

CARATTERIZZAZIONE
DELLE PROPRIETÀ
OTTICHE DI EMISSIONI
DA COMBUSTIBILI
DIESEL MEDIANTE
ESPERIMENTI IN
CAMERA DI
SIMULAZIONE
ATMOSFERICA

LORENZO CAPONI (PM_TEN SRL)



Lorenzo Caponi¹, Silvia G. Danelli¹, Marco Brunoldi^{2,3}, Matilde De Camillis¹, Dario Massabò^{2,3}, Federico Mazzei^{2,3}, Paolo Prati^{2,3}, Matteo Santostefano¹, Alessandro Viani⁴, Francesca Tarchino⁵, Virginia Vernocchi³, Paolo Brotto¹

¹PM_TEN Srl, 16121 Genova, Italia

²INFN – Sezione di Genova, 16146 Genova, Italia

³Università degli studi di Genova - DIFI, 16146 Genova, Italia

⁴BEES Srl, 16121 Genova, Italia

⁵SIGE Srl, 16161 Genova, Italia

IAS -SOCIETÀ ITALIANA DI AEROSOL

PM2026 – NAPOLI, 26 – 29 MAGGIO

OBIETTIVI DELLO STUDIO



1. Valutazione e confronto di **diversi metodi di campionamento ed analisi degli aerosol carboniosi**, con particolare riferimento alla valutazione dell'esposizione sul luogo di lavoro (campionatori personali) [D.lgs. Dell'11 febbraio 2021]



Confronto tra pre-selettori

- Efficienza di taglio
- Omogeneità del deposito

Tipologia di preselettori testati

- Inalabili – IOM ($d < 100 \mu\text{m}$)
- Respirabili – CICLONE ($d < 4 \mu\text{m}$)
- $\text{PM}_{2.5}$ ($d < 2.5 \mu\text{m}$)

2. Valutazione delle emissioni dei gas di scarico prodotti da **diversi combustibili**



- Caratterizzazione delle proprietà ottiche (analisi on-line e off-line)
- Confronto tra diverse tecniche di analisi



PM_TEN s.r.l.

IAS - Società Italiana di Aerosol
PM2026 – Napoli, 26 – 29 maggio



METODOLOGIA

ESPERIMENTI IN CAMERA DI SIMULAZIONE ATMOSFERICA



ChAMBRé: Chamber for Aerosol Modelling and Bio-aerosol Research



- Installata presso INFN Sez. Genova, in collaborazione con il Laboratorio di Fisica Ambientale (UNIGE)
www.labfisa.ge.infn.it
- Simulazione di processi atmosferici in condizioni realistiche ma controllate
- Utilizzata per ricerche su bioaerosol e aerosol carboniosi
- Volume: $\approx 2,2 \text{ m}^3$



PM_TEN s.r.l.

IAS - Società Italiana di Aerosol
PM2026 – Napoli, 26 – 29 maggio



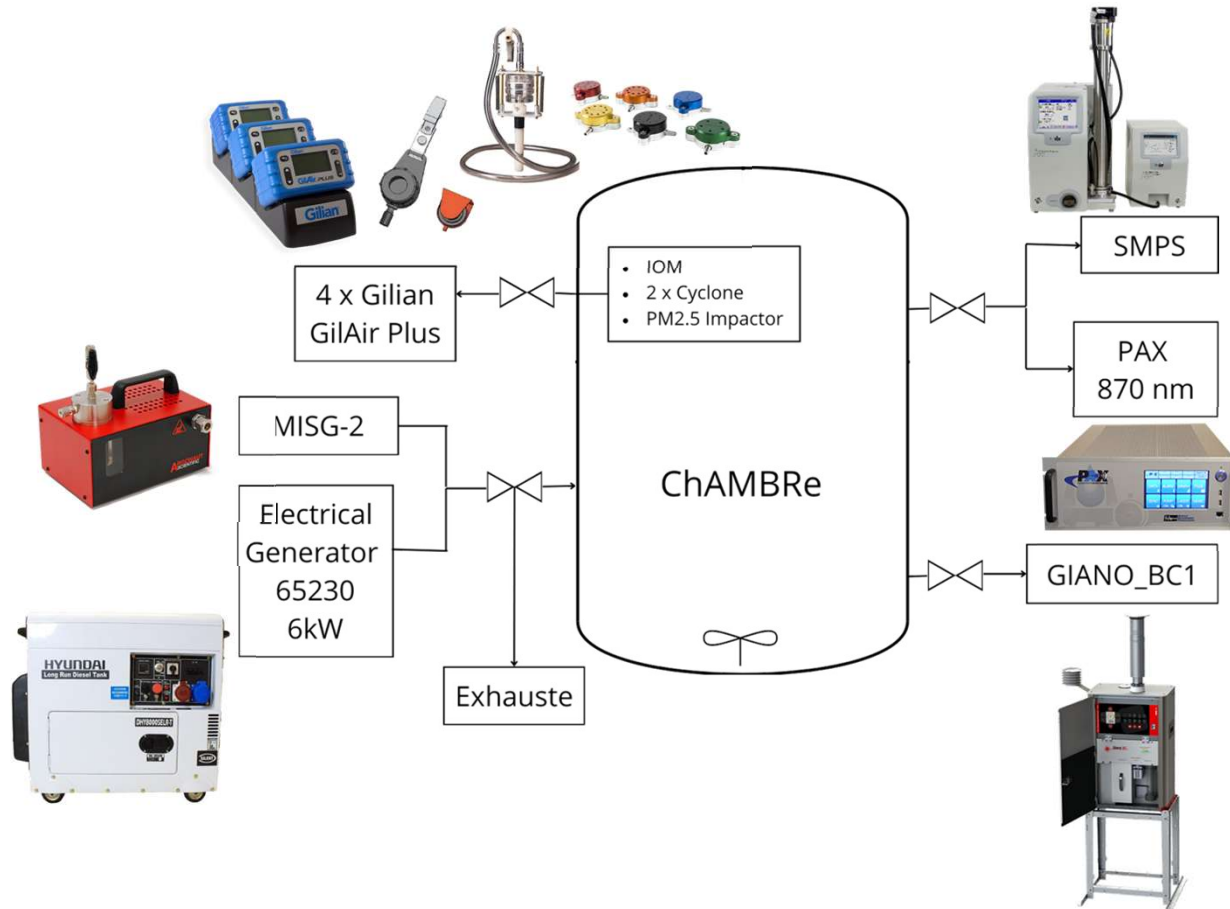
LAYOUT SPERIMENTALE

Protocollo di iniezione e campionamento

1. Iniezione delle particelle in ChAMBRé tramite linea sigillata
2. Monitoraggio con strumentazione on-line
3. Avvio del campionamento dopo stabilizzazione della concentrazione (~3 min)
4. Analisi off-line dei campioni raccolti

Condizioni sperimentali

- i. Pressione atmosferica
- ii. Temperatura: 21–25°C
- iii. Umidità relativa: < 50%
- iv. Ambiente in assenza di luce



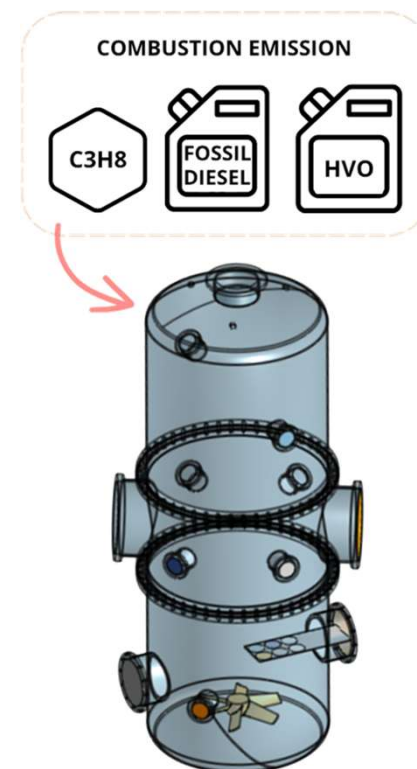
STRUMENTAZIONE

1. Generazione di particelle di aerosol carbonioso (fresh soot)

- i. Mini-Inverted Soot Generator (MISG) alimentato a propano
(Sorgente di riferimento per particelle di soot EC-dominanti)
- ii. Motore diesel (Electrical Generator 65230 – 6kW – Hyundai)
alimentato con *Diesel fossile tradizionale*
- iii. Motore diesel (Electrical Generator 65230 – 6kW – Hyundai)
alimentato con *HVO (Hydrotreated Vegetable Oil) – biocarburante «green»*

2. Caratterizzazione delle emissioni

- i. Distribuzione dimensionale delle particelle (online): *SMPS*
- ii. Concentrazioni di EC e OC (campionamento su filtro e analisi termo-ottica): *Sunset EC/OC analyzer*
- iii. Proprietà ottiche
 - i. ON-LINE: *PAX, GIANO_BC1*
 - ii. OFF-LINE: *MWAA (Multi Wavelength Absorbance Analyzer)*



PM_TEN s.r.l.

IAS - Società Italiana di Aerosol
PM2026 – Napoli, 26 – 29 maggio



RISULTATI



RAPPORTO EC/TC DISTRIBUZIONE DIMENSIONALE

I rapporti EC/TC variano in funzione del tipo di combustibile e del processo di combustione

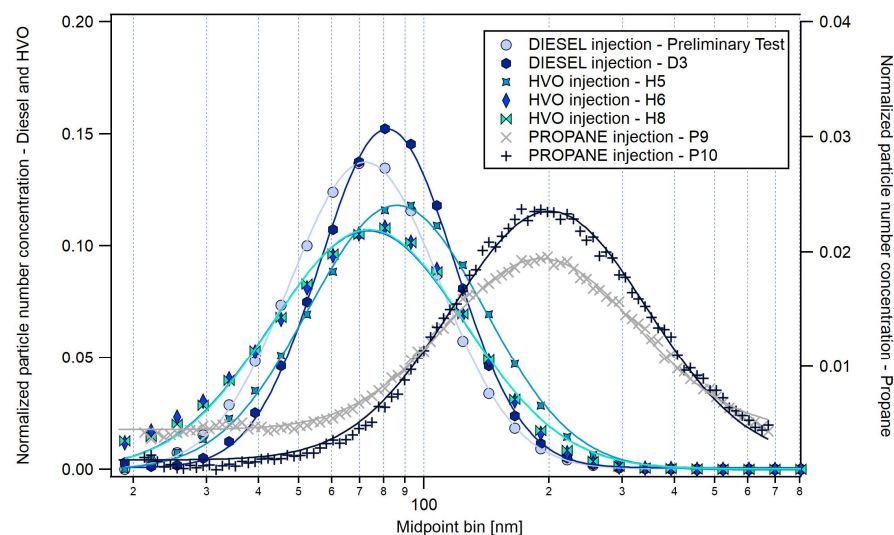
1. Propano (combustione fuel-lean)

- i. Emissioni dominate da EC, coerente con la combustione fuel-lean
- ii. Diametro medio: 200–300 nm

2. Diesel & HVO

- i. Particelle con maggiore contenuto di OC, legato a combustione a bassa temperatura (motore al minimo)
- ii. Particelle più piccole, picco nella moda di accumulazione (diametro medio: 70-80 nm per Diesel e 80-90 nm per HVO)

	EC:OC	EC:TC
Propane - MSIG	2.2 ± 0.8	0.7 ± 0.1
Diesel – 65230 – 6 kW Hyundai	0.2 ± 0.1	0.15 ± 0.05
HVO – 65230 – 6 kW Hyundai	0.7 ± 0.5	0.4 ± 0.2



Danelli et al., *Atmos. Chem. Phys.*, 25, 9387–9401 (2025)



PM_TEN s.r.l.

IAS - Società Italiana di Aerosol
PM2026 – Napoli, 26 – 29 maggio

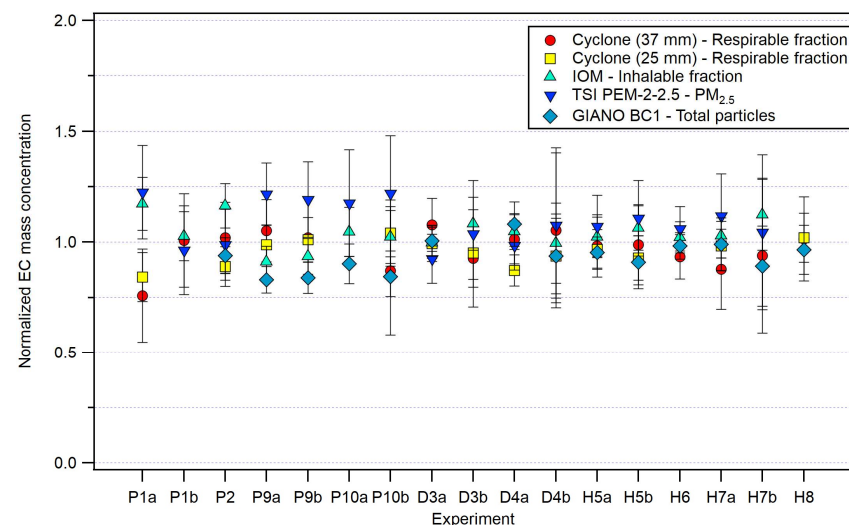


CONFRONTO PRE-SELETTORI

Sampler	Classifier	Particle fraction collected	Flow rate [L min ⁻¹]	Filter diameter [mm]
Gillian GilAir Plus	Cyclone (Dorr Oliver)	Respirable fraction	1.7	25
Gillian GilAir Plus	Cyclone (Dorr Oliver)	Respirable fraction	1.7	37
Gillian GilAir Plus	IOM	Inhalable fraction	2	25
Gillian GilAir Plus	TSI PEM-2-2.5	PM _{2.5}	2	37
Giano BC1	None	Total particles	10	47

I diversi selettori si sono dimostrati egualmente efficaci nel raccogliere particelle di soot ultrafini, indipendentemente dal tipo di combustibile (diesel, HVO, propano).

L'uniformità ottenuta rappresenta un elemento chiave per garantire dati affidabili e confrontabili nelle valutazioni del rischio sanitario.



Danelli et al., *Atmos. Chem. Phys.*, 25, 9387–9401 (2025)



PM_TEN s.r.l.

IAS - Società Italiana di Aerosol
PM2026 – Napoli, 26 – 29 maggio



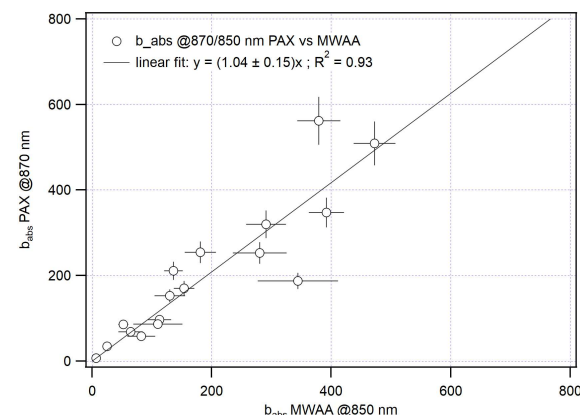
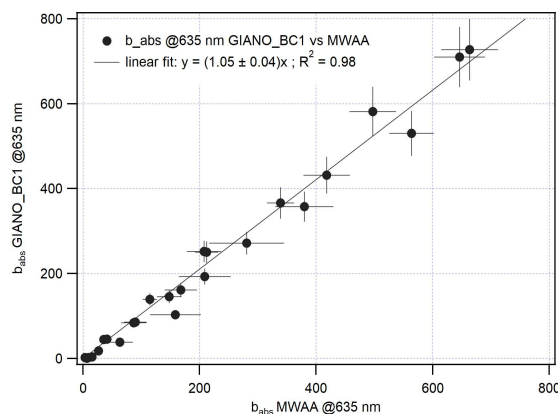
PROPRIETA' OTTICHE (I)

Misura delle proprietà ottiche realizzata con diverse tecniche/strumenti:

- Giano BC1 (online)
- PAX (online)
- MWAA (offline)

Confronto tra strumenti, basato sui valori di b_{abs} , ha mostrato un'ottima correlazione: $R^2 > 0.9$ e pendenze prossime all'unità, entro l'incertezza

Tecniche diverse per la misura dell'assorbimento ottico hanno fornito risultati coerenti.



Danelli et al., *Atmos. Chem. Phys.*, 25, 9387–9401 (2025)

La stima delle concentrazioni di aerosol carbonioso mediante la misura delle proprietà ottiche del particolato è ampiamente diffusa (principalmente in aria-ambiente) e molto promettente in diversi contesti, inclusa la valutazione dell'esposizione sui luoghi di lavoro
ma...



PM_TEN s.r.l.

IAS - Società Italiana di Aerosol
PM2026 – Napoli, 26 – 29 maggio



PROPRIETA' OTTICHE (II)

Le concentrazioni di specie otticamente assorbenti negli aerosol atmosferici possono essere quantificate tramite il Mass Absorption Coefficient (MAC):

$$MAC(\lambda) = \frac{b_{abs}(\lambda)}{m}$$

$b_{abs}(\lambda)$: coefficiente di assorbimento alla lunghezza d'onda λ ; m = concentrazione specie assorbente (es. EC, BC o BrC)

- In letteratura le diverse misurazioni degli aerosol atmosferici contenenti BC mostrano un'**ampia gamma di valori di MAC**, da 5.5 a 45.9 m² g⁻¹ a λ = 550 nm e da 4.2 a 19.9 m² g⁻¹ a λ = 637 nm [Genberg et al. 2013, Zanatta et al. 2016].
- Un'errata assegnazione del parametro MAC può generare **sovrastime o sottostime dei valori di concentrazioni di BC**.
- Variabilità dei valori di MAC dipende dalla tipologia di sorgente emissiva, dalle condizioni di combustione e dalle caratteristiche delle particelle che possono cambiare nel tempo e nello spazio.



Sempre più largo utilizzo dei biocombustibili: effetto sui fumi dei gas di scarico al variare del tipo di combustibile utilizzato?



PM_TEN s.r.l.

IAS - Società Italiana di Aerosol
PM2026 – Napoli, 26 – 29 maggio



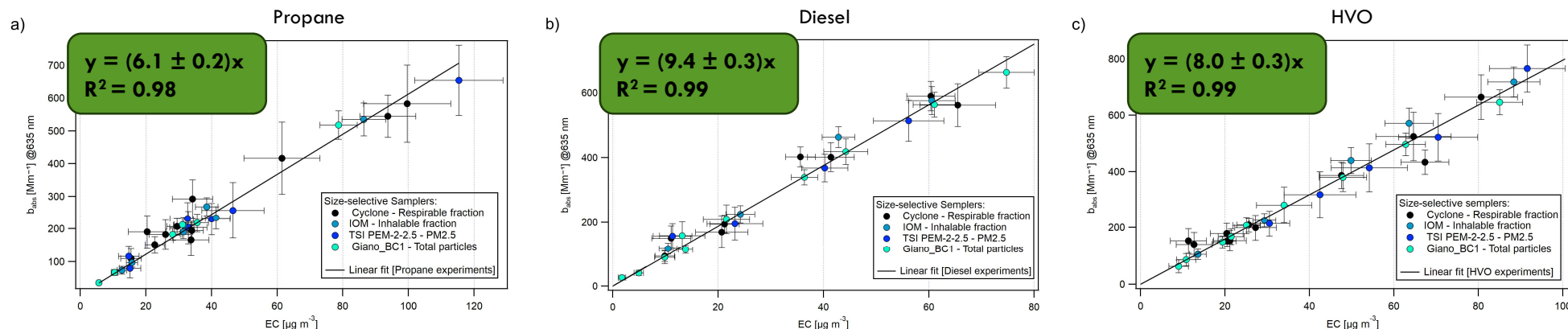
PROPRIETA' OTTICHE(III)

Misura dei valori di MAC in base al tipo di combustibile utilizzato

Danelli et al., *Atmos. Chem. Phys.*, 25, 9387–9401 (2025)



	Propane - MISG	Diesel – 65230 – 6 kW Hyundai	HVO – 65230 – 6 kW Hyundai
MAC values ($\text{m}^2 \text{g}^{-1}$) - MWAA 635 nm	6.1 ± 0.2	9.4 ± 0.3	8.0 ± 0.3
MAC values ($\text{m}^2 \text{g}^{-1}$) - Giano BC1 635 nm	7.8 ± 1.1	9.4 ± 0.4	8.4 ± 0.6
MAC values ($\text{m}^2 \text{g}^{-1}$) - MWAA 850 nm	5.2 ± 0.5	6.8 ± 0.2	6.0 ± 0.3
MAC values ($\text{m}^2 \text{g}^{-1}$) - PAX 870 nm	5.5 ± 0.1	6.2 ± 0.5	5.8 ± 0.2
Extrapolated MAC values ($\text{m}^2 \text{g}^{-1}$) - 550 nm	7.0 ± 0.3	11.2 ± 0.4	9.2 ± 0.4
Average AAE values	0.95 ± 0.09	1.21 ± 0.11	1.04 ± 0.09



Evidenziata **significativa variabilità nel valore di MAC** dell'aerosol prodotto da motori alimentati con diverso combustibile: le particelle prodotte da diesel «ordinario» mostrano maggiore capacità di assorbimento della luce rispetto a quelle prodotte da HVO (e da propano)



PM_TEN s.r.l.

IAS - Società Italiana di Aerosol
PM2026 – Napoli, 26 – 29 maggio



CONCLUSIONI



CONCLUSIONI E COMMENTI

- Lo studio ha analizzato in ambiente controllato le emissioni da diesel, HVO e propano in termini di dimensione delle particelle, proprietà ottiche e rapporti EC/TC, con l'obiettivo di adottare un **approccio sistematico** per approfondire il tema della **valutazione dell'aerosol carbonioso**, con particolare riferimento alla stima dell'**esposizione del lavoratore ai fumi di gas di scarico dei motori diesel**.
- Il prelievo effettuato con diversi pre-selettori e configurazioni sperimentali (in particolare sul cut-off dimensionale) ha fornito **risultati confrontabili nella valutazione delle concentrazioni di EC con metodologie analitiche offline (analisi termo-ottica)**.
- È stata osservata una **significativa variabilità delle proprietà ottiche** delle particelle in funzione della sorgente emissiva, in particolare della tipologia di combustibile.
- Gli strumenti basati su misure ottiche si confermano promettenti per il monitoraggio degli aerosol carboniosi, anche in ambienti lavorativi, ma risultano sensibili alle variazioni nella natura della sorgente emissiva che, **modificando apprezzabilmente i valori di MAC**, richiedono attente valutazioni per produrre informazioni coerenti.

Sviluppi futuri: effetto di potenziali interferenti (*work in progress*)

GRAZIE PER L'ATTENZIONE!



Atmos. Chem. Phys., 25, 9387–9401, 2025
<https://doi.org/10.5194/acp-25-9387-2025>
© Author(s) 2025. This work is distributed under
the Creative Commons Attribution 4.0 License.



Atmospheric
Chemistry
and Physics
Open Access
EGU



lorenzo.caponi@pmten.it



www.pmten.it



Uffici: v. alla Porta degli Archi 10/14 16121 Genoa (IT)

Laboratorio: Via Dodecaneso 33 16121 Genoa (IT)

Measurement report: Investigation of optical properties of carbonaceous aerosols from the combustion of different fuels by an atmospheric simulation chamber

Silvia G. Danelli¹, Lorenzo Caponi¹, Marco Brunoldi^{2,3}, Matilde De Camillis¹, Dario Massabò^{2,3},
Federico Mazzei^{2,3}, Tommaso Isolabella^{2,3}, Annalisa Pascarella^{4,5}, Paolo Prati^{2,3}, Matteo Santostefano¹,
Francesca Tarchino⁶, Virginia Vernocchi², and Paolo Broetto¹

¹PM_TEN Srl, Genoa, 16123, Italy

²INFN, Genoa Section, Genoa, 16146, Italy

³Department of Physics, University of Genoa, Genoa, 16146, Italy

⁴BEES Srl, Genoa, 16121, Italy

⁵Institute for the Application of Calculus (IAC) – CNR, Rome, 00185, Italy

⁶SIGE Srl, Genoa, 16161, Italy

DOI : [10.5194/acp-25-9387-2025](https://doi.org/10.5194/acp-25-9387-2025)