

campionamento sono stati effettuati due brillamenti (materiale costituito da munizionamento obsoleto misto come proiettili traccianti, perforanti e incendiari) il primo alle ore 14.47 circa, il secondo alle ore 16.04 circa. L'autocisterna è intervenuta alle ore 15.25 e alle ore 16.35 circa.

Alle ore 15.29 circa si è verificata un'interruzione di corrente che ha causato lo spegnimento della strumentazione, la riaccensione è avvenuta alle 15.40.

**Il quinto campionamento**, effettuato il 26 Maggio 2015, (figura 2) è stato effettuato a circa 10 metri a EST dal muro di contenimento in cemento armato (zona di detonazione), ad una altezza dal suolo di circa 1.5 metri e sottovento rispetto alla sorgente (vento da WNW moderato). Il generatore è stato posizionato a Nord a circa 60/70 metri dalla postazione di campionamento. Il campionamento ha avuto inizio alle ore 08.52 e si è concluso alle ore 11.00. Durante il campionamento sono stati effettuati due brillamenti (materiale costituito da munizionamento obsoleto come proiettili incendiari) il primo alle ore 09.24 circa, il secondo alle ore 10.29 circa. L'autocisterna è intervenuta alle ore 09.50 e alle ore 10.58 circa.

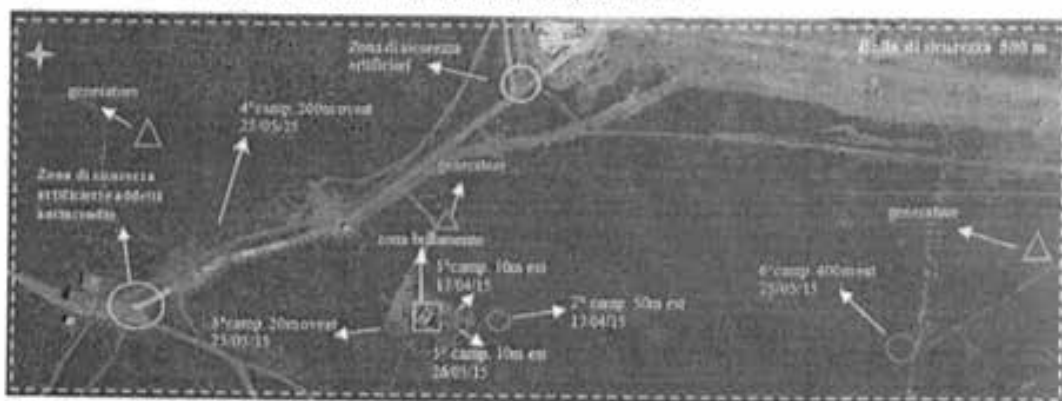
**Il sesto campionamento**, effettuato il 26 Maggio 2015, (figura 2) è stato effettuato a circa 400 metri a EST dal muro di contenimento in cemento armato (zona di detonazione), ad una altezza dal suolo di circa 1.5 metri e sottovento rispetto alla sorgente (vento da WNW moderato). Il generatore è stato posizionato a Nord-Est a circa 60/70 metri dalla postazione di campionamento. Il campionamento ha avuto inizio alle ore 14.08 e si è concluso alle ore 16.17. Durante il campionamento sono stati effettuati due brillamenti (materiale costituito da munizionamento obsoleto come proiettili incendiari) il primo alle ore 14.40 circa, il secondo alle ore 15.49 circa. L'autocisterna è intervenuta alle ore 15.05 e alle ore 15.35 circa.

*M. M. Lopez*

10

Tabella 2. *Campionamenti*

CAMPIONAMENTO	DATA	INIZIO	FINE	POSIZIONE	VENTO	ORA BRILLAMENTO	
1° CAMPIONAMENTO	17/04/2015	9.32	10.31	10 m EST	WNW debole	9.39	
2° CAMPIONAMENTO	17/04/2015	11.07	12.27	50 m EST	WNW moderato	11.39	
3° CAMPIONAMENTO	25/05/2015	8.58	11.09	20 m OVEST	E - ESE debole	9.16	10.24
4° CAMPIONAMENTO	25/05/2015	14.45	16.32	200 m OVEST	SE moderato	14.47	16.04
5° CAMPIONAMENTO	26/05/2015	8.52	11.00	10 m EST	WNW moderato	9.24	10.29
6° CAMPIONAMENTO	26/05/2015	14.08	16.17	400 m EST	WNW moderato	14.40	15.49

Figura 4. *Schema riassuntivo delle sei posizioni di campionamento*

11

### 3. Analisi dei dati

I risultati del campionamento effettuato sono stati confrontati con altri due campionamenti di particolato e nanoparticolato misurati con l'ELPI+ Dekati. Un campionamento è stato effettuato presso il cortile di una scuola elementare (Figura 6) del comune di Siddi (area rurale), l'altro presso il cortile di una scuola elementare (Figura 5) in Via Is Mirrionis a Cagliari (area urbana).

I campionamenti sono stati effettuati rispettivamente la mattina del 02 Aprile 2014 e del 13 Febbraio 2015, entrambi della durata di circa quattro ore.

Figura 5. Campionamento Scuola in Via Is Mirrionis (Ca)



Figura 6. Campionamento Scuola in Via Napoli, Siddi (VS)



Al momento non è chiaro quali siano le modalità metrologiche più appropriate per definire l'esposizione alle polveri ultrafini (nessuna delle tre metriche più utilizzate massa, numero e area superficiale può considerarsi ideale). Tuttavia, in linea con quanto indicato nelle raccomandazioni della commissione UE (25) del 18 ottobre 2011 "on the definition of nanomaterial", che sottolinea l'importanza della descrizione del particolato inferiore a 100 nm attraverso la concentrazione in numero, l'analisi dei dati è stata focalizzata sulla concentrazione in numero pur non tralasciando le altre grandezze fisiche come la massa e l'area superficiale.

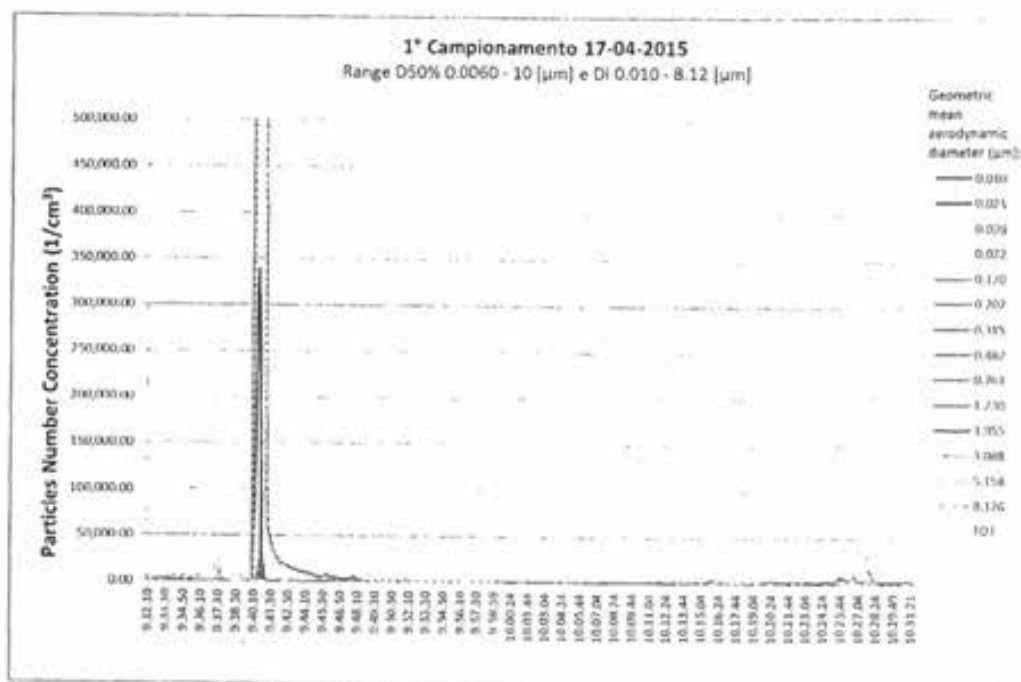
#### 4. RISULTATI

##### 1. Dati espressi in Numero $N(1/cm^3)$

Nei seguenti grafici (Figura da 9 a 15) viene riportata l'andamento della concentrazione in numero di particolato. In ascissa si può osservare il tempo di campionamento e in ordinata la concentrazione del particolato espresso in numero ( $N 1/cm^3$ ). Nei suddetti grafici viene rappresentata la concentrazione di tutto lo spettro dimensionale del particolato misurato (0.006 – 10  $\mu m$ ) diviso per diametro medio geometrico centrale delle particelle.

In figura sette viene riportato il grafico del 1° campionamento (distanza brillamento 10 metri) effettuato presso il Poligono Interforze del Salto di Quirra.

Figura 7. Concentrazione in numero del particolato (0.006 – 10  $\mu m$ ) nel 1° Campionamento



Dai risultati del 1° campionamento emerge che il maggiore contributo nel numero di particolato è dato dalle frazioni nanometriche in particolare le particelle di 10 e 21 nm. La mediana di nanoparticolato misurata è di  $3,32E+03 1/cm^3$ , e il valore massimo di  $1,79E+07 1/cm^3$ . Il picco massimo rilevato corrisponde al brillamento effettuato alle ore 9:39. Tale picco ha una durata di

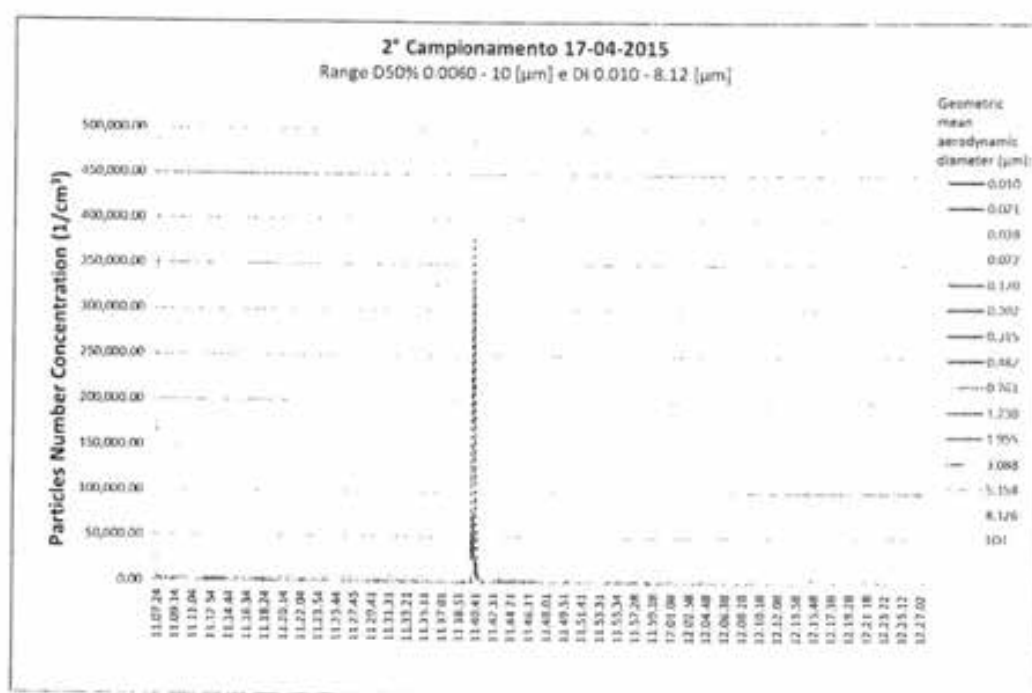
*17/04/2015*

13

alcuni minuti. Alla fine del campionamento si osservano dei picchi corrispondenti all'avvicinamento dell'autocisterna alla zona di campionamento (ore 10:20 circa).

In figura 8 viene riportato il grafico del 2° campionamento (distanza brillamento 50 metri) effettuato presso il Poligono Interforze del Salto di Quirra.

Figura 8. Concentrazione in numero del particolato (0.006 – 10 µm) nel 2° Campionamento



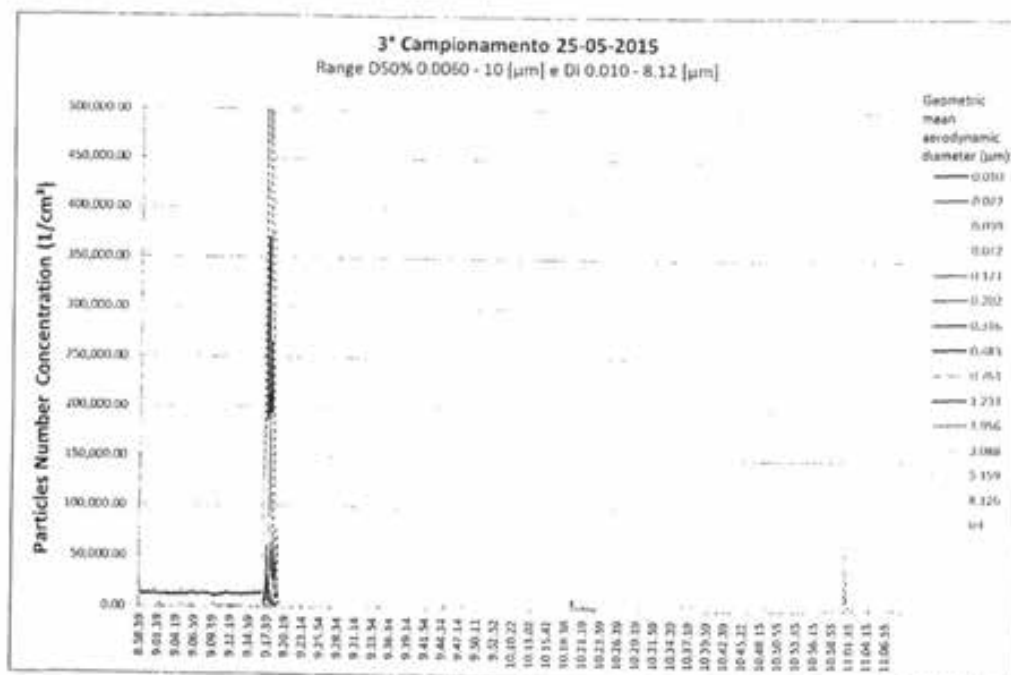
Dai risultati del 2° campionamento emerge che il maggiore contributo nel numero di particolato è dato dalle frazioni nanometriche in particolare le particelle di 10 e 21 nm. La mediana del numero di nanoparticellati misurata è di  $4,50E+03$   $1/cm^3$ , e il valore massimo di  $5,01E+05$   $1/cm^3$ . Il picco massimo rilevato corrisponde al brillamento effettuato alle ore 11:39. Tale picco ha una durata di alcuni minuti. Alla fine del campionamento si osservano dei picchi corrispondenti all'avvicinamento dell'autocisterna alla zona di campionamento (ore 12:15 circa).

117 mila 1/cm³

16

In figura 9 viene riportato il grafico del 3° campionamento (distanza brillamento 20 metri) effettuato presso il Poligono Interforze del Salto di Quirra.

Figura 9. Concentrazione in numero del particolato (0.006 – 10 µm) nel 3° Campionamento



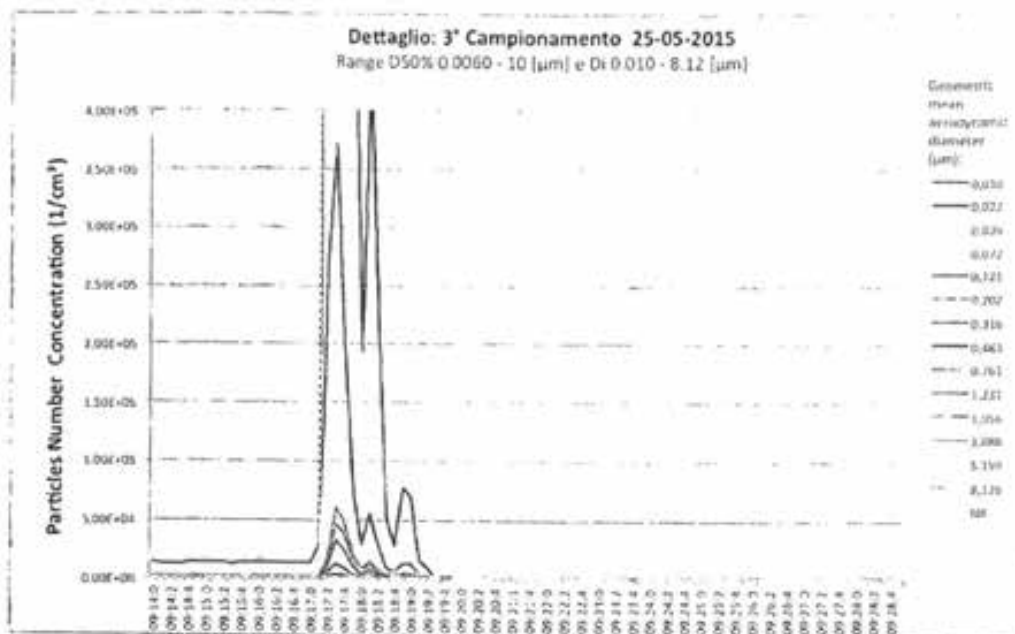
Nel 3° campionamento il maggiore contributo nel numero di particolato è dato dalle frazioni nanometriche in particolare le particelle di dimensioni 10, 21 e 39 nm. La mediana numerica di nanoparticolati misurata è di  $3,59E+03$   $1/cm^3$ , e il valore massimo di  $3,27E+061/cm^3$ . Il picco massimo rilevato corrisponde al brillamento effettuato alle ore 9:16. Osservando in dettaglio il suddetto picco (figura 10) si evidenzia una durata di alcuni minuti, con una graduale riduzione del livello di particolato sovrapponibile all'andamento osservato nei campionamenti precedenti. Tuttavia in seguito al decremento del livello di polveri successivo al brillamento, si è osservata una destabilizzazione delle correnti misurate, verosimilmente dovuta all'elevato numero di polveri che hanno investito lo strumento.

Nonostante la successiva calibrazione effettuata, tale destabilizzazione ha perdurato impedendo una misura affidabile per il restante campionamento.

Small

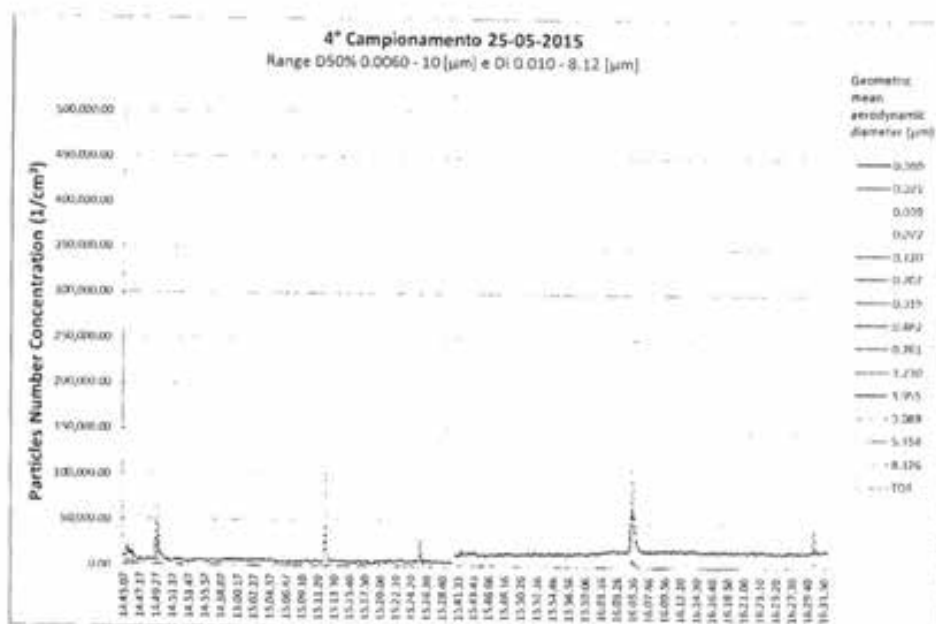
AS

Figura 10. Dettaglio picco 3° campionamento



In figura 11 viene riportato il grafico del 4° campionamento (distanza brillamento 200 metri) effettuato presso il Poligono Interforze del Salto di Quirra.

Figura 11. Concentrazione in numero del particolato (0.006 – 10 μm) nel 4° Campionamento



*12/05/2015*

Dai risultati del 4° campionamento emerge che il maggiore contributo nel numero di particolato è dato dalle frazioni nanometriche in particolare le particelle di diametro 10, 21 e 39 nm. La mediana di nanoparticolato misurata è di  $1,54E+04$   $1/cm^3$ , e il valore massimo di  $1,10E+05$   $1/cm^3$ . Il picco massimo rilevato corrisponde al secondo brillamento effettuato alle ore 16:04.

Durante il campionamento, intorno alle ore 15:29 (Figura 11 linea gialla tratteggiata) si è verificata un'interruzione di corrente che ha determinato lo spegnimento della strumentazione.

Il campionamento è ripreso alle ore 15:40 in seguito alla calibrazione degli elettrometri come da protocollo. Nella fase successiva del campionamento emerge un lieve aumento della concentrazione del numero di particolato misurato dal filtro assoluto (1° stadio: 10 nm). Pertanto si è proceduto a un'analisi separata delle fasi di campionamento precedente e successiva allo spegnimento. Nella prima fase del campionamento è stata misurata una mediana di  $6,88E+03$   $1/cm^3$  e un massimo di  $1,01E+05$   $1/cm^3$ ; il valore massimo misurato corrisponde verosimilmente all'avvicinamento dell'autocisterna alla zona di campionamento. Il valore massimo misurato corrispondente al 1° brillamento delle ore 14:47 è di  $6,41E+04$   $1/cm^3$ . Nella seconda fase di campionamento è stata misurata una mediana del numero di particelle di  $1,90E+04$   $1/cm^3$  e un massimo di  $1,10E+05$   $1/cm^3$  corrispondente al 2° brillamento delle ore 16:04.

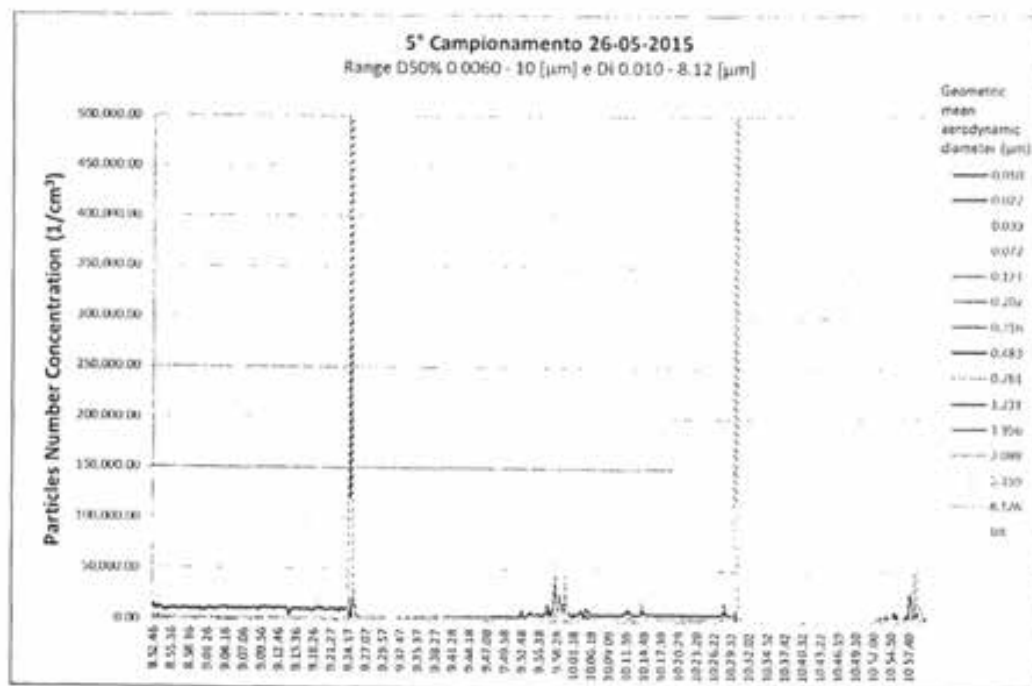
17

17



In figura 12 viene riportato il grafico del 5° campionamento (distanza brillamento 10 metri) effettuato presso il Poligono Interforze del Salto di Quirra.

Figura 12. Concentrazione in numero del particolato (0,006 – 10 µm) nel 5° Campionamento



Dai risultati del 5° campionamento emerge che il maggiore contributo nel numero di particolato è dato dalle frazioni nanometriche in particolare le particelle di 10, 21 e 39 nm. La mediana di nanoparticolato misurata è di  $8,86E+03$  1/cm<sup>3</sup>, e il valore massimo di  $1,83E+06$  1/cm<sup>3</sup>. Il picco massimo rilevato corrisponde al primo brillamento effettuato alle ore 9:24. In corrispondenza del secondo brillamento (ore 10:29) è stato misurato un picco con un valore massimo di nanoparticolato di  $1,01E+06$  1/cm<sup>3</sup>. In corrispondenza dell'avvicinamento dell'autocisterna (ore 9:50 10:58) alla zona di campionamento si osserva un aumento del numero di nanoparticolato. Come osservato nei precedenti campionamenti l'incremento del numero di particelle conseguente ai brillamenti, si riduce gradualmente in alcuni minuti. In seguito all'impatto dell'elevato numero di polveri che investono lo strumento durante il brillamento, si verifica una drastica riduzione della concentrazione di particolato misurata dal 1° stadio, dovuta verosimilmente alla destabilizzazione delle correnti misurate. Tuttavia si osserva che dopo circa 15-20 minuti le correnti si stabilizzano; tale fenomeno si osserva anche in seguito al secondo brillamento.

M. M. Lopez

18

In figura 13 viene riportato il grafico del 6° campionamento (distanza brillamento 400 metri) effettuato presso il Poligono Interforze del Salto di Quirra.

Figura 13. Concentrazione in numero del particolato (0.006 – 10 µm) nel 6° Campionamento



Dai risultati del 6° campionamento emerge che il maggiore contributo nel numero di particolato è dato dalle frazioni nanometriche in particolare le particelle di 10, 21 e 39 nm. La mediana di nanoparticolato misurata è di  $5,46E+03$   $1/cm^3$ , e il valore massimo di  $2,81E+04$   $1/cm^3$ . Il picco massimo rilevato corrisponde al secondo brillamento effettuato alle ore 15:49. Nella seconda fase del campionamento, in seguito alla calibrazione degli elettrometri, si osserva un lieve aumento dei livelli di particolato misurato dal filtro assoluto (1° stadio 10 nm). Nella prima fase del campionamento è stata misurata una mediana di  $2,90E+03$   $1/cm^3$  e un massimo di  $8,98E+03$   $1/cm^3$  corrispondente al primo brillamento delle ore 14:40. Nella seconda fase del campionamento è stata misurata una mediana di  $1,17E+04$   $1/cm^3$  e un massimo di  $2,81E+04$   $1/cm^3$  corrispondente al secondo brillamento effettuato alle ore 15:49.

17.000.000

19

In figura 14 viene riportato il grafico del campionamento effettuato a Siddi (area rurale).

Figura 14. Concentrazione in numero del particolato (0.006 – 10 µm) nel campionamento di Siddi



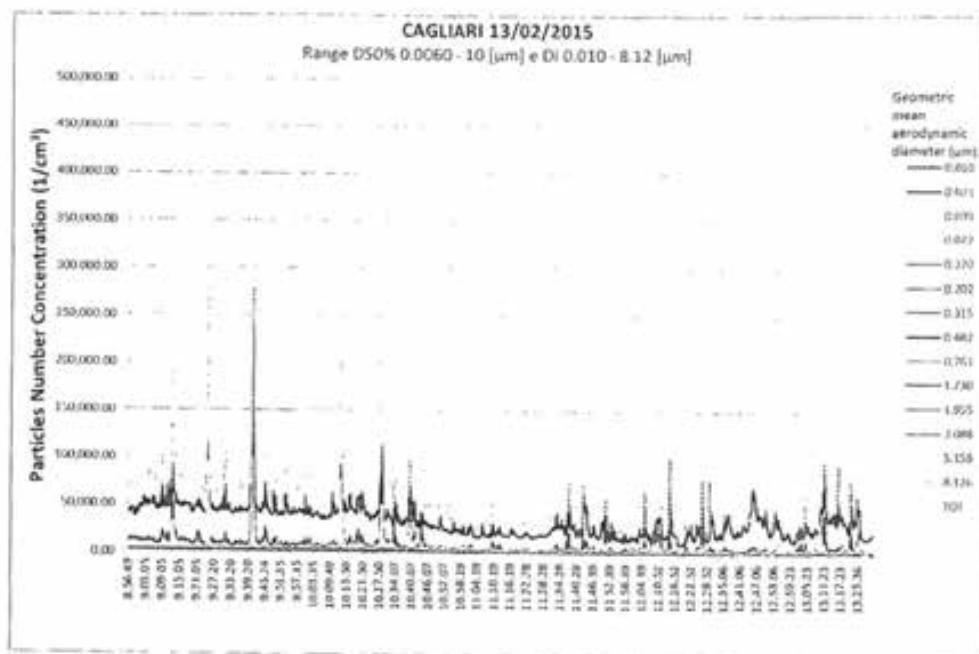
Dai risultati del campionamento emerge che il maggiore contributo nel numero di particolato è dato dalle frazioni nanometriche in particolare le particelle di 10 nm. La mediana del numero di nanoparticolati misurata è di  $7,56E+03$   $1/cm^3$ , e il valore massimo di  $1,55E+04$   $1/cm^3$ .

17/11/14

20

In figura 15 viene riportato il grafico del campionamento effettuato a Cagliari (area urbana).

Figura 15. Concentrazione in numero del particolato (0.006 – 10 µm) nel campionamento di Cagliari



Dai risultati del campionamento emerge che il maggiore contributo nel numero di particolato è dato dalle frazioni nanometriche in particolare le particelle di 10, 21 e 39 nm. La mediana del numero di nanoparticoli misurata è di  $4.74E+04$   $1/cm^3$ , e il valore massimo di  $6.53E+05$   $1/cm^3$ .

Nella tabella seguente (tabella 3) vengono riportati i dati relativi alla cocntrazione del numero di nanoparticolato degli otto campionamenti.

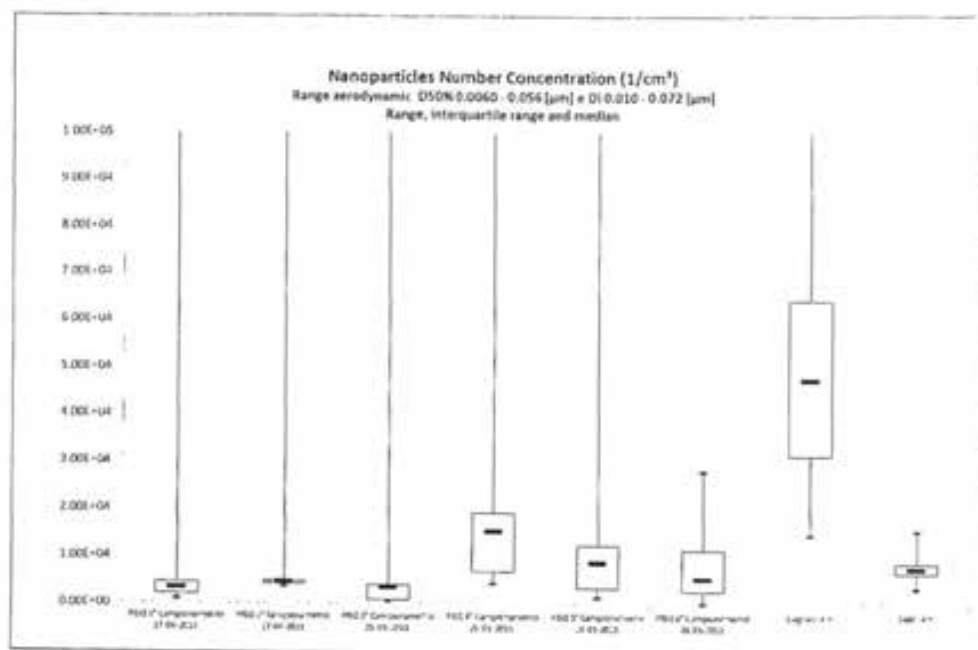
Tabella 3. Concentrazione in numero del nanoparticolato

Numero (1/cm³) Nanoparticolato	PISQ 1* Campionamento 17-04-2015 (10 metri)	PISQ 2* Campionamento 17-04-2015 (50 metri)	PISQ 3* Campionamento 25-05-2015 (20 metri)	PISQ 4* Campionamento 25-05-2015 (200 metri)	PISQ 5* Campionamento 25-05-2015 (10 metri)	PISQ 6* Campionamento 25-05-2015 (400 metri)	Cagliari 4 h	Sidi 4 h
1° Intervallo interquartile	2.11E+03	4.25E+03	1.04E+03	7.02E+03	3.51E+03	2.85E+03	3.14E+04	6.65E+03
Minimo	9.71E+02	3.73E+03	6.38E+02	4.38E+03	1.56E+03	1.92E+02	1.47E+04	3.45E+03
<b>Mediana</b>	<b>3.32E+03</b>	<b>4.50E+03</b>	<b>3.59E+03</b>	<b>1.54E+04</b>	<b>8.86E+03</b>	<b>5.46E+03</b>	<b>4.74E+04</b>	<b>7.56E+03</b>
Massimo	1.79E+07	5.01E+05	3.27E+06	1.10E+05	1.83E+06	2.81E+04	6.53E+05	1.55E+04
3° Intervallo interquartile	4.45E+03	4.79E+03	4.16E+03	1.94E+04	1.25E+04	1.16E+04	6.43E+04	8.70E+03
Particolato totale	4.72E+07	3.23E+06	1.31E+07	8.26E+06	1.05E+07	5.43E+06	8.34E+07	1.06E+07

*Handwritten note:* 27/04/2015

In figura 16 vengono rappresentate i grafici box plot con la concentrazione del numero ( $1/\text{cm}^3$ ) di nanoparticolati espressa in minimo, massimo, range interquartile e mediana.

Figura 16. Range, range interquartile e mediana del numero di nanoparticolato



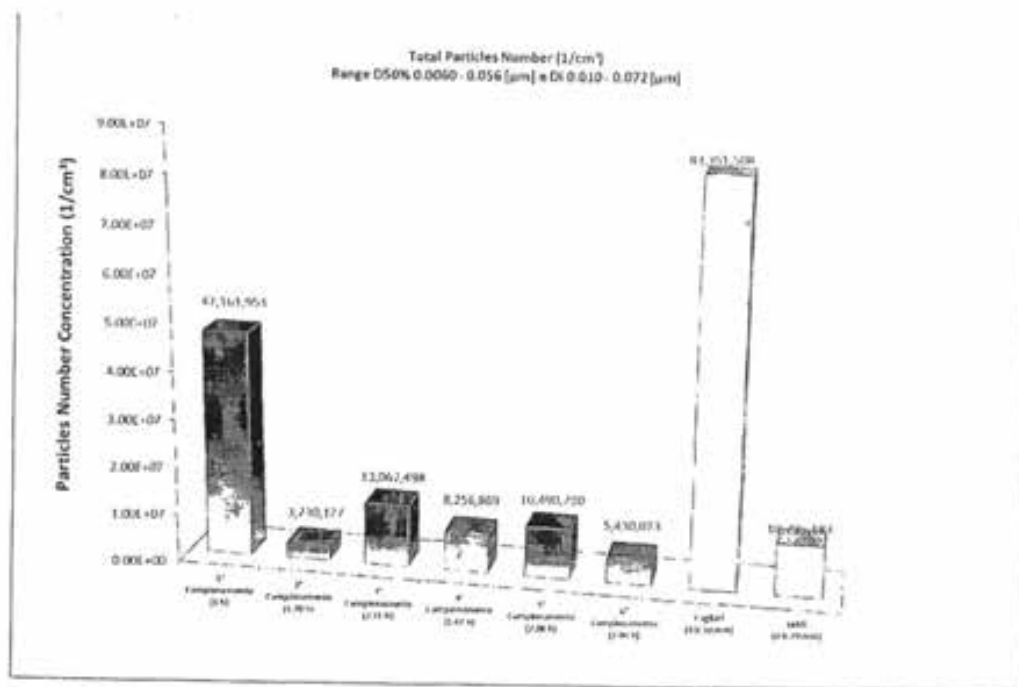
La mediana del numero di nanoparticolato dei sei campionamenti effettuati al Poligono Interforze del Salto di Quirra è compresa tra un minimo di  $3.32\text{E}+03$  ( $1/\text{cm}^3$ ) e un massimo di  $1.54\text{E}+04$  ( $1/\text{cm}^3$ ). Mentre il picco massimo rilevato è compreso tra un minimo di  $2.81\text{E}+04$  ( $1/\text{cm}^3$ ) e un massimo di  $1.79\text{E}+07$  ( $1/\text{cm}^3$ ). I valori mediani più elevati sono stati misurati rispettivamente nel 4°, 5° e 6° campionamento (rispettivamente ad una distanza dal brillamento di 200, 10 e 400 metri) e sono risultati sovrapponibili alla mediana misurata nel campionamento di Siddi. I valori massimi sono stati misurati rispettivamente nel 1°, 3° e 5° campionamento (rispettivamente ad una distanza dal brillamento di 10, 20 e 10 metri sottovento) e risultano ampiamente maggiori rispetto ai picchi massimi rilevati sia a Siddi che a Cagliari.

Nella figura 17 viene rappresentata la concentrazione totale del numero di nanoparticolato misurata per ciascun campionamento. Le concentrazioni maggiori di nanoparticolato totale sono state misurate nel 1°, 3° e 5° campionamento (rispettivamente ad una distanza di 10, 20 e 10 metri dal brillamento). Le concentrazioni misurate nei campionamenti 2°, 3°, 4° e 5° sono sovrapponibili alla concentrazione totale di nanoparticolato misurata a Siddi. La concentrazione maggiore è stata

M. M. S. S.

misurata durante il 1° campionamento, ed è risultata circa la metà della concentrazione misurata a Cagliari. Va comunque sottolineato che la durata dei campionamenti è stata variabile e ciò potrebbe influire sul numero totale di nanoparticolati misurati.

Figura 17. Concentrazione di nanoparticolato totale (1/cm<sup>3</sup>)



*Handwritten signature*

2. Dati espressi in Massa ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

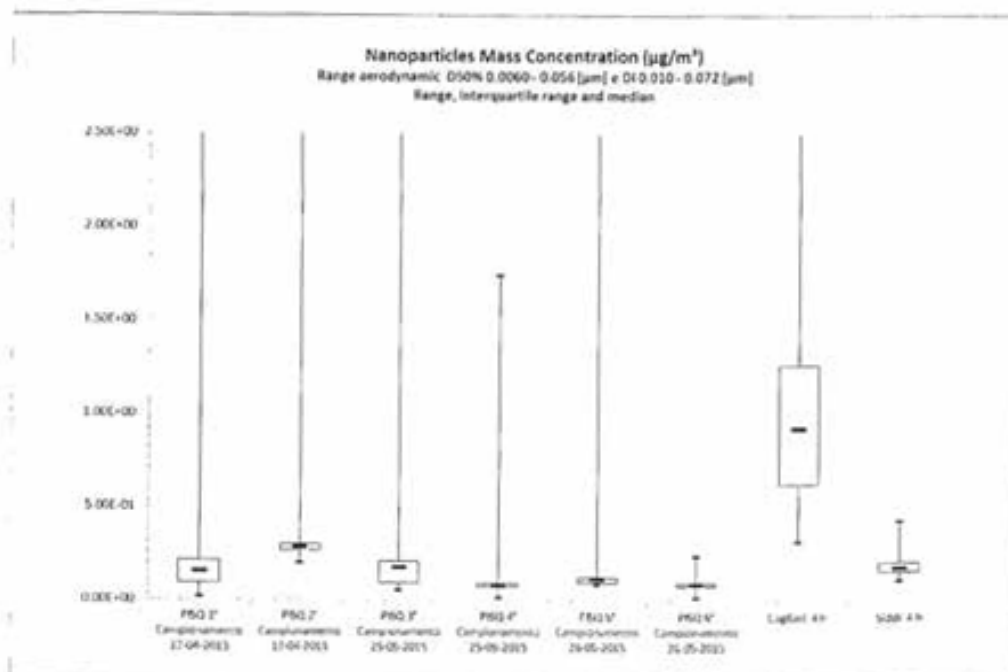
Nella tabella seguente (tabella 4) vengono riportati i dati relativi alla concentrazione in massa di nanoparticolato degli otto campionamenti.

Tabella 4. Concentrazione in massa del nanoparticolato

Massa ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) Nanoparticolato	PSQ 1* Campionamento 17-04-2015	PSQ 2* Campionamento 17-04-2015	PSQ 3* Campionamento 25-05-2015	PSQ 4* Campionamento 25-05-2015	PSQ 5* Campionamento 26-05-2015	PSQ 6* Campionamento 26-05-2015	Cagliari 4 h	Sidi 4 h
1° Intervallo interquartile	9.08E-02	2.65E-01	9.13E-02	7.59E-02	9.66E-02	7.57E-02	6.25E-01	1.60E-01
Minimo	1.55E-02	1.98E-01	5.24E-02	1.40E-02	8.31E-02	1.43E-02	3.10E-01	1.09E-01
<b>Mediana</b>	<b>1.54E-01</b>	<b>2.79E-01</b>	<b>1.72E-01</b>	<b>8.19E-02</b>	<b>1.12E-01</b>	<b>8.38E-02</b>	<b>9.23E-01</b>	<b>1.78E-01</b>
Massimo	1.17E+01	7.40E+00	2.88E+01	1.74E+00	1.97E+01	2.36E-01	8.34E+00	4.28E-01
3° Intervallo interquartile	2.13E-01	2.97E-01	2.10E-01	9.11E-02	1.22E-01	9.14E-02	1.26E+00	2.08E-01

In figura 18 vengono rappresentate i grafici box plot con la concentrazione in massa ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) di nanoparticolato espressa in minimo, massimo, range interquartile e mediana.

Figura 18. Range, range interquartile e mediana della massa di nanoparticolato



Sebbene l'ELPI+ abbia una minore sensibilità nella misura della concentrazione in massa del particolato  $> 1 \mu\text{m}$  (26) dai risultati si osserva un andamento sovrapponibile alla concentrazione in numero del nanoparticolato. La mediana misurata è compresa tra  $8.19\text{E}-02$  e  $2.79\text{E}-01 \mu\text{g}/\text{m}^3$

17-04-2015

26

rilevate rispettivamente nel 4° e 2° campionamento. Le mediane dei sei campionamenti sono sovrapponibili alla mediana di nanoparticolato misurata a Siddi.

### 3. Dati espressi in Area Superficiale ( $\mu\text{m}^2/\text{cm}^3$ )

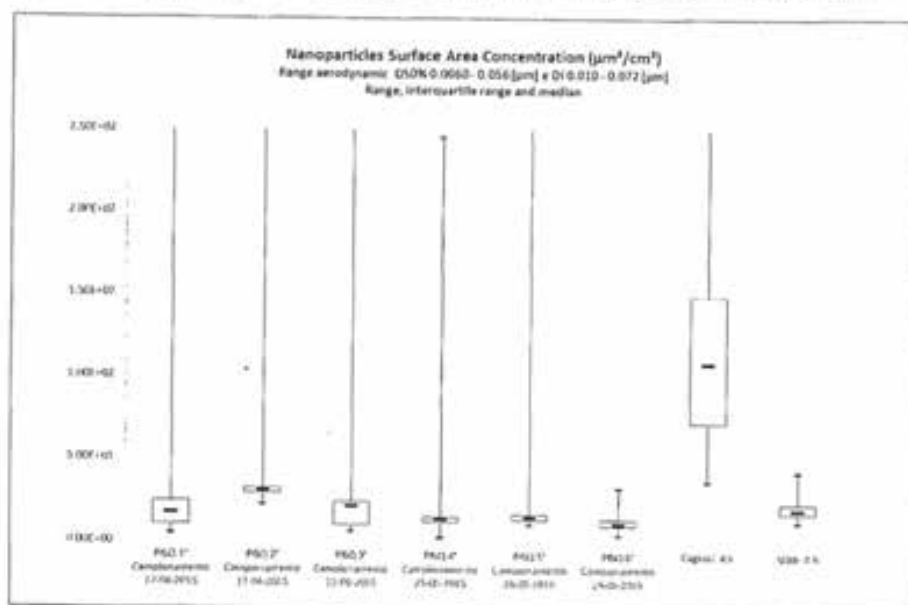
Nella tabella seguente (tabella 5) vengono riportati i dati relativi alla concentrazione in area superficiale di nanoparticolato degli otto campionamenti.

Tabella 5. Concentrazione in area superficiale del nanoparticolato

Area Superficiale ( $\mu\text{m}^2/\text{cm}^3$ ) Nanoparticolato	PISQ 1° Campionamento 17-04-2015	PISQ 2° Campionamento 17-04-2015	PISQ 3° Campionamento 25-05-2015	PISQ 4° Campionamento 25-05-2015	PISQ 5° Campionamento 26-05-2015	PISQ 6° Campionamento 26-05-2015	Cagliari 4 h	Siddi 4 h
1° Intervallo interquartile	9.91E+00	2.87E+01	9.73E+00	1.13E+01	1.50E+01	9.20E+00	7.15E+01	1.73E+01
Minimo	4.11E+00	2.20E+01	5.77E+00	2.15E+00	9.71E+00	3.47E+00	3.65E+01	1.17E+01
<b>Mediana</b>	<b>1.67E+01</b>	<b>3.03E+01</b>	<b>2.08E+01</b>	<b>1.32E+01</b>	<b>1.44E+01</b>	<b>1.03E+01</b>	<b>1.08E+02</b>	<b>1.94E+01</b>
<b>Massimo</b>	<b>6.68E+03</b>	<b>8.86E+02</b>	<b>4.18E+03</b>	<b>2.45E+02</b>	<b>2.64E+03</b>	<b>3.20E+01</b>	<b>1.38E+03</b>	<b>4.21E+01</b>
3° Intervallo interquartile	2.41E+01	3.21E+01	2.36E+01	1.42E+01	1.62E+01	1.31E+01	1.49E+02	2.29E+01

In figura 18 vengono rappresentate i grafici box plot con la concentrazione in area superficiale ( $\mu\text{m}^2/\text{cm}^3$ ) di nanoparticolati espressa in minimo, massimo, range interquartile e mediana.

Figura 18. Range, range interquartile e mediana dell'area superficiale di nanoparticolato



Handwritten signature

25