



**POLITECNICO DI MILANO**  
**DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA**  
**IDRAULICA, AMBIENTALE,**  
**INFRASTRUTTURE VIARIE, RILEVAMENTO**

**Sezione Ambientale**

**ZIGNAGO POWER S.r.l.**

**CARATTERIZZAZIONE DELLE PRESENZE ATMOSFERICHE DI**  
**PARTICOLATO ULTRAFINE E NANOPOLVERI NELL'AREA DI**  
**INSEDIAMENTO DELL'IMPIANTO DI COGENERAZIONE A**  
**BIOMASSE DI FOSSALTA DI PORTOGRUARO**

**Risultati della campagna di misure "post operam"**

a cura di:

proff. Michele Giugliano e Stefano Cernuschi  
(responsabili scientifici)  
ing. Giovanni Lonati  
ing. Giovanna Ripamonti

<b>DATA</b> Settembre 2012	<b>REDATTO</b> Sezione Ambientale	<b>RELAZIONE N°</b> 727.2102.90.52
-------------------------------	--------------------------------------	---------------------------------------

Caratterizzazione delle presenze atmosferiche di particolato ultrafine e nanopolveri nell'area di insediamento dell'impianto di cogenerazione a biomasse di Fossalta di Portogruaro.

*Risultati della campagna di misura "post operam".*

INDICE

<b>1</b>	<b>Premessa.....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Modalità di esecuzione dei rilevamenti.....</b>	<b>1</b>
2.1	<i>Siti di campionamento .....</i>	<i>1</i>
2.2	<i>Strumentazione utilizzata .....</i>	<i>2</i>
2.3	<i>Calendario dei campionamenti .....</i>	<i>3</i>
<b>3</b>	<b>Risultati.....</b>	<b>3</b>
3.1	<i>Caratterizzazione meteorologica della campagna. ....</i>	<i>3</i>
3.2	<i>Presenze di ultrafine e nanopolveri .....</i>	<i>6</i>
3.2.1	<i>Sito A .....</i>	<i>6</i>
3.2.2	<i>Sito B .....</i>	<i>10</i>
<b>4</b>	<b>Considerazioni conclusive.....</b>	<b>14</b>
4.1	<i>Confronto tra i siti.....</i>	<i>14</i>
4.2	<i>Confronto campagne ante e post operam.....</i>	<i>15</i>
4.3	<i>Inquadramento generale delle presenze di ultrafine rilevate nell'area.....</i>	<i>17</i>
	<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>21</b>

## 1 Premessa

Nell'ambito delle attività previste dal piano di monitoraggio della qualità dell'aria nella zona di insediamento dell'impianto di cogenerazione a biomasse di Fossalta di Portogruaro, la società Zignago Power ha affidato al DIIAR l'esecuzione di campagne di misura per la caratterizzazione delle presenze e le distribuzioni dimensionali di polveri ultrafini e nanopolveri, intese come materiale con dimensioni inferiori a 100 nm e 50 nm, rispettivamente. L'indagine, formulata e concordata con ARPA Veneto, responsabile del coordinamento del piano complessivo di monitoraggio, prevede la realizzazione di due campagne finalizzate a valutare, rispettivamente, la situazione attuale e quella dopo l'entrata in esercizio dell'impianto, in siti rappresentativi dell'area comunale di Fossalta di Portogruaro.

La relazione illustra le modalità di esecuzione ed i risultati della seconda campagna, relativa alla situazione "post operam" in cui il monitoraggio è stato realizzato con l'impianto di cogenerazione a biomasse in esercizio continuo, alle condizioni previste dal regime nominale di funzionamento.

## 2 Modalità di esecuzione dei rilevamenti.

### 2.1 Siti di campionamento

Le misure sono state effettuate nei siti A e B, localizzati in prossimità dell'impianto (Figura 2.1), individuati da ARPA Veneto e già utilizzati per la campagna ante operam. Le loro caratteristiche sono di seguito riassunte:

- **Sito A:** localizzato a sud-ovest dell'impianto, ad una distanza di circa 1100 m. in linea d'aria in una zona residenziale al limite meridionale dell'abitato di Villanova Santa Margherita. Gli strumenti sono stati posizionati al margine di una strada a fondo chiuso utilizzata per l'accesso alle case che si affacciano su di essa;
- **Sito B:** localizzato a Nord, Nord-Ovest dell'impianto, ad una distanza di circa 250 m. in zona agricola. Gli strumenti sono stati posizionati nel giardino di una villetta non abitata.



Figura 2.1 – Localizzazione dei siti di campionamento.

## 2.2 Strumentazione utilizzata

La struttura generale della campagna di misura è del tutto analoga a quella adottata per l'indagine "ante operam": i rilevamenti sono stati pertanto condotti con la medesima strumentazione, costituita da due distinte tipologie di apparati destinati, rispettivamente, alla misura della concentrazione totale in numero del particolato ed alla sua distribuzione dimensionale. Le loro principali caratteristiche sono sintetizzate in seguito:

- Contatore a condensazione CPC-TSI 3775

Lo strumento TSI 3775 è un contatore di particelle a condensazione (CPC) tramite butanolo, in grado di fornire in tempo reale la concentrazione in numero di particelle nell'intervallo dimensionale compreso tra 4 nm e 3 µm.

- Classificatore a mobilità elettrica TSI 3031 UFPMonitor

Lo strumento TSI 3031 è un contatore e classificatore di particelle basato sul principio di misura della mobilità elettrica. L'apparecchio lavora nell'intervallo dimensionale compreso tra 20 nm ed 1 µm, disaggregando la distribuzione in sei classi granulometriche, le cui caratteristiche sono riportate in Tabella 2.1.

Tabella 2.1: Classi dimensionali rilevate dal classificatore TSI 3031

Classe	Intervallo ( $\mu\text{m}$ )
Classe 1	0,02-0,03
Classe 2	0,03-0,05
Classe 3	0,05-0,07
Classe 4	0,07-0,10
Classe 5	0,10-0,20
Classe 6	0,20-1,00

I dati acquisiti sono stati utilizzati per valutare le concentrazioni totali del particolato (misure tramite contatore CPC) e le corrispondenti distribuzioni dimensionali, rilevate con l'analizzatore a mobilità elettrica. Entrambe le valutazioni sono state analizzate sia in termini medi giornalieri che in quelli della loro evoluzione temporale nell'arco della giornata.

Nella descrizione dei risultati riportata nei paragrafi seguenti, con i termini nanoparticelle e particelle ultrafini si identificano, rispettivamente, le polveri con dimensioni (diametro) inferiore a  $0,050 \mu\text{m}$  e quelle comprese tra  $0,050-0,100 \mu\text{m}$ .

### **2.3 Calendario dei campionamenti**

La campagna sperimentale, condotta secondo il calendario riportato in Tabella 2.2, ha previsto una giornata di campionamento (circa 24h) per sito, posizionando separatamente ed alternativamente gli strumenti in entrambe le localizzazioni.

Tabella 2.2: Calendario dei campionamenti

Giorni	Sito A	Sito B
16-17 Aprile	Contatore TSI3775	Classificatore TSI3031
18-19 Aprile	Classificatore TSI3031	Contatore TSI3775

## **3 Risultati**

### **3.1 Caratterizzazione meteorologica della campagna.**

I dati relativi ai principali parametri meteorologici (temperatura, umidità, pressione, intensità di precipitazione, velocità e direzione del vento) misurati presso la stazione meteorologica di Arpa Veneto, posizionata in località Fossalta di Portogruaro, sono stati analizzati per ottenere un quadro generale delle condizioni meteorologiche durante le campagne di misura.

Il periodo di esecuzione delle misure è stato caratterizzato da condizioni meteorologiche variabili, con temperature nell'intervallo  $5-22^{\circ}\text{C}$  ed umidità relativa nell'intervallo  $28-91\%$ . Le variazioni giornaliere dei principali parametri di interesse sono riassunte in Tabella 3.1. Alcuni fenomeni pluviometrici si sono susseguiti nell'arco delle quattro giornate di campionamento

(Figura 3.1), con l'evento di maggior rilevanza, registrato durante la notte tra il 18 e il 19 Aprile, caratterizzato da un'intensità massima di circa 9 mm/h ed una durata di circa 3h, ed altri episodi di precipitazioni sparse, di modesta durata ed intensità (< 1mm/h ) che hanno interessato la giornata del 16 Aprile.

Tabella 3.1 Variazioni giornaliere dei principali parametri meteorologici

		16-Apr	17-Apr	18-Apr	19-Apr
Temperatura (°C)	media	13.0	13.1	11.8	11.5
	min	10.0	8.2	5.6	8.5
	max	17.7	17.3	16.8	15.8
Umidità %	media	80	49	60	81
	min	54	35	38	53
	max	98	86	95	96
Velocità vento (m/s)	media	0.9	1.0	1.0	1.5
	min	0.0	0.4	0.1	0.5
	max	2.4	1.9	1.7	3.2
Eventi di Pioggia (mm/h)	min	0.2	-	0.2	0.4
	max	0.8	-	3.8	2.8
	somma	2.8	-	7.6	12
	durata	sparsi	-	3h	sparsi

Il regime anemologico (Figura 3.1) appare caratterizzato da velocità variabili nell'intervallo 0-3 m/s, con un andamento pressochè confrontabile nelle diverse giornate e con i valori di punta che tendono a concentrarsi prevalentemente nelle ore centrali del pomeriggio (Figura 3.2). Le direzioni di provenienza nel periodo 17-19 aprile seguono l'andamento giornaliero tipico della zona indagata (Tabella 3.2), già osservato nella campagna ante-operam e caratterizzato da una rotazione delle componenti dal settore N-NE al quadrante meridionale durante le ore centrali della giornata. Tale comportamento non si ripresenta il 16 aprile, in cui la provenienza del vento appare caratterizzata da una larga prevalenza di componenti dai quadranti nord-orientali.

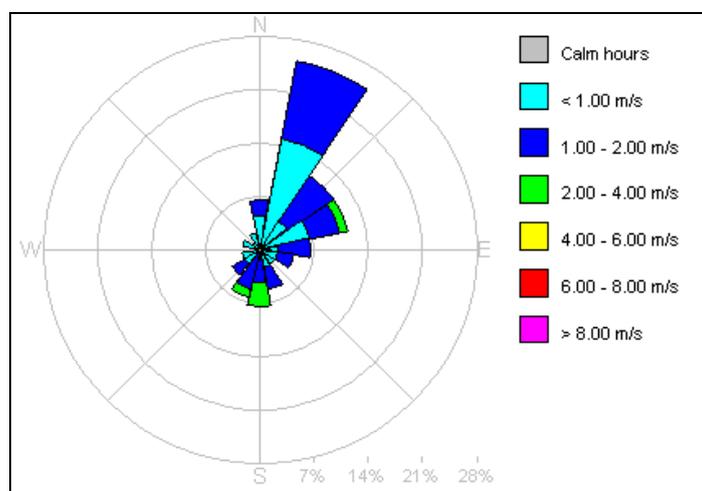


Figura 3.1 - Rosa dei venti rilevata durante le campagne di monitoraggio.

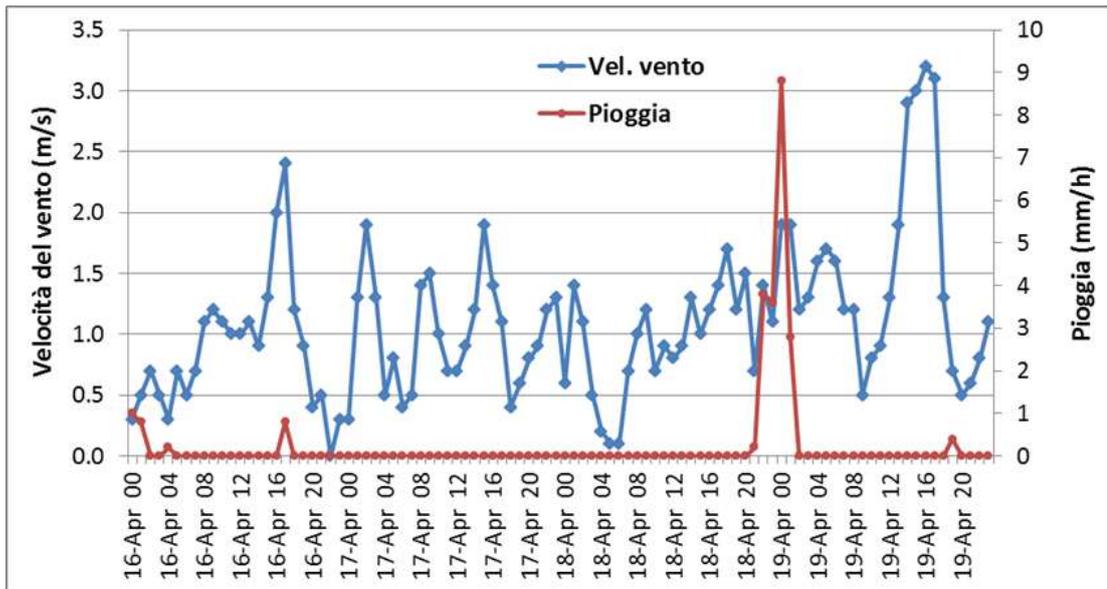


Figura 3.2 - Velocità del vento ed altezza delle precipitazioni su base oraria registrate durante le campagne di monitoraggio.

Tabella 3.2 Medie orarie della direzione di provenienza del vento

Orario	16-Apr	17-Apr	18-Apr	19-Apr
0	ENE	NNE	ENE	NNE
1	NNE	NNE	NE	ENE
2	NNE	NE	NE	NE
3	N	NE	NNE	NNE
4	N	ENE	NNE	NE
5	NNE	E	NNO	NNE
6	NNE	ENE	NNE	NNE
7	N	ENE	NE	N
8	NNE	E	NE	NNE
9	ENE	ESE	NE	NO
10	ENE	ESE	NNE	ONO
11	NE	SO	NNE	OSO
12	NNE	SE	ONO	SO
13	NNE	SSE	SO	SSO
14	NNE	SSE	SSO	S
15	NNE	S	OSO	S
16	N	S	S	S
17	ENE	SSE	SSE	SSO
18	E	SSE	SSO	SO
19	ESE	SE	SSO	NNO
20	E	ESE	SSO	NE
21	NNE	ENE	S	NNE
22	NE	ENE	ESE	N
23	NE	E	E	NNE

## 3.2 Presenze di ultrafine e nanopolveri

### 3.2.1 Sito A

I rilevamenti condotti presso il sito A dispongono delle misure di concentrazione totale acquisite nei giorni 16-17 aprile con il contatore TSI 3775, e di quelle relative alle distribuzioni dimensionali, rilevate il 18-19 aprile con il classificatore TSI 3031. Nello specifico, la concentrazione totale in numero delle particelle è stata rilevata per 24 ore consecutive, dalle ore 17.00 del 16 Aprile, con risoluzione temporale pari ad 1 minuto, mentre la distribuzione dimensionale delle particelle è stata misurata, sempre per 24 ore consecutive, dalle 11.00 del 18 Aprile 2011 con risoluzione temporale pari a 10 minuti.

I principali parametri della statistica descrittiva delle concentrazioni totali misurate sono sintetizzati in Tabella 3.3, mentre l'evoluzione giornaliera dei valori medi su base oraria è riportata, sempre in termini delle principali statistiche di interesse, in Figura 3.3. In termini complessivi, la concentrazione media giornaliera è risultata pari a  $9,0 \cdot 10^3$  particelle/cm<sup>3</sup>, con intervalli di variazione compresi tra un minimo di  $2,0 \cdot 10^3$  ed un massimo di  $2,5 \cdot 10^4$  particelle/cm<sup>3</sup>. L'evoluzione temporale delle concentrazioni appare relativamente costante senza variazioni significative, con concentrazioni medie orarie variabili nell'intervallo  $6,5 \cdot 10^3$ - $1,3 \cdot 10^4$  particelle/cm<sup>3</sup>: dall'andamento si può apprezzare un leggero incremento delle presenze nelle prime ore del mattino e nel primo pomeriggio, quando si osserva un aumento sia dei livelli di concentrazione sia della loro dispersione, rispetto ai valori minimi rilevati nelle ore notturne. Il confronto dell'andamento delle concentrazioni medie orarie con gli analoghi valori medi di velocità del vento registrati nelle stesse ore, sempre riportati nella Figura 3.3, non evidenzia particolari correlazioni. Anche la rosa delle concentrazioni, che ne riporta i valori medi orari associate alle corrispondenti direzioni di provenienza del vento ed illustrata in Figura 3.4, non mostra apprezzabili tendenze alla variazione delle misure con la direzione di provenienza del vento, che nel periodo di rilevamento è risultata prevalentemente associata ai quadranti nord-orientale ed orientale. In particolare, nessuna variazione significativa si evidenzia per le direzioni NNE-NE (22.5°-45°) allineate con la localizzazione dell'impianto rispetto alla postazione di misura: la concentrazione media associata a tale direzione ( $9,0 \cdot 10^3$  particelle/cm<sup>3</sup>) appare infatti del tutto in linea con il dato medio giornaliero.

Tabella 3.3 - Sito A: parametri della statistica descrittiva delle concentrazioni in numero di particelle.

Parametro	Contatore TSI 3775 (0,004 - 3 µm) 16-17 aprile
Media	9037
Deviazione Standard	2493
Minimo	1960
Massimo	25100
Mediana	8820
1°quartile	7835
3°quartile	10006
Intervallo interquartile	2171

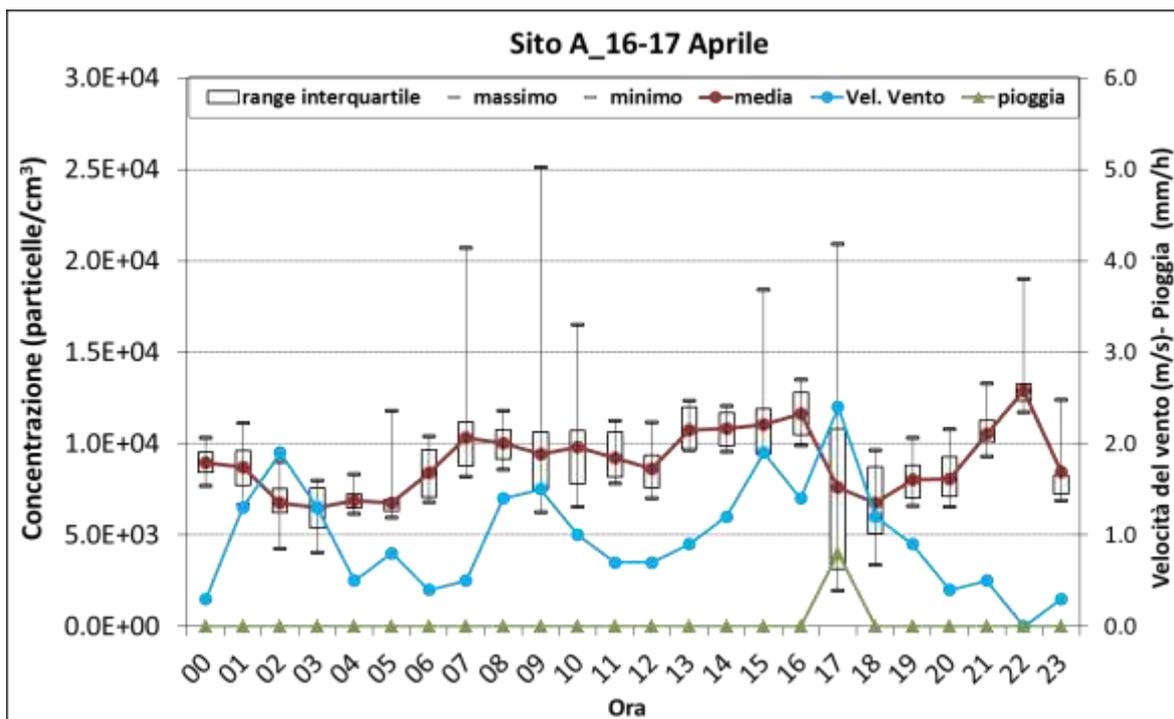


Figura 3.3 – Sito A: evoluzione giornaliera delle statistiche descrittive della concentrazione oraria di particelle, della velocità media del vento e dell'intensità di pioggia durante la campagna di misura del 16-17 Aprile.

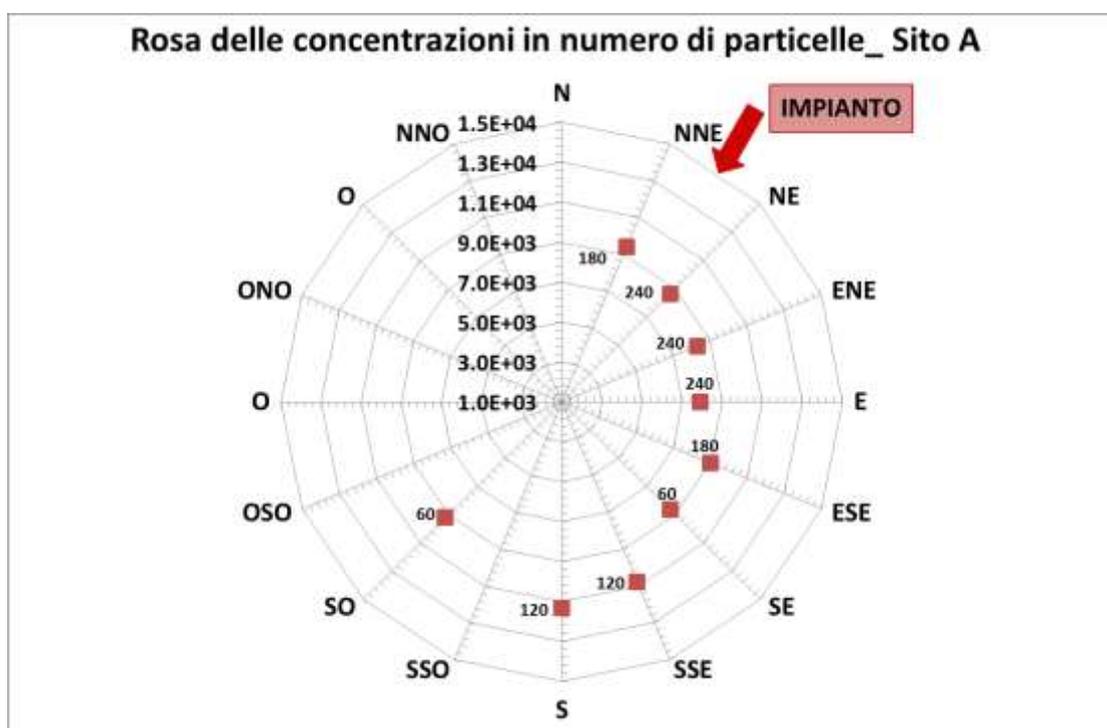


Figura 3.4 – Sito A - Rosa delle concentrazioni di particelle durante la campagna giornaliera di misura del 16-17 Aprile. Il numero riportato in corrispondenza dei simboli indica i dati di concentrazione disponibili per ognuna delle direzioni di provenienza del vento, mentre la freccia indica la direzione di provenienza del vento corrispondente all'allineamento del sito con l'impianto.

L'analisi della distribuzione dimensionale delle concentrazioni è stata condotta elaborando i dati rilevati sia in termini medi giornalieri, riportati in Figura 3.5, che come medie su periodi temporali caratteristici della giornata, riportate in Figura 3.6. In generale, le distribuzioni del numero di particelle mostrano una struttura unimodale, con la moda corrispondente alla classe più fine (0,020 - 0,030  $\mu\text{m}$ ) e quindi collocata nella frazione delle nanopolveri. Tale struttura caratterizza tutti i periodi della giornata, mostrandosi particolarmente accentuata durante le ore mattutine nella quali si apprezza un incremento significativo della frazione delle nanopolveri. Per ciò che si riferisce alle situazioni caratterizzate da un allineamento della direzione di provenienza del vento rispetto al sito con l'impianto, la distribuzione dimensionale rilevata, riportata in Figura 3.7, non mostra caratteristiche tali da indicare particolari effetti associabili alle emissioni dall'impianto stesso, come già nel caso delle concentrazioni totali.

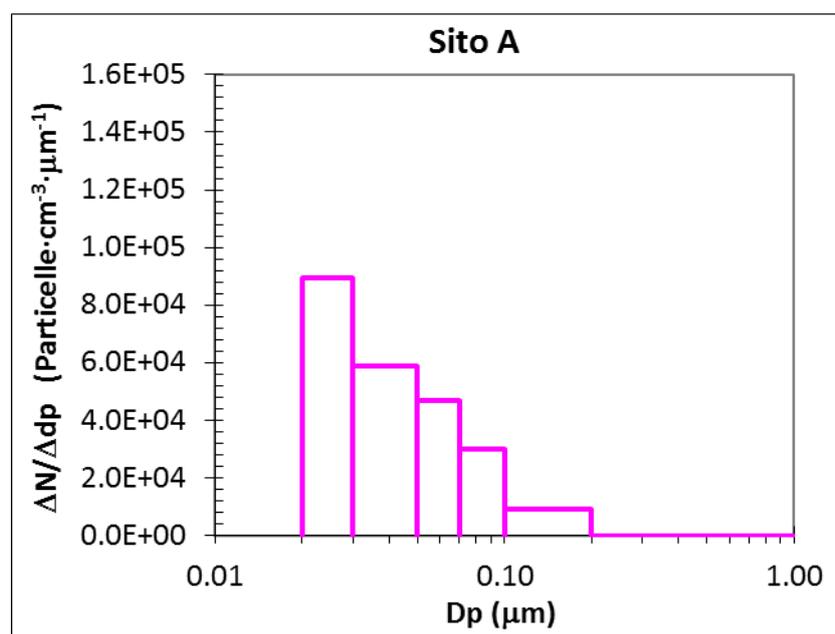


Figura 3.5 – Sito A: Distribuzione dimensionale media giornaliera delle concentrazioni in numero di particelle.

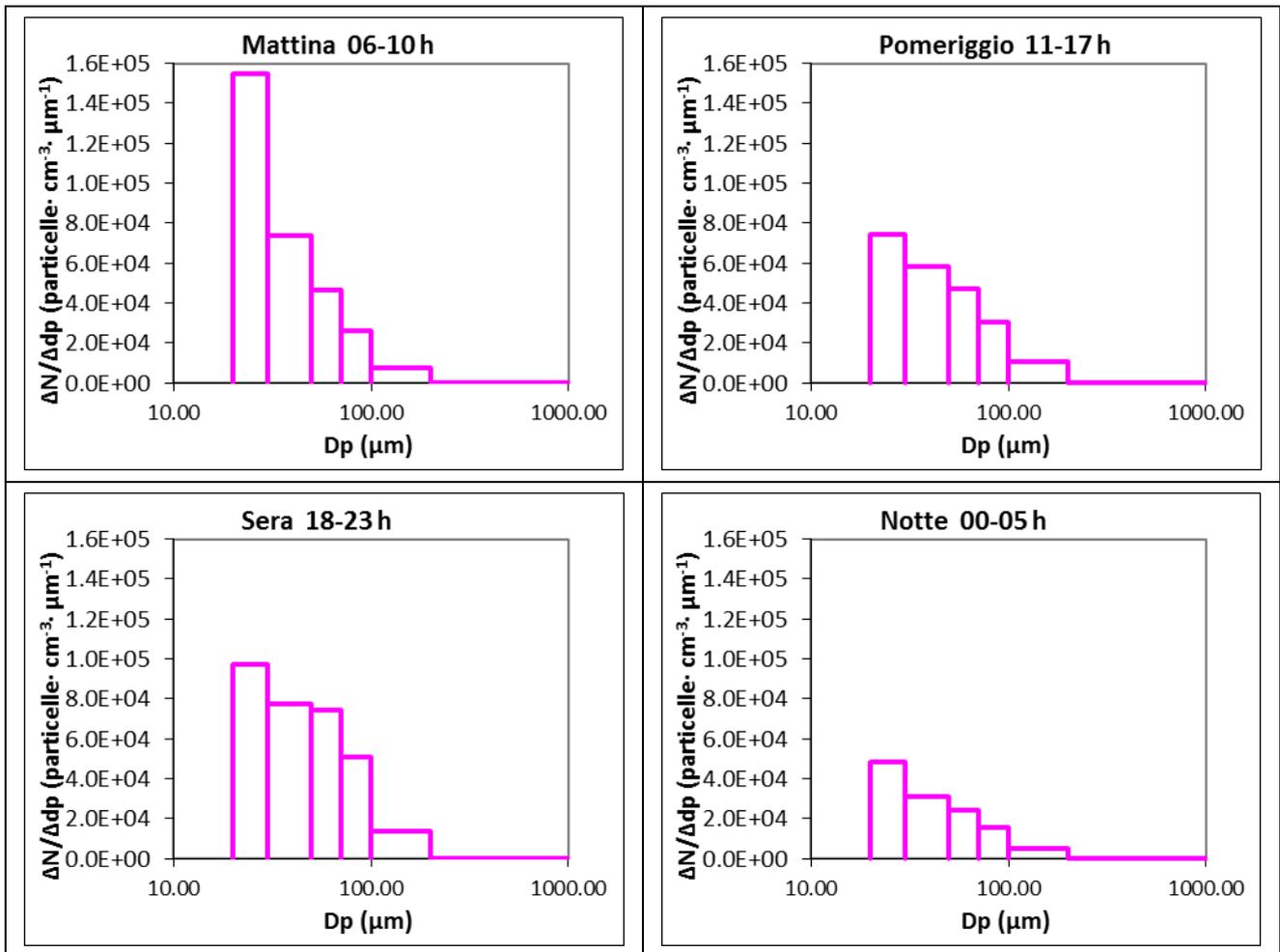


Figura 3.6: - Sito A: evoluzione in periodi caratteristici della giornata della distribuzione dimensionale delle concentrazioni in numero di particelle.

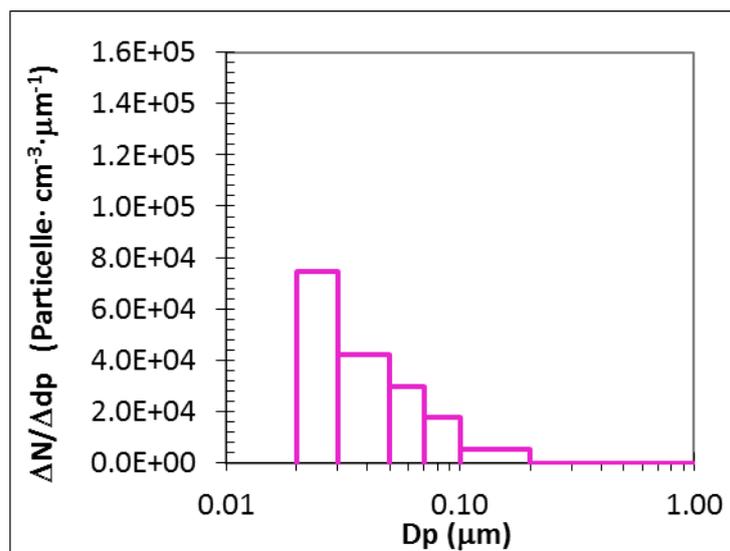


Figura 3.7: Sito A: distribuzione dimensionale delle concentrazioni in numero di particelle rilevate durante episodi di direzioni di provenienza del vento allineate con la localizzazione dell'impianto rispetto al sito di misura.

### 3.2.2 Sito B

I rilevamenti condotti presso il sito B dispongono delle misure di concentrazione totale acquisite nei giorni 18-19 aprile con il contatore TSI 3775 e di quelle relative alle distribuzioni dimensionali, rilevate il 16-17 aprile con il classificatore TSI 3031.

Nello specifico, la concentrazione totale in numero delle particelle è stata rilevata, sempre per 24 ore consecutive, dalle ore 11.00 del 18 Aprile, con risoluzione temporale pari ad 1 minuto, mentre la distribuzione dimensionale delle particelle è stata misurata per 24 ore consecutive dalle 17.00 del 16 Aprile 2011, con risoluzione temporale pari a 10 minuti.

I principali parametri della statistica descrittiva delle concentrazioni totali sono riassunti in Tabella 3.4, mentre la Figura 3.7 ne illustra l'evoluzione giornaliera su base oraria, sempre in termini delle statistiche di maggior interesse. Le acquisizioni indicano una concentrazione media giornaliera pari a  $5,9 \cdot 10^3$  particelle/cm<sup>3</sup>, con intervalli di variazione compresi tra un minimo di  $2,2 \cdot 10^3$  ed un massimo di  $1,9 \cdot 10^4$  particelle/cm<sup>3</sup>, senza particolari differenze rispetto a quanto ottenuto nel sito A.

Tabella 3.4 - Sito B: parametri della statistica descrittiva delle concentrazioni in numero di particelle.

<b>Parametro</b>	<b>Contatore TSI 3775 (0,004 - 3 µm) 18-19 Aprile</b>
Media	5887
Deviazione Standard	2622
Minimo	2160
Massimo	19200
Mediana	5055
1°quartile	4053
3°quartile	6940
Intervallo interquartile	2887

Sempre in analogia con quanto acquisito nel sito A, anche la variabilità giornaliera delle concentrazioni medie orarie del numero di particelle (Figura 3.8) appare relativamente contenuta, con valori collocati nell'intervallo  $3,0 \cdot 10^3$ - $1,1 \cdot 10^4$  particelle/cm<sup>3</sup>. L'andamento appare caratterizzato da valori maggiori durante le ore mattutine (6-9) e valori minimi durante le ore notturne (0-3) peraltro coincidenti, in questo caso, con l'intenso evento di pioggia registrato durante la campagna. La rosa delle concentrazioni (Figura 3.9) non evidenzia apprezzabili tendenze associate ad alcun quadrante anemologico, se si eccettua la coincidenza del massimo rilevato in corrispondenza di venti provenienti da Nord che, tuttavia, si sono manifestati per 1 ora soltanto durante il mattino. Come già per il sito A non risultano, altresì, particolari episodi di variazione dei livelli misurati in corrispondenza di direzioni di provenienza del vento sud-orientali, in cui il sito è allineato con l'impianto.

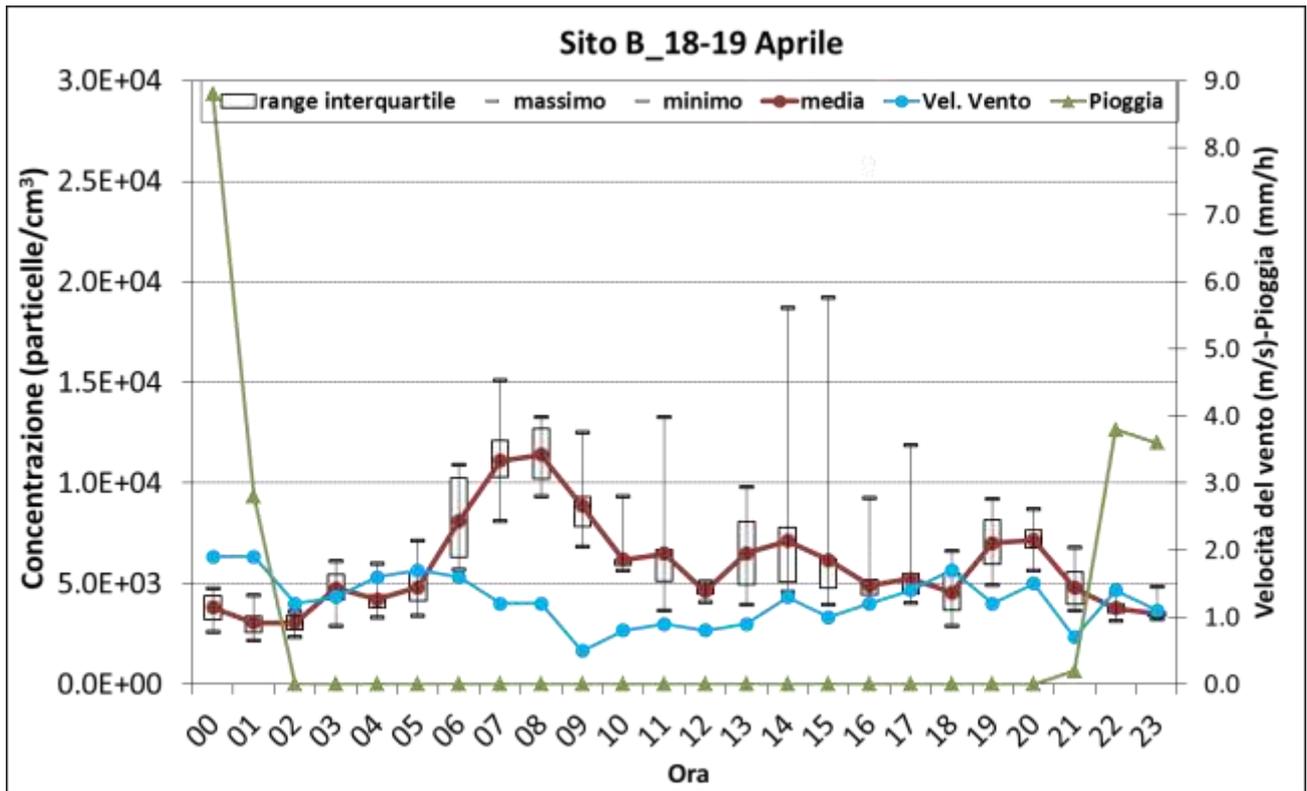


Figura 3.8 – Sito B: evoluzione giornaliera delle statistiche descrittive della concentrazione oraria di particelle e della velocità media del vento durante la campagna di misura del 18-19 Aprile.

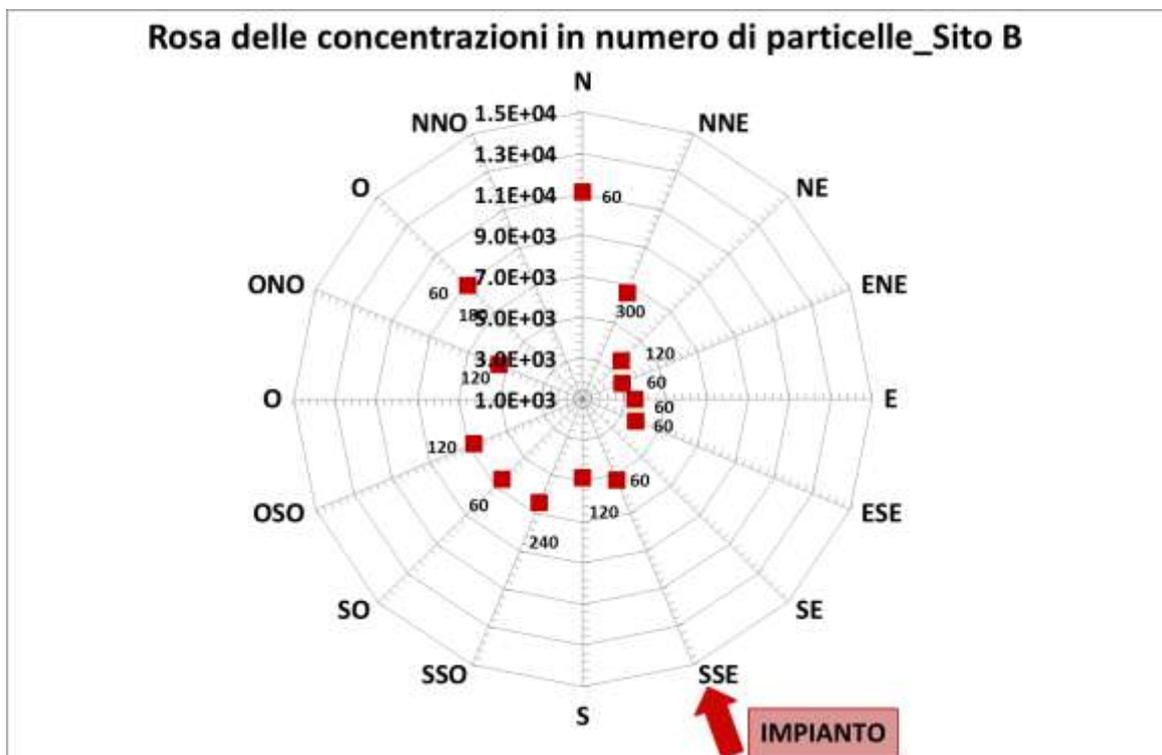


Figura 3.9 – Sito B - Rosa delle concentrazioni di particelle durante le campagna giornaliera di misura. Il numero riportato in corrispondenza dei simboli indica i dati di concentrazione disponibili per ognuna delle direzioni di provenienza del vento, mentre la freccia indica la direzione di provenienza del vento corrispondente all'allineamento del sito con l'impianto.

Analogamente al sito A, la distribuzione dimensionale rilevata in termini medi giornalieri è unimodale, con la moda collocata nella classe più fine (0,020-0,030  $\mu\text{m}$ ) appartenente alla frazione nano particolata (Figura 3.10). Tale struttura si mantiene anche per le distribuzioni medie riferite ai diversi periodi della giornata, come illustrato in Figura 3.11. Nelle situazioni caratterizzate da un allineamento della direzione di provenienza del vento rispetto al sito con l'impianto, la distribuzione dimensionale rilevata, riportata in Figura 3.12, mostra una tendenza all'aumento relativo della frazione nanoparticolata: tuttavia, tale situazione caratterizza il complesso del periodo pomeridiano, associato in prevalenza a componenti anemologiche orientate dai quadranti S, SSE ed E, e non è così da ritenersi riconducibile alle emissioni dall'impianto stesso.

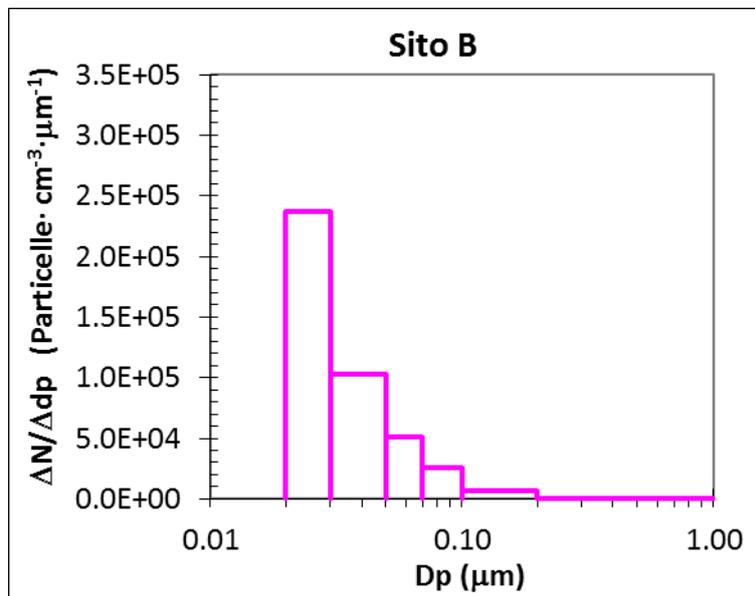


Figura 3.10 – Sito B: Distribuzione dimensionale media giornaliera delle concentrazioni in numero di particelle.

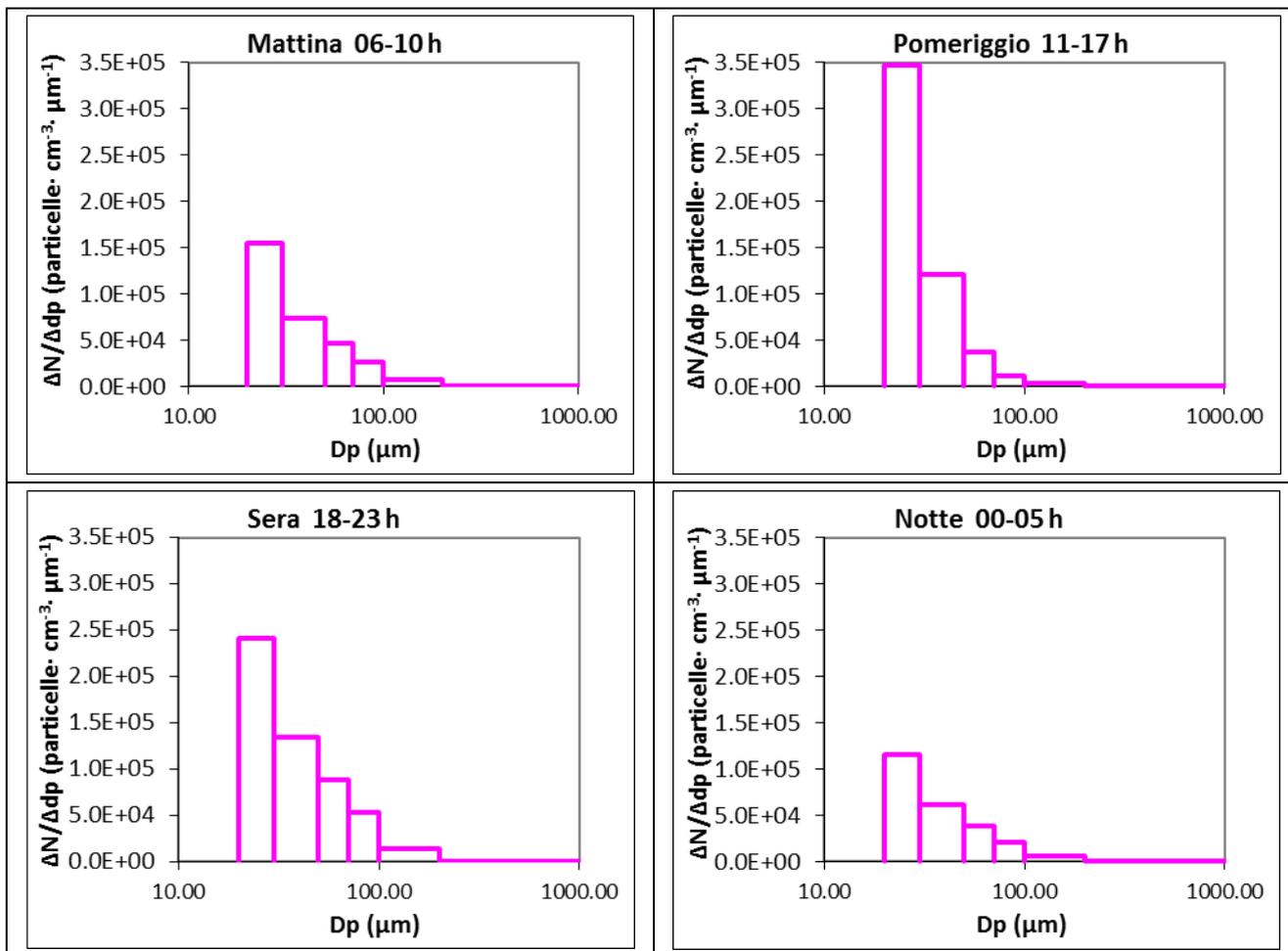


Figura 3.11 – Sito B: Variazione giornaliera della distribuzione dimensionale delle concentrazioni in numero di particelle.

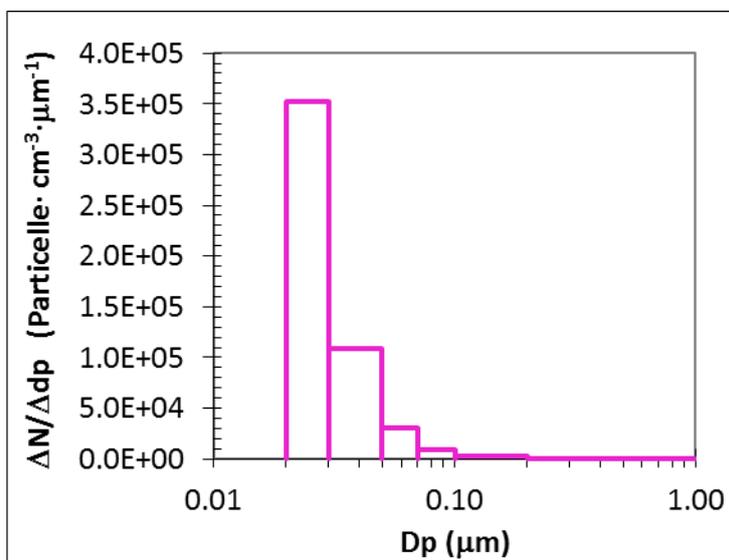


Figura 3.12: Sito B: distribuzione dimensionale delle concentrazioni in numero di particelle rilevate durante direzioni di provenienza del vento allineate con la localizzazione dell'impianto rispetto al sito di misura.

## 4 Considerazioni conclusive.

### 4.1 Confronto tra i siti

Le presenze di particolato nei due siti indagati risultano sostanzialmente omogenee, sia in termini delle concentrazioni in numero di particelle che delle relative distribuzioni dimensionale. I siti appaiono caratterizzati da concentrazioni medie in numero di circa  $6-9 \cdot 10^3$  particelle/cm<sup>3</sup> per l'intervallo  $0,004-3 \mu\text{m}$  (Figura 4.1); le corrispondenti distribuzioni dimensionali, di struttura unimodale, presentano mode sistematicamente collocate nella classe delle nanopolveri (Figura 4.2), con una consistenza relativa leggermente più accentuata delle classi più fini nel sito B. Entrambi i siti non mostrano, inoltre, variazioni apprezzabili delle presenze e distribuzione di ultrafine e nanopolveri in situazioni caratterizzate da direzioni di provenienza del vento allineate con la localizzazione dell'impianto rispetto al sito di misura.

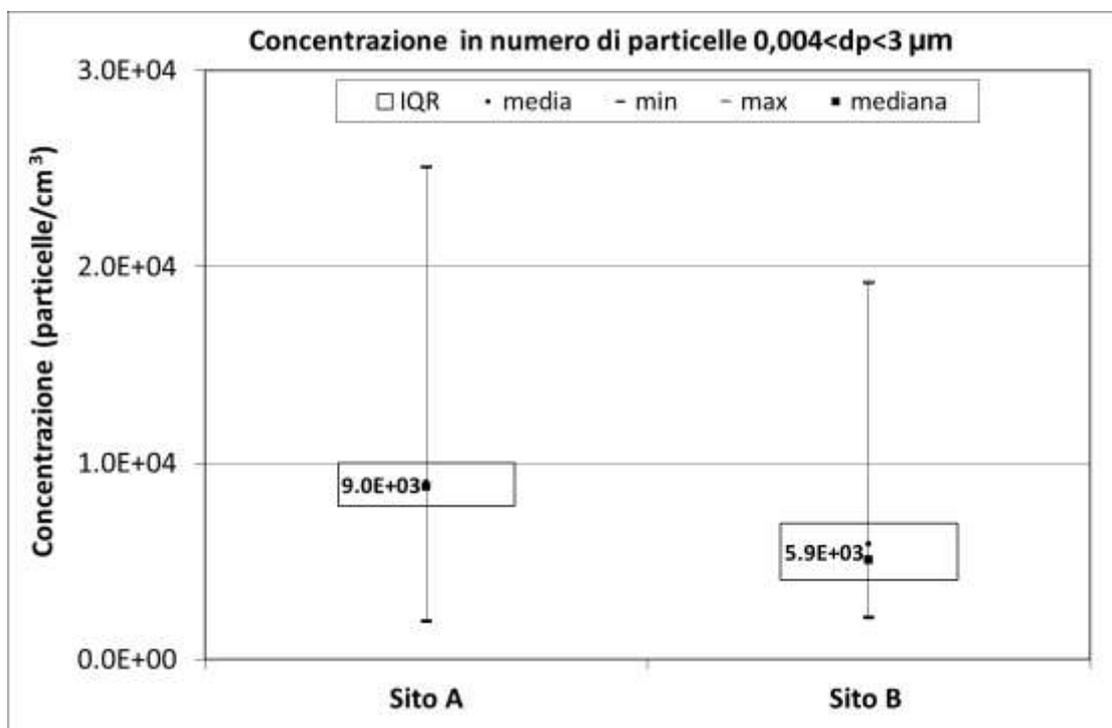


Figura 4.1 Confronto tra le statistiche descrittive delle concentrazioni in numero di particelle rilevate nei due siti di indagine.

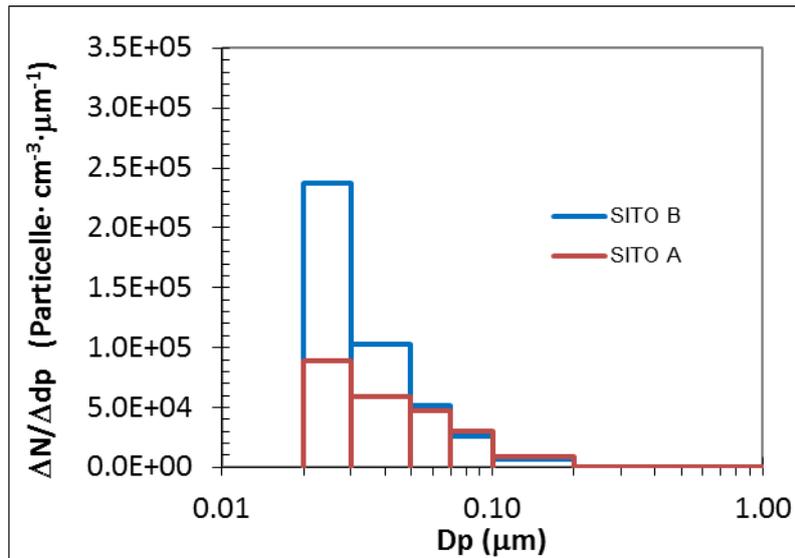


Figura 4.2 - Confronto della distribuzione dimensionale media giornaliera delle particelle rilevata nei due siti di campionamento.

#### 4.2 Confronto campagne ante e post operam.

La sintesi comparativa delle acquisizioni delle due campagne di misura, condotte rispettivamente prima (ante operam) e dopo l'avviamento a regime dell'impianto di cogenerazione a biomasse (post operam), è riportata nelle Figure 4.3 e 4.4, che illustrano i principali parametri statistici di interesse delle concentrazioni totali in numero delle particelle, misurate con il contatore a condensazione TSI 3775 nell'intervallo dimensionale 0,004 - 3 μm, e le corrispondenti distribuzioni dimensionali, rilevate con il classificatore TSI 3031 nell'intervallo 0,02 - 1 μm. Dall'analisi dei risultati ottenuti emergono le seguenti considerazioni:

- le presenze di ultrafine e nanopolveri in entrambi i siti e nelle due campagne mostrano caratteristiche generali relativamente omogenee;
- le concentrazioni misurate durante la campagna post operam si collocano su livelli leggermente inferiori, con valori medi compresi tra  $6-9 \cdot 10^3$  particelle/cm<sup>3</sup> rispetto all'analogo intervallo misurato nella campagna ante operam, pari a  $1-2 \cdot 10^4$  particelle/cm<sup>3</sup>. Inoltre, gli episodi di picco delle concentrazioni rilevati in entrambi i siti nella campagna ante-operam non paiono ripetersi durante il campionamento post-operam, confermando quanto già osservato circa la natura sporadica dell'episodio stesso nonché la conseguente difficoltà nell'identificarne l'origine (processi naturali, emissioni antropiche di vario tipo);
- le distribuzioni dimensionali non mostrano significative differenze nelle due campagne per entrambi i siti, mantenendo la struttura tipicamente unimodale e collocata nell'intervallo delle classi più fini;

- le acquisizioni post operam non rilevano, infine, alcuna particolare differenza nei risultati ottenuti in entrambi i siti per condizioni di provenienza del vento che determinano l'allineamento dei siti stessi con la localizzazione dell'impianto.

In conclusione, il complesso delle acquisizioni ricavate dall'indagine non fa emergere alcun effetto apprezzabile riconducibile all'attività dell'impianto di cogenerazione sulle presenze di ultrafine e nanopolveri.

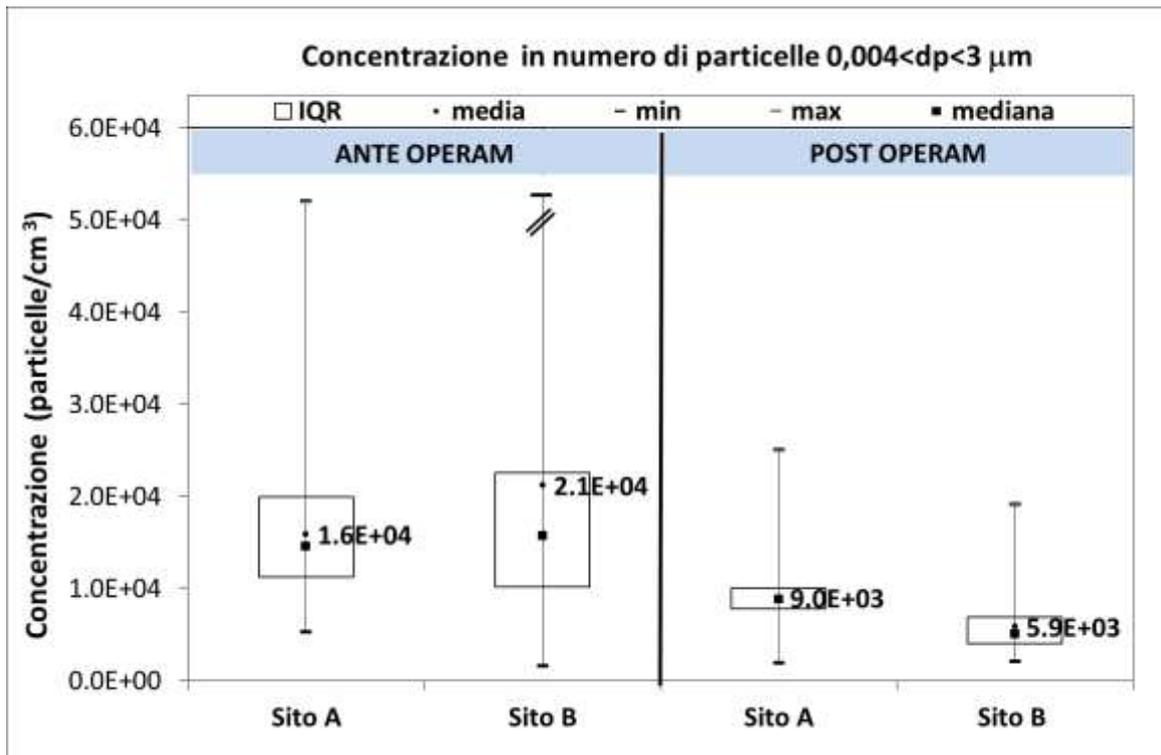


Figura 4.3 Confronto tra le statistiche descrittive delle concentrazioni in numero di particelle rilevate nei due siti di indagine nelle campagne ante operam e post operam.

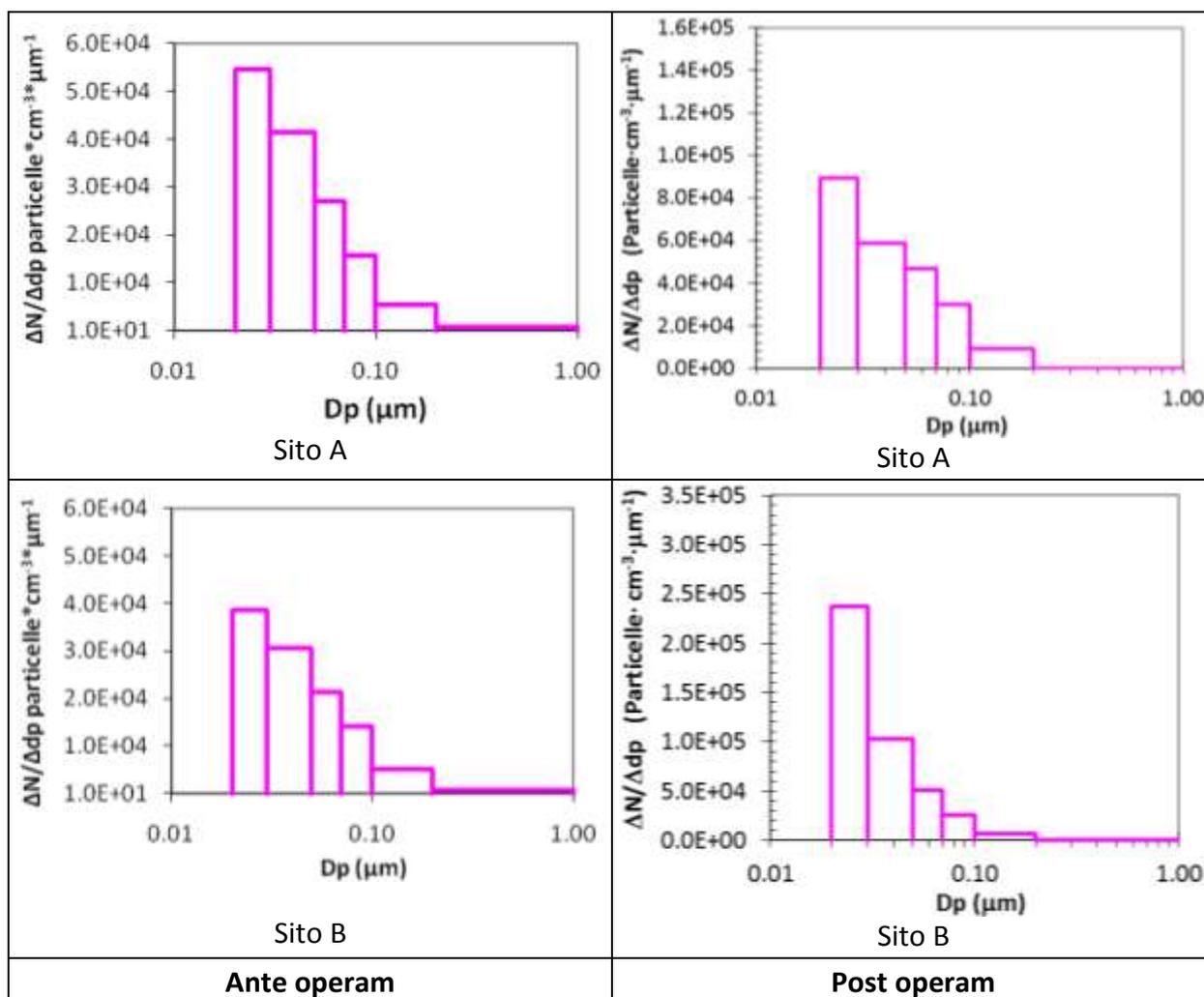


Figura 4.4 - Confronto delle distribuzioni dimensionale medie giornaliere delle particelle rilevate nei due siti di campionamento nelle campagne ante operam e post operam.

### 4.3 Inquadramento generale delle presenze di ultrafine rilevate nell'area.

La caratterizzazione generale dell'area di studio in termini delle presenze atmosferiche di ultrafine e nanopolveri riscontrabili in contesti territoriali ed emissivi tipici delle diverse situazioni prospettabili al riguardo non si presenta particolarmente agevole. Il rilevamento sistematico di polveri ultrafini, avviato solo negli ultimi anni, non può contare con una base di dati analoga a quella del particolato grossolano e fine le cui esigenze di valutazione, finalizzate innanzitutto alla verifica del rispetto dei limiti di qualità dell'aria, hanno prodotto serie storiche molto consistenti di misure che, acquisite dalle stazioni di monitoraggio con protocolli standardizzati, risultano altresì direttamente confrontabili tra loro. Nel settore dell'ultrafine, viceversa, le tecniche di misura tuttora non allineate rendono i risultati dei rilevamenti alquanto disomogenei, tanto in termini dei principi strumentali delle diverse apparecchiature disponibili che dell'intervallo dimensionale quantificato. A tutto ciò si sovrappone il comportamento dinamico molto variabile delle particelle

che, soprattutto per il nanoparticolato, può originare fenomeni di rapida formazione di nuovo materiale e di altrettanto rapida variazione nella distribuzione dimensionale dell'ultrafine anche in assenza di fonti apparentemente importanti, come è stato rilevato in alcuni studi condotti in aree remote soggette quasi esclusivamente ad emissioni naturali.

Ciò premesso, la Tabella 4.1 sintetizza il complesso dei dati reperibili nella letteratura scientifica di riferimento utilizzabili per inquadrare, almeno a grandi linee, la caratterizzazione delle diverse situazioni individuabili. Ulteriori analisi comparative direttamente orientate all'individuazione di livelli tipici sono riportate anche in Figura 4.5, ove dall'analisi statistica di misure acquisite in 126 postazioni sono state identificate quattro diverse tipologie di siti: fondo naturale/rurale, aree urbane, siti da traffico e tunnel, con i valori medi delle mediane di concentrazione in numero indicati nella figura stessa. Indicazioni sostanzialmente confrontabili, sintetizzate in tabella 4.2, sono ottenibili dai risultati di un ampio studio condotto in Europa che ha censito le misure di ultrafine disponibili per diverse stazioni, identificandone la tipologia sulla base dei criteri di classificazione previsti dall'Agenzia Europea per l'Ambiente, indicati nella tabella stessa. Su queste basi e nei limiti della durata limitata delle misure effettuate in entrambe le campagne, le presenze di ultrafine rilevate nel complesso dell'indagine appaiono allineate, sia per i livelli che per le distribuzioni dimensionali, con situazioni che possono ritenersi al confine tra gli ambiti rurali e le zone urbane di fondo.

Tabella 4.1: Valori tipici di concentrazione in numero di particelle in siti caratterizzati.

Tipo di sito <sup>a</sup>	Luogo	Strumento utilizzato <sup>b</sup>	Intervallo dimensionale	Concentrazione <sup>c</sup> (particelle/cm <sup>3</sup> )	Riferimento
Marine/polar, free troposphere	Rassegna di diversi studi			10 <sup>2</sup> - 10 <sup>3</sup>	Kumar et al (11)
Regional background/Rural Site	San Pietro Capofiume (BO)	DMPS	3-600 nm	1.2·10 <sup>4</sup>	Hamed et al. (7)
Rural Site	Ispira	DMPS	3-900 nm	1.0·10 <sup>4</sup> (Dev.st 0.4·10 <sup>4</sup> ) (min-max 0.2-2.0·10 <sup>4</sup> )	Rodriguez et al. (8)
Rural Site	Vavihill (Svezia)	DMPS	3-900 nm	Lavorativi 0.25·10 <sup>4</sup>	Ketzel et al. (9)
Rural site/Near city	Lille Valby (Danimarca)	DMPS	10-800 nm	Lavorativi 0.45·10 <sup>4</sup>	Ketzel et al. (9)
Rural Site	Rassegna di diversi studi			0.48·10 <sup>4</sup>	Morawska et al. (10)
Remote/rural, urban background)	Rassegna di diversi studi			10 <sup>3</sup> - 10 <sup>4</sup>	Kumar et al. (11)
Urban Background	Barcellona	CPC	5-1000 nm	1.7·10 <sup>4</sup> (Dev.st 0.5·10 <sup>4</sup> ) (min-max 0.6-2.9·10 <sup>4</sup> )	Reche et al. (1)
Urban Background	Lugano	CPC	7-1000 nm	1.5·10 <sup>4</sup> (Dev.st 1.0·10 <sup>4</sup> ) (min-max 0.3-4.8·10 <sup>4</sup> )	Reche et al. (1)
Urban Background	Londra	CPC	7-1000 nm	1.2·10 <sup>4</sup> (Dev.st 0.6·10 <sup>4</sup> ) (min-max 0.08-2.7·10 <sup>4</sup> )	Reche et al. (1)
Urban Background	Milano	DMPS	10-800 nm	Inverno: 2.5·10 <sup>4</sup> Estate: 1.3·10 <sup>4</sup>	Lonati et al (3), Rodriguez et al. (2)
Urban Background	Barcellona	DMPS	10-800 nm	1.7·10 <sup>4</sup>	Rodriguez et al. (2)
Urban Background	Helsinki	CPC	7-3000 nm	1.2·10 <sup>4</sup>	Puustinen et al. (5)
Urban Background	Atene	CPC	7-3000 nm	2.0·10 <sup>4</sup>	Puustinen et al. (5)
Urban Background	Amsterdam	CPC	7-3000 nm	1.8·10 <sup>4</sup>	Puustinen et al. (5)
Urban Background	Birmingham	CPC	7-3000 nm	1.9·10 <sup>4</sup>	Puustinen et al. (5)
Urban Background	Roma	CPC	7-1000 nm	2.5·10 <sup>4</sup> (Dev.st 1.1·10 <sup>4</sup> )	Marconi et al. (6)
Urban Background	Lipsia	DMPS	3-800 nm	Inverno: Lavorativi 2.0·10 <sup>4</sup> Domenica 1.4·10 <sup>4</sup> Estate: Lavorativi 1.4·10 <sup>4</sup> Domenica 1.1·10 <sup>4</sup>	Wehner et al.(4)
Urban Background	Copenhagen	DMPS	3-900 nm	Lavorativi 0.77·10 <sup>4</sup>	Ketzel et al. (9)
Urban/Urban Background	Rassegna di diversi studi			0.8-1.0·10 <sup>4</sup>	Morawska et al. (10)
Urban traffic	Roma	CPC	7-1000 nm	4.7·10 <sup>4</sup> (Dev.st 2.0·10 <sup>4</sup> )	Marconi et al. (6)
Urban traffic	Berna	CPC	7-1000 nm	2.8·10 <sup>4</sup> (Dev.st 1.4·10 <sup>4</sup> ) (min-max 0.9-9.3·10 <sup>4</sup> )	Reche et al. (1)
Urban traffic	Londra	CPC	7-1000 nm	2.2·10 <sup>4</sup> (Dev.st 1.3·10 <sup>4</sup> ) (min-max 0.5-5.8·10 <sup>4</sup> )	Reche et al. (1)
Urban traffic	Copenhagen	DMPS	3-900 nm	Lavorativi 2.4·10 <sup>4</sup>	Ketzel et al. (9)
Urban traffic	Copenhagen	DMPS	10-800 nm	Lavorativi 4.3·10 <sup>4</sup>	Ketzel et al. (9)
Urban traffic	Anversa	DMPS	25-300 nm	2.1-2.3·10 <sup>4</sup> (Dev.std. 1.1·10 <sup>4</sup> )	Mishra et al. (12)
Urban street canyons	Rassegna di diversi studi			10 <sup>4</sup> - 10 <sup>6</sup>	Kumar et al. (11)
Road site	Rassegna di diversi studi			4.8·10 <sup>4</sup> -16.7·10 <sup>4</sup> (tunnel)	Morawska et al. (10)
Urban Industrial	Huelva (Spagna)	CPC	2.5-10000 nm	1.8·10 <sup>4</sup> (Dev.st 1.4·10 <sup>4</sup> ) (min-max 0.1-6.8·10 <sup>4</sup> )	Reche et al. (1)

(a) la classificazione della tipologia dei siti è quella indicata nei lavori da cui sono tratti i dati. Tutti i siti classificati come "urban traffic" si riferiscono a misure in prossimità di importanti strade all'interno di contesti urbanizzati che escludono, pertanto, tratti extraurbani e/o autostradali. I siti classificati come "road site" in (10) comprendono anche misure condotte in prossimità di assi autostradali;

(b) CPC: contatore a condensazione; DMPS: contatore a mobilità elettrica;

(c) i valori si riferiscono alle concentrazioni medie o mediane rilevati nei periodi di indagine, così come direttamente reperibili nei corrispondenti articoli, con indicazioni sulla dispersione delle misure, ove disponibili

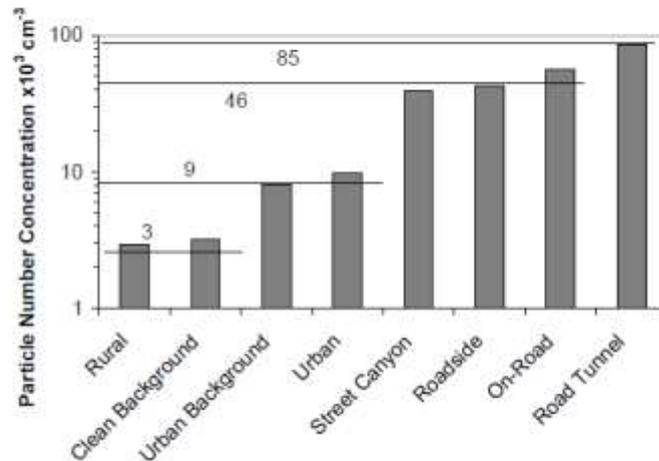


Figura 4.5 - Livelli tipici di ultrafine (mediane delle concentrazioni) rilevati nelle atmosfere di siti caratterizzati (Morawska et al., 2009).

Tabella 4.2: Intervalli di concentrazione in numero di polveri ultrafini rilevate in siti caratterizzati europei (Putaud et al., 2009).

Postazioni	Concentrazione tipica (particelle/cm <sup>3</sup> )
Fondo naturale/rurale (distanza fonti rilevanti > 10 km)	$2 \cdot 10^3 - 1 \cdot 10^4$
Urbano remoto (distanza fonti rilevanti 3-10 km)	$5 \cdot 10^3 - 1,5 \cdot 10^4$
Urbano di fondo (< 2500 veicoli/ora entro 50 m)	$5 \cdot 10^4 - 7 \cdot 10^4$
Urbano esposto a traffico (bordo assi viari)	$1,5 \cdot 10^4 - 8,5 \cdot 10^4$
<b>Presente indagine</b>	<b><math>6 \cdot 10^3 - 2 \cdot 10^4</math></b>

## BIBLIOGRAFIA

- (1) C. Reche, X. Querol, A. Alastuey, M. Viana, J. Pey, T. Moreno, S. Rodríguez, Y. González, R. Fernández-Camacho, J. de la Rosa, M. Dall'Osto, A. S. H. Prévôt, C. Hueglin, R. M. Harrison, P. Quincey. "New considerations for PM, Black Carbon and particle number concentration for air quality monitoring across different European cities". *Atmos. Chem. Phys.*, 11,6207-6227,2011.
- (2) S. Rodríguez, R. Van Dingenen, J.-P. Putaud, A. Dell'Acqua, J. Pey, X. Querol, A. Alastuey, S. Chenery, K.-F. Ho, R. Harrison, R. Tardivo, B. Scarnati, and V. Gemelli. "A study on the relationship between mass concentrations, chemistry and number size distribution of urban fine aerosols in Milan, Barcelona and London". *Atmos. Chem. Phys.*, 7, 2217-2232, 2007.
- (3) G. Lonati, M. Crippa, V. Gianelle, R. Van Dingenen. "Daily patterns of the multi-modal structure of the particle size distribution in Milan, Italy". *Atmospheric Environment*, 45, 2434-2442, 2011.
- (4) B. Wehner and A. Wiedensohler. "Long term measurements of submicrometer urban aerosols: statistical analysis for correlations with meteorological conditions and trace gases". *Atmos. Chem. Phys.*, 3, 867-879, 2003.
- (5) A. Puustinen, K. Hämeri, J. Pekkanen, M. Kulmala, J. de Hartog, K. Meliefste, H. ten Brink, G. Kos, K. Katsouyanni, A. Karakatsani, A. Kotronarou, I. Kavouras, C. Meddings, S. Thomas, R. Harrison, J. G. Ayres, S. van der Zee, G. Hoek. "Spatial variation of particle number and mass over four European cities". *Atmospheric Environment*, 41, 6622-6636, 2007.
- (6) Marconi A, Cattani G, Cusano M, Ferdinandi M, Inglessis M, Viviano G, Settimo G, Forastiere F. "Two-years of fine and ultrafine particles measurements in Rome, Italy". *J Toxicol Environ Health*, 70, 213-21, 2007.
- (7) A. Hamed, J. Joutsensaari, S. Mikkonen, L. Sogacheva, M. Dal Maso, M. Kulmala, F. Cavalli, S. Fuzzi, M. C. Facchini, S. Decesari, M. Mircea, K. E. J. Lehtinen, and A. Laaksonen. "Nucleation and growth of new particles in Po Valley, Italy". *Atmos. Chem. Phys.*, 7, 355-376, 2007.
- (8) S. Rodríguez, R. Van Dingenen, J.-P. Putaud, S. Martins-Dos Santos, D. Roselli. "Nucleation and growth of new particles in the rural atmosphere of Northern Italy—relationship to air quality monitoring". *Atmospheric environment*, 39, 6734-6746, 2005.
- (9) M. Ketzler, P. Wahlin, A. Kristensson, E. Swietlicki, R. Berkowicz, O. J. Nielsen, and F. Palmgren. "Particle size distribution and particle mass measurements at urban, near-city and rural level in the Copenhagen area and Southern Sweden". *Atmos. Chem. Phys.*, 4, 281-292, 2004.
- (10) L. Morawska, Z. Ristovski, E.R. Jayaratne, D.U. Keogh, X. Ling, "Ambient nano and ultrafine particles from motor vehicle emissions: characteristics, ambient processing and implications on human exposure". *Atmospheric Environment* 42, 8113-8138, 2008.
- (11) P. Kumar, A. Robins, S. Vardoulakis, R. Britter, "A review of the characteristics of nanoparticles in the urban atmosphere and the prospects for developing regulatory controls". *Atmospheric Environment* 44, 5035-5052, 2010.

(12) V. Mishra et al., "Wintertime spatio-temporal variation of ultrafine particles in a Belgian city". *Science of the Total Environment*, 431, 307–313, 2012.

(13) J. Putaud et al., "A European aerosol phenomenology - 3: Physical and chemical characteristics of particulate matter from 60 rural, urban, and kerbside sites across Europe". *Atmospheric Environment*, 44, 1308-1320, 2010.

(14) L. Morawska, X. Ling, R. Jayaratne, "Comparison of Particle Number Concentrations between Different Environments", *European Aerosol Conference 2009, Karlsruhe*, Abstract T043A04.