

# RISULTATI DEL MONITORAGGIO DI PARTICOLATO PM10 NELL'AREA PORTUALE DI RAVENNA

---

*Anno 2020*

---

*Novembre 2022*



Arpae – Area Prevenzione Ambientale EST  
Servizio Sistemi Ambientali

Relazione a cura di:

Patrizia Luciali  
Samuele Marinello  
Giacomo Agrillo  
Francesca Liguori

Hanno collaborato:

- al campionamento e alla gestione delle postazioni, gli operatori del SSA – Sede di Ravenna:  
Deborah Valbonetti  
Maria Antonia Cavuoto  
Roberto Tinarelli  
Andrea Caccoli  
Stefano Serra
  
- alle determinazioni gravimetriche, gli operatori del Laboratorio Integrato di Ravenna-Ferrara:  
Michela Comandini  
Marilena Montalti  
Davide Verna

Contatti ed informazioni: [pluciali@arpae.it](mailto:pluciali@arpae.it)  
[smarinello@arpae.it](mailto:smarinello@arpae.it)  
[dvalbonetti@arpae.it](mailto:dvalbonetti@arpae.it)  
[fliguori@arpae.it](mailto:fliguori@arpae.it)

Link:

<https://www.arpae.it/it/il-territorio/ravenna/report-a-ravenna/aria/monitoraggio-area-portuale>

Monitoraggio polveri porto - dati 2020

Monitoraggio polveri porto - dati 2017

Monitoraggio polveri porto - dati 2014

Monitoraggio polveri porto - dati 2011

## ***Indice***

<b>Introduzione</b>	2
<b>1- Contesto territoriale di riferimento</b>	3
<b>2- Particolato PM10: riferimenti legislativi e valori guida</b>	3
<b>3- Approccio metodologico</b>	5
3.1 – Le campagne di misura	5
3.2 – Strumentazione di misura	7
<b>4 - Elaborazione ed analisi delle concentrazioni misurate</b>	8
4.1 – Andamento stagionale delle concentrazioni medie giornaliere e calcolo di alcuni parametri statistici – Anno 2020	9
4.2 – Misure discontinue e misure in continuo effettuate nella stazione della RRQA “Porto San Vitale”	15
4.3 - Concentrazioni di PM10 rilevate presso i recettori sensibili e correlazione con i dati delle stazioni della RRQA	17
4.3.1 – Focus sui dati di PM10 misurati presso le tre scuole	20
4.4 – Picchi massimi di PM10 all'interno dell'area portuale e sbarchi	25
4.5 – Analisi delle concentrazioni di PM10 per gruppi di postazioni	26
4.6 - Relazione del particolato misurato con alcune variabili meteorologiche: velocità del vento (VV), umidità relativa (UR) e pioggia	29
4.7 – Confronto delle concentrazioni medie e massime misurate negli anni 2011 – 2014 – 2017 e 2020	34
<b>5 - Conclusioni</b>	36

## Introduzione

L'area industriale-portuale di Ravenna è interessata da emissioni diffuse di particolato determinate da attività che comportano, in particolare, la lavorazione, la movimentazione, il trattamento e lo stoccaggio di merci polverulente.

Arpae, a partire dal 2011 - nell'ambito delle azioni previste dal *Protocollo d'intesa per il miglioramento della qualità ambientale nell'area portuale di Ravenna*, sottoscritto da Provincia e Comune di Ravenna, Autorità Portuale e Confindustria - ha dato avvio ad un esteso monitoraggio del particolato PM10 nell'area i cui risultati integrano le misure in continuo effettuate con la strumentazione fissa installata nella stazione di rilevamento "Porto San Vitale".

I censimenti e i monitoraggi effettuati danno indicazioni sulla situazione emissiva/immissiva e devono essere aggiornati alla luce della continua evoluzione/modifica della realtà portuale: sistemi di mitigazione posti in essere, diversa tipologia di materiali movimentati, installazione di sistemi di gestione per l'abbattimento delle emissioni, variazioni della qualità e quantità dei traffici legate ai continui mutamenti del mercato.

Così, alla prima indagine del 2011, sono seguiti i successivi monitoraggi – effettuati con le stesse modalità – con cadenza triennale: 2014, 2017, 2020.

La presente relazione descrive i risultati delle misure effettuate nel 2020, mentre per il 2011, 2014 e 2017 i rispettivi documenti sono reperibili al link:

<https://www.arpae.it/it/il-territorio/ravenna/report-a-ravenna/aria/monitoraggio-area-portuale>

## 1 - Contesto territoriale di riferimento

Il porto di Ravenna è l'unico porto commerciale dell'Emilia-Romagna e uno dei principali porti dell'Adriatico per traffico merci.

La tradizione marittima e portuale di Ravenna si può far risalire al I secolo a.C. quando Augusto – sfruttando la posizione geografica strategica - decise di collocarvi una delle due flotte imperiali. Il porto continuò ad essere attivo anche dopo la crisi dell'Impero del III sec. e conobbe nuovo splendore in età bizantina. La storia del porto è successivamente contrassegnata da interramenti, eventi alluvionali e conseguenti spostamenti da un'ansa all'altra della laguna che circondava la città.

Fu posto fine a questa situazione, ed al declino dei secoli successivi, con la costruzione, nel XVIII secolo, del canale porto Corsini (così chiamato in onore del Papa Clemente XII), una infrastruttura idraulica realizzata per volere del Cardinale Alberoni, inaugurata nel 1748, che si insinua dal mare fino alla città, per oltre 11 km. Attualmente, il porto di Ravenna è un porto-canale lungo 14 km che si estende dalla località Porto Corsini fino alla Darsena di città e dispone<sup>1</sup> di:

- 11 km di banchine da Porto Corsini alla Darsena di città;
- 2.5 km di banchine presso il Canale Piomboni;
- 10.5 km di banchine lungo il Canale Baiona.

Grazie alla sua posizione geografica, il porto di Ravenna rappresenta uno dei principali approdi in Italia per gli scambi commerciali con i mercati del Mediterraneo orientale e del Mar Nero (quasi il 40% del totale nazionale, ad esclusione del carbone e dei prodotti petroliferi) e svolge una funzione importante per quelli con il Medio e l'Estremo Oriente.

Nel tempo, le attività realizzate all'interno dell'area portuale hanno subito importanti cambiamenti. Questo ha determinato il passaggio da porto industriale a porto prevalentemente commerciale, con una forte prevalenza nella cantieristica navale e nel trasporto delle rinfuse solide e liquide che, attualmente, costituiscono circa il 60% del traffico annuo. Inoltre, nell'area prettamente portuale sono presenti stabilimenti produttivi e depositi costieri di materie prime di svariata natura (chimica, petrolifera, alimentare).

I dati diffusi dall'Autorità di sistema portuale del Mare Adriatico centro-settentrionale per l'anno 2020 evidenziano una movimentazione annua di merci pari a 22.4 milioni di tonnellate, così ripartite:

- 4.2 milioni come rinfuse liquide (18%), principalmente rappresentate da prodotti petroliferi raffinati e prodotti chimici;
- 9.4 milioni sono rinfuse solide (41%), in particolare minerali/cementi/calci e derrate alimentari/mangimi/oleaginosi;
- 8.8 milioni sono merci varie in colli (41%) in contenitori e Ro-Ro.

## 2 - Particolato PM10: riferimenti legislativi e valori guida

La normativa di riferimento in materia di qualità dell'aria è il D.Lgs del 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" e s.m.i.

Il decreto stabilisce un quadro normativo unitario in materia di qualità dell'aria ambiente, identificando metodi e criteri comuni di valutazione e di gestione e definendo valori limite ed obiettivo per le concentrazioni dei diversi inquinanti atmosferici. In particolare, al fine di salvaguardare la salute umana e l'ambiente, il Decreto stabilisce limiti di concentrazione di lungo e di breve termine a cui attenersi per i diversi inquinanti considerati, oltre ad obiettivi, soglie di informazione e di allarme.

Considerando il particolato PM10, oggetto del presente studio, i valori limite indicati dal D.Lgs 155/2010 sono (tabella 1):

<sup>1</sup> fonte: Autorità di sistema portuale del Mare Adriatico centro-settentrionale

Inquinante	Periodo di mediazione	Valore limite D. Lgs 155/2010	
PM10	Media giornaliera (max 35 superamenti all'anno)	50	µg/m <sup>3</sup>
	Media anno civile	40	µg/m <sup>3</sup>

Tabella 1 – Valori limite (VL) per il PM10 - D.Lgs 155/2010

I limiti previsti dal Decreto devono essere calcolati facendo riferimento ai valori delle concentrazioni degli inquinanti rilevati nel corso di un anno civile (dal 1° gennaio al 31 dicembre). La stessa norma prevede, per il particolato, il benzene e il piombo, la possibilità di effettuare *misure discontinue*<sup>2</sup> purché le misure discontinue siano equamente distribuite nel corso dell'anno (per evitare di falsare i risultati), l'incertezza risponda all'obiettivo di qualità del 25% (come per le misure in continuo) e il periodo di copertura sia superiore al 14%. Poiché il conteggio del numero di superamenti di 50 µg/m<sup>3</sup> della concentrazione media giornaliera di PM10 è fortemente influenzato dalla copertura dei dati, il decreto specifica che, per valutare il rispetto di tale limite, si deve calcolare il 90,4° percentile e questo deve essere inferiore o uguale a 50 µg/m<sup>3</sup>.

Sebbene le misure discontinue realizzate nel presente studio soddisfino i criteri sopra riportati, per i siti sensibili (scuole) è applicato anche un approccio statistico (*tecnica di stima obiettiva*<sup>3</sup>) che, mettendo a confronto le concentrazioni misurate nelle campagne di monitoraggio con i dati ottenuti dalle stazioni della rete di rilevamento della qualità dell'aria (RRQA), ricostruisce - in corrispondenza delle tre scuole - le concentrazioni giornaliere di tutta l'annualità. Il rispetto dei limiti del PM10 nei tre siti sensibili viene verificato, quindi, facendo riferimento anche alle concentrazioni stimate e misurate dell'intero anno, come previsto dal Decreto.

Si evidenzia, inoltre, che le 12 postazioni all'interno dell'area portuale si configurano come *ambiente di lavoro* dove valgono limiti per il particolato calcolati in modo diverso e numericamente più elevati rispetto a quelli previsti per la valutazione dell'esposizione della popolazione in generale e la gestione della qualità dell'aria ambiente (D. Lgs 155/2010). In ottica cautelativa, nel presente studio, anche i dati misurati all'interno dell'area portuale sono confrontati con i limiti previsti dal Decreto 155/2010, con l'avvertenza che le misure sono in ambito produttivo e, pertanto, le valutazioni sono conservative.

Nel settembre 2021 l'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) ha pubblicato un aggiornamento delle linee guida sulla qualità dell'aria - WHO global air quality guidelines<sup>4</sup> – riducendo ulteriormente i valori guida<sup>5</sup> anche per il PM10 (tabella 2):

Inquinante	Periodo di mediazione	Valore guida OMS	
PM10	Media giornaliera (da non superare mai)	45	µg/m <sup>3</sup>
	Media anno	15	µg/m <sup>3</sup>

Tabella 2 – Valori guida per il PM10 - OMS (linee guida edizione 2021)

I valori guida della OMS sono i livelli di qualità dell'aria indicati per proteggere la salute umana e, pur non essendo limiti di legge, costituiscono uno strumento per valutare l'esposizione della popolazione a livelli di inquinanti che – secondo le evidenze scientifiche disponibili - non sono dannosi per la salute e forniscono un importante riferimento per fissare gli standard e gli obiettivi normativi (tra cui l'attuale revisione della direttiva europea).

<sup>2</sup> **misurazioni discontinue** - Per il benzene, il piombo e il particolato è possibile applicare misurazioni discontinue invece delle misurazioni in continuo. A tal fine, le misurazioni discontinue devono essere equamente distribuite nel corso dell'anno per evitare di falsare i risultati e si deve dimostrare che l'incertezza risponde all'obiettivo di qualità del 25% e che il periodo di copertura rimane superiore al periodo minimo di copertura previsto per le misurazioni indicative. (...)Se le misurazioni discontinue sono utilizzate per valutare il rispetto del valore limite del PM10, occorre valutare il 90,4 percentile (che deve essere ≤ 50 µg/m<sup>3</sup>) [nota 1 dell'Allegato I del DLgs 155/2010]

<sup>3</sup> **tecniche di stima obiettiva**: metodi per calcolare le concentrazioni a partire da valori misurati in luoghi o tempi diversi da quelli a cui si riferisce il calcolo, basati su conoscenze scientifiche circa la distribuzione delle concentrazioni [art.2 lettera v) - DLgs 155/2010].

<sup>4</sup> <https://apps.who.int/iris/handle/10665/345329>

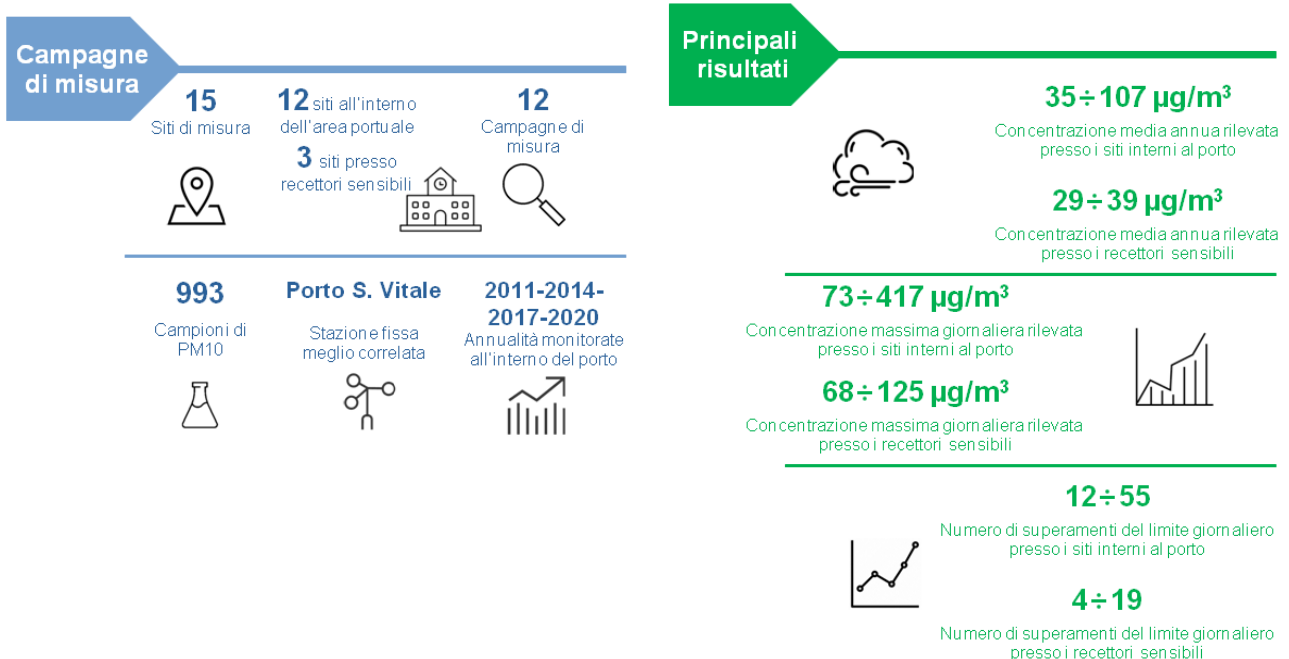
<sup>5</sup> **Valori guida OMS**: concentrazioni in aria di inquinanti, associate a tempi di esposizione, al di sotto delle quali non sono attesi effetti avversi per la salute, secondo le evidenze scientifiche disponibili.

### 3 – Approccio metodologico

I siti monitorati sono in totale quindici. I cinque strumenti usati per il campionamento del PM10 (Skypost) sono stati impiegati contemporaneamente (compatibilmente alla situazione emergenziale legata alla diffusione globale dell'infezione da SARS-CoV-2) in cinque siti di misura, opportunamente suddivisi in tre blocchi.

Delle cinque postazioni monitorate in contemporanea, quattro sono all'interno dell'area portuale e "coprono" l'intera zona (dall'area SAPIR fino a Nord, lungo la Via Baiona in riva sinistra del Canale Candiano), mentre la quinta è in corrispondenza di un sito sensibile (plesso scolastico); sono state così monitorate le tre aree scolastiche potenzialmente soggette alla polverosità prodotta nella zona portuale (Porto Corsini – Marina di Ravenna – Punta Marina).

In ogni sito di campionamento sono state effettuate quattro campagne di misura, ciascuna della durata di circa due settimane, per un totale di otto settimane di misura distribuite uniformemente durante l'anno, in conformità con quanto previsto dal D.Lgs. 155/2010 per le misure discontinue.



#### 3.1 – Le campagne di misura

In figura 1 sono riportati i siti di misura, la sigla identificativa e il nome dell'azienda / scuola.

Le postazioni sono le stesse monitorate nelle precedenti annualità (2011, 2014 e 2017).

Alcune aziende, nel corso degli anni, hanno cambiato proprietà/nome e, di conseguenza; anche la postazione: così il sito K+S Agricoltura (2020) era Compo nel 2017 e CBR (2020) era Adriacal (2017).

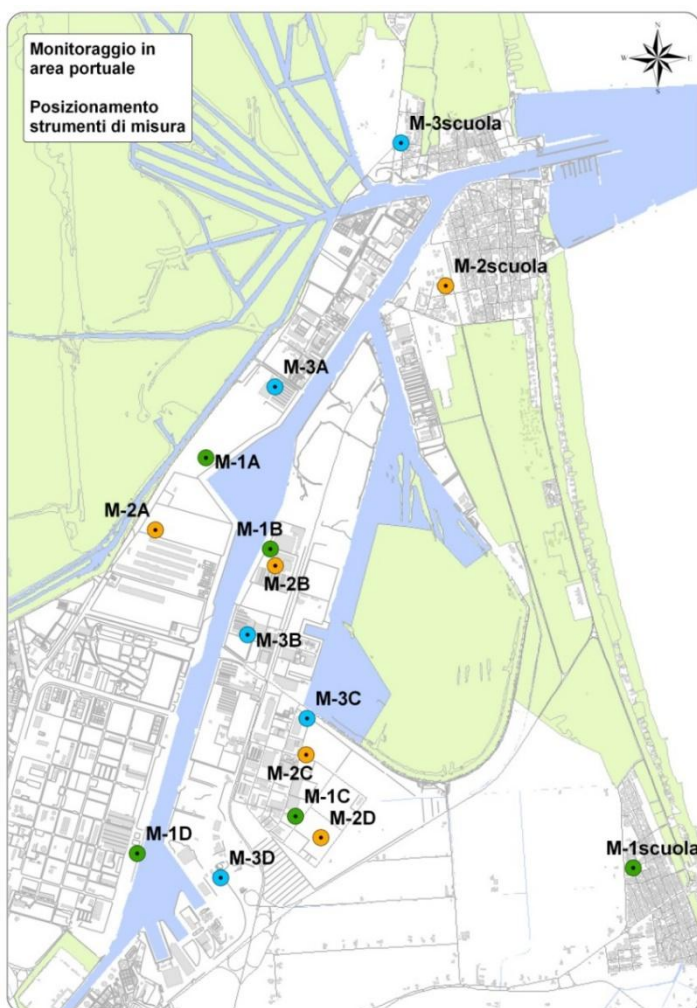
Nell'individuare le postazioni facenti parte di un "blocco" si è tenuto conto:

- della presenza di una scuola (recettore sensibile);
- dell'ottimizzazione della "copertura" dell'area portuale da Nord a Sud.

In tabella 3, per ogni sito, oltre alla sigla identificativa e al nome dell'azienda / scuola, è indicato il periodo di campionamento e il numero di dati validi (concentrazioni medie giornaliere).

In tutte le postazioni il periodo di copertura è decisamente superiore al 14% (52 dati) previsto dal DLgs 155/2020 per le misurazioni discontinue del PM10.





<b>M-1A</b>	Terminal Nord
<b>M-1B</b>	Gesco Cons.
<b>M-1C</b>	K+S Agricoltura
<b>M-1D</b>	Yara Italia
<b>M-1 scuola</b>	Scuola Punta Marina

<b>M-2A</b>	IFA
<b>M-2B</b>	Eurodocks
<b>M-2C</b>	Antrakoi
<b>M-2D</b>	CBR
<b>M-2 scuola</b>	Scuola Marina di RA

<b>M-3A</b>	Lloyd
<b>M-3B</b>	Docks Cereali
<b>M-3C</b>	Soco
<b>M-3D</b>	SAPIR/Porto S.Vitale
<b>M-3 scuola</b>	Scuola Porto Corsini

Figura 1 – Postazioni di misura

Sito		Campagna 1	Campagna 2	Campagna 3	Campagna 4	N° dati	
<b>BLOCCO 1</b>	<b>M-1 A</b>	Terminal Nord	9 gen – 22 gen	21 mar – 8 apr	4 lug – 19 lug	1 ott – 22 ott	<b>63</b>
	<b>M-1 B</b>	Gesco Cons.	9 gen – 22 gen	21 mar – 8 apr	4 lug – 19 lug	1 ott – 22 ott	<b>72</b>
	<b>M-1 C</b>	K+S Agricoltura	9 gen – 22 gen	21 mar – 8 apr	4 lug – 19 lug	1 ott – 22 ott	<b>65</b>
	<b>M-1 D</b>	Yara Italia	9 gen – 22 gen	21 mar – 8 apr	4 lug – 19 lug	1 ott – 22 ott	<b>66</b>
	<b>M-1scuola</b>	Scuola Punta Marina	9 gen – 22 gen	29 mag – 14 giu	1 ott – 22 ott	11 dic – 27 dic	<b>65</b>
<b>BLOCCO 2</b>	<b>M-2 A</b>	IFA	11 feb – 4 mar	12 mag – 27 mag	29 lug – 12 ago	3 nov – 20/11	<b>66</b>
	<b>M-2 B</b>	Eurodocks	11 feb – 4 mar	12 mag – 27 mag	29 lug – 12 ago	3 nov – 20/11	<b>61</b>
	<b>M-2 C</b>	Antrakoi	11 feb – 4 mar	12 mag – 27 mag	29 lug – 12 ago	3 nov – 20/11	<b>66</b>
	<b>M-2 D</b>	CBR	11 feb – 4 mar	12 mag – 27 mag	29 lug – 12 ago	3 nov – 20/11	<b>67</b>
	<b>M-2scuola</b>	Scuola Marina di RA	11 feb – 4 mar	12 mag – 27 mag	29 lug – 12 ago	3 nov – 20/11	<b>68</b>
<b>BLOCCO 3</b>	<b>M-3 A</b>	Lloyd	3 mar – 19 mar	29 mag – 14 giu	1 set – 19 set	11 dic – 27 dic	<b>68</b>
	<b>M-3 B</b>	Docks Cereali	3 mar – 19 mar	29 mag – 14 giu	1 set – 19 set	11 dic – 27 dic	<b>68</b>
	<b>M-3 C</b>	Soco	3 mar – 19 mar	29 mag – 14 giu	1 set – 19 set	11 dic – 27 dic	<b>68</b>
	<b>M-3 D</b>	SAPIR/Porto S.Vitale	3 mar – 19 mar	29 mag – 14 giu	1 set – 19 set	11 dic – 27 dic	<b>68</b>
	<b>M-3scuola</b>	Scuola Porto Corsini	3 mar – 1 apr	4 lug – 19 lug	6 ott – 22 ott	(*)	<b>62</b>
<b>TOTALE CAMPIONI PM10</b>						<b>993</b>	

(\*) Nel sito M3-scuola di Porto Corsini, è stato raccolto un numero di dati sufficiente per valutare gli standard di qualità dell'aria, ma non uniformemente distribuiti: manca la campagna invernale per ragioni legate all'emergenza COVID (interdetto l'accesso)

Tabella 3 – Sintesi delle campagne di misura



La postazione M-3D (SAPIR / Porto San Vitale) è in corrispondenza della stazione fissa denominata “Porto San Vitale” e facente parte della “Rete locale di Ravenna” – tipo di stazione: industriale (scheda in figura 2). Nella stazione è installato, fra gli altri, lo strumento che misura *in continuo* le polveri PM10 (SWAM - misura automatica con tecnica ad assorbimento beta).

La stazione Porto San Vitale – di proprietà di Confindustria e Autorità Portuale – è gestita da Arpae che, quotidianamente valida i dati rilevati e li pubblica sul sito istituzionale, nella sezione “Stazioni locali”, all’indirizzo: <https://apps.arpae.it/qualita-aria/bollettino-ga-provinciale/ra>



<b>Stazione: Porto San Vitale (Ravenna)</b>	<b>Stazione locale industriale</b>
	
<b>Tipo Stazione: Industriale</b>	<b>Coordinate geografiche:</b>
<b>Inquinanti: PM<sub>10</sub> – PM<sub>2,5</sub> - NO<sub>x</sub> - SO<sub>2</sub>- CO - O<sub>3</sub> - BTX</b>	UTM32    X: 758889    Y: 926401

Figura 2 – Stazione Porto San Vitale

### 3.2 – Strumentazione di misura

Lo strumento utilizzato per le misure discontinue del particolato PM10 è lo Skypost (figura 3), conforme alla norma Europea CEN 12341:2014. I filtri, sui quali è raccolto il particolato, sono pesati in laboratorio prima e dopo il campionamento, previo condizionamento (determinazione gravimetrica). Noto il volume di aria campionato dallo strumento per ogni filtro (flusso: 2.3 m<sup>3</sup>/ora x 24 ore ~ 55,2 m<sup>3</sup>) e il peso (µg) del particolato raccolto (determinato in laboratorio con pesata), si calcola la concentrazione di particolato in aria come rapporto fra questi due valori (µg/m<sup>3</sup>).



Figura 3 - Campionatore particolato Skypost

Nella stazione “Porto San Vitale”, e nelle altre stazioni della rete, è installato, invece, lo strumento FAI SWAM (figura 4) che “pesa” il particolato raccolto sul filtro a partire dall’entità dell’attenuazione della radiazione beta nell’attraversare il filtro campionato. Questo strumento è *certificato equivalente* alla norma CEN 12341:2014.

Skypost e FAI SWAM differiscono, quindi, per il principio di determinazione della quantità di particolato raccolto, mentre sono uguali gli altri parametri caratteristici, in particolare il flusso e la geometria della testa di prelievo che effettua il taglio granulometrico PM10.

Annualmente è verificata la linearità delle misure effettuate con i due strumenti al fine di verificare la rispondenza dell’incertezza che, secondo il DLgs 155/2010, deve essere inferiore al 25%.

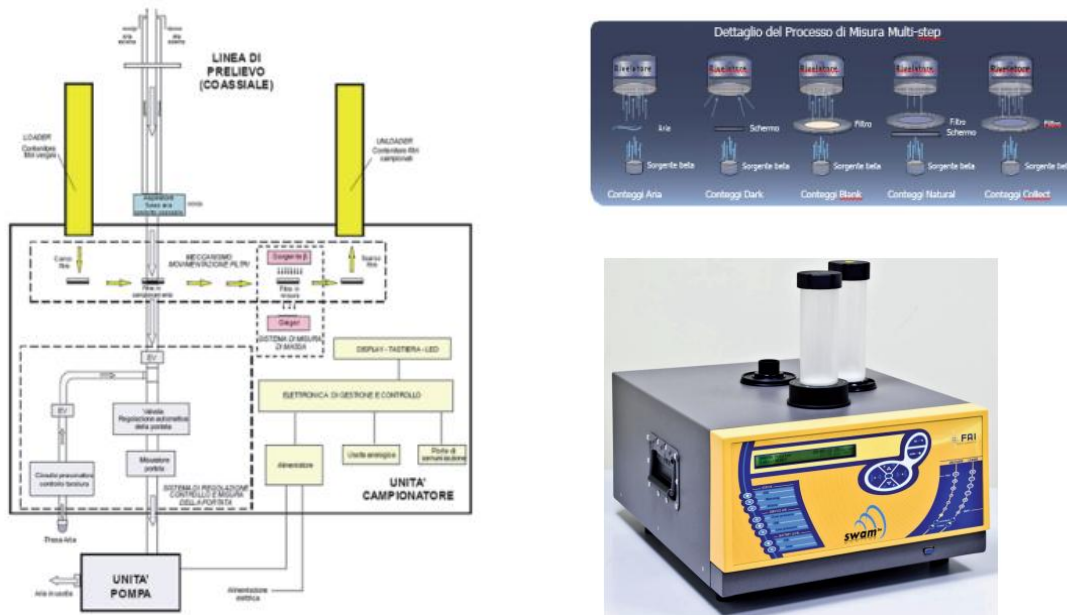


Figura 4 – strumento assorbimento  $\beta$  - FAI SWAM

#### 4 – Elaborazione ed analisi delle concentrazioni misurate

Di seguito si riportano i risultati dell’elaborazione e dell’analisi dei dati relativi alle campagne di misura; in particolare:

- l’andamento stagionale delle concentrazioni medie giornaliere di PM10 ed il calcolo di alcuni parametri statistici per l’anno 2020;
- il confronto delle concentrazioni di PM10 rilevate dalla strumentazione Skypost e FAI SWAM in corrispondenza della stazione Porto San Vitale;
- la valutazione delle concentrazioni di PM10 misurate presso i tre recettori sensibili (scuole) e della correlazione con i dati delle stazioni della RRQA;
- l’approfondimento sui valori di concentrazione di PM10 particolarmente alti e relazione con le operazioni di sbarco;
- l’analisi delle concentrazioni PM10 per “gruppi omogenei di siti”;
- la relazione fra le concentrazioni di PM10 ed alcune variabili meteorologiche;
- il confronto delle concentrazioni medie e massime misurate negli anni 2011 – 2014 – 2017 e 2020.

### 4.1 – Andamento stagionale delle concentrazioni medie giornaliere e calcolo di alcuni parametri statistici – Anno 2020

Le figure 5 – 8 mostrano i grafici con l'andamento delle medie giornaliere nelle postazioni, suddivise per campagne (tre campagne per stagione) e stagione.

In ogni grafico, come confronto, è sempre rappresentata (linea azzurra) anche la misura di PM10 effettuata nella stazione "Porto San Vitale" con strumentazione automatica.

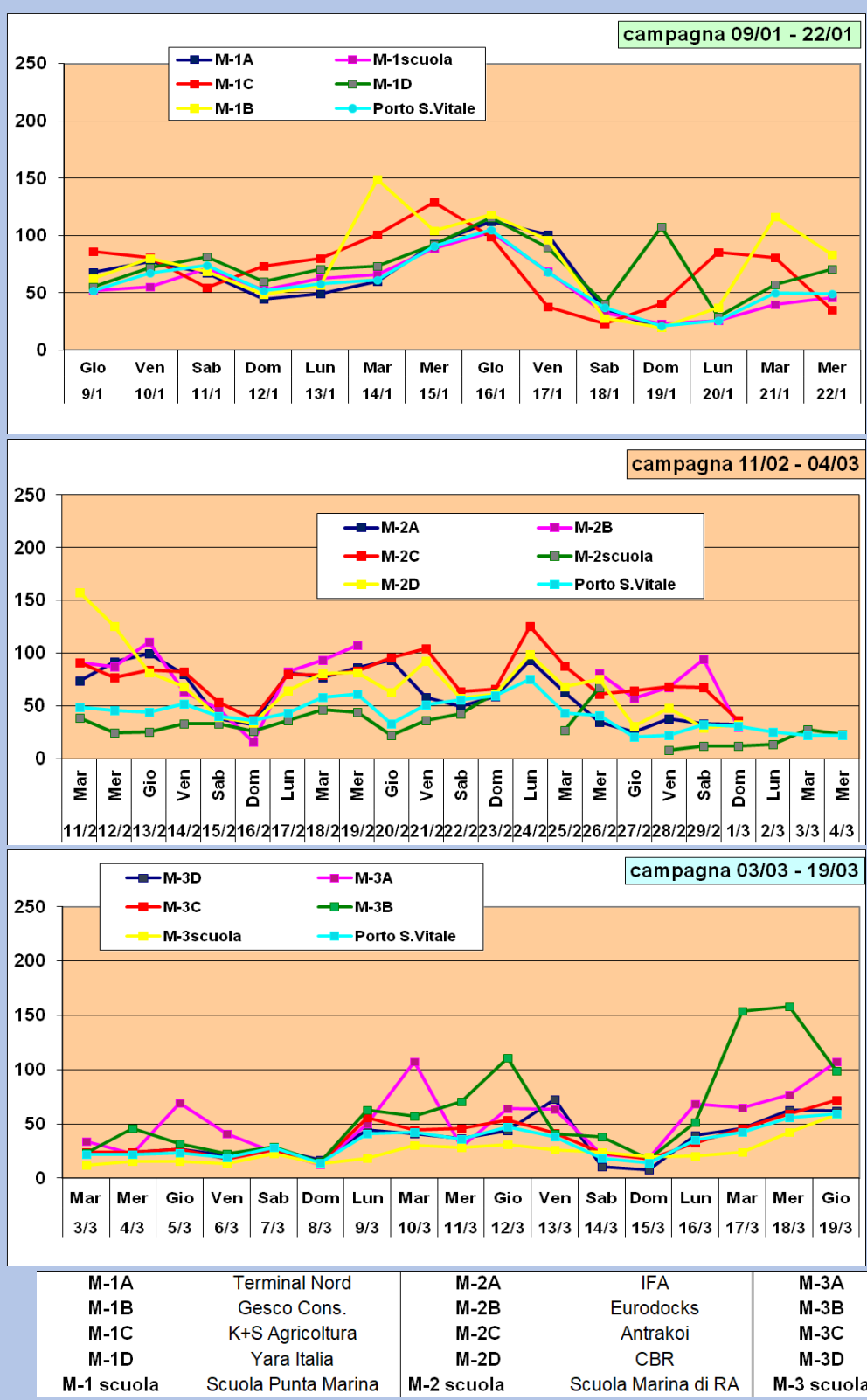
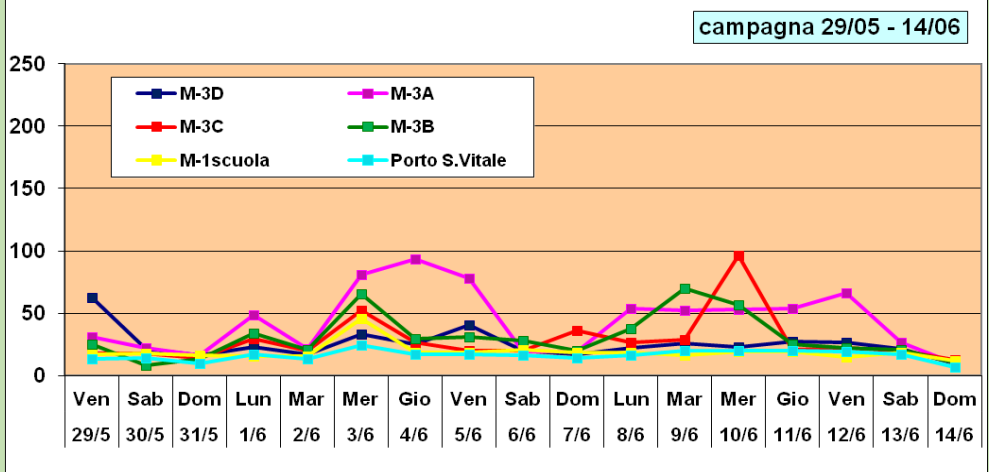
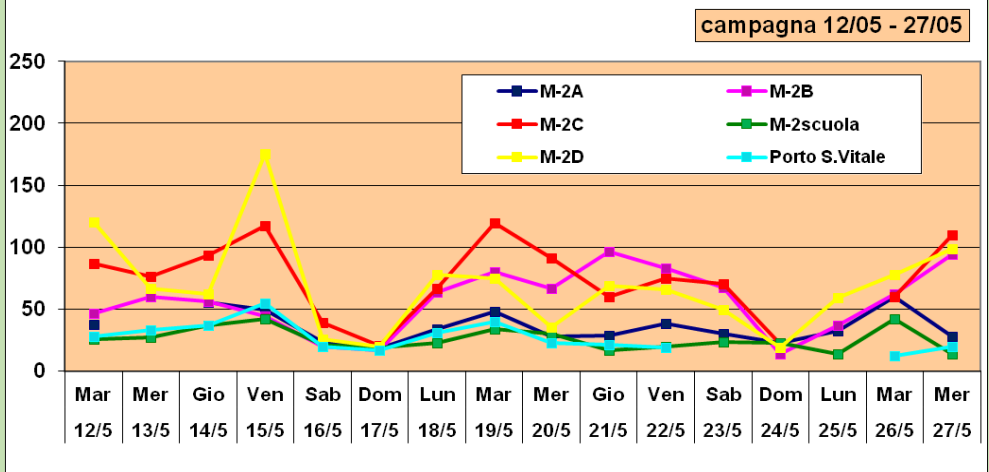
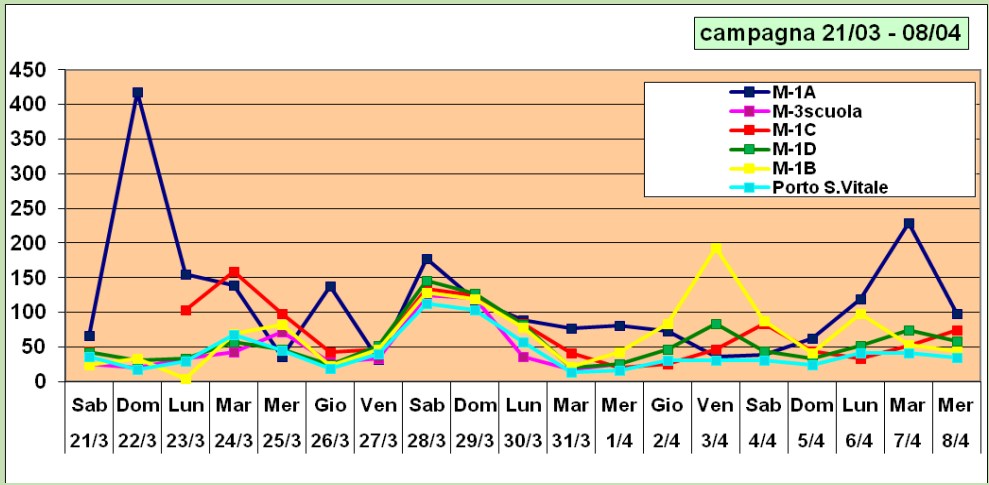


Figura 5  
Campagne inverno  
(gennaio – marzo)

Anno 2020



M-1A	Terminal Nord	M-2A	IFA	M-3A	Lloyd
M-1B	Gesco Cons.	M-2B	Eurodocks	M-3B	Docks Cereali
M-1C	K+S Agricoltura	M-2C	Antrakoi	M-3C	Soco
M-1D	Yara Italia	M-2D	CBR	M-3D	SAPIR
M-1 scuola	Scuola Punta Marina	M-2 scuola	Scuola Marina di RA	M-3 scuola	Scuola Porto Corsini

Figura 6  
Campagne primaverile (aprile – giugno)

Anno 2020

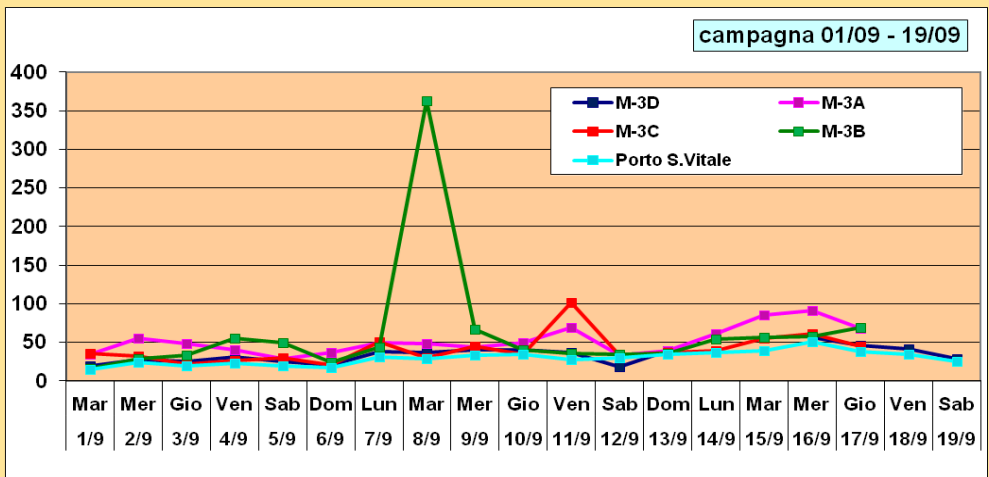
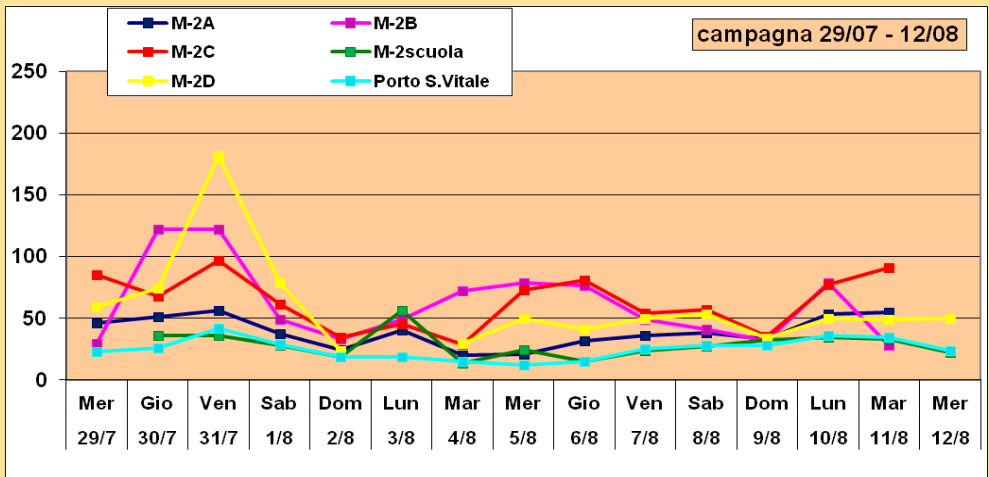
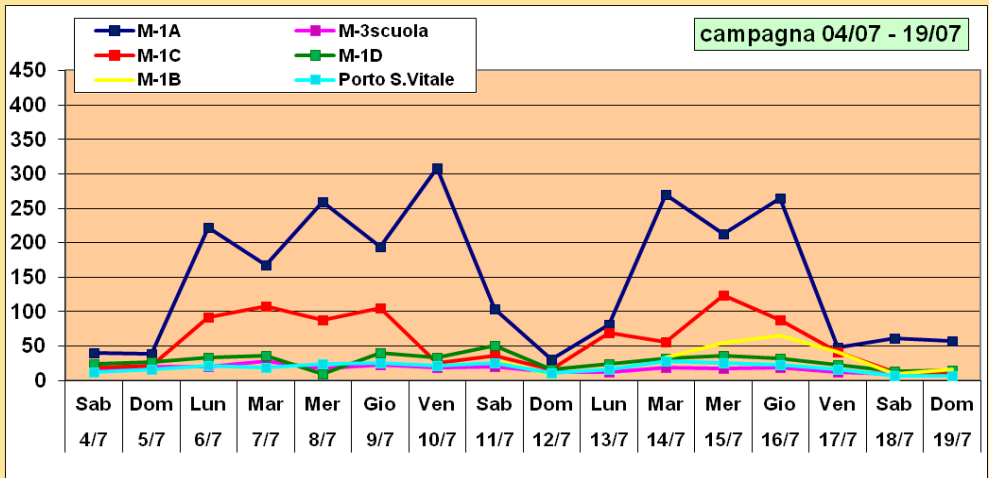


Figura 7  
Campagna estate  
(luglio – settembre)

Anno 2020

M-1A	Terminal Nord	M-2A	IFA	M-3A	Lloyd
M-1B	Gesco Cons.	M-2B	Eurodocks	M-3B	Docks Cereali
M-1C	K+S Agricoltura	M-2C	Antrakoi	M-3C	Soco
M-1D	Yara Italia	M-2D	CBR	M-3D	SAPIR
M-1 scuola	Scuola Punta Marina	M-2 scuola	Scuola Marina di RA	M-3 scuola	Scuola Porto Corsini

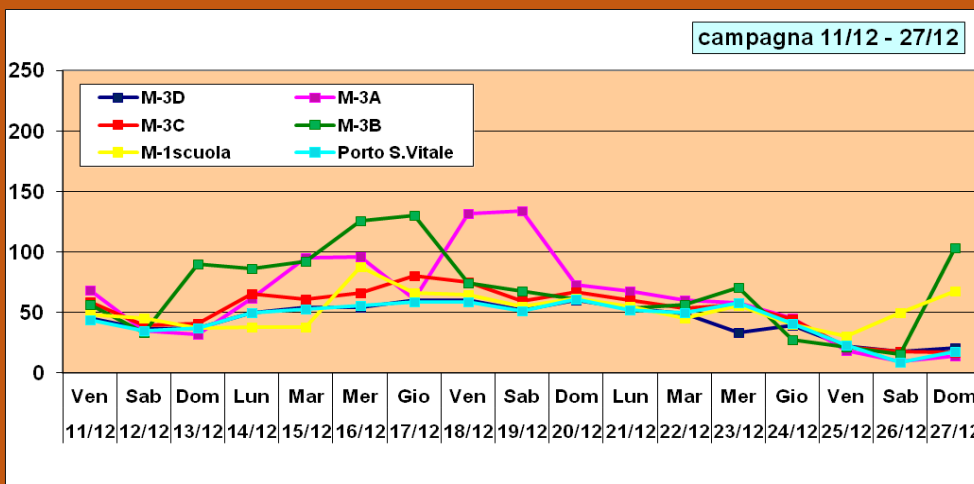
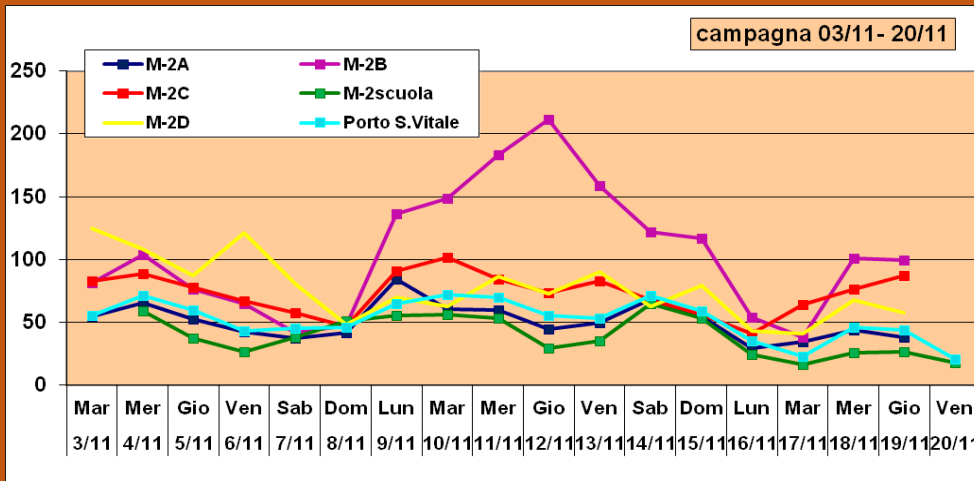
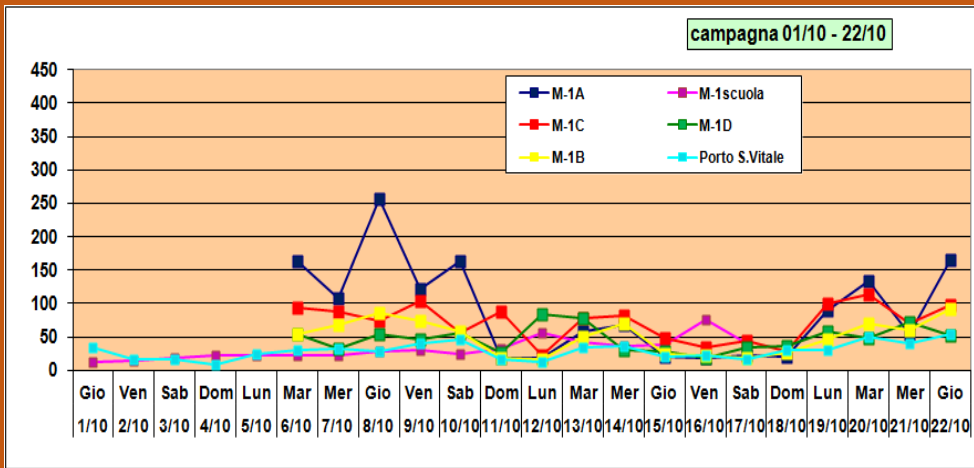


Figura 8  
Campagna autunno  
(ottobre – dicembre)

Anno 2020

M-1A	Terminal Nord	M-2A	IFA	M-3A	Lloyd
M-1B	Gesco Cons.	M-2B	Eurodocks	M-3B	Docks Cereali
M-1C	K+S Agricoltura	M-2C	Antrakoi	M-3C	Soco
M-1D	Yara Italia	M-2D	CBR	M-3D	SAPIR
M-1 scuola	Scuola Punta Marina	M-2 scuola	Scuola Marina di RA	M-3 scuola	Scuola Porto Corsini



La tabella 4 riporta, per ciascun sito, alcuni dati statistici calcolati a partire dai dati giornalieri misurati nel 2020 nelle 15 postazioni; in particolare:

- numero di dati validi;
- la media annua delle concentrazioni misurate nella postazione;
- la concentrazione massima giornaliera misurata;
- il 90,4° percentile delle concentrazioni misurate;
- Il numero di giorni in cui – durante il monitoraggio – è stata superata la concentrazione di 50 µg/m<sup>3</sup>;
- la percentuale di giorni (rispetto al numero di giorni di misura) in cui è stata superata la concentrazione di 50 µg/m<sup>3</sup>.

Sito	N° dati validi	Media annua [µg/m <sup>3</sup> ]	Max giornaliero [µg/m <sup>3</sup> ]	90.4° [µg/m <sup>3</sup> ]	N° di sup di 50 µg/m <sup>3</sup>	N° di sup %
<b>M-1 A</b> Terminal Nord	63	107	417	231	45	71.4%
<b>M-1 B</b> Gesco Cons.	72	57	193	99	37	51.4%
<b>M-1 C</b> K+S Agricoltura	65	68	159	108	39	60.0%
<b>M-1 D</b> Yara Italia	66	51	145	84	30	45.5%
<b>M-1scuola</b> Scuola Punta Marina	65	39	103	68	19	29.2%
<b>M-2 A</b> IFA	66	48	100	81	26	39.4%
<b>M-2 B</b> Eurodocks	61	75	211	122	41	67.2%
<b>M-2 C</b> Antrakoi	66	72	125	97	55	83.3%
<b>M-2 D</b> CBR	67	69	181	116	44	65.7%
<b>M-2scuola</b> Scuola Marina di RA	68	32	68	54	10	14.7%
<b>M-3 A</b> Lloyd	68	52	134	92	33	48.5%
<b>M-3 B</b> Docks Cereali	68	55	363	101	31	45.6%
<b>M-3 C</b> Soco	68	39	102	66	20	29.4%
<b>M-3 D</b> SAPIR/Porto S.Vitale	68	35	73	59	12	17.6%
<b>M-3scuola</b> Scuola Porto Corsini	62	26	125	40	4	6.5%

Tabella 4 – Alcune statistiche relative ai dati 2020 nelle diverse postazioni

Il numero di dati giornalieri e le modalità di campionamento sono conformi al D.Lgs. 155/2010 per misure discontinue, pertanto, la media annua dei dati rilevati nella postazione può essere confrontata con il corrispondente limite di legge (media annuale = 40 µg/m<sup>3</sup>) e così il 90.4° percentile dei dati misurati. Per considerare rispettato il valore limite giornaliero (50 µg/m<sup>3</sup> da non superarsi più di 35 volte per anno civile), il 90,4° perc. deve essere inferiore o uguale a 50 µg/m<sup>3</sup>.

Applicando questi criteri a tutti i siti di misura (anche a quelli all'interno della zona portuale) risulta che nel 67% dei casi è superata la media annuale di 40 µg/m<sup>3</sup> (non superata in nessun sito sensibile) e nel 93% dei casi il 90,4° percentile è superiore a 50 µg/m<sup>3</sup>.

La media annua in corrispondenza delle postazioni all'interno dell'area portuale è quasi ovunque superiore al limite di legge (è di poco inferiore a 40 µg/m<sup>3</sup> solo in **M-3C** e **M-3D**). La media più alta si registra in **M-1A** (107 µg/m<sup>3</sup>), ma anche in **M-1C**, **M-2B**, **M-2C** e **M-2D** è comunque superiore a 68 µg/m<sup>3</sup>.

I valori massimi giornalieri (quarta colonna della tabella – pallino a destra del box plot) sono ovunque alti, ma nelle postazioni **M-3B** e **M-1A** superano 360 µg/m<sup>3</sup> e in **M-2B** 200 µg/m<sup>3</sup>.

Il 90.4° percentile - quinta colonna di Tabella 4 - è maggiore di 50 µg/m<sup>3</sup> in tutte le postazioni esclusa una scuola, **M-3scuola**, dove comunque – causa COVID - non è stato possibile effettuare campionamenti in periodo invernale, quando le concentrazioni di PM10 assumono i valori più elevati. Si prevede, quindi, anche qui il superamento del limite di breve periodo.

Utilizzando il *box plot* (figura 9) sono riportati in formato grafico alcuni dei valori statistici rappresentativi dei risultati delle campagne di monitoraggio condotte (figura 10):

- il valore minimo rilevato nel sito (barra a sinistra del box arancione);
- il 1° quartile dei valori (il 25% dei dati sono inferiori al valore del 1° quartile - bordo sinistro del box);
- la media dei dati (coincidente con il secondo quartile per distribuzioni gaussiane - linea posizionata all'interno del box);
- il 3° quartile (ovvero il 75% dei dati sono inferiori al 3° quartile - bordo destro del box);
- il valore massimo rilevato nella postazione (barra a destra del box).

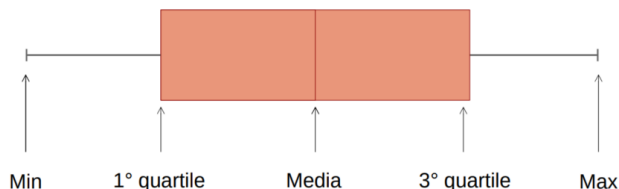


Figura 9 – Parametri statistici rappresentati dal box plot

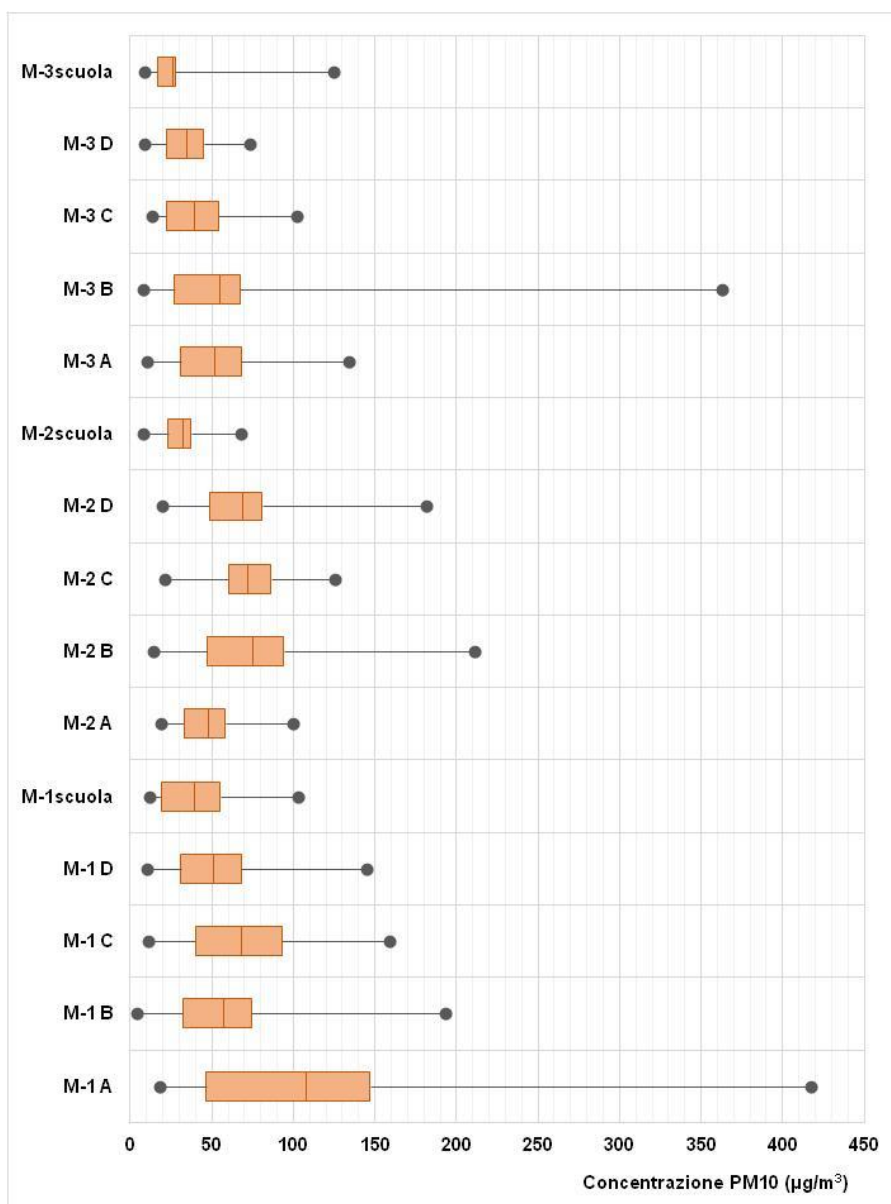


Figura 10 – Box plot (dati 2020) in ciascuna postazione

Si osserva che le postazioni con valori più critici si trovano in aree vicine:

- M-1A e M-2B sono a Nord, rispettivamente in riva sinistra e destra del Canale Candiano, all'interno dell'area delle ditte Terminal Nord e Eurodocks;
- M-1C, M-2C e M-2D sono nella zona portuale Sud-Est, in prossimità delle ditte K+S Agricoltura, Antrakoi e CBR.

La distribuzione spaziale delle medie annuali e dei massimi giornalieri del 2020 è riportata in figura 11 e conferma la presenza di due aree particolarmente critiche nel dominio di interesse (racchiuse da ellissi nere) già riscontrate nei precedenti monitoraggi.

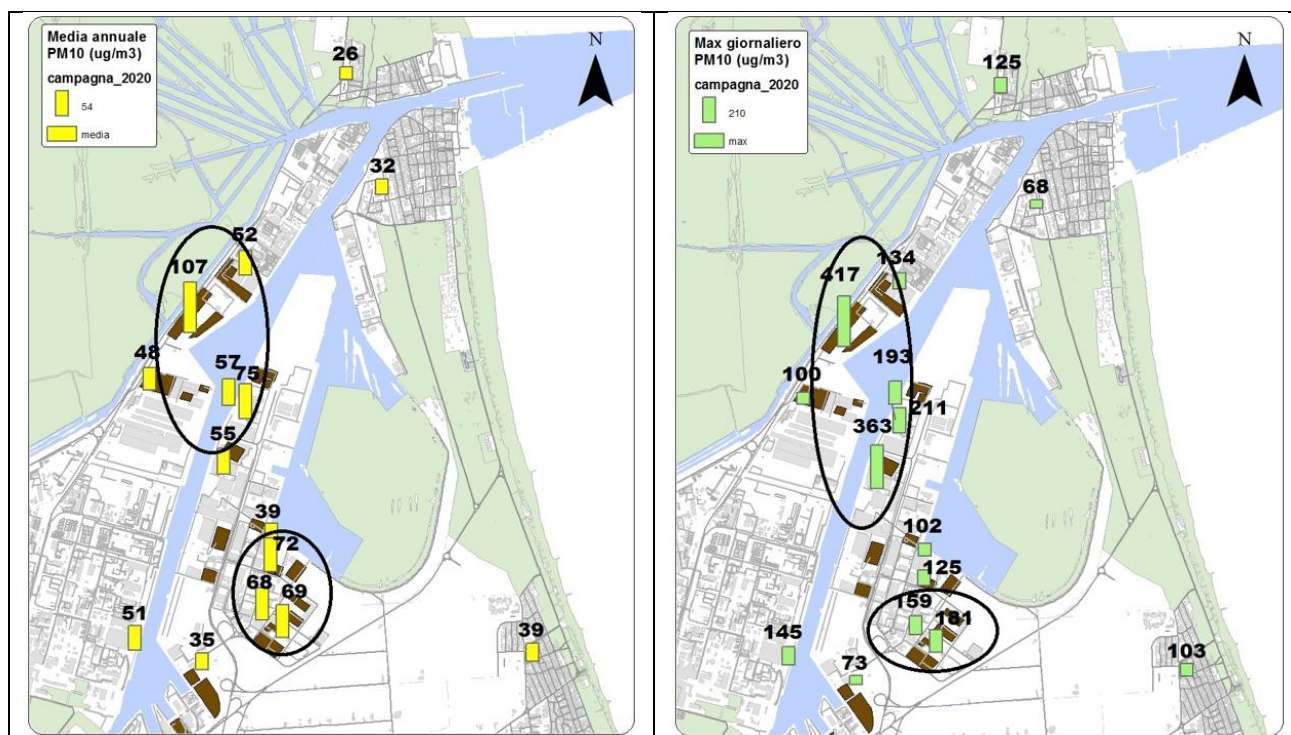


Figura 11 --Distribuzione spaziale delle medie e massimi annuali PM10 nel dominio di indagine (anno 2020)

#### 4.2 – Misure discontinue e misure in continuo effettuate nella stazione della RRQA “Porto San Vitale”

Come si è detto, nel monitoraggio in area portuale le misurazioni discontinue sono effettuate con il campionario Skypost e, per la determinazione della concentrazione in massa di particolato sospeso, è applicato il metodo gravimetrico (conformemente alla norma UNI EN 12341:2014 richiesta dal D. Lgs 155/2010).

Nelle stazioni fisse della rete, invece, le concentrazioni di PM10 sono misurate in continuo nell'arco dell'intera annualità con lo strumento FAI SWAM, un sistema automatizzato che utilizza l'attenuazione della radiazione beta come principio per fornire la concentrazione di PM10 (strumento certificato equivalente).

Per tenere sotto controllo l'allineamento dei dati prodotti con le due modalità di misura, nella postazione in corrispondenza della stazione fissa “Porto San Vitale” sono stati utilizzati (in contemporanea) i due sistemi.

I dati rilevati con lo Skypost sono quelli corrispondenti al sito “M3-D”.

Le concentrazioni di particolato rilevate dai due strumenti durante il periodo invernale e quello estivo sono in tabella 5, mentre in tabella 6 sono indicati alcuni valori statistici di riferimento.

PERIODO INVERNALE				PERIODO ESTIVO				PERIODO INVERNALE			
DATA		SKYPOST	SWAM	DATA		SKYPOST	SWAM	DATA		SKYPOST	SWAM
3 mar	Mar	23	22	29 mag	Ven	63	13	11 dic	Ven	45	44
4 mar	Mer	24	22	30 mag	Sab	21	14	12 dic	Sab	36	35
5 mar	Gio	27	23	31 mag	Dom	16	10	13 dic	Dom	37	37
6 mar	Ven	21	19	1 giu	Lun	23	17	14 dic	Lun	50	50
7 mar	Sab	27	28	2 giu	Mar	17	13	15 dic	Mar	54	53
8 mar	Dom	17	14	3 giu	Mer	33	24	16 dic	Mer	54	56
9 mar	Lun	44	41	4 giu	Gio	25	17	17 dic	Gio	60	59
10 mar	Mar	41	42	5 giu	Ven	41	17	18 dic	Ven	60	59
11 mar	Mer	36	36	6 giu	Sab	20	16	19 dic	Sab	52	51
12 mar	Gio	44	47	7 giu	Dom	17	14	20 dic	Dom	60	61
13 mar	Ven	73	38	8 giu	Lun	22	16	21 dic	Lun	53	52
14 mar	Sab	11	18	9 giu	Mar	26	20	22 dic	Mar	49	50
15 mar	Dom	8	14	10 giu	Mer	23	20	23 dic	Mer	34	58
16 mar	Lun	39	35	11 giu	Gio	27	20	24 dic	Gio	40	41
17 mar	Mar	46	42	12 giu	Ven	27	19	25 dic	Ven	23	23
18 mar	Mer	63	56	13 giu	Sab	22	17	26 dic	Sab	18	9
19 mar	Gio	62	59	14 giu	Dom	9	7	27 dic	Dom	20	18
				1 sett	Mar	20	15				
				2 sett	Mer	28	24				
				3 sett	Gio	25	20				
				4 sett	Ven	31	23				
				5 sett	Sab	25	20				
				6 sett	Dom	21	17				
				7 sett	Lun	38	31				
				8 sett	Mar	37	29				
				9 sett	Mer	41	33				
				10 sett	Gio	41	34				
				11 sett	Ven	37	28				
				12 sett	Sab	18	30				
				13 sett	Dom	39	34				
				14 sett	Lun	57	51				
				15 sett	Mar	46	38				
				16 sett	Mer	41	35				
				17 sett	Gio	29	25				
				18 sett	Ven	63	13				
				19 sett	Sab	21	14				

Tabella 5 – Concentrazioni medie giornaliere di PM10 rilevate dalle due strumentazioni in M3-D

	Dati [n.]		Media periodo [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]		Min giornaliero [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]		Max giornaliero [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]		90.4° percentile [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]		N° Sup. di 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ [n.]	
	Skypost	SWAM	Skypost	SWAM	Skypost	SWAM	Skypost	SWAM	Skypost	SWAM	Skypost	SWAM
<b>Campagna 1</b> 3 mar-19 mar	17	17	36	33	8	14	73	59	62	51	3	2
<b>Campagna 2</b> 29 mag – 16 giu	17	17	25	16	9	7	63	24	37	20	1	0
<b>Campagna 3</b> 1 set – 19 set	17	17	34	29	18	15	57	51	43	36	1	1
<b>Campagna 4</b> 11 dic – 27 dic	17	17	44	44	18	9	60	61	60	59	7	8
<b>Periodo invernale</b>	34	34	40	39	8	9	73	61	60	59	10	10
<b>Periodo estivo</b>	34	34	29	22	9	7	63	51	41	34	2	1
<b>Anno 2020</b>	68	68	35	30	8	7	73	61	59	55	12	11

Tabella 6 – Parametri statistici riferiti alle misure condotte con le due strumentazioni (2020)

Le concentrazioni misurate dallo Skypost risultano moderatamente superiori rispetto a quanto misurato dalla strumentazione SWAM e questa tendenza si riflette nei valori medi ( $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$  come valore medio dell'intero periodo misurati con lo Skypost e  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  con lo strumento FAI SWAM), nei valori massimi ( $73 \mu\text{g}/\text{m}^3$  per lo Skypost e  $61 \mu\text{g}/\text{m}^3$  per lo SWAM) e nel 90.4° percentile ( $59 \mu\text{g}/\text{m}^3$  per lo Skypost e  $55 \mu\text{g}/\text{m}^3$  per lo SWAM). Sono analoghi, invece, i valori minimi ( $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$  e  $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , rispettivamente per Skypost e SWAM) e il numero di superamenti del limite normativo di  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (12 e 11 superamenti, rispettivamente per Skypost e SWAM). Le differenze fra i due strumenti sono concentrate nel periodo estivo, mentre in inverno i valori risultano più simili. Il grafico a dispersione di figura 12 consente di "visualizzare" la corrispondenza fra i due set di dati comparati: le concentrazioni misurate con lo Skypost (asse x) e con lo SWAM (asse y). Infatti, tracciata come riferimento la linea d'identità ( $x=y \rightarrow$  bisettrice, linea tratteggiata viola in figura 12), la distribuzione dei punti sul piano, rispetto a tale linea, fornisce le seguenti informazioni:

- se il punto si trova sotto la bisettrice, nell'area inferiore del grafico, allora la concentrazione media giornaliera misurata con lo Skypost è superiore a quella misurata dello SWAM
- se il punto si trova sopra la bisettrice, nell'area superiore del grafico, la concentrazione media giornaliera misurata con lo Skypost è inferiore a quella misurata dello SWAM
- se il punto è sulla bisettrice, allora i valori misurati dai due strumenti sono uguali.

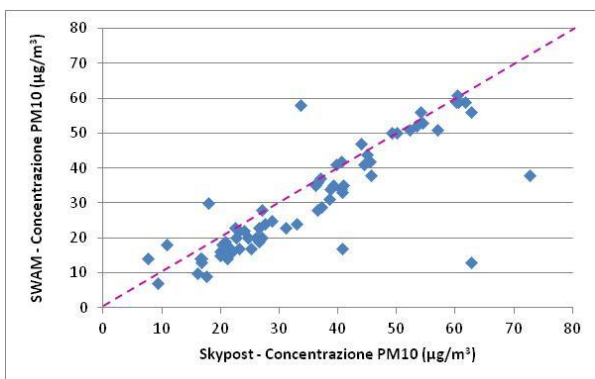


Figura 12 - Grafico a dispersione delle concentrazioni medie giornaliere di PM10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) rilevate con i due strumenti

E' da sottolineare che la differenza percentuale media tra le misure condotte con lo Skypost e con lo SWAM, per l'intero periodo di misura, è circa del 10%, quindi decisamente inferiore rispetto all'incertezza tollerata e prevista dalla normativa, pari al 25%.

Questo consente di mettere in relazione le misure discontinue effettuate in questo studio con le misure in continuo della rete di qualità dell'aria introducendo errori "tollerabili".

### 4.3 - Concentrazioni di PM10 rilevate presso i recettori sensibili e correlazione con i dati delle stazioni della RRQA

I valori delle concentrazioni medie giornaliere di PM10 rilevate nelle aree di pertinenza delle scuole di Porto Corsini, Marina di Ravenna e Punta Marina (recettori sensibili) sono, in generale, più contenute rispetto a quelle in area portuale. Si è però ritenuto importante monitorare – contestualmente ai siti del porto – anche queste tre postazioni sia per la loro specificità di sito sensibile - scuole frequentate da una fascia di popolazione (under 15 anni) particolarmente vulnerabile<sup>6</sup> - sia per verificare/monitorare gli effetti della polverosità, prodotta dalle attività in area portuale, in zone residenziali della costa.

Per ricostruire le concentrazioni giornaliere di PM10 di tutta l'annualità 2020, solo in queste postazioni, è stato applicato anche un approccio statistico (*tecnica di stima obiettiva*).

<sup>6</sup> Vi sono evidenze scientifiche che dimostrano come i bambini presentino, rispetto agli adulti, una maggiore vulnerabilità nei confronti dell'inquinamento atmosferico a causa di caratteristiche comportamentali, fisiologiche e correlate alla relativa immaturità di organi ed apparati specifica dell'età infantile. Recenti studi epidemiologici suggeriscono che diverse malattie dell'infanzia - fra queste l'asma, le allergie e le infezioni delle vie respiratorie – abbiano origine in epoca prenatale o nei primi mesi di vita: l'esposizione cronica a sostanze tossiche e all'inquinamento atmosferico, in queste fasi, è potenzialmente in grado di determinare conseguenze sullo stato di salute di una persona per il resto della propria vita.



Il procedimento statistico utilizzato si basa su:

- le misure in continuo del PM10 effettuate in corrispondenza delle stazioni della rete di rilevamento della qualità dell'aria (RRQA), riferite agli stessi periodi delle campagne di misura nella "postazione scuola";
- l'individuazione e la selezione della stazione fissa che presenta un andamento delle concentrazioni più simile a quello della "postazione scuola" (indice di correlazione di Pearson<sup>7</sup> più prossimo a +1, nella matrice di correlazione);
- l'utilizzo di un opportuno modello di regressione che consente di stimare i dati di concentrazione relativi ad un intero anno in corrispondenza della "postazione scuola", partendo dall'osservazione in doppio effettuata per un periodo limitato di tempo (ovvero, ricostruzione del campo di concentrazioni su base annuale dell'inquinante in corrispondenza della "postazione scuola").

A valle di tale ricostruzione e integrazione con i dati misurati, sono stati calcolati i parametri statistici previsti dalla normativa per il PM10 nella "postazione scuola" (media annuale e numero di giorni con superamento della concentrazione di 50 µg/m<sup>3</sup>), come se la misura si fosse protratta per una intera annualità.

Poiché i coefficienti di correlazione fra scuola e stazione RRQA in molti casi differivano poco, per individuare la stazione meglio correlata è stata rivalutata la correlazione anche escludendo gli *outlier*, ovvero quei dati osservati in corrispondenza delle scuole che presentano un "valore anomalo", ossia un valore chiaramente distante dalle altre osservazioni e probabilmente riconducibile ad eventi con emissioni di particolato avvenuti abbastanza vicini alle stesse scuole, ma sufficientemente lontani dalla stazione della rete da non influenzare la misura di particolato in modo altrettanto rilevante<sup>8</sup>.

A valle di tale rielaborazione, la stazione presa come riferimento è quella che, senza *outlier*, aumenta il coefficiente di correlazione in modo più significativo.

La tabella 7 riporta in carattere grassetto, per ciascun recettore sensibile, il valore dell'indice di correlazione più alto e fra parentesi il valore del coefficiente di correlazione calcolato escludendo gli outlier.

Le due stazioni con misure in continuo che presentano correlazioni migliori con le postazioni M1, M2 e M3 sono quelle più vicine all'area portuale:

- Caorle, stazione di fondo urbano residenziale, circa 4 km a Sud Ovest rispetto all'area portuale,
- Germani, stazione della rete privata collocata ad Est dell'area portuale a circa 2 km;

a sottolineare l'innegabile contributo anche delle emissioni delle attività del porto/industria alle concentrazioni di PM10 misurate nell'intorno.

Stazioni		Siti sensibili (scuole)		
		M1-Punta Marina	M2- Marina di RA	M3-Porto Corsini
<b>CAORLE</b>	[RRQA Arpae]		<b>0.68</b> (0.89)	
<b>GERMANI</b>	[Rete Privata]	<b>0.79</b> (0.98)		<b>0.90</b> (0.95)

Tabella 7 – Indici di correlazione delle medie giornaliere di PM10 misurate in "postazioni scuole" e stazioni delle reti

<sup>7</sup> L'indice di correlazione di Pearson (o coefficiente di correlazione lineare) tra due variabili statistiche è un indice che esprime un'eventuale relazione di linearità tra esse. Ha un valore compreso tra +1 e -1, dove +1 corrisponde alla perfetta correlazione lineare positiva, corrisponde a un'assenza di correlazione lineare e -1 corrisponde alla perfetta correlazione lineare negativa.

<sup>8</sup> Per valutare se un dato rilevato presso il sito sensibile fosse un *outlier*, sono state calcolate le differenze delle concentrazioni di PM10 misurate contestualmente presso il sito sensibile e la stazione fissa.

Tale differenza è stata poi confrontata con l'intervallo interquartile delle differenze, calcolando la sua distanza dall'intervallo e rapportandola alla misura dell'intervallo stesso, con un parametro k.

Quindi, la concentrazione PM10 nel sito sensibile (x) è un *outlier* se la sua differenza con il corrispondente dato della stazione è esterno all'intervallo:

$$[Q_1 - k \times (Q_3 - Q_1), Q_3 + k \times (Q_3 - Q_1)] \quad \text{dove:}$$

$Q_1$  e  $Q_3$  sono, rispettivamente, il primo e il terzo quartile delle differenze,

$(Q_3 - Q_1)$  è lo scarto interquartile

k un parametro fissato (nello specifico k = 1,5 come proposto da J.Tukey → ovvero l'*outlier* disterebbe dalla media di Q1 e Q3 più di due volte la distanza tra Q1 e Q3)

Nel caso di studio, gli *outlier* sono, quindi, concentrazioni numericamente distanti dal resto dei dati raccolti che, in particolare nelle correlazioni, potrebbero essere forvianti.



La tabella 8 riporta la media annuale ed il numero di superamenti dei 50 µg/m<sup>3</sup> calcolati a partire dalle 365 medie giornaliere ricostruite.

Postazione	Dati osservati 4 campagne 2020 (misure discontinue)		Dati ricostruiti in- tera annualità 2020			Dati misurati nel 2020 nella stazione di riferimento			
	Media annua	90,4°perc	Media annua	Giorni sup 50 µg/m <sup>3</sup>	90,4°perc	Stazione di riferimento	Media annua	Giorni sup 50 µg/m <sup>3</sup>	90,4°perc
<b>M1 Punta Marina</b>	39	68	37	59	60	GERMANI	27	46	55
<b>M2 Marina RA</b>	32	54	30	32	50	CAORLE	26	40	52
<b>M3 Porto Corsini</b>	30 (*)	57(*)	30	50	56	GERMANI	27	46	55

(\*) Per la postazione M3-scuola Porto Corsini, per la quale mancano i dati della campagna invernale (prevista dal 11 al 30 dicembre), si riportano la media annuale e il 90.4 percentile dei dati osservati integrati da quelli ricostruiti per il periodo 11-30 dicembre (come se fosse stata eseguita anche la campagna invernale)

Tabella 8 – Elaborazioni statistiche nei siti sensibili: dato osservati 2020 e dati stimati 2020 a partire dalle stazioni meglio correlate.

La figura 13 riporta i grafici con alcuni confronti: la media e il numero di superamenti della concentrazione media giornaliera di 50 µg/m<sup>3</sup> misurati nelle stazioni (Germani / Caorle) e quella stimata nelle postazioni sensibili (scuole) nell'anno 2020.

E' possibile osservare come la media annuale stimata nelle postazioni risulti inferiore al limite dei 40 µg/m<sup>3</sup> in tutti i siti sensibili (le scuole) e nelle due postazioni meglio correlate, mentre il limite del numero di giorni con concentrazione media giornaliera superiore a 50 µg/m<sup>3</sup> (massimo 35) sia abbondantemente superato in tutte le postazioni ad esclusione della scuola di Marina di Ravenna dove si stimano, comunque, 32 superamenti.

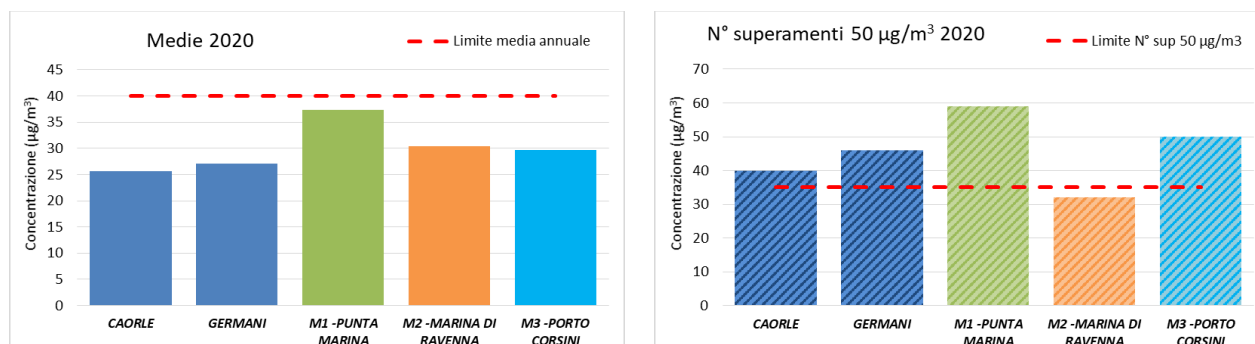


Figura 13 – Istogrammi che confrontano la media annuale e il numero di superamenti della media giornaliera di 50 µg/m<sup>3</sup> dei dati delle stazioni della rete (Germani e Caorle) e quelli stimati per le postazioni "scuole" – anno 2020

### 4.3.1 – Focus sui dati di PM10 misurati presso le tre scuole

Gli andamenti delle concentrazioni medie giornaliere di PM10 misurate presso le tre scuole, quelli di due stazioni della rete meglio correlate (Germani e Caorle) e della stazione in area portuale (Porto San Vitale), sono riportati nel grafico di figura 14.

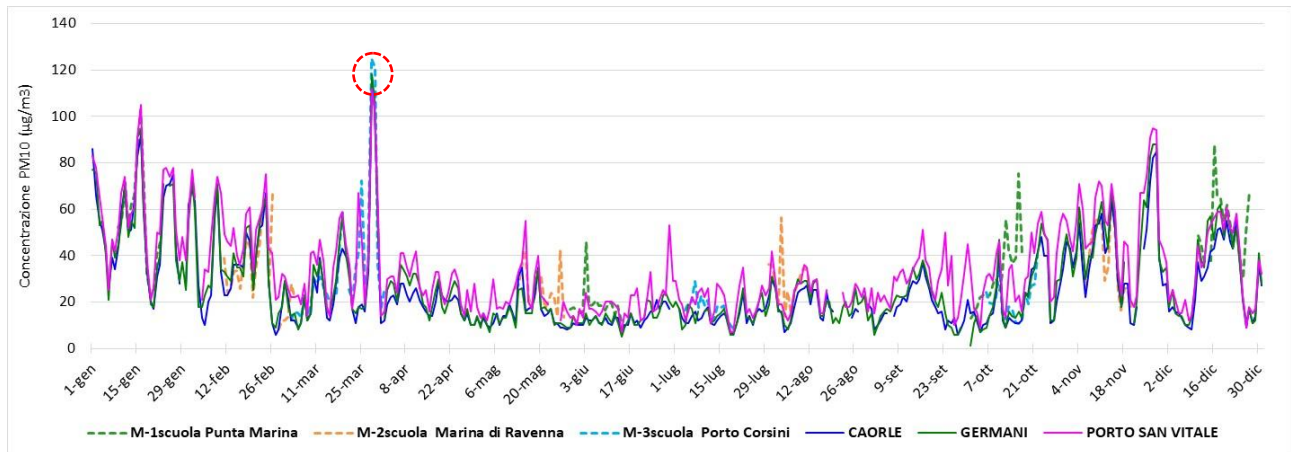


Figura 14 – Concentrazioni medie giornaliere di PM10 – anno 2020

I picchi di PM10 misurati il 28 e il 29 marzo in tutte le stazioni della rete (evidenziati dal cerchio rosso) sono dovuti ad un importante fenomeno di trasporto verso ovest di sabbia proveniente dalla regione del Mar Caspio che ha coinvolto l'Italia centro-settentrionale.

Escludendo queste due giornate e considerando i giorni in cui, in almeno una delle tre scuole, la concentrazione di PM10 misurata o stimata è superiore a 50 µg/m<sup>3</sup>, si ottengono 63 giorni e in 7 di queste giornate la concentrazione di PM10 è superiore a 75 µg/m<sup>3</sup>.

Nella tabella 9 sono messe in evidenza: le concentrazioni misurate (carattere blu), quelle superiori a 75 µg/m<sup>3</sup> (sfondo arancio), comprese fra 50 e 75 µg/m<sup>3</sup> (sfondo giallo) e le concentrazioni delle due giornate con l'evento "anomalo" di trasporto di sabbia dalla regione del Mar Caspio (sfondo grigio).

		M1 Punta Marina	M2 Marina RA	M3 Porto Corsini	GERMANI	CAORLE	PORTO SAN VITALE	ROCCA	ZALAMELLA	DELTA CERVIA	PARCO BERTOZZI	AZ. MARANI	AGIP 29
01-gen	Mer	76	70	77	77	86	83	89	90	65		69	75
02-gen	Gio	75	57	76	76	66	78	73	74	52		50	67
03-gen	Ven	57	50	54	53	55	65	63	66	51	43	51	47
04-gen	Sab	59	47	56	55	51	56	52	54	45	32	34	49
07-gen	Mar	53	39	49	47	39	47	46	49	43	44	29	35
09-gen	Gio	52	43	47	45	44	52	44	52	41	48	54	38
10-gen	Ven	55	52	55	54	59	67	70	68	49	44	62	55
11-gen	Sab	71	59	72	71	69	74	75	78	67	63	41	67
12-gen	Dom	52	47	50	48	50	52	58	58	46	39	46	44
13-gen	Lun	63	47	56	55	51	58	56	61	50	52	55	42
14-gen	Mar	66	56	54	52	65	61	71	78	66	69	79	51
15-gen	Mer	89	68	91	91	83	91	93	102	92	99	81	79
16-gen	Gio	103	74	94	94	92	105	108	109	96	88	57	82
17-gen	Ven	68	52	62	61	59	68	68	69	53	34	33	55
23-gen	Gio	71	56	72	71	65	77	70	74	58	47	68	64

		M1 Punta Marina	M2 Marina RA	M3 Porto Corsini	GERMANI	CAORLE	PORTO SAN VITALE	ROCCA	ZALAMELLA	DELTA CERVIA	PARCO BERTOZZI	AZ. MARANI	AGIP 29
24-gen	Ven		60			70	78	71	73	67	74	71	64
25-gen	Sab	70	60	71	70	71	74	78	79	83	82	71	69
26-gen	Dom	71	63	72	71	75	78	79	81	63	58	45	65
31-gen	Ven	59	54	56	55	62	58	58	66	51	55	69	47
01-feb	Sab	72	59	74	73	69	77	87	95	70	84	60	64
02-feb	Dom	62	55	60	59	63	65	76	78	59	74	19	58
08-feb	Sab	62	50	60	59	56	65	66	72	42	40	67	53
09-feb	Dom	71	59	72	71	69	74	75	75	64	55	37	65
18-feb	Mar	56	47	54	52	50	58	59	63	57	47	44	47
19-feb	Mer	57	44	54	53	46	61		54	51		23	44
22-feb	Sab	58	42	55	54	52	56	56	59	43	49	55	44
23-feb	Dom	62	62	60	59	53	60	57	67	57	37	64	53
24-feb	Lun	66		66	65	67	75	74	74	58	47	33	58
26-feb	Mer	25	68	14	11	11	41	11	10	10	13	6	11
18-mar	Mer	52	39	42	46	39	56	40	44	60	29	49	39
19-mar	Gio	60	42	59	57	43	59	48	45	57	34	43	47
25-mar	Mer	30	26	72	17	19	45	22	22	12	22	16	15
28-mar	Sab	107	91	125	118	117	112	128	124	112	110	109	118
29-mar	Dom	99	81	121	107	102	104	111	100	88	93	42	102
30-mar	Lun	52	48	36	46	52	57	59	43	38	43	11	
03-ago	Lun	29	56	19	16	15	19	7	12				23
12-ott	Lun	55	20	13	9	9	13	5	11		9	7	7
16-ott	Ven	75	21	10	16	11	23	14	16	12	9	12	26
23-ott	Ven	58	45	55	54	48	59	62	68	51	43	63	59
24-ott	Sab	54	40	51	49	40	50	50	56	40	45	51	50
25-ott	Dom	53	40	49	47	40	46	45	43	45	17	47	43
31-ott	Sab	54	44	51	49	46	55	57	61	49	38	50	48
04-nov	Mer	63	59	62	61	54	71	64	69	70	60	58	55
05-nov	Gio	51	37	47	45	34	60	37	40	36	34	35	31
08-nov	Dom	46	51	41	39	43	46	45	48	36	29	38	39
09-nov	Lun	54	55	51	49	53	65	56	55	39	22	48	40
10-nov	Mar	60	56	58	57	54	72	66	65	50	41	48	43
11-nov	Mer	65	53	64	63	58	70	64	73	59	62	59	57
12-nov	Gio	56	29	53	51	41	55	44	46	49	59	39	34
14-nov	Sab	69	65	69	68	64	71	77	85	77	77	73	70
15-nov	Dom	59	53	56	55	51	59	56	63	62	69	58	56
24-nov	Mar	66	42	65	64	43	67	49	51	44	35	50	47
25-nov	Mer	63	47	62	61	51	74	60	63	48	37	52	61
26-nov	Gio	80	61	83	83	72	91	80	81	63	54	68	67
27-nov	Ven	84	68	88	88	82	95	93	106	99	60	88	81
28-nov	Sab	84	70	88	88	85	94	98	97	101	94	88	84
14-dic	Lun	38	37	56	55	35	50	40	42	29	22	34	32
15-dic	Mar	38	41	58	57	42	53	48	53	44	30	42	
16-dic	Mer	88	42	49	47	43	56	52	57	41	37	42	38
17-dic	Gio	66	47	61	60	51	59	60	72	59	49	55	51

		M1 Punta Marina	M2 Marina RA	M3 Porto Corsini	GERMANI	CAORLE	PORTO SAN VITALE	ROCCA	ZALAMELLA	DELTA CERVIA	PARCO BERTOZZI	AZ. MARANI	AGIP 29
18-dic	Ven	64	48	63	62	52	59	65	69	66	57	58	58
19-dic	Sab	55	45	50	48	47	51	53	56	54	36	51	44
20-dic	Dom	62	50	61	60	55	61	59	63	41	51	58	54
21-dic	Lun	55	44	53	51	46	52	51	51	50	42	49	44
23-dic	Mer	56	50	54	52	55	58	61	68	49	64	52	50
27-dic	Dom	68	25	20	17	17	18	13	17	12	16	16	16

Tabella 9 – PM10 misurati nelle scuole e nelle stazioni delle reti nelle giornate in cui in almeno una delle tre postazioni “scuola” è stato misurato/stimato un valore > a 50 µg/m<sup>3</sup>

Il grafico di figura 15 – rappresentazione grafica della tabella 9 - evidenzia come a concentrazioni di PM10 > di 75 µg/m<sup>3</sup> in una delle tre postazioni “scuola” corrispondano valori elevati non solo nelle altre due scuole ma, in generale, nelle stazioni delle reti situate in area urbana e peri-urbana.

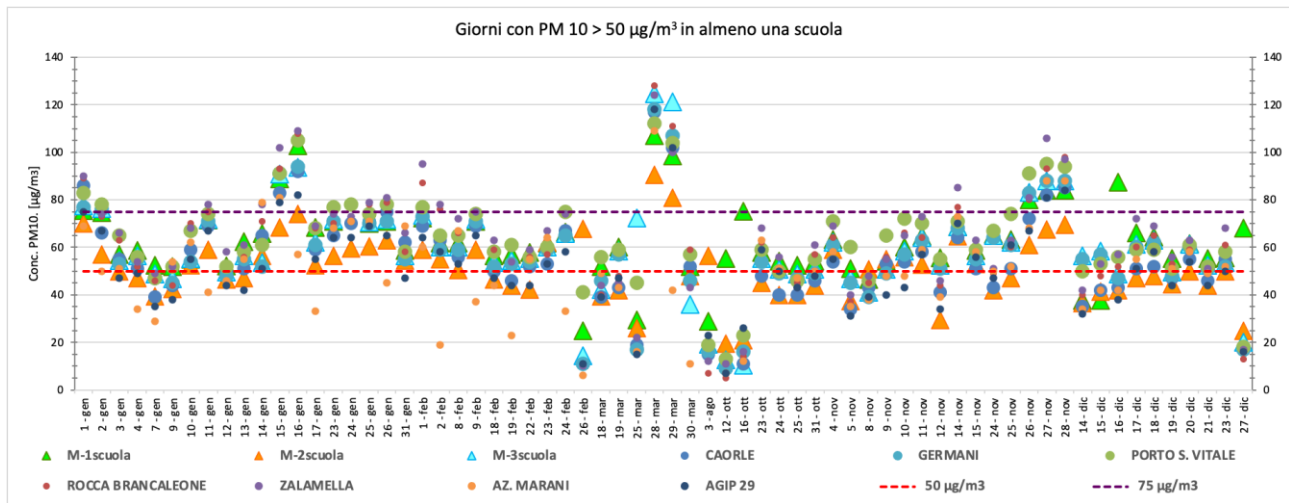


Figura 15 – Grafico delle concentrazioni di PM10 misurati nelle scuole e nelle stazioni delle reti nelle giornate in cui in almeno una delle tre postazioni “scuola” è stato misurato/stimato un valore > a 50 µg/m<sup>3</sup>

Sono state poi prese in considerazione le giornate in cui le concentrazioni di PM10 sono risultate superiori a 50 µg/m<sup>3</sup> solo in uno dei tre Skypost posizionati presso le scuole, ad indicare un contributo significativo generato da una emissione posizionata in prossimità del punto di misura (tabella 10):

		M1 Punta Marina	M2 Marina RA	M3 Porto Corsini	GERMANI	CAORLE	PORTO SAN VITALE	ROCCA	ZALAMELLA	DELTA CERVIA	PARCO BERTOZZI	AZ. MARANI	AGIP 29
26-feb	Mer	25	68	14	11	11	41	11	10	10	13	6	11
19-mar	Gio	60	42	59	57	43	59	48	45	57	34	43	47
25-mar	Mer	30	26	72	17	19	45	22	22	12	22	16	15
03-ago	Lun	29	56	19	16	15	19	7	12				23
12-ott	Lun	55	20	13	9	9	13	5	11		9	7	7
16-ott	Ven	75	21	10	16	11	23	14	16	12	9	12	26
16-dic	Mer	88	42	49	47	43	56	52	57	41	37	42	38
27-dic	Dom	68	25	20	17	17	18	13	17	12	16	16	16

Tabella 10 – Giornate con valori elevati di PM10 presso le scuole

Per queste giornate, è stata analizzata la rosa dei venti basandosi sui dati della stazione di Porto San Vitale, per avere indicazioni sulla possibile provenienza del particolato misurato (figura 16).

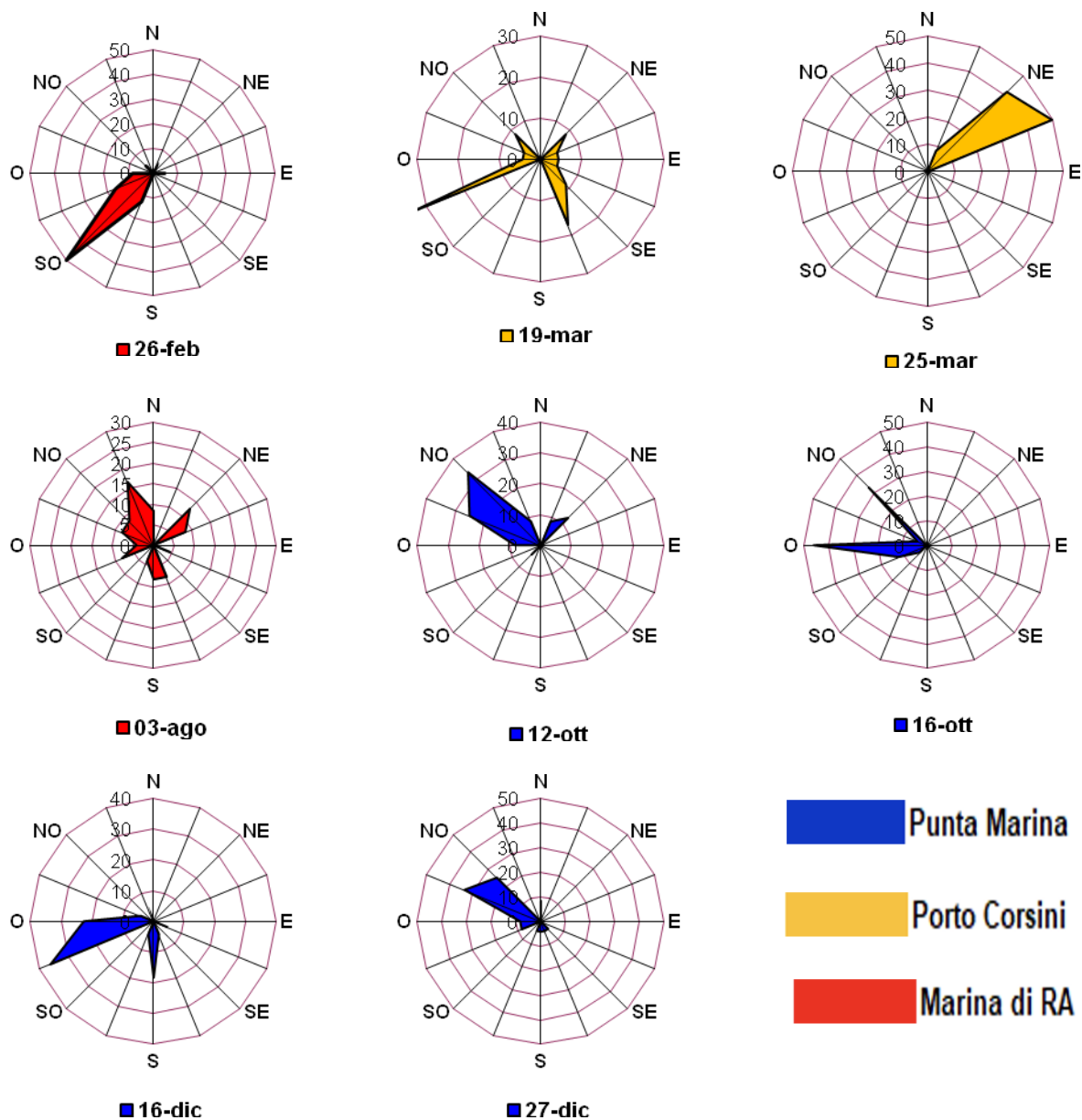


Figura 16 – Rose dei venti relative alle giornate con concentrazioni più significative di PM10 in una delle scuole

Nella maggior parte dei casi, la direzione di provenienza del vento prevalente è da settori che fanno pensare ad un contributo significativo dato dalle attività in area portuale: ad esempio, il 26 febbraio a Marina di Ravenna con vento da Sud-Ovest; il 19 marzo a Porto Corsini con vento da Ovest – Sud Ovest e Sud- Sud Est; il 12 ottobre a Punta Marina con vento da Nord Ovest (figura 17).

Il 25 marzo nella scuola di Porto Corsini, unica postazione in cui è stata misurata una concentrazione superiore a  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (precisamente  $72 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) la direzione prevalente del vento è stata Nord-Est, pertanto si può supporre un contributo significativo al PM10 in questo sito dato dal risollevarsi di sabbia dalla spiaggia e dal trasporto di aerosol marino.

Meno netta la situazione nelle giornate del 19 marzo e del 3 agosto in cui il vento non presenta una netta direzione prevalente.





Figura 17 – Esempi di rose della direzione dei venti in tre giornate con concentrazioni significative di PM10 in ciascuna delle tre scuole



#### 4.4 – Picchi massimi di PM10 all'interno dell'area portuale e sbarchi

In questo paragrafo sono analizzate 25 giornate del 2020 nelle quali le concentrazioni di PM10 misurate nelle postazioni mobili all'interno dell'area portuale sono risultate superiori a 150 µg/m<sup>3</sup> (precisamente, comprese fra 417 µg/m<sup>3</sup> e 155 µg/m<sup>3</sup>).

Relativamente a questi giorni sono state indagate le attività svolte in area portuale, tenendo conto che le operazioni di sbarco di materiale alla rinfusa e lo stoccaggio all'aperto generano emissioni dovute:

- alle operazioni di sbarco stesse, che non sempre avvengono con sistemi di contenimento come le tramogge depolveranti (ovvero dotate di un opportuno impianto di aspirazione polveri per captare al meglio le polveri che si creano durante la fase di carico del prodotto);
- al trasporto di materiale dalla banchina al sito di stoccaggio ad opera di camion (risollevarmento delle polveri depositatesi sul manto stradale);
- alle operazioni di formazione dei cumuli del materiale sbarcato;
- ai fenomeni erosivi dei cumuli che si verificano, soprattutto, in presenza di vento sostenuto.

Pertanto, per ogni giornata *particolarmente critica*, è stato verificato – dal registro del traffico navale dell'Avvisatore Marittimo di Ravenna - se fossero state effettuate attività di sbarco di materiale polverulento.

Il risultato di questa analisi di dettaglio è sintetizzato in tabella 11 dove, per ciascuna giornata critica, si riporta:

- la concentrazione di PM10 misurata e relativo giorno di misura;
- l'identificativo del sito di misura in cui è stato rilevato il PM10 particolarmente elevato;
- la banchina più vicina;
- il/i giorno/i in cui si sono registrati ingressi delle navi nel porto (sbarchi) prossimo/i a quello di misura;
- i quantitativi (in tonnellate);
- i materiali sbarcati;
- le banchine coinvolte dagli sbarchi censiti.

PM10 (µg/m <sup>3</sup> )	Data	Id. Sito	Banchina più vicina al sito	Data/e sbarchi	Quantità sbarcata (t)	Materiale	Banchina
157	11-feb	M-2 D	SOCO				
158	18-mar	M-3 B	Docks Cereali	16-mar	34572	feldspato	Eurodocks
417	22-mar	M-1 A	Terminal Nord	21-22 mar	25350	argilla	Eurodocks
					39525	feldspato	Terminal Nord
155	23-mar	M-1 A	Terminal Nord	*			
159	24-mar	M-1 C	SOCO				
177	28-mar	M-1 A	Terminal Nord	*			
193	03-apr	M-1 B	Eurodocks	01-apr	34475	feldspato	Eurodocks
229	07-apr	M-1 A	Terminal Nord	06-apr			
175	15-mag	M-2 D	SOCO	08 - 09 mag	43363	argilla	San Vitale
					12299	argilla	Eurodocks
					6005	argilla	Terminal Nord
					5900	carbone	SOCO
222	06-lug	M-1 A	Terminal Nord	**			
168	07-lug	M-1A	Terminal Nord	**			
260	08-lug	M-1 A	Terminal Nord	**			
194	09-lug	M-1 A	Terminal Nord	**			
270	14-lug	M-1 A	Terminal Nord	14-lug	39500	feldspato	Terminal Nord
213	15-lug	M-1 A	Terminal Nord	***			
265	16-lug	M-1 A	Terminal Nord	***			
181	31-lug	M-2 D	SOCO				
363	08-set	M-3 B	Docks Cereali	05-set	36600	feldspato	Eurodocks
163	06-ott	M-1A	Terminal Nord	****			
163	10-ott	M-1A	Terminal Nord	10-ott	36501	feldspato	Terminal Nord
165	22-ott	M-1A	Terminal Nord	20-ott	25200	argilla	Eurodocks

PM10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Data	Id. Sito	Banchina più vicina al sito	Data/e sbarchi	Quantità sbarcata (t)	Materiale	Banchina
183	11-nov	M-2 B	Eurodocks	--	40403	feldspato	Terminal Nord
256	08-ott	M-1 A	Terminal Nord	1,4,6 ott	32020	feldspato	Eurodocks
					25000	caolino	Eurodocks
309	10-lug	M-1 A	Terminal Nord	05-lug	25059	argilla	Eurodocks
					35700	feldspato	Eurodocks
211	12-nov	M-2 B	Eurodocks	09 - 11 nov	18255	argilla	Eurodocks
					10500	argilla	Eurodocks
					37182	feldspato	Eurodocks

Tabella 11 – “Giornate critiche” (PM10 misurato > 150  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) e sbarchi

In occasione di valori particolarmente elevati di PM10 è stato possibile ricondurre tale situazione a sbarchi di materiali polverulenti avvenuti il giorno stesso o nei giorni precedenti, fino ad una settimana antecedente al giorno della misura, considerando così anche il significativo contributo dato dalla successiva movimentazione del materiale sbarcato, operazione che può protrarsi anche per più giorni dopo lo sbarco stesso.

Soltanto in tre casi (11 febbraio, 24 marzo e 31 luglio, postazioni M2D e M1C vicine alla banchina SOCO) la concentrazione osservata di PM10 non è in concomitanza con uno sbarco avvenuto il giorno stesso o nei 7 giorni precedenti. Occorre però considerare che i cumuli di materiale polverulento sono sempre presenti in area portuale ed è frequente la movimentazione del materiale a terra - non necessariamente in concomitanza con uno sbarco - così come la lavorazione o lo spostamento di materiali nelle aziende vicine alla postazione di misura.

#### 4.5 – Analisi delle concentrazioni di PM10 per gruppi di postazioni

Le postazioni di misura sono state accorpate in quattro gruppi in funzione della loro posizione, più un gruppo costituito dai recettori sensibili (figura 18):

1. **Baiona:** in sinistra Candiano, ad Ovest rispetto al porto-canale. Le postazioni M-1A, M-2A, M-3A sono in prossimità di aziende che effettuano principalmente sbarco e stoccaggio di merci;
2. **Classicana:** destra Candiano, ad Est rispetto al porto-canale. Le postazioni M-1B, M-2B, M-3B sono presso aziende lungo la via Classicana;
3. **Est Porto:** zona ad Est rispetto al porto-canale, in un'area portuale più interna. Le postazioni in Est Porto sono: M-1C, M-2C, M-2D, M-3C;
4. **Area Sapir:** zona più a Sud dell'area portuale. Qui, oltre alla postazione M-3D presso la stazione e la stazione stessa, c'è – in sinistra Candiano - la stazione M-1D;
5. **Recettori sensibili:** le postazioni nelle 3 scuole: M-1 scuola Punta Marina, M-2 scuola Marina di Ravenna, M-3 scuola Porto Corsini. Queste tre postazioni sono ulteriormente ripartite in “scuole Nord” (Marina di Ravenna e Porto Corsini) e “scuola Sud” (Punta Marina).

Considerando i dati relativi ai gruppi di postazioni, per ciascun gruppo è disponibile un set di dati più consistente, fino a 190 - 200 misure per ogni raggruppamento, e ciò consente confronti più significativi.

In tabella 12 sono riportate, per ciascun gruppo, le concentrazioni medie annue, il valore massimo giornaliero ed il 90.4° percentile.

La stessa tabella indica, inoltre, gli stessi parametri calcolati per le stazioni di monitoraggio in continuo di Porto San Vitale, Caorle e Germani che gravitano nell'intorno dell'area portuale.

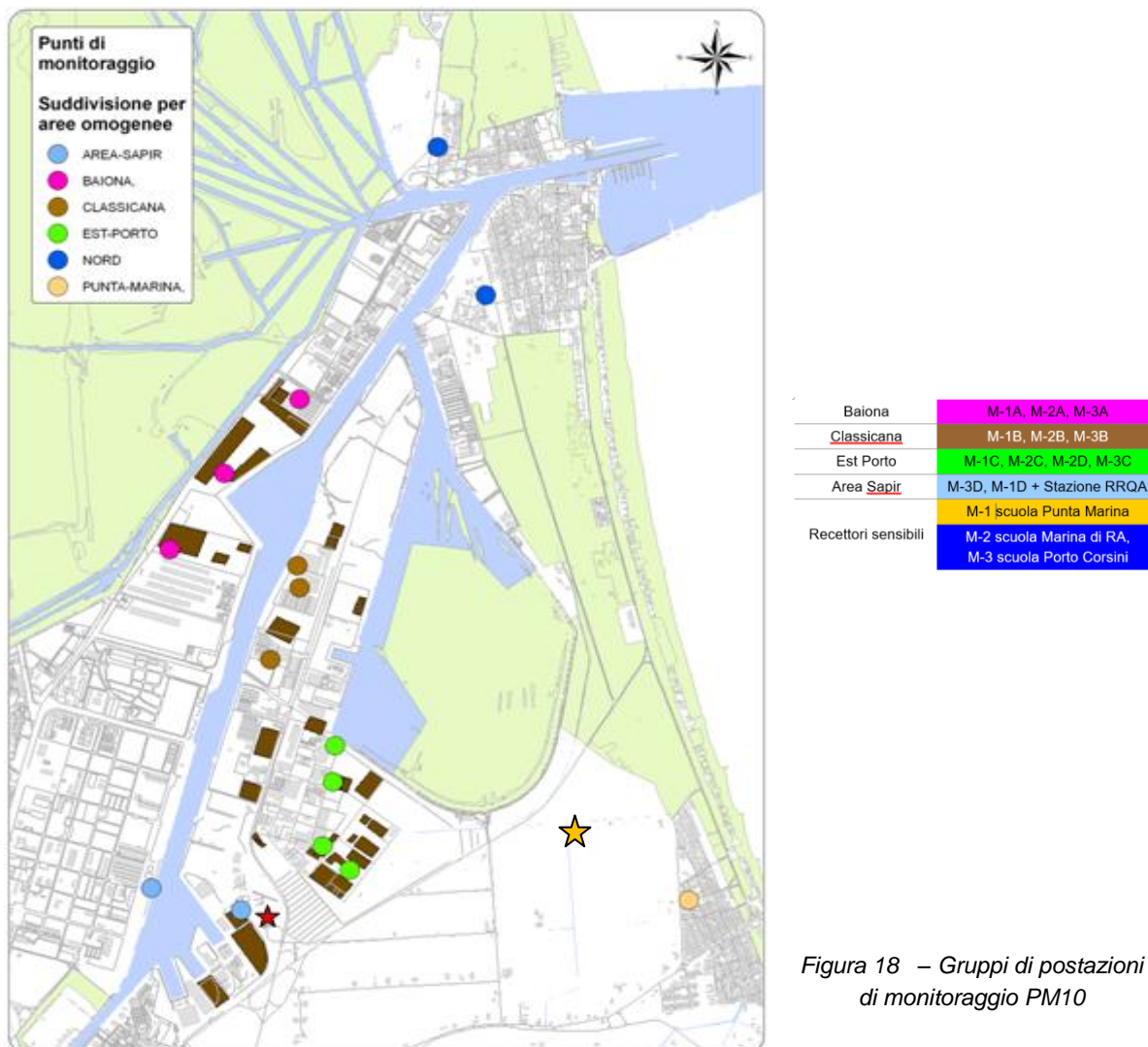


Figura 18 – Gruppi di postazioni di monitoraggio PM10

Gruppo		Media annua [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Massimo giornaliero [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	90.4° [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]
1	BAIONA	69	417	133
2	EST PORTO	62	181	100
3	AREA SAPIR	43	145	73
4	CLASSICANA	62	363	115
5	RECETTORI SENSIBILI	32	125	59
	NORD scuole	29	125	52
	PUNTA MARINA scuola	39	103	68
	STAZIONE Porto S.Vitale	34	112	61
	STAZIONE Germani	27	118	55
	STAZIONE Caorle	26	117	52
	SUD Fuori mappa			

Tabella 12 – Medie annue, massimi giornalieri e 90.4° percentile per l'anno 2020 per i gruppi identificati

L'analisi ed il confronto per aggregati (figura 19) consente di evidenziare come il gruppo "Baiona" presenti valori medi annui maggiori, seguito da "Classicana"; in entrambe le aree il contributo più significativo si può ricondurre alle operazioni di imbarco e sbarco.

Est Porto ha un valore medio delle concentrazioni di particolato analogo a "Classicana", ma il massimo giornaliero risulta molto più basso. Qui la movimentazione interna è, con tutta probabilità, la componente più importante per il particolato PM10.

Il gruppo "Area Sapor" è quello con concentrazioni medie più basse rispetto agli altri gruppi.

Il gruppo "Recettori sensibili" – come del resto prevedibile – presenta un valore medio annuo inferiore ( $32 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), compreso fra quanto rilevato dalla stazione Porto San Vitale ( $34 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) e dalla stazione Caorle (Fondo Urbano Residenziale:  $26 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

Considerazioni analoghe valgono anche per le concentrazioni corrispondenti al 90.4° percentile e al valore massimo: "Baiona" e "Classicana" hanno i dati più elevati, soprattutto in corrispondenza dei siti M-1 A (Terminal Nord) e M-2 B (Eurodocks).

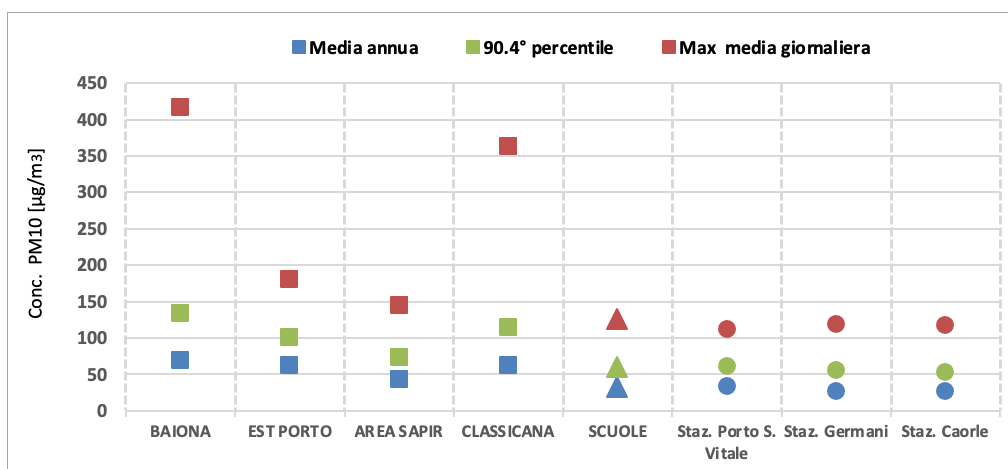
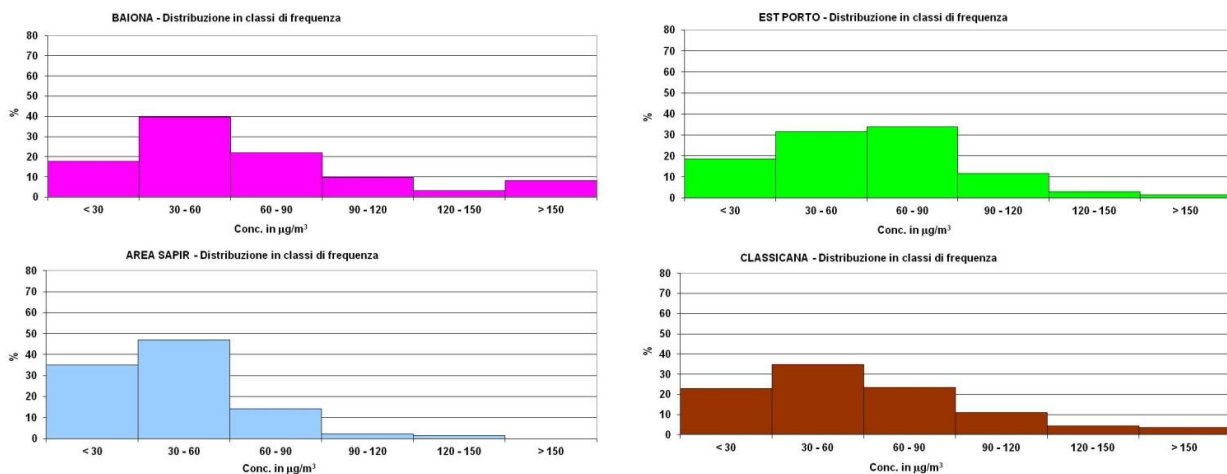


Figura 19 – Confronto delle medie annue, 90.4° percentili e massimi giornalieri per l'anno 2020 per i gruppi identificati e stazioni

E' stata, inoltre, calcolata la distribuzione di frequenza delle concentrazioni medie giornaliere di PM10 per ciascun gruppo di postazioni (figura 20), considerando 6 intervalli di concentrazione, l'ultimo dei quali conteggia i dati superiori a  $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .



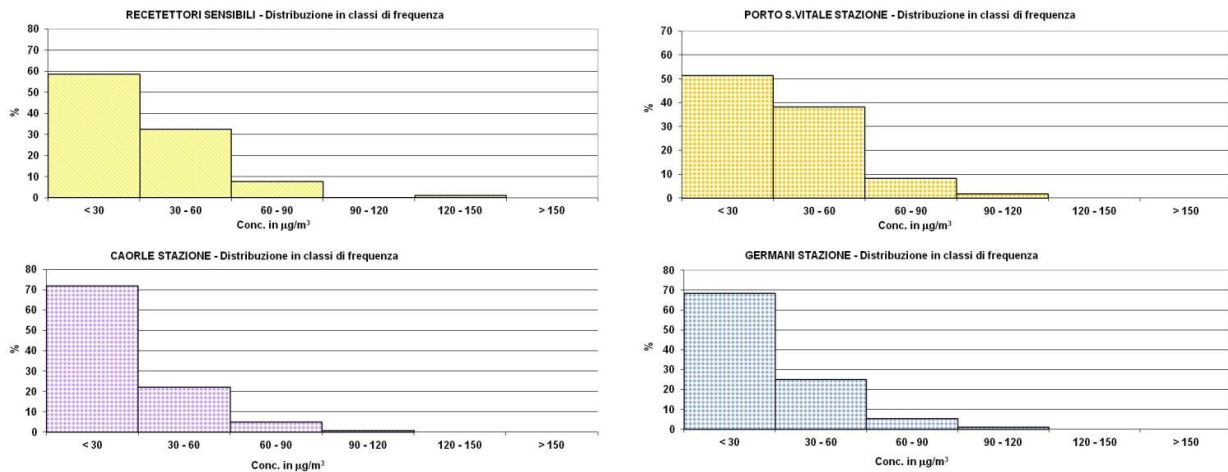


Figura 20 – Medie giornaliere 2020 – Distribuzione percentuale in classi di concentrazione

I siti posti all'interno delle aree Baiona, Classicana e Sapir sono caratterizzati dalla predominanza della classe di frequenza "30-60 µg/m<sup>3</sup>", mentre in Est Porto le classi "30-60 µg/m<sup>3</sup>" e "60-90 µg/m<sup>3</sup>" sono egualmente rappresentate. Nei Recettori sensibili e nelle stazioni della rete (Porto San Vitale, Caorle e Germani) l'intervallo più frequente è "< a 30 µg/m<sup>3</sup>", classe invece poco rappresentata nei gruppi dell'area portuale Baiona, Classicana ed Est Porto, a parte gruppo Sapir del quale fa parte anche la stazione San Vitale. Un andamento analogo si riscontra per la classe "90-120 µg/m<sup>3</sup>": ben rappresentata nei gruppi Baiona, Classicana ed Est Porto, assume valori percentuali più contenuti negli altri gruppi. Infine, si osserva come nella classe "> 150 µg/m<sup>3</sup>" non ci siano valori nei recettori sensibili, nelle stazioni e nell'area Sapir, mentre negli altri gruppi questa classe risulta rappresentata: dal 8% dell'area Baiona, al 3,5% dell'area Classicana e al 2% dell'area Est Porto.

#### 4.6 - Relazione del particolato misurato con alcune variabili meteorologiche: velocità del vento (VV), umidità relativa (UR) e pioggia

Per valutare l'impatto della componente meteorologica sulle concentrazioni di PM10 misurate, oltre a calcolare le medie stagionali, sono state analizzate le relazioni con umidità relativa, velocità del vento e giorni di pioggia.

Le medie stagionali (figura 21) del 2020 mostrano, per quanto riguarda le stazioni della rete di controllo della qualità dell'aria, l'andamento tipico con concentrazioni di PM10 più elevate in inverno ed autunno – quando le condizioni meteorologiche sono meno favorevoli alla diffusione e maggiore è il numero di sorgenti emissive - e valori minimi in estate. Analogo profilo si evidenzia anche per i recettori sensibili, Est Porto e Classicana. In controtendenza l'area Baiona, dove i valori più alti di concentrazione di PM10 risultano essere quelli estivi. Tale situazione può essere ricondotta sia alla maggiore attività di sbarco e movimentazione di materiali polverulenti avvenuti al terminal, sia a condizioni di velocità del vento favorevoli al risollevarsi di materiale e all'erosione dei vicini cumuli.

La zona Sapir – a Sud dell'area portuale, di cui fa parte anche la stazione fissa – in autunno fa rilevare valori inferiori sia al periodo invernale sia a quello primaverile, mentre si confermano i valori più bassi d'estate.



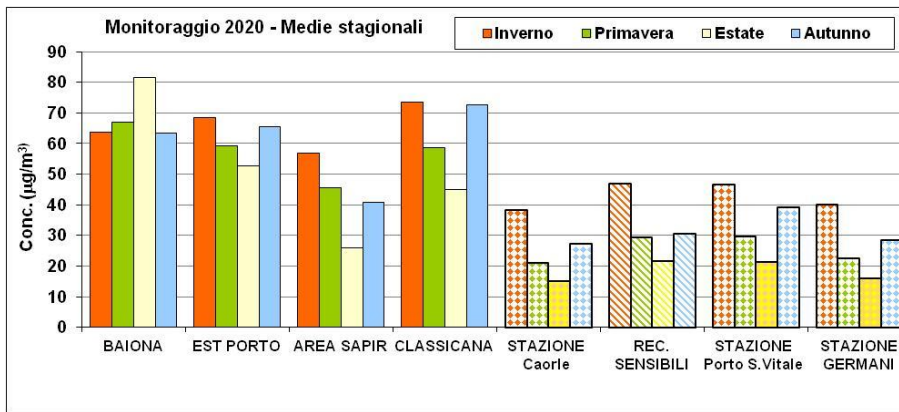


Figura 21 Medie stagionali 2020

Per valutare il rapporto fra PM10 ed alcuni parametri meteorologici (umidità relativa - UR%), velocità del vento - VV e la pioggia), sono state messe in relazione le concentrazioni di particolato con le medie giornaliere dei parametri meteorologici indicati, misurati nella stazione di monitoraggio "Porto San Vitale".

**Umidità relativa (UR%).** Nel 2020 le medie giornaliere dell'umidità relativa misurata nella stazione di Porto San Vitale sono comprese fra il 38% (situazione verificatosi il 23 marzo) e il 100% (condizione verificatosi in 37 giornate, tutte in periodo invernale). In figura 22 sono riportate le medie giornaliere dell'umidità relativa misurata nel 2020, evidenziando con la linea continua i periodi in cui, contestualmente, sono state eseguite le misure di PM10.

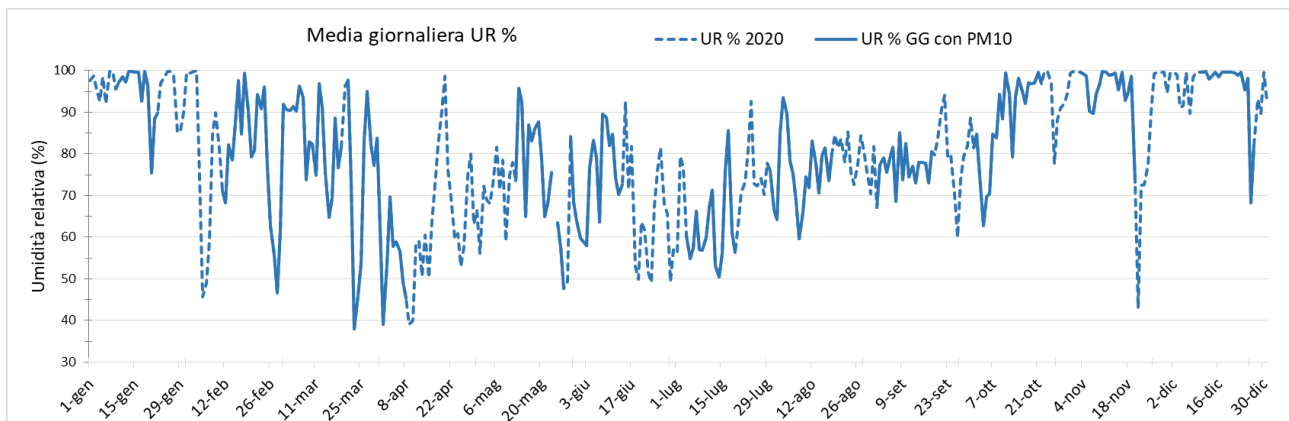


Figura 22 – Medie giornaliere dell'umidità relativa nel 2020 – Stazione Porto San Vitale

Considerando tre classi di umidità relativa,  $UR \leq 60\%$ ;  $60\% \leq UR < 90\%$  e  $90\% < UR \leq 100\%$ , la figura 23 mostra il valore medio della concentrazione di PM10 misurato in ogni gruppo di postazioni.

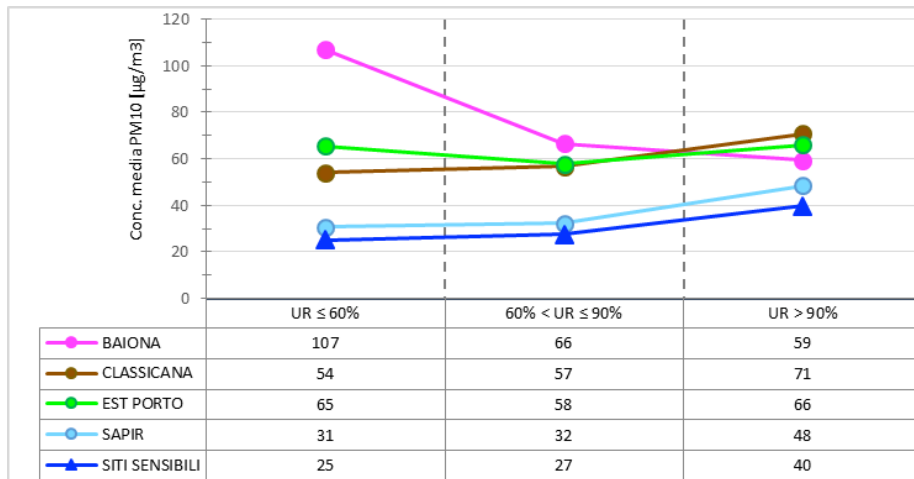


Figura 23 – Medie di PM10 nei gruppi di postazioni in funzione delle classi di umidità relativa – anno 2020

La media del PM10 varia all’aumentare dell’umidità in maniera analoga nei gruppi Classicana, Sapis e Siti Sensibili: più bassa ad umidità inferiore al 60%, cresce leggermente nella classe successiva ed in modo più evidente per UR superiori al 90%.

Nel gruppo Est Porto la media del PM10 diminuisce passando dalla classe “bassa umidità relativa” (UR < 60%) alla classe “media UR%”, per poi ritornare ai valori della prima classe con UR più elevate (> di 90%).

Infine, il gruppo Baiona ha un andamento in controtendenza, con concentrazioni che diminuiscono significativamente all’aumentare della umidità, a conferma che in queste postazioni il contributo maggiore è dato dalla componente di risollevarimento e erosione dei cumuli che, a parità di altre condizioni, tendono ad essere più influenti al diminuire dell’umidità.

**La velocità del vento (VV) e pioggia.** Nel 2020 le medie orarie della velocità del vento - misurata nella stazione di Porto San Vitale - sono comprese fra < 0,2 m/s (circa il 2% dei dati) e 11,2 m/s (il 26 dicembre alle ore 1:00); in poco più dello 0,1% dei casi (11 ore) le misure hanno superato i 10 m/s. La distribuzione di frequenza della media oraria 2020 in classi con passo 1.5 m/s è riportata in figura 24.

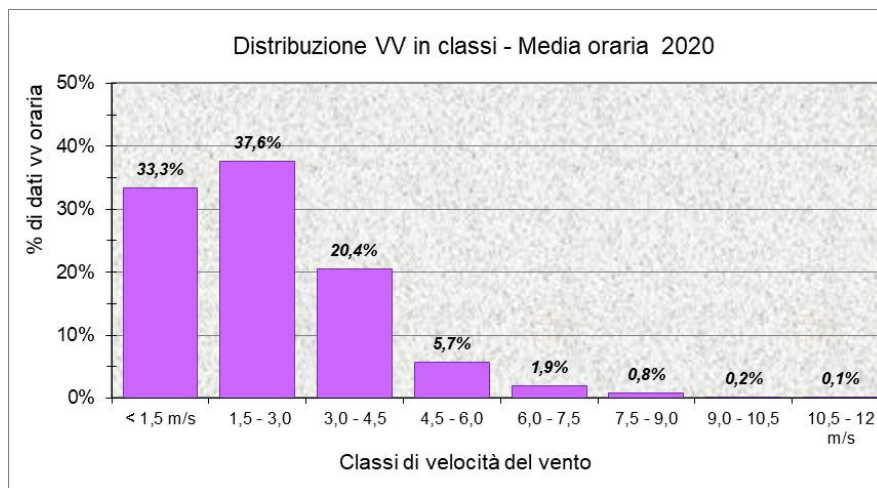


Figura 24 – Distribuzione della velocità del vento in classi di Beaufort

Se – relativamente ad ogni stagione - si calcola la frequenza della direzione di provenienza del vento, si ottengono le rose del vento di figura 25.

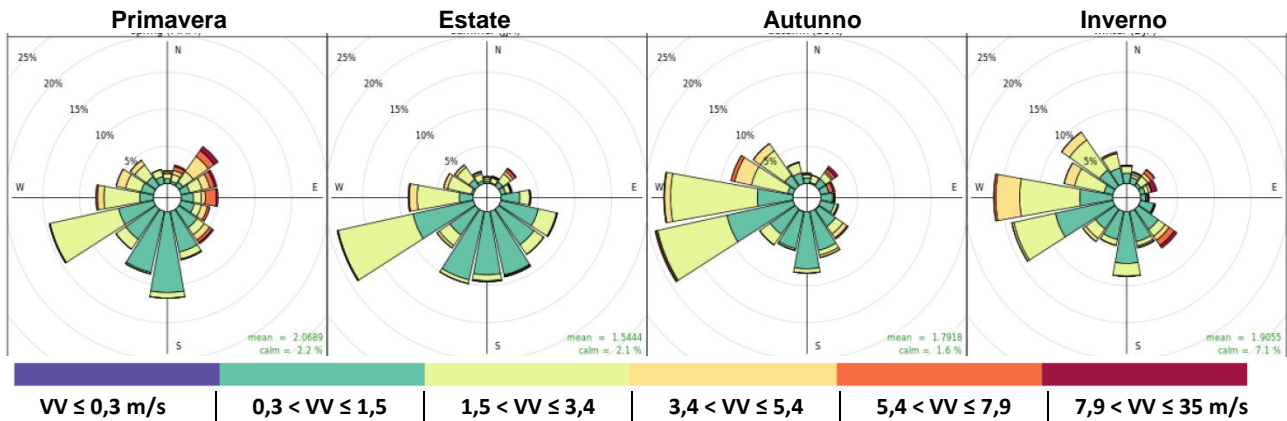


Figura 25 – Rose dei venti stagionali – anno 2020: Frequenza (%) di direzione di provenienza del vento e classi (6) di velocità del vento

Gli istogrammi di figura 26, invece, rappresentano la distribuzione percentuale della velocità media giornaliera del vento dell'intero anno 2020 (grafico a sinistra) e considerando le sole giornate in cui si stava effettuando il monitoraggio in area portuale (a destra).

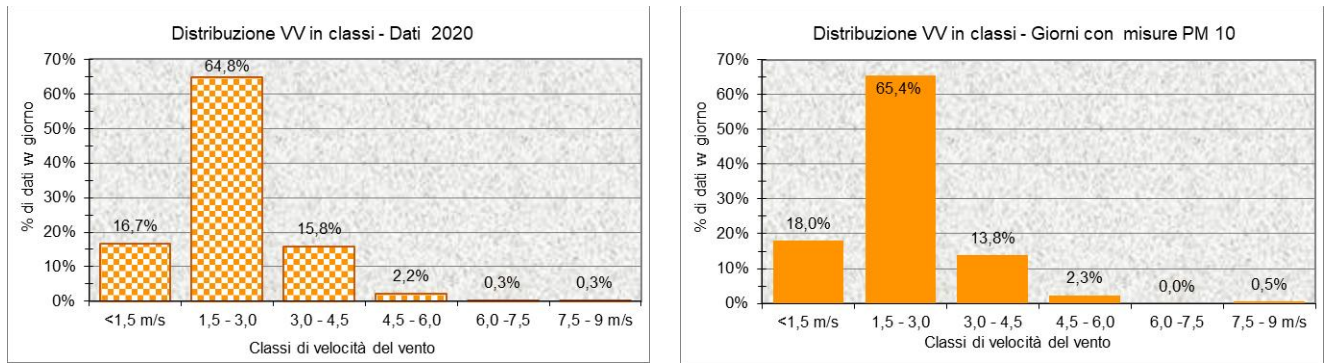


Figura 26 – Distribuzione della velocità del vento medie giornaliere in classi

Le due distribuzioni delle velocità (figura 26) sono sovrapponibili: così la velocità del vento media giornaliera è nel 20% dei giorni inferiore a 1,5 m/s e per quasi il 65%, compresa fra 1,5 m/s e 3 m/s; solo il 3% è superiore a 4.5 m/s, percentuale che scende a meno del 1% per velocità superiori a 6 m/s.

Il grafico di figura 27 mostra le medie giornaliere della velocità del vento 2020 (la linea continua è relativa ai giorni in cui, contestualmente, sono state eseguite le misure di PM10) e i millimetri di pioggia caduti.

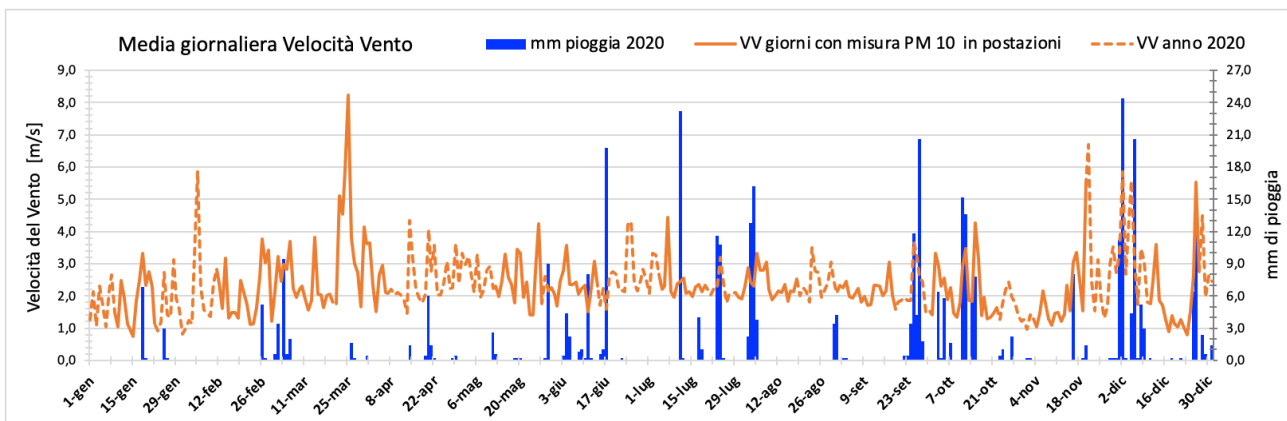


Figura 27 – Medie giornaliere della velocità del vento e mm di pioggia – anno 2020

Nelle 4 giornate in cui la velocità del vento media è risultata superiore a 4,5 m/s, nelle postazioni e nelle stazioni della RRQA sono state misurate le seguenti concentrazioni di PM10 (tabella 13):

		VV [m/s]	UR %	Pioggia mm	M-1A	M-3A	M-1B	M-3B	M-1C	M-3C	M-3D	M-1D	M-1 scuola	M-2 scuola	M-3 scuola	Caorle	Rocca	Porto S.Vitale
24 mar.	Mar	5,9	46		139		69		159			57			42	11	15	29
25 mar.	Mer	8,2	54		36		83		98			47			72	18	22	67
20 nov.	Ven	5,5	73	1,4									18			28	30	44
26 dic.	Sab	5,5	68	14		10		16		18	18		50			21	19	23

Tabella 13 – Concentrazioni di PM10 nelle postazioni e nelle stazioni della rete con vento “moderato” o “teso”

I dati fanno ipotizzare che in area urbana, in condizioni di vento moderato o teso, l'effetto prevalente sia la dispersione con conseguente diminuzione delle concentrazioni di particolato (i valori medi giornalieri sono inferiori a 30 µg/m<sup>3</sup>); in area portuale, invece, la risospensione e l'erosione tendano a far aumentare i valori di PM10 che sono per lo più superiori a 50 µg/m<sup>3</sup> (a parte il giorno 26 dicembre quando le attività erano sospese). Considerando le classi di velocità del vento a passo di 1.5 m/s – da 0 a 9 m/s - la figura 28 riporta il valore medio di PM10 calcolato per ogni gruppo di postazioni. Occorre sottolineare che, mentre per le classi fino a 4.5 m/s le medie sono effettuate su un certo numero di dati, per le velocità superiori il numero di dati disponibili sono esigui e, nell'intervallo di velocità 6 – 7,5 m/s, non ci sono dati rilevati di PM10.

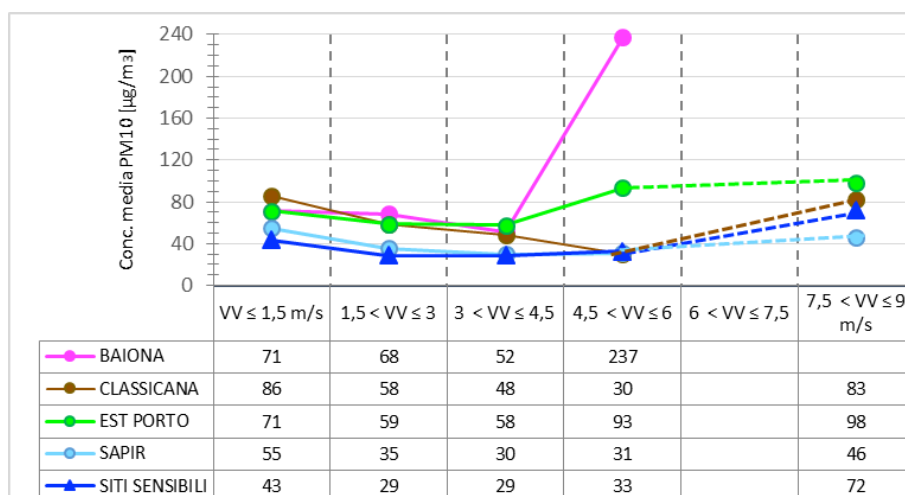


Figura 28 – Medie di PM10 nei gruppi di postazioni in funzione delle classi di velocità del vento indicate – anno 2020

Si può notare come la media del PM10 diminuisca all'aumentare della velocità del vento fino a 4.5 m/s per tutti i gruppi di postazioni, poi si differenzia:

- nel gruppo “Baiona” per velocità del vento fino a 4,5 m/s la concentrazione diminuisce probabilmente a causa del prevalere dell'effetto di diluizione del PM10; al contrario per velocità del vento superiori ai 4,5 m/s prevalgono condizioni favorevoli al risollevarsi di polveri dai cumuli e/o dal manto stradale, con un incremento significativo delle concentrazioni di PM10. Si segnala, infatti, che l'aumento notevole di PM10 è legato a tre situazioni particolarmente onerose verificatosi il 22, 23 e 24 marzo con la contestuale presenza di venti nella classe di velocità 4.5 – 6 m/s, umidità relativa contenuta (compresa fra 38 e 73 %) e sbarchi al terminal Nord;
- nel gruppo “Classicana” il particolato diminuisce anche nell'intervallo di velocità 4.5 – 6 m/s, per poi aumentare in corrispondenza di velocità del vento superiori a 7.5 m/s;

- nel gruppo “Est Porto” invece, dopo l’iniziale diminuzione, si ha un incremento consistente nell’intervallo di velocità 4.5 – 6 m/s e più contenuto in corrispondenza di velocità del vento superiori a 7.5 m/s;
- anche in “Sapir”, dopo l’iniziale diminuzione per VV> 1.5 m/s, le concentrazioni sembrano stabilizzarsi per poi crescere per VV > 7.5 m/s;
- nel gruppo “Siti Sensibili” (gruppo esterno all’area portuale) l’andamento è comunque simile al gruppo “Sapir”, ma con un incremento più consistente per velocità superiori a 7,5 m/s, forse per effetto anche del trasporto di aerosol marino e sabbia dalle spiagge con vento proveniente da Est.

Il grafico di figura 29 mostra le medie massime di PM10 nell’area portuale, la velocità del vento e la pioggia caduta: come si può notare c’è scarsa correlazione ad indicare un maggiore contributo alle concentrazioni di PM10 misurate dato dalle attività locali piuttosto che dal trasporto.

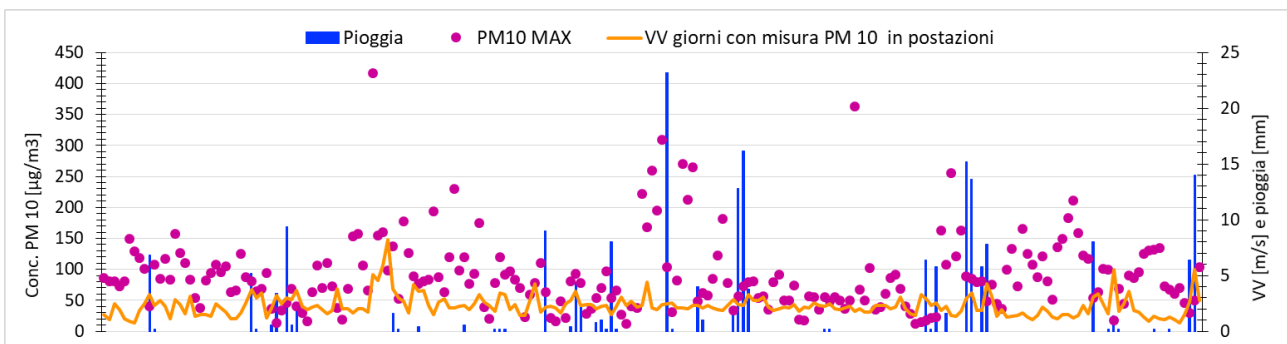


Figura 29 – Massimi giornalieri di PM10 in area portuale, medie giornaliere della velocità del vento e mm di pioggia

#### 4.7 – Confronto delle concentrazioni medie e massime misurate negli anni 2011 – 2014 – 2017 e 2020

Infine, si riporta il confronto delle concentrazioni di PM10 medie annuali (a sinistra) e massime giornaliere (a destra) misurate in ciascuna postazione nel corso dei monitoraggi ad oggi effettuati: 2011, 2014, 2017 e 2020 (figura 30 - grafici a barre).

Le concentrazioni medie annuali 2020 delle postazioni **M-1A** ( $107 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), **M-2B** ( $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) **M-2C** ( $72 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) confermano gli alti valori, già emersi nelle precedenti campagne; in miglioramento o costanti nel periodo di riferimento (2014-2020) i dati delle postazioni **M-3C**, **M-1C** e **M-3B**. Nelle tre postazioni - **M-3C**, **M-3D** e **M-3A** – nel 2020 - le concentrazioni medie annuali sono più basse rispetto a quelle misurate nelle precedenti campagne.

Le postazioni **M-1A** ( $417 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), **M-3B** ( $363 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) e **M-2B** ( $211 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), nel 2020, hanno fatto registrare i massimi giornalieri di concentrazione più elevati. Per le altre postazioni si conferma, sostanzialmente, quanto evidenziato dall’analisi delle medie annuali.



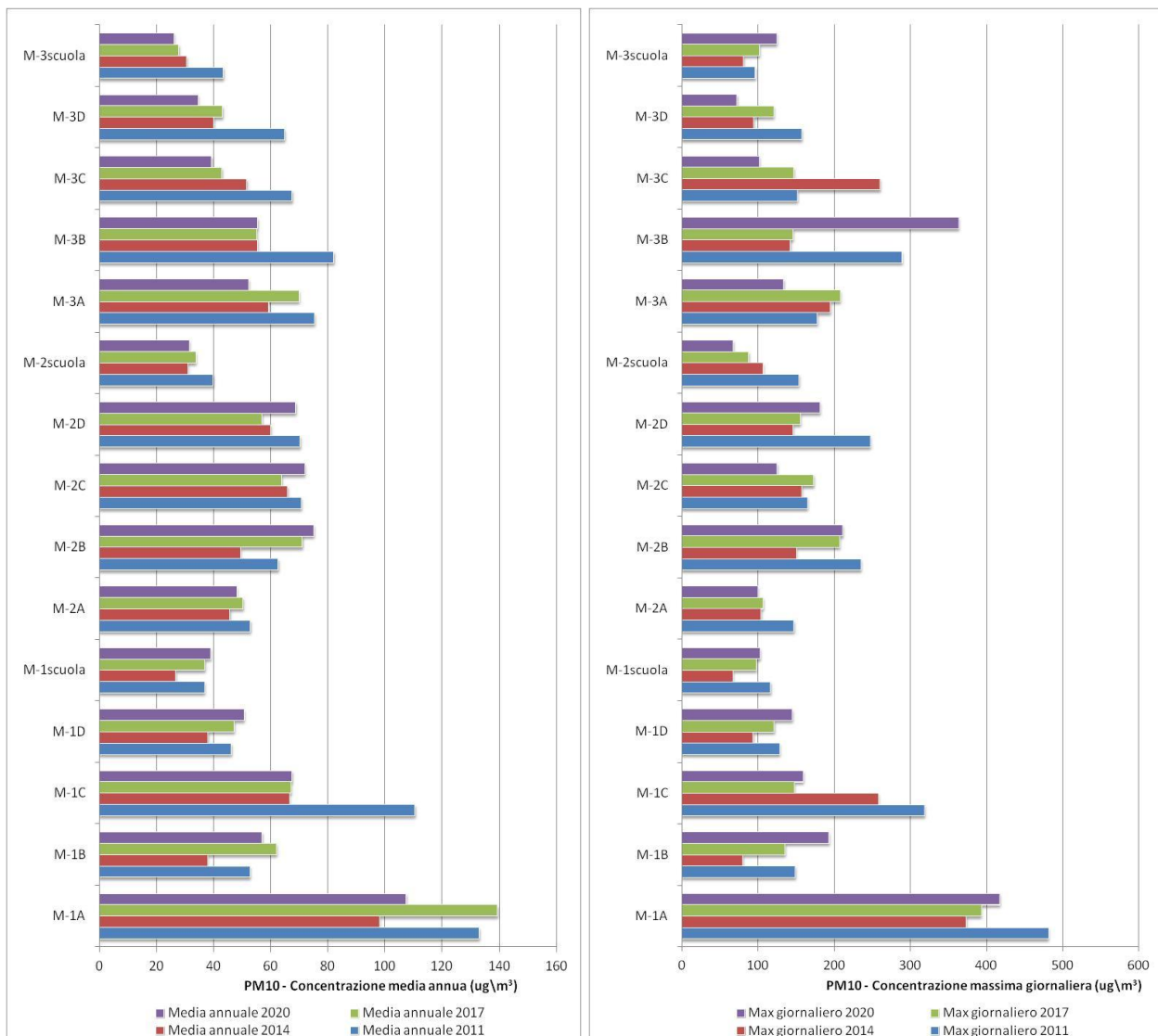


Figura 30 - Confronto delle concentrazioni medie annuali e massime giornaliere del 2011, 2014, 2017 e 2020

## 5 – Conclusioni

La presente relazione descrive l'analisi dei dati di PM10 raccolti in 15 siti (12 all'interno dell'area portuale e 3 in corrispondenza di scuole nel litorale) da gennaio a dicembre 2020.

I dati sono stati valutati per ogni singolo sito e per "gruppi" di postazioni.

### **Siti individuali all'interno dell'area portuale**

I dati di concentrazione media giornaliera rilevati nei 12 siti posti all'interno dell'area portuale evidenziano come alcune postazioni siano caratterizzate da valori di concentrazione di PM10 particolarmente elevati (M-1 A (Terminal Nord), M-2 B (Eurodocks), M-2 C (Antrakoi), M-2 D (CBR) e M-1 C (K+S Agricoltura)). In queste postazioni le medie delle concentrazioni giornaliere sono risultate superiori a 60-70  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , con il valore più elevato pari a 107  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  in M-1 A.

Il 90.4° percentile (cioè la concentrazione superata dal 9.60% delle misure) è risultato ovunque all'interno dell'area portuale superiore ai 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Ciò consente di affermare che in tutte queste postazioni si siano verificati più di 35 superamenti, in un anno, della concentrazione media giornaliera di 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Tutti i siti, eccetto M-3 C (Soco) e M-3 D (SAPIR), presentano valori medi annui superiori al limite di 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  previsto dal D.Lgs. 155/2010.

Dal confronto con le passate campagne (2011, 2014, 2017) si osserva un generale miglioramento, anche se non sostanziale, nelle concentrazioni medie annuali e, in alcune postazioni, anche nei massimi giornalieri. Ciò, quindi, lascerebbe propendere per un non apprezzabile effetto dell'emergenza dovuta al COVID dell'anno in analisi sulle attività in area portuale.

### **Siti presso le scuole**

Le misurazioni effettuate presso le tre scuole (Porto Corsini, Marina di Ravenna e Punta Marina) indicano valori di concentrazione medi annui compresi fra 26 e 39  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , inferiori al limite normativo di 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . I valori massimi giornalieri sono compresi fra 68 e 125  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Le stime sui valori annui, condotte mediante l'utilizzo di un approccio statistico, indicano come il limite del numero di giorni con concentrazione media giornaliera superiore a 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (massimo 35) sia abbondantemente superato in tutte le postazioni ad esclusione della scuola di Marina di Ravenna dove si stimano, comunque, 32 superamenti.

### **Giornate critiche**

Considerando la serie di dati giornalieri, sono state analizzate alcune giornate caratterizzate da picchi significativi di concentrazione e, per i siti di misura posti all'interno dell'area portuale, si è cercata una relazione tra i valori di concentrazione e la concomitanza di attività di sbarco di materiali polverulenti. Per i siti dell'area portuale è stato praticamente sempre possibile individuare degli sbarchi di materiali polverulenti nel giorno stesso di rilevamento del valore particolarmente elevato o nei giorni antecedenti ad esso, ritenendo plausibile correlare questi due fattori. La postazione in cui si sono registrate le maggiori concentrazioni giornaliere di PM10 è stata soprattutto la M-1 A (Terminal Nord). Anche M-1 B, M-2 B e M-3 B hanno avuto concentrazioni giornaliere particolarmente elevate.

Per i siti in corrispondenza delle scuole, invece, si è ritenuto significativo un approfondimento su quelle giornate in cui la concentrazione di PM10 misurata o stimata è risultata superiore a 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , procedendo ad un'analisi delle relative rose dei venti per comprendere la possibile origine del particolato misurato.

Nel caso dei recettori sensibili, è stato possibile associare i valori elevati di concentrazione di polveri a direzioni dei venti provenienti dal quadrante occidentale, specie per Punta Marina. Meno evidenti le casistiche occorse soprattutto per Porto Corsini. Nelle giornate del 28 e 29 marzo, sui valori particolarmente elevati di PM10 potrebbe incidere il fenomeno di trasporto di sabbia dall'area del Mar Caspio che aveva interessato anche l'Italia, con particolare riferimento ai versanti adriatici. Nella giornata del 25 marzo, una ventilazione da Nord-Est lascia ipotizzare un contributo, alle concentrazioni di polveri misurate, dato dallo spray marino e/o dal sollevamento della sabbia dalle spiagge.

### **Gruppi omogenei**

I siti di misura sono stati raggruppati in gruppi omogenei per i quali si è potuti giungere ad alcune valutazioni riassunte schematicamente di seguito:

- le concentrazioni maggiori (massime e medie) sono state rilevate soprattutto nelle aree “Baiona” e “Classicana”, rispettivamente in riva sinistra e destra del Canale Candiano nella parte posta più a nord del porto. In generale, queste due aree e l’area “Est Porto” presentano valori molto più elevati rispetto all’area portuale meridionale (“Sapir”), più distante dalle principali banchine di scarico di materiali polverulenti;
- i siti posti all’interno delle zone “Baiona”, “Classicana” e “Sapir” sono caratterizzati dalla predominanza della classe di frequenza delle concentrazioni di PM10 compresa tra 30 e 60  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , mentre nella zona “Est Porto” le classi 30-60  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  e 60-90  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  sono egualmente rappresentate. Nei Recettori sensibili e nelle stazioni della rete (Porto San Vitale, Caorle e Germani) l’intervallo più frequente è quello con valori inferiori a 30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ;
- il tipico ciclo stagionale delle concentrazioni di polveri, con valori minimi durante il periodo estivo, è ben riscontrabile nei recettori sensibili, in “Est Porto” e “Classicana” e anche nelle stazioni della rete di controllo della qualità dell’aria. In controtendenza l’area “Baiona”, dove i valori più alti di concentrazione di PM10 risultano essere quelli estivi. Tale situazione può essere ricondotta sia alla maggiore attività di sbarco e movimentazione di materiali polverulenti avvenuti al terminal, sia a condizioni di velocità del vento favorevoli al risollevarsi di materiale e all’erosione dei vicini cumuli;
- la concentrazione media del PM10 varia all’aumentare dell’umidità in maniera analoga nei gruppi “Classicana”, “Sapir” e “Siti Sensibili”. Il gruppo “Baiona” ha un andamento in controtendenza, con concentrazioni che diminuiscono significativamente all’aumentare della umidità. Nel gruppo “Est Porto” la media del PM10 diminuisce passando dalla classe “bassa umidità relativa” (UR < 60%) alla classe “media UR%”, per poi ritornare ai valori della prima classe con UR più elevate (> di 90%).

La media del PM10 diminuisce all’aumentare della velocità del vento fino a 4.5 m/s per tutti i gruppi di postazioni, poi si differenzia in funzione alla tipologia di postazione.

Infine, è stata rilevata una scarsa relazione tra le concentrazioni di PM10 e la precipitazione, ad indicare un maggiore contributo alle concentrazioni di PM10 misurate dato dalle attività locali piuttosto che dal trasporto.

