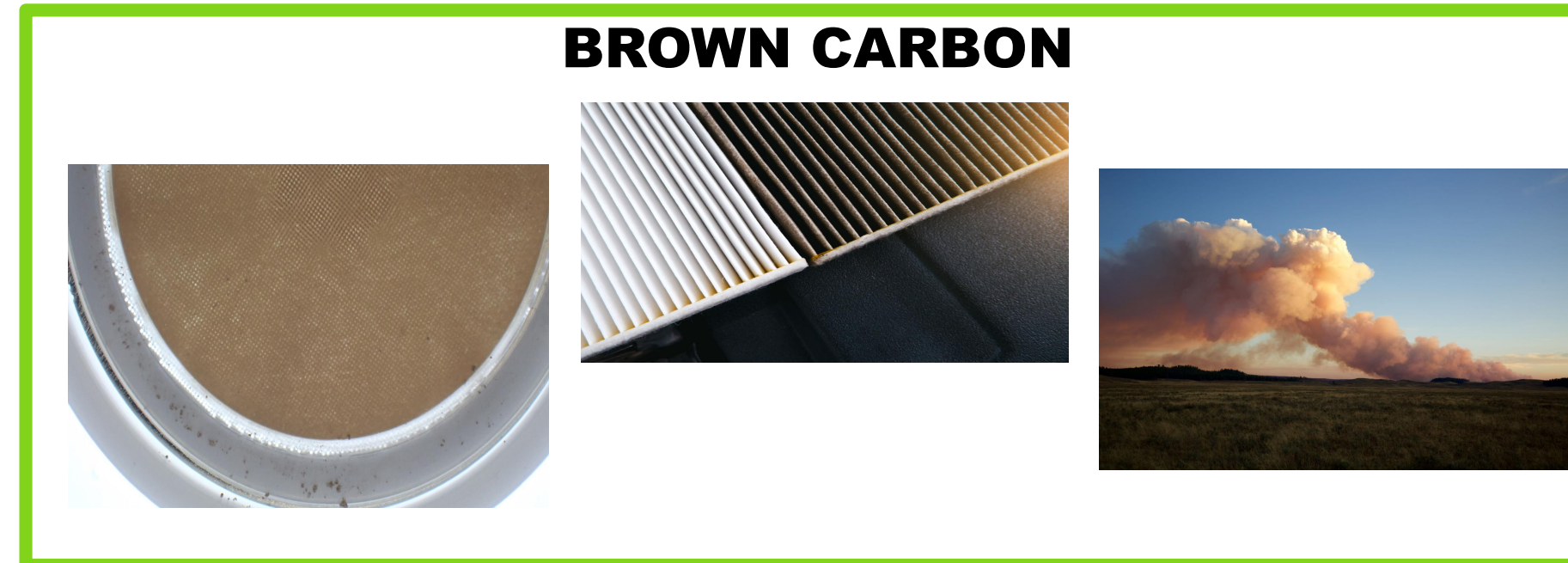
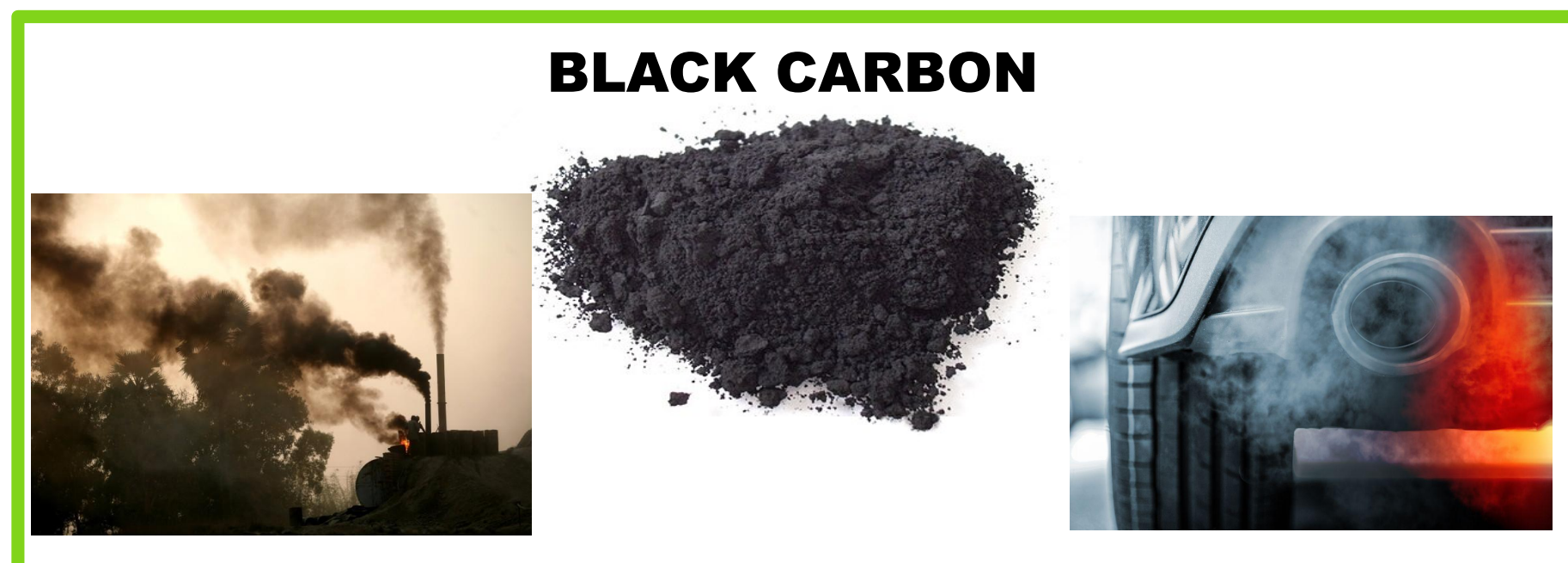
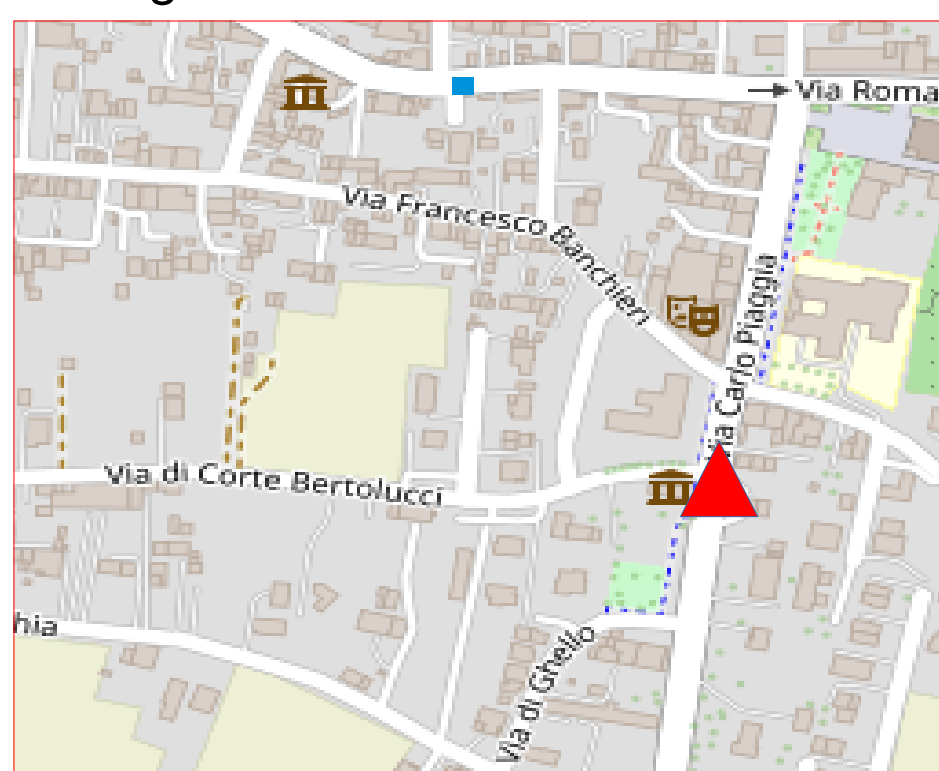


Materiali e metodi

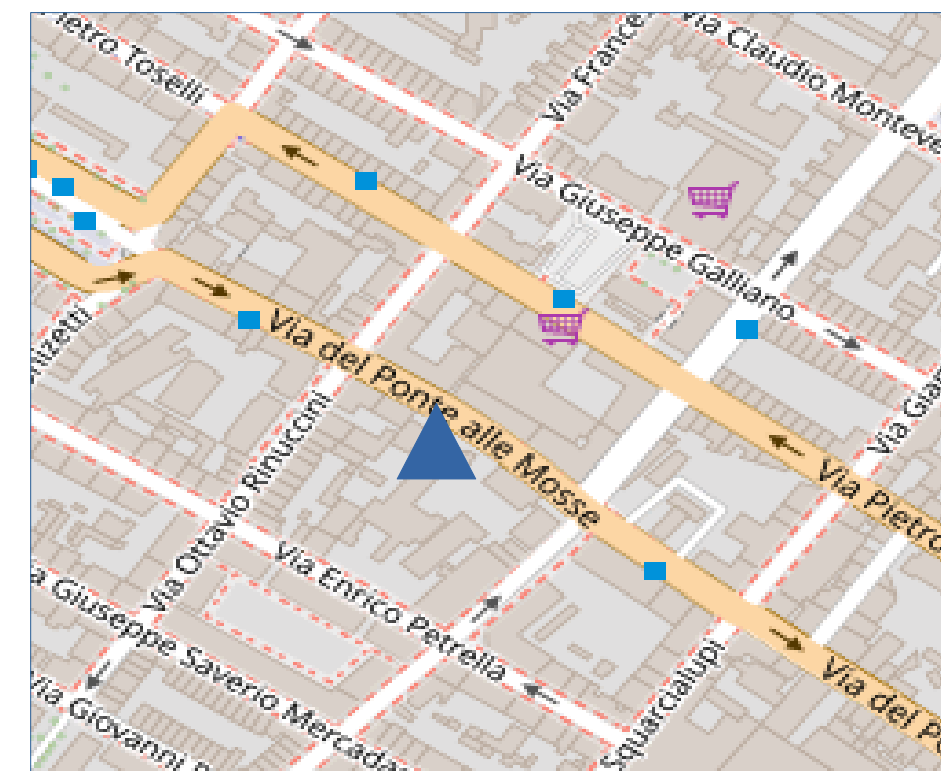


Il carbonio atmosferico rappresenta una componente rilevante del particolato fine (PM), con importanti implicazioni sia per la qualità dell'aria sia per il clima. Per quanto riguarda le capacità ottiche del particolato si possono identificare due frazioni principali: il Black Carbon (BC) e il Brown Carbon (BrC), oltre alla componente che non assorbe la luce. Il BC è costituito da particelle fortemente assorbenti lungo tutto lo spettro visibile ed è prodotto principalmente da combustioni incomplete di combustibili fossili, come il traffico veicolare e alcune attività industriali. Si divide in Biomass Burning (BB) ed in Fossil Fuel (FF). Per questo motivo è comunemente utilizzato come tracciante delle emissioni di origine antropica legate ai combustibili fossili. Il BrC, invece, è una miscela più eterogenea di composti organici che assorbono soprattutto nell'ultravioletto e nel visibile a lunghezze d'onda più corte. È associato prevalentemente alla combustione di biomasse, come incendi boschivi, riscaldamento domestico a legna e residui agricoli, risultando quindi un indicatore più specifico delle sorgenti di origine biogenica.



Stazione di FI-Mosse
(URBANA TRAFFICO)

Stazione di LU-Capannori
(URBANA FONDO)



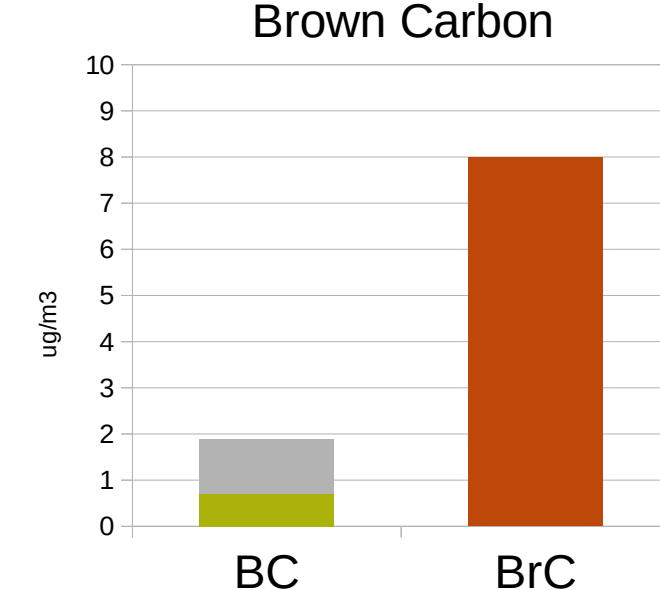
Dal alcuni anni, presso il sito di LU-Capannori, caratterizzato dalla presenza di emissioni da combustione domestica di biomassa ed i più elevati valori di PM10 regionali e presso la stazione di traffico di FI-Mosse (area ad alto traffico veicolare nel comune di Firenze, nel centro dell'agglomerato urbano), è attivo il monitoraggio in continuo del Black Carbon (BC). Questo parametro è misurato mediante etalometri (modello AE33, Magee Scientific) dotati di software in grado di calcolare con risoluzione oraria anche la componente di Brown Carbon (BrC). I valori medi, gli indicatori statistici e gli andamenti giornalieri e stagionali di BC e BrC nei due siti evidenziano chiaramente la diversa impronta delle principali sorgenti emittive: combustione domestica di biomassa a LU-Capannori e traffico veicolare a FI-Mosse. Nel sito di LU-Capannori, candidato a super-sito per la Toscana, è stata effettuata la speciazione chimica del PM2.5 (EC, OC e TC da UNIFI-INFN) che ha permesso di fare la caratterizzazione delle sorgenti tramite PMF.

Risultati e discussione

Tra il 2024 e il 2025 c'è una generale riduzione delle concentrazioni medie assolute sia di Brown Carbon (BrC) sia di Black Carbon (BC) in entrambi i siti, che rispecchia la generale diminuzione dei valori medi di PM. I valori di BrC e di BC non mostrano differenze sostanziali tra i due anni mentre ci sono evidenti differenze nelle dinamiche delle sorgenti tra i due siti.

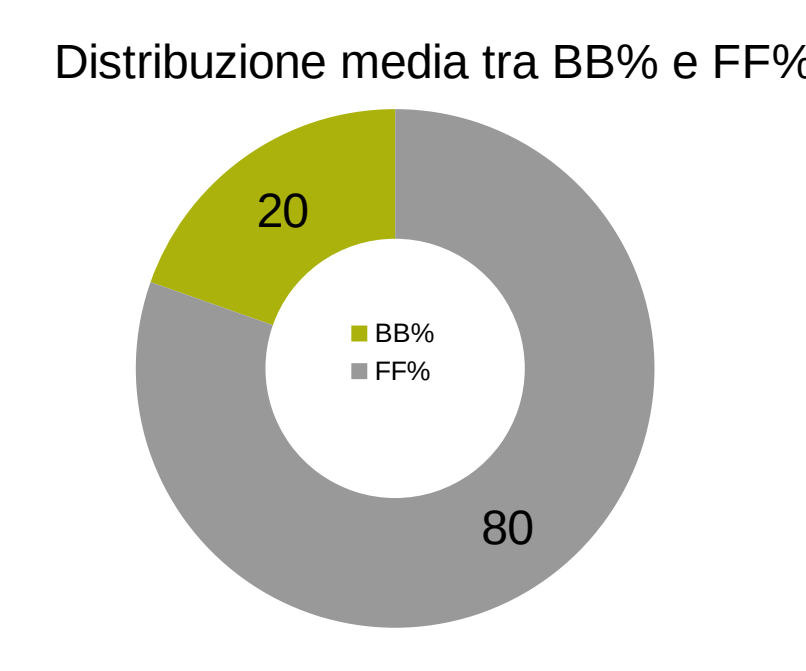
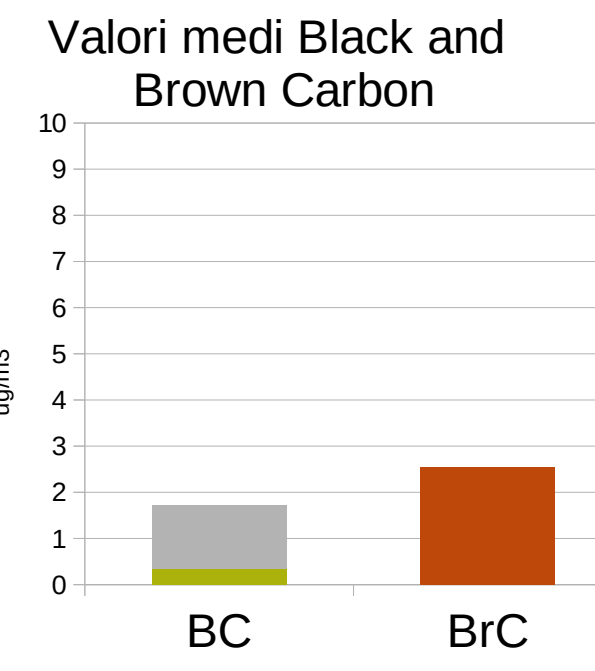
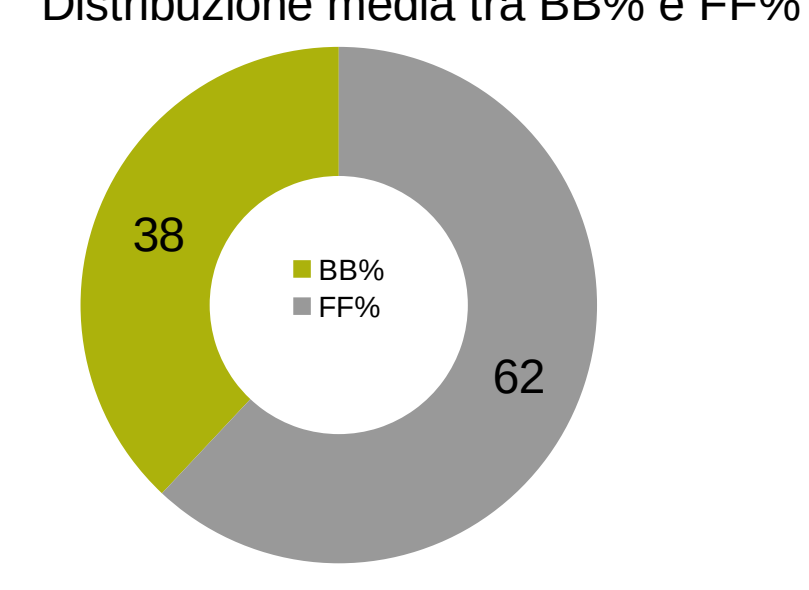
SITO	UF LU-Capannori		UT FI-Mosse	
Parametro	2024	2025	2024	2025
Brown Carbon	9,7µg/m³	8,0µg/m³	2,8µg/m³	2,5µg/m³
Black Carbon	2,0µg/m³	1,9µg/m³	2,0µg/m³	1,7µg/m³
%BrC nel PM10	35%	32%	10%	11%
%BC nel PM10	7,2%	7,6%	7,5%	7,6%
BB% nel BC	34	38	19	20
FF% nel BC	66	62	81	80

Stazione di fondo LU-Capannori



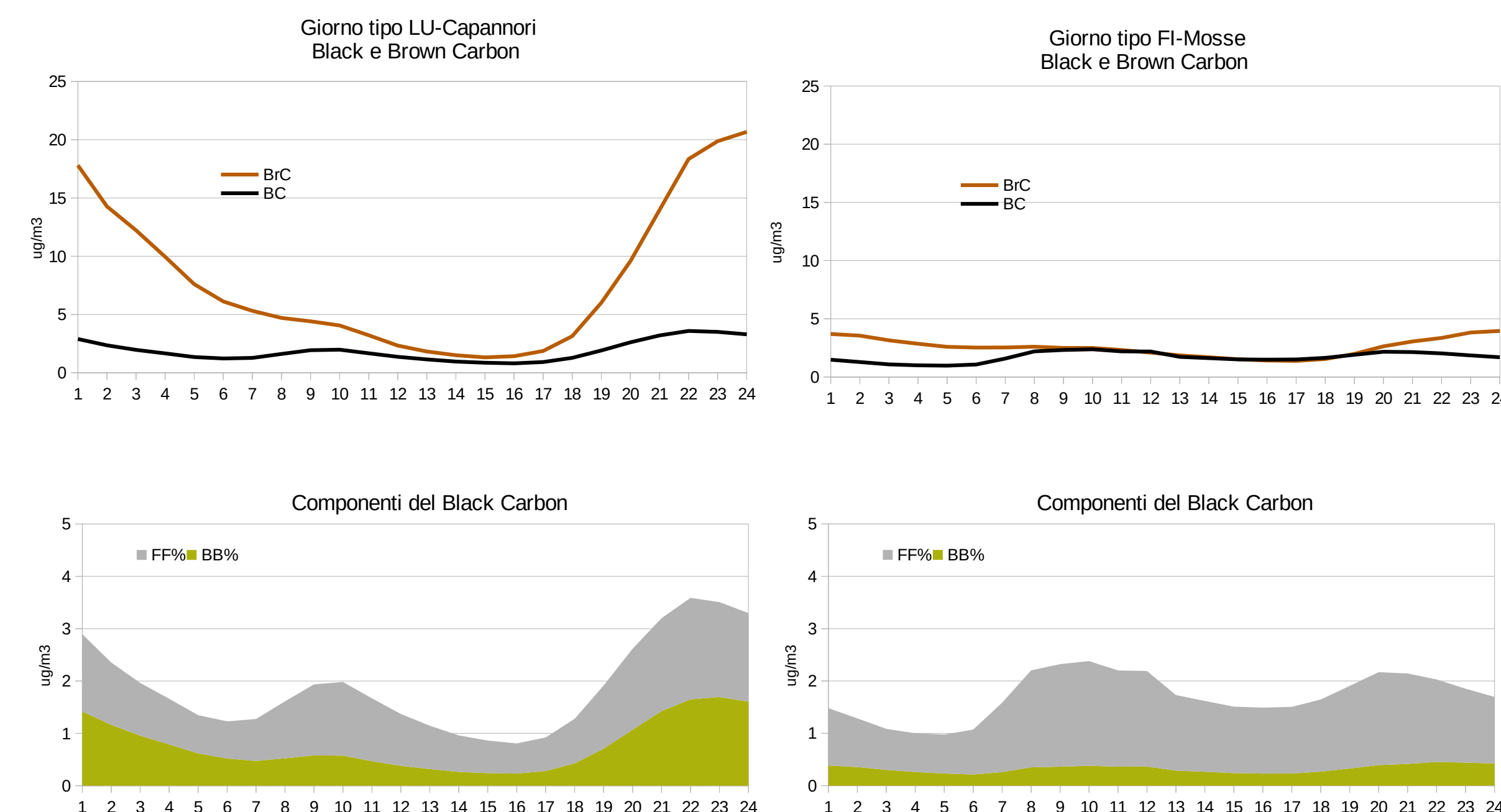
Confronto valori medi 2025

Stazione di traffico FI-Mosse

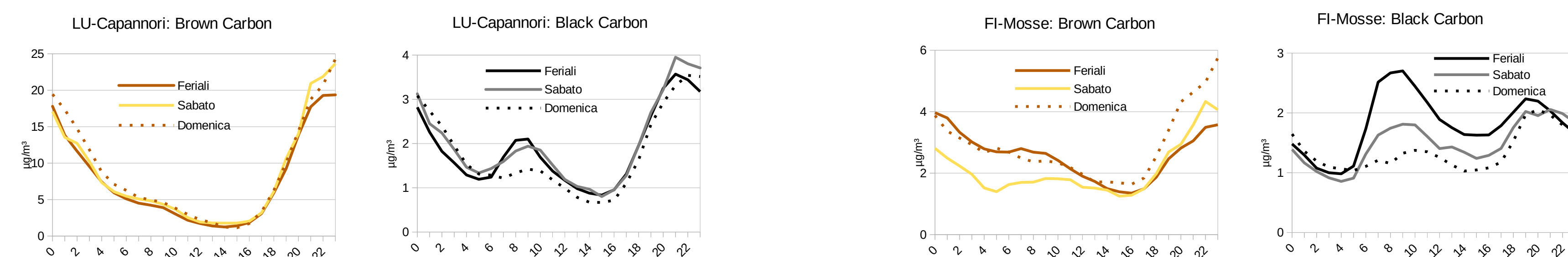


Le concentrazioni medie di Brown Carbon (BrC) risultano più elevate nel sito di fondo di LU-Capannori rispetto al sito urbano di FI-Mosse, mentre i livelli di Black Carbon (BC) sono equivalenti tra i due siti. Dal punto di vista della composizione del particolato, il BrC rappresenta oltre il 30% del PM10 totale a LU-Capannori, mentre a FI-Mosse è circa il 10%. Il contributo percentuale del BC al PM10, invece, è simile in entrambi i siti e pari al 7,5 % ma nelle sorgenti emergono differenze sostanziali: a LU-Capannori è rilevante la combustione di biomassa (BB%) che è più di un terzo del totale BC mentre a FI-Mosse la componente da combustibili fossili (FF%), principalmente legata al traffico veicolare, è più consistente e pari all'80%.

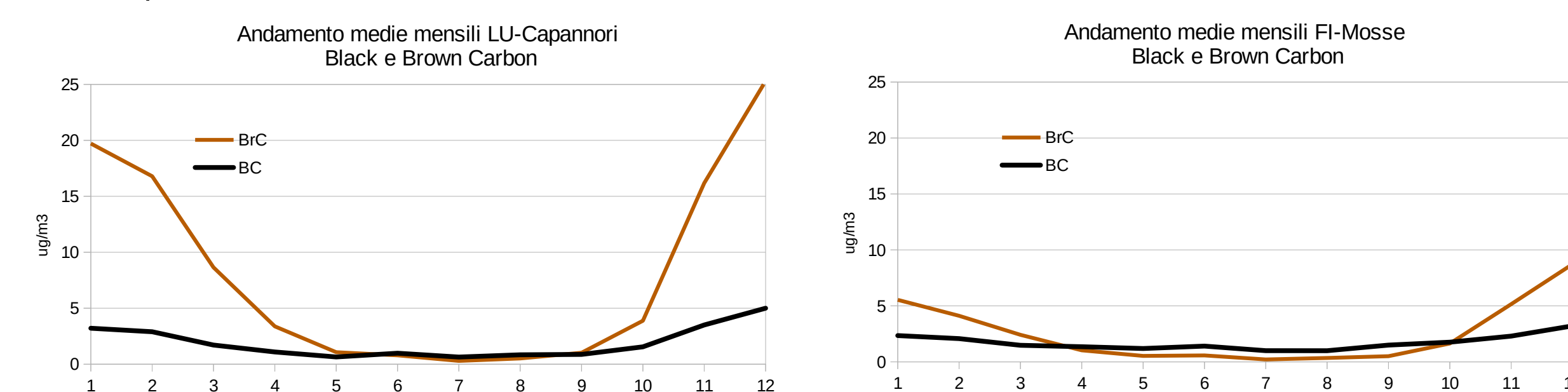
Giorno tipo Black e Brown Carbon



Confronto stazioni fondo e traffico

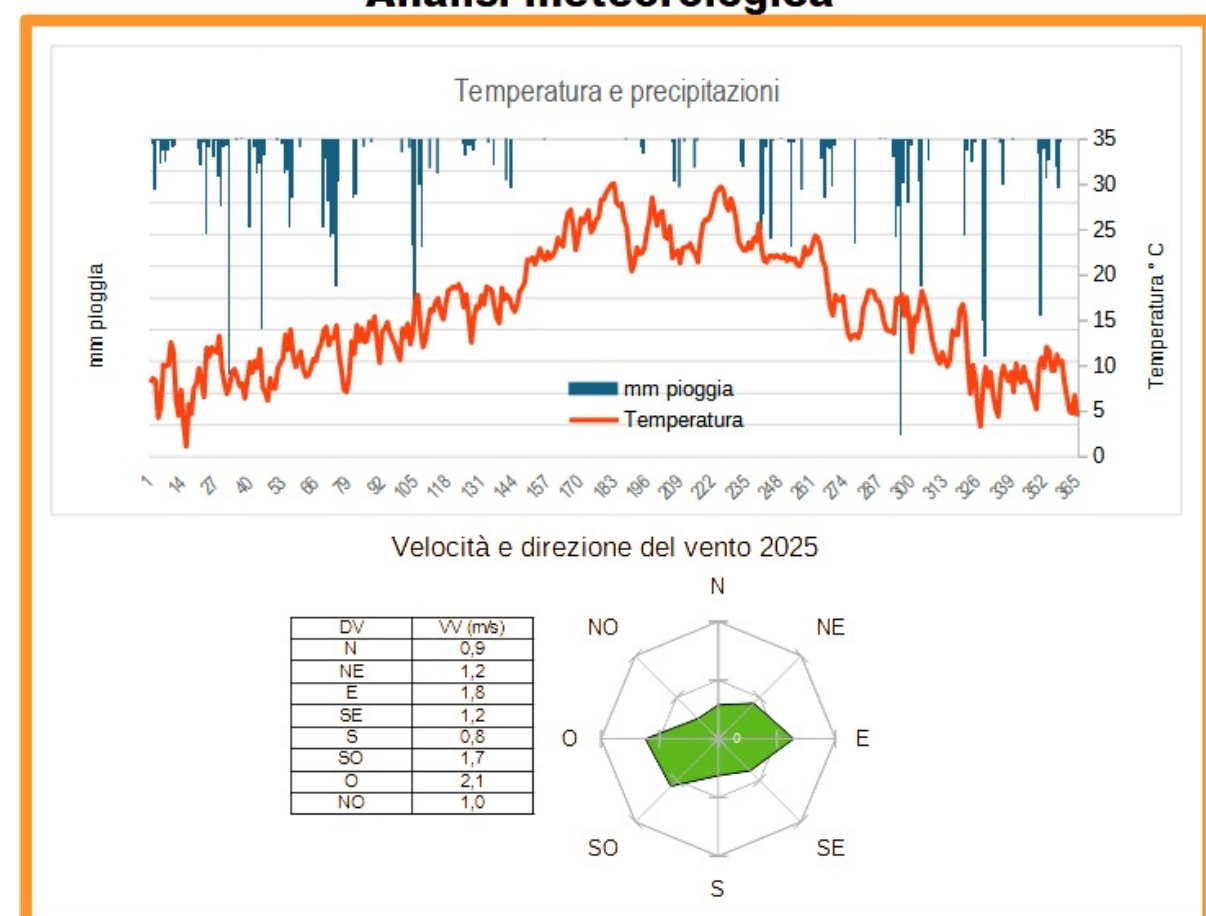


Per quanto riguarda le differenze tra i giorni della settimana, presso la stazione di fondo non si osservano variazioni particolarmente evidenti, a differenza di quanto accade nella stazione di traffico. In quest'ultima, infatti, l'andamento del BC nei giorni feriali è fortemente influenzato dal traffico veicolare, con picchi più marcati nelle ore di maggiore circolazione. Durante il fine settimana, invece, questo andamento risulta meno accentuato, mentre aumenta il picco serale del BrC.

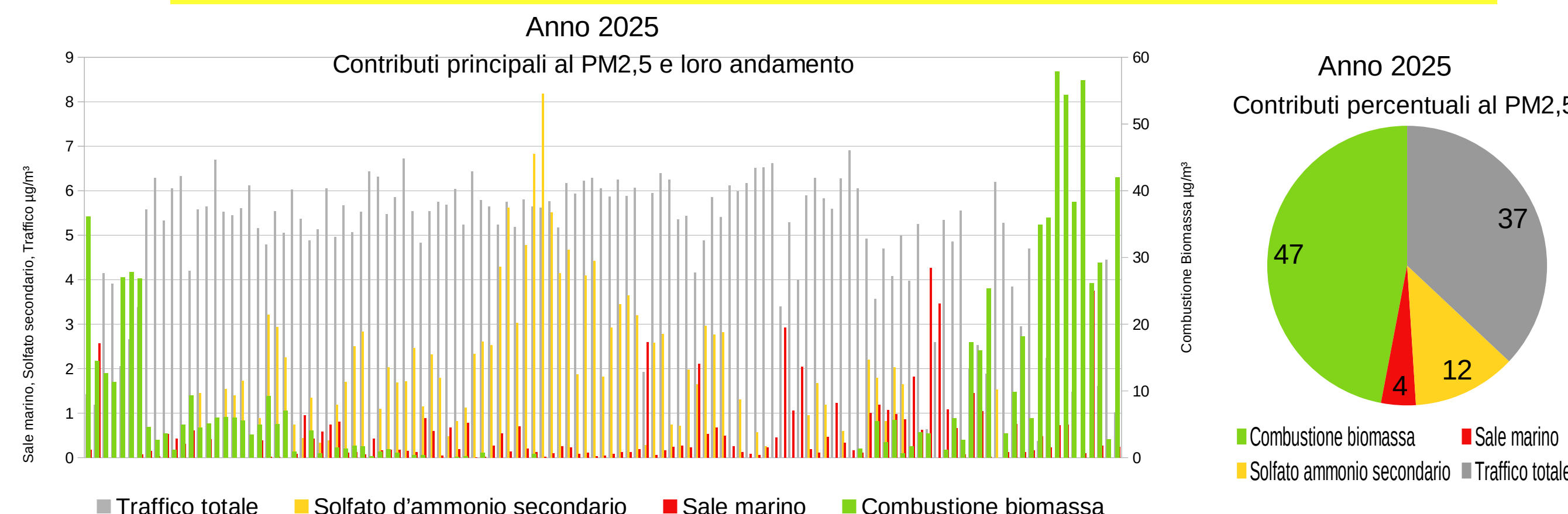


L'andamento mensile conferma quanto osservato nei profili giornalieri. A LU-Capannori, il BrC mostra una forte stagionalità, con valori molto alti in inverno e quasi nulli in estate, legati al riscaldamento domestico a biomassa. Il BC aumenta anch'esso nei mesi freddi, ma in modo più contenuto, indicando un contributo misto di traffico e combustioni domestiche. A FI-Mosse, la stagionalità del Brown Carbon è meno marcata e con valori più bassi, coerente con una minore influenza della biomassa. Il Black Carbon risulta invece più stabile durante l'anno, con un lieve aumento nei mesi freddi dovuto al traffico e a condizioni atmosferiche più stabili.

Analisi meteorologica

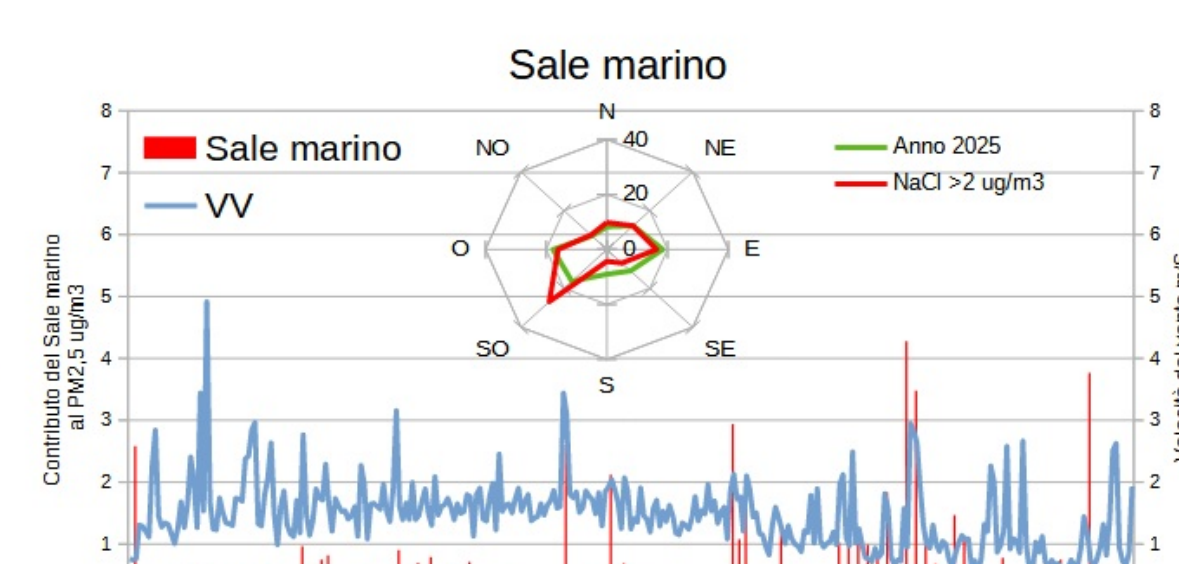
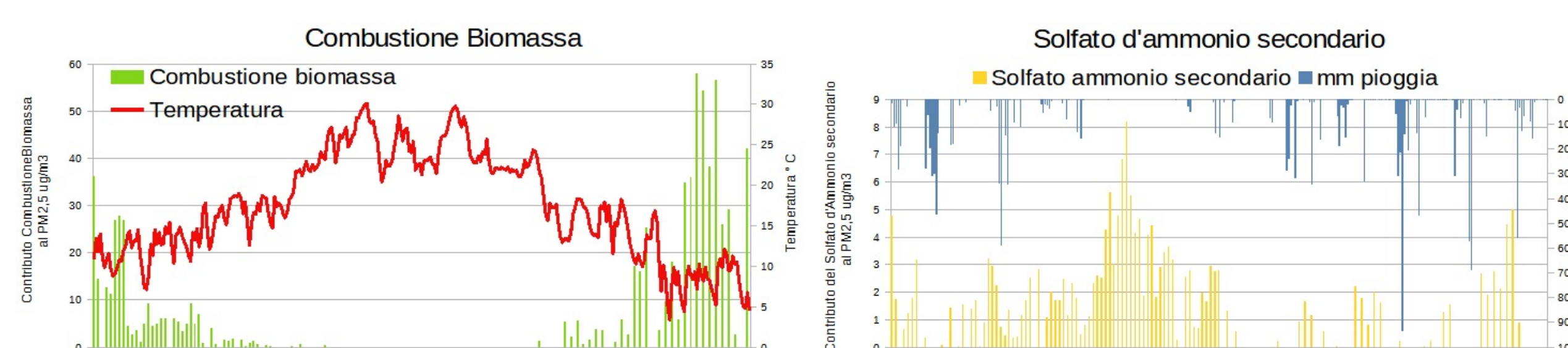


Caratterizzazione del particolato nel sito di fondo LU-Capannori



L'analisi PMF ha identificato quattro principali sorgenti di PM2.5 nel sito di studio: combustione di biomassa, traffico totale, solfato d'ammonio secondario e sale marino. Il contributo maggiore è attribuito alla combustione di biomassa (circa 47% del PM2.5 totale), seguita dal traffico totale (37%), comprendente sia le emissioni da combustione sia il risollevarimento del particolato. Più limitato il contributo del solfato d'ammonio secondario (12%) e del sale marino (4%).

L'andamento temporale dei fattori mostra una chiara variabilità stagionale. La combustione di biomassa presenta concentrazioni più elevate nei mesi invernali, legate al riscaldamento domestico e alle condizioni atmosferiche favorevoli all'accumulo del particolato. Il solfato d'ammonio secondario aumenta invece nei periodi estivi e secchi, in relazione alla maggiore formazione fotochimica degli aerosol secondari. Il sale marino è associato a episodi di vento intenso proveniente dal quadrante costiero, indicativi del trasporto di aerosol marino. Il fattore traffico totale, infine, mantiene valori relativamente costanti durante tutto l'anno, essendo legato sia alle emissioni dei veicoli sia alla risospensione del particolato stradale.



Conclusioni

I risultati del monitoraggio confermano una netta differenza tra i due siti analizzati: a LU-Capannori prevale l'influenza della combustione domestica di biomassa, con un contributo significativo al Brown Carbon, mentre a FI-Mosse il traffico veicolare rappresenta la principale sorgente emittiva. L'analisi PMF sul PM2.5 effettuata sul sito di LU-Capannori ha identificato le principali componenti emittive: in primo luogo la combustione di biomassa che incide per il 47%, seguita dal traffico veicolare comprendente sia le emissioni da combustione sia il risollevarimento del particolato e dall'aerosol secondario, evidenziando il ruolo predominante della combustione residenziale durante il periodo invernale. L'analisi combinata di Black Carbon, Brown Carbon e speciazione sul PM2.5 si è confermata uno strumento efficace per individuare le sorgenti del particolato in siti di interesse regionale e supportare le strategie di miglioramento della qualità dell'aria.

Bibliografia:

- [1] <https://www.regione.toscana.it/-/progetto-regionale-patos> [3] Dati meteo : Servizio Idrologico regionale della regione Toscana <https://www.sir.toscana.it/>
[2] <https://maia.jpl.nasa.gov/science-objectives> [4] <https://doi.org/10.3390/atmos16091077>