

**Protocollo d'intesa per il miglioramento della qualità  
ambientale nell'area portuale di Ravenna**

**RISULTATI DEL MONITORAGGIO  
DI PARTICOLATO PM10  
IN AREA PORTUALE  
*Anno 2014***



Relazione redatta da:

**Patrizia Luciali**  
**Elisa Pollini**

Hanno collaborato:

alla gestione delle postazioni e al campionamento gli operatori addetti alla Rete di Rilevamento della Qualità dell'aria:

**Lorenzo Bettini**  
**Valter Gnani**  
**Emilio Rambelli**  
**Deborah Valbonetti**

alle determinazioni gravimetriche gli operatori del Laboratorio Integrato:

**Manuela Briccolani**  
**Davide Verna**

## **Introduzione**

### **1 – Le campagne di misura**

### **2 – Elaborazione dei dati delle campagne di misura**

**2.1 - Andamento dei dati giornalieri**

**2.2 - Picchi anomali di concentrazione**

**2.3 - Concentrazioni di PM10 rilevate presso i recettori  
sensibili**

**2.4 - Analisi per gruppi omogenei**

**2.5 - Concentrazioni di PM10 e condizioni meteorologiche**

### **3 – Conclusioni**



## Introduzione

La presente relazione descrive i risultati della campagna di monitoraggio di polveri PM10 effettuata in area portuale da gennaio a dicembre 2014.

I siti monitorati sono in totale quindici. Avendo a disposizione cinque strumenti per il campionamento del PM 10 (skypost), questi sono stati impiegati contemporaneamente in cinque siti di misura, in tre blocchi. Delle cinque postazioni monitorate in contemporanea, quattro sono state individuate all'interno dell'area portuale, cercando di "coprire" l'intera zona (dall'area SAPIR fino a Nord, lungo la Via Baiona in riva sinistra del Canale Candiano) mentre la quinta era in corrispondenza di un sito sensibile potenzialmente influenzato dalle emissioni derivanti dalle attività portuali, in particolare un plesso scolastico. Con questa pianificazione è stato possibile monitorare tre aree scolastiche potenzialmente soggette alla polverosità prodotta nella zona portuale.

In ogni sito di campionamento sono state effettuate quattro campagne di misura della durata di due settimane, per un totale di otto settimane di misure distribuite uniformemente durante l'anno, in conformità con quanto previsto dal D.L.vo 155/2010, consentendo di calcolare la media annuale e di confrontarla con il corrispondente limite ( $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

## 1 – Le campagne di misura

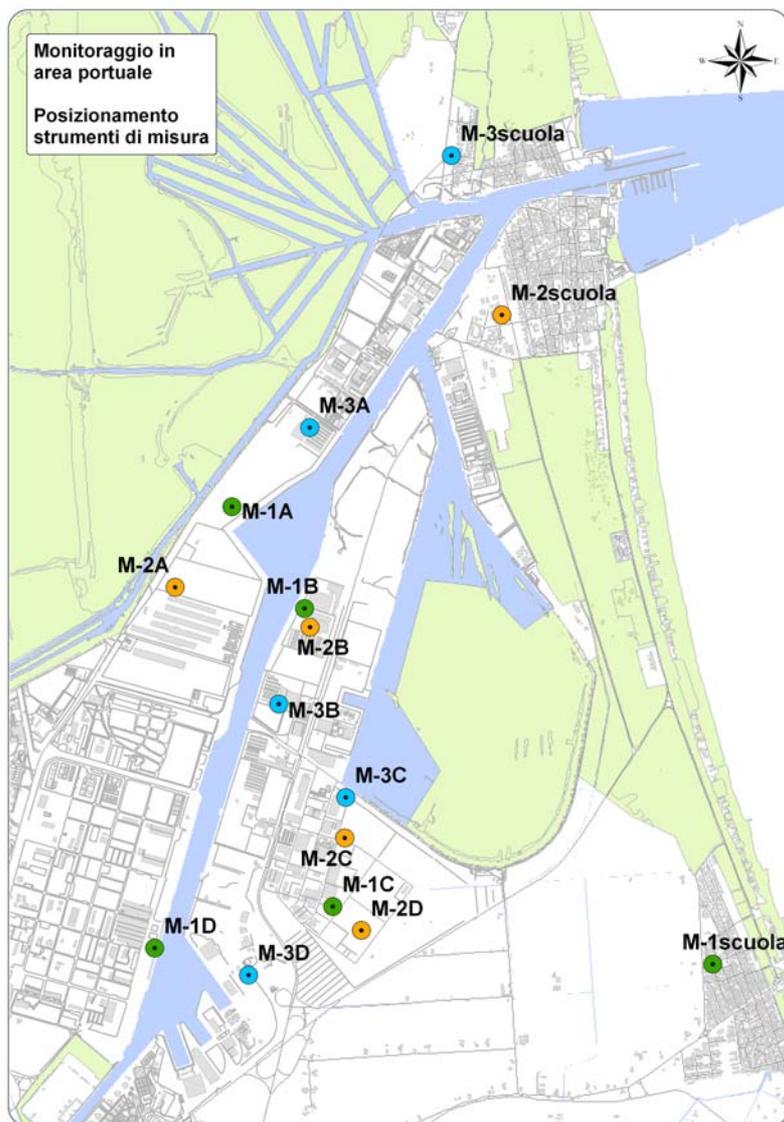
Sulla mappa dell'area, in figura 1, sono riportati i siti di misura, la sigla identificativa e il nome dell'azienda/ scuola. I siti di misura sono gli stessi del monitoraggio 2011 e soddisfano due requisiti:

- il monitoraggio in una scuola (recettore sensibile) in ogni blocco;
- l'ottimizzazione della "copertura" dell'area portuale da Nord a Sud.

In tabella 1 per ogni sito è indicata la sigla identificativa, il nome (azienda/scuola), il periodo di campionamento (anno 2014) e il numero di dati disponibili (concentrazioni medie giornaliere).

Sito		Campagna 1	Campagna 2	Campagna 3	Campagna 4	N° dati	
BLOCCO 1	M-1 A	Terminal Nord	25/01 – 09/02	02/04 – 16/04	03/07 – 17/07	09/10 – 23/10	61
	M-1 B	Gesco Cons.	22/01 – 06/02	02/04 – 16/04	02/07 – 16/07	08/10 – 23/10	62
	M-1 C	Micron Mineral	22/01 – 06/02	02/04 – 16/04	02/07 – 16/07	08/10 – 23/10	62
	M-1 D	Yara Italia	22/01 – 06/02	02/04 – 16/04	02/07 – 16/07	08/10 – 23/10	62
	M-1scuola	Scuola Punta Marina	22/01 – 06/02	02/04 – 16/04	02/07 – 16/07	08/10 – 23/10	60
BLOCCO 2	M-2 A	IFA	15/02 – 20/03	07/05 – 21/05	23/07 – 06/08	29/10 – 12/11	76
	M-2 B	Eurodocks	12/02 – 26/02	07/05 – 21/05	23/07 – 06/08	29/10 – 12/11	60
	M-2 C	Antrakoi	12/02 – 26/02	07/05 – 21/05	23/07 – 06/08	29/10 – 12/11	60
	M-2 D	Adriacal	12/02 – 26/02	07/05 – 22/05	23/07 – 06/08	29/10 – 12/11	61
	M-2scuola	Scuola Marina di RA	12/02 – 26/02	07/05 – 21/05	23/07 – 06/08	29/10 – 12/11	61
BLOCCO 3	M-3 A	Lloyd	06/03 – 20/03	28/05 – 11/06	03/09 – 17/09	26/11 – 15/12	65
	M-3 B	Docks Cereali	06/03 – 20/03	28/05 – 11/06	03/09 – 17/09	26/11 – 15/12	61
	M-3 C	Soco	06/03 – 20/03	28/05 – 11/06	03/09 – 17/09	26/11 – 15/12	64
	M-3 D	Porto S.Vitale	06/03 – 20/03	29/05 – 12/06	03/09 – 17/09	26/11 – 15/12	64
	M-3scuola	Scuola Porto Corsini	06/03 – 20/03	28/05 – 11/06	03/09 – 17/09	26/11 – 15/12	65
<b>TOTALE</b>						<b>944</b>	

Tabella 1 – Sintesi delle campagne di misura



Terminal Nord	<b>M-1A</b>	IFA	<b>M-2A</b>	Lloyd	<b>M-3A</b>
Gesco Cons.	<b>M-1B</b>	Eurodocks	<b>M-2B</b>	Docks Cereali	<b>M-3B</b>
Micron Mineral	<b>M-1C</b>	Antrakoi	<b>M-2C</b>	Soco	<b>M-3C</b>
Yara Italia	<b>M-1D</b>	Adriacal	<b>M-2D</b>	Porto S.Vitale	<b>M-3D</b>
Scuola Punta Marina	<b>M-1 scuola</b>	Scuola Marina di RA	<b>M-2 scuola</b>	Scuola Porto Corsini	<b>M-3 scuola</b>

**Figura 1 – Ubicazione delle postazioni di misura**

La postazione M-3D è in corrispondenza della stazione di monitoraggio Porto San Vitale, dove è installato anche uno strumento che misura *in continuo* di PM 10 (strumento SWAM -misura automatica con tecnica ad assorbimento beta). Il confronto fra i dati rilevati con modalità diverse - campionatore e successiva pesata (Skypost - misure discontinue) e misura con strumentazione in continuo - nello stesso punto consente di verificare l'equivalenza dei due metodi e effettuare inferenze statistiche anche nelle altre postazioni in cui sono stati utilizzati solo i campionatori Skypost, come meglio dettagliato di seguito.

## 2 – Elaborazione dei dati delle campagne di misura

### 2.1 – Modalità di campionamento e misura: confronto misure effettuate con campionatore Skypost e con strumento automatico SWAM

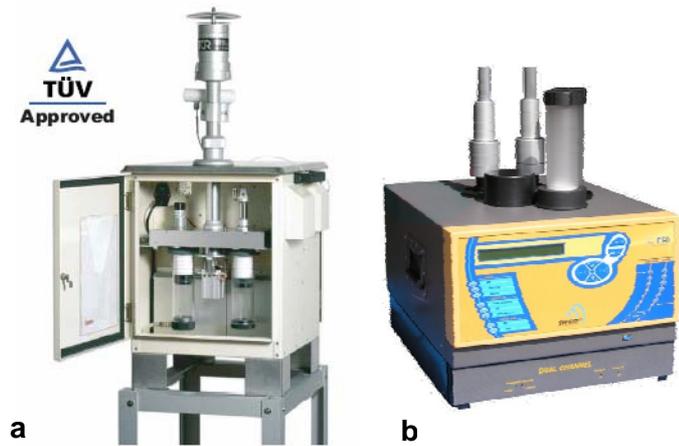


Fig. 2 – a) campionatore PM10 - Skypost  
b) strumento assorbimento  $\beta$  - FAI SWAM

Nel presente studio, per la raccolta del particolato PM 10, è stato utilizzato il campionatore Skypost (Figura 2 a), conforme alla norma Europea (norma CEN 12341 richiesta dal DLgs 155/2010).

I filtri, sui quali si raccoglie il particolato, vengono pesati in laboratorio prima e dopo il campionamento, previo condizionamento. Noto il volume di aria campionato si ricava la concentrazione di particolato in aria (*determinazione di tipo gravimetrico*).

La modalità per determinare la quantità di particolato raccolto con questo campionatore differisce da quella impiegata dalla strumentazione installata

nelle stazioni della rete di controllo della qualità dell'aria (FAI SWAM - assorbimento beta – Fig.2b). Sono invece uguali gli altri parametri caratteristici del campionamento, in particolare la portata (38.3 l/min) e la geometria della testa che effettua il taglio granulometrico PM 10.

Inoltre, lo strumento FAI SWAM è *certificato equivalente* alla norma CEN 12341, come richiesto dal DLgs 155/2010.

Le concentrazioni di PM 10 determinate con lo Skypost risultano in linea con quelle misurate dal monitor PM 10 ad assorbimento beta installato nella stazione San Vitale della rete di controllo della qualità dell'aria. La relazione (ottima) fra le due misure è riportata in figura 3.

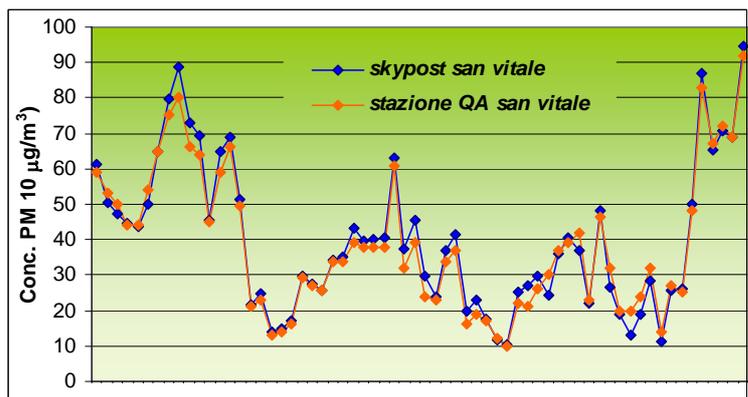
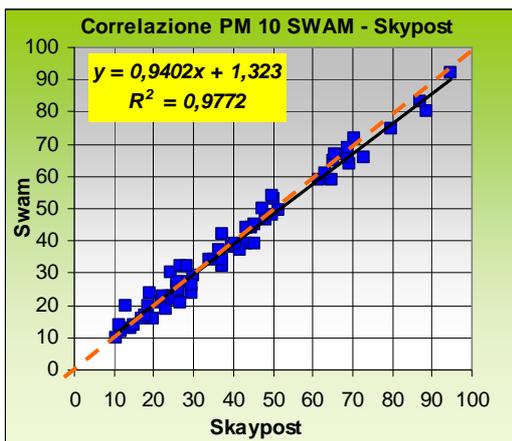


Fig. 3 – Correlazione (a) e confronto (b) fra concentrazioni rilevate con il campionatore Skypost (gravimetrico) e lo strumento PM10 ad assorbimento beta (FAI -SWAM)

Questa ottima correlazione è condizione necessaria per poter applicare un procedimento statistico che consente di ricostruire il campo di concentrazioni su base annuale del particolato in corrispondenza della postazione dello Skypost, a partire dai dati rilevati in continuo da una stazione della rete di controllo della qualità dell'aria.

## 2.2 – Analisi delle concentrazioni medie giornaliere

Nelle figure 4 – 7 sono state riportati i grafici con le medie giornaliere rilevate nelle diverse postazioni, suddivise per campagne e stagione. In ogni grafico, come confronto, è sempre rappresentato anche il dato rilevato nella stazione San Vitale con strumentazione automatica (in azzurro).

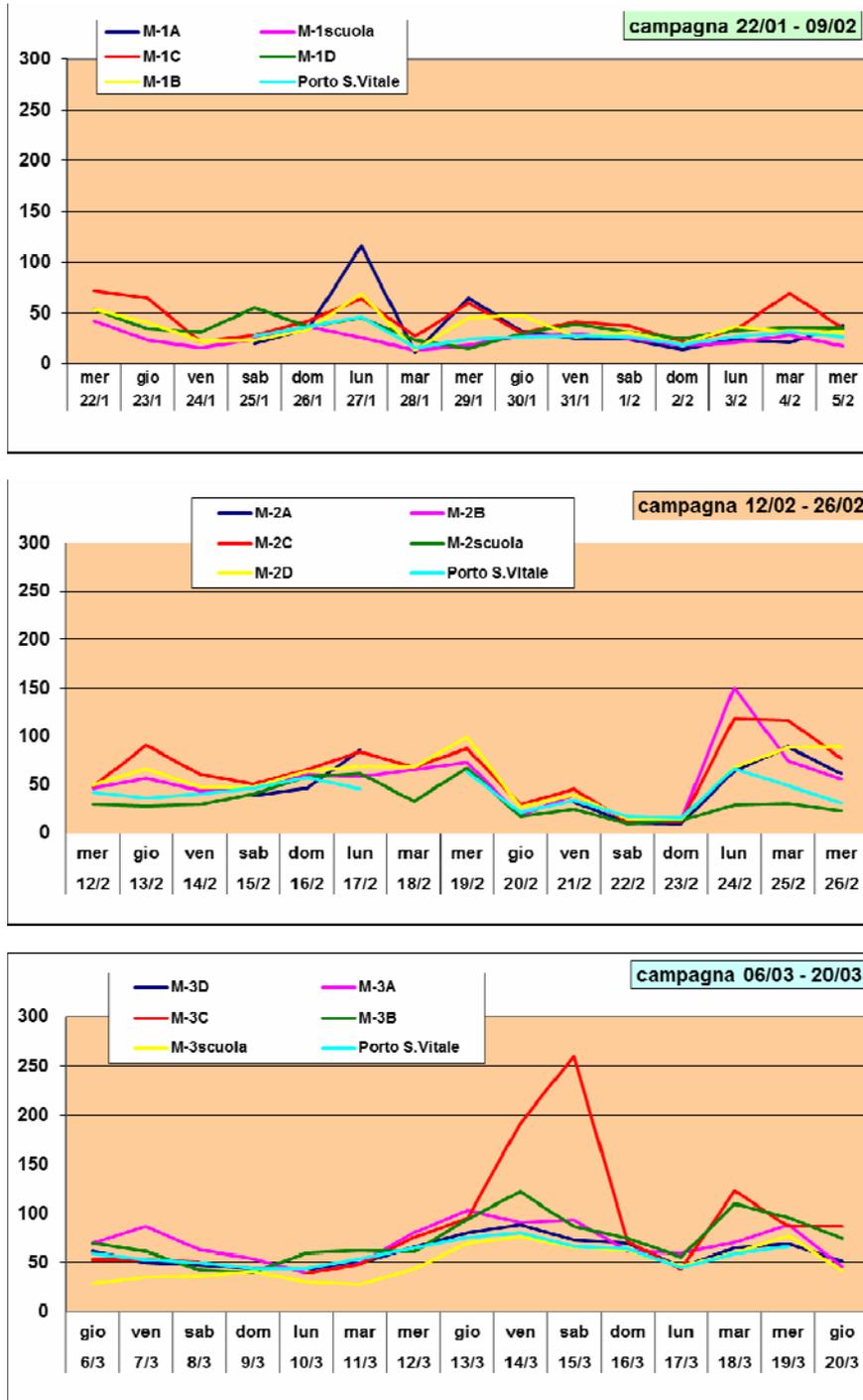


Figura 4 –  
Campagna inverno  
Anno 2014

<b>M-1A</b>	Terminal Nord	<b>M-2A</b>	IFA	<b>M-3A</b>	Lloyd
<b>M-1B</b>	Gesco Cons.	<b>M-2B</b>	Eurodocks	<b>M-3B</b>	Docks Cereali
<b>M-1C</b>	Micron Mineral	<b>M-2C</b>	Antrakoi	<b>M-3C</b>	Soco
<b>M-1D</b>	Yara Italia	<b>M-2D</b>	Adriacal	<b>M-3D</b>	Staz. Posto San Vitale
<b>M-1 scuola</b>	Scuola Punta Marina	<b>M-2 scuola</b>	Scuola Marina di RA	<b>M-3 scuola</b>	Scuola Porto Corsini

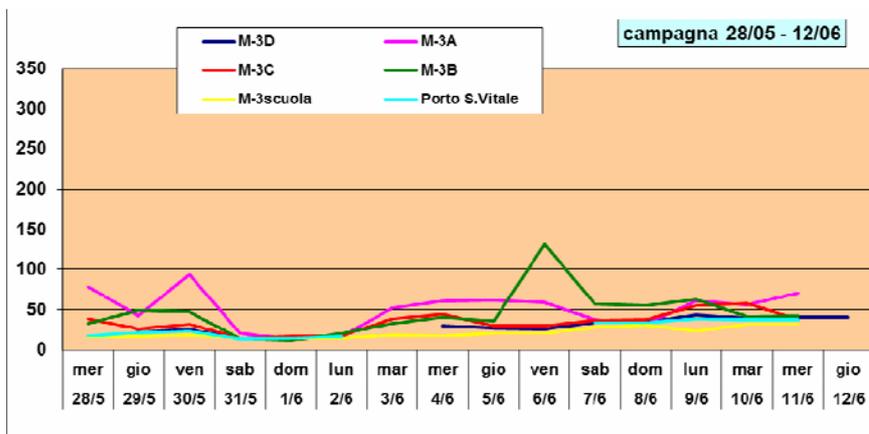
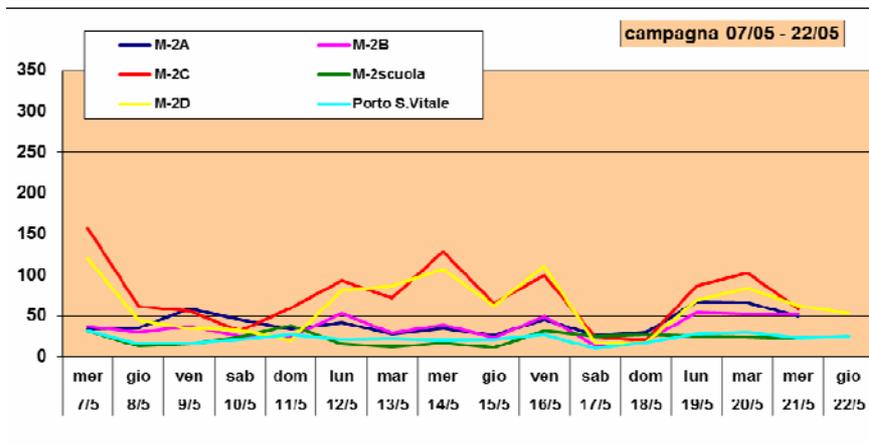
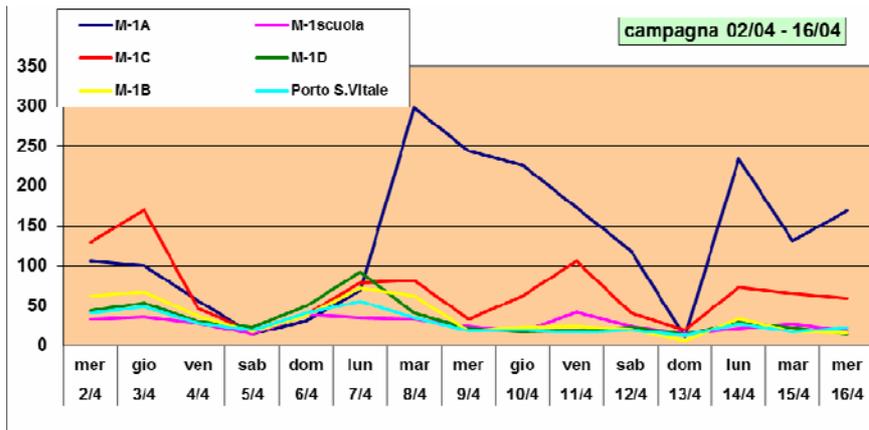


Figura 5  
Campagna  
primavera  
Anno 2014

<b>M-1A</b>	Terminal Nord	<b>M-2A</b>	IFA	<b>M-3A</b>	Lloyd
<b>M-1B</b>	Gesco Cons.	<b>M-2B</b>	Eurodocks	<b>M-3B</b>	Docks Cereali
<b>M-1C</b>	Micron Mineral	<b>M-2C</b>	Antrakoi	<b>M-3C</b>	Soco
<b>M-1D</b>	Yara Italia	<b>M-2D</b>	Adriacal	<b>M-3D</b>	SAPIR
<b>M-1 scuola</b>	Scuola Punta Marina	<b>M-2 scuola</b>	Scuola Marina di RA	<b>M-3 scuola</b>	Scuola Porto Corsini

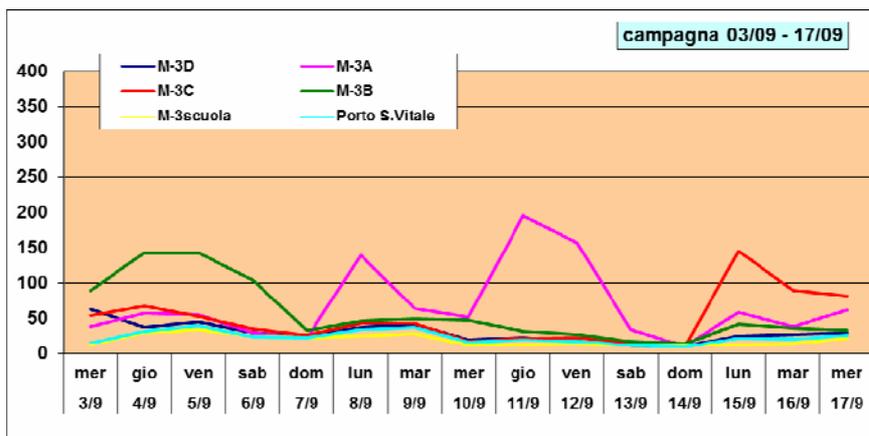
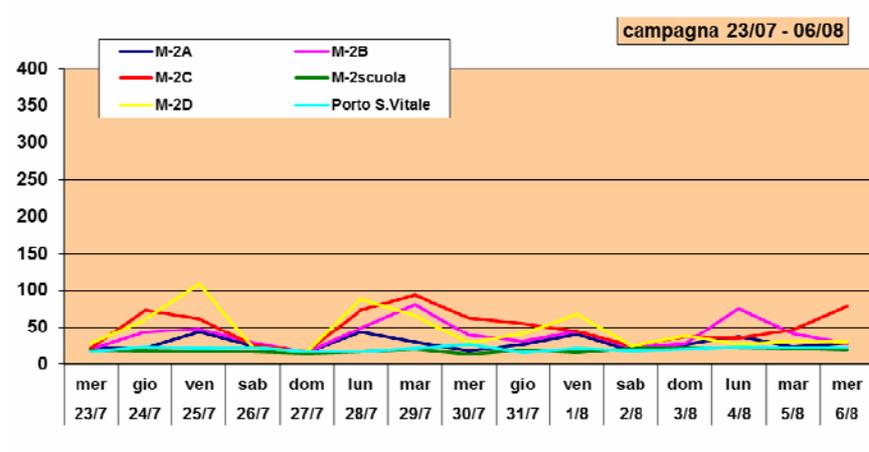
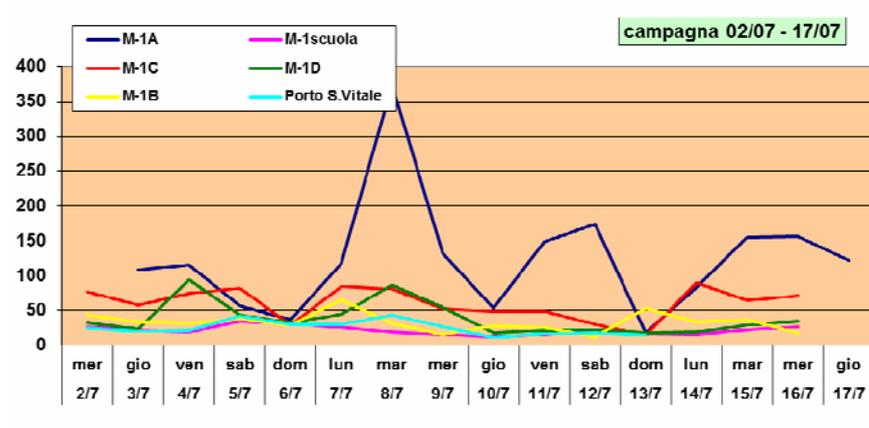


Figura 6  
Campagna estate  
Anno 2014

**M-1A** Terminal Nord  
**M-1B** Gesco Cons.  
**M-1C** Micron Mineral  
**M-1D** Yara Italia  
**M-1 scuola** Scuola Punta Marina

**M-2A** IFA  
**M-2B** Eurodocks  
**M-2C** Antrakoi  
**M-2D** Adriacal  
**M-2 scuola** Scuola Marina di RA

**M-3A** Lloyd  
**M-3B** Docks Cereali  
**M-3C** Soco  
**M-3D** SAPIR  
**M-3 scuola** Scuola Porto Corsini

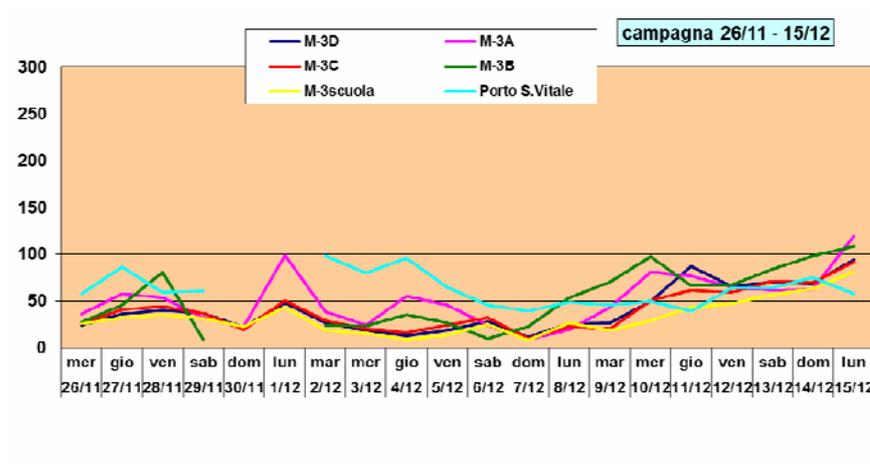
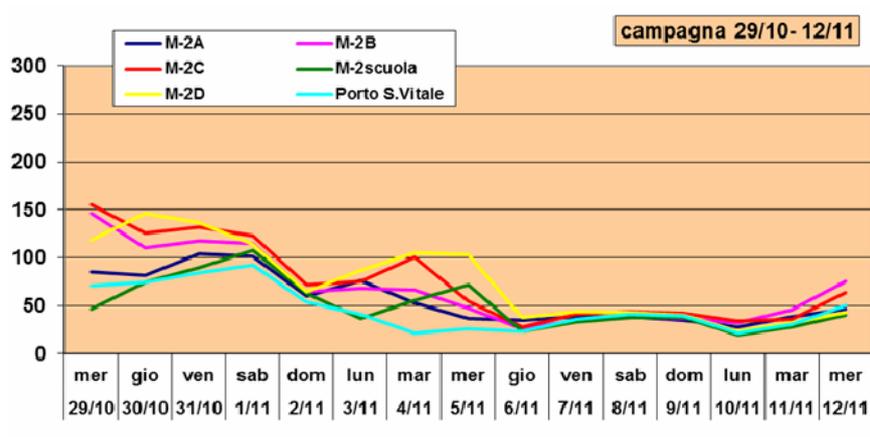
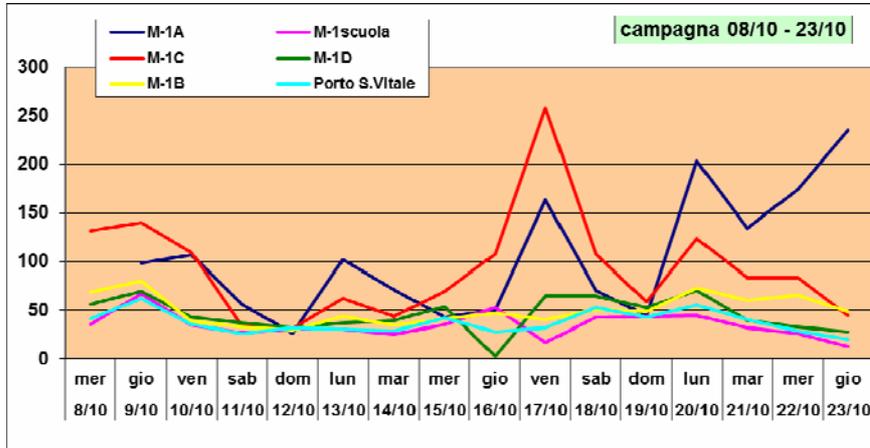


Figura 7  
Campagna autunno  
Anno 2014

**M-1A** Terminal Nord  
**M-1B** Gesco Cons.  
**M-1C** Micron Mineral  
**M-1D** Yara Italia  
**M-1 scuola** Scuola Punta Marina

**M-2A** IFA  
**M-2B** Eurodocks  
**M-2C** Antrakoi  
**M-2D** Adriacal  
**M-2 scuola** Scuola Marina di RA

**M-3A** Lloyd  
**M-3B** Docks Cereali  
**M-3C** Soco  
**M-3D** SAPIR  
**M-3 scuola** Scuola Porto Corsini

In tabella 2 sono riportate, per ciascun sito, alcune elaborazioni. In particolare:

- il numero di dati (concentrazioni media giornaliera) disponibili per ogni sito (monitoraggio anno 2014);
- la media annuale (il limite del dlgs 155/2010 è  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ );
- la concentrazione massima giornaliera misurata nella postazione;
- il 90,4° percentile delle concentrazioni misurate.
- Il numero di giorni in cui – durante il monitoraggio – è stata superata la concentrazione di  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .
- la percentuale di giorni in cui è stata superata la concentrazione di  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ : su base annua tale valore non deve superare il 9.6%.

Il numero di giorni e le modalità di campionamento sono conformi al dlgs 155/2010 per misure discontinue, quindi, mentre è corretto un confronto diretto della media con il limite di legge per il lungo periodo (la media annuale non deve essere superiore a  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), il 90.4° percentile e il numero di superamenti percentuale danno solo un'indicazione del superamento o meno del limite di breve periodo: se il 90.4° è superiore a  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  significa che il limite giornaliero del PM 10 non è rispettato (cioè è altamente probabile che si verificano più di 35 superamenti in un anno della concentrazione media giornaliera di  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), così come se il numero di superamenti percentuali è maggiore del 9.6%.

Sito	N° dati	Media [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Max giornaliero [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	90.4° [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	N° di sup nei dati rilevati	N° di sup % nei dati rilevati
M-1 A Terminal Nord	61	98	373	208	40	65,6%
M-1 B Gesco Cons.	62	38	80	66	14	22,6%
M-1 C Micron Mineral	62	67	258	111	37	59,7%
M-1 D Yara Italia	62	38	94	64	15	24,2%
M-1scuola Scuola Punta Marina	62	27	67	42	2	3,2%
M-2 A IFA	76	46	104	82	26	34,2%
M-2 B Eurodocks	60	49	150	77	22	36,7%
M-2 C Antrakoi	60	66	158	120	38	63,3%
M-2 D Adriacal	61	60	146	109	31	50,8%
M-2scuola Scuola Marina di RA	60	31	107	62	9	15,0%
M-3 A Lloyd	65	59	195	94	40	61,5%
M-3 B Docks Cereali	64	57	143	104	26	40,6%
M-3 C Soco	63	52	260	89	30	47,6%
M-3 D SAPIR	64	40	95	69	16	25,0%
M-3scuola Scuola Porto Corsini	65	31	81	62	9	13,8%

Tabella 2 – Medie, massimi e 90.4° per l'anno 2014 –

Dai grafici e dalla tabella risultano confermate alcune indicazioni emerse già nel corso della precedente indagine (2011).

La media annua in corrispondenza delle postazioni all'interno dell'area portuale risulta, nella maggior parte dei casi, superiore ai limite di legge [risulta di poco inferiore o uguale a  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  in **M-1 B** ( $38 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), **M-1 D** ( $38 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) e **M-3 D** ( $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )]. In corrispondenza di **M-1A** ed **M-1C** le concentrazioni sono mediamente superiori a quelle delle altre postazioni (rispettivamente **M-1A** =  $98 \mu\text{g}/\text{m}^3$  e **M-1C** =  $67 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Nel 2014, anche in **M-2C**, **M-2D** e **M-3A** le concentrazioni sono

elevate (rispettivamente  $66 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $59 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), analoghe a quelle misurate nella postazione M-1C ( $67 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

I valori massimi giornalieri (quarta colonna della tabella) sono ovunque alti ma nelle postazioni **M-1A** ( $373 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), **M-1C** ( $258 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) e **M-3C** ( $260 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), questi hanno abbondantemente superato i  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Tutti i siti presenti all'interno dell'area portuale hanno fatto riscontrare valori giornalieri elevati e il 90.4° percentile - quinta colonna della tabella - è maggiore di  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  in tutti i punti ad esclusione, della scuola di Punta Marina (**M-1scuola**), pertanto si prevede il superamento del limite di breve periodo.

I siti con criticità simili sono spesso posizionati in aree vicine:

- M-1A e M-3A si trovano a Nord in riva sinistra del Canale Candiano, all'interno dell'area delle ditte Terminal Nord e Lloyd;
- M-1C, M-2C, M-2D e M-3C si trovano a S-E della zona portuale, in prossimità alle ditte Micron Mineral, Antrakoi, Adriacal e Soco.

#### Confronto 2011 – 2014.

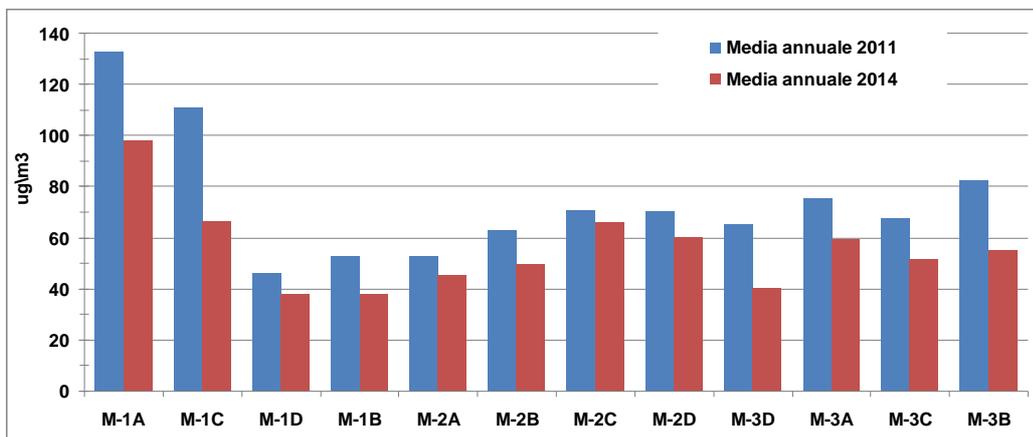


Figura 8

Confronto delle medie annuali rilevate nel 2011 e nel 2014 - siti posti all'interno dell'area portuale

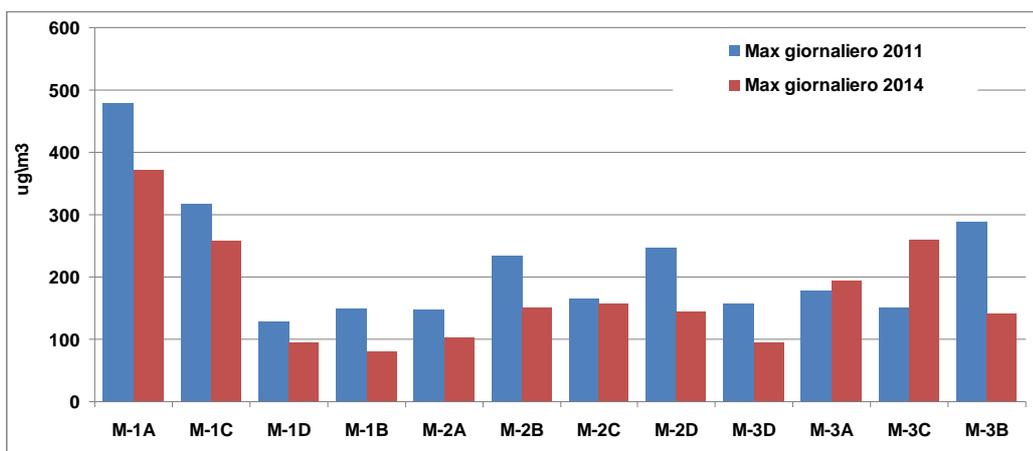


Figura 9

Confronto concentrazioni massime giornaliere rilevate nel 2011 e nel 2014 - siti posti all'interno dell'area portuale

Nel 2014 le concentrazioni medie annue sono state più contenute rispetto al 2011 in corrispondenza di tutti i siti di misura (Fig. 8), con differenze percentuali comprese tra -7% (**M2-C**) e -40% (**M-1C**). Anche i valori massimi (Fig.9) hanno registrato un calo rispetto al 2011 (con differenze percentuali comprese tra -4% (**M-1B**) e -51% (**M-3B**)), ad eccezione delle postazioni **M-**

**3A** e **M-3C**, dove nel 2014 sono stati registrati dei valori massimi giornalieri superiori rispettivamente del 10% e del 70% rispetto al 2011.

Tale riduzione generale delle concentrazioni medie annue può essere ricondotta:

- all'effetto di interventi di mitigazione e all'introduzione di buone pratiche messe in atto dagli operatori dell'area portuale in questi anni e
- alle particolari condizioni meteorologiche del 2014 che hanno consentito una significativa e generale diminuzione anche del particolato "di fondo". Infatti nel 2014, rispetto al 2011, si è registrata una diminuzione di circa il 30% delle concentrazioni di PM10 nelle stazioni della rete di controllo della qualità dell'aria urbana e peri-urbana. In corrispondenza dei siti sensibili (scuole) invece la diminuzione è stata del 29%, 27% e 22%, quindi inferiore a quella del resto del territorio.

La distribuzione spaziale dei massimi giornalieri e delle medie annuali è riportata nelle figure 10 e 11.

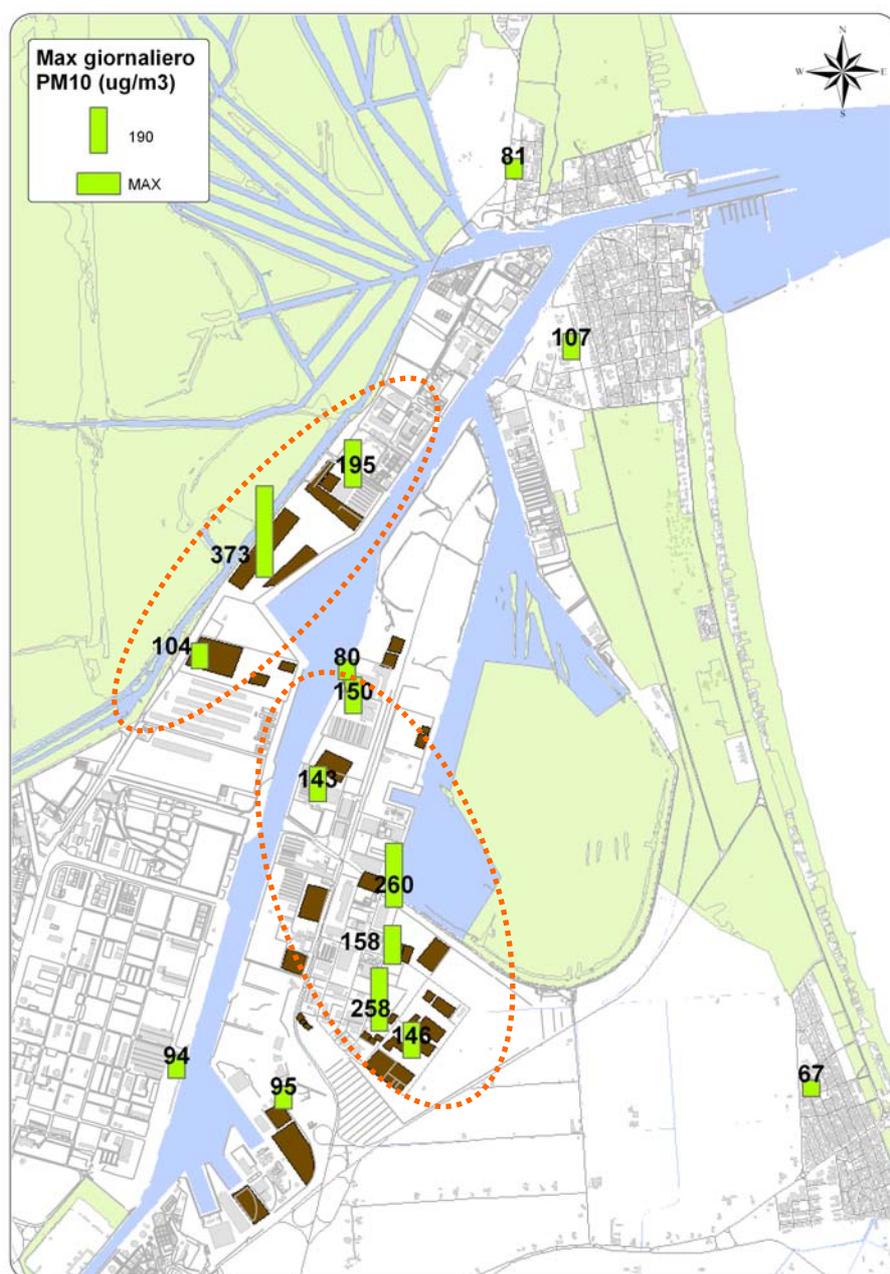


Figura 10

**PM 10 – Massimo giornaliero ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) rilevato nel 2014 nelle 15 postazioni**

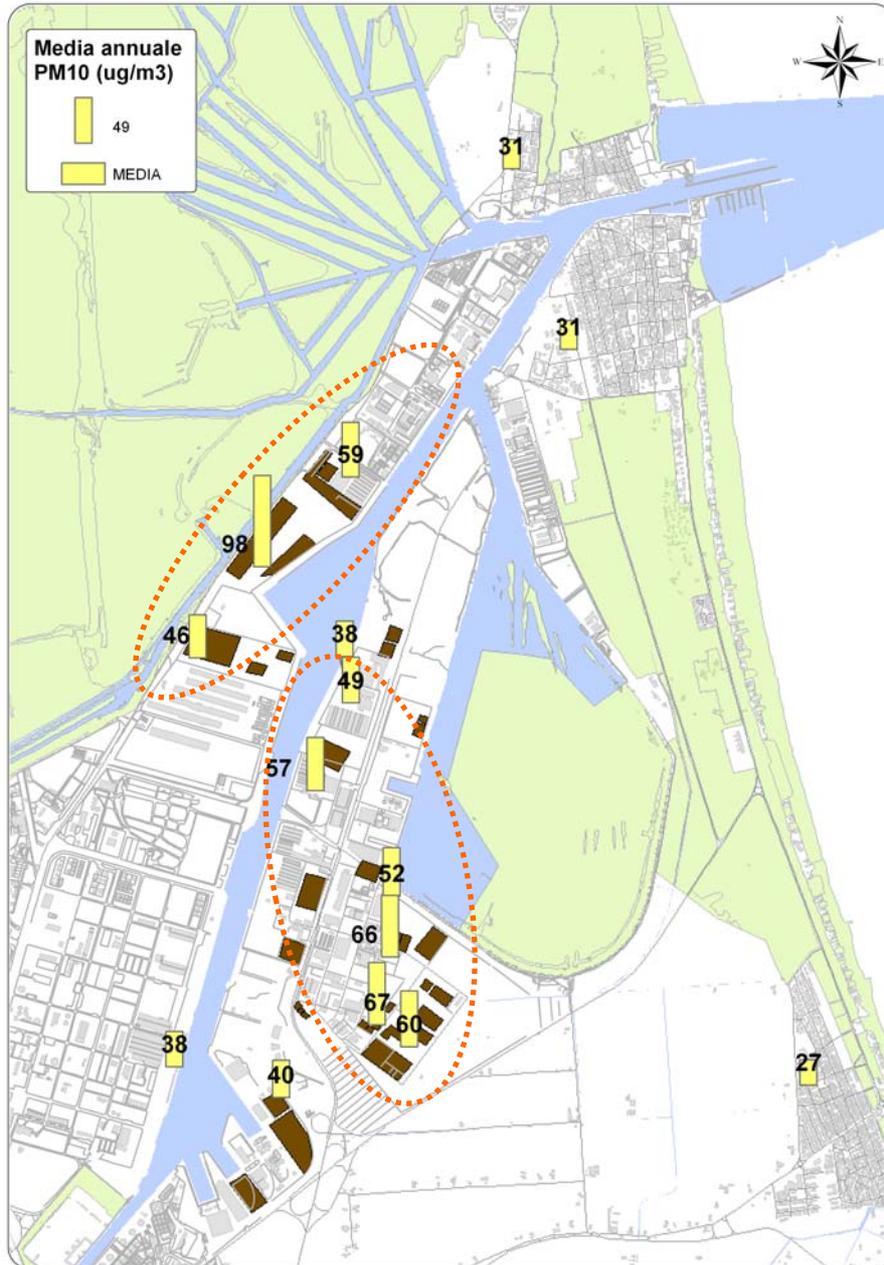


Figura 11

PM 10 – Media ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )  
rilevata nel 2014 nelle  
15 postazioni

Dalla distribuzione spaziale dei valori risultano evidenti due aree particolarmente critiche nel dominio di interesse (evidenziate con tratteggio nelle figure 10 e 11): all'interno di tali aree i valori massimi giornalieri superano abbondantemente i  $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (in un caso i  $350 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) e anche i valori medi sono elevati, superiori a  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (in un caso prossimo a  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

Le due aree critiche del 2014 risultavano tali anche nel 2011, anche se – in valore assoluto – le concentrazioni misurate nel 2014 risultano generalmente più basse di quelle del 2011: le variazioni percentuali fra medie e massimi 2011 e 2014 sono comprese fra -15 –e -40% per le medie e fra -26 e -33% per i massimi. Si sottolinea che analogo decremento della polverosità si è avuta anche in zona urbana: rispetto al 2011, l'intervallo di variazione della media è compreso fra -26 e -31% e la concentrazione massima fra il -26 e il -33 % (Tabella 3). Questo comportamento generalizzato induce a ritenere che il 2014 sia stato un anno "eccezionale" per condizioni meteo-climatiche; ipotesi avvalorata dai dati 2015 che tornano ad attestarsi ai livelli del 2013, anzi superiori (inferiori, comunque, al 2011).

$[(C_{2014}-C_{2011})/C_{2011}] * 100$	Area Porto	Rete di controllo QA
Intervallo variazione % della media	- 15 ÷ - 40 %	- 26 ÷ - 31 %
Intervallo variazione % concentrazione massima	- 26 ÷ -33 %	- 26 ÷ -33 %

Tabella 3 – Variazione percentuale 2014 e 2011 in area porto e resto del territorio

### 2.3 – Ricostruzione del campo di concentrazione a partire dai dati rilevati dalle stazioni della rete di controllo della qualità dell'aria

Avendo verificato l'ottima corrispondenza tra misure con skypost e quelle con strumento in continuo della RRQA (par.2.1), si è potuto applicare un procedimento statistico per ricostruire il campo di concentrazioni del particolato in corrispondenza delle postazioni, a partire dai dati rilevati in continuo da una stazione della RRQA.

Per prima cosa è stata calcolata la correlazione (indice di correlazione, R) fra i "dati postazioni porto" e le stazioni della RRQA: le due stazioni che presentano correlazioni migliori sono Porto San Vitale e Caorle, pertanto i calcoli successivi hanno riguardato solo queste due stazioni. Come si può vedere (fig.12) la correlazione è molto buona ( $R \geq 0.7$ ) in più della metà delle postazioni interne all'area portuale con la stazione Porto San Vitale, mentre la correlazione è ottima fra le postazioni in corrispondenza delle scuole e la stazione Caorle ( $R \geq 0.83$ ).

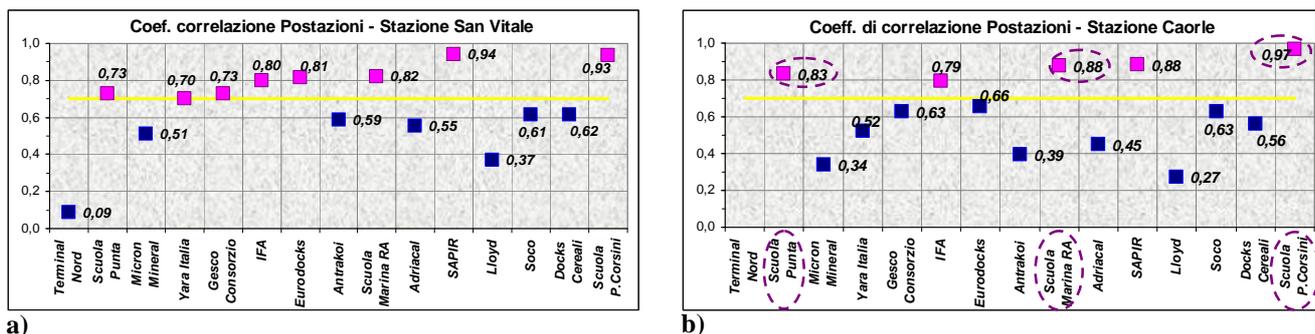


Fig. 12 – Fattori di correlazione fra postazioni e stazioni della RRQA: a) Stazione Porto San Vitale - b) Stazione Caorle

Fissata una soglia dell'indice di correlazione (R) pari a 0.7, per le postazioni mobili che avevano un  $R \geq 0.7$  si è proceduto ad applicare il procedimento statistico, prendendo come riferimento la stazione in cui R era più alto (Porto San Vitale o Caorle).

Sono stati stimati i valori di concentrazione giornaliera per tutto il 2014 confrontando le concentrazioni di PM 10 rilevate in continuo nella stazione della rete con quelle misurate nella postazione di misura; calcolando la correlazione fra i due set di misure e, usando un opportuno modello di regressione, sono state calcolate le concentrazioni medie giornaliere relative all'intero anno in corrispondenza della postazione (ricostruzione del campo di concentrazioni su base annuale dell'inquinante in corrispondenza della postazione mobile).

A valle di tale ricostruzione, avendo a disposizione le 365 medie giornaliere relative al 2014, è stato possibile stimare i parametri statistici – in particolare la media annuale e il numero di superamenti di  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  - nella postazione come se la misura si fosse protratta per una intera annualità.

I risultati di questa elaborazione sono riportati nella tabella 4.

Postazione	Stazione Rif.	N° dati	Dati 2014 Stazione meglio correlata			Dati 2014 <b>stimati</b> Postazione				
			Media staz. Rif. stesso periodo	N° sup. 2014	Media 2014	90,4° 2014	Media dati postazione	N° sup. 2014	Media 2014	90,4° 2014
YARA	San Vitale	62	28	47	32	55	38	105	45	79
GESCO	San Vitale	62	28				38	101	44	78
IFA	San Vitale	75	36				46	90	41	73
EURODOCKS	San Vitale	59	32				49	124	49	87
SAPIR	San Vitale	64	36				40	64	35	62
Scuola Punta Marina	Caorle	59	22	27	25	46	27	42	29	53
Scuola Porto Corsini	Caorle	62	29				31	29	26	48
Scuola Marina di RA	Caorle	60	25				31	49	31	56

Tabella 4 – Elaborazioni statistiche e stime annuali nelle postazioni meglio correlate

La figura 13 riporta i grafici con alcuni confronti, in particolare:

- Media dei valori misurati nella stazione di riferimento e nella postazione, stesso periodo
- Media misurata nelle stazioni (San Vitale / Caorle) nell'anno 2014 e media - anno 2014 stimata nelle postazioni
- Numero di superamenti della concentrazione media giornaliera di 50 µg/m<sup>3</sup> nell'anno 2014 misurati nelle stazioni (San Vitale / Caorle) e stimati nelle postazioni
- Valore della concentrazione 90,4° percentile relativa all'anno 2014 misurata nelle stazioni (San Vitale / Caorle) e stimata nelle postazioni.

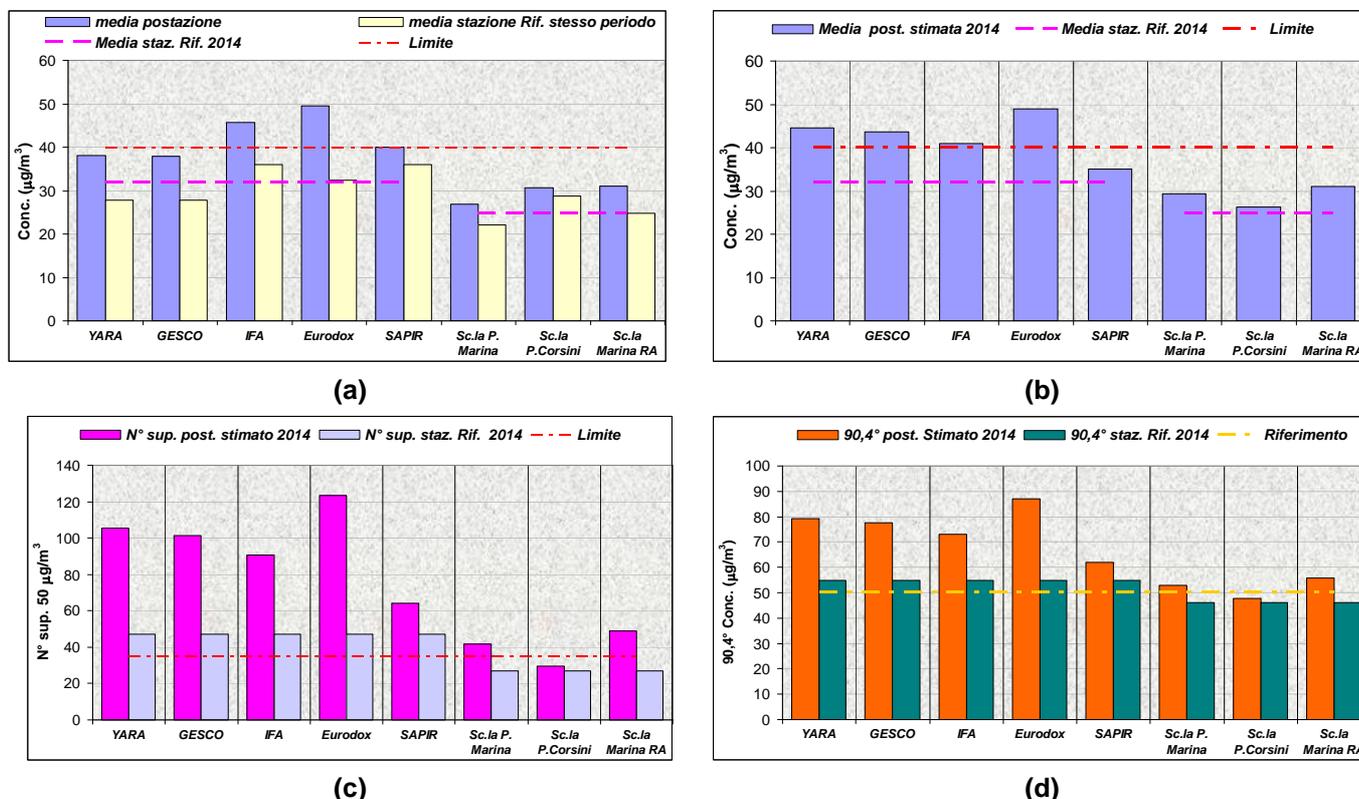


Fig. 13 – Confronto fra i parametri calcolati per le concentrazioni misurate nelle stazioni della rete (Porto San Vitale e Caorle) e stimate nelle postazioni – anno 2014

Per le tre postazioni in corrispondenza delle scuole, considerata l'ottima correlazione con la stazione Caorle, si può tentare una stima anche per il 2015, a partire dai dati misurati nella stazione fissa. L'elaborazione fornisce i risultati riportati in tabella 5: in tutte le tre postazioni si stima il superamento del limite giornaliero (in maniera anche consistente), mentre la media annuale risulta rispettata.

Dati 2015 misurati Stazione Caorle			Dati 2015 Stimati	Scuola Punta Marina	Scuola Porto Corsini	Scuola Marina di RA
N° sup.	42		N° sup.	62	42	78
Media	30		Media	34	30	38
90,4°	54		90,4°	61	54	68

Tabella 5 – Elaborazioni statistiche e stime annuali (2015) in corrispondenza delle scuole

## 2.4 - Picchi massimi di concentrazione di PM 10

In questo paragrafo vengono analizzate le giornate che, per le concentrazioni di PM 10 misurate nelle postazioni mobili, possono definirsi *particolarmente critiche* (tabella 6). Poiché le operazioni di sbarco di materiale alla rinfusa - stoccato poi all'aperto - possono generare emissioni dovute a :

- le stesse operazioni di sbarco;
- il trasporto di materiale dalla banchina al sito di stoccaggio. Generalmente il percorso è interno all'area dell'azienda fino alle aree di stoccaggio e nel tragitto vengono risollevate anche le polveri depositatesi sul manto stradale;
- le operazioni di formazione dei cumuli del materiale sbarcato;
- i fenomeni erosivi dai cumuli che si verificano in presenza di vento sostenuto;

per ogni giornata *particolarmente critica* è stato verificato se erano state effettuate attività di sbarco e movimentazione di materiale.

Dal registro del traffico navale dell'Avvisatore Marittimo di Ravenna, sono stati estratti i dati relativi alle navi commerciali in entrata che trasportavano merci alla rinfusa, collegandole alle aziende in cui avveniva lo sbarco. Nella tabella 6 sono riportate – per ciascun giornata critica – l'identificativo del sito di misura in cui il PM10 misurato è stato rilevato, la banchina più vicina, il giorno o il periodo in cui si sono registrati gli ingressi delle navi nel porto, la concentrazione di PM 10 misurata, i materiali e i quantitativi sbarcati. Quando lo sbarco è avvenuto in una banchina diversa da quella più vicina alla strumentazione, ma nell'intorno di 1 km, è stata segnalata nella colonna relativa alla tipologia di materiale sbarcato.

Incrociando le informazioni sono state individuate le giornate critiche in cui si erano verificati conferimenti di materiali polverulenti (righe evidenziate in grigio in tabella 6).

Le postazioni più frequentemente coinvolte sono: Terminal Nord (M-1A), Lloyd (M-3A), Eurodocks (M-2B), Antrakoi (M-2C), Adriacal (M-2D), Docks Cereali (M-3B), SOCO (M-3C).

Quindi, complessivamente sono stati selezionati 25 picchi di concentrazione verificatisi in 7 siti di misura; in 16 casi è stato possibile associare all'"evento critico" un'attività di sbarco e stoccaggio merci avvenuta nella ditta in cui era posizionato lo strumento o nelle immediate vicinanze.

Per tutti i recettori è evidente la relazione tra i picchi di concentrazione misurati e gli ingenti quantitativi di materiali (feldspato, argilla, caolino,...) scaricati e stoccati presso la stessa azienda o in prossimità.

Riguardo alle situazioni con picchi di concentrazione che non trovano riscontro in scarichi contingenti, è importante sottolineare che i recettori sono posti nei pressi di aziende che effettuano anche lavorazione e/o rimaneggiamento di materiali alla rinfusa, alcuni di questi classificati come molto polverosi. Ad esempio, i siti M-1C (Micron Mineral) ed M-2D (al confine fra Eurodocks e

Adriacal) non hanno un collegamento diretto con le attività di sbarco perché, probabilmente, le condizioni critiche sono riconducibili ad attività svolte presso le stesse aziende.

	Id. sito	Banchina più vicina al sito	Data	PM10 (µg/m <sup>3</sup> )	Argilla (t)	Feldspato (t)	Carbone (t)	Caolino (t)	Loppa (t)	Sabbia (t)
1	M-1A	Terminal Nord	3-17 lug	373	19509 Eurodocks 54554 IFA	28550 Term. Nord 78702 IFA				
2	M-1A	Terminal Nord	8-16 apr	298		33340 Term. Nord 27451 IFA		11530		
3	M-1A	Terminal Nord	10-23 ott	235	43388 Term. Nord 17278 IFA 13324 IFA	18050 Term. Nord 33000 IFA		3250 Eurodocks		
4	M-1A	Terminal Nord	27 gen	116	14813 Eurodocks	27320 IFA				
5	M-1A	Terminal Nord	2-3 apr	106	2835					
6	M-2B	Eurodocks	24 feb	150						
7	M-2B	Eurodocks	29 lug	81						
8	M-2C	Antrakoi	7 mag	158	11620 Soco 14343 Soco					
9	M-2C	Antrakoi	14 mag	129	12724 Soco	27450 Soco				
10	M-2C	Antrakoi	24-25 feb	118			7700 Setra mar			
11	M-2C	Antrakoi	20 mag	103	18597 Soco	33853 Soco				
12	M-2C	Antrakoi	4 nov	100						
13	M-2C	Antrakoi	29 lug	94						
14	M-2D	Adriacal	7 mag	120	11620 Soco 14343 Soco					
15	M-2D	Adriacal	14-16 mag	110	12724 Soco	27450 Soco				
16	M-2D	Adriacal	25 lug	109						
17	M-2D	Adriacal	4-5 nov	105	13878 S.Vitale					
18	M-3A	Lloyd	8-12 sett	195					5000	
19	M-3A	Lloyd	30 mag	94						
20	M-3B	Docks Cereali	4-6 sett	143		33203 IFA 32000 Eurodocks				
21	M-3B	Docks Cereali	6 giu	132	14535 Soco	27450 Soco				
22	M-3B	Docks Cereali	14 mar	122						
23	M-3B	Docks Cereali	18 mar	110						
24	M-3C	Soco	14-18 mar	260						
25	M-3C	Soco	15-17 sett	145						750 4 Nad ep N.D

Tabella 6 – “Giornate critiche” e sbarchi

## 2.5 - Concentrazioni di PM10 rilevate presso i recettori sensibili

Le concentrazioni medie giornaliere di PM10 rilevate dalla strumentazione ubicata nelle aree di pertinenza delle scuole di Porto Corsini, Marina di Ravenna e Punta Marina sono, ovviamente, differenti da quelle misurate in area portuale anche se, inevitabilmente in particolari condizioni meteo-diffusive, risentono dell'attività che viene svolta in porto. In tabella 7 sono confrontate le medie annuali, i massimi giornalieri e il 90.4° percentile calcolati per il 2014 presso i recettori sensibili, la stazione di fondo urbano residenziale della rete ubicata a Ravenna (Caorle) e quella in area portuale (Porto San Vitale).

La media annuale della postazione "Punta Marina" risulta sostanzialmente in linea con quanto rilevato dalla stazione di fondo (Caorle), mentre le medie a Porto Corsini e Marina di Ravenna sono maggiormente allineate con il dato della stazione di Porto San Vitale.

	CAORLE	PORTO SAN VITALE	Scuola Punta Marina	Scuola Porto Corsini	Scuola Marina di Ra
Media ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	25	32	27	31	31
90.4° ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	46	55	42	62	62
Max ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	85	104	67	81	107

Tabella 7 – PM 10 - Medie, massimi e 90.4° per l'anno 2014

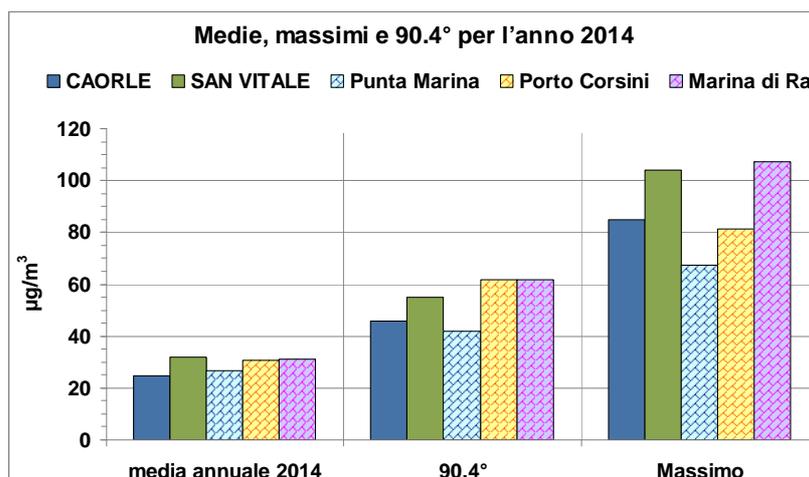


Figura 14 – Media, massimi e 90,4° percentile – Anno 2014

In tabella 8 sono riportate le correlazioni fra i dati di PM10 delle scuole e quelli delle stazioni Caorle e Porto San Vitale: i valori assunti dall'indice (R) risultano sempre piuttosto elevati, in particolare per il sito posto a Porto Corsini molto ben correlato con entrambe le stazioni della rete selezionate. Rispetto allo scenario 2011, le correlazioni migliorano anche per quelle postazioni che presentavano valori dell'indice piuttosto ridotti.

Correlazione R	Porto San Vitale	Punta Marina	Porto Corsini	Marina di Ra
Caorle	0.92	0.83	0.97	0.88
Porto San Vitale	1	0.73	0.93	0.82

Tabella 8 – Indici di correlazione fra medie giornaliere rilevate ai recettori sensibili e presso le stazioni della RRQA – anno 2014

In figura 15 sono riportate le medie giornaliere di PM10 misurate dagli skypost presso le scuole e presso le stazioni Porto San Vitale e Caorle.

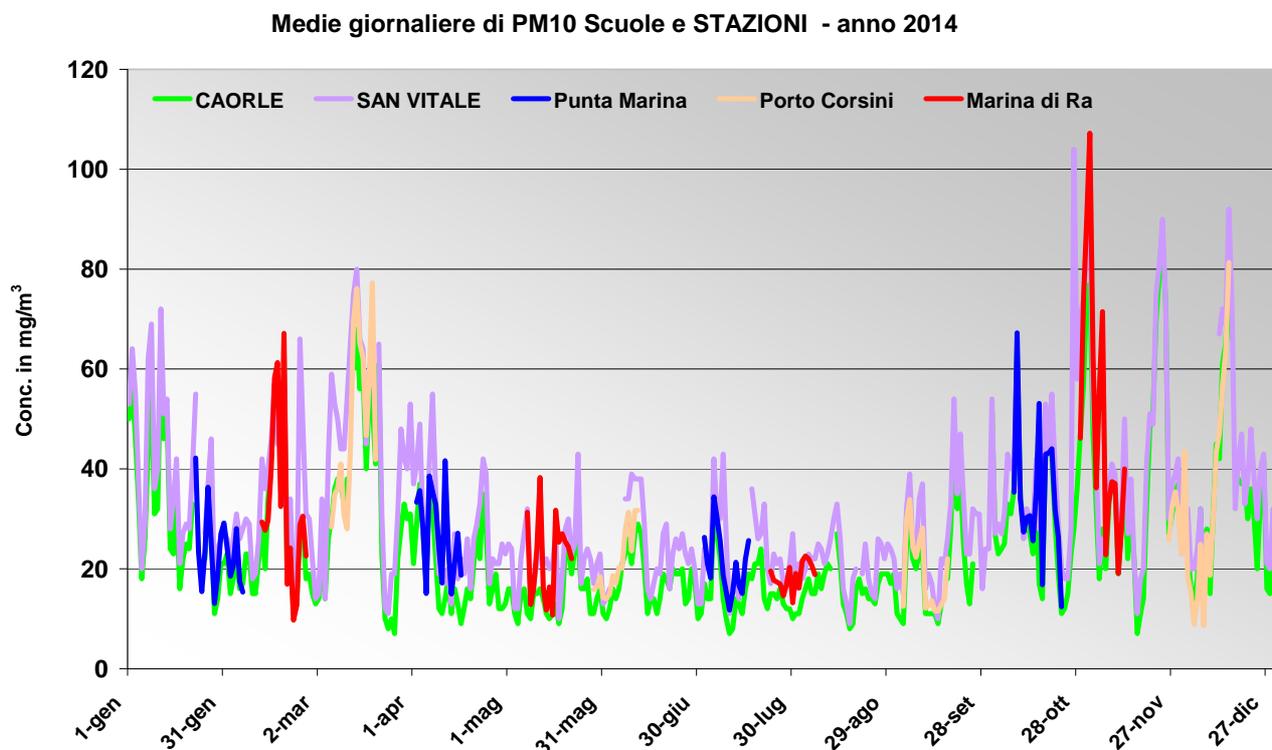


Figura 15 – Medie giornaliere di PM10 – anno 2014

Sono state identificate alcune giornate in cui si sono avuti picchi di concentrazione in uno dei tre skypost posizionati presso le scuole, ma *non* presso le centraline di monitoraggio (tabella 9 e figura 16).

Giorno	Conc. PM 10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )			
	Stazione	Scuola		
	CAORLE	Punta Marina	Porto Corsini	Marina di Ra
19-mar	53		77	
11-apr	14	42		
11-mag	16			38
16-mag	13			32
17-mag	9			25
18-mag	12			27
16-ott	17	53		
30-ott	57			74
1-nov	77			107
2-nov	47			63
4-nov	18			56
5-nov	28			71

Tabella 9 – Giorni in cui le concentrazioni di PM10 presso una scuola sono stati significativamente superiori a quelle misurate a Caorle (differenza due concentrazioni  $> 15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )

PM10: episodi con PM10 maggiore presso le scuole

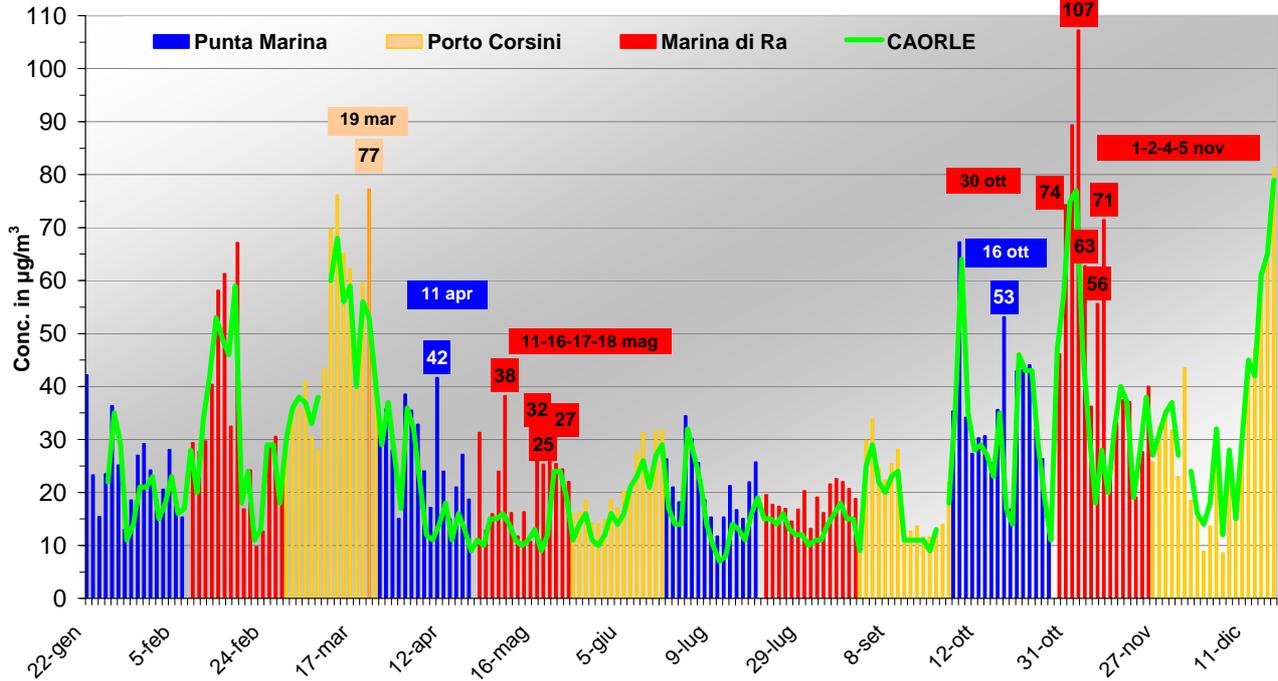
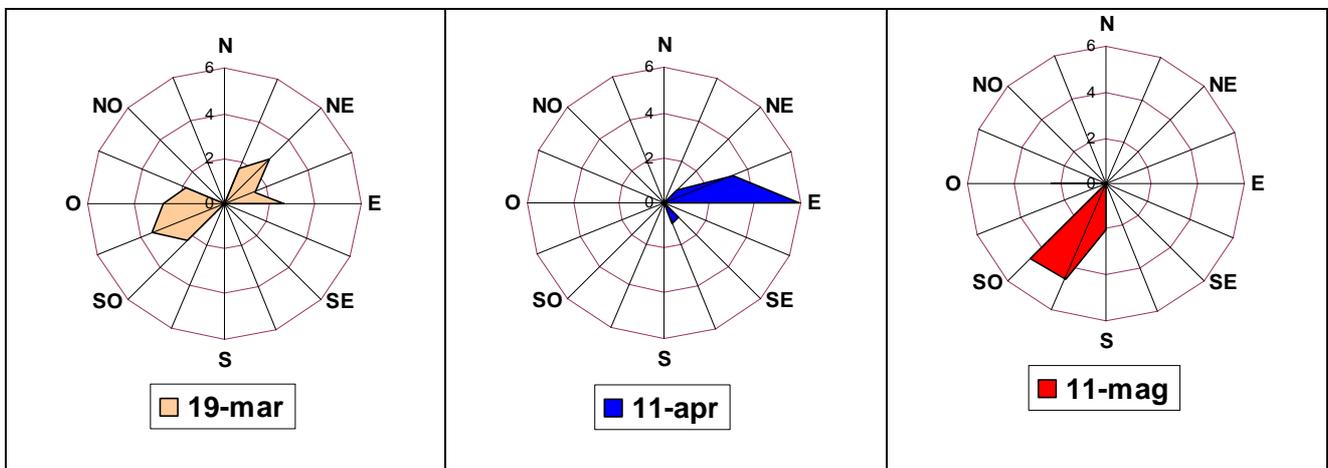


Figura 16 – Evidenza dei giorni con concentrazioni più significative in corrispondenza della scuola rispetto alla stazione Caorle (differenza > 15 µg/m<sup>3</sup>)

Per le giornate in corrispondenza degli eventi evidenziati in tabella e nel grafico, è stata analizzata la rosa dei venti (direzione e velocità del vento), utile per dare indicazioni sulla provenienza del particolato misurato: nella maggior parte dei casi la direzione prevalente del vento proviene dal settore est sud-est, pertanto la postazione di misura si trovava sotto vento rispetto alla costa, e con velocità del vento mediamente elevate (brezza tesa – vento moderato) facendo pensare ad un contributo significativo alla polverosità dato dal risollevarsi di sabbia dalla spiaggia e dal trasporto di aerosol marino.

Punta Marina Porto Corsini Marina di Ra



■ Punta Marina ■ Porto Corsini ■ Marina di Ra

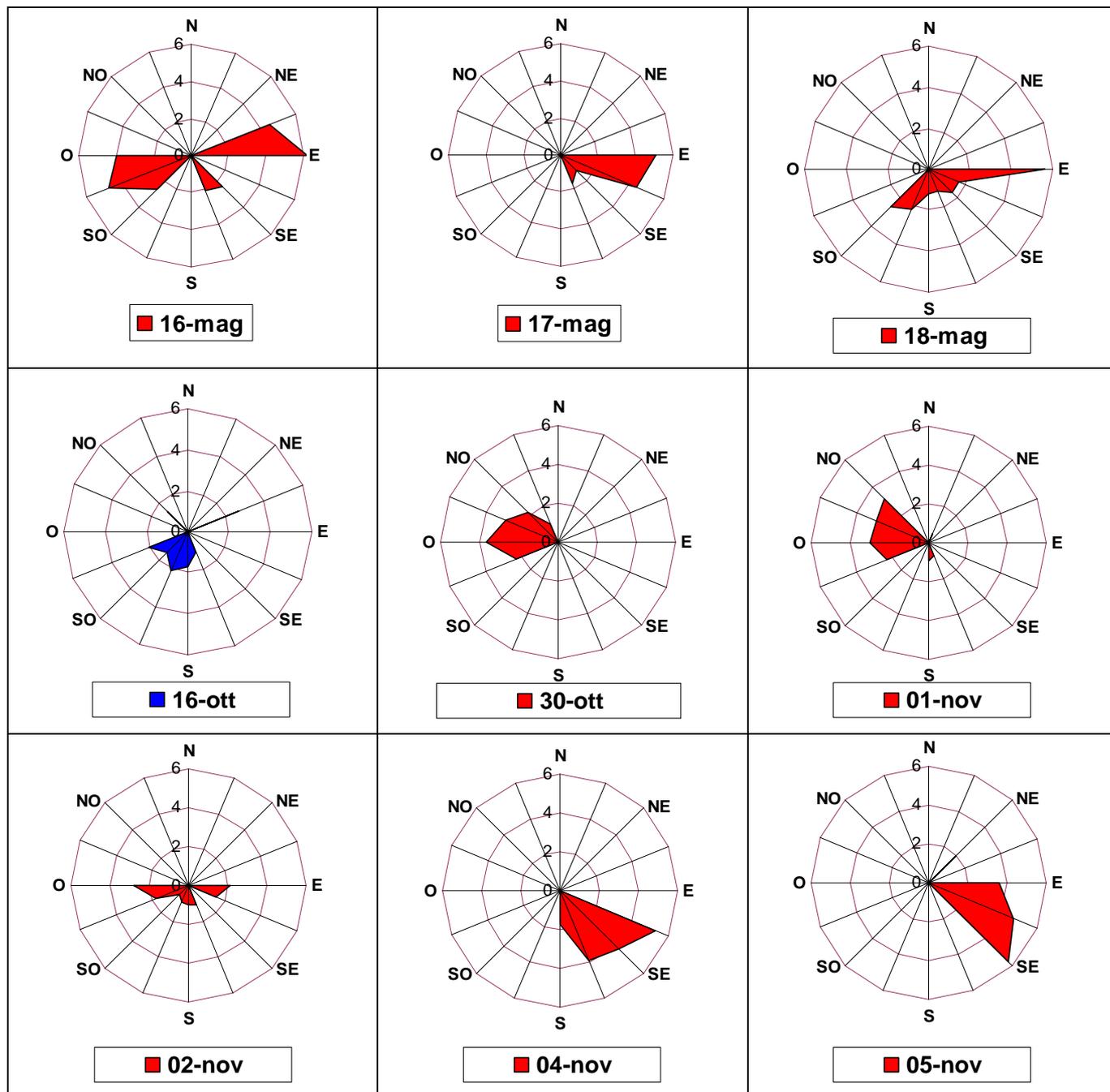


Figura 17 – Rose dei venti relative alle giornate con concentrazioni più significative nella scuola rispetto alla stazione Caorle (differenza > 15 µg/m<sup>3</sup>)

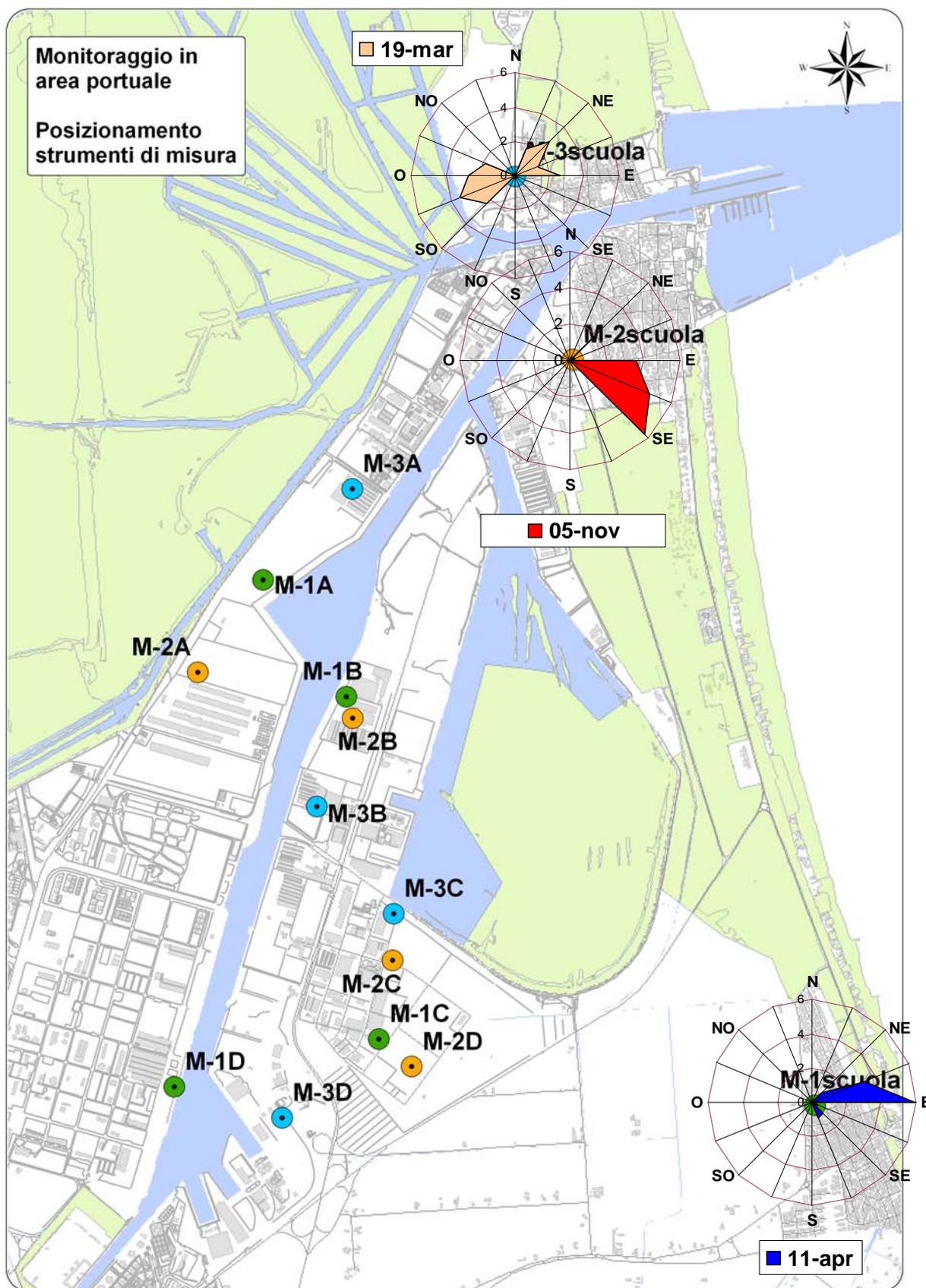
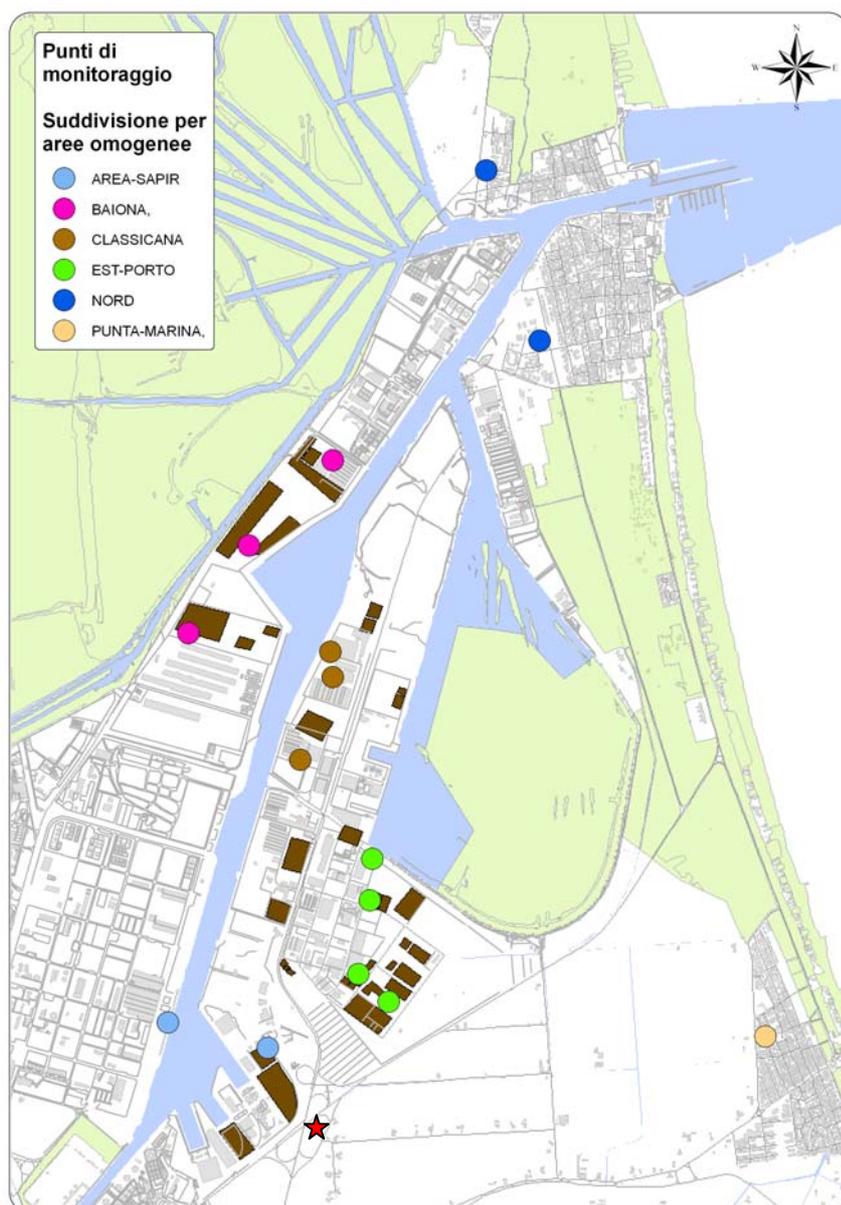


Figura 18 – Esempio di direzione e velocità del vento prevalente in tre giornate con concentrazioni più significative nella scuola

## 2.4 – Analisi per gruppi omogenei

Le postazioni di misura sono state riuniti in 4 gruppi: Baiona, Classicana, Est Porto, Area Sapir (oltre a Recettori sensibili, Punta Marina, Nord). I siti di ogni gruppo sono simili per entità delle concentrazioni rilevate e per dislocazione sul territorio (figura 19).

Raggruppando i punti di misura si ottiene, per ogni gruppo, un set di dati più consistente (fino a 190 misure per ogni gruppo) e quindi si possono fare confronti più significativi.



<b>Baiona</b>	riva sinistra Candiano a Nord dell'area Sapir c/o aziende che effettuano principalmente sbarco e stoccaggio di merci <b>M-1A, M-2A, M-3°</b>
<b>Classicana</b>	destra Candiano c/o aziende ubicate lungo la via Classicana <b>M-1B, M-2B, M-3B</b>
<b>Est Porto</b>	est dell'area portuale <b>M-1C, M-2C, M-2D, M-3C</b>
<b>Area Sapir</b>	stazione di monitoraggio Porto San Vitale <b>stazione + M-3D, M-1D</b>

<b>Recettori sensibili</b>	Le 3 scuole (Punta Marina, Marina di Ra, Porto Corsini) <b>M-1scuola M-2scuola, M-3scuola</b>
<b>Punta Marina</b>	scuola elementare di Punta Marina, <b>M-1scuola</b>
<b>Nord</b>	scuole Marina di Ravenna e Porto Corsini <b>M-2scuola, M-3scuola</b>

Figura 19– Suddivisione in gruppi omogenei

In tabella 10 sono riportate, per ciascun gruppo, le concentrazioni medie annue, il valore massimo giornaliero ed il 90.4°, oltre agli stessi parametri calcolati per la stazione di monitoraggio Porto San Vitale e Caorle.

L'aggregazione consente di evidenziare come il gruppo "Baiona" presenti valori medi annui maggiori, seguito dal gruppo "Est porto". Le due aree si diversificano, però, per tipologia di

sorgenti: mentre in Baiona il contributo più significativo è dato dalle operazioni di imbarco e sbarco, in Est porto la movimentazione interna è, con tutta probabilità, la componente più importante. Il gruppo “Recettori sensibili” – come del resto era prevedibile - presenta valori medi annui inferiori e compresi fra quanto rilevato presso la stazione “Porto San Vitale” e quello misurato a Caorle. Considerazioni analoghe valgono anche per le concentrazioni corrispondenti al 90.4° percentile e al valore massimo: “Baiona” ed “Est porto” hanno i dati più elevati, dovuti soprattutto ai siti M-1A e M-3C.

Gruppo			Media annua [µg/m <sup>3</sup> ]	Massimo giornaliero [µg/m <sup>3</sup> ]	90.4° [µg/m <sup>3</sup> ]
1	BAIONA	●	66	373	135
2	EST PORTO	●	61	260	111
3	AREA SAPIR	●	39	95	69
4	CLASSICANA	●	48	150	85
NORD scuole			●	31	107
PUNTA MARINA scuola			●	27	67
RECETTORI SENSIBILI			● ●	29	107
STAZIONE Porto S.Vitale			★	32	104
STAZIONE Caorle			Fuori mappa	25	85

Tabella 10 – Medie, massimi e 90.4° per l’anno 2014 per i gruppi identificati

Le medie stagionali (figura 16) evidenziano come Baiona ed Est Porto abbiano concentrazioni simili, con valori invernali significativamente inferiori alle altre stagioni (in controtendenza rispetto a quello che è l’andamento stagionale in area urbana), e decisamente superiori agli altri due gruppi (Area Sapis e Classicana). Il dato più elevato nelle stagioni meno umide e più ventose è spiegabile con la tipologia di sorgenti presenti nell’area: cumuli all’aperto (per i quali l’erosione eolica è sempre una componente significativa in periodo primavera-estate) e attività di imbarco e sbarco. Rispetto ai dati misurati nel corso del 2011, anche le medie stagionali evidenziano una generale riduzione nei valori per ciascun gruppo e per tutte le stagioni (unica eccezione, seppur minima, è rappresentata dall’area Est-porto durante la stagione estiva).

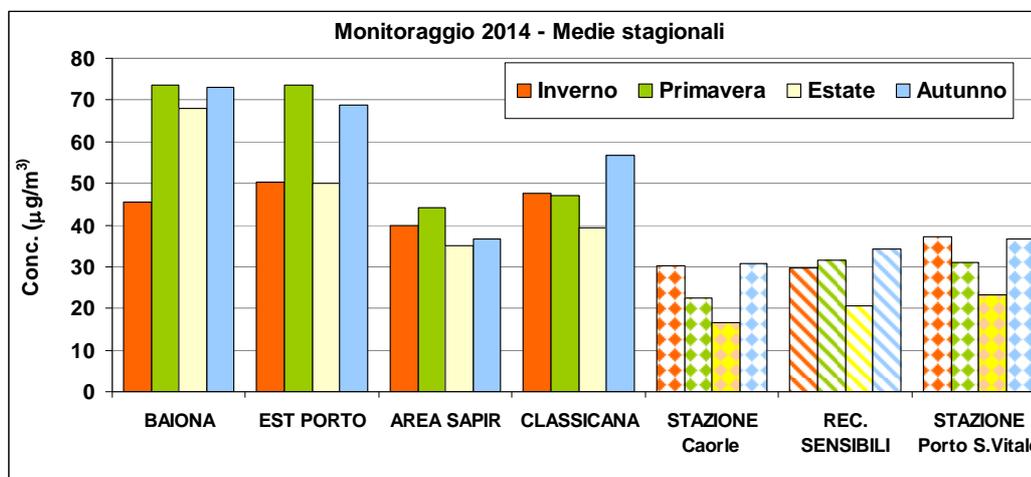


Figura 16  
Medie stagionali  
2014

Per ogni gruppo è stato calcolato l'indice di correlazione con i dati degli altri gruppi e delle stazioni di monitoraggio Porto San Vitale e Caorle. I risultati sono riportati in tabella 11, evidenziando gli indici di correlazione superiori a 0.75 e compresi fra 0.50 e 0.75.

	BAIONA	EST PORTO	AREA SAPIR	CLASSICANA	NORD Scuole	RECETTORI SENSIBILI	Porto S.Vitale STAZIONE	Caorle STAZIONE
BAIONA	1.00	0.31	0.17	0.10	0.44	0.11	0.19	0.06
EST PORTO		1.00	0.53	0.48	0.55	0.48	0.52	0.42
AREA SAPIR			1.00	0.54	0.89	0.68	0.82	0.73
CLASSICANA				1.00	0.59	0.60	0.72	0.62
NORD scuole					1.00	1.00	0.86	0.91
RECETTORI SENSIBILI						1.00	0.86	0.90
Porto S.Vitale STAZIONE							1.00	0.92
Caorle STAZIONE								1.00

**Tabella 11– Indice R di correlazione fra medie giornaliere delle campagne di monitoraggio per aree omogenee e le concentrazioni misurate presso le stazioni di monitoraggio Porto S.Vitale e Caorle – anno 2014**

Le correlazioni fra gruppi assumono valori soddisfacenti per alcune combinazioni, soprattutto quelle che coinvolgono anche postazioni esterne all'area strettamente portuale; in particolare:

- l'area Sapisir risulta ottimamente correlata con la zona Nord scuole (R = 0.89) e con la stazione di monitoraggio Porto S.Vitale (R = 0.82) che si trova all'interno dell'area;
- alte correlazioni si rilevano anche tra la zona "Nord scuole" e le stazioni della RRQA (rispettivamente 0.86 con Porto San Vitale e 0.90 con Caorle)
- le correlazioni rimangono alte anche quando, oltre a Marina di Ravenna e Porto Corsini, si considera la scuola di Punta Marina: R = 0.86 con Porto S.Vitale e R=0.90 con Caorle.

Se invece si considerano le correlazioni delle postazioni interne all'area portuale, i valori degli indici sono decisamente più bassi:

- l'area denominata Baiona è molto poco correlata con le altre serie di dati (anche con le stazioni di monitoraggio);
- Est porto e Classicana sono debolmente correlate con Area Sapisir.

probabilmente ad indicare che, in maniera preponderante, le concentrazioni misurate in tali postazioni risentono di attività ed emissioni che vengono prodotte localmente. Ipotesi confermata anche dalla variabilità degli indici nei diversi anni (valori diversi fra 2011 e 2014).

Sono state calcolate, per ogni gruppo, anche le distribuzioni in classe di frequenza di concentrazione (figura 17). Nel 2011 la classe di concentrazioni medie giornaliere più frequente era, per tutti i gruppi, quella fra 30 e 60  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Nel 2014 i siti posti all'interno dell'area portuale sono caratterizzati dalla predominanza della classe di frequenza 30-60  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  e dalla presenza significativa anche di concentrazioni più elevate (classe 90-120  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , classe 120-150  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  e classe > 150  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Le postazioni in corrispondenza delle scuole, invece, sono caratterizzate da una netta prevalenza della classe di concentrazione < 30

$\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Tale distribuzione risulta simile a quanto ottenuto anche per i dati rilevati dalla stazione fissa di monitoraggio "Porto San Vitale".

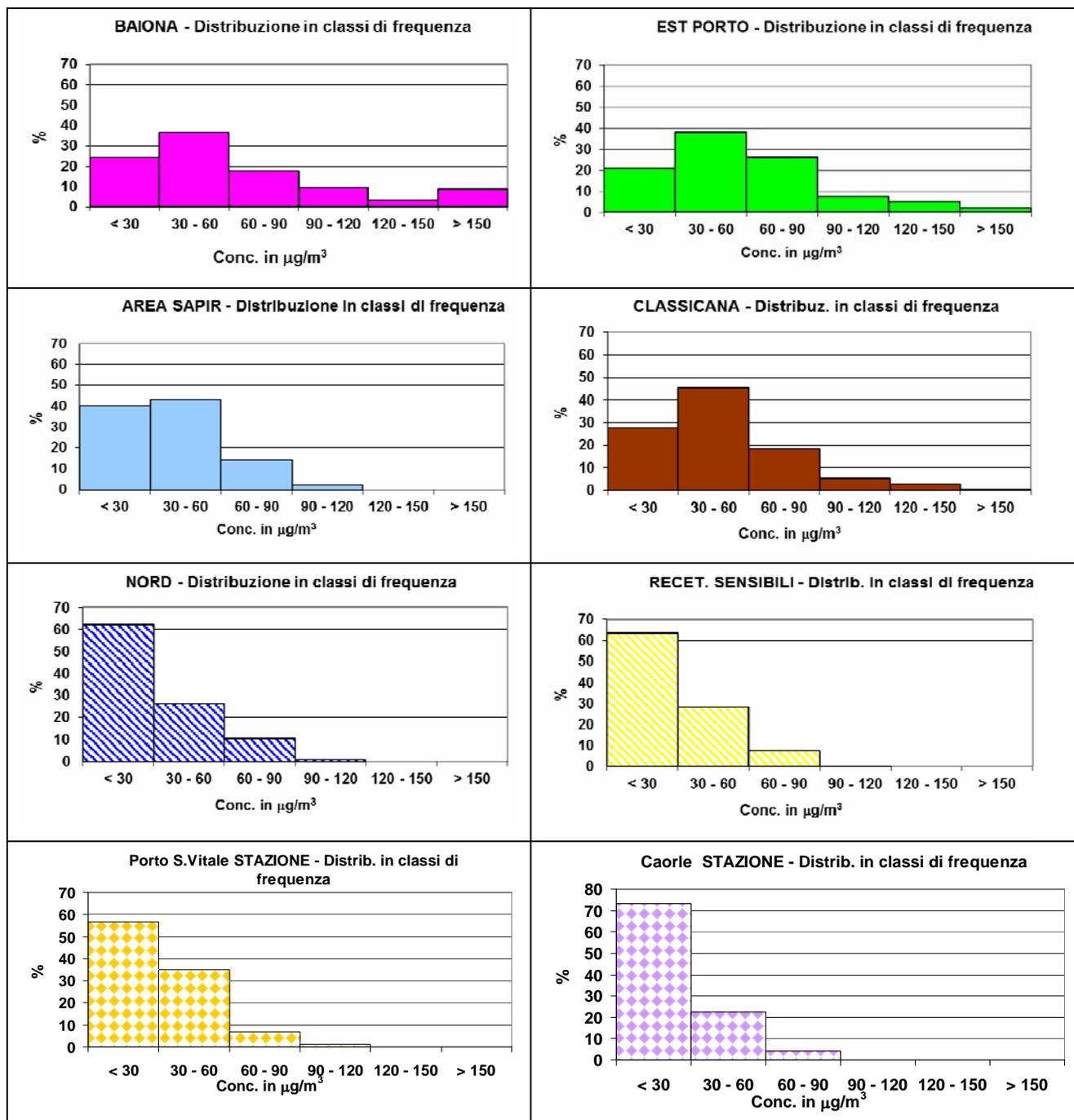


Figura 17 – Medie giornaliere 2014 – Distribuzione percentuale in classi di frequenza

## 2.5 - Concentrazioni di PM10 e condizioni meteorologiche

Anche l'analisi delle concentrazioni di polveri PM10 in relazione alle condizioni meteorologiche è stata fatta per gruppi, come descritto nel precedente paragrafo.

Avendo a disposizione le medie giornaliere di PM10, la relazione è stata studiata considerando le medie giornaliere di umidità relativa e velocità del vento calcolate a partire dai dati orari rilevati presso la stazione di monitoraggio Porto San Vitale.

**Umidità relativa.** Gli istogrammi di figura 18 rappresentano, per ogni gruppo di recettori, le medie annuali di PM 10 (Tutto) e le medie calcolate in funzione di classi di umidità relativa decrescente (100 ÷ 95 %; 95 ÷ 90%, 90 ÷ 85%, 85 ÷ 80%, < 80%).

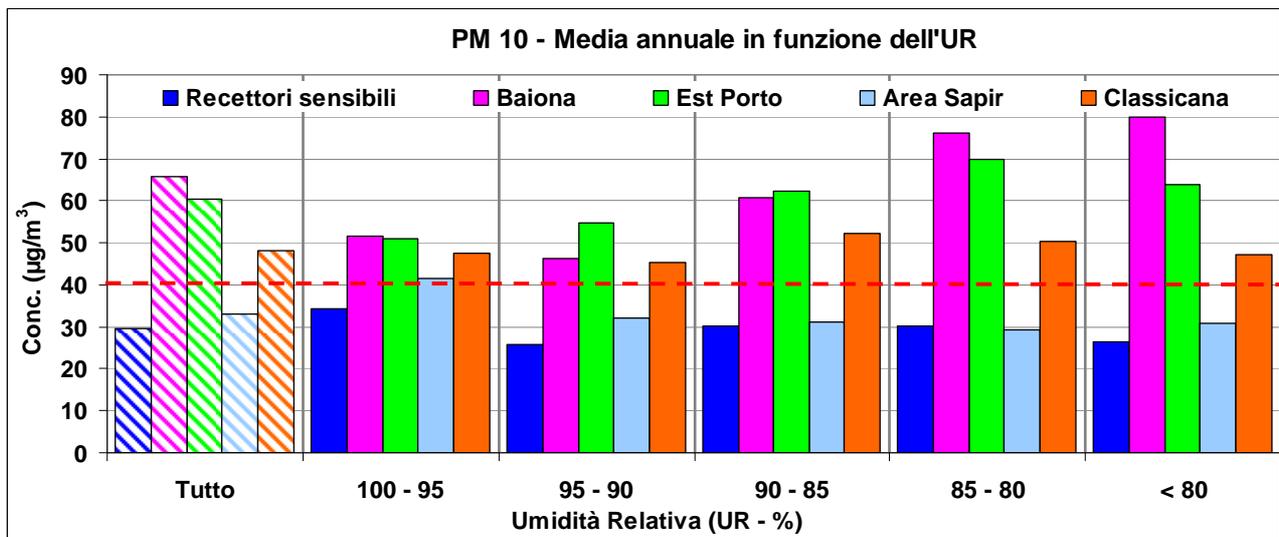


Figura 18 – Medie annuali di PM10 in funzione dell'umidità relativa – anno 2014

Le medie annuali relative ai cinque gruppi (Tutto) risultano superiori al limite di  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (D.L.vo 155/2010) nelle tre zone interne (Baiona, Zona Est e Classicana), mentre in Area Sapor e Recettori sensibili il limite è rispettato; tale risultato è in linea con quello della campagna 2011, anche se nel 2014 i valori di concentrazione sono inferiori. L'analisi delle concentrazioni medie, per i gruppi selezionati, rispetto all'umidità relativa evidenzia le seguenti situazioni:

- o per il gruppo "Recettori Sensibili" i valori medi di concentrazione sono simili per tutte le classi di umidità e, in controtendenza, valori un po' alti sono stati rilevati nel caso di umidità superiore al 95%; analogo andamento si riscontra per il gruppo "Area SAPIR". Poiché in corrispondenza di UR maggiori del 95% si hanno anche velocità del vento più basse, si è in presenza di condizioni che favoriscono l'accumulo di inquinanti;
- o nel gruppo "Baiona" e "Zona Est", invece, i valori più elevati di PM 10 sono in corrispondenza delle classi di umidità inferiori. Queste condizioni si verificano prevalentemente durante la stagione estiva e, spesso, in concomitanza con velocità del vento sostenute. Come si può vedere dal grafico di figura 19 sono condizioni favorevoli alla dispersione degli inquinanti ma anche a maggiori emissioni di materiale polverulento dai cumuli di stoccaggio, al risollevarlo dal manto stradale e a una maggiore diffusione delle emissioni prodotte durante le operazioni di sbarco;
- o il gruppo "Classicana" mostra concentrazioni maggiori in corrispondenza di valori di UR compresi tra 85 e 90%.

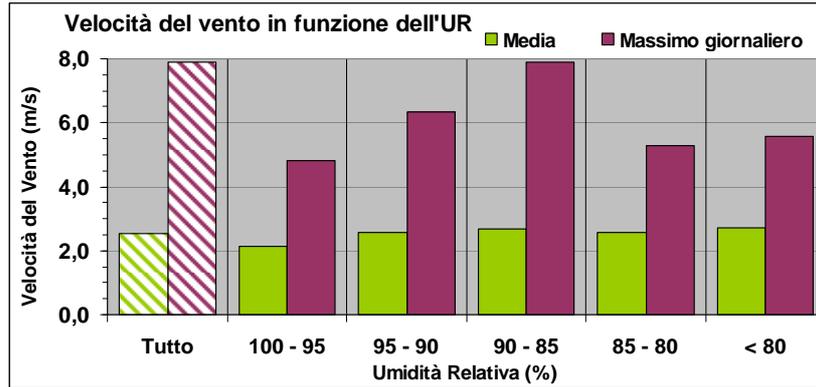


Figura 19 – Medie annuali di VV in funzione dell'umidità relativa – anno 2014

Nella figura 20 i dati di concentrazione di PM 10 sono classificati in funzione di due variabili, la concentrazione (suddivisa in 4 classi: concentrazione <math><50 \mu\text{g}/\text{m}^3</math>; <math>50 \div 100 \mu\text{g}/\text{m}^3</math>; <math>100 \div 150 \mu\text{g}/\text{m}^3</math>; <math>>150 \mu\text{g}/\text{m}^3</math>) e l'umidità relativa (suddivisa in 5 classi): il diametro del cerchio è proporzionale alla frequenza di accadimento in percentuale.

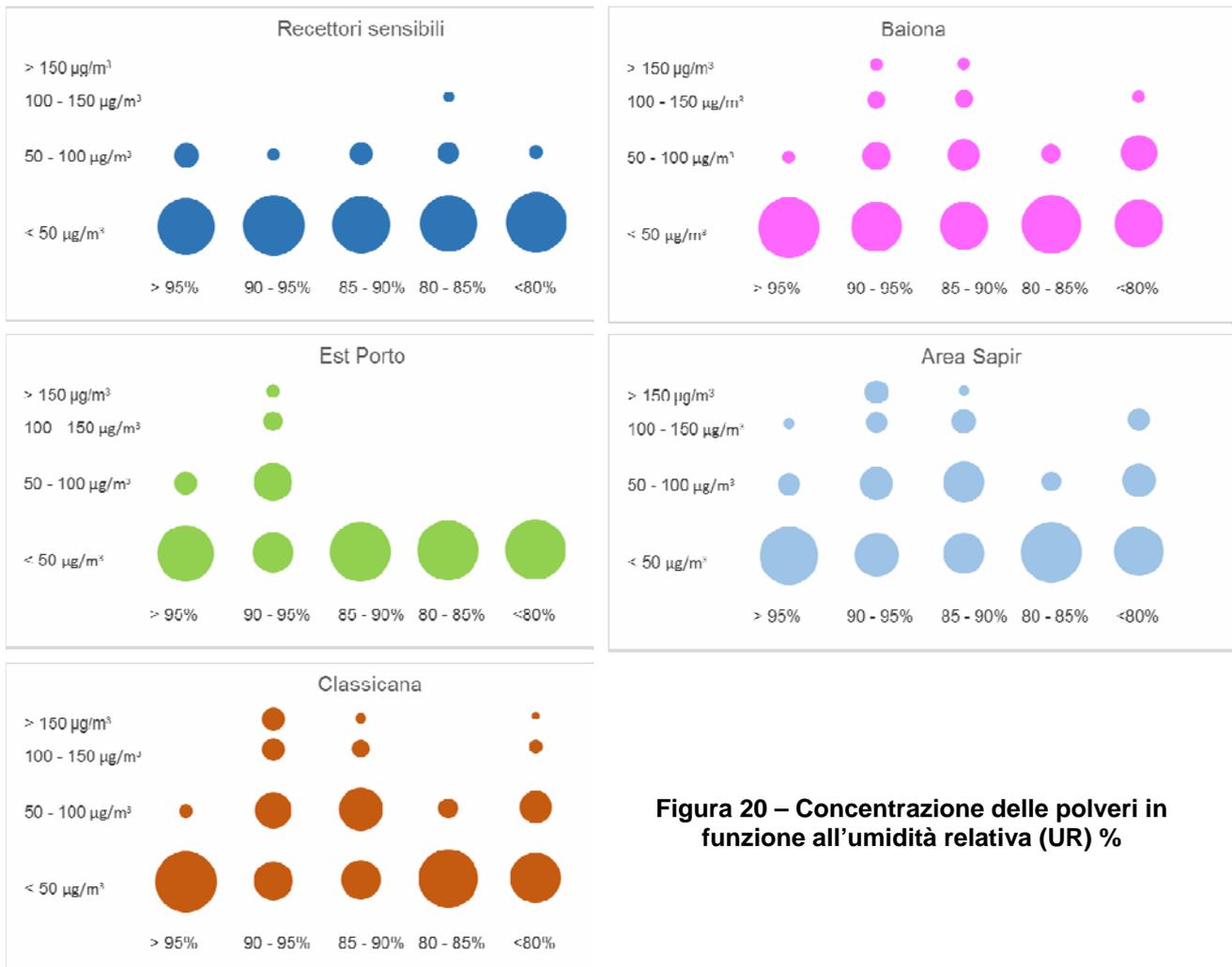


Figura 20 – Concentrazione delle polveri in funzione all'umidità relativa (UR) %

Dal grafico la zona tre zone appaiono simili come distribuzione dei dati con concentrazione superiore a <math>100 \mu\text{g}/\text{m}^3</math>: Baiona, Area Sapor e Classicana, in cui si hanno concentrazioni elevate

non solo per valori elevati di umidità relativa, ma anche per valori inferiori all'80%. Inoltre in queste 3 zone non si sono rilevate concentrazioni elevate per UR comprese fra l'90 e l'85%. Nella zona Est Porto concentrazioni superiori a  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  si sono rilevate solo per valori di UR superiori al 90%.

**Velocità del vento.** Gli istogrammi di figura 21 rappresentano, per ogni gruppo di recettori, le concentrazioni medie annuali di PM 10 in ogni gruppo (Tutto) e le concentrazioni medie calcolate in funzione delle classi di velocità del vento crescenti:  $<0.75$  (calma di vento);  $0.75 \div 2$ ;  $2 \div 3$ ,  $3 \div 4$  e  $>4$  m/s. Infatti velocità del vento tipiche di brezza ( $> 1.6$  m/s) determinano in area portuale condizioni favorevoli al risollevarsi di polveri sia dai cumuli sia dal manto stradale che possono ridurre l'effetto di diluizione del PM 10 legato alla dispersione degli inquinanti (favorita quando le velocità del vento aumentano). L'effetto della prevalenza del risollevarsi è rilevabile in zona "Baiona", in cui si hanno concentrazioni mediamente più elevate per velocità del vento superiori a 4 m/s, mentre nelle altre zone ("Classicana", "Sapir" e "Recettori Sensibili") prevale l'effetto diffusivo e all'aumentare della velocità del vento si ha una riduzione delle concentrazioni medie misurate di polveri.

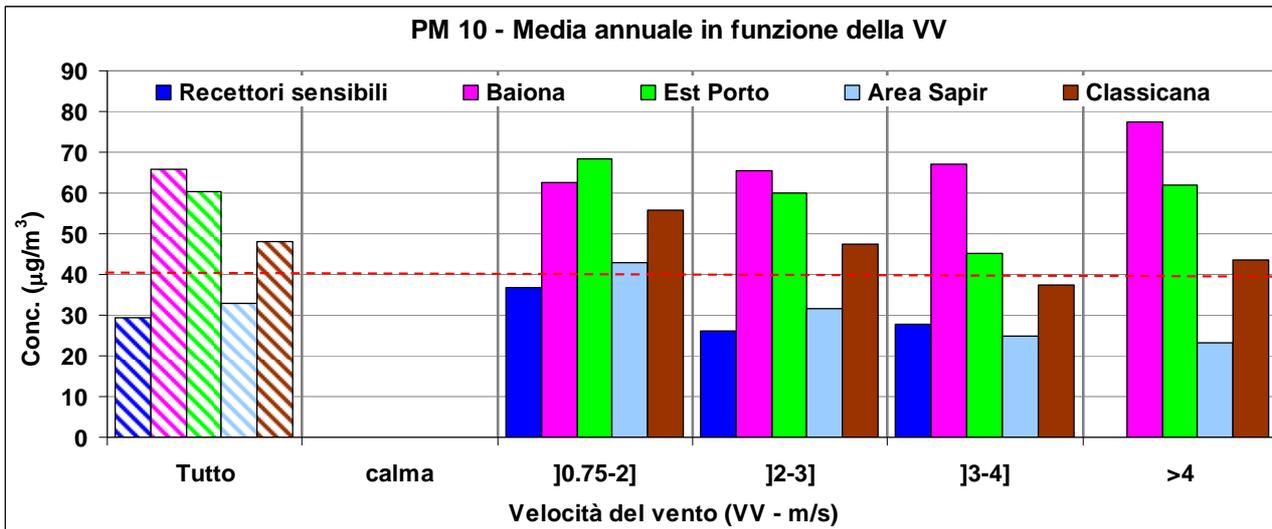


Figura 21 – Medie annuali di PM10 in funzione della velocità del vento – anno 2014

La figura 22 indica le percentuali di accadimento per classi di concentrazione di PM 10 in funzione delle classi di velocità del vento (3 classi) ed evidenzia il rapporto esistente tra velocità del vento e concentrazioni di polveri rilevate.

I grafici mostrano come, nella maggior parte dei casi, valori di concentrazione superiori a  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  sono in corrispondenza di velocità del vento inferiori a 4 m/s. Per le zone "Classicana", "Sapir" e "Recettori Sensibili", l'aumento della velocità del vento determina una riduzione delle concentrazioni medie misurate di polveri, risultato di una maggiore dispersione.

Nel gruppo "Baiona", invece, si hanno concentrazioni elevate anche con velocità del vento sostenute ( $> 4$  m/s) e ciò indica che l'effetto risollevarsi ed erosione – in quella zona - è superiore a quello di dispersione.

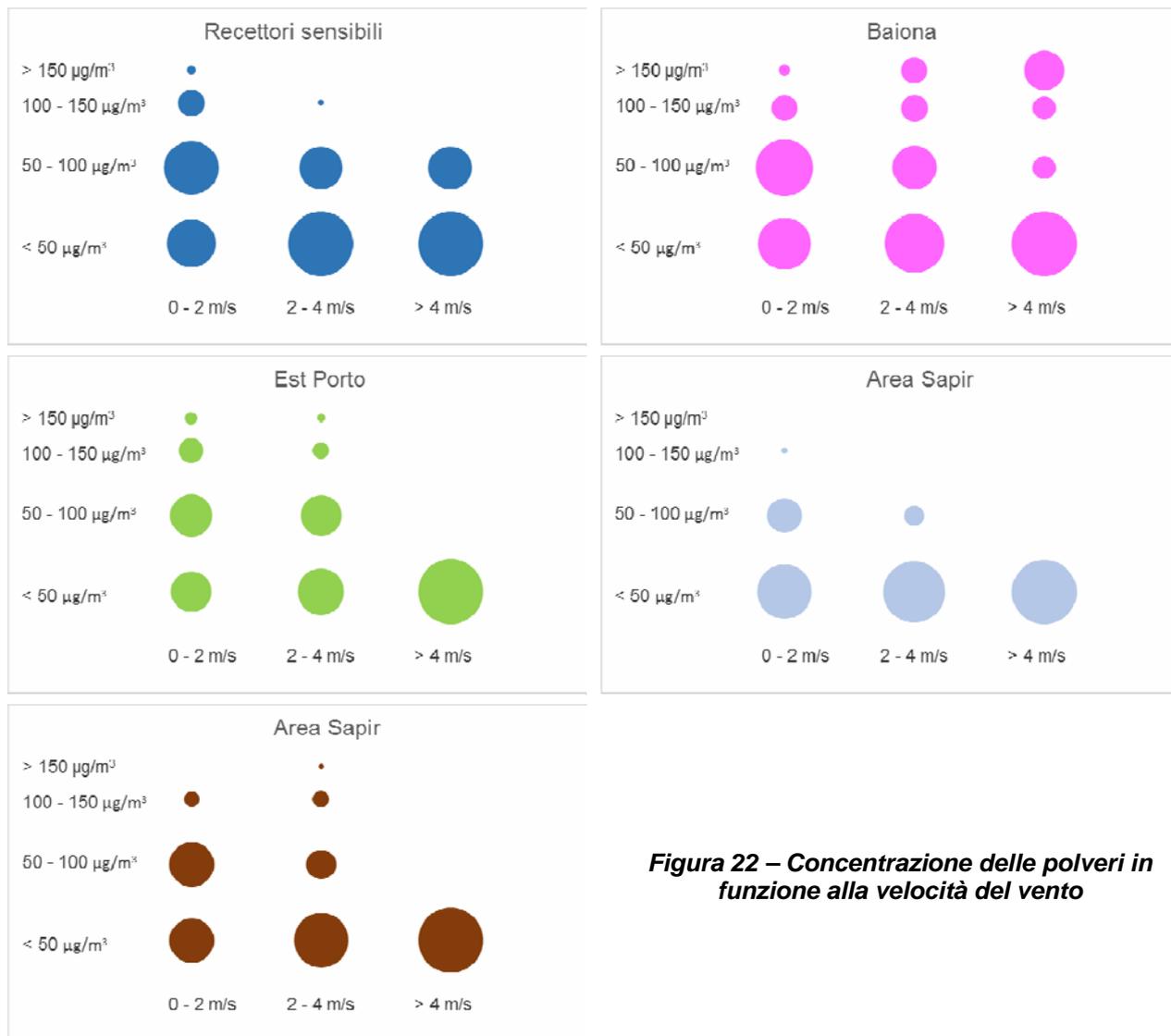


Figura 22 – Concentrazione delle polveri in funzione alla velocità del vento

### 3 – Conclusioni

La relazione descrive ed analizza i dati di PM10 raccolti presso 15 siti (12 all'interno dell'area portuale e 3 in corrispondenza di scuole nel litorale) da gennaio a dicembre 2014.

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

**Siti singoli 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 elevate; sono i siti M-1A (Terminal Nord), M-1C (Micron Mineral), M-2C (Antrakoi) e M-2D (Adriacal), M-3A (Lloyd). In queste postazioni le concentrazioni massime giornaliere sono comprese tra  $146 \mu\text{g}/\text{m}^3$  e  $373 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , mentre il 90.4° percentile (cioè la concentrazione superata da circa il 10% delle misure) è compreso fra  $208 \mu\text{g}/\text{m}^3$  e  $94 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

La maggior parte dei siti (9 siti su 12) presenta anche nel 2014 valori medi annui superiori al limite previsto dal D.L.vo 155/2010 (concentrazioni medie comprese fra 98 e  $46 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) sebbene le rilevazioni 2014 abbiano evidenziato concentrazioni mediamente inferiori rispetto a quelle 2011 (la riduzione è compresa tra il -7% ed il -40%). Tale diminuzione è probabilmente riconducibile anche ad interventi di mitigazione realizzati dalle aziende ma soprattutto alle condizioni meteorologiche che hanno caratterizzato l'anno. Questa valutazione è avvalorata dalla generale diminuzione delle concentrazioni di PM10 misurate da tutte le stazioni della rete di controllo della qualità dell'aria (diminuzione rispetto al 2011 compresa fra il 23% (Delta Cervia) e il 29% (Zalamella))

**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 prossimi al valore di  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , inferiori al limite e a quanto misurato nell'anno 2011. I valori massimi giornalieri sono compresi fra 107 e  $67 \mu\text{g}/\text{m}^3$  e si stima che sia a Marina di Ravenna che a Punta Marina nel 2014 sia superato il limite di 35 giorni con concentrazioni superiori a  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (breve periodo)

Analoga stima, calcolata per il 2015, indica il rispetto del limite di lungo periodo (media annuale) e il superamento del limite di breve periodo in tutte e tre le scuole.

**Giornate critiche.** Considerando la serie di dati giornalieri, sono state isolate alcune giornate caratterizzate da picchi di concentrazione particolarmente significativi che sono stati singolarmente analizzati. In particolare: per i siti di misura posti all'interno dell'area portuale si è cercata una relazione (risultata positiva) tra i valori di concentrazione e la concomitanza di attività di sbarco e stoccaggio di materiale alla rinfusa; per i siti in corrispondenza delle scuole, invece, si è ritenuto significativo un approfondimento su quelle giornate in cui le concentrazioni di PM10 lì misurate risultavano più elevate di quelle delle stazioni Caorle o Porto San Vitale analizzando le relative rose dei venti per comprendere la possibile origine del particolato misurato. Nel primo caso sono state identificate diverse corrispondenze tra i picchi di concentrazione e le attività di sbarco e stoccaggio merci, in particolare per i siti M-2C, M-2D, M-3A, M-3B e M-3C. Nel caso dei recettori sensibili, è stato possibile associare la maggior parte dei valori "anomali" di concentrazione di polveri a direzioni dei venti provenienti dal quadrante Est – Sud (in particolare dalla costa, facendo ipotizzare un contributo dato dallo spray marino e/o dal sollevamento dalla costa sabbiosa) o dalla zona portuale ma con velocità medie piuttosto sostenute (velocità medie prossime a 5 m/s).

**Gruppi omogenei.** Infine, i siti di misura sono stati raggruppati in gruppi omogenei e valutati nel loro insieme. Questa procedura ha permesso di giungere ad alcune valutazioni, in particolare:

- le concentrazioni maggiori (massime e medie) sono raggruppate in due aree principali (in analogia a quanto osservato con i singoli siti);
- i siti posti al di fuori dell'area portuale e nella zona in riva destra Candiano lungo la Via Classicana mostrano un andamento delle concentrazioni tipico stagionale che non si rileva lungo la via Baiona e nella zona Est Porto, in cui concentrazioni elevate si misurano anche durante il periodo più caldo ed in particolare in condizioni di vento sostenuto e bassa umidità, condizioni favorevoli all'erosione di materiale dai cumuli ed al risollevarsi di materiale depositato lungo le strade e sui piazzali;
- tra i diversi gruppi si è riscontrata una discreta correlazione (spesso migliore rispetto a quanto rilevato nel corso del 2011);
- la distribuzione di frequenza evidenzia una prevalenza della classe di concentrazione 30-60  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  per i siti posti all'interno dell'area portuale mentre, per i recettori sensibili, la classe prevalente è relativa alle concentrazioni  $< 30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ;
- ad un aumento dell'umidità relativa corrisponde l'aumento delle concentrazioni per i recettori sensibili e per i siti posti a sud dell'area portuale. Al contrario, ad una diminuzione dell'umidità relativa corrisponde un incremento delle concentrazioni per i siti che formano i gruppi "Baiona" e "Zona Est";
- in relazione alle velocità dei venti, per la zona "Baiona" si rilevano concentrazioni mediamente superiori per velocità del vento superiori a 4 m/s, mentre per le zone "Classicana", "Sapir" e "Recettori Sensibili" l'aumento della velocità del vento determina una riduzione delle concentrazioni medie rilevate.