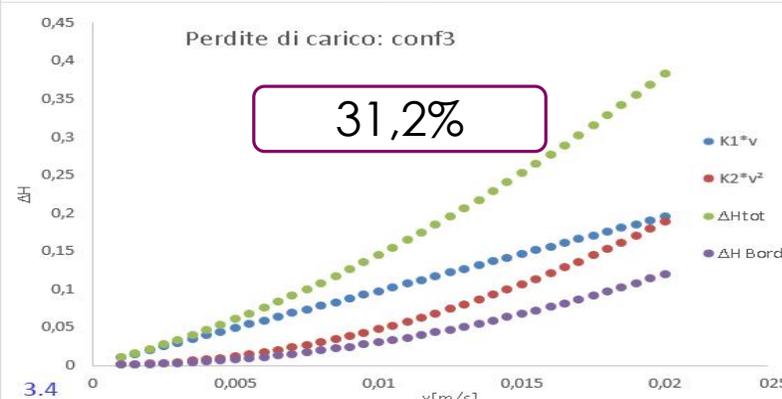
Perdite di carico: conf2

42,4%



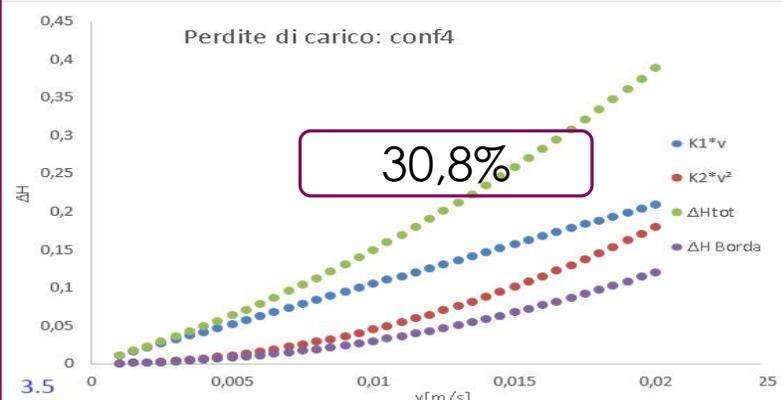
Perdite di carico: conf3

31,2%



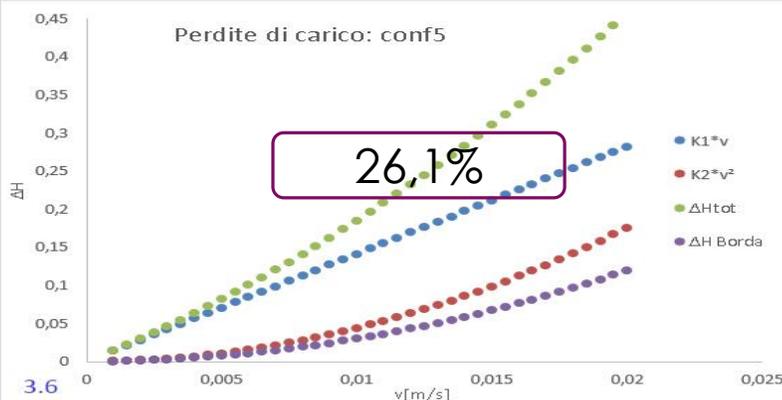
Perdite di carico: conf4

30,8%

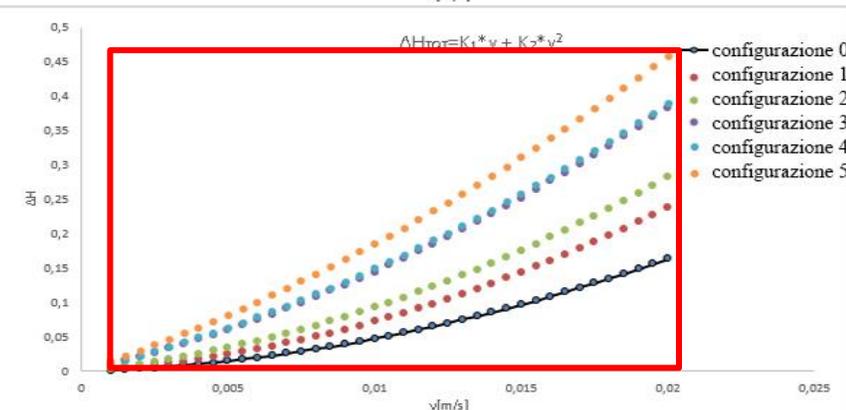
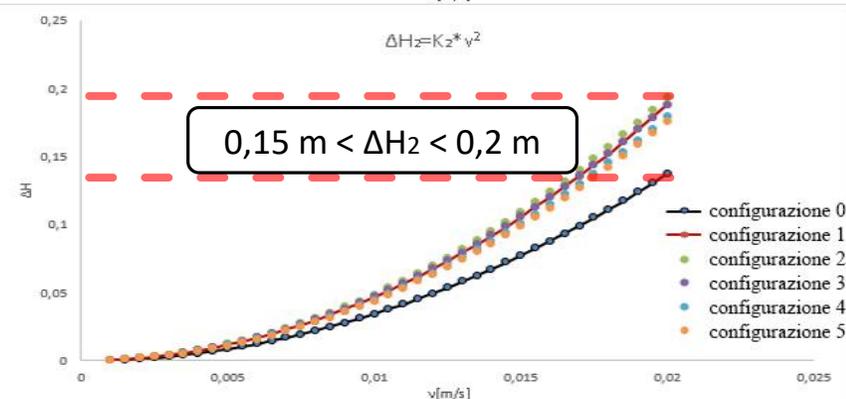
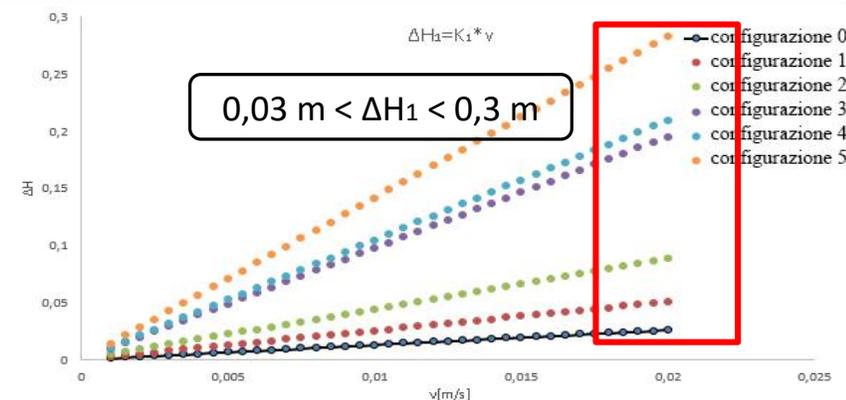


Perdite di carico: conf5

26,1%



Confronto tipologia di dissipazioni:



3° STEP: DETERMINAZIONE DELL'EFFICIENZA FILTRANTE

Sperimentazione: Filtrazione a gravità

1°
STEP:

Preparazione miscela a concentrazione nota:
250 ml Acqua, 1 g Mp.

2°
STEP:

Rimozione isolamento tra imbuto e
colonna di recupero del filtrato.

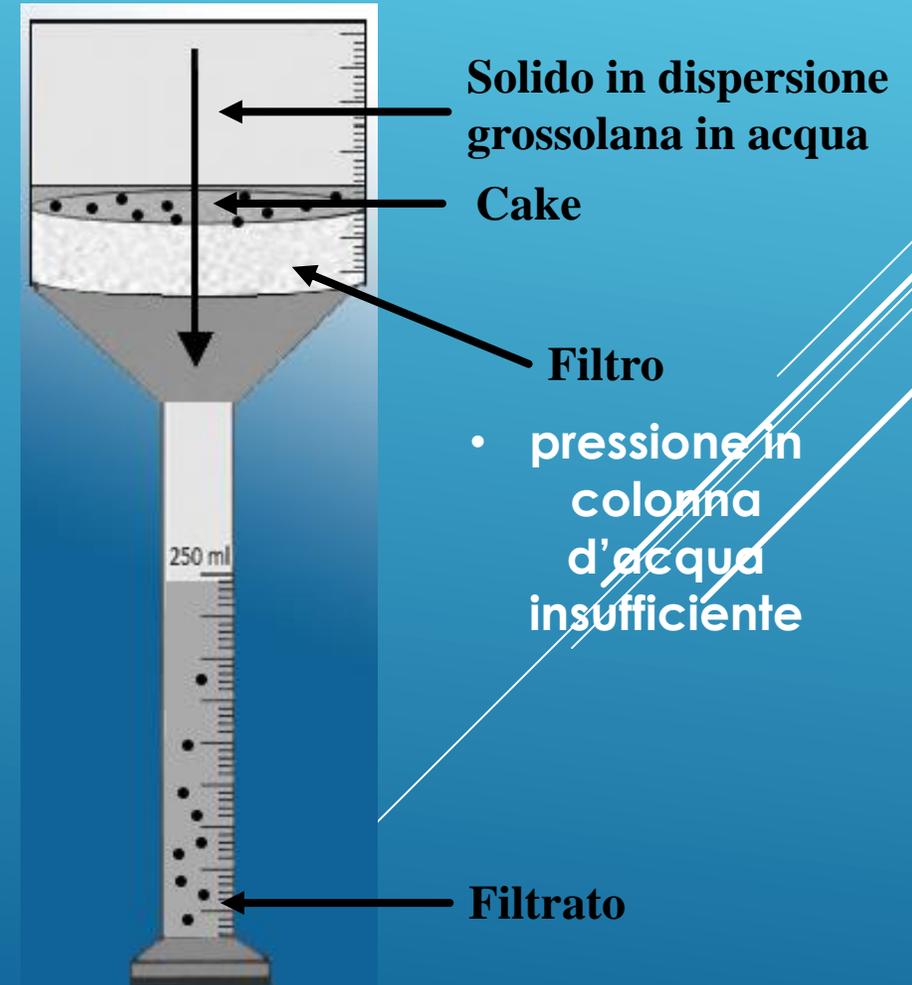
3°
STEP:

Raccolta del filtrato, essiccamento, misura
del peso delle particelle nel filtrato.

4°
STEP:

Definizione dell'efficienza filtrante:

$$\eta_{\text{filtro}}[\%] = 100 - \left(\frac{P_{mp_{out}} * 100}{P_{mp_{in}}} \right)$$



3° STEP: DETERMINAZIONE DELL'EFFICIENZA FILTRANTE

Sperimentazione: Filtrazione a gravità

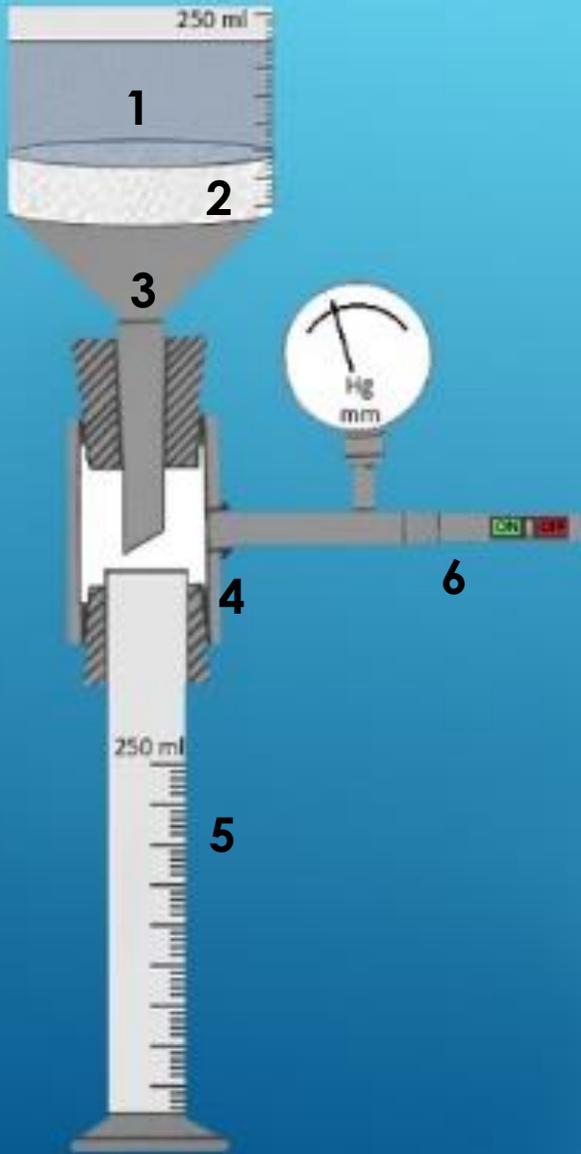
RISULTATI CONSEGUITI:

Apertura maglie dei setacci [mm]	passante [g]	passante [%]	η filtrazione [%]
4,750	0	0	100
2,000	0	0	100
0,850	0	0	100
0,425	0	0	100
0,180	0	0	100
0,075	0	0	100
0,063	0	0	100
0,000	0	0	100

- pressione in colonna d'acqua insufficiente

3° STEP: DETERMINAZIONE DELL'EFFICIENZA FILTRANTE

Sperimentazione: Filtrazione con aspirazione



1. Cilindro graduato
2. Spugna in cellulosa naturale
3. Imbuto
4. Cilindro codato
5. Cilindro di raccolta
6. Sistema di aspirazione

1°
STEP:

Preparazione miscela a concentrazione nota:
250 ml Acqua, 1 g Mp. Inserita e mescolata.

2°
STEP:

Accensione aspirazione, -0,4 atm.

3°
STEP:

Raccolta del filtrato.

Stufetta a 60° per 48 ore.

4°
STEP:

Misurazione del peso di Mp essiccate.

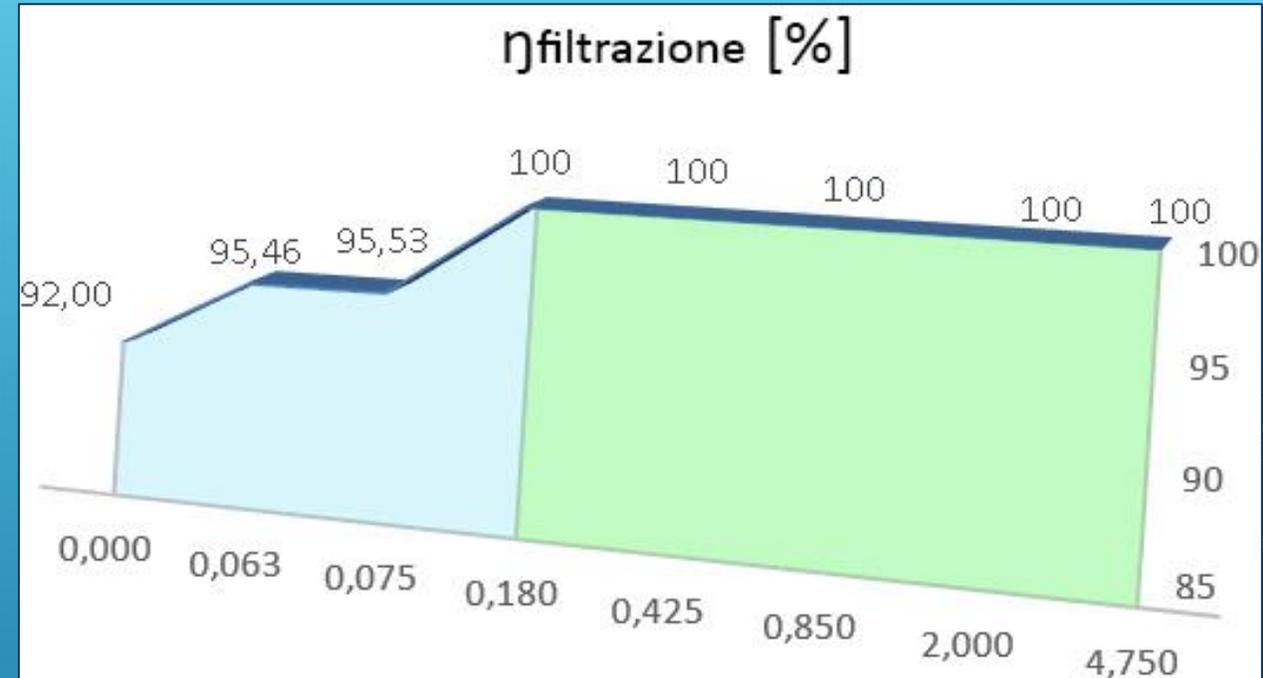
5°
STEP:

Definizione dell'efficienza filtrante:

$$\eta_{\text{filtro}}[\%] = 100 - \left(\frac{P_{mp_{out}} * 100}{P_{mp_{in}}} \right)$$

RISULTATI: EFFICIENZA FILTRANTE

Apertura maglie [mm]	passante [g]	passante [%]	D filtrazione [%]
4,750	0	0	100
2,000	0	0	100
0,850	0	0	100
0,425	0	0	100
0,180	0	0	100
0,075	0,0447	4,47	95,53
0,063	0,0454	4,54	95,46
0,000	0,0800	8,00	92,00



- $D_{\text{filtrazione}} = 100\%$
 $4,750 \text{ mm} > d > 0,180 \text{ mm}$

- $95\% \geq D_{\text{filtrazione}} \geq 92\%$
 $d < 0,180 \text{ mm}$

CONCLUSIONI

- Il filtro proposto ed analizzato, una spugna in cellulosa naturale, a valle delle sperimentazioni attuate e le elaborazioni dati, è stata sicuramente una scelta premiata. Da questa infatti, si sono evinti delle **efficienze filtranti elevati : 92%**, fino a **dimensioni minori di 63 μm** . Ancora lontani purtroppo dalle granulometrie minori del μm rappresentanti le nanoplastiche, che d'altronde non è possibile escludere tra le particelle, almeno in buona parte, bloccate dal filtro.
- In quest'ottica, sarebbe opportuno condurre ricerche rivolte specificatamente a queste frazioni, utilizzando in fase di vibro-vagliatura ed analisi granulometrica, setacci con fori opportuni alla loro separazione, consegnando dei quantitativi significativi di materiale da sottoporre alle successive sperimentazioni.
- In virtù dell'esperienza maturata, potrebbe risultare una scelta vincente partire da PEAD o da PVC, e non da bottiglie di PET, differente da quest'ultimo, ma compatibile con tutto il processo di macinazione invece attuato per il Plexiglass, allo scopo di poter usufruire di grosse moli di plastica finemente triturate.

GRAZIE PER L'ATTENZIONE

