

Monitoraggio del particolato fine -PM1- nelle scuole di Civitavecchia



Febbraio 2019

Monitoraggio del particolato fine -PM1- nelle scuole di Civitavecchia

Febbraio 2019

Monitoraggio del particolato fine -PM1- nelle scuole di Civitavecchia

Rapporto a cura di:

ARPA Lazio

Dipartimento stato dell'ambiente

Servizio qualità dell'aria e monitoraggio ambientale degli agenti fisici

Giada Marchegiani, Fabio Barbini, Massimo Enrico Ferrario, Elisa Martorelli, Chiara Santella, Alessandro D. Di Giosa

Attività di monitoraggio e analisi dei dati:

Francesca Asaro, Cesarella Colonna, Stefano Listrani, Manuela Riva, Pierfrancesco Briotti

Foto di copertina: Campionatori di particolato.

INDICE

INDICE	4
LEGENDA	6
1 INTRODUZIONE	6
2 IL PARTICOLATO ATMOSFERICO	6
3 IL COMPENSORIO DI CIVITAVECCHIA.....	9
4 LA RETE DI MONITORAGGIO NEL COMPENSORIO DI CIVITAVECCHIA	12
5 DATI DEL PARTICOLATO ATMOSFERICO NEL BIENNIO 2017-2018.....	14
6 MONITORAGGIO DI PM1 NELLE SCUOLE DI CIVITAVECCHIA	18
7 RISULTATI DELLA CAMPAGNA	19
8 ANALISI DEI DATI.....	22
8.1 CONFRONTO CON DATI METEOROLOGICI	22
8.2 CONFRONTO CON DATI DELLE CENTRALINE DELLA RETE DI MONITORAGGIO ARPA LAZIO	26
8.3 DATI DI PM1 A CONFRONTO.....	31
9 CONCLUSIONI.....	36
RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	38

Indice delle illustrazioni

FIGURA 1 - LE DIMENSIONI DEL PARTICOLATO ATMOSFERICO DA 10 A 1 μM DI DIAMETRO (FREUDENBERG FILTRATION TECHNOLOGIES).....	7
FIGURA 2 - CAPACITÀ DI PENETRAZIONE DEL PARTICOLATO ATMOSFERICO NELL'ALBERO RESPIRATORIO (ISPRA, 2009).....	9
FIGURA 3 - INDIVIDUAZIONE DEI COMUNI I CUI TERRITORI RICADONO NELL'AREA VASTA E IN QUELLE DI I E II IMPATTO.	10
FIGURA 4 – MAPPA DEL TERRITORIO DOVE È SITUATA LA CENTRALE.	11
FIGURA 5 - LOCALIZZAZIONE DELLE STAZIONI NELLA RETE DI MISURA REGIONALE.....	12
FIGURA 6 - STAZIONI DI MONITORAGGIO NEL COMPENSORIO DI CIVITAVECCHIA.....	13
FIGURA 7 - VALORE MEDIO DEL PM10 NELLE STAZIONI DI CIVITAVECCHIA E DINTORNI.	16
FIGURA 8 - VALORE MEDIO DEL PM2,5 NELLE STAZIONI DI CIVITAVECCHIA E DINTORNI.	17
FIGURA 9 - NUMERO DI GIORNI DI SUPERAMENTO PER LA MEDIA GIORNALIERA DI 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ DI PM10 NELLE STAZIONI DEL COMPENSORIO DI CIVITAVECCHIA.	17
FIGURA 10 - SITI DI CAMPIONAMENTO PER LA CAMPAGNA DI MONITORAGGIO DI PM1.	18
FIGURA 11 – CAMPIONATORI POSIZIONATI PRESSO LA SCUOLA MONS. PAPACCHINI (SITO 1), SCUOLA GIOVANNI PAOLO II (SITO 2) E SCUOLA BORLONE (SITO 3).	19
FIGURA 12 - CONCENTRAZIONE GIORNALIERA DI PM1 PRESSO I TRE PLESSI SCOLASTICI.....	21
FIGURA 13 - SITO DELLA STAZIONE METEOROLOGICA DI SANTA MARINELLA.	22
FIGURA 14 – ANDAMENTO (A) E CORRELAZIONE (B) TRA DATI DI CONCENTRAZIONE DI PM1 E MM DI PRECIPITAZIONI CUMULATE.	23
FIGURA 15 – ANDAMENTO (A) E CORRELAZIONE (B) TRA DATI DI CONCENTRAZIONE DI PM1 E INTENSITÀ DEL VENTO REGISTRATO.....	24
FIGURA 16 - CORRELAZIONE DI DATI DI CONCENTRAZIONE DI PM1 E INTENSITÀ DEL VENTO REGISTRATO PER LE SOLE GIORNATE DI ASSENZA DI PIOGGIA.	25
FIGURA 17 – SITI DI CAMPIONAMENTO PER LA CAMPAGNA DI MONITORAGGIO DI PM1 E STAZIONI DI CAMPO DELL'ORO ED AURELIA.	27
FIGURA 18 – TREND GIORNALIERO DI PM1 DELLA CAMPAGNA EFFETTUATA NELLA SCUOLA MONS. PAPACCHINI A CONFRONTO CON DATI DI PM2,5 E PM10 DELLA CENTRALINA DI MONITORAGGIO CAMPO DELL'ORO.	28
FIGURA 19 – TREND GIORNALIERO DI PM1 DELLA CAMPAGNA EFFETTUATA NELLA SCUOLA GIOVANNI PAOLO II A CONFRONTO CON DATI DI PM2,5 E PM10 DELLA CENTRALINA DI MONITORAGGIO CAMPO DELL'ORO.	28
FIGURA 20 – TREND GIORNALIERO DI PM1 DELLA CAMPAGNA EFFETTUATA NELLA SCUOLA BORLONE A CONFRONTO CON DATI DI PM10 DELLA CENTRALINA DI MONITORAGGIO AURELIA.....	29

FIGURA 21 – ISTOGRAMMA DELLA PERCENTUALE DI PM1 RISPETTO ALLA CONCENTRAZIONE DI PM10 MISURATA PER I TRE PLESSI SCOLASTICI.	29
FIGURA 22 - ISTOGRAMMA DELLA FRAZIONE DI PM1 E PM2,5 RISPETTO ALLA CONCENTRAZIONE DI PM10 MISURATA DURANTE PERIODI DELLE CAMPAGNE AVVENUTE NELLA SCUOLA MONS.PAPACCHINI E GIOVANNI PAOLO II.	30
FIGURA 23 - FOTO E UBICAZIONE DELLA STAZIONE DI MONITORAGGIO DI VILLA ADA (ROMA).	31
FIGURA 24 - CONCENTRAZIONI DI PM1 NELLE SCUOLE DI CIVITAVECCHIA E A VILLA ADA DAL 18 OTTOBRE AL 21 DICEMBRE 2018.....	32
FIGURA 25 - CONCENTRAZIONI DI PM1 RILEVATE IN DIVERSE CAMPAGNE DI MONITORAGGIO ESPRESSE IN $\mu\text{G}/\text{M}^3$	34
FIGURA 26 - CONFRONTO CON VALORI MEDI DELLA CAMPAGNA EFFETTUATA NEI PLESSI SCOLASTICI DI CIVITAVECCHIA E ALCUNE CAMPAGNE DI PM1 RIPORTATE IN LETTERATURA.	35

Indice delle tabelle

TABELLA 1 - LIMITI NORMATIVI DEFINITI DAL D. LGS. N.155/2010.....	8
TABELLA 2 - CENTRALINE FISSE DI MONITORAGGIO NEL COMPENSORIO DI CIVITAVECCHIA.	14
TABELLA 3 - DATI DI PARTICOLATO ATMOSFERICO MISURATI NEL COMPENSORIO DI CIVITAVECCHIA (2017 E 2018).	15
TABELLA 4 - ISTITUTI SCOLASTICI DOVE È STATO INSTALLATO IL CAMPIONATORE E RELATIVI PERIODI DI CAMPIONAMENTO.	18
TABELLA 5 - CONCENTRAZIONI GIORNALIERE DI PM1 NEI TRE PERIODI DI CAMPIONAMENTO.....	20
TABELLA 6 - CONCENTRAZIONI DI PM1 RILEVATE IN DIVERSE CAMPAGNE DI MONITORAGGIO.....	33

LEGENDA

ARPA	Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale
ARPAE	Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale Emilia Romagna
BENZ	Benzene
CNR	Consiglio Nazionale delle Ricerche
CO	Monossido di carbonio
D.LGS.	Decreto legislativo
ER	Emilia Romagna
IPA	Idrocarburi Policiclici Aromatici
ISPRA	Istituto Superiore per La Protezione e la Ricerca Ambientale
ISS	Istituto Superiore di Sanità
LAT	Latitudine
LON	Longitudine
N	Nord
NO _x	Ossidi di azoto
NRO	Numero
NW	Nord-Ovest
O ₃	Ozono
OMS	Organizzazione Mondiale della Sanità
PM	Particulate matter
PROV	Provincia
S.L.M.	sul livello del mare
SO ₂	Biossido di zolfo
STAZ	Stazione
UE	Unione Europea

1 INTRODUZIONE

ARPA Lazio effettua il monitoraggio della qualità dell'aria nel territorio della regione attraverso una rete di centraline di rilevamento fisse e mobili e mediante l'utilizzo di modelli di simulazione di dispersione degli inquinanti.

Il monitoraggio della qualità dell'aria nel comprensorio di Civitavecchia è assicurato oltre che dalle stazioni della rete regionale, anche da un'altra rete di centraline denominata "ex-ENEL", realizzata per il monitoraggio della centrale di Torrevaldaliga Nord. Questa rete è gestita da maggio del 2016 dall'ARPA Lazio a seguito di una convenzione con la Regione e il comune di Civitavecchia. Nell'ambito di tale convenzione l'ARPA Lazio ha realizzato tra ottobre e dicembre 2018 una campagna di monitoraggio del particolato fine (PM1) presso tre istituti scolastici del comune di Civitavecchia.

Il rapporto presenta e illustra i risultati della campagna analizzando i dati rilevati e fornendo come elementi di riferimento i dati delle concentrazioni di PM1 reperiti in letteratura.

2 IL PARTICOLATO ATMOSFERICO

Il particolato atmosferico (in inglese *particulate matter*, PM) è l'insieme di particelle organiche ed inorganiche presenti in sospensione in atmosfera.

Le particelle che costituiscono il particolato atmosferico possono avere dimensioni e forme molto diverse. In un volume d'aria possono essere presenti particelle con dimensioni variabili in un intervallo che comprende quattro ordini di grandezza: fra 0,001 a 20 μm (1 μm =0,001 mm).

Il diametro di una particella viene definito come il diametro di una ipotetica sfera che rappresenta l'equivalente della particella considerata.

Il diametro è uno dei criteri più importanti per suddividere le polveri in sospensione nell'aria; in particolare si definiscono:

- PM10: particelle con diametro inferiore a 10 μm ;

- PM_{2,5}: particelle con diametro inferiore a 2,5 µm;
- PM₁: particelle con diametro inferiore a 1 µm.

Comunemente le polveri ricadenti nelle categorie PM₁ e PM_{2,5} sono dette particelle fini, quelle con diametro inferiore a 10 µm e maggiore o uguale a 2,5 µm particelle grossolane (Figura 1).



Figura 1 - Le dimensioni del particolato atmosferico da 10 a 1 µm di diametro (Freudenberg Filtration Technologies).

Le particelle possono essere di origine naturale (erosione del suolo, spray marino, vulcani, incendi boschivi, dispersione di pollini, etc.) o antropica (industrie, riscaldamento, traffico veicolare e processi di combustione in generale). Possono essere di tipo primario se immesse in atmosfera direttamente dalla sorgente o secondario se si formano successivamente, a seguito di trasformazioni chimico-fisiche di altre sostanze presenti in aria (nonché anche di materiale di origine biologica es. batteri). I processi di formazione primari principali sono le combustioni incomplete (es. naturali: incendi di boschi, emissioni di sostanze organiche da piante; es. antropici: traffico motorizzato, combustione della legna e fuochi all'aperto, impianti di riscaldamento e industrie) e quelli di erosione e disgregazione (es. naturali: suolo; es. antropici: agricoltura silvicoltura, pavimentazione stradale, usura degli pneumatici e dei freni dei veicoli). Anche i sali di origine marina, spore, muffe e pollini sono considerati polveri atmosferiche di origine naturale.

Le particelle di origine antropica sono quasi esclusivamente fini.

La legislazione italiana in materia di inquinamento atmosferico (d. lgs. n. 155/2010) che recepisce la direttiva europea 50/2008/CE, definisce dei valori limite per le polveri PM10 e PM2,5 (Tabella 1).

Tabella 1 - Limiti normativi definiti dal d. lgs. n.155/2010.

Limiti normativi (d.lgs. n.155/2010)					
Inquinante	Indicatore normativo	Periodo mediazione	Valore stabilito	Numero superamenti consentiti	Data rispetto limite
PM10	Valore limite protezione salute umana	24 ore	50 µg/m³	35	01/01/2005
	Valore limite protezione salute umana	anno civile	40 µg/m³	-	01/01/2005
PM2,5	Valore obiettivo	anno civile	25 µg/m³	-	01/01/2010
	Fase 1				
	Valore limite protezione salute umana	anno civile	25 µg/m³	-	01/01/2015
	Fase 2				
	Valore limite protezione salute umana	anno civile	Da stabilire con successivo decreto	-	01/01/2020

L'OMS e l'UE hanno studiato e regolamentato le particelle PM2,5 e PM10, sottolineandone gli effetti negativi sulla salute, e la loro capacità di causare malattie respiratorie e cardiovascolari (European Environment Agency, 2018) (Figura 2).

La normativa per la qualità dell'aria ambiente non prevede un valore limite per il PM1.

Negli ultimi anni si sta approfondendo lo studio degli effetti di particelle ultrafini sulla salute umana (PM < 1 µm).

La dimensione delle particelle, e la loro composizione, infatti è di particolare rilievo nella determinazione degli effetti sulla salute e nella conseguente definizione dei limiti di esposizione per l'uomo: quanto minori sono le dimensioni delle particelle, tanto maggiore è la loro capacità di penetrare nei polmoni danneggiandoli e producendo quindi effetti nocivi sulla salute umana.

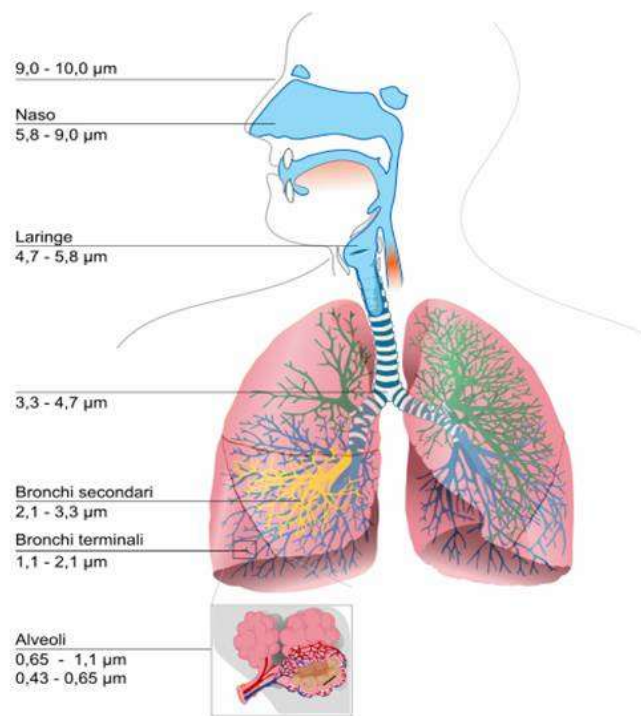


Figura 2 - Capacità di penetrazione del particolato atmosferico nell'albero respiratorio (ISPRA, 2009).

Quando vengono inalate, le particelle PM1 raggiungono l'area più profonda dei polmoni, dove una parte consistente delle stesse attraversa le membrane cellulari degli alveoli (milioni di minuscole sacche contenute nei polmoni, in cui avviene lo scambio tra O₂ e CO₂). In questo modo il PM1 penetra nel flusso sanguigno, danneggiando le pareti più interne delle arterie e oltrepassando il tessuto del sistema cardiovascolare, così da diffondersi all'interno degli organi del corpo umano.

3 IL COMPRESORIO DI CIVITAVECCHIA

L'area del comprensorio di Civitavecchia interessata dalle possibili ricadute ambientali connesse direttamente o indirettamente all'attività della centrale Torvaldaliga Nord è composta da numerosi comuni ed è stata suddivisa in tre zone (Osservatorio Ambientale, 2011) (Figura 3):

- 1) Area di I impatto: coincidente con il comune di Civitavecchia;
- 2) Area di II impatto: comprende i comuni limitrofi in un raggio di 10 km dalla centrale;
- 3) Area vasta: comuni presenti nel raggio di 30 km dalla centrale.

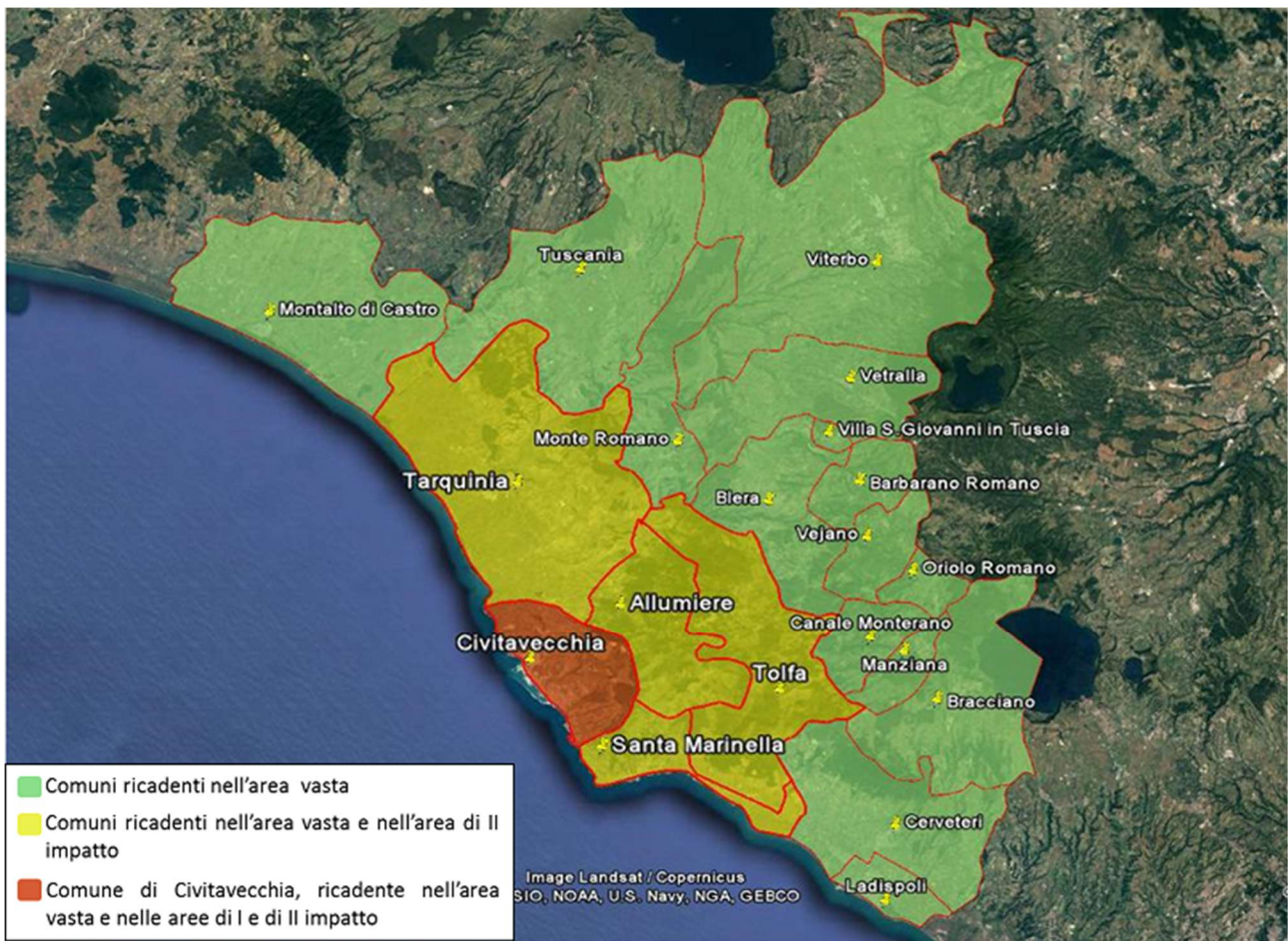


Figura 3 - Individuazione dei comuni i cui territori ricadono nell'area vasta e in quelle di I e II impatto.

Sull'area di I impatto insistono diverse fonti di emissione (attività artigianali, porto, infrastrutture stradali, residenziale, etc.).

La centrale termoelettrica di Torrevaldaliga Nord, che costituisce un sito energetico di importanza nazionale, è ubicata in un'area situata nel territorio del comune di Civitavecchia a circa 2 km a N-NW in linea d'aria dalla città, tra la costa tirrenica e la linea ferroviaria Roma-Pisa, che divide il sito in due parti; oltre il tracciato ferroviario sono situati l'ex parco serbatoi combustibili e la stazione elettrica, mentre l'impianto di produzione vero e proprio, fino ai trasformatori di macchina, occupa l'area prospiciente la costa tirrenica (Figura 4). Complessivamente l'area occupata dall'impianto è pari a circa 700.000 m², su un'area di proprietà di circa 975.000 m².

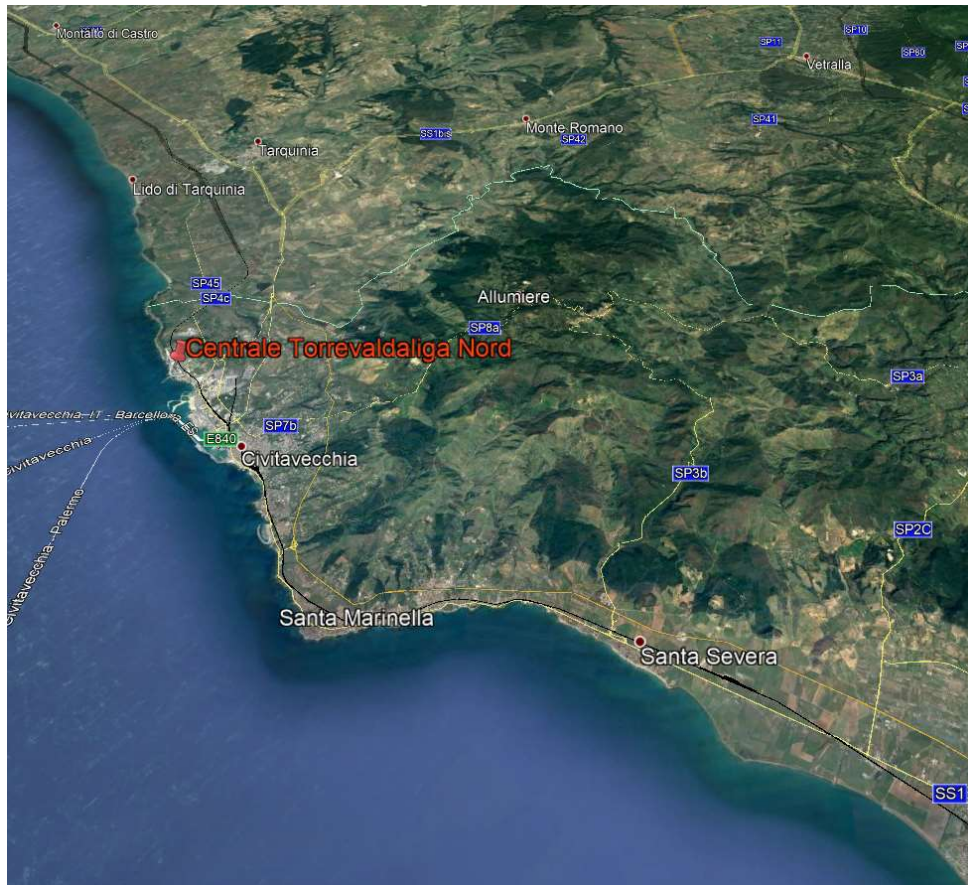


Figura 4 – Mappa del territorio dove è situata la centrale.

La Centrale a gas naturale Torrevaldaliga Sud (di proprietà della Tirreno Power), composta da due moduli di produzione di taglia rispettivamente pari a 400 MW e 800 MW, per una potenza complessiva pari a circa 1.200 MW, utilizzando tre turbogas alimentati esclusivamente a gas naturale. Il porto è diviso in due macro aree dalle dinamiche di mercato diverse: a sud quella dedicata al turismo, al diportismo (principalmente con Sardegna e Corsica) ed alle crociere; a nord l'area per i traffici commerciali, la pesca e il cabotaggio. Inoltre è presente anche una rete viaria autostradale (Roma-Tarquinia Nord A 12), una strada statale (Aurelia SS 1), oltre una rete ferroviaria (Roma-Pisa) a trazione elettrica, nonché un traffico locale di una città di oltre 50 mila abitanti.

4 LA RETE DI MONITORAGGIO NEL COMPRESORIO DI CIVITAVECCHIA

ARPA Lazio gestisce per conto della Regione la rete di monitoraggio fissa della qualità dell'aria, costituita attualmente da 55 centraline in cui viene misurata la concentrazione in aria delle principali specie inquinanti previste dalla normativa (d. lgs. n. 155/2010).

Di queste 55 centraline di monitoraggio 46 sono inserite nel Programma di valutazione della qualità dell'aria regionale.

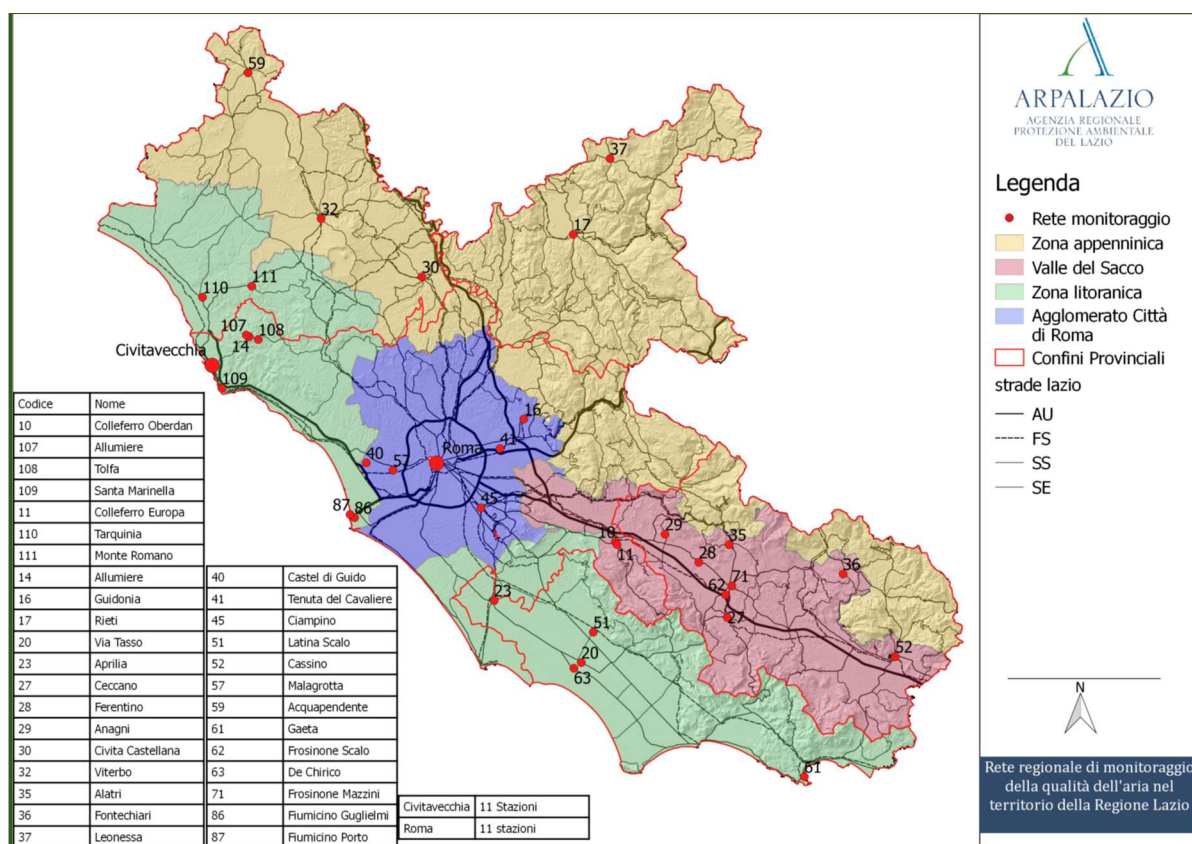


Figura 5 - Localizzazione delle stazioni nella rete di misura regionale.

Delle 9 restanti 7 si trovano nell'area del comprensorio di Civitavecchia, per approfondire la qualità dell'aria in una zona, in cui è attivo il maggior polo di produzione termoelettrica regionale ed un porto in espansione.

Le 7 centraline sul comprensorio sono: via Morandi, Porto, Aurelia, San Gordiano (localizzate nel comune di Civitavecchia) e Santa Marinella, Allumiere e Tolfa.

A maggio 2016 11 centraline della rete ex-ENEL di Civitavecchia sono passate sotto la gestione all'ARPA Lazio a seguito di una convenzione stipulata con la Regione e il comune di Civitavecchia. Le centraline ex-Enel sono gestite con le stesse modalità adottate per la rete regionale.

Le centraline di Tarquinia e Santa Marinella della rete ex-ENEL non sono attualmente attive.

In Figura 6 è rappresentata la distribuzione spaziale delle centraline nel comprensorio di Civitavecchia.

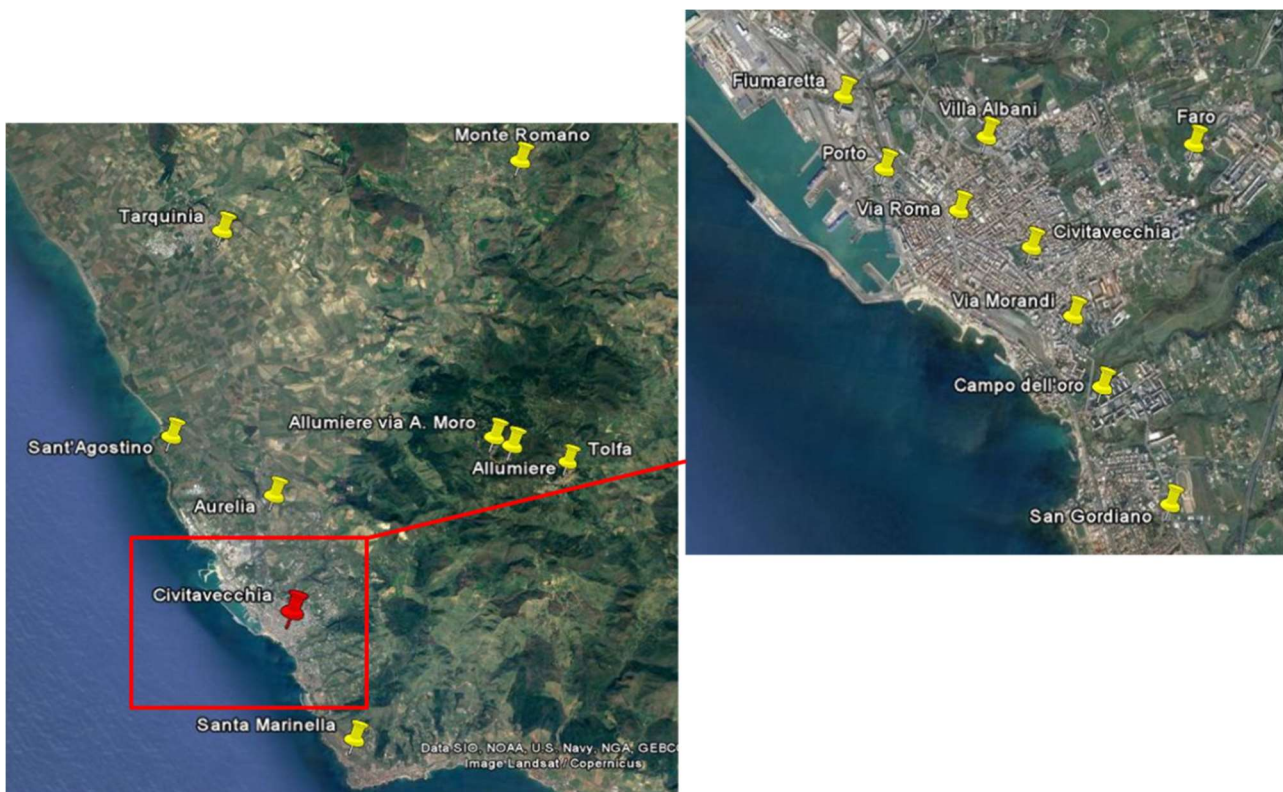


Figura 6 - Stazioni di monitoraggio nel comprensorio di Civitavecchia.

In

Tabella 2 vengono elencate le centraline presenti nel comprensorio e la relativa dotazione strumentale.

Tabella 2 - Centraline fisse di monitoraggio nel Comprensorio di Civitavecchia.

CENTRALINE EX-ENEL GESTITE DALL'ARPA LAZIO															
COMUNE	PROV.	NOME STAZIONE	NRO STAZ.	LAT.	LON.	S.L.M. (M)	PM10	PM2,5	NO _x	BENZ.	SO ₂	CO	O ₃	IPA	METALLI
CIVITAVECCHIA	RM	AURELIA	101	42,137344	11,793163	72	X	-	X	-	-	-	-	-	-
CIVITAVECCHIA	RM	S. AGOSTINO	102	42,159947	11,742631	16	X	-	X	-	-	-	X	-	-
CIVITAVECCHIA	RM	FIUMARETTA	103	42,102158	11,784358	1	X	X	X	X	X	X	-	X	X
CIVITAVECCHIA	RM	FARO	104	42,098903	11,817692	174	X	X	X	-	X	-	-	-	-
CIVITAVECCHIA	RM	CAMPO DELL'ORO	105	42,081825	11,809336	74	X	X	X	-	X	-	-	-	-
CIVITAVECCHIA	RM	S. GORDIANO	106	42,073608	11,815916	87	X	-	X	-	-	-	-	-	-
ALLUMIERE	RM	ALLUMIERE Via A. MORO	107	42,160972	11,900022	467	X	X	X	-	X	-	X	-	-
TOLFA	RM	TOLFA	108	42,152227	11,93583	576	X	-	X	-	-	-	-	-	-
SANTA MARINELLA	RM	SANTA MARINELLA*	109	42,042419	11,833499	15	-	-	X	-	-	-	X	-	-
TARQUINIA	VT	TARQUINIA*	110	42,240389	11,766344	216	X	-	X	-	X	-	-	-	-
CIVITAVECCHIA	VT	MONTE ROMANO	111	42,268561	11,910914	286	X	-	X	-	-	-	-	-	-
CENTRALINE ARPA LAZIO															
COMUNE	PROV.	NOME STAZIONE	NRO STAZ.	LAT.	LON.	S.L.M. (M)	PM10	PM2,5	NO _x	BENZ.	SO ₂	CO	O ₃	IPA	METALLI
ALLUMIERE	RM	ALLUMIERE	14	42,157741	11,908744	542	X	-	X	-	X	-	X	-	-
CIVITAVECCHIA	RM	CIVITAVECCHIA	15	42,091629	11,802466	26	X	-	X	-	X	X	X	X	X
CIVITAVECCHIA	RM	PORTO	60	42,097053	11,788354	6	X	-	X	-	X	-	-	-	-
CIVITAVECCHIA	RM	VILLA ALBANI	83	42,099363	11,798061	34	X	-	X	-	-	-	X	-	-
CIVITAVECCHIA	RM	Via MORANDI	84	42,086803	11,806498	22	-	-	X	-	-	-	X	-	-
CIVITAVECCHIA	RM	Via ROMA	85	42,094147	11,795509	21	-	-	X	-	-	X	-	-	-

*non operative

5 DATI DEL PARTICOLATO ATMOSFERICO NEL BIENNIO 2017-2018

In questo paragrafo vengono presentati i dati del particolato atmosferico (PM10 e PM2,5) registrati dalle centraline presenti nell'area del comprensorio di Civitavecchia negli ultimi due anni (Tabella 3), 2017 e 2018.

Tabella 3 - Dati di particolato atmosferico misurati nel comprensorio di Civitavecchia (2017 e 2018).

INQUINANTE	PM10				PM2,5	
	2017		2018		2017	2018
Stazione	Media annua valore limite 40 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Numero di superamenti valore limite giornaliero 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ max 35 anno	Media annua valore limite 40 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Numero di superamenti valore limite giornaliero 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ max 35 anno	Media annua valore limite 25 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Media annua valore limite 25 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Aurelia	12	0	13	0	-	-
S. Agostino	16	1	15	0	-	-
Fiumaretta	18	0	19	1	10	10
Faro	17	1	17	1	8	8
Campo dell'Oro	18	0	19	3	9	9
S. Gordiano	19	0	19	2	-	-
Allumiere Via A. Moro	16	0	16	1	9	9
Tolfa	14	0	15	2	-	-
Tarquinia	-	-	-	-	-	-
S. Marinella	-	-	-	-	-	-
Monte Romano	16	0	17	0	-	-
Civitavecchia	22	2	19	1	-	-
Porto	20	1	23	3	-	-
V. Roma	-	-	-	-	-	-
Villa Albani	22	2	23	6	-	-
V. Morandi	-	-	-	-	-	-
Allumiere	11	0	12	0	-	-

Il particolato, nonostante l'elevato il grado di antropizzazione della zona di Civitavecchia, non presenta concentrazioni medie annue elevate, sia per il PM10 che per il PM2,5.

Il valore medio annuo del PM10, sia per il 2017 che per il 2018, è intorno ai 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pari a circa la metà del valore limite indicato nel d. lgs. n. 155/2010 che prevede per la media annua il valore di 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Figura 7).

Il valore medio del PM2,5 nello stesso biennio è circa 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, meno della metà del valore limite indicato nel d. lgs. n. 155/2010 e pari a 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (media annua) (Figura 8). Nelle figure seguenti la sequenza degli istogrammi rispetta la distanza della centralina dal centro di Civitavecchia.

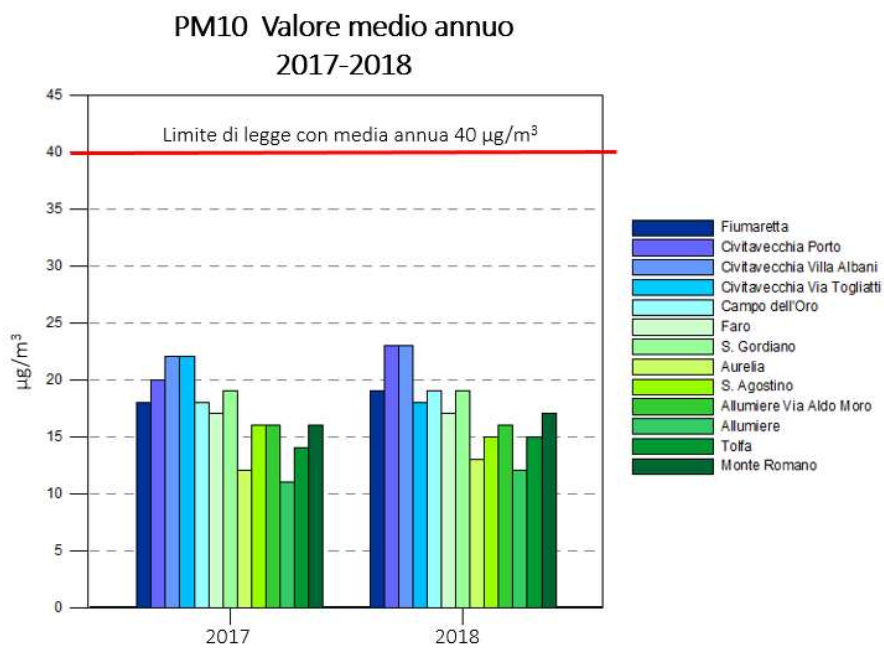


Figura 7 - Valore medio del PM10 nelle stazioni di Civitavecchia e dintorni.

PM2,5 Valore medio annuo 2017-2018

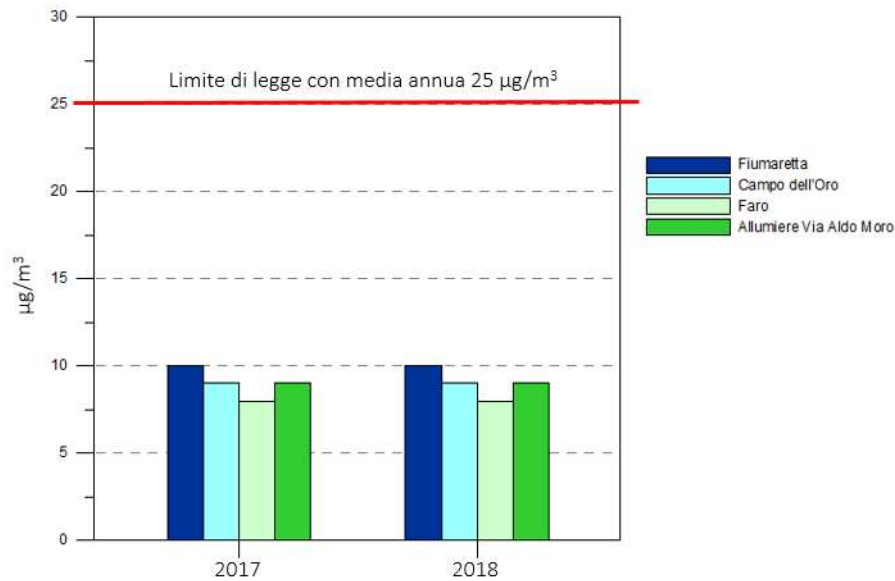


Figura 8 - Valore medio del PM2,5 nelle stazioni di Civitavecchia e dintorni.

Il numero di giorni di superamento del valore limite della media giornaliera del PM10, sia nel 2017 che nel 2018, è dell'ordine di qualche unità (Figura 9) e al di sotto della soglia stabilita dal d. lgs. n. 155/2010 pari a 35 superamenti all'anno.

PM10 Numero di superamenti 2017-2018

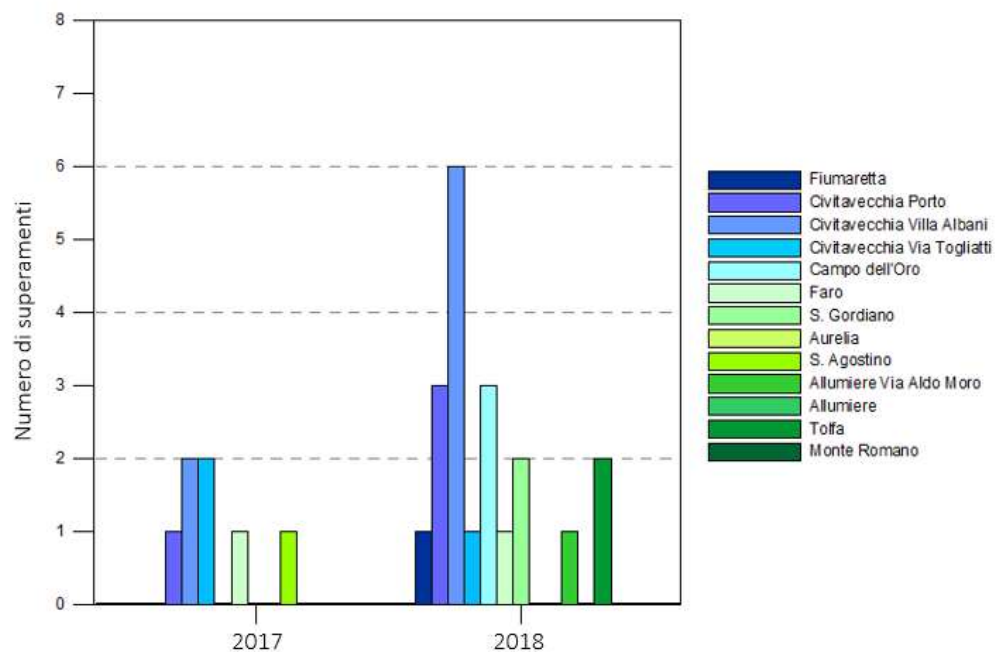


Figura 9 - Numero di giorni di superamento per la media giornaliera di 50 µg/m³ di PM10 nelle stazioni del comprensorio di Civitavecchia.

6 MONITORAGGIO DI PM1 NELLE SCUOLE DI CIVITAVECCHIA

Al fine di approfondire la conoscenza dello stato della qualità dell'aria nel comprensorio di Civitavecchia, con particolare riguardo alla frazione fine del particolato atmosferico, tra ottobre e dicembre 2018 è stata svolta una campagna di monitoraggio di PM1, eseguendo campionamenti in tre periodi consecutivi presso tre istituti scolastici del comune di Civitavecchia (Tabella 4, Figura 10).

Tabella 4 - Istituti scolastici dove è stato installato il campionatore e relativi periodi di campionamento.

ISTITUTO SCOLASTICO	INDIRIZZO	COORDINATE		PERIODO DI CAMPIONAMENTO (ANNO 2018)		NUMERO GIORNI DI CAMPIONAMENTO
		LAT.	LON.	DAL	AL	
Scuola Mons. Papacchini	Via Mons. Papacchini	42,074410	11,815257	18 ottobre	6 novembre	20
Scuola Giovanni Paolo II	Via G. Bruzzesi	42,089581	11,800302	8 novembre	4 dicembre	25
Scuola Borlone	Via G. Donizetti	42,136789	11,5783565	6 dicembre	21 dicembre	15

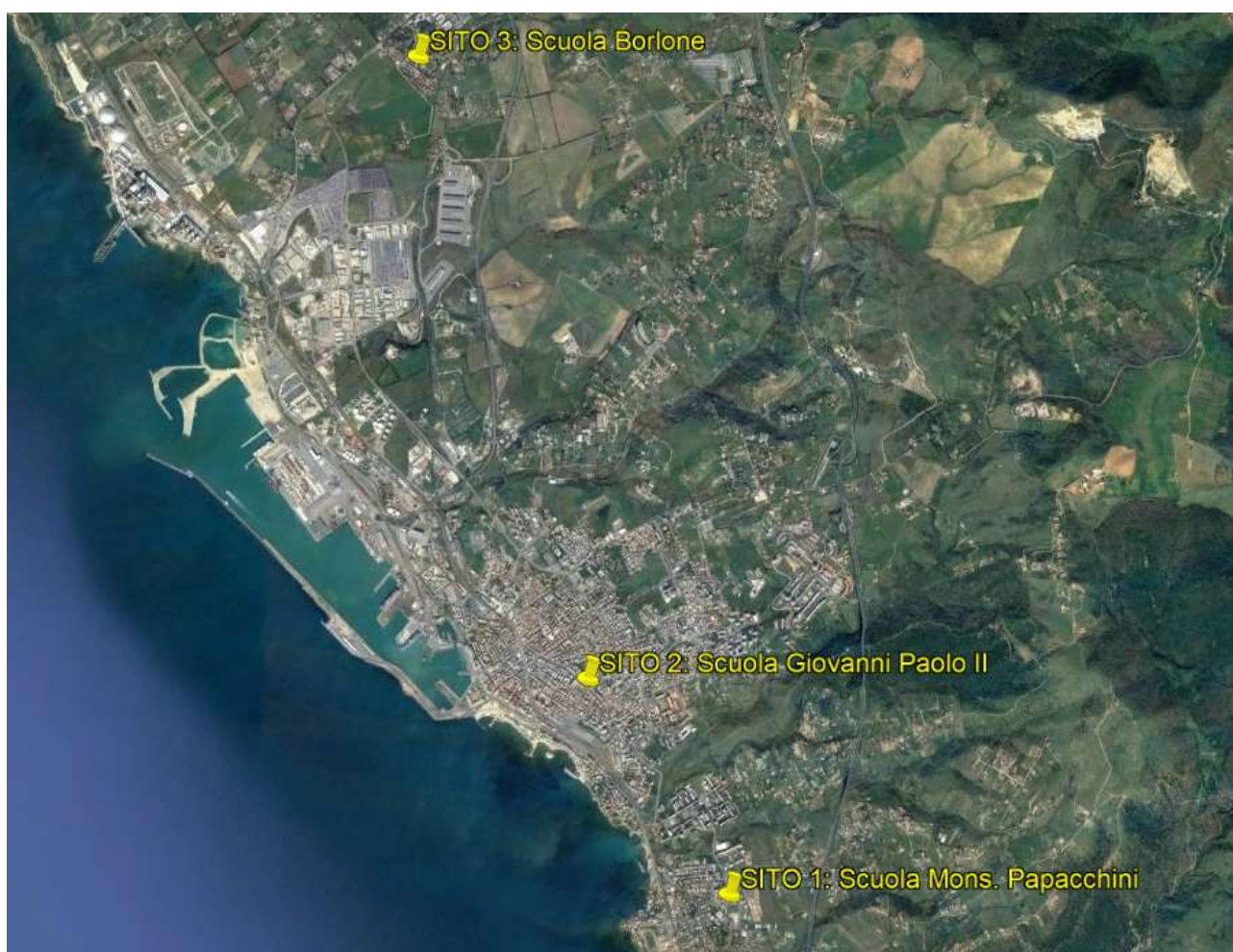


Figura 10 - Siti di campionamento per la campagna di monitoraggio di PM1.

Il campionamento è stato effettuato tramite strumentazione portatile da campo: lo strumento utilizzato è un *Sentinel Tecora* (Figura 11), che permette la raccolta delle polveri fini su una membrana filtrante (filtri in fibra di vetro di diametro 47 mm).

Le polveri raccolte sono state successivamente quantificate come concentrazione media in aria nel periodo interessato dal campionamento, in questo caso 24 ore, tramite misurazione gravimetrica in rapporto al volume totale campionato.

Il campionamento è stato effettuato secondo la norma tecnica UNI EN 12341:2014.



Figura 11 – Campionatori posizionati presso la scuola Mons. Papacchini (Sito 1), scuola Giovanni Paolo II (Sito 2) e scuola Borlone (Sito 3).

7 RISULTATI DELLA CAMPAGNA

Di seguito si riportano le concentrazioni medie giornaliere di PM1 determinate durante la campagna di monitoraggio (Tabella 5, Figura 12).

Tabella 5 - Concentrazioni giornaliere di PM1 nei tre periodi di campionamento.

SCUOLA MONS. PAPACCHINI		SCUOLA GIOVANNI PAOLO II		SCUOLA BORLONE	
GIORNO DI CAMPIONAMENTO	PM1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	GIORNO DI CAMPIONAMENTO	PM1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	GIORNO DI CAMPIONAMENTO	PM1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
18 ottobre	4	8 novembre	2	6 dicembre	1
19 ottobre	5	9 novembre	1	7 dicembre	2
20 ottobre	7	10 novembre	3	8 dicembre	0
21 ottobre	6	11 novembre	3	9 dicembre	0
22 ottobre	3	12 novembre	4	10 dicembre	*
23 ottobre	5	13 novembre	1	11 dicembre	*
24 ottobre	5	14 novembre	0	12 dicembre	2
25 ottobre	5	15 novembre	3	13 dicembre	2
26 ottobre	4	16 novembre	2	14 dicembre	0
27 ottobre	4	17 novembre	2	15 dicembre	4
28 ottobre	4	18 novembre	2	16 dicembre	2
29 ottobre	3	19 novembre	2	17 dicembre	0
30 ottobre	2	20 novembre	1	18 dicembre	1
31 ottobre	2	21 novembre	*	19 dicembre	2
1 novembre	1	22 novembre	*	20 dicembre	4
2 novembre	0	23 novembre	0	21 dicembre	1
3 novembre	1	24 novembre	0		
4 novembre	1	25 novembre	0		
5 novembre	1	26 novembre	0		
6 novembre	1	27 novembre	0		
		28 novembre	0		
		29 novembre	0		
		30 novembre	1		
		1 dicembre	1		
		2 dicembre	2		
		3 dicembre	1		
		4 dicembre	1		
MEDIA	3,2	MEDIA	1,3	MEDIA	1,5

*ore di campionamento non sufficienti

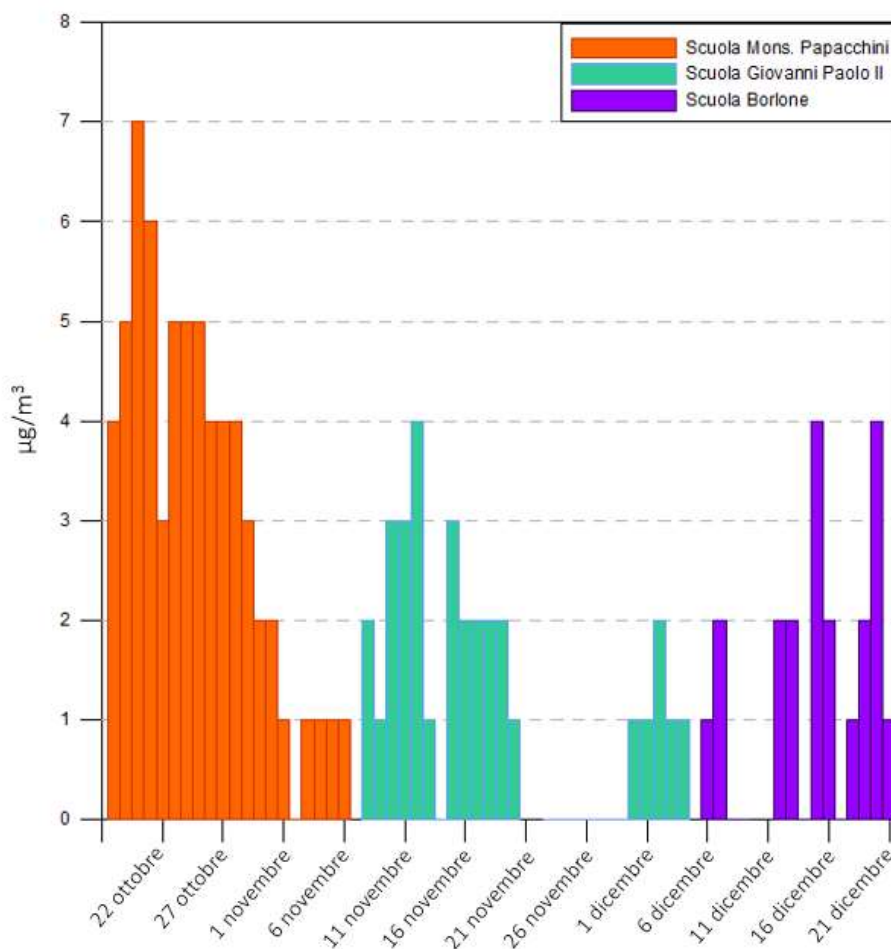


Figura 12 - Concentrazione giornaliera di PM1 presso i tre plessi scolastici.

Durante i venti giorni di campionamento svolto nella scuola Mons. Papacchini la concentrazione media di PM1 è stata pari a $3,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, variando tra 1 e $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Nel secondo periodo di campagna presso la scuola Giovanni Paolo II il PM1 ha presentato valori di concentrazione media ($1,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$) e un valore massimo di $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ con un intervallo di variabilità inferiore a quelli del periodo precedente. Sono state escluse le misurazioni effettuate in data 21 e 22 novembre giorni in cui, a causa dell'assenza di corrente elettrica, il campionatore ha funzionato per un numero insufficiente di ore (< 24 h). Infine nel terzo plesso scolastico in cui è stato effettuato il monitoraggio (scuola Borlone), il range di misure misurate varia da 1 a $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e ha presentato valori di concentrazione media di $1,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Il campionamento ha avuto la durata di 15 giorni e le giornate del 10 e 11 dicembre sono state scartate sempre a causa di mancanza di alimentazione elettrica.

8 ANALISI DEI DATI

8.1 Confronto con dati meteorologici

I dati ottenuti sono stati elaborati valutando la situazione meteorologica del periodo in esame. I dati meteorologici (precipitazioni e intensità del vento) presi in esami provengono dalla stazione meteorologica dell'Aeronautica Militare ubicata a Santa Marinella (Figura 13) (<http://www.meteomanz.com>).

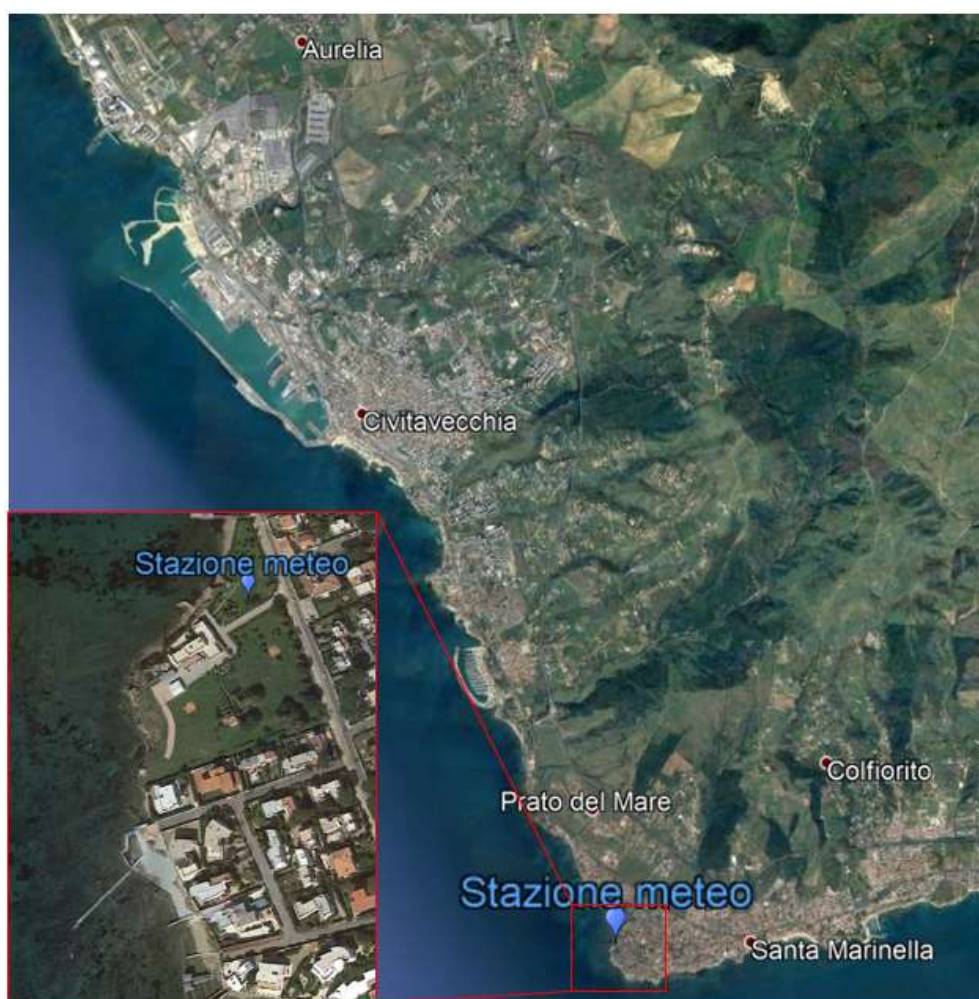
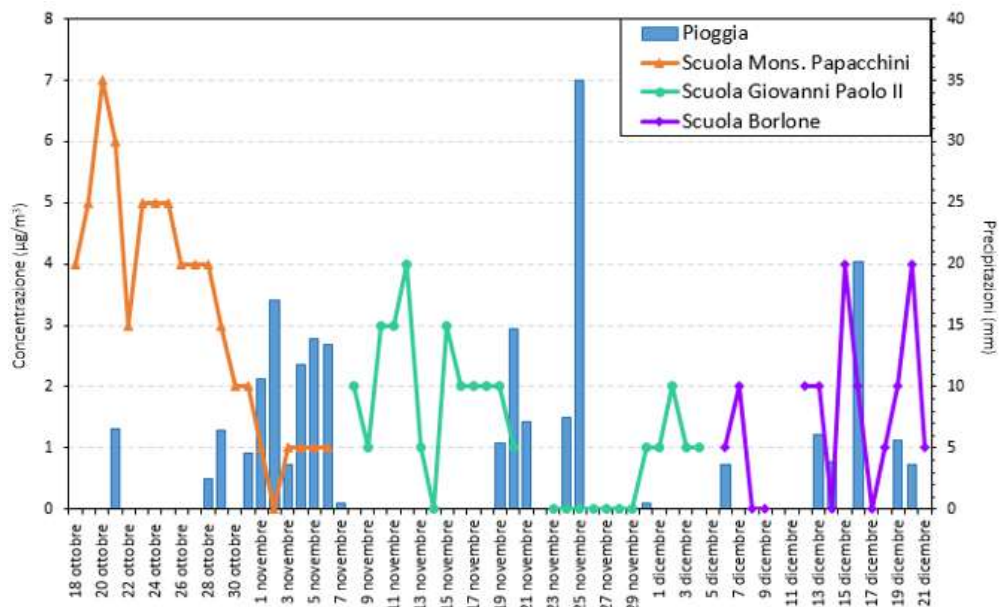
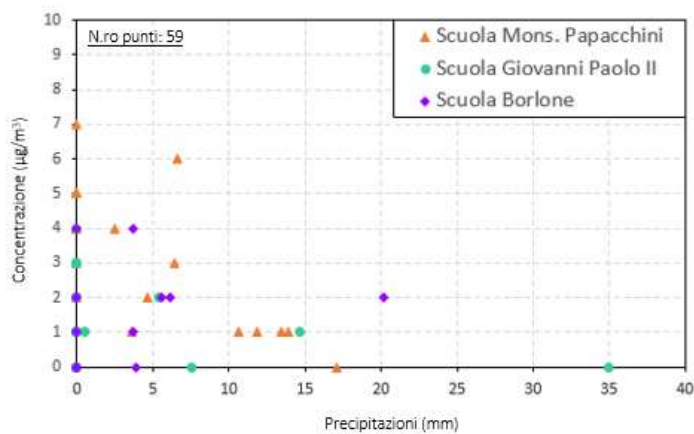


Figura 13 - Sito della stazione meteorologica di Santa Marinella.

Nella Figura 14 viene riportato il confronto tra i dati di concentrazione giornaliera di PM1 della campagna di monitoraggio effettuata nei 3 plessi scolastici di Civitavecchia e i dati delle medie giornaliere delle precipitazioni registrate dalla stazione meteorologica di riferimento.



A)



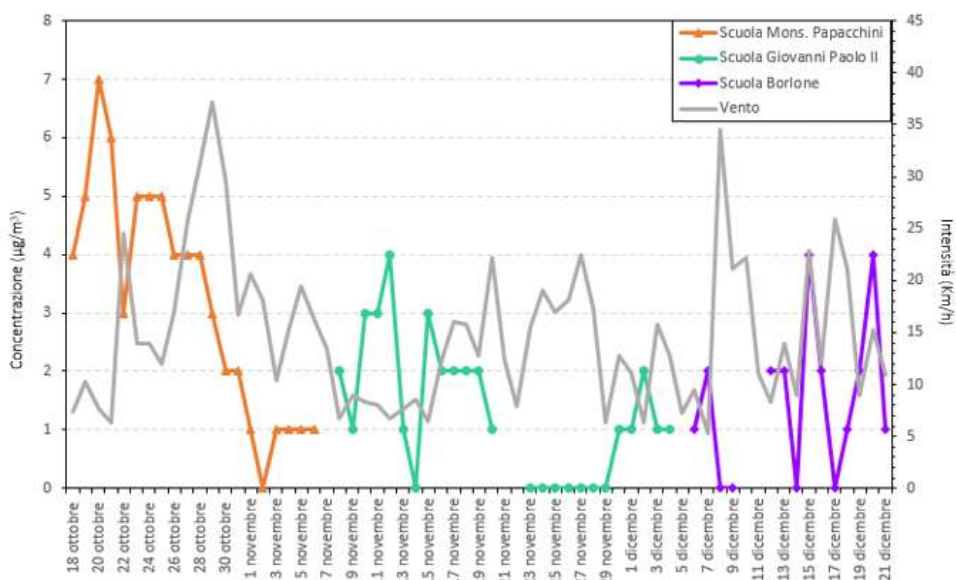
B)

Figura 14 – Andamento (A) e Correlazione (B) tra dati di concentrazione di PM1 e mm di precipitazioni cumulate.

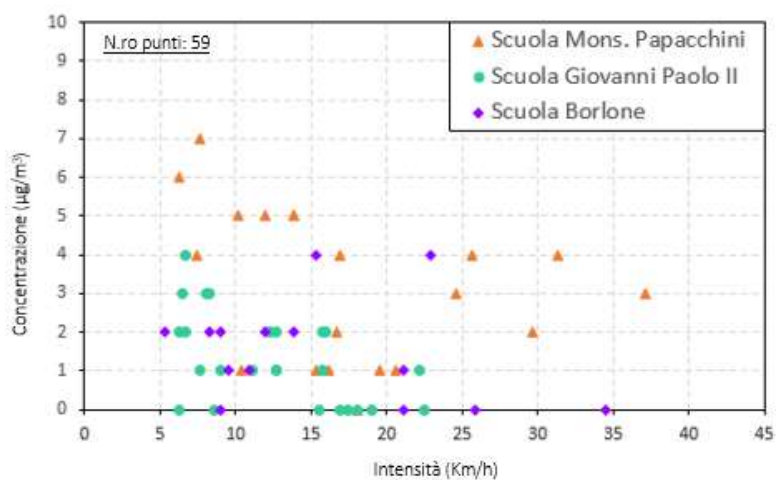
Nella Figura 14 A l'andamento delle concentrazioni giornaliere di PM1 viene messo a confronto con la precipitazione cumulata (in mm). L'intero periodo è stato spesso interessato da perturbazioni con precipitazioni generalmente poco significative (< 20 mm), ad eccezione dell'evento del 25 novembre (35 mm).

Qualitativamente si nota una correlazione tra andamenti delle concentrazioni di particolato ed altezza di precipitazione. All'aumentare della precipitazione cumulata si ha un calo delle concentrazioni di particolato. Questo conferma che il fenomeno di dilavamento dovuto alle piogge porta ad una parziale rimozione del PM1.

Nella Figura 14 B è stata messa in evidenza la relazione che esiste tra la concentrazione di particolato fine e la cumulata delle precipitazioni nel periodo preso in esame. Le concentrazioni tendono a ridursi notevolmente all'aumentare dei mm di precipitazione cumulata, con una distribuzione simile a quella di una iperbole. Questo andamento rispecchia i due fenomeni di wash out e rain out che avvengono durante le precipitazioni e l'inibizione del risollevarsi delle polveri a causa del terreno bagnato. In Figura 15 viene riportata la correlazione tra concentrazione giornaliera di PM1 e intensità del vento.



A)



B)

Figura 15 – Andamento (A) e Correlazione (B) tra dati di concentrazione di PM1 e intensità del vento registrato.

La velocità del vento ha effetto sulle concentrazioni di particolato disperdendole nell'atmosfera. Il grafico riportato nella Figura 15 A mostra una prevalenza della diminuzione delle concentrazioni di PM1 all' aumento dell'intensità del vento.

Per meglio interpretare i dati si sono riportati i valori rilevati in un grafico detto 'scatter-plot' che evidenzia l'eventuale correlazione delle variabili (concentrazione PM1 vs intensità del vento). Utilizzando l'indice R di correlazione, è possibile caratterizzare le relazioni tra due serie di dati. L'indice assume valore massimo uguale a 1 quando le due variabili sono perfettamente correlate (al crescere di un variabile, anche l'altra cresce), -1 in caso di una correlazione indiretta (al crescere di una variabile, l'altra decresce), e 0 in caso di variabili non correlate.

Dalla correlazione tra le concentrazioni di PM1 con intensità del vento (Figura 15 B) si può notare come per i plessi scolastici Giovanni Paolo II e Borlone l'andamento è di tipo iperbolico, quindi ad elevate velocità del vento corrispondono in generale basse concentrazioni di PM1. Si è riscontrato un comportamento diverso relativo al monitoraggio effettuato nella scuola Mons. Papacchini, per la quale a livelli elevati di intensità del vento non corrispondono concentrazioni molto basse di polveri. La correlazione media dei tre plessi è di -0,37.

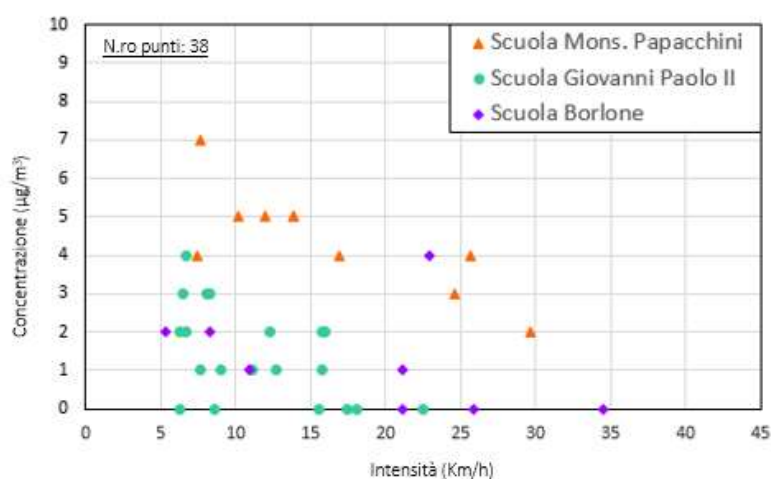


Figura 16 - Correlazione di dati di concentrazione di PM1 e intensità del vento registrato per le sole giornate di assenza di pioggia.

Considerando le sole giornate senza pioggia (Figura 16), al fine di evidenziare il solo contributo del vento all'azione di dispersione delle polveri, si nota che la correlazione media diminuisce ulteriormente fino a -0,56, con un valore di correlazione minima di -0,79 nel plesso Mons. Papacchini.

8.2 Confronto con dati delle centraline della rete di monitoraggio ARPA Lazio

Nella rete di monitoraggio del comprensorio di Civitavecchia vengono misurati quotidianamente il PM_{2,5} e il PM₁₀. Sono stati messi a confronto i dati della campagna effettuata nelle scuole con i dati delle centraline più vicine.

La centralina della rete di monitoraggio fissa scelta per il confronto tra i dati registrati nelle prime due campagne (scuola Mons. Papacchini e scuola Giovanni Paolo II) è quella di Campo dell'Oro. Questa stazione dista circa 1 km da entrambi i plessi e registra giornalmente i dati di PM_{2,5} e PM₁₀. Mentre i dati del monitoraggio effettuato alla scuola Borlone vengono confrontati con i dati di PM₁₀ della stazione Aurelia (distante circa 1 km). Le centraline in cui è presente anche l'analizzatore per il PM_{2,5} sono distanti oltre 3 km dalla scuola Borlone e si è quindi ritenuto opportuno non effettuare il confronto (Figura 17).

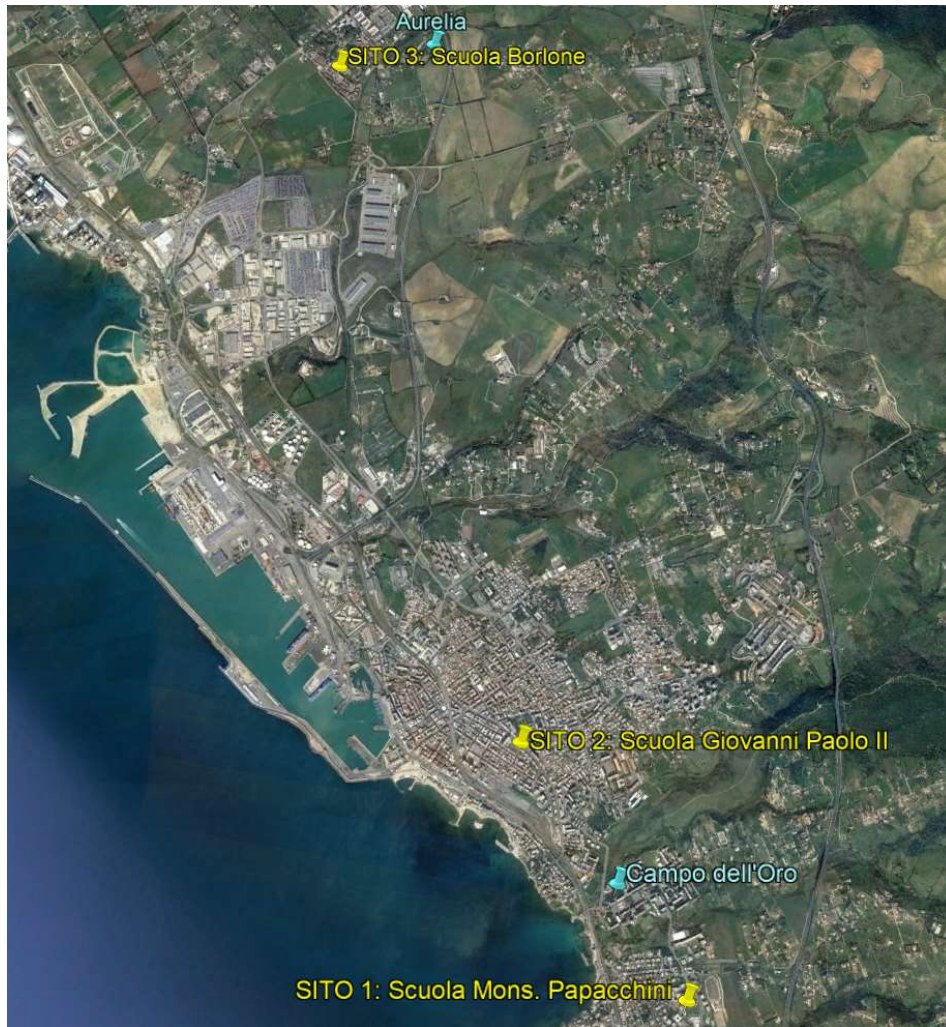


Figura 17 – Siti di campionamento per la campagna di monitoraggio di PM1 e stazioni di Campo dell'Oro ed Aurelia.

Vengono riportati i tre grafici del confronto degli andamenti del particolato atmosferico (Figura 18, Figura 19, Figura 20) nei periodi di monitoraggio presso le scuole.

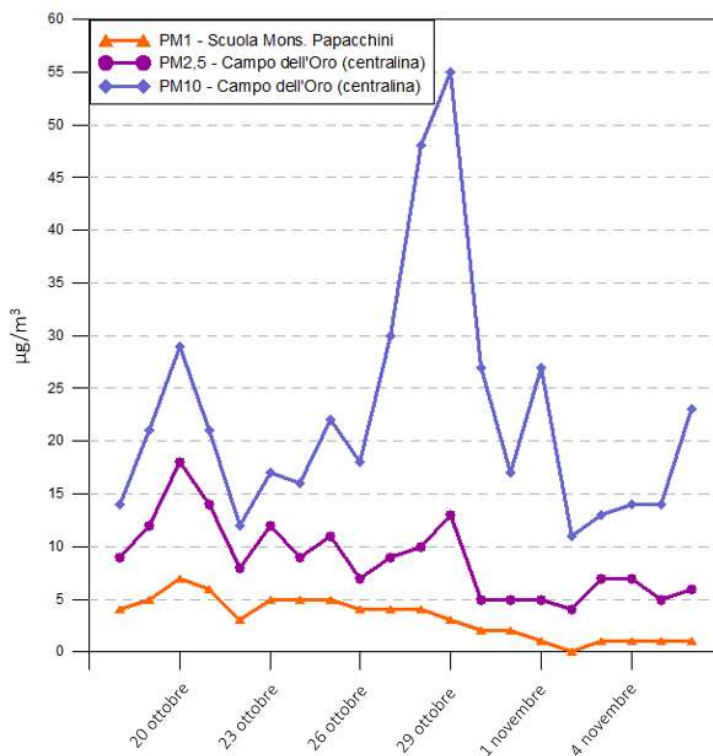


Figura 18 – Trend giornaliero di PM1 della campagna effettuata nella scuola Mons. Papacchini a confronto con dati di PM2,5 e PM10 della centralina di monitoraggio Campo dell’Oro.

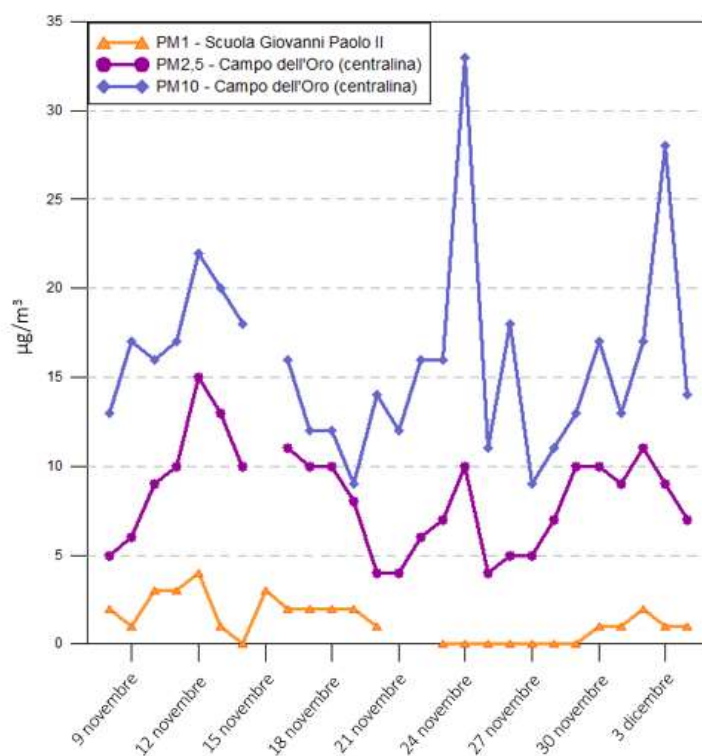


Figura 19 – Trend giornaliero di PM1 della campagna effettuata nella scuola Giovanni Paolo II a confronto con dati di PM2,5 e PM10 della centralina di monitoraggio Campo dell’Oro.

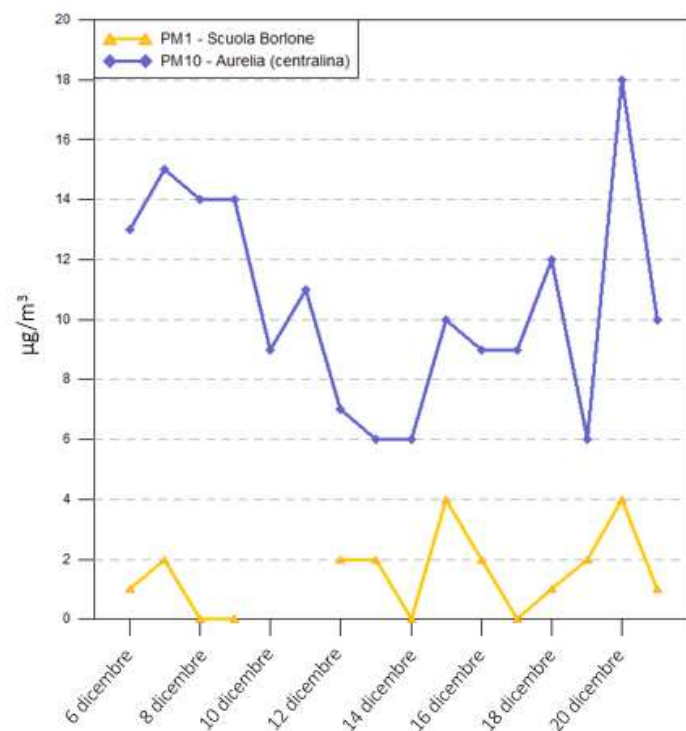


Figura 20 – Trend giornaliero di PM1 della campagna effettuata nella scuola Borlone a confronto con dati di PM10 della centralina di monitoraggio Aurelia.

Per ciascun periodo di campionamento i valori giornalieri di PM10 rilevati sono sempre maggiori di quelli di PM2,5 e PM1 misurati presso gli istituti scolastici.

È possibile fare una stima della frazione di PM2,5 e PM1 rispetto alla concentrazione media di PM10 registrato nei 3 periodi di campionamento effettuati nei plessi scolastici.

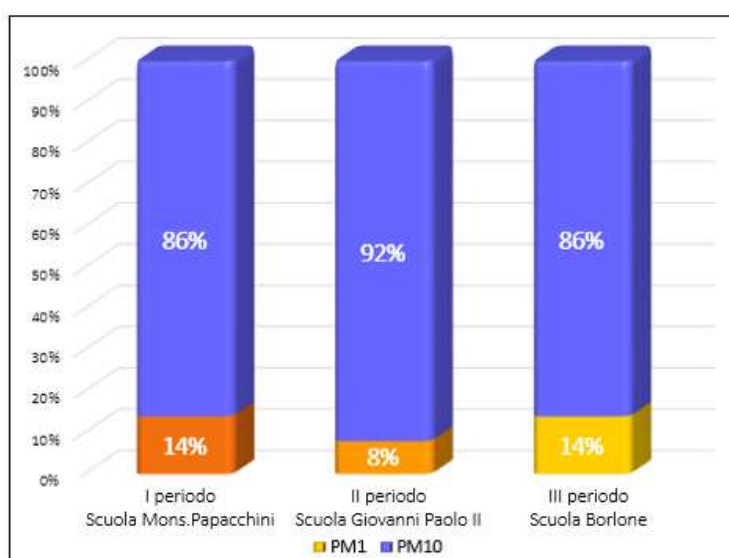


Figura 21 – Istogramma della percentuale di PM1 rispetto alla concentrazione di PM10 misurata per i tre plessi scolastici.

Nella Figura 21 si evince che la frazione di PM1 durante i periodo di campagna effettuata nei 3 plessi scolastici non supera il 14% della frazione di PM10.

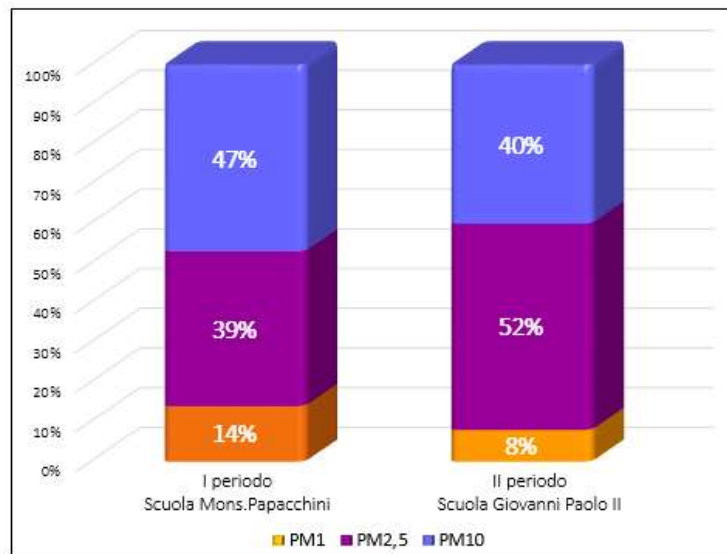


Figura 22 - Istogramma della frazione di PM1 e pM2,5 rispetto alla concentrazione di PM10 misurata durante periodi delle campagne avvenute nella scuola Mons.Papacchini e Giovanni Paolo II.

Mentre se si analizzano le frazioni di PM1 e PM2,5 rispetto al PM10 (Figura 22) si può dedurre che la componente di PM10 è in media intorno al 45%. Nella campagna effettuata nella scuola Mons. Papacchini (dal 18 ottobre al 6 novembre 2018) il PM1 e il PM2,5 corrispondono rispettivamente a circa il 14% e 40% rispetto al PM10. Dall'8 novembre al 4 dicembre 2018, periodo della campagna effettuata nel secondo plesso, invece sono circa l'8% per il PM1 e 50% del PM2,5 rispetto alla frazione di PM10.

8.3 Dati di PM1 a confronto

Al fine di avere ulteriori elementi di valutazione si presentano in questo paragrafo sia dati di concentrazione del PM1 registrati dall'ARPA Lazio nell'ambito di altri monitoraggi sia i valori riportati in studi scientifici o in rapporti di altre Agenzie Regionali per la Protezione Ambientale.

L'ARPA Lazio monitora il PM1 dal 2010 nella stazione di fondo urbano di Villa Ada a Roma (Figura 23).

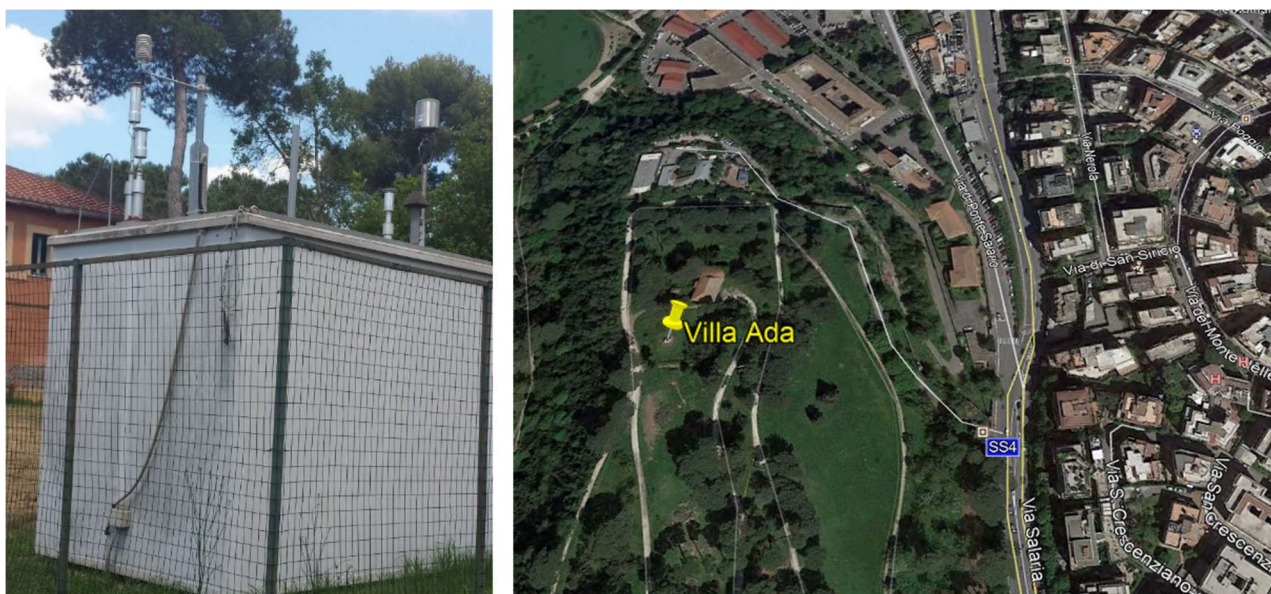


Figura 23 - Foto e ubicazione della stazione di monitoraggio di Villa Ada (Roma).

La media pluriennale delle concentrazioni di PM1 in atmosfera calcolata sui dati rilevati quotidianamente in questa centralina dal 2011 al 2018 è di $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$. La media delle concentrazioni dal 2010 al 2018 calcolata per il periodo da ottobre a dicembre risulta pari $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, superiore a quella rilevata presso le scuole di Civitavecchia ($2 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

In Figura 24 vengono confrontate le concentrazioni di PM1 rilevate nelle scuole di Civitavecchia con quelle registrate nella centralina di Villa Ada nei giorni in cui è stata svolta la campagna di monitoraggio (dal 18 ottobre al 21 dicembre 2018).

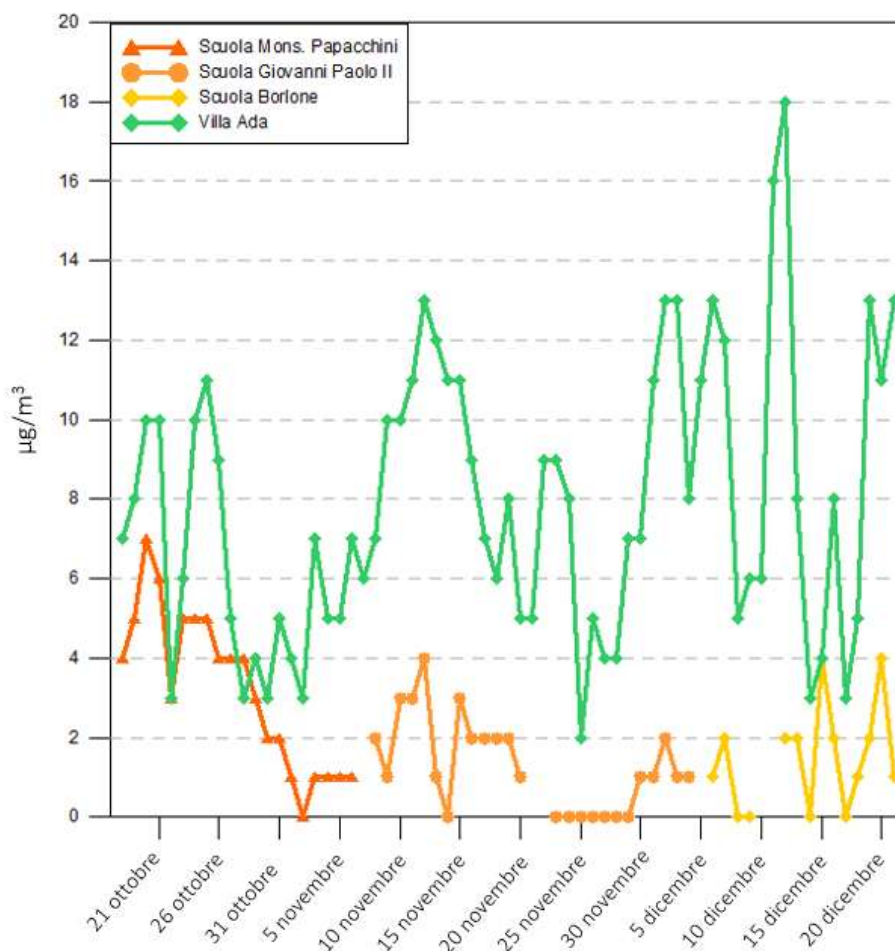


Figura 24 - Concentrazioni di PM1 nelle scuole di Civitavecchia e a Villa Ada dal 18 ottobre al 21 dicembre 2018.

La concentrazione di PM1 rilevata nelle tre scuole di Civitavecchia è più bassa di quella registrata a Villa Ada, che presenta un valore medio pari a $7,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ed un range di variabilità tra 2 e $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$. La differenza di concentrazione può essere dovuta sia alla posizione della centralina di Villa Ada, prossima ad una zona di traffico urbano intenso (via Salaria), sia alla posizione di Civitavecchia situata lungo la costa e che quindi beneficia dell'effetto di dispersione degli inquinanti dovuto alla presenza del mare (brezze di mare).

Dalla ricerca bibliografica condotta è stato possibile raccogliere informazioni riferite a campagne di monitoraggio svolte in diversi siti di campionamento sia in Italia che all'estero.

Le campagne messe a confronto con il monitoraggio del PM1 svolto a Civitavecchia sono relative a periodi diversi e hanno durate variabili (da giorni ad anni). Inoltre differiscono anche nell'espressione

dei risultati: i valori di PM1 vengono pubblicati come la media di valori giornalieri, media di valori mensili, valori medi annuali ed anche valori giornalieri stimati con algoritmi. I dati raccolti sono riportati in Tabella 6 e sintetizzati in Figura 25.

Tabella 6 - Concentrazioni di PM1 rilevate in diverse campagne di monitoraggio.

SITO DI CAMPIONAMENTO		PERIODO DI CAMPIONAMENTO	CONCENTRAZIONE PM1		FONTE	
			µG/M ³			
Civitavecchia Campagna ARPA Lazio	Scuole, area urbana	Dal 18 ottobre al 21 dicembre 2018	Media	2	Valori giornalieri	ARPA Lazio
			Min	1		
			Max	7		
Roma, Villa Ada	Fondo urbano	Dal 2011 al 2018	Media	8	Medie mensili di valori giornalieri	ARPA Lazio
			Min	3		
			Max	23		
Civitavecchia	Area urbana	Dal 5 al 26 aprile 2016	Media	6,3	Valori giornalieri stimati mediante algoritmo	(CNR- F. Costabile, G. Gobbi, 2016)
			Min	2,4		
			Max	11,7		
Roma, viale Regina Elena	Traffico	dal 2005 al 2010	Media	17,3	Valore medio annuo	(ISS, 2010)
San Pietro Capofiume (BO)	Fondo rurale	da novembre 2011 a novembre 2012	Min	7	Valori mensili	(Regione ER, 2017)
			Max	24		
Bologna	Fondo urbano	da novembre 2011 a novembre 2012	Min	9	Valori mensili	
			Max	28		
Castelnovo ne monti (RE)	Fondo urbano	dal 27 novembre 2014 al 1 gennaio 2015	Min	3	Valori giornalieri	(ARPAE ER, 2015)
			Max	25		
Vado Ligure	Fondo urbano, In prossimità della centrale Tirreno Power	dal 30 gennaio al 1 febbraio 2008 e dal 5 al 8 febbraio 2008	Media	25,9	Valore medio su 2 campionamenti di 48 ore	(ARPA Liguria, 2008)
Taranto, Tamburi	Industriale, interna ad ILVA	dal 7 febbraio al 5 marzo 2014	Min	5	Valori giornalieri	(ARPA Puglia, 2013)
			Max	13		
Taranto, Cokeria	Industriale, interna ad ILVA	dal 7 febbraio al 5 marzo 2014	Min	5	Valori giornalieri	
			Max	18,5		
Gdynia (Polonia)	Fondo urbano, Città portuale con centrale a carbone	inverno 2013 estate 2013	Media	3,5	Medie di valori giornalieri	(Majewski G. et al., 2018)
			Media	1,3		

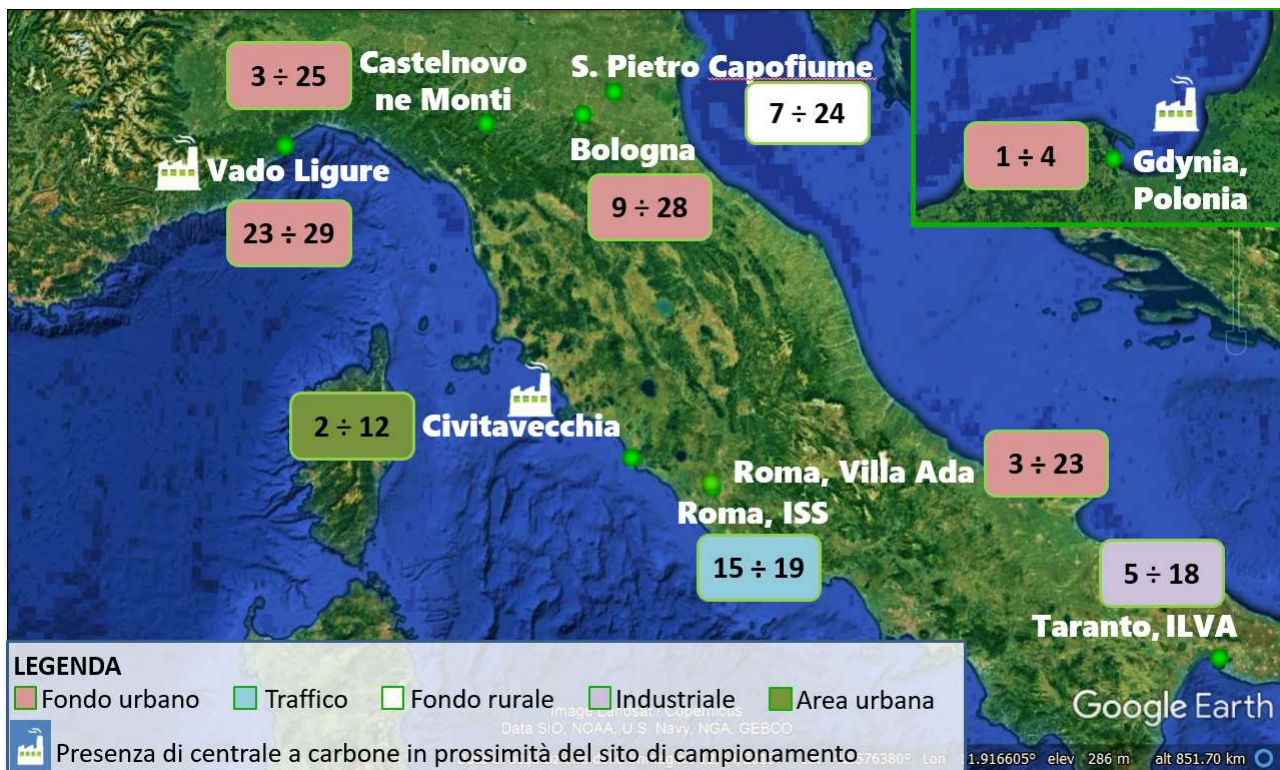


Figura 25 - Concentrazioni di PM1 rilevate in diverse campagne di monitoraggio espresse in $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Dati sulla concentrazione di PM1 a Civitavecchia relativi al 2016 sono stati pubblicati dal CNR. I valori non sono stati misurati come effettuato dall'ARPA Lazio, ma sono stati stimati attraverso un algoritmo, in quanto provenienti da un campionario (Conta particelle ottico OPC) di tipologia diversa rispetto a quello utilizzato dall'Agenzia. Il valore stimato giornaliero tra il 5 e il 26 aprile 2016 mostra delle concentrazioni che variano tra 2 e 12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ con un valore medio pari a 6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, più alte quindi di quelle misurate in questa campagna.

L'Istituto Superiore di Sanità nel periodo dal 2005 al 2010 ha registrato presso la centralina di traffico urbano di viale Regina Elena a Roma una concentrazione media annua pari a 17,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, con oscillazioni del dato medio annuo tra i 15 e i 19 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Risultati analoghi sono stati ottenuti in Emilia Romagna nell'ambito del progetto *Supersito*, in particolare sono state rilevate concentrazioni comprese tra 7 e 24 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ nella stazione di San Pietro Capofiume (fondo rurale) e tra 9 e 28 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ nella stazione di Bologna (fondo urbano).

L'ARPAE Emilia Romagna ha riscontrato concentrazioni tra 3 e 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ nel mese di dicembre 2014 in un'area residenziale in prossimità di una postazione di traffico a Castelnuovo ne Monti (RE).

Nell'ambito di una campagna di monitoraggio di breve durata (2 campionamenti di 48 ore ciascuno) svolta a Vado Ligure (SV) in prossimità della centrale a carbone di Tirreno Power l'ARPA Liguria ha rilevato una concentrazione media di PM1 pari a 26 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Campionamenti effettuati tra il 2013 e il 2014 a Gdynia, città della Polonia situata nella baia di Danzica, hanno mostrato concentrazioni analoghe a quelle rilevate in questa campagna, con una media estiva pari a 1,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ed una invernale di 3,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Il sito in questione è una città portuale, sede di una centrale termoelettrica alimentata a carbone, con un differente scenario meteorologico rispetto a Civitavecchia.

Nella Figura 26 sono stati riportati i valori medi (quando non erano disponibili è stata effettuata la media tra il valore minimo e massimo) di ciascuna campagna di PM1 considerata.

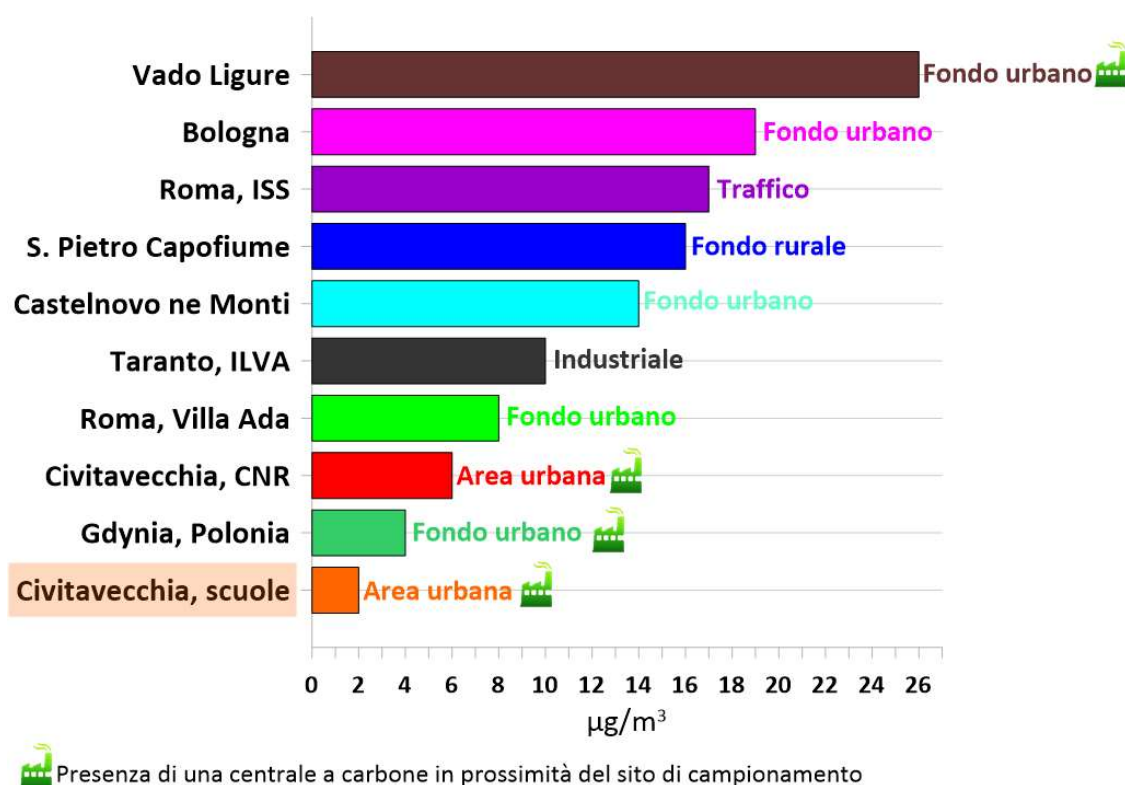


Figura 26 - Confronto con valori medi della campagna effettuata nei plessi scolastici di Civitavecchia e alcune campagne di PM1 riportate in letteratura.

Mettendo a confronto i dati con i dati di PM1 riferiti a siti di campionamento di varia natura (fondo urbano, rurale, traffico o industriale) documentate da altre Agenzie o in studi scientifici, la campagna di monitoraggio effettuata nel territorio di Civitavecchia presenta valori di PM1 inferiori.

9 CONCLUSIONI

Durante la campagna di monitoraggio effettuata presso i tre istituti scolastici di Civitavecchia la concentrazione di PM1 è risultata inferiore a $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$, con un valore medio sull'intera campagna pari $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$. (I periodo, media $3,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$; II periodo, media $1,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$; III periodo, media $1,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

La situazione meteorologica del periodo in esame evidenzia che nella maggior parte dei casi la concentrazione di particolato fine PM1 diminuisce all'aumentare della precipitazione cumulata e dell'intensità del vento. Questo comportamento conferma che i giorni in cui la concentrazione di PM1 è più bassa, il contributo dell'effetto delle condizioni meteorologiche è rilevante. Nello specifico la diminuzione è dovuta al fenomeno di dilavamento che avviene durante le precipitazioni, all'inibizione del risollevarsi delle polveri a causa del terreno bagnato e alla dispersione delle particelle nell'atmosfera dovuta alla presenza di fenomeni ventosi.

Confrontando i dati di PM1 con i valori di PM10 e PM2,5 registrati nelle stazioni fisse della rete di monitoraggio più vicine ai plessi scolastici (Campo dell'Oro e Aurelia), si rileva che valori di PM10 sono maggiori di quelli di PM2,5 e quest'ultimi sono maggiori delle concentrazioni di PM1 registrate.

Nella rete regionale di monitoraggio di ARPA Lazio la centralina di Villa Ada nel centro urbano di Roma registra quotidianamente valori di PM1. Il confronto con questi dati ha portato ad evidenziare un andamento medio delle concentrazioni della campagna effettuata a Civitavecchia più basso rispetto a quello registrato a Villa Ada nello stesso periodo (media PM1 Villa Ada, $7,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$; media PM1 Civitavecchia, $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Inoltre è stato effettuato un confronto con altre campagne di PM1 riportate in letteratura (Tabella 6). La media delle concentrazioni del monitoraggio effettuato a Civitavecchia è risultata essere tra le più basse di tutte le campagne messe a confronto.

È necessario evidenziare i limiti del confronto dei risultati delle diverse campagne che possono essere sintetizzati nei seguenti: limitate informazioni sulle modalità di svolgimento delle misure, durate

temporali molto diverse e svolte in anni e stagioni differenti, strumentazione basata su differenti principi di misura, contesti territoriali che presentano caratteristiche meteo-climatiche e fonti di emissione di inquinamento diverse.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- [1] European Environment Agency. (2018). *Air Quality in Europe*.
- [2] Osservatorio Ambientale. (2011). *Centrale Termoelettrica ENEL Civitavecchia Torrevaldaliga Nord - Rapporto 2010*.
- [3] ISS. (2010). Andamento delle concentrazioni di materiale particolato, limiti normativi e standard di qualità dell'aria. *Nuovi Limiti per il Materiale Particellare Sospeso: Problematiche e Prospettive*.
- [4] Regione ER. (2017). *Piano Aria Integrato Regionale 2020 - Quadro conoscitivo*.
- [5] ARPAE ER. (2015). *Campagna di rilevamento della qualità dell'aria Castelnovo ne Monti*.
- [6] ARPA Liguria. (2008). *Monitoraggio "sperimentale" effettuato con campionatore ad alto volume*.
- [7] ARPA Puglia. (2013). *Relazione sui dati della qualità dell'aria - Taranto*.
- [8] Majewski G. et al. (2018). Concentration, Chemical Composition and Origin of PM1: Results from the First Long-term Measurement Campaign in Warsaw (Poland). *Aerosol and Air Quality Research*(18), 636–654.