

APAT

Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici

Giornata di studio:

Effetti dell'inquinamento atmosferico sui beni di interesse storico – artistico: le esperienze”

Roma, 28 giugno 2006

Verifica della qualità dell'aria e di altri parametri in ambienti museali: progetto di fattibilità”

Michele D'Angelo e Luca Martinotto, PIRELLI LABS - Milano

Daniele Grechi, ARPAT - Dipartimento Provinciale di Firenze

SOMMARIO

- generalità sulla qualità dell'aria in ambiente indoor
- sorgenti interne (caso generale e ambienti museali)
- alcuni esempi
- standard museali (DM 10 maggio 2001)
- progetto di stazione di monitoraggio e strategia di rilevamento
- dotazione strumentale con possibili varianti tecnologiche innovative
- stima costi

Sorgenti di inquinamento atmosferico indoor

- **inquinamento atmosferico esterno**

determina livelli di inquinamento indoor in funzione della permeabilità dell'edificio (infissi, impianti di ventilazione o climatizzazione), delle abitudini (apertura-chiusura infissi).

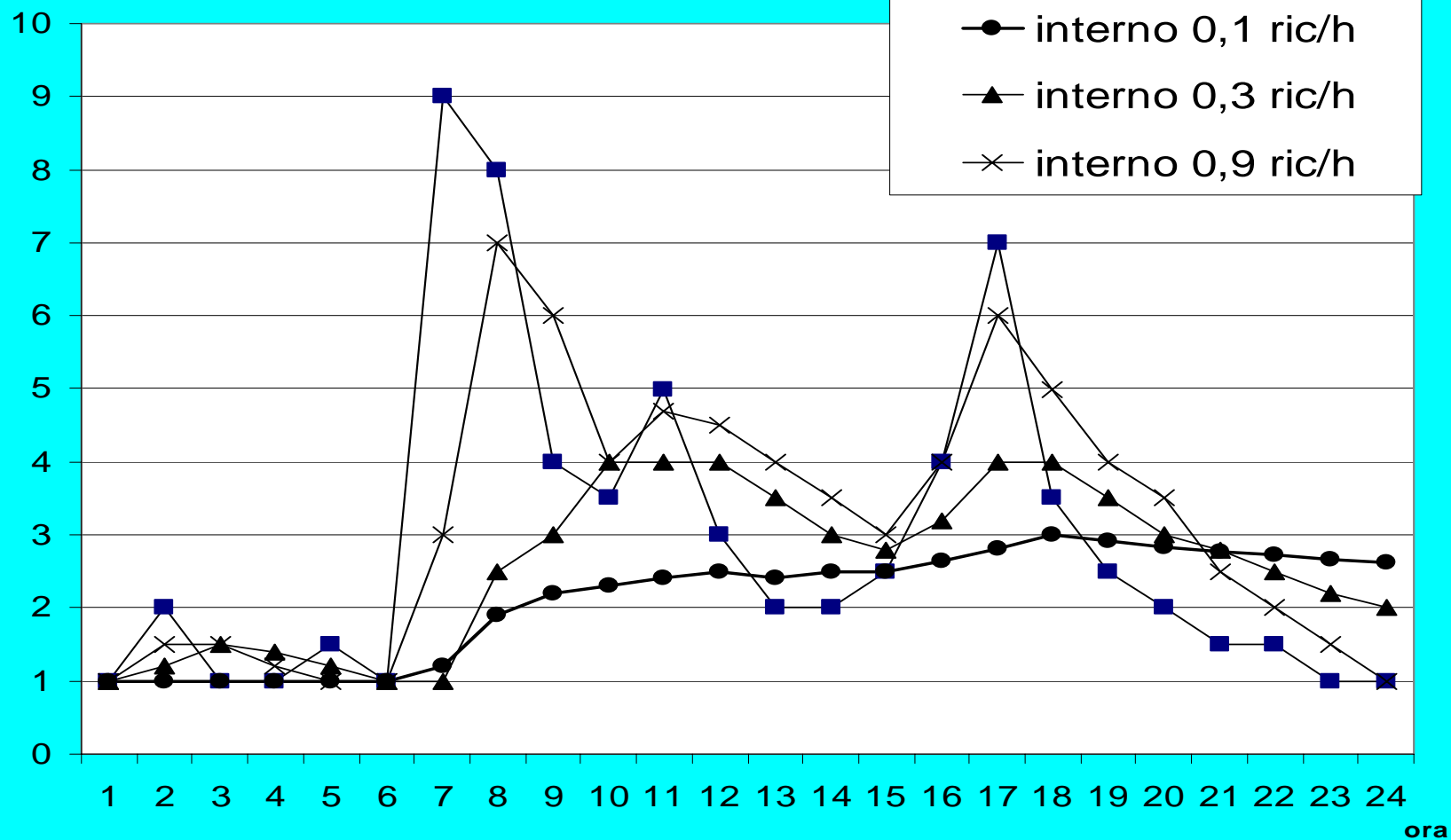
- **sorgenti interne**

determinano livelli aggiuntivi di inquinamento in funzione della quantità di inquinanti primari emessi e della eventuale formazione di inquinanti secondari

In assenza di sorgenti interne, i livelli di inquinamento indoor risultano 50-100 % dei livelli outdoor.

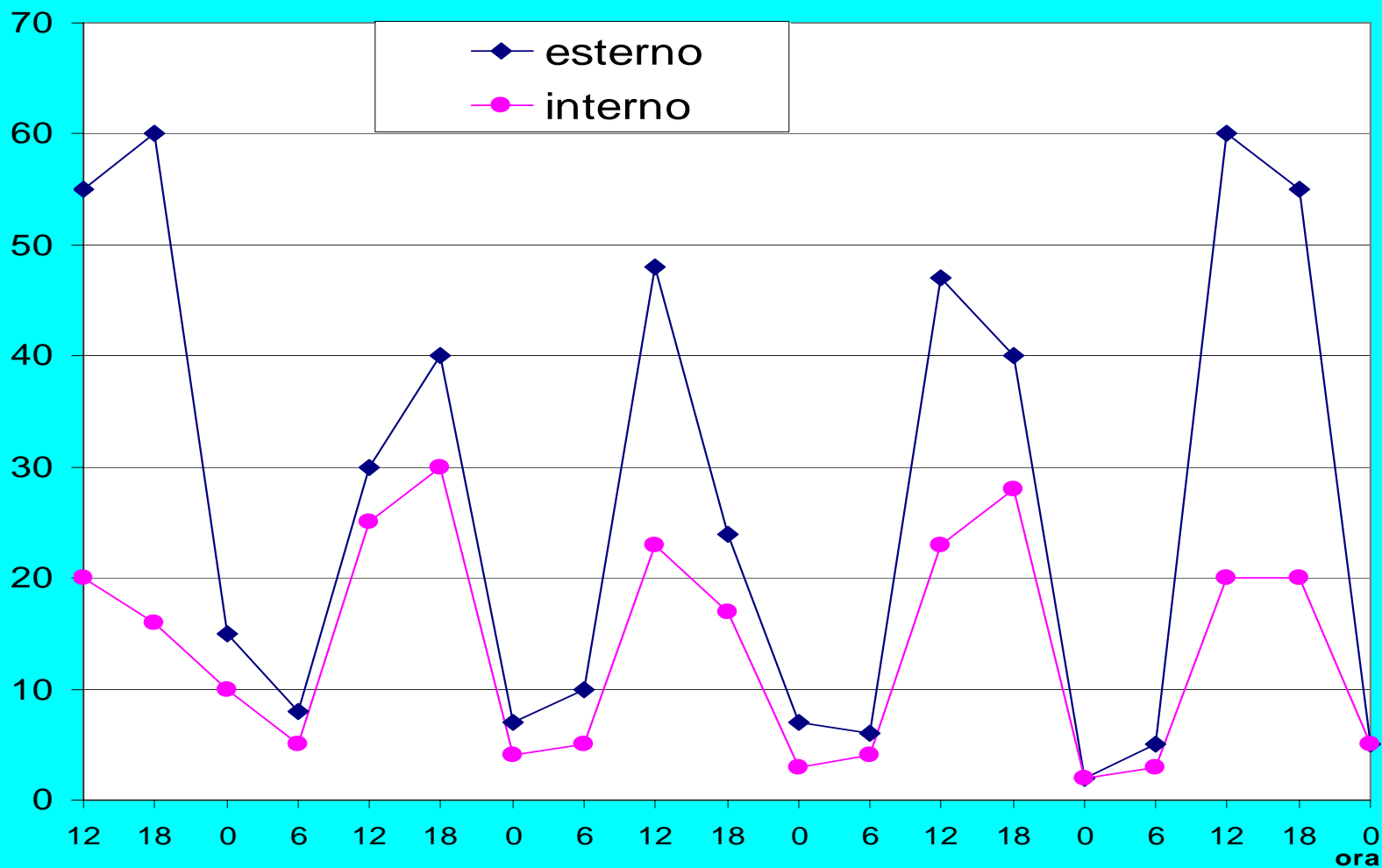
Effetto delle concentrazioni esterne di CO su quelle interne in funzione dei ricambi/ora di aria.

CO mg/m³

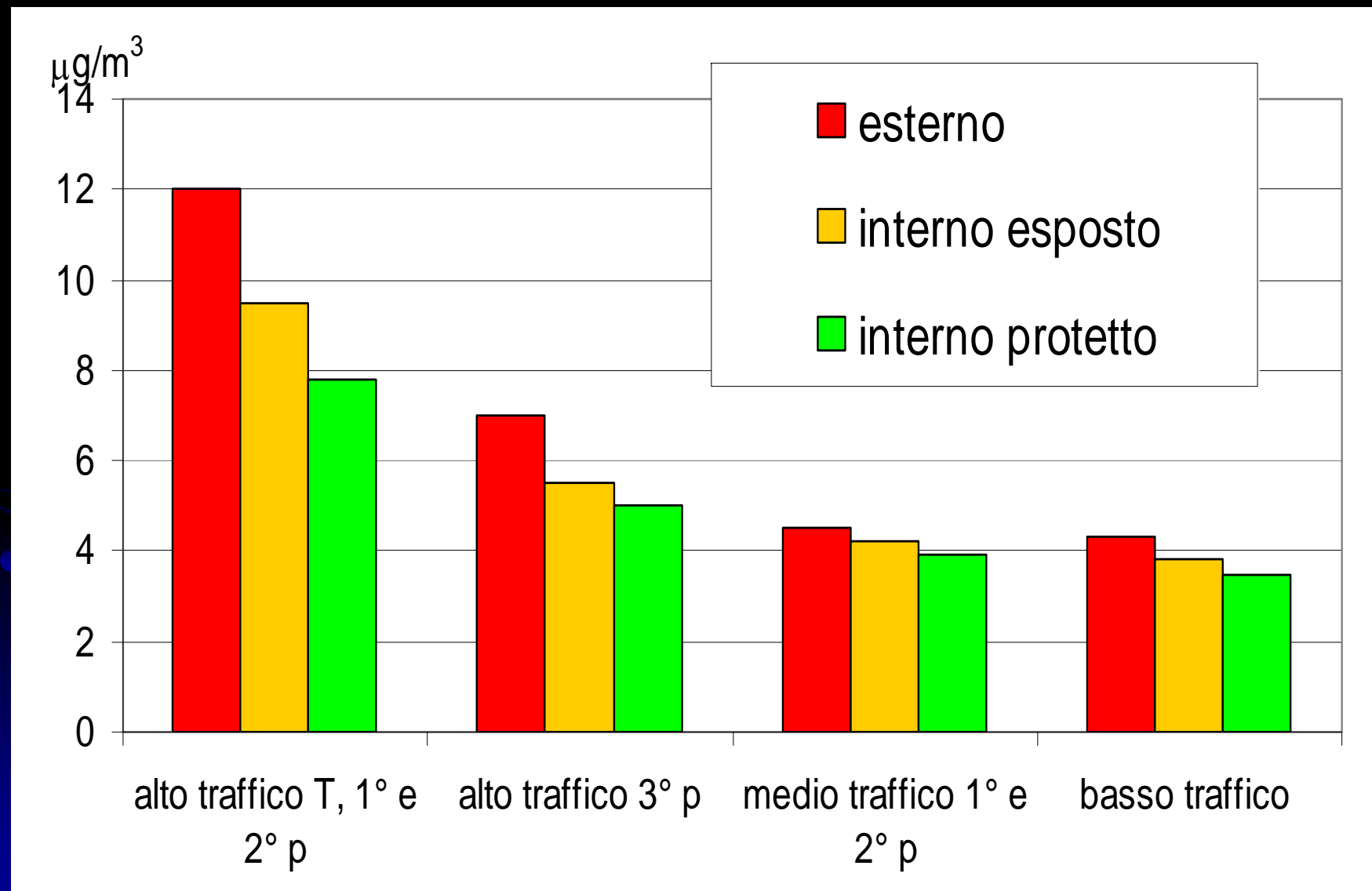


Effetto delle concentrazioni esterne di O₃ su quelle interne

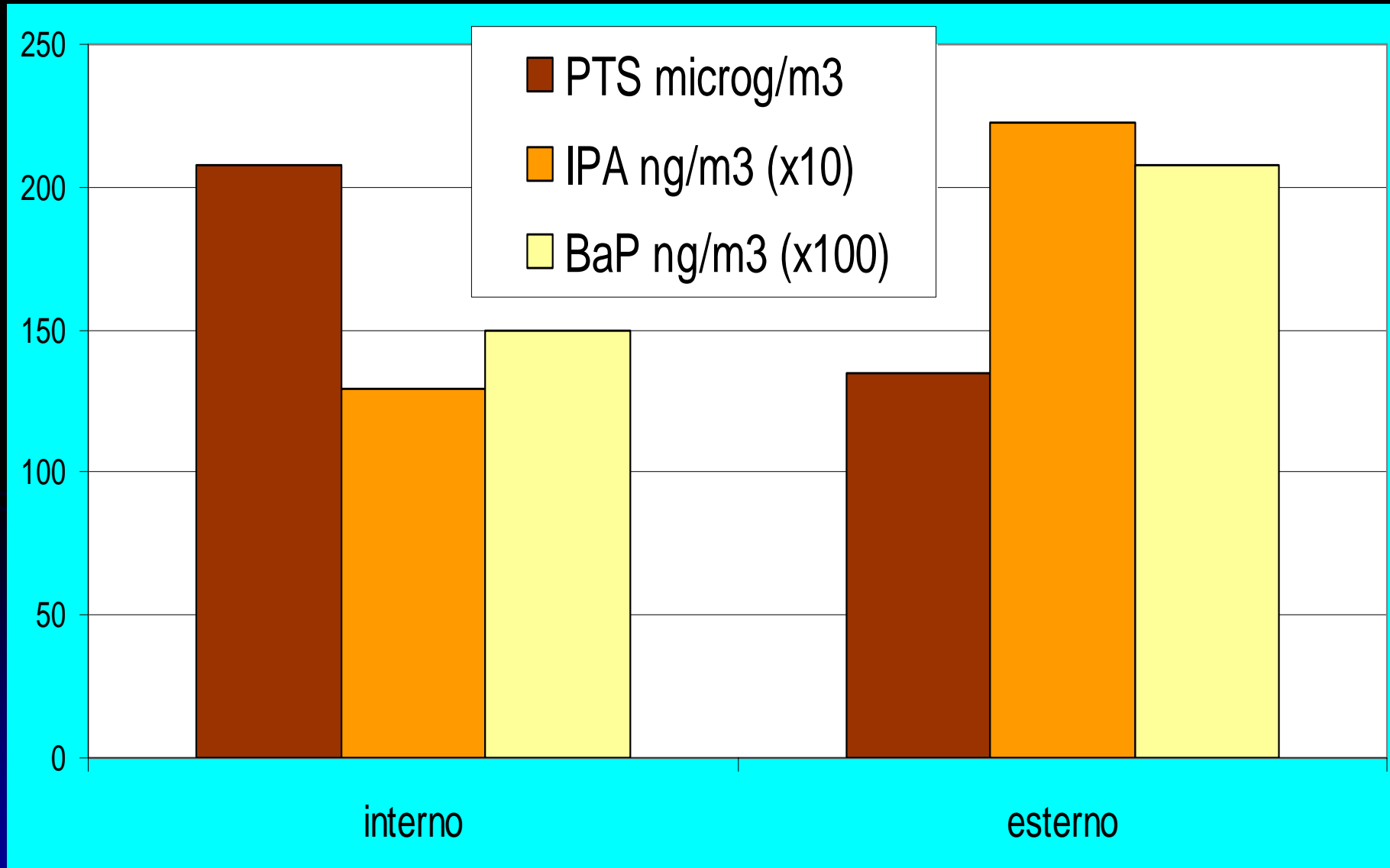
O₃ ppb



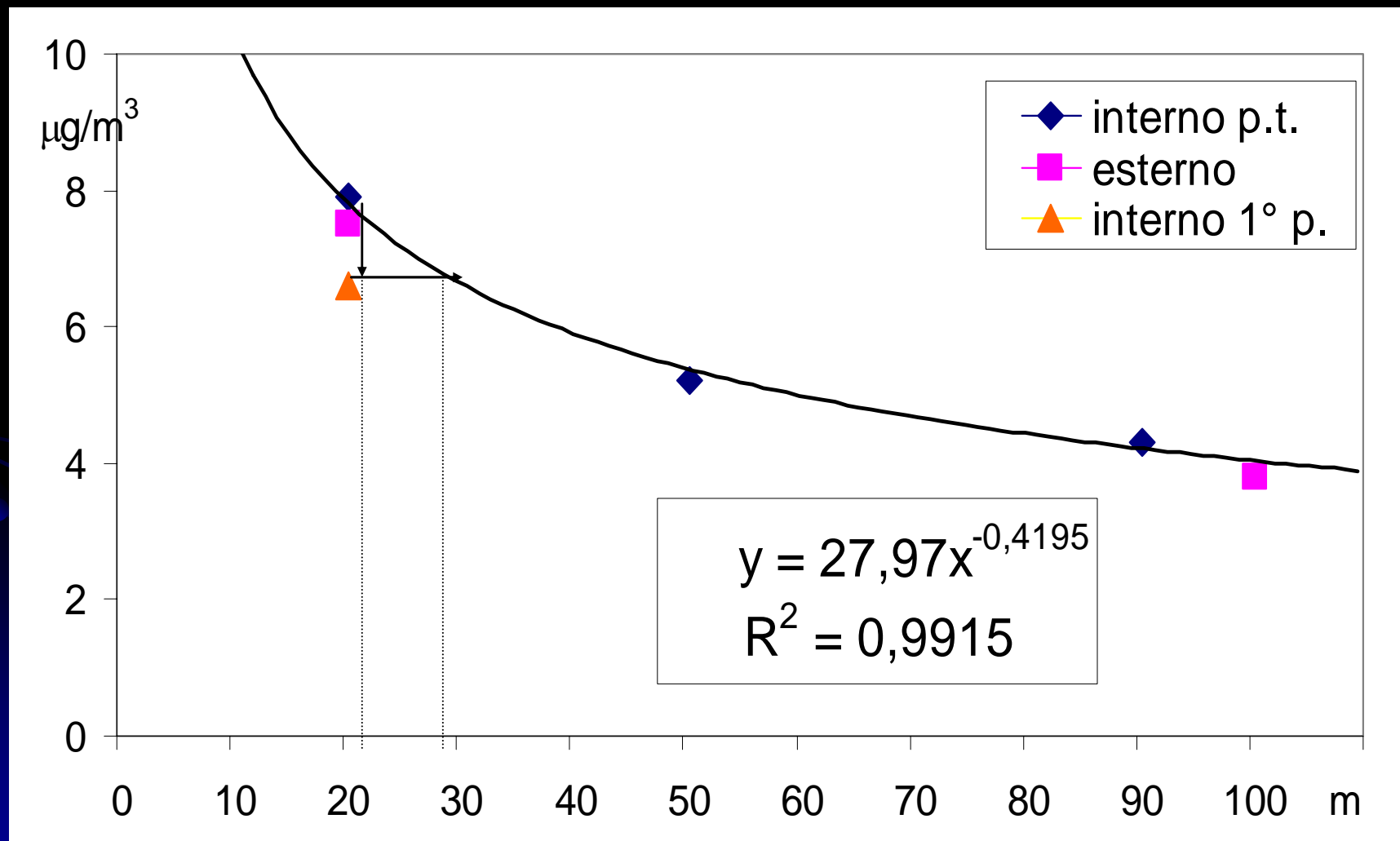
Concentrazioni medie di benzene indoor e outdoor



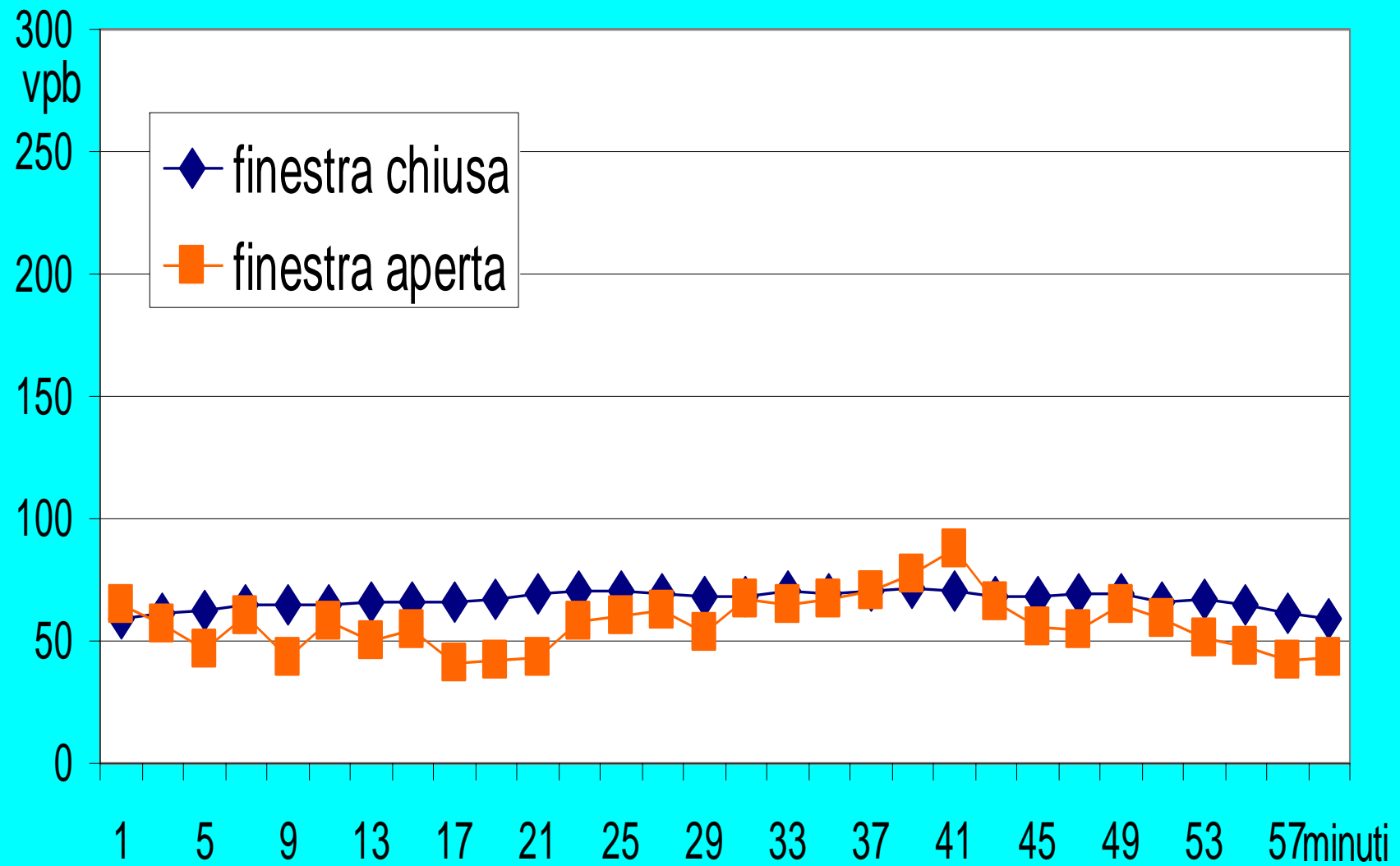
PTS, IPA e BaP indoor e outdoor



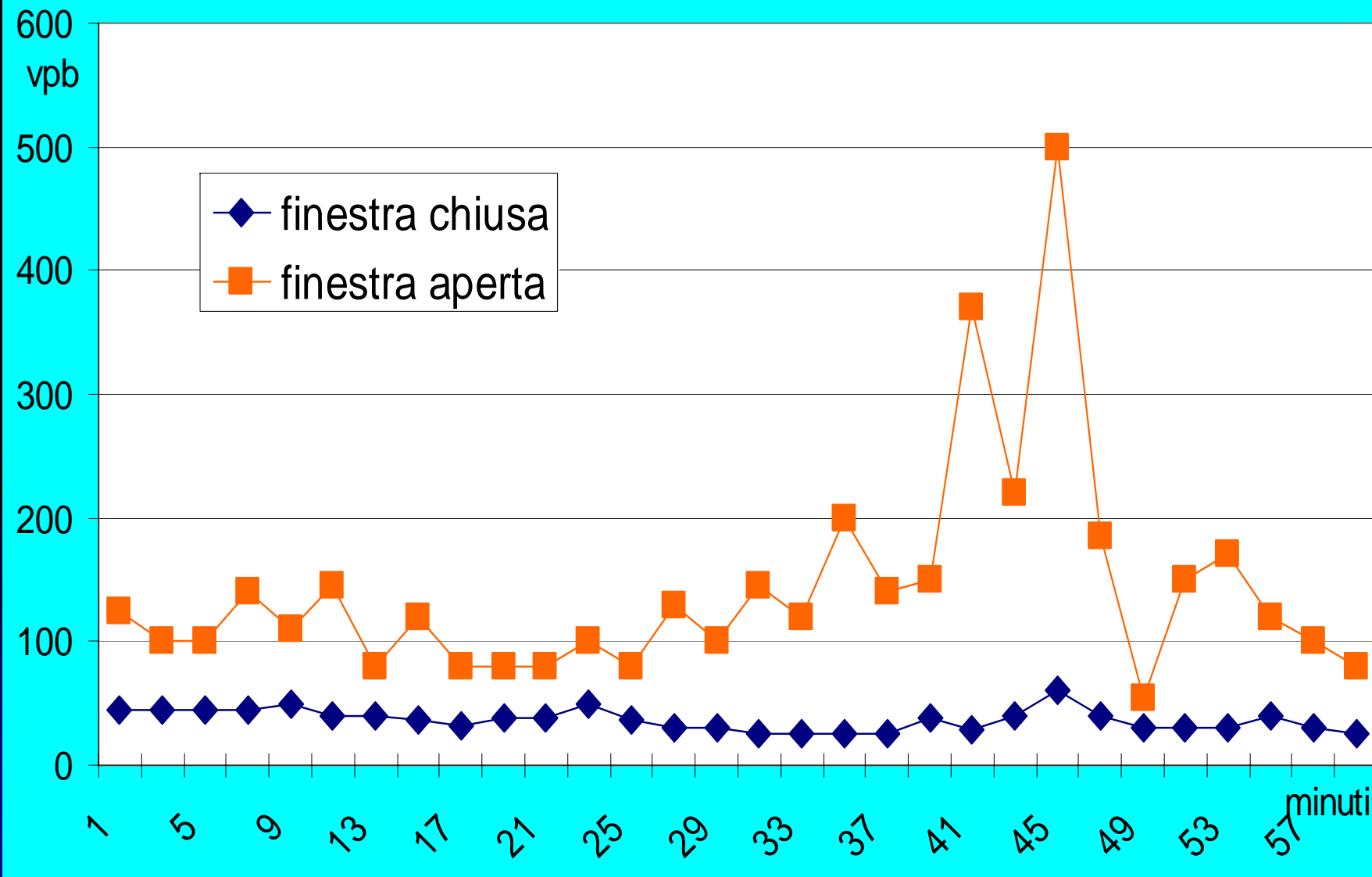
Concentrazioni medie di benzene indoor e outdoor in funzione della distanza dal flusso veicolare



Concentrazioni di NO₂ indoor in funzione della apertura/chiusura della finestra



Concentrazioni di NO indoor in funzione della apertura/chiusura della finestra



Inquinanti atmosferici riscontrabili in ambienti confinati e possibili sorgenti

<i>INQUINANTI</i>	<i>SORGENTI</i>
PM, CO, NO _x , HC, O ₃ , SO ₂	Permeazione dall'esterno
PM, H ₂ S, NH ₃	Residenti
NO _x , CO ₂ , SO ₂	Emissione o trafiletti da fuochi di cucine, forni, centrali termiche, garage
PM, CO, NO _x , HC, aldeidi	Fumo di tabacco
O ₃	Fotocopiatrici
NH ₃ , aldeide formica, HCl, freon, solventi	Prodotti per pulizie
PM	Esecuzione pulizie
Aldeide formica	Pannelli di legno composito, vernici, rivestimenti in resina urea-formaldeide
Cloruro di metilene	Schiuma poliuratanica
Acido acetico	Resine siliconiche
Acetato di vinile, solventi	Adesivi, colle
O ₃ , NO _x , PAN, HNO ₂ , HNO ₃	Smog fotochimico

Emissione media di VOCs (mg/m²) da materiali.

Blocchi di cemento	0,54
Lastra di cartongesso	26
Polistirolo espanso isolante (nuovo)	200
Colla per tappezzerie adesivi per pavimenti (24 h)	220.000 - 270.000
Adesivo per moquettes (24 h)	100.000
Sigillante siliconico (10 h)	13.000
Pittura vinilica (7 gg)	3,2
Vernice poliuretana per legno (<10 h)	9.000
Legno truciolare ad basso - alto indice HCHO	130 - 2.000
Legno compensato	900
Tappezzeria con rivestimento vinilico	100
Tappezzeria di carta stampata	31
Moquette posata (1 h – 24 h)	400 - 200
Moquette in pezza (24 h)	26
Pavimento vinilico posato	22.000
Pavimento di pino industriale (1 mese)	680
Detergente spray per tappeti	50.400
Detergente liquido per pavimenti	2.200
Detergente/disinfettante per pavimenti	35.000
Insetticida	14.000.000

MINISTERO PER I BENI E LE ATTIVITA' CULTURALI

DECRETO 10 maggio 2001

***Atto di indirizzo sui criteri tecnico-scientifici e
sugli standard di funzionamento e sviluppo
dei musei***

“Sono approvati i criteri tecnico-scientifici e gli standard minimi da osservare nell'esercizio delle attività trasferite, in modo da garantire un adeguato livello di fruizione collettiva dei beni, la loro sicurezza e la prevenzione dei rischi, come definiti nel volume allegato al presente decreto (All. A),”

Atto di indirizzo sui criteri tecnico–scientifici e sugli standard di funzionamento e sviluppo dei musei

- **Conservazione e restauro.**

Devono essere osservati precisi criteri di conservazione preventiva, attraverso il monitoraggio delle condizioni ambientali, e secondo principi di restauro e di manutenzione, al fine di garantire la sicurezza e la piena fruibilità dei manufatti.

● **Ambito VI – Sottoambito 1**

*Norme per la conservazione e il restauro,
comprendenti l'esposizione e la
movimentazione*

2. Parametri ambientali

2.5. *Analisi di valutazione delle condizioni ambientali di esposizione e dello stato di conservazione*

Andranno misurati in concreto i seguenti parametri:

T aria	(°C)	–	media, max, min
UR	(%)	–	media, max, min
Concentrazione del PTS			(µg/m³)
Concentrazione del PM10			(µg/m³)
Ioni solubili nel particolato			(%)
Concentrazione di O₃, SO₂, NO₂, CO₂			(µg/m³)
Carica microbica totale nell'aria			(UFC/m³)
Concentrazione batterica			(UFC/m³)
Concentrazione fungina			(UFC/m³)

oltre a parametri misurati a diretto contatto o in prossimità dei manufatti:

T sup.	(°C)	– med, max, min
Illuminamento	(lux)	– med, max
Radianza UV	(watt/mq)	
Radianza totale	(watt/mq)	
Luminanza	(cd/mq)	
Temperatura di colore	(°K)	
Velocità/aria	(m/sec)	

2.6. Valori di riferimento per assicurare le condizioni ottimali di conservazione dei manufatti

- **consentiti modesti scostamenti**
- **evitare brusche variazioni**
- **controllo con apparecchiature in continuo**

2.7. Valori limite di concentrazione degli inquinanti aerodispersi

- **raccomandati per ottenere una corretta conservazione dei manufatti**
- **indicati come valori limite (istantanei) da non superare .**

INQUINANTI

Inquinante	Archivi (NISO-TR01/95)	Museo (Brimblecombe)	UNI 10586/97
Biossido di zolfo	5-10 ppb (vol)	<0.4 ppb (vol)	≤10 µg/m ³
Biossido di azoto	5-10 ppb (vol)	<2.5 ppb (vol)	≤2 µg/m ³ (NO _x)
Ozono	5-10 ppb (vol)	1 ppb (vol)	≤2 µg/m ³
PM10	20- 30 µg/m ³		
Biossido di carbonio	Non indicati in letteratura		

Valori limite di riferimento per parametri microclimatici

- **valori entro i quali sarebbe opportuno conservare le diverse categorie di materiali per prevenire danni di tipo chimico–fisico o microbiologico.**

Valori termoigrometrici

<i>Manufatti</i>	<i>UR (%)</i>	<i>T (°C)</i>
Armature in ferro, armi	<40	
Avori, ossa, legno dipinto, sculture policrome	45–65	19–24
Bronzo	<55	
Carta, cartapesta, libri, manoscritti, lacche orientali, mobili con intarsi e lacche, pastelli, acquerelli, disegni, stampe	50–60	19–24
Collezioni anatomiche	40–60	19–24
Insetti e scatole entomologiche Materiale etnografico		
Collezioni mineralogiche, marmi e pietre	45–60	<30
Cuoio, pelli, pergamena Seta	50–60	
Dischi, nastri magnetici	40–60	10–21
Erbari e collezioni botaniche Tessuti, tappeti, arazzi, tappezzeria in stoffa	40–60	
Film	30–50	–5 – +15
Fotografie (b/n)	20–30	2–20
Legno	40–65	19–24
Materiale organico in genere	50–65	19–24
Materie plastiche	30–50	
Metalli e leghe levigati, ottone, argento, peltro, piombo, rame	<45	
Mosaici e pitture murali (max gradiente giornaliero 1.5°C/h)	45–60	6 -25
Oro	<45	
Papiri	35–50	19–24
Pellicce, piume	45–60	15–21
Pitture su tela	35–50	19–24
Porcellane, ceramiche, gres, terracotta	20–60	
Vetri e vetrate stabili	25–60	

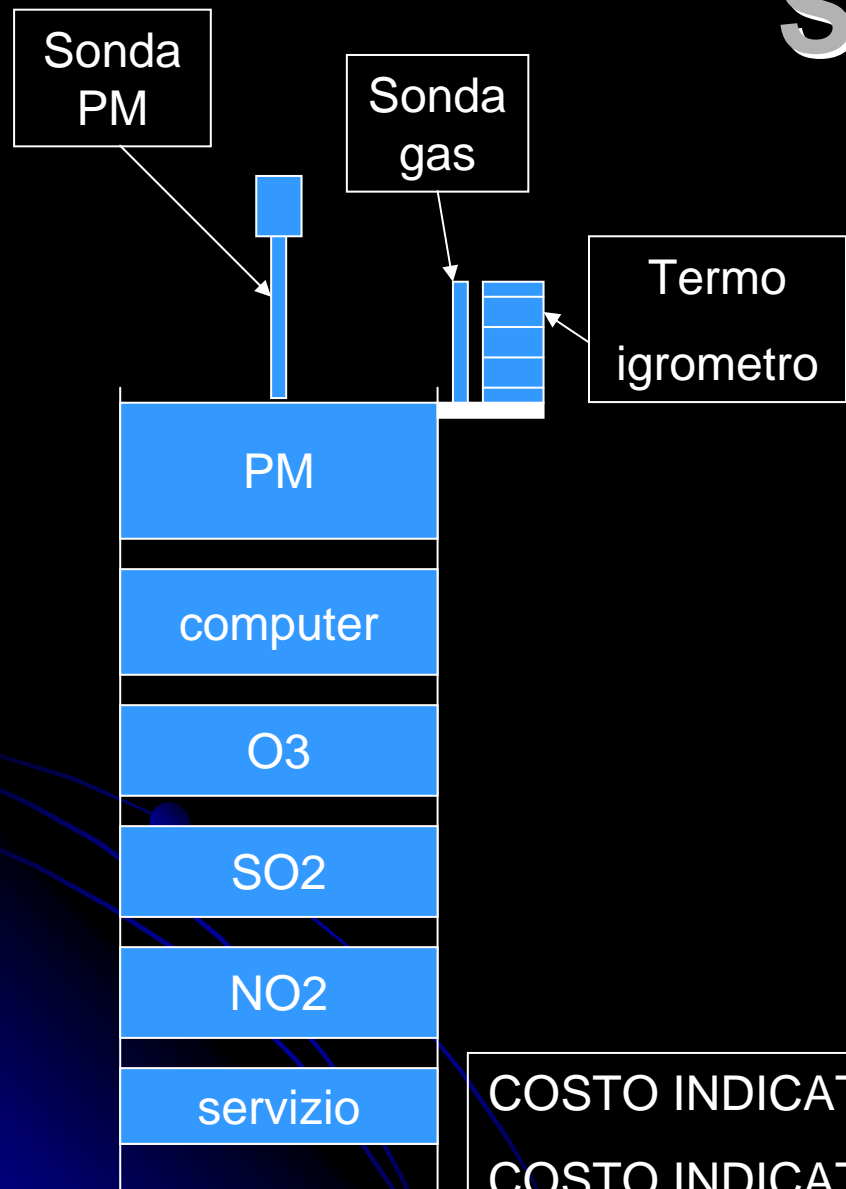
Progetto di stazione di monitoraggio (minimale)

- Idonea al rilevamento in continuo di:
 - SO₂, NO₂, O₃ (mdl 1 ppb)
 - PM₁₀ (mdl 1 microg/m³)
 - T e UR (mdl 1 °C e 1 %)

Tecnologie tradizionali

- SO₂: fluorescenza UV
- NO₂: chemiluminescenza
- O₃: fotometria UV
- PM₁₀:
 - raggi beta (medie pluriorarie)
 - frequenzimetria (valori quasi istantanei)
 - scattering laser (PM_{2.5}, valori istantanei)
- T: termoresistenza
- UR: capacitivo o film conducimetrico

STRUTTURA



- Rack 19", altezza circa 2 m contenente:
 - Analizzatori
 - Sensori
 - Sonde
 - Computer
 - Dispositivi elettrici/elettronici

COSTO INDICATIVO ACQUISTO: € 100.000

COSTO INDICATIVO MANUTENZIONE: 15 - 20% anno

COSTO GESTIONE: ????

Strategia di monitoraggio (per screening)

- Almeno 60 giorni distribuiti nell'anno solare (es.: 15 giorni a stagione)
- Eventuale integrazione con campionatori passivi per determinazione di VOCs
- Complementarietà con sistemi innovativi

Caratteristiche da valutare

- Rilocabilità
- Silenziosità
- Ingombro
- Controllo remoto
- Costo (acquisto, manutenzione, gestione)

Tecnologie innovative



- Sensori allo stato solido per:

NO₂

CO

O₃

NMHC



STAZIONI MOBILI



STAZIONI FISSE



CAMPIONATORI PASSIVI



Esempi e sperimentazioni della tecnologia con sensori allo stato solido:

MUSEO DEL CASTELLO SFORZESCO, SALA RONDANINI.



2 centraline per 15 mesi monitorati:

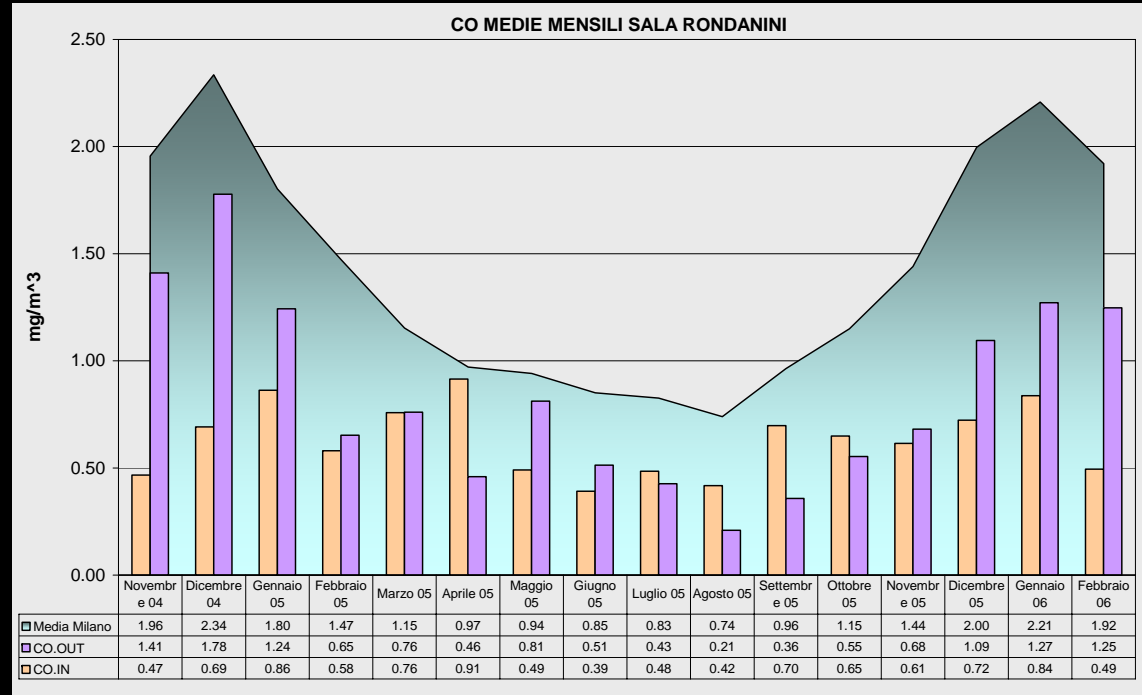
- CO
- NO₂
- NMHC



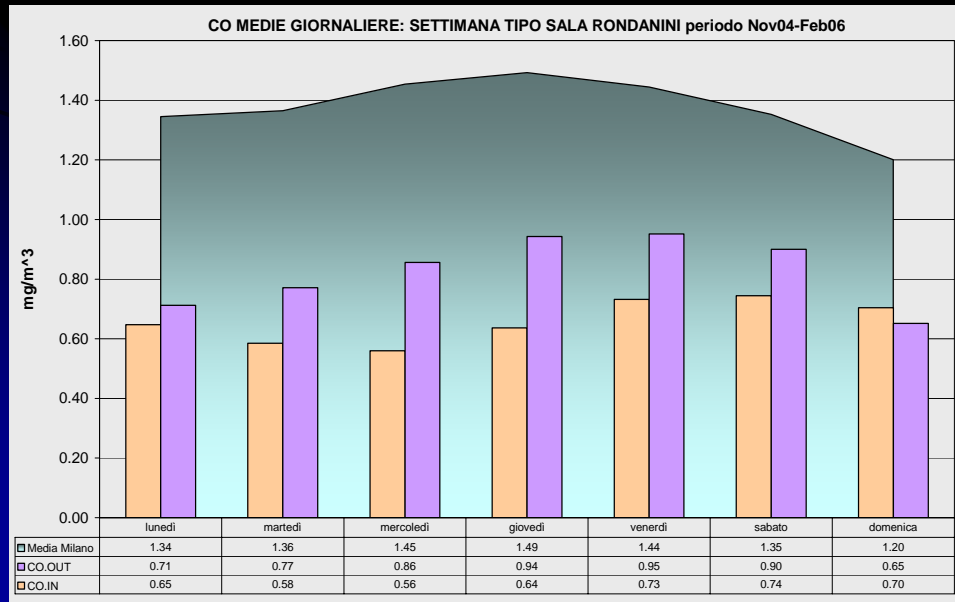
CO

Medie mensili Dic.'04-Feb'06

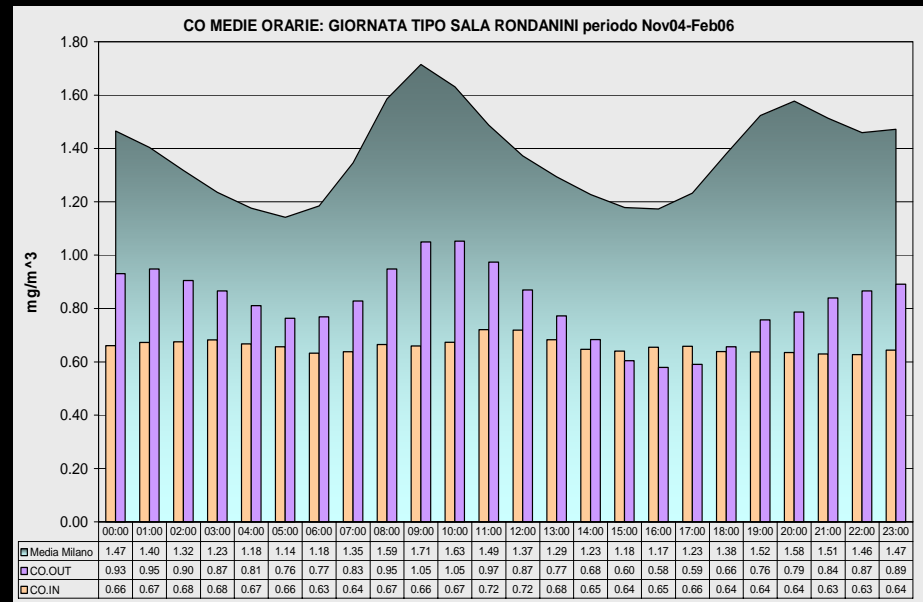
- interno*
- esterno*
- urban*



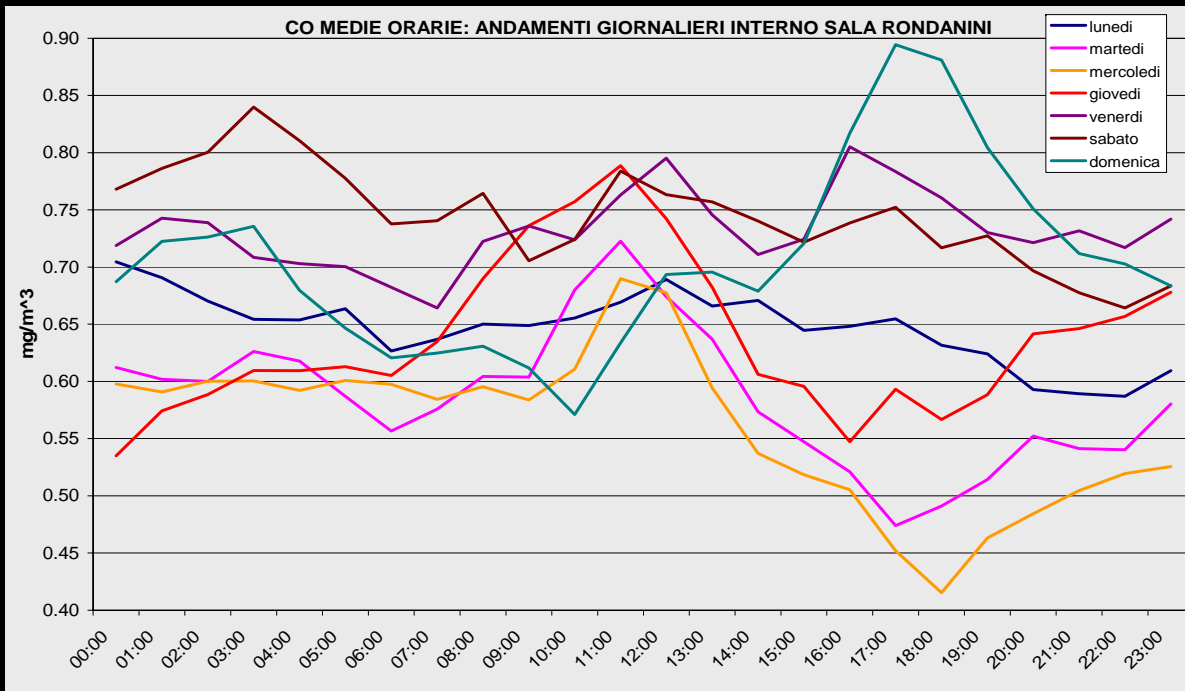
Settimana tipo



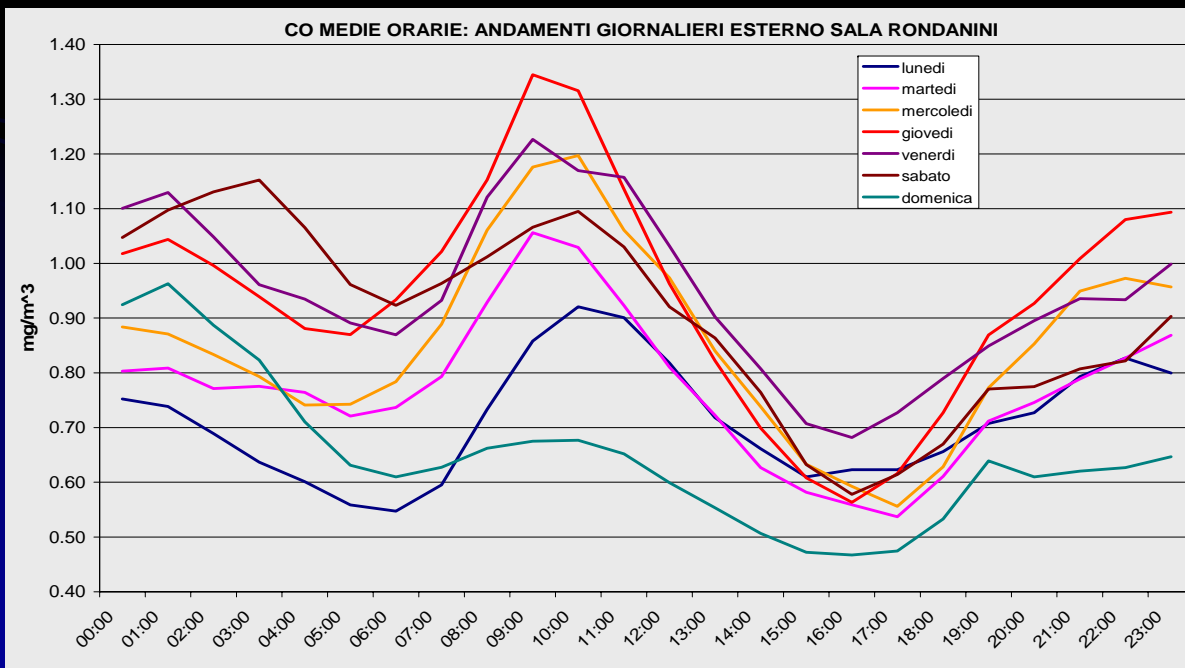
Giorno tipo



CO



Settimana oraria in

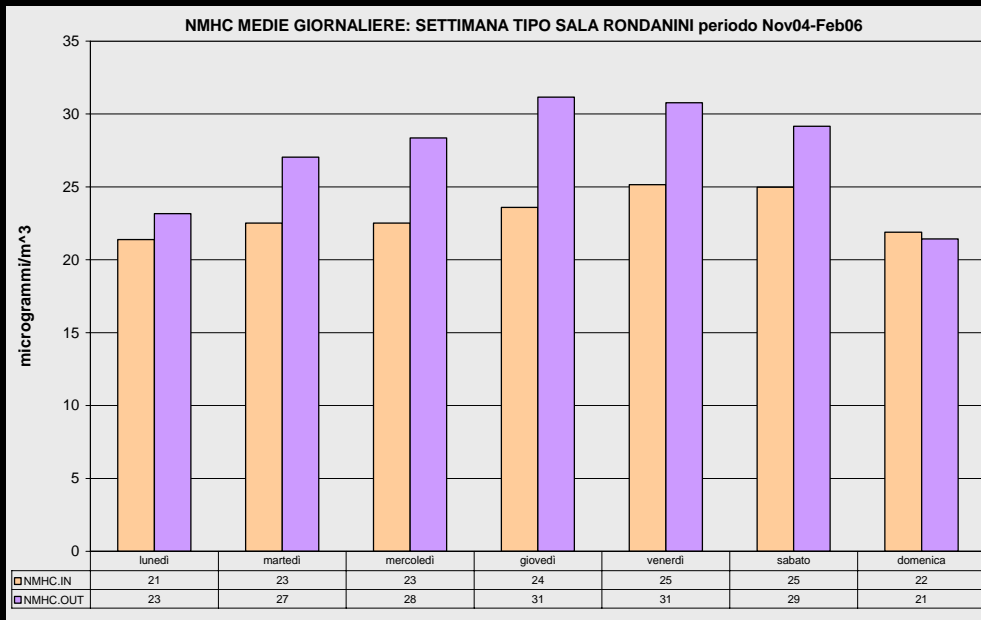


Settimana oraria out

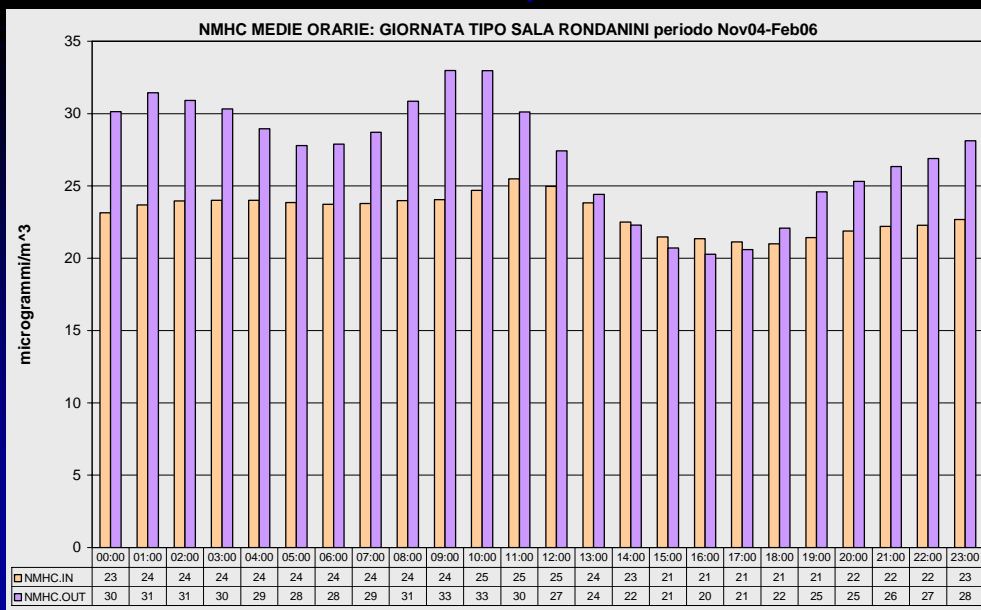
NMHC

Settimana tipo

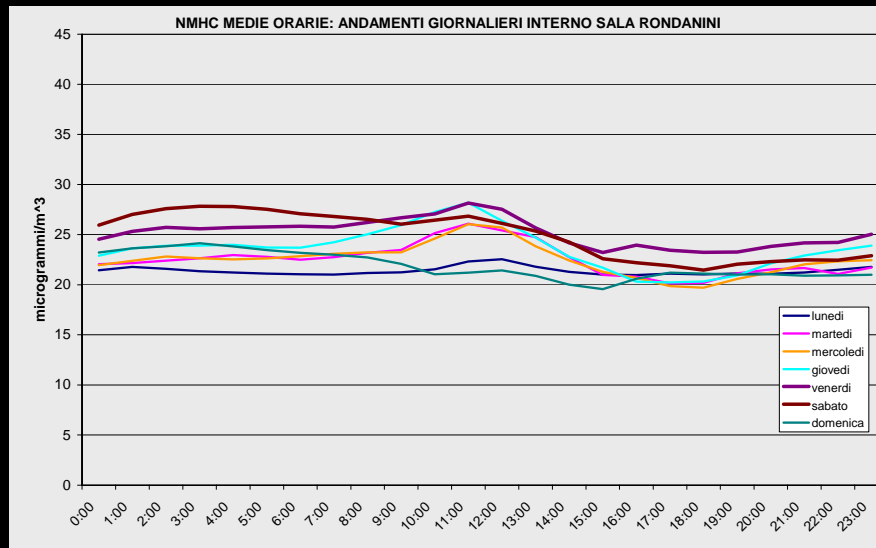
■ *interno*
■ *esterno*



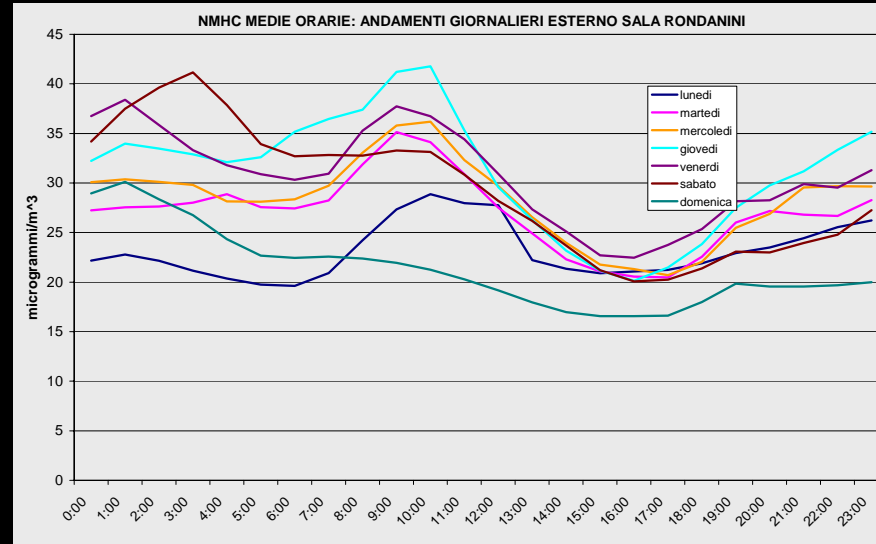
Giorno tipo



Settimana oraria in



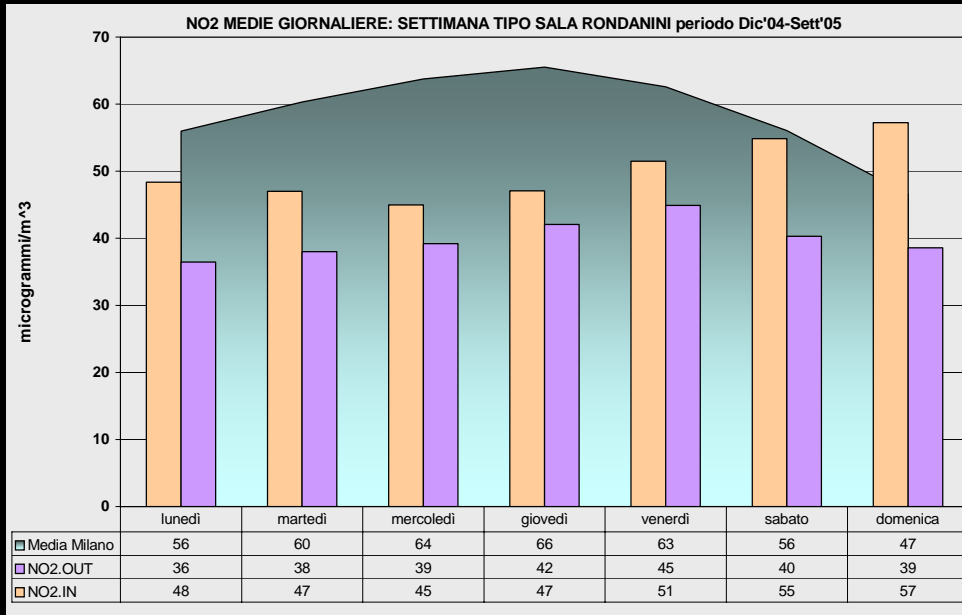
Settimana oraria out



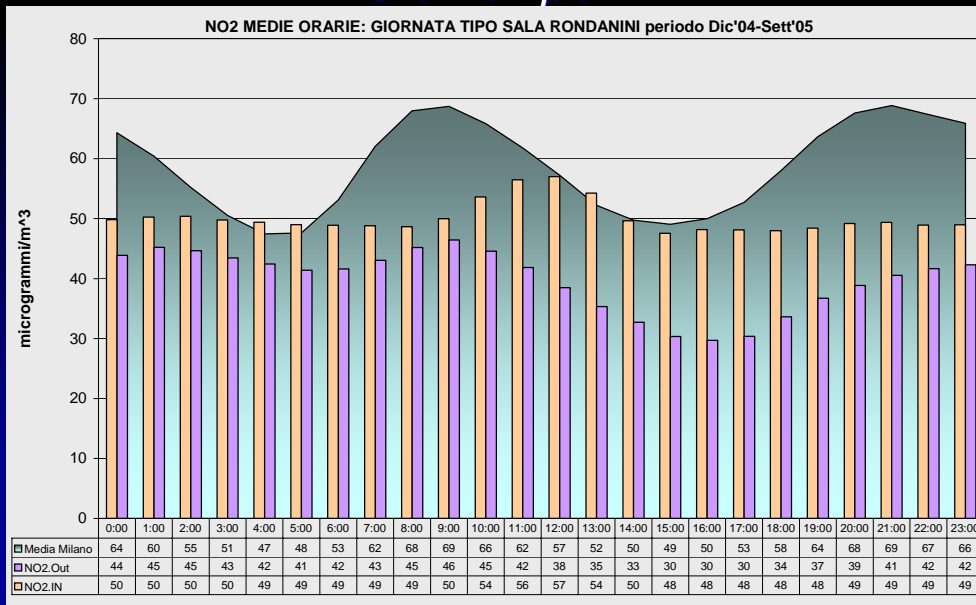
NO₂

Settimana tipo

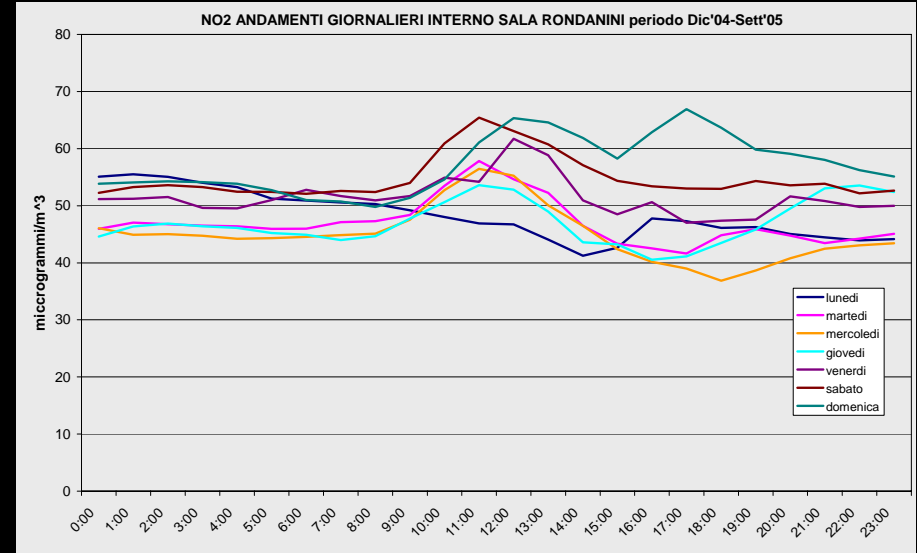
interno esterno urban



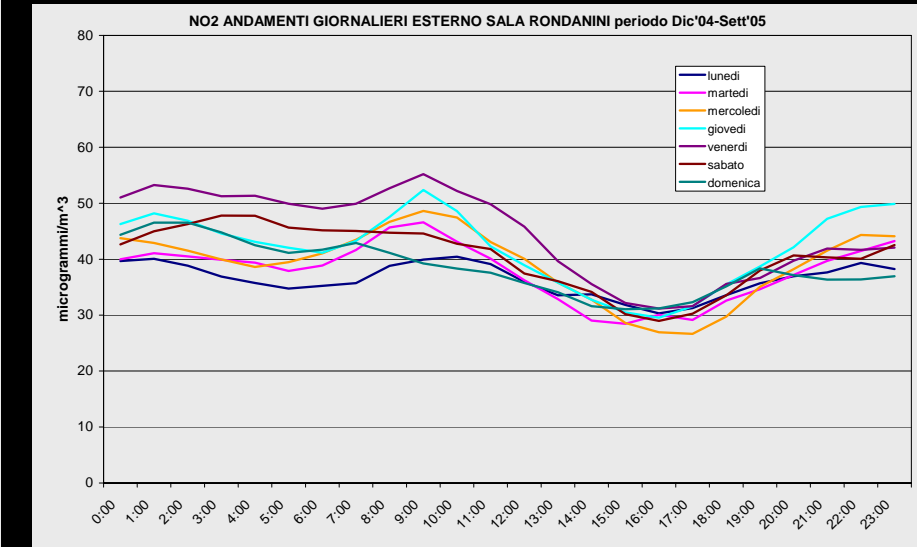
Giorno tipo



Settimana oraria in



Settimana oraria out



Palazzo Mellini Fossi, Firenze

Progetto "Momorex"

CNR-ICVBC,

periodo aprile '04 – marzo '05



2 prototipi installati al 1° e 2° piano (8 e 14m su livello stradale)

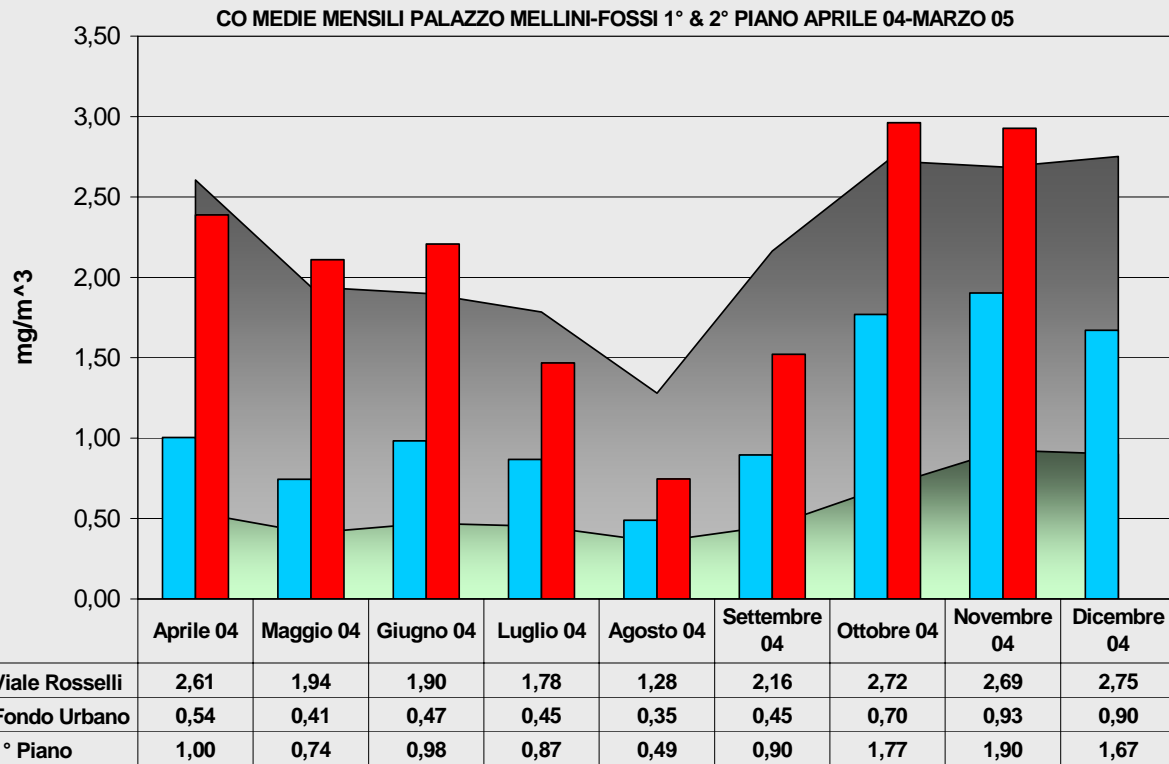
misura in continuo ed in tempo reale di:

- **CO**
- **NO_x**
- **NMHC**

CO

- 1° piano
- 2° piano
- traffico
- fondo

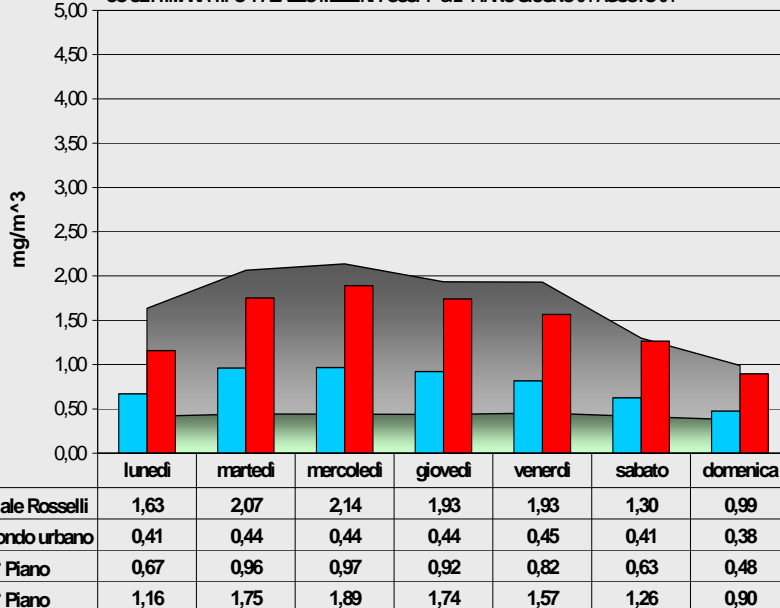
*Sett tipo
Giu – Ago'04*



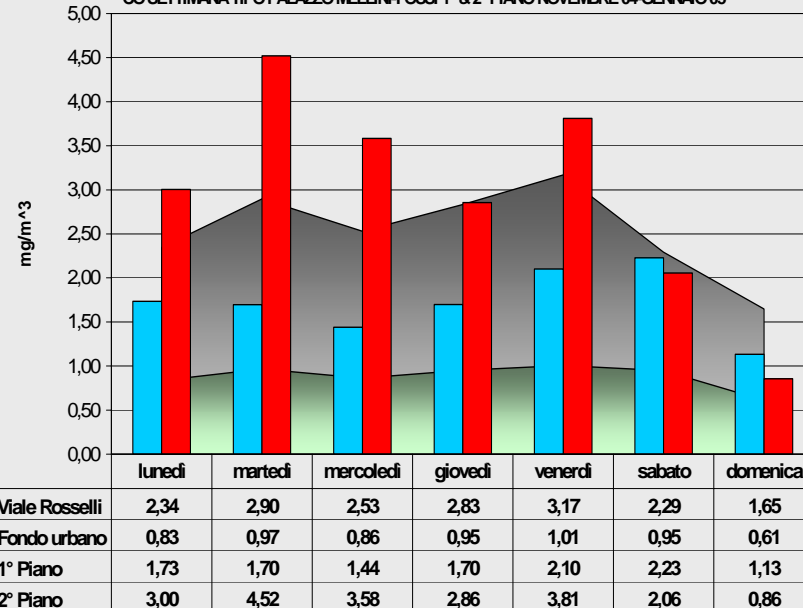
*Medie mensili
intero periodo*

*Sett tipo
Nov'04 - Gen'05*

CO SETTIMANA TIPO PALAZZO MELLINI-FOSSI 1° & 2° PIANO GIUGNO 04-AGOSTO 04



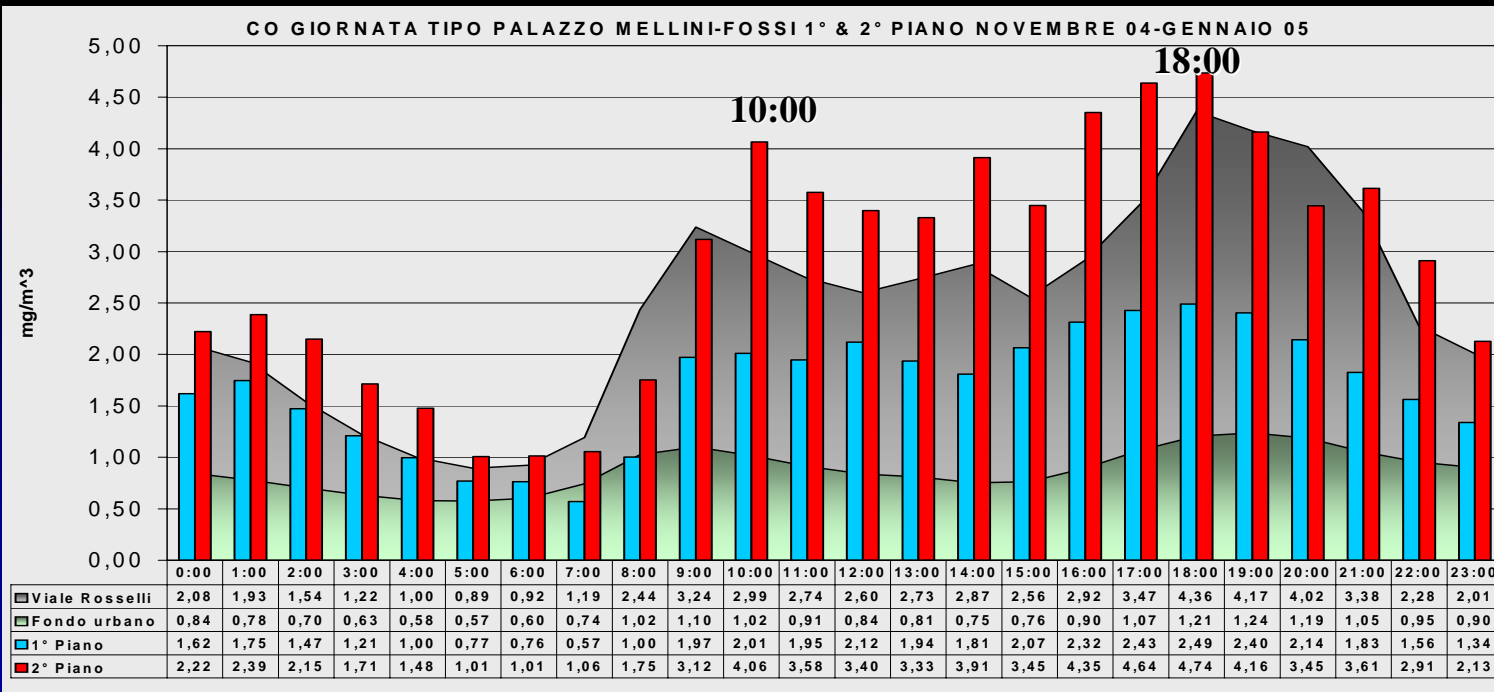
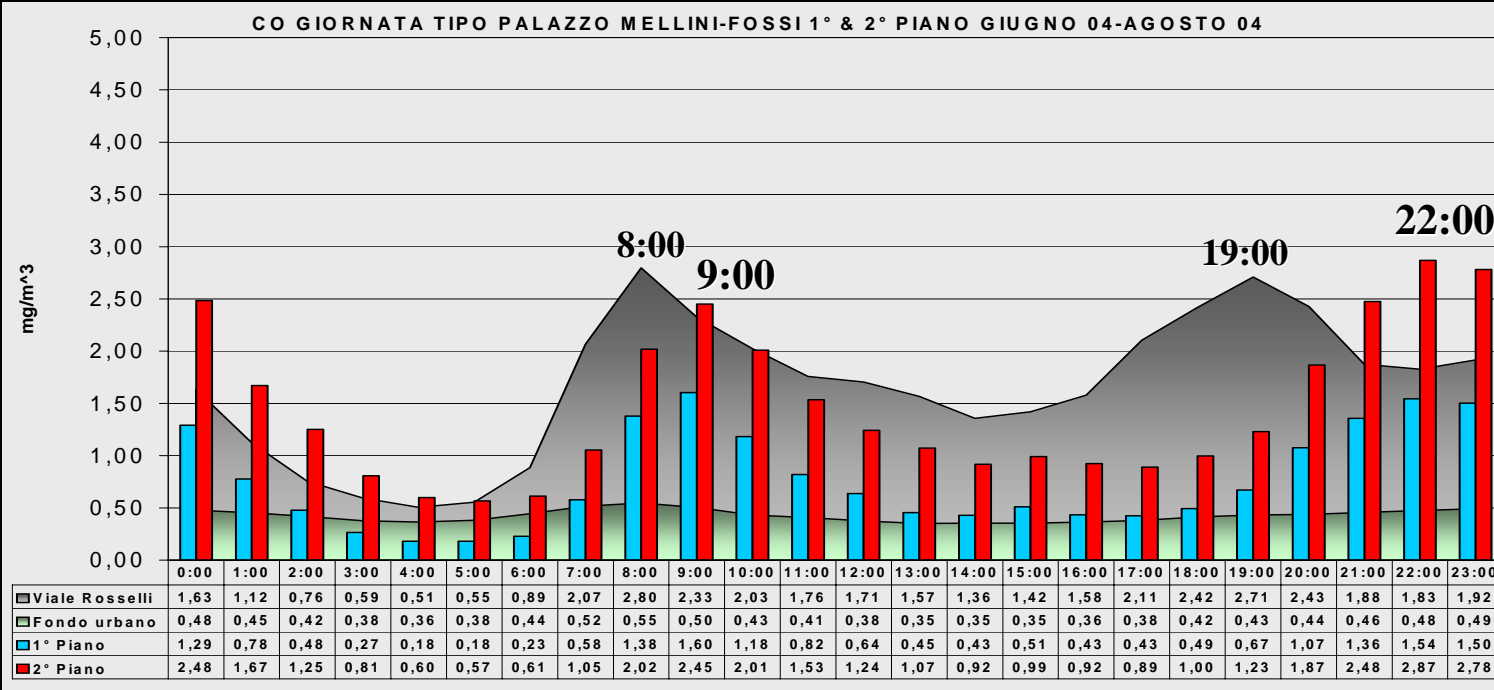
CO SETTIMANA TIPO PALAZZO MELLINI-FOSSI 1° & 2° PIANO NOVEMBRE 04-GENNAIO 05



CO

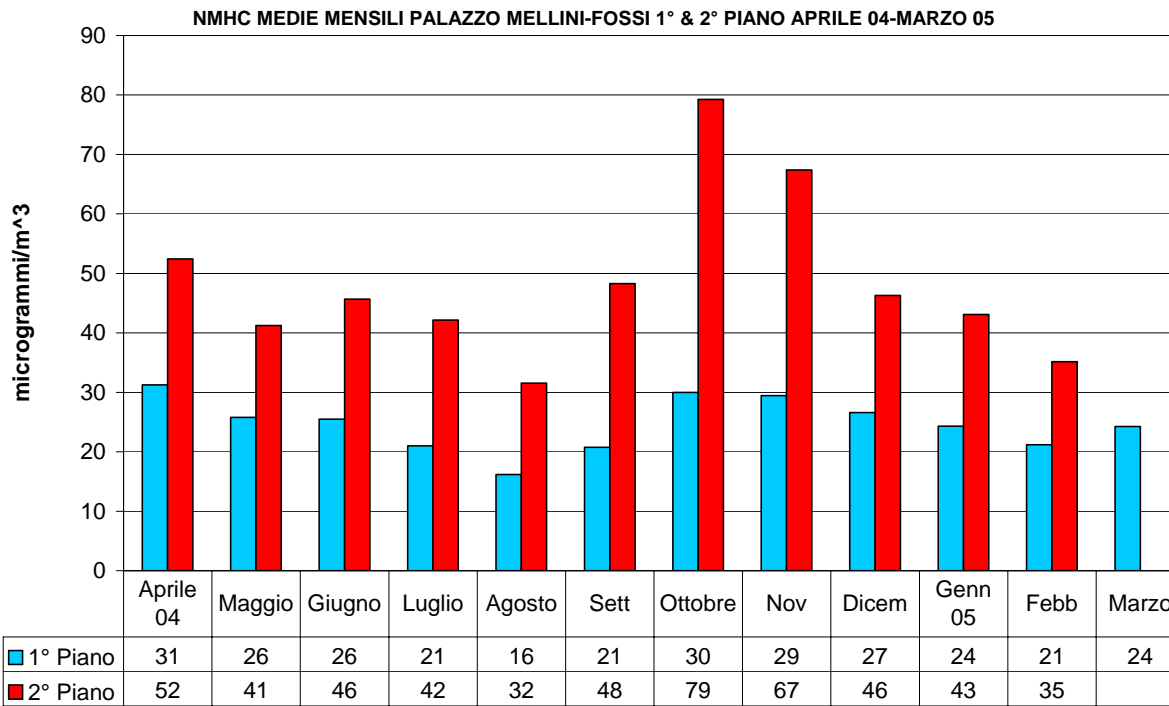
*Medie orarie
Giorno tipo
periodo estivo
(giu-ago '04)*

*Medie orarie
Giorno tipo
periodo invernale
(nov-dic'04)*



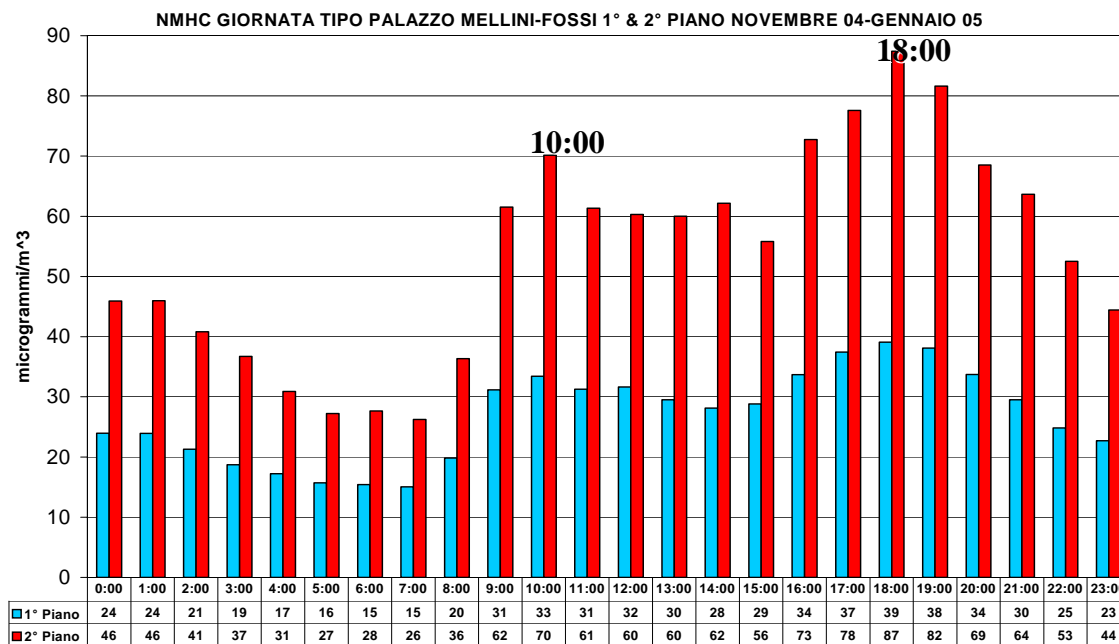
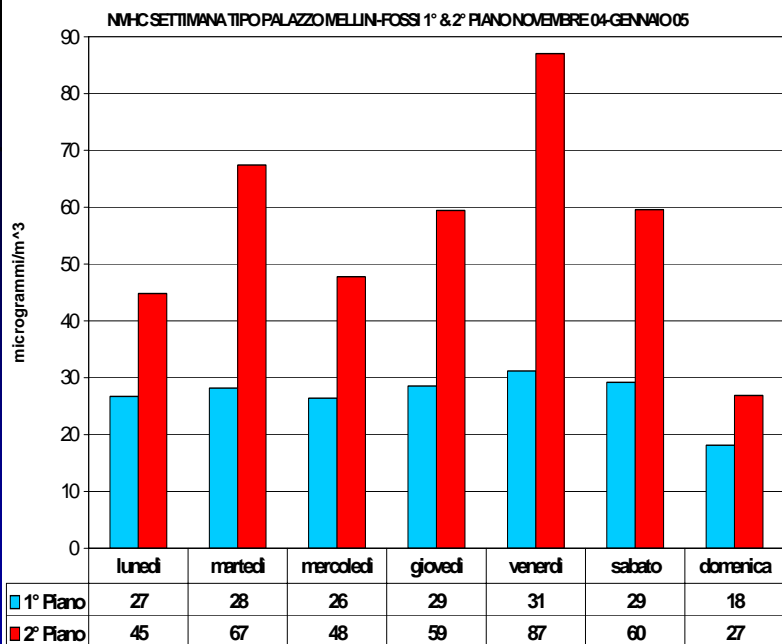
NMHC

*Settimana tipo
invernale*



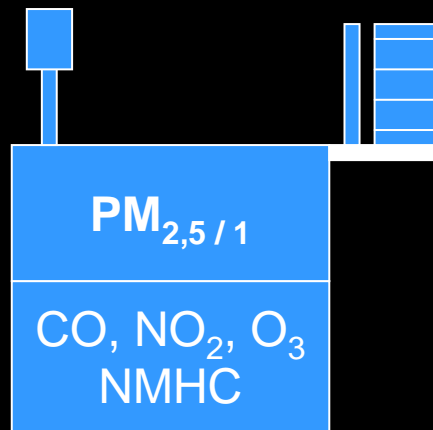
Medie mensili

*Giorno tipo
invernale*



STRUTTURA E COSTO

STAZIONE MULTIPARAMETRICA DI NUOVA GENERAZIONE



- Struttura a due moduli (40x60x30cm) contenente:
 - Analizzatore Particolato
 - Sensori
 - Modulo di trasmissione (GSM o GPRS)
 - Elettronica di controllo
 - Termo igrometro commerciale

COSTO INDICATIVO ACQUISTO: € 16.000

COSTO INDICATIVO MANUTENZIONE: 10% anno

COSTO GESTIONE: ????

Possibilità d'integrazione nel sistema di sensori commerciali (anche wireless) per parametri microclimatici, deformazione, ecc.

Comparazione sistemi

	<i>tradizionale</i>	<i>innovativo</i>
Prestazioni	😊	😊
Ingombro (rilocabilità)	😬	😊
Silenziosità	😬 - 😊	😊
Costo:		
Acquisto	😬	😊
Manutenzione	😬	😊
Gestione	?	?

Conclusioni

- importanza (obbligo?) di monitorare gli ambienti museali per:
 - Verifica stato ambiente e impatti
 - Ottimizzazione gestione (impianti, servizi)
- Possibilità di utilizzo di stazioni rilocabili
 - Tradizionali
 - Innovative
- Necessità di gestione da parte di personale “esperto”
- Promozione di progetti che coinvolgano le ARPA

Grazie dell'attenzione