

Modulo di *Tecnica del controllo ambientale*



Le polveri totali sospese
Ing. Agostino Viola



Università degli Studi di Cassino

Facoltà di ingegneria

DiMSAT - Dipartimento di Meccanica, Strutture, Ambiente e Territorio



- Definizione del particolato
- Natura fisico-chimica
- Effetto sull'uomo
- Normativa legislativa e tecnica
- Tecniche di misura



Si parla di **inquinamento atmosferico** quando lo stato della qualità dell'aria subisce delle variazioni a causa dell'immissione nella stessa di sostanze di qualsiasi natura e in misura e condizioni tali da alterarne la salubrità e da costituire pregiudizio diretto o indiretto per la salute dei cittadini o danno dei beni pubblici e/o privati.



PARTICOLATO

“Insieme di particelle (solide o liquide) che a causa della loro forma e bassa densità restano sospese in aria”

polveri

esalazioni

aerosol

sabbie

fumo

foschie

Acronimi

PTS Polveri Totali Sospese

PM Particulate Matter

FSP Fine Suspended Particulate



1828 – Robert Brown

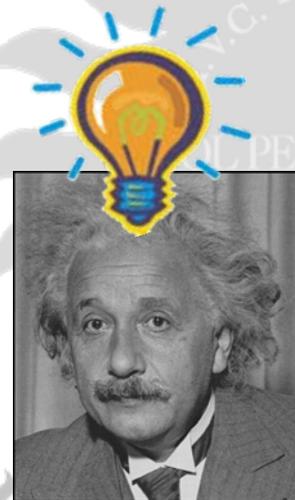
Osservò al microscopio il movimento di granuli di polline in acqua. Brown aveva creduto che il polline si muovesse perchè era ancora *vivo* ; lo aveva fatto bollire a lungo in modo da uccidere qualunque microrganismo, ma anche dopo la cottura i granuli nell'acqua del vetrino continuavano a muoversi. Si era allora procurato un cristallo di quarzo nel quale, al momento della sua formazione, cioè milioni di anni prima, era rimasta imprigionata qualche goccia di acqua. Certamente quell'acqua non conteneva forme viventi! Tuttavia, osservando al microscopio, aveva visto che anche le piccolissime particelle di quarzo sospese nell'acqua.....si muovevano! Da allora, il movimento del tutto casuale di piccole particelle solide sospese in un fluido era stato chiamato *moto browniano* , ma la causa di questo strano movimento era rimasto un mistero per tutto il XVIII secolo.



1905 – Albert Einstein

Verificando l'attendibilità del modello cinetico di **Maxwell** e **Boltzmann**, **Albert Einstein** trovò la risposta agli interrogativi di Brown.

Annalen der Physik (pubblicazione sulla teoria della relatività) "*Moto di particelle sospese in un liquido fermo, conseguenza della teoria cinetica molecolare del calore* "



Le dimensioni delle particelle vanno da 0,2 nm (pochi atomi) a 500 μm (diametro di un capello).

Fini  $D_a < 2,5 \mu\text{m}$

- Molto solubili in acqua
- Basse velocità di sedimentazione



Grossolane  $D_a > 2,5 \mu\text{m}$

- Poco solubili in acqua
- Alta velocità di sedimentazione



“Cos'è il diametro aerodinamico??”

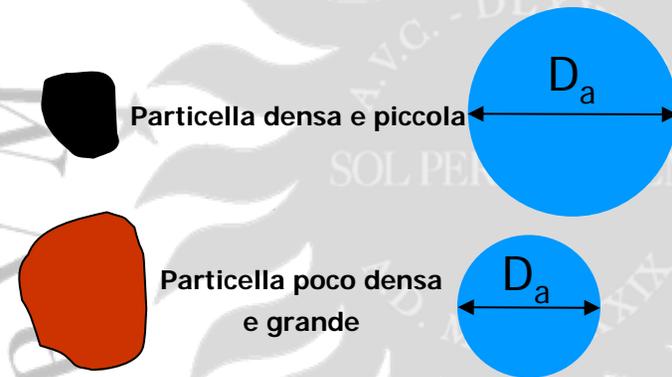
Problemi

- Estrema variabilità della loro densità
- Forma non esattamente sferica

Il diametro aerodinamico equivalente

Definizione secondo D.M. 02-04-2002 (presa da EN 12341)

“il diametro di una particella sferica con una densità di 1 g/cm^3 (acqua), che sotto l'azione della forza di gravità e in calma d'aria e nelle stesse condizioni di temperatura, pressione e umidità relativa, raggiunge la stessa velocità finale della particella considerata”



Naturale

erosione, eruzioni vulcaniche, incendi, spore, polline.....



Eruzione Etna 11/2002 – Foto scattata dal satellite

Antropica

processi chimici, emissioni autoveicoli(in particolare i motori diesel), impianti industriali.....



Le emissioni naturali ed artificiali presentano ordini di grandezza *confrontabili*.

La concentrazione è **diffusa** nel caso naturale **localizzata** nel caso artificiale

Quale sarebbe il valore del PM10 in natura senza la presenza dell'uomo?

Per le concentrazioni naturali di fondo su base annuale varia da 4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a 11 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ per il PM10 e da 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ per il PM2,5 nei luoghi remoti del Nord America.

SORGENTI ANTROPICHE		SORGENTI NATURALI	
Primario	Secondario	Primario	Secondario
Uso di combustibili fossili	Ossidazione di SO ₂	Spray marino	Ossidazione di SO ₂ e H ₂ S emessi da incendi e vulcani
Emissioni di autoveicoli da combustione	Ossidazione di NOx	Incendi boschivi	Ossidazione di NOx prodotto da suolo e luce
Polveri volatili da processi industriali	Emissione di NH ₃ da agricoltura e allevamento		
Usura di pneumatici e freni	Ossidazione di idrocarburi emessi dagli autoveicoli	Erosione di rocce	Ossidazione di idrocarburi emessi dalla vegetazione (terpeni)

primario



emesso direttamente nell'atmosfera

secondario

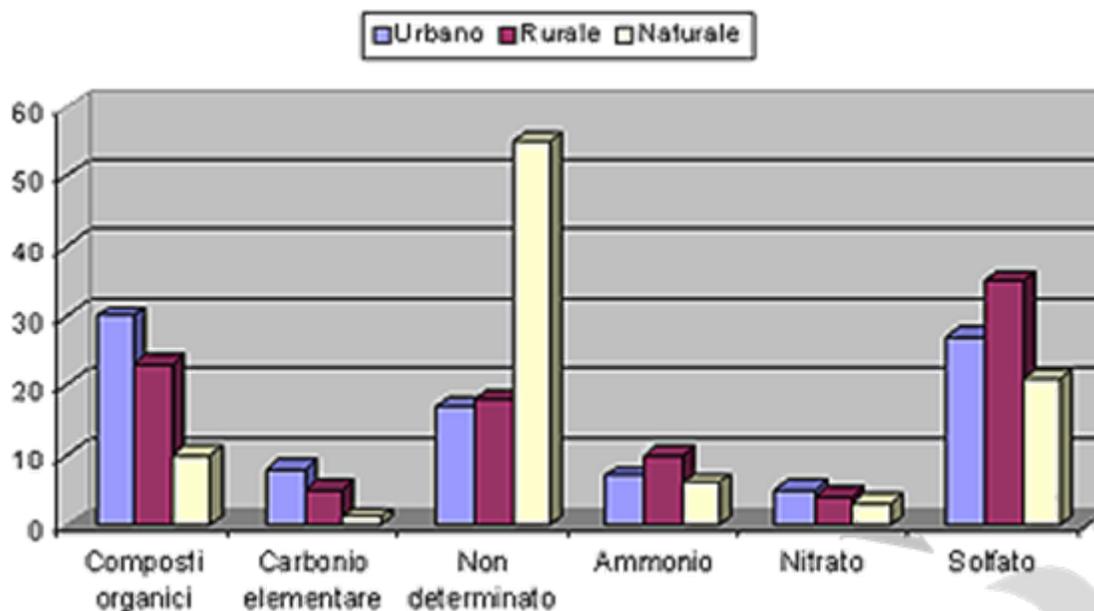


formatosi in atmosfera in seguito a reazioni chimiche

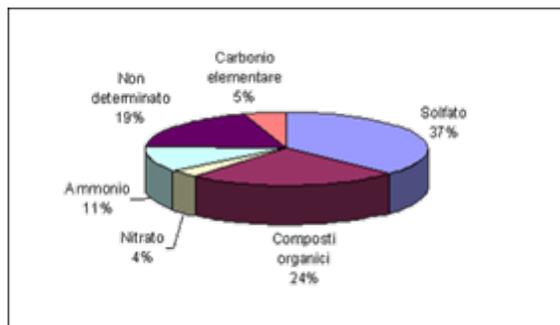


SORGENTI ANTROPICHE		SORGENTI NATURALI	
Primario	Secondario	Primario	Secondario
Polveri volatili da agricoltura		Erosione rocce	
Spargimento di sale		Spray marino	
Usura asfalto		Frammenti di piante ed insetti	

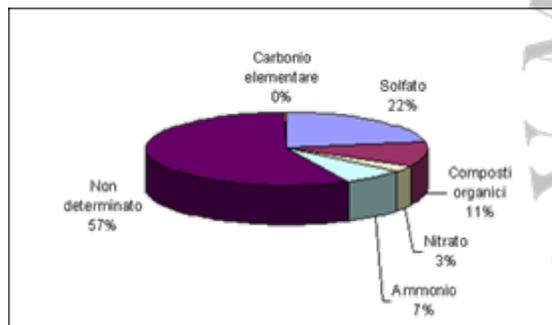
Oss. Il particolato grossolano è tutto primario !!



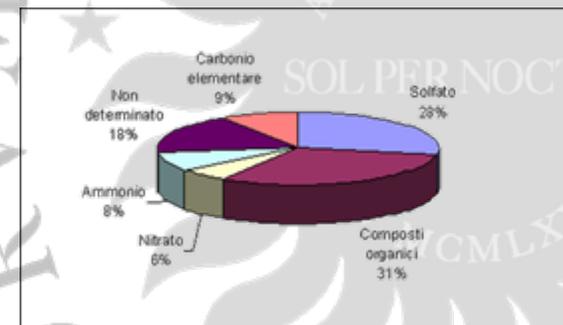
N.B. la parte indeterminata è costituita prevalentemente da acqua



rurale



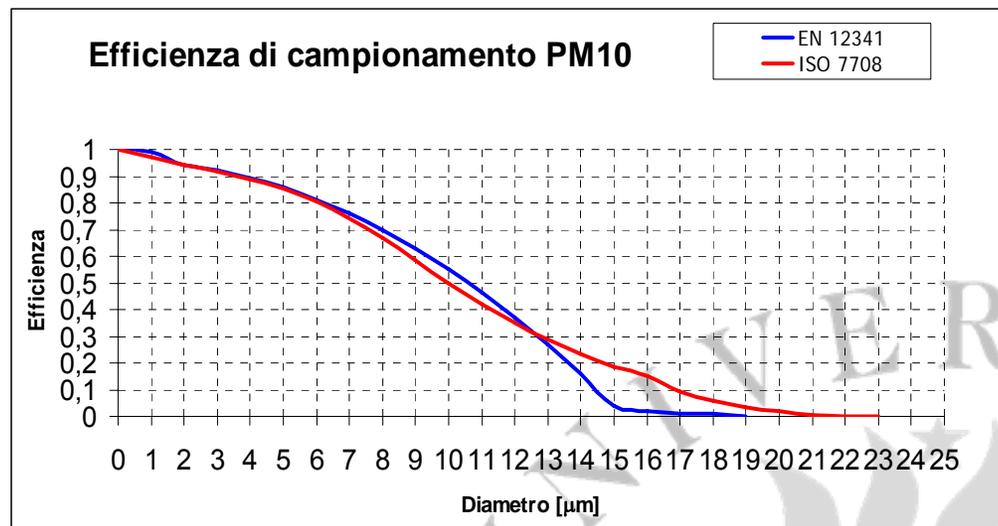
naturale



urbano



Le **PM10** rappresentano il particolato che ha un diametro **inferiore** a 10 micron e vengono anche dette ***polveri inalabili*** perché sono in grado di penetrare nel tratto superiore dell'apparato respiratorio (dal naso alla laringe)



Le polveri **PM2.5** costituiscono circa il 60% delle PM10 e rappresentano il particolato che ha un diametro **inferiore** a 2,5 micron. Le PM2.5 sono anche dette ***polveri respirabili*** perché possono penetrare nel tratto inferiore dell'apparato respiratorio (dalla trachea fino agli alveoli polmonari).

Definizione secondo D.M. 02-04-2002

“Frazione di materiale particolato sospeso in aria ambiente che passa attraverso un sistema di separazione in grado di selezionare il materiale particolato di diametro aerodinamico di 10 µm, con una efficienza di campionamento pari al 50%”

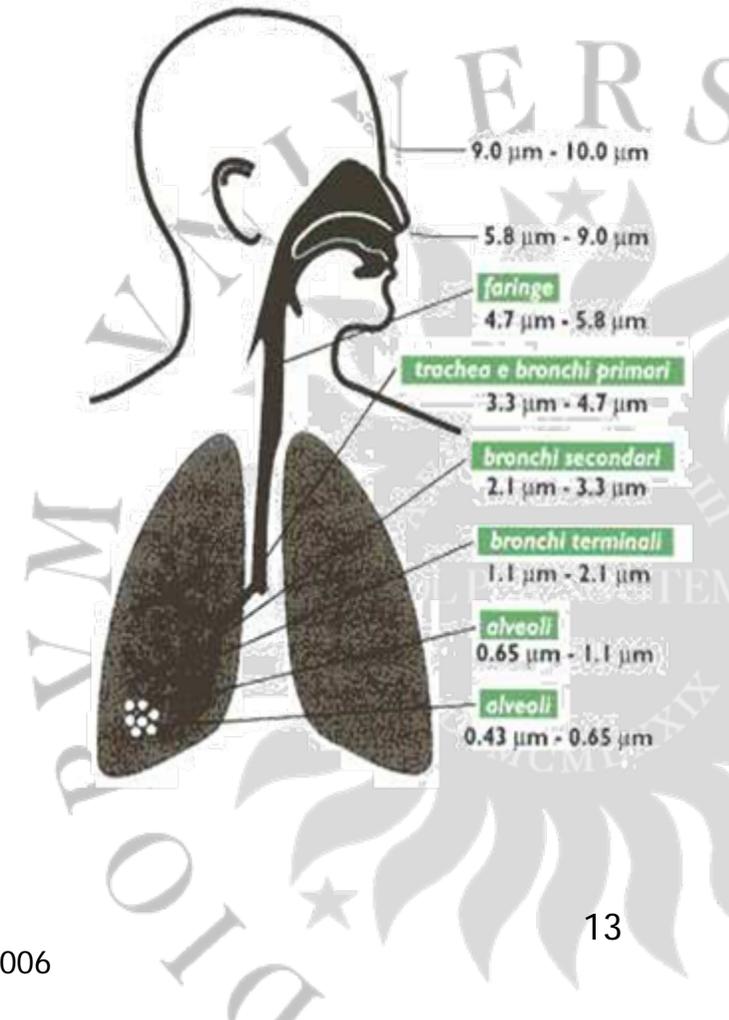
La tossicità del particolato è legata

- qualità chimica
- capacità di assorbimento di sostanze tossiche, quali metalli pesanti, idrocarburi policiclici aromatici, ecc.

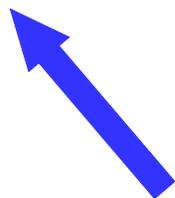
Il particolato che si deposita nel tratto superiore dell'apparato respiratorio (cavità nasali, faringe e laringe) può generare vari effetti irritativi come l'infiammazione e la secchezza del naso e della gola;

Queste polveri aggravano le malattie respiratorie croniche come l'asma, la bronchite e l'enfisema.

L'inalazione prolungata di queste particelle può provocare reazioni fibrose croniche e necrosi dei tessuti che comportano una broncopolmonite cronica accompagnata spesso da enfisema polmonare.



- DPCM 28-03-1983. Primo decreto che fissa i valori limite per le “particelle sospese”.
- DPR 203 24-05-1988. Questo decreto abbassa il livello massimi consentiti per tutti i macroinquinanti.
- D.M. 25-11-1994. Fissa i livelli di qualità del particolato(introduce il concetto di PM10).
- D.M. 21-04-1999. Autorizza i sindaci dei comuni a sospendere la circolazione dei veicoli quando si raggiungono livelli di guardia.
- **D.M. 02-04-2002. Emanato per ottemperare alle direttive europee, Fissa i valori giornalieri e indica i valori da raggiungere nel prossimo futuro**



Decreto vigente

Norme tecniche UNI (italiane)

UNI EN 12341:2000 - Qualità dell'aria-determinazione del particolato in sospensione PM10 metodo di riferimento e procedimento per prove in campo atte a dimostrare l'equivalenza dei metodi di misurazione rispetto al metodo di riferimento

UNI 10169:1997 - Misure alle emissioni. Determinazione della velocità e della portata di flussi gassosi convogliati per mezzo del tubo di Pitot

UNI 13284:2005 - Emissioni da sorgente fissa. Determinazione della concentrazione in massa di polveri in basse concentrazioni

Norme tecniche ISO (internazionali)

ISO 9096:2003 - Stationary source emissions-Manual determination of mass concentration of particulate matter

ISO 10473:2000 - Ambient air-measurement of the mass of particulate matter On a filter medium -- Beta-ray absorption method

ISO 12141:2002 - Stationary source emissions -- Determination of mass concentration of particulate matter (dust) at low concentrations – Manual gravimetric method



- Campionamento (analisi gravimetrica)
 - Isocinetico (al camino)
 - Ad impatto (ambiente)
 - Personale (Lipmann, Dorr-Oliver)
- Analisi in continuo (metodi ottici, acustici)



Il materiale particolato totale sospeso (PTS) viene determinato attraverso la filtrazione dell'aria con conseguente raccolta del particolato in sospensione in aria. La concentrazione finale del materiale particolato viene ottenuta o attraverso pesatura del filtro e rapporto al volume di gas aspirato (metodo gravimetrico).

$$C = \frac{\Delta m}{V} = \frac{m_f - m_i}{V} \quad [\mu\text{g}/\text{Nm}^3]$$

La concentrazione di polveri si calcola effettuando il rapporto tra la differenza di massa ($m_f - m_i$) ed il volume di gas (aria) campionato.

Apparecchiatura per il condizionamento e la pesatura

Il locale di pesatura e condizionamento dovrebbe essere preferibilmente lo stesso

- forno di essiccazione termicamente controllato (stabilità ± 5.0 °C)
- bilancia analitica con risoluzione minima di 0.01 mg (per PM10 almeno 1 μ g)
- essiccatori in vetro o ceramica con gel di silice

Procedura:

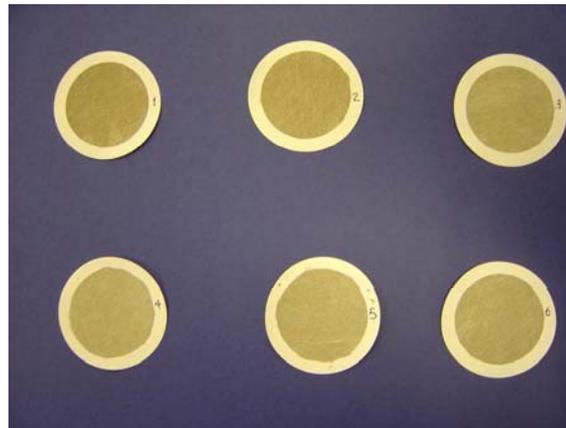
1. Condizionamento in forno per almeno 3 ore a 160°C
2. Essiccamento in gel di silice per almeno 12 ore
3. Pesatura
4. Misura (campionamento)
5. Ripetere i punti 1-2-3

Gli strumenti sono:

- campionatore volumetrico a portata costante (modello Digit V43 Zambelli),
- bilancia analitica

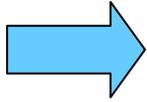
Le attrezzature ausiliarie sono:

- filtro (efficienza del filtro piano maggiore del 99,5%)
- tubi di raccordo
- ugello portafiltro





Isocinetico??



Il campionamento viene effettuato nelle **medesime condizioni di velocità** rendendo la misura rappresentativa del caso in esame.

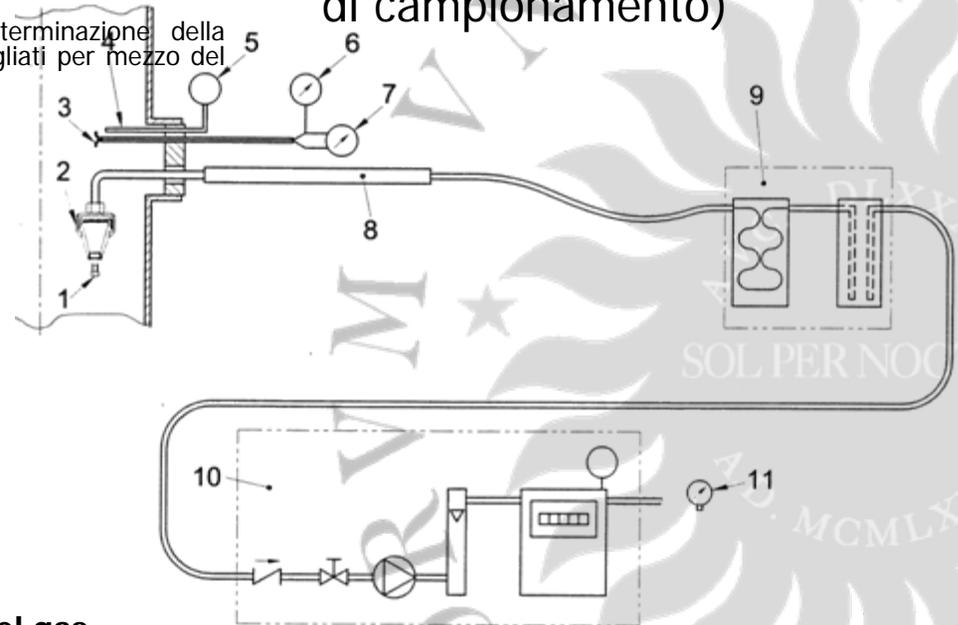


UNI 13284-1- Emissioni da sorgente fissa. "Determinazione della concentrazione in massa di polveri in basse concentrazioni."

UNI 10169 – Misure alle emissioni. "Determinazione della velocità e della portata di flussi gassosi convogliati per mezzo del tubo di Pitot"

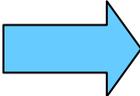
< 50 mg/Nm³

Con questa tecnica è possibile misurare sia le polveri totali che i vari PM (con le opportune teste di campionamento)



1. Ugello di ingresso
2. Portafiltra
3. Tubo di Pitot
4. Sensore di temperatura
5. Indicatore di temperatura
6. Misura statica della pressione
7. Misura dinamica della pressione
8. Supporto
9. Sistema di raffreddamento e raccolta del gas
10. Unità di aspirazione e dispositivo di misurazione del gas
11. Manometro



Isocinetico  Il campionamento viene effettuato nelle **medesime condizioni di velocità** rendendo la misura rappresentativa del caso in esame.

Con questa tecnica è possibile misurare sia le polveri totali che i vari PM (con le opportune teste di campionamento)





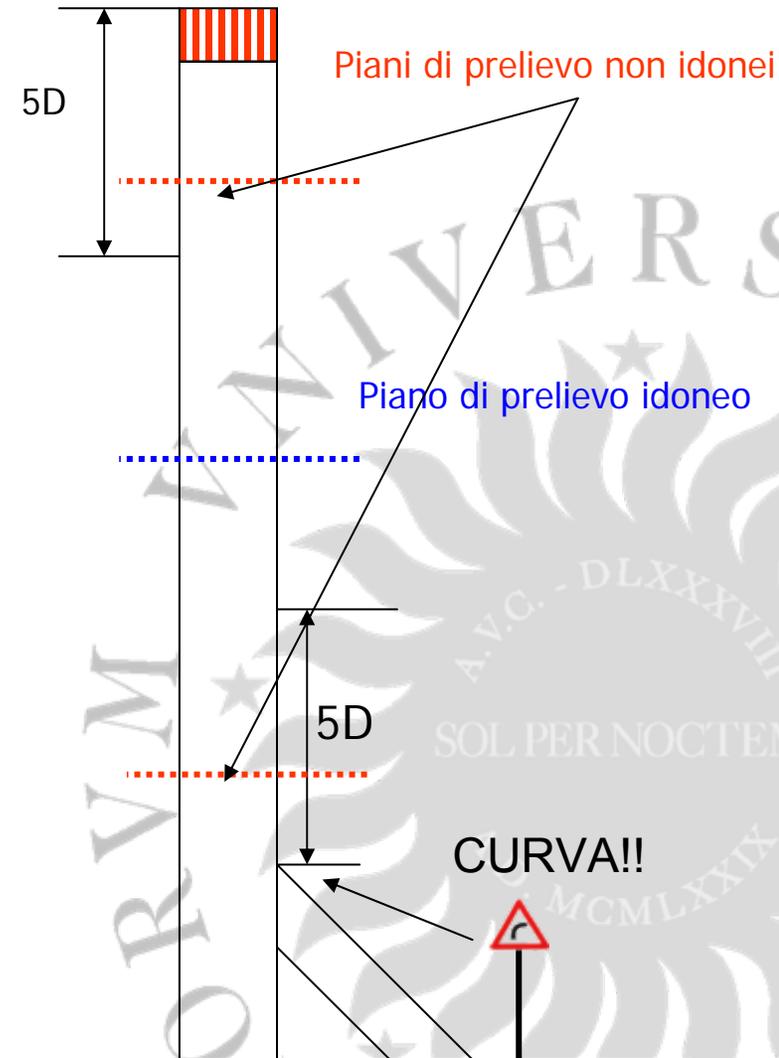
Piano e punti di campionamento

Il campionamento è possibile quando:

- Posizione “idonea”
- Numero di punti di campionamento “sufficienti” a seconda del piano di campionamento

Per posizione **idonea** si intende un piano:

- Situato in un tratto rettilineo (preferibilmente verticale)
- Sezione costante (nella forma e nell’area)
- Lontano a valle e a monte da qualsiasi perturbazione del campo di moto (curve, ventole, valvole di regolazione,...) in genere 5 diametri idraulici a monte e a valle (solo 2 a valle se in condotto non sfocia in atmosfera ma continua)
- Nessun flusso negativo locale
- Angolo tra la direzione del flusso e l’asse del condotto $< 15^\circ$
- Velocità minima relativa al metodo di misurazione della velocità
- Piano dove il rapporto tra velocità max locale e min locale è 3:1



N° di punti di campionamento (UNI 10169)

Il numero di punti è funzione della forma (circolare o rettangolare) e dell'area
CONDOTTI CIRCOLARI

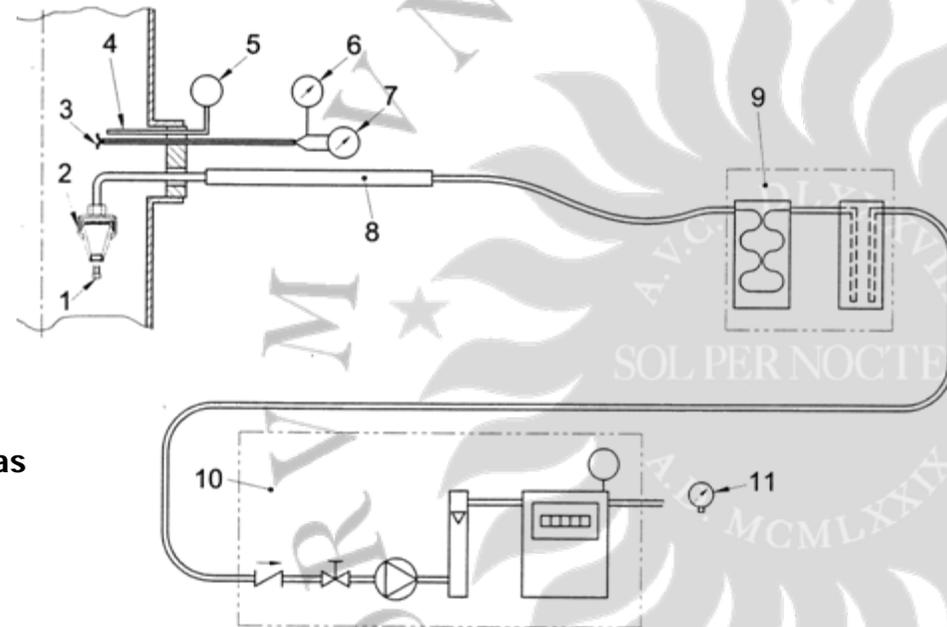
Area della sezione relativa al piano di campionamento	Diametro del condotto	Linee di campionamento	Numero minimo di campionamenti per piano
<0.1	<0.35	-	1
da 0.1 a 1.0	da 0.35 a 1.1	2	4
da 1.1 a 2.0	da 1.1 a 1.6	2	8
>2.0	>1.6	2	almeno 12 e 4 per ogni m ²

CONDOTTI RETTANGOLARI

Area della sezione relativa al piano di campionamento	Numero minimo di divisioni per lato	Numero minimo di campionamenti per piano
<0.1	-	1
da 0.1 a 1.0	2	4
da 1.1 a 2.0	3	9
>2.0	>3	almeno 12 e 4 per ogni m ²

Apparecchiatura e materiali

- Misura della velocità  Tubi di Pitot normalizzati secondo ISO 3966
- Misura di temperatura e pressione tali da garantire la misura della densità con un'incertezza di $\pm 0.05 \text{ kg/m}^3$
- Misura dell'umidità e dell'ossigeno vicine al piano di campionamento



1. Ugello di ingresso
2. Portafiltro
3. Tubo di Pitot
4. Sensore di temperatura
5. Indicatore di temperatura
6. Misura statica della pressione
7. Misura dinamica della pressione
8. Supporto
9. Sistema di raffreddamento e raccolta del gas
10. Unità di aspirazione e dispositivo di misurazione del gas
11. Manometro

Filtri e ditali

Requisiti essenziali

- efficienza di captazione del filtro pari al 99.5% su taglie da 0.3 μm (o 99.9% su 0.6 μm)
- stabilità termica e chimica

Tipologie

DITALI in cellulosa

fino a 60°C e camini polverosi

FILTRI in fibra di vetro

fino a 200-300 °C e poca umidità
(reagiscono chimicamente con SO_3)

DITALI in ceramica

fino a 450-500 °C riutilizzabili 2 o 3 volte

COSTO

