



PROGRAMMA  
OPERATIVO REGIONALE  
VALLE D'AOSTA  
2014-2020



# ALDEIDI: inquinamento indoor e possibili scenari di depurazione

Dott.ssa ROLLANDIN Annie – ARPA Valle d'Aosta

Ing. BLANC Laurent – libero professionista

Aosta, Maison & Loisir 21/04/2016

# Il progetto

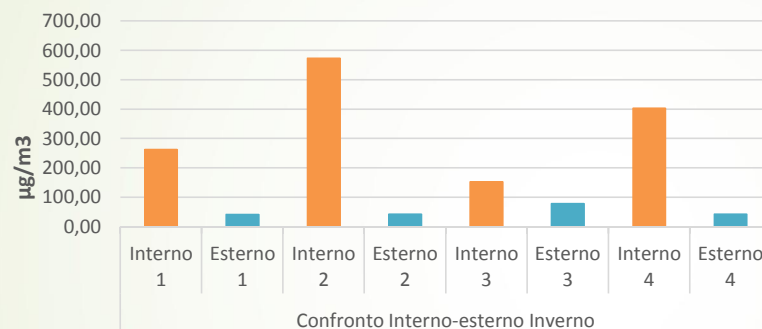
- «Attività di sperimentazione di sistemi di fitodepurazione dell'aria indoor»
- Programma POR-FESR 2007/2013, collaborazione tra:
  - ARPA Valle d'Aosta (ing. D. Panont, dott.ssa S. Pittavino, dott. A. Mammoliti Mochet)
  - Ing. L. Blanc
  - UniTO e UniUPO (prof. G. Lingua)
- **Obiettivo:** Misurazione di composti organici volatili e di aldeidi aerodispersi in ambiente confinato indoor in differenti contesti lavorativi e abitativi per prevedere diverse soluzioni di depurazione dell'aria

## Perché uno studio sull'aria Indoor?

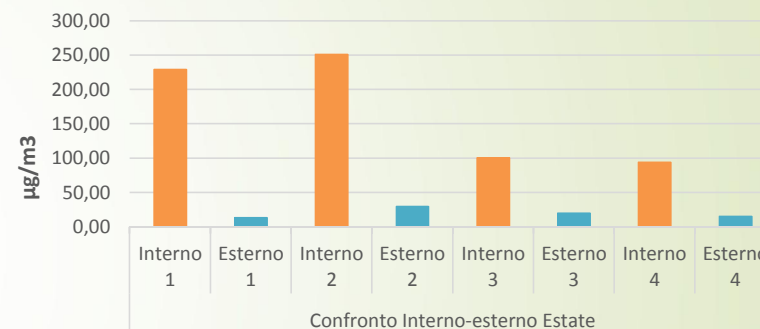
- Diversi studi hanno sottolineato come le persone passino dal 80% al 95% del loro tempo in ambienti confinati.
- Un ambito ancora poco conosciuto:  
Sensibilità e attenzione dell'opinione pubblica verso le problematiche legate alla qualità dell'aria interna è in aumento.  
Non esiste una normativa specifica né nazionale né comunitaria per la qualità dell'aria indoor, solo alcuni stati dell'UE hanno introdotto nella propria legislazione norme specifiche (La Francia è il Paese in cui il quadro normativo appare più sviluppato ed evoluto)
- Soprattutto l'aria interna è spesso maggiormente inquinata dell'aria esterna

# Confronto tra qualità dell'aria interna ed esterna

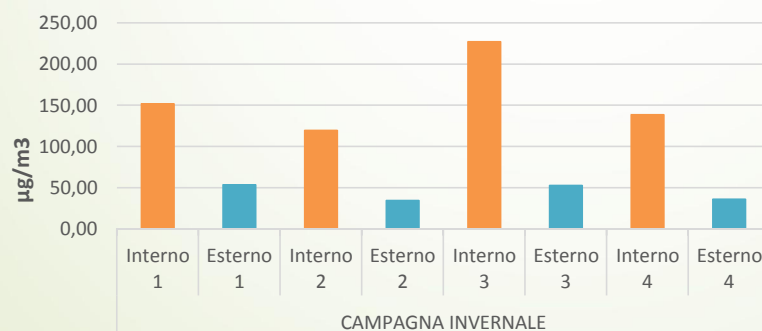
### VT Ufficio Inverno – COV TOTALI



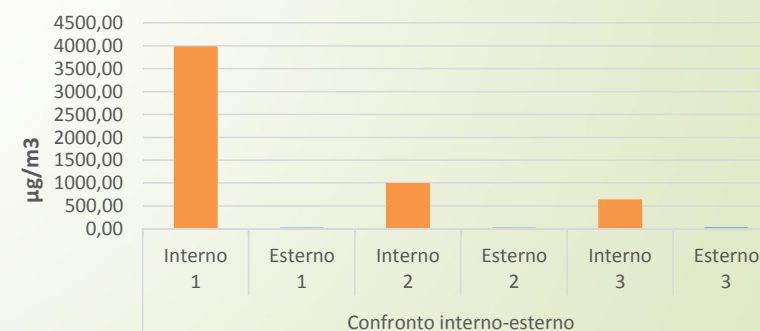
### VT Ufficio Estate - COV TOTALI



### Benzinaio Inverno – COV TOTALI

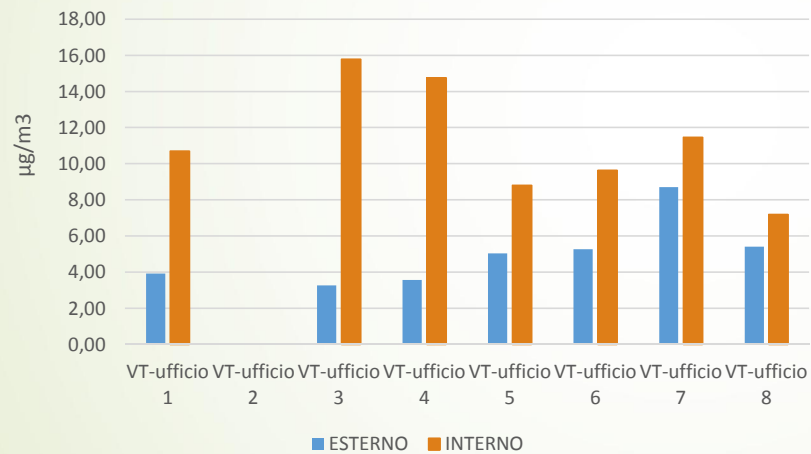


### Nuova costruzione – COV TOTALI

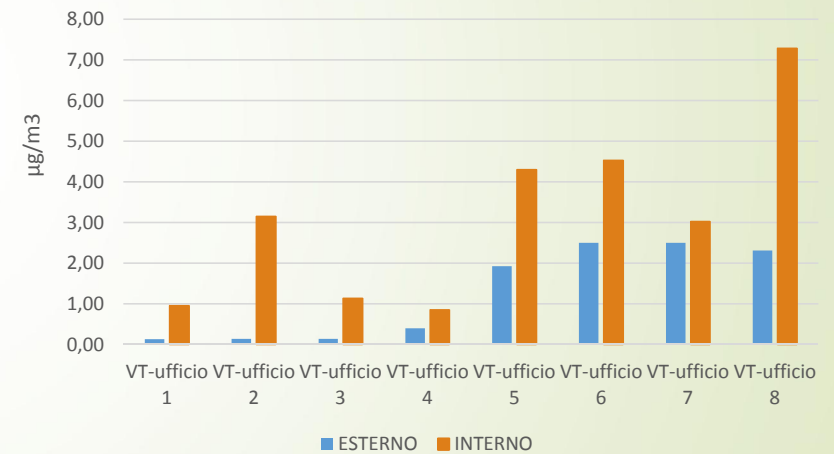


# Confronto tra qualità dell'aria interna ed esterna

Confronto Esterno-Interno Ufficio -  
Formaldeide



Confronto Esterno-Interno Ufficio -  
Benzene



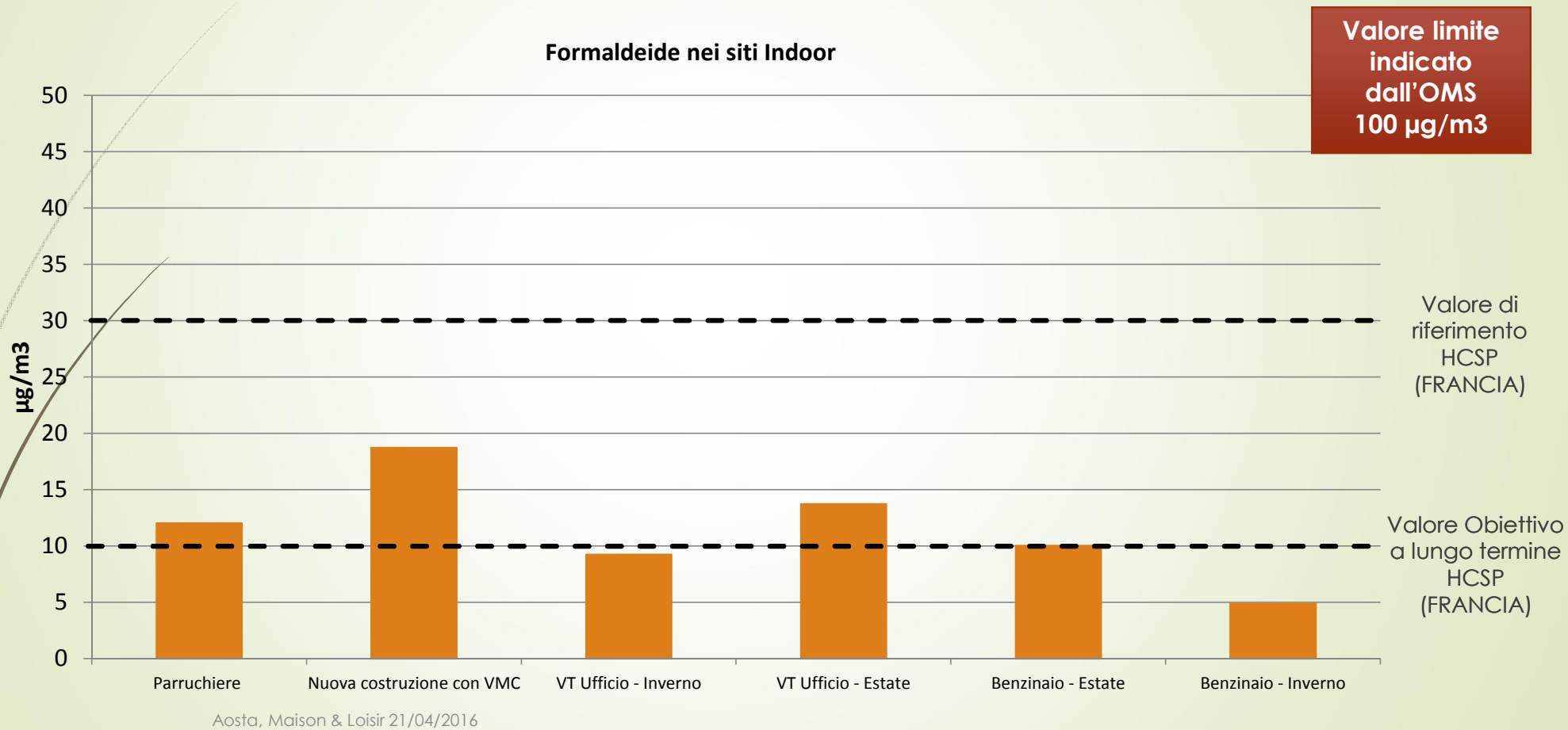
# Valori guida di Formaldeide e Benzene

COMPOSTO	ESPOSIZIONE	FRANCIA		INTERNAZIONALE	
		ANSES	HCSP	Europe/Index	OMS
Formaldeide	Breve termine	50 µg/m <sup>3</sup> (2h)		30 µg/m <sup>3</sup> (30 min)	100 µg/m <sup>3</sup> (30 min)
	Lungo periodo	10 µg/m <sup>3</sup>	V.a.r 100 µg/m <sup>3</sup> V.i.r. 50 µg/m <sup>3</sup> V.m. 30 µg/m <sup>3</sup> V.o. 10 µg/m <sup>3</sup>	-	100 µg/m <sup>3</sup>
Benzene	Breve termine	30 µg/m <sup>3</sup> (1-14 giorni)		-	-
	Lungo periodo Effetti soglia	10 µg/m <sup>3</sup>			-
	Lungo periodo - effetti senza soglia	2 µg/m <sup>3</sup> per un'esposizione a vita per un livello di rischio pari a 10 <sup>-5</sup>	V.a.r 10 µg/m <sup>3</sup> V.m. 5 µg/m <sup>3</sup> V.o. 2 µg/m <sup>3</sup>	Concentrazione minore possibile	1.7 µg/m <sup>3</sup> per un'esposizione a vita per un livello di rischio pari a 10 <sup>-5</sup>

ANSES: Agence nationale de la sécurité sanitaire en charge de l'alimentation, de l'environnement et du travail

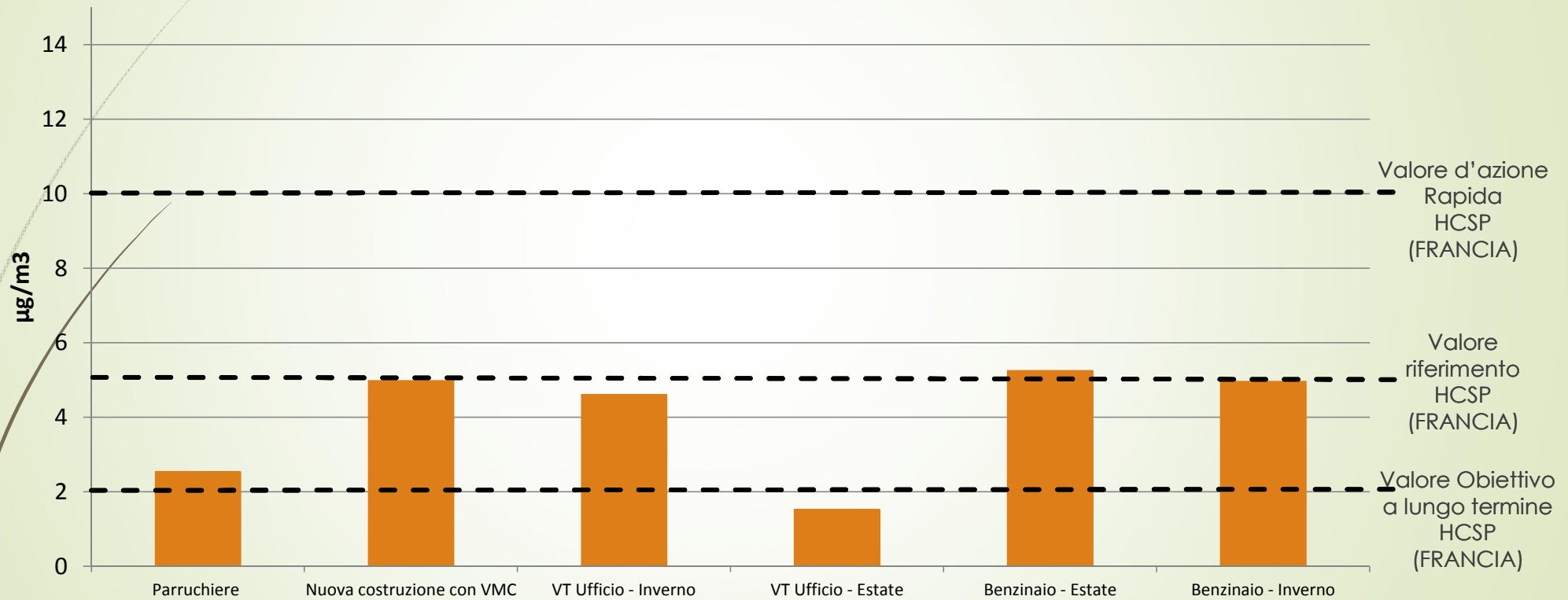
HCSP: Haut Conseil de la santé publique

# Livelli di Formaldeide nei diversi siti



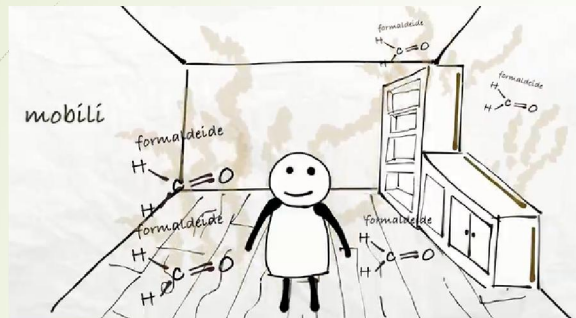
# Livelli di Benzene nei diversi siti

Benzene nei siti Indoor

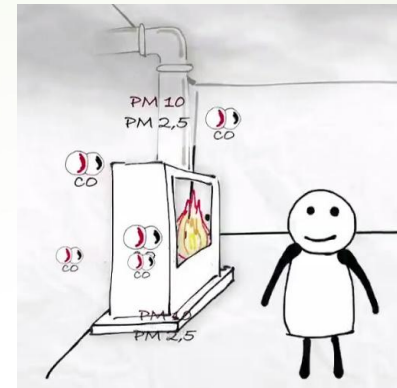




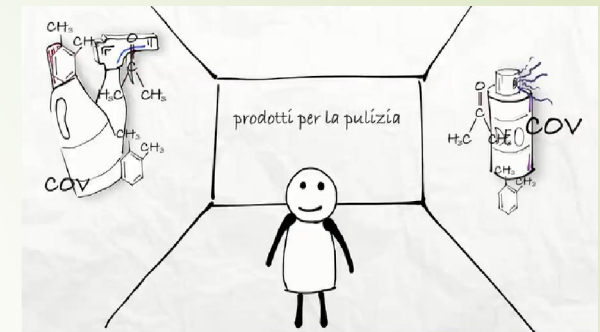
# Le sorgenti indoor



- Materiali da costruzione e arredi



- Stufe e cucine

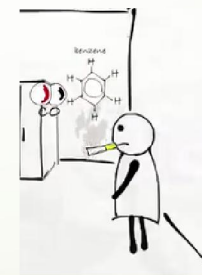


- Prodotti per la pulizia

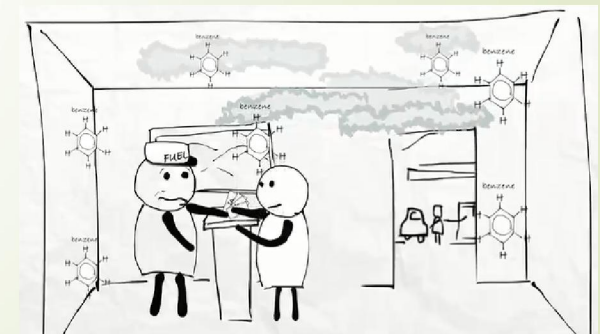


- Solventi, vernici e prodotti per il bricolage

Aosta, Maison & Loisir 21/04/2016



- Fumo di sigaretta



- Sorgenti esterne

# COV e salute



# COV e salute

## **Sick Building Syndrome (SBS)**- Sindrome da edificio malato

Malattie «non specifiche» correlate alla permanenza di individui all'interno di un edificio. La SBS si manifesta con sintomi non specifici ma ripetitivi e non correlati ad un agente particolare. Tali sintomi coinvolgono più frequentemente soggetti che lavorano in ufficio, scompaiono o comunque si attenuano all'uscita dai locali e non sono accompagnati da reperti obiettivi rilevanti.



Difficile poter individuare una vera e propria “patologia” causata dalla permanenza in edifici malati, mentre si può avvertire malessere e senso di irritazione.

## COV e salute

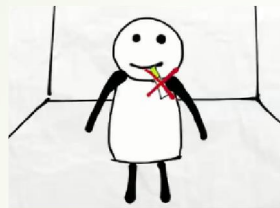
Oltre a problemi di discomfort, alla sindrome da edificio malato o all'insorgere di vere e proprie patologie dovute all'esposizione ad inquinanti particolarmente nocivi con concentrazioni elevate (Formaldeidi, benzene...), una cattiva qualità dell'aria indoor può avere influenze negative sul sistema nervoso centrale delle persone:



- ▶ Lo studio di *Mendel et al, 2005* ha messo in luce i legami tra l'influenza della scarsa qualità dell'aria indoor nelle scuole e l'abbassamento delle performance degli studenti
- ▶ Un recente studio condotto negli Stati Uniti presso un centro di ricerca specializzato (*Allen et al, 2015*) dimostra una forte influenza dei livelli di COV (composti organici volatili) e CO<sub>2</sub> nell'aria indoor degli uffici sulle capacità cognitive e decisionali dei lavoratori

# Prevenzione e soluzioni

- Eliminare le fonti di inquinamento



- Scegliere materiali da costruzione e arredi realizzati con materiali a basso contenuto ed basse emissioni di inquinanti  
(Norma Francese: "*Etiquetage des émissions en polluants volatils des produits de construction et de décoration*", Ministère de l'Environnement, de l'Energie et de la Mer)
- Sostituire le stufe vecchie con quelle di nuova generazione a tenuta stagna
- Ventilare periodicamente aprendo le finestre o utilizzando sistemi di ventilazione meccanizzata

# L'importanza della ventilazione

- Dagli anni '70 il ricambio naturale dovuto all'infiltrazione di aria esterna all'interno degli edifici è passato da 1 Vol/h a circa 0,1 Vol/h nei nuovi fabbricati a basso consumo energetico.
- Necessità di ricambio dell'aria soprattutto nei nuovi edifici o dopo una riqualificazione energetica.



**Ventilazione naturale**

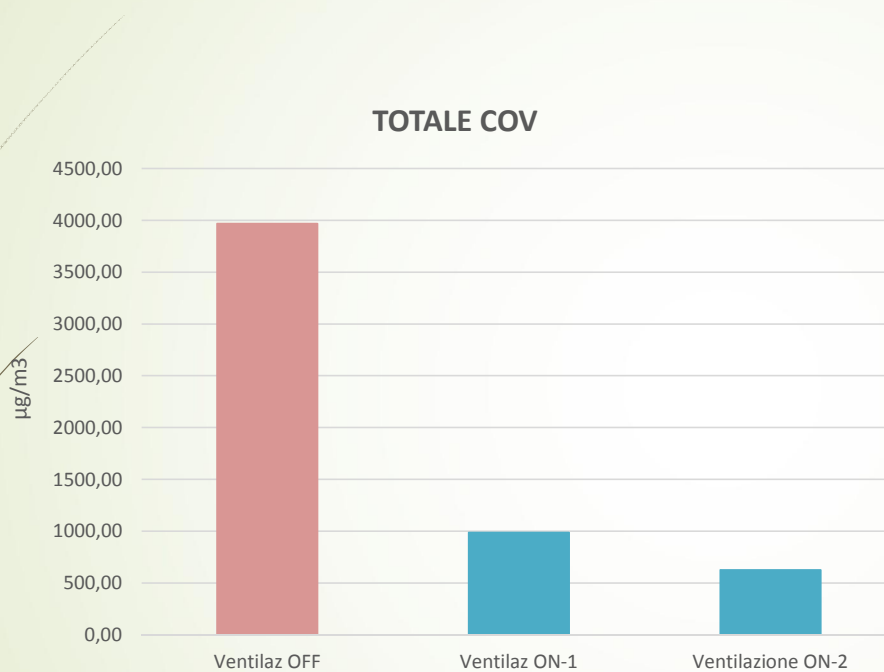


**Ventilazione meccanica controllata  
(VMC)**

# Ventilazione naturale o VMC?

	VANTAGGI	SVANTAGGI
<b>VENTILAZIONE NATURALE</b>	Costi di investimento nulli	Legata alle sole sensazioni degli occupanti
	Manutenzione non necessaria	Spredo energetico
		Difficilmente attuabile nel periodo invernale
		Ingresso di aria esterna non trattata
<b>VENTILAZIONE MECCANICA CONTROLLATA</b>	Ricambio d'aria continuo	Alti costi di investimento iniziale
	Filtrazione dell'aria di rinnovo	Elevati costi di manutenzione
	Recupero energetico	Manutenzione non sempre agevole
	Qualità dell'aria indoor elevata	

# La VMC nelle nuove costruzioni

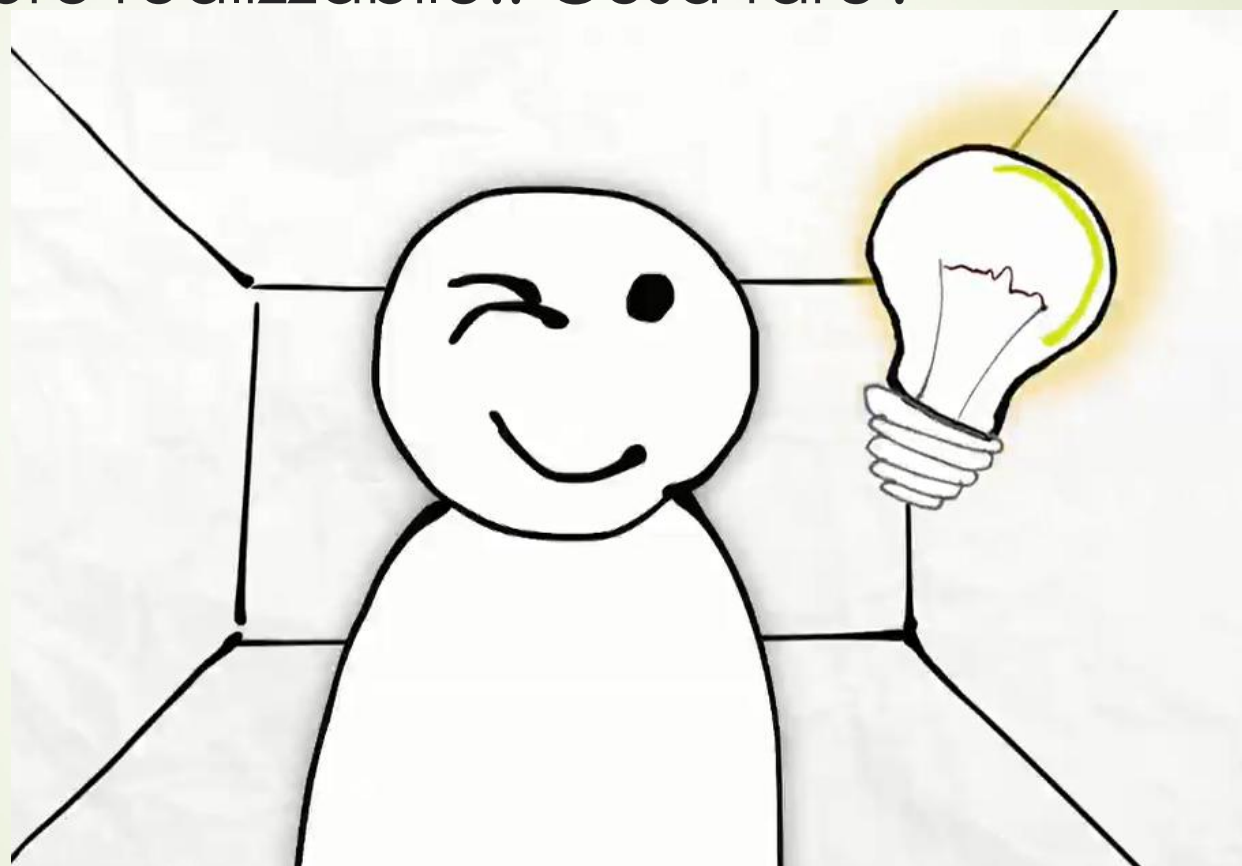


Aosta, Maison & Loisir 21/04/2016

	Ventilaz OFF	Differenza misure Ventilaz OFF con Ventilaz ON-1	Differenza misure Ventilaz OFF con Ventilaz ON-2
	µg/m3	%	%
<b>COV</b>			
metilcicloesano	24,80	-75,57%	-86,97%
acetato di butile	0,21	1,87%	1682,69%
metilmetacrilato	0,12	1,43%	1,43%
alcol isobutilico	0,16	1,24%	574,91%
limonene	149,85	-78,76%	-46,20%
cicloesano	56,44	-74,33%	-83,73%
n-decano	14,58	-84,12%	-91,49%
n-dodecano	41,36	-34,45%	-72,60%
n-nonano	4,75	-86,13%	-91,58%
n-undecano	32,65	-86,62%	-89,11%
benzene	11,54	-43,76%	-69,95%
etilbenzene	11,52	-76,86%	-82,31%
isopropilbenzene	2,52	-93,80%	-93,80%
toluene	2730,00	-76,68%	-87,33%
xileni (o,m,p)	14,93	-80,77%	-89,28%
acetato di etile	0,14	1,34%	2223,37%
<b>COV TOTALI</b>	<b>3334,45</b>	<b>-76,16%</b>	<b>-84,09%</b>
<b>Aldeidi</b>			
Formaldeide	43,93	-44,79%	-69,81%
Acetaldeide	175,32	-66,37%	-79,39%
Benzaldeide	1,33	-52,88%	-77,18%
<b>ALDEIDI TOTALI</b>	<b>636,00</b>	<b>-69,57%</b>	<b>-84,59%</b>
<b>TOTALE (COV+Aldeidi)</b>	<b>3970,45</b>	<b>-75,10%</b>	<b>-84,17%</b>



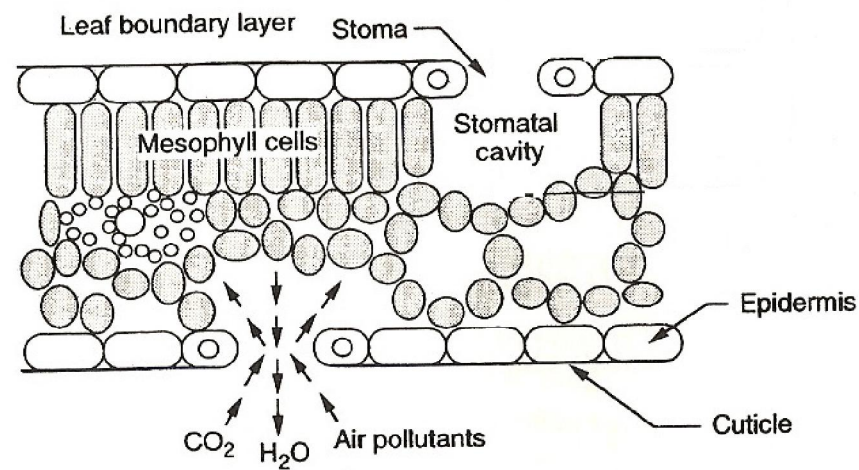
La VMC è un'ottima soluzione, ma non è sempre realizzabile.. Cosa fare?



# Utilizzo di piante da arredo



Sezione di una foglia

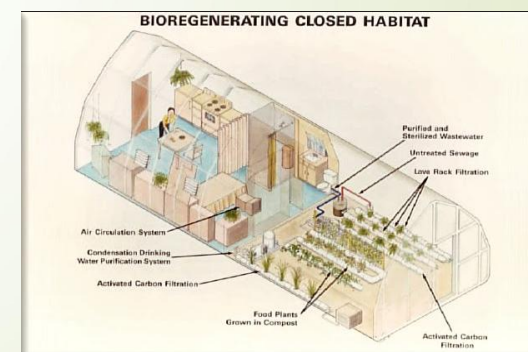


# Stato dell'arte - 1

- NASA (anni '70-'80):  
COV nelle navicelle spaziali



Biohome



## Stato dell'arte - 2

- Progetto PHYTAIR (Francia, 2004-2011):  
formaldeide, benzene e CO



fase 1) ambienti confinati e  
in condizioni controllate



fase 2) ambienti reali, ma  
in condizioni controllate



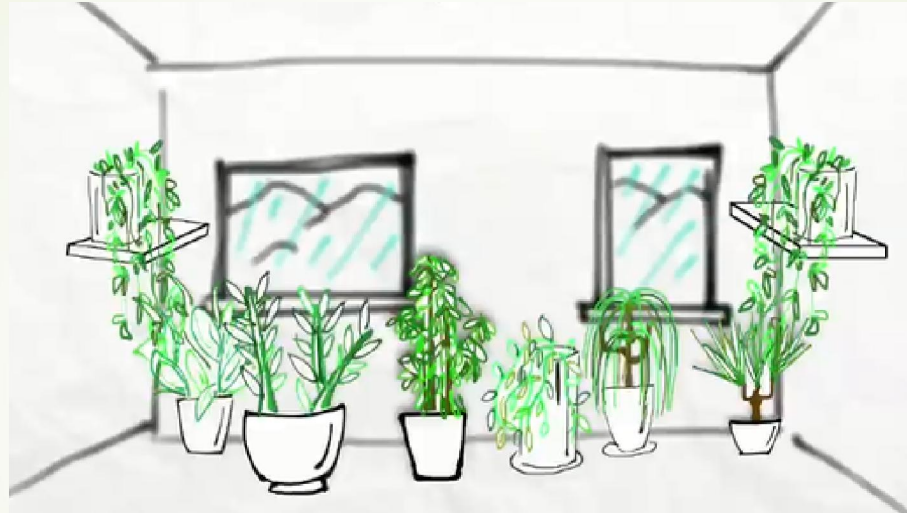
# «Progetto fitodepurazione VdA»

- **Novità:** misurazione inquinanti in ambienti reali e abitati
  
- **Diverse realtà indoor:**
  - Ufficio con arredi nuovi
  - Zona produttiva con utilizzo COV
  - Gabbiotto di benzinaio
  - Salone di parrucchiere (solo indagine conoscitiva)
  - Edificio di nuova costruzione con ventilazione meccanica (no piante)
  
- **Campagne di campionamento:** 7/14 giorni di esposizione, 2 campagne per stagione (estiva e invernale) senza piante e 2 con piante

# Utilizzo di piante da arredo



*Scindapsus aureus*



*Dracaena marginata*



*Zamioculcas zamiifolia*



*Vari tipi di felci*



*Ficus benjamina*

# Campionamento: Radiello®

Cartuccia con adsorbente



Corpo diffusivo



# Campionamento: Radiello ® - 2

Sostegno per corpo diffusivo





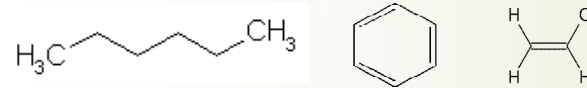
# Esposizione



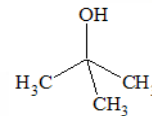
# Gli inquinanti

- Composti organici volatili (COV):** diverse famiglie di con gruppi funzionali diversi, aventi comportamenti fisici e chimici differenti, ma caratterizzati da una certa volatilità (tensione di vapore di 0,01 kPa a 20°C)

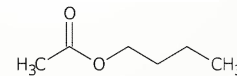
- Idrocarburi alifatici, aromatici, clorurati (n-esano, benzene, cloruro di vinile)



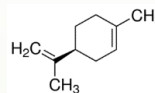
- Alcoli (alcol terz-butilico)



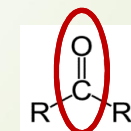
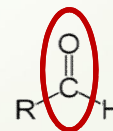
- Esteri (acetato di butile)



- Terpeni (limonene)

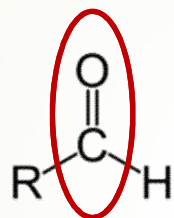


- Composti carbonilici (aldeidi e chetoni)

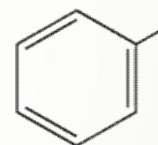


## Gli inquinanti - 2

### ► Aldeidi:

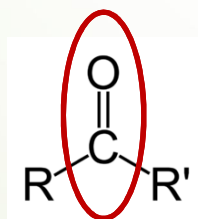


dove  $\text{R} = \text{H} -$  → formaldeide  
 $\text{CH}_3 -$  → acetaldeide



→ benzaldeide

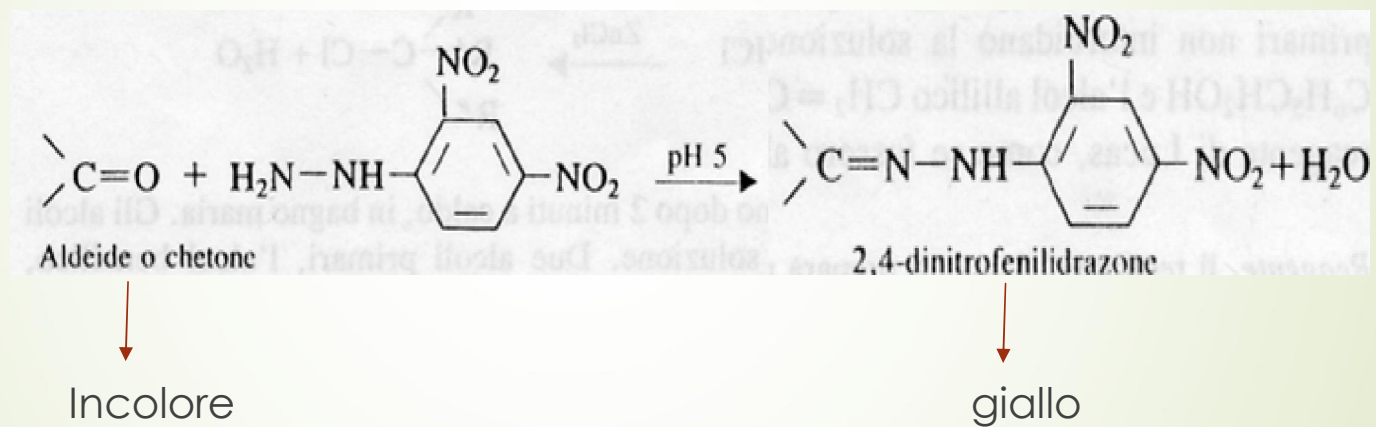
### ► Chetoni:



dove  $\text{R} = \text{R}' = \text{CH}_3 -$  → acetone

# Determinazione analitica aldeidi- 1

Rivelabilità dei composti carbonilici:

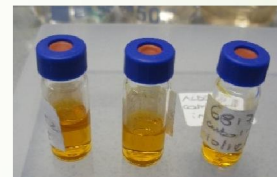


# Determinazione analitica aldeidi- 2

- ▶ Estrazione con 2 ml di  $\text{CH}_3\text{CN}$



- ▶ Filtrazione su filtri 0,45  $\mu\text{m}$



- ▶ Iniezione in HPLC – DAD, fase inversa (C18),  
eluizione in gradiente  $\text{CH}_3\text{CN}/\text{H}_2\text{O}$



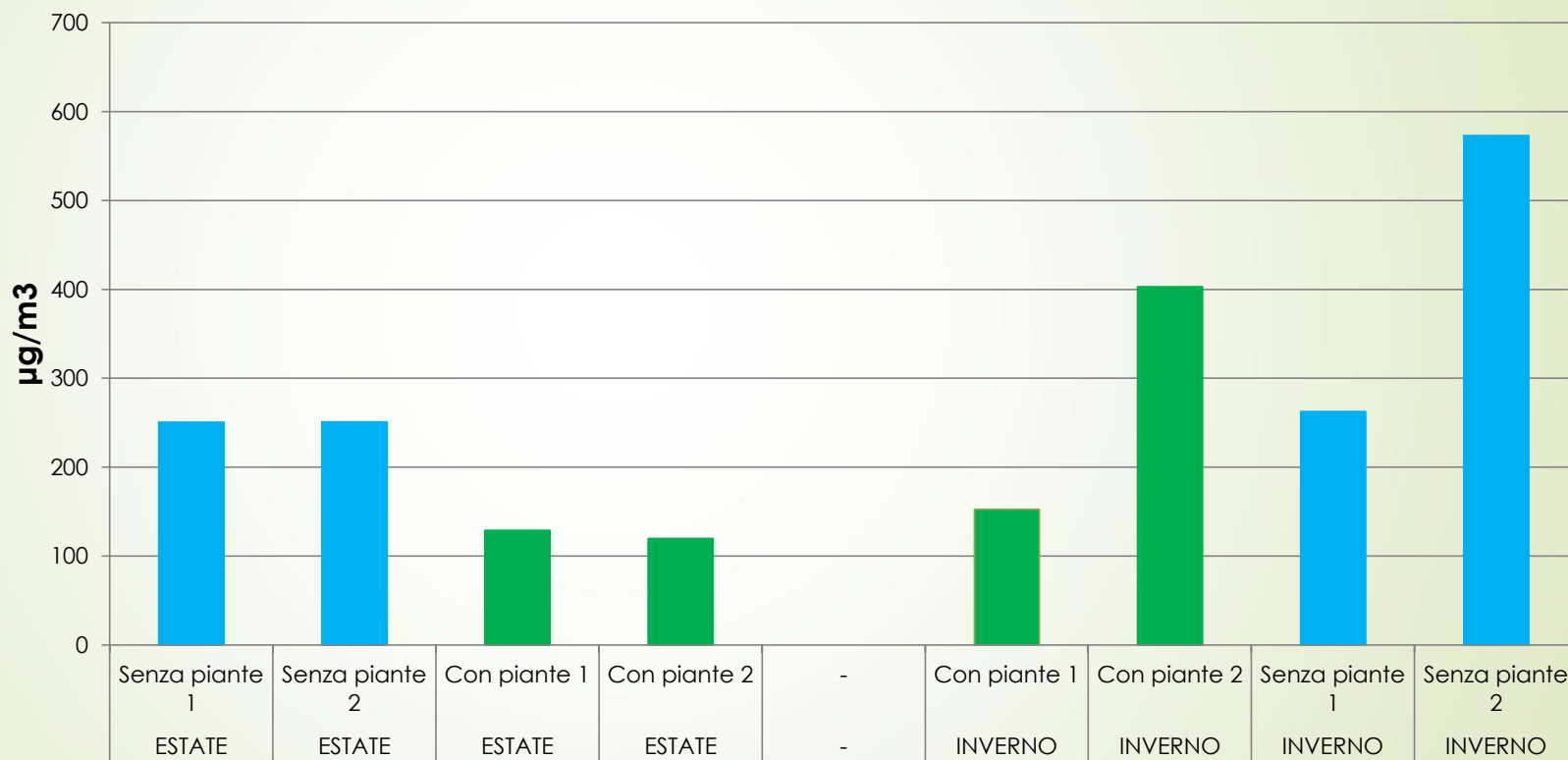
# Determinazione analitica COV

- ▶ Estrazione con  $\text{CS}_2$
- ▶ Analisi in GC con rivelatore FID e conferma in MS



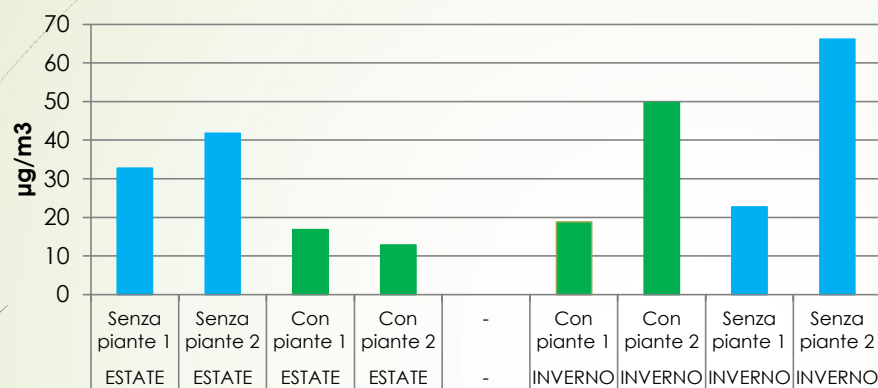
# Risultati 1- COV ufficio

## Ufficio - TOTALE COV (Comprese le Aldeidi)

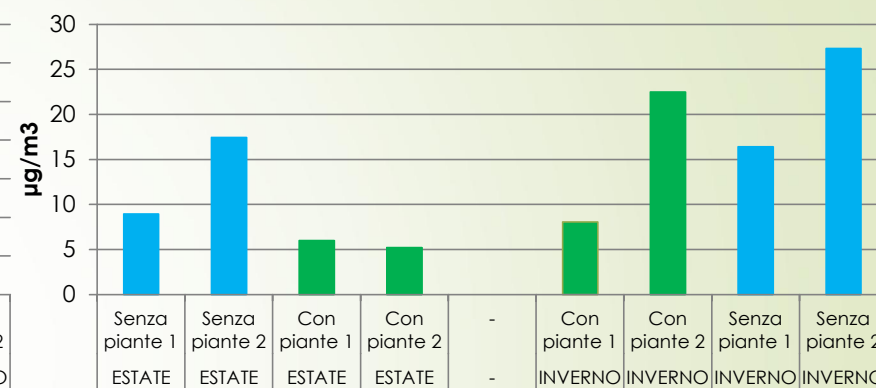


# Risultati 2 – COV Ufficio

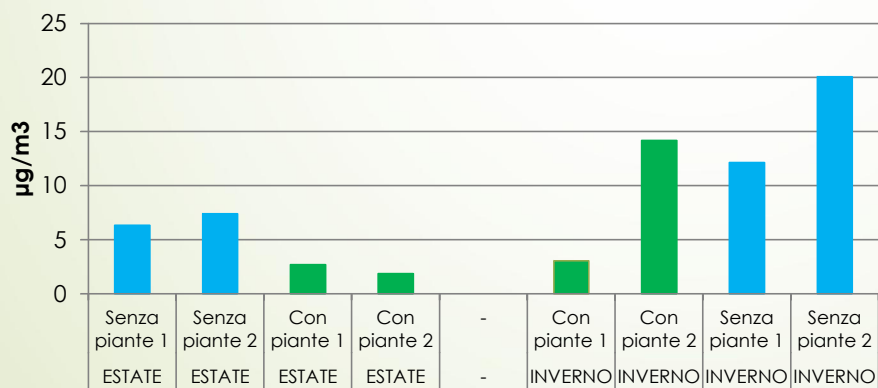
## Acetato di butile



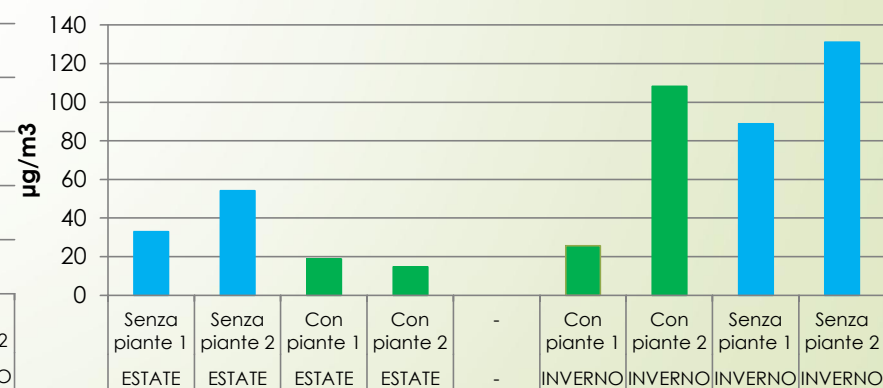
## Etilbenzene



## n-nonano



## Xileni (o,m,p)





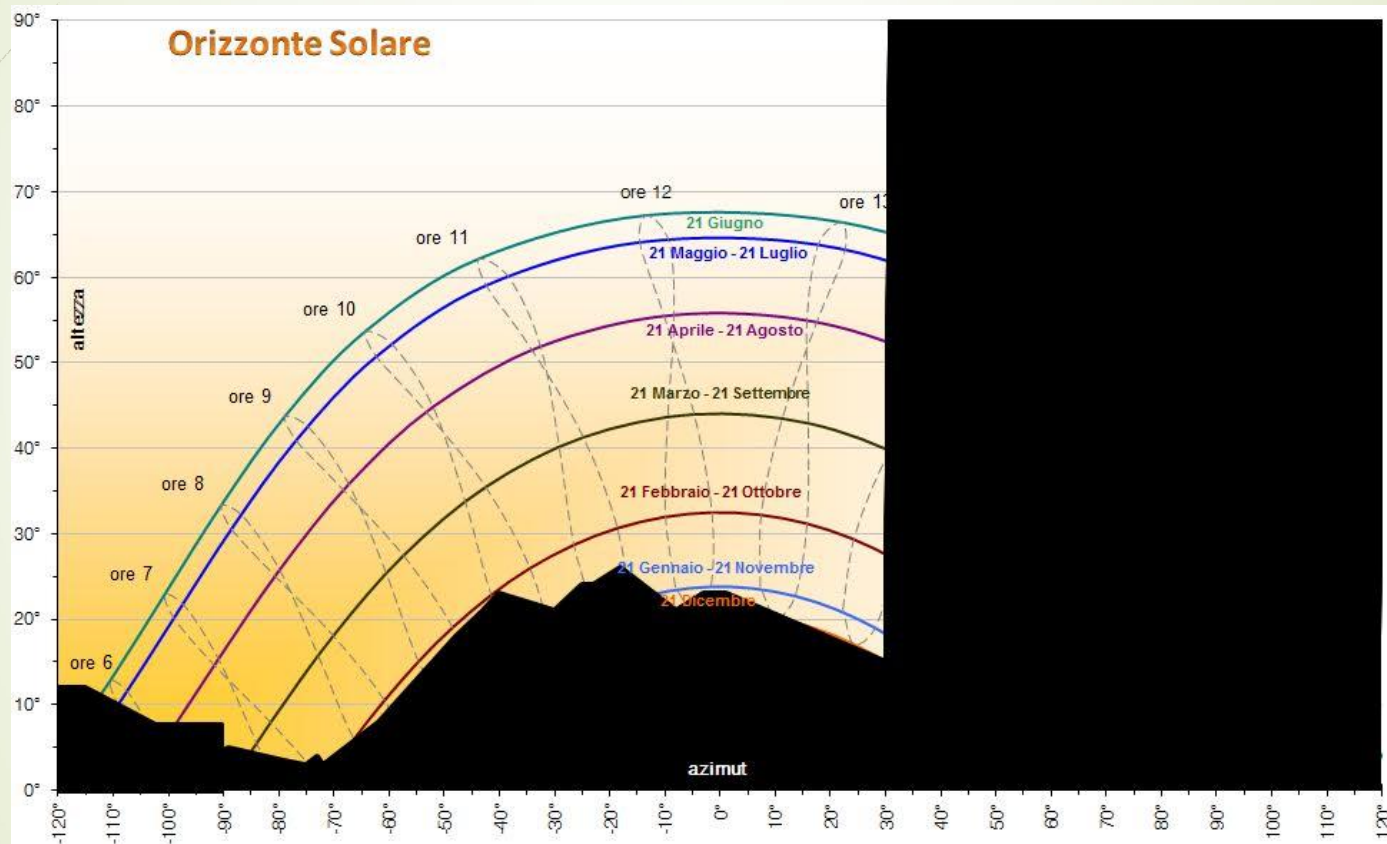
## Risultati 3 – Riassunto Ufficio Estate

	Media senza piante	Differenza misure piante 1 con media senza piante	Differenza misure piante 2 con media senza piante
	µg/m <sup>3</sup>	%	%
<b>COV</b>			
metilcicloesano	2.29	19.78%	14.26%
acetato di butile	37.33	-54.93%	-65.50%
metilmetacrilato	0.17	-33.35%	-33.25%
alcool isobutilico	13.55	-98.85%	-36.07%
limonene	3.25	-93.85%	-93.84%
cicloesano	7.21	-48.58%	-58.95%
n-decano	12.64	-32.98%	-47.74%
n-dodecano	33.06	-71.02%	-71.22%
n-nonano	6.89	-60.91%	-72.66%
n-undecano	28.34	-60.80%	-62.39%
benzene	2.05	-44.87%	-58.49%
etilbenzene	13.22	-54.33%	-60.27%
isopropilbenzene	2.71	-54.66%	-69.52%
toluene	8.87	-72.01%	-60.88%
xileni (o,m,p)	43.66	-56.70%	-66.11%
acetato di etile	2.87	-23.79%	1.72%
<b>COV TOTALI</b>	<b>240.41</b>	<b>-58.22%</b>	<b>-60.97%</b>
<b>Aldeidi</b>			
Formaldeide	10.71	47.50%	37.80%
Acetaldeide	4.56	-10.73%	-24.05%
Benzaldeide	1.83	-33.75%	-35.62%
<b>ALDEIDI TOTALI</b>	<b>21.73</b>	<b>32.36%</b>	<b>20.47%</b>
<b>TOTALE (COV+Aldeidi)</b>	<b>262.14</b>	<b>-51.23%</b>	<b>-54.22%</b>

## Risultati 4 – Riassunto ufficio Inverno

	Media senza piante	Differenza misure piante 1 con media senza piante	Differenza misure piante 2 con media senza piante
	µg/m3	%	%
<b>COV</b>			
metilcicloesano	4.21	-64.89%	28.47%
acetato di butile	44.45	-57.62%	11.92%
metilmetacrilato	1.85	-90.51%	-90.58%
alcool isobutilico	27.20	-69.04%	33.98%
limonene	15.13	-28.93%	-13.74%
cicloesano	4.64	-15.85%	30.46%
n-decano	30.70	-71.78%	-5.30%
n-dodecano	9.72	-5.51%	27.96%
n-nonano	16.12	-81.08%	-11.97%
n-undecano	12.04	9.33%	105.68%
benzene	4.80	-10.38%	-5.69%
etilbenzene	21.89	-63.07%	2.82%
isopropilbenzene	8.38	-97.30%	-23.90%
toluene	25.24	-74.96%	-39.89%
xileni (o,m,p)	110.02	-76.65%	-1.60%
acetato di etile	10.10	-97.99%	-50.77%
<b>COV TOTALI</b>	<b>397.59</b>	<b>-65.79%</b>	<b>-3.20%</b>
<b>Aldeidi</b>			
Formaldeide	9.33	-5.58%	3.43%
Acetaldeide	4.15	-39.84%	-23.30%
Benzaldeide	0.81	-29.36%	-31.16%
<b>ALDEIDI TOTALI</b>	<b>20.54</b>	<b>-18.36%</b>	<b>-10.56%</b>
<b>TOTALE (COV+Aldeidi)</b>	<b>418.13</b>	<b>-63.46%</b>	<b>-3.56%</b>

# Effetto della luce solare



Aosta, Maison & Loisir 21/04/2016

# Vantaggi della fitodepurazione

- Poco costosa



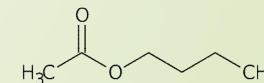
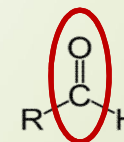
- Nessun dispendio di energia



- Esteticamente gradevole



- Applicabile a una vasta gamma di inquinanti



# Considerazioni e approfondimenti

- ▶ Volumetria ambiente e ventilazione
- ▶ Cercare di tenere più sotto controllo alcuni aspetti non facilmente quantificabili (n° di piante/ambiente, calcolo superficie fogliare, microorganismi delle radici)
- ▶ Condizioni ambientali che favoriscano la fisiologia delle piante (irraggiamento solare)

# Un riscontro inaspettato... La Biofilia

La riscoperta dell'*intuitivamente* ovvio: La connessione tra uomo e natura



Aosta, Maison & Loisir 21/04/2016



# GRAZIE PER L'ATTENZIONE!

