



ARPALAZIO

AGENZIA REGIONALE PROTEZIONE AMBIENTALE DEL LAZIO

**MISURE PRESSO IL RICETTORE**  
**La sperimentazione di ARPA Lazio**

***Laura Bennati***

**Trieste, ottobre 2019**

---

ARPALAZIO

# LA MOLESTIA OLFATTIVA

## Fenomenologia, criticità e protocollo sperimentale di misura



<http://www.arpalazio.gov.it/download/?sez=pubblicazioni&pid=file&fln=Repo>  
rt MOLESTIA OLFATTIVA pdf alta risoluzione.pdf

2018

DOMANDA N.1



QUAL E' IL FENOMENO RESPONSABILE  
DELLA PERCEZIONE DELLA MOLESTIA  
OLFATTIVA?

## Principio di fondo

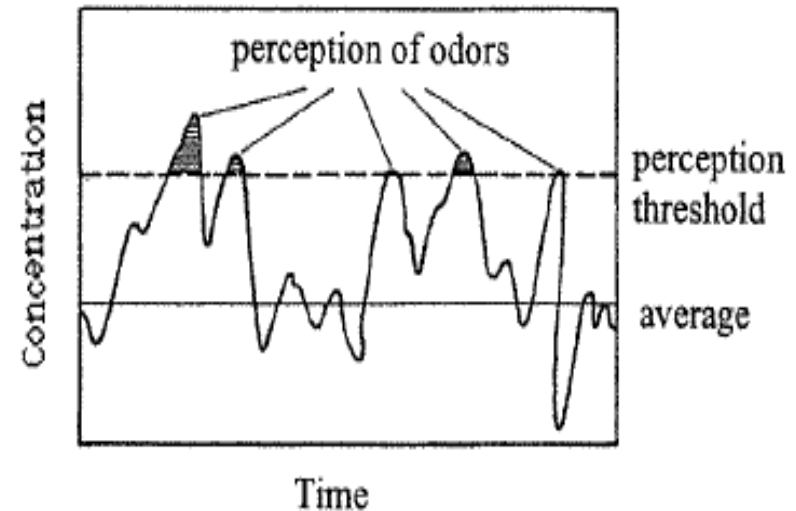
Quando si opera nell'ambito dell'inquinamento atmosferico, dove ciò che conta ai fini sanitari è la dose a cui è sottoposto un individuo, è consuetudine

considerare i **valori medi** (in genere le **medie orarie**) delle grandezze

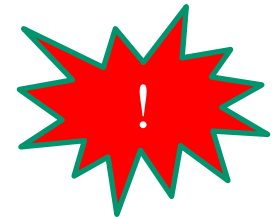
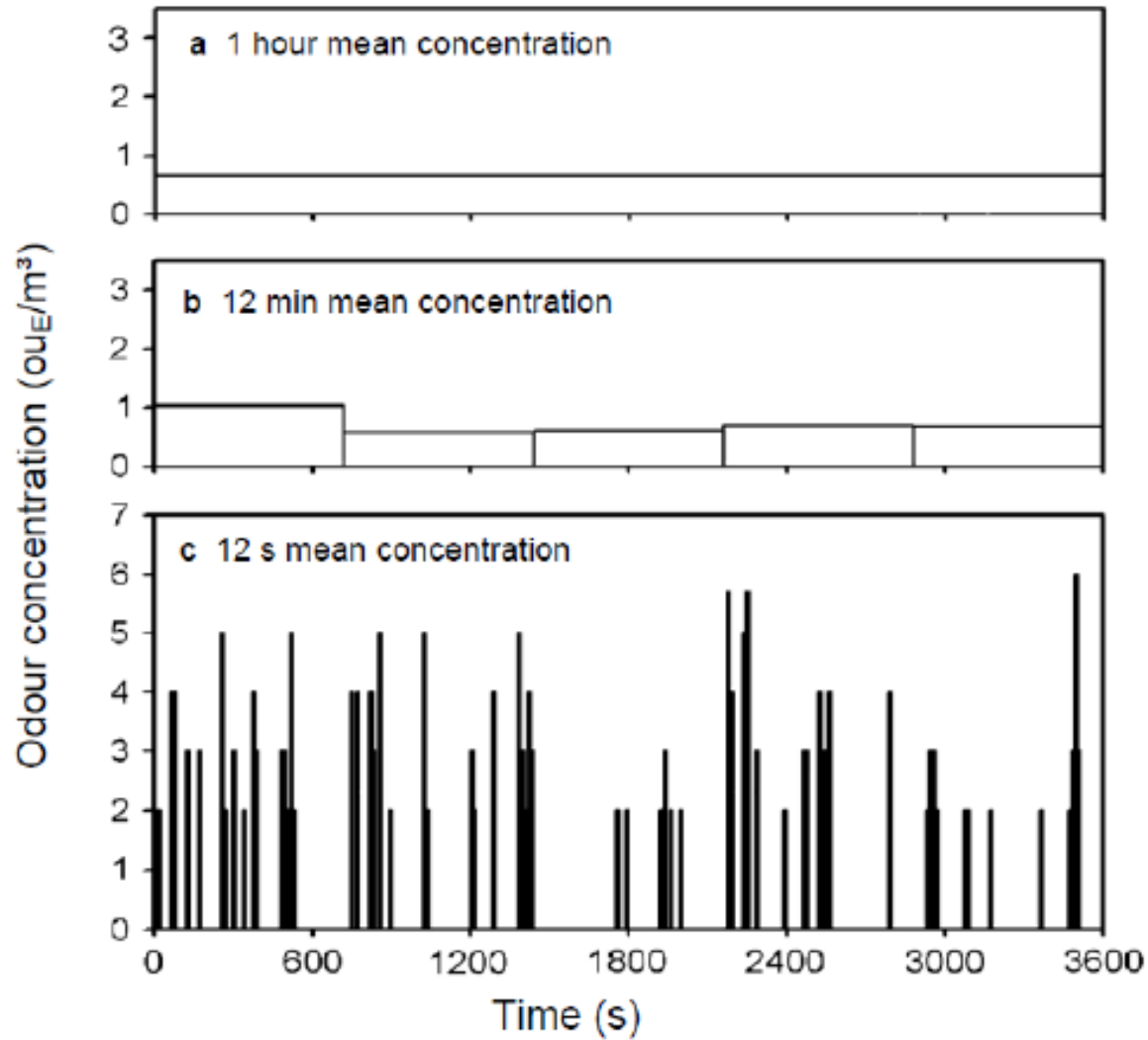
senza badare al loro reale **andamento istantaneo**

**tuttavia**

La sensazione della molestia olfattiva è legata ad ogni singolo atto respiratorio che ha la durata di pochi secondi



# Il limite delle medie orarie



## DOMANDA N.1

QUAL È IL FENOMENO RESPONSABILE  
DELLA PERCEZIONE DELLA MOLESTIA  
OLFATTIVA?



RISPOSTA

**È AI PICCHI DI CONCENTRAZIONE CHE SI  
PUÒ IMPUTARE LA PERCEZIONE  
DELL'ODORE E QUINDI LA MOLESTIA  
OLFATTIVA**

I  
CONCETTO  
CARDINE

## DOMANDA N.2



QUANDO SI VERIFICA UN PICCO DI  
CONCENTRAZIONE?

# Movimento naturale delle masse d'aria nel PBL/1

- ad un **andamento medio** nel tempo di queste grandezze fisiche  
⇒ Responsabile del **trasporto sottovento** delle sostanze (inquinanti o odorigene)

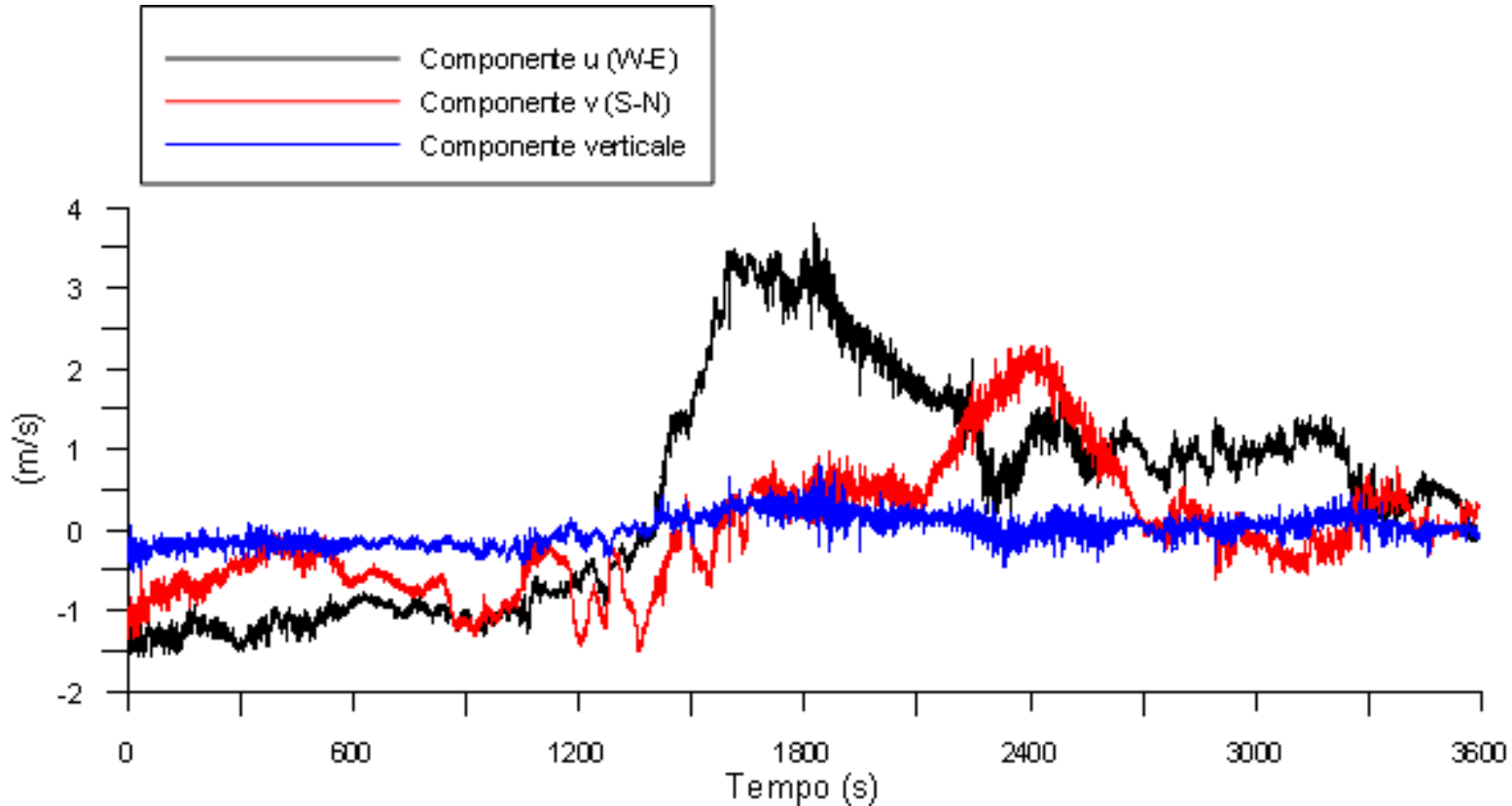
si sovrappongono

- **fluttuazioni** apparentemente casuali, indici della presenza costante della **turbolenza** in questa parte di atmosfera  
⇒ Responsabili della **dispersione** delle sostanze passive
- **oscillazioni periodiche** (**meandering**), dovute alle oscillazioni inerziali che l'atmosfera presenta naturalmente  
⇒ Responsabili delle **oscillazioni orizzontali** serpeggianti dei plume (presenti nel segnale delle componenti orizzontali del moto e totalmente assenti nella componente verticale del moto)

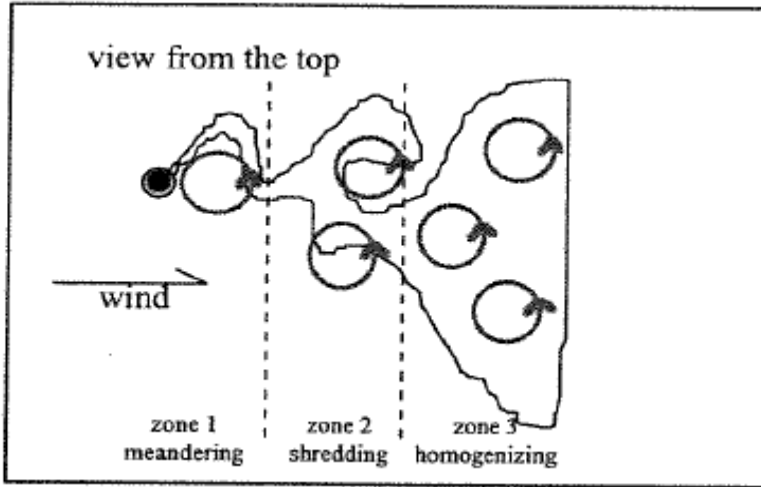


## Movimento naturale delle masse d'aria nel PBL/2

Velocità istantanea del vento rilevato in **un'ora notturna** autunnale nella Postazione Micrometeorologica di ARPA Lazio di Roma-Tor Vergata



## Movimento naturale delle masse d'aria nel PBL/3



**il moto medio, le fluttuazioni turbolente ed il meandering** sono contemporaneamente sempre presenti

**sommandosi nella formazione dei diversi segnali meteorologici.**



La **CONCENTRAZIONE ISTANTANEA** di una sostanza passiva (inquinante od odorigena) varia notevolmente nello spazio e nel tempo.

## Movimento naturale delle masse d'aria nel PBL/4

Nello Strato Limite Planetario (PBL), il movimento reale delle particelle d'aria (che possono contenere sostanze chimiche inquinanti o odorigene) è costantemente irregolare:

- più turbolento nelle situazioni convettive (caratteristiche delle ore diurne di una giornata soleggiata)
- più oscillatorio nelle situazioni stabili (che si hanno alle medie latitudini nelle ore notturne)

L'evidenza sperimentale  $\Rightarrow$  la presenza del meandering è inversamente proporzionale al livello di turbolenza del PBL.

## DOMANDA N.2

QUANDO SI VERIFICANO I PICCHI DI  
CONCENTRAZIONE?



RISPOSTA

**SONO PIU' PROBABILI NELLE SITUAZIONI  
AD ELEVATA STABILITA' ATMOSFERICA  
QUANDO PREVALE IL MEANDERING  
(in prossimità della sorgente)**

**II  
CONCETTO  
CARDINE**

QUANDO EFFETTUARE  
SOPRALLUOGHI/MISURE...

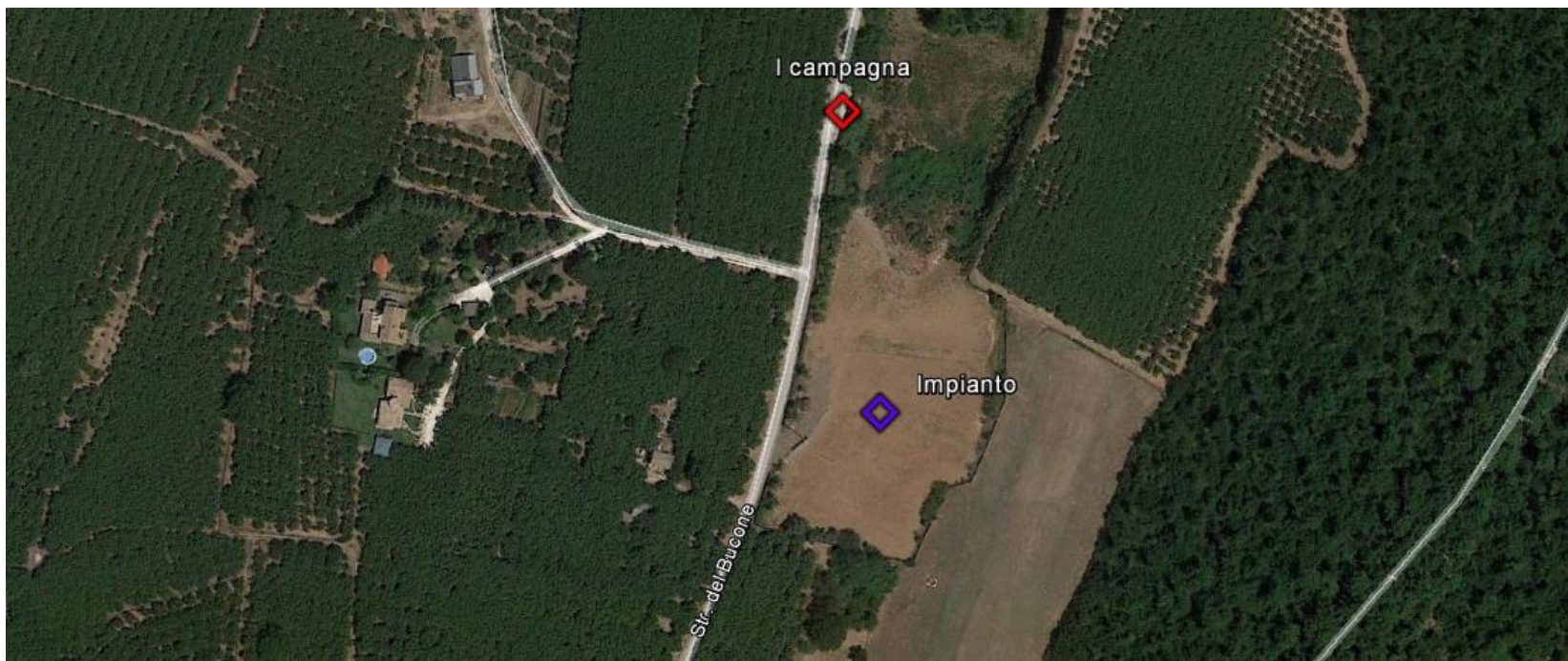
## Prima evidenza sperimentale/1

Esperienza di Arpa Lazio in prossimità di una singola sorgente intensa (in campo vicino).

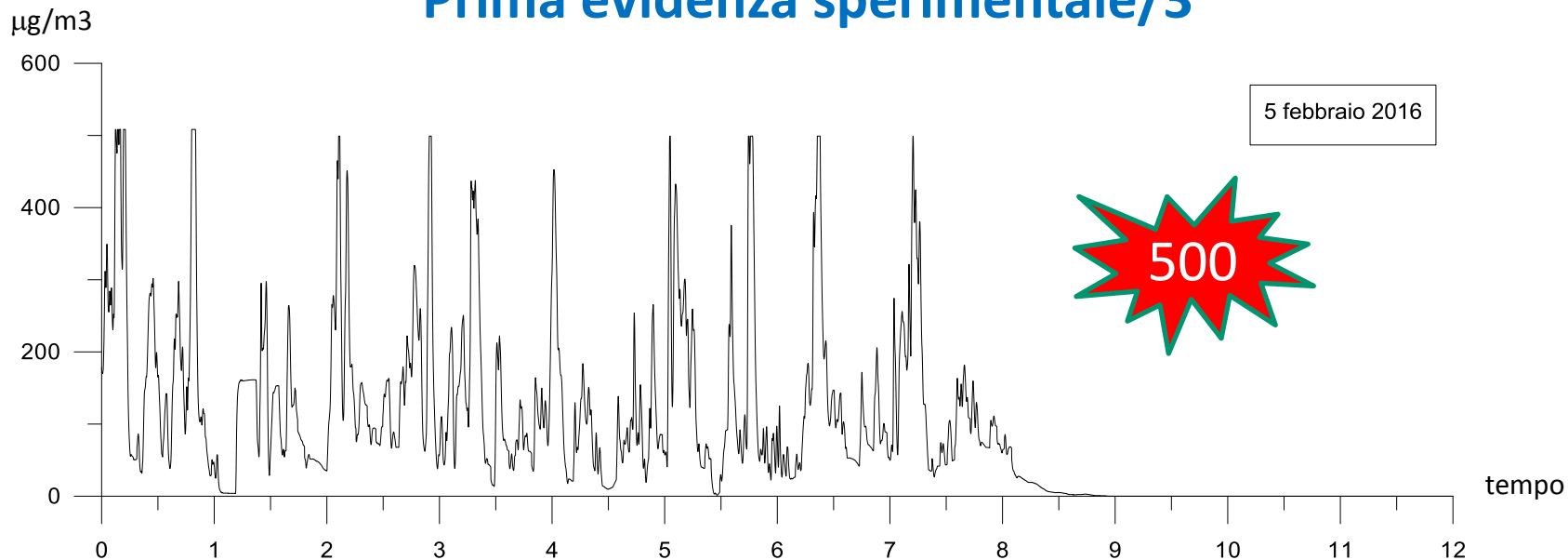
<b>Anno:</b>	Febbraio 2016
<b>Località:</b>	Soriano nel Cimino (VT)
<b>Sostanza Odorigena considerata:</b>	H <sub>2</sub> S (analizzatore in continuo API 101 M Fluorescenza UV) con tempo di risposta dell'ordine dei secondi
<b>Concentrazione Istantanea:</b>	media 5 s
<b>Sorgente:</b>	cava dismessa in cui, con autorizzazione, erano stati conferiti fanghi di cartiera.
<b>Durata del monitoraggio:</b>	20 giorni

## Prima evidenza sperimentale/2

Distanza del mezzo mobile dalla sorgente: 150-200 metri circa

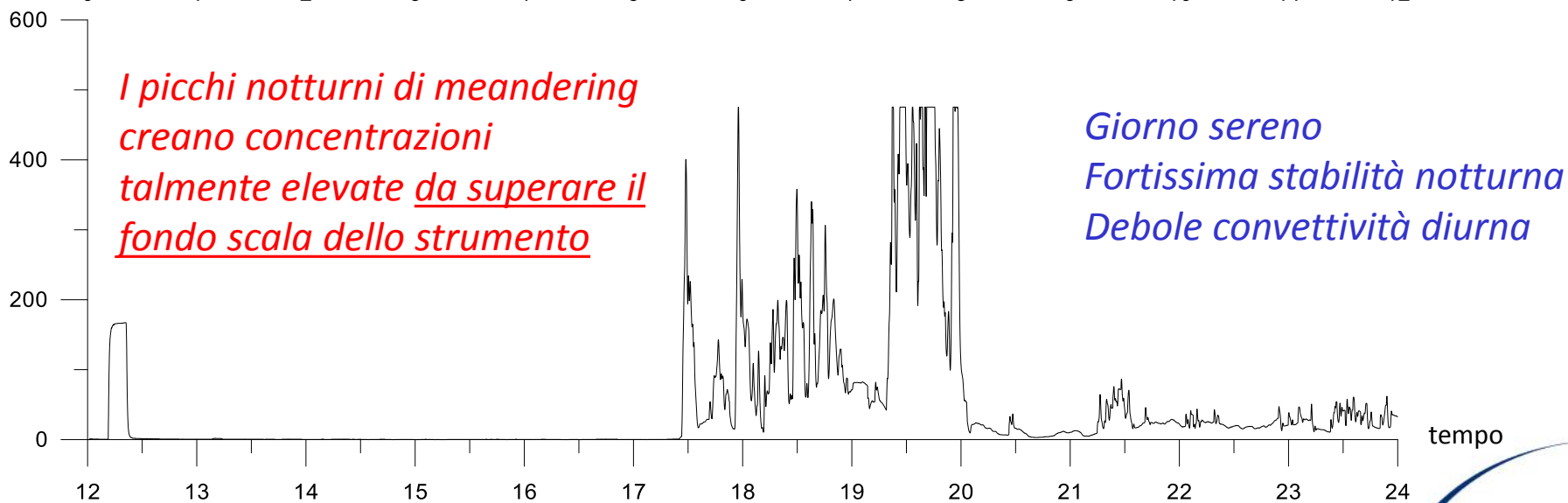
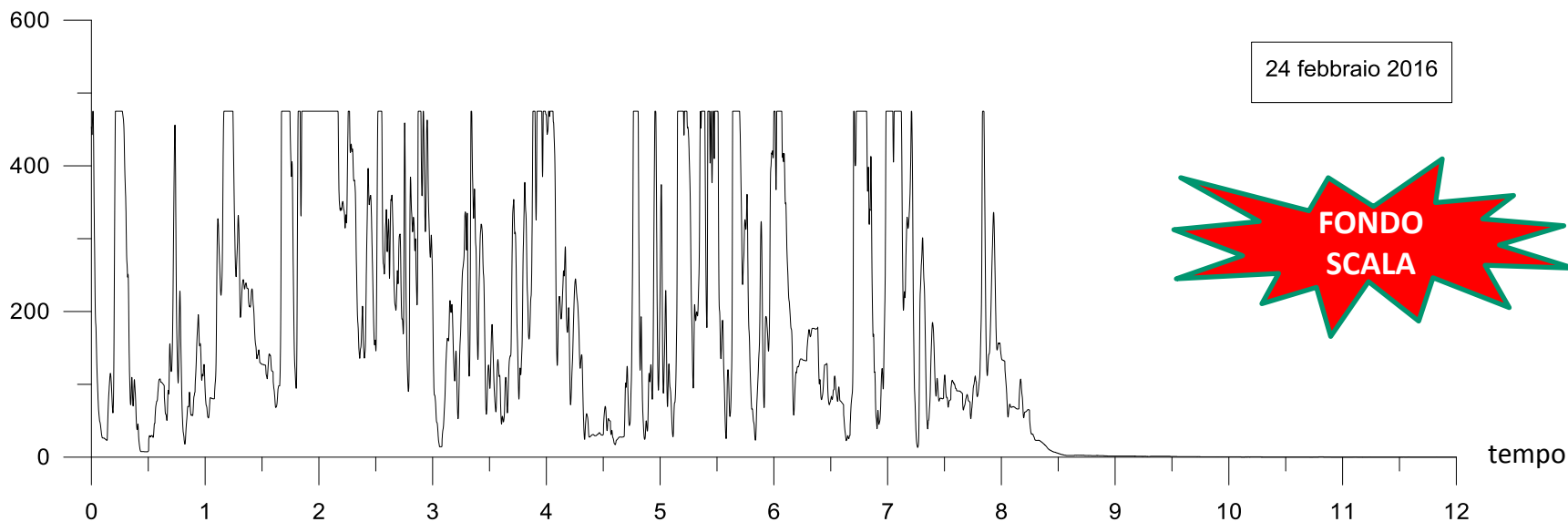


# Prima evidenza sperimentale/3



# Prima evidenza sperimentale/4

$\mu\text{g}/\text{m}^3$





## Prima evidenza sperimentale/5

In un giorno è stato superato anche il valore guida indicato dal WHO di  $150\mu\text{g}/\text{m}^3$  su 24 ore.

Raggiunto il valore di  $180\mu\text{g}/\text{m}^3$

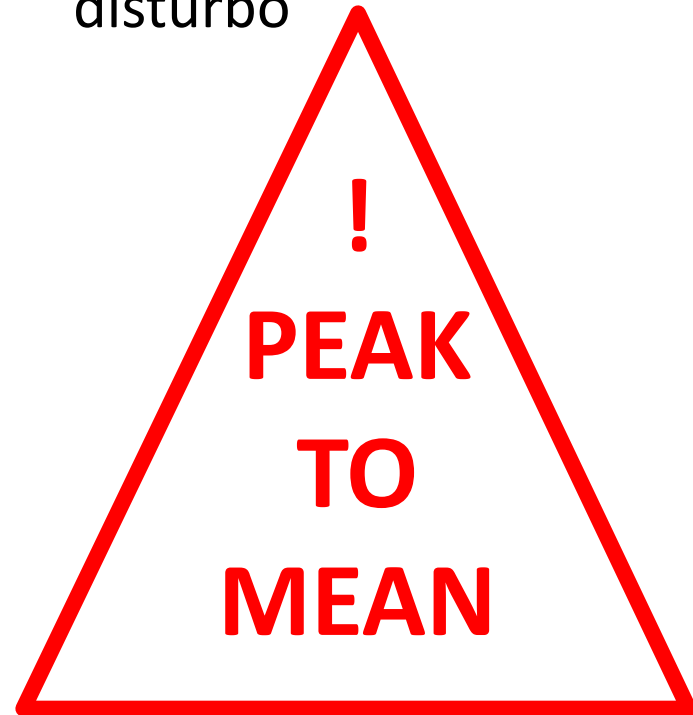
Nei 20 giorni di monitoraggio

Valore massimo:  $556,8\ \mu\text{g}/\text{m}^3$

Valore medio orario:  $56,3\ \mu\text{g}/\text{m}^3$

**FATTORE 10!**

Nel 69,7% delle ore viene superato il valore di  $7\mu\text{g}/\text{m}^3$  (su 30 minuti) che è indicato dal WHO come limite per il disturbo



## DOMANDA N.3

COME TRATTARE I DATI MISURATI PER  
DETERMINARE IL PEAK-TO-MEAN?



# Approccio statistico/1

- 1) La variabilità, **apparentemente stocastica**, delle variabili nel PBL deriva dalla **natura intrinsecamente caotica** delle leggi che governano la turbolenza atmosferica.
- 2) Quantitativamente si assimila ogni variabile meteorologica (come anche la concentrazione in aria di uno scalare o di odore) ad un Processo Stocastico, completamente caratterizzato:

→ Dalla Densità di Probabilità

oppure, in alternativa

→ Dagli infiniti momenti statistici (valor medio, varianza, ecc.)

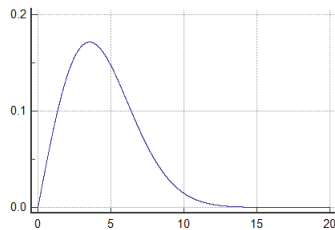
## Approccio statistico/2

La *concentrazione istantanea* di uno scalare (sostanza odorigena o odore) la si può ipotizzare distribuita secondo:

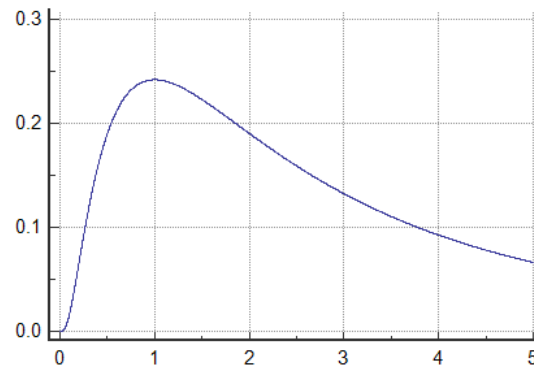
- la **Distribuzione Log-Normale (in alternativa Weibull o Gamma)**

distribuzioni a due parametri completamente definite quando risulta noto a livello campionario il *Valor Medio* e la *Varianza*.

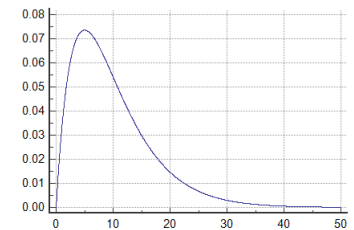
La molestia olfattiva deriva da una *Concentrazione di Picco* definibile come la concentrazione corrispondente ad un opportuno percentile. Per esempio il 95° (valore superato nel 5% del tempo di monitoraggio) oppure il 98° o il 99°.



Weibull



Log-normale



Gamma

# Operativamente

*(Monitoraggio episodico o continuo)*

Procedura da seguire se le misure vengono realizzate con analizzatore a risposta veloce.

Il punto di partenza è la misura della concentrazione istantanea, in pratica la concentrazione media di una sostanza passiva (o di odore) in un intervallo di mediazione dell'ordine di pochi secondi (es. 5s) ottenuta da un **analizzatore con tempo caratteristico di risposta basso**.

Gli analizzatori usati per la Qualità dell'Aria, dovendo fornire medie orarie o giornaliere non hanno questi requisiti, **tranne l'analizzatore di H<sub>2</sub>S che, almeno in prima approssimazione, può essere considerato adeguato allo scopo.**

## Per step successivi

Si opera secondo i passi seguenti:

1. Misure medie su 5s in un intervallo di osservazione orario
2. Stima campionaria del valore medio e della varianza
3. Selezione di una distribuzione statistica (es. Lognormale)
4. Stima campionaria dei parametri della distribuzione
5. Stima del *p-esimo Percentile*  $C_p$  (valore di Picco)
6. Stima dell'*Intensità di Concentrazione*  $i_C$  e del *Rapporto Peak-to-Mean*  $\Psi$

$$i_C = \frac{\sigma_C}{C}$$

$$\Psi = \frac{C_p}{C}$$

## DOMANDA N.3

COME TRATTARE I DATI MISURATI PER DETERMINARE IL PEAK-TO-MEAN?

RISPOSTA

**COME DATI DI UN PROCESSO STOCASTICO DA CUI RICAIVARE, DATA UNA DISTRIBUZIONE DI PROBABILITÀ, UN OPPORTUNO PERCENTILE CHE RAPPRESENTA IL PICCO DI CONCENTRAZIONE DELLA SOSTANZA**



III  
CONCETTO  
CARDINE

DOMANDA N.4



COME PROCEDERE QUANDO LA SOSTANZA  
DISTURBANTE NON E' PREVALENTEMENTE  
L'H<sub>2</sub>S?



## Le specie

Raramente l'odore è dovuto alla presenza in aria di una sola sostanza, piuttosto deriva dalla presenza di una miscela di più sostanze che complessivamente producono molestia olfattiva

	Specie Chimiche osmogene		Descrizione Edonica
Composti carbonilici	Acetaldeide	AA	
	Propionaldeide	PA	
	Butiraldeide	BA	Rancido
	Isovaleraldeide	IA	
	Valeraldeide	VA	
Composti ridotti dello Zolfo	Idrogeno solforato	H <sub>2</sub> S	Uova Marce
	Metil Mercaptano	CH <sub>3</sub> SH	Cavolo marcio
	Dimetilsolfuro	DMS	Legumi in decomposizione
	Dimetil disolfuro	DMDS	Putridume
Composti Organici Volatili	Benzene	B	
	Toluene	T	
	p-Xilene	p-X	
	m-Xilene	m-X	
	o-xilene	o-X	
	Stirene	STY	
Composti Azotati	Ammoniaca	NH <sub>3</sub>	Pungente
	Trimetilammina	TMA	Pesce avariato
Chetoni	Metiletilchetone	MEK	
	Metilisobutilchetone	MIBK	
Esteri	Butilacetato	BuAc	
Alcool	Alcool Isobutilico	i-BuAl	
Acidi Organici Grassi	Acido Propionico	PPA	Rancido, pungente
	Acido Butirrico	BTA	Burro rancido
	Acido Isovalerico	IVA	
	Acido Valerico	VLA	Sudore, traspirazione

# Intensità di odore

Intensità di Odore OI quantifica il grado di molestia olfattiva prodotto dalla presenza in aria in un punto di una concentrazione di odore  $C_{OU}$ .

## Legge di Weber-Fechner

$$OI = k_1 \log_{10} C_{OU} + k_2$$

Si assume che per ogni singola specie chimica tale relazione possa restare invariata sostituendo alla concentrazione di odore ( $ou_E$ ) la concentrazione della stessa (in ppm) e variando opportunamente i coefficienti  $k_1$  e  $k_2$

# Quantificazione della molestia

<b>Intensità di Odore</b>	<b>Descrizione</b>	
0	Nessun odore percepito	No odor
1	Odore debole	Odor slight
2	Odore rilevante e discernibile	Odor noticeable
3	Odore forte	Odor strong
4	Odore molto forte	Odor very strong
5	Odore intollerabile	Odor unbearable

*Tab.1.2: scala ASTM dell'intensità di odore*

<b>Intensità di Odore</b>	<b>Descrizione</b>	
0	Nessun odore percepito	No odor
1	Odore molto debole	Odor very weak
2	Odore debole	Odor weak
3	Odore rilevante e discernibile	Odor distinct
4	Odore forte	Odor strong
5	Odore molto forte	Odor very strong
6	Odore intollerabile	Odor intolerable

*Tab.1.3: scala VDI 3882 dell'intensità di odore*

# Legge di Weber-Fechner/1

Per una sostanza odorigena  $j$ , presente in concentrazione  $C_j$ (ppm), se fosse l'unica presente, varrebbe:

$$OI_j = k_{1,j} \log_{10} C_j + k_{2,j}$$

## Legge di Weber-Fechner per le singole sostanze

Queste relazioni, proposte da Nagata (2003) e riportate da diversi autori (Kim e al., 2006; Kim e Park, 2008; Kabir e Kim, 2010; Lee e al., 2013; Kim e Kim, 2014), sono tutte funzionalmente identiche e rispettano la forma funzionale della relazione di Weber-Fechner

# Legge di Weber-Fechner/2

	Specie Chimiche osmogene		Formula di struttura	k <sub>1</sub>	k <sub>2</sub>
Composti carbonilici	Acetaldeide	AA	CH <sub>3</sub> CHO	1.010	3.85
	Propionaldeide	PA	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CHO	1.010	3.86
	Butiraldeide	BA	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CHO	1.030	4.60
	Isovaleraldeide	IA	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> CHCH <sub>2</sub> CHO	1.350	6.01
	Valeraldeide	VA	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> CHO	1.360	5.28
Composti ridotti dello Zolfo	Idrogeno solforato	H <sub>2</sub> S	H <sub>2</sub> S	0.950	4.14
	Metil Mercaptano	CH <sub>3</sub> SH	CH <sub>3</sub> SH	1.250	5.99
	Dimetilsolfito	DMS	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> S	0.780	4.06
	Dimetil disolfito	DMDS	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> S <sub>2</sub>	0.985	4.51
Composti Organici Volatili	Benzene	B	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	2.590	0.07
	Toluene	T	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH <sub>3</sub>	1.400	1.05
	p-Xilene	p-X	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> C <sub>6</sub> H <sub>4</sub>	1.570	2.44
	m-Xilene	m-X	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> C <sub>6</sub> H <sub>4</sub>	1.450	2.37
	o-xilene	o-X	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> C <sub>6</sub> H <sub>4</sub>	1.660	2.24
	Stirene	STY	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH=CH <sub>2</sub>	1.420	3.10
Composti Azotati	Ammoniaca	NH <sub>3</sub>	NH <sub>3</sub>	1.670	2.38
	Trimetilammina	TMA	(CH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> N	0.901	4.56
Chetoni	Metiletilchetone	MEK	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O	1.850	0.149
	Metilisobutilchetone	MIBK	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O	1.650	2.27
Esteri	Butilacetato	BuAc	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>2</sub>	1.140	2.34
Alcool	Alcool Isobutilico	i-BuAl	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O	0.790	2.53
Acidi Organici Grassi	Acido Propionico	PPA	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	1.380	4.60
	Acido Butirrico	BTA	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	1.290	6.37
	Acido Isovalerico	IVA	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O <sub>2</sub>	1.090	5.65
	Acido Valerico	VLA	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O <sub>2</sub>	1.580	7.29

(Nagata, 2003)

## Per una miscela

**Indice di Odore complessivo** quando sono presenti contemporaneamente N sostanze odorigene nell'aria in un punto ricettore  
(Kim e Park, 2008; Wu et al., 2016)

### SOI (Sum of Odor Intensity)

$$SOI = \log_{10} \left[ \sum_{k=1}^N 10^{OI_k} \right]$$

Esistono diverse metodologie che hanno tutte l'unico obiettivo di mettere in relazione le concentrazioni di picco delle diverse sostanze odorigene con l'intensità di odore.

Nella necessità di dover fornire alla popolazione ed alle autorità competenti una prima quantificazione della molestia olfattiva con un monitoraggio al ricettore, **si è scelto di impiegare provvisoriamente la metodologia del SOI.**

## DOMANDA N.4

COME PROCEDERE QUANDO LA SOSTANZA  
DISTURBANTE NON E' PREVALENTEMENTE  
L'H<sub>2</sub>S?



RISPOSTA

**INTRODUZIONE DELLA LEGGE DI WEBER-  
FECHNER E DEL  
CALCOLO DELL'*ODOR INTENSITY* E DEL  
*SUM OF ODOR INTENSITY***

IV  
CONCETTO  
CARDINE

## DOMANDA N.5



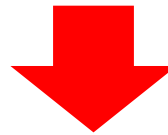
COME GESTIRE GLI INQUINANTI PER CUI NON È  
DISPONIBILE UNA STRUMENTAZIONE IN GRADO DI  
MISURARNE LA CONCENTRAZIONE AD ALTA FREQUENZA  
DI CAMPIONAMENTO?



# Generalizzazione

La Fluidodinamica asserisce che il comportamento statistico di uno scalare passivo nel PBL è indipendente dalla sua natura chimica

- che non altera le variabili meteorologiche
- che non è reattivo chimicamente



tutte le sostanze odorigene sottovento rispetto alla sorgente avranno le stesse caratteristiche statistiche dell'H<sub>2</sub>S (misurate direttamente)



tutte le sostanze odorigene presenti in aria contemporaneamente all'H<sub>2</sub>S hanno la stessa intensità di concentrazione ed il medesimo Peak-to-Mean.

## Operativamente

Si misurano le concentrazioni istantanee di  $\text{H}_2\text{S}$  e, su base oraria, si stima valore medio, varianza, intensità di concentrazione  $i_c$  e Peak-to-Mean  $\Psi$  (in questo modo le misure istantanee di una specie, che può essere anche l'odore, definiscono completamente le caratteristiche statistiche di tutte le altre sostanze presenti contemporaneamente in aria)

Si misura la concentrazione media oraria  $C_M$  di specie per cui non è disponibile un analizzatore veloce ( $\text{NH}_4$ , BTEX, ecc.).

Si stima la concentrazione di picco di tutte le sostanze per cui è possibile ottenere il solo valore medio orario  $C_M$ :

$$C_p = \Psi \cdot C_M$$

## DOMANDA N.5

COME GESTIRE GLI INQUINANTI PER CUI NON È DISPONIBILE UNA STRUMENTAZIONE IN GRADO DI MISURARNE LA CONCENTRAZIONE AD ALTA FREQUENZA DI CAMPIONAMENTO?

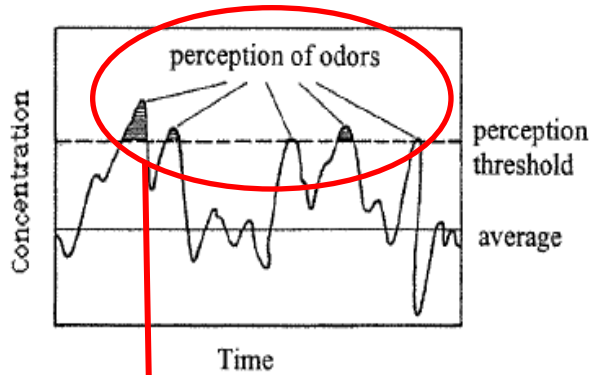


RISPOSTA

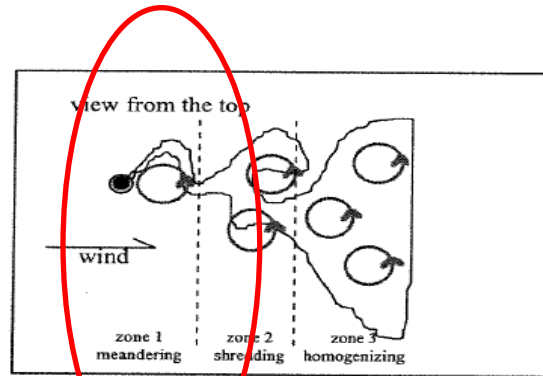
SI DETERMINANO L'INTENSITA' DI CONCENTRAZIONE ED IL PEAK-TO-MEAN PER L'H<sub>2</sub>S E SI ASSUMONO IDENTICHE PER LE ALTRE SPECIE CHIMICHE

V  
CONCETTO  
CARDINE

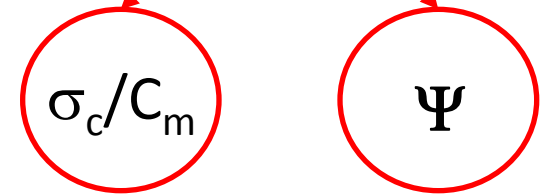
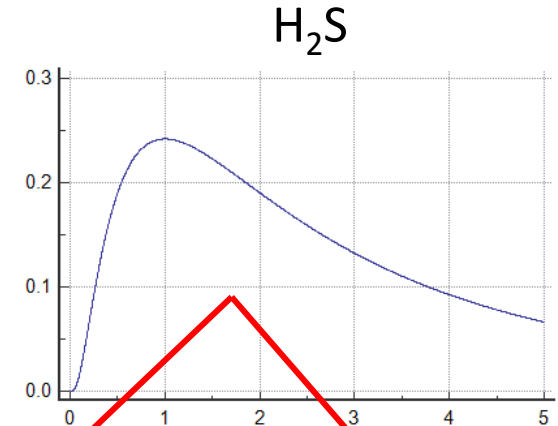
# Riassumendo i 5 concetti cardine



Picchi di  
concentrazione



Meandering  
( $\sigma_c/C_m \gg 1$ )



Per l'i-esimo composto osmogeno

$$C_{p,i} = \Psi_{H_2S} \cdot C_{M,i}$$

Per le miscele

$$SOI = \log_{10} \left[ \sum_{k=1}^N 10^{OI_k} \right]$$

## Campagne della durata di circa un mese

Estate 2017: campagna alla periferia di Frosinone (zona commerciale circondata da attività produttive).

Autunno 2017: campagna nel Comune di Ceccano - FR (paese medievale lontano dalle attività produttive ma con zona industriale sita entro un raggio di circa 2.5 km).

Estate 2018: campagna Roma via Salaria in prossimità del TMB AMA.

Inverno 2018-19: campagna Roma zona Rocca Cencia (presso una scuola a nord rispetto ad area produttiva con diversi impianti di trattamento rifiuti).

Primavera 2019: campagna nella zona industriale del comune di Patrica-FR (rendering, solventi, chimiche).

# Campagna di Ceccano/1

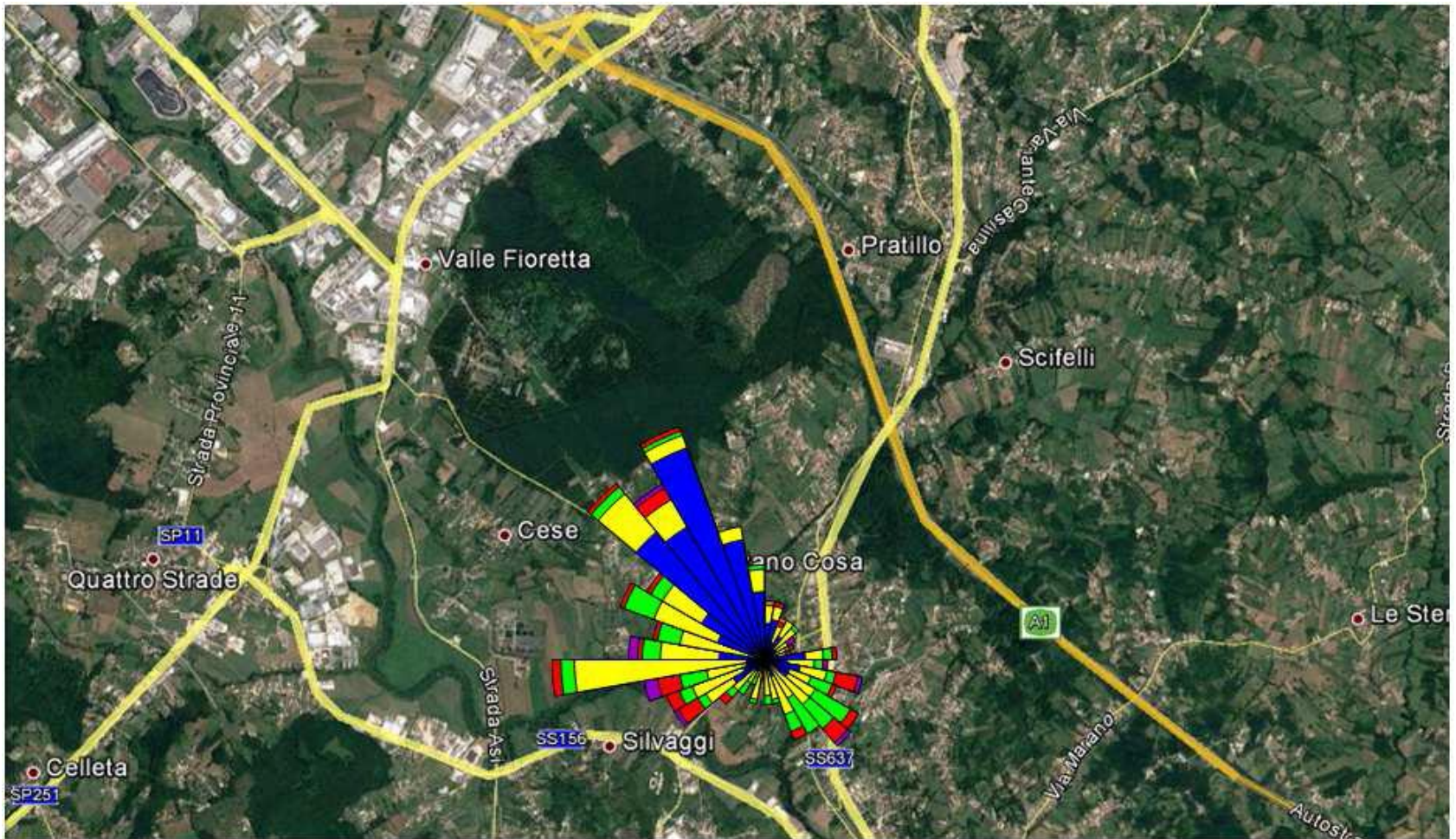
**Mezzo di monitoraggio usato:** mezzo mobile per Q.A. con

- Analizzatore di H<sub>2</sub>S
- Analizzatore di Ammoniaca
- Analizzatori di Benzene, Toluene, Etilbenzene, m,p,o-Xilene (BTEX)
- Anemometro ultrasonico 2D

**Informazioni impiegate:**

- Valori medi di 5 secondi della concentrazione di H<sub>2</sub>S
- Valori di concentrazione oraria di Ammoniaca
- Valori di concentrazione oraria dei BTEX

# Campagna di Ceccano/2



## Campagna di Ceccano/3

Dalle concentrazioni medie 5s di  $H_2S$  si è ottenuto per ogni ora l'*intensità di concentrazione* che è stata applicata anche alle altre sostanze odorigene.

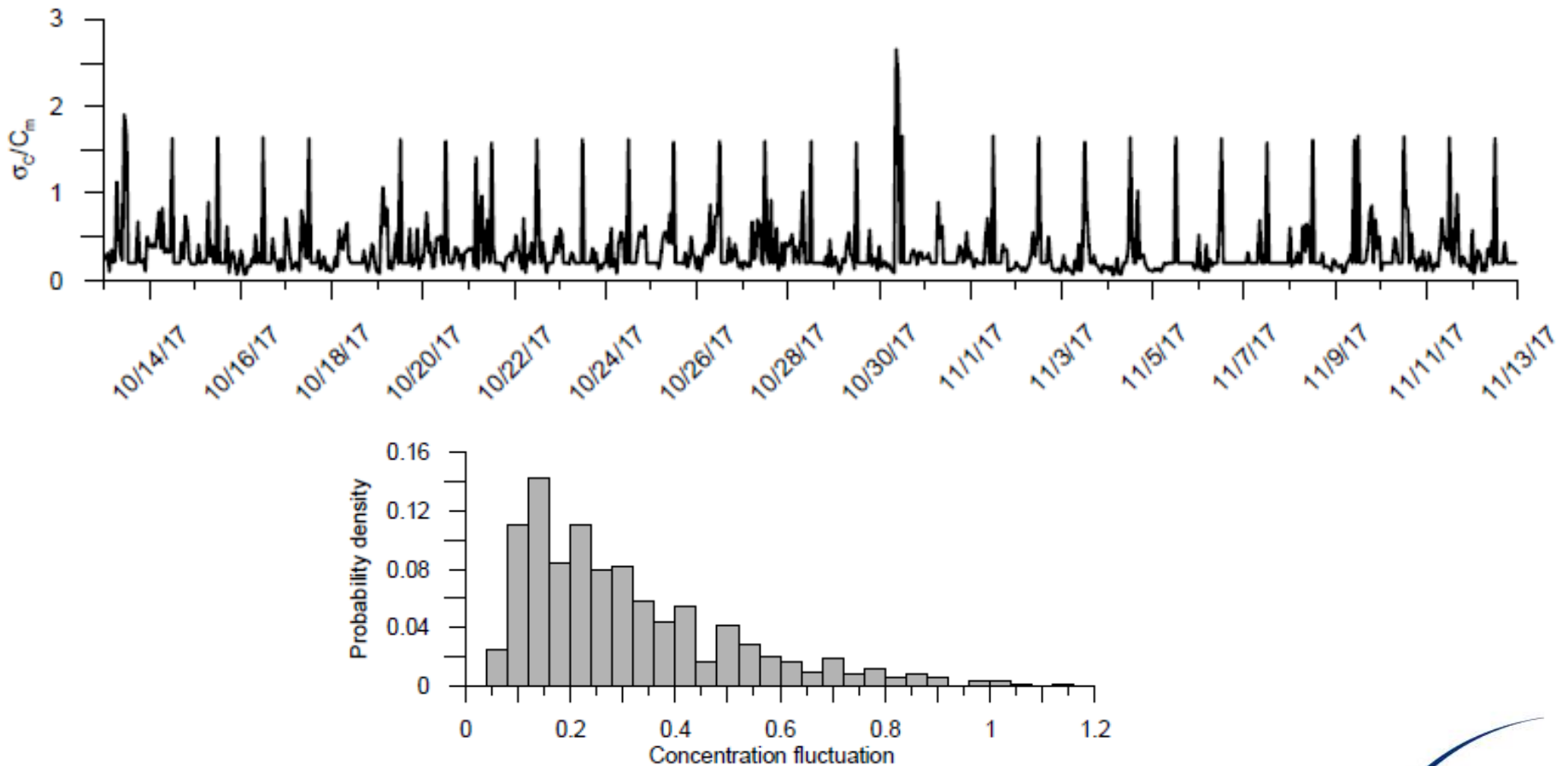
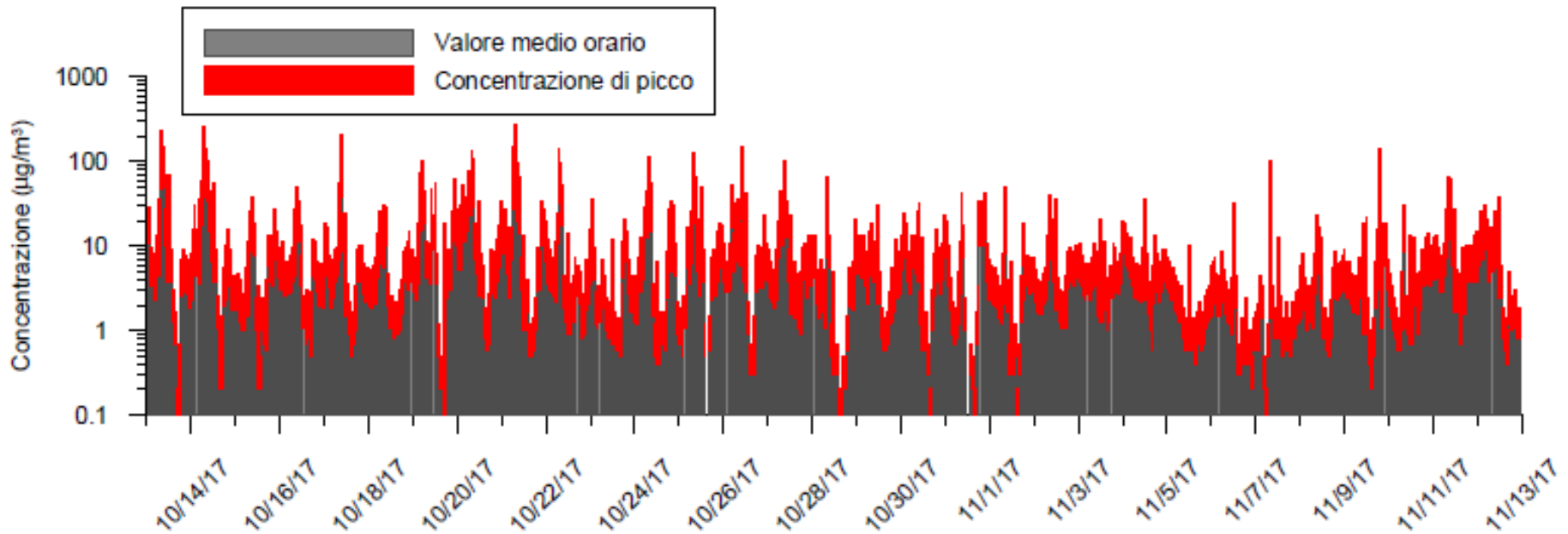


Fig.4.2: densità di probabilità campionaria del rapporto  $\sigma_c/C_m$



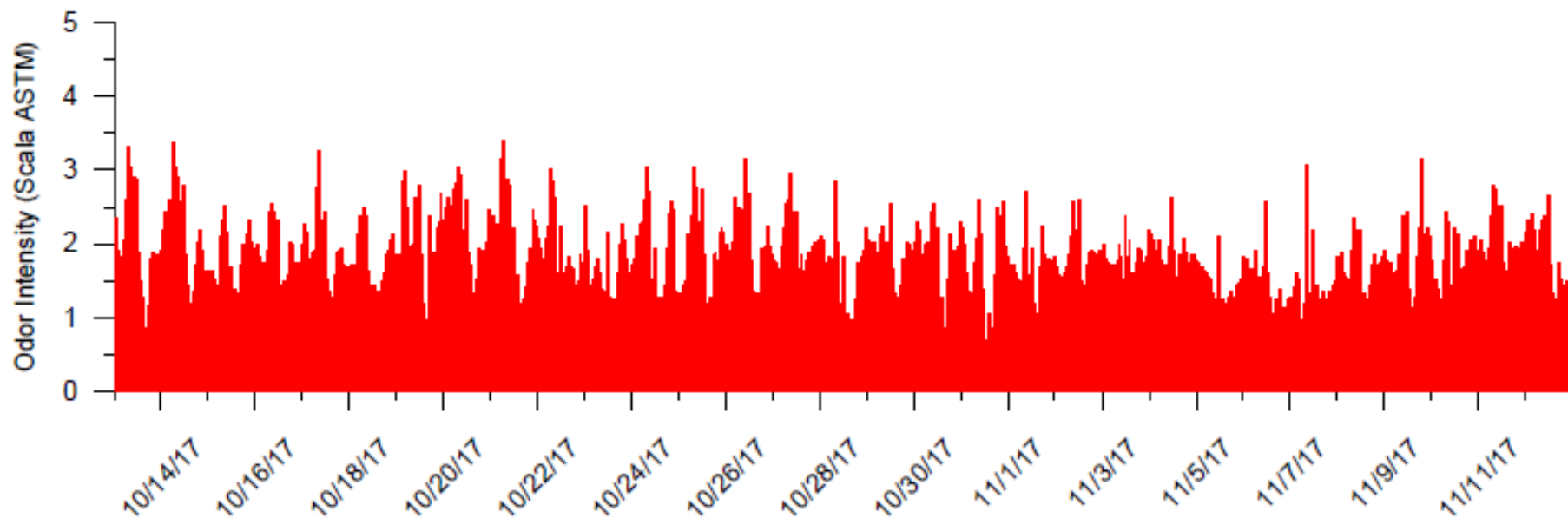
# Campagna di Ceccano/4

Andamento orario della *concentrazione media* di H<sub>2</sub>S e del relativo *valore di picco* (attenzione: l'asse delle concentrazioni è **logaritmico**)



# Campagna di Ceccano/5

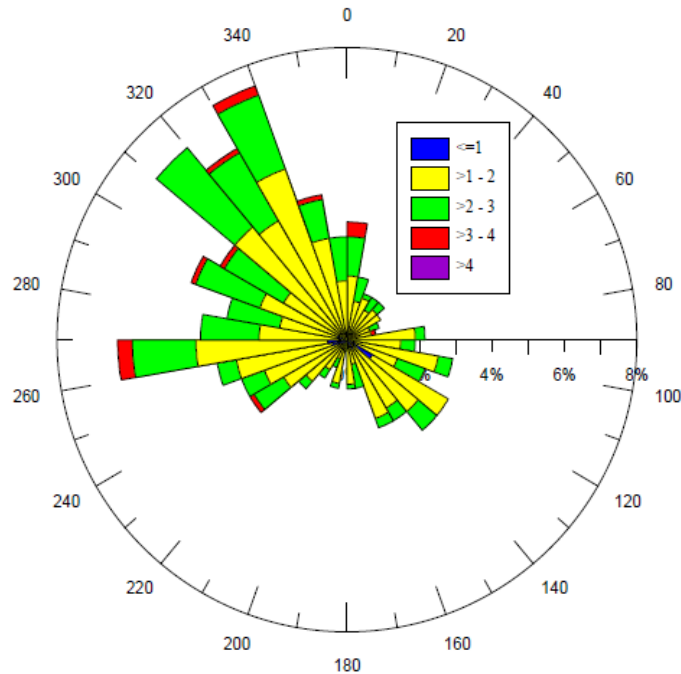
Andamento orario dell'intensità di odore complessiva OI da confrontare ora per ora con la scala ASTM.



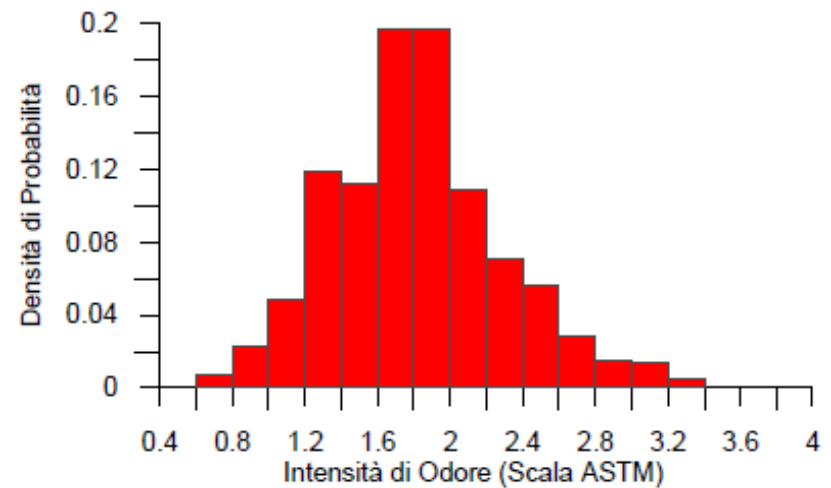
<b>Intensità di Odore</b>	<b>Descrizione</b>	
0	Nessun odore percepito	No odor
1	Odore debole	Odor slight
2	Odore rilevante e discernibile	Odor noticeable
3	Odore forte	Odor strong
4	Odore molto forte	Odor very strong
5	Odore intollerabile	Odor unbearable

# Campagna di Ceccano/6

## Rosa delle Intensità di Odore



## Densità di probabilità relativa all'intero periodo della Intensità di Odore Complessiva



## Azioni future

L'agenzia intende supportare le amministrazioni locali nella somministrazione alla popolazione di **questionari**

E' in fase di allestimento un laboratorio mobile all'interno del quale verrà installato, in aggiunta alla strumentazione già presente, un **gascromatografo** dedicato alla determinazione dei **composti ridotti dello zolfo**

Ad integrazione saranno condotte campagne per la messa punto della procedura che prevede l'uso dei **radielli**, riportata nella pubblicazione

*Grazie per l'attenzione*