

## **ALLEGATO 8**

**Rapporto CESI A4509591**

***“Misura delle concentrazioni di particolato fine ed  
ultrafine nel comprensorio di Civitavecchia –  
RAPPORTO FINALE”***

**Cliente** Enel Produzione

**Oggetto** Misura delle concentrazioni di particolato fine ed ultrafine nel comprensorio di Civitavecchia – Rapporto FINALE

**Ordine** Contratto per la fornitura di prodotti e servizi fra Enel Produzione e CESI per il periodo 01/03/02 – 28/02/06. Attivazione: e-mail di ing. Urbani del 5/04/ 2004

**Note** -

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

**N. pagine** 41 **N. pagine fuori testo** -

**Data** 21/10/2004

**Elaborato** B.U. DAM – Linea ATM - Gabriele Carboni 

**Verificato** B.U. DAM – Linea ATM - Antonio Fiore 

**Approvato** B.U. DAM – Linea ATM - Antonio Fiore 

*Indice*

<b>1</b>	<b>RIASSUNTO .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>PREMESSA.....</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>MISURE DI POLVERI IN AMBIENTE .....</b>	<b>4</b>
3.1	POSTAZIONI DI MISURA.....	4
3.2	CONDIZIONI METEOROLOGICHE NEL PERIODO DI CAMPAGNA .....	5
3.3	FUNZIONAMENTO DELLA CENTRALE DI TORVALDALIGA NORD NEL PERIODO DI CAMPAGNA .....	8
3.4	RISULTATI DELLE MISURE DI POLVERI .....	10
<b>4</b>	<b>MISURE DI METALLI NELLE POLVERI .....</b>	<b>16</b>
<b>5</b>	<b>DEPOSIZIONI NELL'AREA PORTUALE DI CIVITAVECCHIA-ESTATE 2004.....</b>	<b>27</b>
<b>6</b>	<b>CARATTERIZZAZIONE DELLE EMISSIONI DI TORVALDALIGA NORD .....</b>	<b>29</b>
6.1	DESCRIZIONE DELLE MODALITÀ DI CAMPIONAMENTO .....	30
6.1.1	<i>Determinazione delle Polveri totali sospese (PTS).....</i>	<i>30</i>
6.1.2	<i>Determinazione del PM 10 e PM 2.5 con impattore .....</i>	<i>30</i>
6.1.3	<i>Determinazione della distribuzione di polveri in più classi granulometriche.....</i>	<i>30</i>
6.2	PROGRAMMA DELL'INTERVENTO IN CAMPO .....	31
6.3	RISULTATI DELLE MISURE.....	31
6.3.1	<i>Polveri Totali .....</i>	<i>31</i>
6.3.2	<i>Distribuzione delle polveri nelle principali classi granulometriche (PM10 e PM2.5) .....</i>	<i>32</i>
6.3.3	<i>Distribuzione delle polveri in più classi granulometriche (PM<sub>11.7</sub>, PM<sub>10.2</sub>, PM<sub>4.5</sub>, PM<sub>2.8</sub>, PM<sub>1.14</sub>, PM<sub>0.92</sub>, PM<sub>0.55</sub>, PM<sub>0.30</sub>).....</i>	<i>33</i>
<b>7</b>	<b>SIMULAZIONI MODELLISTICHE .....</b>	<b>34</b>
7.1	SIMULAZIONI DI LUNGO PERIODO - APPROCCIO SIA.....	34
7.2	RISULTATO DELLE SIMULAZIONI.....	37

## STORIA DELLE REVISIONI

Numero revisione	Data	Protocollo	Lista delle modifiche e/o dei paragrafi modificati
0	21/10/2004	A4509591	Prima emissione

## 1 RIASSUNTO

Enel Produzione ha richiesto a Cesi un approfondimento riguardante la distribuzione delle polveri fini nel comprensorio di Civitavecchia. Il Cesi ha pertanto elaborato un programma di lavoro che prevede l'esecuzione sia di attività sperimentali (concentrazioni giornaliere di polvere fine ed ultrafine in ambiente e caratterizzazione chimica di campioni rappresentativi della stagione estiva, deposizioni secche ed umide nell'area portuale, determinazione sperimentale della distribuzione granulometrica del particolato nelle emissioni aerodisperse della centrale di Torvaldaliga Nord) sia di attività modellistiche (applicazione dello strumento ISC3, già adottato in sede di SIA, utilizzando come input la distribuzione granulometrica determinata sperimentalmente, anziché quella indicata in bibliografia).

Nel presente documento si riportano i risultati ottenuti che sono riassumibili in:

- limitatamente al periodo osservato (estate 2004) è stato riscontrato il pieno rispetto dei limiti previsti per le polveri dal DM 2.4.02 n° 60
- l'andamento delle concentrazioni di polveri porta a ritenere che gli aumenti rilevati non sono imputabili ad una emissione diretta di particolato primario, poiché avvengono pressoché contemporaneamente in tutte e 4 le postazioni. E' plausibile ritenere che i livelli di concentrazione misurati siano imputabili a sorgenti di emissione diffuse e che le variazioni dei livelli di concentrazione rilevati siano determinati da variazioni delle condizioni meteorologiche a livello sinottico
- relativamente alla distribuzione granulometrica delle polveri ambientali, è stato osservato che il maggiore arricchimento di particolato ultrafine è riconducibile a fattori meteorologici quali l'innalzamento della pressione atmosferica, l'abbassamento dell'umidità e l'assenza di precipitazioni
- il contenuto di metalli nelle polveri ambientali risulta inferiore ai limiti ed ai valori di riferimento indicati dalle normative. È stata inoltre osservata la drastica diminuzione dei livelli di inquinanti le cui concentrazioni erano risultate, in alcuni casi, non trascurabili nella campagna del 2001
- le deposizioni misurate nell'area della centrale risultano ampiamente superiori a quelle misurate all'esterno, pur essendo stato registrato un sensibile calo rispetto alle analoghe misure effettuate in inverno. Ne consegue che l'area di centrale presenta un indice di polverosità "bassa" (mentre in inverno fu "media") ed i punti esterni alla centrale risultano caratterizzati da polverosità praticamente assente
- l'applicazione dello strumento modellistico mediante l'impiego in input di dati sperimentali ed il successivo confronto con le misure ambientali di polveri, ha portato ad evidenziare che, mediamente, i contributi calcolati dal modello sono dell'ordine di  $0.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , ad eccezione di un massimo giornaliero pari a circa  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  calcolato nella postazione di Poggio Ombriccolo il 20 maggio. Complessivamente il contributo di particolato primario emesso direttamente dalla centrale è decisamente trascurabile rispetto alle concentrazioni rilevate di particolato fine (primario + secondario). Inoltre, non è evidenziabile nemmeno una qualche influenza della centrale nel determinare i rialzi di concentrazione di polveri fini rilevati dalle misure.

## 2 PREMESSA

Enel Produzione ha richiesto a Cesi un approfondimento riguardante la distribuzione delle polveri fini nel comprensorio di Civitavecchia. Il Cesi ha pertanto elaborato un programma di lavoro che prevede l'esecuzione delle seguenti attività sperimentali:

- determinazione delle concentrazioni giornaliere di polvere fine ed ultrafine in quattro postazioni collocate nel comprensorio di Civitavecchia, rappresentative dell'area urbana e rurale e poste anche nelle zone di massima ricaduta della centrale
- caratterizzazione chimica di campioni di polvere ambientale, prelevati in corrispondenza di tipi di tempo rappresentativi della stagione
- determinazione delle deposizioni secche ed umide nell'area portuale di Civitavecchia mediante l'installazione di n° 8 deposimetri nei medesimi siti in cui è stata eseguita la campagna di indagine nell'inverno 2003-2004; mantenimento in esercizio delle apparecchiature per un periodo di circa 2 mesi mediante le medesime modalità adottate nel corso della già citata campagna di indagine 2003-2004
- determinazione sperimentale della distribuzione granulometrica del particolato nelle emissioni aerodisperse della centrale di Torvaldaliga Nord
- verifica degli output modellistici mediante l'impiego dello strumento ISC3, già adottato in sede di SIA, utilizzando come input la distribuzione granulometrica determinata sperimentalmente, anziché quella indicata in bibliografia. L'obiettivo consiste nel confronto tra gli output ottenuti ed i dati ambientali misurati nelle quattro postazioni.

Nel seguente documento si riportano i risultati ottenuti nonché il confronto con analoghi risultati relativi a campagne di indagine condotte nella passata estate del 2001.

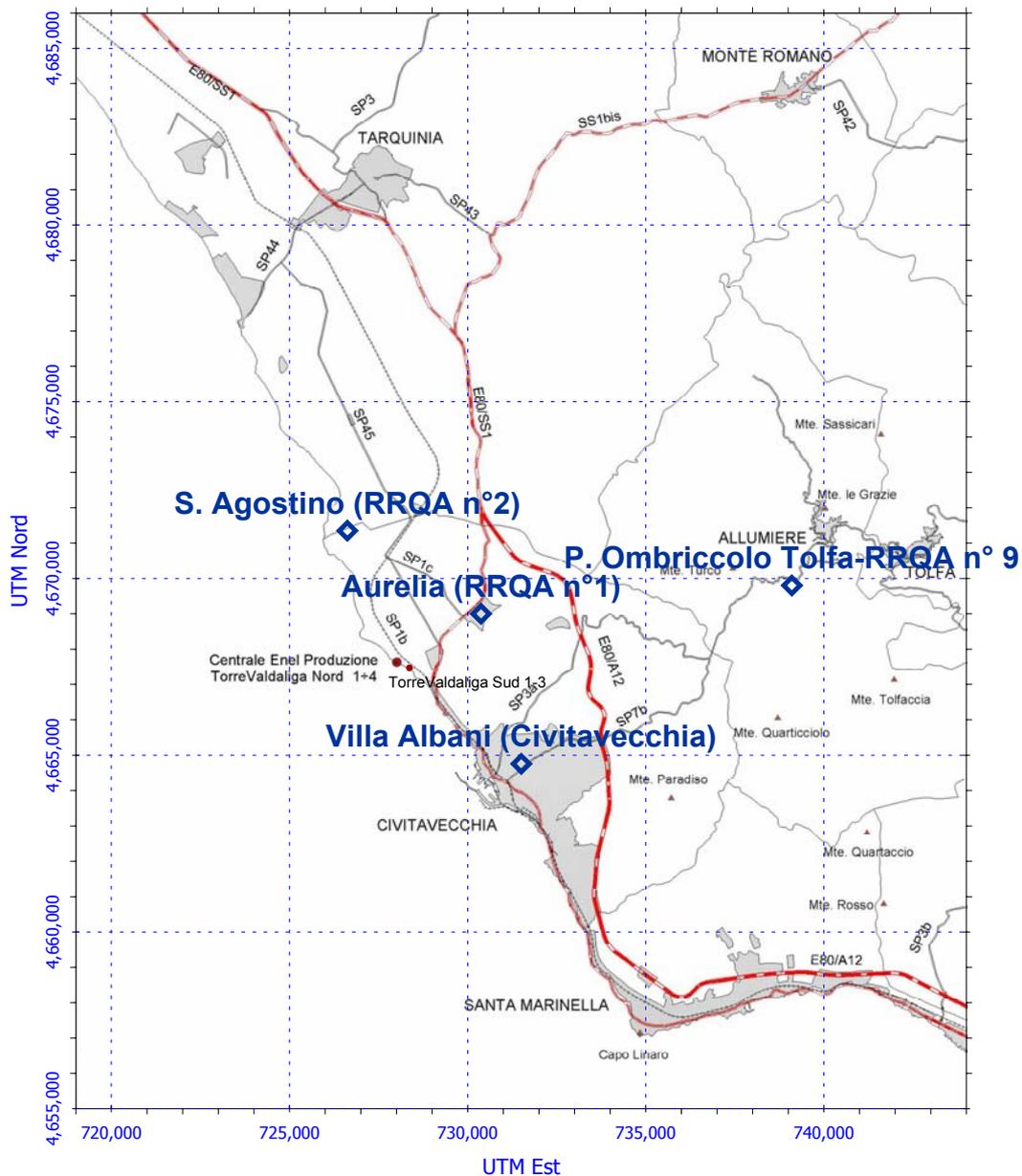
## 3 MISURE DI POLVERI IN AMBIENTE

### 3.1 Postazioni di misura

Le quattro postazioni di misura in cui sono stati effettuati i rilievi di polveri fini ed ultrafini nel comprensorio di Civitavecchia, sono quelle già adottate negli studi ambientali eseguiti in passato, con l'eccezione di Parco Antonelli, attualmente non accessibile; tale postazione è stata quindi ricollocata a Villa Albani a circa 1000 metri da Parco Antonelli in una zona interessata da intenso traffico autoveicolare e quindi paragonabile alla postazione originaria.

La campagna di indagine è stata condotta nel periodo 20.05÷22.06.2004. Nel seguito si riporta l'elenco delle postazioni utilizzate ed il dettaglio dei parametri misurati:

STAZIONE		TIPOLOGIA	UBICAZIONE			PARAMETRI MISURATI NEL CORSO DELLA CAMPAGNA		
			UTM N	UTM E	QUOTA	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2,5</sub>	PM <sub>1</sub>
A	Aurelia (RRQA n°1)	Rurale	4669000	730375	61	X		
B	S. Agostino (RRQA n°2)	Rurale	4671350	726625	10	X	X	X
C	P. Ombriccolo Tolfa-RRQA n° 9	Rurale	4669800	739100	544	X	X	X
D	Villa Albani (Civitavecchia)	Urbana	4664755	731506	20	X		



**Figura 1 – Postazioni della campagna di indagine**

### 3.2 Condizioni meteorologiche nel periodo di campagna

Per il periodo di campagna sono disponibili le misure effettuate dalla postazione meteorologica della centrale che è dotata di torre meteorologica con la misura della velocità e direzione del vento alla quota

di 100 metri. Le condizioni meteorologiche registrate nel corso della campagna di misura sono caratterizzate da situazioni di bel tempo con alta pressione, vento da debole a moderato, scarse precipitazioni. Nelle successive Figure 2 sono riassunti gli andamenti dei valori medi giornalieri dei principali parametri meteorologici caratterizzati dai seguenti andamenti:

- le temperature medie giornaliere inizialmente attorno ai 20 °C registrati nella terza decade di maggio sono via via cresciute fino a valori di circa 25°C,
- la pressione atmosferica si è mantenuta sopra i 1010 mbar in tutto il periodo della campagna,
- l'umidità relativa media giornaliera ha oscillato tra il 45 e il 65%,
- si sono avuti tre episodi con precipitazioni piovose, il giorno 23 maggio con 1.2 mm, il 3 giugno con 3.2 mm ed il 17 giugno con soli 0.4 mm di pioggia caduti,
- i valori massimi giornalieri di radiazione solare si sono mantenuti su valori tra i 700 e gli 800 W/m<sup>2</sup> ad eccezione di 4 giornate.

La distribuzione delle frequenze di provenienza dei venti, alla quota di 100 metri dal suolo e illustrata nelle rose riportate in Figura 3, denota un prevalenza dei venti dai settori SSE e S. I venti da SSE prevalgono sia di giorno che di notte mentre quelli da S sono più frequenti nelle ore diurne. Altre componenti rilevanti della rosa totale sono i venti da NNE e quelli dai settori occidentali: i primi da NNE sono associati prevalentemente alle ore notturne mentre, quelli da W e WNW sono più frequenti nelle ore diurne.

Con riferimento all'esposizione delle 4 postazioni di misura del particolato fine utilizzate nel corso della campagna si può osservare quanto segue:

- la postazione di S. Agostino si trova sottovento alla centrale per le direzioni da SSE che rappresentano il 18% delle situazioni registrate nel corso della campagna di misura,
- la postazione di Villa Albani è sottovento alla centrale per venti da NW la cui frequenza di occorrenza nel corso della campagna è pari al 4%,
- le postazioni di Aurelia e P.Ombriccolo Tolfa si trovano sottovento alla centrale per venti dai settori tra W ed il SW che complessivamente ammontano a circa il 10% delle situazioni registrate nel corso della campagna di misura.

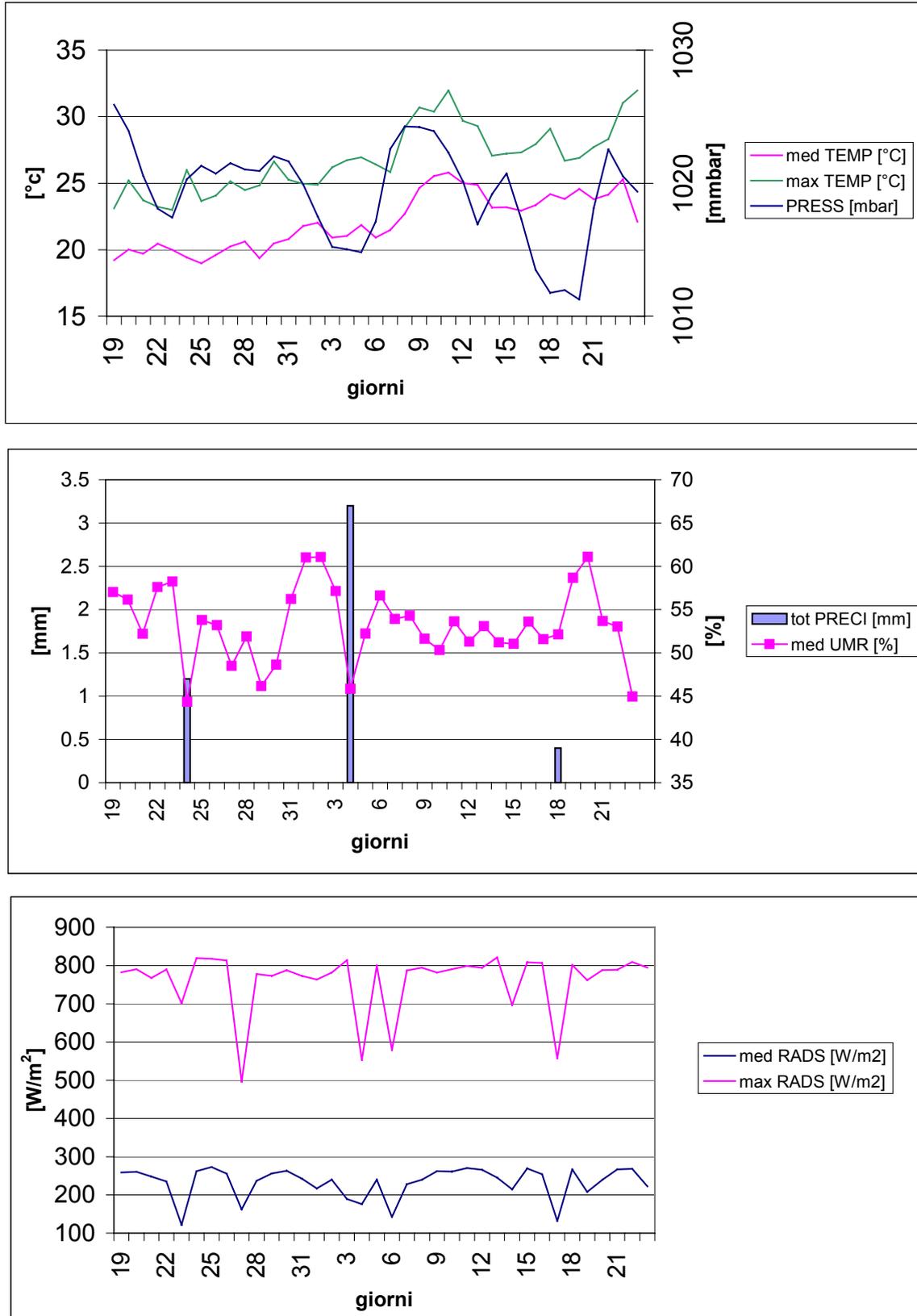


Figure 2 - Andamento dei parametri meteorologici medi e massimi giornalieri nel corso della campagna di misura

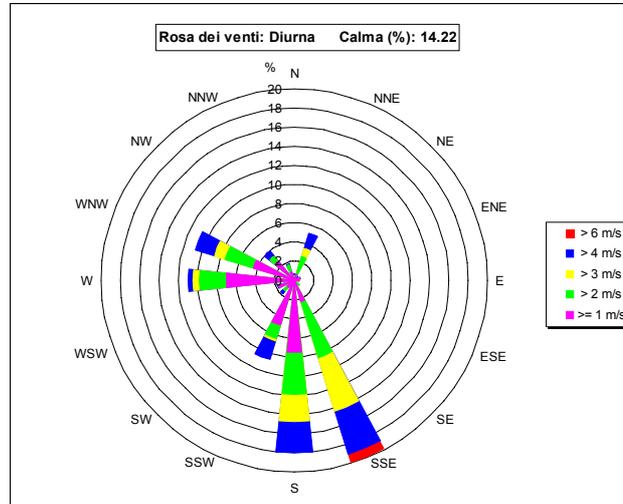
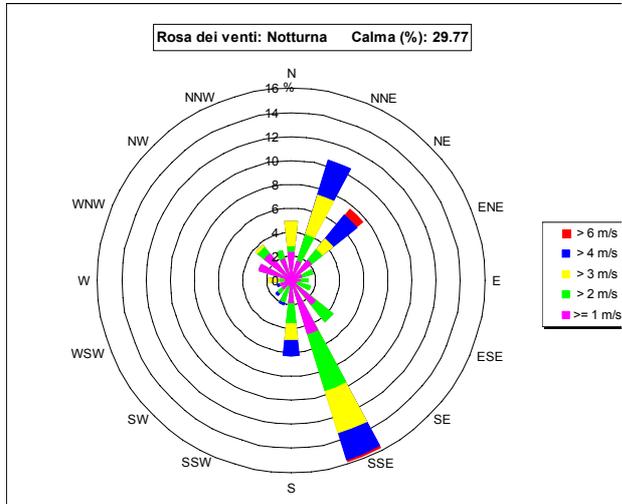
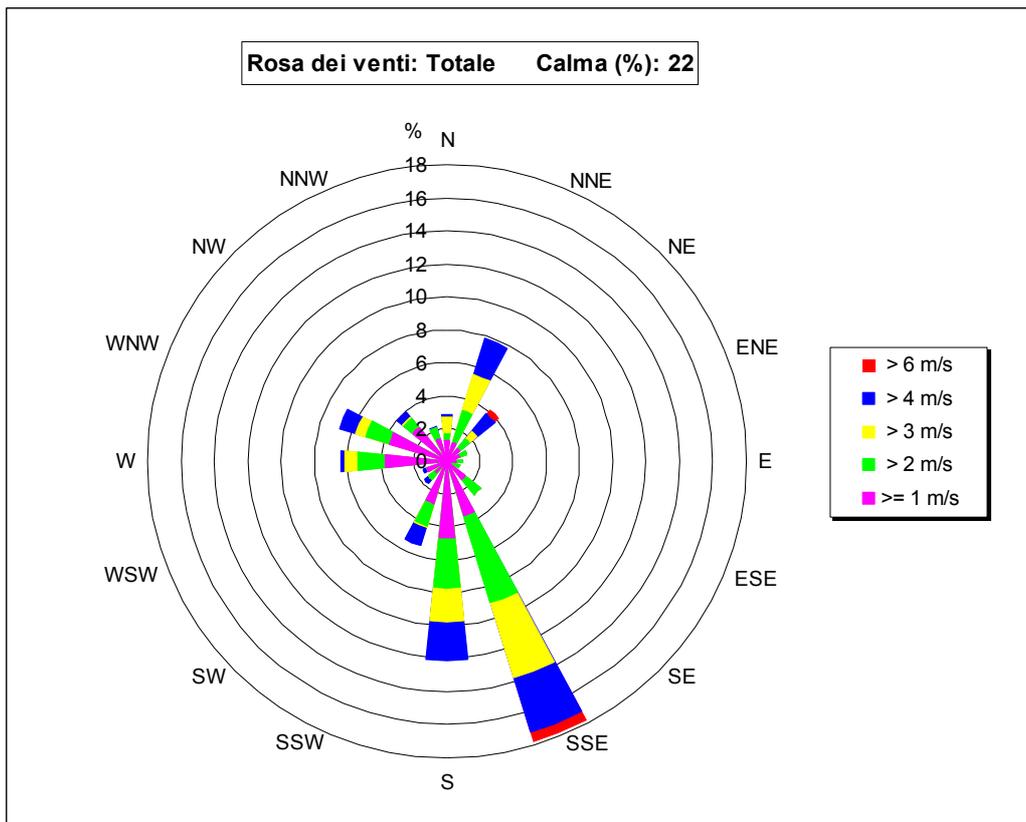
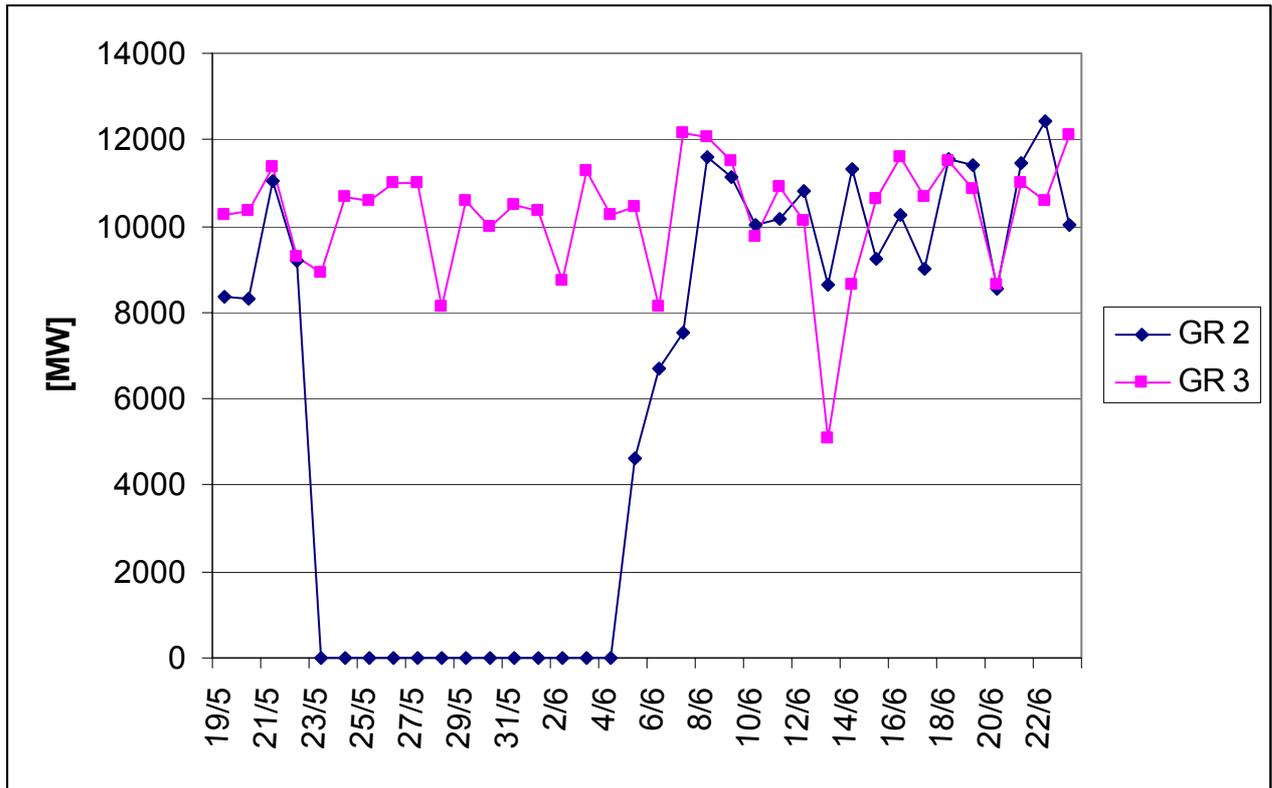


Figura 3 - Rosa dei venti a 100 metri di quota nel corso della campagna di misura (totale, notturna, diurna)

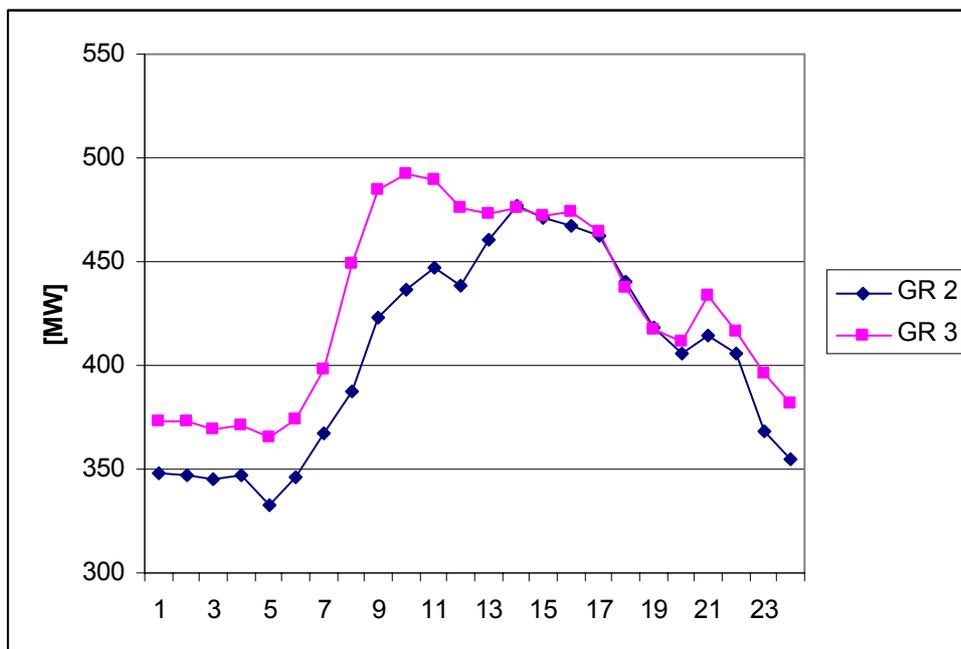
### 3.3 Funzionamento della centrale di Torvaldaliga Nord nel periodo di campagna

Nel periodo della campagna di indagine erano in servizio solamente i gruppi 2 e 3 della. All'interno di questo periodo di indagine il carico giornaliero dei due gruppi funzionanti (Figura 4) non si è mantenuto costante ma è caratterizzato da una produzione totale giornaliera oscillante tra gli 8000 e i 12000 MW per ciascun gruppo, con un periodo di fermata del gruppo 2 dal 23 maggio al 5 giugno.



**Figura 4 – Diagramma di carico giornaliero**

A livello orario il carico medio della centrale nel periodo di campagna (Figura 5) passa da valori notturni attorno ai 350-400 MW a picchi diurni tra le 9 e le 16 tra i 450 e i 500MW.



**Figura 5 – Diagramma di carico medio orario nel periodo di campagna**

### 3.4 Risultati delle misure di polveri

La campagna di indagine è stata condotta nel periodo 20.05÷22.06.2004 in accordo al programma di indagine sopra riportato. Nel seguente prospetto si riporta la sintesi dei risultati ottenuti.

Parametro	S.Agostino			Aurelia	Villa Albani	Poggio Ombriccolo		
	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2,5</sub>	PM <sub>1</sub>	PM <sub>10</sub>	PM <sub>10</sub>	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2,5</sub>	PM <sub>1</sub>
<i>n° valori giornalieri</i>	34	34	28	34	34	34	34	34
<i>Periodo di misura</i>	20.05÷22.06.04			20.5÷22.6.04	20.5÷22.6.04	20.05÷22.06.04		
Media	22	10	9	21	31	16	9	8
95° percentile	34			29	46	23		
98° percentile	34	19	16	30	46	25	15	14
Valore superato 35 giorni/anno	33			29	43	22		
Valore superato 7 giorni/anno	34			30	47	25		

Relativamente ai vincoli normativi il DM 2.4.02 n° 60 prevede limiti alle concentrazioni nell'aria ambiente sia per il PM<sub>10</sub>, ai fini della protezione della salute umana, sia per le PTS (solo in via transitoria). Nella tabella seguente sono riportati i valori limite attualmente vigenti.

#### PM<sub>10</sub> - Valori limite (µg/m<sup>3</sup>)

INDICE STATISTICO	LIMITE TRANSITORIO (PTS) (*)	LIMITE FINALE E DATA DI RAGGIUNGIMENTO	LIMITE + MARGINE DI TOLLERANZA AL 1 GENNAIO 2004
95° percentile di tutte le concentrazioni medie di 24 ore rilevate nell'arco di un anno	300		
Media aritmetica di tutte le concentrazioni medie di 24 ore rilevate nell'arco di un anno	150		
Media annuale		<b>40</b> 1.1.2005	41.6
Valore giornaliero superato più di 35 volte per anno		<b>50</b> 1.1.2005	55

(\*): Come previsto all'art.38 del DM 2.4.02, per valutare il livello di particelle sospese in riferimento ai valore limite si possono utilizzare i dati relativi al PM<sub>10</sub> moltiplicati per un fattore pari a 1,2.

Per la polvere PM<sub>2,5</sub> la normativa statunitense prevede inoltre i seguenti vincoli:

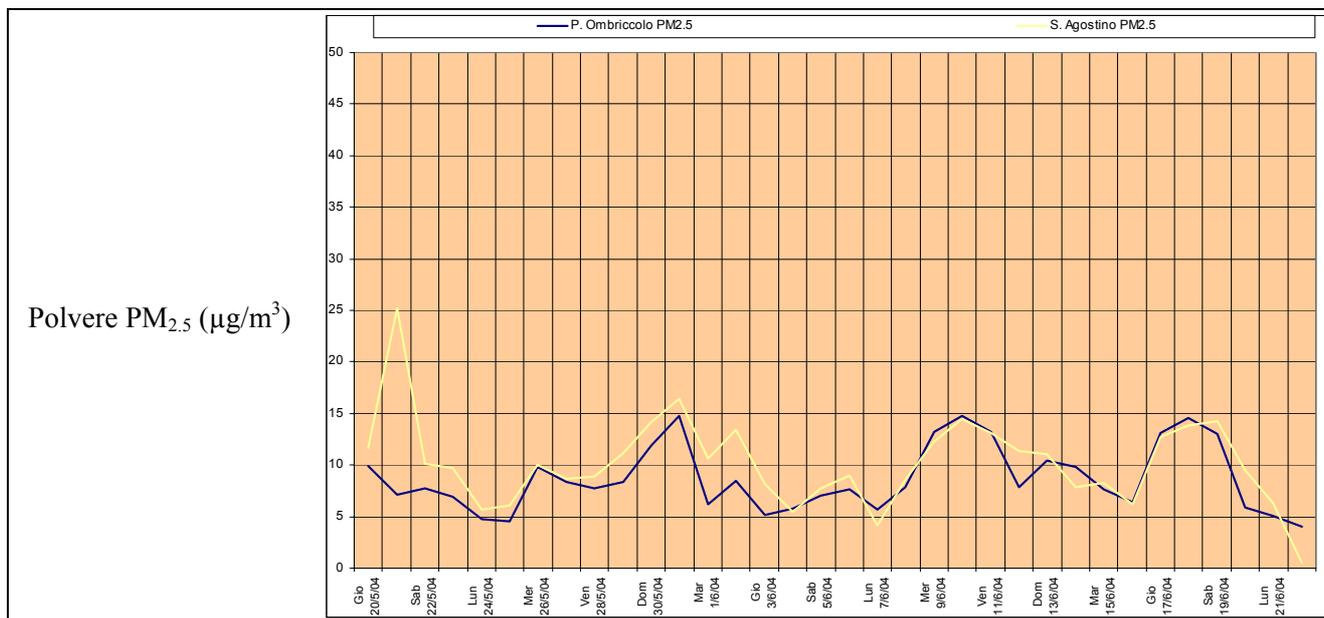
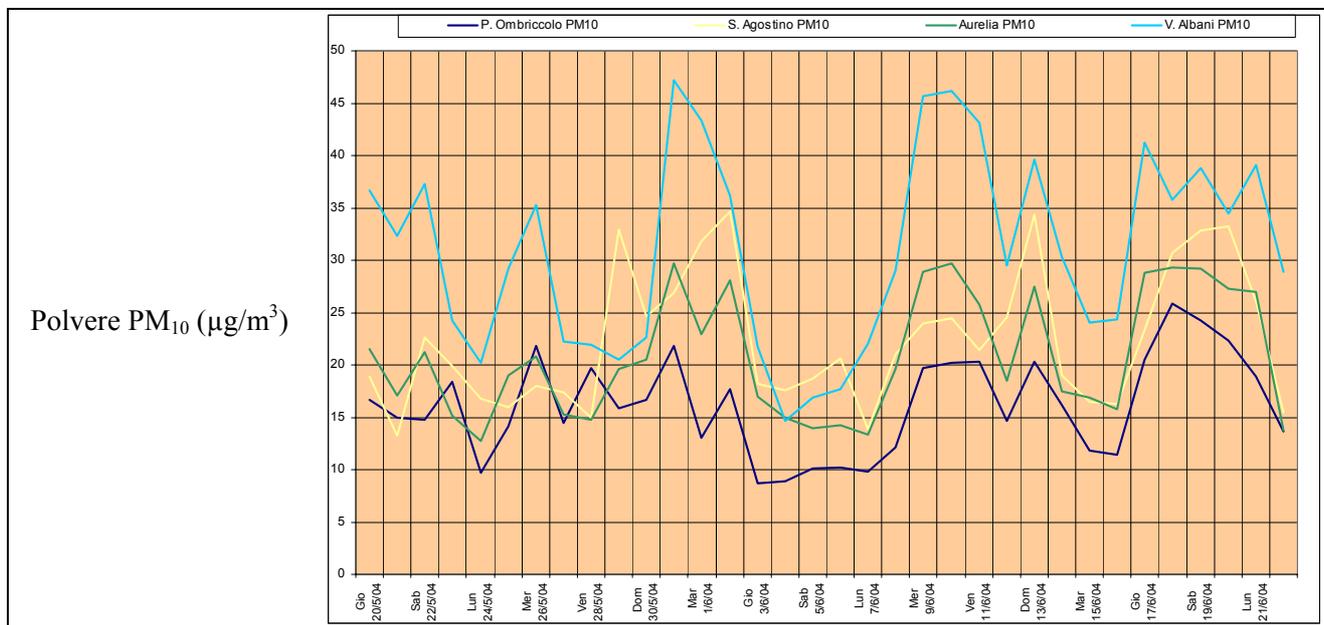
#### PM<sub>2,5</sub> - Valori limite (µg/m<sup>3</sup>)

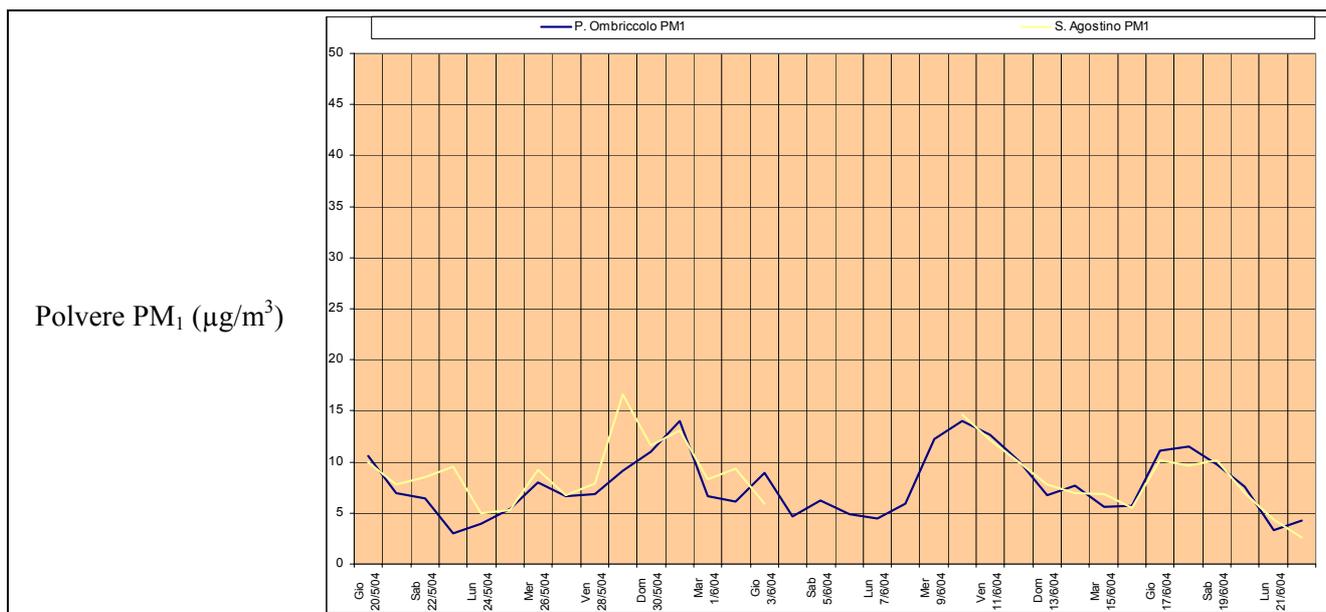
INDICE STATISTICO	LIMITE INDICATO DA US-EPA
98° percentile di tutte le concentrazioni medie di 24 ore rilevate nell'arco di un anno	65
Media annuale	15 (**)

(\*\*) il vincolo può essere riferito anche alla media di più analizzatori collocati nel medesimo comprensorio.

Pur limitando l'analisi dei dati al solo periodo estivo, escludendo pertanto l'inverno durante il quale il "carico ambientale" è più gravoso, è possibile osservare il **pieno rispetto dei limiti**.

Nei seguenti grafici di (Figure 6) si riportano gli andamenti delle concentrazioni di polveri determinate nelle quattro postazioni, suddivise per classe granulometrica.

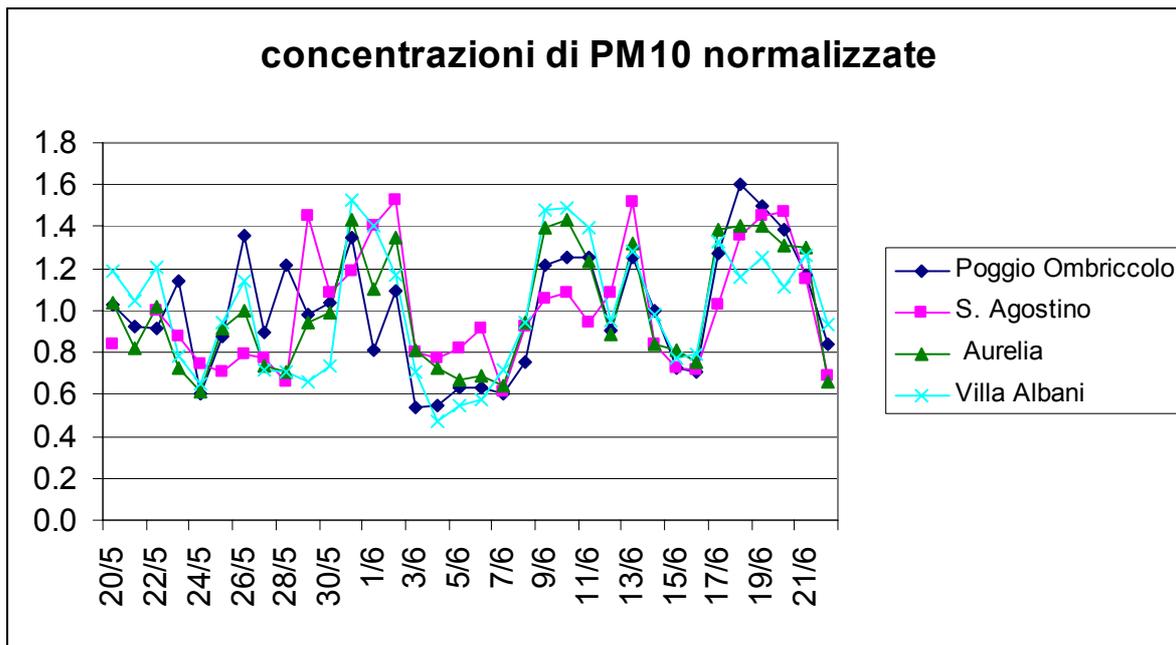




**Figure 6 – Andamenti delle polveri PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>1</sub> nelle quattro postazioni - Medie giornaliere**

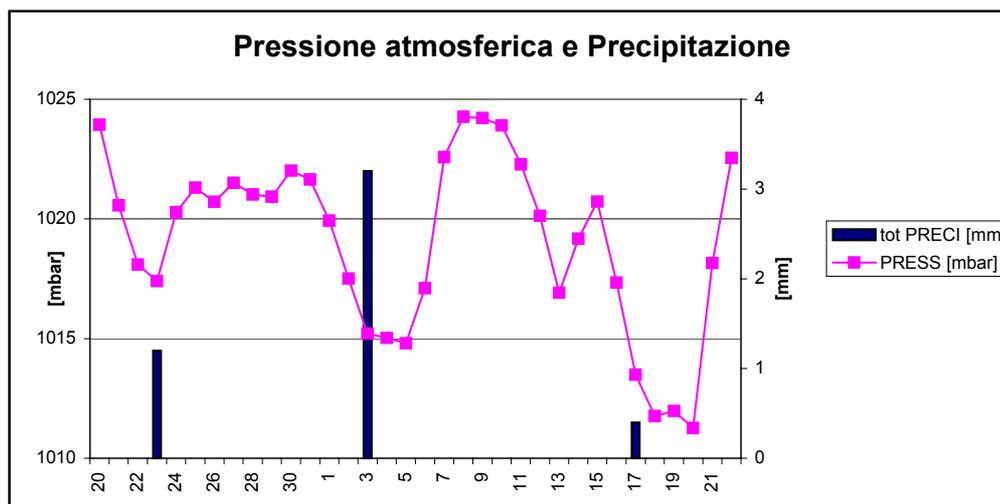
Risulta evidente che l'andamento delle concentrazioni è simile in tutte le postazioni e che i valori si attestano su livelli simili con l'eccezione di Villa Albani, che presenta quasi sempre concentrazioni più alte (anche di 10-15  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), e con la caratteristica di Poggio Ombriccolo in cui si riscontrano concentrazioni di qualche microgrammo inferiori a quelle delle altre due postazioni di Aurelia e S. Agostino.

Le caratteristiche simili del trend delle concentrazioni medie giornaliere sono evidenziate anche dal grafico di Figura 7 in cui le concentrazioni medie giornaliere in ciascuna postazione sono state normalizzate con il rispettivo valore medio di tutta la campagna. In questo modo è possibile confrontare il solo andamento delle diverse curve senza prendere in considerazione le differenze tra le singole postazioni.



**Figura 7 – Concentrazioni medie giornaliere normalizzate sul rispettivo valore medio**

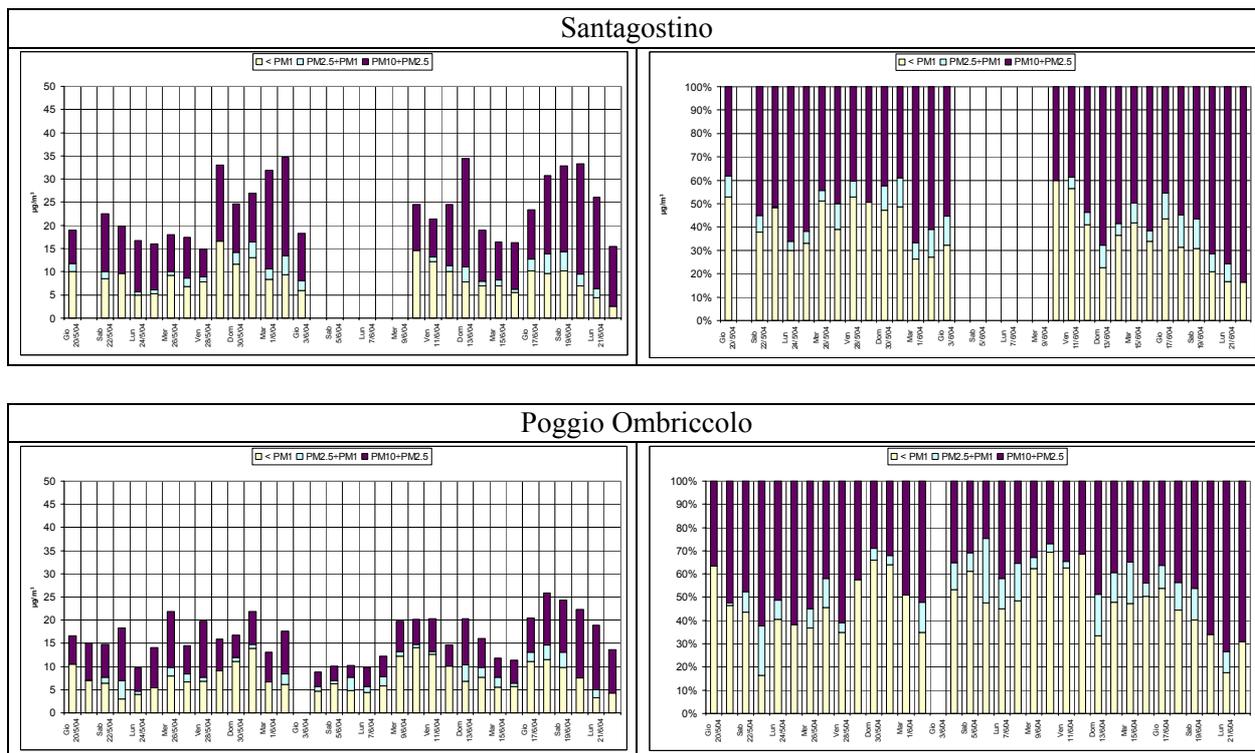
L'andamento delle concentrazioni di polveri porta a ritenere che gli aumenti rilevati non sono imputabili al funzionamento della centrale di Torrevaldaliga Nord, in particolare ad una emissione diretta di particolato primario, poiché avvengono pressoché contemporaneamente in tutte e 4 le postazioni. E' plausibile ritenere che i livelli di concentrazione misurati siano imputabili a sorgenti di emissione diffuse e che le variazioni dei livelli di concentrazione rilevati siano determinati da variazioni delle condizioni meteorologiche a livello sinottico, come del resto testimoniato dalle due successive figure in cui l'andamento delle concentrazioni normalizzate è comparato con il trend della pressione atmosferica e delle precipitazioni.



**Figura 8 – Concentrazioni medie giornaliere normalizzate e parametri meteorologici**

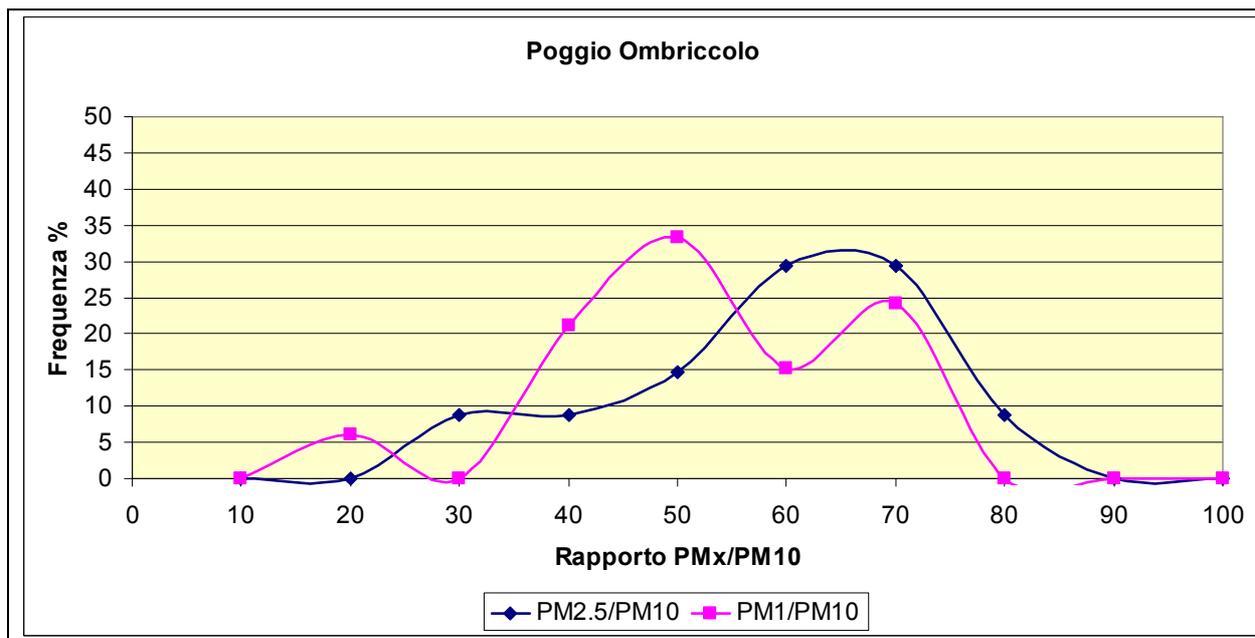
Relativamente alla distribuzione granulometrica delle polveri ambientali, è interessante rilevare che la componente ultrafine del particolato respirabile (PM<sub>1</sub>) è tutt'altro che trascurabile, come è possibile

osservare dai seguenti grafici (Figura 9) nei quali si riportano le distribuzioni differenziali delle polveri nelle tre classi granulometriche campionate (in termini sia gravimetrici e sia percentuali).



**Figura 9 – Distribuzioni differenziali delle polveri nelle tre classi granulometriche per ciascuna prova**

Per sintetizzare le informazioni disponibili relative alla distribuzione granulometrica delle polveri nei seguenti due grafici si riporta la frequenza percentuale dei rapporti  $PM_1/PM_{10}$  e  $PM_{2.5}/PM_{10}$ .



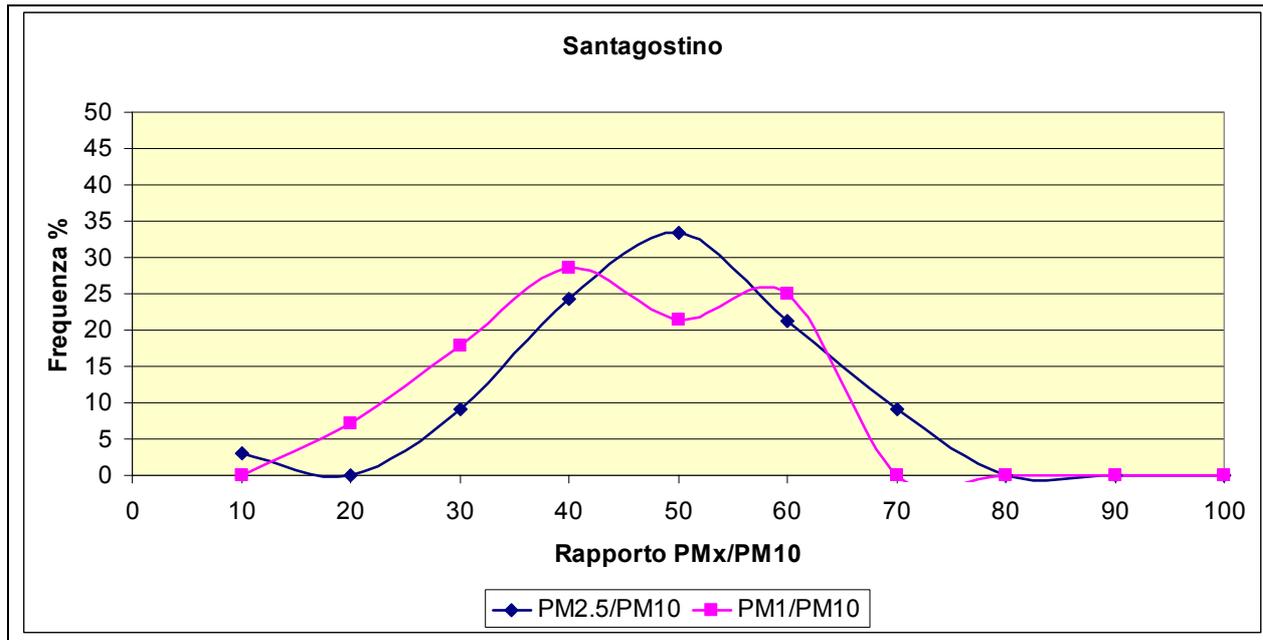


Figura 10 – Curve di distribuzione nelle tre classi granulometriche per ciascuna postazione

Si osserva che la frequenza di distribuzione dei rapporti PM1/PM10 presenta due mode in entrambe le postazioni; la moda superiore, rappresentativa di campioni con maggiore arricchimento di particolato ultrafine, è riconducibile a **fattori meteorologici** quali l’innalzamento della pressione atmosferica, l’abbassamento dell’umidità e l’assenza di precipitazioni, come è possibile osservare dall’andamento dei valori medi dei parametri meteorologici riscontrati in corrispondenza delle giornate con maggiore e minore arricchimento di particolato ultrafine.

Parametro meteorologico	Santagostino		Poggio Ombriccolo	
	PM <sub>1</sub> /PM <sub>10</sub> < 50%	PM <sub>1</sub> /PM <sub>10</sub> > 50%	PM <sub>1</sub> /PM <sub>10</sub> < 60%	PM <sub>1</sub> /PM <sub>10</sub> > 60%
Pressione	1018	1022	1018	1022
Umidità	54.1	51.9	53.5	52.5
Precipitazione (somma)	4.8	0.0	1.6	0.0

L’ulteriore analisi dei dati non porta ad evidenziare una rilevante influenza dei **fattori antropici** sulle concentrazioni di particolato; dall’andamento delle settimane tipiche (Figura 11) si riscontra la classica diminuzione del livello di particolato nel fine settimana, in coincidenza con la riduzione delle attività produttive e della mobilità, nella postazione urbana di Villa Albani e parzialmente ad Aurelia (le quali risultano le più influenzate dal traffico auoveicolare). Gli andamenti delle altre due postazioni sono “appiattiti” (Poggio Ombriccolo) ed in controtendenza (Santagostino) e potrebbero risentire di fattori locali.

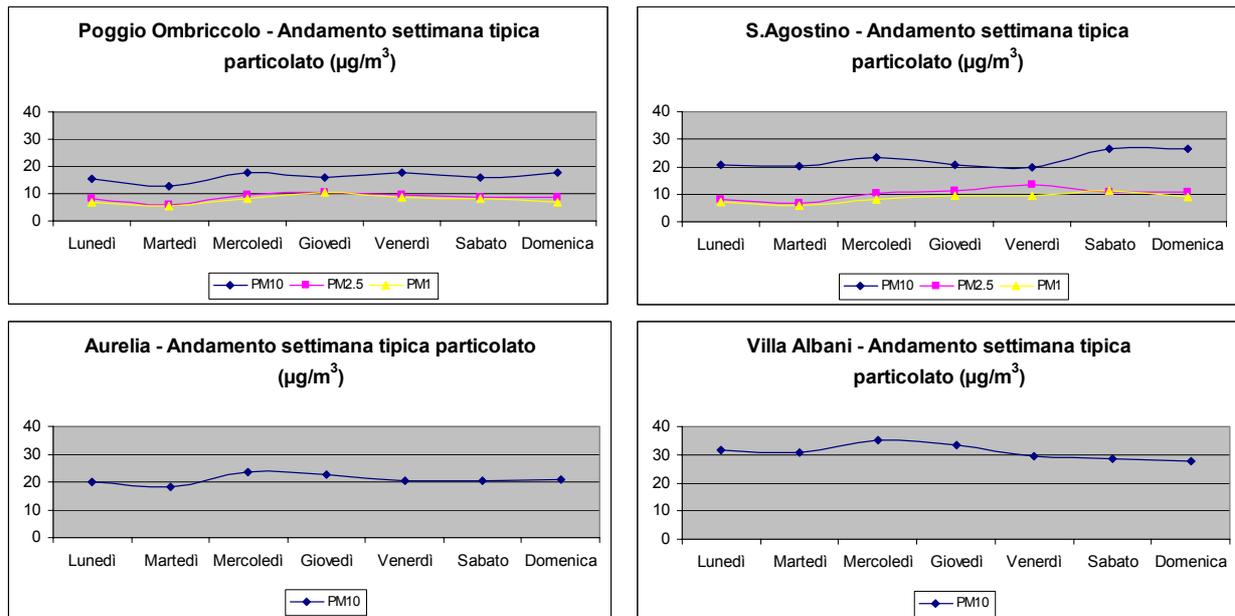


Figura 11 – Polveri PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub> e PM<sub>1</sub>: andamento della settimana tipica

#### 4 MISURE DI METALLI NELLE POLVERI

La normativa **nazionale** vigente prevede esclusivamente per il **Piombo** il valore limite, valido su tutto il territorio nazionale (DM 02.04.02).

Le già citate Linee Guida per la Qualità dell'Aria pubblicate dall'**Organizzazione mondiale della Sanità** prendono in considerazione alcuni metalli con effetti dannosi sulla salute, suddividendoli in due categorie: quelli per cui non sono al momento accertati effetti cancerogeni e quelli invece considerati cancerogeni. Per i primi vengono definiti dei valori limite di concentrazione, mentre per i secondi è indicato un fattore di rischio, lasciando ai singoli legislatori la fissazione di limiti in relazione al rischio ritenuto accettabile.

La tabella che segue mostra i valori limite indicati per i composti ritenuti non cancerogeni

SOSTANZA	PERIODO DI OSSERVAZIONE	VALORE LIMITE
Cd -Cadmio	Anno	5 ng/m <sup>3</sup>
Pb - Piombo	Anno	0.5 µg/m <sup>3</sup>
Mn - Manganese	Anno	0.15 µg/m <sup>3</sup>
Hg - Mercurio	Anno	1 µg/m <sup>3</sup>
V - Vanadio	24 ore	1 µg/m <sup>3</sup>

Per gli inquinanti metallici cancerogeni viene quindi definita una unità di rischio, che rappresenta l'incremento del rischio di contrarre cancro da parte di una popolazione esposta per tutta la vita ad una concentrazione di 1 µg/m<sup>3</sup>. Tale unità di rischio è fissata in 1.5 x 10<sup>-3</sup> per l'**Arsenico**, 4 x 10<sup>-2</sup> per il **Cromo esavalente** e 4 x 10<sup>-4</sup> per il **Nichel**.

Va rimarcato che il rischio associato al cromo è limitato alla sola forma esavalente. Nelle campagne di indagine è stato invece determinato il cromo totale, cioè la somma di tutte le specie, compresa la esavalente.

Per il **Berillio** è disponibile un riferimento normativo US-EPA, che ha classificato il berillio nel Gruppo B2 come "**probable human carcinogen of medium carcinogenic hazard**", associando una stima dell'unità di rischio per inalazione pari a  $2.4 \times 10^{-3} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$ .

In analogia a quanto eseguito nelle campagne di indagine condotte nel 2000-2001, è stato previsto il rilevamento, oltre a quelli sopra elencati, anche dei seguenti parametri: Co, Cu, Pd, Rh, Sb, Se, Sn, Te, Tl, Zn, per i quali non sono attualmente previsti limiti in aria ambiente, ma che sono tuttavia ritenuti pericolosi e per i quali sono indicati limiti alle emissioni (DM 12.7.90).

Per molti di questi inquinanti sono anche disponibili i valori limite per le concentrazioni in aria utilizzati in igiene industriale, che però non possono essere utilizzati per la valutazione del rischio di esposizione di tutta la popolazione all'inquinamento atmosferico; essi infatti rappresentano concentrazioni in corrispondenza delle quali non sono stati osservati effetti negativi su quasi tutti i lavoratori a seguito di esposizioni di 8 ore al giorno per 40 ore settimanali (TLV-TWA).

D'altra parte, al fine di una valutazione oggettiva dei risultati delle campagne di indagine, si ritiene di poter definire per questi composti, un valore di soglia indicativo per l'aria ambiente, ottenuto dal TLV-TWA, attraverso l'applicazione di un opportuno coefficiente correttivo. Questo "coefficiente correttivo" può essere ottenuto, per alcuni composti, dal confronto tra il valore limite di soglia degli igienisti industriali ed il valore limite definito dalle Linee guida WHO, è determinato come segue:

$$\text{Coefficiente Correttivo} = \frac{(\text{Valore TLV - TWA})_{ACHGIH}}{(\text{Valore limite})_{\text{Linee Guida WHO}}}$$

Poiché questo non è disponibile per tutti gli elementi ed è molto variabile in funzione della pericolosità dell'elemento stesso, si ritiene, in via cautelativa, di applicare agli elementi in questione, quello massimo, pari cioè a 2000, ottenuto per il Cadmio.

Nel presente prospetto sono pertanto indicati i valori di riferimento ottenuti dividendo il TLV-TWA per il fattore correttivo (2000):

SOSTANZA	VALORI LIMITE PER AMBIENTI DI LAVORO (TLV-TWA) mg/m <sup>3</sup>	VALORI DI RIFERIMENTO OTTENUTI APPLICANDO IL COEFFICIENTE CORRETTIVO (VRIF = TLV-TWA / 2000) µg/m <sup>3</sup>
Cobalto	0.1	0.05
Rame	0.2	0.1
Rodio	0.01	0.005
Antimonio	0.5	0.25
Selenio	0.2	0.1
Stagno	0.1	0.05
Tellurio	0.1	0.05
Tallio	0.1	0.05

Per ciascuna classe granulometrica sono stati quindi analizzati quattro campioni di polveri giornaliere prelevate in corrispondenza di tipi di tempo rappresentativi della stagione calda. Le tabelle che seguono riassumono i risultati ottenuti per i diversi tipi di tempo indagati nelle quattro postazioni:

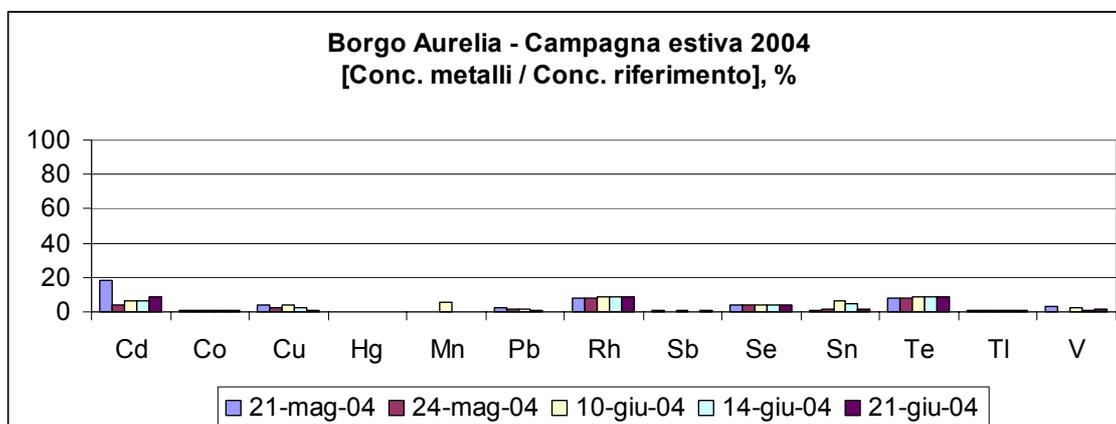
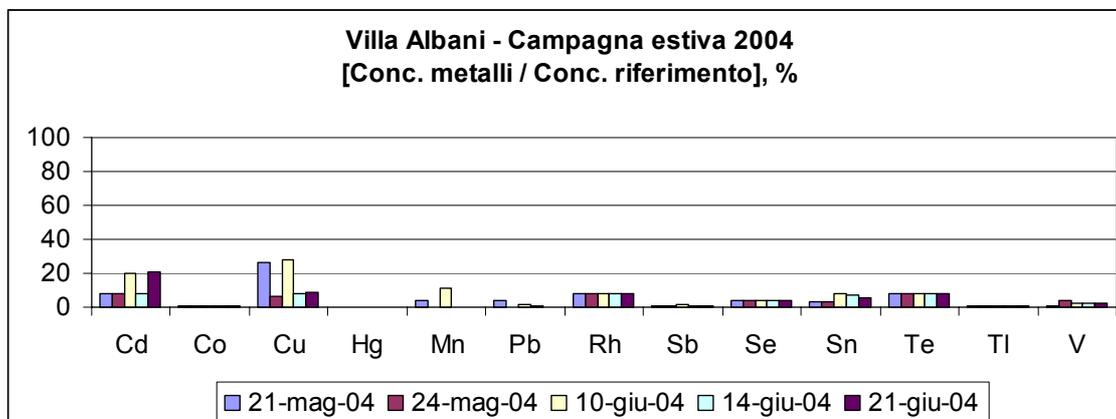
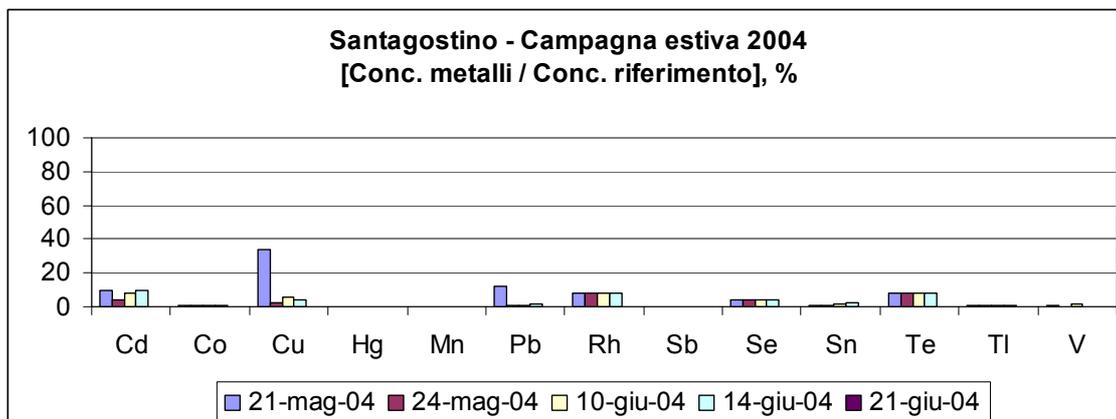
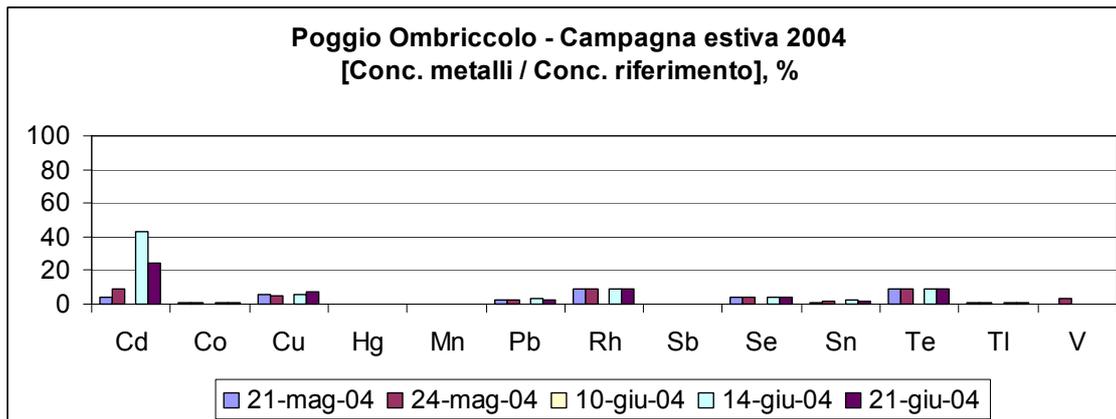
PERIODO DI ESECUZIONE DELLA PROVA	21-mag-04	24-mag-04	10-giu-04	14-giu-04	21-giu-04
CONCENTRAZIONE DI METALLI RILEVATI NELLA POLVERE PM <sub>10</sub>					
POSTAZIONE DI <b>POGGIO OMBRICOLO</b> (µg/m <sup>3</sup> )					
<b>As</b>	< 0.004	< 0.004	nd	< 0.004	< 0.004
<b>Be</b>	< 0.001	< 0.001	nd	< 0.001	< 0.001
<b>Ca</b>	0.340	0.307	nd	3.0	1.1
<b>Cd</b>	< 0.001	< 0.001	nd	0.002	0.001
<b>Co</b>	< 0.001	< 0.001	nd	< 0.001	< 0.001
<b>Cr</b>	0.007	0.009	nd	0.007	0.007
<b>Cu</b>	0.006	0.005	nd	0.006	0.007
<b>Hg</b>	0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001
<b>Mn</b>	< 0.001	< 0.001	nd	< 0.001	< 0.001
<b>Ni</b>	0.002	0.002	nd	0.003	0.008
<b>Pb</b>	0.011	0.013	nd	0.015	0.014
<b>Pd</b>	< 0.001	< 0.001	nd	0.001	< 0.001
<b>Pt</b>	< 0.001	< 0.001	nd	< 0.001	< 0.001
<b>Rh</b>	< 0.001	< 0.001	nd	< 0.001	< 0.001
<b>Sb</b>	< 0.001	< 0.001	nd	0.001	< 0.001
<b>Se</b>	< 0.004	< 0.004	nd	< 0.004	< 0.004
<b>Sn</b>	< 0.001	0.001	nd	0.001	0.001
<b>Te</b>	< 0.004	< 0.004	nd	< 0.004	< 0.004
<b>Tl</b>	< 0.001	< 0.001	nd	< 0.001	< 0.001
<b>V</b>	0.001	0.029	nd	0.003	0.002
<b>Zn</b>	0.23	0.20	nd	0.42	0.40
<b>Na</b>	0.96	1.9	nd	< 0.5	1.2

PERIODO DI ESECUZIONE DELLA PROVA	21-mag-04	24-mag-04	10-giu-04	14-giu-04	21-giu-04
CONCENTRAZIONE DI METALLI RILEVATI NELLA POLVERE PM <sub>10</sub>					
POSTAZIONE DI <b>SANTAGOSTINO</b> (µg/m <sup>3</sup> )					
<b>As</b>	< 0.004	< 0.004	< 0.004	< 0.004	nd
<b>Be</b>	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	nd
<b>Ca</b>	3.1	0.27	0.62	0.59	nd
<b>Cd</b>	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	nd
<b>Co</b>	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	nd
<b>Cr</b>	0.009	0.005	0.001	0.006	nd
<b>Cu</b>	0.034	0.002	0.005	0.004	nd
<b>Hg</b>	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001
<b>Mn</b>	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	nd
<b>Ni</b>	0.002	0.002	0.023	0.003	nd
<b>Pb</b>	0.059	0.002	0.002	0.009	nd
<b>Pd</b>	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	nd
<b>Pt</b>	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	nd
<b>Rh</b>	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	nd
<b>Sb</b>	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	nd
<b>Se</b>	< 0.004	< 0.004	< 0.004	< 0.004	nd
<b>Sn</b>	0.000	0.000	0.001	0.001	nd
<b>Te</b>	< 0.004	< 0.004	< 0.004	< 0.004	nd
<b>Tl</b>	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	nd
<b>V</b>	0.006	0.003	0.013	0.003	nd
<b>Zn</b>	2.1	0.067	0.010	0.15	nd
<b>Na</b>	1.4	1.1	0.62	0.78	nd

PERIODO DI ESECUZIONE DELLA PROVA	21-mag-04	24-mag-04	10-giu-04	14-giu-04	21-giu-04
CONCENTRAZIONE DI METALLI RILEVATI NELLA POLVERE PM <sub>10</sub>					
POSTAZIONE DI VILLA ALBANI (µg/m <sup>3</sup> )					
<b>As</b>	< 0.004	< 0.004	< 0.004	< 0.004	< 0.004
<b>Be</b>	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001
<b>Ca</b>	1.5	0.53	2.8	2.5	0.87
<b>Cd</b>	< 0.001	< 0.001	0.001	< 0.001	0.001
<b>Co</b>	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001
<b>Cr</b>	0.013	0.006	0.019	0.009	0.006
<b>Cu</b>	0.026	0.007	0.028	0.008	0.009
<b>Hg</b>	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001
<b>Mn</b>	0.006	< 0.001	0.017	< 0.001	< 0.001
<b>Ni</b>	0.005	0.003	0.010	0.007	0.008
<b>Pb</b>	0.019	0.001	0.006	0.002	< 0.001
<b>Pd</b>	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001
<b>Pt</b>	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001
<b>Rh</b>	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001
<b>Sb</b>	0.002	0.002	0.003	0.002	0.002
<b>Se</b>	< 0.004	< 0.004	< 0.004	< 0.004	< 0.004
<b>Sn</b>	0.001	0.002	0.004	0.004	0.003
<b>Te</b>	< 0.004	< 0.004	< 0.004	< 0.004	< 0.004
<b>Tl</b>	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001
<b>V</b>	0.005	0.041	0.026	0.028	0.021
<b>Zn</b>	0.34	< 0.004	< 0.004	0.035	0.004
<b>Na</b>	1.3	0.78	< 0.5	0.79	3.6

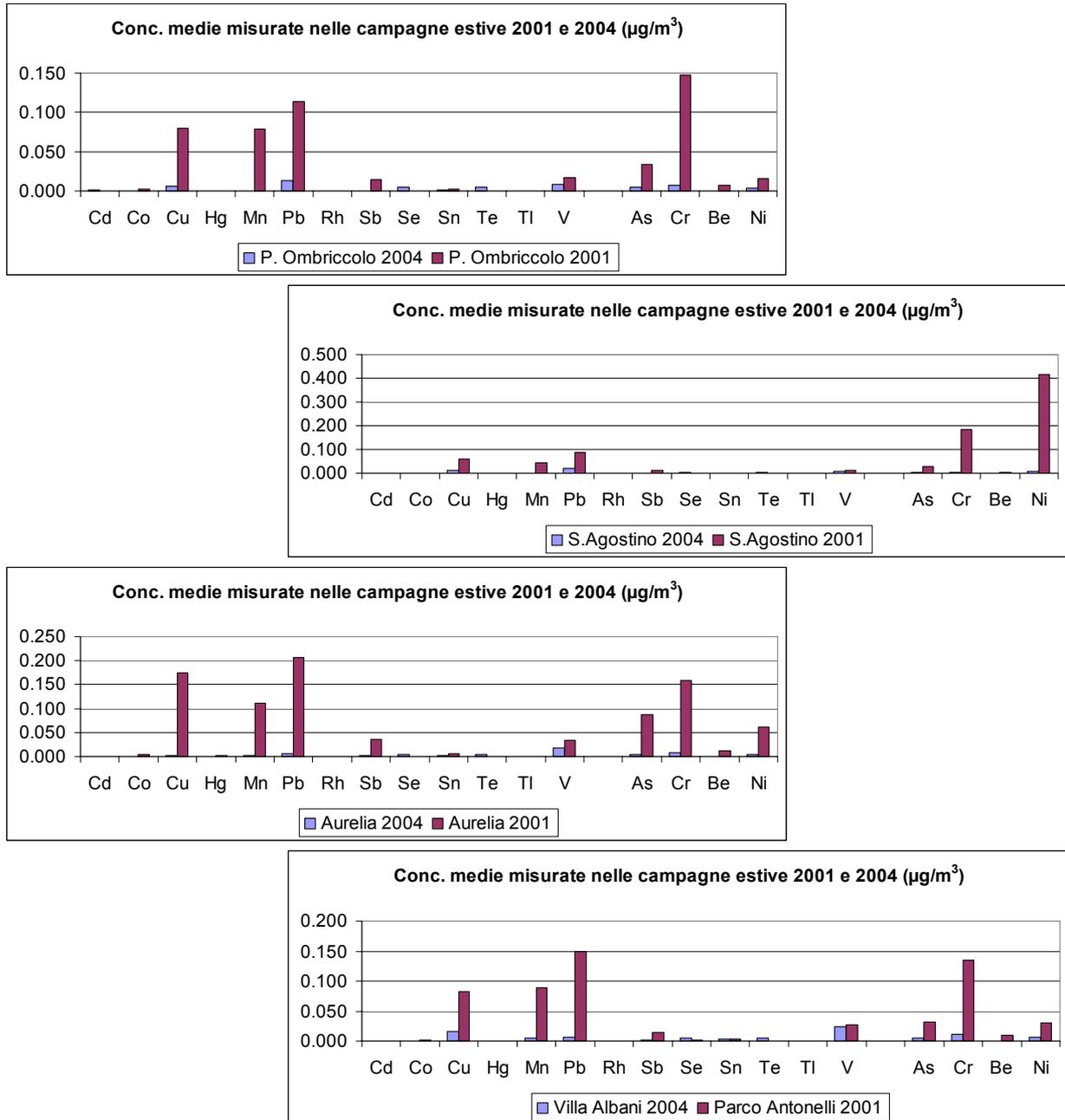
PERIODO DI ESECUZIONE DELLA PROVA	21-mag-04	24-mag-04	10-giu-04	14-giu-04	21-giu-04
CONCENTRAZIONE DI METALLI RILEVATI NELLA POLVERE PM <sub>10</sub>					
POSTAZIONE DI <b>BORGO AURELIA</b> (µg/m <sup>3</sup> )					
<b>As</b>	< 0.004	< 0.004	< 0.004	< 0.004	< 0.004
<b>Be</b>	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001
<b>Ca</b>	0.66	0.24	1.7	0.83	1.8
<b>Cd</b>	0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001
<b>Co</b>	< 0.001	< 0.001	0.001	< 0.001	< 0.001
<b>Cr</b>	0.010	0.006	0.011	0.008	0.008
<b>Cu</b>	0.004	0.002	0.004	0.002	0.001
<b>Hg</b>	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001
<b>Mn</b>	< 0.001	< 0.001	0.008	< 0.001	< 0.001
<b>Ni</b>	0.005	< 0.004	0.008	0.002	0.004
<b>Pb</b>	0.014	0.007	0.010	0.003	< 0.001
<b>Pd</b>	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001
<b>Pt</b>	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001
<b>Rh</b>	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001
<b>Sb</b>	0.001	< 0.001	0.001	0.001	0.002
<b>Se</b>	< 0.004	< 0.004	< 0.004	< 0.004	< 0.004
<b>Sn</b>	< 0.001	0.001	0.003	0.002	0.001
<b>Te</b>	< 0.004	< 0.004	< 0.004	< 0.004	< 0.004
<b>Tl</b>	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001
<b>V</b>	0.030	0.003	0.024	0.011	0.017
<b>Zn</b>	0.20	0.10	< 0.004	0.162	< 0.004
<b>Na</b>	1.7	0.91	< 0.5	< 0.5	3.2

Nella successiva Figura 12 si riportano i grafici con i risultati ottenuti nelle quattro postazioni espressi come rapporto tra le concentrazioni misurate ed i valori limite indicati dall'OMS oppure i valori di riferimento ottenuti dal TLV-TWA.



**Figura 12 – Concentrazione dei metalli nelle polveri PM10 vs le concentrazioni di riferimento**

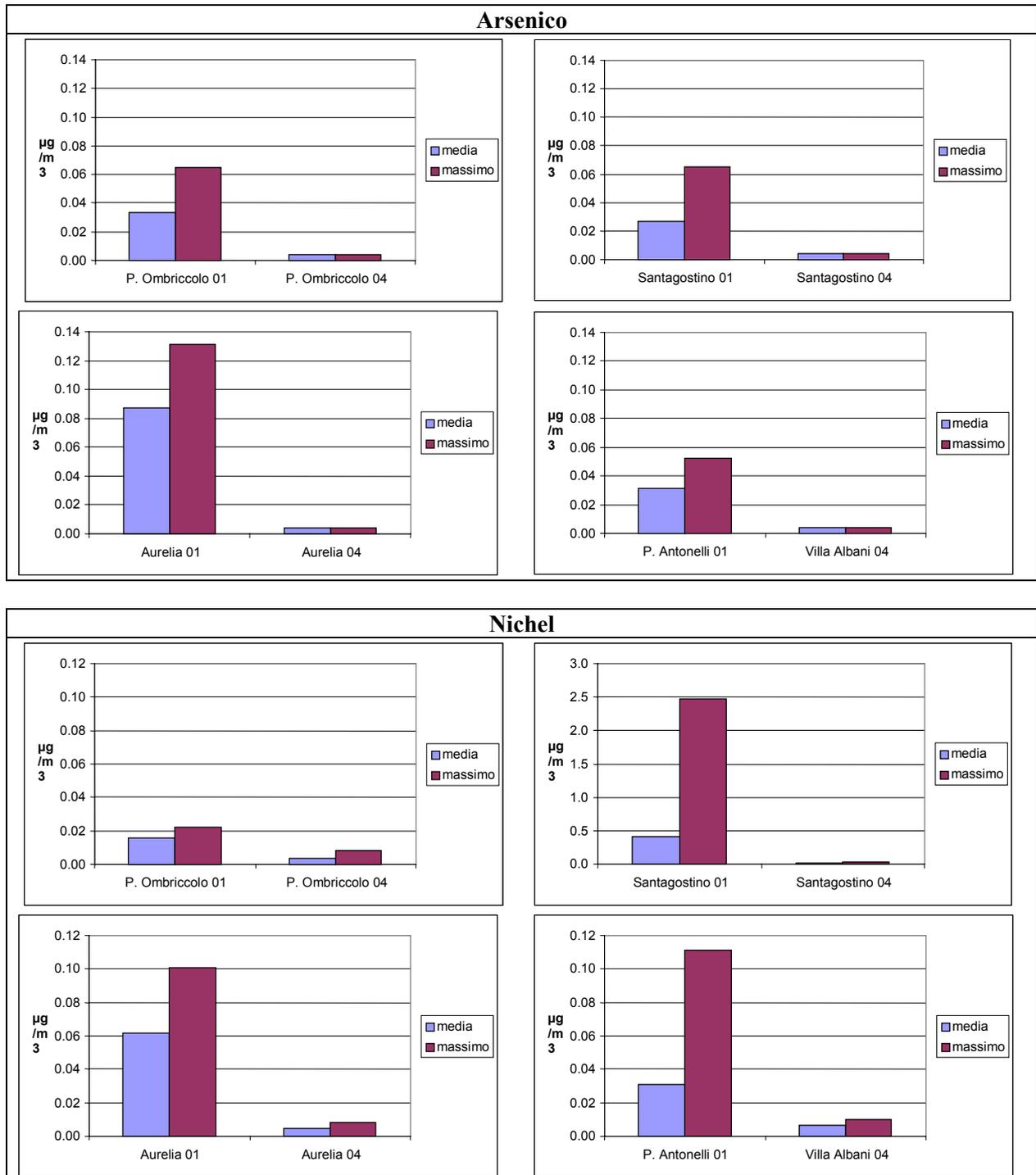
È possibile osservare un ampio rispetto dei limiti e dei valori di riferimento indicati dalle normative. Per consentire il confronto con i risultati dei rilievi compiuti nell'estate 2001, nei seguenti grafici di Figura 13 si riportano i valori medi delle concentrazioni misurate nelle due campagne eseguite nella stagione calda (estate 2001 ed estate 2004).



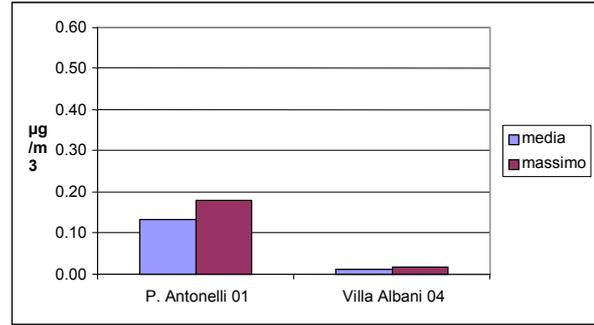
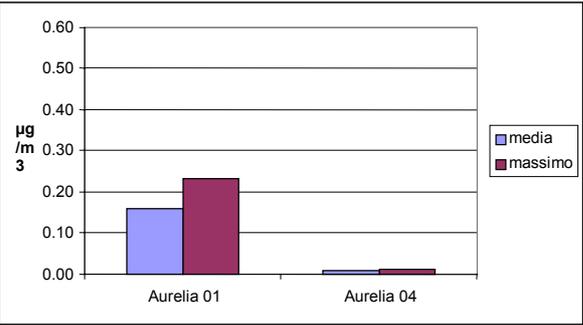
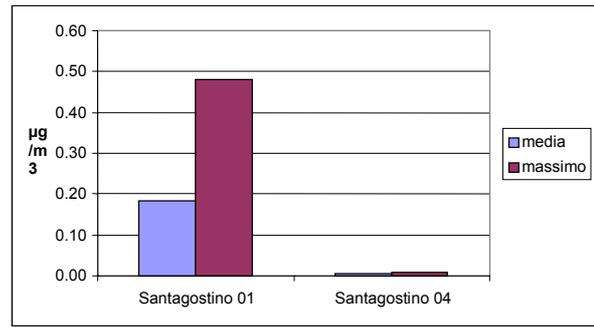
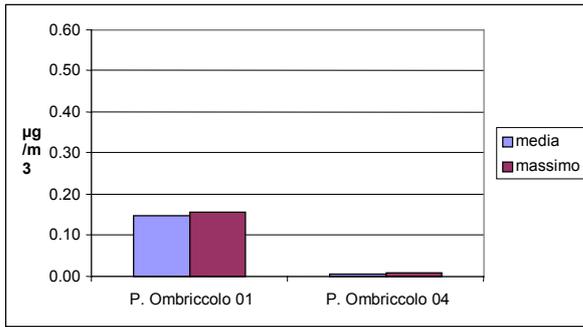
**Figura 13 – Confronto tra le concentrazioni medie dei metalli nelle polveri PM10 misurate nel 2001 e nel 2004**

È evidente la drastica diminuzione dei livelli di inquinanti le cui concentrazioni erano risultate, in alcuni casi, molto elevate nella campagna del 2001. In particolare tale diminuzione è molto marcata per Rame, Manganese e Piombo, oltre a tre metalli per i quali non sono previsti limiti di concentrazione ma fattori di rischio specifici (Arsenico, Nichel e Cromo con l'avvertenza che i rilievi sperimentali hanno riguardato il Cromo totale mentre il rischio è limitato alla forma esavalente).

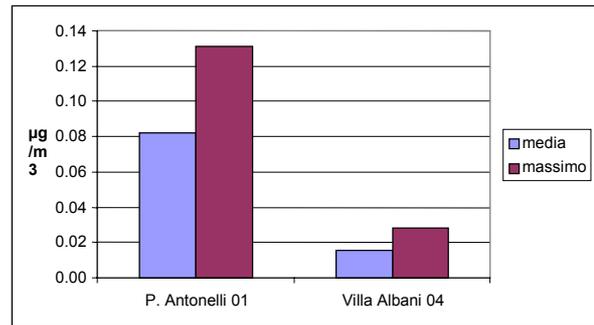
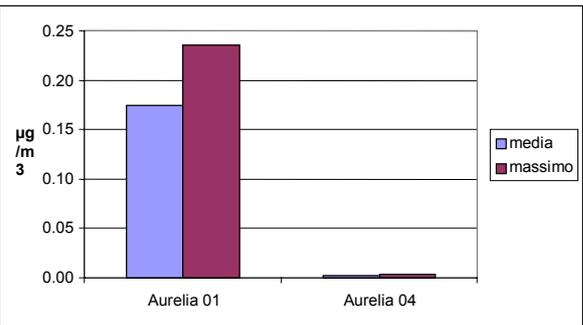
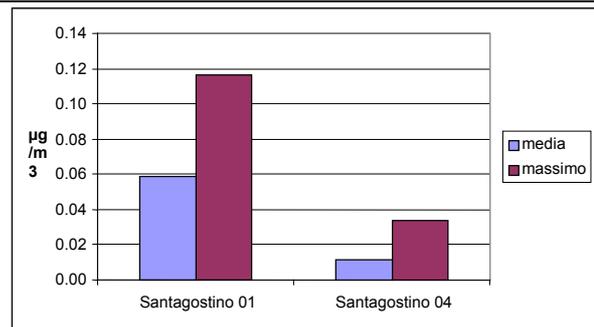
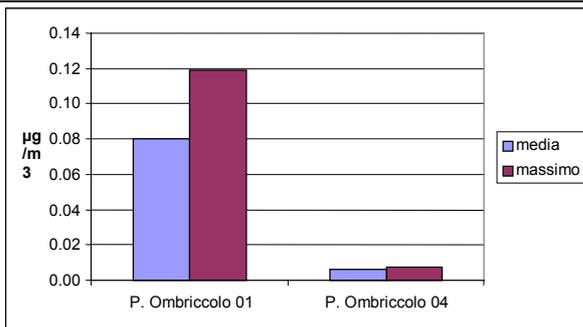
Relativamente a questi inquinanti sono stati sintetizzati in forma grafica (Figura 14) i valori di picco e le concentrazioni medie riscontrate nelle due campagne di indagine.

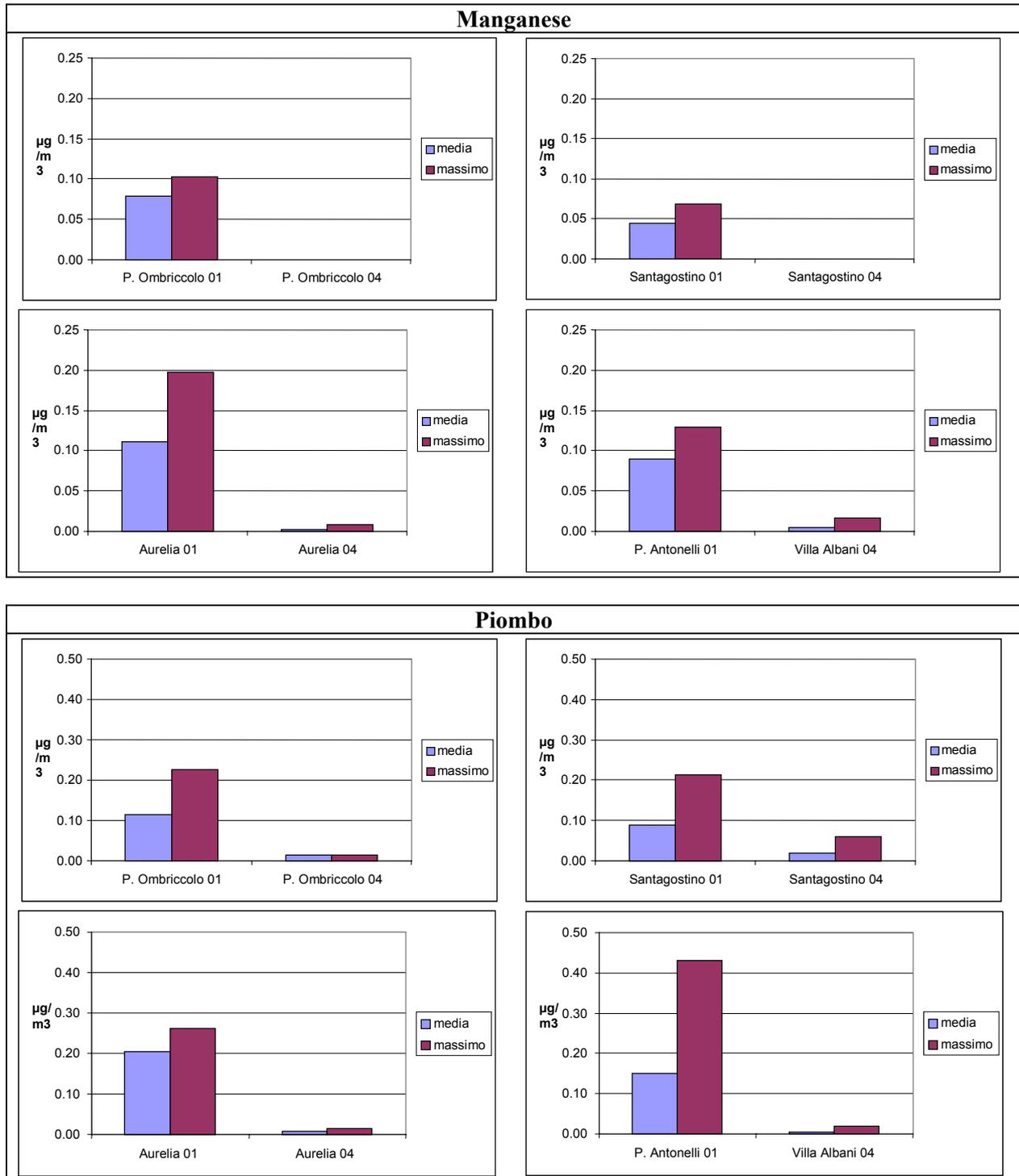


### Cromo



### Rame





**Figura 14 – Confronto per alcuni metalli (As, Ni, Cr, Cu, Mn, Pb) delle concentrazioni medie e massime misurate nelle polveri PM10 nel 2001 e nel 2004**

L'approfondimento della distribuzione dei metalli nelle diverse classi granulometriche è stato limitato ai casi in cui il livello delle concentrazioni è risultato significativo: Calcio, Zinco e Sodio.

Postazione di Poggio Ombriccolo - Concentrazione dei metalli nelle tre classi granulometriche ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )												
Inquinante	Prova del 21.05			Prova del 24.05			Prova del 14.06			Prova del 21.06		
Ca	0.3	0.2	0.2	0.3	0.5	0.5	3.0	0.5	0.5	1.1	0.4	0.2
Zn	0.2	< 0.1	< 0.1	0.2	< 0.1	==	0.4	0.1	< 0.1	0.4	0.1	< 0.1
Na	1.0	0.6	0.6	1.9	1.5	0.5	< 0.4	< 0.2	< 0.2	1.2	0.8	0.4

Postazione di Santagostino - Concentrazione dei metalli nelle tre classi granulometriche ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )												
Inquinante	Prova del 21.05			Prova del 24.05			Prova del 10.06			Prova del 14.06		
Ca	3.1	0.4	0.4	0.3	0.2	0.2	0.6	0.6	0.6	0.6	0.3	0.3
Zn	2.1	0.2	0.2	0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	0.1	< 0.1	0.2	< 0.1	< 0.1
Na	1.4	0.6	0.6	1.1	0.6	0.4	0.6	0.3	0.3	0.8	0.3	0.2

Si osserva che la distribuzione dei metalli nella classe ultrafine ( $< 1 \mu\text{m}$ ) è generalmente preponderante per le basse concentrazioni; viceversa, per concentrazioni maggiori a  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , i metalli risultano più omogeneamente distribuiti tra le tre classi granulometriche.

## 5 DEPOSIZIONI NELL'AREA PORTUALE DI CIVITAVECCHIA-ESTATE 2004

Facendo seguito ad analogia attività eseguita in corrispondenza della stagione invernale 2003/2004, è stata effettuata la caratterizzazione delle deposizioni umide e secche nell'area portuale di Civitavecchia durante la stagione estiva 2004 allo scopo di valutare il livello di polverosità preliminarmente all'avvio dei lavori di conversione della centrale termoelettrica di Torvaldaliga Nord.

A questo scopo il Cesi ha installato, **nel periodo 25 maggio÷15 settembre 2004**, otto deposimetri Wet&Dry nell'area portuale di Civitavecchia e all'interno della centrale Enel di Torvaldaliga Nord.

I deposimetri Wet&Dry consentono la raccolta differenziata delle deposizioni secche ed umide: le prime raccolte su tre filtri di dimensione calibrata, le seconde in serbatoi il cui contenuto di acqua piovana è travasato, ad evento, in idonei contenitori da parte del personale della centrale di Torvaldaliga Nord.

Al termine del periodo di esposizione la determinazione delle **deposizioni secche** viene effettuata mediante l'analisi gravimetrica dei filtri, esprimendo i risultati in  $\text{mg}/\text{m}^2$  per giorno di esposizione in corrispondenza dei periodi di assenza di pioggia.

Relativamente alle **deposizioni umide** sono state determinate le polveri sospese e non disciolte contenute nei campioni di acqua piovana mediante l'analisi gravimetrica dei solidi sospesi e filtrati ed esprimendo i risultati in  $\text{mg}/\text{m}^2$  per evento piovoso.

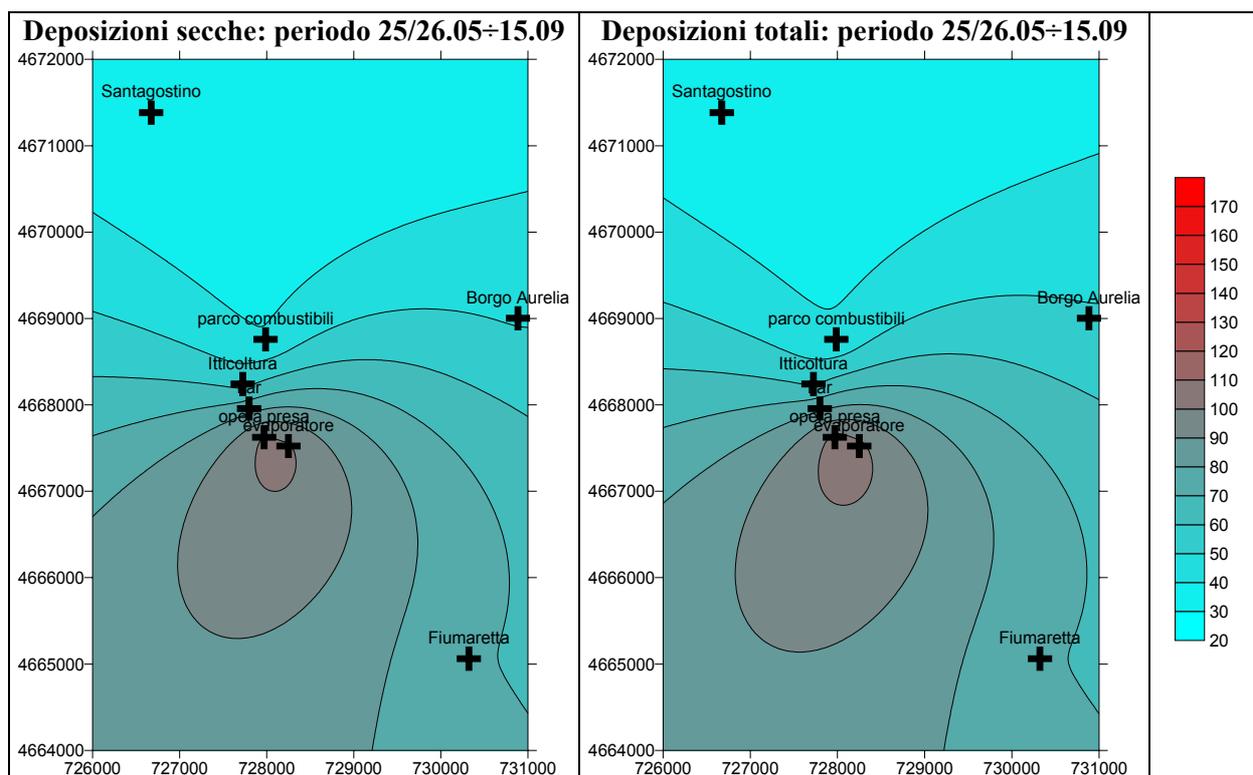
La collocazione dei deposimetri è illustrata nel seguente prospetto:

Collocazione	Coordinate	
	Nord	Est
Centrale TN - zona evaporatore	4667524	728249
Centrale TN - opera di presa	4667625	727970
Centrale TN - ITAR	4667957	727797
Area Enel - Fiumaretta	4665062	730321
Area Enel - Parco combustibile	4668759	727987
Postazione RRQA - Borgo Aurelia	4669003	730884
Postazione RRQA - S.Agostino	4671383	726673
Zona cantiere - Impianto itticultura	4668241	727724

In ciascun deposimetro sono stati installati, tra il 25 ed il 26 maggio, tre filtri che sono stati quindi rimossi in giorni diversi sia per valutare la variabilità della deposizione e sia per ridurre il rischio di “mancanza dato” nel caso di sparizione fortuita o dolosa dei filtri esposti all’aperto; un filtro è stato pertanto rimosso e pesato in data 6 luglio, uno il 25 agosto ed il terzo il 15 settembre. Un quarto filtro è stato installato il 25 agosto e tolto il 15 settembre.

A questa modalità operativa fa eccezione la postazione ITAR nella quale i filtri sono stati sottratti; l’analisi è pertanto stata limitata ad un unico filtro installato il 25 agosto e rimosso il 15 settembre.

Nella successiva Figura 15 sono illustrati in forma grafica i valori di deposizione secca ed umida ottenuti nel corso della campagna estiva, facendo riferimento al solo periodo 25-26 maggio ÷ 15 settembre considerato rappresentativo dell’intera stagione estiva 2004



**Figura 15 – Distribuzione spaziale delle deposizioni secche ed umide nella campagna estiva 2004**

Dall’analisi dei dati si osserva che:

- nell’area della centrale le deposizioni secche risultano ampiamente superiori a quelle misurate all’esterno dell’area
- la distribuzione spaziale delle deposizioni totali è confrontabile a quella delle deposizioni secche in quanto, l’incidenza delle piogge sulla deposizione delle polveri è contenuta entro il 10% circa (come possibile osservare dalla seguente Figura 16)

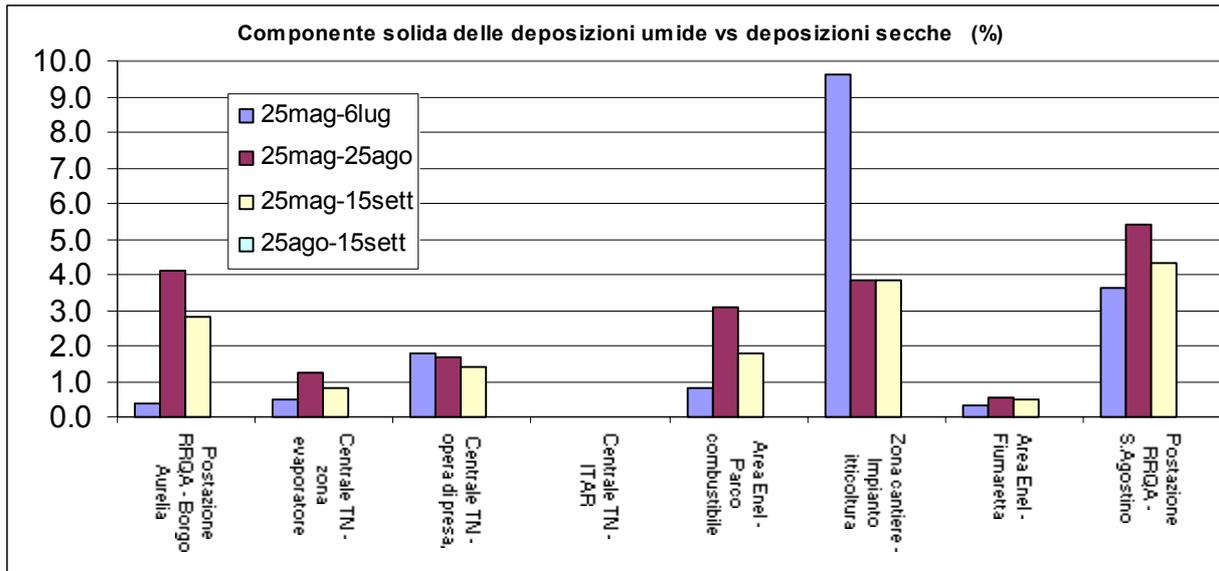


Figura 16 – Componente solida delle deposizioni vs componente secca (%)

Applicando i criteri di valutazione identificati dalla Commissione Centrale contro l'Inquinamento Atmosferico del Ministero dell'Ambiente, è possibile concludere che l'area di centrale presenta un indice di polverosità "bassa" mentre i punti esterni alla centrale risultano caratterizzati da polverosità praticamente assente.

A scopo riepilogativo nel seguente prospetto si riportano gli indici di polverosità determinati nelle due stagioni, invernale ed estiva, da cui si desume il sensibile calo della polverosità estiva soprattutto nella zona della centrale e del cantiere

Area di indagine	Punti di misura	Indice di polverosità	
		Inverno 2003-04	Estate 2004
Centrale e Cantiere	Evaporatore Opera di presa ITAR Itticoltura	Media	Bassa
Punti esterni alla centrale	Fumaretta Parco Combustibile Borgo Aurelia S. Agostino	Praticamente assente	Praticamente assente

## 6 CARATTERIZZAZIONE DELLE EMISSIONI DI TORVALDALIGA NORD

Allo scopo di determinare sperimentalmente la distribuzione granulometrica del particolato nelle emissioni aerodisperse della centrale di Torvaldaliga Nord è stata condotta un'indagine sui gruppi 2 e 3 nel periodo 26/05÷10/06/2004.

La scelta dei gruppi oggetto di prova è stata attuata sulla base dei programmi di esercizio definiti dal gestore della rete elettrica nazionale e della considerazione che i gruppi 2 e 3 sono rappresentativi rispettivamente anche dei gruppi 1 e 4.

Sono state eseguite tre tipi di prova:

- determinazione delle polveri totali allo scopo di ottenere un'informazione importante per definire uno standard di confronto per i rilievi più complessi di determinazione della distribuzione di polveri in classi granulometriche
- determinazione della distribuzione di polveri nelle principali classi granulometriche ( $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$ ,  $PM_1$ ) in analogia a quanto determinato nelle campagne condotte in ambiente esterno
- determinazione della distribuzione di polveri in più classi granulometriche ( $PM_{11.7}$  /  $PM_{10.2}$  /  $PM_{4.5}$  /  $PM_{2.8}$  /  $PM_{1.14}$  /  $PM_{0.92}$  /  $PM_{0.55}$  /  $PM_{0.30}$ ) mediante campionamenti prolungati ed utilizzo di impattori multistadio; tale prova risponde all'esigenza di fornire informazioni esaustive ai modellisti che, nell'ambito del progetto, dovranno verificare le ricadute della centrale superando i vincoli derivanti dall'utilizzo di dati bibliografici anziché sperimentali.

## 6.1 Descrizione delle modalità di campionamento

### 6.1.1 Determinazione delle Polveri totali sospese (PTS)

Norma di riferimento: UNI EN 13284-1 (2003).

Sono stati effettuati campionamenti a punto fisso secondo la norma di riferimento dopo ispezione e verifica della distribuzione omogenea delle velocità e delle temperature nella postazione di prelievo.

### 6.1.2 Determinazione del PM 10 e PM 2.5 con impattore

L'impattore utilizzato è stato sviluppato dall'Università di Duisburg e dalla LUA (Landes Umwelt Amt) Nordrhein-Westfalen (D), prodotto dal 'Paul Gothe Institut' di Bochum (D) ed approvato dall'Agenzia Tedesca per la Protezione dell'Ambiente. Le misure di particolato fine con utilizzo di impattore Johnas II permettono di ottenere tagli granulometrici del particolato raccolto pari a (DAE= Diametro Aerodinamico Equivalente)

- i)  $DAE > 10\mu m$
- ii)  $10\mu m < DAE < 2,5\mu m$
- iii)  $DAE < 2,5\mu m$

Sono stati effettuati campionamenti a punto fisso dopo verifica della distribuzione omogenea delle velocità e delle temperature nella postazione di prelievo a camino.

### 6.1.3 Determinazione della distribuzione di polveri in più classi granulometriche

Il multimpattore utilizzato è del tipo Andersen Sierra serie 228; tale tipo di impattore permette, una volta conosciute le velocità del flusso nel condotto di prelievo e scelto l'opportuno ugello per mantenere l'isocinetismo nel prelievo, di poter campionare nel presente caso le seguenti frazioni granulometriche:

Frazione n.	cut-points
1	$>11.7\mu m$
2	$10.2-11.7\mu m$
3	$4.5-10.2\mu m$
4	$2.8-4.5\mu m$
5	$1.14-2.8\mu m$
6	$0.92-1.14\mu m$
7	$0.55-0.92\mu m$
8	$0.30-0.55\mu m$

## 6.2 Programma dell'intervento in campo

Nel seguente prospetto si riportano le condizioni di esercizio di ciascuna unità, mantenute stazionarie durante i test.

Data (orario)	Gruppo 2		Gruppo 3		Note
	Potenza MW	Tipo di prova	Potenza MW	Tipo di prova	
26/05/04 (15 <sup>30</sup> ÷17 <sup>30</sup> )			510	PM <sub>10</sub> e PM <sub>2,5</sub>	Incertezza della prova non accettabile
27/05/04 (11 <sup>00</sup> ÷13 <sup>30</sup> )			597	PM <sub>10</sub> e PM <sub>2,5</sub>	
31/05/04 (15 <sup>30</sup> ÷18 <sup>00</sup> )			450÷540	PM <sub>10</sub> e PM <sub>2,5</sub>	
01/06/04 (9 <sup>10</sup> ÷11 <sup>10</sup> )			470	Polveri Totali	
01/06/04 (12 <sup>00</sup> ÷14 <sup>00</sup> )			550	Polveri Totali	
01/06/04 (16 <sup>30</sup> ÷18 <sup>30</sup> )			395	PM <sub>10</sub> e PM <sub>2,5</sub>	Incertezza della prova non accettabile
03/06/04 (15 <sup>00</sup> ÷16 <sup>00</sup> )			530	PM <sub>11,7</sub> /PM <sub>10,2</sub> /PM <sub>4,5</sub> / PM <sub>2,8</sub> /PM <sub>1,14</sub> /PM <sub>0,92</sub> / PM <sub>0,55</sub> /PM <sub>0,30</sub>	Incertezza della prova non accettabile
04/06/04 (9 <sup>45</sup> ÷12 <sup>45</sup> )			430	PM <sub>11,7</sub> /PM <sub>10,2</sub> /PM <sub>4,5</sub> / PM <sub>2,8</sub> /PM <sub>1,14</sub> /PM <sub>0,92</sub> / PM <sub>0,55</sub> /PM <sub>0,30</sub>	Incertezza della prova non accettabile
08/06/04 (9 <sup>45</sup> ÷17 <sup>45</sup> )			520÷570	PM <sub>11,7</sub> /PM <sub>10,2</sub> /PM <sub>4,5</sub> / PM <sub>2,8</sub> /PM <sub>1,14</sub> /PM <sub>0,92</sub> / PM <sub>0,55</sub> /PM <sub>0,30</sub>	
08/06/04 (13 <sup>47</sup> ÷15 <sup>47</sup> )	610	Polveri Totali			PE energ.: 0%
08/06/04 (16 <sup>00</sup> ÷16 <sup>56</sup> )	580	Polveri Totali			PE energ.: 0%
09/06/04 (9 <sup>45</sup> ÷15 <sup>45</sup> )			550	PM <sub>11,7</sub> /PM <sub>10,2</sub> /PM <sub>4,5</sub> / PM <sub>2,8</sub> /PM <sub>1,14</sub> /PM <sub>0,92</sub> / PM <sub>0,55</sub> /PM <sub>0,30</sub>	
09/06/04 (11 <sup>30</sup> ÷13 <sup>30</sup> )	580	PM <sub>10</sub> e PM <sub>2,5</sub>			
09/06/04 (14 <sup>45</sup> ÷16 <sup>45</sup> )	580	PM <sub>10</sub> e PM <sub>2,5</sub>			
10/06/04 (9 <sup>15</sup> ÷15 <sup>15</sup> )			380÷540	PM <sub>11,7</sub> /PM <sub>10,2</sub> /PM <sub>4,5</sub> / PM <sub>2,8</sub> /PM <sub>1,14</sub> /PM <sub>0,92</sub> / PM <sub>0,55</sub> /PM <sub>0,30</sub>	
10/06/04 (10 <sup>05</sup> ÷11 <sup>19</sup> )	460	Polveri Totali			

## 6.3 Risultati delle misure

### 6.3.1 Polveri Totali

Data (orario)	Gruppo 2		Gruppo 3		Note
	Potenza MW	Concentrazione Polveri Totali (mg/Nm <sup>3</sup> )	Potenza MW	Concentrazione Polveri Totali (mg/Nm <sup>3</sup> )	
01/06/04 (9 <sup>10</sup> ÷11 <sup>10</sup> )			470	18	
01/06/04 (12 <sup>00</sup> ÷14 <sup>00</sup> )			550	42	
08/06/04 (13 <sup>47</sup> ÷15 <sup>47</sup> )	610	29			PE energ.: 0%
08/06/04 (16 <sup>00</sup> ÷16 <sup>56</sup> )	580	31			PE energ.: 0%
10/06/04 (10 <sup>05</sup> ÷11 <sup>19</sup> )	460	34			

Si osserva che le concentrazioni di polveri tendono a diminuire ai bassi carichi e inoltre che le emissioni del gruppo 2 sono pressoché indipendenti dal numero di campi del P.E. energizzati.

### 6.3.2 Distribuzione delle polveri nelle principali classi granulometriche (PM10 e PM2.5)

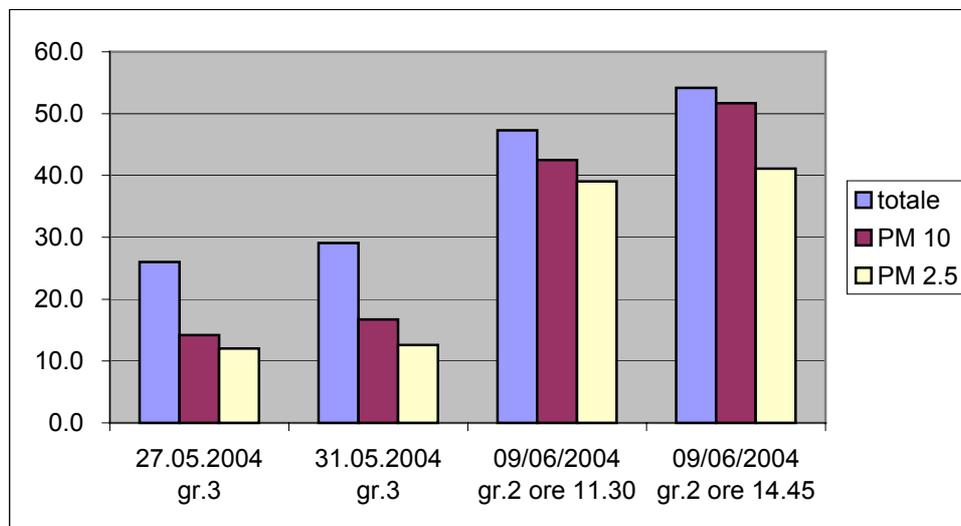
I risultati delle prove sono riportati nei seguenti prospetti e nella successiva Figura 17.

#### Unità termoelettrica n.3

Data	Potenza MW	ora		O <sub>2</sub> misurato % vol.	Totale particolato raccolto	di cui	
		inizio	fine			PM 10	PM 2.5
mgr/Nm <sup>3</sup> norm. 3% O <sub>2</sub>							
27.05.2004	597	11.00	13.30	6	26.0	14.2	12.0
31.05.2004	450÷540	15.30	18.00	6.7	29.0	16.7	12.6

#### Unità termoelettrica n.2

Data	Potenza MW	ora		O <sub>2</sub> misurato % vol.	Totale particolato raccolto	di cui	
		inizio	fine			PM 10	PM 2.5
mgr/Nm <sup>3</sup> norm. 3% O <sub>2</sub>							
09/06/04	580	11.30	13.30	5	47.3	42.5	39.0
09/06/04	580	14.45	16.45	5	54.2	51.7	41.1



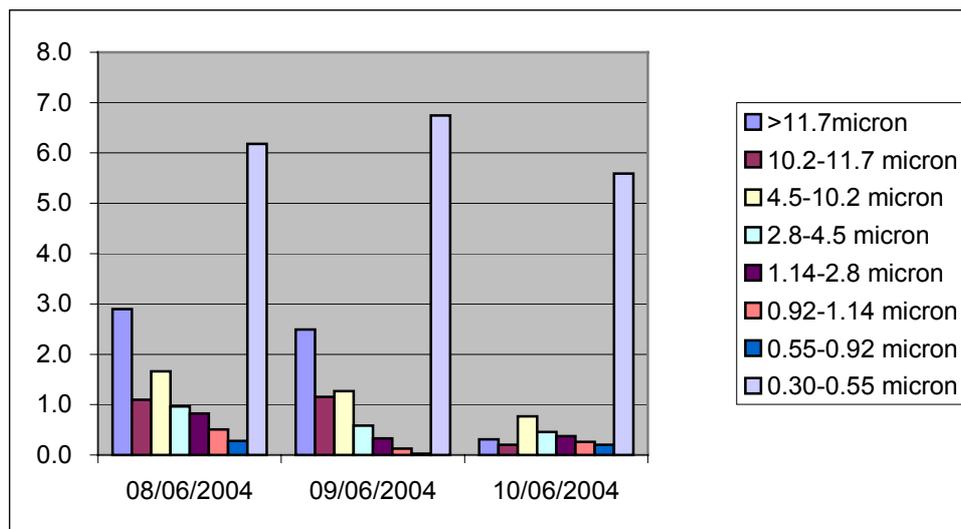
**Figura 17 – Distribuzione delle polveri nelle principali classi granulometriche (PM10 e PM2.5); risultati espressi in mg/Nm<sup>3</sup> riferiti al 3%O<sub>2</sub>**

Analogamente a quanto osservato per le polveri totali, le concentrazioni risultano inferiori a bassi carichi; si conferma inoltre che le emissioni del gruppo 2 risultano in generale maggiori a quelle del gruppo 3, e che la componente fine del particolato del gruppo 3 è comunque inferiore sia in termini assoluti che in termini relativi.

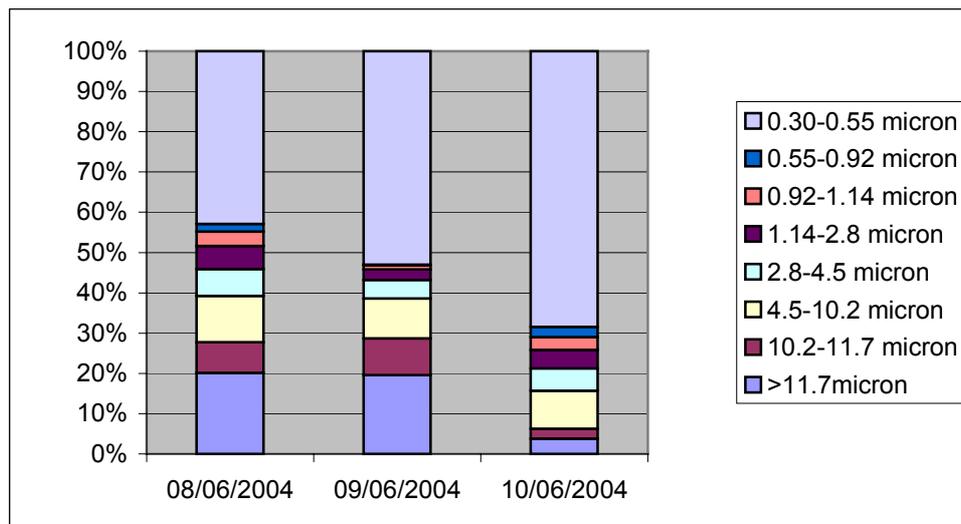
**6.3.3 Distribuzione delle polveri in più classi granulometriche ( $PM_{11.7}$ ,  $PM_{10.2}$ ,  $PM_{4.5}$ ,  $PM_{2.8}$ ,  $PM_{1.14}$ ,  $PM_{0.92}$ ,  $PM_{0.55}$ ,  $PM_{0.30}$ )**

Tutti i risultati sperimentali sono riportati nel seguente prospetto; nella successive rappresentazioni grafiche (Figura 18 e Figura 19) si riportano i medesimi dati accorpati e quindi più immediatamente interpretabili.

Data (orario)	Carico generato (MW)	Concentrazione polveri per ciascuna classe granulometrica (mg/Nm <sup>3</sup> )								
		>11.7µm	10.2-11.7 µm	4.5-10.2 µm	2.8-4.5 µm	1.14-2.8 µm	0.92-1.14 µm	0.55-0.92 µm	0.30-0.55 µm	Totale
08/06/04 (9 <sup>45</sup> ÷17 <sup>45</sup> )	520-570	2.9	1.1	1.7	1.0	0.8	0.5	0.3	6.2	14
09/06/04 (9 <sup>45</sup> ÷15 <sup>45</sup> )	550	2.5	1.2	1.3	0.6	0.3	0.1	0.0	6.7	13
10/06/04 (9 <sup>15</sup> ÷15 <sup>15</sup> )	380-540	0.3	0.2	0.8	0.5	0.4	0.3	0.2	5.6	8



**Figura 18 – Distribuzione delle polveri nelle classi granulometriche (in mg/Nm<sup>3</sup> riferiti al 3%O<sub>2</sub>)**



**Figura 19 – Distribuzione percentuale delle polveri nelle classi granulometriche**

Come al solito la concentrazione totale delle polveri diminuisce ai bassi carichi. È interessante quantificare in che misura l'incremento di efficienza dei P.E. sul gr.3 è maggiore per il particolato grossolano: al diminuire della potenza, infatti, la concentrazione di polveri diminuisce di circa il 40% mentre la componente ultrafine rimane di fatto stazionaria. In altre parole l'incremento di efficienza dei precipitatori non incide in termini significativi sulle emissioni di particolato ultrafine.

## 7 SIMULAZIONI MODELLISTICHE

Sono state condotte simulazioni con il modello matematico ISCST3 delle ricadute di polveri fini emesse dall'impianto di Torrevaldaliga Nord nella sua attuale configurazione impiantistica (4 gruppi termoelettrici ad olio combustibile).

Le simulazioni sono state condotte per i seguenti casi:

- valutazione delle ricadute di polveri nella configurazione modellistica utilizzata nel SIA ma con concentrazioni medie di polveri all'emissione rilevate dallo SME di centrale;
- valutazione delle ricadute di polveri fini considerando la reale distribuzione granulometrica delle polveri emesse e confronto con le concentrazioni misurate in aria ambiente limitatamente al periodo di esecuzione della campagna sperimentale (giugno 2004).

### 7.1 simulazioni di lungo periodo - approccio SIA

La centrale di Torrevaldaliga Nord nella sua configurazione attuale è costituita da 4 gruppi termoelettrici alimentati a olio combustibile le cui emissioni sono scaricate in atmosfera attraverso un camino multiflusso alto 250 metri.

I dati caratterizzanti le emissioni di inquinanti in atmosfera considerati nello Studio di Impatto Ambientale per la trasformazione della centrale a carbone sono riportati nel prospetto seguente.

Sorgente Nome	Potenza MW	CIMINIERA		CARATTERISTICHE FUMI ALL'EMISSIONE			
		altezza m	diametro m	temperatura °C	portata		concentrazioni Polveri mg/Nm <sup>3</sup>
					tal quale Nm <sup>3</sup> /h	secchi O2 rif. Nm <sup>3</sup> /h	
TN1	660	250	5.7	135	2 000 000	1 800 000	50
TN2	660	250	5.7	135	2 000 000	1 800 000	50
TN3	660	250	5.7	135	2 000 000	1 800 000	50
TN4	660	250	5.7	135	2 000 000	1 800 000	50
<b>camino equivalente</b>							
TN1_4	2640	250	11.4	135	8 000 000	7 200 000	50

**Tabella 1 – Caratteristiche chimico-fisiche dell'emissione**

Rispetto al quadro emissivo delineato nello Studio di Impatto Ambientale i dati misurati dallo SME nel periodo di campagna hanno evidenziato concentrazioni medie di polveri in emissione attorno ai 17-18 mg/Nm<sup>3</sup>.

Per questo motivo è stata condotta una simulazione modellistica considerando una concentrazione di polveri più realistica delle attuali condizioni di funzionamento dell'impianto e pari a 20 mg/Nm<sup>3</sup>. Questa prima simulazione è stata effettuata nella stessa configurazione modellistica utilizzata nel SIA per la trasformazione a carbone della centrale e, precisamente:

- input meteorologico: dati rilevati in quota presso la stazione meteorologica della centrale di Torrevaldaliga Nord tra il 1997 ed il 2001 (circa 2 anni per un totale di 20160 record orari corrispondenti a 840 giorni completi equamente ripartiti tra i vari mesi). L'altezza dello strato rimescolato è stata posta pari a 10.000 m;
- dominio di calcolo: area di lato pari a 25 km in direzione E-O e 31 km in direzione N-S con la centrale ENEL situata in X = 728000 m (UTM Est) e Y = 4667650 m (UTM Nord). I punti ricettori sono disposti su una griglia a maglie quadrate con un passo variabile tra 500 e 250 metri, più fitte all'aumentare della quota, per un totale di 4216 punti ricettori;
- impianto funzionante in modo continuo tutto l'anno;
- polveri fine assimilate cautelativamente ad un gas, non viene fornita la distribuzione granulometrica e pertanto vengono trascurati gli effetti dovuti alla deposizione sia secca che umida.

I risultati delle simulazioni condotte sono riassunti nella successiva Tabella 2 che riporta i valori massimi stimati nel dominio di calcolo dei diversi parametri statistici definiti dalla normativa vigente.

Particolato totale Normativa	Parametro	Limite ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	SIA ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	SIA 20 mg/Nm <sup>3</sup> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
D.M. 2 Apr 2002 n.60	Media annuale - Fase1	40	1.0	0.4
D.M. 2 Apr 2002 n.60	Media annuale - Fase2	20	1.0	0.4
D.M. 2 Apr 2002 n.60	Concentrazione superata per 35g/anno – Fase 1 (percentile giornaliero 90.4110)	50	4.0	1.6
D.M. 2 Apr 2002 n.60	Concentrazione superata per 7g/anno – Fase 2 (percentile giornaliero 98.0822)	50	8.5	3.4
valore limite 203/88	95 percentile giornaliero	300	5.9	2.4
	massimo orario		103.0	41.2
	massimo giornaliero		21.0	8.4

**Tabella 2 – valori massimi dei parametri statistici definiti dalla normativa vigente**

Nella Figura 20 sono individuate le aree di ricaduta delle polveri emesse dalla centrale nel suo assetto attuale a OCD nel caso di concentrazione di polveri in emissioni pari a 20 mg/Nm<sup>3</sup>.

PTS - Concentrazioni medie annuali ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

\*\* Situazione attuale TorreValdaliga Nord - Conc. polveri in emissione  $20 \text{ mg}/\text{Nm}^3$ \*\*  
 Valore massimo =  $0.4 \text{ } (\mu\text{g}/\text{m}^3)$

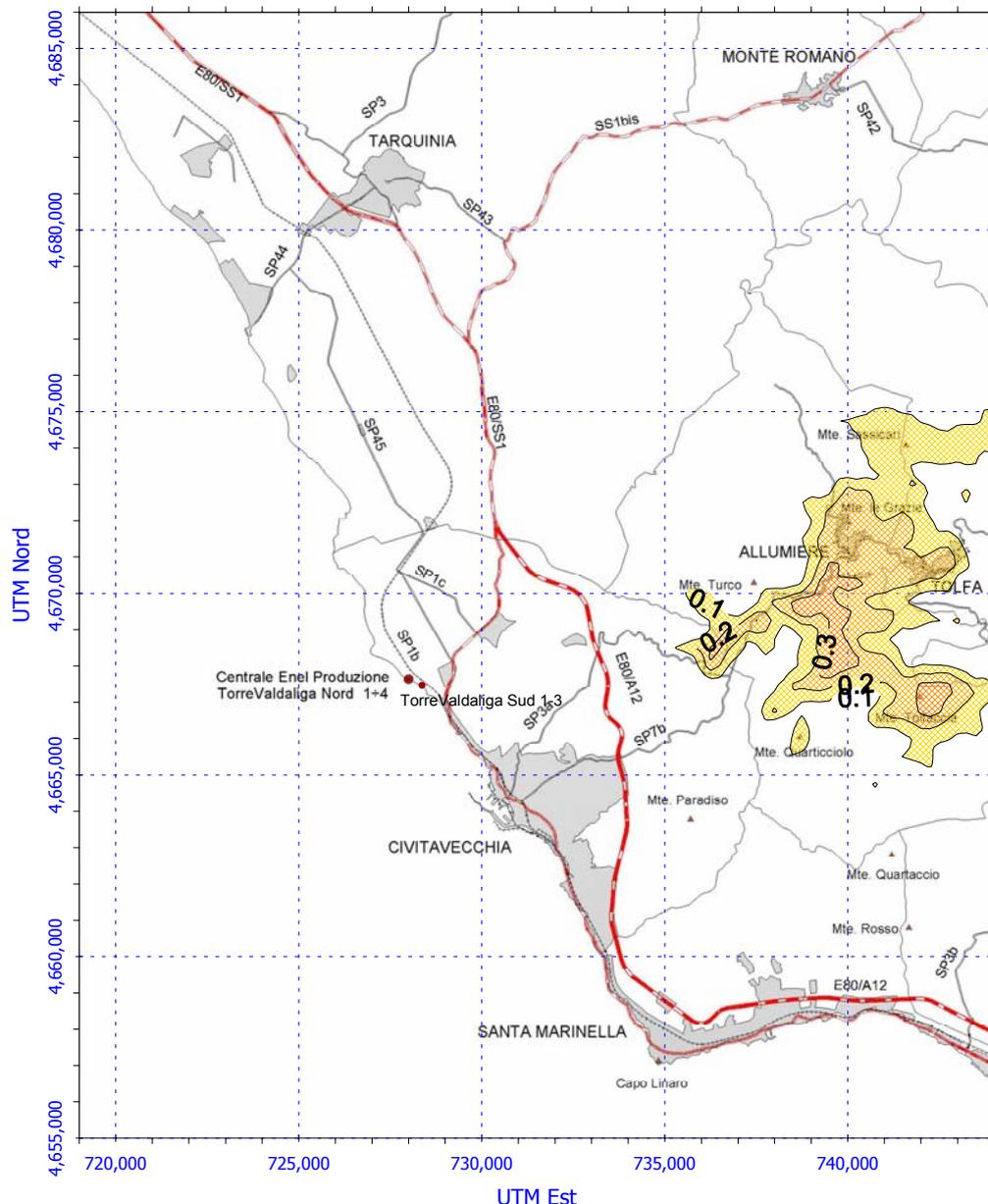


Figura 20 – Concentrazioni medie annuali di polveri

## 7.2 Risultato delle simulazioni

I dati di emissione rilevati dallo SME ed i dati meteorologici misurati dalla torre meteo della centrale sono serviti per la costruzione dell'input al modello di trasporto e dispersione degli inquinanti in atmosfera ISCST3.

In particolare l'input emissivo è stato definito in modo tale da poter ricostruire le reali emissioni orarie dei due gruppi termoelettrici tenendo in considerazione che nel periodo di indagine erano funzionanti due gruppi termoelettrici (2 e 3) e che in un sottoperiodo era in funzione il solo gruppo 3. Ciò ha richiesto la definizione di due camini equivalenti alle due diverse configurazioni di emissione:

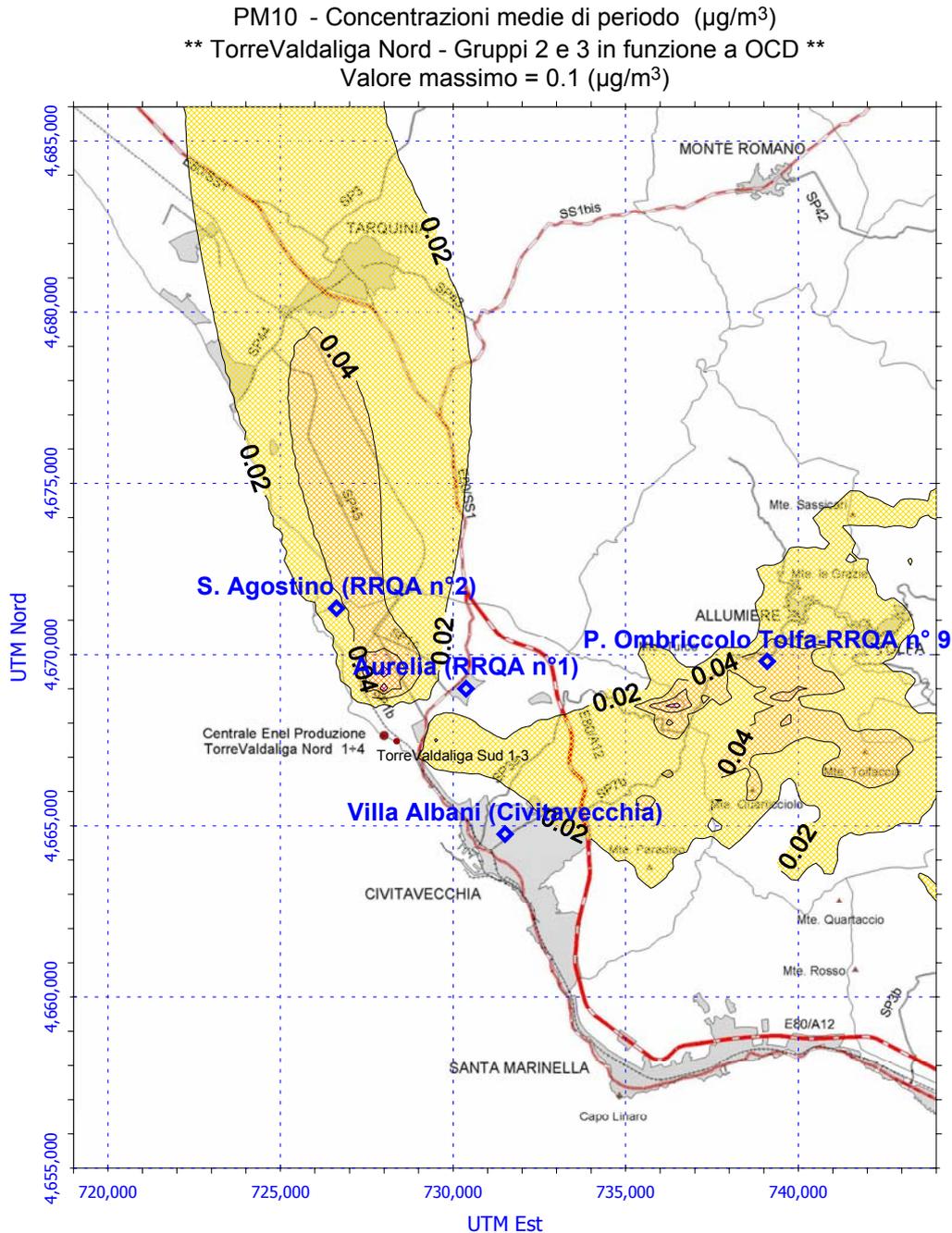
- gruppi 2 e 3 in funzione: diametro equivalente pari a 8.6 metri
- solo gruppo 3 in funzione: diametro equivalente paria a 5.7 metri.

I parametri di emissione variabili ora per ora, rateo di emissione, temperatura e velocità dei fumi, sono stati definiti dai dati misurati dallo SME di centrale.

I dati meteorologici di input sono stati definiti utilizzando i dati anemometrici alla quota di 100 metri e la temperatura al suolo mentre, la classe di stabilità è stata calcolata a partire da radiazione solare e velocità del vento a 10 metri nelle ore diurne e utilizzando il gradiente di temperatura tra il suolo e 100 metri per le ore notturne.

Le simulazioni effettuate hanno interessato il periodo dalle ore 1 del 19 maggio 2004 alle ore 24 del 23 giugno 2004 per complessive 864 ore.

Una prima simulazione effettuata è stata realizzata per calcolare le concentrazioni medie sull'intero periodo di indagine e sul dominio di calcolo utilizzato nei precedenti studi per il SIA della centrale. Il risultato della simulazione è illustrata nella successiva Figura 21 che presenta aree di ricaduta ubicate a Est e a Nord della centrale di Torrealvaldliga Nord.



**Figura 21 – Concentrazioni di PM10 medie sull'intero periodo di indagine**

Con riferimento all'ubicazione delle postazioni di misura del particolato fine, la Figura 21 evidenzia che le postazioni Aurelia e Villa Albani mediamente non sono interessate dalle ricadute della centrale mentre, la postazione di S. Agostino e Poggio Ombriccolo sono poste in aree con ricadute mediamente attorno ai  $0.02-0.04 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . La figura evidenzia inoltre due aree di massima ricaduta poste una a circa 10 km ad Est della centrale ed una a circa 2 km a Nord, entrambe le aree presentano ricadute medie nel periodo di indagine di poco inferiori ai  $0.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Una seconda simulazione è stata condotta per il calcolo delle serie temporali delle concentrazioni medie orarie nelle 4 postazioni utilizzate nel corso della campagna di indagine. Da queste serie temporali orarie sono state successivamente calcolate le concentrazioni medie giornaliere stimate dal modello e necessarie per il confronto con le concentrazioni di particolato fine misurate sperimentalmente.

Nella Tabella 3 è presentata una breve statistica sui dati calcolati dal modello, dal cui esame si nota come il contributo della centrale di Torrealvaldiga Nord stimato dal modello è in termini di medie sull'intero periodo analizzato e di medie giornaliere sempre inferiore al  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Anche a livello di concentrazioni medie orarie i contributi massimi dell'impianto sono dell'ordine del  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , fanno eccezione due valori medi orari calcolati dal modello nella postazione di Poggio Ombriccolo pari a 21.6 e 3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

	Aurelia	S. Agostino	P. Ombriccolo	Villa Albani
media di periodo	0.008	0.035	0.042	0.008
massima media oraria	1.286	0.944	21.579	1.081
massima media giornaliera	0.075	0.167	0.955	0.093

**Tabella 3 – Concentrazioni di PM10 calcolate dal modello nelle 4 postazioni di indagine [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]**

Il confronto con le concentrazioni misurate è illustrato in termini di concentrazioni medie giornaliere nella successiva Figura 22. L'esame della figura evidenzia mediamente contributi massimi calcolati dal modello dell'ordine di  $0.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , ad eccezione di un massimo giornaliero pari a circa  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  calcolato nella postazione di Poggio Ombriccolo il 20 maggio. Tale massimo giornaliero deriva essenzialmente da una concentrazione media oraria di circa  $21 \mu\text{g}/\text{m}^3$  calcolata dal modello alle ore 5 in condizioni di forte stabilità atmosferica e vento molto debole da WSW.

Complessivamente l'esame delle figura evidenzia che il contributo di particolato primario emesso direttamente dalla centrale è decisamente trascurabile rispetto alle concentrazioni rilevate di particolato fine (primario + secondario). Inoltre, non è evidenziabile nemmeno una qualche influenza della centrale nel determinare i rialzi di concentrazione di polveri fini rilevati dalle misure.

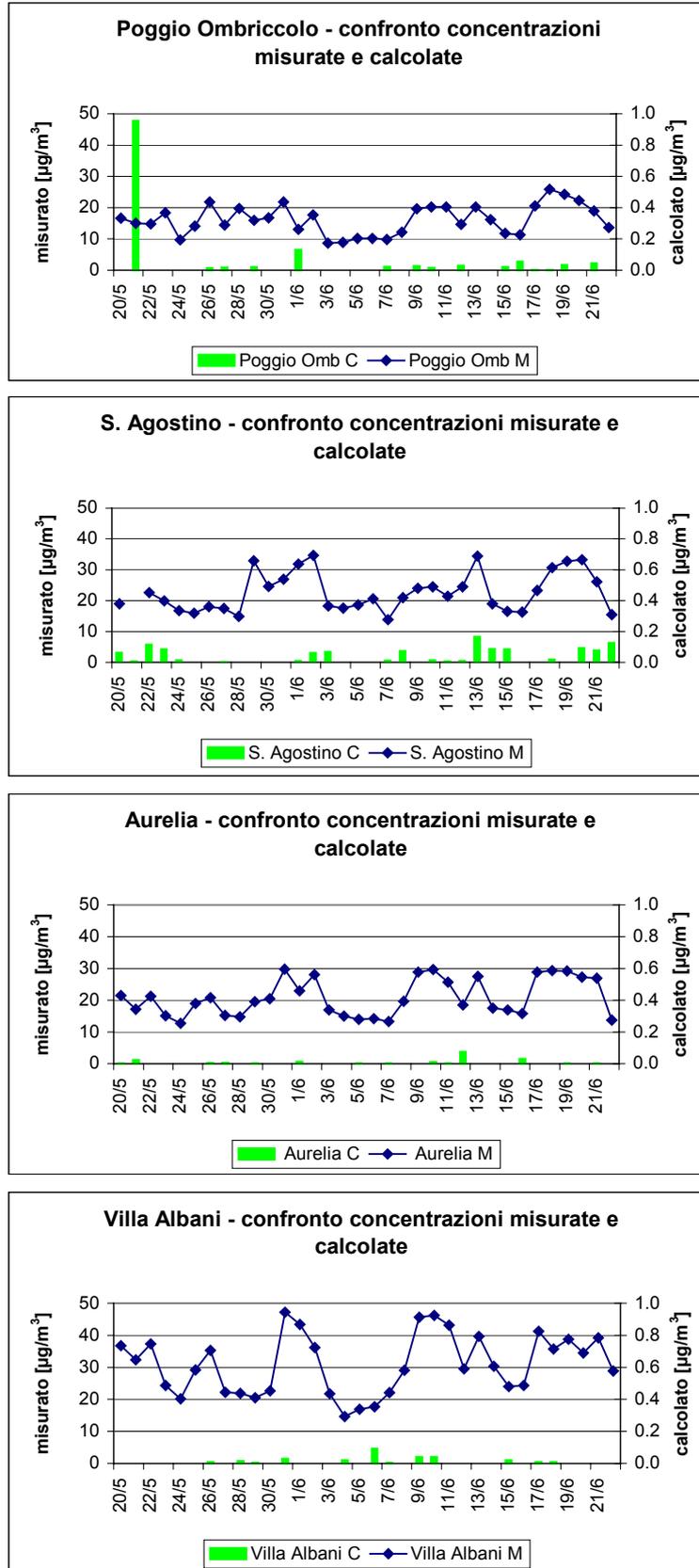


Figura 22 – Confronto tra le concentrazioni medie giornaliere misurate e calcolate dal modello nelle 4 postazioni di misura