



Istituto Nazionale di Fisica Nucleare
SEZIONE DI ROMA TOR VERGATA

Corso Nazionale INFN

Le miscele gassose per i rivelatori di particelle

Distribuzione, strumenti di misura e controllo,
rivelazione delle perdite e sicurezza.

<https://agenda.infn.it/event/41973/>

Quello che ho imparato nella gestione del gas di un grande apparato: i rivelatori RPC per il Trigger di primo livello nell'esperimento Atlas

❖ **Distribuzione del flusso**

- ❖ Scelta dei materiali
- ❖ Impedenze di regolazione
- ❖ Strumenti di misura

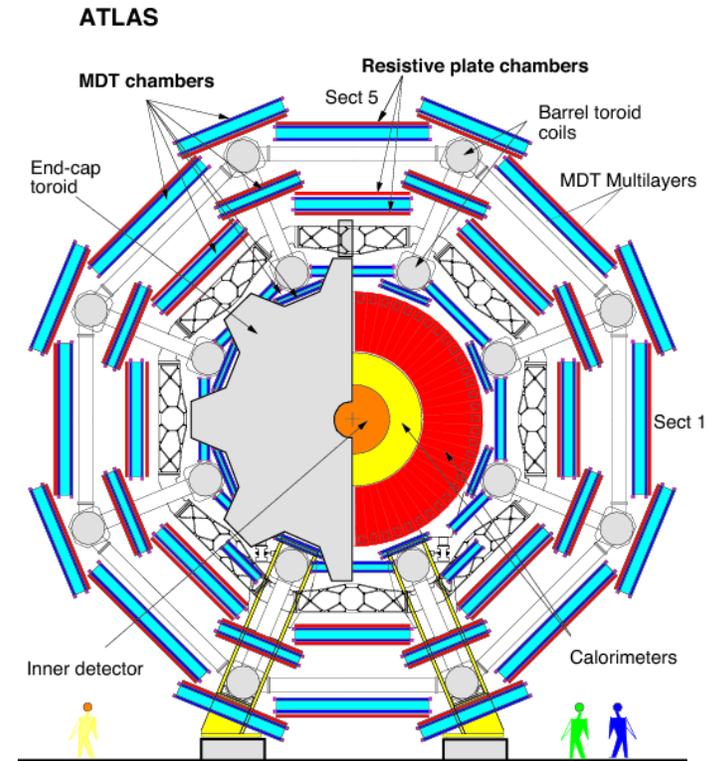
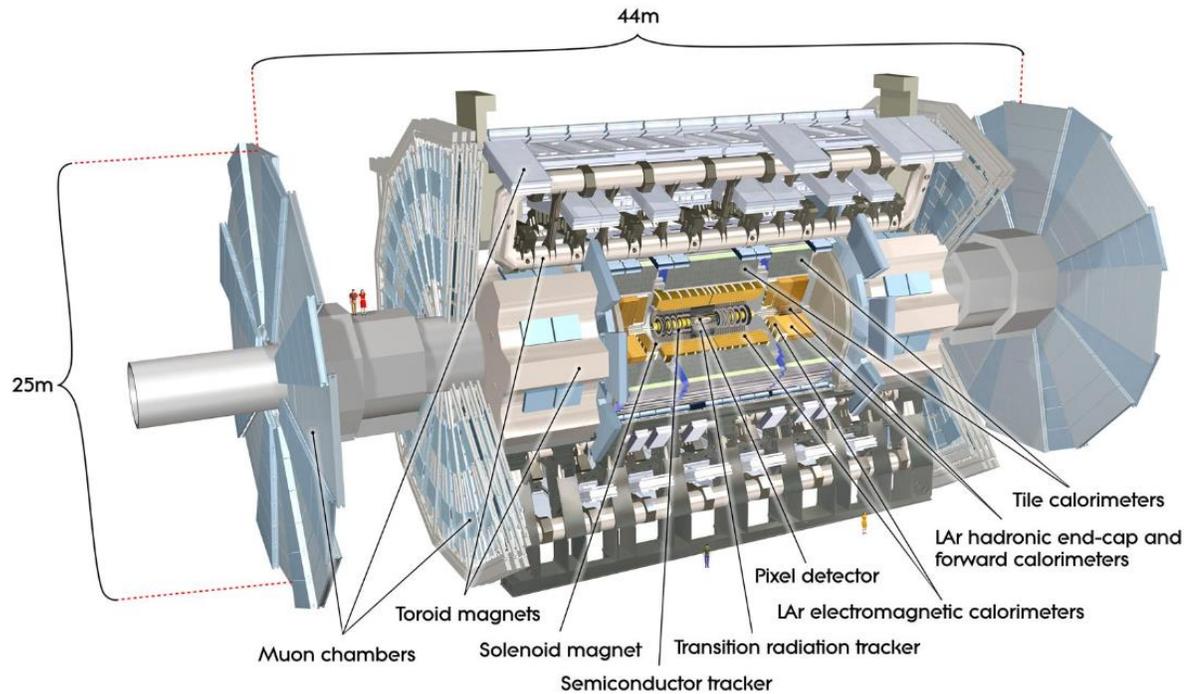
❖ **Gestione delle perdite**

- ❖ Prove di tenuta
- ❖ Strumenti per la ricerca delle perdite

❖ **Alcuni risultati**

- ❖ Valvole di non ritorno e di regolazione a bassissima pressione
- ❖ Misura della deformazione di un RPC

Gli RPC nell'esperimento Atlas



Total Gas Volume of the whole detector: **13490.3 l**

Number of gas layers: **2080** (one or two gas-volume cascade connections)

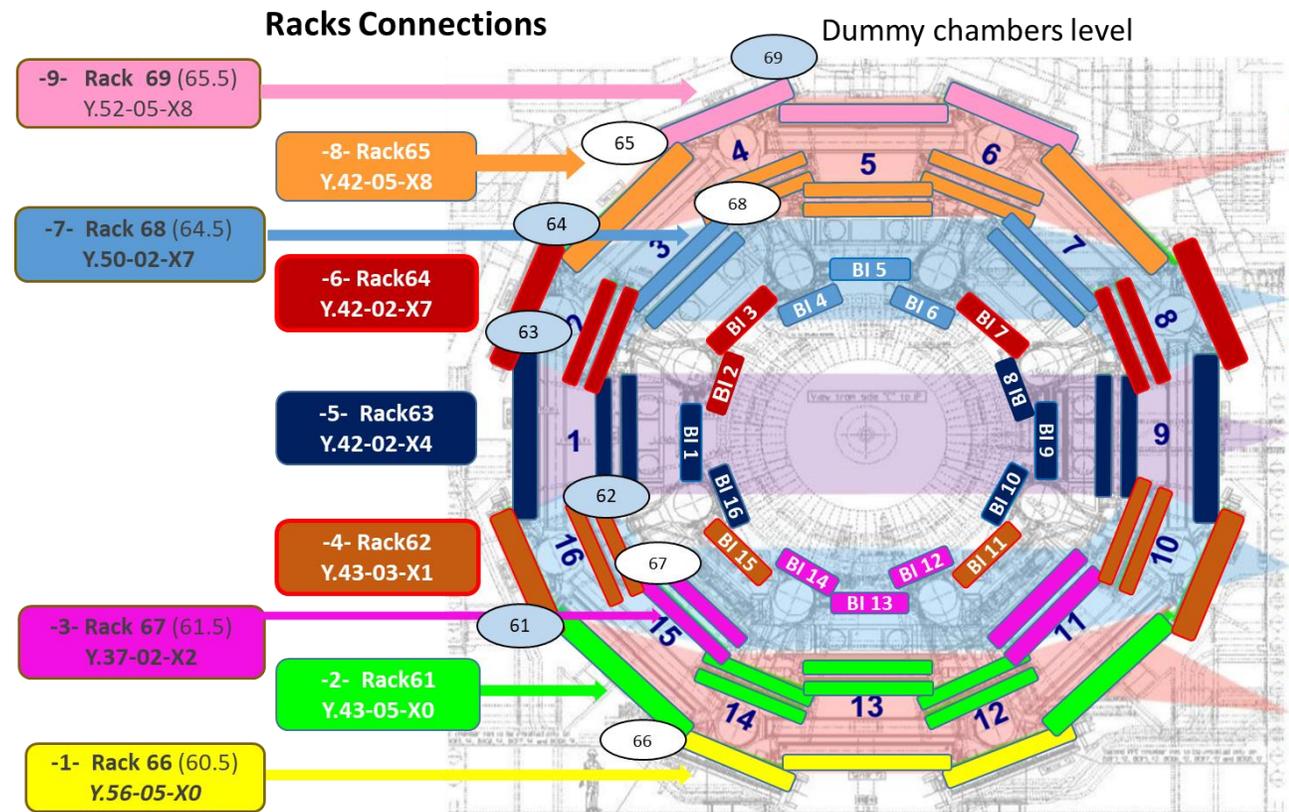
Number of Gas Volumes: **3592**

Total Gas Flow: **5000 l/h** (~ 1 volume exchange in 3 hours)

Breve panoramica del sistema di distribuzione del gas per gli RPCs di Atlas

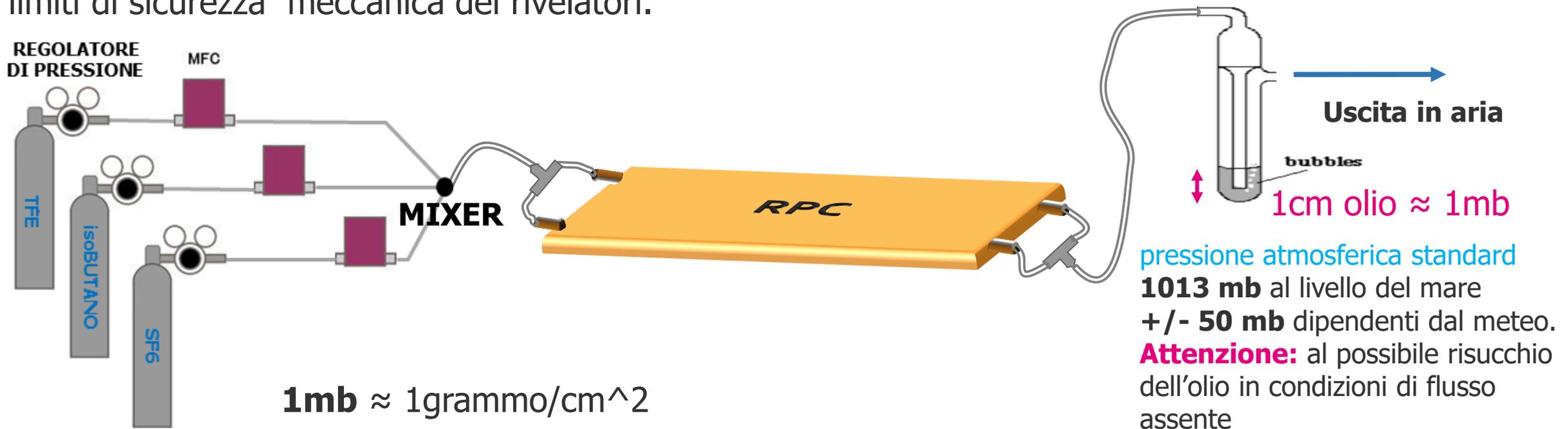
MISCELA UTILIZZATA : C₂H₂F₄(94.7%) : iso-C₄H₁₀ (5%) : SF₆ (0.3%)

Gas circolato a circuito chiuso e filtrato per l'eliminazione delle impurezze,
Per preservare la qualità del gas viene iniettata una piccola frazione di gas fresco che non può essere inferiore all'eventuale tasso di perdita sui rivelatori.
Il gas è distribuito su 9 livelli, in ognuno dei quali con un Rack di distribuzione è possibile regolare indipendentemente la pressione delle linee di ingresso e di ritorno a cui sono collegate le camere.



Ricambio del gas in un rivelatore ad elettrodi piani

I rivelatori ad elettrodi piani come gli RPC funzionano iniettando un flusso di gas fresco tale da garantire l'eliminazione delle impurezze prodotte nel loro regime di funzionamento. La pressione del gas al loro interno deve essere mantenuta molto vicina alla pressione atmosferica per non superare i limiti di sicurezza meccanica dei rivelatori.



Attenzione: per un rivelatore da **1 m²** \rightarrow **+10mb** equivalgono ad una forza applicata tra i piani di **100 kg** assolutamente **NON TRASCURABILE**.

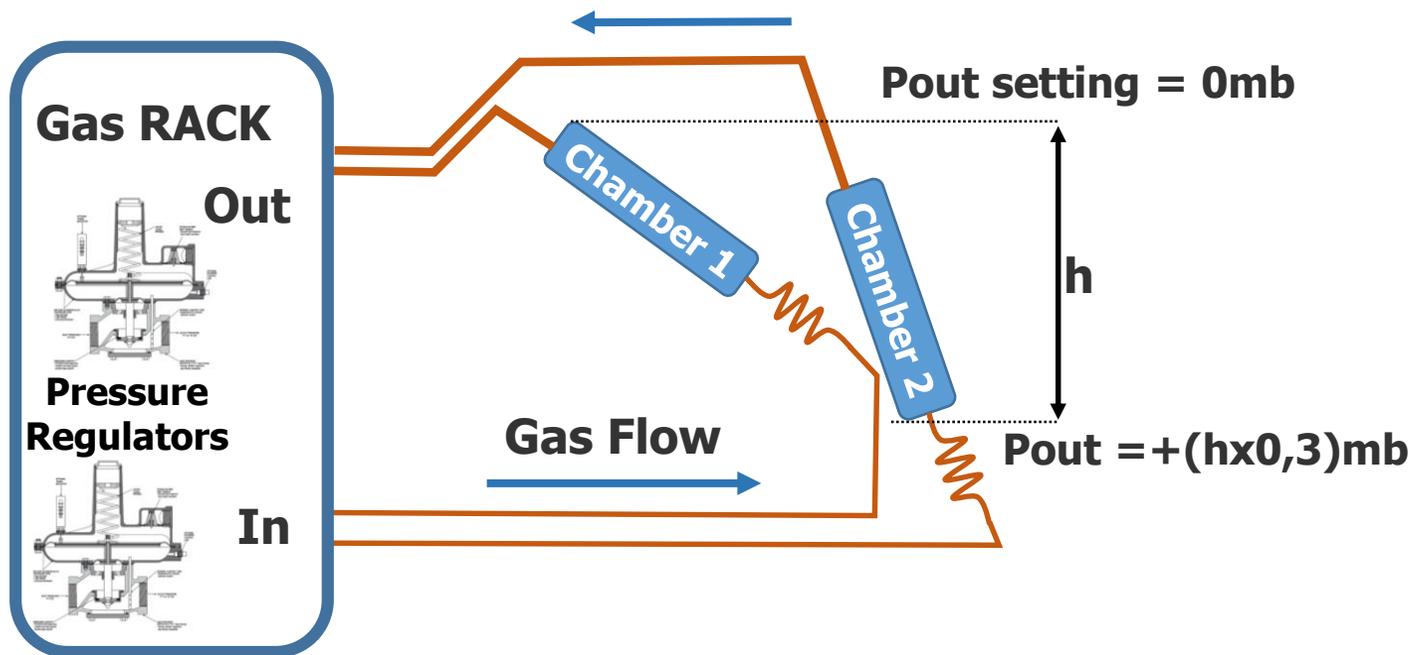
https://tecnogas.eu/wp-content/uploads/2024/04/Ebook_Guida-alla-gestione-e-allutilizzo-della-bombola-del-gas.pdf

La distribuzione per livelli

La miscela gassosa utilizzata è più pesante dell'aria →

Gas mixture hydrostatic Column ~ 0,3mb/m

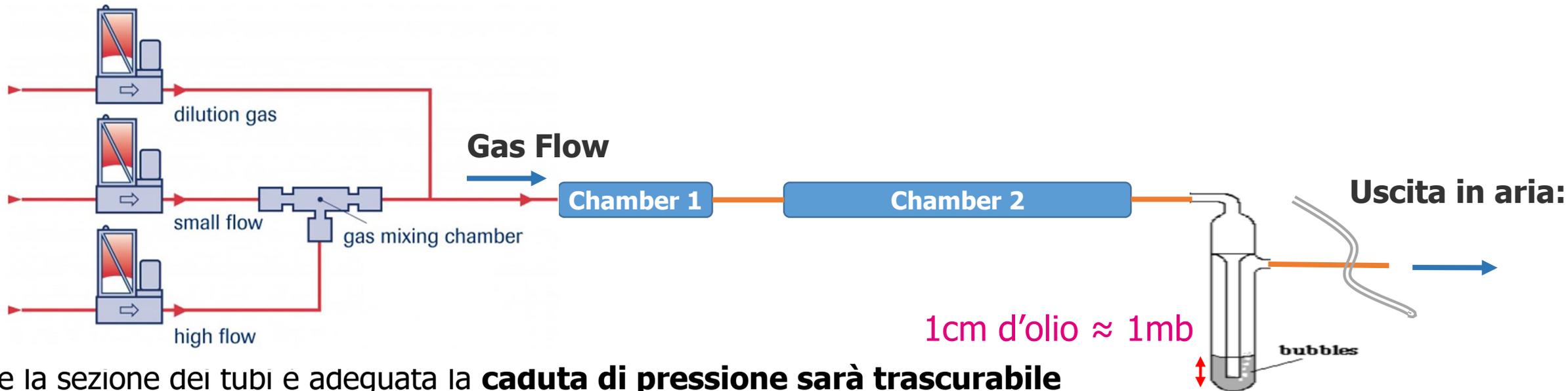
Un rivelatore con la miscela di funzionamento in cui ponessimo a zero la pressione sul lato più alto avrebbe sul lato inferiore, una pressione dovuta al peso del gas più alta $P = h \times 0,3 \text{ mb}$ il contrario accadrebbe se l'uscita a 0 mb fosse in basso, sul lato superiore misureremmo una pressione negativa.



ALCUNI CONSIGLI

- **la pressione non dovrebbe mai essere negativa** in tutto il sistema di distribuzione e specialmente nelle camere, pericolo di ingresso aria
- **meglio iniettare il gas dal basso** in caso di perdita in uscita la pressione del rivelatore non diventerà mai negativa, il rivelatore potrebbe funzionare anche con l'uscita in aria.

Distribuzione del flusso in serie



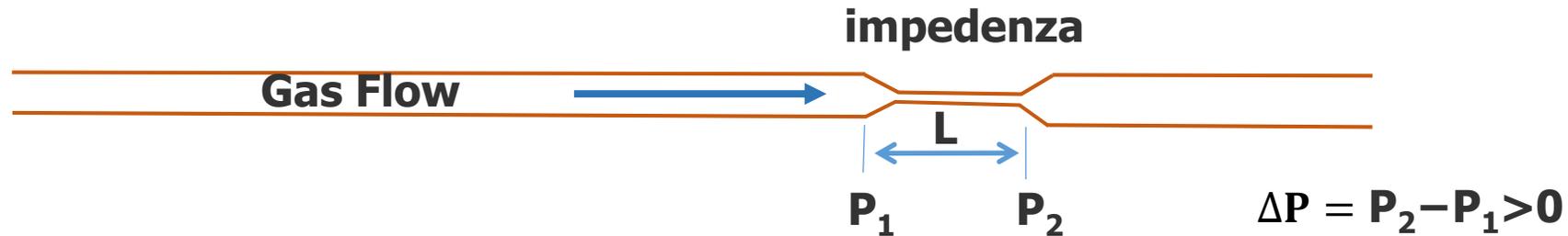
- se la sezione dei tubi è adeguata la **caduta di pressione sarà trascurabile sui collegamenti** e la pressione all'interno delle camere dipenderà solo dalla quantità di olio nel bubbolatore di uscita, che serve per evitare qualsiasi contaminazione del gas con l'aria dell'uscita
- tutti i rivelatori saranno attraversati dallo stesso flusso indipendentemente dalla loro area (non ottimale per rivelatori di diverse dimensioni)
- i rivelatori in coda saranno flussati con gas già inquinato dal funzionamento dei rivelatori precedenti

ATTENZIONE: se il punto di uscita in atmosfera è ad un livello superiore rispetto quello delle camere alla pressione dell'olio nel bubbolatore va aggiunta la pressione idrostatica del gas.

<https://www.bronkhorst.com/int/products/accessories-and-software/gas-mixing-chambers/>

Le impedenze

Un componente molto utile per la corretta distribuzione del flusso che qui chiameremo semplicemente **impedenza** è costituito semplicemente da un tratto di condotta con una sezione molto più piccola del resto dell'impianto dove a causa del flusso previsto si misura una caduta di pressione tra i due estremi.



In fluidodinamica, la formula di **Hagen-Poiseuille** è la **legge fisica** che permette di mettere in **relazione la caduta di pressione e la portata** delle condutture, valida per fluidi incompressibili, newtoniani e in regime laminare.

$$\Delta P = \frac{8\mu L}{\pi r^4} \Phi$$

μ	è la viscosità del gas
L	è la lunghezza del condotto
r	il raggio della sua sezione supposta circolare
Φ	è la portata volumetrica

Per il flusso di gas richiesto solitamente dai rivelatori, la miscela di gas si approssima abbastanza bene ad un gas ideale e, per le piccole cadute di pressione considerate, al comportamento di un fluido incompressibile.

Il componente reale

Per i flussi normalmente usati negli RPC e per cadute di pressione di qualche millibar le sezioni utili per la costruzione delle impedenze sono dell'ordine di qualche decimo di millimetro (vista la dipendenza dalla 4 potenza del raggio, **l'impedenza dipenderà fortemente dalla sezione della restrizione utilizzata**). Non esistono sul mercato componenti economici compatibili con queste specifiche ma è possibile utilizzare molto proficuamente i comuni aghi usati per il dosaggio dei fluidi che hanno tolleranze abbastanza strette e sono disponibili con una varietà di diametri e lunghezze che ben si adattano alle nostre applicazioni.



TE Tips Series

- Stainless-steel cannula with a double Helix polypropylene hub
- Burr-free and electro-polished cannula for unobstructed and consistent material flow
- Silicone and chloride free
- Sold in packs of 50

Gauge	1/4" (6.35 mm)	1/2" (12.7 mm)	1" (25.4 mm)	1-1/2" (38.1 mm)
14		914050-TE	914100-TE	914150-TE
15		915050-TE	915100-TE	915150-TE
18	918025-TE	918050-TE	918100-TE	918150-TE
20	920025-TE	920050-TE	920100-TE	920150-TE
21	921025-TE	921050-TE	921100-TE	921150-TE
22	922025-TE	922050-TE	922100-TE	922150-TE
23	923025-TE	923050-TE	923100-TE	923150-TE
25	925025-TE	925050-TE		
27	927025-TE	927050-TE		
30	930025-TE	930050-TE		
32	932025-TE			
34	934025-TE			

Color Coding and Gauge For TE Series and TE Bent Tips			
Gauge	Colour	I.D. (inches)	I.D.(mm)
14	Olive	0.063	1.600
15	Amber	0.054	1.371
18	Green	0.033	0.838
20	Pink	0.024	0.610
21	Purple	0.020	0.508
22	Blue	0.016	0.406
23	Orange	0.013	0.330
25	Red	0.010	0.254
27	Clear	0.008	0.203
30	Lavender	0.006	0.152
32	Yellow	0.004	0.102
34	Lime Green	0.0037	0.095

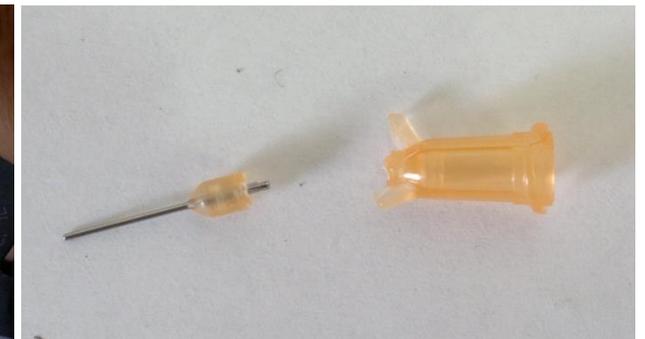
<https://www.metcal.com/wp-content/uploads/2024/02/Metcal-Fluid-Dispensing-Tips.pdf?nocache=1>

Suggerimento:

sezioni più piccole di quelle disponibili si possono ottenere inserendo un filo metallico all'interno dell'ago

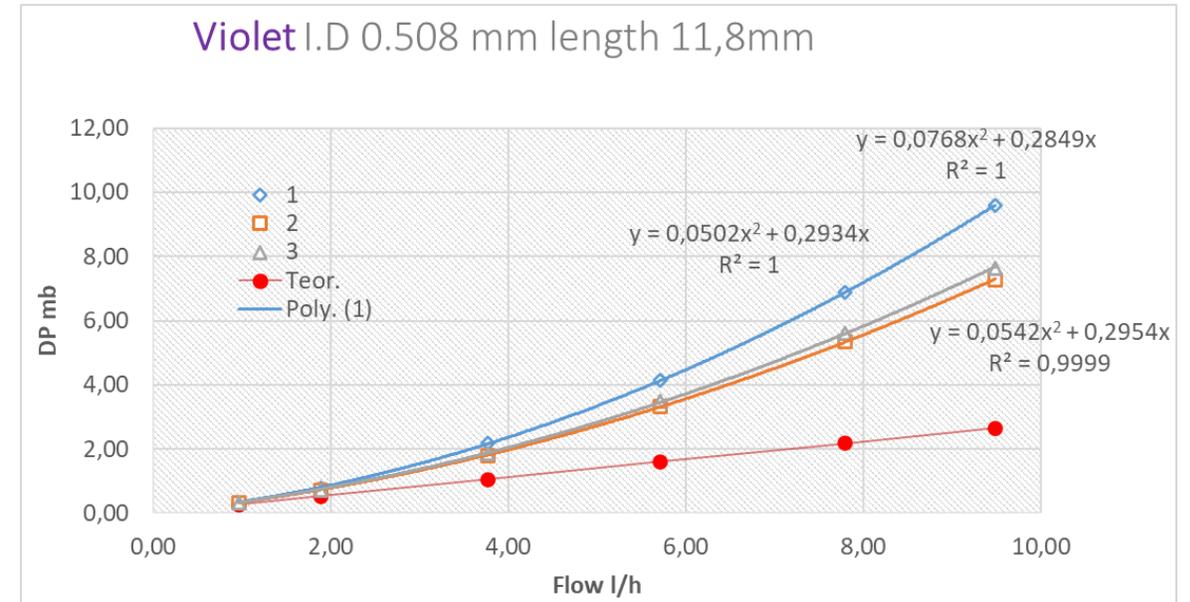
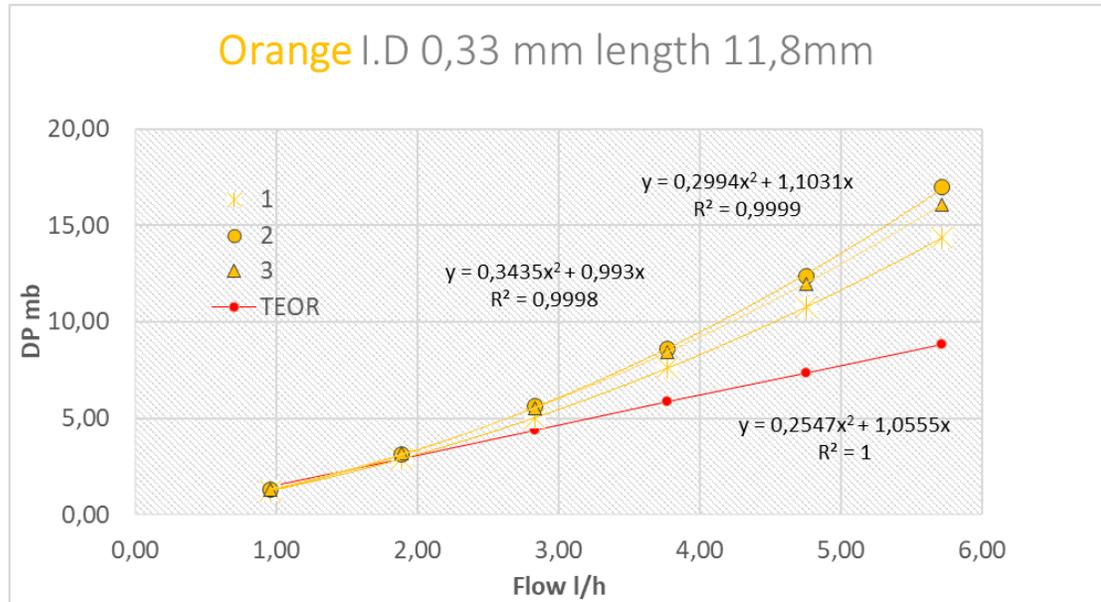
Costruzione delle impedenze

Un problema di questa tipologia di aghi è il sistema di connessione studiato per le siringhe di dosaggio con attacco *Luer Lock* che non si adatta in modo semplice alle connessioni usate generalmente per la distribuzione del gas. Un modo semplice e abbastanza efficace per utilizzare questi aghi è quello di inserirli all'interno di un tubo standard di diametro esterno 4mm.



Curve di taratura e test

Per verificare che le tolleranze di costruzione degli aghi di dosaggio siano accettabili per la nostra applicazione è bene fare dei test studiando la caratteristica Pressione-Flusso usando il gas della miscela standard.



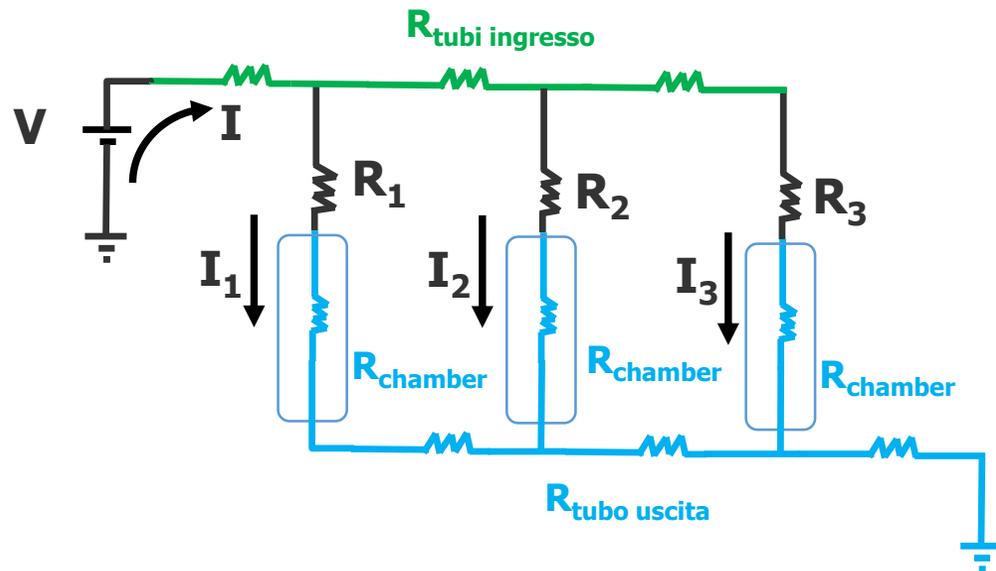
Anche se nel range di flusso riportato nelle misure il flusso è sicuramente laminare, numero di Reynolds $\ll 2000$, le curve si discostano da quella teorica a causa delle discontinuità in ingresso e uscita sugli aghi, ma le deviazioni sono simili per ogni tipologia di ago. Se necessario per ottenere il valore di impedenza desiderato dove non sia disponibile la lunghezza e il calibro opportuni è anche possibile installarne due in serie sullo stesso tubo.

<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-0221/8/02/P02014>

L'analogia con la legge di Ohm

La **legge di Poiseuille** ha forti analogie con la con la **legge di Ohm**: la differenza di potenziale è l'equivalente della differenza di pressione, mentre la corrente elettrica è l'equivalente della portata. L'unica differenza è che per la legge di Poiseuille la conduttanza è proporzionale alla quarta potenza del raggio del conduttore e non al quadrato come per la legge di Ohm.

Ragionando come per i circuiti elettrici, è facile capire come dividere un flusso iniziale



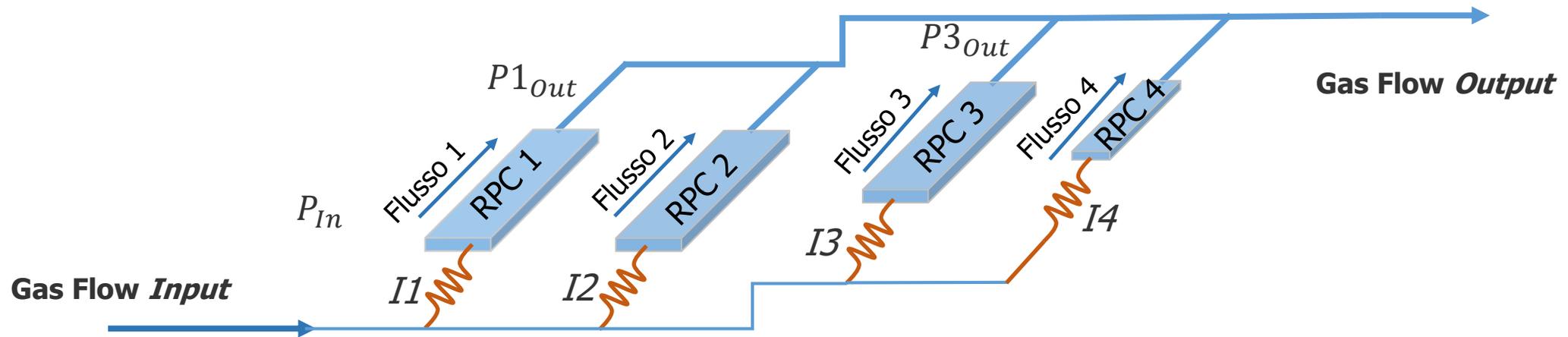
Se le cadute di pressione sui tubi dell'impianto sono piccole, come anche per costruzione, le cadute di pressione sui rivelatori rispetto le cadute di pressione sulle impedenze si avrà:

$$R_{\text{tubi ingresso}}, R_{\text{tubi uscita}}, R_{\text{chamber}}, \ll R_1, R_2, R_3$$

In questa approssimazione le correnti e quindi i flussi I_1, I_2, I_3 dipenderanno solo dalla scelta della rispettiva R_1, R_2, R_3

ATTENZIONE: invertendo la posizione dell'impedenze, spostandole sul lato dell'uscita, la corrente non cambia ma la caduta di tensione porta la camera ad una pressione più alta pari alla caduta di carico sull'impedenza utilizzata. **Nello schema a sinistra la tensione sulla camera passa da 0 a V**

Distribuzione del flusso in parallelo



Il flusso di gas necessario su ogni rivelatore è definito dalla velocità con cui dobbiamo cambiare il gas al suo interno per un corretto funzionamento, in genere come unità si usano i ricambi di volume in un certo tempo, ore o giorni.

$$\text{Flusso} \left[\frac{\text{litri}}{\text{ora}} \right] = \frac{\text{Ricambi in } n \text{ ore} \times \text{Volume rivelatore [l]}}{n}$$

Trascurando le cadute di pressione lungo i tubi di distribuzione, se la pressione di uscita P_{Out} fosse sempre trascurabile cioè $P_{Out} \ll P_{In}$ su ogni impedenza avremmo la stessa caduta di pressione $\Delta P = P_{In}$ e i flussi su ogni camera dipenderanno solo dal loro valore ricavabile con la legge di *Poiseuille* e/o dalle curve di taratura degli aghi con la miscela utilizzata.

P_{In} non può essere scelto troppo piccolo altrimenti il flusso dipenderebbe anche da P_{Out} che può variare sia in presenza di perdite che soprattutto nel caso le camere fossero poste a quote differenti, in genere valori ragionevoli per P_{In} vanno da 3 mb a 8mb.

ATTENZIONE: la pressione di ingresso delle impedenze è indipendente da quelle delle camere ma: in caso di errori di connessione o uscite tappata è la pressione che ci ritroveremo all'interno delle camere.

<https://detector-gas-systems.web.cern.ch//Tools/deltaP.htm>

Scelta del materiale per i tubi di connessione

Il materiale più sicuro per tubazioni e connessioni è il metallo (acciaio inox o rame)

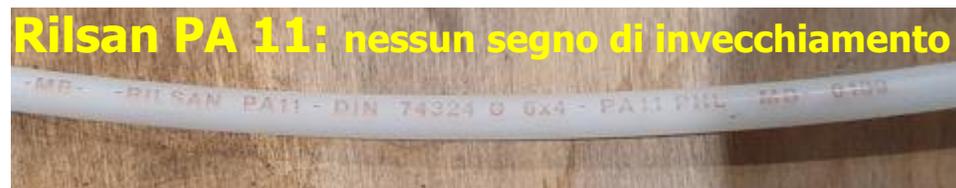
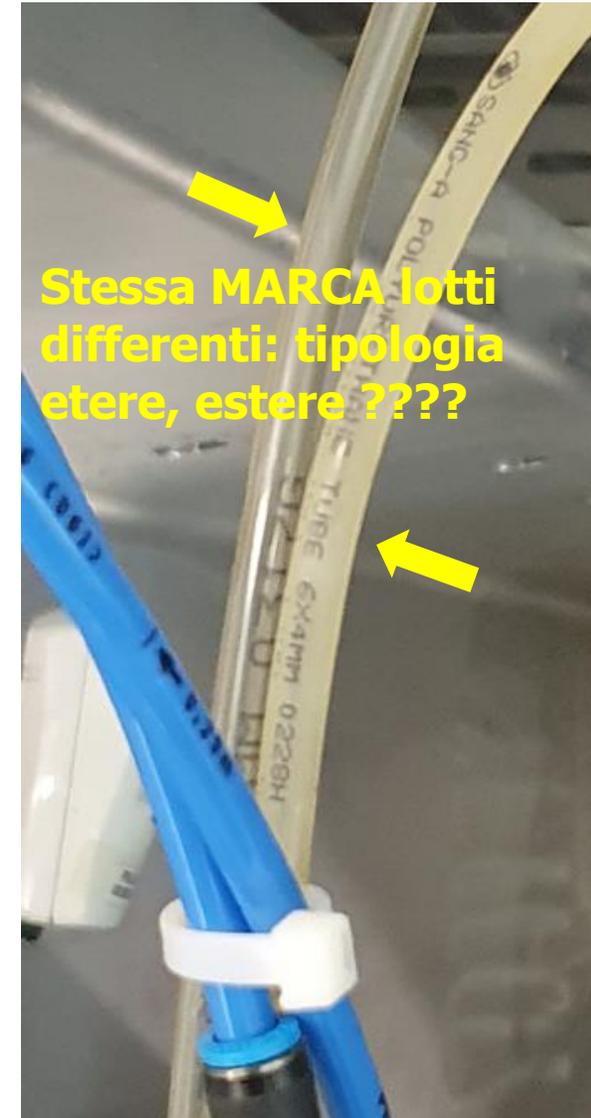
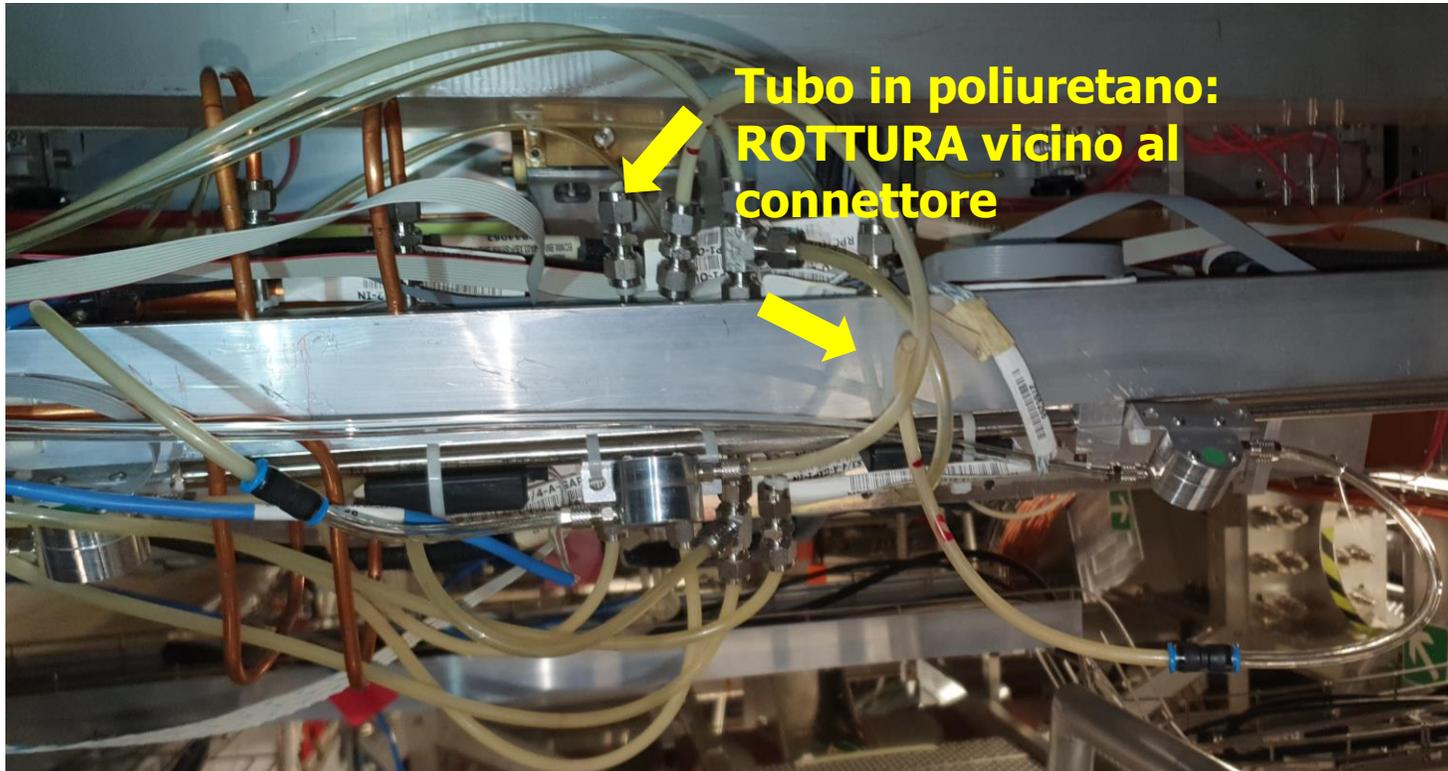
Vantaggi: perfetta impermeabilità alla miscela di gas, all'ossigeno e umidità

Svantaggi: Costo difficoltà di lavorazione e gestione, vicinanza degli attacchi al piano di alta tensione.



Non sempre l'utilizzo di tubi di materiale plastico è evitabile ma va valutato con molta attenzione, visti i molti problemi che si sono registrati in passato dovuti ai cedimenti inaspettati e a differenze di comportamento dipendenti anche dai lotti di produzione

Dopo quasi 20 anni di esercizio



Alcuni materiali utilizzati

Tygon 3603: ottime caratteristiche di resistenza chimica, ma molto soffice tende facilmente a schiacciarsi, costoso.

PTFE: ottima resistenza chimica e alla temperature, bassa resistenza alle radiazioni non sempre permesso nelle aree sperimentali, costoso.

Poliammide: esiste in differenti tipologie il PA 11 ha resistito ottimamente ad anni di esercizio in Atlas ma è abbastanza rigido.

Poliuretano: risultati di invecchiamento molto variabili esiste in due versioni Etere Estere, la prima resistente all'idrolisi è **il materiale base attualmente usato per i nuovi RPC di Atlas**



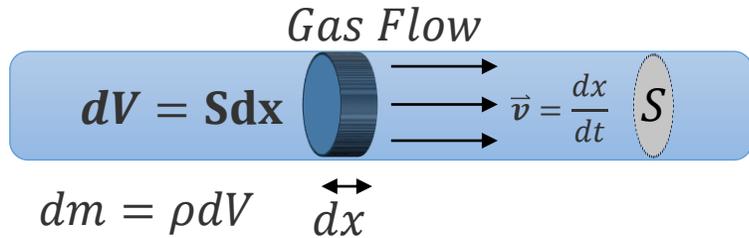
Risultati prova di immersione di durata settimanale in soluzione di HF al 10%
Il tubo blu è poliuretano Festo PUN si è sgretolato semplicemente toccandolo
Il verde è poliuretano Festo resistente all'idrolisi PUN-H da 6 mm e il nero della stessa famiglia ma diametro esterno 2mm non hanno subito danneggiamenti visibili

<https://www.ics.saint-gobain.com/tygon-tubing-accessories/thermoplastic-elastomer-flexible-tubing/tygon-e-3603>

<https://www.mebraplastik.com/materia-prima/poliuretano/etere>

https://www.festo.com/it/it/p/tubo-in-plastica-id_PUN_H/

Misure di flusso



Portata in volume: $Q_V = \frac{dV}{dt} = v \cdot S$

Portata in massa: $Q_m = \frac{dm}{dt} = \rho \cdot Q_V$

v è la velocità del flusso supposto uniforme su una sezione trasversale piana di superficie S

$$Q_V = \frac{Q_m}{\rho}$$

Per un gas la portata volumetrica Q_V dipenderà dalla densità ρ e quindi da pressione e temperatura

Per permettere il confronto delle portate in condizioni differenti si riferiscono a una temperatura T_r e una pressione P_r di riferimento. Queste condizioni sono definite da alcune norme, le più usate sono:

Condizioni normali (NTP, dall'inglese Normal Temperature and Pressure $T_r = 0^\circ\text{C} = 273,15^\circ\text{K}$; $P = 1\text{atm} = 1013\text{mb}$)

Condizioni standard in inglese Standard Reference Conditions $T_r = 0^\circ\text{C} = 273,15^\circ\text{K}$; $P = 1\text{atm} = 1013\text{mb}$)

Per calcolare il fattore di correzione per passare alla temperatura e pressione attuale si usa la legge di stato dei gas perfetti

$$Q_V(T, P) = \frac{P_r}{P} \frac{T}{T_r} Q_{Vr}(T_r, P_r)$$

Per esempio a 20°C e 1030mb $1\text{ l}_n/\text{h}$ equivale a $\frac{1013}{1030} \frac{293,15}{273,15} = 1.055\text{ l/h}$

correzione *quasi sempre trascurabile* alle nostre condizioni di lavoro

Sistemi per la misura del flusso

1. Conteggio delle bolle (bubbolatore):

molto immediato ogni bolla vale c.ca $0,3 \text{ cm}^3$ ma scarso range e linearità

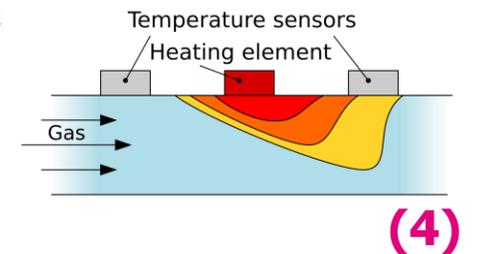
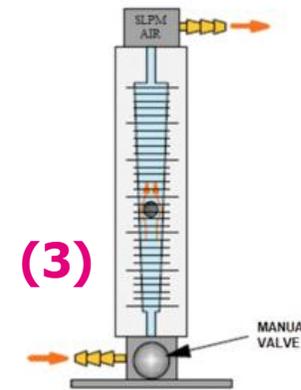
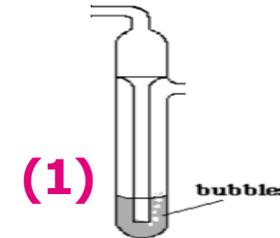
2. Caduta pressione su un impedenza calibrata:

molto sensibile e precisa ma la caduta di pressione non può essere trascurabile

3. Flussimetro ad aerea variabile o rotametro

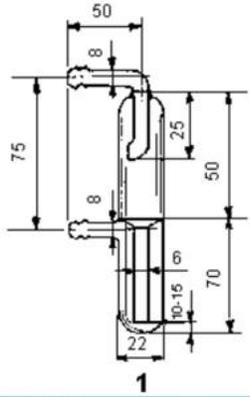
4. Misura della capacità di dispersione termica del flusso:

È il sistema usato in quasi tutti i MFC con ottima precisione, basse cadute di pressione, gli strumenti disponibili sono abbastanza costosi

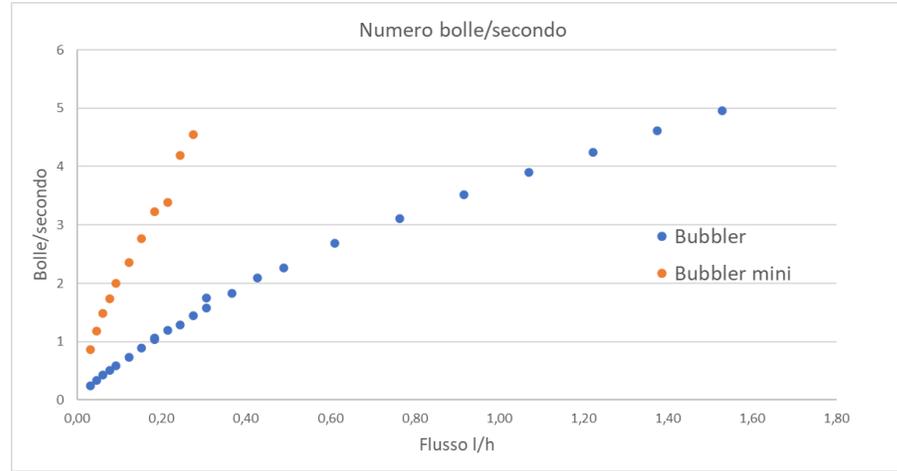


Nota bene: con i primi due metodi si misura la portata volumetrica con il terzo e il 4 la portata massica.

Bubbolatori



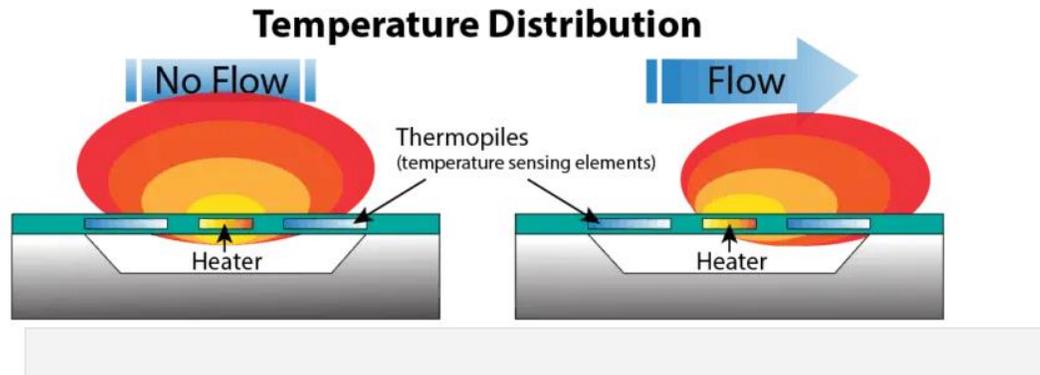
Bubbolatore con volume recupero olio



1. Il flusso li può attraversare in una sola direzione (analogia con il diodo) l'aria in uscita non può entrare nella camera in nessuna condizione.
2. Il livello d'olio può essere utile per regolare la pressione di uscita di una camera o per creare una valvola di sicurezza.
3. Il numero di bolle nel tempo è proporzionale alla portata volumetrica del gas
4. Se possibile sempre meglio usare il tipo con camera di sicurezza per il recupero dell'olio in caso di $P_{in} < P_{out}$ per cui l'olio verrebbe risucchiato verso la camera



Regolazione del flusso



$$\Delta T \propto K / q_m \times C_p$$

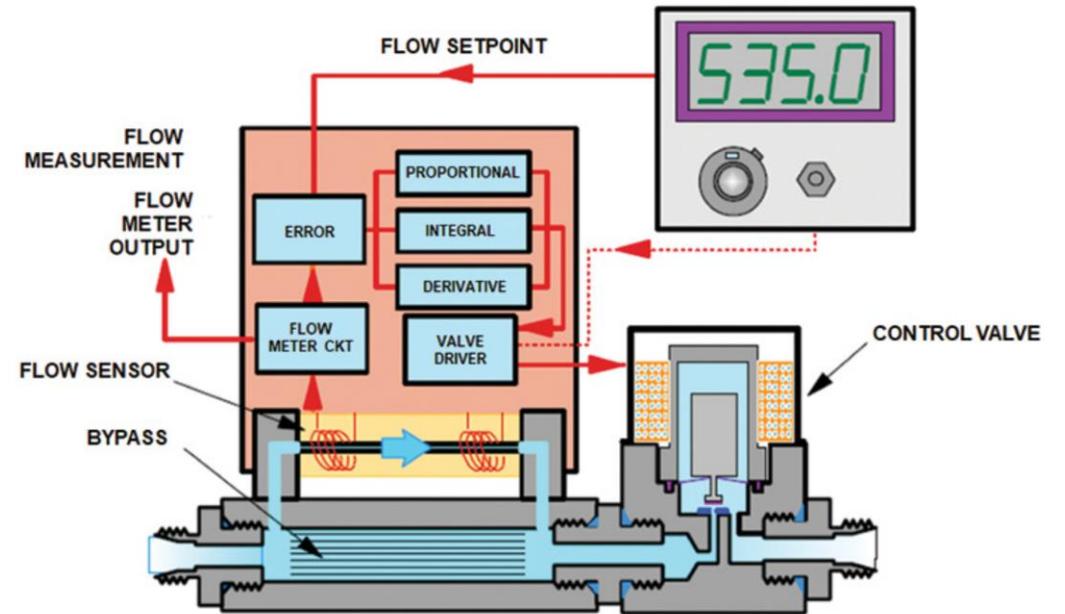
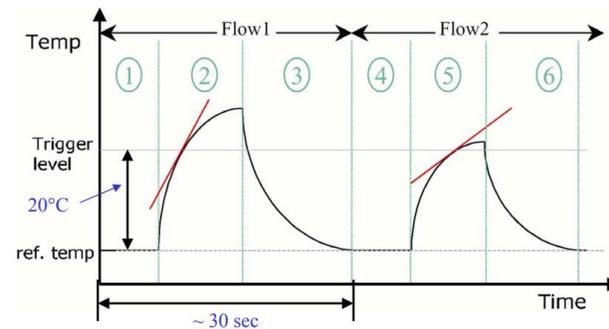
ΔT : temperature differential
 K : meter coefficient
 q_m : mass flow rate
 C_p : thermal capacitance

Thermal Mass Flow Controllers



EP-TA1 Gas

How it works



<https://www.mks.com/mass-flow-technology-technote>

Intercalibrazione con gas diversi

❑ Thermal Gas Mass Flow Meters sensitivity from TFE to inert

	K relative to N ₂	Cp (Cal/g)	Density (g/l)
TFE C ₂ H ₂ F ₄	.51	.127	4.22
Air or Nitrogen	1	.24	1.29
Ar	1.45	1.24	1.78
CO ₂	.74	0.20	1.96

$$Q_{Ar} = \frac{K_{Ar}}{K_{TFE}} Q_{TFE}$$

$$Q_{Ar} = 2.84 Q_{TFE}$$

$$Q_{Air} = 1.96 Q_{TFE}$$

$$Q_{CO_2} = 1.45 Q_{TFE}$$

$$K_{gas} = \frac{1}{d \times C_p}$$

where d = gas density (gram/liter)

C_p = coefficient of specific heat (cal/gram)

$$K = \frac{Q_a}{Q_r} = \frac{K_a}{K_r}$$

where Q_a = mass flow rate of an actual gas (sccm)

Q_r = mass flow rate of a reference gas (sccm)

K_a = K factor of an actual gas

K_r = K factor of a reference gas

APPENDIX 2
GAS FACTOR TABLE ("K" FACTORS)

⚠ **CAUTION:** K-Factors at best are only an approximation. K factors should not be used in applications that require accuracy better than +/- 5 to 10%.

ACTUAL GAS	K FACTOR Relative to N ₂	Cp [Cal/g]	Density [g/l]
Acetylene C ₂ H ₂	.5829	.4036	1.162
Air	1.0000	.240	1.293
Allene (Propadiene) C ₃ H ₄	.4346	.352	1.787
Ammonia NH ₃	.7310	.492	.760
* Argon Ar	1.4573	.1244	1.782
* Argon AR-1 (>10 L/min)	1.205	.1244	1.782
Arsine AsH ₃	.6735	.1167	3.478
Boron Trichloride BCl ₃	.1080	.1270	5.327
Freon-113 CCl ₂ FCClF ₂	.2031	.161	8.360
Freon-114 C ₂ Cl ₂ F ₄	.2240	.160	7.626
Freon-115 C ₂ ClF ₅	.2418	.164	6.892
Freon-C318 C ₄ F ₈	.1760	.185	8.397
Germane GeH ₄	.5696	.1404	3.418
Germanium Tetrachloride GeCl ₄	.2668	.1071	9.565
* Helium He	1.454	1.241	.1786
* Helium He-1 (>50 L/min)	2.43	1.241	.1786
* Helium He-2 (>10-50 L/min)	2.05	1.241	.1786
Hexafluoroethane C ₂ F ₆ (Freon-116)	.2421	.1834	6.157
Hexane C ₆ H ₁₄	.1792	.3968	3.845
* Hydrogen H ₂ -1	1.0106	3.419	.0899
* Hydrogen H ₂ -2 (>10-100 L)	1.25	3.419	.0899

ARGON Peso atomico

39,948 u

ATOMI DIVERSI STESSO FATTORE DI CONVERSIONE

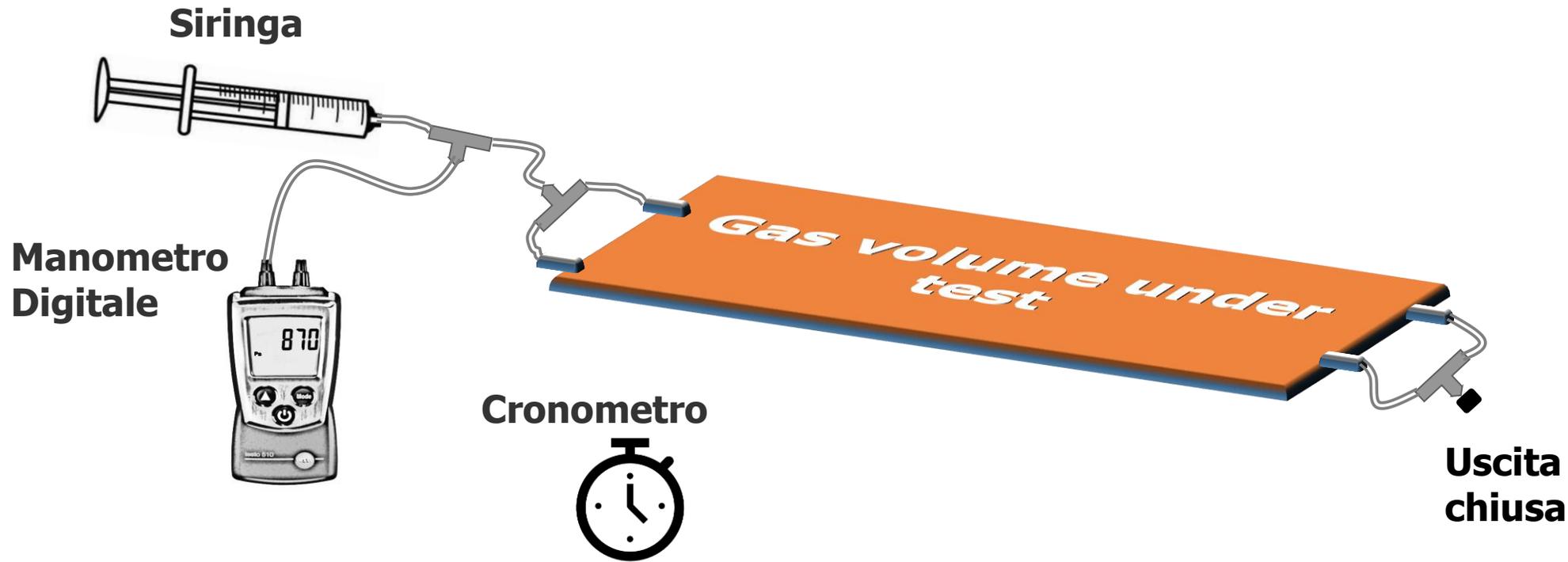
Il calore specifico di un gas perfetto dipende solo dal numero di gradi di libertà delle sue molecole

ELIO Peso atomico

4,002602 u

<https://assets.omega.com/manuals/M2898.pdf>

Test di tenuta



Si aumenta la pressione della camera di qualche millibar sopra la pressione atmosferica → si aspetta fino a che il valore letto sul manometro si sia stabilizzato (almeno 30 ") e si legge la pressione sullo strumento → si aspetta un tempo T (in genere un minuto) e si confronta il valore di pressione sullo strumento con quello del passo precedente

Differenze fino a 0,02/0,03 mb assicurano una tenuta sufficiente

Valutazione della perdita

Per poter registrare le perdite in maniera quantitativa, si introduce il concetto di "**tasso di perdita**", indicato dal simbolo Q_L

quando in un serbatoio chiuso avente un volume di 1 l, in sovrappressione rispetto l'esterno, la pressione scende di 1 mbar in un secondo si ha un tasso di perdita $Q_L = 1 \text{ mbar} \cdot \text{l/s}$

Q_L si misura in $\text{mbar} \cdot \text{l/s}$ o in STD cc/s $\rightarrow 1 \text{ mbar l/s} = 0,987 \text{ STD cc/s}$

In ATLAS the acceptable gas leak rate shall be $<10^{-3}$ std cc/sec ($<1.01 \times 10^{-3}$ mbar l/sec) at working nominal pressure and ambient temperature.

Con il limite usato nel test della pagina precedente abbiamo:

RPC Vol=2l ; $\Delta P < 0,02 \text{ mb}$; $\Delta t = 60\text{s}$

$$Q_L < \frac{0,02 \times 2}{60} = 6,6 \times 10^{-4} \text{ mbar l/s}$$

\rightarrow c.ca 20 litri anno non proprio trascurabile

Esempi orientativi di specifiche di perdita

Prodotto/sistema	Fuga mbar L/s	Commenti
Sistemi per processi chimici	$10^{-1} - 1$	Processi con elevato flusso di gas
Lattine per bevande	$10^{-7} - 10^{-6}$	Deve essere trattenuto il CO ₂
Sistemi per processi sotto vuoto	$10^{-7} - 10^{-5}$	Sistemi dinamici con piccole fughe accettabili
Air bag per automobili	$10^{-8} - 10^{-5}$	Deve essere garantita la loro operatività per un certo periodo
Packaging	$10^{-8} - 10^{-7}$	Si deve prevenire l'entrata di umidità o contaminanti
Stimolatori cardiaci	$< 10^{-9}$	Si deve garantire lunga vita una volta impiantati

Impatto delle perdite su un sistema reale

Per gli RPC di Atlas:

Volume totale gas nel rivelatore: 15 m³

Pressione media: 2mb

Flusso: 5 m³/ora

Perdita totale: 1 m³/ora c.ca 4,2 Kg ora → 3 t /mese

Anche a causa del **GWP del gas >1400** la perdita totale non è trascurabile

Quale sarebbe il tasso di perdita accettabile in un sistema del genere?

se ponessimo **100 l/h** come limite superiore per le perdite (**10 volte inferiore dell'attuale**) per un rivelatore da 1 m² gap da 2 mm e volume di 2 litri il tasso di perdita accettabile sarebbe

$$Q_L < \frac{100 \times 1000}{3600} \times \frac{2}{15000} \text{ [cc/s]} \sim 3,7 \times 10^{-3} \text{ mbar l/s} \quad *$$

Il limite di accettazione per il tasso di perdita dei nuovi RPC in produzione per l'upgrade di Phase 2 è circa un ordine di grandezza inferiore

** Con il test di tenuta della slide 23 0,1mb di caduta in un minuto sarebbe ancora un limite accettabile*

Metodi per la ricerca delle perdite

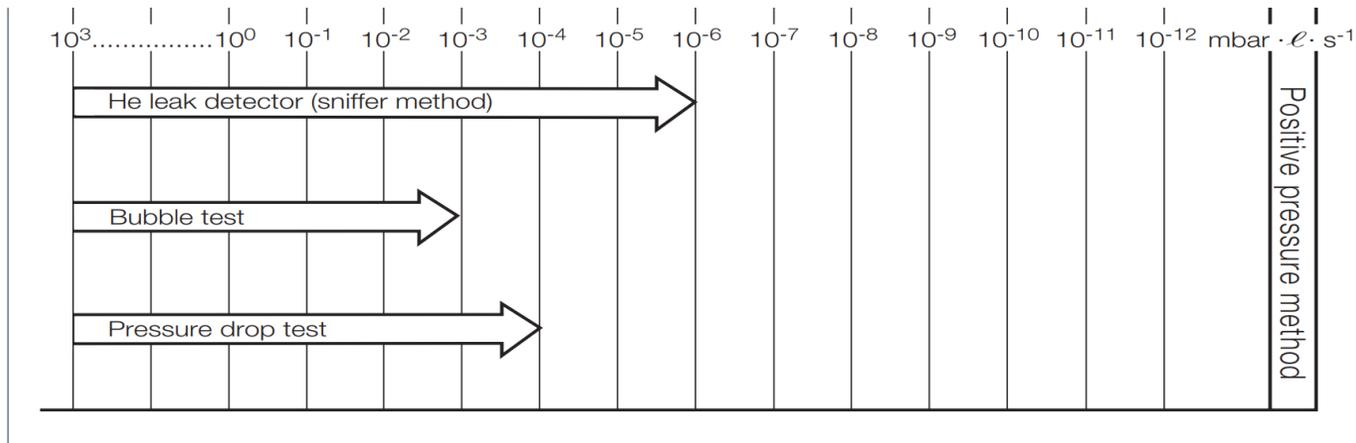


Fig. 2: Nature and detection limits of frequently used leak detection methods

Diameter	Leak rate in $\frac{\text{mbar} \cdot \ell}{\text{s}}$
10^{-2} m= 1,0 cm	10^4
10^{-3} m= 1,0 mm	10^2
10^{-4} m= 0,1 mm	10^0 (= 1)
10^{-5} m= 0,01 mm	10^{-2}
10^{-6} m= 1,0 μm	10^{-4}
10^{-7} m= 0,1 μm	10^{-6}
10^{-8} m= 0,01 μm	10^{-8}
10^{-9} m= 1,0 nm	10^{-10}
10^{-10} m= 1,0 Angström	10^{-12} (Detection limit of helium leak detectors)

Summary of Detectable Leak Rates	
PRESSURE DROP / RISE	1×10^{-2} cc/sec
Shelf life for 33cl can	1 hour
LIGHT DETECTION TEST	1×10^{-3} cc/sec
Shelf life for 33cl can	10 hrs
BUBBLE TESTING	1×10^{-5} cc/sec
Shelf life for 33cl can	6 weeks
DYE PENETRATION	1×10^{-6} cc/sec
HELIUM MASS SPECTROMETER	1×10^{-6} cc/sec
Shelf life for 33cl can	15 months

<http://www.ovec.co.uk/>

Gli Sniffer

GasCheck 3000 & 3000IS

Instrument User Manual V2.4



1) Elemento sensibile misura della conduttività termica del gas:

Vantaggi: utilizzabile con qualsiasi gas diverso dall'aria

Svantaggi: scarsa sensibilità e tempo di risposta

2) Elemento sensibile a diodo caldo:

Vantaggi: altissima sensibilità

Svantaggi: utilizzabile solo con gas fluorati, l'elemento sensibile va sostituito periodicamente

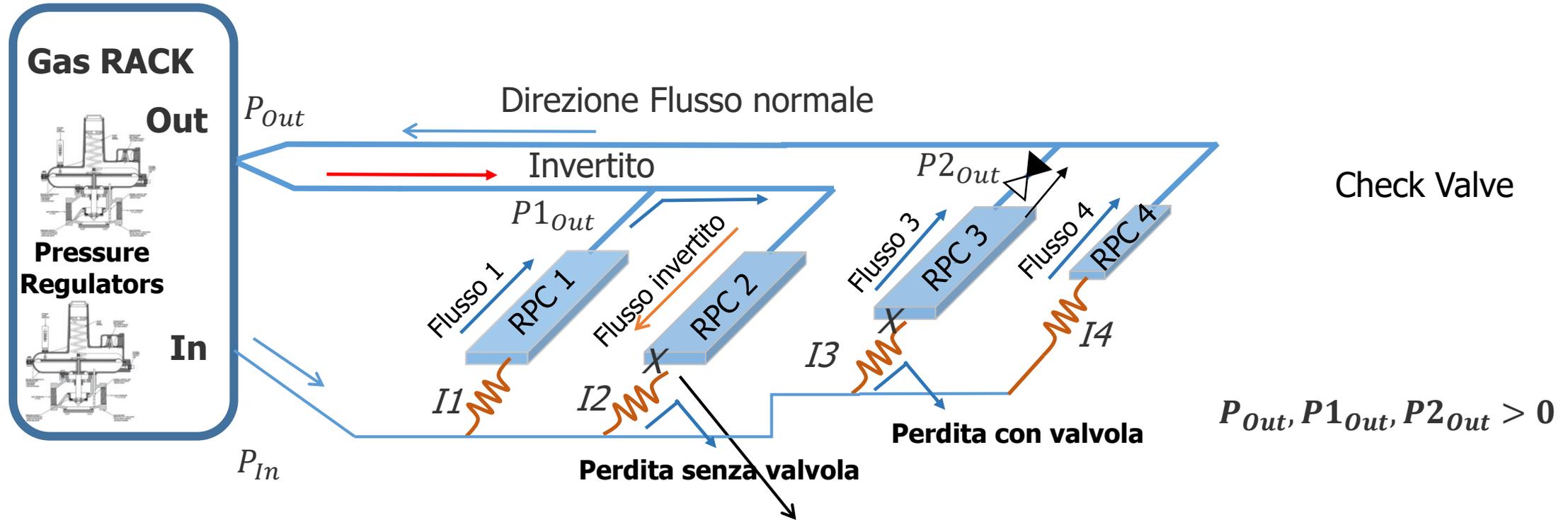
3) Elemento sensibile a infrarossi:

Vantaggi: altissima sensibilità ma meno di 2

Svantaggi: utilizzabile solo con gas fluorati, l'elemento sensibile ha una durata di esercizio maggiore di 2



Le valvole di non ritorno

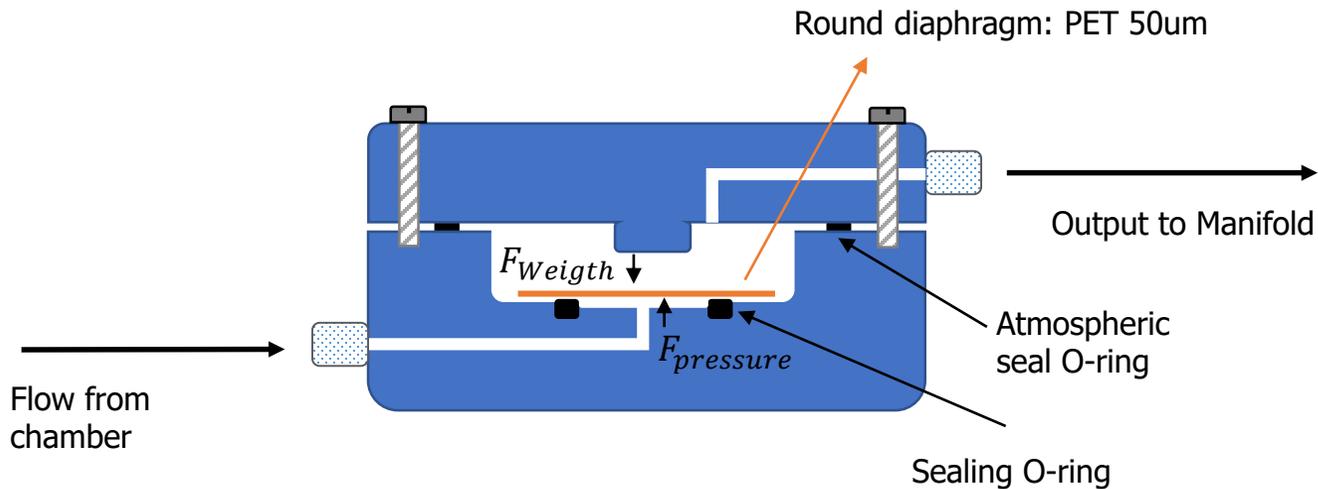


in caso di perdita su un rivelatore il flusso di ingresso è limitato dall'impedenza la perdita massima è il flusso nominale.

In uscita il collegamento è a bassa impedenza e nonostante le pressioni di uscita siano in genere molto basse possono essere sufficienti per generare perdite consistenti, il flusso dall'uscita può diventare talmente grande da convogliare nella perdita anche il flusso delle camere vicine. Per ovviare a questo problema si può installare in uscita di ogni camera una valvola di non ritorno (per analogia un diodo) che impedisca al flusso di circolare nella direzione opposta. Tale valvola deve avere una pressione di apertura bassissima $< 0,5$ mbar per non aumentare in modo non trascurabile la pressione interna delle camere.

Diapositive di riserva

Principle of operation of the custom valve



Valve installed horizontally open when the input Pressure force on the diaphragm exceed the weight force

$$F_{Pressure} > F_{Weight}$$

$$P_{Chamber} * A_{Diaphragm} > \rho_{PET} * g * A_{Diaphragm} * thickness$$

$$P_{Chamber} > \rho_{PET} * g * thickness$$

$$since 1mb \sim 1cm^2 H_2O \text{ and } \rho_{PET} \sim 1,5\rho_{H_2O}$$

$$\rightarrow P_{Open} \ll 1mb$$

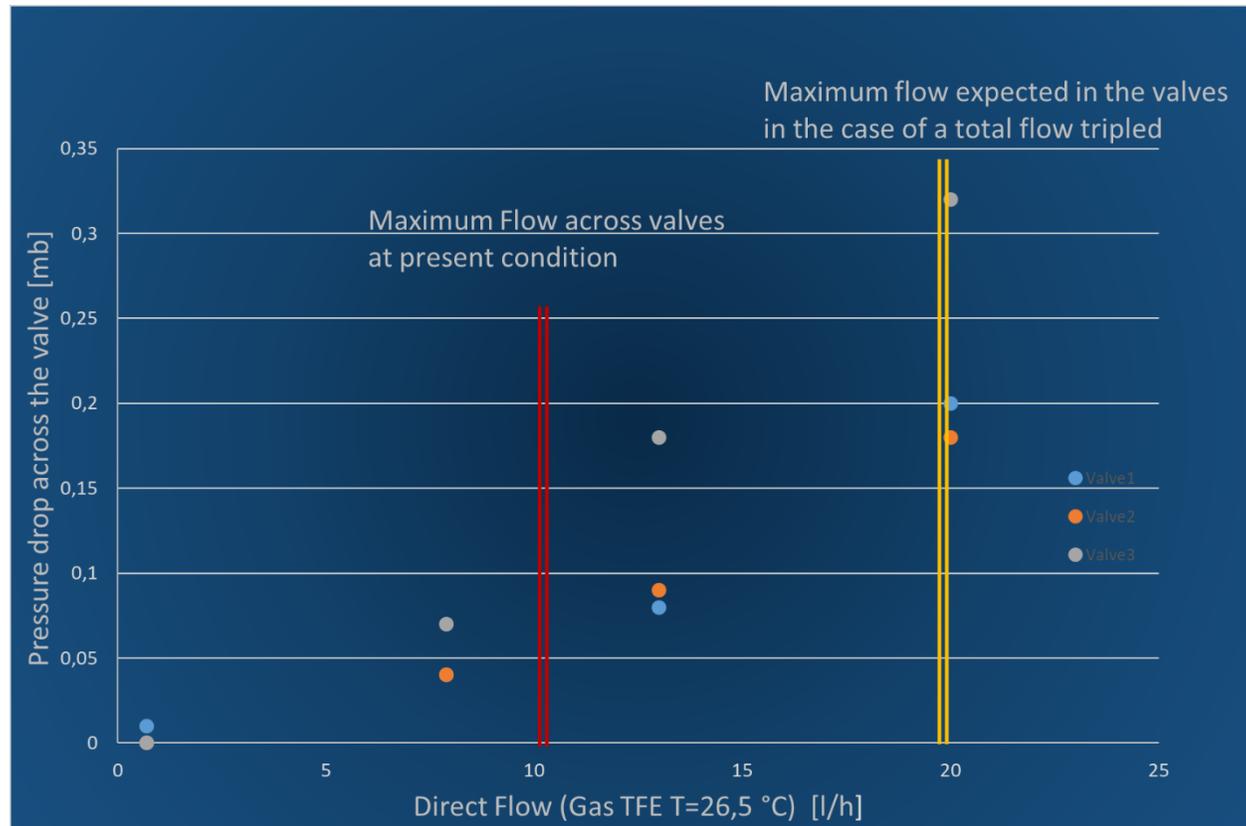


The valve is made of aluminum the screw are in stain steel, the gas connections are in brass the O-ring in NBR the same used in all the gas connectors of the present distribution.

The design takes in to account the adhesion forces of the PET disk to exclude any possible blockage of the valve even in the worst cases (oil or moisture inside) the pressure doesn't never rise above 2 mb before the valve opening

Check Valves measured performances

The prototypes of the valves were tested measuring the pressure drop at different flow and pressure in both direction



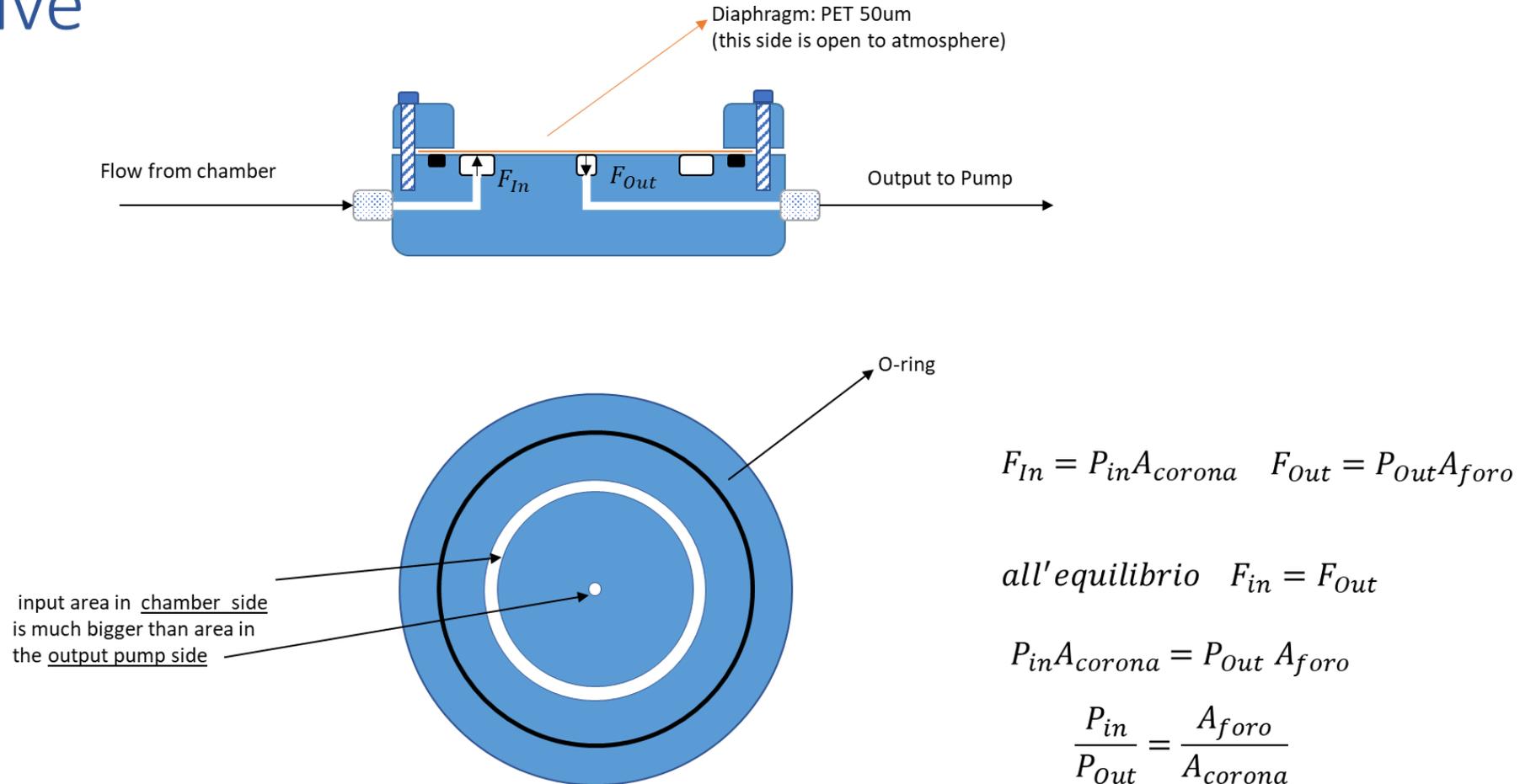
the maximum pressure drop measured for the prototypes with direct flow is less than 0.5 mb in every conditions

the maximum reverse flow with the output at 30 mb is less than 0,1 l/h

the valves positioning it is not critical tilted up to a maximum of 45° they continue to perform very well, even upside down the valves remain open.

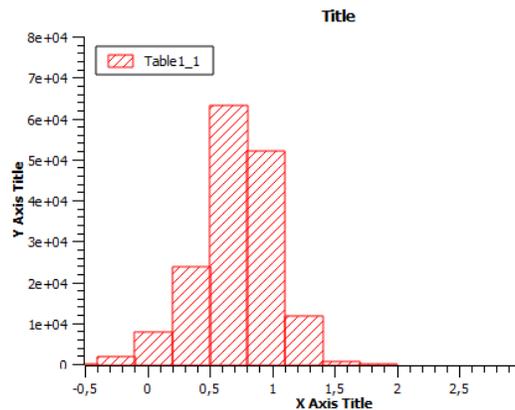
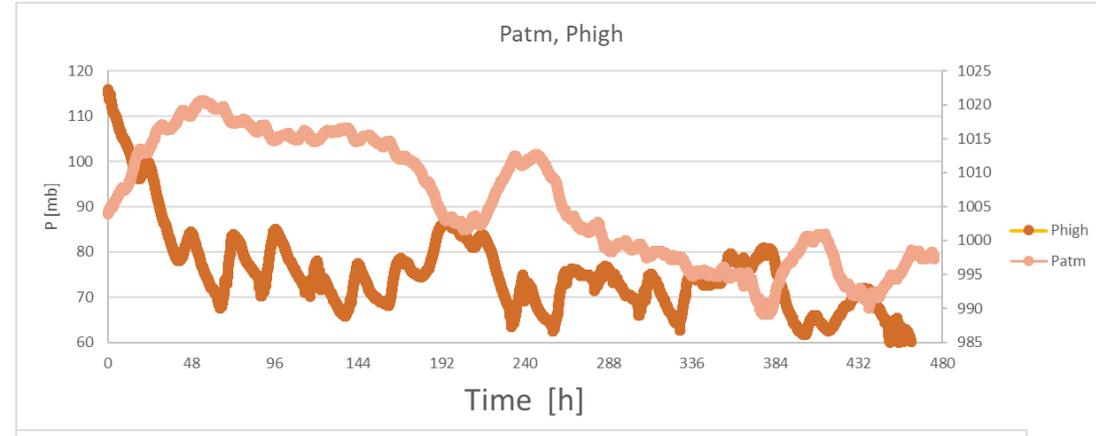
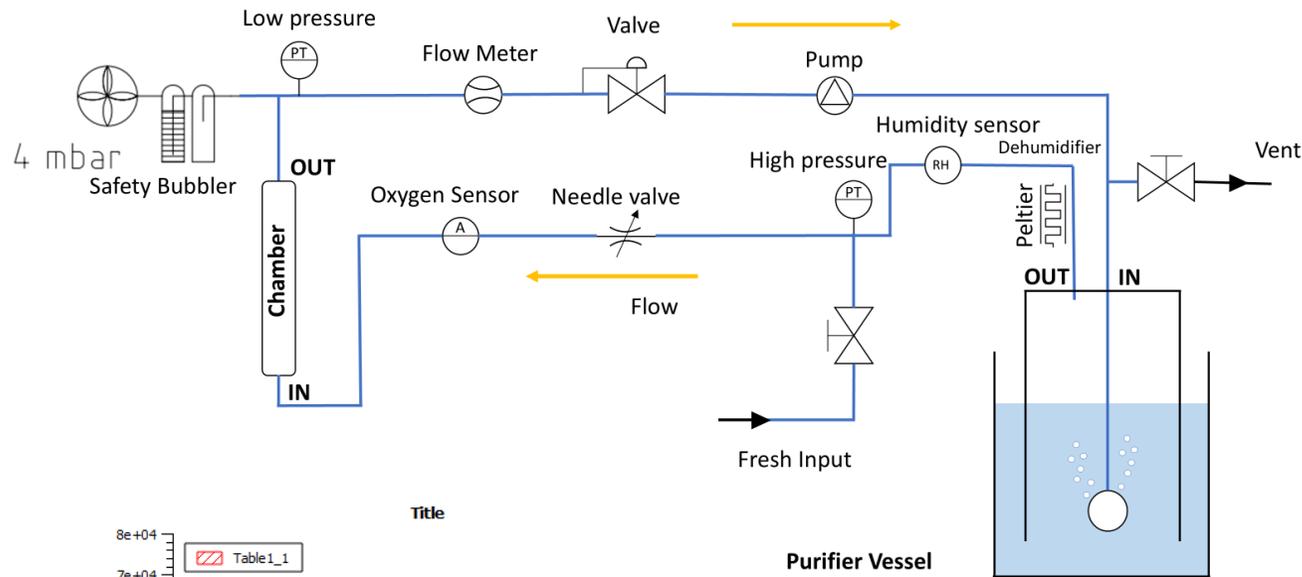
Valvola di disaccoppiamento pompa per aspirazione a pressione atmosferica

Valve



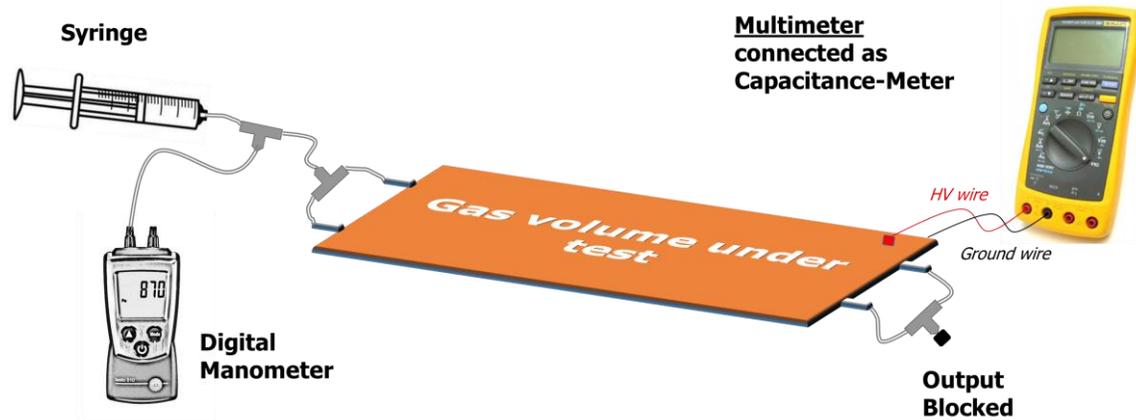
Utilizzo in un mini sistema di ricircolo

Test system



<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0168900224000597>

Misura della deformabilità di un RPC



- V_{C0} Gas Gap Volume @ P_{atm}
- V_{S0} Syringe Start Volume
- d_0 Gas Volume gap distance @ P_{atm}
- P Chamber Pressure with respect to the P_{atm}
- V_C Gas Gap Volume @ P
- V_S Syringe final Volume
- $V_{injected} = V_{S0} - V_S$
- $\Delta V = V_C - V_{C0}$ Gas volume expansion
- C_0 Gas Volume capacitance @ P_{atm}
- C Gas Volume capacitance @ P
- $\Delta d = d - d_0$ Gas volume average deformation

In the approximation of an isothermal process for an ideal gas

Capacitance measurement versus measured pressure

$$P_{atm}(V_{C0} + V_{S0}) = (P_{atm} + P)(V_C + V_S)$$

$$C = \epsilon_0 \frac{S}{(d_0 + \Delta d)} \quad \Delta d = \frac{C_0 d_0}{C} - d_0$$

$$V_C = \frac{P_{atm}(V_{C0} + V_{S0})}{(P_{atm} + P)} - V_S$$

$$\Delta V = V_C - V_{C0} \quad \Delta d = \frac{\Delta V}{S}$$

Valid only for small deformation : $\langle d \rangle \neq \langle \frac{1}{d} \rangle^{-1}$

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0168900223004370>

Alcuni risultati

3. Measurement results

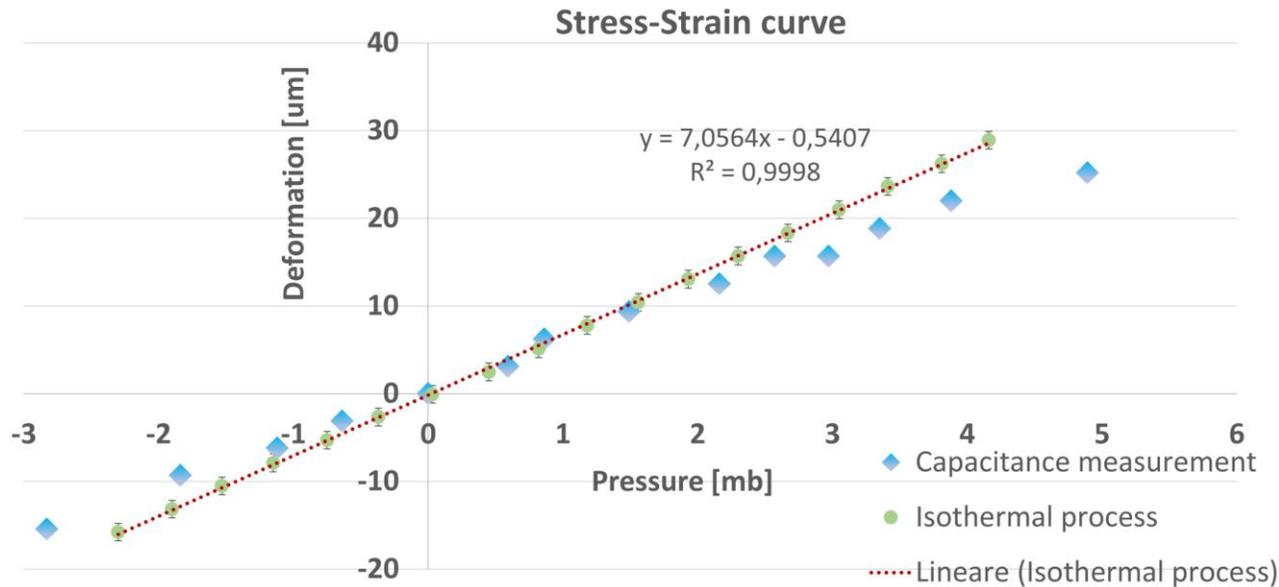
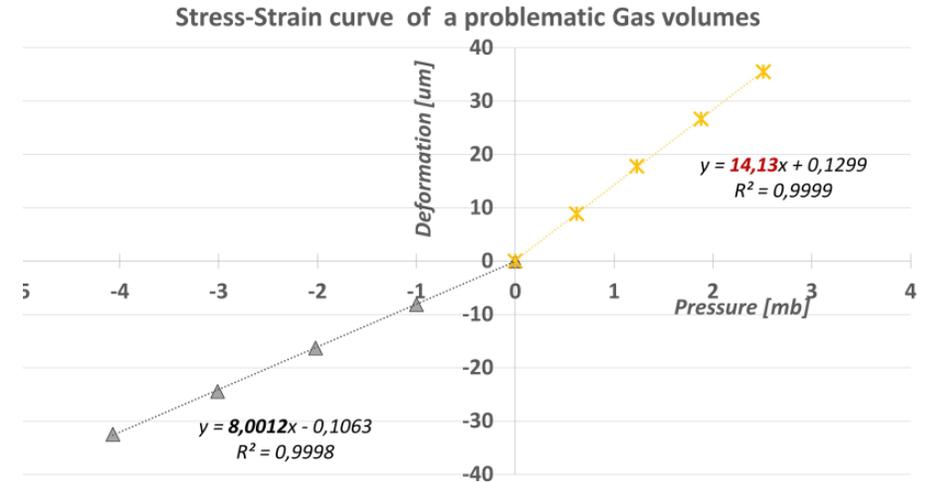
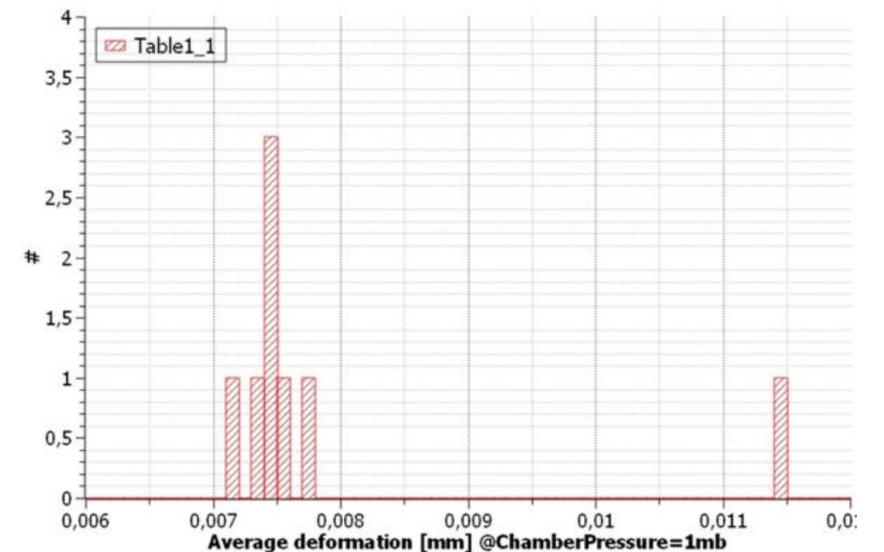


Figure 2: first measurements made on old Gas volumes of the Atlas pre-production (Surface = 14280 cm^2 , Vol = 2958.4 cc , Gas gap size=2 mm, $C_{\text{gas}}=6.32 \text{ nF}$)



8 GapsAtlas like BMLD type rigidity measurement



Sensori di flusso MEMS

D6F-P

MEMS Flow Sensor

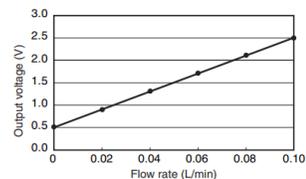
A Compact, High-accuracy Flow Sensor with Superior Resistance to Environments.

- Anti-dust performance is improved using the Cyclon method.
- A full lineup of models with different connector types: barb joints, lead terminals for direct mounting on-board, and manifolds.
- High accuracy of $\pm 5\%$ FS.



Output Voltage Characteristics

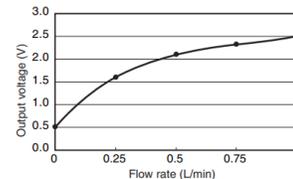
D6F-P0001A1



Flow rate L/min (normal)	0	0.02	0.04	0.06	0.08	0.10
Output voltage V	0.50	0.90	1.30	1.70	2.10	2.50
	± 0.10					

Measurement conditions: Power supply voltage of 5.0 ± 0.1 VDC, ambient temperature of $25 \pm 5^\circ\text{C}$, and ambient humidity of 35% to 75%.

D6F-P0010A1/-P0010A2/-P0010AM2



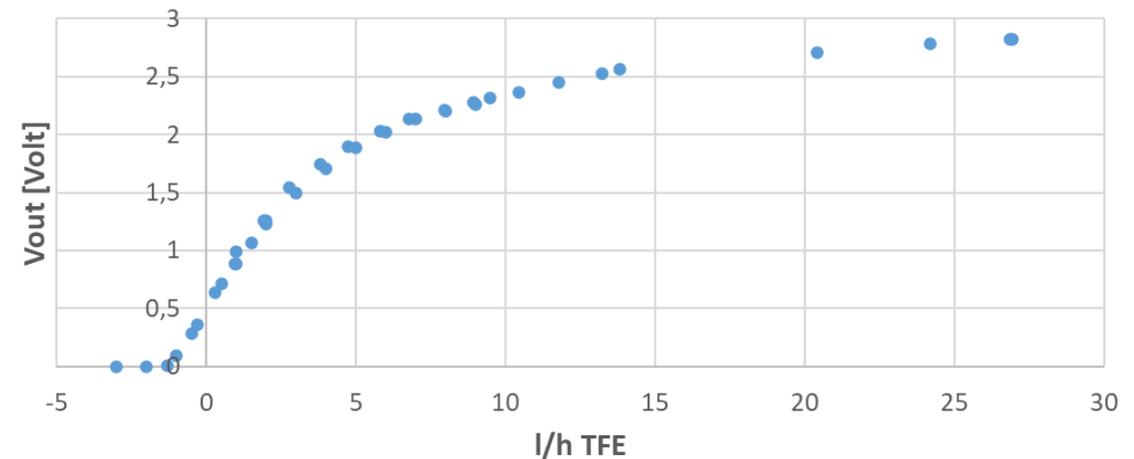
Flow rate L/min (normal)	0	0.25	0.50	0.75	1.00
Output voltage V	0.50	1.60	2.10	2.31	2.50
	± 0.10				

Measurement conditions: Power supply voltage of 5.0 ± 0.1 VDC, ambient temperature of $25 \pm 5^\circ\text{C}$, and ambient humidity of 35% to 75%.

D6F-P

D6F-P0010A1

Curva taratura con TFE

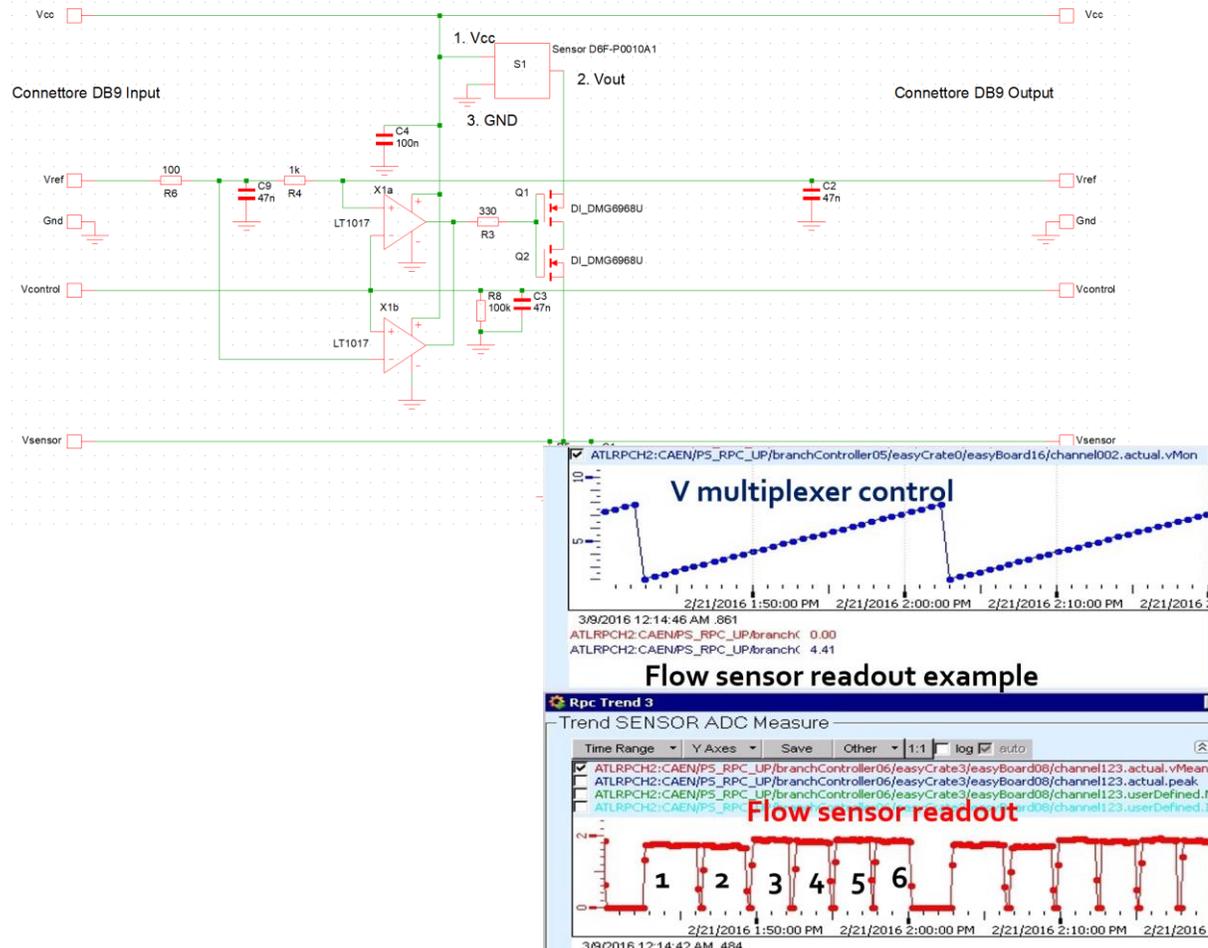


MEMS (acronimo di micro electro-mechanical systems):

dispositivi microscopici di varia natura (meccanici, elettrici o elettronici) integrati su uno stesso substrato di materiale semiconduttore che coniugano le proprietà elettriche degli integrati a semiconduttore con proprietà opto-meccaniche

Sensori di flusso D6F-P0010A1 in Atlas

In Atlas installati 1152 sensori in uscita ad ogni gas layer (da 1 a 4 volumi di gas)
La lettura viene fatta da un multiplexer che legge 6 sensori alla volta connessi in cascata.
Tutti multiplexer sono controllato da una unica tensione analogica



Principle of operation

