

Stazioni Italcementi

Capaci



Isola delle Femmine



Relazione annuale sui dati di qualità dell'aria monitorati dalle stazioni

Isola delle Femmine - ITALCEMENTI Capaci - ITALCEMENTI

Anno 2023

A cura di:

UOC Qualità dell'Aria

La speciazione del particolato è stata svolta dal Dipartimento Laboratorio di ARPA Sicilia.

*Riferimento: Nicolò Tirone
e-mail: ntirone@arpa.sicilia.it*

SOMMARIO

1	INTRODUZIONE	5
2	INQUADRAMENTO NORMATIVO	7
3	VALUTAZIONE DELLA QUALITA' DELL'ARIA	111
3.1	STAZIONE DI ISOLA DELLE FEMMINE.....	111
3.2	STAZIONE DI CAPACI.....	20
4	VALUTAZIONI COMPARATIVE E STATISTICHE.....	29
4.1	BOX PLOT	29
4.2	TEST DI KRUSKAL-WALLIS E TEST POST HOC DI DUNN.....	31
4.3	STAZIONI A CONFRONTO – SO ₂ 2023	32
4.4	STAZIONI A CONFRONTO – NO ₂ 2023.....	34
4.5	STAZIONI A CONFRONTO – CO 2023	36
4.6	STAZIONI A CONFRONTO – PM10 2023	38
4.7	STAZIONI A CONFRONTO – PM2.5 2023	40
4.8	STAZIONI A CONFRONTO – Benzo(a)pirene e Metalli 2023.....	42
5	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....	46

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1: Mappa delle stazioni di Italcementi	6
Figura 2: Concentrazione media oraria e giornaliera di SO ₂ registrata nel 2023 nella stazione di Isola delle Femmine.....	11
Figura 3: Confronto con anno precedente della concentrazione media oraria di SO ₂ nella stazione di Isola delle Femmine	12
Figura 4: Concentrazione media oraria e giornaliera di NO ₂ registrata nel 2023 nella stazione di Isola delle Femmine.....	13
Figura 5: Confronto con anno precedente della concentrazione media oraria di NO ₂ nella stazione di Isola delle Femmine	13
Figura 6: Concentrazione mobile su 8h, concentrazione oraria di CO registrata nel 2023 nella stazione di Isola delle Femmine	14
Figura 7: Confronto con anno precedente della concentrazione media oraria di CO nella stazione di Isola delle Femmine	15
Figura 8: Concentrazione media giornaliera di PM ₁₀ e PM _{2,5} registrate nel 2023 nella stazione di Isola delle Femmine.....	16
Figura 9: Confronto con anno precedente della concentrazione media giornaliera di PM ₁₀ e PM _{2,5} nella stazione di Isola delle Femmine	16
Figura 10: Concentrazione giornaliera dei metalli nel 2023 nella stazione di Isola delle Femmine.....	18
Figura 11: Concentrazione giornaliera del benzo(a)pirene nel 2023 nella stazione di Isola delle Femmine.....	19
Figura 12: Concentrazione media oraria di SO ₂ registrate nel 2023 nella stazione di Capaci.....	20
Figura 13: Confronto con anno precedente della concentrazione media oraria di SO ₂ nella stazione di Capaci.....	21
Figura 14: Concentrazione media oraria e giornaliera di NO ₂ registrata nel 2023 nella stazione di Capaci	22
Figura 15: Confronto con anno precedente della concentrazione media oraria di NO ₂ nella stazione di Capaci.....	22
Figura 16 Concentrazione su 8h, concentrazione oraria di CO registrata nel 2023 nella stazione di Capaci	23
Figura 17: Confronto con anno precedente della concentrazione media oraria di CO nella stazione di Capaci.....	24
Figura 18: Concentrazione media giornaliera di PM ₁₀ e PM _{2.5} registrate nel 2023 nella stazione di Capaci	25
Figura 19: Confronto con anno precedente della concentrazione media giornaliera di PM ₁₀ e PM _{2,5} nella stazione di Capaci	25
<i>Figura 20: Concentrazione giornaliera dei metalli nel 2023 nella stazione di Capaci ...</i>	<i>27</i>
Figura 21: Concentrazione giornaliera del benzo(a)pirene nel 2023 nella stazione di Capaci.....	28
<i>Figura 22: Andamento concentrazione media oraria SO₂ (a); Box plot SO₂ (b).....</i>	<i>32</i>
Figura 23: Trend del massimo giornaliero e orario di SO ₂	33
Figura 24: Andamento concentrazione media oraria NO ₂ (a); Box plot NO ₂ (b)	34
Figura 25: Trend della media annua di NO ₂	35
Figura 26: Andamento concentrazione media oraria CO (a); Box plot CO (b).....	36
Figura 27: Trend della massima media giornaliera di 8 ore di CO	37

Figura 28: Andamento concentrazione media giornaliera PM10 (a); Box plot PM10 (b)	38
Figura 29: Trend della media annua di PM10	39
Figura 30: Andamento concentrazione media giornaliera PM2.5 (a); Box plot PM2.5 (b)	40
Figura 31: Trend della media annua di PM2.5	41
Figura 32: Box plot Metalli	42
Figura 33: Trend della media annua di metalli	43
Figura 34: Box plot B(a)P	44
Figura 35: Trend della media annua di benzo(a)pirene	45

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1: Comuni ricompresi negli Agglomerato di Palermo	5
Tabella 2: Limiti previsti dal D.Lgs.155/2010 per la qualità dell'aria	7
Tabella 3: Valori guida WHO-ed. 2021 a confronto con i limiti del D.Lgs. 155/2010 per gli stessi periodi di mediazione	8
Tabella 4: Caratteristiche e requisiti minimi degli analizzatori in continuo conformemente a quanto previsto dall'Allegato VI del D.Lgs 155/2010	9
Tabella 5: Concentrazioni medie annue metalli nella stazione di Isola delle Femmine	17
Tabella 6: Concentrazioni medie annue metalli nella stazione di Capaci	26
Tabella 7: Risultati del test di Dunn per SO ₂	32
Tabella 8: Risultati del test di Dunn per NO ₂	34
Tabella 9: Risultati del test di Dunn per CO	36
Tabella 10: Risultati del test di Dunn per PM10	38
Tabella 11: Risultati del test di Dunn per metalli	43
Tabella 12: Concentrazioni media annue di cromo e vanadio nelle stazioni Italcementi e nelle stazioni della zona Aree Industriali IT1914	44
Tabella 13: Risultati del test di Dunn per benzo(a)pirene	45

1 INTRODUZIONE

La presente relazione espone in forma sintetica i dati rilevati in continuo nel 2023 nelle stazioni di monitoraggio della qualità dell'aria installate nei comuni di Isola delle Femmine e Capaci, di proprietà della Italcementi S.p.A., dal 10/10/2023 Heidelberg Materials Italia Cementi S.p.A., a seguito del D.R.S. n.693 del 18 luglio 2008, che all'art. 7 "Prescrizioni relative alle attività di monitoraggio (Piano di monitoraggio e controllo)" prescriveva l'acquisto di due stazioni di rilevamento della qualità dell'aria da affidare come gestione ad ARPA Sicilia, con oneri a carico della Italcementi S.p.A.. Il riesame dell'autorizzazione, approvata con D.A. dell'ARTA n.34 del 7/2/2022, prevede al punto 57 dell'art.3 che il gestore debba aggiornare lo studio delle ricadute degli inquinanti emessi dal cementificio, al fine di confermare i requisiti di posizionamento delle centraline di Isola delle Femmine e di Capaci. Tale studio non è ancora pervenuto.

La Convenzione che disciplina la gestione delle stazioni da parte di ARPA Sicilia è stata firmata il 3 maggio 2016 e ha validità di 12 anni e comunque fino al riesame dell'AIA.

L'elaborazione dei dati rilevati è stata effettuata facendo riferimento al D.Lgs. N. 155/2010, "Attuazione della direttiva 2008/50/CE relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa", sebbene le stazioni non facciano parte del Programma di Valutazione, approvato con D.D.G. n. 449 del 10/06/2014 e revisionato dal D.D.G. n.738 del 06/09/2019.

Secondo la "Zonizzazione e classificazione del territorio della Regione Siciliana", approvata con D.A. n. 97/GAB del 25/06/2012, le stazioni sono ubicate all'interno dell'Agglomerato di Palermo IT1911, di cui si riportano in tabella 1 i comuni appartenenti all'agglomerato. La popolazione ivi riportata si riferisce a quella residente al 1° gennaio 2020 che è stata presa come riferimento nel decreto assessoriale di riclassificazione delle zone e degli agglomerati della Regione Siciliana ai sensi degli artt. 4 e 8 del D.Lgs. 155/2010 (D.D.G. 1329 del 17/12/2020).

Tabella 1: Comuni ricompresi nell'Agglomerato di Palermo

Codice comune	Nome comune	Popolazione
Agglomerato di Palermo		
82005	Altofonte	9884
82006	Bagheria	53409
82020	Capaci	11548
82035	Ficarazzi	12741
82043	Isola delle Femmine	6984
82049	Monreale	37211
82053	Palermo	647422
82079	Villabate	19501
	<i>Totale popolazione</i>	<i>798700</i>

Gli inquinanti monitorati nelle stazioni di Isola delle Femmine e Capaci sono elencati di seguito:

- Biossido di zolfo (SO₂)
- Biossido di Azoto e Ossidi di Azoto – NO₂ e NO_x
- Ossido di carbonio (CO)
- Particolato atmosferico PM10 e PM2,5
- Metalli e IPA

In Figura 1 sono riportate in mappa le 2 stazioni di monitoraggio e la sede dello stabilimento della Italcementi.



Figura 1: Mappa delle stazioni di Italcementi

2 INQUADRAMENTO NORMATIVO

La Direttiva 2008/50/CE è stata recepita nel nostro ordinamento dal D.Lgs 13 agosto 2010 n. 155 "Attuazione della direttiva 2008/50/CE relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa" che ha abrogato il D.Lgs n. 351/1999 e i rispettivi decreti attuativi (il D.M. 60/2002, il D.Lgs n.183/2004 e il D.M. 261/2002).

Il D.Lgs. n.155/2010 individua gli inquinanti per i quali è obbligatorio il monitoraggio (NO₂, NO_x, SO₂, CO, O₃, PM₁₀, PM_{2,5}, benzene, benzo(a)pirene, piombo, arsenico, cadmio, nichel, mercurio, precursori dell'ozono) e fissa i limiti (allegati VII e XI, XII, XIII e XIV) per il raggiungimento degli obiettivi di qualità dell'aria volti a evitare, prevenire o ridurre effetti nocivi per la salute umana e per l'ambiente nel suo complesso (valori limite, soglia di allarme, valore obiettivo per la protezione della salute umana e per la protezione della vegetazione, soglia di informazione, obiettivi a lungo termine) (cfr. Tabella 2). L'allegato VI del decreto contiene i metodi di riferimento per la determinazione degli inquinanti.

L'Organizzazione Mondiale della Salute, OMS (WHO), inoltre ha emanato nel 2000 le linee guida per la qualità dell'aria in riferimento al: monossido di carbonio, particolato, ozono, biossido di azoto, biossido di zolfo, benzene, idrocarburi policiclici aromatici, metalli, idrogeno solforato, che nel 2021 sono state aggiornate per particolato, ozono, biossido di azoto e biossido di zolfo (cfr. Tabella 3).

Tabella 2: Limiti previsti dal D. Lgs.155/2010 per la qualità dell'aria

Inquinante	Valore Limite/Obiettivo	Periodo mediazione	di	Riferimento normativo D.L. 155/2010
Monossido di Carbonio (CO)	Valore limite protezione salute umana 10 mg/m ³	Max media giornaliera calcolata su 8 ore		Allegato XI
Biossido di Azoto (NO₂)	Valore limite protezione salute umana, da non superare più di 18 volte per anno civile 200 µg/m ³	1 ora		Allegato XI
	Valore limite protezione salute umana 40 µg/m ³	Anno civile		Allegato XI
	Soglia di allarme 400 µg/m ³	1 ora (rilevati su 3 ore consecutive)		Allegato XII
Biossido di Zolfo (SO₂)	Valore limite protezione salute umana da non superare più di 24 volte per anno civile 350 µg/m ³	1 ora		Allegato XI
	Valore limite protezione salute umana da non superare più di 3 volte per anno civile, 125 µg/m ³	24 ore		Allegato XI
	Soglia di allarme, 500 µg/m ³	1 ora (rilevati su 3 ore consecutive)		Allegato XII
Particolato Fine (PM₁₀)	Valore limite protezione salute umana, da non superare più di 35 volte per anno civile, 50 µg/m ³	24 ore		Allegato XI
	Valore limite protezione salute umana, 40 µg/m ³	Anno civile		Allegato XI
Particolato Fine (PM_{2,5}) - FASE I	Valore limite, da raggiungere entro il 1° gennaio 2015,	Anno civile		Allegato XI

Inquinante	Valore Limite/Obiettivo	Periodo mediazione	di Riferimento normativo D.L. 155/2010
	25 µg/m ³		
Particolato Fine (PM_{2.5}) - FASE II	Valore limite, da raggiungere entro il 1° gennaio 2020, valore indicativo, 20 µg/m ³	Anno civile	Allegato XI
Benzo(a)pirene (C₂₀H₁₂)	Valore obiettivo, 1ng/m ³	Anno civile	Allegato XIII
Piombo (Pb)	Valore limite, 0,5 µg/m ³	Anno civile	Allegato XI
Arsenico (Ar)	Valore obiettivo, 6,0 ng/m ³	Anno civile	Allegato XIII
Cadmio (Cd)	Valore obiettivo, 5,0 ng/m ³	Anno civile	Allegato XIII
Nichel (Ni)	Valore obiettivo, 20,0 ng/m ³	Anno civile	Allegato XIII
Livelli critici per la protezione della vegetazione			
Inquinante	Livello critico annuale (anno civile)	Livello critico invernale (1° ottobre – 31 marzo)	Riferimento normativo D.L. 155/2010
Biossido di Zolfo (SO₂)	20 µg/m ³	20 µg/m ³	Allegato XI
Ossidi di Azoto (NO_x)	30 µg/m ³	-----	Allegato XI

Tabella 3: Valori guida WHO-ed. 2021 a confronto con i limiti del D.Lgs. 155/2010 per gli stessi periodi di mediazione

	WHO Air quality guideline values, ed.2021	D.Lgs. 155/2010
Periodo di mediazione	SO₂	
1 giorno	40 µg/m ³ da non superare più di 3 volte per anno civile	125 µg/m ³ da non superare più di 3 volte per anno civile
10 minuti	500 µg/m ³	Nessun limite
Periodo di mediazione	NO₂	
Anno civile	10 µg/m ³	40 µg/m ³
1 ora	200 µg/m ³	200 µg/m ³ da non superare più di 18 volte per anno civile
1 giorno	25 µg/m ³ da non superare più di 3 volte per anno civile	Nessun limite
Periodo di mediazione	PM₁₀	
1 giorno da non superare più di 3 volte per anno civile	45 µg/m ³ da non superare più di 3 volte per anno civile	50 µg/m ³ da non superare più di 35 volte per anno civile
Anno civile	15 µg/m ³	40 µg/m ³
Periodo di mediazione	PM_{2.5}	
1 giorno	15 µg/m ³ da non superare più di 3 volte per anno civile	Nessun limite
Anno civile	5 µg/m ³	20 µg/m ³
Periodo di mediazione	O₃	
Max giornaliero della media mobile 8h	100 µg/m ³ da non superare più di 3 volte per anno civile	120 µg/m ³ da non superare più di 25 volte per anno civile come media su tre anni
Media su 6 mesi della Max giornaliero della media mobile 8h	60 µg/m ³	Nessun limite

	WHO Air quality guideline values, ed.2021	D.Lgs. 155/2010
Periodo di mediazione	CO	
1 giorno da non superare più di 3 volte per anno civile	4 mg/m ³	Nessun limite
Max giornaliero della media mobile 8h	10 mg/m ³	10 mg/m ³
1 ora	35 mg/m ³	Nessun limite
15 minuti	100 mg/m ³	nessuno
Periodo di mediazione	C₆H₆	
Anno civile		5 µg/m ³
Rischio unitario, <i>Indice di rischio/tempo di vita</i> (µg/m ³) ⁻¹	6x10 ⁻⁶	

L'Allegato VI del D.Lgs 155/2010 individua le caratteristiche ed i requisiti minimi degli analizzatori in continuo, che vengono riportati in Tabella 4.

Tabella 4: Caratteristiche e requisiti minimi degli analizzatori in continuo conformemente a quanto previsto dall'Allegato VI del D.Lgs 155/2010

ANALIZZATORE	METODO DI RIFERIMENTO	PRINCIPIO CHIMICO-FISICO DI MISURA	REQUISITI DI PRESTAZIONE	SISTEMA DI VERIFICA CALIBRAZIONE INTEGRATO
Analizzatore ossidi di azoto (NO/NO₂)	Allegato VI, sezione A, punto 2 del D.Lgs. 155/2010 Norma UNI EN 14212:2012 "Metodo normalizzato per la misura della concentrazione di ossidi di azoto mediante chemiluminescenza"	Chemiluminescenza	Norma UNI EN 14211:2012	Tubo a permeazione certificato NO ₂ o bombola ad alta concentrazione certificata per gli strumenti dotati di diluatore a tecnica GPT
Analizzatore biossido di zolfo (SO₂)	Allegato VI, sezione A, punto 1 del D.Lgs. 155/2010 Norma UNI EN 14212:2012 "Metodo normalizzato per la misura della concentrazione di biossido di zolfo mediante fluorescenza ultravioletta"	Fluorescenza UV	Norma UNI EN 14212:2012	Tubo a permeazione certificato - SO ₂
Analizzatore monossido di carbonio (CO)	Allegato VI, sezione A, punto 7 del D.Lgs. 155/2010 Norma UNI EN 14626:2012 "Metodo normalizzato per la misurazione della concentrazione di monossido di carbonio mediante spettroscopia a raggi infrarossi non dispersiva"	Assorbimento IR	Norma UNI EN 14626:2012	Bombola a bassa concentrazione di CO certificata

ANALIZZATORE	METODO DI RIFERIMENTO	PRINCIPIO CHIMICO-FISICO DI MISURA	REQUISITI DI PRESTAZIONE	SISTEMA DI VERIFICA CALIBRAZIONE INTEGRATO
Analizzatore particolato fine PM10	Allegato VI, sezione A, punto 4 del D.Lgs. 155/2010 Norma UNI EN 12341:2014 Metodo gravimetrico di riferimento per la determinazione della concentrazione in massa di particolato sospeso PM10 o PM2,5" o metodo equivalente per decadimento di radiazione β ^[1]	Gravimetria o decadimento radiazione β (per il metodo equivalente)	Norma UNI EN 12341:2014	Verifica strumentale dei parametri di funzionamento su ogni filtro campionato
Analizzatore particolato fine PM2,5	Allegato VI, sezione A, punto 4 del D.Lgs. 155/2010 Norma UNI EN 12341:2014 Metodo gravimetrico di riferimento per la determinazione della concentrazione in massa di particolato sospeso PM10 o PM2,5" o metodo equivalente per decadimento di radiazione β ^[1]	Gravimetria o decadimento radiazione β (per il metodo equivalente)	Norma UNI EN 12341:2014	Verifica strumentale dei parametri di funzionamento su ogni filtro campionato

Conformemente a quanto previsto dall'art. 17 del D.Lgs. 155/2010, dal D.M. 30/03/2017 e dalle linee guida SNPA¹, ARPA Sicilia ha predisposto una procedura per le attività di assicurazione/controllo di qualità (QA/QC) per ciascun analizzatore in continuo di inquinanti gassosi normati e per gli analizzatori in continuo del particolato PM10 e PM2,5. Le attività previste nelle relative PO degli inquinanti monitorati vengono applicate dal 2018.

¹ Linee Guida SNPA 108/2014 "Linee Guida per le attività di assicurazione/controllo di qualità (QA/QC) per le reti di monitoraggio per la qualità dell'aria ambiente ai sensi del D.Lgs. 155/2010 come modificato dal D.Lgs. 250/2012"

Linee Guida SNPA 19/2018 "Procedure Operative per l'applicazione e l'esecuzione dei controlli QA/QC per le reti di monitoraggio della qualità dell'aria".

Linee Guida SNPA 37/2021 "Procedure Operative per l'applicazione e l'esecuzione dei controlli QA/QC per le reti di monitoraggio della qualità dell'aria – Vol.2".

3 VALUTAZIONE DELLA QUALITA' DELL'ARIA

3.1 STAZIONE DI ISOLA DELLE FEMMINE

Biossido di zolfo (SO₂)

Dall'analisi dei dati del 2023 si evidenzia che:

- la percentuale dei dati validi per il periodo osservato è stata pari al 87% e pertanto è stato raggiunto l'obiettivo di qualità dei dati per le misurazioni in continuo (valore minimo pari al 90% che, decurtato dei dati che è possibile perdere per tarature e manutenzioni preventive, diventa pari all'86%);
- la concentrazione media annua è stata pari a 7 µg/m³;
- il valore limite su 1 ora (350 µg/m³) non è stato mai raggiunto e la concentrazione massima oraria registrata è stata pari a 71 µg/m³.
- Il valore limite giornaliero (125 µg/m³) non è stato mai raggiunto.

Dall'andamento della concentrazione media oraria di biossido di zolfo registrata nel 2023 (cfr. Figura 2) si evidenziano isolati picchi di concentrazione.

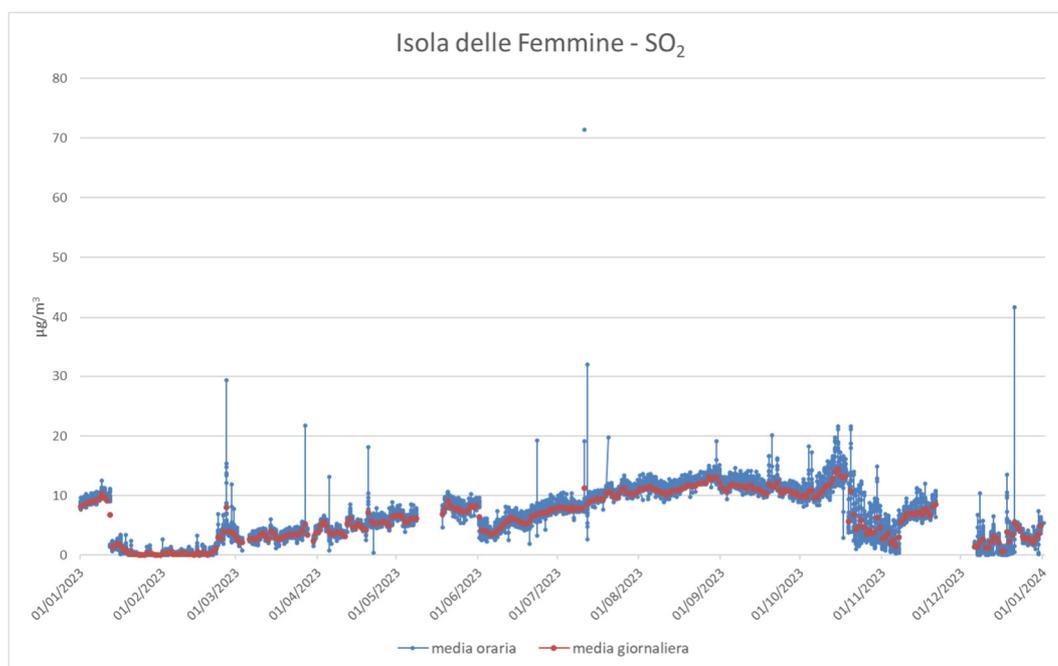


Figura 2: Concentrazione media oraria e giornaliera di SO₂ registrata nel 2023 nella stazione di Isola delle Femmine

Confrontando le concentrazioni rilevate nel 2023 con l'anno precedente (cfr. Figura 3) si nota che nell'ultimo anno si sono verificati un numero ridotto di picchi di concentrazione.

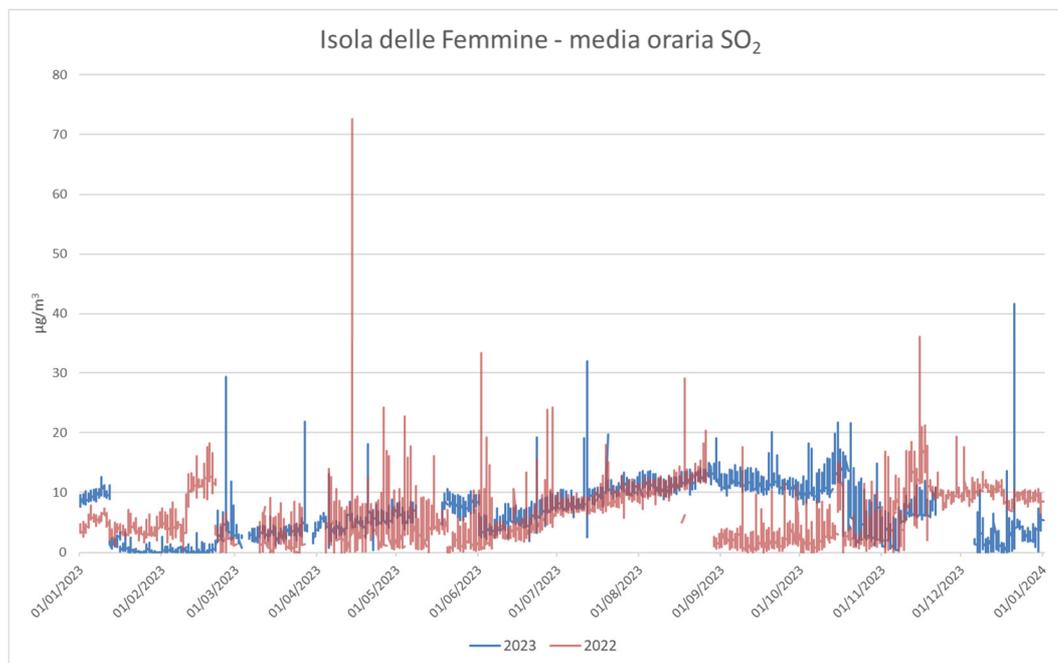


Figura 3: Confronto con anno precedente della concentrazione media oraria di SO₂ nella stazione di Isola delle Femmine

Biossido di Azoto NO₂

Dall'analisi dei dati del 2023 si evidenzia che:

- la percentuale dei dati validi per il periodo osservato è stata pari al 91% pertanto è stato raggiunto l'obiettivo di qualità dei dati per le misurazioni in continuo (valore minimo 90% che, decurtato dei dati che è possibile perdere per tarature e manutenzioni preventive, diventa pari all'86%);
- la concentrazione media annua è stata pari a 23µg/m³, inferiore al valore limite annuo previsto dalla normativa nazionale ma superiore al valore guida OMS (10µg/m³);
- il valore limite su 1 ora (200 µg/m³) non è stato mai raggiunto e la concentrazione massima oraria è stata pari a 104µg/m³.

In Figura 4 si rappresenta l'andamento della concentrazione media oraria e giornaliera registrate nel 2023 nella stazione di Isola delle Femmine. Si nota durante il periodo estivo un abbassamento della concentrazione e una variabilità ridotta.

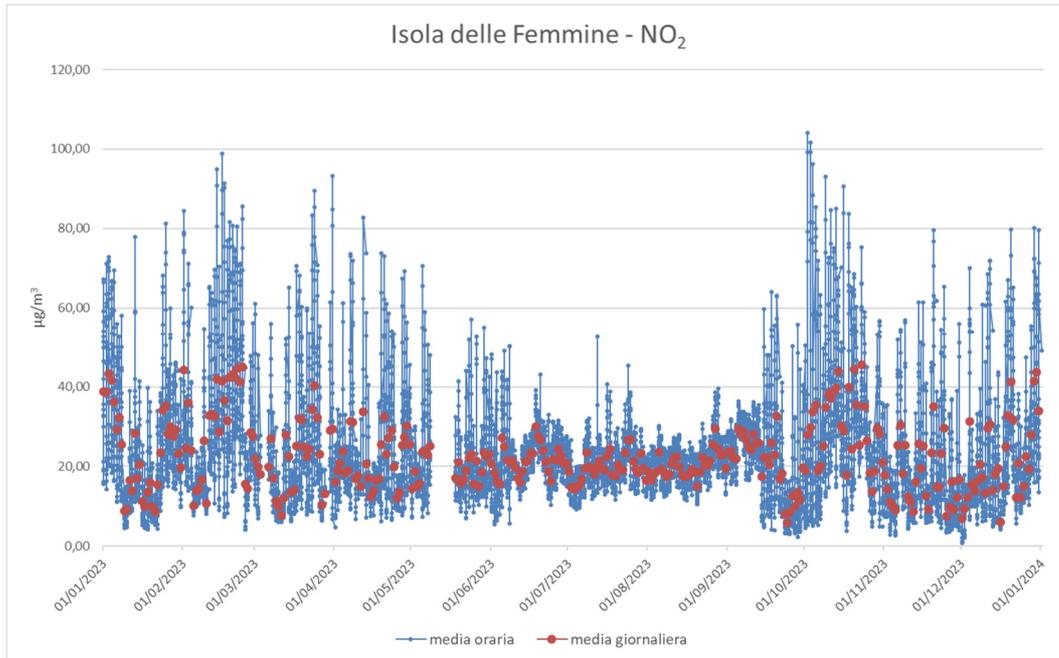


Figura 4: Concentrazione media oraria e giornaliera di NO₂ registrata nel 2023 nella stazione di Isola delle Femmine

Confrontando le concentrazioni rilevate nel 2023 con l'anno precedente (cfr. Figura 5) si evidenzia che la ridotta variabilità del periodo estivo non era presente nel 2022.

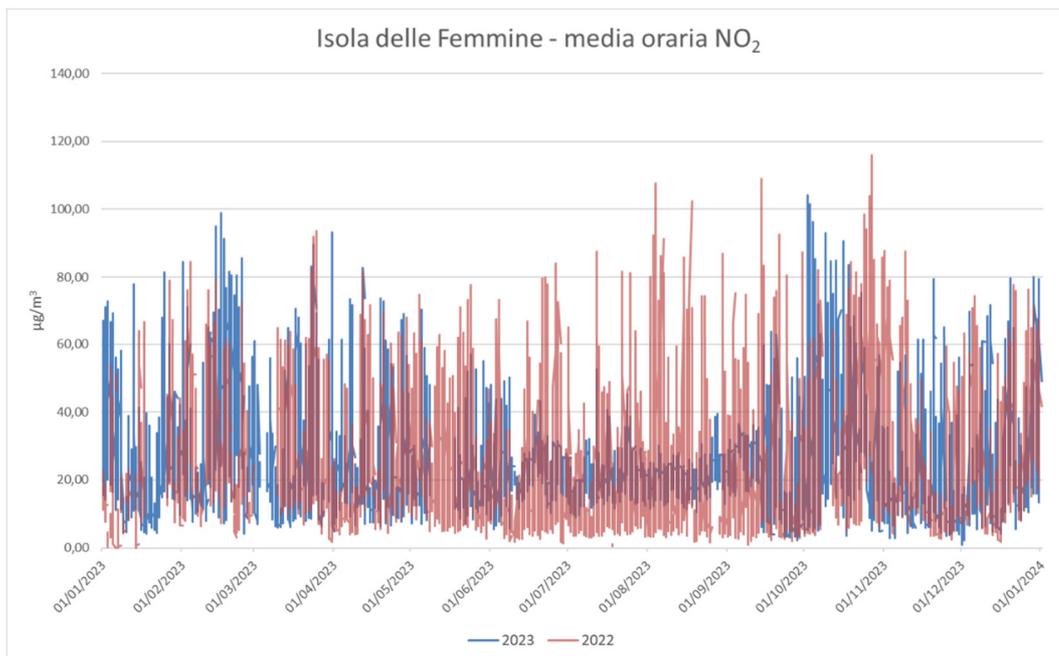


Figura 5: Confronto con anno precedente della concentrazione media oraria di NO₂ nella stazione di Isola delle Femmine

Monossido di carbonio CO

Dall'analisi dei dati del 2023 si osserva che non è stato mai raggiunto il valore limite di 10 mg/m^3 , come media giornaliera calcolata su 8 ore, (vedi Figura 4) ed inoltre:

- la percentuale dei dati validi per il periodo osservato è stata pari al 91%, pertanto è stato raggiunto l'obiettivo di qualità dei dati per le misurazioni in continuo (valore minimo 90% che, decurtato dei dati che è possibile perdere per tarature e manutenzioni preventive, diventa pari all' 86%);
- la concentrazione media annua è stata pari a $0,45 \text{ mg/m}^3$ e la media massima annuale (calcolata sui valori massimi giornalieri delle medie di 8 ore) è stata pari a $1,98 \text{ mg/m}^3$.

In Figura 6 si rappresenta l'andamento delle concentrazioni medie mobili su 8 ore e delle concentrazioni orarie, registrate nel 2023, nella stazione di Isola delle Femmine. Si osservano dei picchi a febbraio e a ottobre.

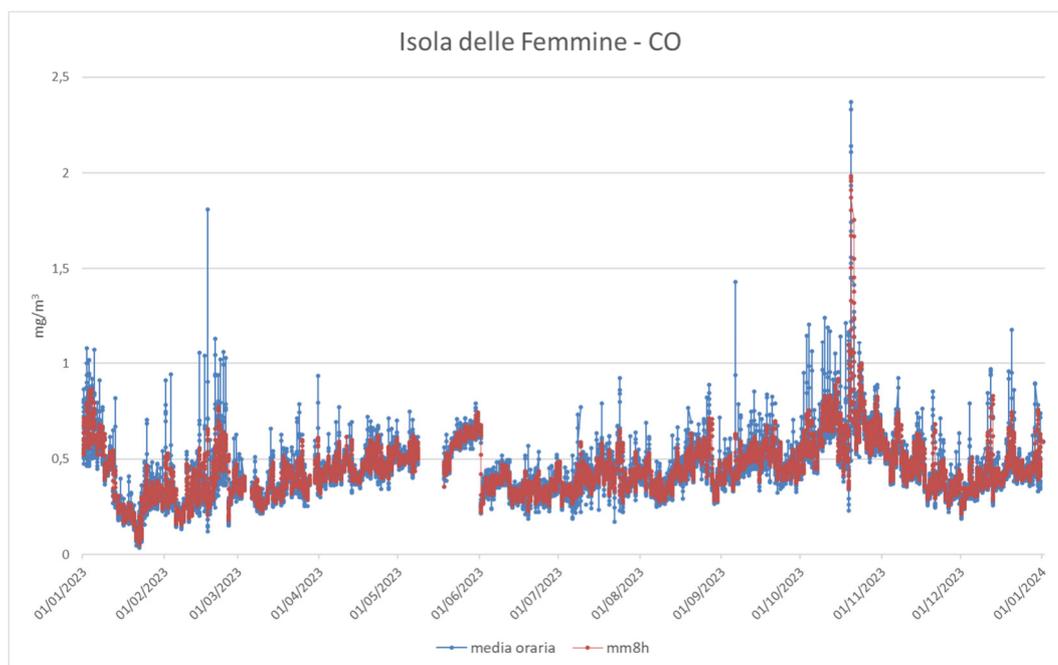


Figura 6: Concentrazione mobile su 8h, concentrazione oraria di CO registrata nel 2023 nella stazione di Isola delle Femmine

Confrontando le concentrazioni rilevate nel 2023 con l'anno precedente (cfr. Figura 7) si nota un andamento sovrapponibile a quello del 2022.

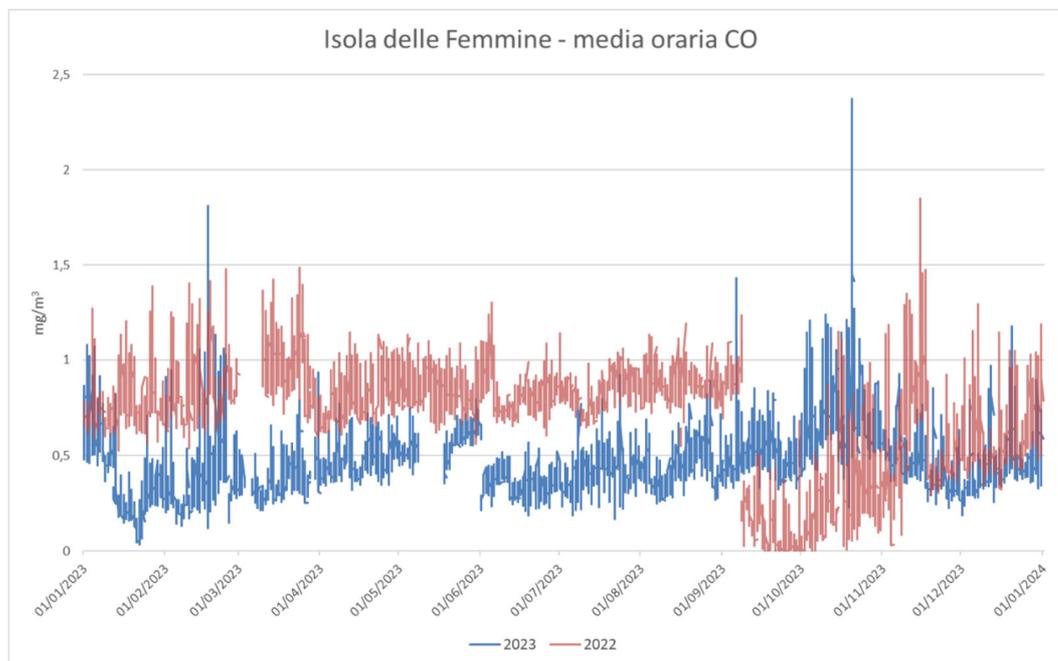


Figura 7: Confronto con anno precedente della concentrazione media oraria di CO nella stazione di Isola delle Femmine

Particolato fine PM10, PM2,5

Dall'analisi dei dati del 2023 si osserva che:

- la percentuale dei dati validi per il PM10 e il PM2,5 è stata pari al 84%, l'obiettivo di qualità dei dati per le misurazioni in continuo non è stato dunque raggiunto (valore minimo 90% che, decurtato dei dati che è possibile perdere per tarature e manutenzioni preventive, diventa pari all' 86%);
- per il PM10 la media annuale è stata pari a $27\mu\text{g}/\text{m}^3$, inferiore al limite annuale fissato dalla normativa nazionale ($40\mu\text{g}/\text{m}^3$) ma superiore al valore guida OMS ($15\mu\text{g}/\text{m}^3$);
- sono stati registrati 15 superamenti del valore limite giornaliero, pari a $50\mu\text{g}/\text{m}^3$, la conformità al D.Lgs. 155/2010 è stata dunque rispettata, poiché secondo la normativa nazionale sono ammissibili fino a n.35 superamenti annui;
- per il PM2.5 la concentrazione media annua è stata pari a $12\mu\text{g}/\text{m}^3$, inferiore al limite, pari a $20\mu\text{g}/\text{m}^3$, ma superiore al valore guida OMS pari a $5\mu\text{g}/\text{m}^3$. Il valore guida OMS sulla concentrazione media giornaliera pari a $15\mu\text{g}/\text{m}^3$ è stato superato 64 volte, quindi per un numero superiore a quello ammesso dalle linee guida (n.3).

In Figura 8 si rappresenta l'andamento delle concentrazioni medie giornaliere di PM10 e PM2.5, registrate nel 2023, nella stazione di Isola delle Femmine. Si osserva che i superamenti del valore limite e del valore guida si distribuiscono durante tutto l'anno.

Confrontando le concentrazioni rilevate nel 2023 con l'anno precedente (cfr. Figura 9) non si notano particolari differenze.

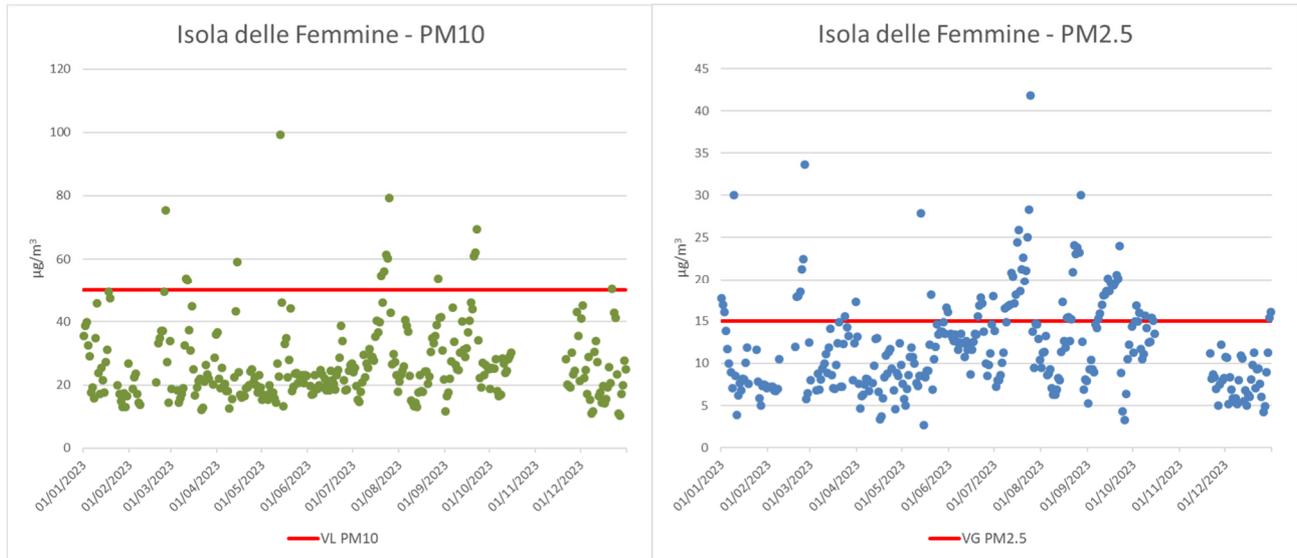


Figura 8: Concentrazione media giornaliera di PM10 e PM2,5 registrate nel 2023 nella stazione di Isola delle Femmine

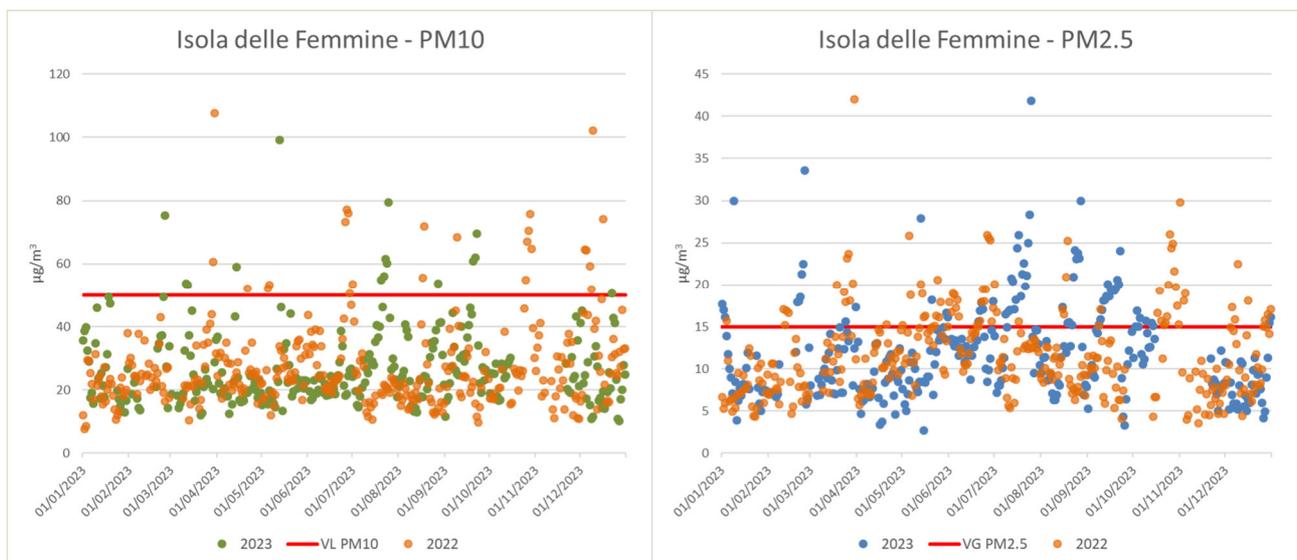


Figura 9: Confronto con anno precedente della concentrazione media giornaliera di PM10 e PM2,5 nella stazione di Isola delle Femmine

Benzo(a)pirene e Metalli

Sul particolato (PM10) sono state effettuate le determinazioni di metalli e degli idrocarburi policiclici aromatici (IPA).

I filtri campionati dal 01 gennaio al 31 dicembre sono stati:

- 269 su 365 totali per i metalli con una copertura pari al 74%, superiore rispetto a quella prevista dal D.Lgs. 155/2010 per il nichel, cadmio e arsenico (50%), ma inferiore rispetto a quella prevista per il piombo (90%);
- 104 su 365 per Benzo(a)pirene con una copertura pari al 28%, inferiore a quella prevista dal D.Lgs. 155/2010 (33%).

Nel corso del 2023 si sono verificati tre lunghi periodi di fermo strumentale che hanno comportato l'impossibilità di analizzare i filtri campionati: il primo dal 20 gennaio al 18 febbraio causato da malfunzionamento del campionatore con espulsione casuale dei filtri e anomalia del sistema di alimentazione elettrica; il secondo dall'8 al 15 maggio causato da malfunzionamento dell'acquisitore di cabina; il terzo dal 15 ottobre al 20 novembre dovuto a problemi sulle pompe di campionamento e avaria della pompa di calore. Diversamente dai primi due fermi, questa terza interruzione ha comportato anche la perdita di dati, a causa del non tempestivo intervento risolutivo da parte della ditta di manutenzione.

Dall'analisi dei dati non si osservano superamenti dei valori limite né per nichel, cadmio, arsenico, piombo né per benzo(a)pirene.

Le concentrazioni medie annue dei metalli determinati nel particolato vengono di seguito riportate in Tabella 5:

Tabella 5: Concentrazioni medie annue metalli nella stazione di Isola delle Femmine

Metalli:	Concentrazione annua, ng/m³	Valore limite/obiettivo, ng/m³
Piombo	3,9	500
Cadmio	0,5	5
Arsenico	0,5	6
Nichel	0,8	20
Vanadio	1,5	-
Cromo	0,9	-

Si rappresentano in Figura 10 gli andamenti delle concentrazioni giornaliere dei metalli determinati sulla frazione delle polveri PM₁₀, ad eccezione di arsenico e cadmio le cui concentrazioni sono state sempre al di sotto del limite di quantificazione pari a 1ng/m³.

Si evidenziano concentrazioni più elevate per il nichel nel mese di febbraio, mentre per il resto dell'anno le concentrazioni registrate sono inferiori a 1ng/m³. Per il piombo le concentrazioni sono più altalenanti, seppur ben al di sotto del valore limite. Per quanto concerne il vanadio e il cromo, che non hanno riferimenti normativi in materia di qualità dell'aria, le concentrazioni non hanno registrato rilevanti variazioni durante l'anno, ma un picco di 8,4ng/m³ il 21 Luglio per il vanadio e concentrazioni più elevate nel mese di gennaio per il cromo.



Figura 10: Concentrazione giornaliera dei metalli nel 2023 nella stazione di Isola delle Femmine

Si rappresenta in Figura 11 l'andamento delle concentrazioni giornaliere del Benzo(a)pirene determinate sulla frazione delle polveri PM10.

Per il Benzo(a)pirene la concentrazione media annua è stata pari $0,06\text{ng/m}^3$, inferiore al valore limite (1 ng/m^3). Oltre al benzo(a)pirene, che è l'unico tra gli idrocarburi policiclici aromatici (IPA) normato dal D.Lgs. 155/2010, sono stati determinati altri 14 IPA (Antracene, Benzo(a)antracene, Benzo(b)fluorantene, Benzo(e)pirene, Benzo(g,h,i)perilene, Benzo(j)fluorantene, Benzo(k)fluorantene, Chrisene, DiBenzo(a,h)antracene, Fenantrene, Fluorantene, Indeno(1,2,3-cd)pirene, Perilene, Pyrene) le cui concentrazioni medie annue sono state pari o inferiori a $0,1\text{ng/m}^3$.

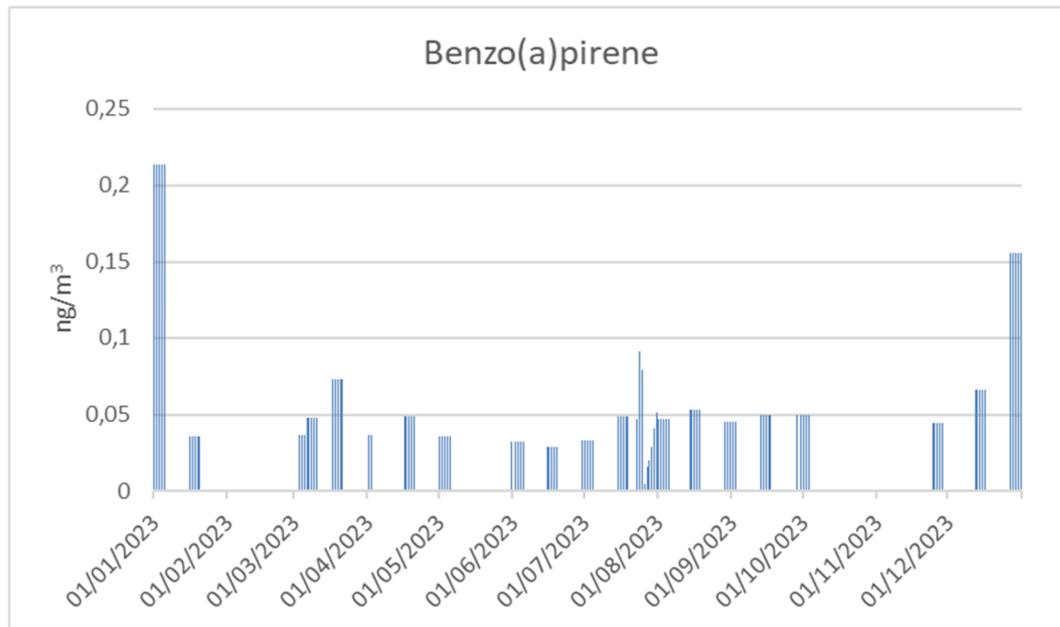


Figura 11: Concentrazione giornaliera del benzo(a)pirene nel 2023 nella stazione di Isola delle Femmine

3.2 STAZIONE DI CAPACI

Biossido di zolfo (SO₂)

Dall'analisi dei dati del 2023 si osserva che:

- la percentuale dei dati validi per il periodo osservato è stata pari al 87%, pertanto è stato raggiunto l'obiettivo di qualità dei dati per le misurazioni in continuo (valore minimo 90% che, decurtato dei dati che è possibile perdere per tarature e manutenzioni preventive, diventa pari all' 86%);
- la concentrazione media annua è stata pari a 5µg/m³;
- il valore limite su 1 ora (350 µg/m³) non è stato mai raggiunto e la concentrazione massima oraria registrata è stata 259µg/m³;
- Il valore limite giornaliero (125 µg/m³) non è stato mai raggiunto.

Dall'andamento della concentrazione media oraria di biossido di zolfo registrata nel 2023 (cfr. Figura 12) si evidenziano isolati picchi di concentrazione.

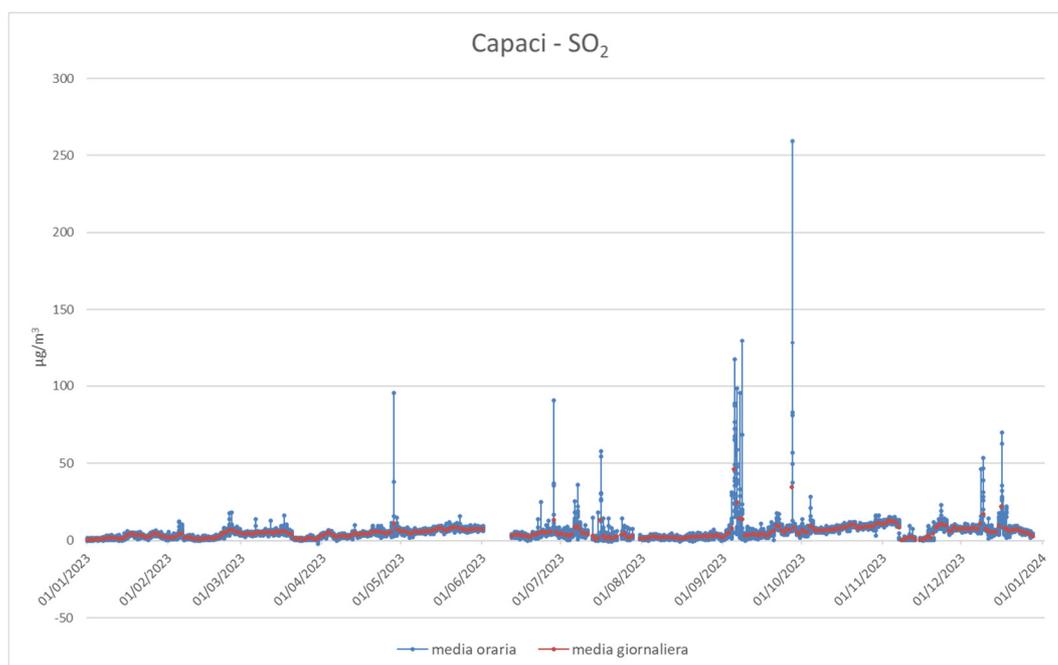


Figura 12: Concentrazione media oraria di SO₂ registrate nel 2023 nella stazione di Capaci

Confrontando le concentrazioni rilevate nel 2023 con l'anno precedente (cfr. Figura 13) si nota che rispetto al 2022, nell'ultimo anno ci sono numerosi picchi nel mese di settembre.

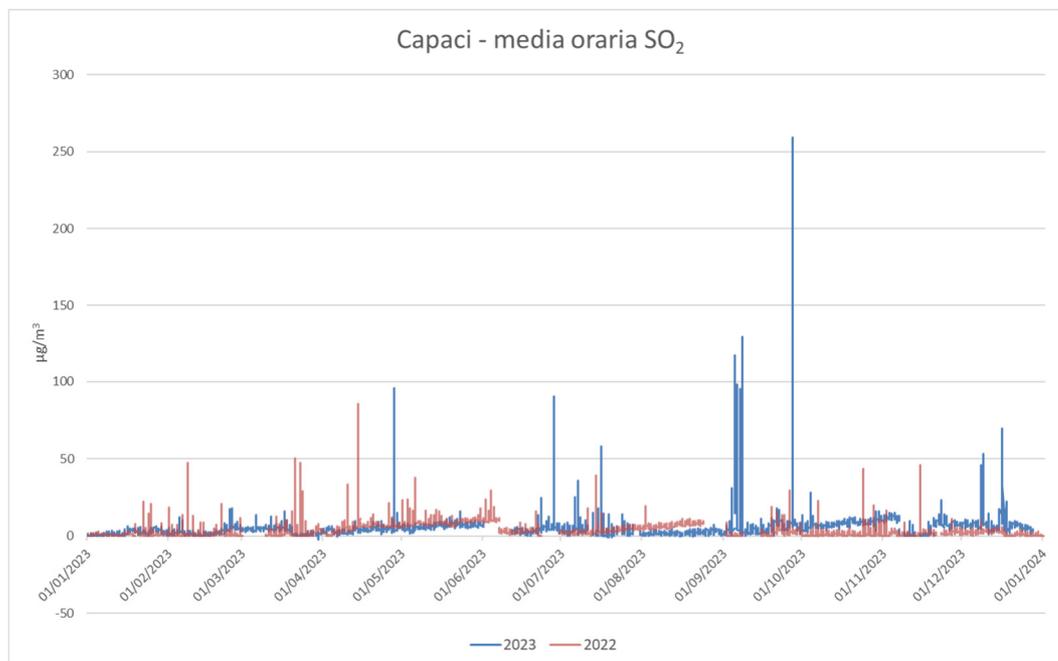


Figura 13: Confronto con anno precedente della concentrazione media oraria di SO₂ nella stazione di Capaci

Biossido di Azoto NO₂

Dall'analisi dei dati del 2023 si osserva che:

- la percentuale dei dati validi per il periodo osservato è stata pari al 95%, pertanto è stato raggiunto l'obiettivo di qualità dei dati per le misurazioni in continuo (valore minimo 90% che decurtato dei dati che è possibile perdere per tarature e manutenzioni preventive diventa pari all' 86%);
- la concentrazione media annua è stata pari a 25µg/m³, inferiore al valore limite annuo previsto dalla normativa nazionale, ma superiore al valore guida OMS (10 µg/m³);
- il valore limite su 1 ora (200 µg/m³) non è stato mai raggiunto; la massima concentrazione oraria è stata 112 µg/m³.

In Figura 14 si rappresenta l'andamento della concentrazione media oraria e giornaliera registrate nel 2023 nella stazione di Capaci.

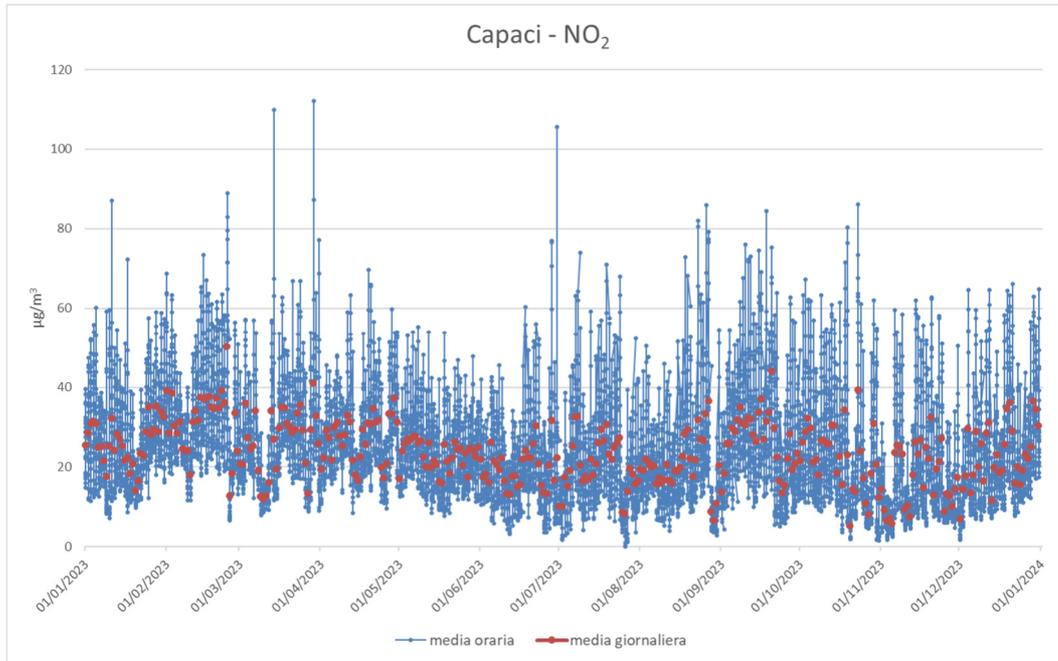


Figura 14: Concentrazione media oraria e giornaliera di NO₂ registrata nel 2023 nella stazione di Capaci

Confrontando le concentrazioni rilevate nel 2023 con l'anno precedente (cfr. Figura 15) non si notano particolari differenze.

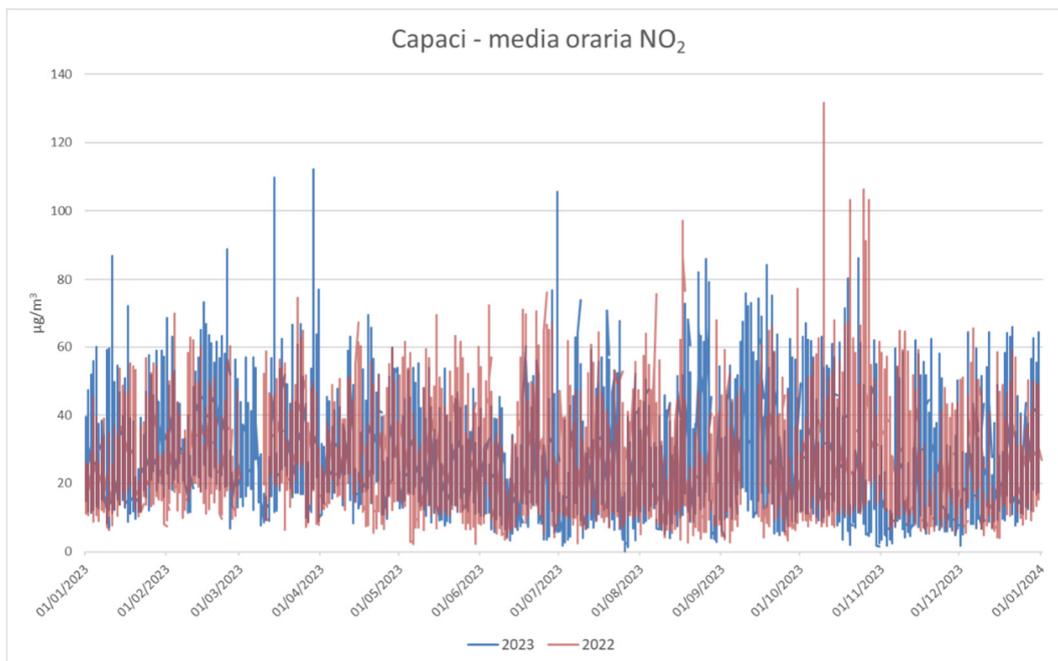


Figura 15: Confronto con anno precedente della concentrazione media oraria di NO₂ nella stazione di Capaci

Monossido di carbonio CO

Dall'analisi dei dati del 2023 si osserva che non è stato mai raggiunto il valore limite di 10 mg/m^3 , come media giornaliera calcolata su 8 ore, (vedi Figura 8) ed inoltre:

- la percentuale dei dati validi per il periodo osservato è stata pari al 94%, pertanto è stato raggiunto l'obiettivo di qualità dei dati per le misurazioni in continuo (valore minimo 90% che, decurtato dei dati che è possibile perdere per tarature e manutenzioni preventive, diventa pari all' 86%);
- il valore medio annuale (calcolato sulle medie di 8 ore) è stato pari a $0,5 \text{ mg/m}^3$, mentre la media massima annuale (calcolata sui valori massimi delle medie di 8 ore) è stata pari a $1,38 \text{ mg/m}^3$.

In Figura 16 si rappresenta l'andamento delle concentrazioni medie mobili su 8 ore e delle concentrazioni orarie, registrate nel 2023, nella stazione di Capaci.

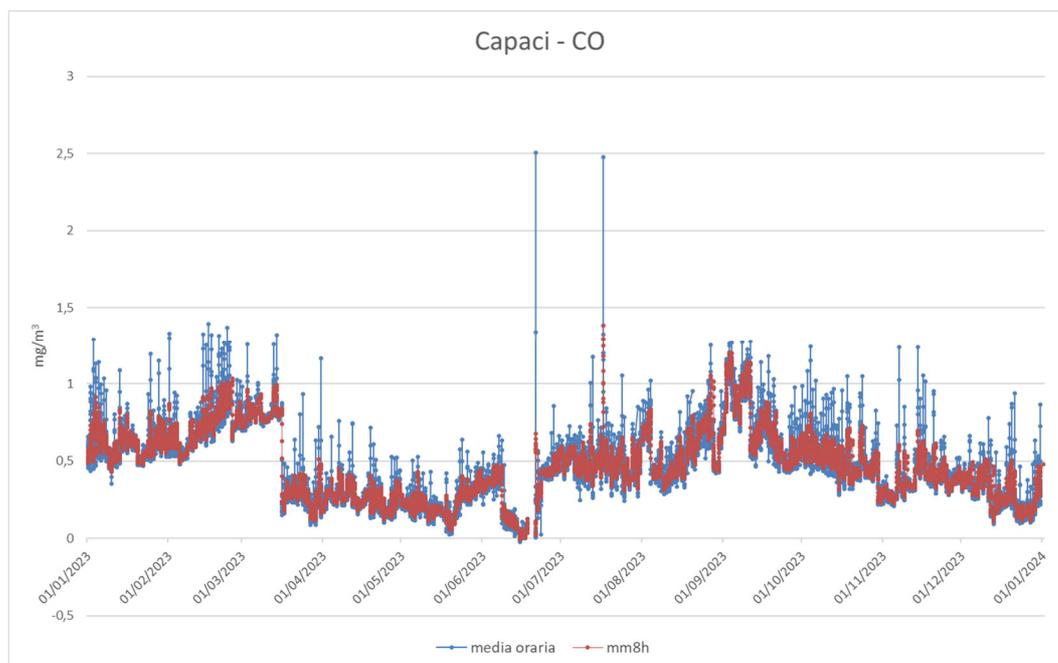


Figura 16 Concentrazione su 8h, concentrazione oraria di CO registrata nel 2023 nella stazione di Capaci

In Figura 17 il confronto tra le concentrazioni rilevate nel 2023 con l'anno precedente.

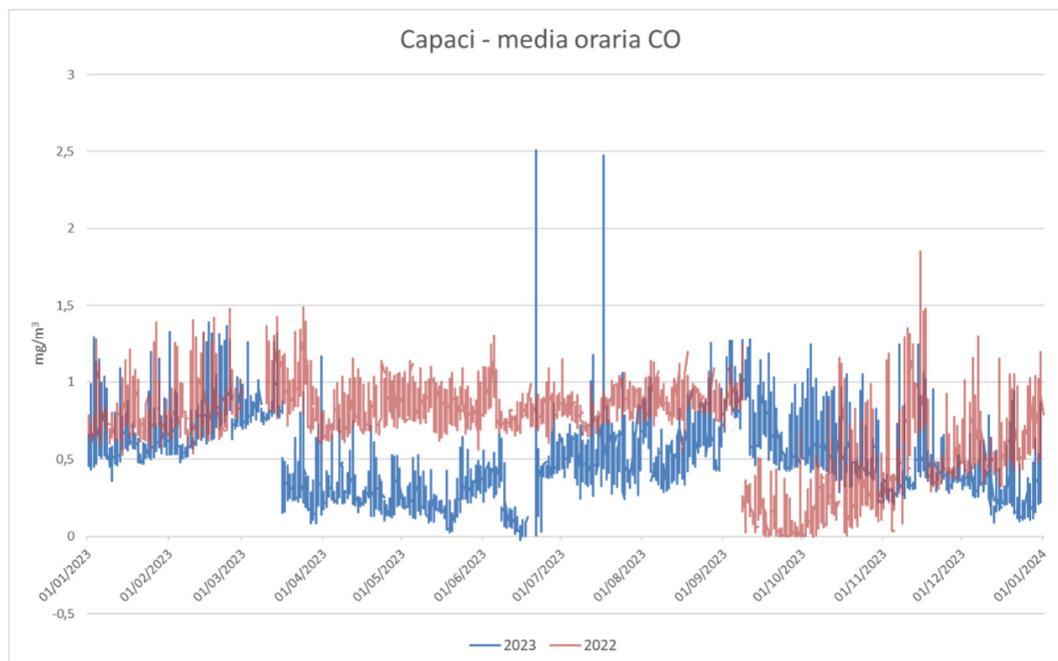


Figura 17: Confronto con anno precedente della concentrazione media oraria di CO nella stazione di Capaci

Particolato fine PM10, PM2,5

Dall'analisi dei dati del 2023 si osserva che:

- la percentuale dei dati validi per il PM10 e il PM2,5 è stata pari al 94%, l'obiettivo di qualità dei dati per le misurazioni in continuo è stato dunque raggiunto;
- per il PM10 la media annuale è stata pari a $26\mu\text{g}/\text{m}^3$, inferiore dunque al limite annuale fissato dalla normativa nazionale ($40\mu\text{g}/\text{m}^3$) ma superiore al valore guida OMS ($15\mu\text{g}/\text{m}^3$);
- sono stati registrati 21 superamenti del valore limite giornaliero pari a $50\mu\text{g}/\text{m}^3$; la conformità al D.Lgs. 155/2010 è stata dunque rispettata poiché secondo la normativa nazionale sono ammissibili fino a n.35 superamenti annui;
- per il PM2,5 la media annuale è stata pari a $11\mu\text{g}/\text{m}^3$, inferiore al limite relativo alla fase II pari a $20\mu\text{g}/\text{m}^3$ ma superiore al valore guida OMS pari a $5\mu\text{g}/\text{m}^3$. Il valore guida OMS sulla concentrazione media giornaliera pari a $15\mu\text{g}/\text{m}^3$ è stato superato 66 volte, quindi per un numero superiore a quello ammesso dalle linee guida (n.3).

In Figura 18 si rappresenta l'andamento delle concentrazioni medie giornaliere delle due frazioni del particolato fine PM10 e PM2,5, registrate nel 2023 nella stazione di Capaci. Si osserva che i superamenti del valore limite e del valore guida si distribuiscono durante

tutto l'anno. Confrontando le concentrazioni rilevate nel 2023 con l'anno precedente (cfr. Figura 19) non si notano particolari differenze.

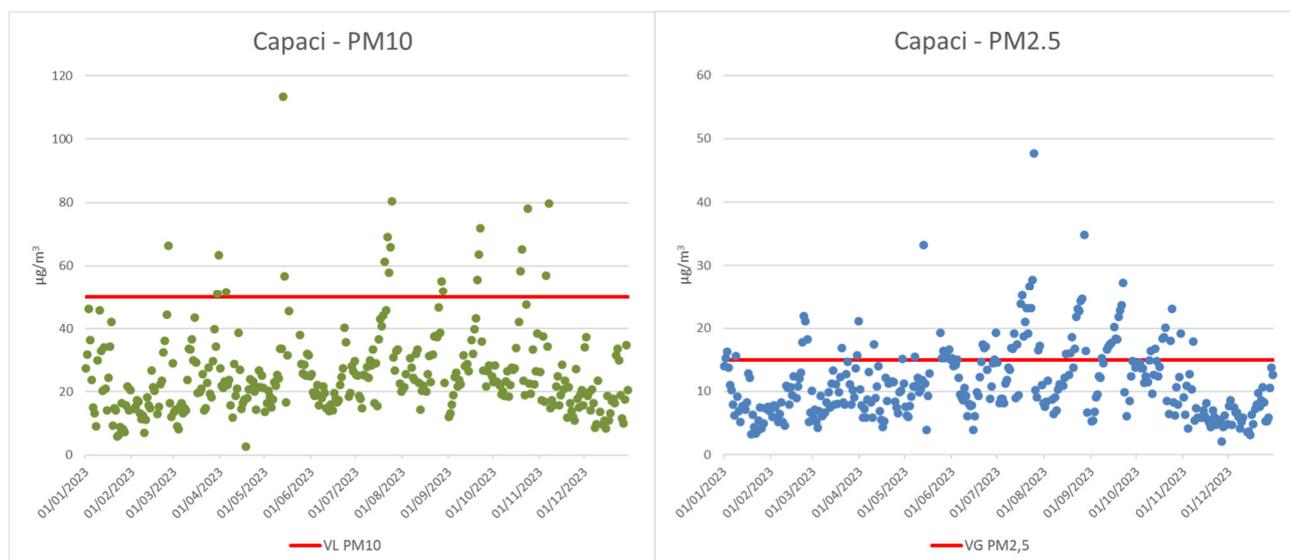


Figura 18: Concentrazione media giornaliera di PM10 e PM2.5 registrate nel 2023 nella stazione di Capaci

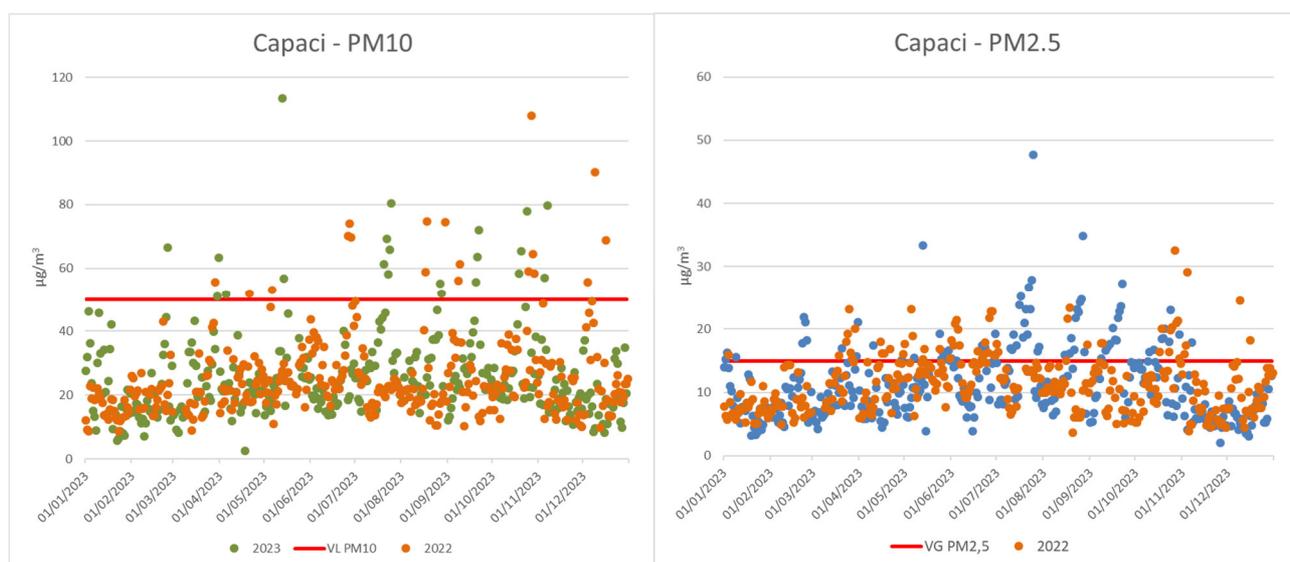


Figura 19: Confronto con anno precedente della concentrazione media giornaliera di PM10 e PM2,5 nella stazione di Capaci

Benzo(a)pirene e Metalli

Sul particolato (PM10) sono state effettuate le determinazioni di metalli e degli idrocarburi policiclici aromatici (IPA).

I filtri campionati dal 01 gennaio al 31 dicembre sono stati:

- 323 per metalli con una copertura pari al 88%, superiore rispetto a quella prevista dal D.Lgs. 155/2010 per il nichel, cadmio e arsenico (50%), ma inferiore rispetto a quella prevista per il piombo (90%);
- 124 per Benzo(a)pirene con una copertura pari al 34%, superiore rispetto a quella prevista dal D.Lgs. 155/2010 (33%);

Dall'analisi dei dati non si osservano superamenti dei valori limite né per il nichel, arsenico, cadmio, piombo né per il benzo(a)pirene.

Le concentrazioni medie annue dei metalli determinate nel particolato vengono di seguito riportate:

Tabella 6: Concentrazioni medie annue metalli nella stazione di Capaci

Metalli:	Concentrazione annua, ng/m³	Valore limite/obiettivo, ng/m³
Piombo	3,7	500
Cadmio	0,5	5
Arsenico	0,5	6
Nichel	0,8	20
Vanadio	0,9	-
Cromo	1,4	-

Si rappresentano in Figura 20 gli andamenti delle concentrazioni giornaliere dei metalli determinati sulla frazione delle polveri PM₁₀, ad eccezione di arsenico e cadmio le cui concentrazioni sono state sempre al di sotto del limite di quantificazione pari a 1ng/m³.

Non si riscontrano particolari pattern o anomalie nell'andamento delle concentrazioni giornaliere di nichel e piombo. Per quanto concerne il vanadio e il cromo, che non hanno riferimenti normativi in materia di qualità dell'aria, le concentrazioni non hanno registrato rilevanti variazioni durante l'anno ma solo un lieve incremento nella stagione estiva per il vanadio e una stabilizzazione intorno a 0,5ng/m³ da settembre in poi per il cromo.



Figura 20: Concentrazione giornaliera dei metalli nel 2023 nella stazione di Capaci

Si rappresenta in Figura 21 l'andamento delle concentrazioni giornaliere del Benzo(a)pirene determinati sulla frazione delle polveri PM10.

Per il Benzo(a)pirene la concentrazione media annua è stata pari $0,1\text{ng/m}^3$, inferiore al valore limite (1 ng/m^3). Oltre al benzo(a)pirene, che è l'unico IPA normato dal D.Lgs. 155/2010, sono stati determinati altri 14 idrocarburi policiclici aromatici (Antracene, Benzo(a)antracene, Benzo(b)fluorantene, Benzo(e)pirene, Benzo(g,h,i)perilene, Benzo(j)fluorantene, Benzo(k)fluorantene, Chrisene, DiBenzo(a,h)antracene, Fenantrene, Fluorantene, Indeno(1,2,3-cd)pirene, Perilene, Pyrene) le cui concentrazioni medie annue sono state pari o inferiori a $0,2\text{ng/m}^3$.

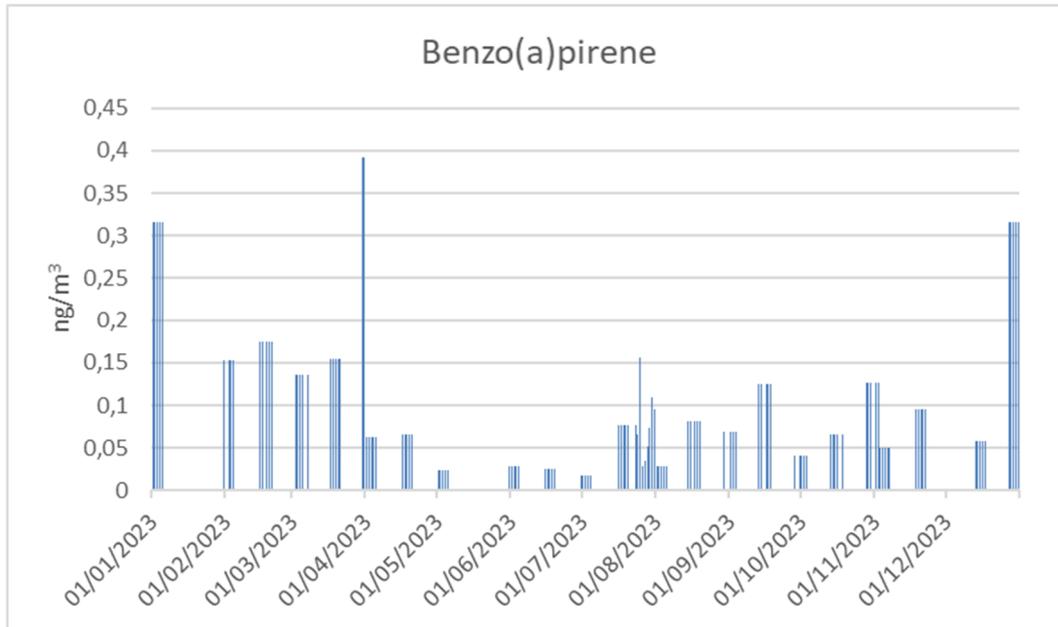


Figura 21: Concentrazione giornaliera del benzo(a)pirene nel 2023 nella stazione di Capaci

4 VALUTAZIONI COMPARATIVE E STATISTICHE

In questa sezione vengono riportate le valutazioni statistiche sui dati di concentrazione registrati nelle stazioni ITALCEMENTI di Isola delle Femmine e Capaci degli inquinanti normati, già valutati per ciascuna stazione in termine di rispetto dei valori limiti. L'analisi statistica viene rappresentata attraverso dei box plot o grafico a scatola. Si riportano inoltre i grafici di confronto con gli andamenti delle concentrazioni medie orarie registrate nelle due stazioni e il trend rispetto agli anni precedenti. Il confronto con altre stazioni di fondo urbano, quali PA-UNIPA, Partinico e Trapani, rispettivamente dell'agglomerato di Palermo, delle Aree Industriali e della Zona Atro, e la stazione di fondo suburbano PA-Boccadifalco dell'agglomerato di Palermo, è stato effettuato mediante l'applicazione del test statistico di Kruskal-Wallis e il test post hoc di Dunn.

4.1 BOX PLOT

Il box-plot rappresenta la tendenza centrale, la variabilità e la forma di una data distribuzione. Dal punto di vista operativo, i fondamenti su cui si basa la rappresentazione di un box-plot sono:

- $Q0 = \min(x_i)$
- $Q1 = 1^\circ$ quartile
- $Q2 =$ mediana o 2° quartile
- $Q3 = 3^\circ$ quartile;
- $Q4 = \max(x_i)$
- $IQR = Q3 - Q1 =$ campo di variazione interquartile

Dal punto di vista grafico, invece, gli elementi che caratterizzano un box-plot sono:

- una linea orizzontale interna al box che individua il valore dell'indice di posizione (media o mediana);
- un rettangolo la cui altezza misura la variabilità della distribuzione del carattere intorno ad una media. Di solito contiene il 50% centrale della distribuzione (dal 1° al 3° quartile);
- due segmenti (i baffi) che individuano gli intervalli in cui sono posizionati i valori rispettivamente minori di $Q1$ e maggiori di $Q3$.

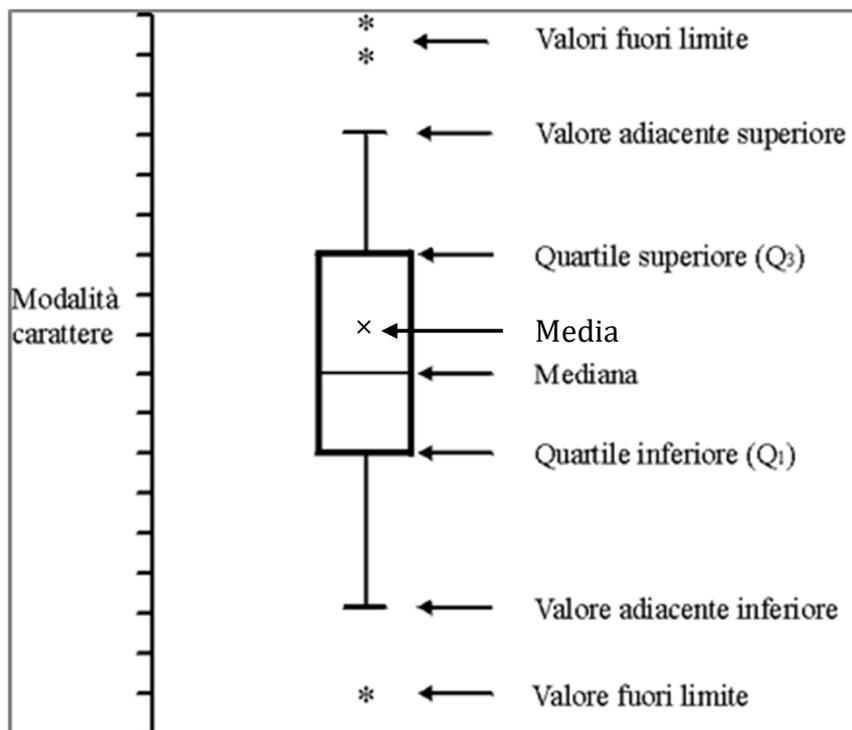
Il valore di riferimento inferiore di un box-plot è denominato VAI (valore adiacente inferiore) ed è il massimo tra il valore minimo della distribuzione e il valore di $Q1 - 1,5(IQR)$, quello superiore è denominato VAS (valore adiacente superiore) ed è il minimo tra il massimo della distribuzione e $Q3 + 1,5(IQR)$. I valori inferiori alla soglia VAI e superiori alla soglia VAS, rispetto alla distribuzione generale costituiscono le cosiddette zone dei valori anomali.

Dal box-plot si legge l'asimmetria di una distribuzione, che si manifesta se:

- la distanza tra il primo quartile e la mediana è diversa dalla distanza tra mediana e terzo quartile;
- la distanza tra estremo inferiore e primo quartile è diversa dalla distanza tra terzo quartile ed estremo superiore.

Inoltre si rileva anche la presenza di valori anomali e l'entità della variabilità, ottenuta come confronto tra i campi di variazione.

Se la differenza interquartile è > 0 , vuole dire che risulta $(Q3 - Q2) > (Q2 - Q1)$ e quindi la distribuzione ha una asimmetria positiva: la coda di destra della distribuzione è più lunga e marcata della coda di sinistra. Se la differenza interquartile è < 0 vuole dire che $(Q3 - Q2) < (Q2 - Q1)$ e la distribuzione ha un'asimmetria negativa: la coda di sinistra della distribuzione è più marcata di quella di destra. Si rappresenta a seguire un esempio di box-plot con i principali indicatori.



Di seguito, si riporta il confronto degli andamenti delle concentrazioni degli inquinanti e dei box-plot relativi alle due stazioni Italcementi.

4.2 TEST DI KRUSKAL-WALLIS E TEST POST HOC DI DUNN

Il test di Kruskal-Wallis è un metodo non parametrico per verificare l'uguaglianza delle distribuzioni di più di due gruppi e viene solitamente utilizzato quando non è possibile assumere una distribuzione normale dei dati osservati. La statistica test si basa sui ranghi assegnati a ciascuna osservazione considerando congiuntamente i dati dei vari gruppi e, sotto l'ipotesi nulla di uguaglianza tra i gruppi, si distribuisce secondo un chi-quadro con $g-1$ gradi di libertà dove g è il numero di gruppi. I passi da seguire sono quindi:

1. L'assegnazione dei ranghi;
2. La stima della statistica test a partire dai dati osservati;
3. Il calcolo del p.valore associato, conoscendo la distribuzione sotto l'ipotesi nulla;
4. Il confronto del p.valore con il livello di significatività α , di solito posto pari a 0,05. Se il p.valore è inferiore ad α c'è evidenza statistica che almeno un gruppo ha una distribuzione differente. Se il p.valore è superiore ad α allora i gruppi sono statisticamente con uguale distribuzione.

Se si conclude che i gruppi sono effettivamente diversi, è possibile verificare quale gruppo specifico è diverso da quale. A tale scopo è necessario l'applicazione di un test post-hoc. Per ogni test post-hoc di confronto a coppie, ci si chiede se la graduatoria media di un gruppo è significativamente diversa dalla graduatoria media di un altro gruppo. Il più adatto è sicuramente il test di Dunn poiché utilizza gli stessi ranghi assegnati per la stima del test precedente. L'obiettivo in questo caso è il calcolo del p.valore per tutte le possibili coppie di gruppi e avere un'idea più precisa di quali gruppi sono statisticamente uguali e quali differiscono tra loro. Tuttavia, se, come in questo caso, vengono verificate più ipotesi, aumenta la possibilità di osservare un evento raro e, quindi, aumenta la probabilità di rifiutare erroneamente un'ipotesi nulla. La correzione di Bonferroni compensa l'aumento di tale probabilità verificando ogni singola ipotesi a un livello di significatività di α/m , dove α è il livello di significatività statistica e m è il numero di confronti.

I risultati dell'analisi effettuata tramite il test post hoc di Dunn sono mostrati, per ogni inquinante, in tabelle che per riga e per colonna riportano i nomi delle stazioni confrontate e all'interno di ogni cella è presente il valore stimato della statistica test e, tra parentesi, il valore del p.valore aggiustato. Posto α pari a 0,05, si rigetta l'ipotesi nulla di uguaglianza tra gruppi se il p.valore aggiustato è inferiore ad $\alpha/2$, cioè 0,025.

4.3 STAZIONI A CONFRONTO – SO₂ 2023

Gli andamenti di concentrazione del biossido di zolfo, SO₂, registrate dalle stazioni di Capaci e Isola delle Femmine risultano abbastanza simili nella prima metà dell'anno, successivamente, le concentrazioni della stazione di Capaci si mantengono più contenute rispetto a quelle della stazione di Isola delle Femmine e con più picchi isolati (Cfr. Figura 22(a)). Dai box plot rappresentati in Figura 22(b) si evidenzia un numero superiore di *outliers* nella stazione Capaci. Si precisa che per una lettura più chiara del grafico l'asse verticale è stato troncato a 100 escludendo 4 valori anomali della stazione di Capaci. Nella stazione di Isola delle Femmine è stata registrata una concentrazione più alta come media e mediana.

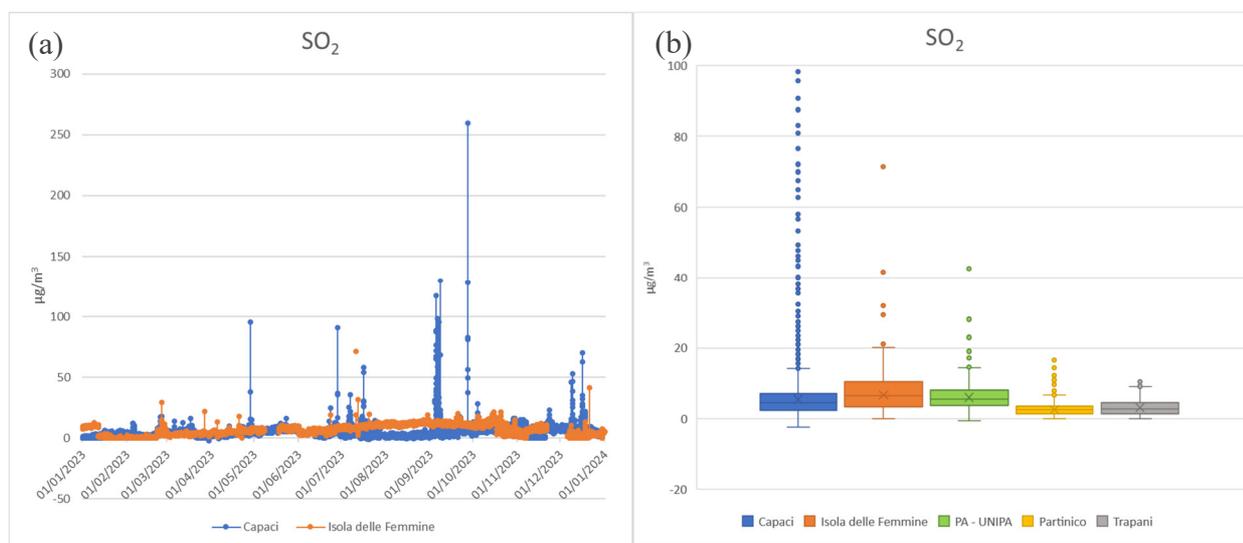


Figura 22: Andamento concentrazione media oraria SO₂ (a); Box plot SO₂ (b)

Nella Figura 22(b) i box plot delle stazioni Italcementi vengono messi a confronto con quelli ricavati dai dati di 3 stazioni di fondo urbano: PA-UNIPA, Partinico e Trapani. Per valutare statisticamente se più gruppi di dati sono uguali, è possibile applicare il test non parametrico di Kruskal-Wallis. Dai risultati statistici si evince che effettivamente c'è una forte evidenza contro l'ipotesi nulla di uguaglianza tra le stazioni confrontate. Tuttavia, dai risultati del test post-hoc di Dunn per comprendere quali coppie di stazioni portano a tale evidenza statistica, si può concludere che le stazioni da poter considerare con uguale distribuzione delle concentrazioni sono Isola delle Femmine e PA-UNIPA (Cfr. Tabella 7). Da cui se ne deduce che la stazione di Capaci per SO₂ appare con valori non associabili ad una stazione di fondo.

Tabella 7: Risultati del test di Dunn per SO₂

C - R	Capaci	Isola delle Femmine	PA-UNIPA	Partinico
Isola delle Femmine	-22,90 (0,00)			
PA-UNIPA	-21,28 (0,00)	1,91 (0,28)		
Partinico	48,24 (0,00)	71,76 (0,00)	70,75 (0,00)	
Trapani	34,98 (0,00)	58,14 (0,00)	56,96 (0,00)	-12,88 (0,00)

Infine, dall'analisi dei trend dal 2020 al 2023 dei valori massimi giornalieri e orari rappresentati in Figura 23, si nota un incremento dei valori massimi per la stazione di Capaci.

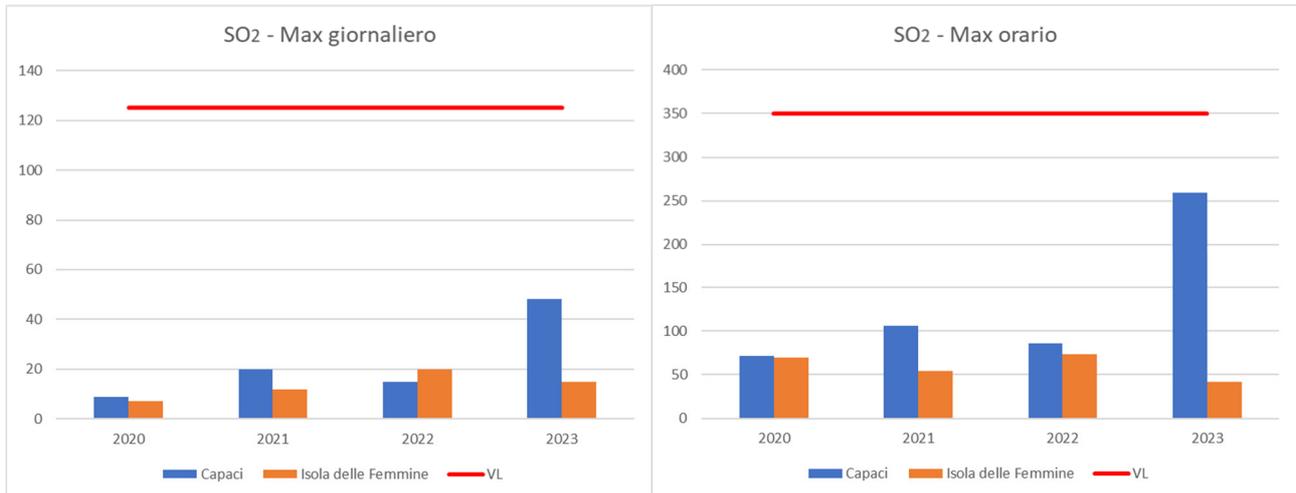


Figura 23: Trend del massimo giornaliero e orario di SO₂

4.4 STAZIONI A CONFRONTO – NO₂ 2023

Gli andamenti di concentrazione del biossido di azoto, NO₂, registrate dalle stazioni Capaci e Isola delle Femmine risultano abbastanza simili, tuttavia si evidenzia che nei mesi estivi la variabilità delle concentrazioni rilevate dalla stazione Isola delle Femmine è più contenuta rispetto a quella della stazione di Capaci (Cfr. Figura 24(a)). Dai box plot rappresentati in Figura 24(b) si evidenzia che nella stazione di Isola delle Femmine la dispersione della distribuzione è minore e risultano più bassi sia la media che la mediana.

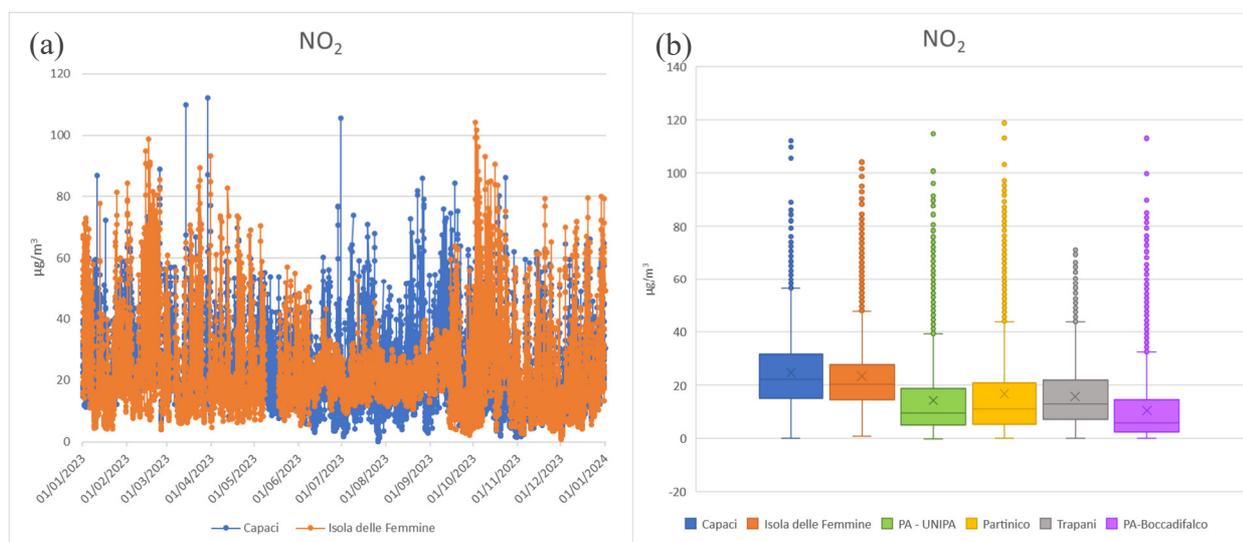


Figura 24: Andamento concentrazione media oraria NO₂ (a); Box plot NO₂ (b)

Nella Figura 24(b) i box plot delle stazioni Italcementi vengono messi a confronto con quelli ricavati dai dati di tre stazioni di fondo urbano (PA-UNIPA, Partinico e Trapani) e dalla stazione di fondo suburbano PA-Boccadifalco. Per valutare statisticamente se più gruppi di dati sono uguali, è possibile applicare il test non parametrico di Kruskal-Wallis. Dai risultati statistici si evince che effettivamente c'è una forte evidenza contro l'ipotesi nulla di uguaglianza tra le stazioni confrontate. Dai risultati del test post-hoc di Dunn si può concludere che nessuna coppia di stazioni ha uguale distribuzione e, inoltre, le stazioni Italcementi hanno media e mediana più alta di tutte le altre stazioni di confronto (Cfr. Tabella 8).

Tabella 8: Risultati del test di Dunn per NO₂

C - R	Capaci	Isola delle Femmine	PA-Boccadifalco	PA-UNIPA	Partinico
Isola delle Femmine	5,94 (0,00)				
PA-Boccadifalco	-81,81 (0,00)	74,91 (0,00)			
PA-UNIPA	58,73 (0,00)	52,13 (0,00)	-22,70 (0,00)		
Partinico	50,70 (0,00)	44,23 (0,00)	-30,35 (0,00)	-7,72 (0,00)	
Trapani	41,08 (0,00)	35,10 (0,00)	-35,39 (0,00)	-14,03 (0,00)	-6,72 (0,00)

Infine, dall'analisi del trend dal 2020 al 2023 della media annua rappresentato in Figura 25, si nota un lieve andamento in crescita per entrambe le stazioni e la stazione di Capaci presenta una media annua sempre superiore alla stazione di Isola delle Femmine.

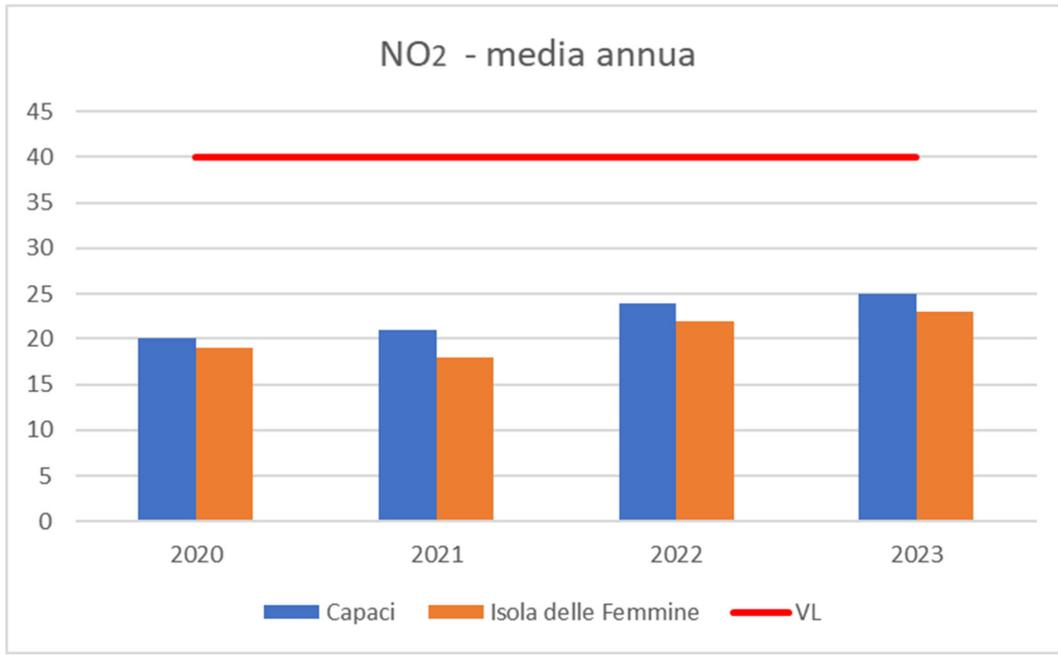


Figura 25: Trend della media annua di NO₂

4.5 STAZIONI A CONFRONTO – CO 2023

Gli andamenti di concentrazione del monossido di carbonio, CO, registrati per le stazioni di Capaci e Isola delle Femmine risultano abbastanza simili nella seconda metà dell'anno. Nel periodo invernale la concentrazione registrata nella stazione di Isola delle Femmine è risultata mediamente inferiore a quella registrata nella stazione di Capaci, mentre nel periodo primaverile la concentrazione registrata nella stazione di Isola delle Femmine è risultata mediamente superiore a quella registrata nella stazione di Capaci (Cfr. Figura 26(a)). Dai box plot rappresentati in Figura 26(b) si evidenzia che nella stazione di Capaci è stata registrata la concentrazione massima oraria maggiore e la distribuzione evidenzia una maggiore dispersione rispetto alla distribuzione della stazione di Isola delle Femmine.

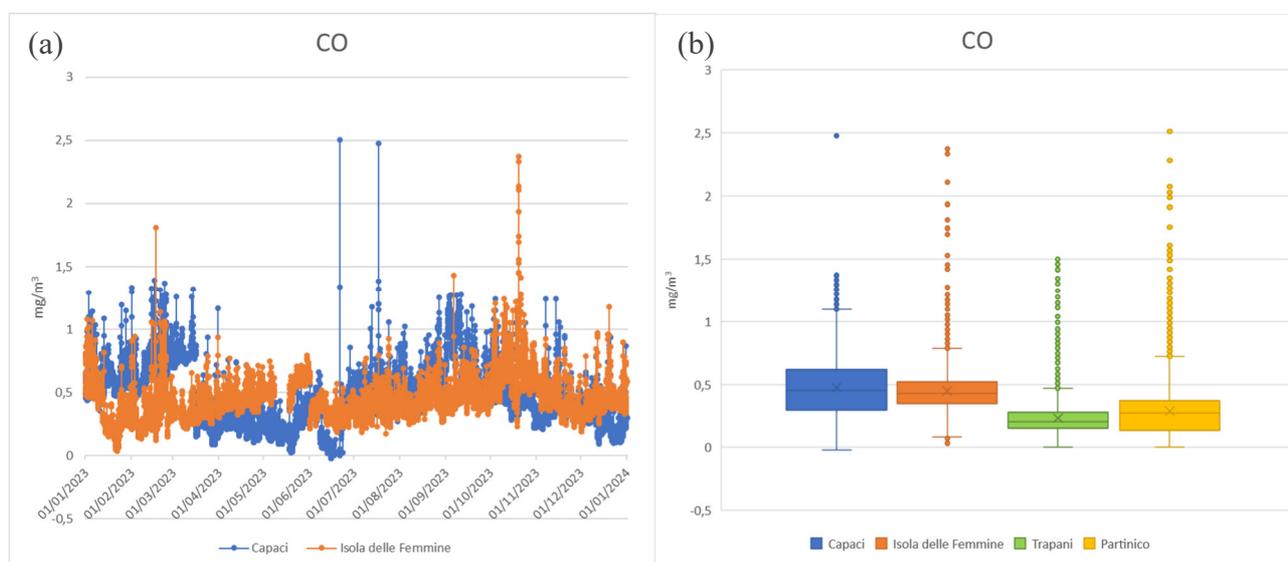


Figura 26: Andamento concentrazione media oraria CO (a); Box plot CO (b)

Nella Figura 26(b) i box plot delle stazioni Italcementi vengono messi a confronto con quelli ricavati dai dati della stazione di fondo urbano Trapani della zona Altro e della stazione di fondo urbano Partinico delle aree industriali non AERCA. Per valutare statisticamente se più gruppi di dati sono uguali, è possibile applicare il test non parametrico di Kruskal-Wallis. Dai risultati statistici si evince che effettivamente c'è una forte evidenza contro l'ipotesi nulla di uguaglianza tra le stazioni confrontate. Dai risultati del test post-hoc di Dunn si può concludere che nessuna coppia di stazioni ha uguale distribuzione e, inoltre, le stazioni Italcementi hanno media e mediana più alta di tutte le altre stazioni di confronto (Cfr. Tabella 9).

Tabella 9: Risultati del test di Dunn per CO

C - R	Capaci	Isola delle Femmine	Partinico
Isola delle Femmine	-3,15 (0,00)		
Partinico	56,65 (0,00)	59,33 (0,00)	
Trapani	77,08 (0,00)	79,58 (0,00)	20,83 (0,00)

Infine, dall'analisi del trend dal 2020 al 2023 della massima media giornaliera calcolata su 8 ore rappresentata in Figura 27, si nota un lieve andamento in crescita per la stazione di Isola delle Femmine, ma comunque su livelli nettamente inferiori al valore limite.

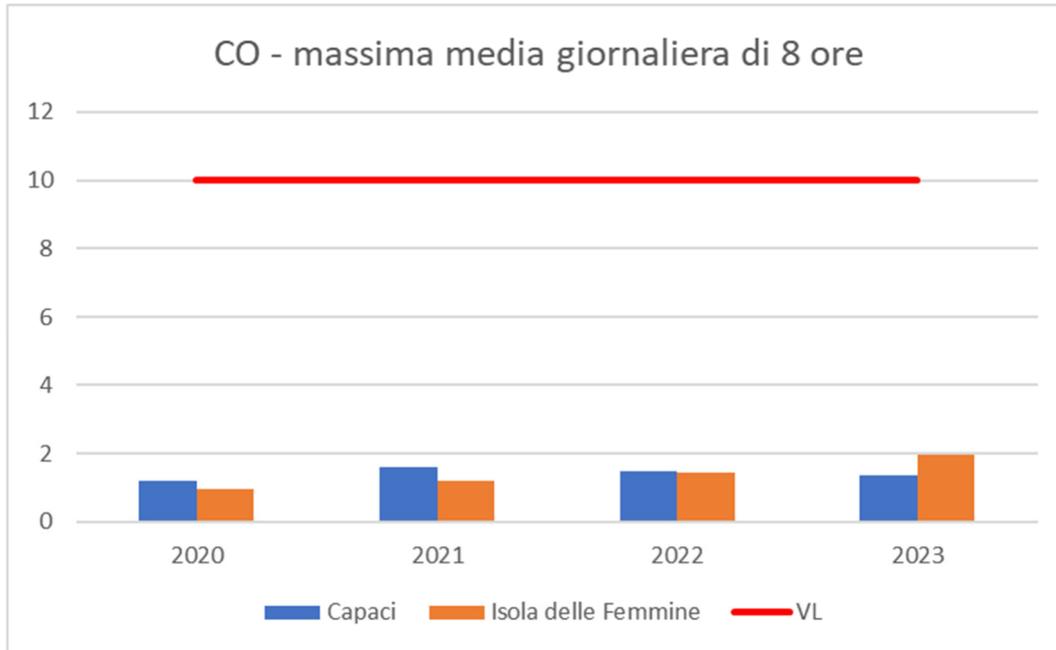


Figura 27: Trend della massima media giornaliera di 8 ore di CO

4.6 STAZIONI A CONFRONTO – PM10 2023

Gli andamenti di concentrazione del particolato fine, PM10, registrate dalle stazioni Capaci e Isola delle Femmine risultano abbastanza simili (Cfr. Figura 28(a)). Anche le distribuzioni delle due stazioni sono abbastanza simili sia in valori che in dispersione.

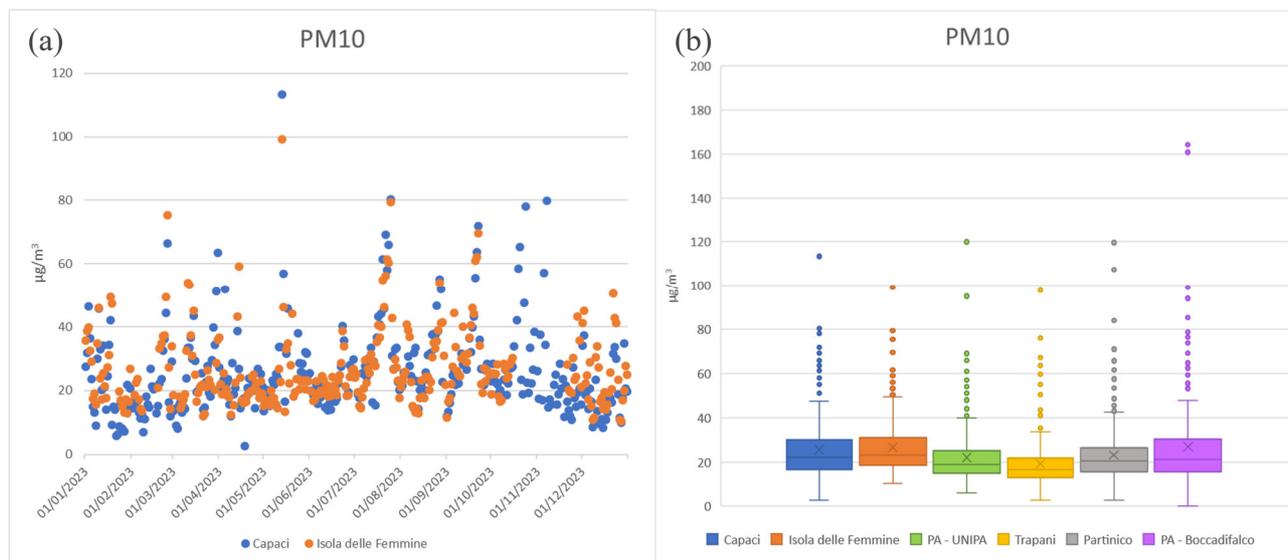


Figura 28: Andamento concentrazione media giornaliera PM10 (a); Box plot PM10 (b)

Nella Figura 28(b) i box plot delle stazioni Italcementi vengono messi a confronto con quelli ricavati dai dati di tre stazioni di fondo urbano (PA-UNIPA, Partinico e Trapani) e della stazione di fondo suburbano PA-Boccadifalco. Per valutare statisticamente se più gruppi di dati sono uguali, è possibile applicare il test non parametrico di Kruskal-Wallis. Dai risultati statistici si evince che effettivamente c'è una forte evidenza contro l'ipotesi nulla di uguaglianza tra le stazioni confrontate. Dai risultati del test post-hoc di Dunn si può concludere che la distribuzione della stazione di Capaci si può considerare uguale a quelle di PA-Boccadifalco e Partinico, mentre la distribuzione della stazione di Isola delle Femmine non è paragonabile alle altre stazioni di fondo (Cfr. Tabella 10).

Tabella 10: Risultati del test di Dunn per PM10

C - R	Capaci	Isola delle Femmine	PA-Boccadifalco	PA-UNIPA	Partinico
Isola delle Femmine	-1,91 (0,42)				
PA-Boccadifalco	1,55 (0,91)	74,91 (0,00)			
PA-UNIPA	4,46 (0,00)	52,13 (0,00)	-22,70 (0,00)		
Partinico	2,69 (0,05)	44,23 (0,00)	-30,35 (0,00)	-7,72 (0,00)	
Trapani	8,47 (0,00)	35,10 (0,00)	-35,39 (0,00)	-14,03 (0,00)	-6,72 (0,00)

Infine, dall'analisi del trend dal 2020 al 2023 della media annua rappresentata in Figura 29, si nota un lieve andamento in crescita per entrambe le stazioni e la stazione

di Isola delle Femmine presenta una media annua sempre superiore alla stazione di Capaci.

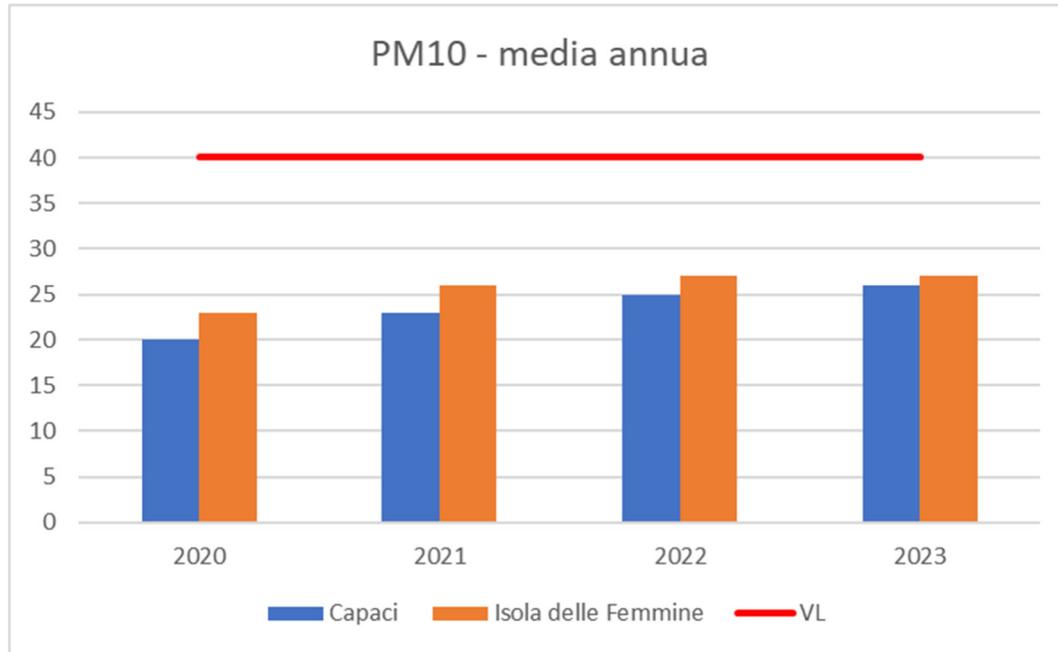


Figura 29: Trend della media annua di PM10

4.7 STAZIONI A CONFRONTO – PM2.5 2023

Gli andamenti di concentrazione del particolato fine, PM2.5, registrate dalle stazioni Capaci e Isola delle Femmine risultano molto simili (Cfr. Figura 30(a)), anche i box plot risultano quasi sovrapponibili con delle distribuzioni quasi simmetriche e pochi dati outliers.

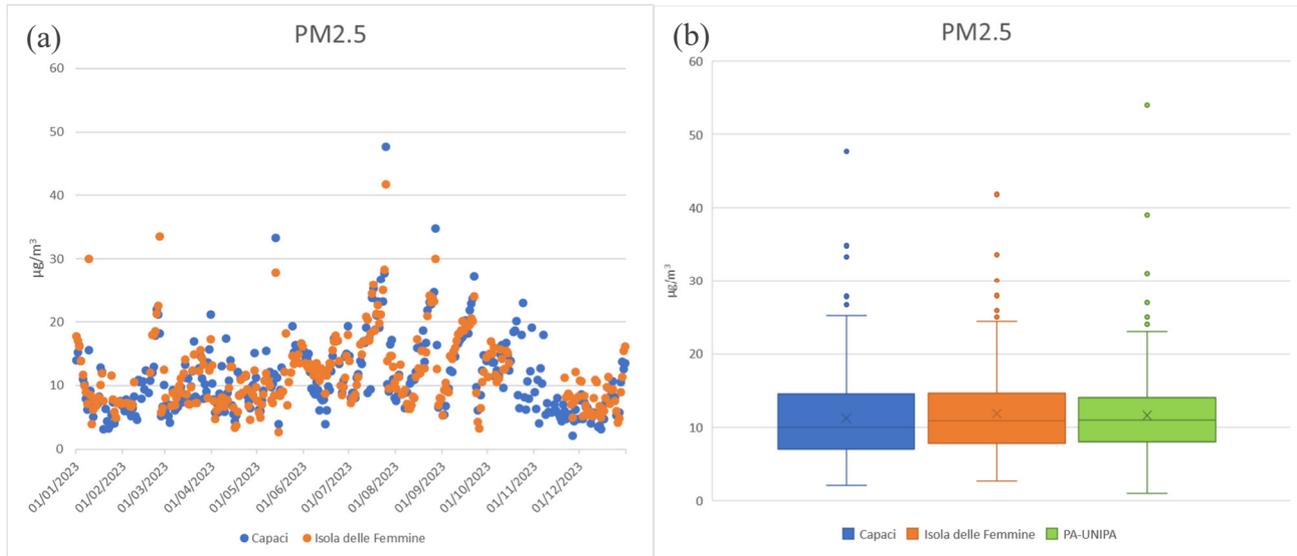


Figura 30: Andamento concentrazione media giornaliera PM2.5 (a); Box plot PM2.5 (b)

Nella Figura 26(b) i box plot delle stazioni Italcementi vengono messi a confronto con quello ricavato dai dati della stazione di fondo urbano dell'Agglomerato di Palermo PA-UNIPA, quest'ultima è caratterizzata da un valore medio e mediano pressoché uguale ad entrambe le stazioni Italcementi. Per valutare statisticamente se più gruppi di dati sono uguali, è possibile applicare il test non parametrico di Kruskal-Wallis. Dai risultati statistici si evince che le tre stazioni hanno uguale distribuzione e di conseguenza le due stazioni Italcementi rilevano concentrazioni di PM2.5 simili a una stazione di fondo urbano.

Infine, dall'analisi del trend dal 2020 al 2023 della media annua rappresentata in Figura 31, si nota un andamento quasi stabile per entrambe le stazioni e la stazione di Isola delle Femmine presenta una media annua superiore alla stazione di Capaci negli ultimi due anni.

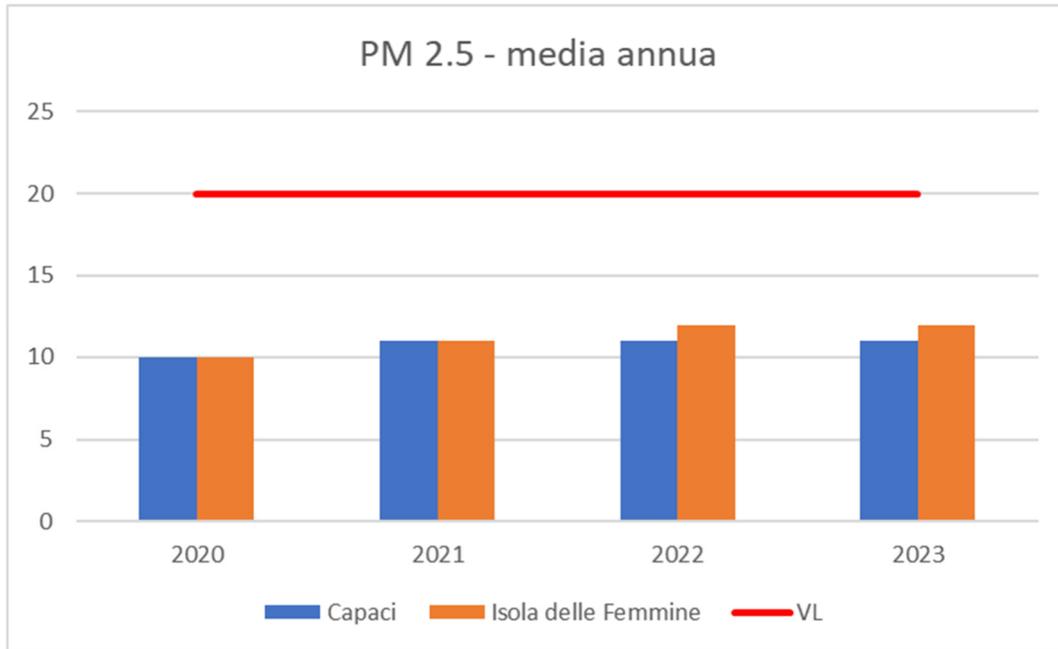


Figura 31: Trend della media annua di PM2.5

4.8 STAZIONI A CONFRONTO – Benzo(a)pirene e Metalli 2023

Nella Figura 32 i box plot relativi ai metalli rilevati nelle stazioni Italcementi vengono messi a confronto; non si evidenziano rilevanti differenze se non per il vanadio e il cromo. Infatti, il vanadio presenta concentrazioni in media più elevate e variabilità maggiore nella stazione di Isola delle Femmine; viceversa, il cromo presenta concentrazioni in media più elevate e variabilità maggiore nella stazione di Capaci.

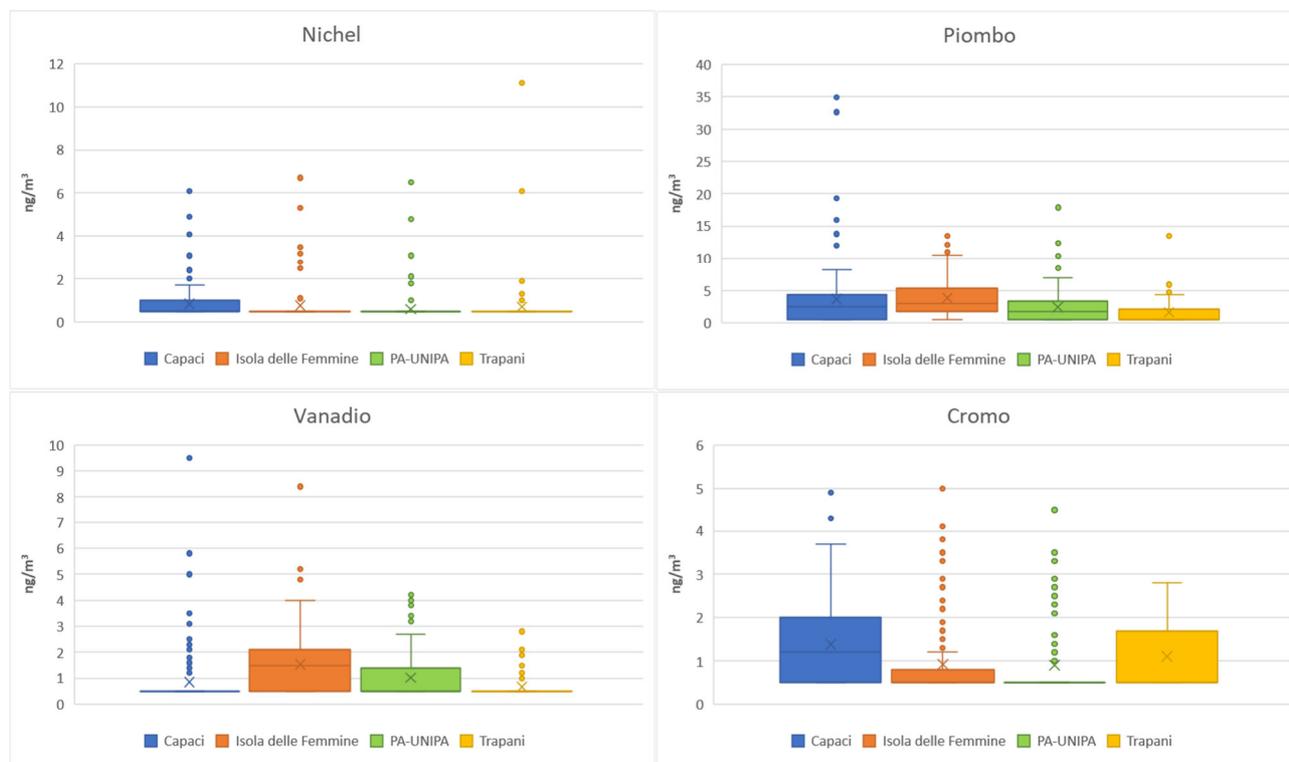


Figura 32: Box plot Metalli

I box plot delle stazioni Italcementi vengono messi a confronto con quelli ricavati dai dati delle stazioni di fondo urbano PA-UNIPA e Trapani tramite il test di Kruskal-Wallis per il confronto fra gruppi e il test post-hoc di Dunn. Si nota che la situazione è differente per i diversi metalli (Cfr. Tabella 11):

- per il nichel, la stazione di Isola delle Femmine è simile alle stazioni di fondo urbano, mentre la stazione di Capaci registra in media concentrazioni superiori alle altre;
- per il piombo, le concentrazioni rilevate nelle stazioni Italcementi sono in media più alte rispetto alle stazioni di fondo;
- per il vanadio, nella stazione di Capaci si rilevano concentrazioni paragonabili alla stazione di Trapani, mentre nella stazione di Isola delle Femmine si rilevano in media concentrazioni più alte;
- infine, per il cromo, nella stazione di Capaci si registrano valori superiori alle stazioni di fondo urbano, mentre la stazione di Isola delle Femmine è uguale alla stazione PA-UNIPA.

Tabella 11: Risultati del test di Dunn per metalli

Nichel				Piombo			
C - R	Capaci	Isola delle Femmine	PA-UNIPA	C - R	Capaci	Isola delle Femmine	PA-UNIPA
Isola delle Femmine	4,17 (0,00)			Isola delle Femmine	-3,57 (0,00)		
PA-UNIPA	7,23 (0,00)	2,61 (0,03)		PA-UNIPA	3,21 (0,00)	6,65 (0,00)	
Trapani	2,93 (0,01)	-1,41 (0,48)	-4,26 (0,00)	Trapani	7,79 (0,00)	10,96 (0,00)	4,70 (0,00)
Vanadio				Cromo			
C - R	Capaci	Isola delle Femmine	PA-UNIPA	C - R	Capaci	Isola delle Femmine	PA-UNIPA
Isola delle Femmine	-11,16 (0,00)			Isola delle Femmine	7,20 (0,00)		
PA-UNIPA	-3,96 (0,00)	7,56 (0,00)		PA-UNIPA	8,20 (0,00)	0,48 (1,00)	
Trapani	1,53 (0,38)	12,62 (0,00)	5,52 (0,00)	Trapani	2,70 (0,02)	-4,64 (0,00)	-5,47 (0,00)

Dall'analisi del trend dal 2021 al 2023 della media annua rappresentata in Figura 33, si nota per entrambe le stazioni un andamento crescente per Arsenico, Cadmio e Piombo e un andamento decrescente per Nichel ad eccezione del 2022 per la stazione di Isola delle Femmine. Si precisa che tutti i valori sono comunque molto inferiori al valore limite che per comodità è riportato sull'asse secondario.

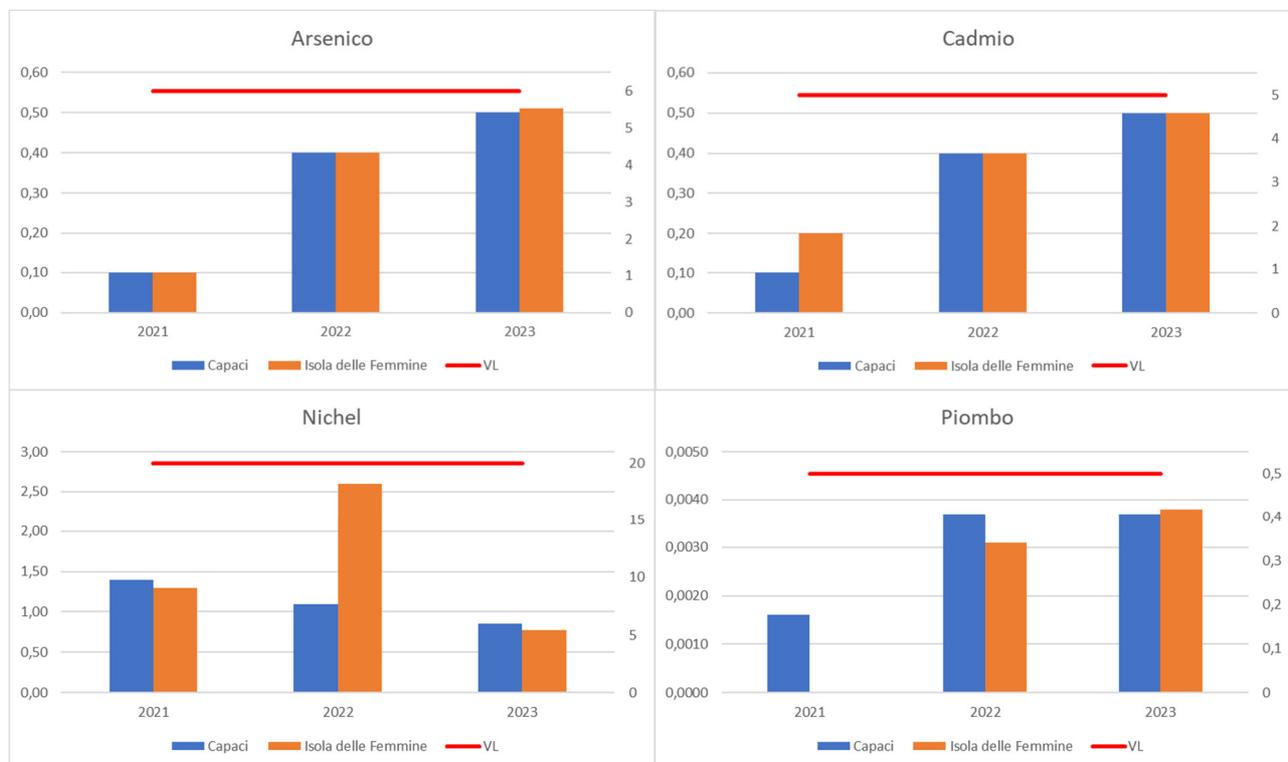


Figura 33: Trend della media annua di metalli

Per quanto concerne il vanadio e il cromo, che non sono normati dal D.Lgs 155/2010 e

per i quali dunque non può farsi un confronto rispetto a dei valori limite, si riportano le concentrazioni medie annue determinate nelle stazioni della rete ricadenti nella zona Aree Industriali IT1914. Dal confronto si evidenzia che le concentrazioni sono abbastanza prossime tra loro anche se nella stazione di Capaci si registra una concentrazione lievemente più alta di cromo (Cfr. Tabella 12).

Tabella 12: Concentrazioni media annue di cromo e vanadio nelle stazioni Italcementi e nelle stazioni della zona Aree Industriali IT1914

Stazioni in Aree Industriali:	Concentrazione annua Cr, ng/m ³	Concentrazione annua V, ng/m ³
Capaci	1.4	0.9
Isola delle Femmine	0.9	1.5
Augusta	1.0	0.9
Priolo	1.1	0.9
RG-Campo Atletica	0.7	0.6
Milazzo - Termica	1.0	1.1
Porto Empedocle	0.9	1.3
Gela Tribunale	0.8	1.2
SR- Via Gela	0.9	1.0

Nella Figura 34 i box plot relativi al benzo(a)pirene rilevato nelle stazioni Italcementi vengono messi a confronto evidenziando nella stazione Capaci una variabilità e concentrazione media e mediana superiore a quella della stazione Isola delle Femmine.

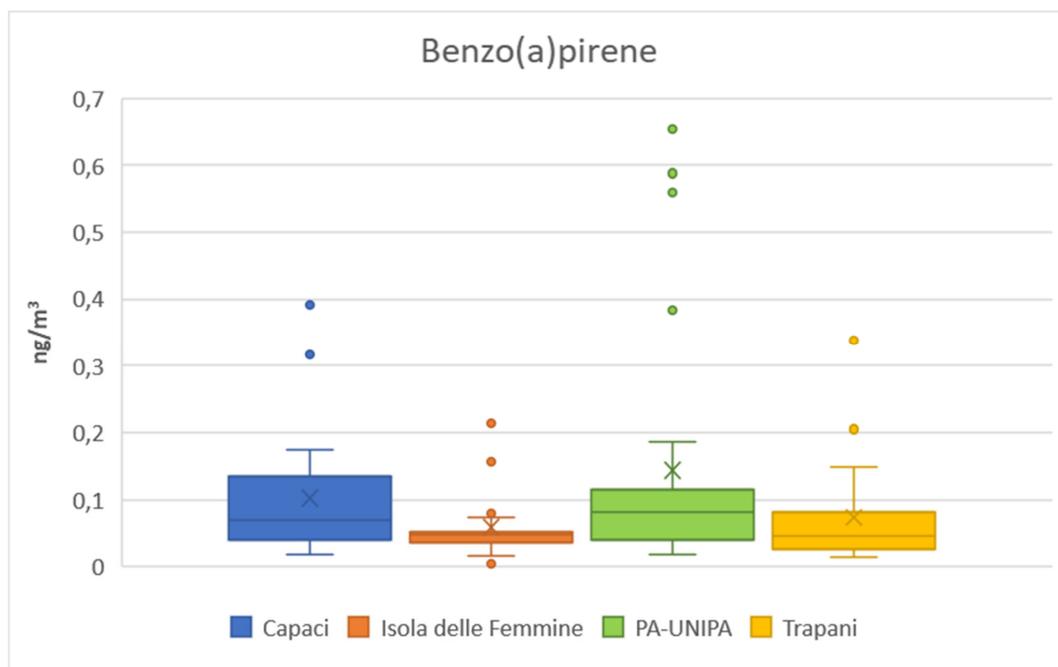


Figura 34: Box plot B(a)P

I box plot delle stazioni Italcementi vengono messi a confronto con quelli ricavati dai dati delle stazioni di fondo urbano PA-UNIPA e Trapani. Per valutare statisticamente se più gruppi di dati sono uguali, è possibile applicare il test non parametrico di Kruskal-Wallis. Dai risultati statistici si evince che effettivamente c'è una forte evidenza contro l'ipotesi nulla di uguaglianza tra le stazioni confrontate. Dai risultati del test post-hoc di

Dunn si può concludere che la distribuzione della stazione di Capaci si può considerare uguale a quella di PA-UNIPA anche se quest'ultima presenta una media annua più elevata dovuta a valori outliers più alti, mentre la distribuzione della stazione di Isola delle Femmine è paragonabile alla stazione di Trapani (Cfr. Tabella 13).

Tabella 13: Risultati del test di Dunn per benzo(a)pirene

C - R	Capaci	Isola delle Femmine	PA-UNIPA
Isola delle Femmine	4,10 (0,00)		
PA-UNIPA	-0,81 (0,21)	-4,87 (0,00)	
Trapani	3,86 (0,00)	-0,34 (0,37)	-4,64 (0,00)

Infine, dall'analisi del trend dal 2020 al 2023 della media annua rappresentata in Figura 34, si nota un andamento quasi stabile per entrambe le stazioni e la stazione di Isola delle Femmine presenta una media annua superiore alla stazione di Capaci negli ultimi due anni.

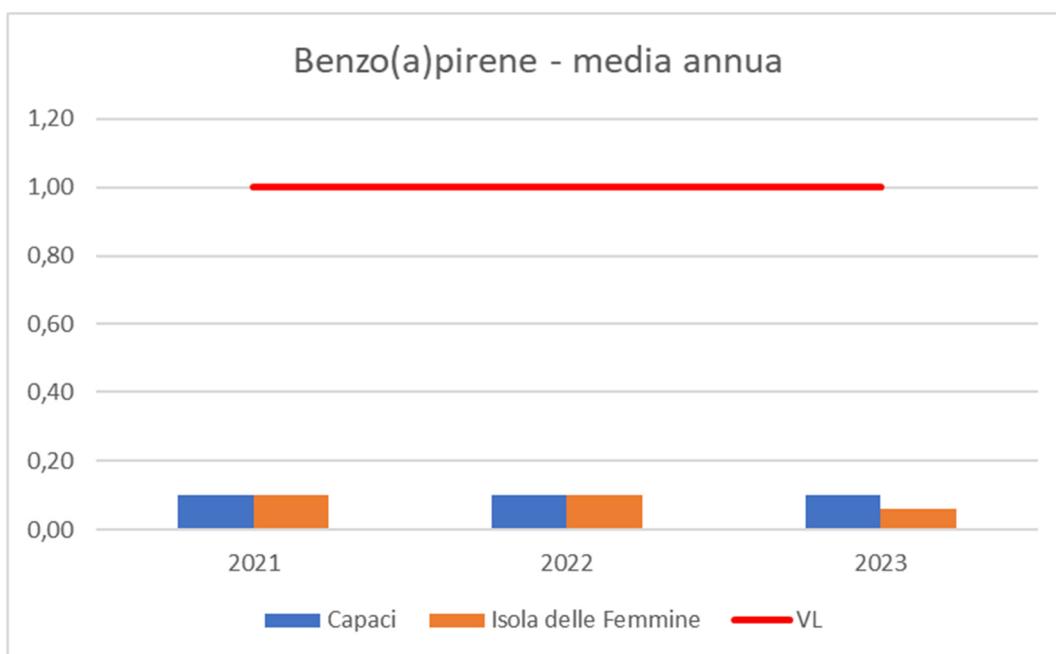


Figura 35: Trend della media annua di benzo(a)pirene

5 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Dall'analisi complessiva dei dati monitorati nel periodo gennaio - dicembre 2023 presso le due stazioni della ITALCEMENTI non si evidenziano superamenti dei limiti previsti dal D.Lgs. 155/2010 per gli inquinanti monitorati.

Per quanto riguarda il biossido di zolfo SO_2 si riscontrano, per entrambe le stazioni, isolati picchi di concentrazione. Gli andamenti delle due stazioni risultano abbastanza simili nella prima metà dell'anno, successivamente, le concentrazioni della stazione di Capaci si mantengono più contenute rispetto a quelle della stazione di Isola delle Femmine ma con più picchi isolati. Nel 2023, rispetto al 2022, si nota che per la stazione di Isola delle Femmine nell'ultimo anno si sono verificati un numero ridotto di picchi di concentrazione, ma nei mesi di settembre e ottobre la concentrazione media oraria è stata più elevata, invece, per la stazione di Capaci ci sono numerosi picchi nel mese di settembre. Il confronto con tre stazioni di fondo urbano, evidenzia che le stazioni da poter considerare con uguale distribuzione delle concentrazioni sono Isola delle Femmine e PA-UNIPA. Da cui se ne deduce che la stazione di Capaci per SO_2 appare con valori non associabili ad una stazione di fondo. Infine, dall'analisi dei trend dei valori massimi giornalieri e orari dal 2020 al 2023 rappresentati si nota un incremento dei valori massimi per la stazione di Capaci.

Per quanto riguarda il biossido di azoto NO_2 è stato superato in entrambe le stazioni per la concentrazione media annua il valore guida OMS ma non il valore limite previsto dal D.Lgs. 155/2010. Gli andamenti delle due stazioni risultano abbastanza simili, tuttavia si evidenzia che nei mesi estivi la variabilità delle concentrazioni rilevate dalla stazione Isola delle Femmine è più contenuta rispetto a quella della stazione di Capaci. Rispetto all'anno precedente, nella stazione di Capaci non si notano particolari differenze e nella stazione di Isola delle Femmine si evidenzia una ridotta variabilità nel periodo estivo. Dal confronto con quattro stazioni di fondo, si nota una forte evidenza contro l'ipotesi nulla di uguaglianza tra le stazioni confrontate e, inoltre, le stazioni Italcementi hanno media e mediana più alta. Infine, dall'analisi del trend della media annua dal 2020 al 2023 si nota un lieve andamento in crescita per entrambe le stazioni e la stazione di Capaci presenta una media annua sempre superiore alla stazione di Isola delle Femmine.

Per quanto riguarda il monossido di carbonio CO si riscontrano dei picchi di concentrazione nei mesi di febbraio e ottobre per la stazione di Isola delle Femmine. Gli andamenti delle due stazioni risultano abbastanza simili nella seconda metà dell'anno, invece, nel periodo invernale la concentrazione registrata nella stazione di Isola delle Femmine è risultata mediamente inferiore a quella registrata nella stazione di Capaci, mentre nel periodo primaverile la concentrazione registrata nella stazione di Isola delle Femmine è risultata mediamente superiore a quella registrata nella stazione di Capaci. Dal confronto con due stazioni di fondo urbano si nota una forte evidenza contro l'ipotesi nulla di uguaglianza tra le stazioni confrontate e, inoltre, le stazioni Italcementi hanno media e mediana più alta. Infine, dall'analisi del trend della massima media giornaliera calcolata su 8 ore dal 2020 al 2023 si nota un lieve andamento in crescita per la stazione di Isola delle Femmine, ma comunque su livelli nettamente inferiori al valore limite.

Per quanto riguarda il particolato PM₁₀, in riferimento ai valori guida dell'Organizzazione Mondiale della Sanità, sono stati registrati superamenti dei valori guida della concentrazione giornaliera e annua sia di PM₁₀ che di PM_{2,5} in entrambe le stazioni, sempre però inferiori ai valori limite previsti dal D.Lgs. 155/2010. Confrontando le concentrazioni rilevate nel 2023 con l'anno precedente non si notano particolari differenze. Per il PM₁₀, il confronto con quattro stazioni di fondo, evidenzia che la distribuzione della stazione di Capaci si può considerare uguale a quelle di PA-Boccadifalco e Partinico, mentre la distribuzione della stazione di Isola delle Femmine non è paragonabile alle altre stazioni di fondo. Per il PM_{2.5}, dal confronto con la stazione di fondo urbano PA-UNIPA dell'Agglomerato di Palermo, si evince che le tre stazioni hanno uguale distribuzione. Infine, dall'analisi del trend della media annua dal 2020 al 2023 si nota, per il PM₁₀, un lieve andamento in crescita per entrambe le stazioni e la stazione di Isola delle Femmine presenta una media annua sempre superiore alla stazione di Capaci.

Le concentrazioni medie annue dei metalli normati non hanno superato i valori limiti previsti dal D.Lgs. 155/2010. Dal confronto con le due stazioni di fondo urbano PA-UNIPA e Trapani si nota che la situazione è differente per i diversi metalli. Dall'analisi del trend dal 2021 al 2023 della media annua si nota per entrambe le stazioni un andamento crescente per Arsenico, Cadmio e Piombo e un andamento decrescente per Nichel ad eccezione del 2022 per la stazione di Isola delle Femmine.

La concentrazione media annua di benzo(a)pirene non ha superato i valori limiti previsti dal D.Lgs. 155/2010 e il confronto con le due stazioni di fondo urbano PA-UNIPA e Trapani, evidenzia che la stazione di Capaci è simile alla stazione PA-UNIPA, anche se quest'ultima presenta una media annua più elevata dovuta a valori outliers più alti, mentre la distribuzione della stazione di Isola delle Femmine è paragonabile alla stazione di Trapani. Infine, dall'analisi del trend dal 2020 al 2023 della media annua si nota un andamento quasi stabile per entrambe le stazioni e la stazione di Isola delle Femmine presenta una media annua superiore alla stazione di Capaci negli ultimi due anni.

Complessivamente le due stazioni sembrano statisticamente differenti per NO₂, CO e Pb rispetto alle stazioni di fondo prese come riferimento. Per SO₂, PM₁₀, Ni, V e Cr le due stazioni presentano caratteristiche differenti: per SO₂, Cr e Ni solo la stazione di Capaci sembra significativamente differente ad una stazione di fondo, al contrario per PM₁₀ e V solo la stazione di Isola delle Femmine. Per il PM_{2.5} e il benzo(a)pirene entrambe le stazioni sono assimilabili ad una di fondo. Visto le differenze non omogenee rispetto a stazioni di fondo urbano e suburbano ubicate in agglomerato urbano di Palermo, in zona Altro e in aree industriali, pressoché limitrofe all'area in studio, risulta urgente lo studio delle ricadute degli inquinanti emessi dal cementificio, previsto dal riesame dell'autorizzazione, approvata con D.A. dell'ARTA n.34 del 7/2/2022, al fine di confermare o meno i requisiti di posizionamento delle centraline di Isola delle Femmine e di Capaci. Entrambe le stazioni, realizzate per monitorare la ricaduta delle emissioni dell'impianto Italcementi, dovrebbero di norma discostarsi almeno per NO₂, SO₂ e PM₁₀ dalle stazioni di fondo urbano o suburbano non sottoposte a pressioni industriali.