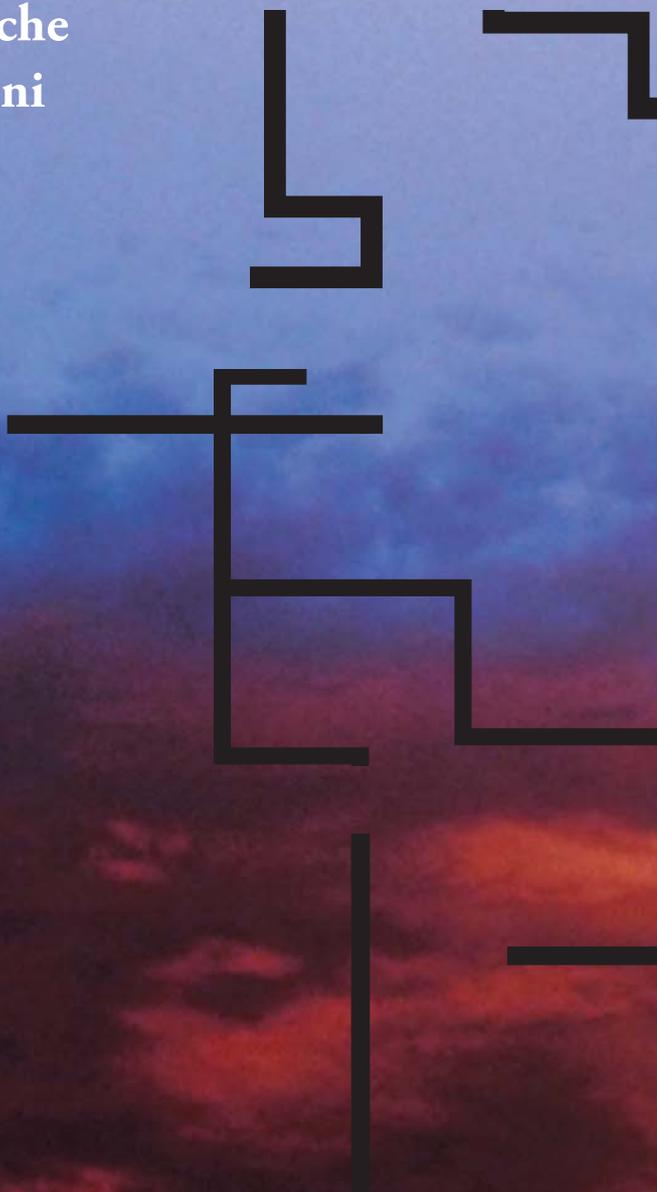


Caratteristiche morfologiche  
e chimiche delle polveri fini  
in Umbria

*Dati 2010-2011*









agenzia regionale per la protezione ambientale

**Arpa Umbria - Agenzia regionale  
per la protezione ambientale**

via Pievaiola (loc. San Sisto) - Perugia

tel: 075 515961 - fax 075 51596235

[www.arpa.umbria.it](http://www.arpa.umbria.it)

[arpa@arpa.umbria.it](mailto:arpa@arpa.umbria.it)



**Università degli Studi di Perugia**

Dipartimento di Ingegneria Civile ed Ambientale

via G.Duranti 93 - Perugia

tel: 075 5853262 - fax 075 5853864

[www.ing.unipg.it](http://www.ing.unipg.it)

[david.cappelletti@unipg.it](mailto:david.cappelletti@unipg.it)

**Autori**

David Cappelletti, Beatrice Moroni (Università degli Studi di Perugia)

**Contributi**

Monica Angelucci, Mara Galletti (Arpa Umbria)

**Collaborazione**

Emanuele Bubu, Giancarlo Caiello, Annarita Petrini, Andrea Pileri,

Marco Pompei, Federica Rocchi

(Arpa Umbria)

Stefano Ortu, Francesco Scardazza

(Università degli Studi di Perugia)

Ezio Bolzacchini, Luca Ferrero

(Università degli Studi di Milano – Bicocca)

**Progetto grafico**

Paolo Tramontana

**Impaginazione**

Emanuele Capponi

Eventuali duplicazioni, anche di parti della pubblicazione,  
sono autorizzate a condizione che venga citata la fonte

©Copyright 2012 Arpa Umbria

**Caratterizzazione morfologica e  
chimica di polveri fini in Umbria  
2010-2011**



# Indice

<b>1. Lo studio .....</b>	<b>7</b>
<b>2. Campagna di campionamento .....</b>	<b>9</b>
<b>3. Dati sperimentali.....</b>	<b>11</b>
3.1 <i>Gravimetria</i> .....	11
<b>4. Confronto tra i siti.....</b>	<b>23</b>
4.1 <i>Foligno</i> .....	23
4.2 <i>Altre località</i> .....	25
4.3 <i>Terni</i> .....	26
<b>5. Misure con pallone erostatico frenato .....</b>	<b>29</b>
<b>6. Conclusioni .....</b>	<b>33</b>





## 1. Lo studio

La collaborazione fra Arpa Umbria e Università degli Studi di Perugia ha permesso di realizzare un progetto per la caratterizzazione chimica e morfologica delle polveri fini in diverse realtà urbane umbre. Lo studio, dopo la prima fase realizzata nel 2009 in alcune aree urbane (Perugia, Terni, Gubbio, Spoleto e Narni) e di fondo (Monti Martani) della regione, ha visto la sua estensione nel 2010 ad altre aree comunali selezionate in base alla presenza sul loro territorio di significative emissioni e di una elevata densità di popolazione. Le nuove aree sottoposte allo studio sono state Foligno, Città di Castello e Orvieto, tutte altre con impatto prevalente da traffico. Oltre a queste aree è continuato il monitoraggio del sito di fondo regionale dei Monti Martani e dei comuni di Terni e Perugia al fine di confrontare i risultati con la precedente fase dello studio. I siti specifici di campionamento, mediante separatori multistadio, sono stati selezionati presso le postazioni delle stazioni fisse della rete regionale e/o dei mezzi mobili presenti.

Il progetto ha previsto oltre alla determinazione delle concentrazioni di alcuni marker chimici specifici di traffico veicolare ed industria (IPA e metalli pesanti), già studiati nella prima fase dello studio, anche la ricerca di marker specifici della combustione da incenerimento e biomasse (es. diossine, levoglucosano).

Infine, nella città di Terni sono state ripetute le misure di profili verticali di aerosol con l'utilizzo di un pallone aerostatico frenato.



## 2. Campagna di campionamento

Le attività di monitoraggio delle polveri fini in Umbria nell'anno 2010 fino alla primavera 2011, come anticipato, vanno ad integrare il progetto 2008-2009. Il campionamento è stato condotto mediante impattori multistadio ad alto volume come nel precedente studio, le analisi chimiche sono state integrate con misure di black carbon (BC), conteggio di particelle con sistema ottico (OPC) e determinazioni di levoglucosano e diossine. I siti nelle varie aree sono stati localizzati presso le postazioni delle stazioni fisse e/o dei mezzi mobili Arpa. Parallelamente ai nuovi siti di studio, alcuni controlli stagionali sono stati compiuti anche a Perugia, Terni e Monte Martano stesse postazioni già utilizzate nel 2009. I campionamenti sono stati eseguiti da personale Arpa coadiuvato da ricercatori di UNIPG che hanno curato anche le misure in campo di BC e conta numerica. Gravimetria ed analisi chimiche off-line sono state realizzate presso i laboratori Arpa utilizzando spettroscopia ad emissione atomica (ICP-massa) per i metalli, cromatografia di gas massa (GCMS) per idrocarburi, levoglucosano e diossine, cromatografia ionica (CI) per anioni e cationi. L'analisi dei dati è stata condotta da UNIPG. Lo schema dei campionamenti è riportato in tabella 2.1.

Tabella 2.1: Schema campionamenti 2010-2011.

	Inverno	Primavera	Estate	Autunno
<b>Foligno (FOL)</b>	2-5 feb 18-22 feb (2010)	26-30 apr; 21-24 mag (2010)	6-9 lug * 9-14 lug (2010)	19-22 ott 29 ott-2 nov* (2010)
<b>Orvieto (ORV)</b>		4-10 mar <sup>£</sup> (2011)	10-14 giu 22-26 giu 26 lug <sup>#</sup> (2010)	5-8 nov 15-19 nov <sup>§</sup> (2010)
<b>Città di Castello (CAS)</b>		7-9 mar <sup>£</sup> (2011)	21 lug <sup>#</sup> (2010)	19-22 ott* 29 ott e 2 nov (2010)
<b>Perugia Fontivegge (PGF)</b>	27-29 gen <sup>§</sup> (2010)		23 lug <sup>#</sup> (2010)	22-27 nov 3-7 dic 9 dic e 14dic <sup>#</sup> (2010)
<b>Terni Verga (TRV)</b>	27-29 gen <sup>§</sup> (2010)	25-28 mar (2011) <sup>¶</sup>	27 lug <sup>#</sup> (2010)	29 nov e 3 dic 3-7 dic 14-15 dic <sup>#</sup> (2010)
<b>Monte Martano (MAR)</b>				7 dic 13 dic <sup>#</sup> (2010)

\*anche BC+OPC; <sup>#</sup>solo BC+OPC; <sup>§</sup>solo gravimetria; <sup>£</sup>manca la gravimetria.

Come si può vedere dalla tabella 2.1, i campionamenti non sono stati omogenei durante l'anno per i vari siti. Il trend stagionale ed il valore medio annuale è stato caratterizzato solo per il sito di Foligno mentre il confronto completo

(gravimetria e chimica) fra tutti i siti non è stato possibile in alcuna stagione. Gravimetria e chimica vengono descritte nelle tabelle riportate di seguito.

I dati sono stati aggregati (sempre in analogia allo studio precedentemente condotto) in quattro frazioni per la misura gravimetrica ed in frazione fine ( $D_p < 1\mu\text{m}$ ), coarse ( $D_p > 1\mu\text{m}$ ) e PM10 per le analisi chimiche.

## 3. Dati sperimentali

Di seguito vengono riportati i risultati sperimentali della campagna di misura. Data la mancanza di dati per tutti i siti di campionamento e per tutti le stagioni, non è stato possibile fare delle analisi di confronto approfondite. Pertanto, ogni tabella sarà seguita da un breve commento sui singoli risultati e ove disponibili saranno fatti i confronti con i dati misurati nel 2009 per gli stessi punti di misura.

### 3.1 Gravimetria

Tabella 3.1: Concentrazione ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ) di polveri in aria nelle varie classi dimensionali.

Stazione	Classe	Media annuale	Inverno	Primavera	Estate	Autunno
		$\mu\text{g/m}^3$				
FOL	PM10	34.7	59.2	22.9	21.6	35
	PM2.1	22.0	34.8	14.2	12.9	26.2
	PM1.3	19.7	31.2	12.3	11.5	23.8
	PM0.39	10.8	18.8	6.04	5.7	12.7
PGF	PM10		61.0 (74.5)			24 (44.2)
	PM2.1		38.7 (45.5)			16.7 (27.7)
	PM1.3		34.2 (37.1)			15 (24.9)
	PM0.39		15.7 (22.7)			7.2 (12.8)
TRV	PM10		66.4 (68.3)			31.7 (37.6)
	PM2.1		53.7 (54.3)			21.2 (23.6)
	PM1.3		47.8 (49.4)			18 (21.1)
	PM0.39		18.2 (25.4)			10.7 (7.9)
CAS	PM10					52.9
	PM2.1					37.6
	PM1.3					34.1
	PM0.39					17.2
ORV	PM10				25.9	31.4
	PM2.1				12	20.5
	PM1.3				10.1	18.6
	PM0.39				4.7	11.7

Come si può notare i cinque i siti mostrano valori di classi dimensionali molto simili quando sono state possibili misure in parallelo. Il dato di Città di Castello (CAS, autunno) si discosta significativamente dagli altri; la mancanza del trend stagionale in questo caso non consente però particolari speculazioni sul singolo dato. I dati 2009 (in parentesi) mostrano valori leggermente più elevati del 2010 a Perugia Fontivegge (PGF) e Terni Verga (TRV). La differenza, comunque poco significativa, è probabilmente dovuta ad effetti meteorologici e climatici.

**Tabella 3.2:** Frazione ionica – Solfati (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)

Stazione	Classe	Inverno	Primavera	Estate	Autunno
		µg/m <sup>3</sup>			
FOL	Fine	0559	2.189	2.075	0.909
	Coarse	0.234	0.302	0.233	0.193
	PM10	0.794	2.491	2.308	1.103
PGF	Fine				0.288
	Coarse				0.185
	PM10				0.473
TRV	Fine		2.817		0.748
	Coarse		0.781		0.280
	PM10		3.598		1.029
CAS	Fine		1.120		0.428
	Coarse		0.232		0.223
	PM10		1.351		0.652
ORV	Fine		1.919	0.624	
	Coarse		0.618	0.227	
	PM10		2.537	0.851	

A Foligno (FOL) si vede bene l'andamento stagionale con i solfati più alti d'estate, come di norma, in particolare nella frazione "fine". Stesso andamento si intuisce a Terni (TRV), Città di Castello (CAS) e Orvieto (ORV) dove il campionamento è di sole due stagioni.

3.3: Frazione ionica – Nitrati (NO<sub>3</sub>)

Stazione	Classe	Inverno	Primavera	Estate	Autunno
		µg/m <sup>3</sup>			
FOL	Fine	1.455	0.245	0.073	1.360
	Coarse	0.650	0.352	0.423	0.550
	PM10	2.104	0.596	0.496	1.910
PGF	Fine				1.490
	Coarse				0.562
	PM10				2.052
TRV	Fine		0.952		1.017
	Coarse		1.125		0.658
	PM10		2.076		1.675
CAS	Fine		1.392		1.901
	Coarse		0.514		0.678
	PM10		1.906		2.579
ORV	Fine		0.973	0.588	
	Coarse		0.524	0.606	
	PM10		1.497	1.194	

Per i nitrati, analogamente ai solfati, a Foligno (FOL) si vede bene il classico andamento stagionale con valori più alti di inverno. Tutti i siti sono abbastanza in linea.

### 3.4: Frazione ionica – Cloruri (Cl)

Stazione	Classe	Inverno	Primavera	Estate	Autunno
		$\mu\text{g}/\text{m}^3$			
FOL	Fine	0.131	0.007	0.00	0.105
	Coarse	0.693	0.009	0.013	0.164
	PM10	0.823	0.016	0.013	0.269
PGF	Fine				0.086
	Coarse				0.437
	PM10				0.523
TRV	Fine		0.001		0.168
	Coarse		0.134		0.719
	PM10		0.135		0.887
CAS	Fine		0.051		0.068
	Coarse		0.228		0.065
	PM10		0.279		0.134
ORV	Fine		0.018	0.057	
	Coarse		0.179	0.187	
	PM10		0.198	0.244	

I cloruri sono più alti d’inverno a Foligno (FOL) (vedi analogo comportamento per Na<sup>+</sup>), parte del contributo è dovuto a trasporto a lunga distanza.

### 3.5: Frazione ionica – Calcio (Ca<sup>2+</sup>)

Stazione	Classe	Inverno	Primavera	Estate	Autunno
		$\mu\text{g}/\text{m}^3$			
FOL	Fine	0.200	0.215	0.034	0.173
	Coarse	0.174	0.139	0.169	0.387
	PM10	0.373	0.354	0.203	0.561
PGF	Fine				0.034
	Coarse				0.291
	PM10				0.324
TRV	Fine		0.143		0.201
	Coarse		0.538		0.405
	PM10		0.681		0.606
CAS	Fine		0.207		0.142
	Coarse		0.519		0.513
	PM10		0.726		0.655
ORV	Fine		0.143	0.039	
	Coarse		0.389	0.405	
	PM10		0.532	0.444	

Il calcio totale è più o meno costante ovunque. Apparentemente in estate ed autunno prevale nella frazione “coarse”.

3.6: Frazione ionica – Mg (Mg<sup>2+</sup>)

Stazione	Classe	Inverno	Primavera	Estate	Autunno
		µg/m <sup>3</sup>			
FOL	Fine	0.017	0.013	0.000	0.027
	Coarse	0.056	0.013	0.023	0.037
	PM10	0.073	0.027	0.023	0.063
PGF	Fine				0.002
	Coarse				0.050
	PM10				0.052
TRV	Fine		0.005		0.027
	Coarse		0.060		0.071
	PM10		0.065		0.097
CAS	Fine		0.036		0.002
	Coarse		0.081		0.020
	PM10		0.116		0.022
ORV	Fine		0.021	0.002	
	Coarse		0.069	0.038	
	PM10		0.091	0.040	

Il magnesio è più o meno costante ovunque. Apparentemente in estate ed autunno prevale nella frazione “coarse”.

3.7: Frazione ionica – Sodio (Na<sup>+</sup>)

Stazione	Classe	Inverno	Primavera	Estate	Autunno
		µg/m <sup>3</sup>			
FOL	Fine	0.229	0.184	0.094	0.752
	Coarse	0.607	0.137	0.227	0.181
	PM10	0.836	0.321	0.322	0.934
PGF	Fine				0.019
	Coarse				0.253
	PM10				0.272
TRV	Fine		0.022		0.000
	Coarse		0.240		0.369
	PM10		0.261		0.369
CAS	Fine		0.000		0.017
	Coarse		0.073		0.061
	PM10		0.073		0.077
ORV	Fine		0.000	0.798	
	Coarse		0.087	0.204	
	PM10		0.087	1.002	

Il Sodio risulta più alto nella frazione “coarse” in particolare in inverno (vedi analogo comportamento per Cl<sup>-</sup>).

3.8: Frazione ionica – Potassio (K<sup>+</sup>)

Stazione	Classe	Inverno	Primavera	Estate	Autunno
		µg/m <sup>3</sup>			
FOL	Fine	0.197	0.055	0.026	0.169
	Coarse	0.035	0.021	0.027	0.017
	PM10	0.232	0.076	0.053	0.186
PGF	Fine				0.122
	Coarse				0.011
	PM10				0.133
TRV	Fine		0.157		0.392
	Coarse		0.022		0.056
	PM10		0.179		0.448
CAS	Fine		0.244		0.333
	Coarse		0.107		0.014
	PM10		0.352		0.348
ORV	Fine		0.215	0.140	
	Coarse		0.072	0.023	
	PM10		0.286	0.163	

Il potassio risulta generalmente più alto nella frazione “fine” nelle stagioni fredde (origine prevalente dall’utilizzo delle biomasse). A Orvieto (ORV) anche in estate. Nell’effettuazione dei campionamenti è stato però osservato nei pressi della stazione di misura la presenza materiale legnosi bruciati. Si pensa quindi ad un difetto in questo caso.

3.9: Frazione ionica – Ammonio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)

Stazione	Classe	Inverno	Primavera	Estate	Autunno
		µg/m <sup>3</sup>			
FOL	Fine	0.308	0.599	0.567	0.361
	Coarse	0.000	0.011	0.010	0.035
	PM10	0.308	0.609	0.577	0.397
PGF	Fine				0.401
	Coarse				0.028
	PM10				0.429
TRV	Fine		0.816		0.131
	Coarse		0.145		0.007
	PM10		0.962		0.138
CAS	Fine		0.707		0.427
	Coarse		0.039		0.043
	PM10		0.746		0.470
ORV	Fine		0.621	0.210	
	Coarse		0.177	0.030	
	PM10		0.798	0.240	

L’ammonio risulta sempre più alto nella frazione “fine”, questo può essere imputato ad aerosol secondario (comportamento analogo per i solfati). La situazione risulta analoga per tutti i punti di campionamento.

### 3.10: Frazione ionica totale

Stazione	Classe	Inverno	Primavera	Estate	Autunno
		µg/m <sup>3</sup> (percentuale)			
FOL	Fine	3.403 (17%)	3.762 (31%)	2.900 (25%)	4.248 (9%)
	Coarse	2.536 (12%)	1.068 (10%)	1.279 (13%)	1.572 (5%)
	PM10	5.939 (15%)	4.830 (21%)	4.179 (19%)	5.819 (7%)
PGF	Fine				2.432 (16%)
	Coarse				1.816 (20%)
	PM10				4.249 (18%)
TRV	Fine		4.916		2.697 (15%)
	Coarse		3.065		2.579 (22%)
	PM10		7.980		5.276 (18%)
CAS	Fine		2.526		3.326 (10%)
	Coarse		0.851		1.621 (9%)
	PM10		3.377		4.947 (9%)
ORV	Fine		3.916	2.728 (27%)	
	Coarse		2.119	1.730 (11%)	
	PM10		6.035	4.458 (17%)	

Si possono osservare dei valori in percentuale bassi nella stagione autunnale (rispetto alle altre stagioni) a Foligno (FOL) e Città di Castello (CAS). Questo suggerisce che durante il campionamento autunnale sia stata più alta della norma la frazione organica (vedere il comportamento per gli IPA, il levoglucosano e il *black carbon*). E' difficile poter stabilire se si tratti di un evento singolo avvenuto durante il campionamento oppure di un fenomeno stagionale. I valori assoluti nel loro complesso (dato medio annuo) sono più bassi di quelli registrati nel 2009, quando a livello regionale si erano evidenziati valori abbastanza simili in tutti i siti (vedi report 2009). Ciò è in linea con l'abbassamento complessivo delle concentrazioni di polveri, già discusso nella sezione gravimetria.

### 3.11: Metalli – Piombo

Stazione	Classe	Inverno	Primavera	Estate	Autunno	Media anno 2009
		ng/m <sup>3</sup>				
<b>FOL</b>	Fine	2.05	1.47	1.09	2.42	
	Coarse	0.66	0.53	0.29	0.55	
	PM10	2.71	2.00	1.39	2.97	
<b>PGF</b>	Fine				0.84 (0.9)	7.1
	Coarse				0.43 (1.5)	3.4
	PM10				1.3 (2.4)	10.5
<b>TRV</b>	Fine		2.7 (4.7)		1.7 (0.4)	11.3
	Coarse		1.2 (2.2)		2.8 (0.1)	4.4
	PM10		4.0 (6.9)		4.5 (0.5)	15.7
<b>CAS</b>	Fine		1.068		1.579	
	Coarse		0.613		1.158	
	PM10		1.680		2.737	
<b>ORV</b>	Fine			1.155		
	Coarse			0.373		
	PM10			1.528		

I valori di piombo misurati sono in linea tra loro. Fanno eccezione le concentrazioni a Terni (TRV) che risultano più alte in particolare in autunno per la frazione “coarse” (anche rispetto al 2009 riportato tra parentesi). Nella frazione “coarse” di Perugia (PGF) risulta invece una diminuzione in autunno rispetto al 2009 (sempre tra parentesi). Ciò è imputabile allo spostamento della stazione di misura posizionata in modo più corretto rispetto alla distanza dalla carreggiata stradale.

### 3.12: Metalli - Cromo

Stazione	Classe	Inverno	Primavera	Estate	Autunno	Media anno 2009
		ng/m <sup>3</sup>				
FOL	Fine	1.47	0.72	0.12	1.29	
	Coarse	2.21	0.93	0.18	0.49	
	PM10	3.69	1.65	0.30	1.79	
PGF	Fine				0.277 (0.6)	4.1
	Coarse				0.646 (7.4)	7.5
	PM10				0.924 (8.0)	11.6
TRV	Fine		5.6 (9.9)		11.4 (4.8)	10.0
	Coarse		12.0 (14.2)		11.4 (6.8)	10.0
	PM10		17.6 (24.1)		22.8 (11.6)	20.0
CAS	Fine		0.000		0.226	
	Coarse		0.167		0.387	
	PM10		0.167		0.613	
ORV	Fine			1.511		
	Coarse			0.415		
	PM10			1.926		

Il cromo risulta molto più alto a Terni (TRV) rispetto agli altri siti in modo analogo a quanto evidenziato nel 2009 (dati tra parentesi); in primavera i valori sono in generale in linea con quelli del 2009 mentre in autunno essi risultano molto superiori (fattore di arricchimento del rapporto delle misure 2010/2009 >>1). Il calo a Perugia (PGF) nella frazione “coarse” è imputabile, così come per il piombo, allo spostamento della stazione che risente di meno del risollevarsi della polvere stradale.

### 3.13: Metalli – Ni

Stazione	Classe	Inverno	Primavera	Estate	Autunno	Media anno 2009
		ng/m <sup>3</sup>				
FOL	Fine	1.13	0.18	0.93	0.34	
	Coarse	0.73	0.39	0.30	0.22	
	PM10	1.85	0.57	1.23	0.57	
PGF	Fine				0.62 (0.2)	1.5
	Coarse				0.39 (0.8)	1.6
	PM10				1.0 (1.0)	3.1
TRV	Fine		2.9 (4.6)		4.2 (1.0)	7.0
	Coarse		4.1 (5.7)		4.6 (2.0)	6.0
	PM10		7.1 (10.3)		8.8 (3.0)	13.0
CAS	Fine		0.531		0.396	
	Coarse		0.370		1.312	
	PM10		0.900		1.709	
ORV	Fine			0.355		
	Coarse			0.185		
	PM10			0.541		

Il nichel risulta molto più alto a Terni (TRV) rispetto agli altri siti in modo analogo a quanto evidenziato nel 2009 (dati tra parentesi). In generale i valori assoluti sono in linea con il 2009 e mostrano lo stesso trend stagionale del cromo.

### 3.14: Metalli - Ferro

Stazione	Classe	Inverno	Primavera	Estate	Autunno
		ng/m <sup>3</sup>			
FOL	Fine	31	19	14	17
	Coarse	92	129	61	124
	PM10	123	148	75	142
PGF	Fine				17 (11)
	Coarse				224 (754)
	PM10				242 (765)
TRV	Fine		30 (76)		113 (25)
	Coarse		184 (291)		96 (121)
	PM10		214 (367)		209 (146)
CAS	Fine				116
	Coarse				162
	PM10				279
ORV	Fine		21		17
	Coarse		271		152
	PM10		292		169

I valori di concentrazione di ferro sono molto simili ovunque e la presenza del metallo è prevalente nella frazione “coarse”. Nel punto di misura di Terni (TRV) il ferro risulta presente in modo analogo anche nella frazione “fine” in modo particolare in autunno; i valori sono in linea con il 2009 (riportato tra parentesi). Le misure effettuate a Perugia (PGF) nella sola stagione autunnale evidenziano concentrazioni più basse rispetto al 2009 (riportato tra parentesi), la motivazione è imputabile, anche in questo caso alla delocalizzazione della stazione di misura in una postazione più idonea.

### 3.15: Idrocarburi policiclici aromatici (IPA) totali

Stazione	Classe	Inverno	Primavera	Estate	Autunno
		ng/m <sup>3</sup>			
FOL	Fine	28.40	13.04	11.94	50.48
	Coarse	20.75	10.61	10.15	34.73
	PM10	49.15	23.66	22.09	85.21
PGF	Fine				3.44 (1.2)
	Coarse				0.25 (1.8)
	PM10				3.69 (2.0)
TRV	Fine		2.761 (0.9)		5.068 (1.0)
	Coarse		0.150 (1.3)		0.403 (1.5)
	PM10		2.911 (1.4)		5.471 (1.6)
CAS	Fine		10.971		11.300
	Coarse		21.856		0.589
	PM10		32.826		11.889
ORV	Fine		5.98	3.27	
	Coarse		0.38	0.24	
	PM10		6.36	3.51	

I valori di concentrazione di IPA totali risultano molto alti sia a Foligno (FOL) che a Città di Castello (CAS), questo può essere imputabile sia al traffico che al riscaldamento (utilizzo di biomasse). Nel caso di Città di Castello, inoltre, la postazione mobile in cui sono state fatte le misure è stata posizionata probabilmente troppo vicina alla carreggiata stradale. A Perugia (PGF) e Terni (TRV), i valori sono in media più bassi di quelli di FOL e CAS, ma comunque leggermente più alti di quelli registrati nel 2009 (dati in parentesi).

**3.16:** Diossine e furani (DioxFur), Levoglucosano (LevoG), Black Carbon (BC) nella frazione "fine" ( $D_p < 0.39 \mu\text{m}$ ).

Stazione	Analita	Inverno	Primavera	Estate	Autunno
FOL	LevoG (ng/m <sup>3</sup> )	341	24	4.2	12.5
	DioxFur (fg/m <sup>3</sup> )	5.6	2.85	1.85	7.1
	BC (μg/m <sup>3</sup> )			3.6	1.3
PGF	LevoG (ng/m <sup>3</sup> )				52.6
	DioxFur (fg/m <sup>3</sup> )				4.0
	BC (μg/m <sup>3</sup> )			1.1	1.1
TRV	LevoG (ng/m <sup>3</sup> )		98.6		0.3
	DioxFur (fg/m <sup>3</sup> )		3.14		4.75
	BC (μg/m <sup>3</sup> )			0.82	2.78
CAS	LevoG (ng/m <sup>3</sup> )		414		473
	DioxFur (fg/m <sup>3</sup> )		7.6		3.70
	BC (μg/m <sup>3</sup> )		5.5		6.90
ORV	LevoG (ng/m <sup>3</sup> )		391	52.6	
	DioxFur (fg/m <sup>3</sup> )		4.2	4.0	
	BC (μg/m <sup>3</sup> )			1.4	

Il levoglucosano, come il potassio, è un tracciante della combustione delle biomasse; entambi risultano, infatti, generalmente più alti nelle stagioni più fredde. A Orvieto (ORV) si hanno valori alti anche in estate, in linea con i dati del potassio, e quindi imputabile a combustione di materiale legnoso nei pressi delle stazioni di campionamento.

Le diossine e furani hanno valori molto prossimi ai limiti di rilevabilità della catena strumentale, pertanto si possono fare poche considerazioni. Si evidenziano tuttavia valori più alti a Foligno (FOL) e Città di Castello (CAS)<sup>1</sup>

Il *black carbon* si conferma quanto già sottolineato per IPA, potassio e levoglucosano ovvero i valori di concentrazione risultano più alti sia a Foligno (FOL) che a Città di Castello (CAS); ciò conferma la combustione di biomasse.

Durante la campagna estiva, l'uso in parallelo di un contatore di particelle (OPC) e del monitor di *black carbon* (BC) ha consentito di valutare la correlazione fra BC e numero di particelle e di avere una stima dell'abbondanza relativa del BC nel particolato per alcuni siti. In particolare i valori del rapporto BC/PM10 risultano essere 0.05 a Terni (TRV), 0.09 a Perugia (PGF) e Foligno (FOL), 0.10 a Orvieto (ORV) e 0.20 a Città di Castello (CAS). Il dato di Città di Castello è anomalo rispetto agli altri e suggerisce una componente da traffico molto abbondante, legato al posizionamento del punto di misura a ridosso di un incrocio.

<sup>1</sup> Per quanto riguarda le diossine e furani ulteriori analisi sono presentate in uno studio specifico (<http://www.arpa.umbria.it/resources/documenti/aria/RICERCA%20DIOSSINE.pdf>).



## 4. Confronto tra i siti

Di seguito vengono riportati, in modo sintetico, i dati geochimici dei vari siti in termini di confronto tra di loro. Per Terni, inoltre, è riportato il confronto dei dati per lo studio effettuato nell'anno 2009 e nel 2010. Come già ricordato in precedenza, data la scarsità numerica del campione e la limitata riproducibilità stagionale i confronti sono presentati solo per i casi possibili.

### 4.1 Foligno

#### *Confronto Foligno - Terni medie annuali (FOL/TRV<sub>medie annue</sub>)*

I dati sono riportati in figura 4.1 in cui sono indicate le curve per le due frazioni “fine” (F) e “coarse” (C), per le quattro stagioni (Inv, Pr, Est, Aut), FOL per Foligno TR per Terni. I dati di Terni sono relativi all'anno 2009. Dal confronto emerge quanto segue.

- Gli ioni  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{Cl}^-$  sono più alti in autunno-inverno che in primavera-estate, viceversa  $\text{SO}_4^{2-}$  e  $\text{NH}_4^+$ ; ciò è in accordo con quanto si osserva in generale, non solo in Umbria. Tranne  $\text{NO}_3^-$  in estate, tutti gli altri ioni sono più abbondanti nella frazione “fine” (rispetto a quelle “coarse”).
- Gli alcali (ioni) hanno *pattern* molto simili gli uni agli altri. Da notare, in primavera e poi in estate, l'impovertimento di  $\text{Mg}^{2+}$ , che sembra fare il paio con quello di  $\text{Cl}^-$  registrato nello stesso periodo.
- In autunno e in inverno si registra un picco netto di K nella frazione “fine”: come già anticipato esso è imputabile alla combustione delle biomasse.
- I dati dei metalli pesanti-di transizione sono sensibilmente più bassi di quelli di Terni (valori del rapporto di normalizzazione  $<0.4$ ) ciò è ragionevole considerando che nel territorio del comune di Foligno non sono presenti importanti impianti industriali siderurgici.
- Mentre il Pb risulta sempre più abbondante nella frazione “fine” (F), e con valori relativamente più alti in autunno-inverno, gli altri metalli mostrano comportamenti molto più eterogenei: il Cr, in estate, è molto basso, mentre il Ni proprio in estate (e in inverno) mostra valori più alti soprattutto nella frazione F. Questo fa pensare che le sorgenti di questi due metalli

possano essere quantomeno diversificate. I dati di Fe, infine, sono abbastanza appaiati e questo dato è comunque di più difficile lettura in quanto diverse possono essere le sorgenti nella frazione F e “coarse” (C).

### **Confronto Foligno - Terni medie stagionali ( $FOL/TRV_{stagionali}$ )**

I dati sono riportati in figura 4.2 in cui sono indicate le curve per le due frazioni “fine” (F) e “coarse” (C), per le quattro stagioni (Inv, Prim, Est, Aut), FOL per Foligno TR per Terni. I dati di Terni sono relativi all’anno 2009. Dal confronto emerge quanto segue.

- Valori superiori di Cl<sup>-</sup>, alcali e Pb (rapporti di normalizzazione >1) sono riscontrati in autunno, specie nella frazione “fine” (F).
- Si osservano due pattern relativamente diversi: il primo, registrato in autunno-inverno, mostra picchi di Cl e K e minimi di  $SO_4^{2-}$  a  $NH_4^+$  (tranne quello in InvF); il secondo, registrato in primavera-estate, è invece caratterizzato da massimi molto pronunciati di  $NH_4^+$  e K (frazione fine), e minimi di Cl<sup>-</sup>.

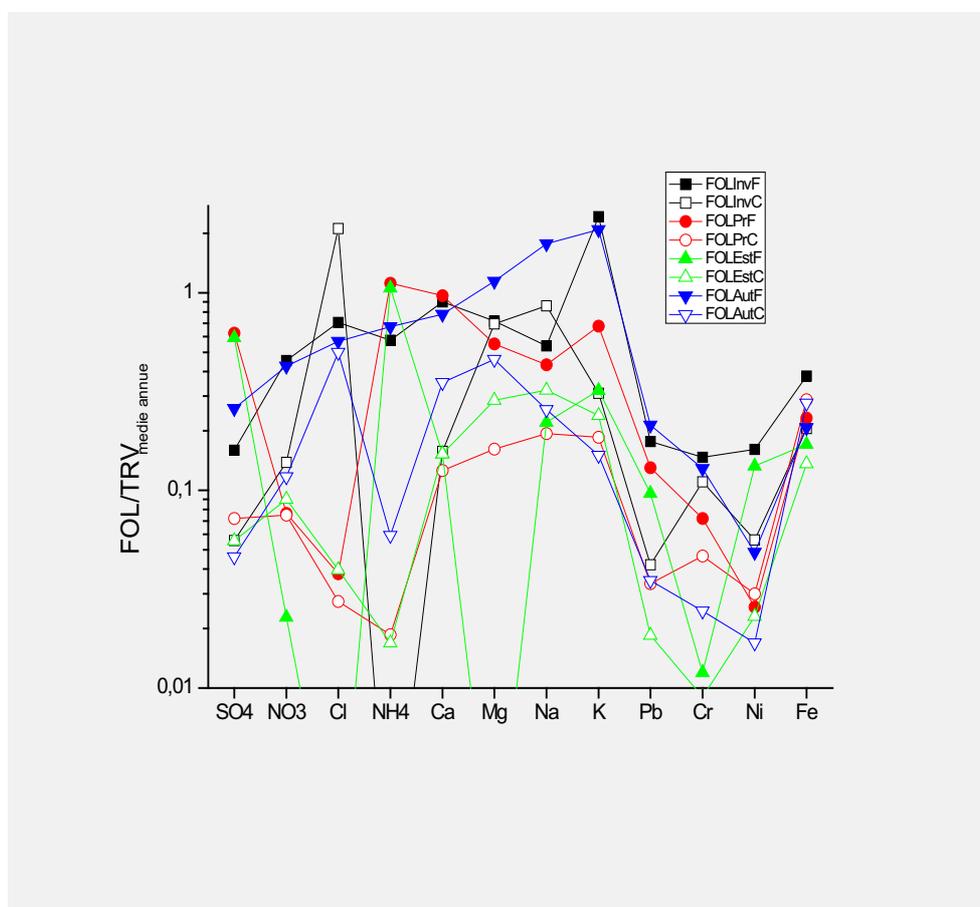


Figura 4.1: Confronto Foligno - Terni medie annuali

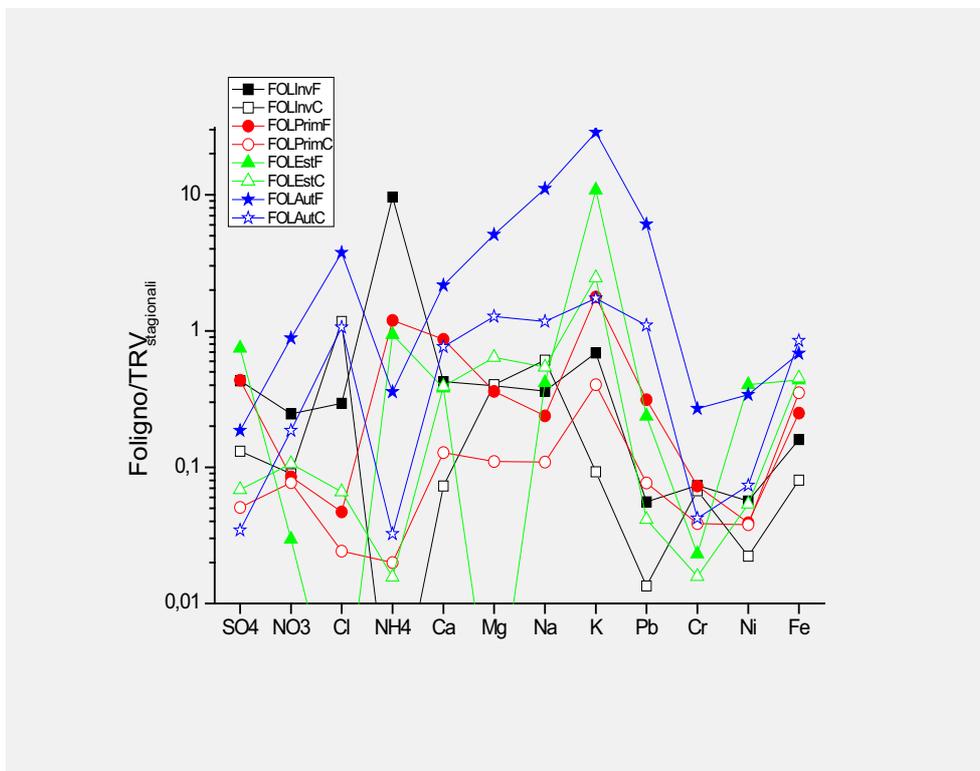


Figura 4.2 - Confronto Foligno - Terni stagionali

## 4.2 Altre località

### *Confronto Altre località - Terni medie annue (Altri/TRV<sub>medie annue</sub>)*

I dati sono riportati in figura 4.3 in cui sono indicate le curve per le due frazioni “fine” (F) e “coarse” (C), per le tre stagioni disponibili (Prim, Est, Aut), PG per Perugia, TR per Terni, CAS per Città di Castello, ORV per Orvieto. I dati di Terni delle medie annuali sono relativi all’anno 2009. Dal confronto emerge quanto segue.

- Tutti i pattern F tranne TRPrim, hanno un massimo pronunciato di K, e di Cl; il valore di K corrispondente supera addirittura quello di TRV (rapporto di normalizzazione >1).
- I pattern autunnali sono abbastanza diversi da quelli primaverili, e diversi da quello di FOL.
- Da notare i minimi di Na e Cl a ORV e TR, entrambi in primavera, e l’impoverimento di Cr a CAS in primavera.
- Nei metalli non di transizione i valori più alti sono quelli di TR che risultano, inoltre, abbastanza in linea con quelli dell’anno precedente.

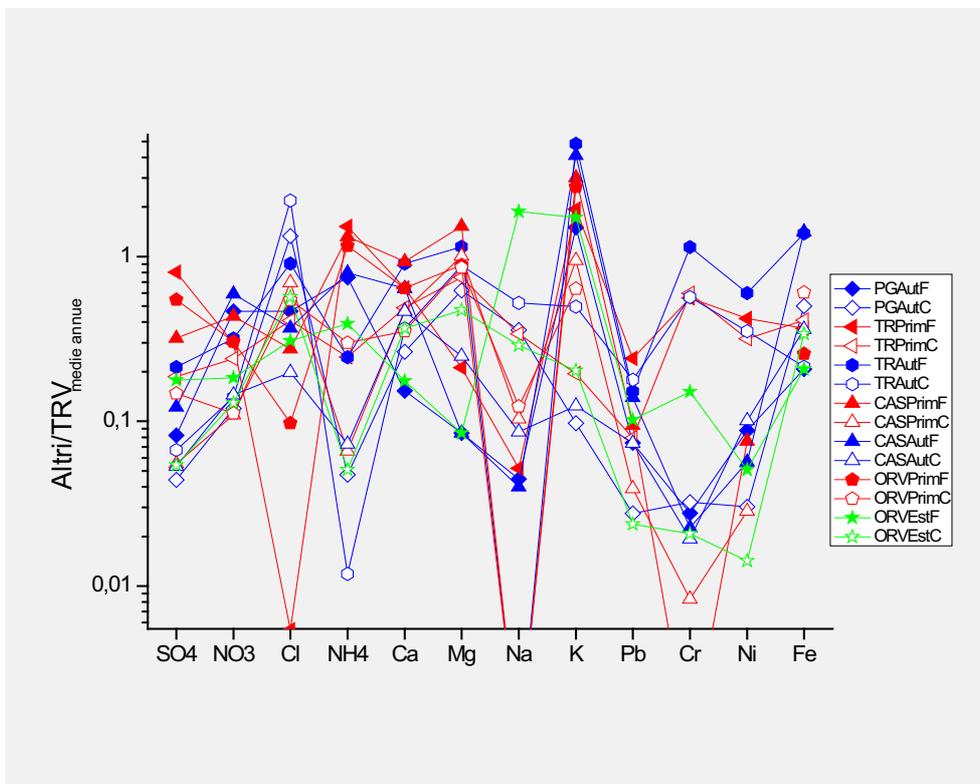


Figura 4.3: Confronto Altre località - Terni medie annuali

### 4.3 Terni

#### *Confronto Terni 2009 - 2010 ( $TR_{2010}/TRV_{2009}$ )*

I dati sono riportati in figura 4.3 in cui sono indicate le curve per le due frazioni “fine” (F) e “coarse” (C), per le due stagioni disponibili (Prim, Aut), TR per Terni.

- Si osservano valori particolarmente alti dei metalli pesanti nella frazione fine, con degli alti valori del fattore di arricchimento (rapporto di normalizzazione  $\gg 1$ ) rispetto al valore medio dei singoli analiti del 2009.

In autunno, inoltre, si ha un arricchimento in Cl (F e C) e in Na (solo C).

In merito a queste ultime considerazioni occorre sottolineare che nelle attuali determinazioni analitiche gli alcali sono stati determinati in forma ionica solubile (IC), mentre in quelle relative alla relazione 2009 essi erano stati determinati come concentrazione totale in ICP-AES. Questo rende i confronti con TR meno significativi (normalizzazione dati stagionali TRV2009), ma non inficia il confronto tra i siti, perché in quel caso tutti i numeri sono scalati in maniera consistente.

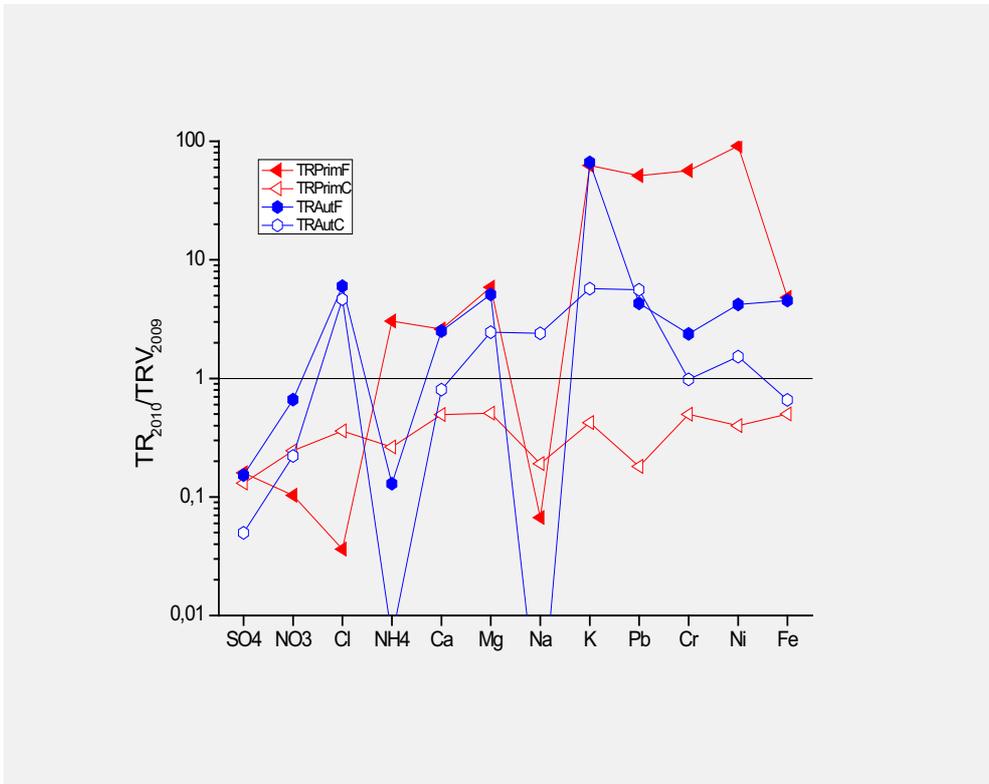


Figura 4.4: Confronto Terni 2009 – 2010 (medie annue)



## 5. Misure con pallone aerostatico frenato

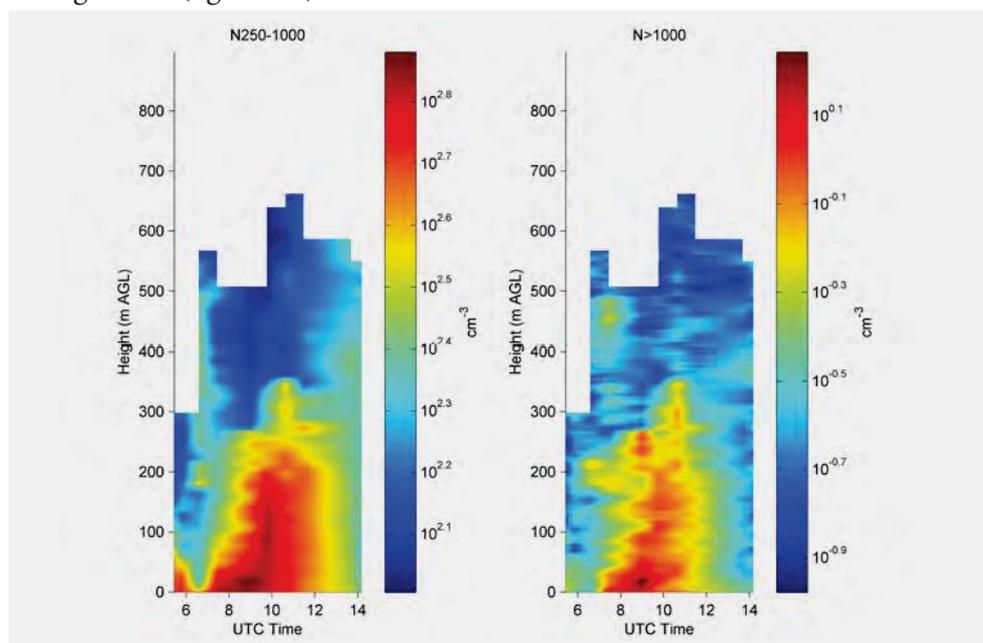
A fine Gennaio 2010 (25/1/10-05/02/10) sono state condotte a Terni una serie di misure di profili verticali di aerosol con l'utilizzo di un pallone aerostatico frenato. Simili misure erano state condotte a Terni anche nell'inverno 2009 (Moroni et al., *Atm. Env.* 50 (2012) 267-277; Ferrero et al., *Atm. Env.*, 56 (2012) 143-153). Il sito di lancio prescelto per la campagna 2010 è stato lo stadio della scuola di atletica nei pressi dell'incrocio tra Viale Prati e Viale Aleardi. Nel 2010 è stato utilizzato un nuovo pallone aerostatico frenato (Aeronord Aerostati) di diametro 4,5 m gonfiato ad elio, in grado di sollevare 35 kg di strumentazione. Il nuovo pallone più grande di quello utilizzato l'anno precedente, consente il trasporto di un numero maggiore di strumenti. Il pallone è guidato in ascesa e discesa da un verricello elettrico (Orlandi & Orlandi) ad una velocità costante di 15 m/minuto. La quota massima raggiunta è di circa 600 m AGL. Il tempo complessivo di un lancio (preparazione della strumentazione, salita e discesa) è di circa 80-100 minuti a seconda dei casi. Di conseguenza durante una giornata di lavoro (dall'alba al tramonto) si sono realizzati 4-5 lanci in media. La strumentazione utilizzata per questo esperimento consiste in una stazione meteo per monitorare temperatura, pressione ed umidità relativa; un sistema OPC TANDEM (2 contatori ottici di particelle - OPC - con una linea di misura secca ed una ad umidità ambiente) per misure di distribuzione dimensionale e crescita igroscopica delle particelle; un monitor di *Black Carbon* (micro etalometro) per misure di profili di BC; un campionatore di polveri (PTS) da destinare alla successiva caratterizzazione chimica. I risultati di questa campagna di misure sono molto articolati ed attualmente in fase di analisi che comprensibilmente richiederà ancora del tempo, al completamento dell'analisi i risultati verranno pubblicati in una forma estesa. In questo rapporto vengono anticipati alcuni dati di interesse generale.

Per prima cosa viene esaminato lo sviluppo e l'evoluzione nel tempo del Boundary Layer (PBL) e l'altezza dello strato di rimescolamento degli inquinanti.

A Terni la particolare situazione orografica non favorisce la circolazione dei venti. In aggiunta le valli sono spesso soggette a fenomeni di inversione termica che favoriscono il ristagno degli inquinanti al suolo. Inoltre, l'area urbana di Terni è caratterizzata da una notevole e varia presenza industriale che, insieme a traffico e ad inceneritori, implica una natura delle emissioni in atmosfera particolar-

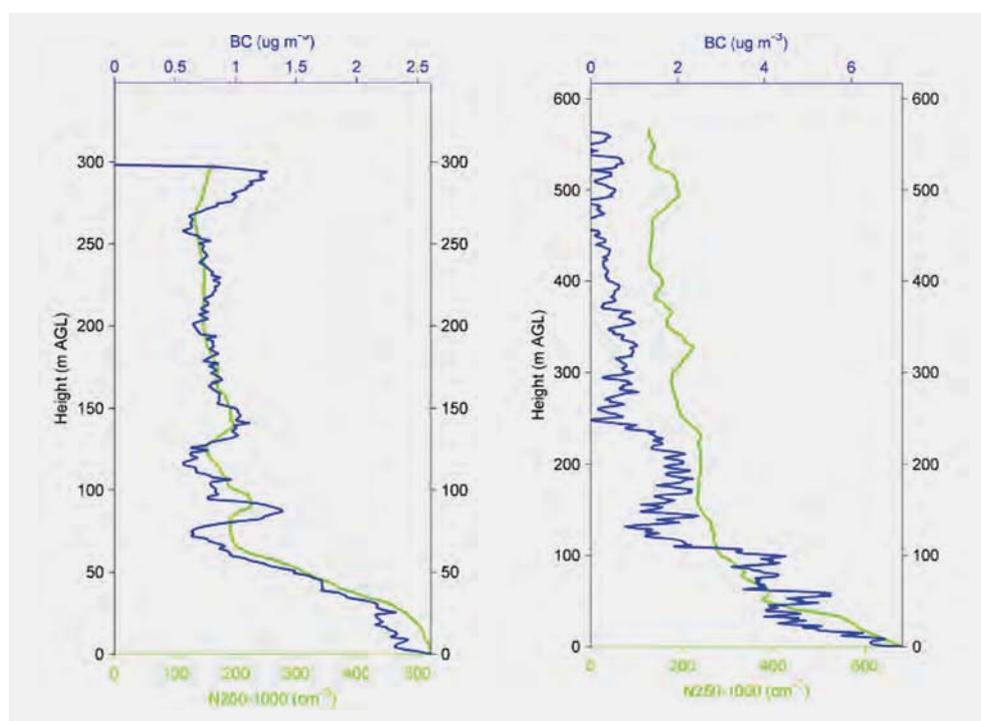
mente complessa e possibilmente compromettente per la qualità dell'aria. Scopo dell'esperimento è stato quindi quello di valutare entro quale altezza il particolato atmosferico rimane confinato durante il periodo invernale in giorni caratterizzato di basso vento ed alta pressione (caratteristiche che favoriscono l'accumulo delle particelle in atmosfera). Le misure di profili verticali hanno mostrato che nei giorni di stabilità atmosferica l'altezza dello strato di rimescolamento non supera i 300 m dal suolo, mentre nei giorni caratterizzati da una maggiore instabilità (attività convettiva e turbolenza innescata dal vento) gli inquinanti si disperdono a quote molto maggiori. Parallelamente alla misura dei profili verticali sono stati anche condotti campionamenti di particolato alle varie quote. Le particelle prelevate sono state poi caratterizzate al microscopio a scansione elettronica mostrando una sostanziale consistenza con i dati dei profili verticali. In particolare, particelle di fonte industriale ed in genere di natura antropica (traffico) restano confinate al suolo nei giorni di stabilità atmosferica, anche se una certa quantità di quelle di origine industriale permea nella libera atmosfera in quanto emesse al di sopra dello strato di rimescolamento stesso.

I risultati degli esperimenti di Gennaio 2010 confermano sostanzialmente i dati misurati nell'inverno precedente. Le altezze medie del strato di rimescolamento rilevate sono contenute fra i 50 ed i 300 m a seconda dell'ora del giorno e le polveri rimangono nel loro complesso stratificate nei primi 300 m in tutto il corso della giornata (figura 5.1).



**Figura 5.1:** Evoluzione nel corso della giornata delle concentrazioni numeriche di particelle fini (sinistra) e "coarse" (destra) con la quota (m. agl). Le concentrazioni sono in codice di colore (rosso = elevate, blu = basse). I dati si riferiscono alla giornata del 2 Febbraio 2010.

Le misure realizzate con il microetometro hanno confermato nella sostanza che il contributo del traffico veicolare si stratifica essenzialmente alle basse quote e quindi condiziona lo stato della qualità dell'aria. Nella figura 5.2 si nota come il PBL si sviluppa ad un'altezza che va da 50 m alle ore 6 fino a 100 m alle ore 8; contestualmente si osserva che le particelle di *black carbon* (BC) sono confinate al di sotto dello strato di rimescolamento, con concentrazioni in aumento nel corso della mattinata per effetto del traffico crescente; una piccola parte delle particelle permea invece nella libera troposfera.



**Figura 5.2:** In ordinata la quota (m. agl) del PBL, l'ascissa superiore concentrazioni di BC, ascissa inferiore numero di particelle fini - misurati alle ore 6 (sx) e alle ore 8 (dx) nella giornata del 2 Febbraio 2010.

Una campagna più vasta di misure è stata condotta per un altro progetto di ricerca ed ha visto campionamenti effettuati nel 2010 anche a Milano ed a Merano. I dati raccolti a Terni saranno interpretati, nello studio in forma estesa, in questo contesto più generale, anche alla luce delle misure effettuate a Milano ed a Merano. Nello specifico le misure di igroscopicità relativa del particolato ottenute nella presente campagna nei tre siti saranno di estrema importanza per l'interpretazione dei dati da satellite.

Oltre alla misura dei profili di particelle e BC sono stati effettuati campionamenti su filtro per la caratterizzazione chimica delle polveri, sia al suolo che in quota, tipicamente a 600 m.



A titolo di esempio riportiamo i dati per alcuni metalli pesanti di interesse. Le concentrazioni dei metalli sono state determinate nei laboratori dell'Università Milano-Bicocca utilizzando un ICP-MS.

Al suolo le concentrazioni di Pb, Mn e Ni nella frazione fine ( $< 1$  micron) sono pari a  $12 \text{ ng/m}^3$ ,  $13 \text{ ng/m}^3$  e  $21 \text{ ng/m}^3$  rispettivamente, sostanzialmente in linea (o leggermente maggiori) a quanto misurato nell'inverno 2009.

Le concentrazioni di questi metalli alla quota di 600 m risultano più alte di un fattore circa pari a 3 per tutti e tre i metalli. Questo andamento è in linea con quanto misurato nel 2009 ed è imputabile ad un apporto di tipo industriale che riesce a diffondere oltre lo stato di rimescolamento.



## 6. Conclusioni

I risultati dello studio presentato nel presente rapporto hanno messo in luce la complessità della caratterizzazione del particolato atmosferico al fine di individuare le sorgenti principali che contribuiscono alla sua formazione sia nella frazione “fine” che in quelle “coarse”. Questi risultati, insieme a quelli dello studio realizzato nel 2009, mostrano che le diverse realtà studiate, pur avendo alcune caratteristiche comuni, sono tutte differenziate da specifiche peculiarità.

Inoltre, gli studi hanno evidenziato che per un’analisi dei risultati che possa fornire risultati non solo qualitativi sulle diverse origini delle polveri ma anche quantitativi sul contributo medio annuo delle varie sorgenti, è necessaria l’applicazione di una metodologia statistica che, però, necessita di un numero ingente di campioni e di analisi.

Pertanto, lo studio vedrà uno sviluppo futuro in cui, in aree opportunamente selezionate, saranno realizzati campionamenti e analisi in numero adeguato a consentire l’utilizzo della metodologia statistica che potrà permettere la quantificazione del contributo annuo delle varie fonti alla formazione della concentrazione di PM10 misurato.



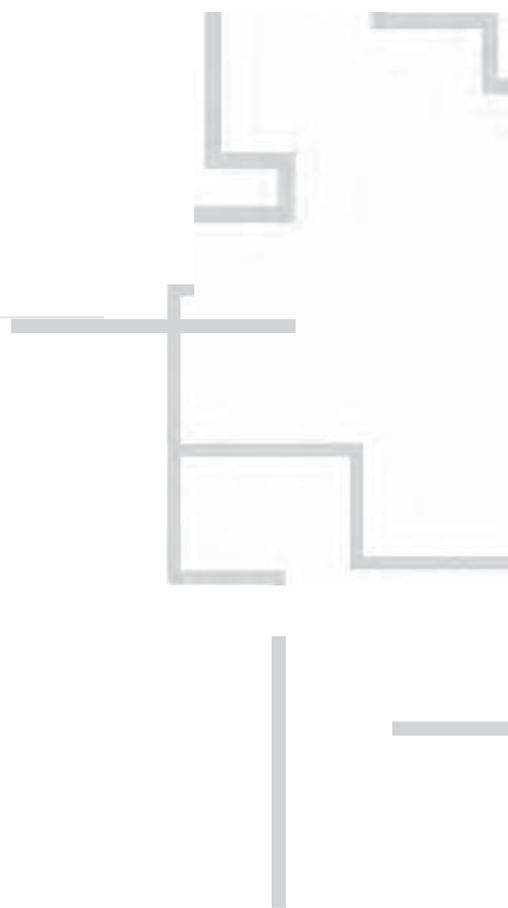


---

---

**Caratteristiche morfologiche  
e chimiche delle polveri fini  
in Umbria**

*Dati 2010-2011*



**ARPA**  
umbria  
agenzia regionale per la protezione ambientale



**Università degli Studi di Perugia**  
Dipartimento di Ingegneria Civile  
ed Ambientale

---