



**- ARIA -**

**ATTIVITÀ 2**

**SOTTO-ATTIVITÀ 2.B.2**

**EMISSIONI INQUINANTI DA APPARECCHI DOMESTICI  
A BIOMASSA LEGNOSA**



ARPA Valle d'Aosta  
Sezione Aria ed Energia

*Ing. Giordano Pession  
Ing. Ivan Tombolato*

\



FONDO EUROPEO DI SVILUPPO REGIONALE



alcotra

INSIEME OLTRE  
I CONFINI ENSEMBLE  
PAR-DELA LES FRONTIERES



Pubblicazione finanziata da:

Progetto strategico n. III – Renerfor

*“Iniziativa di cooperazione per lo sviluppo delle fonti di energia rinnovabili (bosco ed acqua) nelle Alpi Occidentali, il risparmio energetico e la riduzione delle emissioni di gas ad effetto serra”*

Progetto finanziato nell’ambito del programma di cooperazione transfrontaliera alcotra 2007/2013

Partner valdostano del progetto Renerfor

Regione Autonoma Valle d’Aosta

Assessorato Attività Produttive

Dipartimento industria, artigianato ed energia

Risparmio energetico e sviluppo fonti rinnovabili

Responsabile: dott. Mario Sorsoloni

Coordinamento tecnico: ing. Roger Tonetti – ago consulting s.a.s.

Incaricato per lo svolgimento del progetto per gli aspetti energetici

ARPA Valle d’Aosta

Sezione ARIA ed ENERGIA

Responsabile: Ing. Lorenzo Frassy

Tecnici: Ing. Giordano Pession e Ivan Tombolato

Coordinamento della pubblicazione e testi

Ing. Giordano Pession e Ivan Tombolato



---

# INDICE

1. Introduzione	pag. 2
2. La campagna di misure in campo	pag. 3
2.1 Apparecchi testati	pag. 3
2.2 Combustibili utilizzati	pag. 5
2.3 Inquinanti misurati	pag. 6
2.4 Metodo di campionamento	pag. 6
2.5 Risultati delle misure a camino	pag. 8
3. Test degli elettrofiltri	pag.13
3.1 Elettrofiltro Zumikron	pag.14
3.2 Elettrofiltro Oekotube	pag.18
4. Conclusioni	pag.21



---

## 1. Introduzione

Tra le varie attività previste per la Regione Valle d'Aosta all'interno del progetto strategico Alcotra AERA, vi è stata una particolarmente collegata con le finalità del progetto RENERFOR riguardante un'azione pilota sull'esecuzione di misure delle emissioni inquinanti a camino di apparecchi termici a legna al fine di determinarne gli impatti sulla qualità dell'aria.

Nel presente report verranno illustrati i principali risultati utili allo sviluppo delle tematiche legno – energia – ambiente affrontate dal progetto RENERFOR.

### **Contenuto del report**

Il presente documento è costituito da due capitoli, il primo presenta i risultati delle misure effettuate "in campo", quindi direttamente presso le abitazioni nelle quali erano installati gli apparecchi, mentre il secondo illustra lo studio effettuato in laboratorio (presso la INNOVUB di Milano) sull'efficacia dei sistemi elettrostatici di abbattimento polveri su stufe e caldaie a legna.



## **2. La campagna di misure in campo**

Nei due inverni 2011-2012 e 2012-2013 ARPA Valle d'Aosta ha svolto due campagne di misura in campo per studiare le emissioni di apparecchi domestici di piccola taglia (potenza < 100 kW) a carica automatica (caldaie) e a carica manuale (stufe); è stato scelto di condurre le prove direttamente sul campo presso le civili abitazioni al fine di valutare tali apparecchi nelle condizioni reali di esercizio. Sono stati presi in esame i principali inquinanti derivanti da una combustione nelle sue diverse fasi.

### **2.1 Gli apparecchi testati**

Le prove sono state svolte sui seguenti impianti:

- 1) Caldaia da 100 KW automatica alimentata a cippato(Ca1 )
- 2) Caldaia da 27 KW automatica alimentata a ciocchi di legna(Ca2)
- 3) Caldaia da 15 KW automatica alimentata a pellet (Ca3 )
- 4) Caldaia da 15 kW automatica alimentata a pellet (Ca4)
- 5) Caldaia da 22KW automatica alimentata a pellet e a ciocchi di legna (Ca5 )
- 6) Caldaia da 60kW automatica alimentata a ciocchi di legna (Ca6)
- 7) Caldaia da 30 kW automatica alimentata a pellet (Ca7)
- 8) Stufa a ciocchi di legna con regolazione dell'aria primaria e secondaria da 7 KW (S1 )
- 9) Stufa a ciocchi di legna con regolazione dell'aria primaria e secondaria da 8 KW (S2 )
- 10) Stufa a ciocchi di legna con regolazione dell'aria primaria e secondaria da 9 KW (S3)
- 11) Stufa a ciocchi di legna con regolazione dell'aria primaria e secondaria da 7 kW (S4)
- 12) Stufa a pellet da 7 kW (S5)
- 13) Stufa a pellet da 12,4 kW (S6)

Seguono alcune immagini degli apparecchi testati.



*Caldaia a cippato da 100 KW (Ca1)*



*Caldaia a pellet da 15 KW (Ca4)*



*Stufa a ciocchi di legna da 8 KW (S2)*



La caldaia da 100 KW (Ca1) è collegata ad un impianto idraulico che serve al riscaldamento di una serra del Vivaio Regionale. Il sistema si compone di un accumulatore inerziale (Puffer) in acciaio, dotato di uno scambiatore di calore a serpentino, con la funzione di volano termico del calore generato dalla combustione.

Le caldaie Ca2, Ca3, Ca4, Ca5, Ca6 e Ca7 sono collegate ad impianti idraulici che servono al riscaldamento di civili abitazioni. Tutti i sistemi si compongono di un puffer, dotato di uno scambiatore di calore a serpentino.

Le stufe a legna S1, S2, S3 e S4 sono dotate di camera di combustione in ghisa e di regolazione dell'aria comburente primaria e secondaria.

Le stufe a pellet S5 e S6 sono dotate di braciere in ghisa e di regolazione automatica dell'aria comburente.

## **2.2 Combustibili utilizzati**

Il combustibile utilizzato in ogni generatore di calore è il seguente:

- Ca1: pellet eterogeneo ad alta umidità
  - luogo di reperimento: cippatura presso il vivaio regionale
  - provenienza: Valle d'Aosta, residui, scarti dei cantieri forestali
  - composizione: mista
  
- Ca2: ciocchi di legna:
  - luogo di reperimento: autoproduzione del proprietario caldaia
  - provenienza: boschi locali
  - composizione: mista (castagno, frassino)
  
- Ca3 e S6: pellet certificato DIN PLUS
  
- Ca4, Ca5, Ca7 e S5: pellet certificato EN PLUS a basso costo
  
- Ca6: ciocchi di legna:
  - luogo di reperimento: autoproduzione del proprietario caldaia
  - provenienza: boschi locali
  - composizione: mista
  
- S1, S2 e S3: ciocchi di legna di faggio:
  - luogo di reperimento: acquisto presso rivenditore locale (grande distribuzione)



- provenienza: Trentino
  - composizione: faggio
- S4: ciocchi di legna:
- luogo di reperimento: autoproduzione del proprietario caldaia
  - provenienza: boschi locali
  - composizione: mista

### **2.3 Inquinanti misurati**

Per ogni apparecchio sono stati misurati  $O_2$  e  $CO_2$ , per valutare la combustione, monossido di carbonio (CO), ossidi di azoto (NO<sub>x</sub>), Composti organici volatili totali (COV tot) e Particolato solido totale (PST) per valutare gli impatti sulla qualità dell'aria.

### **2.4 Metodo di campionamento**

Le misure delle emissioni sono state effettuate sul camino di scarico dei fumi; è stato predisposto, ove non già presente, un punto di prelievo specifico sia per il campionamento delle polveri sia per la misurazione delle emissioni gassose come si può vedere nella figura seguente.



*Esempio di punto di campionamento*



### **Campionamento per le caldaie**

Per le polveri sono stati eseguiti 3 campionamenti successivi della durata di 30 minuti ciascuno. Le emissioni gassose sono state monitorate parallelamente ai campionamenti di polveri, ma per un tempo inferiore all'intera durata del set di misure, per preservare gli analizzatori dallo sporco dovuto alle polveri emesse; diversamente infatti dalle condizioni e dalla logistica delle prove in laboratorio, non è stato possibile inserire sulle linee di campionamento dei filtri antiparticolato ulteriori che evitassero che la parte solida raggiungesse i capillari e le celle degli analizzatori.

Le misure sono state effettuate a generatore già acceso, mantenendo le condizioni operative della caldaia senza alcun intervento sui parametri di funzionamento al fine di misurare le emissioni in condizioni reali; si sono comunque avviati i campionamenti dopo che la temperatura e l'ossigeno rilevato nei fumi risultavano stabili.

### **Campionamento per le stufe**

L'accensione della stufa è stata eseguita con legnetti di faggio e accendifuoco. Una volta generato il letto di brace le cariche di prova corrispondono alla carica nominale indicata nel libretto d'uso e manutenzione. Il registro dell'aria secondaria e primaria sono state posizionate a metà corsa, come indicato dal produttore

Per le stufe S1, S2, S4, S5 e S6 sono stati eseguiti 3 campionamenti successivi della durata di 30 minuti ciascuno. Le emissioni gassose sono state monitorate parallelamente ai campionamenti di polveri, ma per un tempo inferiore all'intera durata del set di misure, per preservare gli analizzatori dallo sporco dovuto alle polveri emesse.

Per la stufa S3 I due campionamenti di polveri di cui si riportano i risultati sono stati così ripartiti:

- il primo campionamento corrisponde ad un primo ciclo di carica effettuato subito dopo la formazione di un consistente letto di brace formato dai legnetti accendifuoco e da una carica intermedia che permette alla stufa di raggiungere temperature più elevate.
- il secondo campionamento è avvenuto dopo il primo ciclo di carica e successivamente ad una carica intermedia che permettesse di ripristinare le linee di campionamento polveri. In questo caso la temperatura della stufa risulta maggiore rispetto alla prima prova.

Per entrambe le misure le pompe di campionamento polveri sono state avviate 3 minuti dopo la carica di combustibile e così mantenute per tutta la durata del ciclo.



## 2.5 Risultati delle misure a camino

### Emissioni di particolato da caldaie

Si riportano i risultati su grafico delle misure di particolato totale rilevate nelle varie prove. I valori sono la media dei 3 campionamenti eseguiti per ciascun apparecchio.

Il particolato totale riportato tiene conto della frazione condensabile.

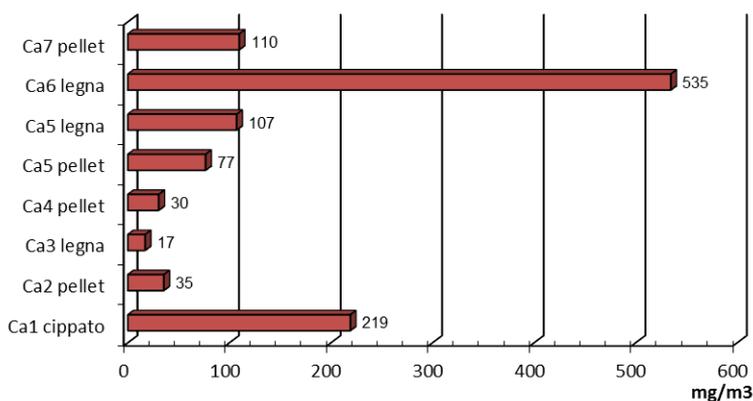
Le concentrazioni di particolato, così come le concentrazioni degli altri inquinanti sono corrette al 13% di O<sub>2</sub> per poter renderle confrontabili tra loro, dato che ogni misura è caratterizzata da un diverso tenore di ossigeno nei fumi.

La caldaia a cippato Ca1, a differenza delle altre caldaie testate, presenta valori molto elevati di particolato emesso; si ritiene che tali valori siano dovuti principalmente ad una cattiva regolazione dei parametri di combustione e ad un combustibile bruciato estremamente eterogeneo e abbastanza umido. Non è però stato possibile modificare i parametri di regolazione interni alla caldaia.

Per la caldaia Ca6 a legna da 60 kW sono stati registrati valori elevatissimi di polveri totali, dovuti in particolare alla componente volatile condensabile.

Le prove hanno evidenziato anche come il transitorio di avvio in una caldaia performante non influenzi molto la concentrazione di particolato emesso.

Confronto caldaie - particolato totale solido



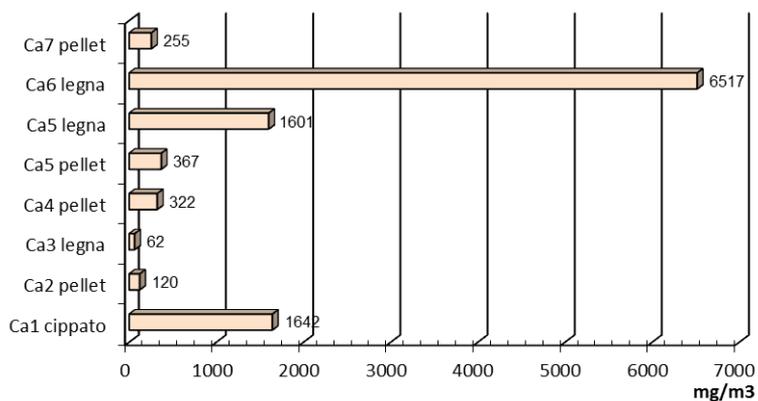
Concentrazioni di O<sub>2</sub> di particolato totale rilevate durante le prove su caldaie automatiche a biomassa



## Emissioni di inquinanti gassosi da caldaie

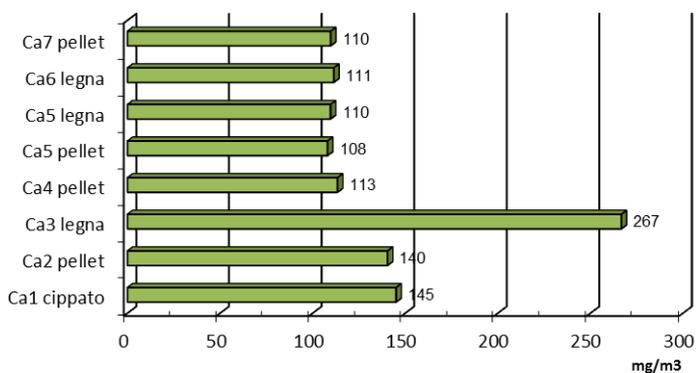
Si riportano in grafico le concentrazioni degli inquinanti gassosi corrette al 13% di O<sub>2</sub>.

Confronto caldaie - CO



Concentrazioni di CO rilevate durante le prove su caldaie automatiche a biomassa

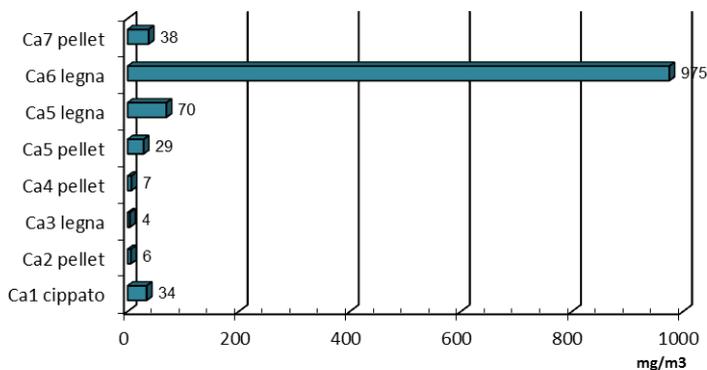
Confronto caldaie - NOx



Concentrazioni di NOx rilevate durante le prove su caldaie automatiche a biomassa



### Confronto caldaie - COVtot



*Concentrazioni di O<sub>2</sub> di COV totali rilevate durante le prove su caldaie automatiche a biomassa*

La probabile cattiva regolazione della caldaia a cippato testata porta, come si desume dai grafici precedenti, a valori anomali anche di CO e di COV totali, parametri indicativi di una cattiva e non completa combustione.

Gli ossidi d'azoto, al contrario, presentano valori paragonabili tra le diverse combinazioni apparecchio – combustibile testate.



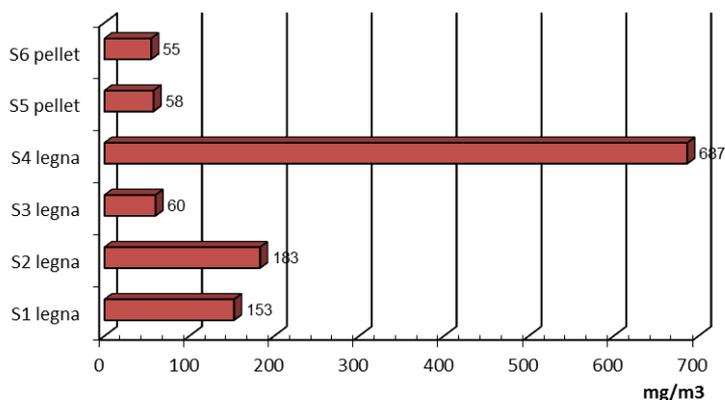
### Emissioni di particolato da stufe

Si riportano in grafico i risultati delle misure di particolato totale rilevate nelle prove effettuate sulle stufe domestiche.

I valori sono la media dei diversi campionamenti eseguiti per ciascun apparecchio.

Il particolato totale riportato tiene conto della frazione condensabile.

Confronto stufe - particolato totale solido



Concentrazioni di particolato totale rilevate durante le prove su stufe a legna e pellet

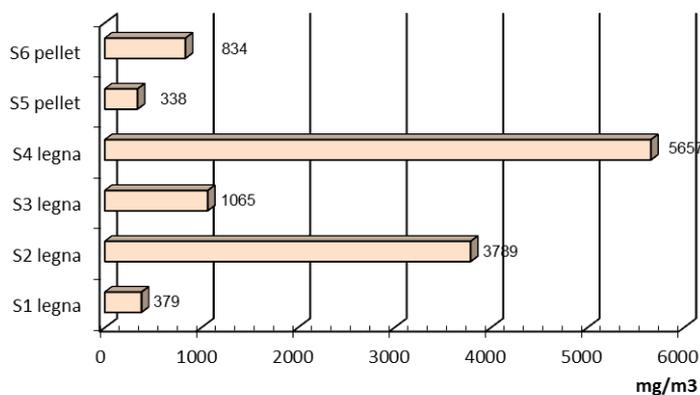
Le misure rivelano l'estrema variabilità del comportamento emissivo di apparecchi abbastanza simili, al variare delle condizioni di funzionamento e al variare delle condizioni al contorno sebbene siano riscontrabili anche, come nel caso della stufa da 9 kW testata, apparecchi molto performanti.

### Emissioni di inquinanti gassosi da stufe

Si riportano di seguito su grafico le concentrazioni degli inquinanti gassosi corrette al 13% di O<sub>2</sub>.

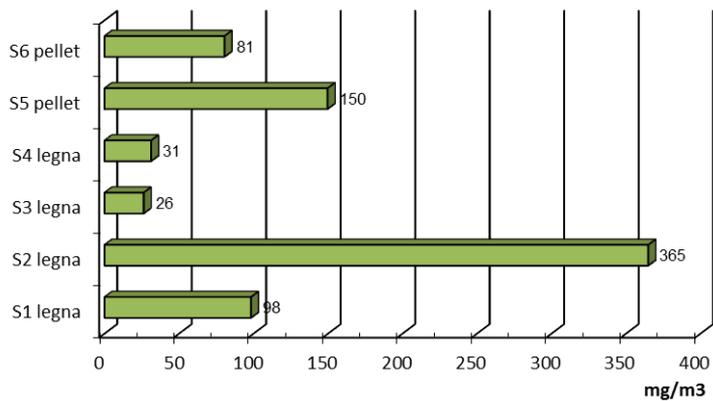


### Confronto stufe - CO



Concentrazioni di CO rilevate durante le prove su stufe a legna e pellet

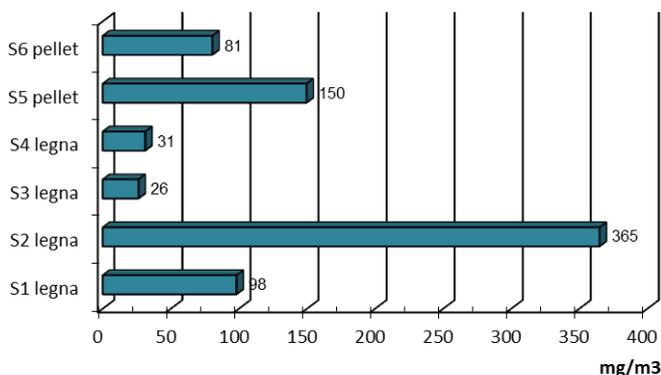
### Confronto stufe - NOx



Concentrazioni di NOx rilevate durante le prove su stufe a legna e pellet



### Confronto stufe - COVtot



*Concentrazioni di COV totali rilevate durante le prove su stufe a legna e pellet*

I valori di CO e COV misurati risultano molto variabili e confermano le differenze riscontrate per le polveri tra le diverse stufe testate.

I NOx risultano abbastanza variabili e non risulta una correlazione con la tipologia di combustibile utilizzata.

### **3. Test degli elettrofiltri**

Nell'ambito della collaborazione con il Laboratorio Combustione della Stazione Sperimentale dei Combustibili di Milano, è stata avviata una sperimentazione per valutare le prestazioni di due sistemi di separazione elettrostatica del particolato (altrimenti detti "elettrofiltri") attualmente in commercio e adatti ad apparecchi domestici a biomassa legnosa di piccola taglia.



### 3.1 Elettrofiltro Zumikron

Sono state svolte delle prove per verificare le prestazioni del filtro elettrostatico Zumikron prodotto dalla Ruedg Ecotech AG.

Si riportano nella tabella seguente le principali caratteristiche tecniche del sistema:

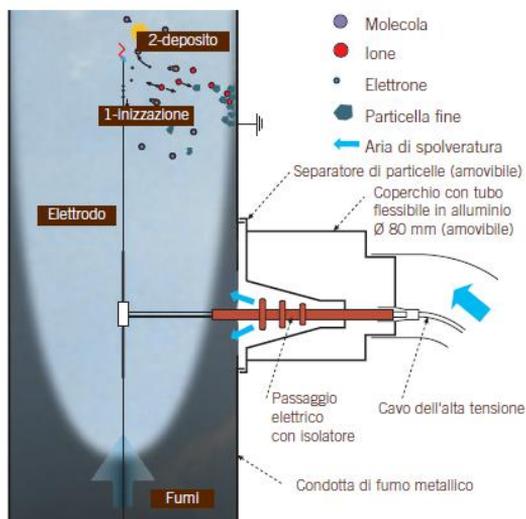
Collegamento alla rete	220/230 V
Consumo di corrente in standby	3 Watt
Consumo di corrente in funzione	< 9 Watt
Temperatura dei gas di scarico nella zona dell'elettrofiltro	Max. 400 °C (con elemento isolante standard)
Temperatura di accensione (impostazione di fabbrica)	45 °C
Temperatura di spegnimento (impostazione di fabbrica)	35 °C

*Caratteristiche tecniche dell'elettrofiltro Zumikron*

Tale filtro antiparticolato è costituito di 3 parti principali:

1. il filtro con elettrodo e sensore termico: questa unità è montata sulla condotta dei fumi ed un sottile elettrodo di 30 cm è inserito al centro della condotta stessa
2. Una condotta d'aria che, tramite un ventilatore, consente di raffreddare i cavi e l'elettrodo e che dovrebbe consentire, secondo il produttore, anche di mantenere il filtro in buono stato di pulizia.
3. L'unità di regolazione deputata al controllo del sistema e in particolare della tensione ottimale dell'elettrodo.

Il sottile elettrodo posizionato al centro della canna fumaria produce una tensione elevata (fino a 20.000 Volt) e produce ioni gassosi che sono portatori di carica elettrica. Tali ioni gassosi si fissano alle particelle fini e trasmettono la loro carica. Per via delle forze elettrostatiche, le particelle sono attratte e trattenute dalla parete interna, in contatto con la parete perdono quindi la carica ma vi restano fissate meccanicamente in modo stabile.



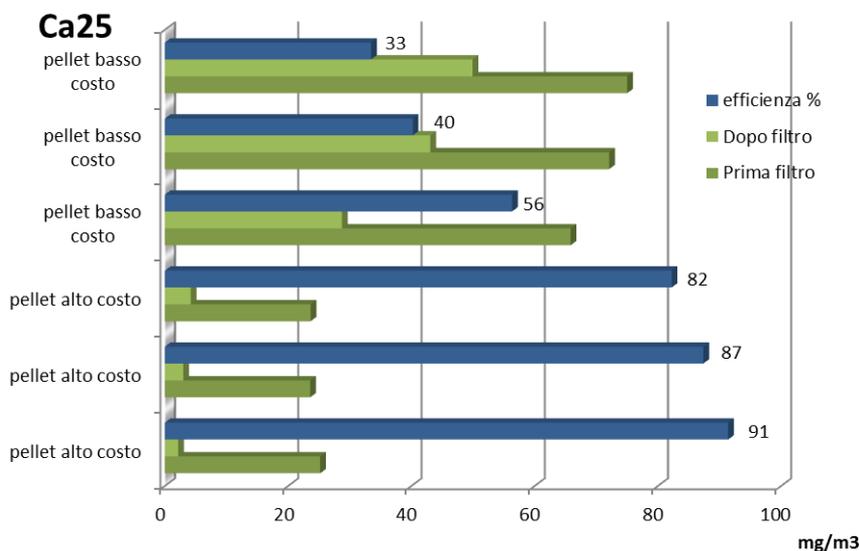
*Principio di funzionamento dell'elettrofiltro*

### **Prove su caldaia a pellet**

Le prove eseguite per la verifica del filtro hanno riguardato la sperimentazione a filtro pulito e dopo circa 35 ore di funzionamento allo scopo di simulare lo sporcamento che avviene durante un normale utilizzo.

E' stato impossibile eseguire la verifica del filtro dopo 70 ore di funzionamento in quanto l'eccessivo accumulo di polveri sull'elettrodo costituiva uno strato isolante che impediva il funzionamento del sistema.

Si è dunque dovuto procedere con la pulizia del filtro e il terzo giorno di prove è stato eseguito a filtro pulito.

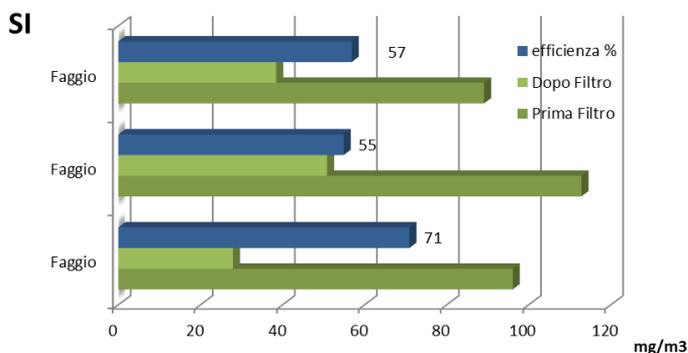


*Concentrazioni di particolato solido a monte e a valle e % di abbattimento dell'elettrofiltro Zumikron nelle prove eseguite su caldaia a pellet 25 kW*

### **Prove su stufa a legna**

Le prove con lo Zumikron sono state molto più difficoltose di quelle svolte con la caldaia 25 kW: infatti è stato complicato mantenere in funzione il filtro anche durante la prima giornata di prove. Si è dunque scelto di effettuare le prove disattivando l'elettrodo durante i periodi di carica intermedi tra un test e l'altro.

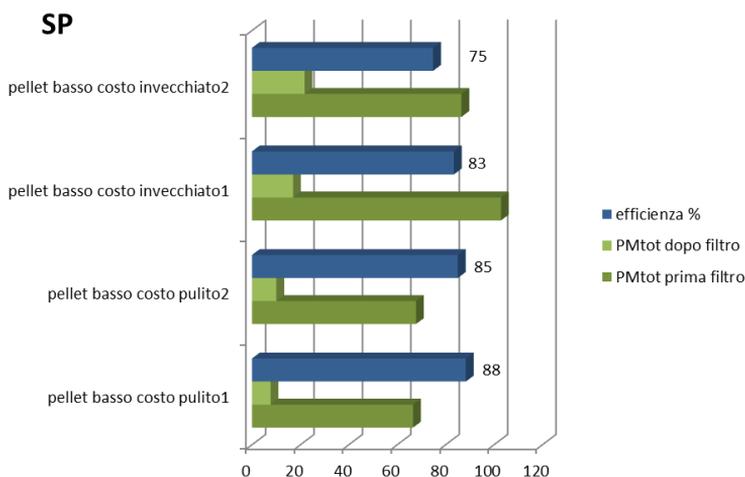
I dati riportati dunque si riferiscono al filtro pulito. Simulare l'invecchiamento del sistema di abbattimento non è stato possibile.



Concentrazioni di particolato solido a monte e a valle e % di abbattimento dell'elettrofiltro Zumikron nelle prove eseguite su stufa a legna 9 kW

### Prove su stufa a pellet

I risultati dei test condotti sulla stufa a pellet (utilizzando pellet a basso costo) con lo Zumicron evidenziano una significativa efficienza di abbattimento con il sistema non invecchiato ma anche dopo una settimana di invecchiamento i risultati si mantengono positivi. Sarebbe comunque necessario un ulteriore approfondimento circa la risposta dell'elettrofiltro all'invecchiamento in test di più lunga durata.



Concentrazioni di particolato solido a monte e a valle e % di abbattimento dell'elettrofiltro Zumikron nelle prove eseguite su stufa a pellet 9 kW



### 3.2 Elettrofiltro Oekotube

Sono state svolte delle prove per verificare le prestazioni del filtro elettrostatico OEKOTUBE prodotto dalla OEKOSOLVE AG.

Si riportano nella tabella seguente le principali caratteristiche tecniche del sistema:

Collegamento alla rete	220/230 V
Consumo di corrente in standby	< 1 W
Consumo di corrente in funzione	Max 30 W
Alta tensione	30 kV
Lunghezza dell'elettrodo	1,6 m
Temperatura dei gas di scarico nella zona dell'elettrofiltro	Max. 400 °C
Efficienza di filtrazione	95 %

*Caratteristiche tecniche dell'elettrofiltro Oekotube*

Tale sistema è costituito di 2 parti principali:

1. il filtro con elettrodo e sensore termico: questa unità è montata sulla condotta dei fumi allo sbocco della stessa a tetto ed un sottile elettrodo di 1,6 m è inserito al centro della condotta stessa,
2. l'unità di regolazione deputata al controllo del sistema e in particolare della tensione ottimale dell'elettrodo.

Rispetto all'elettrofiltro precedente la tensione elettrica arriva fino a 30.000 Volt; il principio di funzionamento rimane identico.

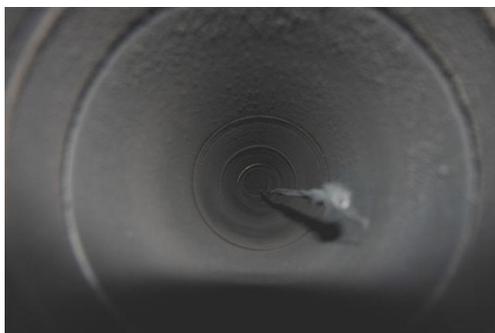
#### **Prove su caldaia a pellet**

Le prove eseguite per la verifica del filtro hanno riguardato la sperimentazione a filtro pulito e dopo circa 35 ore di funzionamento allo scopo di simulare lo sporcamento che avviene durante un normale utilizzo.

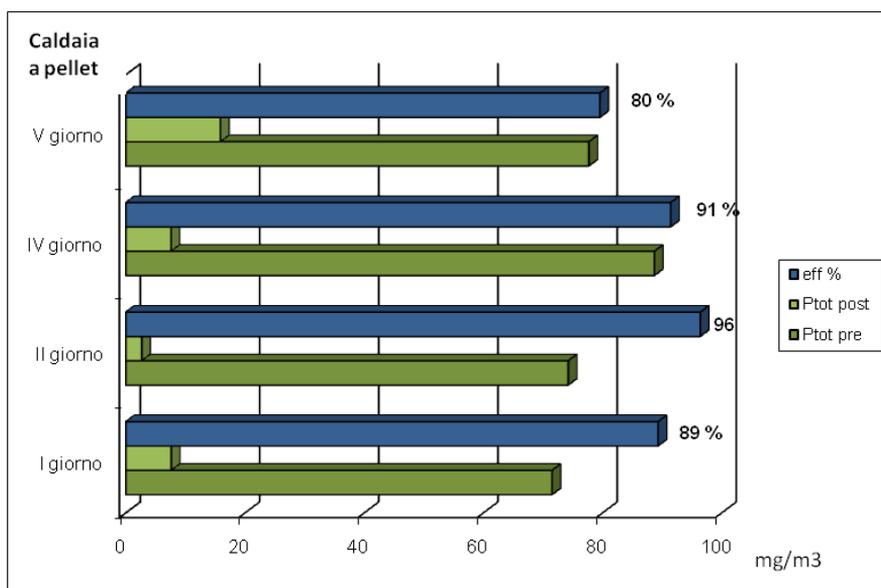
Le misure condotte hanno mostrato una buona capacità di abbattimento nel breve termine con filtro "pulito"; al 4° e 5° giorno si nota già un decadimento della prestazione, in concomitanza con una certa instabilità del sistema sul quale si registravano le prime scariche di tensione. Alla fine delle prove il sistema è stato ispezionato, notando che l'elettrodo risultava discretamente pulito (si veda la figura seguente); per tale motivo



sarebbe necessario un ulteriore approfondimento circa la risposta dell'elettrofiltro all'invecchiamento in test di più lunga durata.



*Filtro Oekotube dopo invecchiamento di 5 giorni*



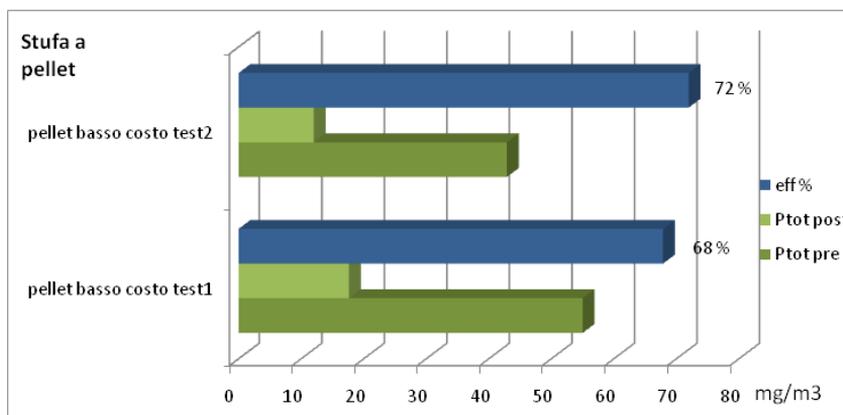
*Concentrazioni di particolato solido a monte e a valle e % di abbattimento dell'elettrofiltro Oekotube nelle prove eseguite su caldaia a pellet Ca25 da 25kW*



## Prove su stufa a pellet

Le prove eseguite per la verifica del filtro hanno riguardato la sperimentazione a filtro pulito.

I test condotti con il sistema di abbattimento OekoTube hanno mostrato una discreta capacità di abbattimento, benché non sia possibile eseguire un perfetto raffronto dei risultati ottenuti a monte e a valle del sistema in quanto il medesimo introduce una diluizione non voluta dei fumi. Tale diluizione può comportare un incremento della concentrazione di particolato non stimabile con esattezza. Nel caso del nano particolato (diametro della particella inferiore ad 1 micron) la frazione abbattuta risulta essere significativa.



*Concentrazioni di particolato solido a monte e a valle e % di abbattimento dell'elettrofiltro Oekotube nelle prove eseguite su stufa a pellet SP da 9 kW*



---

## 4. Conclusioni

L'azione pilota della Valle d'Aosta per quanto riguarda i test sugli impianti a biomassa ci ha permesso di affermare che :

- In termini emissivi le caldaie risultano migliori delle stufe, ed in generale l'evoluzione tecnologica degli apparecchi e del processo di combustione porta a fattori di emissione più bassi
- Il pellet, ed in particolare il pellet di miglior qualità (pellet ad alto costo), garantisce performance ambientali migliori rispetto ai ciocchi di legna
- I NOx variano meno con apparecchi e combustibili diversi.

Per quanto riguarda la sperimentazione sugli elettrofiltri testati si è potuto verificare come questa tipologia di sistemi di abbattimento polveri abbiano nel breve periodo una significativa efficienza di abbattimento del particolato, soprattutto negli apparecchi dove le concentrazioni di polveri sono più basse (stufa e caldaia a pellet).

Si sottolinea tuttavia come i test con sistema invecchiato - abbiano mostrato un repentino decadimento delle prestazioni fino a portare alla non operatività del sistema. Per tale motivo sarebbe pertanto necessario considerare una frequenza di manutenzione e di pulizia del sistema di filtraggio molto alta.

Sarebbero pertanto utili ulteriori test su tale tipologia di sistemi per studiarne il comportamento su intervalli temporali più lunghi e in altre condizioni di funzionamento degli apparecchi oltre a quella stazionaria presa in esame nei test effettuati in laboratorio.

