

Monitoraggio ad elevata risoluzione spaziale dell'inquinamento da particolato atmosferico nella città portuale di Civitavecchia

Andrea Pastore^{1,2}, E. Di Martino², C. Tiraboschi^{1,2}, M. A. Frezzini³, A. Di Giosa³, L. Martino³, G. Ialonardi³, A. De Fini³, G. Marchegiani⁴, A. Di Menno di Bucchianico⁴, A. Amoroso⁴, G. Cattani⁴, C. Ancona⁵, C. Perrino⁶, L. Bisceglia⁷, S. Canepari², L. Massimi²

¹Department of Public Health and Infectious Diseases, Sapienza University of Rome, Rome, Italy

²Department of Environmental Biology, Sapienza University of Rome, Rome, Italy

³Regional Environmental Protection Agency, ARPA Lazio, Rome, Italy

⁴Department for Environmental Assessment, Monitoring and Sustainability, ISPRA, Rome, Italy

⁵Department of Epidemiology, Lazio Regional Health Service/ASL Roma 1, Rome, Italy

⁶C.N.R. Institute of Atmospheric Pollution Research, Monterotondo St., Rome, Italy

⁷Epidemiology and Care Intelligence Area, AReSS Puglia, Bari, Italy

*Corresponding author. Tel: +39 3453276136. E-Mail: andrea.pastore@uniroma1.it



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA



SalPIAm
Salute Porti Inquinamento Ambiente
Sostenibilità Città Portuali



Campionamento e protocollo analitico

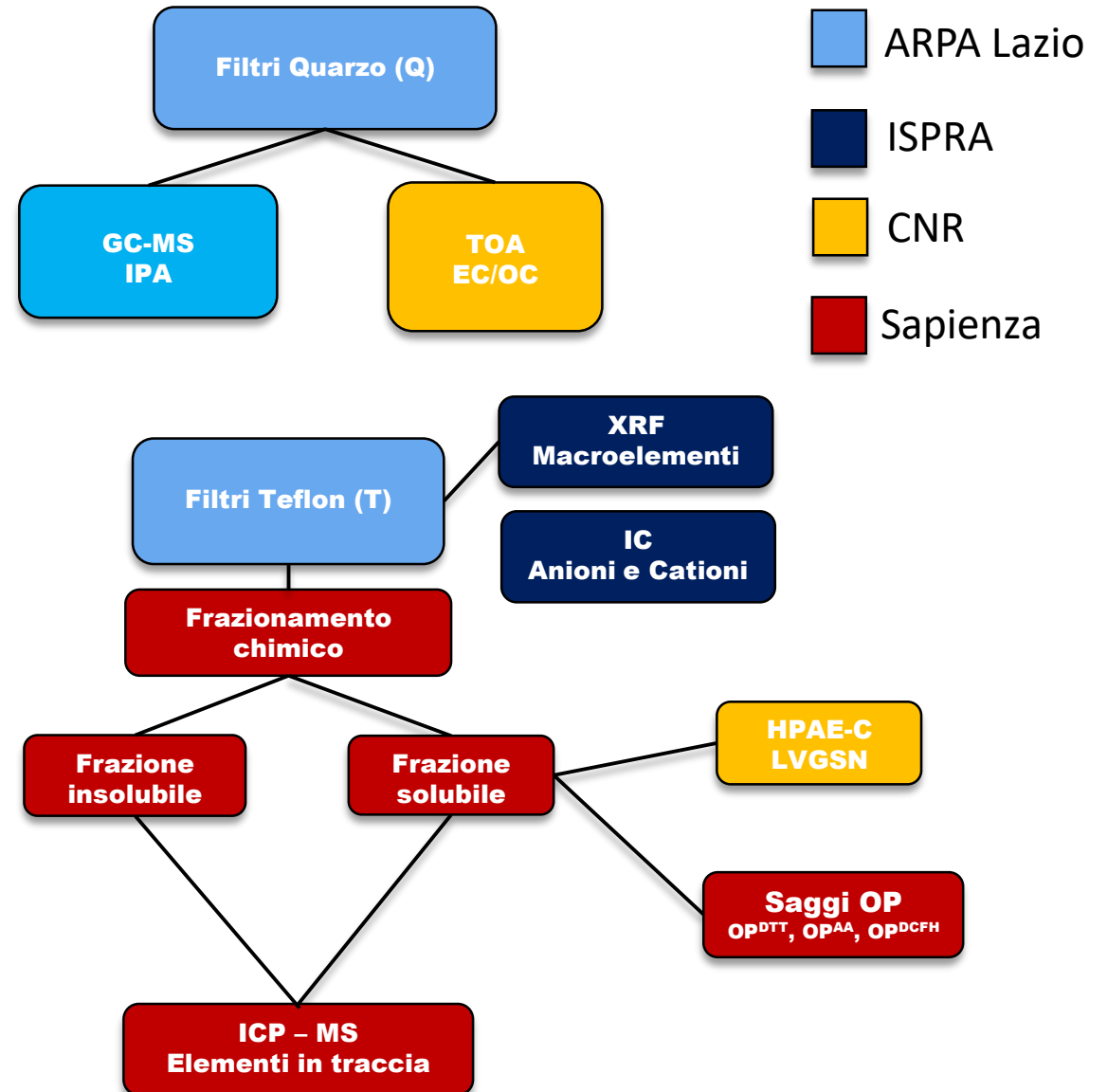


**Pesata filtri
Teflon
bianchi**

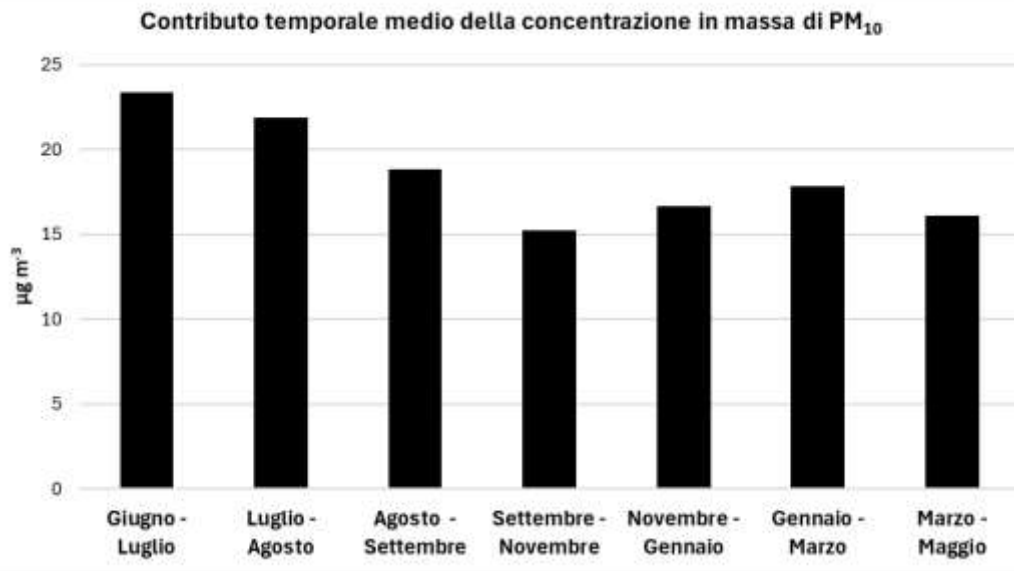
**Installazione,
campionamento
ritiro filtri**

**Pesata filtri
Teflon
campionati**

Campagne di monitoraggio	Inizio	Fine
I Campagna	Giugno 2024	Luglio 2024
II Campagna	Luglio 2024	Agosto 2024
III Campagna	Agosto 2024	Settembre 2024
IV Campagna	Settembre 2024	Novembre 2024
V Campagna	Novembre 2024	Gennaio 2025
VI Campagna	Gennaio 2025	Marzo 2025
VII Campagna	Marzo 2025	Maggio 2025

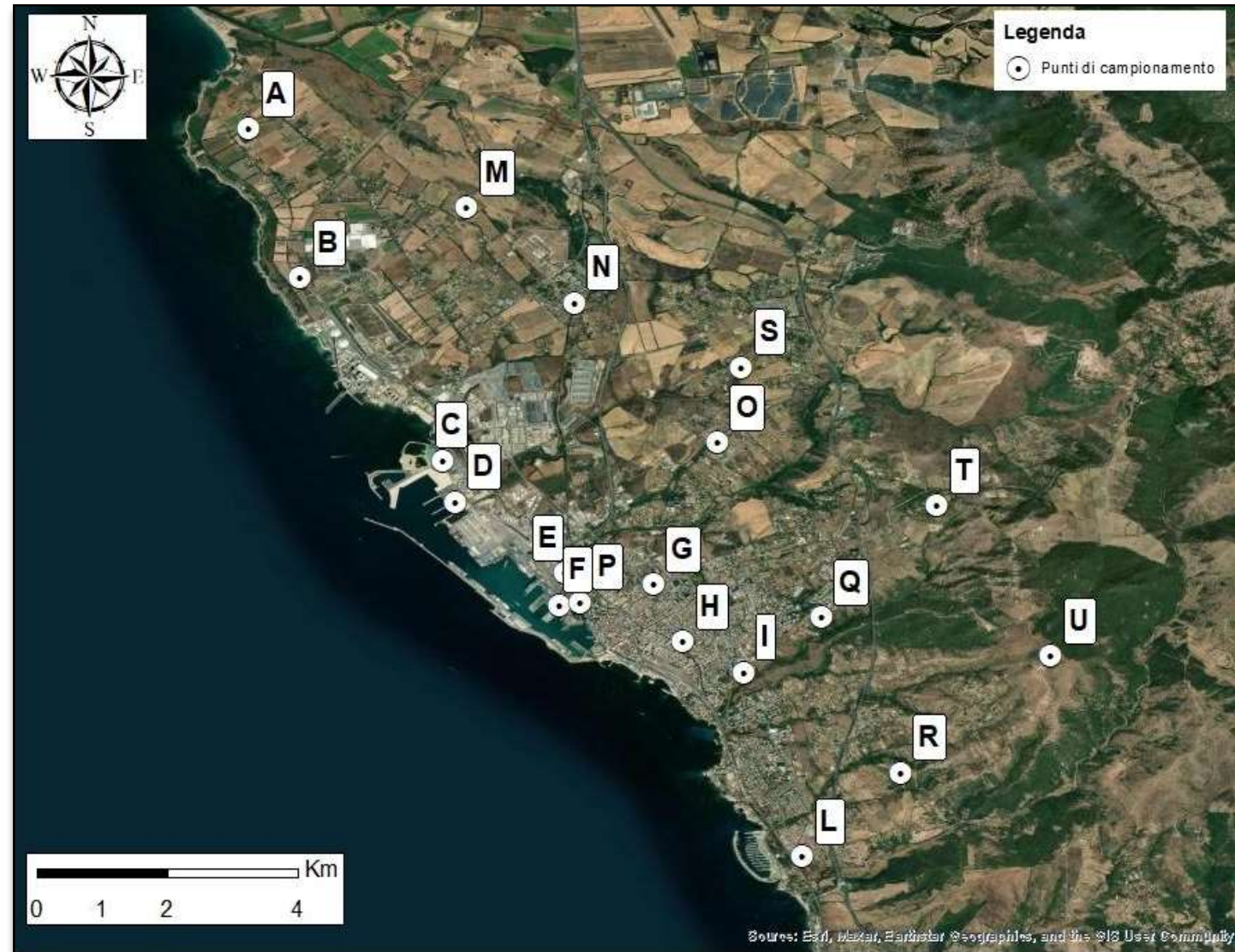


Variabilità temporale e spaziale delle concentrazioni medie PM₁₀

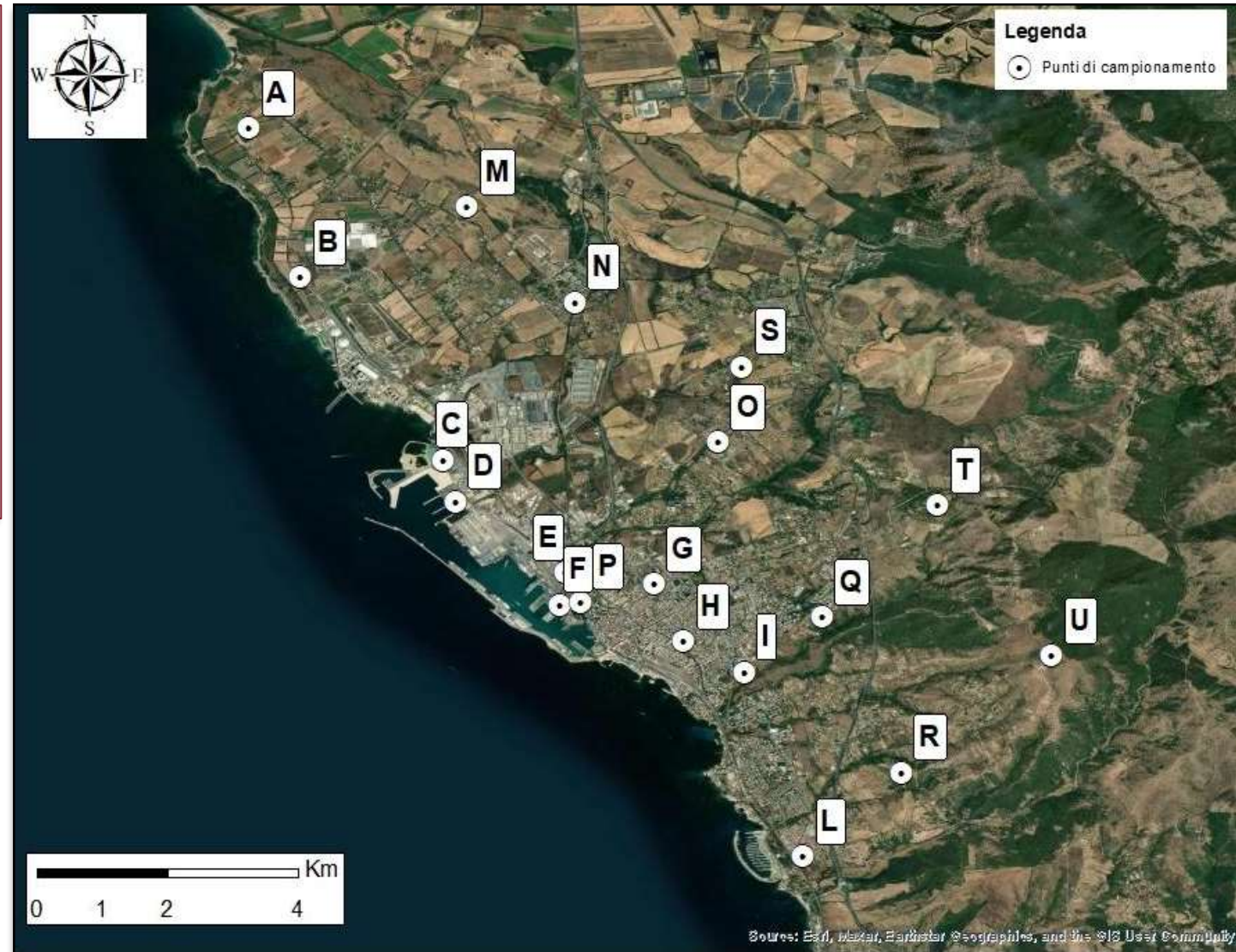


Concentrazione media annuale di PM₁₀
18.5 µg m⁻³

- Massimi in **estate** (23.3 µg m⁻³), associati a intensa attività portuale e risospensione del suolo.
- Minimi in **autunno** (15.2 µg m⁻³) per condizioni meteorologiche favorevoli alla rimozione.
- Leggero aumento in **inverno** (~16.2 µg m⁻³) attribuibile a combustione di biomassa e maggiore stabilità atmosferica.

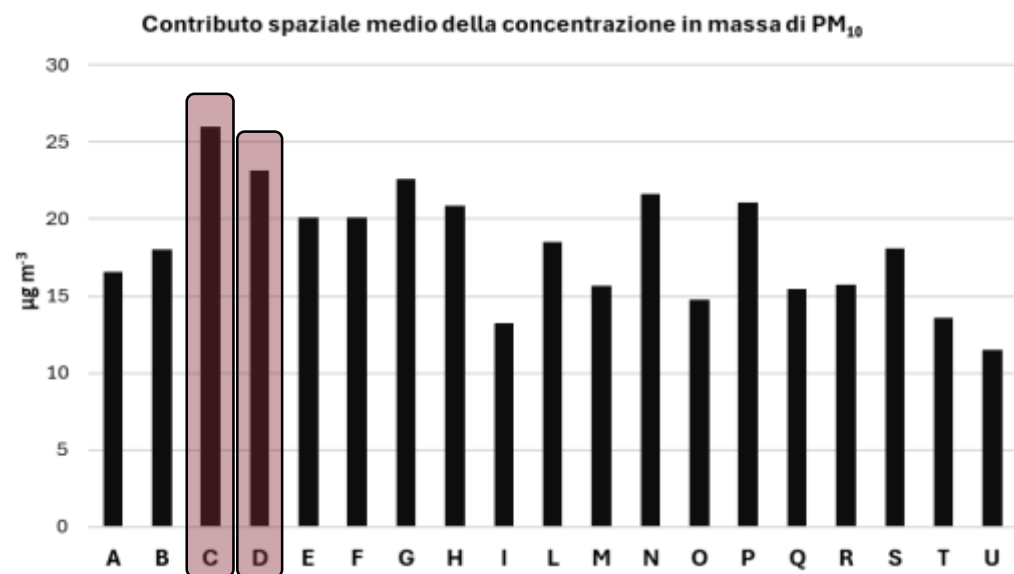


Variabilità temporale e spaziale delle concentrazioni medie PM₁₀



Monitoraggio ad elevata risoluzione spaziale dell'inquinamento da particolato atmosferico nell'area portuale di Civitavecchia.

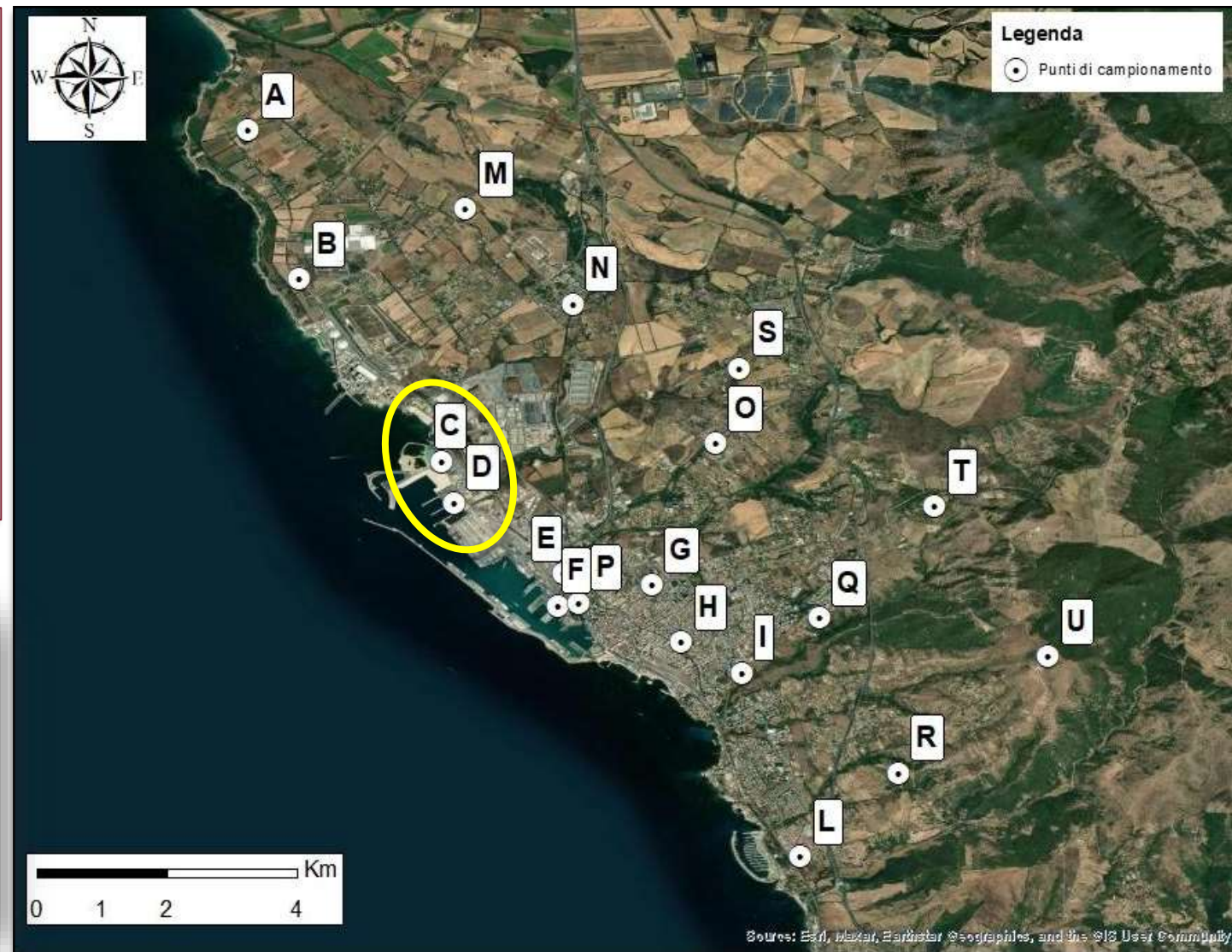
Variazione temporale e spaziale delle concentrazioni medie PM₁₀



Sito D – Banchina 28

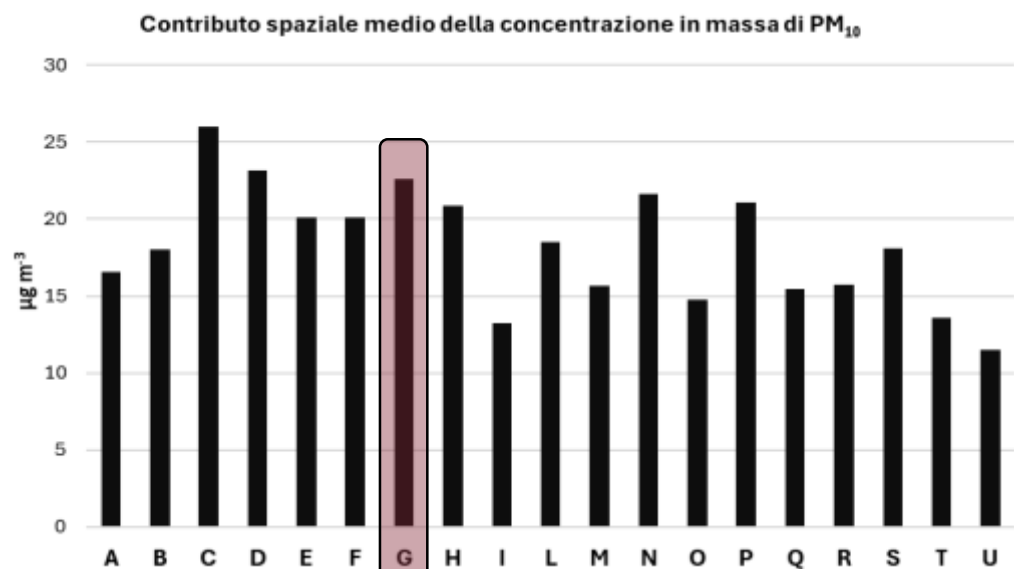


Sito C – Varco Nord

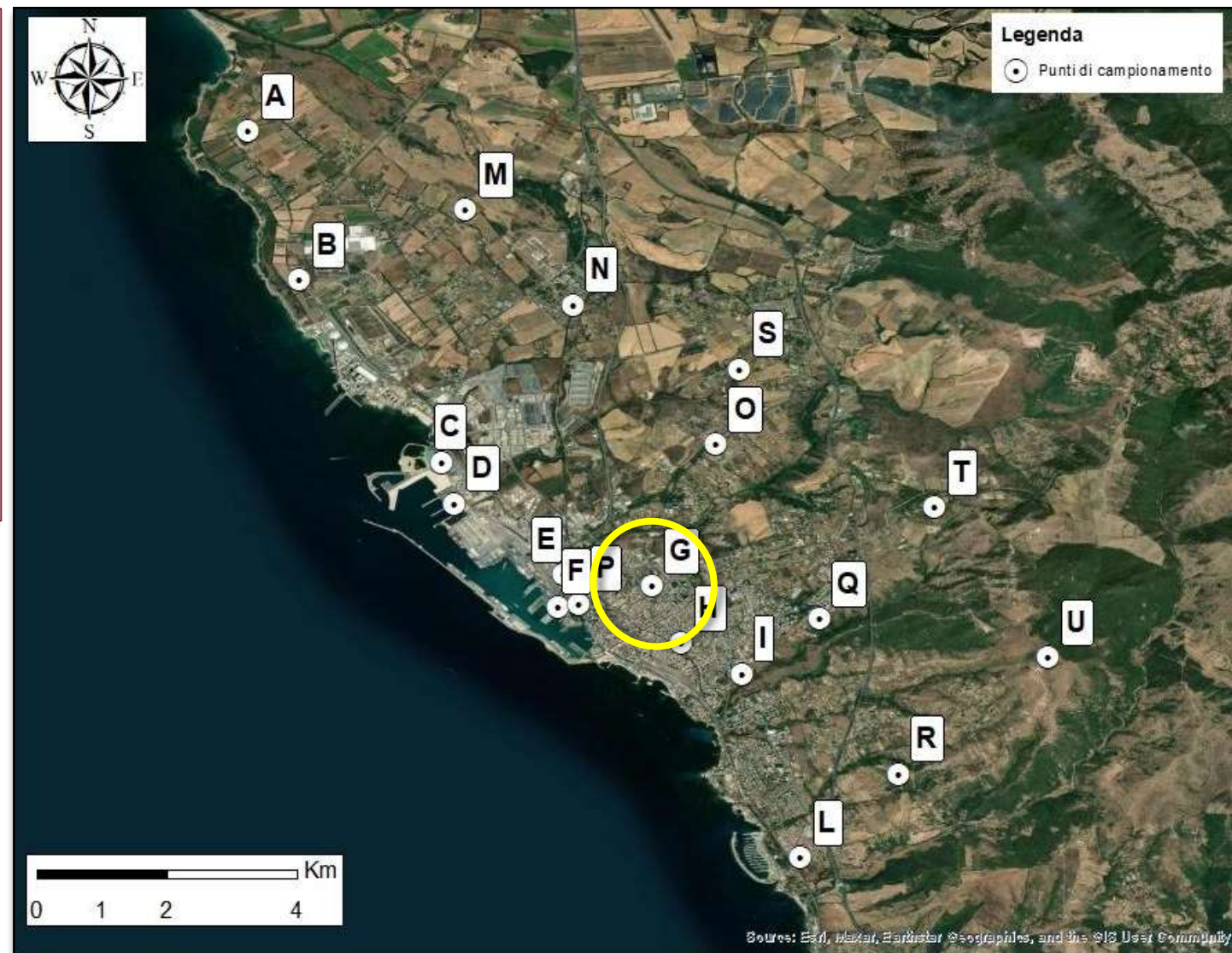


Monitoraggio ad elevata risoluzione spaziale dell'inquinamento da particolato atmosferico nell'area portuale di Civitavecchia.

Variazione temporale e spaziale delle concentrazioni medie PM₁₀



Sito G – Villa Albani



Monitoraggio ad elevata risoluzione spaziale dell'inquinamento da particolato atmosferico nell'area portuale di Civitavecchia.

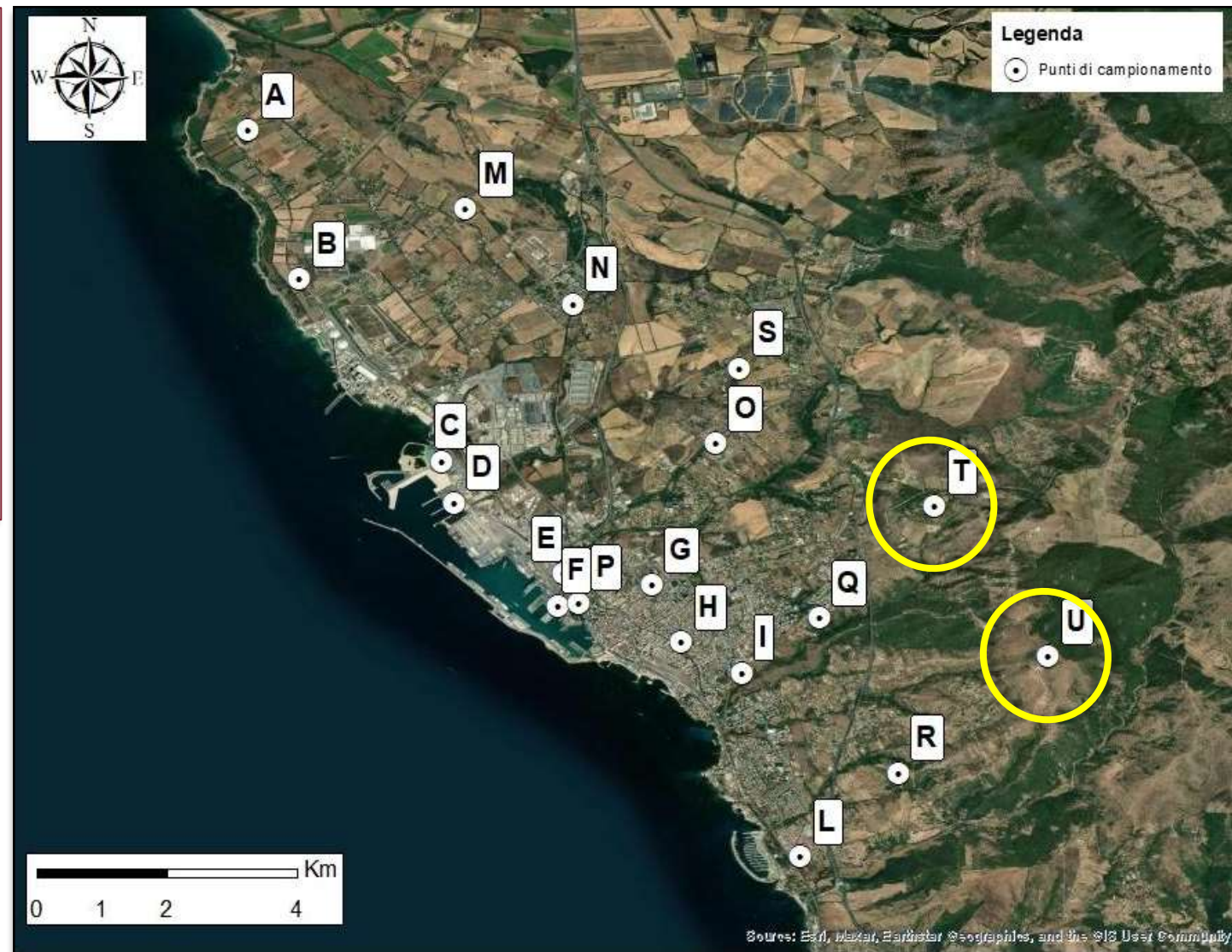
Variazione temporale e spaziale delle concentrazioni medie PM₁₀



Sito U – Monte Paradiso



Sito T – C5 Privato

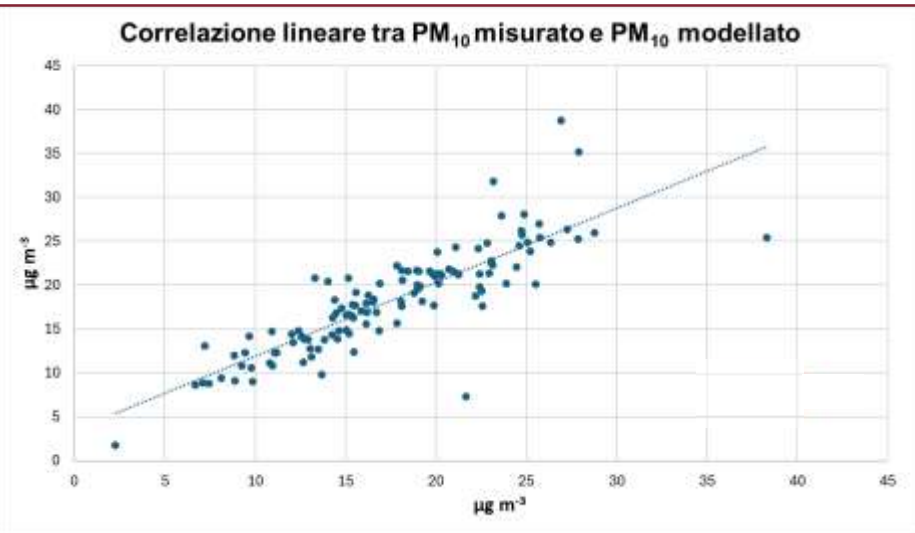


Monitoraggio ad elevata risoluzione spaziale dell'inquinamento da particolato atmosferico nell'area portuale di Civitavecchia.

Source apportionment su dati spaziali di PM₁₀

Variabili utilizzate nel modello PMF

OC, EC, LVGSN, Si, Al, Co_i, Cs_i, Cu_i, Fe_i, K_i, Mg_i, Mo_i, Na_i, Ni_i, Rb_i, Sb_i, V_i

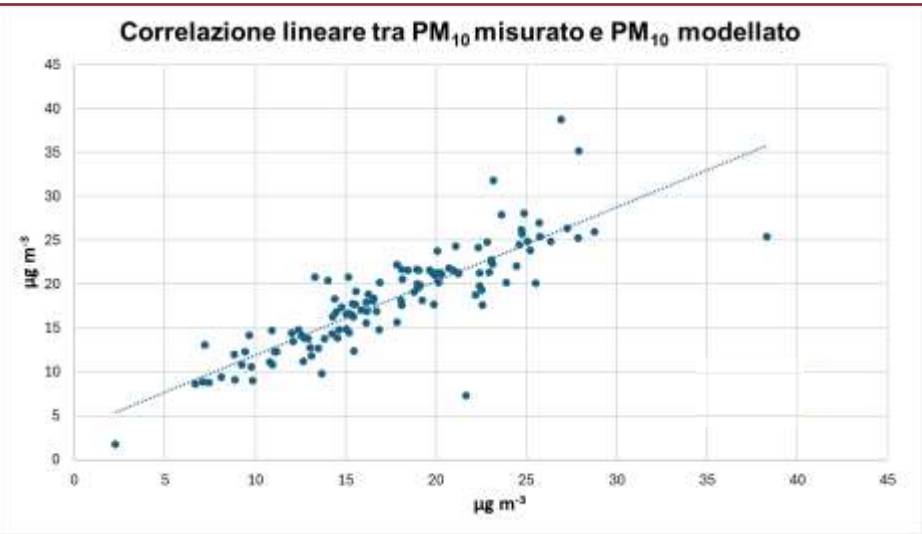


$$R^2 = 0,7171$$

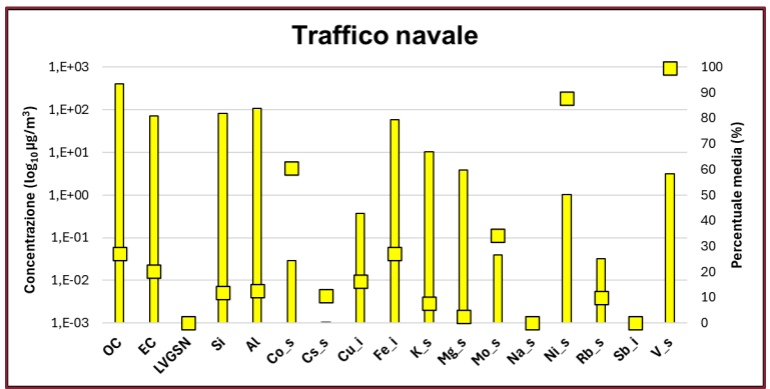
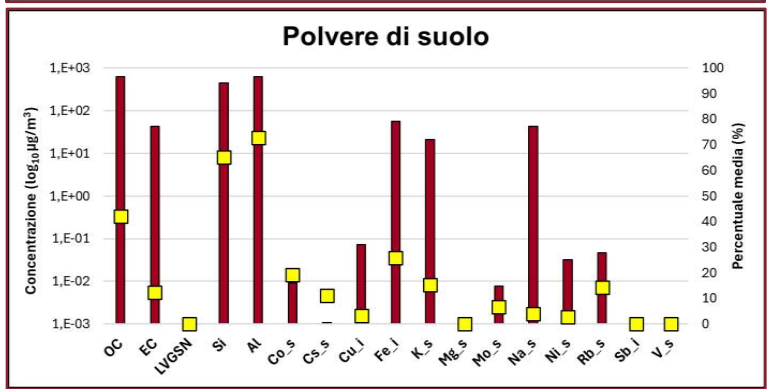
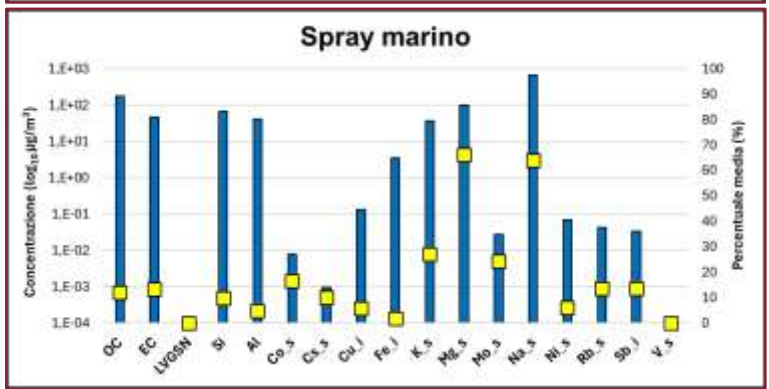
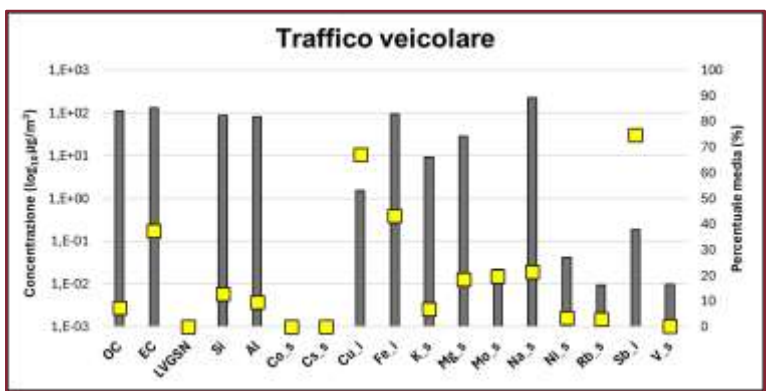
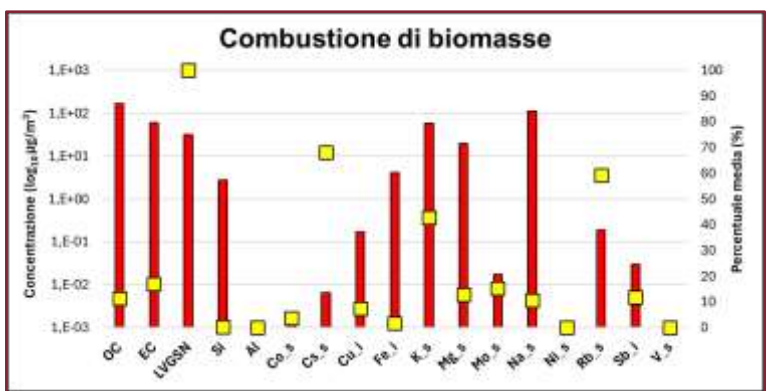
Source apportionment su dati spaziali di PM₁₀

Variabili utilizzate nel modello PMF

OC, EC, LVGSN, Si, Al, Co, Cs, Cu, Fe, K, Mg, Mo, Na, Ni, Rb, Sb, V



$R^2 = 0,7171$



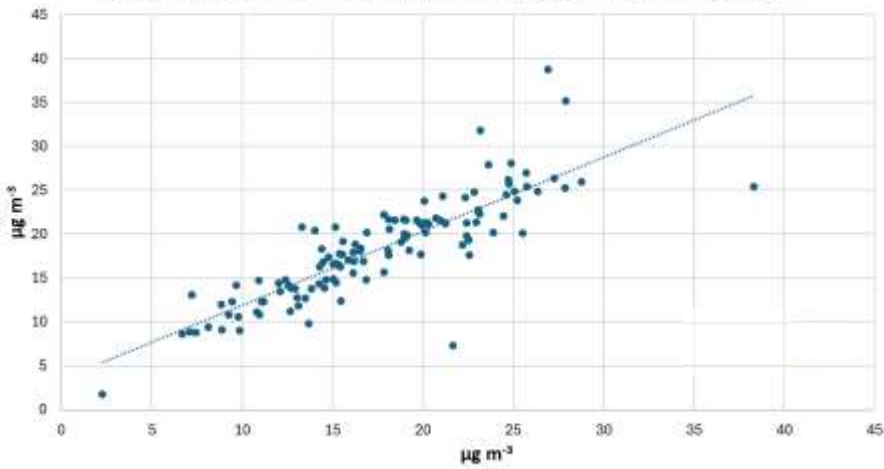
Monitoraggio ad elevata risoluzione spaziale dell'inquinamento da particolato atmosferico nell'area portuale di Civitavecchia.

Source apportionment su dati spaziali di PM₁₀

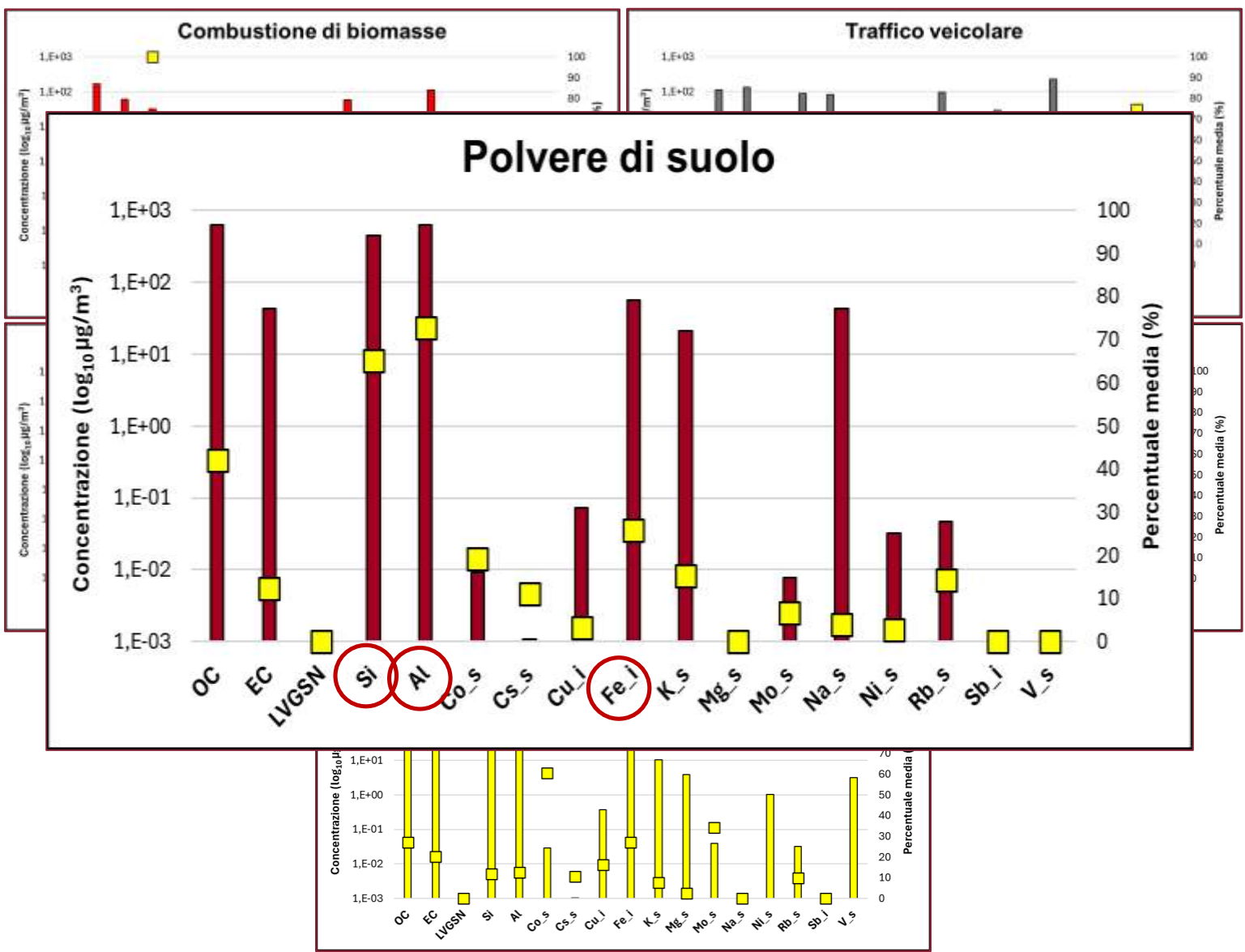
Variabili utilizzate nel modello PMF

OC, EC, LVGSN, Si, Al, Co_s, Cs_s, Cu_i, Fe_i, K_s, Mg_s, Mo_s, Na_s, Ni_s, Rb_s, Sb_i, V_s

Correlazione lineare tra PM₁₀ misurato e PM₁₀ modellato



$R^2 = 0,7171$



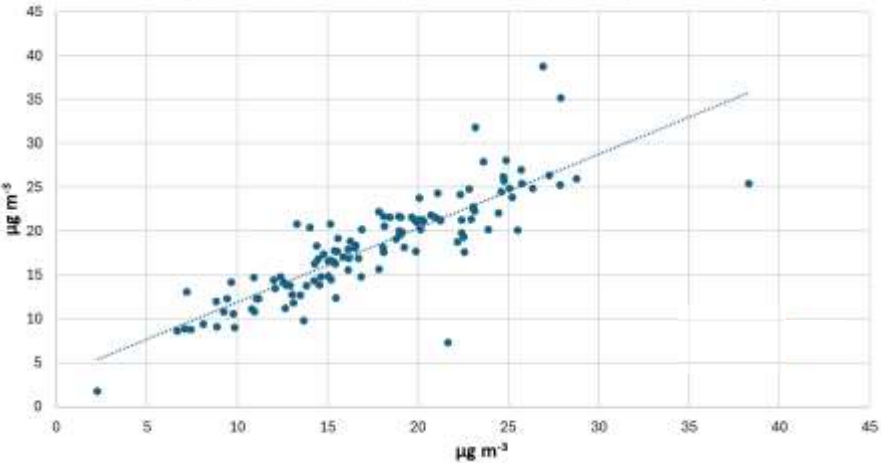
Monitoraggio ad elevata risoluzione spaziale dell'inquinamento da particolato atmosferico nell'area portuale di Civitavecchia.

Source apportionment su dati spaziali di PM₁₀

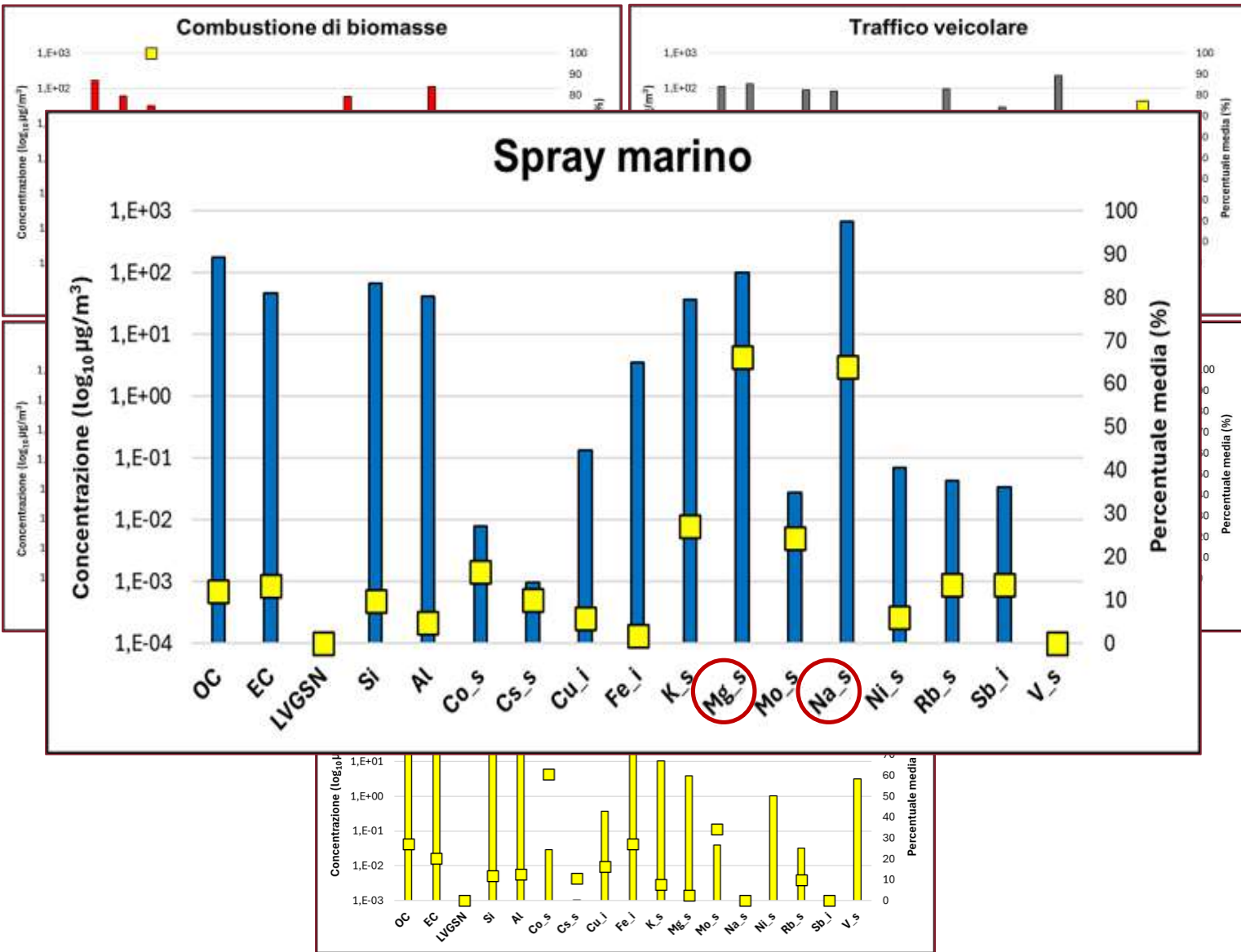
Variabili utilizzate nel modello PMF

OC, EC, LVGSN, Si, Al, Co_s, Cs_s, Cu_i, Fe_i, K_s, Mg_s, Mo_s, Na_s, Ni_s, Rb_s, Sb_i, V_s

Correlazione lineare tra PM₁₀ misurato e PM₁₀ modellato



$$R^2 = 0,7171$$

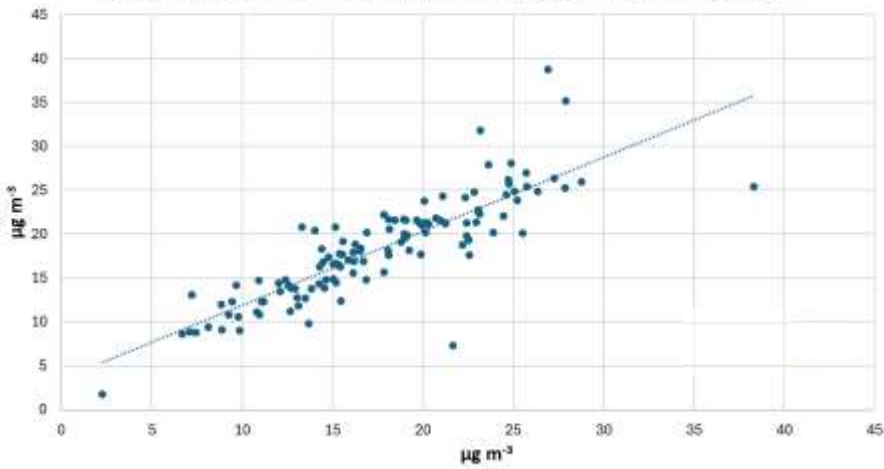


Source apportionment su dati spaziali di PM₁₀

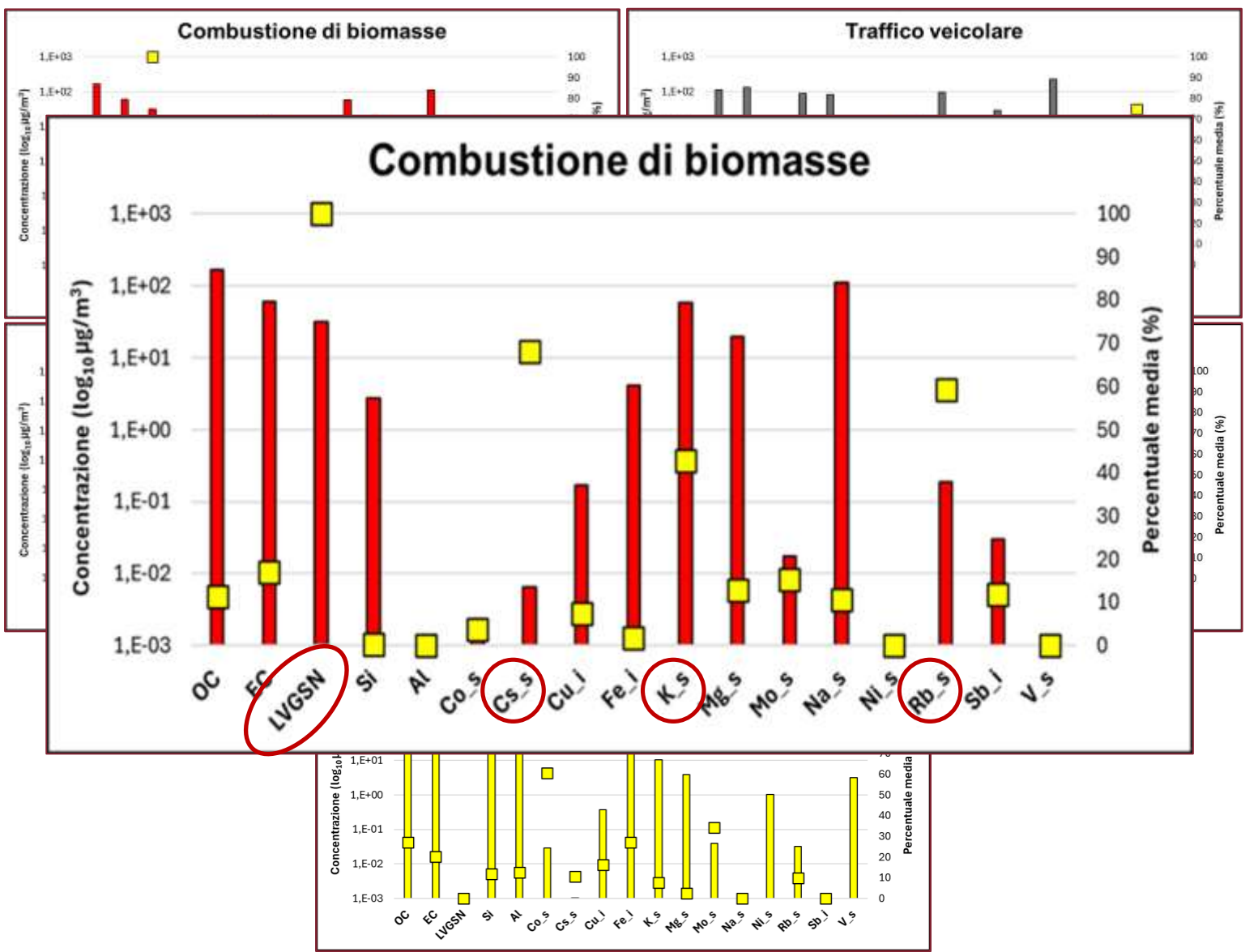
Variabili utilizzate nel modello PMF

OC, EC, LVGSN, Si, Al, Co_s, Cs_s, Cu_i, Fe_i, K_s, Mg_s, Mo_s, Na_s, Ni_s, Rb_s, Sb_i, V_s

Correlazione lineare tra PM₁₀ misurato e PM₁₀ modellato



$R^2 = 0,7171$

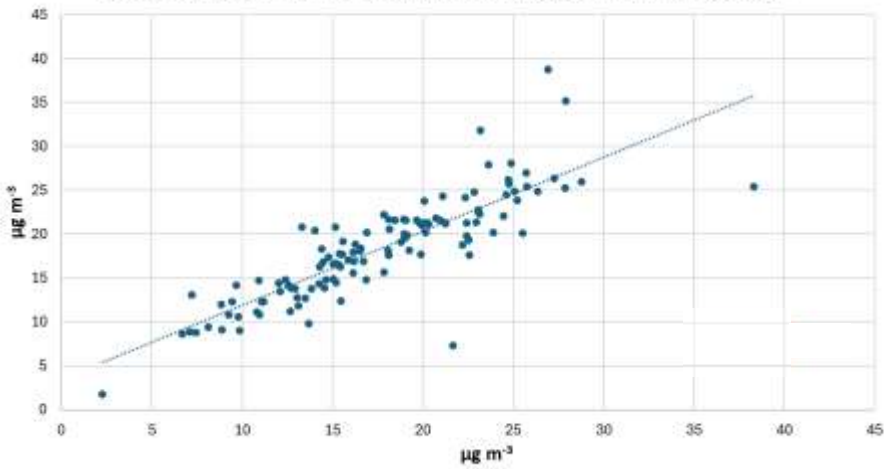


Source apportionment su dati spaziali di PM₁₀

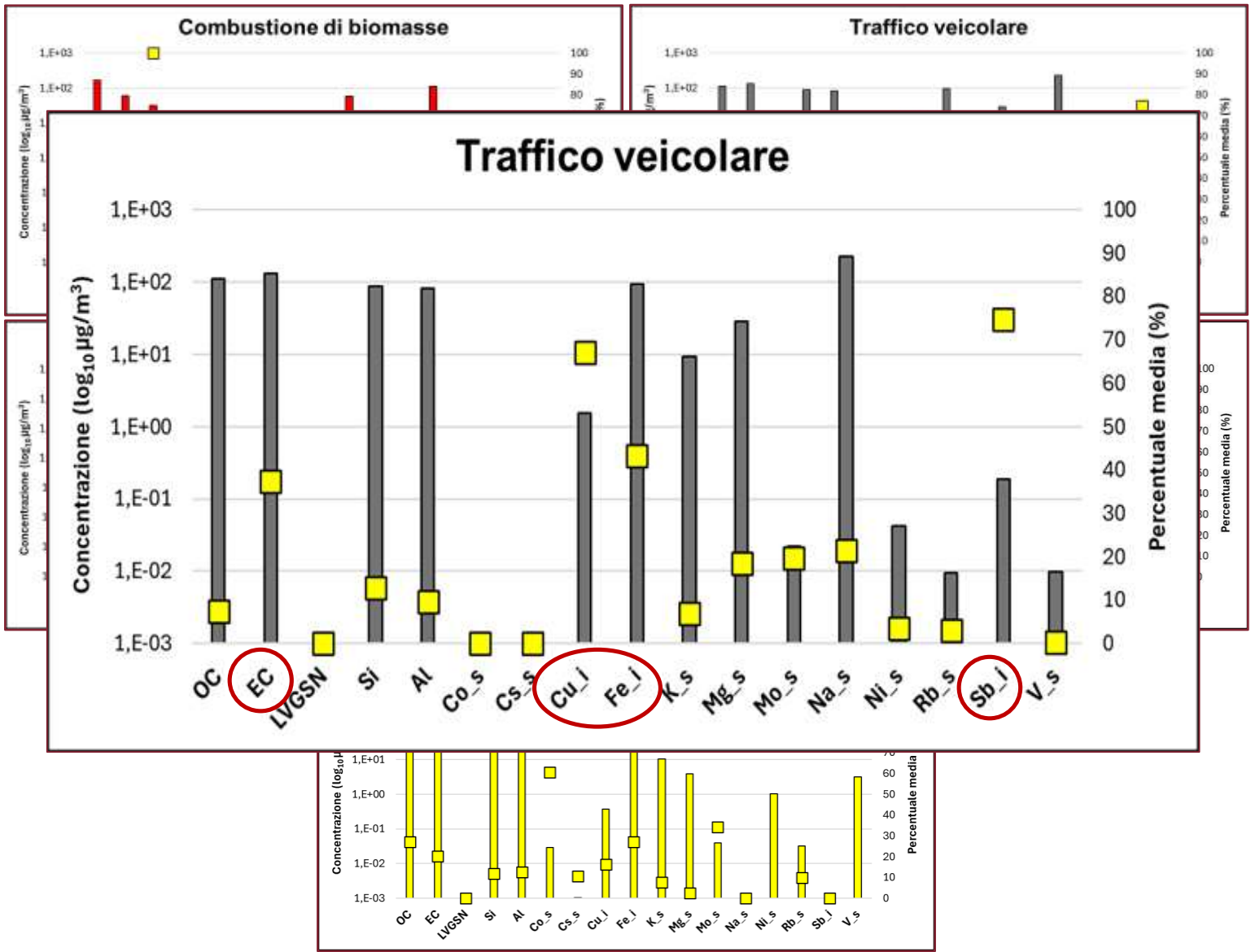
Variabili utilizzate nel modello PMF

OC, EC, LVGSN, Si, Al, Co_s, Cs_s, Cu_i, Fe_i, K_s, Mg_s, Mo_s, Na_s, Ni_s, Rb_s, Sb_i, V_s

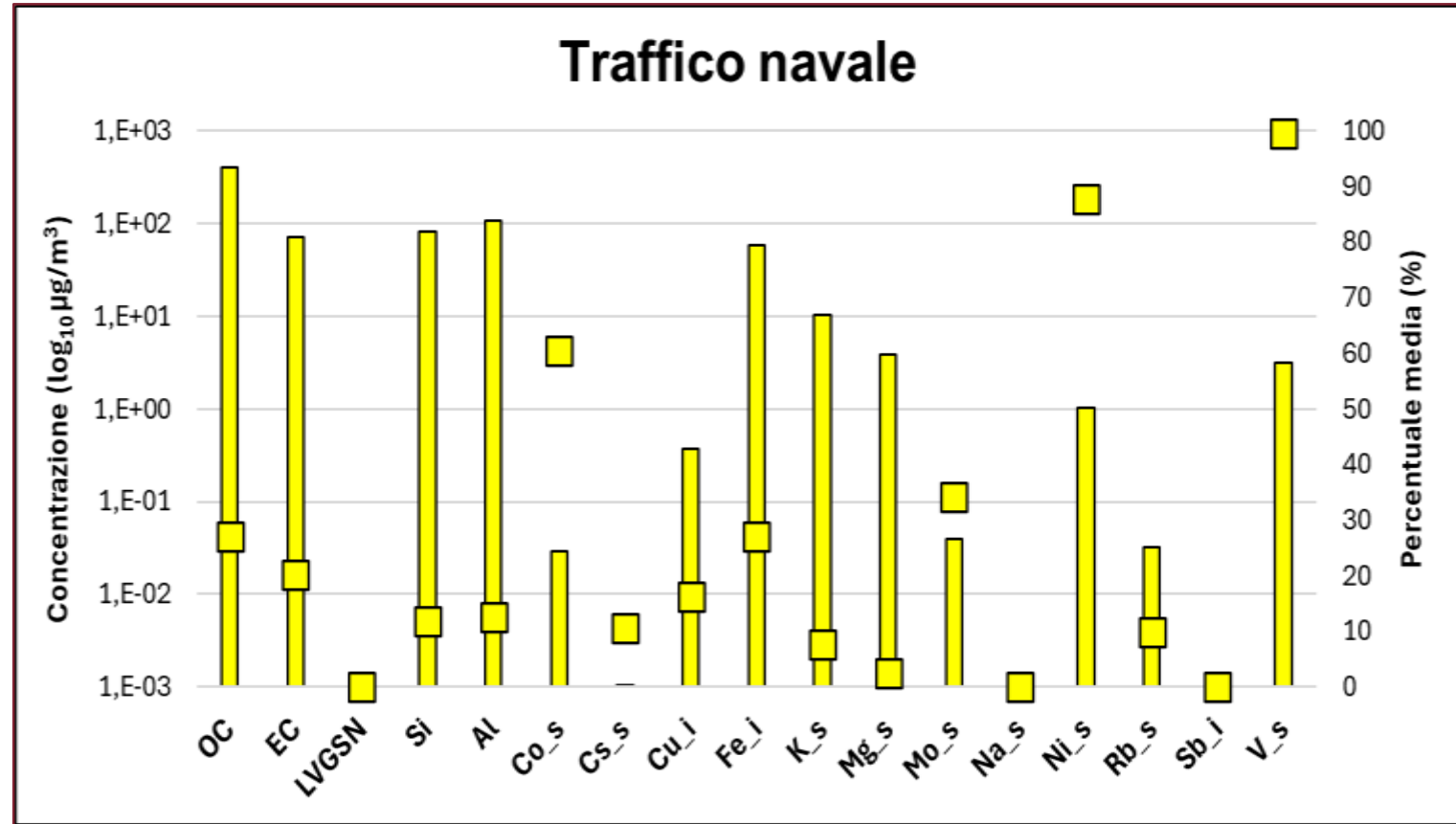
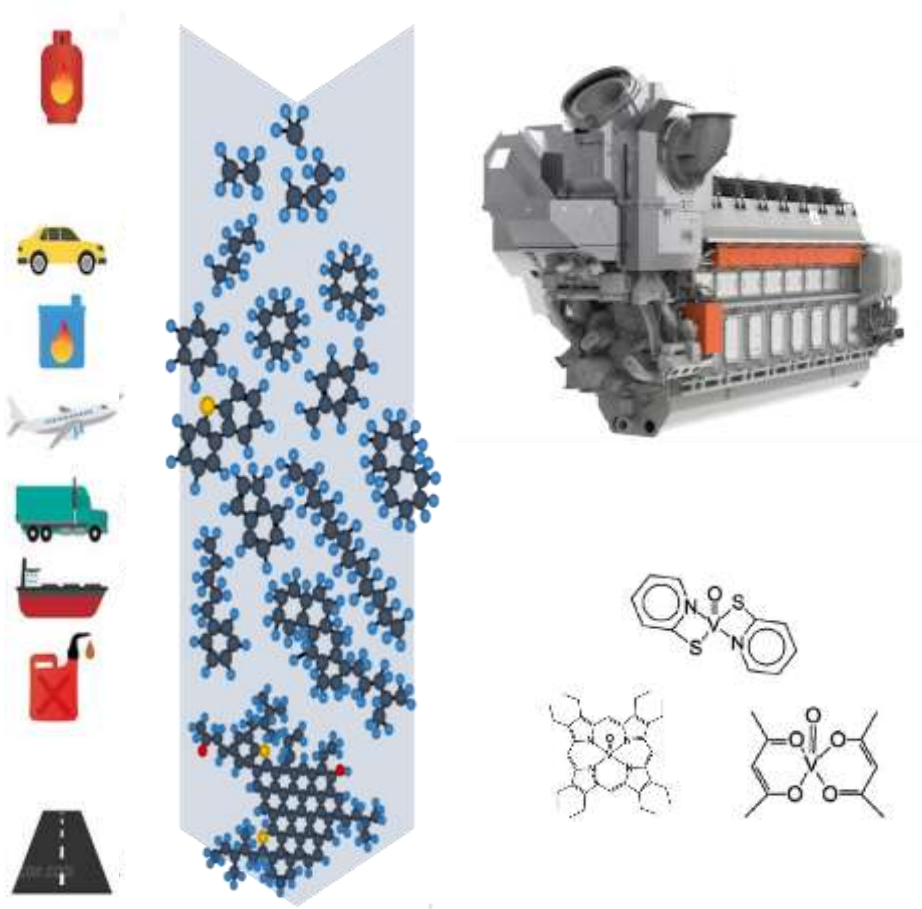
Correlazione lineare tra PM₁₀ misurato e PM₁₀ modellato



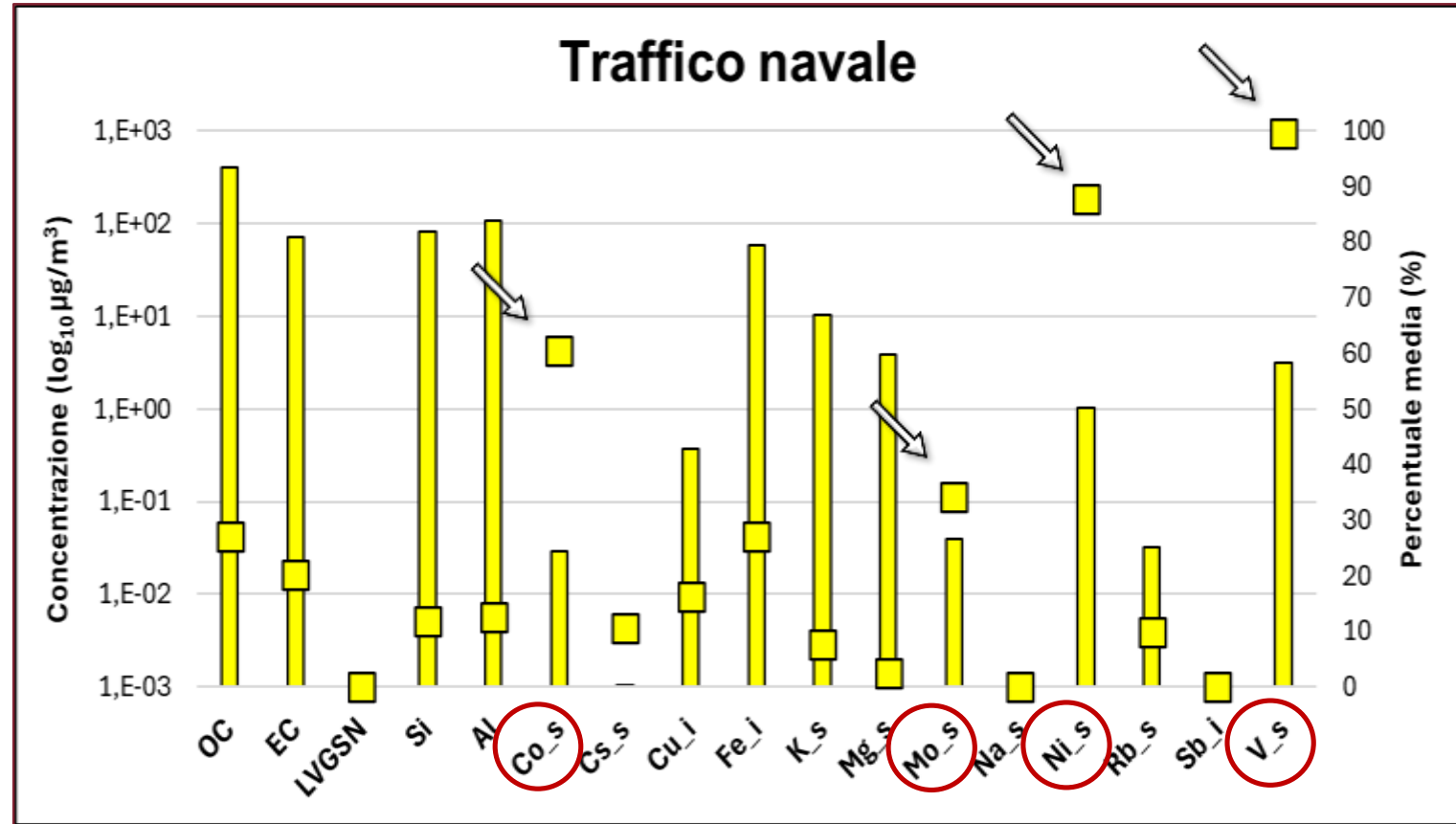
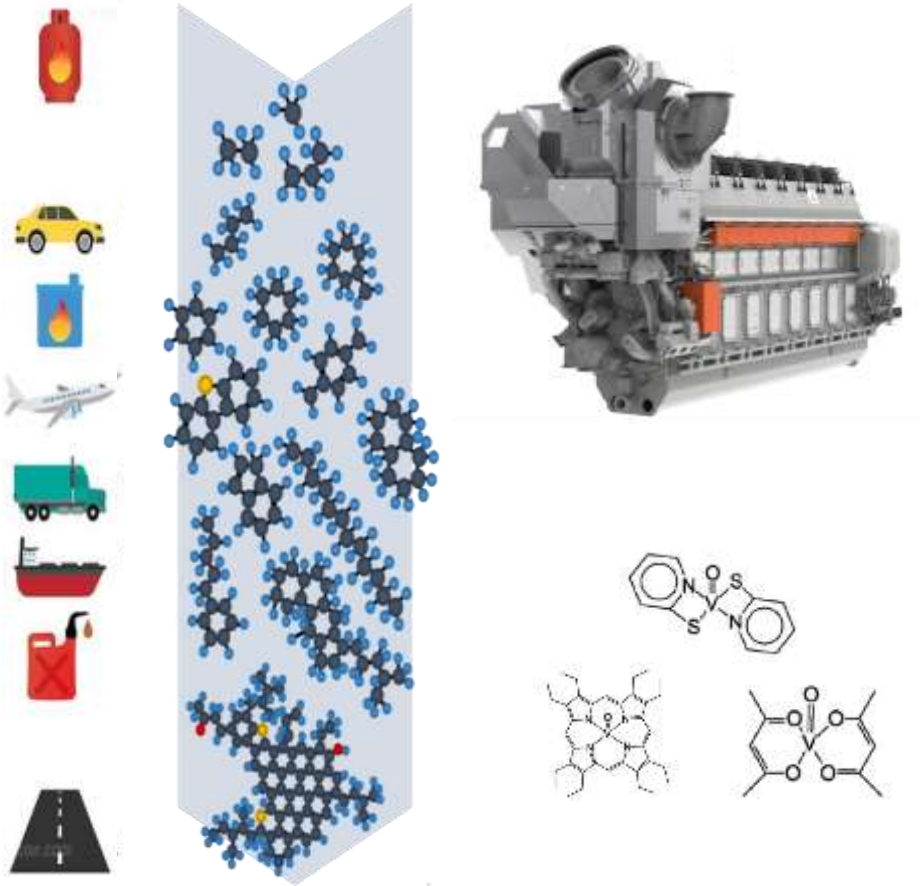
$R^2 = 0,7171$



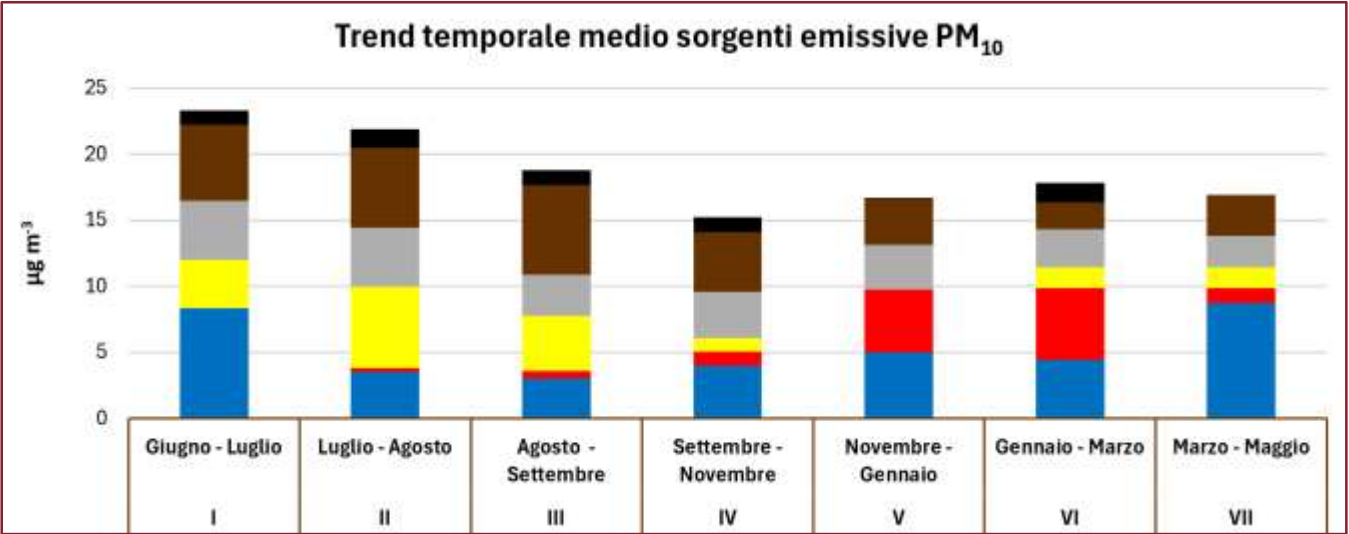
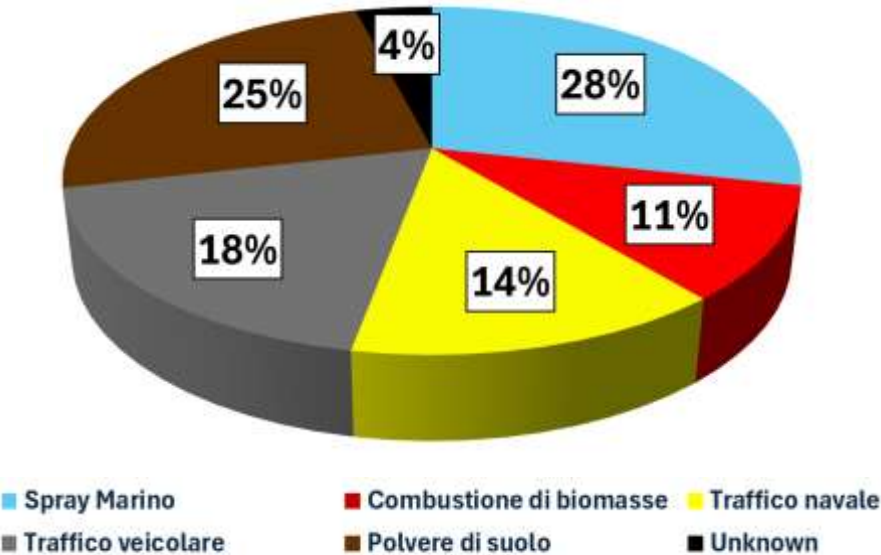
Contributo del traffico navale identificato dal modello PMF



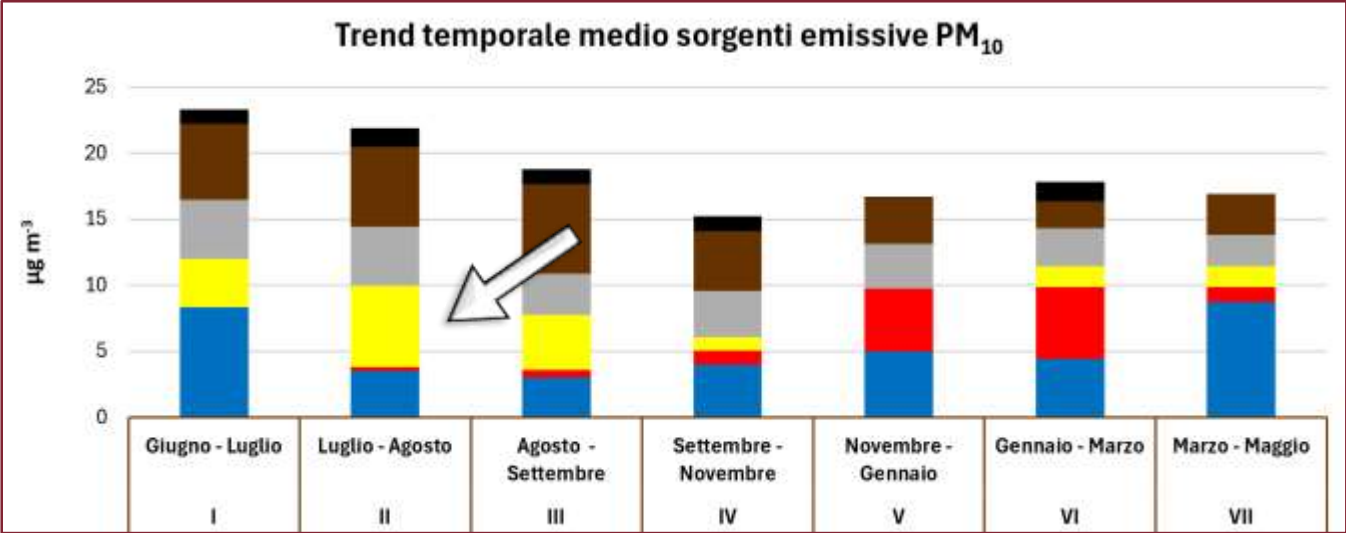
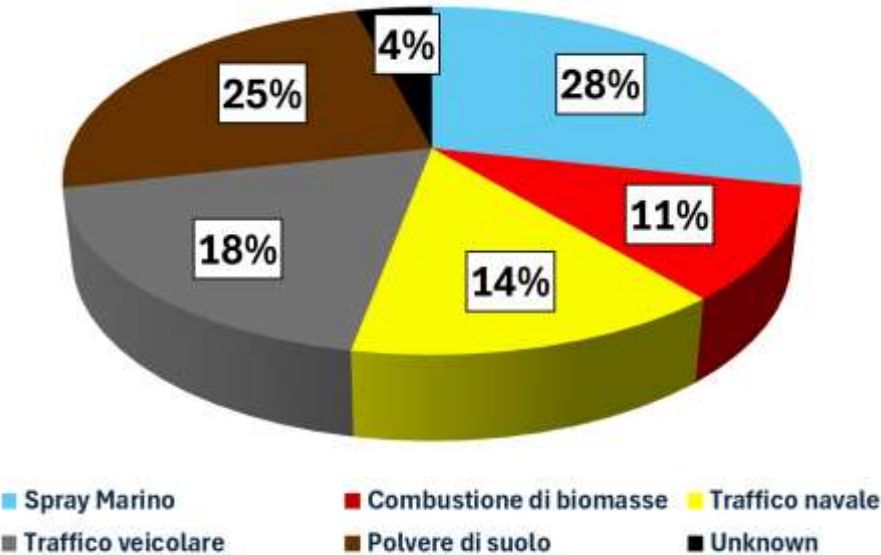
Contributo del traffico navale identificato dal modello PMF



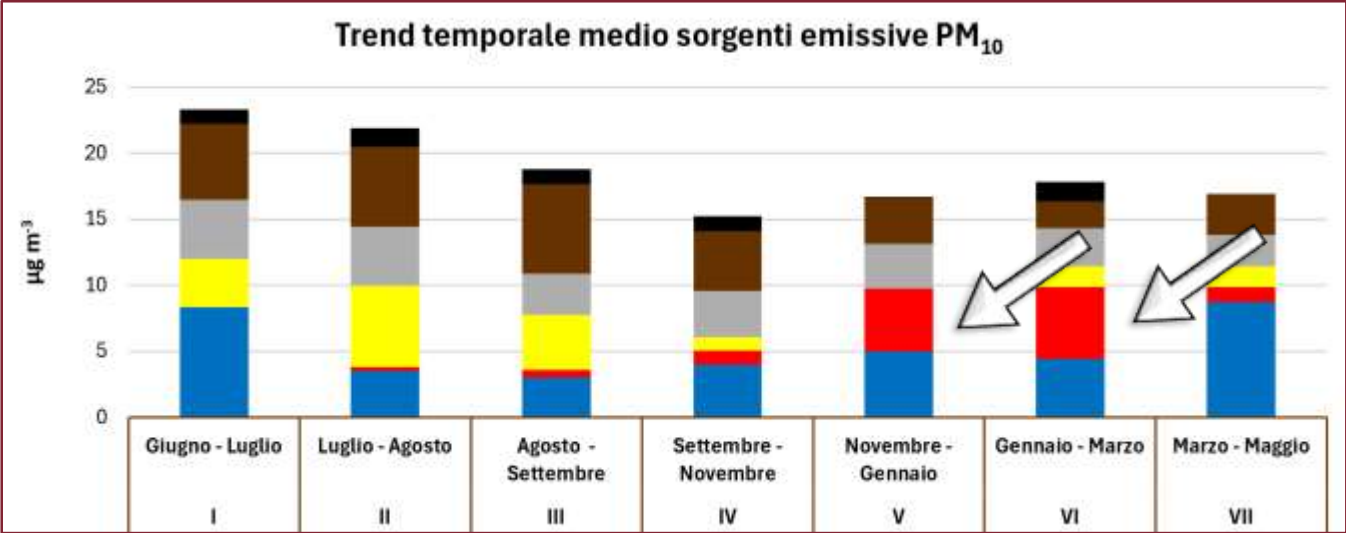
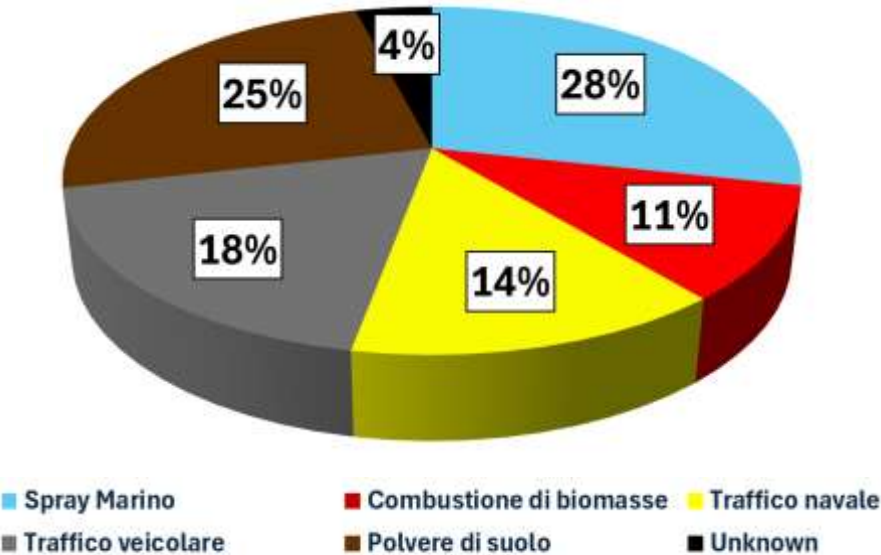
Variabilità temporale e spaziale dei contributi delle sorgenti al PM₁₀



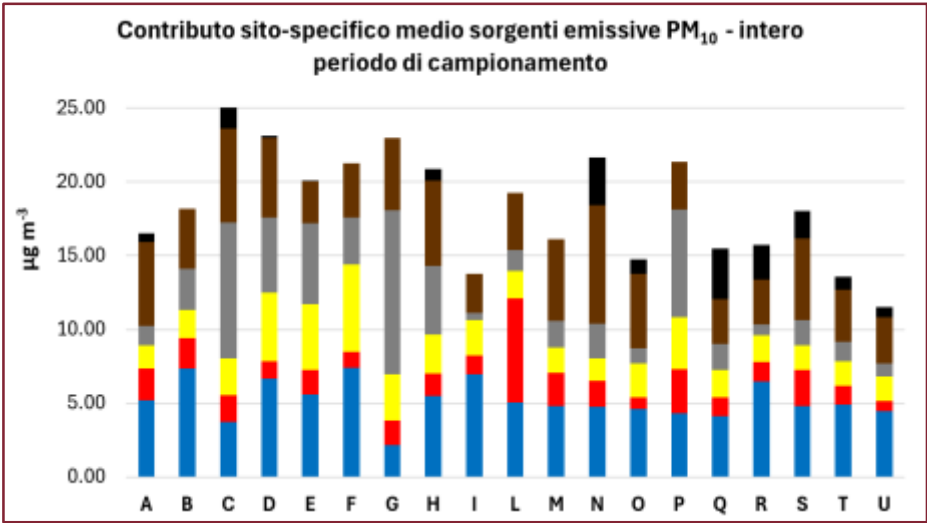
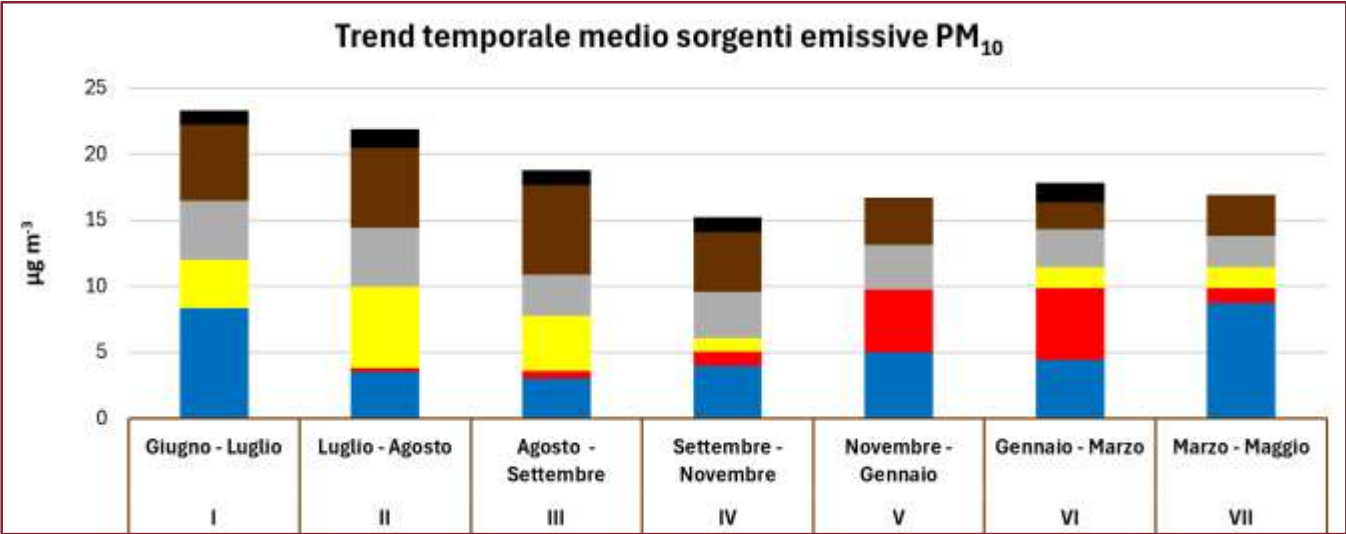
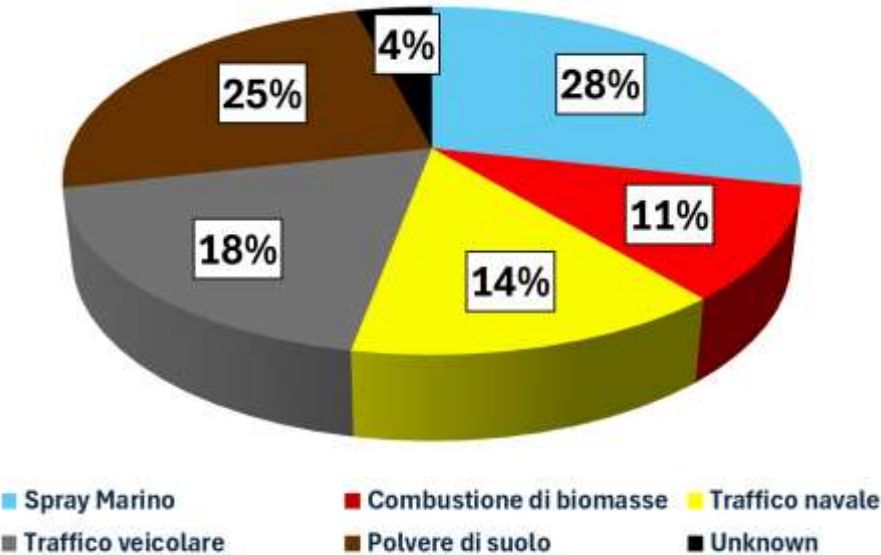
Variabilità temporale e spaziale dei contributi delle sorgenti al PM₁₀



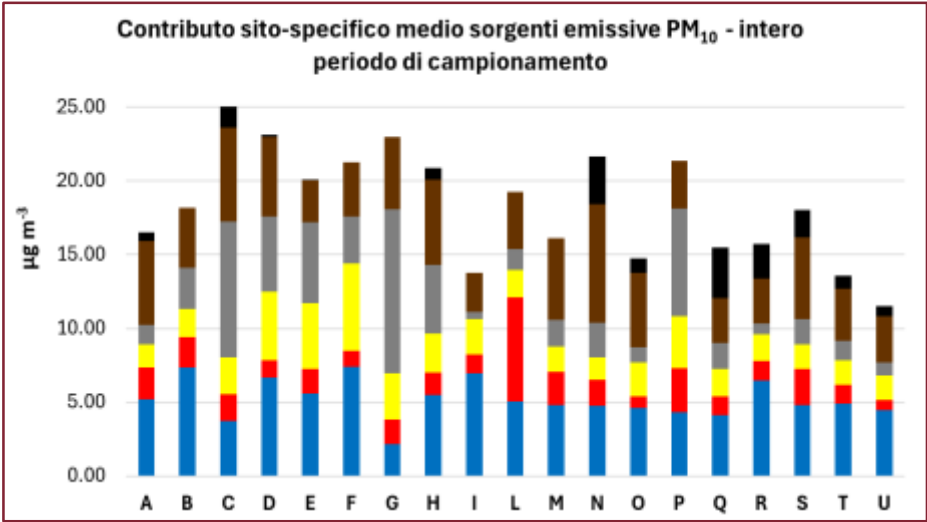
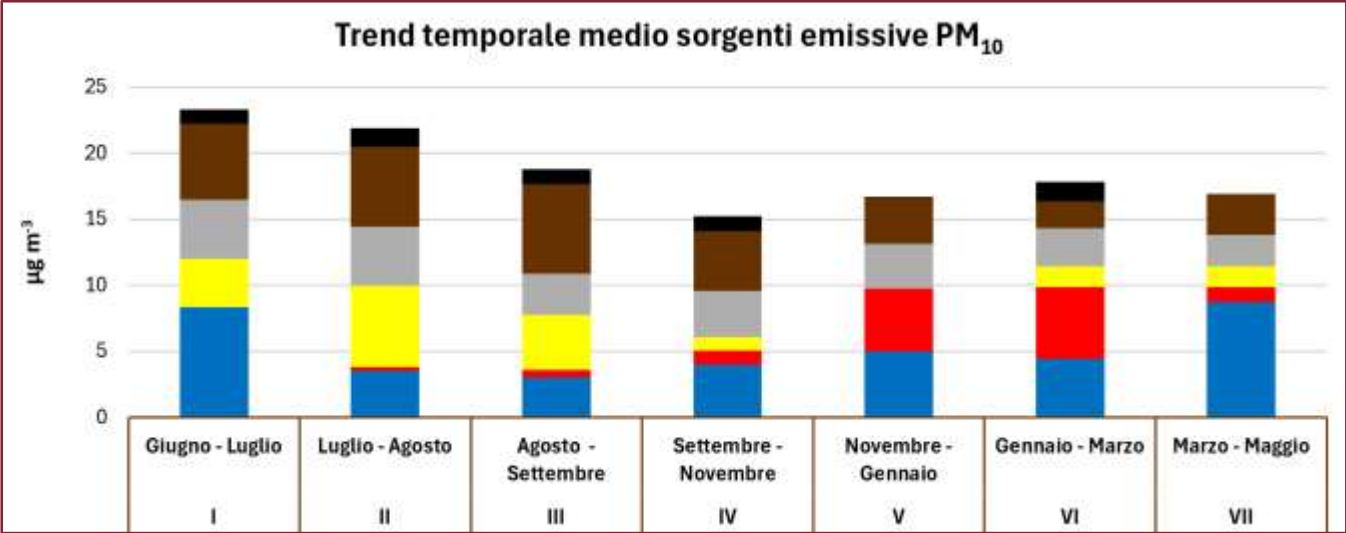
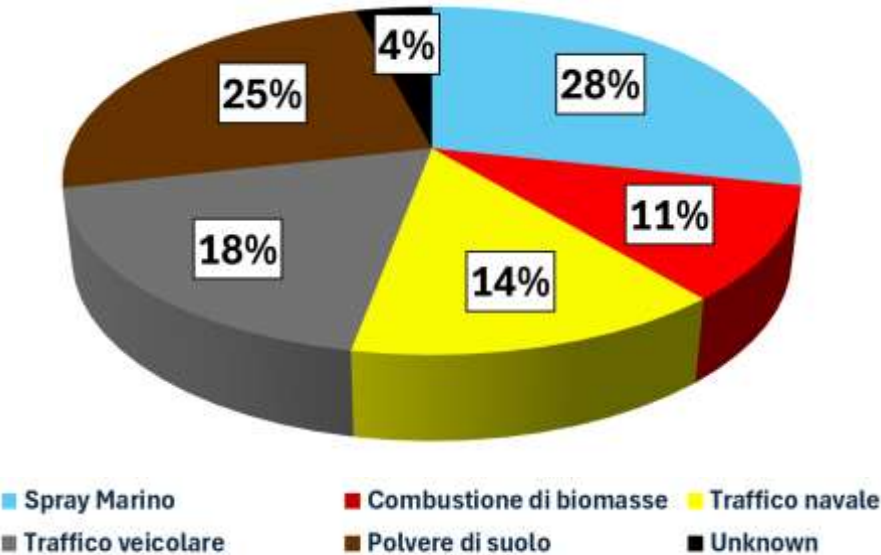
Variabilità temporale e spaziale dei contributi delle sorgenti al PM₁₀



Variabilità temporale e spaziale dei contributi delle sorgenti al PM₁₀

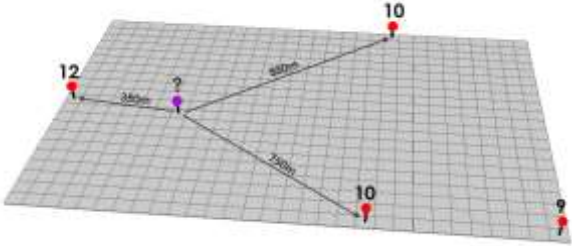


Variabilità temporale e spaziale dei contributi delle sorgenti al PM₁₀

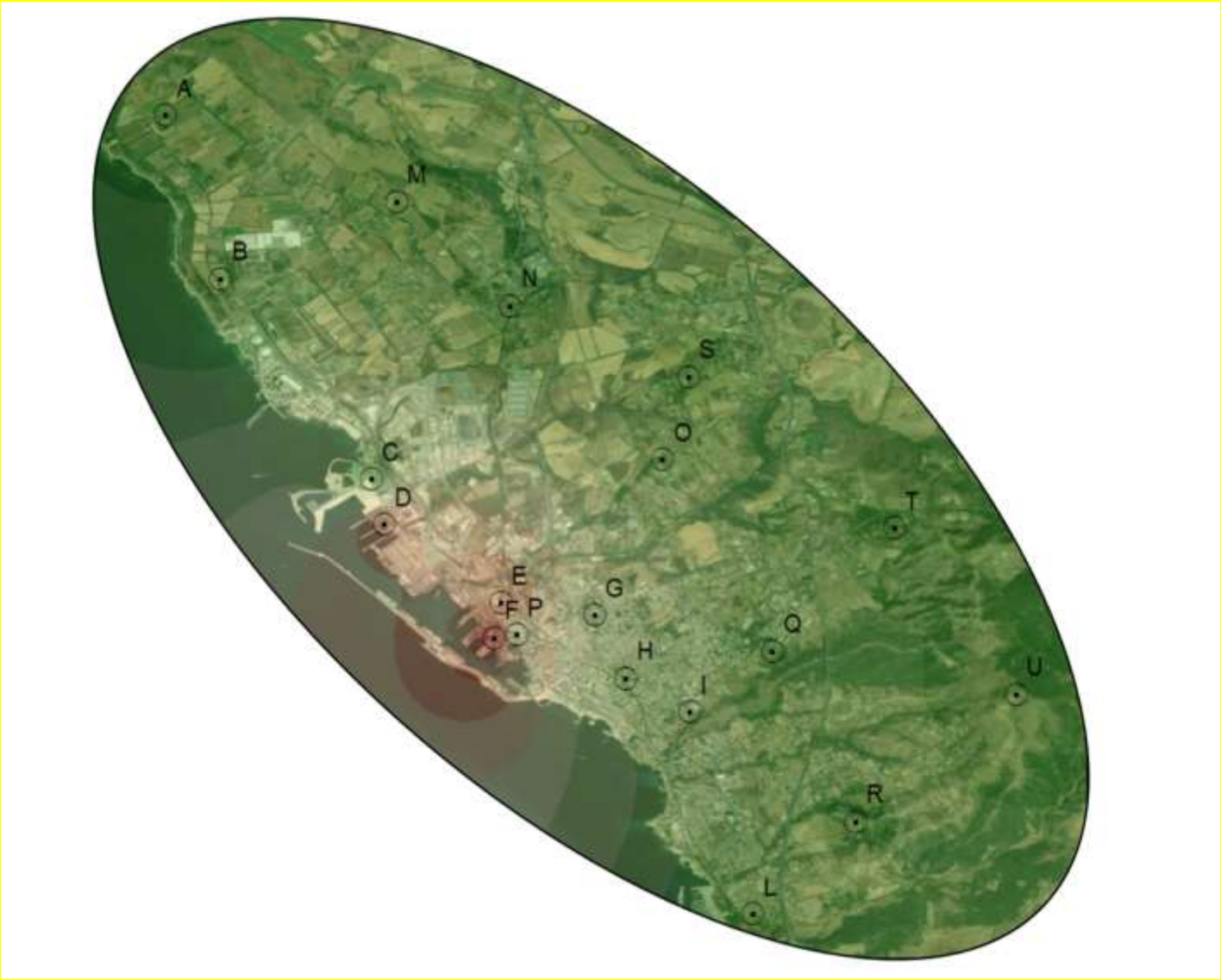


Inverse Distance Weighting (IDW)

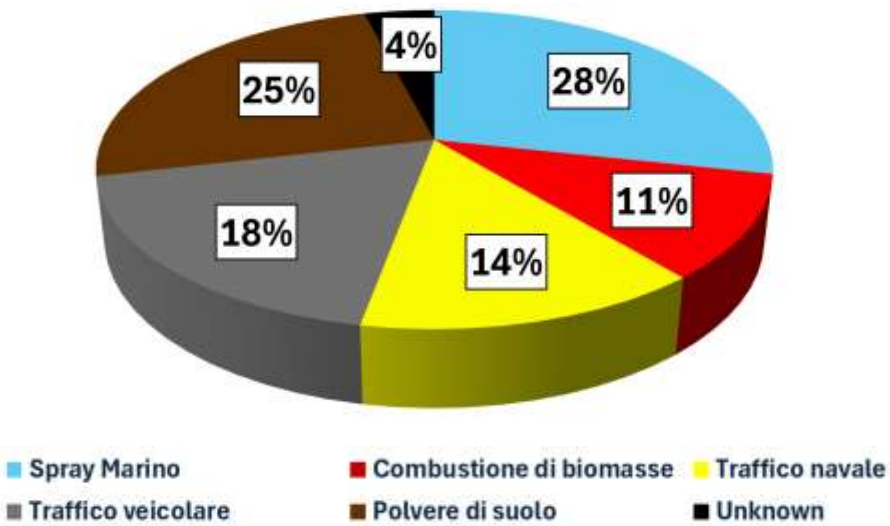
$$\hat{Z}(x_0) = \frac{\sum_{i=1}^N w_i Z(x_i)}{\sum_{i=1}^N w_i}$$



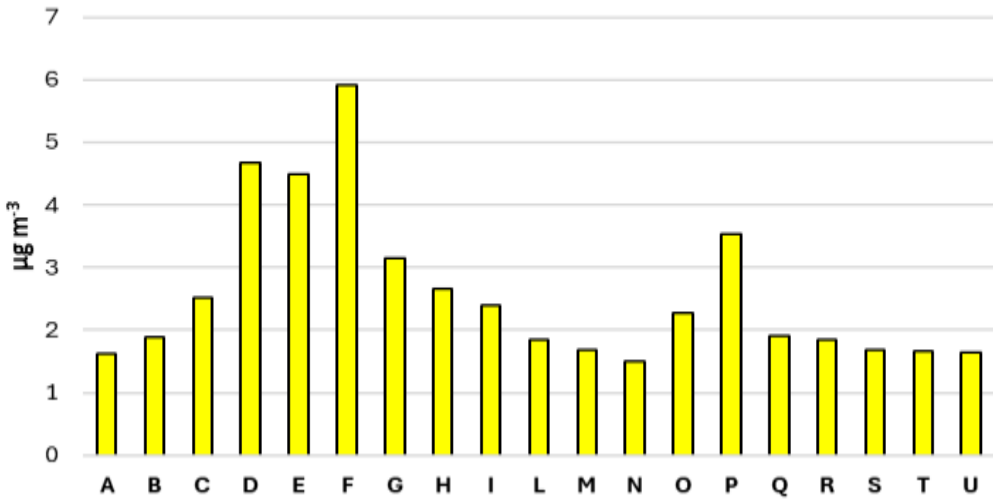
Mappatura del traffico navale



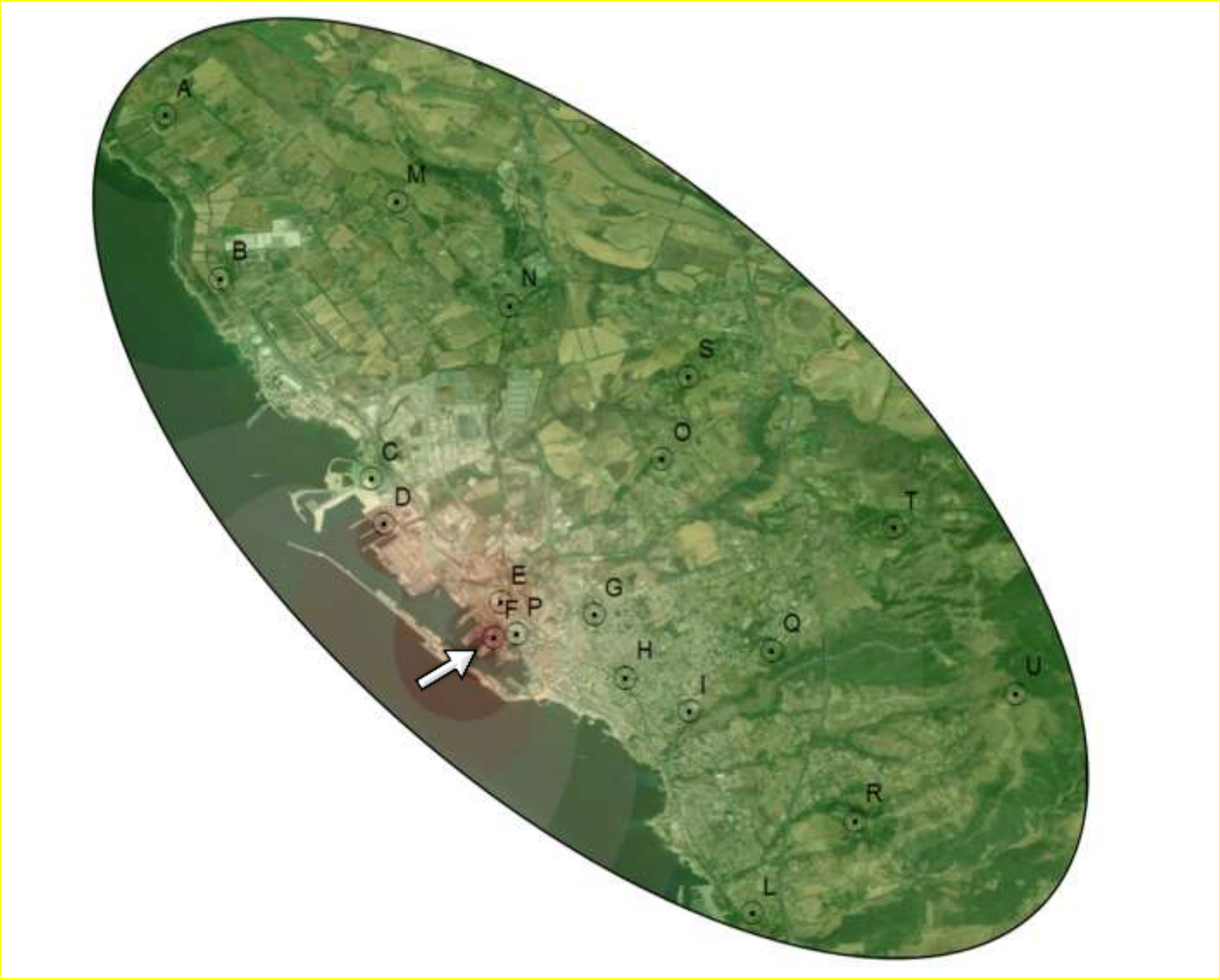
Contributo medio sorgenti PM₁₀



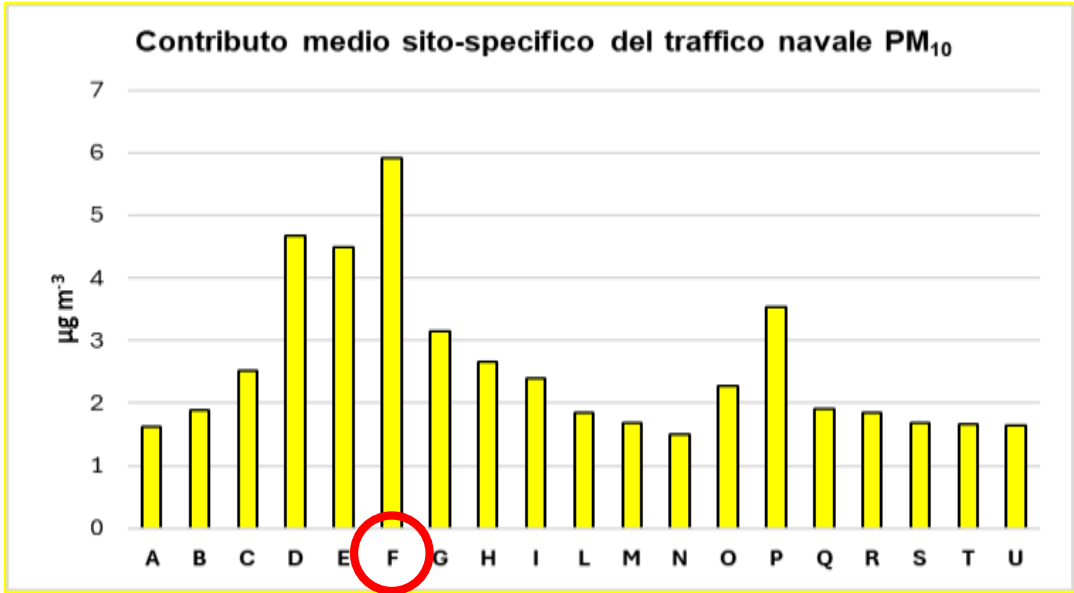
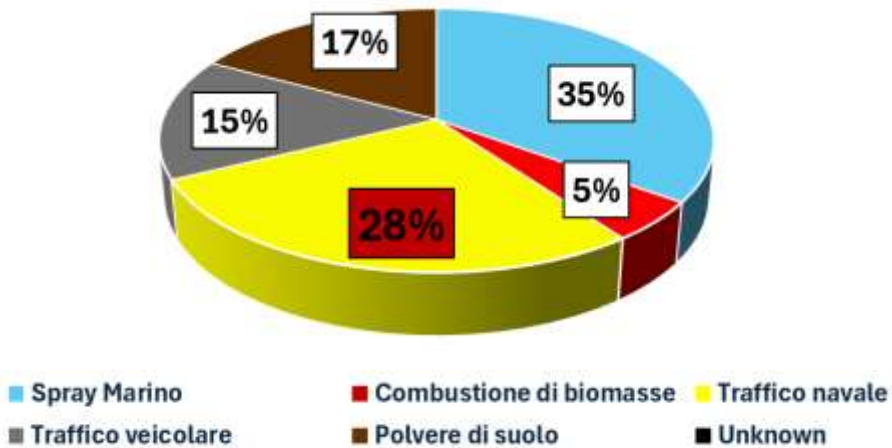
Contributo medio sito-specifico del traffico navale PM₁₀



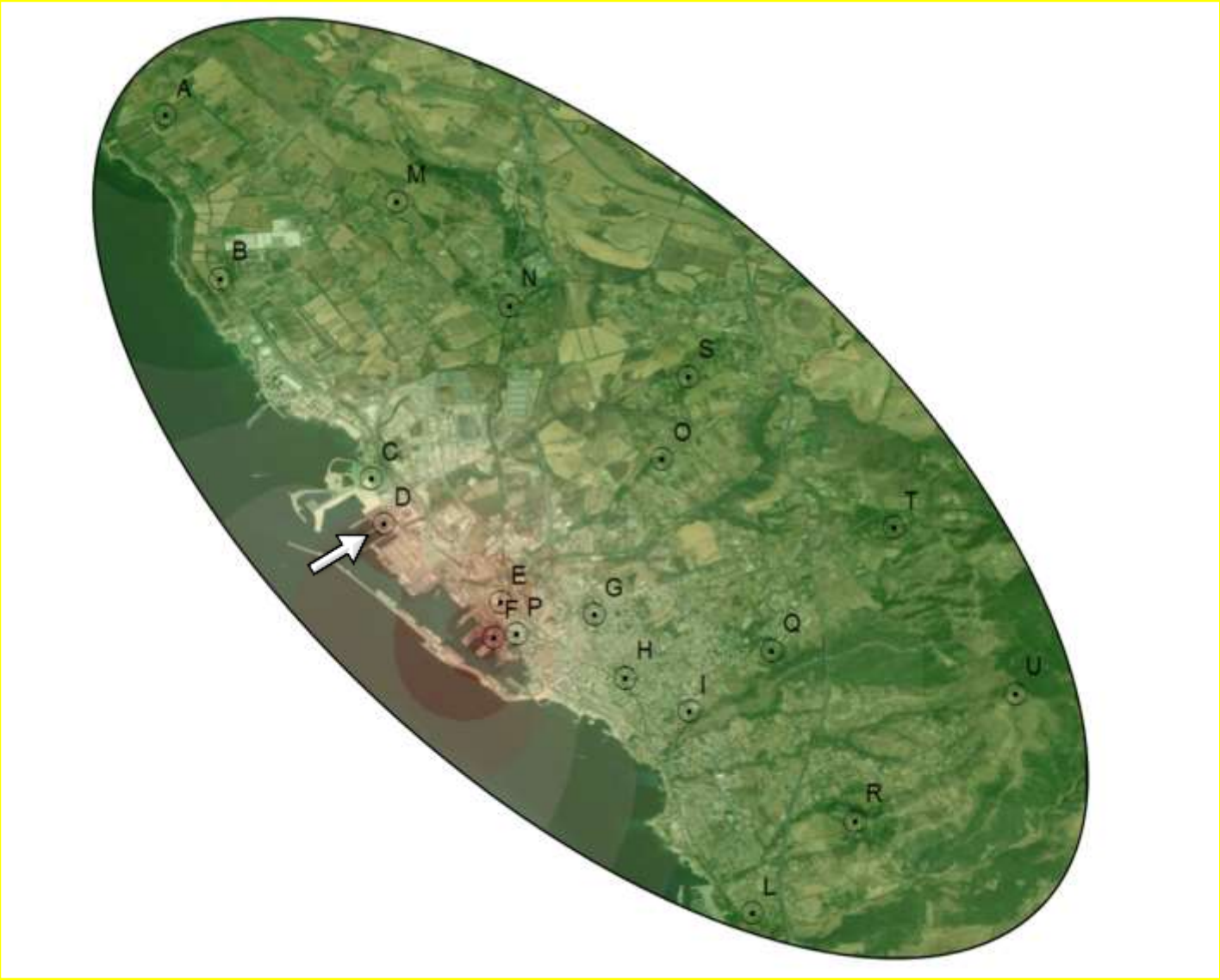
Mappatura del traffico navale



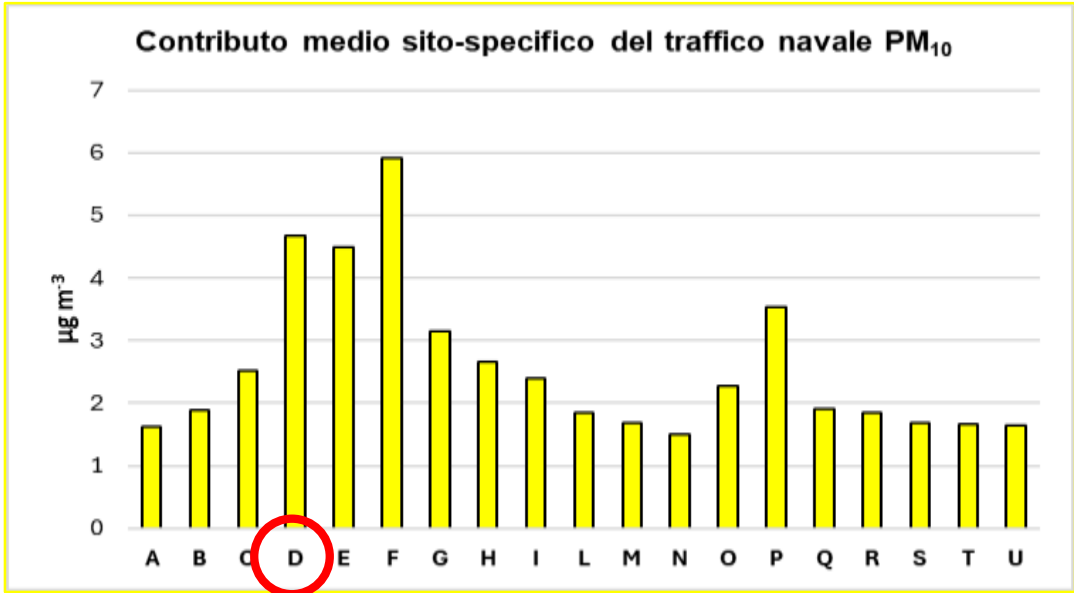
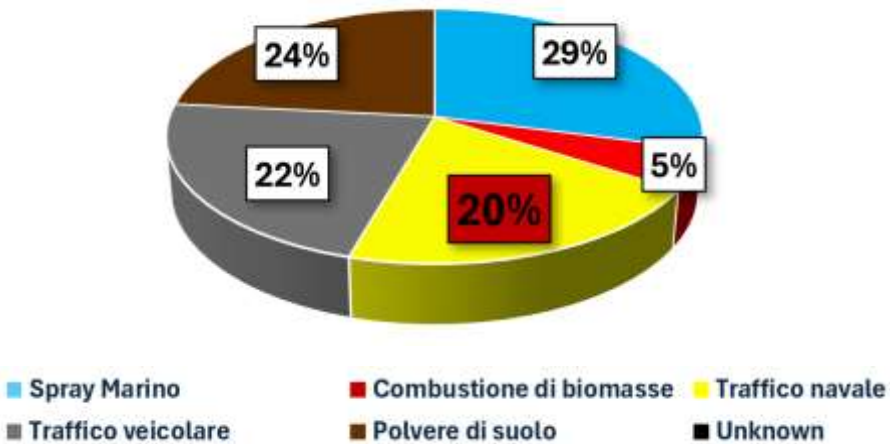
Contributo medio sorgenti PM₁₀
- Sito F (Autorità portuale - Porto)



Mappatura del traffico navale



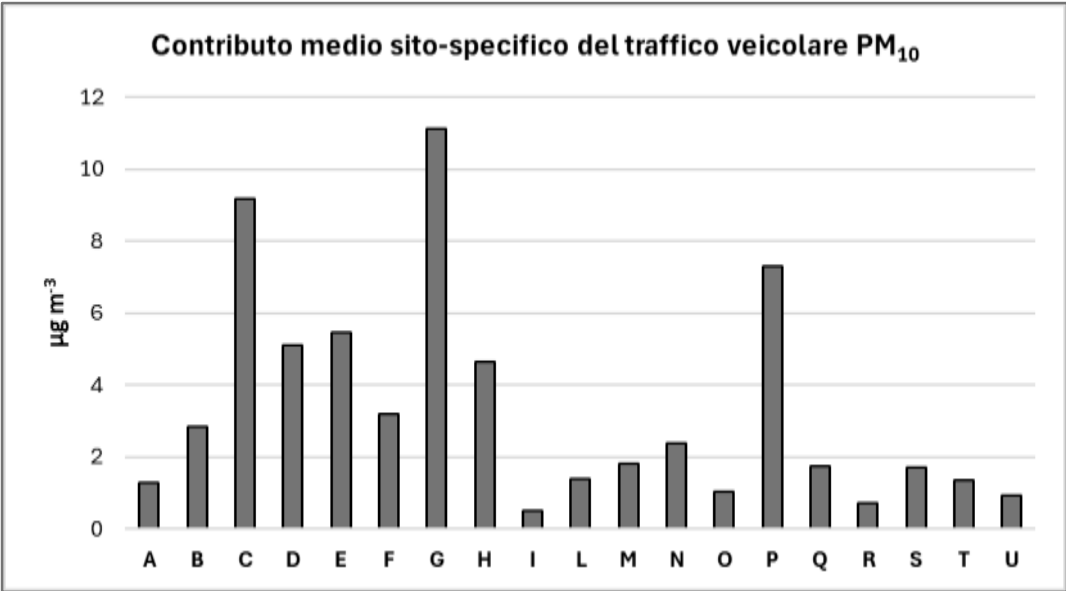
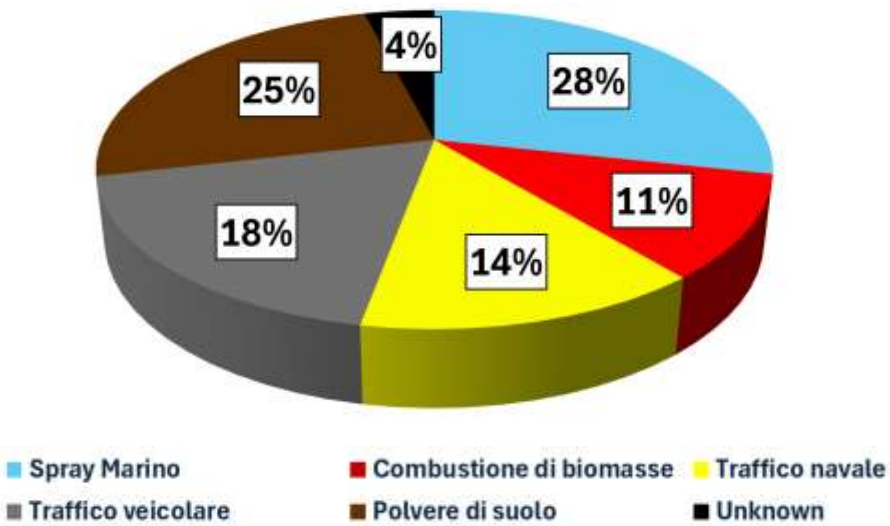
Contributo medio sorgenti PM₁₀
- Sito D (Banchina 28 - Porto)



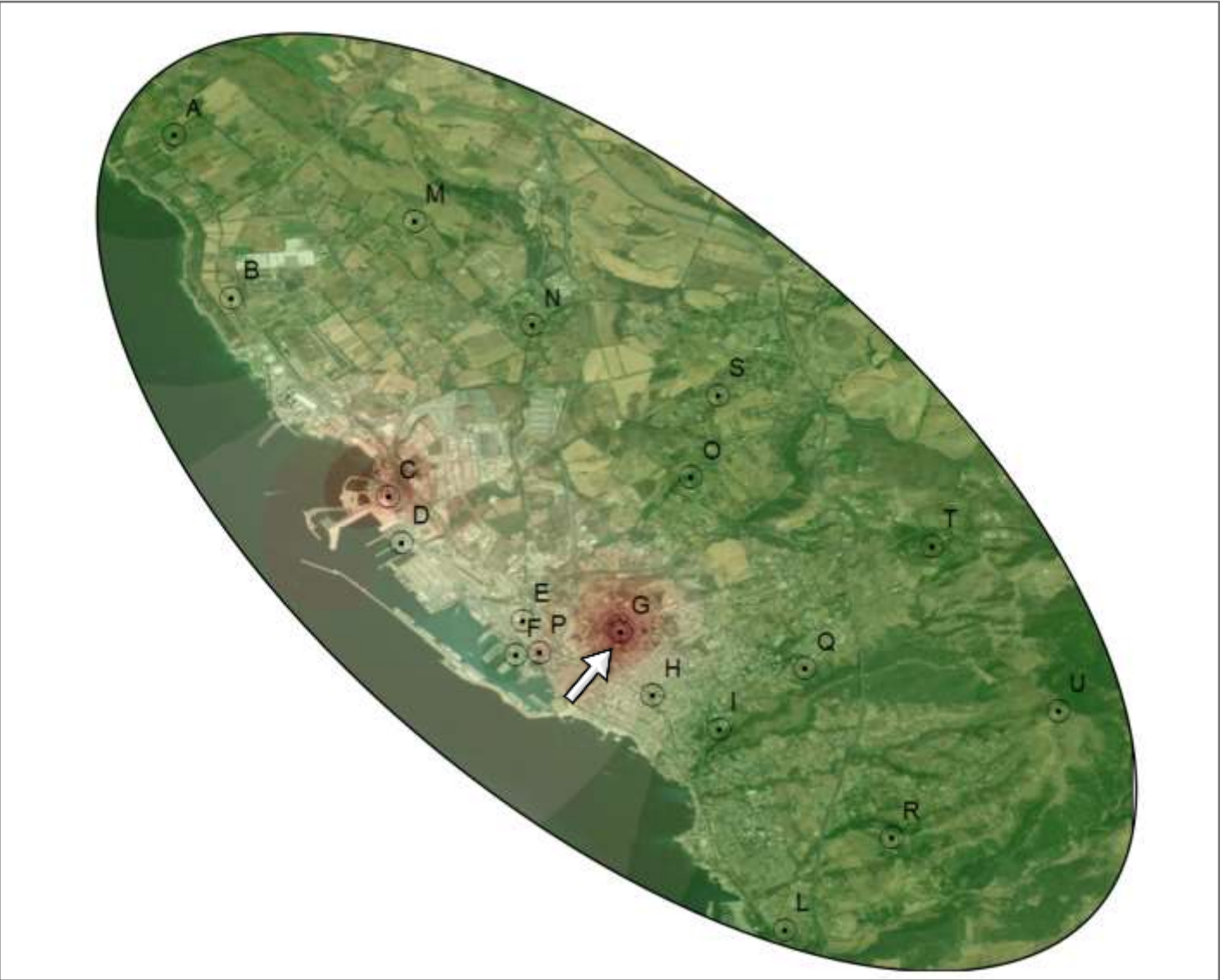
Mappatura del traffico veicolare



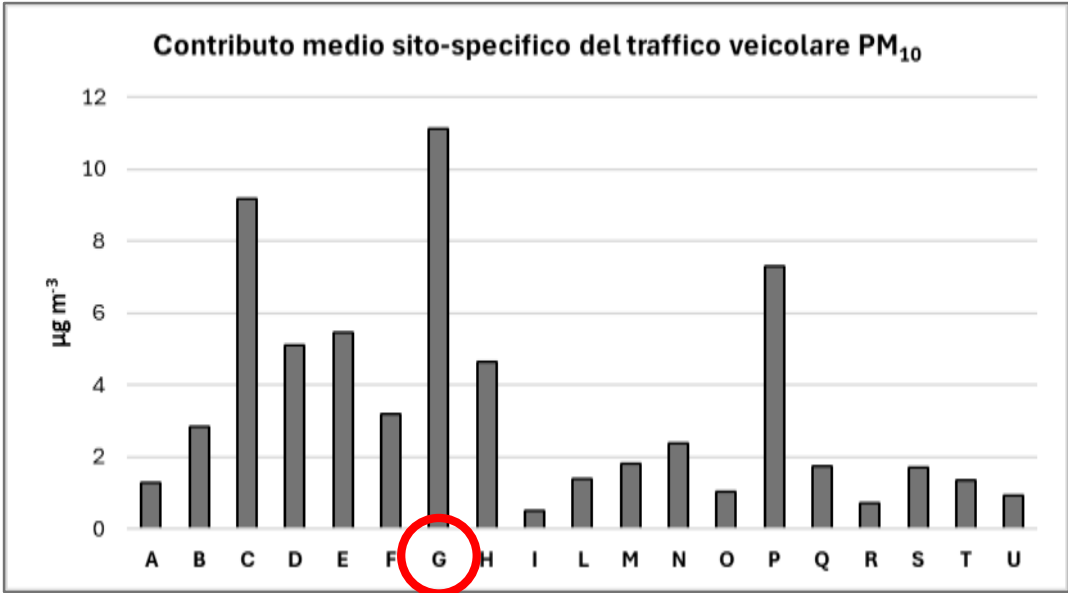
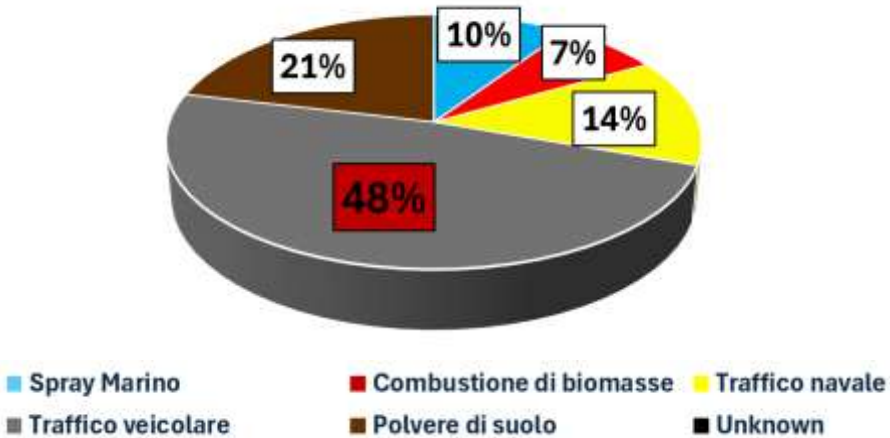
Contributo medio sorgenti PM₁₀



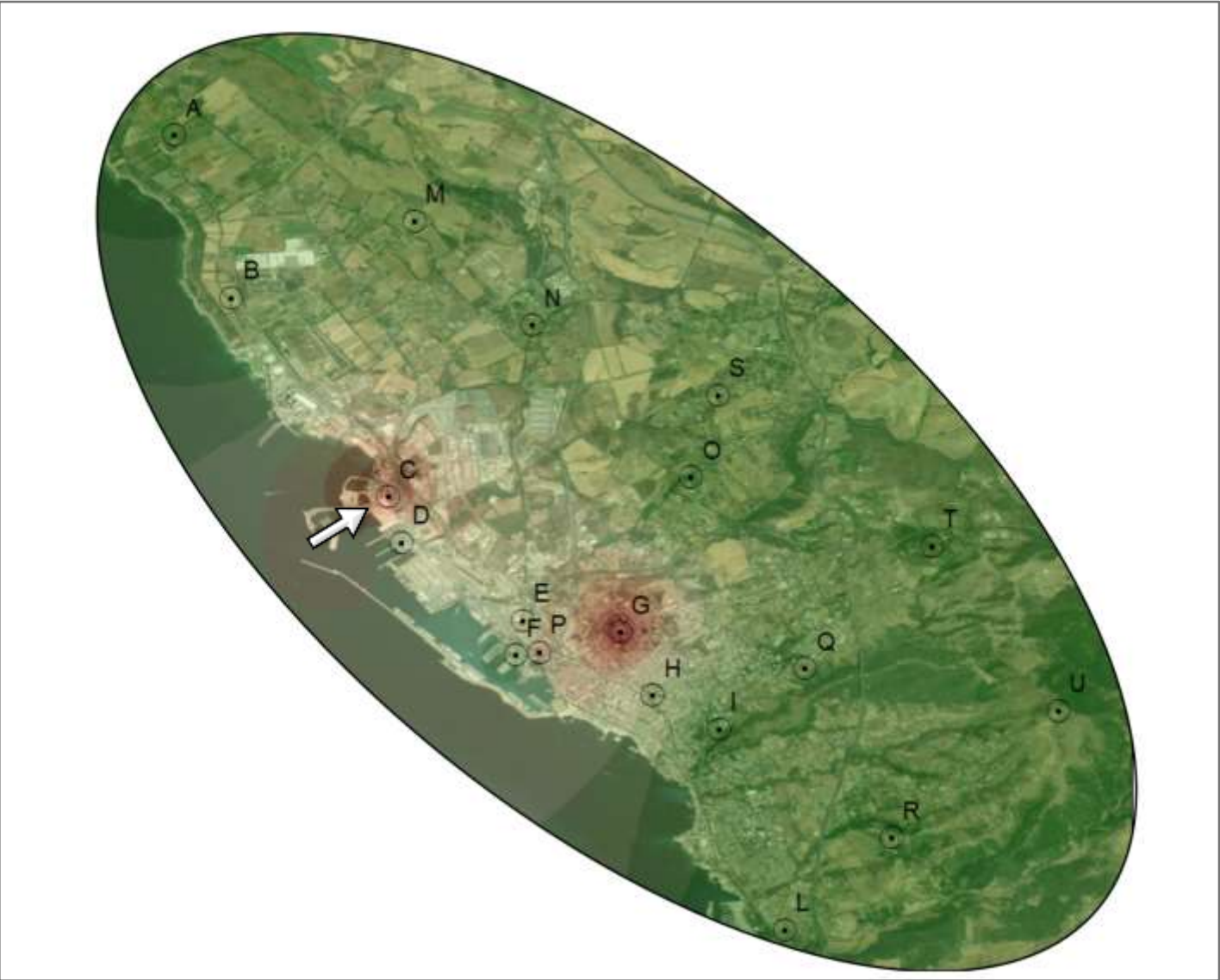
Mappatura del traffico veicolare



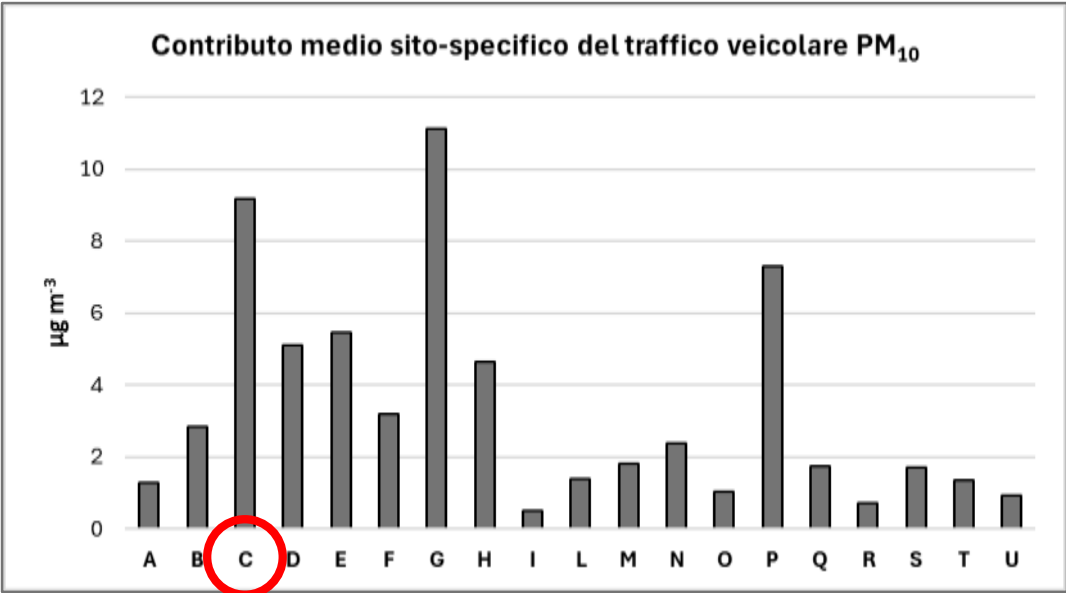
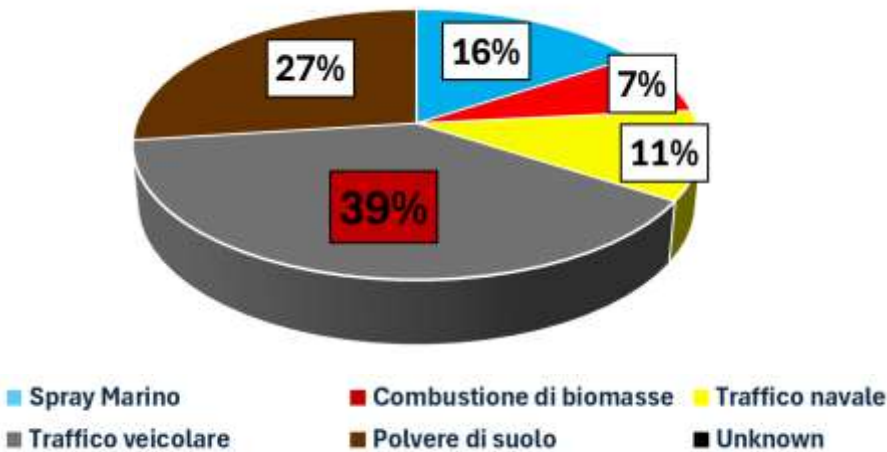
Contributo medio sorgenti PM₁₀
- Sito G (Villa Albani - Centro urbano)



Mappatura del traffico veicolare

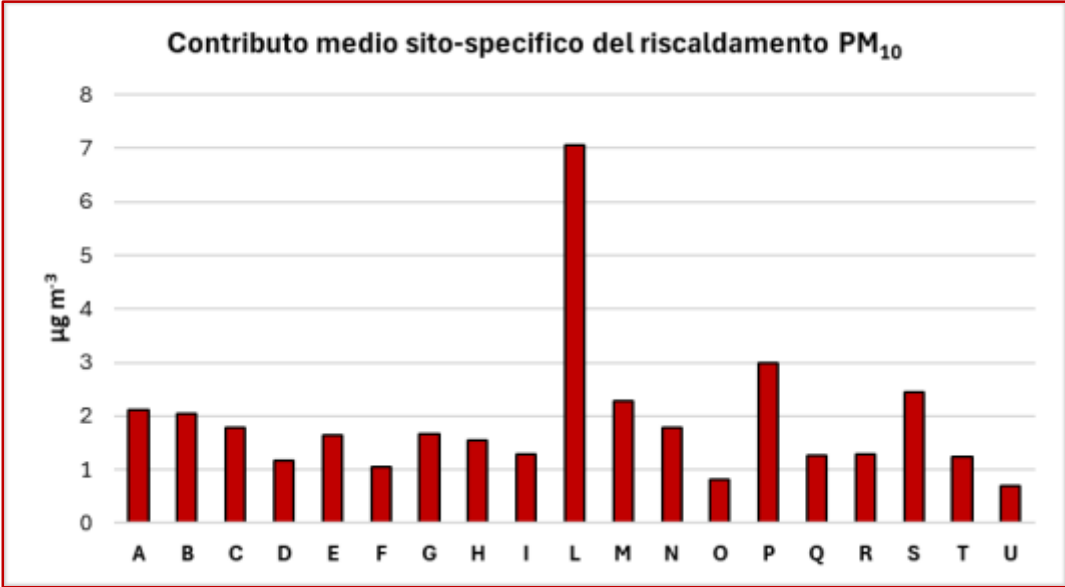
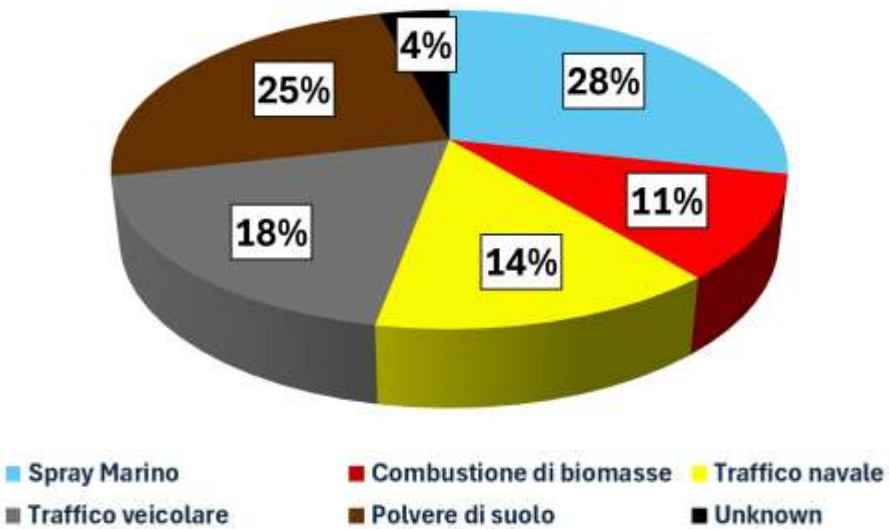
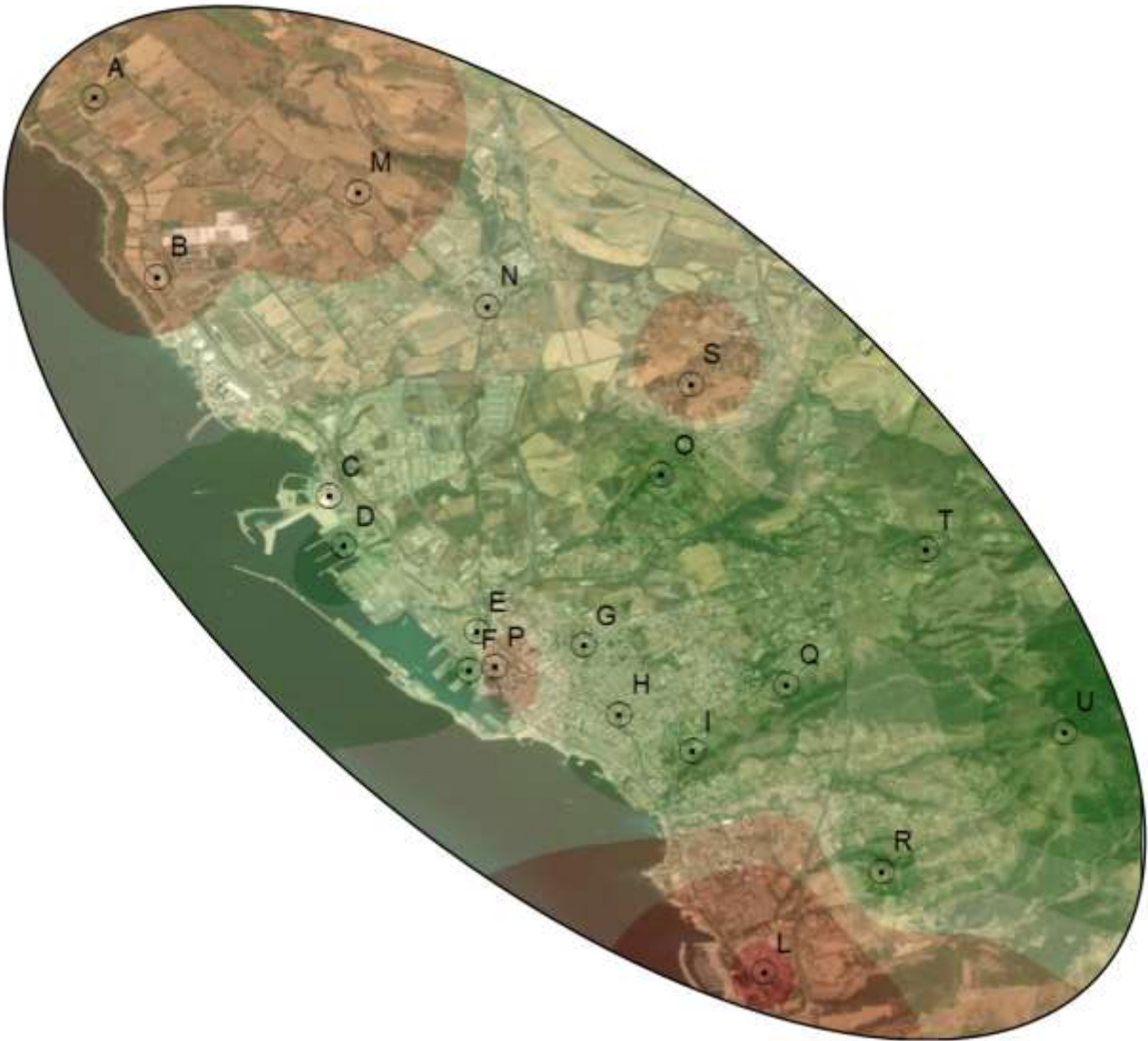


Contributo medio sorgenti PM₁₀
- Sito C (Varco Nord – Porto)



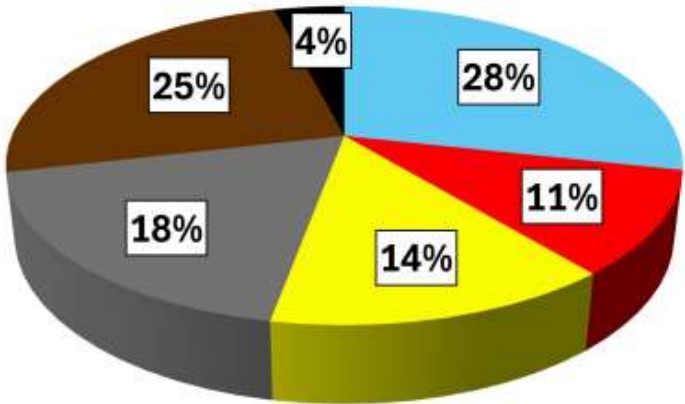
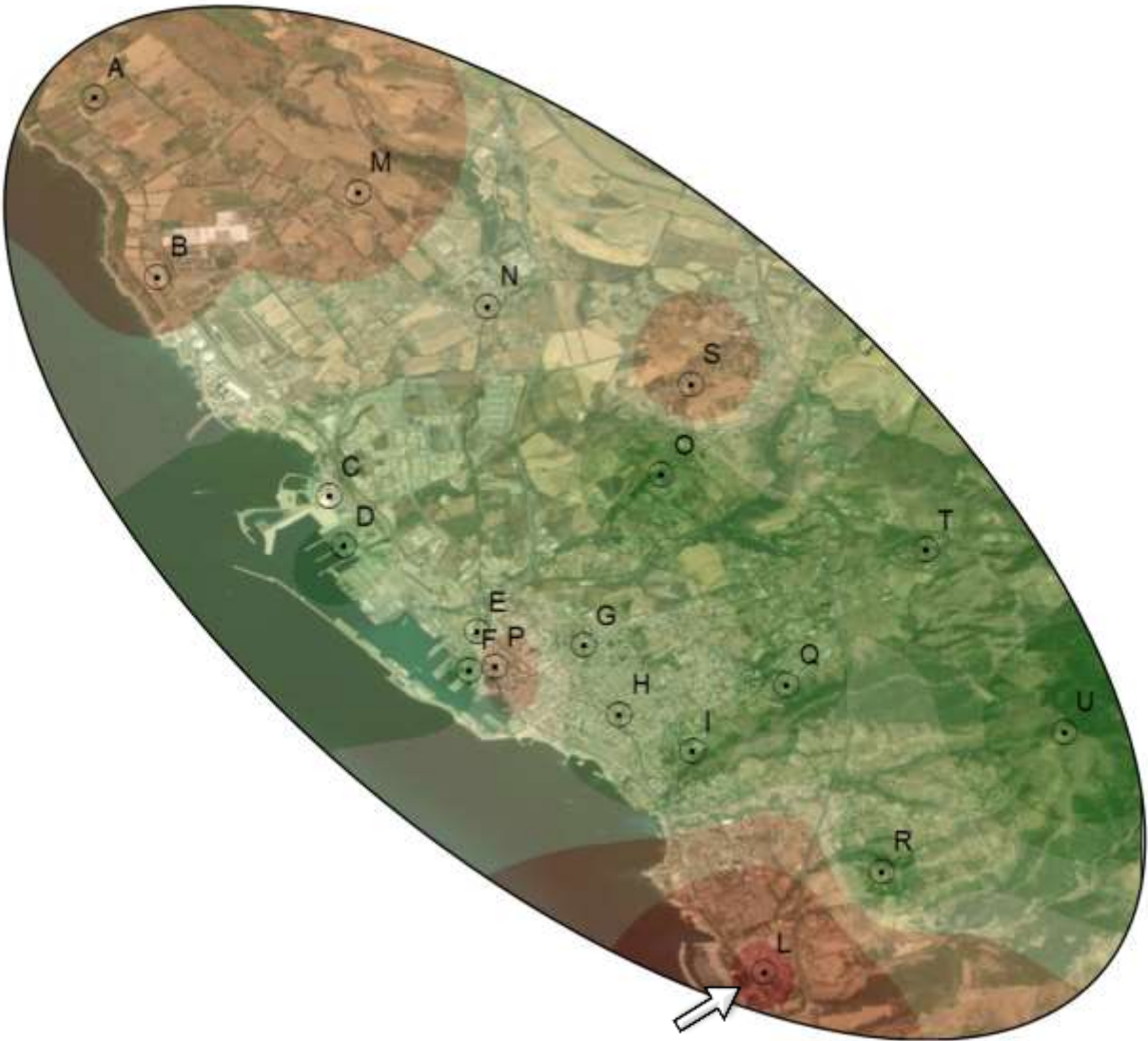
Mappatura della combustione di biomasse

Contributo medio sorgenti PM₁₀



Mappatura della combustione di biomasse

Contributo medio sorgenti PM₁₀



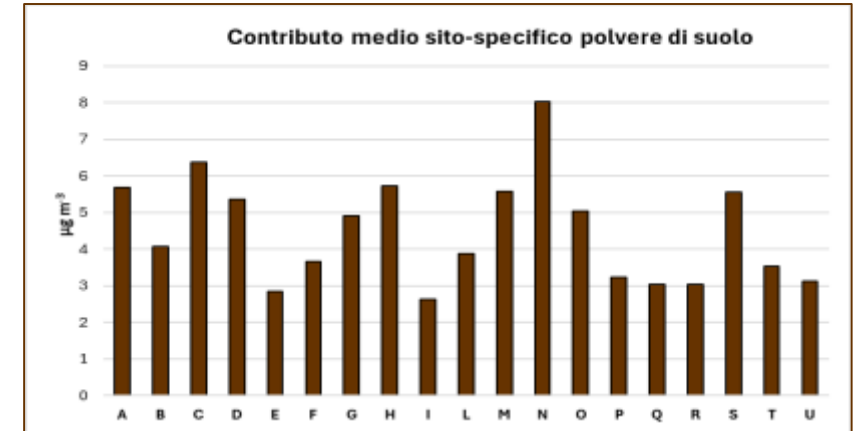
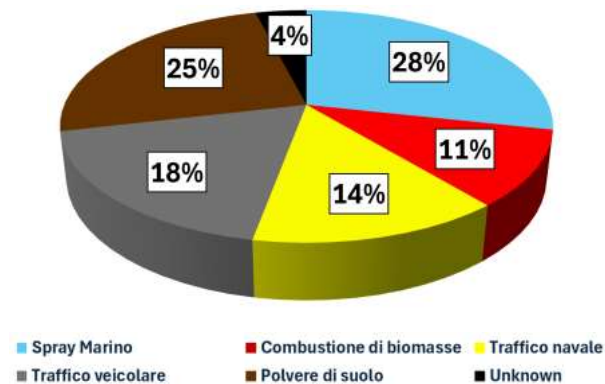
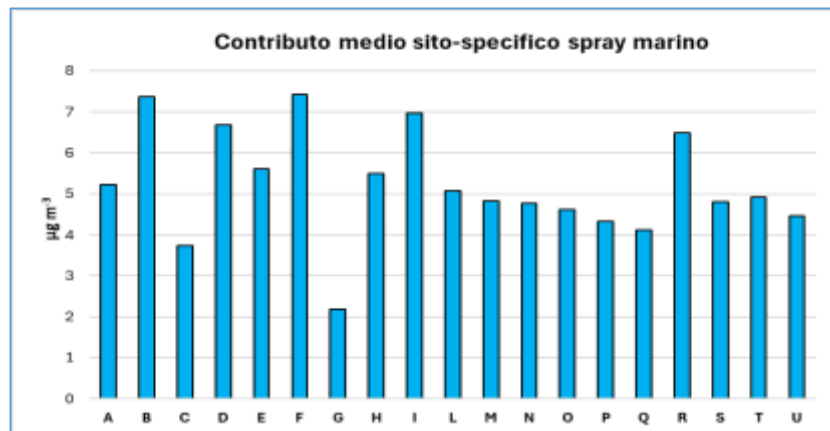
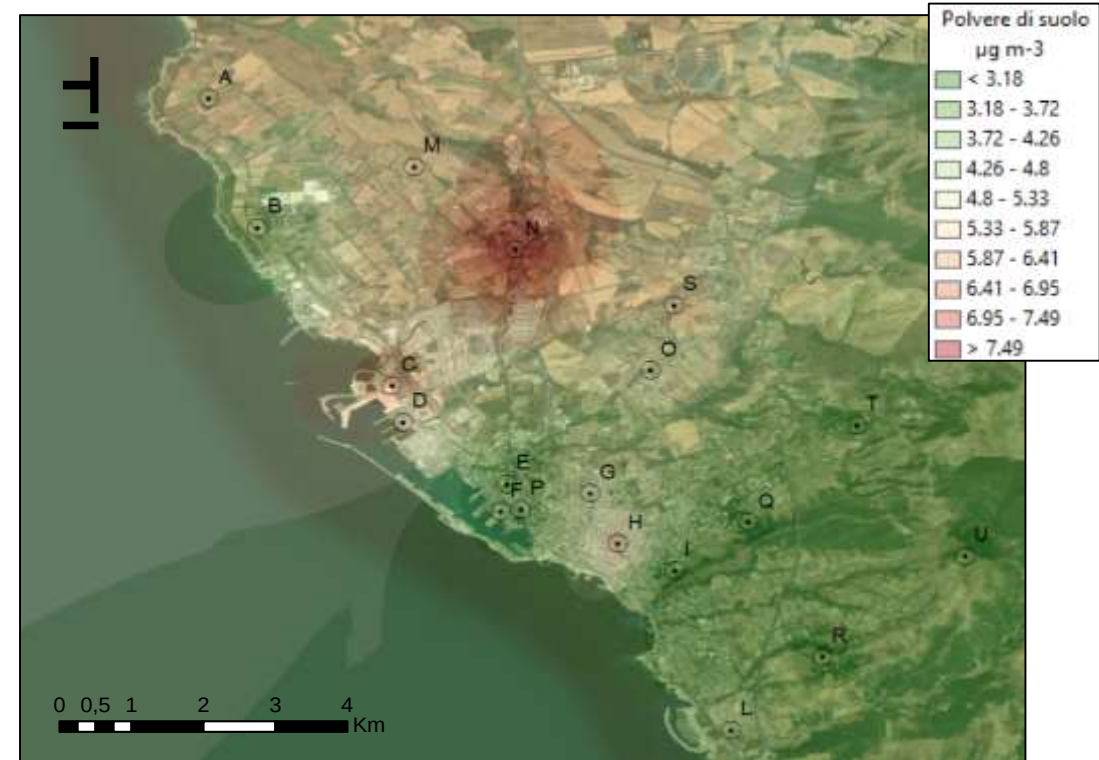
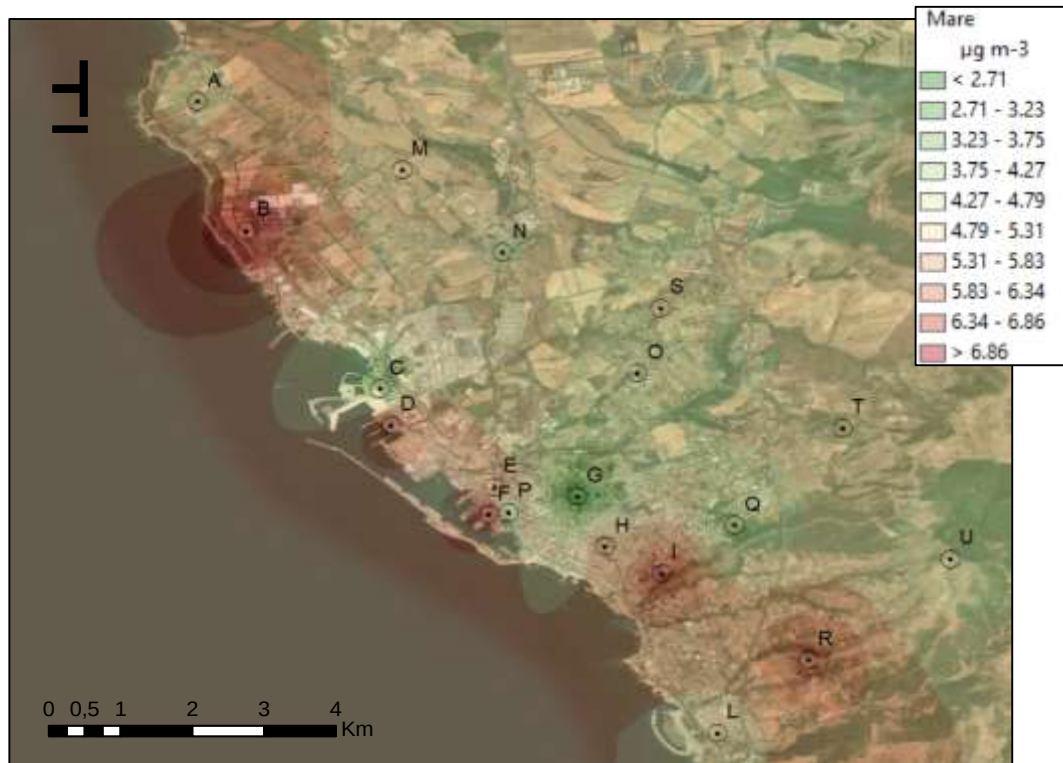
■ Spray Marino ■ Combustione di biomasse ■ Traffico navale
■ Traffico veicolare ■ Polvere di suolo ■ Unknown

Contributo medio sito-specifico del riscaldamento PM₁₀



Monitoraggio ad elevata risoluzione spaziale dell'inquinamento da particolato atmosferico nell'area portuale di Civitavecchia.

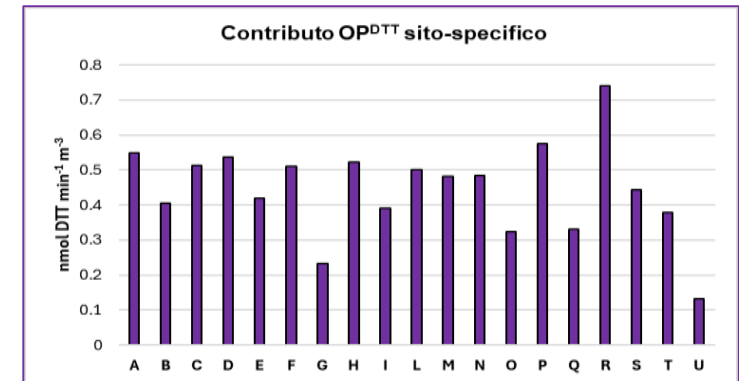
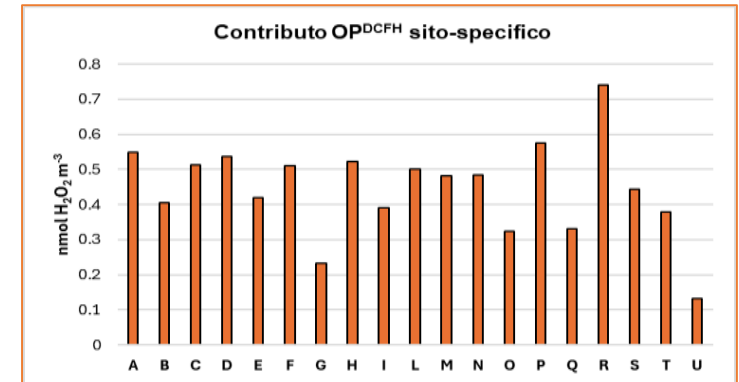
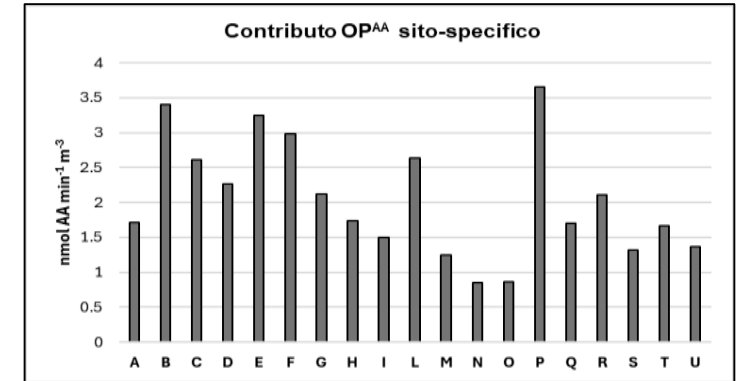
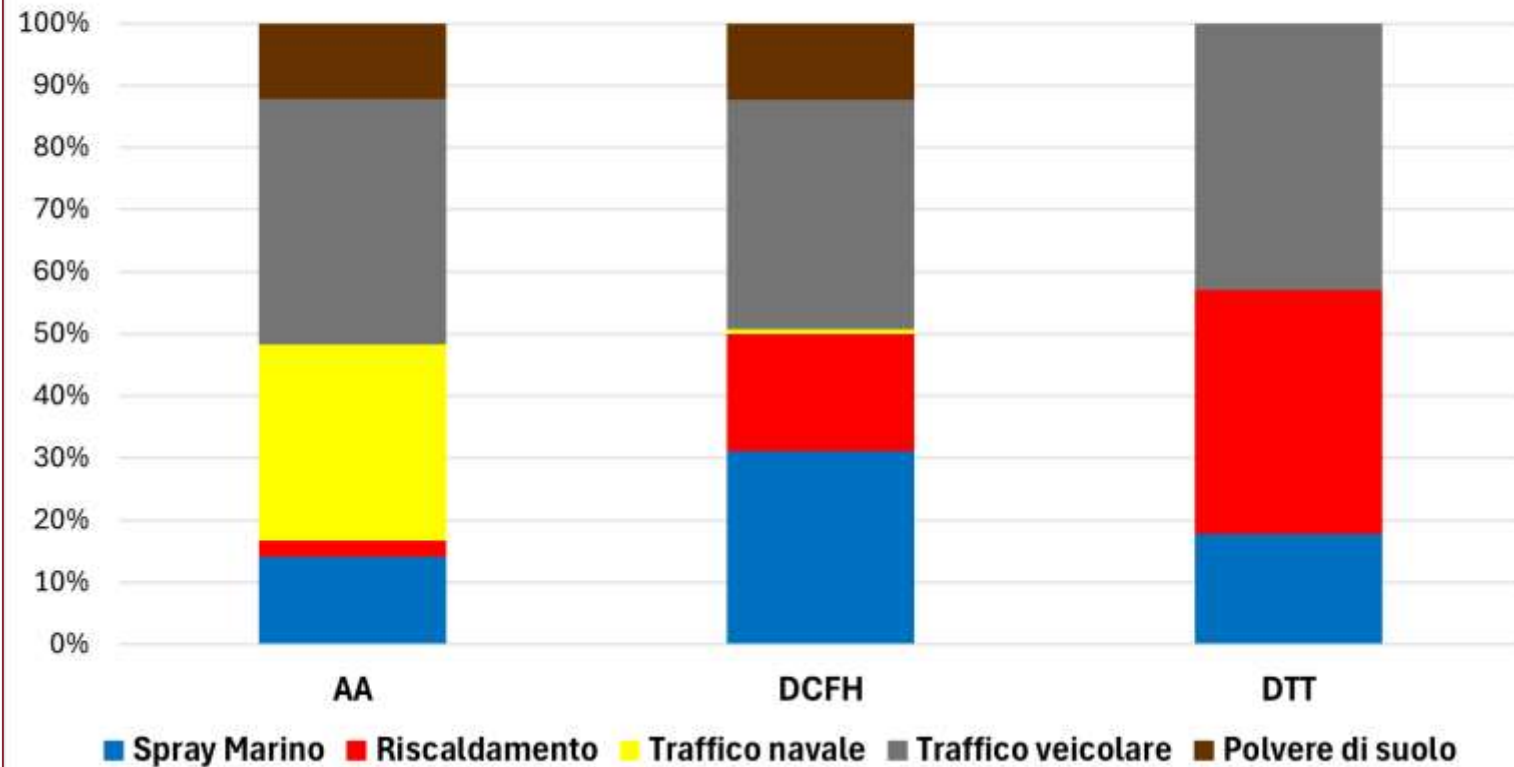
Mappatura delle sorgenti naturali – polvere di suolo e spray marino



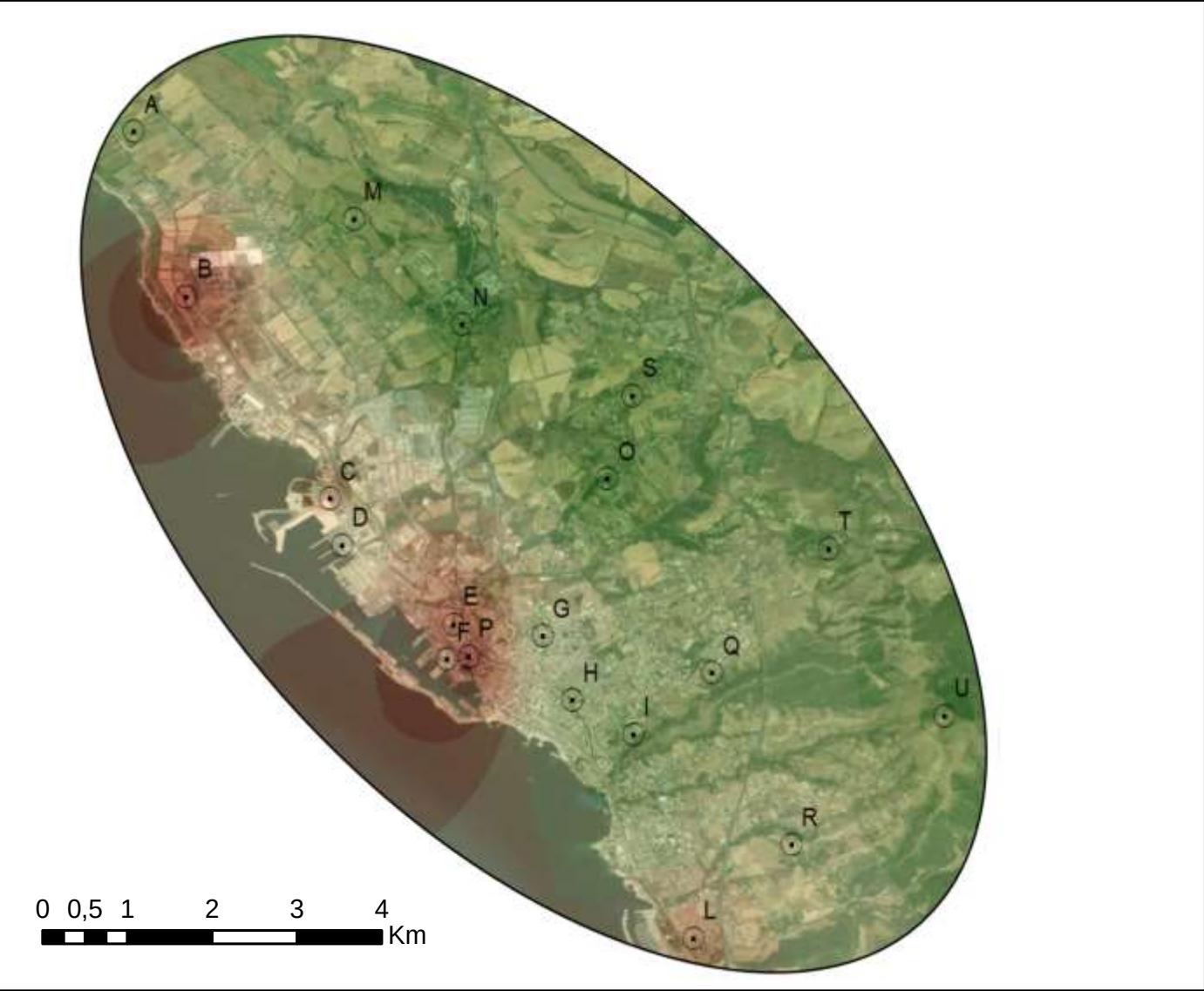
Monitoraggio ad elevata risoluzione spaziale dell'inquinamento da particolato atmosferico nell'area portuale di Civitavecchia.

Source apportionment e mappatura dei saggi di potenziale ossidativo

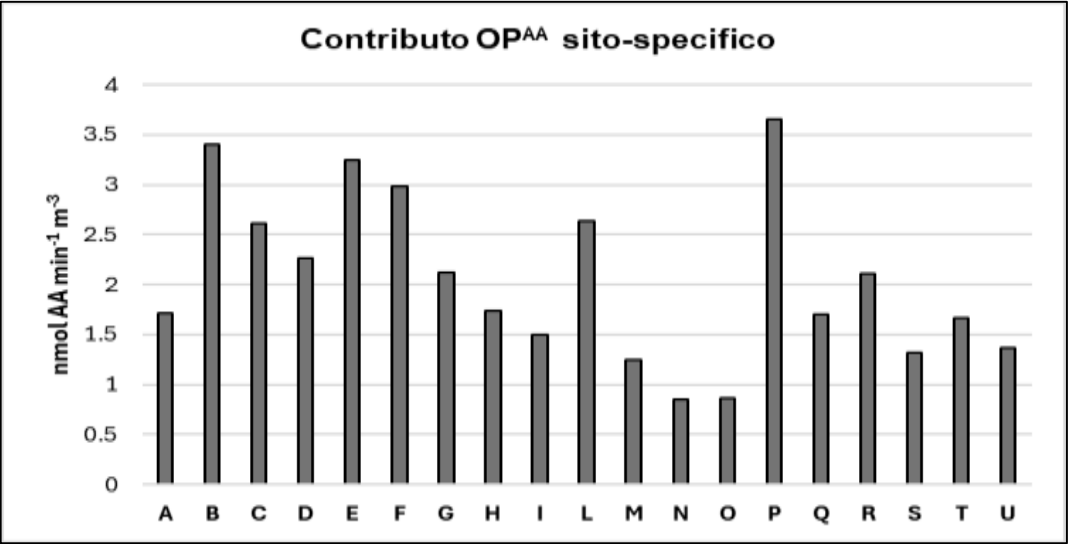
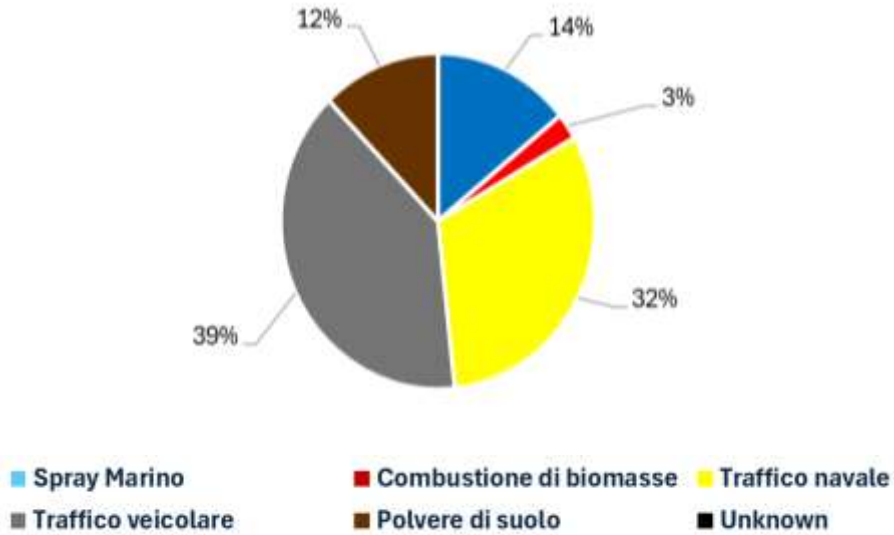
Contributo medio sorgenti PM₁₀ ai saggi del potenziale ossidativo



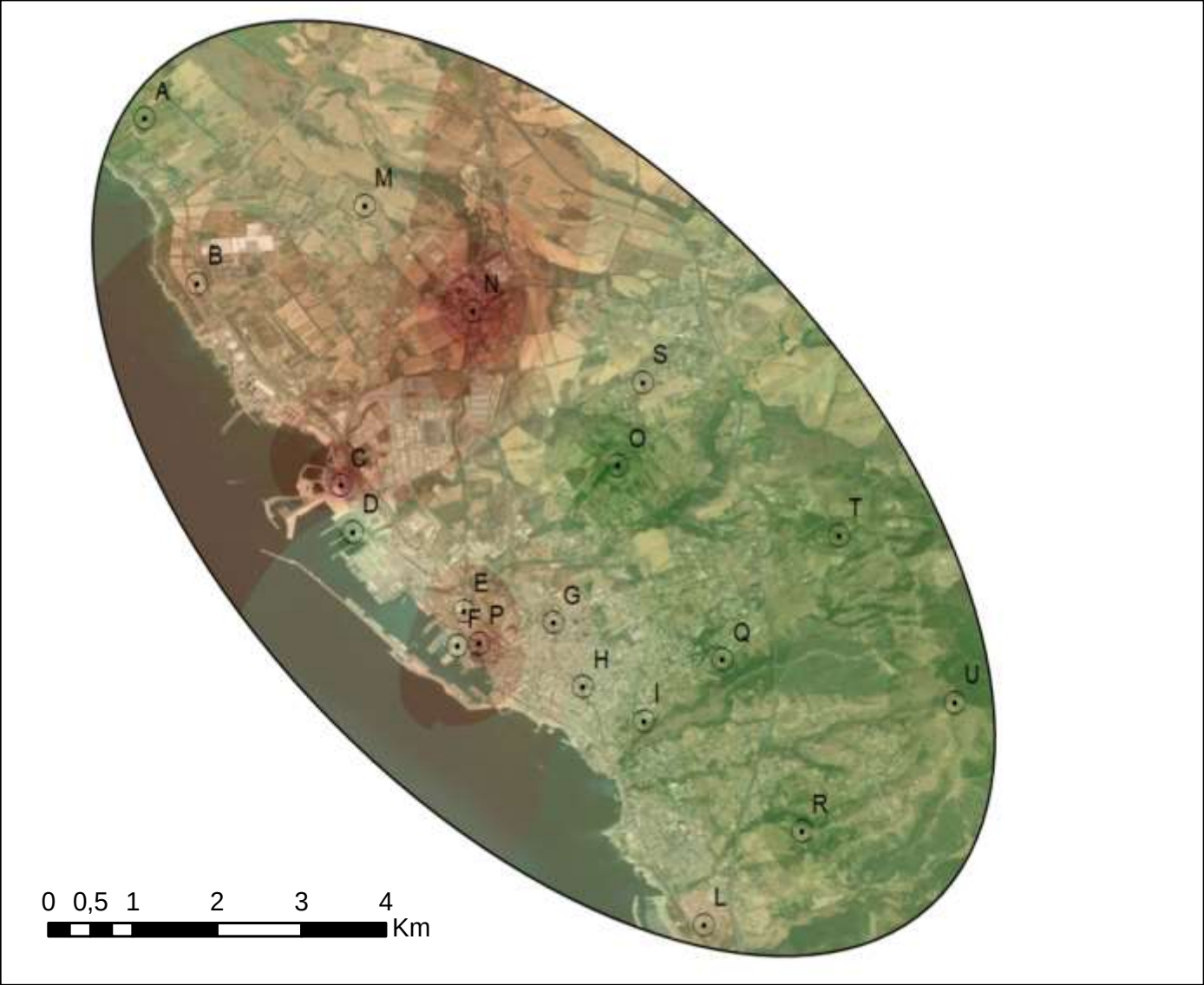
Source apportionment e mappatura spaziale dei saggi di potenziale ossidativo - OP^{AA}



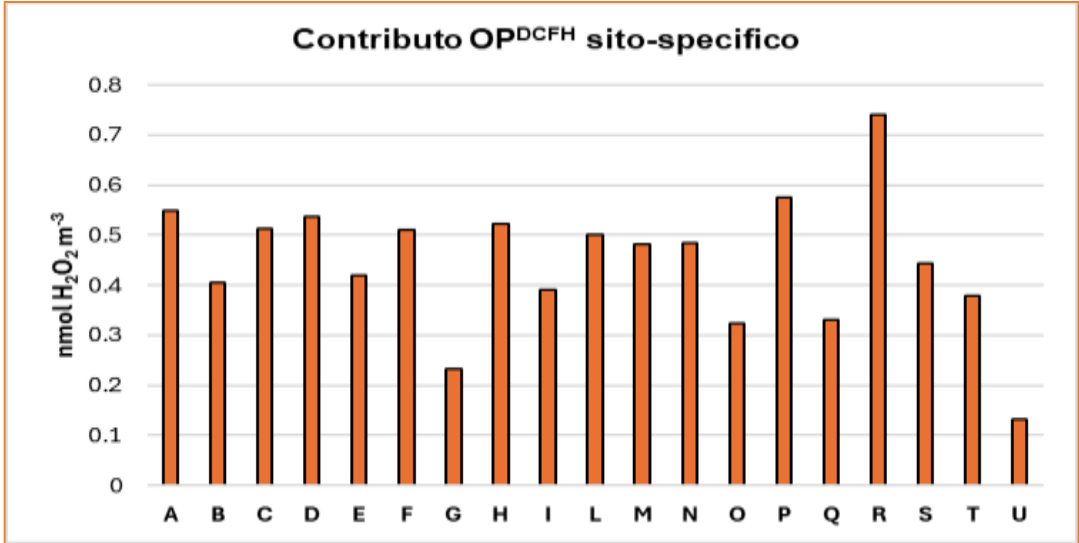
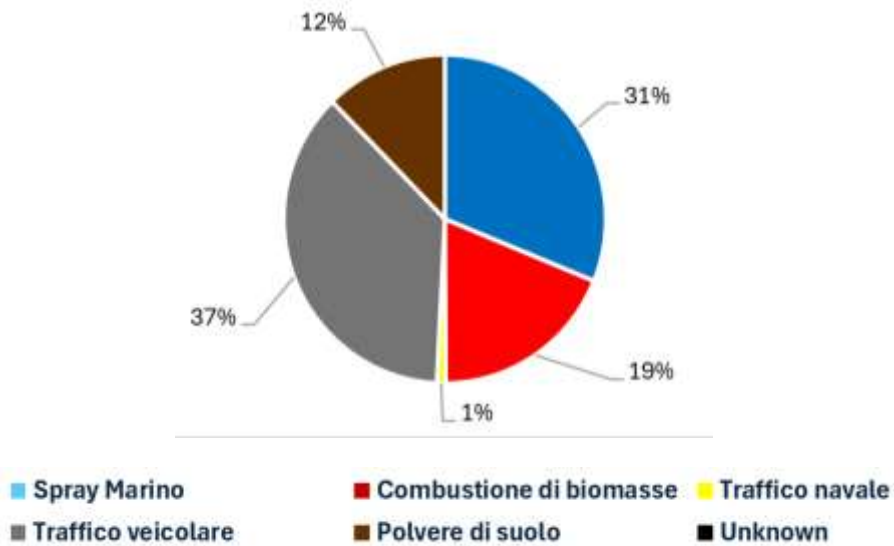
Peso dei contributi di sorgente sul Saggio del AA



Source apportionment e mappatura spaziale dei saggi di potenziale ossidativo - OP^{DCFH}

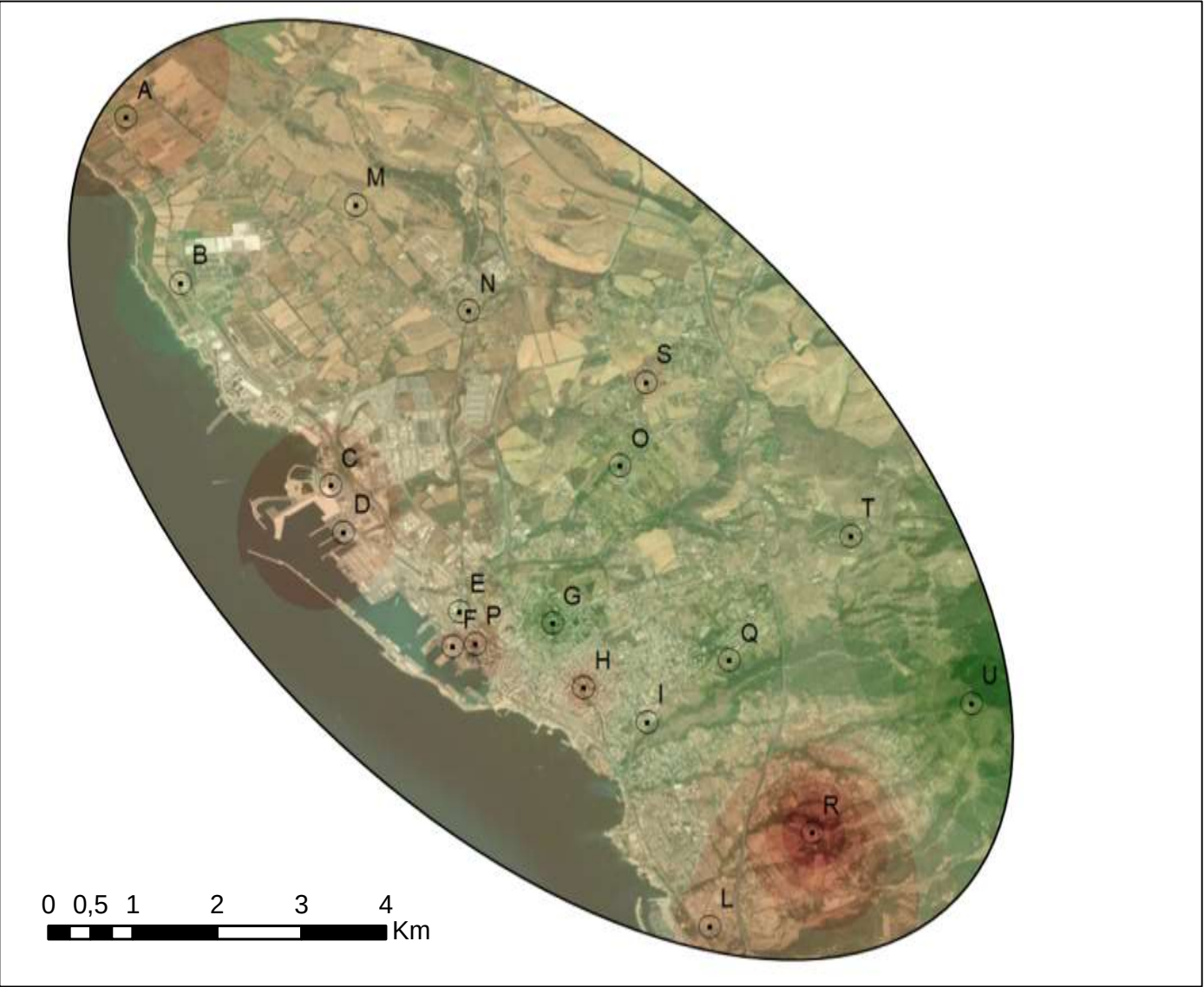


Peso dei contributi di sorgente sul Saggio del DCFH

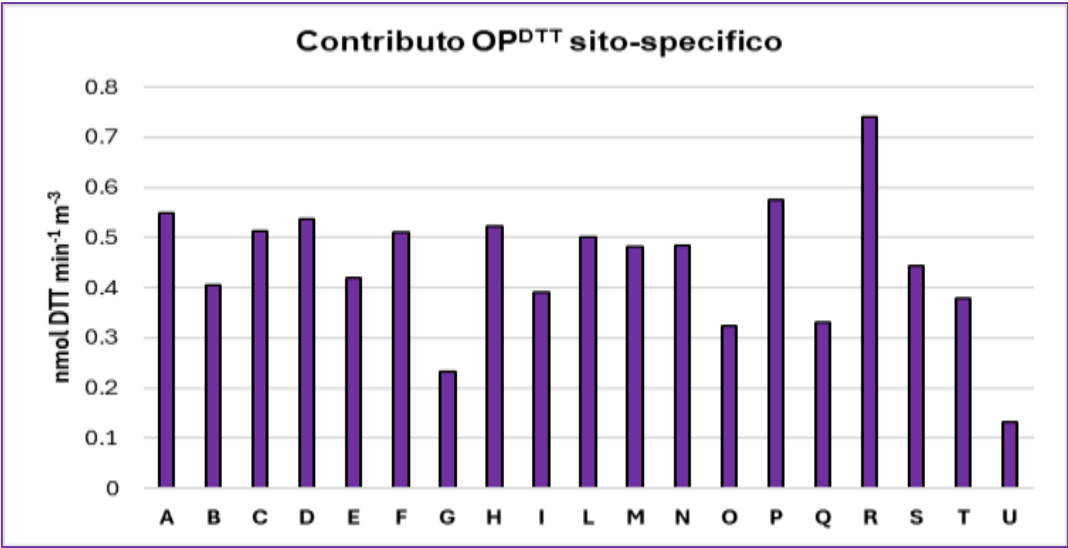
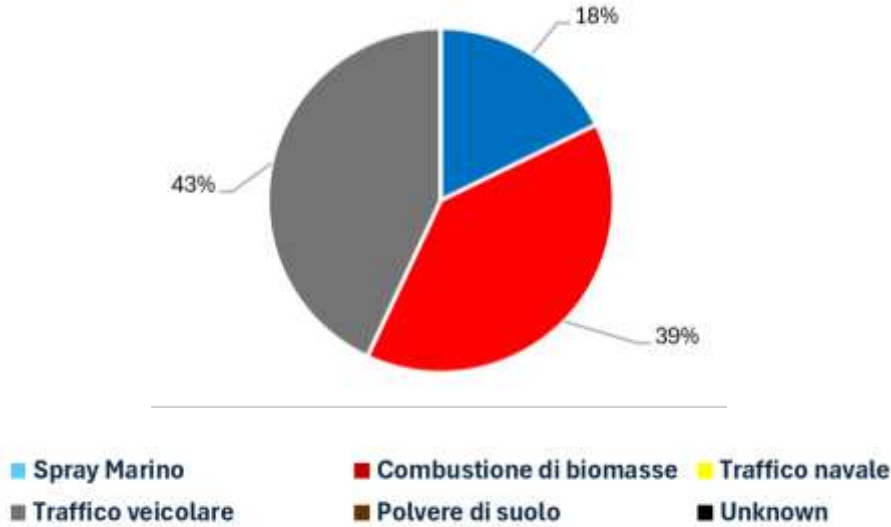


Monitoraggio ad elevata risoluzione spaziale dell'inquinamento da particolato atmosferico nell'area portuale di Civitavecchia.

Source apportionment e mappatura spaziale dei saggi di potenziale ossidativo - OP^{DTT}



Peso dei contributi di sorgente sul Saggio del DTT



Monitoraggio ad elevata risoluzione spaziale dell'inquinamento da particolato atmosferico nell'area portuale di Civitavecchia.

Valutazione del rischio cancerogeno (CR) e non cancerogeno (HQ)

Carcinogenic Risk (CR)

$$CR = \frac{C * ET * EF * ED * IUR}{AT}$$

As, Ni, Pb, Cd, Co

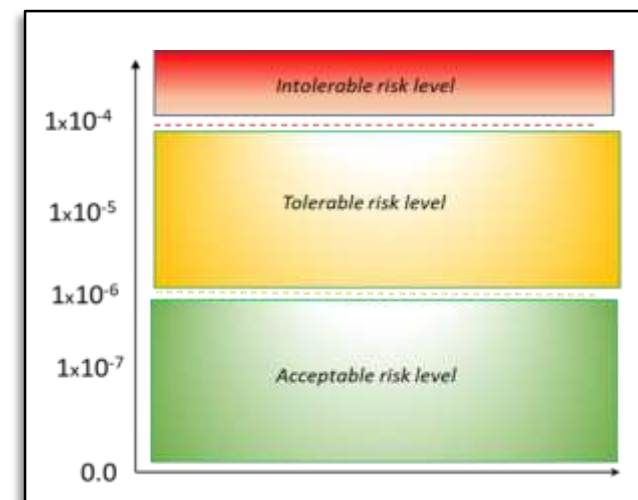
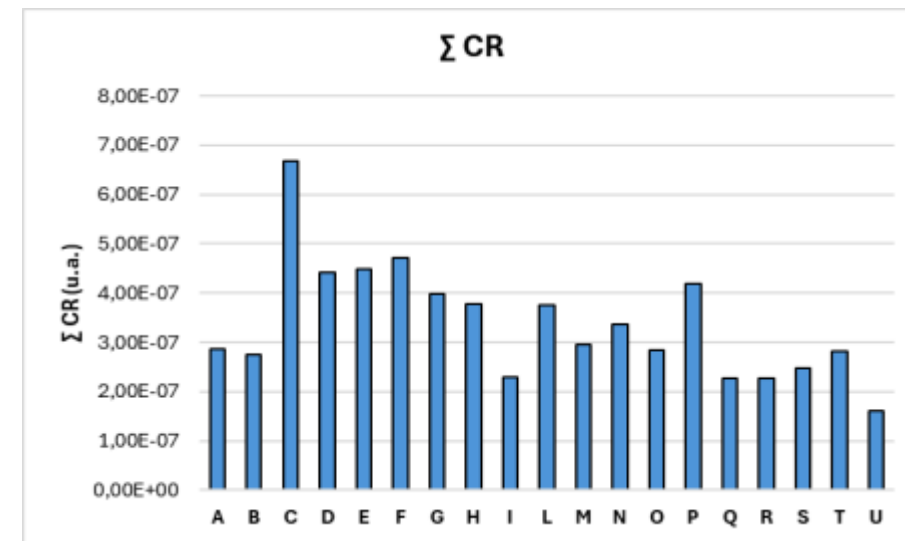
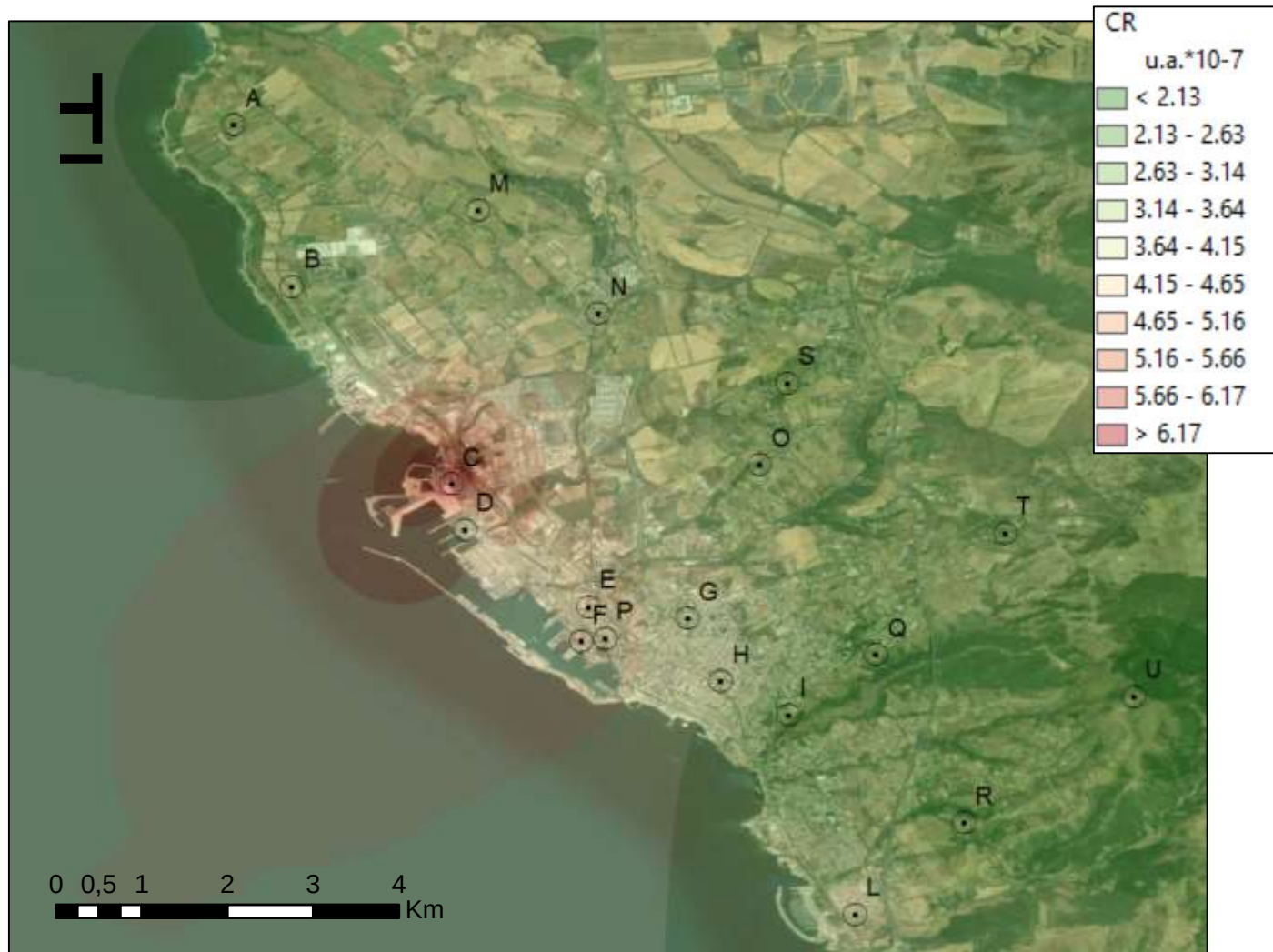
Non-carcinogenic Risk (HQ)

$$HQ = \frac{(C * IR * CF * EF * ED)(BW * AT)}{RfD}$$

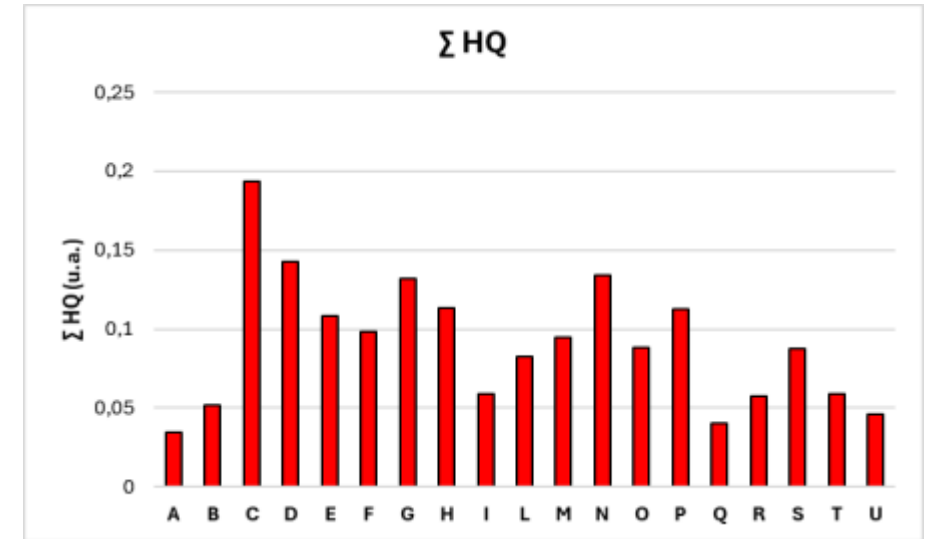
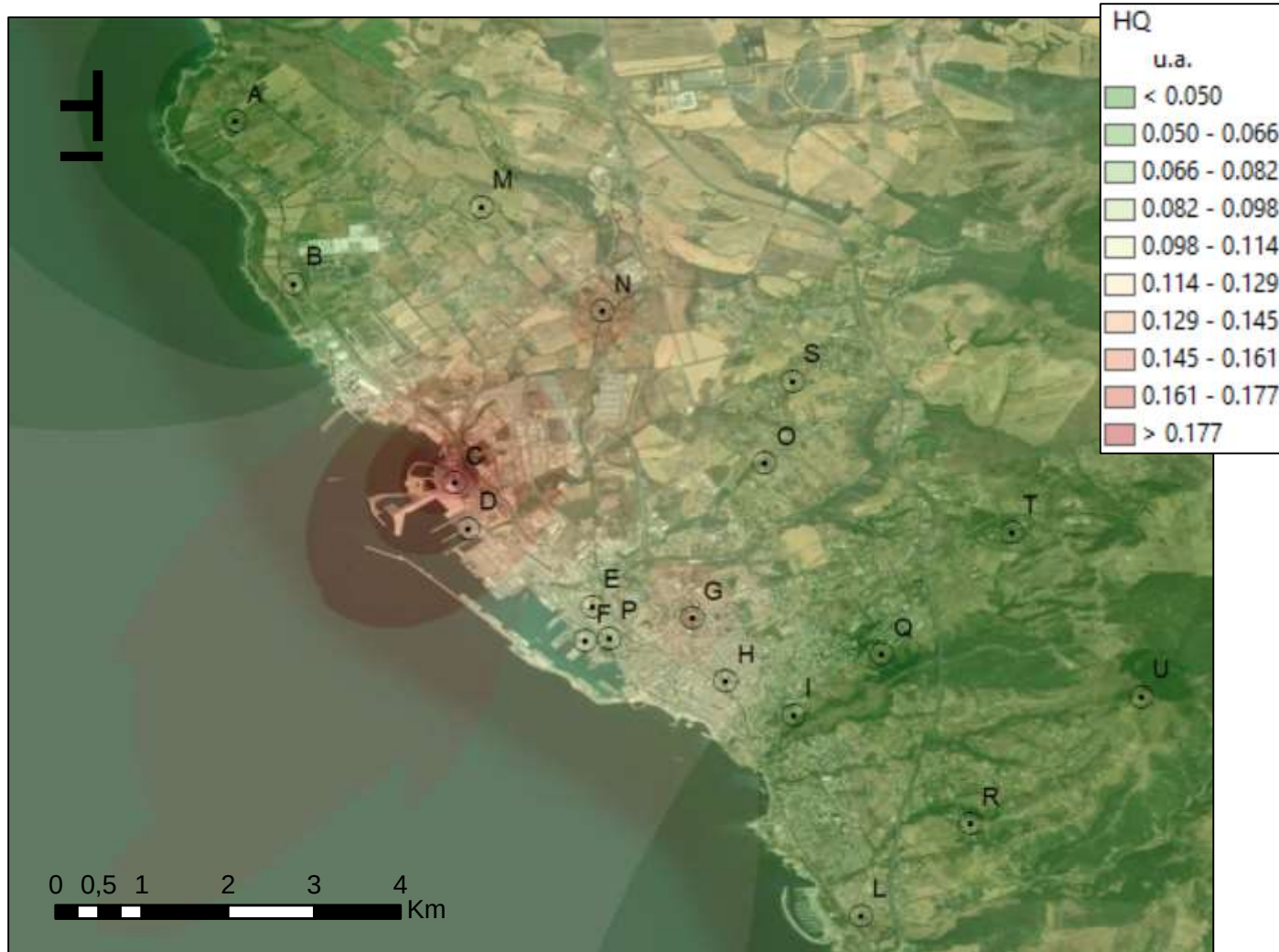
Al, B, Ba, Be, Mn, Mo, Sb, Se

- ❑ **CR (Cancer Risk)**: indica la probabilità di sviluppare un tumore nel corso della vita a seguito dell'esposizione cronica per inalazione a un contaminante; valori tra 10^{-6} e 10^{-4} sono generalmente considerati accettabili.
- ❑ **HQ (Hazard Quotient)**: valuta il rischio non cancerogeno confrontando l'esposizione stimata con il livello di riferimento sicuro (RfD); $HQ < 1$ indica assenza di effetti avversi significativi, $HQ \geq 1$ possibile rischio per la salute

Valutazione del rischio cancerogeno (CR)



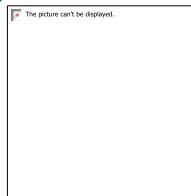
Valutazione del rischio non cancerogeno (HQ)



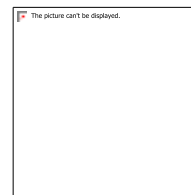
Se $HQ < 1$ ➡ $ADD < RfD$
Rischio non significativo

Se $HQ > 1$ ➡ $ADD > RfD$
Rischio significativo

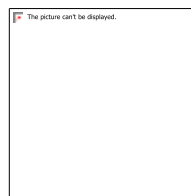
Conclusioni



Le concentrazioni medie di PM₁₀ sono sotto l'attuale limite imposto dalla direttiva, con picchi maggiori in prossimità del porto.

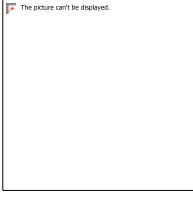
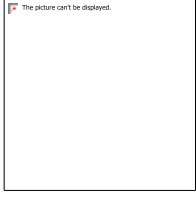
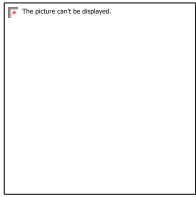


Sebbene prevalgano le sorgenti naturali, i contributi antropici si concentrano vicino al porto e nelle aree urbane, evidenziando le principali zone di esposizione.



Senza superamenti dei limiti, nelle aree portuali si osserva un aumento della mortalità, evidenziando la necessità di considerare anche le caratteristiche chimico-fisiche del particolato.

GRAZIE PER L'ATTENZIONE!



Andrea Pastore

