

Cliente ENEL Produzione S.p.A

Oggetto C.le di Torrevaldaliga Nord: deposizioni di polveri intorno alla banchina di scarico del carbone, gesso e ceneri. Risultati per il periodo 01/05/2010 – 31/12/2011

Ordine A.Q. 8400051749 – Attingimento 4000301434

Note Rev. 1 (AG11ESS146 - lettera n. B2019524)

La parziale riproduzione di questo documento è permessa solo con l'autorizzazione scritta del CESI.

N. pagine 41 **N. pagine fuori testo** 0

Data 19/06/2012

Elaborato ESS - Maspero Mario
B2019318 3270 AUT

Verificato ESS - Sala Maurizio
B2019318 3741 VER

Approvato ESS - Carboni Gabriele (Project Manager)
B2019318 3709 APP

CESI S.p.A.

Via Rubattino 54
I-20134 Milano - Italy
Tel: +39 02 21251
Fax: +39 02 21255440
e-mail: info@cesi.it
www.cesi.it

Capitale sociale € 8.550.000 interamente versato
C.F. e numero iscrizione Reg. Imprese di Milano 00793580150
P.I. IT00793580150
N. R.E.A. 429222

© Copyright 2012 by CESI. All rights reserved

Indice

1	PREMESSA	3
2	PROTOCOLLO OPERATIVO DELLE MISURE DI DEPOSIZIONE DI POLVERI	4
2.1	Ubicazione dei campionatori	4
2.2	Strumentazione e frequenza di misura.....	9
2.3	Metodo analitico di misura e significatività delle deposizioni di polveri	9
3	RISULTATI	10
3.1	Ratei di deposizione di polveri.....	11
3.1.1	Ratei di deposizione mensili.....	11
3.1.2	Ratei di deposizione complessivi di polveri insolubili.....	17
3.1.3	Confronto tra gli andamenti temporali dei ratei di deposizione	23
3.2	Parametri anemologici	28
4	POTENZIALI CORRELAZIONI TRA DEPOSIZIONI E ATTIVITÀ ALLE BANCHINE	29
4.1.1	Correlazioni tra deposizioni e condizioni anemologiche.....	29
4.1.2	Correlazioni tra deposizioni e movimentazioni di materiali alle banchine...	32
5	CONCLUSIONI	35
	APPENDICE 1	37
	APPENDICE 2	41

STORIA DELLE REVISIONI

Numero revisione	Data	Protocollo	Lista delle modifiche e/o dei paragrafi modificati
0	25/05/2012	B2002466	Prima emissione
1	19/06/2012	B2019318	Modificato par. 1 "Premessa"

1 PREMESSA

Il Piano di Monitoraggio e Biomonitoraggio trasmesso il 24/11/2004 (prot. EP/P2004001976) in ottemperanza alle prescrizioni del Decreto autorizzativo n.55/02/2003, e successivamente approvato dal Ministero dell'Ambiente e delle Tutela del Territorio con lettera del 24/07/2006 (prot DSA-2006-0019682) relativo alla conversione a carbone della centrale termoelettrica di Torrevadalia Nord, comprende il monitoraggio delle deposizioni di polveri sedimentabili intorno alle banchine di scarico e carico dei materiali solidi utilizzati o prodotti dalla Centrale (carbone, calcare, gesso e ceneri) e collocata nell'area portuale di Civitavecchia. In particolare, nel piano si prevede l'utilizzo di cinque deposimetri per la raccolta delle deposizioni totali, da posizionare nelle immediate vicinanze dei punti di movimentazione dei materiali pulverulenti, quindi collocati molto prossimi alle banchine e/o nelle loro immediate vicinanze.

Le indicazioni contenute nel Piano di Monitoraggio e Biomonitoraggio sono state dettagliate in una proposta operativa (CESI prot. A9006250), richiamata nel par. 2, che descrive la strumentazione utilizzata, il posizionamento di dettaglio delle postazioni e le modalità di esecuzione del monitoraggio delle deposizioni. La proposta operativa è stata valutata da ARPA Lazio che ha espresso in merito parere positivo ritenendo il piano tecnicamente valido e congruo con gli scopi prefissati (parere di ARPA Lazio al prot.39718 del 28/05/2010).

I risultati delle misure sperimentali per il periodo compreso tra **maggio 2010 e dicembre 2011** sono riportati nel par. 3 mentre le elaborazioni condotte per la ricerca di eventuali correlazioni con le variabili meteorologiche e con le operazioni di movimentazione dei materiali alle banchine sono inserite nel par. 4.

2 PROTOCOLLO OPERATIVO DELLE MISURE DI DEPOSIZIONE DI POLVERI

Nel presente paragrafo sono descritti:

- i criteri adottati per la scelta dei punti di campionamento e l'ubicazione dei campionatori;
- le modalità di esecuzione delle prove di campo;
- le metodologie analitiche adottate.

2.1 Ubicazione dei campionatori

L'ubicazione dei deposimetri nella zona delle banchine è stato condotto in base alle indicazioni fornite dall'applicazione del modello di diffusione delle polveri dovuta alla movimentazione di materiali nelle banchine, ai criteri generali di microscala normalmente adottati per il posizionamento di postazioni di misura⁽¹⁾, tenuto conto anche delle esigenze logistiche necessarie al loro funzionamento.

Dato che le valutazioni modellistiche hanno indicato che le sorgenti locali collegate allo scarico e alla movimentazione di materiali solidi (carbone, calcare, gesso e ceneri) potrebbero determinare una diffusione di polverosità in un ambito molto contenuto, valutabile nell'ordine delle centinaia di metri, i deposimetri sono stati posizionati secondo il seguente schema concettuale ed operativo:

- tre deposimetri, in prossimità delle aree di carico e scarico in posizione prevalentemente sottovento alle sorgenti locali;
- un deposimetro, in prossimità delle aree di carico e scarico in posizione prevalentemente sopravvento alle sorgenti locali;
- un deposimetro, in un'area sufficientemente distante dalle sorgenti presenti in banchina al fine di ottenere un valore di polverosità sedimentabile tipica della area di Centrale.

Le condizioni anemologiche tipiche, le quali hanno definito le condizioni di sopravvento e sottovento di ciascun campionatore, sono caratterizzate da direzioni prevalenti di provenienza del vento dai quadranti di NE e S-SW, come appare dalla Figura 1, relativa alla rosa media dei venti al suolo misurati presso la centrale nel periodo 1996-2001:

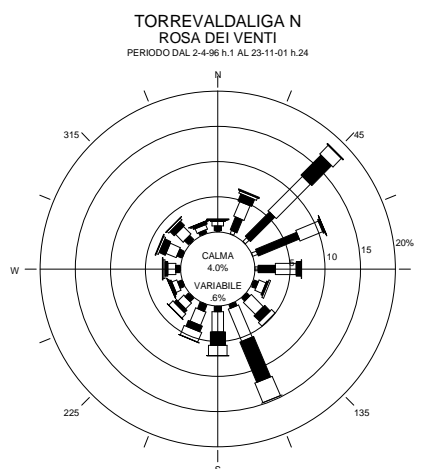


Figura 1 – Rosa media dei venti al suolo per il periodo 1996-2001

¹ Si veda ad esempio: "Linee guida per la predisposizione delle reti di monitoraggio della qualità dell'aria in Italia" (APAT, 2004)

Nella planimetria sotto riportata, sono indicate le zone di collocazione dei cinque deposimetri (Figura 2) mentre la freccia rossa individua il Nord:

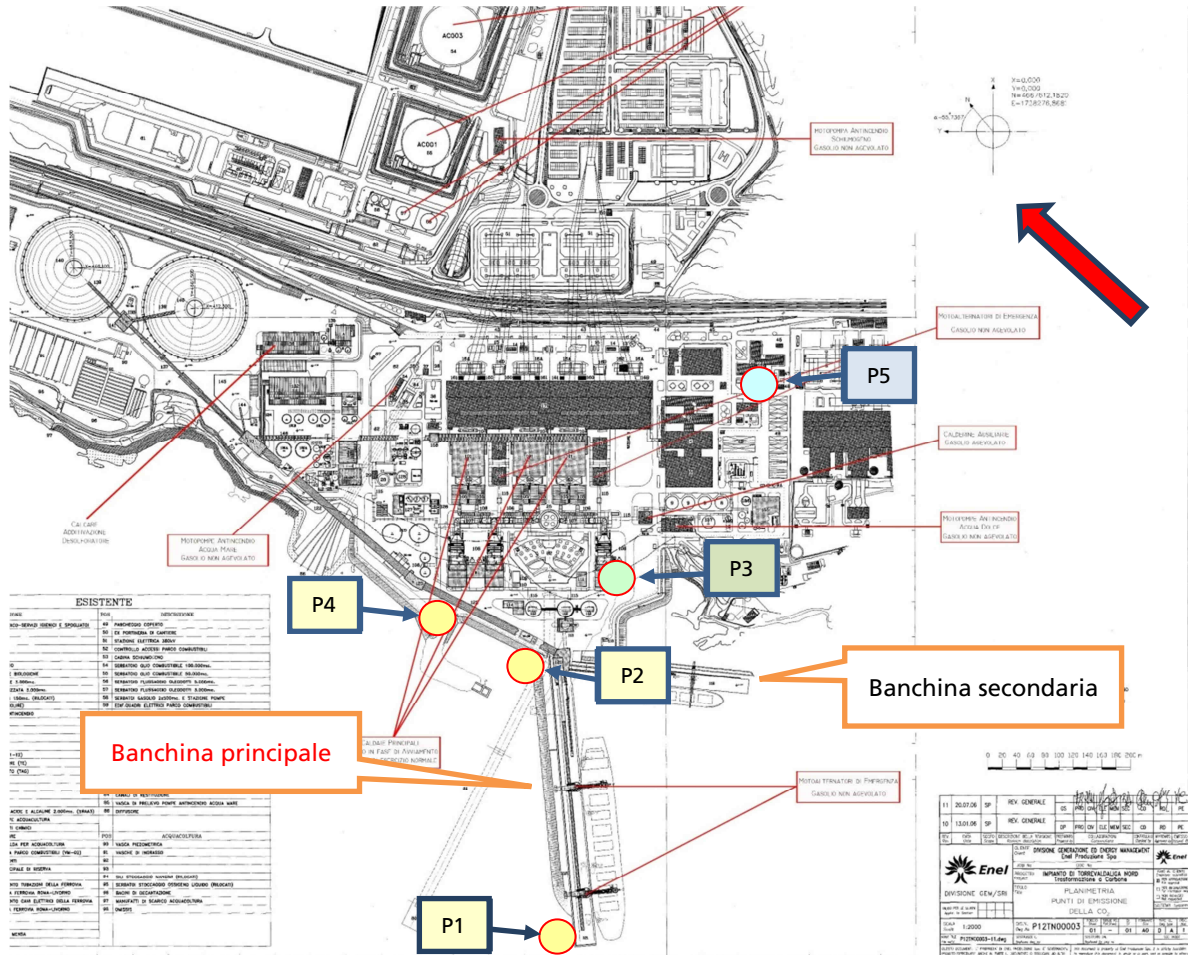


Figura 2 - Ubicazione dei 5 deposimetri

L'identificazione delle postazione e la loro posizione esatta è riassunta nella Tabella 1:

ID Postazione	Nome postazione	Coordinate metriche (²)
P1	Testa molo	727587 E; 4666980 N
P2	Torre 1	727798 E; 4667310 N
P3	Cabina SMI	727740 E; 4667340 N
P4	Torre 2	727930 E; 4667520 N
P5	Uffici	728217 E; 4667430 N

Tabella 1 - Identificativo postazioni

Nella precedente Figura 2, le postazioni prevalentemente sottovento alle sorgenti locali sono individuate con colore giallo; in colore verde la postazione prevalentemente sopravvento alle sorgenti locali e in colore azzurro quella "di fondo". Per "sorgenti locali" relative alla movimentazione dei materiali, si sono intese le attività che avvengono presso le due banchine del molo della Centrale, una volta che gli impianti sono entrati a regime. Per la movimentazione del materiale in ingresso e uscita dall'impianto sono stati infatti

² Coordinate metriche WGS84 fuso 32

progettati due pontili di attracco delle navi destinate ai trasporti da e per la Centrale, che sono però diventati operativi in tempi differenti. Il pontile principale, perpendicolare alla linea di costa ("Banchina principale" in Figura 2), è deputato all'accosto delle navi carboniere e il pontile secondario ("Banchina secondaria" in Figura 2), è riservato allo scarico del calcare ed il carico di gesso e ceneri, parallelo alla costa e perpendicolare alla banchina carbone. Il progetto prevede che la banchina principale sia attrezzata con due scaricatori della portata di circa 2000 t, che prelevano il carbone dalle stive della nave e lo trasferiscono su nastro chiuso ai depositi di stoccaggio chiusi (dome). Il progetto prevede anche che la banchina secondaria venga attrezzata con uno scaricatore, con tramogge per il carico/scarico e con un nastro di trasporto chiuso, per il collegamento ai rispettivi depositi posti in centrale.

Fino al completamento e al collaudo del pontile secondario e di tutti i sistemi correlati allo carico/scarico materiali, avvenuta nel dicembre 2010, la movimentazione di calcare, gesso e ceneri si è svolta utilizzando il pontile principale con le modalità provvisorie autorizzate con decreto ministeriale *ad hoc* (DEC n.55/02/2009). Successivamente, l'utilizzo delle due banchine e conseguentemente la movimentazione del materiale pulverulento è avvenuta come previsto dal progetto originario, salvo nei casi in cui le condizioni meteomarine non hanno permesso l'accosto in sicurezza delle navi al pontile secondario. In tali circostanze, la Centrale è ricorsa all'utilizzo del pontile principale per la movimentazione delle stesse, con le modalità provvisorie autorizzate con il decreto di cui sopra e riconfermate dal Decreto del Ministero dello Sviluppo Economico n.55/02/2012 del 27 gennaio 2012.

Va ulteriormente segnalato che l'area posta a nord-est della attuale banchina secondaria è stata soggetta ad un lungo periodo di opere civili di fondazione, *underground* e di viabilità, che si è protratto da luglio 2010 al dicembre 2011, interessando differenti lotti dell'area. Come si vedrà meglio nel seguito, tali lavori civili hanno sicuramente influenzato le ricadute di polveri nelle postazioni più prossime alle zone dei lavori tra cui, sicuramente la postazione P3-Cabina SMI. Nella figura seguente, sono appunto evidenziate le zone adiacenti alla postazione P3, interessate da lavori civili in differenti periodi temporali:

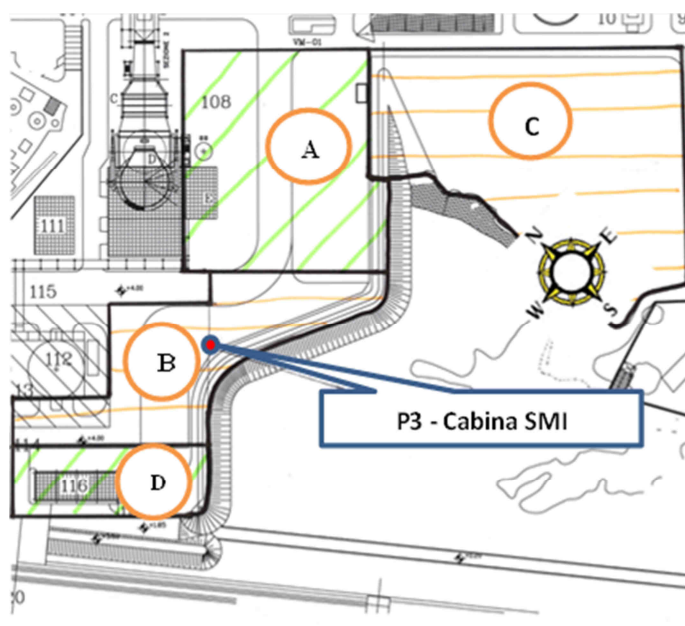


Figura 3 - Zone interessate a opere civili nel periodo luglio 2010 - dicembre 2011

La postazione di "Cabina SMI" si è trovata quindi per lungo tempo in una posizione da poter essere pesantemente influenzata dalle dispersioni di polveri riferibili a lavori civili. In maggior dettaglio la tempistica dei lavori è così riassumibile, in ordine di inizio dei lavori:

Zona	Periodo dei lavori
A	Da luglio 2010 a marzo 2011
B	Da settembre 2010 a maggio 2011
C	Da gennaio 2011 a settembre 2011
D	Da marzo 2011 a dicembre 2011

Tabella 2 -Tempistica dei lavori civili eseguiti in differenti zone ad est della banchina secondaria (v. Fig.3)

Il prospetto che segue esemplifica meglio la sequenza temporale dei lavori condotti nelle varie zone:

Anno	2010								2011											
	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
Zone interessate ai lavori (v. testo per identif. zone)	A																			
	B																			
	C																			
	D																			

Tabella 3 - Prospetto della durata dei lavori civili

Si può osservare che da gennaio a maggio 2011 sono stati effettuati contemporaneamente lavori civili in almeno tre zone adiacenti alla postazione P3-Cabina SMI e che da settembre 2010 a maggio 2011 tale postazione è stata interessata dai lavori della zona B (v. Figura 3) che ha oltretutto comportato anche il suo spostamento, dalla posizione iniziale, in prossimità della banchina secondaria, a quella attuale vicino alla strada (aprile 2011).

Nelle fotografie seguenti, sono mostrate: a sinistra le condizioni nell'intorno della postazione P3 durante i lavori edili; a destra la situazione attuale. In entrambe le fotografie il cerchio giallo individua il deposimetro:



Figura 4 – Ubicazione della postazione P3 – Cabina SMI durante e dopo i lavori edili

Come descritto in precedenza, l'ubicazione delle postazioni è stata originariamente scelta tenendo conto delle loro relativa distanza dalle potenziali sorgenti, in relazione anche con le direzioni prevalenti dei venti (quadranti NE e SE, v. Figura 1), al fine proprio di monitorare e valutare le eventuali emissioni di polveri sedimentabili correlabili alla movimentazione dei materiali alle banchine (carbone, gesso, calcare, ceneri). Ciò è valido ovviamente dal momento che gli impianti (banchine, mezzi di carico/scarico, ecc.) sono effettivamente divenuti operativi. Infatti, per la loro modalità di funzionamento, i deposimetri raccolgono le polveri sedimentabili indipendentemente dalla sorgente che le produce. In questo senso, si è constatato che i lavori civili avvenuti tra maggio 2010 e dicembre 2011 (v. Tabella 3) hanno inciso sulle deposizioni di polveri in alcune postazioni. Di seguito sono pertanto riassunte le possibili sorgenti di polveri che possono aver influenzato ciascuna postazione in relazione alla anemometria locale, alla operatività degli impianti e ai lavori civili avvenuti nel periodo di monitoraggio considerato:

- **postazione 1** (P1 o "Testa Molo"), ubicata in testa alla banchina principale. A regime, essa dovrebbe essere influenzata principalmente dalla diffusione di polveri dovuta allo scarico del carbone, in quanto lo scarico del calcare e il carico dei sottoprodotti dovrebbe essere effettuato normalmente alla banchina secondaria. Relativamente al periodo di monitoraggio preso in esame, va tenuto presente che da maggio a dicembre 2010 (v. sopra) le operazioni di carico dei sottoprodotti (gesso e ceneri) e di scarico (calcare e carbone) sono state tutte effettuate alla banchina principale e successivamente essa è stata l'unica agibile nel caso di condizioni di mare avverse, qualora sia impossibile l'attracco alla banchina secondaria. Ne consegue che da maggio a dicembre '10, la postazione è stata influenzata, oltre che dallo scarico del carbone anche dalle dispersioni di polveri dovute ai carichi dei sottoprodotti e allo scarico del calcare. Successivamente alla attivazione della banchina secondaria (dicembre '10), la postazione potrebbe anche aver subito influenze dalle polveri disperse dalla poco più distante banchina secondaria, ma solo nel caso di venti provenienti da est. In assenza di navi e con venti provenienti preferibilmente dal quadrante nordest, sarebbe soggetta alla diffusione di polveri dalle attività della Centrale;
- **postazione 2** (P2 o "Torre 1"), collocata all'inizio della banchina principale. La sua ubicazione è giustificata dalla potenziale esposizione alle polveri sedimentabili diffuse dalle attività di movimentazione materiali nella vicina banchina secondaria (carico di ceneri e gesso e scarico di calcare), quando i venti provengono preferibilmente da SE. La banchina secondaria è entrata a regime dal gennaio '11, ma a causa dei lavori avvenuti tra luglio 2010 a dicembre 2011 nelle zone poste circa ad nordest di essa (v. Figura 3), i venti dai quadranti nord-orientale e sud-orientale hanno apportato polveri disperse dalle operazioni di cantiere man mano succedutisi (v. Tabella 3). Con venti provenienti dal quadrante sud-occidentale, può anche essere stata influenzata da diffusione di polveri dalla banchina principale;
- **postazione 3** (P3 o "Cabina SMI"), collocata di fianco alla cabina di monitoraggio della qualità dell'aria in ambiente di lavoro. In origine, tale postazione doveva raccogliere le polveri sedimentabili attribuibili alle sorgenti sopravento alle banchine (v. Figura 1). In realtà, le polveri sedimentabili raccolte durante buona parte del periodo di monitoraggio sono attribuibili alle attività dei cantieri man mano succedutisi (v. sopra). Solo con venti dal quadrante SW, le polveri sedimentabili potrebbero provenire dalla banchina principale o dalla secondaria. Va fatto notare che vicino ad essa vi è ora una strada di collegamento interna, soggetta a traffico (v. Figura 4 di destra) che ha potuto generare significativi risollevarimenti di polveri in quanto la strada non era asfaltata nell'anno in oggetto;

- **postazione 4** (P4 o "Torre 2"), in prossimità della seconda torre di scambio del nastro trasportatore. A seconda della direzione dei venti, la postazione potrebbe aver ricevuto le polveri sedimentabili prodotte dalla movimentazione delle banchine (venti dai quadranti SE e/o SW) o dalle attività cantieristiche e/o di funzionamento della Centrale (quadranti NE e SE);
- **postazione 5** (P5 o "Uffici"), nell'area verde a lato dell'edificio uffici. La postazione è sufficientemente lontana dalle influenze dovute alle attività delle banchine, pertanto, dovrebbero aver raccolto le polveri sedimentabili attribuibili al "fondo" della Centrale.

In sunto, una volta che gli impianti di movimentazione dei materiali sono andati a regime, i deposimetri collocati nelle postazioni 1 ("Testa Molo"), 2 ("Torre 1") e 4 ("Torre 2"), dovrebbero raccogliere prevalentemente le polveri sedimentabili eventualmente emesse durante le operazioni di carico e scarico, compatibilmente alla loro effettiva condizione di sottovento alle banchine e, ovviamente, in funzione anche dell'utilizzo degli impianti; nel campionatore della postazione 3 ("Cabina SMI") si dovrebbero depositare prevalentemente le polveri da sorgenti locali diverse dalle banchine e, infine, il deposimetro della postazione 5 ("Uffici") raccoglierebbe le polveri costituenti il "fondo" dell'intera zona.

Come descritto sopra, per buona parte del periodo di monitoraggio, questa situazione ipotetica è stata alterata in maniera significativa dalle cospicue dispersioni di polveri dovuti ai lavori civili, protrattisi oltretutto per un prolungato arco di tempo.

2.2 Strumentazione e frequenza di misura

Per la misura delle deposizioni di polveri sedimentabili, si utilizzano campionatori automatici per la raccolta delle deposizioni umide e secche (*wet & dry*), equipaggiati con due contenitori distinti di raccolta: uno per le deposizioni *wet* e uno per quelle *dry*.

I campionatori sono dotati di sensori di pioggia che spostano il coperchio di protezione sul contenitore non in uso al momento, in funzione del regime pluviometrico corrente.

I campioni di deposizione secca ed umida sono prelevati al termine di ciascun mese di campionamento, normalmente dal primo all'ultimo giorno del mese, e trasferiti in laboratorio per la determinazione delle polveri sedimentabili (v. par. 2.3).

E' previsto dal protocollo operativo di monitoraggio che per ogni campagna annuale siano prelevati almeno dieci campioni mensili validi per ciascuna postazione.

2.3 Metodo analitico di misura e significatività delle deposizioni di polveri

Ogni contenitore di raccolta delle deposizioni mensili di polveri sedimentate per via secca è stato lisciviato con 500-700 mL di acqua deionizzata e la soluzione è stata filtrata per la determinazione gravimetrica delle polveri insolubili in acqua. Una aliquota della soluzione filtrata viene successivamente portata a secchezza per la determinazione delle polveri sedimentabili solubili in acqua. I risultati sono stati espressi come ratei di deposizione giornaliera, in mg/m²/giorno.

Nelle polveri sedimentabili insolubili in acqua sono comprese le polveri di origine naturale, ad esempio quelle crustali, o generate da attività industriali e, nel caso della Centrale di Torrevaldaliga Nord, possono avere un peso significativo anche le attività di cantiere e quelle manutentive locali che possono generare una diffusione di polveri. La vicinanza del mare può anche apportare una notevole quantità di sali marini, completamente solubili in fase acquosa. Nel caso specifico del monitoraggio delle

deposizioni presso le banchine della Centrale di Torrevaldaliga Nord, a grandi linee si può ritenere che nelle polveri sedimentabili insolubili siano comprese: le polveri del suolo apportate naturalmente da eventi atmosferici e risollevate dal traffico interno, le polveri generate dalle attività di cantiere, le eventuali dispersioni di polveri di carbone, calcare e ceneri dovute alla movimentazione di materiali movimentati alle banchine. Il gesso potrebbe ripartirsi tra polveri insolubili e solubili in quanto, a seconda del suo grado di idratazione, ha una solubilità in acqua da 2'000 a 10'000 mg/L⁽³⁾. Per questo motivo è stata prevista la misura del residuo secco per valutare le polveri sedimentabili solubili, in cui si ritroveranno però anche i sali marini apportati dallo spray marino. Nel residuo secco della soluzione di filtrazione sono contenuti quindi sali marini e il gesso eventualmente solubilizzatosi durante il trattamento di laboratorio.

Le deposizioni umide (piogge) sono state preliminarmente pesate per la valutazione della loro entità e filtrate per la determinazione delle polveri insolubili dilavate dall'evento piovoso. Sulla soluzione filtrata non viene eseguita la determinazione dei sali solubili in quanto le piogge contengono quantità modeste di essi, principalmente sali di origine marina.

3 RISULTATI

Nel seguito, sono riportati i risultati delle misure di deposizioni di polveri per il periodo compreso tra **maggio 2010** e **dicembre 2011**. Secondo la proposta operativa di monitoraggio, devono essere disponibili almeno 10 dati mensili per ogni annualità di monitoraggio. La prima annualità di monitoraggio comprende il periodo da maggio 2010 ad aprile 2011 e la seconda annualità, iniziata a maggio 2011, è tuttora in corso. Tenuto conto di ciò, la disponibilità attuale dei dati è riassunta nella Tabella 4, con in parentesi la % di campioni raccolti nel periodo di riferimento:

Annualità	Postazione				
	Testa molo	Torre 1	Cabina SMI	Torre 2	Uffici
	Post. 1	Post. 2	Post. 3	Post. 4	Post. 5
I (Mag. '10 – Apr. '11)	11 (92%)	10 (83%)	11 (92%)	11 (92%)	11 (92%)
II (Mag '11 – Dic. '11)	7 (88%)	8 (100%)	8 (100%)	7 (88%)	3 (38%)

Tabella 4 - Numero di campioni prelevati e % di copertura per i periodi di monitoraggio di riferimento.

Nel primo periodo di monitoraggio è stato ampiamente rispettato il requisito di avere almeno 10 campioni validi su base annuale. Relativamente al secondo periodo, i campionamenti sono proceduti regolarmente in tutte le postazioni salvo in "Uffici" che ha avuto un lungo periodo di malfunzionamento tra maggio e dicembre 2011, il quale ha pregiudicato una corretta raccolta delle deposizioni di polveri. Una violenta mareggiata nel dicembre 2011 ha invece trascinato in mare il deposimetro di "Testa Molo" (P1) che è stato ripristinato il mese successivo.

Nei paragrafi che seguono sono riportati i risultati dei monitoraggi mensili effettuati fino a dicembre 2011. In Appendice 1 sono riportate le rose dei venti mensili per il periodo di monitoraggio.

³ Nuovo dizionario di merceologia e chimica applicata, Volume 2, V. Villavecchia, G. Eigenmann, 1973

3.1 Ratei di deposizione di polveri

Nel paragrafo 3.1.1, per ciascuna postazione, sono riportati i ratei mensili di deposizione di polveri sedimentabili insolubili in acqua e di polveri e sali solubili, gli andamenti temporali riscontrati e alcuni valori statistici riferiti all'intero periodo considerato (maggio 2010 – dicembre 2011). Per le ubicazioni si faccia riferimento alla Figura 2.

Va premesso che non è possibile distinguere se le polveri presenti nelle piogge e raccolte nei deposimetri "wet", fossero effettivamente quelle sospese nella atmosfera soprastante la postazione o presenti nella perturbazione stessa e trasportate da zone diverse dalla banchine.

Nel par. 3.1.2 sono riportati i dati di deposizione in termini di ratei complessivi di deposizione e, infine, nel paragrafo 3.1.3 sono presentati e discussi gli andamenti temporali riscontrati, in funzione anche di eventuali fattori stagionali.

3.1.1 Ratei di deposizione mensili

Postazione 1 – Testa Molo

Le deposizioni di polveri insolubili sono avvenute prevalentemente per via secca (*dry*), ma in alcuni mesi le precipitazioni umide (*wet*) hanno portato a terra una significativa quantità di polveri, come avvenuto in giugno '10 e da dicembre '10 a marzo '11.

I ratei di deposizione mensile di polveri insolubili in acqua e sali solubili nella postazione di testa alla banchina principale (P1 in Figura 2), sono riportati nella Tabella 5:

Mese	Polveri insolubili			Polveri e sali solubili	Rateo totale polveri insolubili e solubili
	Rateo dal dry	Rateo dal wet	Rateo totale	Rateo dal dry	
Maggio '10	292	34	326	198	524
Giugno '10	321	237	558	5665	6223
Luglio '10	510	0	510	104	614
Agosto '10	598	0	598	147	745
Settembre '10	1327	28	1355	2556	3911
Ottobre '10	434	12	446	550	996
Novembre '10	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Dicembre '10	464	322	786	3875	4661
Gennaio '11	389	151	540	51	591
Febbraio '11	236	558	794	114	908
Marzo '11	35	677	712	69	781
Aprile '11	303	76	379	91	470
Maggio '11	236	0	236	102	338
Giugno '11	46	0	46	78	124
Luglio '11	154	42	196	90	286
Agosto '11	120	0	120	36	156
Settembre '11	365	0	365	55	420
Ottobre '11	279	89	368	1046	1414
Novembre '11	193	24	217	397	614
Dicembre '11	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.

Tabella 5 - Ratei di deposizione per la post. 1 – "Testa Molo". Valori in mg/m²/d.

Il massimo delle deposizioni di polveri insolubili in testa al molo si è avuto nel settembre 2010 e le polveri sono state apportate al suolo quasi esclusivamente per via secca (*dry*).

Per quanto riguarda le deposizioni di polveri e sali solubili, risultano molto evidenti gli elevati valori registrati in giugno, settembre e dicembre 2010 (da 3000 a 6000 mg/m²/d). Poiché la postazione è molto vicina al mare, è più che plausibile che si tratti in massima parte di deposizione di sali marini, riconducibili a mareggiate con forte diffusione di spray marino, come risulterebbe anche dai forti venti provenienti in questi mesi dal mare, evidenziati dalle pertinenti rose dei venti riportate in Appendice 1. Un episodio meno intenso di deposizione di sali solubili si è avuto anche in ottobre 2010 (circa 500 mg/m²/d).

Nella tabella sottostante, sono riassunti alcuni valori statistici descrittivi dei ratei di deposizione e riferiti all'intero periodo di monitoraggio (maggio 2010-dicembre 2011):

	Polveri insolubili	Polveri e sali solubili	Polveri e sali totali
n	18	18	18
Minimo	46	36	124
Massimo	1355	5665	6223
Media	475	846	1321
Mediana	413	109	614
Dev. Stand.	309	1580	1738
25° percentile	231	76	400
75° percentile	627	674	1101

I dati statistici della tabella precedente rivelano una notevole variabilità sia delle deposizioni di polveri insolubili sia, soprattutto, di polveri e sali solubili. Ciononostante, i valori medi e mediani di deposizioni di polveri insolubili sono relativamente simili, indice di una distribuzione dei dati statisticamente vicina alla normalità; al contrario, le deposizioni di polveri e sali solubili hanno valori medi che risentono delle elevate deposizioni avvenute in alcuni mesi.

Postazione 2 – Torre 1

I ratei di deposizione mensile di polveri insolubili in acqua e sali solubili nella postazione collocata all'inizio della banchina principale (P2 in Figura 2), sono mostrati nella Tabella 6:

Mese	Polveri insolubili			Polveri e sali solubili	Rateo totale polveri insolubili e solubili
	Rateo dal dry	Rateo dal wet	Rateo totale	Rateo dal dry	
Maggio '10	555	3	558	208	766
Giugno '10	411	0	411	99	510
Luglio '10	197	0	197	151	348
Agosto '10	202	0	202	276	478
Settembre '10	193	99	292	323	615
Ottobre '10	305	36	341	187	528
Novembre '10	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Dicembre '10	168	634	802	206	1008
Gennaio '11	449	42	491	110	601
Febbraio '11	458	22	480	112	592
Marzo '11	122	405	527	35	562
Aprile '11	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Maggio '11	112	12	124	49	173
Giugno '11	161	0	161	239	400
Luglio '11	303	16	319	134	453
Agosto '11	73	0	73	165	238
Settembre '11	196	31	227	103	330
Ottobre '11	240	32	272	165	437
Novembre '11	254	21	275	203	478
Dicembre '11	321	29	350	474	824

Tabella 6 - Ratei di deposizione per la post.2 – Torre 1. Valori in mg/m²/d.

Anche in questa postazione, le polveri insolubili sono depositate prevalentemente per via secca (*dry*) e solo in rari casi (dicembre '10 e marzo '11) le piogge (*wet*) hanno apportato a terra elevate quantità di polveri insolubili, addirittura maggiori di quelle depositate per via secca. La deposizione massima di polveri insolubili, per lo più riscontrate nella pioggia, si è avuta in dicembre '10, in coincidenza con forti venti dal mare (v. Appendice 1).

Le deposizioni di polveri e sali solubili nella deposizione secca sono state relativamente ridotte e non si sono avuti gli episodi di elevate deposizioni riscontrati nella postazione di "Testa Molo" (v. sopra). In alcuni mesi, si sono comunque avute deposizioni di sali solubili nel *dry* di pari entità o addirittura maggiori di quelle delle polveri insolubili, come ad

esempio da luglio a settembre 2010 e in giugno, agosto e dicembre 2011. Anche in questo caso, la deposizione di polveri e sali solubili sembra risentire in maniera significativa della vicinanza della postazione al mare.

Nella tabella sottostante, sono riassunti alcuni valori statistici descrittivi dei ratei di deposizione e riferiti all'intero periodo di monitoraggio (maggio 2010-dicembre 2011):

	Polveri insolubili	Polveri e sali solubili	Polveri e sali totali
n	18	18	18
Min	73	35	173
Max	802	474	1008
Media	339	180	519
Mediana	306	165	494
Dev. Stand.	181	104	204
25° percentile	201	108	387
75° percentile	483	216	605

In questa postazione si è avuta ancora una notevole escursione nei ratei di deposizione sia di polveri insolubili, sia di polveri e sali solubili. I valori medi e mediani sono comunque comparabili tra di loro e denotano una distribuzione dei dati vicina alla normalità, ovvero apparentemente non alterata da eventi anomali estemporanei. In realtà, le deposizioni di polveri insolubili di questa postazione sono state influenzate dai lavori civili avvenuti nelle aree vicine ad alla postazione P3 – Cabina SMI (si veda il par. 2.1). Tale ipotesi deriva dal confronto tra l'andamento temporale dei ratei mensili di deposizione di polveri totali insolubili e la cronologia dei lavori civili, come mostrato nella figura seguente:

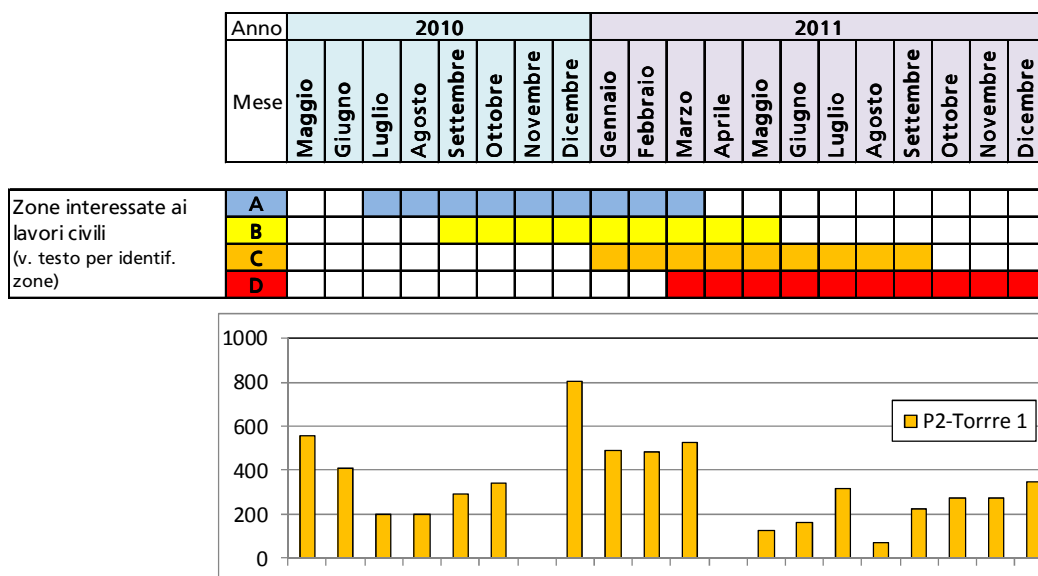


Figura 5 - Confronto tra l'andamento dei ratei di deposizioni di polveri insolubili nella postazione P2 e la cronologia dei lavori civili

Si può notare infatti che i ratei di deposizione delle polveri insolubili da dicembre 2010 a marzo 2011 sono sistematicamente maggiori di quelli dei mesi precedenti (escluso maggio 2010) e di quelli dei mesi seguenti, in coincidenza con l'elevata intensità dei lavori nelle zone ad nord-est della postazione di "Torre 1" e adiacenti alla postazione "Cabina SMI".

Postazione 3 – Cabina SMI

I ratei di deposizione di polveri insolubili in acqua e sali solubili in tale postazione (P3 in Figura 2), sono mostrati nella successiva Tabella 7:

Mese	Polveri insolubili			Polveri e sali solubili	Rateo totale polveri insolubili e solubili
	Rateo dal dry	Rateo dal wet	Rateo totale	Rateo dal dry	
Maggio '10	216	34	250	42	292
Giugno '10	258	11	269	49	318
Luglio '10	315	0	315	39	354
Agosto '10	339	0	339	50	389
Settembre '10	574	45	619	156	775
Ottobre '10	436	33	469	93	562
Novembre '10	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Dicembre '10	260	15	275	132	407
Gennaio '11	2	453	455	7	462
Febbraio '11	775	1052	1827	82	1909
Marzo '11	220	245	465	77	542
Aprile '11	278	260	538	54	592
Maggio '11	233	201	434	48	482
Giugno '11	921	0	921	70	991
Luglio '11	448	192	640	81	721
Agosto '11	204	0	204	36	240
Settembre '11	187	0	187	31	218
Ottobre '11	126	58	184	50	234
Novembre '11	71	66	137	31	168
Dicembre '11	132	58	190	57	247

Tabella 7 - Ratei di deposizione per la post.3 – Cabina SMI. Valori in mg/m²/d.

La deposizione di polveri insolubili in questa postazione ha avuto un andamento particolare, in quanto, da gennaio a giugno 2011, buona parte di queste polveri sono state depositate anche dalle piogge e non solo dalla sedimentazione durante i periodi secchi, spesso in controtendenza a quanto avvenuto nelle altre postazioni. Ciò coincide spesso con la cronologia dei lavori civili che hanno interessato le zone adiacenti a tale postazione e che potrebbero aver generato una notevole polverosità sospesa in aria, dilavate a terra dalle piogge. A supporto di tale ipotesi, nella figura che segue la cronologia dei lavori civili è confrontata con l'andamento temporale dei ratei mensili delle deposizioni di polveri totali insolubili di Tabella 7 (per identificare le zone si veda la Figura 3):

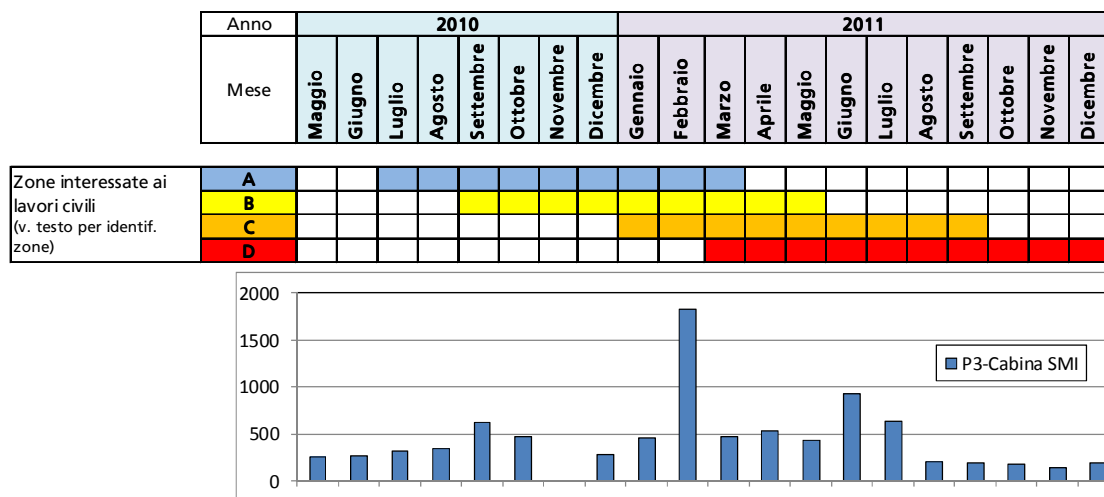


Figura 6 – Confronto tra l'andamento dei ratei di deposizioni di polveri insolubili e la cronologia dei lavori civili

Nella figura precedente è osservabile che i ratei mensili di deposizione di polveri totali insolubili sono stati particolarmente elevati in concomitanza con l'intensificarsi dei lavori civili nel periodo da febbraio a luglio 2011. In termini quantitativi, risulta particolarmente elevata la deposizione avvenuta in febbraio 2011, per lo più da polveri dilavate o trasportate a terra dalle precipitazioni, che non trova riscontro nelle altre postazioni. Non si può quindi escludere che sia avvenuto un evento accidentale locale, correlabile ai lavori civili, che ha sollevato una elevata quantità di polveri che sono poi state riportate a terra dalla pioggia. Negli altri mesi, la deposizione di polveri e sali solubili nel deposimetro *wet* è stata infatti molto ridotta. Con il termine dei lavori civili, i ratei di deposizione delle polveri insolubili sono ritornati a valori "normali", rimanendo compresi tra circa 130 e 200 mg/m²/d.

Nel prospetto sottostante, sono riassunti alcuni valori statistici descrittivi dei ratei di deposizione e riferiti all'intero periodo di monitoraggio (maggio 2010-dicembre 2011):

	Polveri insolubili	Polveri e sali solubili	Polveri e sali totali	<i>Dati statistici per le polveri insolubili a meno del campione di febbraio '11</i>
n	19	19	19	18
Min	137	7	168	137
Max	1827	156	1909	921
Media	459	62	521	383
Mediana	339	50	407	327
Dev. Stand.	387	36	399	205
25° percentile	204	39	247	201
75° percentile	538	81	592	486

Il rateo di deposizione molto elevato riscontrato in febbraio '11 ha influito notevolmente sul valore medio che è numericamente molto lontano da quello mediano. Eliminando questo valore, la deposizione media si avvicina molto al valore mediano, come riportato nella colonna di destra, per cui il campione di febbraio può essere considerato una anomalia.

In realtà, il complesso dei valori di deposizioni medi riscontrati in questa postazione sembrerebbero poco rappresentativi della situazione di polverosità che dovrebbe monitorare questa postazione, a causa della eccessiva influenza delle sorgenti diverse da quelle effettive da monitorare. Infatti, se si considera il periodo da gennaio a luglio '11, corrispondente al periodo di intensi lavori civili nel circondario nella postazione (v. Figura 6), la media dei ratei di deposizione è pari a 576 mg/m²/d (febbraio '11 escluso), da confrontare con i 180 mg/m²/d medi per il periodo agosto-dicembre '11, in cui i lavori sono diminuiti di intensità. E' evidente quindi le deposizioni di Cabina SMI siano state particolarmente influenzate dai lavori di cantiere.

Postazione 4 – Torre 2

I ratei di deposizione di polveri insolubili in acqua e polveri e sali solubili nella postazione collocata a nord-ovest della banchina principale (P4 in Figura 2) sono riportati nella Tabella 8:

Mese	Polveri insolubili			Polveri e sali solubili	Rateo totale polveri insolubili e solubili
	Rateo dal dry	Rateo dal wet	Rateo totale		
Maggio '10	206	126	332	208	540
Giugno '10	200	0	200	66	266
Luglio '10	168	0	168	116	284
Agosto '10	160	0	160	232	392
Settembre '10	194	53	247	316	563
Ottobre '10	92	165	257	136	393
Novembre '10	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Dicembre '10	231	16	247	476	723

Mese	Polveri insolubili			Polveri e sali solubili	Rateo totale polveri insolubili e solubili
	Rateo dal dry	Rateo dal wet	Rateo totale	Rateo dal dry	
Gennaio '11	200	22	222	68	290
Febbraio '11	211	19	230	152	382
Marzo '11	111	56	167	63	230
Aprile '11	146	38	184	138	322
Maggio '11	84	39	123	116	239
Giugno '11	100	0	100	246	346
Luglio '11	126	57	183	198	381
Agosto '11	102	0	102	188	290
Settembre '11	128	68	196	127	323
Ottobre '11	120	11	131	229	360
Novembre '11	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Dicembre '11	251	51	302	375	677

Tabella 8 - Ratei di deposizione per la post.4 – Torre 2. Valori in mg/m²/d.

Le polveri insolubili sedimentabili in questa postazione si sono depositate per lo più per via secca e solo in due mesi (maggio e ottobre '10) si sono rilevate significative quantità apportate dalle piogge.

Il rateo di deposizione di polveri e sali solubili nel deposimetro dry è stato relativamente elevato, con ampie escursioni dei valori, e in parecchi casi, la deposizione di polveri solubili è stata maggiore di quella delle polveri insolubili. E' molto probabile quindi che la postazione risenta molto anch'essa della vicinanza del mare.

Nella tabella sottostante, sono riassunti alcuni valori statistici descrittivi dei ratei di deposizione e riferiti all'intero periodo di monitoraggio (maggio 2010-dicembre 2011):

	Polveri insolubili	Polveri e sali solubili	Polveri e sali totali
n	18	18	18
Min	100	63	230
Max	332	476	723
Media	197	192	389
Mediana	190	170	353
Dev. Stand.	65	110	144
25° percentile	153	116	289
75° percentile	247	236	430

Il valore medio del rateo di deposizione di polveri insolubili è risultato parecchio inferiore a quello delle altre postazioni considerate sottovento alle banchine ("Testa molo" e "Torre 1"). La postazione sembra quindi risentire meno delle altre di eventuali dispersioni di polveri dovute alle movimentazioni di materiali alle banchine del molo mentre le deposizioni di sali solubili sono paragonabili a quelle rilevate nella postazione di Torre 1 (post.2).

Postazione 5 – Uffici

I ratei di deposizione di polveri insolubili in acqua e sali solubili nella postazione collocata lontano dalle banchine (P5 in Figura 2) sono mostrati nella Tabella 9:

Mese	Polveri insolubili			Polveri e sali solubili	Rateo totale polveri insolubili e solubili
	Rateo dal dry	Rateo dal wet	Rateo totale	Rateo dal dry	
Maggio '10	222	25	247	26	273
Giugno '10	170	24	194	20	214
Luglio '10	161	0	161	22	183
Agosto '10	157	0	157	21	178
Settembre '10	101	10	111	49	160
Ottobre '10	137	26	163	21	184
Novembre '10	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Dicembre '10	118	15	133	16	149
Gennaio '11	119	3	122	7	129
Febbraio '11	98	4	102	11	113

Mese	Polveri insolubili			Polveri e sali solubili	Rateo totale polveri insolubili e solubili
	Rateo dal dry	Rateo dal wet	Rateo totale	Rateo dal dry	
Marzo '11	87	14	101	14	115
Aprile '11	99	12	111	20	131
Maggio '11	203	0	203	28	231
Giugno '11	n.d.	0	n.d.	n.d.	n.d.
Luglio '11	180	18	198	41	239
Agosto '11	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Settembre '11	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Ottobre '11	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Novembre '11	25	24	49	10	59
Dicembre '11	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.

Tabella 9 - Ratei di deposizione per la post. 5 – Uffici. Valori in mg/m²/d.

In questa postazione, le polveri sedimentabili insolubili si sono depositate quasi esclusivamente per via secca e modestissime quantità di esse sono riscontrabili nelle deposizioni umide. Altrettanto ridotte sono state le deposizioni di polveri e sali solubili e non si notano valori anomali di ratei di deposizione.

Le escursioni dei ratei di deposizione risultano quindi relativamente ridotte, come si può dedurre anche dai dati statistici descrittivi riportati di seguito e riferiti all'intero periodo di monitoraggio (maggio 2010-dicembre 2011):

	Polveri insolubili	Polveri e sali solubili	Polveri e sali totali
n	14	14	14
Min	49	7	59
Max	247	49	273
Media	147	22	168
Mediana	145	21	169
Dev. Stand.	52	12	58
25° percentile	109	13	126
75° percentile	195	27	218

L'escursione dei valori tra il rateo minimo e quello massimo delle polveri insolubili è poco meno di 200 mg/m²/d, confrontabile con i circa 230 della post. 4 (Torre 2), ma molto lontano dalle escursioni di 800 - 1300 mg/m²/d rilevate nelle altre postazioni.

Nella postazione "Uffici" si è avuto il minimo valore medio di deposizione di tutte le specie di polveri prese in considerazione.

3.1.2 Ratei di deposizione complessivi di polveri insolubili

Pochè risulta evidente che le deposizioni di polveri e sali solubili subiscono eccessive influenze dallo spray marino, per le valutazioni statistiche e degli andamenti evidenziabili si sono presi in considerazione solo i ratei delle polveri insolubili, apportate a terra con meccanismi di sedimentazione secca o dalle piogge. Tali polveri, come sopra introdotto, sono in realtà riferibili a tutte le sorgenti, locali o esterne alla centrale, che possono generare polveri.

In Tabella 10 sono riassunti i ratei di deposizione, espressi in mg/m²/d, di polveri totali sedimentabili, insolubili in acqua:

Mese	Postazione				
	Molo testa Post. 1	Torre 1 Post. 2	Cabina SMI Post. 3	Torre 2 Post. 4	Uffici Post. 5
Maggio '10	326	558	250	332	247
Giugno '10	559	411	269	200	195
Luglio '10	510	197	315	168	161
Agosto '10	598	202	339	160	157
Settembre '10	1355	292	619	247	111
Ottobre '10	447	341	469	257	163
Novembre '10	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.

Mese	Postazione				
	Molo testa	Torre 1	Cabina SMI	Torre 2	Uffici
Dicembre '10	786	801	276	247	133
Gennaio '11	540	491	454	222	122
Febbraio '11	794	480	1827	230	101
Marzo '11	713	527	465	167	101
Aprile '11	378	n.d.	538	184	110
Maggio '11	236	124	434	122	203
Giugno '11	46	161	921	100	n.d.
Luglio '11	197	319	640	183	197
Agosto '11	120	73	204	102	n.d.
Settembre '11	365	226	187	196	n.d.
Ottobre '11	367	272	184	131	n.d.
Novembre '11	216	275	137	n.d.	49
Dicembre '11	n.d.	350	189	302	n.d.

Tabella 10 - Rateo di deposizione nei punti di campionamento. Valori in mg/m²/d.

Dall'esame della tabella, si individuano quattro eventi mensili di deposizioni di polveri totali che risultano a prima vista anomali rispetto a quelli avvenuti negli altri mesi e nella medesima postazione. Tali eventi, evidenziati in grassetto corsivo nella tabella precedente, sono:

- "Testa Molo": settembre 2010 (1355 mg/m²/d);
- "Torre 1": dicembre 2010 (801 mg/m²/d);
- "Cabina SMI": febbraio 2011 (1827 mg/m²/d) e giugno 2011 (921 mg/m²/d).

Per valutare l'effettiva anomalia delle deposizioni sopra citate, si è fatto ricorso ad una valutazione statistica impiegando le rappresentazioni a diagrammi a "box and whiskers" o "box plot" mostrati nella Figura 7:

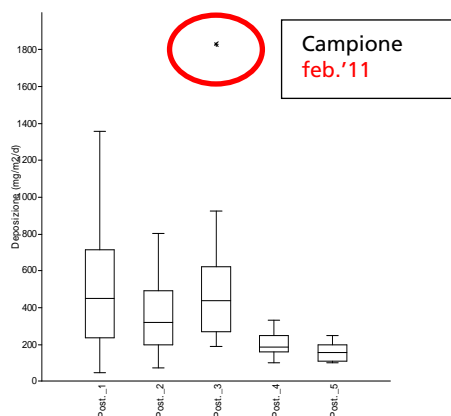


Figura 7 – "Box-plot" dei dati di rateo di deposizione nelle cinque postazioni. Valori in mg/m²/d.

Nel box plot il rettangolo è delimitato dal primo (Q1) e dal terzo quartile (Q3) e la riga di divisione interna rappresenta la mediana dei dati mentre i segmenti sono delimitati dal minimo e dal massimo dei valori. Un "outlier" o punto anomalo è normalmente definito tale quando è inferiore a $Q1 - 1,5 \times (Q3 - Q1)$ o maggiore di $Q3 + 1,5 \times (Q3 - Q1)$.

Nel caso delle deposizioni in esame, solo il campione di febbraio '11 della postazione Cabina SMI (post. 3) risulta un "outlier" rispetto agli altri raccolti nella stessa postazione mentre gli altri due eventi anomali sopra individuati ("Testa molo" - post.1 e "Torre 1" - post.3) rientrano nella variabilità statistica.

Trascurando quindi l'evento di febbraio '11, per il periodo da maggio '10 a dicembre '11, si ottengono i parametri statistici descrittivi riportati nella Tabella 11:

	Testa molo Post. 1	Torre 1 Post. 2	Cabina SMI Post. 3	Torre 2 Post. 4	Uffici Post. 5
n	18	18	18	18	14
Min	46	73	137	100	49
Max	1355	802	921	332	247
Media	475	339	383	197	147
Mediana	413	306	327	190	145
Dev. Stand.	309	181	205	65	52
25° percentile	231	201	201	153	109
75° percentile	627	483	486	247	195

Tabella 11 - Parametri statistici descrittivi (maggio 2010 – dicembre 2011). Valori in $mg/m^2/d$.

Con l'eliminazione dell'evento anomalo, medie e mediane risultano ora tutte molto vicine e coerenti con una distribuzione statisticamente "normale" dei dati, come già intuibile dai box plot della Figura 7.

Nella Figura 8 sono confrontati media e mediana dei ratei di deposizione di ciascuna postazione, per l'intero periodo da **maggio '10 a dicembre '11**:

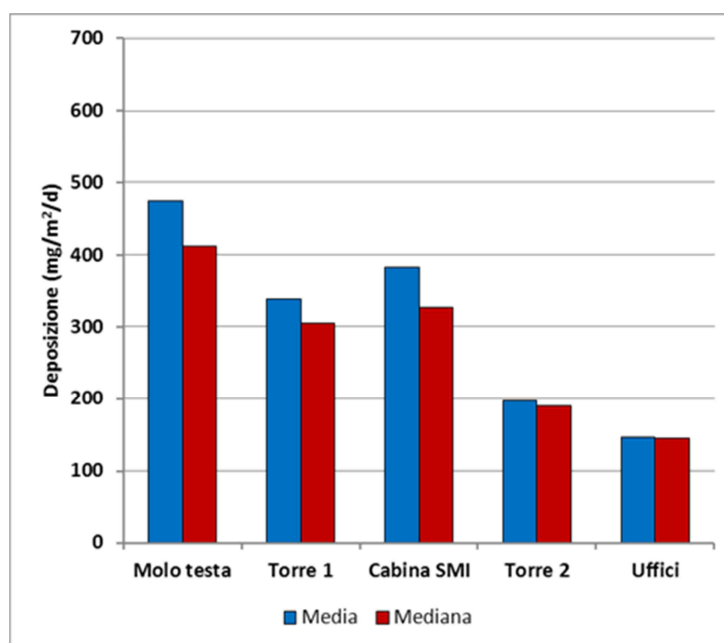


Figura 8 - Media e Mediana dei ratei di deposizione nelle postazioni (maggio 2010 – dicembre 2011). Valori in $mg/m^2/d$.

Dal confronto emerge chiaramente che nella postazione di "Testa Molo" (P1 in Fig.2) si sono avute deposizioni medie più elevate rispetto a tutte le altre postazioni. Le deposizioni medie minime si sono avute invece nella postazione "Uffici", che quindi può essere effettivamente considerata una postazione di "fondo", considerando anche il modesto rateo di deposizioni di polveri insolubili. Risalta anche la peculiarità della postazione "Cabina SMI" il cui rateo di deposizione ha valori medi e mediani intermedi tra quelli di "Testa Molo" e "Torre 1", le due postazioni più vicine alle banchine del molo.

Dato che la banchina secondaria è entrata in funzione dopo il dicembre '10, si è voluto verificare se vi fossero eventuali differenze nelle deposizioni di polveri sedimentabili insolubili. Nelle due tabelle che seguono, sono appunto riportati i dati statistici per i periodi maggio – dicembre 2010 (Tabella 12) e gennaio - dicembre 2011 (Tabella 13):

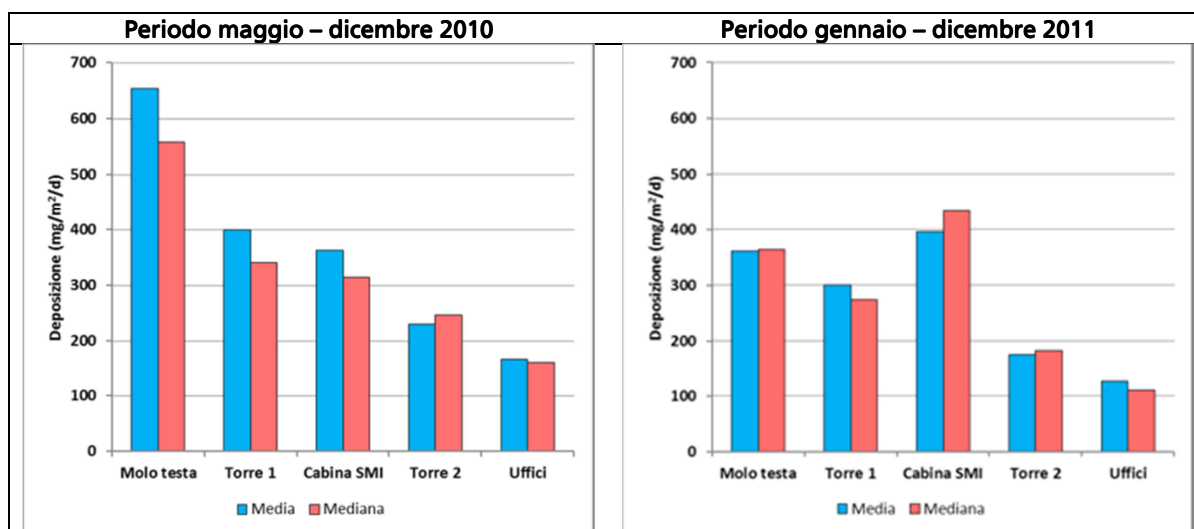
	Testa molo Post. 1	Torre 1 Post. 2	Cabina SMI Post. 3	Torre 2 Post. 4	Uffici Post. 5
n	7	7	7	7	7
Min	326	197	250	160	111
Max	1355	801	619	332	247
Media	654	400	362	230	167
Mediana	559	341	315	247	161
Dev. Stand.	340	217	135	60	44
25° percentile	447	202	269	168	133
75° percentile	786	558	469	257	195

Tabella 12 – Parametri statistici descrittivi per il periodo maggio – dicembre 2010. Valori in mg/m²/d.

	Testa molo Post. 1	Torre 1 Post. 2	Cabina SMI Post. 3	Torre 2 Post. 4	Uffici Post. 5
n	11	11	11	11	7
Min	46	73	137	100	49
Max	794	527	921	302	203
Media	361	300	396	176	126
Mediana	365	275	434	183	110
Dev. Stand.	238	152	245	61	55
25° percentile	197	161	187	122	101
75° percentile	540	480	538	222	197

Tabella 13 - Parametri statistici descrittivi per il periodo gennaio – dicembre 2011. Valori in mg/m²/d.

I dati relativi a medie e mediane dei due periodi sono confrontati graficamente nella Figura 9 (a sinistra il periodo maggio-dicembre '10; a destra il periodo gennaio-dicembre 2011) :


Figura 9 – Confronto di media e mediana dei ratei di deposizione nelle postazioni in funzione dei due periodi temporali.

Dai grafici si nota immediatamente la evidente diminuzione di polverosità media nella postazione di “Testa Molo” tra il periodo maggio-dicembre 2010 e quello gennaio-dicembre 2011, valutabile in una riduzione di circa il 42%. Tale riduzione potrebbe essere messa in relazione con la diminuzione della entità dei materiali movimentati dopo dicembre 2010, con l’entrata in funzione della banchina secondaria (v. par. 2.1).

Emerge anche che tra il 2010 ed il 2011 è avvenuta una significativa diminuzione delle polveri depositate in tutte le altre postazioni ad esclusione di “Cabina SMI”, in cui, al contrario, si è avuto un aumento delle deposizioni per la presenza del cantiere civile nei suoi pressi (si veda al par. 2.1).

I dati della Tabella 14, in cui sono confrontati i valori medi di deposizioni annuali nelle

postazioni, permettono di evidenziare i differenti andamenti annuali:

	Testa molo	Torre 1	Cabina SMI	Torre 2	Uffici
Deposizione media 2010	654	400	362	230	167
Deposizione media 2011	361	300	396	176	126
Variazione %	-45	-25	+9	-23	-25

Tabella 14 - Medie annuali delle deposizioni polveri nelle postazioni e loro variazioni. Valori in mg/m²/d.

Oltre alla variazione di polveri sedimentabili a "Testa Molo", anche nelle altre postazioni più prossime alle banchine (Torre 1 e 2) si è avuta una diminuzione significativa delle deposizioni di polveri, valutabile in circa il 23-25%. Solo a "Cabina SMI" la polverosità è aumentata del 9%, per i motivi sopra esposti, diventando la postazione con più sedimentazione di polveri nel 2011.

Per valutare l'esistenza di eventuali relazioni tra i ratei mensili di deposizione⁽⁴⁾ determinati nelle cinque postazioni, si è eseguita una analisi di correlazione valutando il valore del coefficiente di Pearson. Quest'ultimo assume il valore di +1 nel caso di massima correlazione positiva e -1 nel caso di massima correlazione negativa, mentre zero indica l'assenza di correlazione.

I risultati, per tutto il periodo da maggio '10 a dicembre '11 sono mostrati nella Tabella 15:

	Testa molo	Torre 1	Cabina SMI	Torre 2	Uffici
Testa Molo	1,00				
Torre 1	0,44	1,00			
Cabina SMI	0,04	-0,12	1,00		
Torre 2	0,47	0,64	-0,26	1,00	
Uffici	-0,34	-0,08	0,02	0,17	1,00

Tabella 15 – Coefficienti di Pearson della analisi di correlazione tra i ratei di deposizione di polveri insolubili

In generale, le deposizioni di polveri nelle postazioni risultano poco correlate tra di loro. Da un punto di vista puramente statistico, per essere effettivamente significativo, il coefficiente di Pearson in questo caso dovrebbe essere almeno maggiore di 0,5. Con questo criterio, la correlazione potrebbe essere significativa solo tra "Torre 1" e "Torre 2" ($R_p = 0,64$). In termini fisici, ciò significherebbe che le deposizioni in queste due postazioni hanno avuto solo un andamento simile, ma non essere state necessariamente influenzate dalle medesime sorgenti.

Disaggregando i periodi temporali in funzione dell'entrata in servizio della banchina secondaria (gennaio '11), si ottengono le correlazioni riportate nella Tabella 16 (periodo maggio – dicembre 2010) e nella Tabella 17 (periodo gennaio – dicembre 2011):

	Testa molo	Torre 1	Cabina SMI	Torre 2	Uffici
Testa Molo	1				
Torre 1	-0,05	1			
Cabina SMI	0,73	-0,42	1		
Torre 2	-0,08	0,59	0,03	1	
Uffici	-0,78	0,15	-0,65	0,43	1

Tabella 16 - Coefficienti di Pearson della analisi di correlazione tra i ratei di deposizione di polveri insolubili. Periodo maggio-dicembre '10.

⁴ Escludendo il campione di febbraio '11 di "Cabina SMI".

	Testa molo	Torre 1	Cabina SMI	Torre 2	Uffici
Testa Molo	1,00				
Torre 1	0,87	1,00			
Cabina SMI	-0,19	0,03	1,00		
Torre 2	0,74	0,64	-0,31	1,00	
Uffici	-0,38	-0,47	0,69	-0,61	1,00

Tabella 17 - Coefficienti di Pearson della analisi di correlazione tra i ratei di deposizione di polveri insolubili. Periodo gennaio-dicembre '11.

Nel periodo da maggio a dicembre 2010, risulta una apparente correlazione significativa solo tra "Testa Molo" e "Cabina SMI" ($R_p = 0,73$). Il fatto che le due postazioni siano parecchio distanti tra loro fa ritenere che in realtà sia una correlazione casuale, probabilmente riconducibile all'inizio dei lavori edili presso "Cabina SMI", concomitanti oltretutto con l'uso esclusivo della banchina principale per il carico e scarico dei materiali. La correlazione tra "Torre 1" e "Torre 2" ($R_p = 0,59$), dato il numero esiguo di dati è dimostrabile non essere significativa. Tra nessuna delle altre postazione, vi sono correlazioni significative.

Con l'entrata in funzione della banchina secondaria a gennaio '11 (dati in Tabella 17), emerge invece una correlazione più significativa ($R_p = 0,87$) tra le postazioni vicine alle banchine, ovvero "Testa Molo" e "Torre 1", e modesta tra "Torre 1" e "Torre 2" ($R_p = 0,64$). Relativamente significativa è anche la correlazione tra "Testa Molo" e "Torre 2" ($R_p = 0,74$). Si sottolinea che le deposizioni in questo periodo sono però anche diminuite in maniera significativa (v. Tabella 14).

La postazioni di "Cabina SMI" e di "Uffici", le cui deposizioni sono del tutto scorrelate con quelle delle altre postazioni, sono tra di loro correlate nel periodo gennaio-dicembre '11, pur con un modesto valore del coefficiente di Pearson ($R_p = 0,69$). Evidentemente le attività di cantiere civile nella zona di "Cabina SMI" sembrano aver in qualche modo influenzato anche le modestissime deposizioni di "Uffici" (rateo medio del periodo gennaio-dicembre'11 pari a 126 mg/m²/d).

Poiché le deposizioni della postazione "Uffici" sono effettivamente indipendenti da quelle delle postazioni vicine alle zone di movimentazioni dei materiali alle banchine, è lecito considerarle come effettivamente indicative di un valore di "fondo" della zona. Sottraendo quindi il valore medio del rateo di deposizione della postazione "Uffici" da quello medio delle altre postazioni si può avere una indicazione dei ratei di deposizione di polveri insolubili attribuibili alle sorgenti più a carattere industriale, comprese le movimentazioni di materiali alle banchine. I risultati sono riportati nella Tabella 18, in cui sono inseriti sia i ratei medi di deposizione per l'intero periodo di monitoraggio sia quelli disaggregati temporalmente in funzione dell'entrata in uso della banchina secondaria:

Postazione	Denominazione	Rateo medio netto di deposizione [mg/m ² /d]		
		Mag. 2010 – Dic. 2011	Mag. – Dic. 2010	Gen. – Dic. 2011
Post. 1	Testa Molo	329	488	235
Post. 2	Torre 1	192	234	174
Post. 3	Cabina SMI	236	196	270
Post. 4	Torre 2	51	63	50

Tabella 18 - Ratei di deposizione netta di polveri insolubili

Anche i ratei netti di deposizione confermano gli andamenti descritti in precedenza, ovvero che se si considera l'intero periodo maggio'10 – dicembre '11, la postazione con le maggiori deposizioni di polveri è quella di "Testa Molo". Esaminando invece separatamente i periodi *ante* e *post* entrata in funzione della banchina secondaria, le maggiori deposizioni di polveri si sono avute a "Testa Molo" quando la banchina

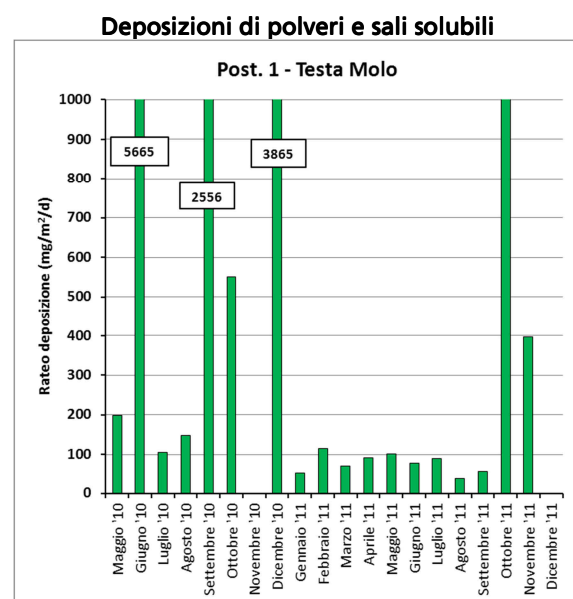
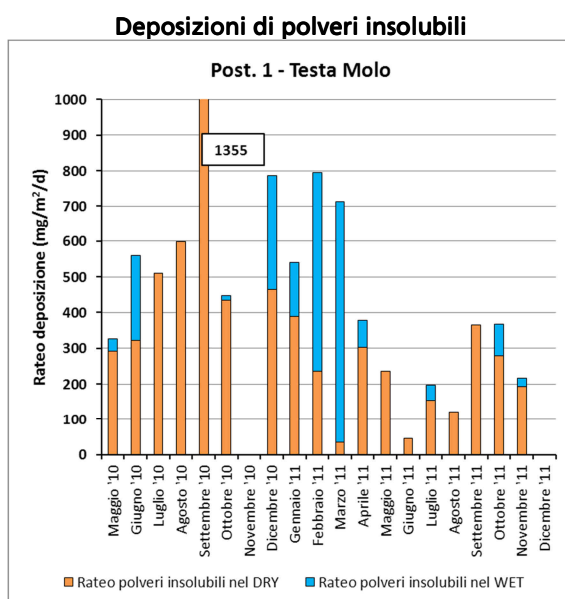
principale è stata utilizzata per tutte le movimentazioni (da maggio a dicembre '10). "Testa Molo" sarebbe stata ancora la postazione più polverosa nel 2011 qualora non ci fossero state le influenze del cantiere nelle vicinanze di "Cabina SMI" che è la più polverosa del periodo gennaio-dicembre'11.

Premesso che per le deposizioni di polveri al suolo non vi sono valori limite definiti dalla normativa nazionale, si può fare riferimento al rapporto finale del gruppo di lavoro della Commissione Centrale contro l'Inquinamento Atmosferico del Ministero dell'Ambiente e, in particolare alla classificazione "qualitativa" delle postazioni in base a cinque classi di polverosità (v. Appendice 2). Tenuto conto che si tratta comunque di deposizioni misurate in ambienti di lavoro, i dati di deposizione media annuale riportati in Tabella 14 indicano che la postazione di "Testa molo" è classificabile di elevata polverosità per il 2010 (rateo annuale di deposizione maggiore di 600 mg/m²/d) e di media polverosità nel 2011 (rateo annuale di deposizione compreso tra 251-500 mg/m²/d), le postazioni di "Torre 1" e "Cabina SMI" sono classificabili entrambe come di media polverosità sia nel 2010 sia nel 2011 e le postazioni di "Torre 2" e "Uffici" sono sempre classificabili come di bassa polverosità (rateo annuale di deposizione compreso tra 100-250 mg/m²/d).

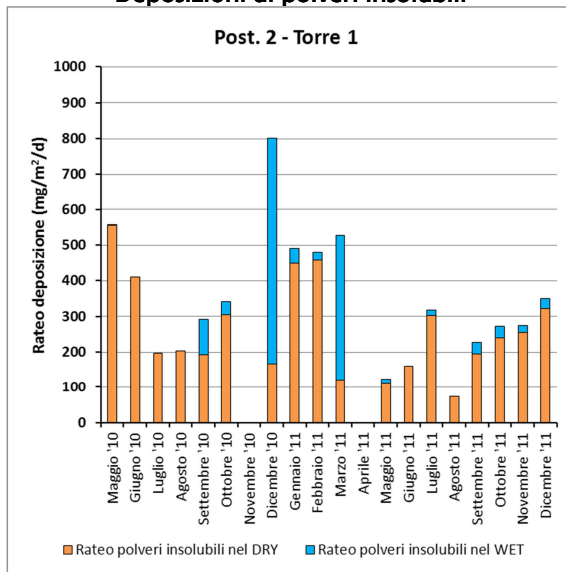
Se si considerano invece i ratei netti di deposizioni di polveri relativi all'intero periodo di monitoraggio (maggio'10-dicembre'11), riportati in Tabella 18, la postazione di "Testa Molo" si può considerare di polverosità media (rateo annuale di deposizione compreso tra 251-500 mg/m²/d) mentre le altre sono da considerarsi di bassa polverosità (rateo annuale di deposizione compreso tra 100-250 mg/m²/d). La stessa classificazione si ha per il periodo maggio-dicembre 2010, mentre tra gennaio e dicembre 2011 la postazione di "Cabina SMI" diventa di polverosità media e tutte le altre di bassa polverosità.

3.1.3 Confronto tra gli andamenti temporali dei ratei di deposizione

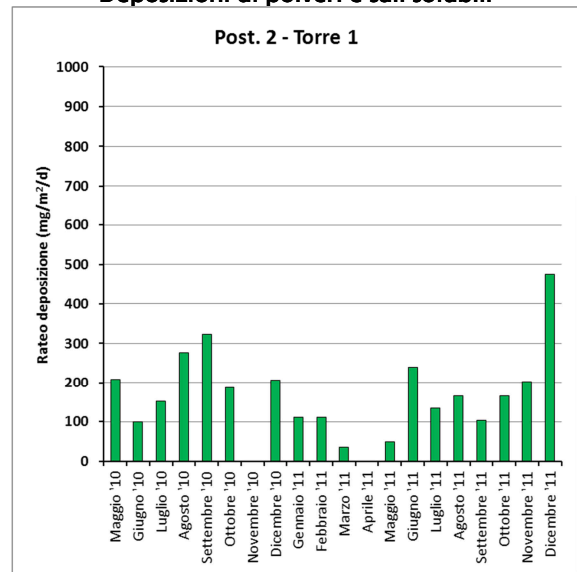
Negli istogrammi che seguono, sono mostrati gli andamenti mensili dei ratei di deposizione delle polveri insolubili e di polveri e sali solubili:



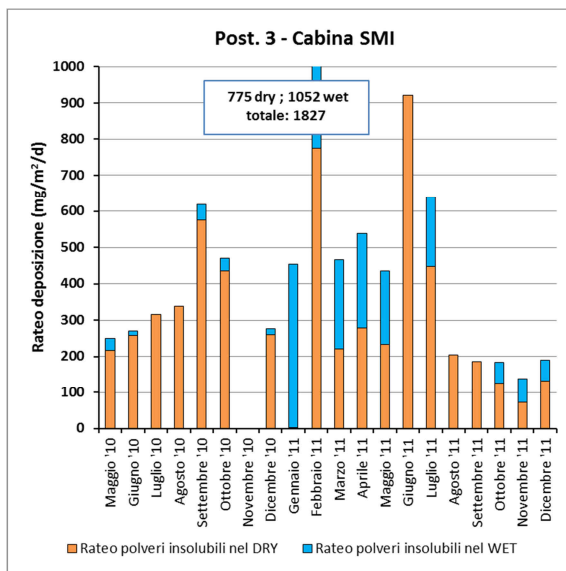
Deposizioni di polveri insolubili



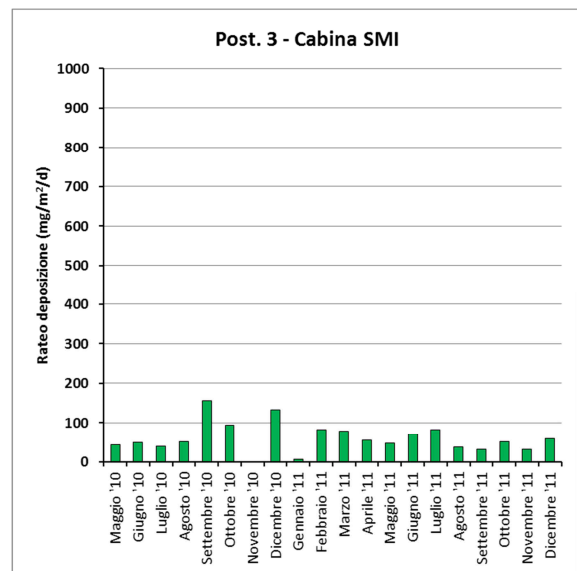
Deposizioni di polveri e sali solubili



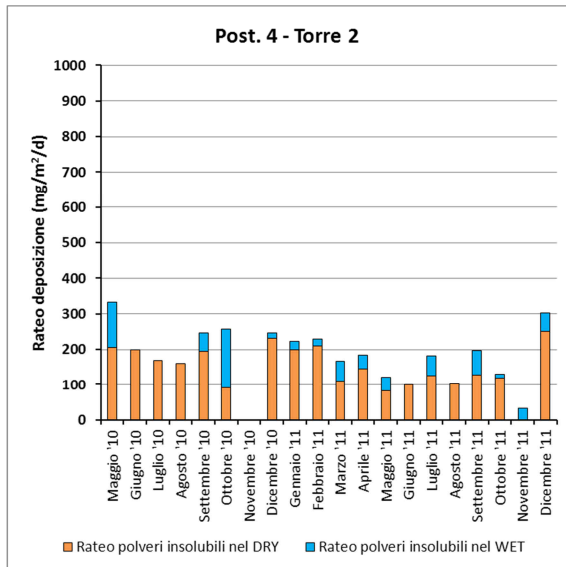
Post. 3 - Cabina SMI



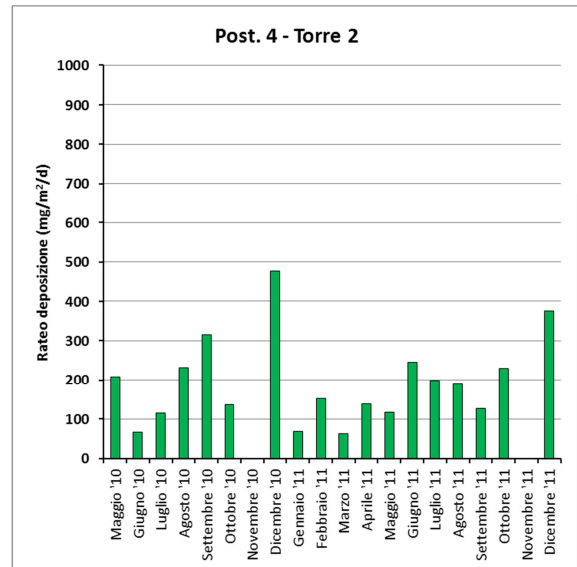
Post. 3 - Cabina SMI



Post. 4 - Torre 2



Post. 4 - Torre 2



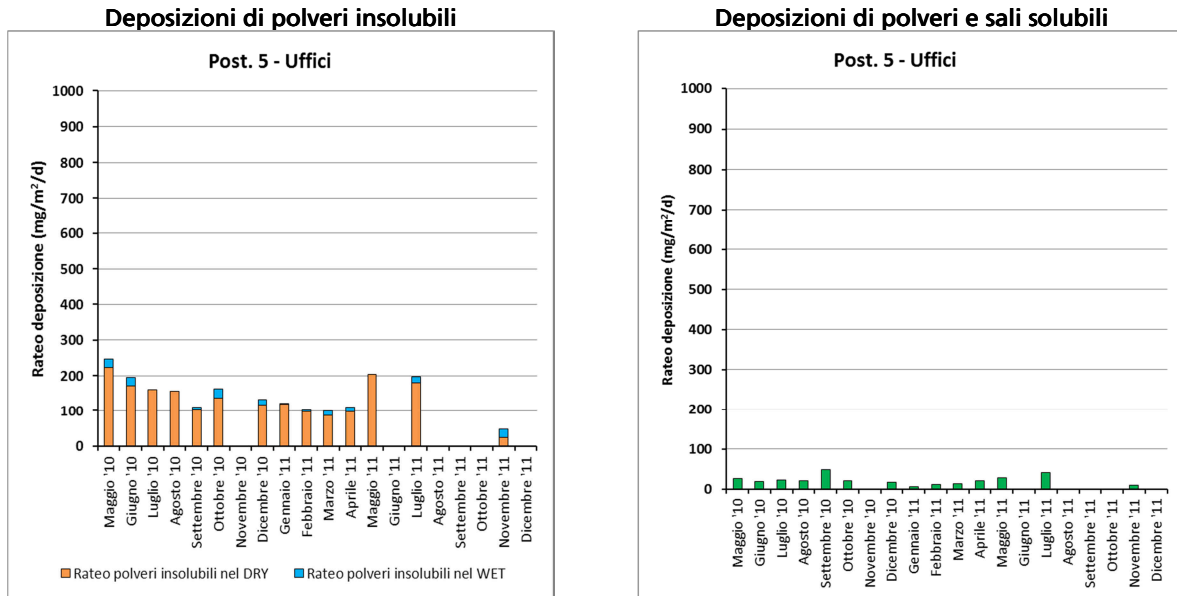


Figura 10 - Confronto tra gli andamenti temporali delle deposizioni di polveri

Dal confronto degli istogrammi dei ratei mensili di deposizione di ciascuna postazione emergono alcuni andamenti, così riassumibili:

- nella postazione di "Testa Molo" si sono avute elevate deposizioni di polveri insolubili per quasi tutto il 2010, in coincidenza con l'uso esclusivo della banchina principale per la movimentazione di tutti i materiali (v. par. 3.1), e si sono depositate praticamente solo per via secca. Non si può escludere, tuttavia, che in tale periodo possano aver influito anche i lavori di allestimento della vicina banchina secondaria. Nei primi mesi del 2011 le deposizioni di polveri insolubili sono diventate significative anche per via umida, se non addirittura preponderanti, e coincidono temporalmente col periodo dei lavori civili nella zona a nord della banchina secondaria. Dato che il meccanismo di deposizione delle polveri è abbastanza diverso da quello degli altri periodi, è possibile che i lavori civili abbiano risollevato cospicue quantità di polveri terrigene che poi sono state riportate a terra dalle piogge. Da aprile 2011, vi è stata una netta diminuzione delle deposizioni di polveri insolubili rispetto ai periodi precedenti e, pur essendoci elevata differenze dell'entità dei ratei tra un mese e l'altro, sembrano rappresentare un andamento più "normale";
- l'andamento delle deposizioni di polveri insolubili a "Torre 2" ha anch'esso aspetti peculiari. Come già illustrato al par. 3.1, la postazione ha risentito sia dei lavori di allestimento della banchina secondaria, sia dei lavori civili nella zona a nord di quest'ultima. Infatti da dicembre '10 a marzo '11, le deposizioni di polveri insolubili sono state sistematicamente elevate, a volte con significativi apporti dovuti alle piogge e quindi con un andamento simile a quello riscontrato per "Testa Molo". Mentre nei mesi estivi del 2011 si sono avute deposizioni di polveri insolubili molto basse, si può notare una tendenza all'aumento a partire da settembre '11 fino alla fine dell'anno;
- per i motivi discussi in precedenza, le deposizioni di polveri insolubili nella postazione di "Cabina SMI" hanno avuto un andamento proprio, che ha risentito soprattutto dei lavori civili eseguiti nelle sue vicinanze (v. par. 3.1.1). Come sopra ampiamente discusso, il campione di febbraio 2011, avente un rateo di deposizione di 1827 mg/m²/d, di cui oltre 1000 mg/m²/d sono stati depositati dalla pioggia, risalta per la sua eccezionalità e va messo in relazione con l'intenso periodo di lavori civili nell'intorno della postazione. Nel loro complesso, i dati di questa postazione, almeno fino al luglio

2011, sono di dubbia utilità per la valutazione delle polveri apportate da sorgenti sopravvento alle banchine;

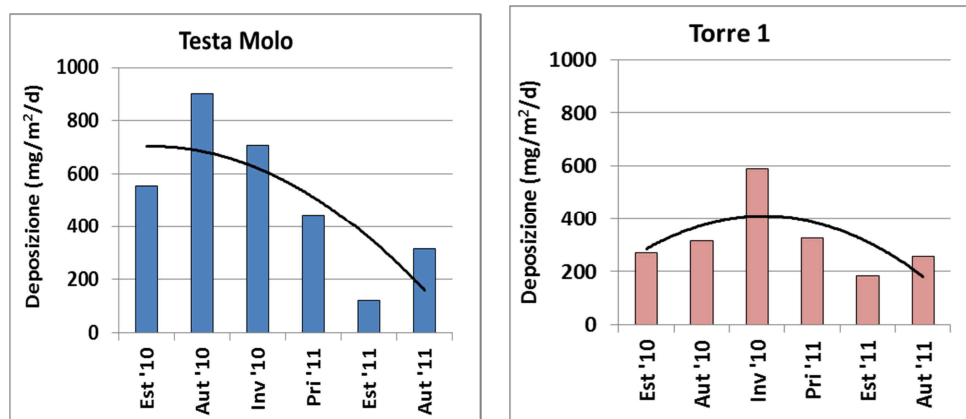
- l'esame dell'andamento temporale delle deposizioni di polveri insolubili nelle postazioni di "Torre 2" ed "Uffici" indica che esse hanno risentito meno delle influenze dei lavori civili, rimanendo contenuti, sia i valori dei ratei di deposizione sia le variazioni tra un mese e l'altro;
- per quanto riguarda le polveri e i sali solubili, i loro ratei di deposizione sono risultati normalmente di entità inferiore rispetto a quelle delle polveri insolubili, salvo eventi estemporanei specie per le postazioni più prossime al mare. In questo senso, la postazione di "Testa Molo" ha subito le maggiori influenze dallo spray marino, al punto da mascherare eventuali altri apporti. Tali deposizioni possono essere quindi trascurate nella valutazione delle eventuali influenze sulle deposizioni a seguito delle movimentazioni dei materiali alle banchine. Nel proseguo della valutazione, sono state pertanto prese in considerazione solo le polveri insolubili, sedimentate per via secca o portate a terra dalle piogge.

Per valutare eventuali andamenti temporali legati a fattori stagionali e ridurre l'ampiezza delle oscillazioni, i ratei mensili delle deposizioni di polveri insolubili totali sono stati aggregati in trimestri, mediando i dati di tre mesi in tre mesi a partire da giugno '10 fino a novembre '11 e definendoli convenzionalmente come estate (Est.: giugno, luglio agosto), autunno (Aut.: settembre ottobre, novembre), inverno (Inv.: dicembre, gennaio, febbraio) e primavera (Pri.: marzo, aprile e maggio). I risultati sono riportati nella Tabella 19, di seguito riportata:

	Ratei trimestrali medi delle deposizioni di polveri insolubili (mg/m ² /d)				
	Testa Molo	Torre 1	Cabina SMI	Torre 2	Uffici
	Post. 1	Post. 2	Post. 3	Post. 4	Post. 5
Est '10	555	270	308	176	171
Aut '10	901	316	544	252	137
Inv '10	707	591	365	233	119
Pri '11	442	325	479	158	138
Est '11	121	184	588	128	197
Aut '11	316	258	169	120	49

Tabella 19 - Ratei medi trimestrali delle polveri insolubili

La diminuzione della variabilità consente di individuare alcuni andamenti temporali che potrebbero essere associati alla variabilità stagionale almeno per i periodo non influenzati dai lavori civili in Centrale. Negli istogrammi di Figura 11 è anche stata inserita la linea di tendenza dei dati per evidenziare un eventuale andamento stagionale:



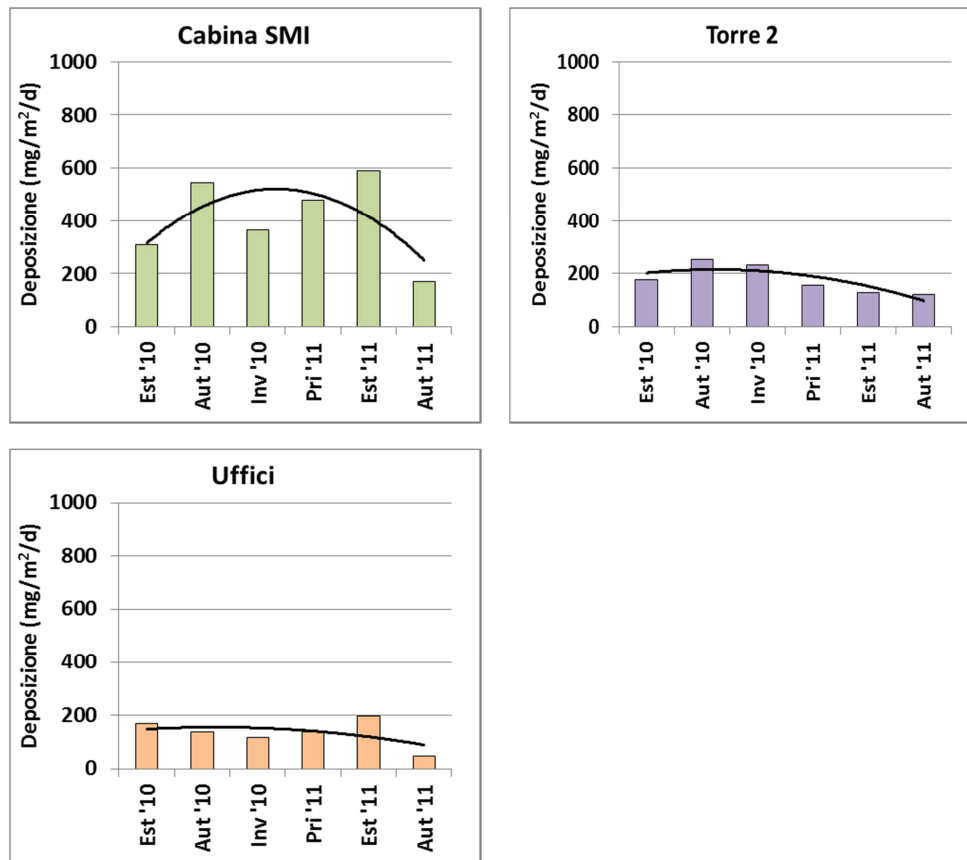


Figura 11 - Deposizioni medie trimestrali di polveri insolubili

Dai grafici precedenti, si possono trarre le seguenti osservazioni:

- per la postazione di "Testa Molo", per i motivi sopra esposti, gli andamenti stagionali sono poco significativi fino alla primavera del 2011. Si può notare un aumento delle deposizioni medie tra l'estate e l'autunno del 2011 che richiederebbero però una conferma più estesa per poter escludere la casualità;
- le deposizioni stagionali di polveri insolubili a "Torre 1" risentono dell'aumento nell'inverno '10 dovuto ai motivi già evidenziati. Escludendo questo periodo, non si notano particolari variazioni stagionali;
- come ampiamente messo in evidenza, le deposizioni di polveri di "Cabina SMI" sono poco indicative delle "normali" condizioni di sedimentazione atmosferica, pertanto non si possono fare commenti;
- per la postazione di "Torre 2", risultata meno soggetta ad interferenze estemporanee, si nota invece una tendenza ad una diminuzione delle medie stagionali delle deposizioni di polveri insolubili, non necessariamente legato a fattori stagionali;
- le deposizioni nella postazione "Uffici" sembrerebbero invece seguire un ciclo stagionale con massimi relativi nei periodi estivi e minimi in autunno-inverno. Va però osservato che i valori medi "stagionali" sono molto vicini tra di loro e potrebbero non essere indicativi di una vera e propria tendenza.

In pratica, non emergono chiaramente andamenti associabili ad andamenti stagionali. Si sono quindi ricercate eventuali correlazioni tra deposizioni e direzioni dei venti, e tra deposizioni e quantità di materiali movimentati durante le operazioni di carico e scarico dei materiali alle banchine. I risultati sono riportati nel par. 4.

3.2 Parametri anemologici

Le rose dei venti mensili sono state ricavate dai dati forniti dalla stazione meteorologica della Centrale di Torrevaldaliga Nord e sono riportate in APPENDICE 1. La Tabella 20 riporta invece le frequenze mensili assolute della direzione del vento:

	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
Maggio '10	5	75	62	25	18	30	124	25	113	62	35	56	42	35	21	5
Giugno '10	4	85	79	36	24	30	23	20	126	47	43	52	37	64	26	5
Luglio '10	4	67	105	53	29	21	14	16	124	72	63	51	47	49	16	4
Agosto '10	1	42	113	47	30	29	30	24	133	59	38	70	53	42	16	2
Settembre '10	3	84	77	32	21	36	72	15	93	138	43	21	25	28	18	6
Ottobre '10	8	166	113	22	17	55	99	10	83	43	45	22	12	16	15	5
Novembre '10	3	38	93	39	34	78	126	18	70	60	81	23	14	9	22	4
Dicembre '10	5	121	116	28	22	53	172	31	59	32	61	15	6	2	7	11
Gennaio '11	5	159	160	45	19	55	161	20	26	17	11	13	10	18	12	6
Febbraio '11	9	151	132	37	19	57	50	21	49	31	19	13	15	28	28	12
Marzo '11	4	160	134	31	17	47	112	22	60	26	16	15	31	32	22	9
Aprile '11	5	130	154	48	29	26	39	13	84	25	20	24	24	44	23	17
Maggio '11	4	107	99	48	27	18	36	21	89	39	27	55	42	52	36	28
Giugno '11	3	62	89	32	25	13	49	20	117	56	42	53	63	54	24	12
Luglio '11	3	28	62	28	17	40	80	32	226	61	24	45	54	19	14	5
Agosto '11	6	60	109	57	37	23	36	24	93	50	34	56	67	45	24	6
Settembre '11	1	75	113	67	34	34	31	20	93	33	25	60	38	35	26	23
Ottobre '11	4	127	162	61	27	36	60	15	57	48	29	29	26	22	22	11
Novembre '11	3	83	225	117	24	52	96	3	17	11	8	11	15	34	12	3
Dicembre '11	8	122	100	49	30	52	105	7	56	63	45	27	22	22	17	15

Tabella 20 - Frequenze assolute di direzione del vento

Nella Figura 12, i dati della tabella precedente sono riassunti in forma grafica in termini di frequenza cumulata per ciascuna direzione di provenienza del vento.

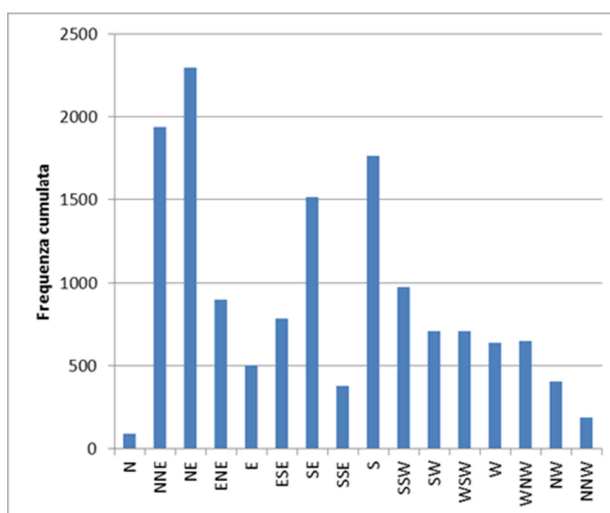


Figura 12 - Frequenza cumulata delle direzioni del vento

Si può osservare che i venti prevalenti nel periodo in esame sono provenuti preferibilmente dal quadrante NE (direzioni da NNE e NE) e dal quadrante SE (direzione da SE). Vi è inoltre anche una notevole componente da Sud. Gli andamenti riscontrati sono in buon accordo con la rosa media dei venti per il periodo 1996-2001 riportata in precedenza (v. Figura 1).

I dati di frequenza di provenienza del vento sono stati utilizzati per individuare eventuali correlazioni con le deposizioni di polveri insolubili (v. par 4.1.1).

4 POTENZIALI CORRELAZIONI TRA DEPOSIZIONI E ATTIVITÀ ALLE BANCHINE

Allo scopo di valutare se le polveri insolubili depositate nelle postazioni di misura siano in relazione con le attività delle banchine del molo, è stata eseguita una ricerca delle eventuali correlazioni esistenti tra deposizioni e dati meteorologici e tra deposizioni e movimentazione di materiali alle banchine. Non sono stati presi in considerazione i dati di polveri e sali solubili per l'eccessiva interferenza dello spray marino. Si è tenuto conto anche che la banchina secondaria è entrata in funzione da gennaio '11.

4.1.1 Correlazioni tra deposizioni e condizioni anemologiche

Per individuare eventuali direzioni preferenziali di provenienza delle polveri insolubili raccolte nei deposimetri, si sono ricercate le possibili correlazioni esistenti tra il regime dei venti e l'entità delle deposizioni, tenendo presente la posizione relativa di ciascuna postazione rispetto ai punti emissivi delle banchine del molo e distinguendo tra i due periodi *ante* e *post* messa a regime della banchina secondaria. Allo scopo, si è fatto ancora ricorso alla analisi statistica, stimando il valore assunto dal coefficiente di correlazione di Pearson tra i dati di frequenza della direzione di provenienza del vento, riportati nella Tabella 20, e i valori di deposizione mensili. Il coefficiente di Pearson, si ricorda, assume il valore di +1 nel caso di massima correlazione positiva tra i dati e -1 nel caso di massima correlazione negativa; un valore prossimo a zero, indica invece una totale assenza di correlazione.

I risultati della analisi statistica di correlazione tra deposizioni del periodo **maggio-dicembre 2010** sono riassunti nella Tabella 21:

	Testa Molo Post. 1	Torre 1 Post. 2	Cabina SMI Post. 3	Torre 2 Post. 4	Uffici Post. 5
N	-0,25	0,41	0,23	0,64	0,39
NNE	0,05	0,41	0,43	0,48	0,01
NE	-0,03	-0,02	0,04	-0,42	-0,49
ENE	-0,09	-0,62	-0,30	-0,84	-0,31
E	-0,07	-0,50	-0,39	-0,88	-0,38
ESE	0,23	0,56	0,39	0,44	-0,18
SE	0,17	0,89	0,07	0,80	0,20
SSE	-0,04	0,67	-0,68	0,16	0,18
S	-0,47	-0,70	-0,41	-0,54	0,23
SSW	<i>0,68</i>	-0,47	<i>0,65</i>	-0,11	-0,43
SW	0,20	0,24	-0,05	-0,20	-0,31
WSW	-0,63	-0,47	-0,64	-0,40	0,39
W	-0,43	-0,62	-0,45	-0,47	0,24
WNW	-0,36	-0,61	-0,40	-0,53	0,21
NW	-0,29	-0,43	-0,16	-0,09	0,40
NNW	0,46	0,87	0,05	0,47	-0,13

Tabella 21 – Valori dei coefficienti di Pearson delle correlazioni fra direzione di provenienza del vento e deposizioni mensili di polveri insolubili (maggio – dicembre 2010)

Sono stati evidenziati in grassetto i valori dei coefficienti di Pearson maggiori di 0,8 che si possono considerare indicativi di una buona correlazione tra i dati mentre per valori inferiori a 0,6-0,7 la correlazione può essere considerata debole. Con questi presupposti, si individuano tre significative correlazioni tra ratei di deposizione e direzioni del vento: "Torre 1" e "Torre 2" con venti da sud est e "Torre 1" con venti da nord nordovest.

Per la postazione di "Uffici" non si riscontra alcuna correlazione significativa con le direzioni del vento. Per "Testa Molo" e per "Cabina SMI" vi è una debole correlazione tra deposizioni e vento da sud sudovest (evidenziate in corsivo nella tabella precedente).

Le direzioni di vento individuate dalla analisi di correlazione sono rappresentate nella Figura 13, che riporta un estratto della planimetria della Centrale della zona di ubicazione delle postazioni. Nella figura, le frecce di colore azzurro rappresentano una debole correlazione tra la deposizione di polveri e la direzione del vento (coefficiente di Pearson $< 0,7$) mentre quelle di colore rosso il caso di una elevata significatività della correlazione (coefficiente di Pearson $\geq 0,8$).

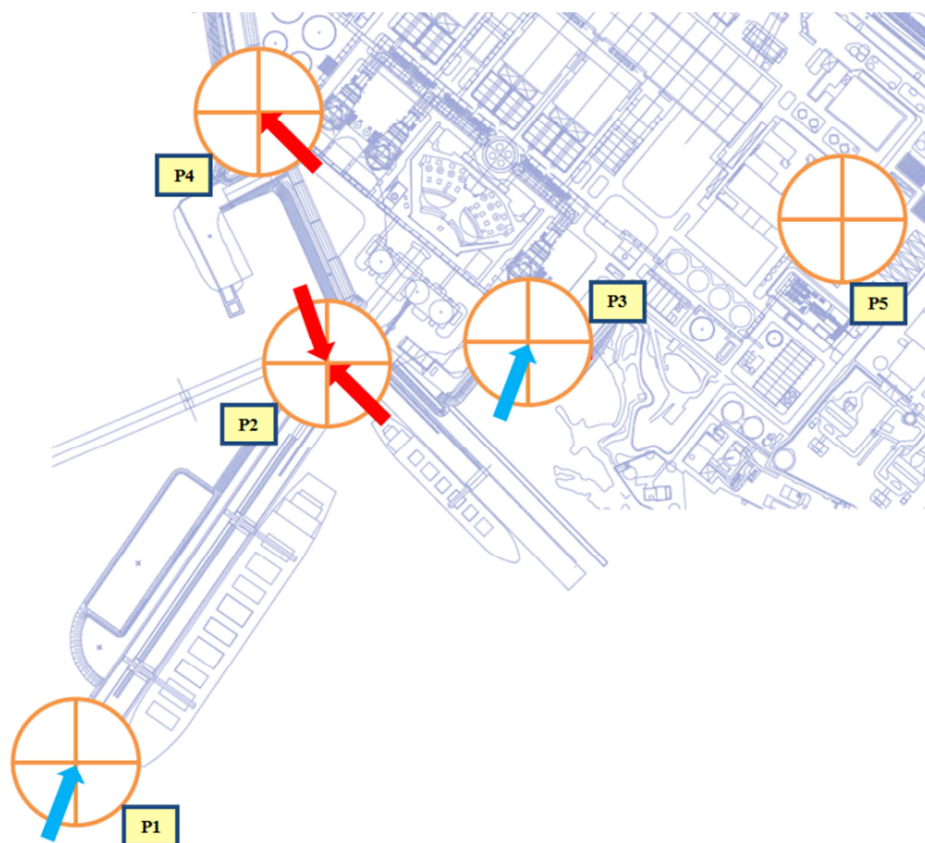


Figura 13 - Quadro sintetico delle direzioni di provenienza del vento correlate positivamente con le deposizioni. Le direzioni che mostrano correlazioni più forti sono rappresentate da frecce in rosso (maggio – dicembre 2010).

Nel periodo di utilizzo della sola banchina principale, non sembra di ravvisare che le deposizioni di polveri nelle postazioni diverse da "Testa Molo" (da P2 a P5 in figura) siano state influenzate da apporti di polveri emesse dalla movimentazione dei materiali e ivi trasportate dal vento, in quanto non coincidono le possibili direzioni medie del vento. Le deposizioni di "Torre 1" (P2 in figura) e "Torre 2" (P4 in figura) sono state invece influenzate entrambe da venti da sudest e confermano la pur debole correlazione già emersa tra esse quando si è presa in considerazione solo l'entità dei ratei di deposizione (v. Tabella 16). La direzione da sudest coincide con possibili emissioni di polveri dai lavori di cantiere nella zona a nordest della banchina secondaria. Le deposizioni di "Cabina SMI" (P3 in figura), oltre alla polverosità indotta dal cantiere nel suo circondario, potrebbero essere state anche in parte influenzate dai lavori alla banchina secondaria ed infatti si ha una modesta correlazione con i venti provenienti appunto dalla zona della banchina secondaria.

I risultati della analisi statistica di correlazione tra deposizioni del periodo gennaio-dicembre 2011 sono riassunti nella seguente Tabella 22:

	Testa Molo Post. 1	Torre 1 Post. 2	Cabina SMI Post. 3	Torre 2 Post. 4	Uffici Post. 5
N	0,46	0,29	0,40	0,41	-0,22
NNE	0,83	0,67	0,16	0,37	-0,40
NE	0,23	0,20	-0,27	0,09	-0,92
ENE	-0,30	-0,31	-0,57	-0,09	-0,67
E	-0,52	-0,75	-0,50	-0,23	-0,04
ESE	0,67	0,81	0,06	0,75	-0,62
SE	0,40	0,76	-0,17	0,53	-0,27
SSE	0,05	0,00	0,40	-0,42	0,80
S	-0,41	-0,24	0,19	-0,18	0,80
SSW	-0,53	-0,34	0,03	-0,09	0,85
SW	-0,59	-0,46	-0,05	-0,13	0,85
WSW	-0,67	-0,78	-0,15	-0,56	0,88
W	-0,66	-0,64	0,00	-0,67	0,83
WNW	-0,45	-0,70	0,09	-0,65	0,06
NW	0,02	-0,44	0,29	-0,53	0,33
NNW	0,00	-0,34	-0,01	-0,05	0,46

Tabella 22 - Valori dei coefficienti di Pearson delle correlazioni fra direzione di provenienza del vento e deposizioni mensili di polveri insolubili (gennaio – dicembre 2011)

Le correlazioni significative tra deposizioni di polveri e direzioni del vento, sono mostrate graficamente nella Figura 14, con la stessa convenzione di rappresentazione usata in precedenza:

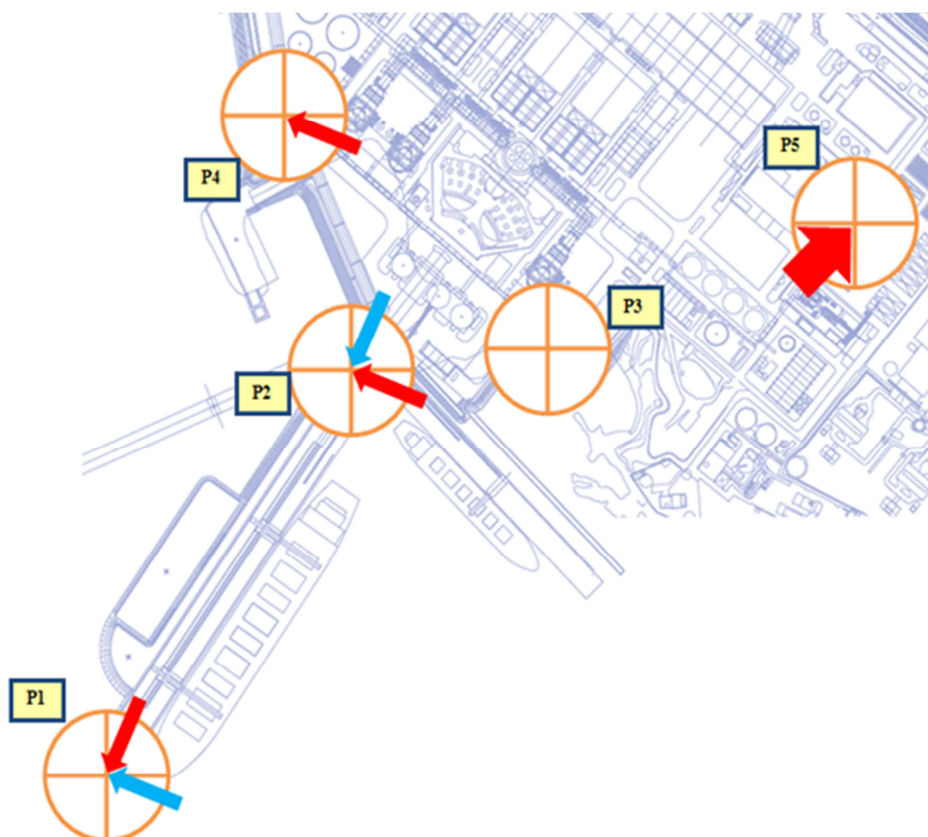


Figura 14 - Quadro sintetico delle direzioni di provenienza del vento correlate positivamente con le deposizioni. Le direzioni che mostrano correlazioni più forti sono rappresentate da frecce in rosso (gennaio – dicembre 2011).

Rispetto al periodo maggio-dicembre 2010, le deposizioni a “Testa Molo” (P1 in figura) sono risultate nel 2011 abbastanza ben correlate con vento da nord nordest e debolmente da est sudest. La prima direzione è compatibile con polveri provenienti dalla

zona di attracco delle navi alla banchina principale, la seconda indicherebbe apporti dal mare e quindi potrebbe essere anche casuale. Le polveri disperse a "Testa Molo" non sono però state abbastanza volatili da influenzare le deposizioni della postazione di "Torre 1" (P2 in figura). Quest'ultima postazione, come "Torre 2" (P4 in figura), ha subito invece apporti di polveri provenienti da est sudest, cioè dalla zona della banchina secondaria e/o dalla zona di esecuzione dei lavori civili, a nord della banchina secondaria. Per le deposizioni di postazione di "Torre 1" vi è stata anche una debole influenza da venti da nord nordest, ovvero dagli impianti della Centrale.

Le deposizioni di polveri a "Cabina SMI" non sono correlate con alcuna direzione di vento e quindi confermano l'origine locale delle emissioni che, si ricorda, sono state nel periodo gennaio-dicembre '11 particolarmente elevate e associabili ai lavori di cantiere. Le polveri più fini, emesse appunto durante i lavori di cantiere, possono essersi depositate anche nella postazione di "Uffici" (P5 in figura) che mostra una forte correlazione con il vento dall'intero quadrante sud occidentale.

In sunto, le deposizioni misurate presso le cinque postazioni evidenziano una scarsa dispersione di polveri dalla banchina principale sia nel periodo in cui è stata l'unica ad essere utilizzata per la movimentazione dei materiali sia quando è stata usata solo per lo scarico del carbone. Il fatto che nella postazione di "Testa Molo" vi siano state sempre le maggiori deposizioni potrebbe in effetti denotare che le polveri sono di granulometria grossolana e quindi poco volatili.

Per le deposizioni nelle postazioni di "Torre 1" e "Torre 2", entrambe correlate con venti provenienti da est sudest, cioè dalla zona della banchina secondaria o dalla zona di esecuzione dei lavori civili, non è invece possibile distinguere quanto abbiano pesato quantitativamente le polveri emesse da l'una o dall'altra sorgente (banchina secondaria o cantiere).

4.1.2 Correlazioni tra deposizioni e movimentazioni di materiali alle banchine

Per integrare l'analisi statistica effettuata tra deposizioni e parametri anemologici, si sono ricercate eventuali correlazioni anche con la quantità dei materiali movimentati alle banchine.

I dati di movimentazione giornaliera dei materiali sono stati forniti dalla Centrale e sono stati aggregati in quantitativi "mensili", sincronizzandoli con i periodi di campionamento delle polveri sedimentabili. La Tabella 23 riporta i dati aggregati mensilmente per le movimentazioni avvenute tra maggio 2010 e dicembre 2011, distinte per tipo di materiale. I valori sono espressi in tonnellate:

	Carbone	Calcare	Ceneri	Gesso	TOTALE	CARICO totale (Gesso + Ceneri)	SCARICO totale (Carbone + Calcare)
Maggio '10	145'232	0	6'925	0	152'158	6'925	145'232
Giugno '10	160'359	9'544	11'235	5'405	186'542	16'640	169'903
Luglio '10	328'395	5'055	7'630	6'270	347'350	13'900	333'450
Agosto '10	256'399	8'357	27'917	6'437	299'109	34'353	264'756
Settembre '10	276'559	8'343	14'146	6'251	305'298	20'397	284'901
Ottobre '10	275'869	8'330	14'941	6'200	305'341	21'142	284'199
Novembre '10	151'477	0	10'802	0	162'279	10'802	151'477
Dicembre '10	308'860	0	8'902	5'135	322'897	14'037	308'860
Gennaio '11	297'515	9'109	18'969	5'201	330'794	24'170	306'624
Febbraio '11	278'572	17'762	26'993	5'065	328'392	32'058	296'334
Marzo '11	500'985	0	26'389	5'928	533'302	32'318	500'985
Aprile '11	328'507	8'150	18'516	5'509	360'682	24'025	336'657

	Carbone	Calcare	Ceneri	Gesso	TOTALE	CARICO totale (Gesso + Ceneri)	SCARICO totale (Carbone + Calcare)
Maggio '11	302'944	6'740	13'883	2'441	326'008	16'324	309'684
Giugno '11	386'173	13'520	18'166	12'245	430'104	30'411	399'693
Luglio '11	287'747	6'650	26'408	6'328	327'133	32'736	294'397
Agosto '11	384'038	6'670	32'391	5'531	428'630	37'922	390'708
Settembre '11	251'984	0	26'175	6'536	284'695	32'711	251'984
Ottobre '11	330'815	6'720	25'162	0	362'697	25'162	337'535
Novembre '11	389'075	0	17'546	5'698	412'319	23'244	389'075
Dicembre '11	340'839	13'043	8'691	0	362'573	8'691	353'882

Tabella 23 - Movimentazioni mensili di materiali presso le banchine del molo. Valori in tonnellate.

Per ogni mese sono stati calcolati e riportati anche il totale dei materiali movimentati, come somma delle movimentazione del carbone e calcare scaricati dalle navi e del gesso e ceneri invece caricati sulle navi. Come introdotto in precedenza, il progetto prevedeva che, a regime, lo scarico delle navi carboniere avvenisse solo alla banchina principale mentre alla banchina secondaria fosse effettuato lo scarico delle navi che trasportano il calcare e il carico di quelle che asportano gesso e ceneri. In tal senso, la messa a regime delle banchine è avvenuta a partire dal gennaio 2011 con il collaudo della banchina secondaria e dei sistemi correlati per il carico/scarico; in precedenza, è stata usata solo la banchina principale per tutte le movimentazioni.

Anche in questo caso, si sono distinti i due periodi di differente modalità di utilizzo delle banchine e si è valutato il grado di correlazione tra l'entità della movimentazione dei materiali e i dati mensili di deposizioni di polveri insolubili. I coefficienti di Pearson delle correlazioni per il periodo maggio-dicembre 2010 sono riportati nella Tabella 24:

	Testa Molo Post. 1	Torre 1 Post. 2	Cabina SMI Post. 3	Torre 2 Post. 4	Uffici Post. 5
Carico	-0,37	-0,57	0,23	-0,67	-0,51
Scarico	0,42	-0,16	0,44	-0,50	-0,66

Tabella 24 - Coefficienti di correlazione di Pearson tra i dati di deposizioni di polveri e quantità di materiali movimentata alle banchine (maggio - dicembre 2010).

Risulta molto evidente che non vi è correlazione diretta tra quantità di materiali movimentati e quantità di polveri depositate nelle postazioni più prossime alla banchina principale, l'unica in uso nel periodo. Neppure le deposizioni di "Testa Molo", molto vicina alla zona di movimentazione dei materiali, è risultata correlata con la quantità dei materiali scaricati o caricati. La mancanza di correlazione conferma che la deposizione di polveri è dipesa da eventi estemporanei, in cui ha contato probabilmente anche la granulometria del materiale movimentato e non le modalità di conduzione degli impianti.

Prendendo in considerazione il periodo da gennaio a dicembre 2011, in cui entrambe le banchine sono state funzionanti, si ottengono i seguenti valori dei coefficienti di Pearson (Tabella 25):

	Testa Molo Post. 1	Torre 1 Post. 2	Cabina SMI Post. 3	Torre 2 Post. 4	Uffici Post. 5
Carico	0,05	-0,07	0,25	-0,48	-0,07
Scarico	0,09	0,19	0,12	-0,24	-0,43

Tabella 25 - Coefficienti di correlazione di Pearson tra i dati di deposizioni di polveri e quantità di materiali movimentata alle banchine (gennaio - dicembre 2011).

Anche in questo caso, i valori calcolati dei coefficienti di Pearson indicano una totale mancanza di correlazione tra le deposizioni di polveri e la quantità di materiali movimentati e i valori negativi stanno a significare addirittura una anti correlazione.

Sebbene le deposizioni di polveri sedimentabili avvengano in misura maggiore nelle postazioni più vicine alle banchine ("Testa Molo" e "Torre 1"), dalle valutazioni statistiche sopra esposte sembrerebbe quindi che le deposizioni non siano legate a sistematiche attività di movimentazione dei materiali. Non si è pertanto proceduto ad ulteriori approfondimenti.

5 CONCLUSIONI

Le misure di deposizioni di polveri condotte presso le banchine del molo della centrale ENEL di Civitavecchia hanno permesso di avere una indicazione delle potenziali dispersioni di polveri dovute alle movimentazioni di materiali alle banchine. Delle tipologie di polveri sedimentabili raccolte dai deposimetri, differenziabili in polveri insolubili e solubili in acqua (v. par. 2.3 per una discussione del significato da attribuire a tale distinzione), queste ultime sono risultate troppo interferite dallo spray marino per essere utilizzate a fini diagnostici.

In base ai risultati ottenuti dalle misure ed elaborazioni statistiche condotte sui risultati relativi alle polveri sedimentabili insolubili, al momento si possono trarre le seguenti conclusioni:

- il posizionamento dei deposimetri è risultato in linea generale coerente con le risultanze modellistiche e le maggiori deposizioni di polveri si sono riscontrate nella postazione di "Testa Molo", la più prossima al punto di emissione rappresentato dalle operazioni di scarico del carbone dalle navi alla banchina principale. Le minori deposizioni si sono avute invece nella postazione di "Uffici", sopravvento ai punti emissivi, che si conferma essere una postazione di fondo. Considerando il valore medio delle deposizioni di polveri nell'intero periodo di monitoraggio (maggio 2010 – dicembre 2011), escludendo quelle anomale di "Cabina SMI", le postazioni si classificano nel seguente ordine: "Testa molo" > "Torre 1" > "Torre 2" > "Uffici";
- le deposizioni a Cabina SMI, sopravvento ai punti emissivi delle banchine, sembrano seguire un andamento temporale proprio, con una tendenza ad un aumento progressivo difficilmente imputabile alle emissioni di polveri dalle banchine. Tale asserzione è supportata, sia da considerazioni di tipo anemologico, sia dalla assenza di correlazioni con le quantità di materiali scaricati o caricati dalle navi. E' stato per altro appurato che tale postazione ha subito pesanti influenze da parte dei cantieri edili che si sono succeduto nel 2010 e in buona parte del 2011 nelle sue vicinanze. Pertanto, la sua elevata polverosità non è in relazione con le attività di movimentazione dei materiali alle banchine;
- in tutte le postazioni, le deposizioni di polveri non sembrano avere andamenti stagionali. In ogni caso, le influenze dovute ai lavori di allestimento della banchina secondaria durante il 2010 e i lavori di cantiere civile del 2011 possono avere alterato un eventuale dipendenza delle deposizioni da fattori stagionali;
- dalle valutazioni statistiche utilizzate per individuare eventuali correlazioni, è emerso che le deposizioni di polveri non sono correlate con la quantità dei materiali movimentati alle banchine, sia nel periodo in cui ha funzionato solo la banchina principale sia successivamente quando sono state utilizzate entrambe le banchine;
- allo stesso modo, l'analisi statistica non ha messo in luce evidenti correlazioni tra deposizioni e direzioni di provenienza del vento compatibili con le emissioni dalle banchine. Al contrario, emergono possibili correlazioni tra deposizioni e le direzioni di vento che possono aver disperso le polveri del cantiere civile che ha interessato per buona parte del 2011 la zona a nordest della banchina secondaria;
- il fatto che nella postazione di "Testa molo" vi siano sempre le maggiori deposizioni relative potrebbe denotare che le polveri disperse dalle attività della banchina principale siano di granulometria grossolana, quindi poco volatili, e difficilmente soggette a dispersione nell'intorno della banchina.

Da notare, infine, la significativa diminuzione della quantità di polveri depositate nelle postazioni sottovento alle banchine se si confronta il periodo precedente alla messa in

funzione della banchina secondaria (maggio - dicembre 2010) con quello successivo (gennaio - dicembre 2011) in cui la movimentazione dei materiali è presumibilmente andata a regime e sono diminuite le influenze dovute ad altre sorgenti.

APPENDICE 1

Rose del vento mensili da maggio 2010 a dicembre 2011

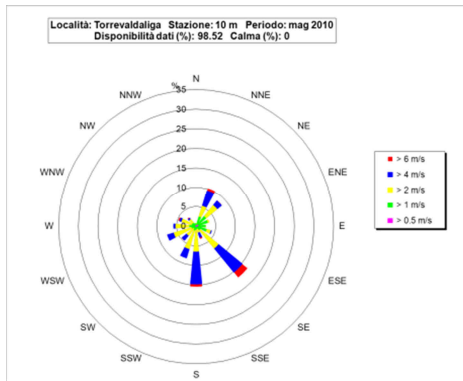


Figura A1/1 – Rosa dei venti maggio 2010

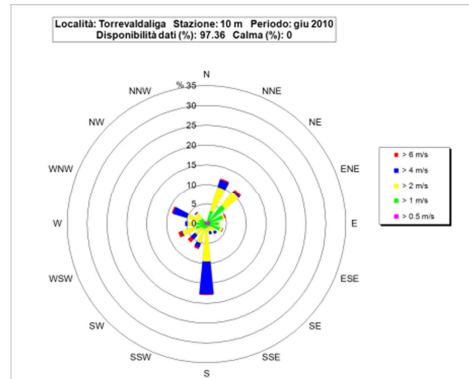


Figura A1/2 – Rosa dei venti giugno 2010

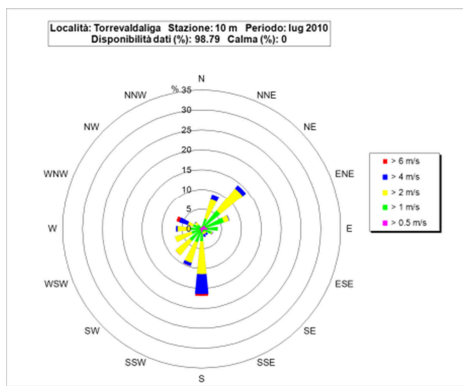


Figura A1/3 – Rosa dei venti luglio 2010

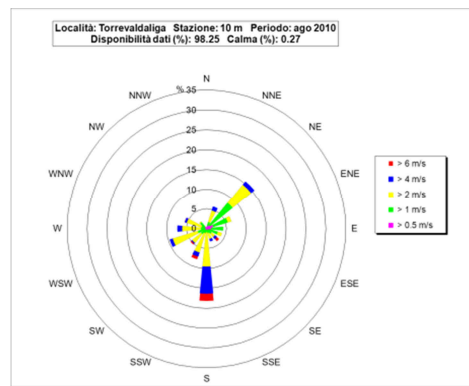


Figura A1/4 – Rosa dei venti agosto 2010

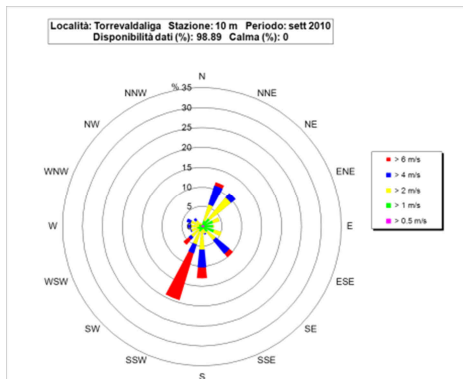


Figura A1/5 – Rosa dei venti settembre 2010

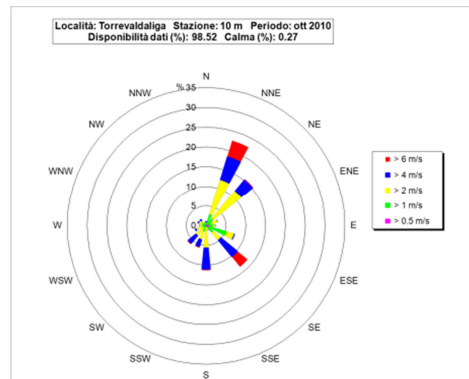


Figura A1/6 – Rosa dei venti ottobre 2010

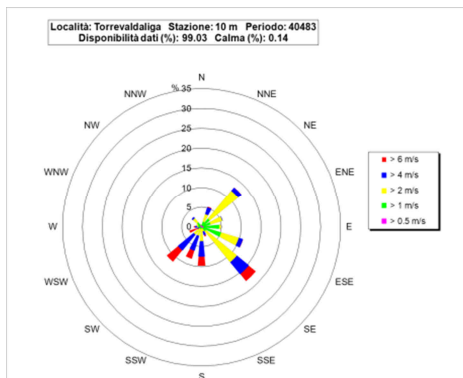


Figura A1/7 – Rosa dei venti novembre 2010

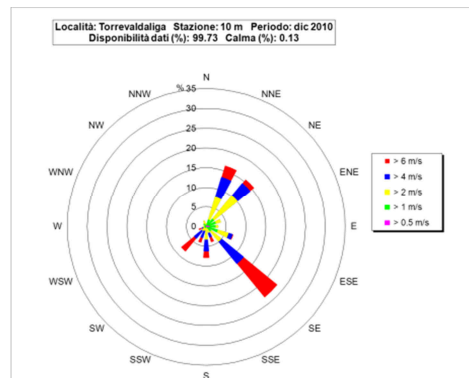


Figura A1/8 – Rosa dei venti dicembre 2010

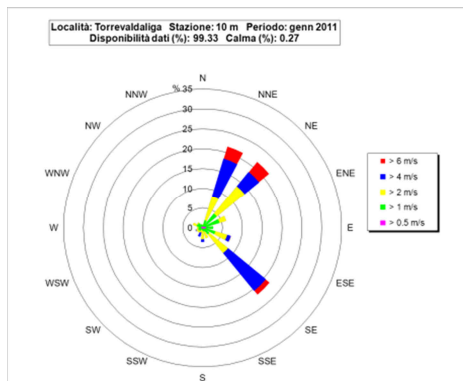


Figura A1/9 – Rosa dei venti gennaio 2011

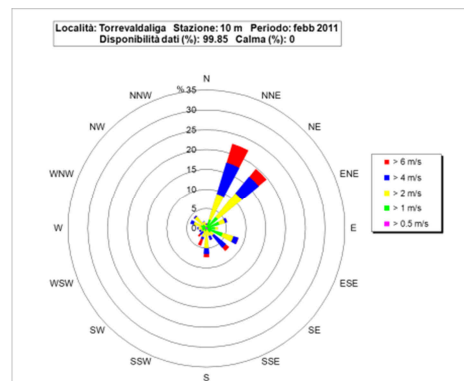


Figura A1/10 – Rosa dei venti febbraio 2011

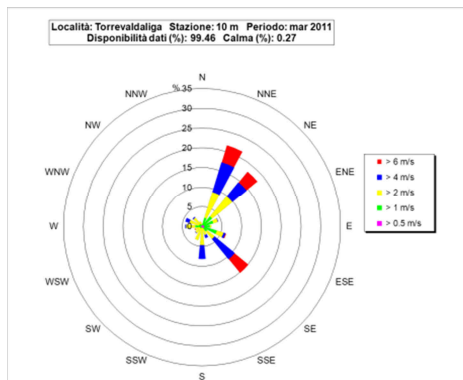


Figura A1/11 – Rosa dei venti marzo 2011

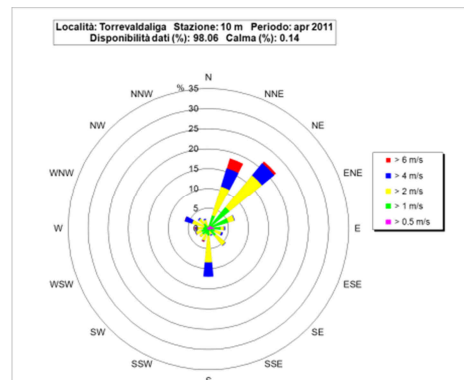


Figura A1/12 – Rosa dei venti aprile 2011

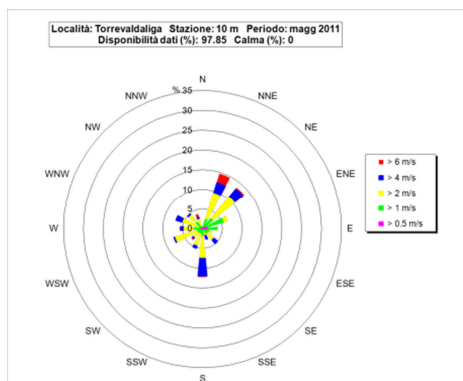


Figura A1/13 – Rosa dei venti maggio 2011

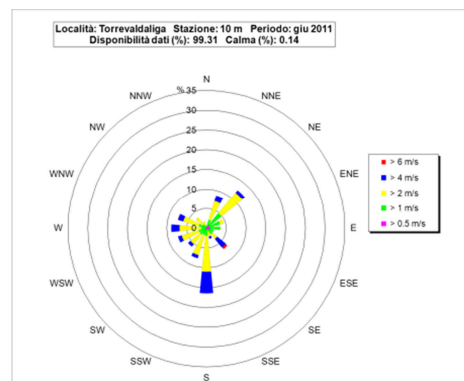


Figura A1/14 – Rosa dei venti giugno 2011

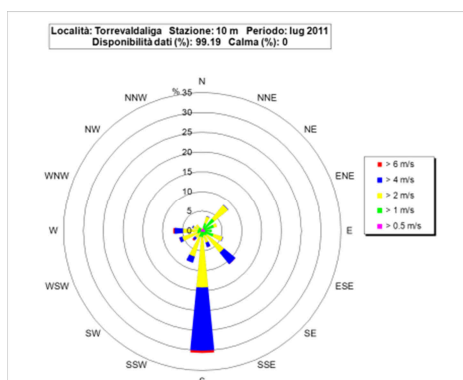


Figura A1/15 – Rosa dei venti luglio 2011

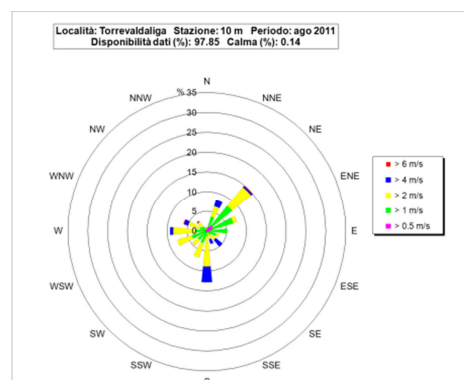


Figura A1/16 – Rosa dei venti agosto 2011

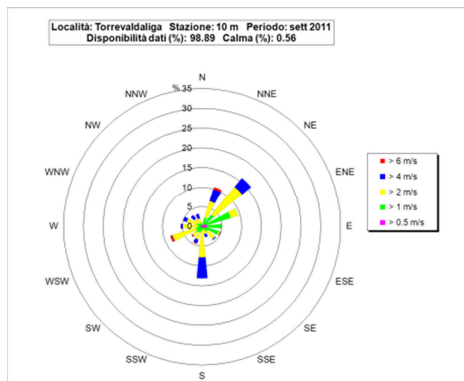


Figura A1/17 – Rosa dei venti settembre 2011

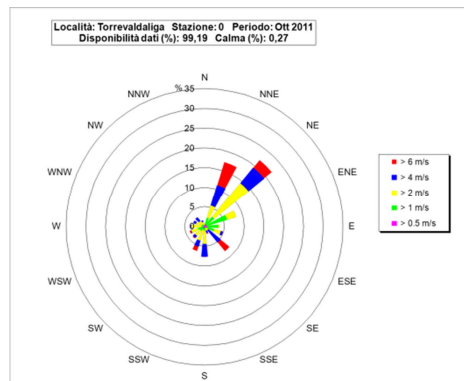


Figura A1/18 – Rosa dei venti ottobre 2011

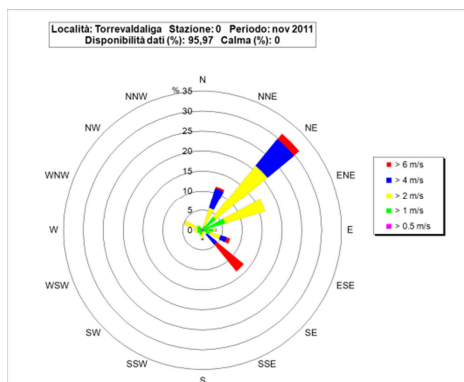


Figura A1/17 – Rosa dei venti novembre 2011

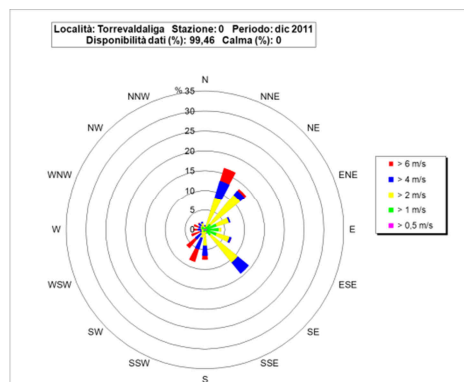


Figura A1/17 – Rosa dei venti dicembre 2011

APPENDICE 2

Classi di polverosità

Per una valutazione dei valori di deposizione misurati sperimentalmente, in assenza di valori limite definiti dalla normativa nazionale, si può fare riferimento al rapporto finale del gruppo di lavoro della Commissione Centrale contro l'Inquinamento Atmosferico del Ministero dell'Ambiente che riporta la seguente classificazione basata sul tasso di deposizione gravimetrico:

Classe di polverosità	Polvere totale sedimentabile (mg/m²/d)	Indice di polverosità
I	<100	praticamente assente
II	100 - 250	bassa
III	251 - 500	media
IV	501 - 600	medio-alta
V	>600	elevata