



Agenzia Servizi Settore Agroalimentare Marche



Università degli Studi di Urbino "Carlo Bo"

Dipartimento di Matematica, Fisica e Informatica
Sezione di Biomatemática e Modellistica Ambientale

Risparmio energetico e uso di fonti alternative in azienda agricola: le biomasse – 2^a annualità



Report Aprile 2010

Indice:

Premessa	3
1. Prove di efficienza energetica	5
1.1 Risultati della campagna di monitoraggio	5
1.2 Valutazione sulle differenti forme di preparazione della biomassa	10
1.3 Valutazione rispetto combustibili fossili.....	15
1.4 Valutazione sull'integrazione con solare termico	20
2. Campagna di campionamento invernale delle polveri sottili – test filtro antiparticolato	23
2.1 Tecnologie per il trattamento dei fumi.....	23
2.2 Filtro antiparticolato per la combustione del legno	24
2.2.1 Descrizione del filtro	24
2.2.2 Verifica installazione e funzionamento.....	25
2.3 Risultati e discussione	28
2.3.1 Caratterizzazione delle polveri.....	28
2.3.2 Determinazione Idrocarburi policiclici aromatici (IPA)	33
2.4 Considerazioni sul monitoraggio degli effetti sulla qualità dell'aria del filtro antiparticolato	36
3. Attuali indirizzi di promozione e controllo degli impianti a biomasse di piccola – media taglia.	37
3.1 Il ruolo della biomassa come energia rinnovabile	37
3.2 Le forme d'incentivazione	39
3.3 Il controllo delle emissioni da caldaie a biomassa.....	42
3.4 Considerazioni conclusive	48
Allegato 1: parametri rilevati campionamento Azienda Foglietta	49
Allegato 2: parametri rilevati campionamento Azienda Colle Baeto	52
Allegato 3 - Grafici	64

Le attività di ricerca sono state svolte da:

Dipartimento di Matematica, Fisica e Informatica - Sezione di Biomatemática e Modellistica Ambientale, Università degli Studi di Urbino "Carlo Bo"

Responsabile scientifico:

Prof. U. Giostra

Collaboratori:

F. Mangani, G. Mangani, L. Barbadoro

Premessa

Il progetto “Risparmio energetico e uso di fonti alternative in azienda agricola: le biomasse” si pone l’obiettivo di rilevare, attraverso prove sperimentali eseguite su alcune tipiche aziende marchigiane, le possibili soluzioni di efficientamento energetico, ma anche di risparmio economico, conseguibili attraverso il ricorso dello sfruttamento delle energie rinnovabili, in particolare le biomasse. Dalle prove sperimentali eseguite presso le due aziende è possibile dunque trarre indicazioni utili per le realtà aziendali agricole – zootecniche della Regione Marche.

A seguito dei risultati giunti nella prima annualità del progetto, ovvero la verifica della convenienza per le aziende del ricorso alla risorsa biomassa come fonte di energia, e valutate anche le implicazioni ambientali legate alle emissioni di inquinanti derivanti dalla combustione di legna, nella seconda annualità del progetto (stagione invernale 2009 – 2010) si è proceduto ad approfondire i seguenti aspetti:

- aggiornamento monitoraggio dei consumi di biomassa
- valutazione sulle differenti forme di preparazione della biomassa reperibili in commercio (pellet, cippato) rispetto allo spaccato di legna
- Valutazione della convenienza di integrazione della biomassa con solare termico
- Valutazione della qualità dell’aria in funzione delle emissioni della centrale termica e l’efficienza dei sistemi di abbattimento delle polveri specifici per combustori a biomassa di piccola taglia
- Confronto con gli attuali indirizzi di promozione della filiera legno-energia praticati nel contesto europeo ed italiano con specifico riferimento agli interventi per impianti di piccola – media taglia

Rispetto alla prima annualità si è preferito specializzare le prove sperimentali in base alle caratteristiche degli impianti aziendali: presso l’azienda Agrizootecnica Foglietta Fausto le prove di efficienza energetica, presso l’azienda Colle Baeto le analisi della qualità dell’aria e le prove di valutazione del filtro antiparticolato.

Tutte le attività presso le aziende sono state svolte sotto la supervisione dei tecnici del Dipartimento di Matematica, Fisica e Informatica dell’Università degli Studi di Urbino.

L’attività svolta dal conduttore dell’azienda Agrizootecnica Foglietta Fausto concernente la sperimentazione è consistita in:

- redazione della scheda giornaliera di controllo (numero cariche combustibile ed orario, pesatura quantità caricata, rilievo temperature e condizioni meteo climatiche).
- inserimento e disinserimento periodico dell’impianto solare termico alla cella termica;
- verifiche periodiche della centrale termica;
- acquisto materiale (pellet).

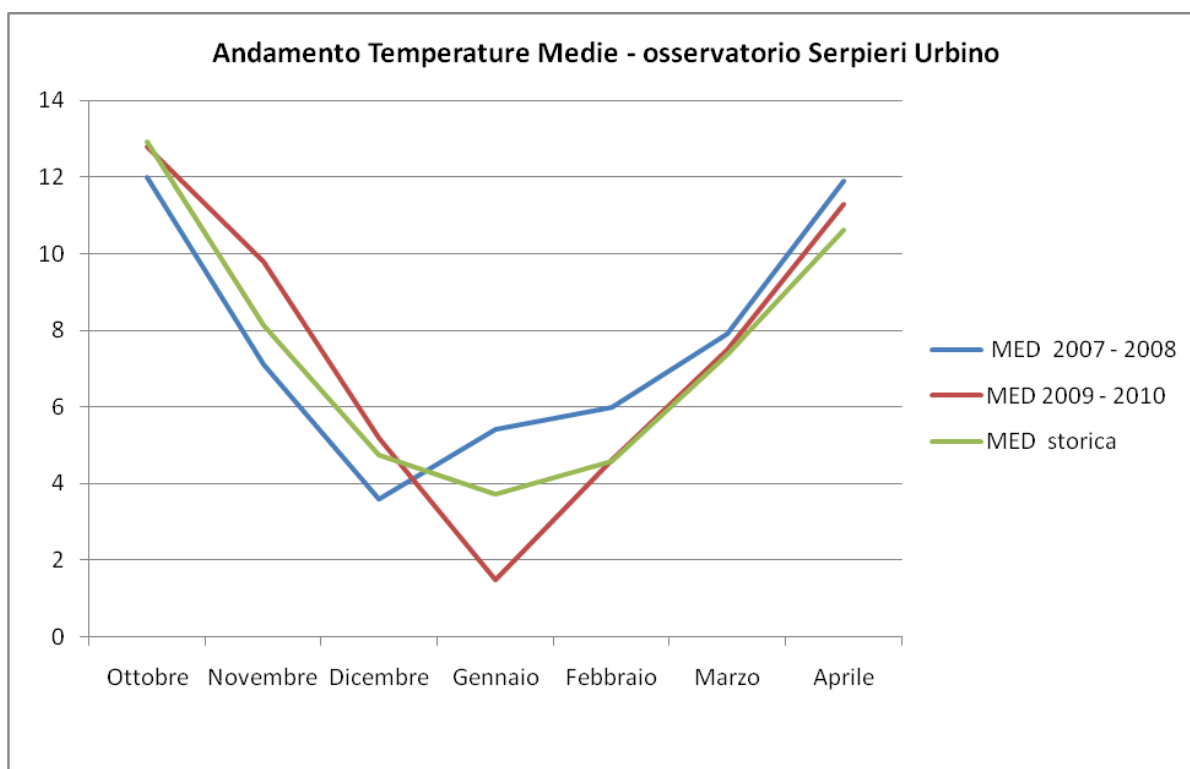
L'attività svolta dal conduttore dell'azienda Colle Baeto concernente la sperimentazione è consistita in:

- redazione della scheda giornaliera di controllo (numero cariche combustibile ed orario, pesatura quantità caricata);
- installazione e disinstallazione periodica del filtro antiparticolato (con supervisione) per pulizia del condotto di scarico fumi;
- controllo del corretto funzionamento della centralina del filtro antiparticolato (verifica dell'eventuale accensione delle spie di segnalazione)

1. Prove di efficienza energetica

1.1 Risultati della campagna di monitoraggio

La stagione termica invernale 2009 – 2010 nella Regione Marche rientra sostanzialmente nella norma, anche se è stata caratterizzata da un prolungato periodo di basse temperature dalla seconda decade di gennaio fino alla prima di febbraio, fenomeno maggiormente rilevante nell'entroterra pesarese dove risiedono le aziende coinvolte nel progetto. Rispetto alla stagione termica della prima annualità si riscontra una temperatura media ambientale minore, in particolare (anche 3 – 4 °C) nei mesi di gennaio - febbraio. Ciò è riscontrato anche dall'aumento del consumo di legna nella seconda stagione.



Il monitoraggio dei consumi è stato avviato il giorno 11 novembre e si è concluso il 20 marzo 2010. Dal 21 dicembre al 12 gennaio il monitoraggio è stato sospeso a causa delle avversità meteoriche che hanno impossibilitato le attività di monitoraggio da parte del personale dell'azienda. Considerando comunque le 108 giornate monitorate, si dispone di una banca dati sufficiente per tracciare un profilo stagionale.

Per valutare il contributo dell'apporto termico dell'impianto solare (si ricorda che la centrale termica è dotata di un accumulo collegato alla caldaia a biomassa e solare termico, per dettagli si rimanda a relazione della prima annualità) si è proceduto sistematicamente ad escludere e collegare l'impianto solare nel sistema con una cadenza settimanale circa.

Occorre considerare che il contributo del solare termico è in funzione della radiazione solare catturata dal pannello, a sua volta dipendente da fattori climatici (nuvolosità, pioggia,

neve) ed espositivi rispetto alla variazione dell'orbita solare (e quindi il numero di ore di soleggiamento e l'inclinazione dei raggi rispetto alla normale del pannello captatore).

L'alternanza per brevi periodi dell'impiego del contributo del solare ha permesso di ottenere, alle varie condizioni climatiche invernali, periodi rappresentativi di comportamento dell'impianto con e senza apporto termico del solare e quindi rilevare il contributo del solare in termini di risparmio di biomassa.

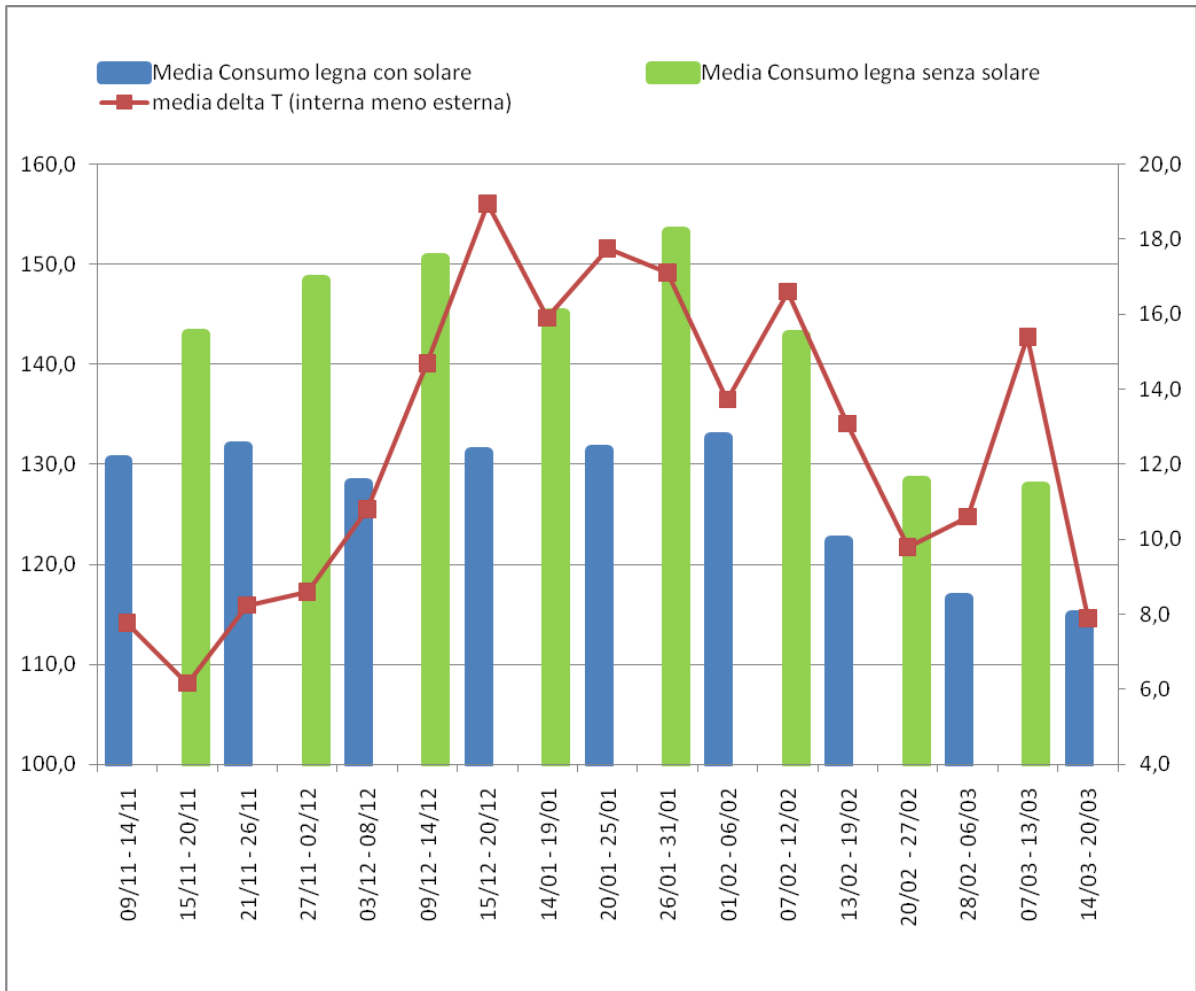
Nel periodo monitorato i consumi sono stati pari a 144 quintali, suddiviso in:

- 57 giorni con impianto solare collegato ed un consumo di 71,87 quintali, per una media di 126,5 kg giorno
- 53 giorni senza impianto solare collegato ed un consumo di 72,17 quintali, per una media di 141,5 kg giorno.

Considerando la conduzione dell'agriturismo, che nel periodo di monitoraggio non ha avuto ospiti ma solo eventi giornalieri (pranzi, cene, manifestazioni), l'impianto ha lavorato sostanzialmente per garantire il riscaldamento ambientale all'interno dell'edificio (dai dati rilevati mediamente 17,5 °C); i consumi di acqua calda sanitaria sono ravvisabili solo nelle giornate degli eventi, ovvero 21/11/2009, 28/11/2009, 05/12/2010, 18/12/2010, 08/02/2010, 16/03/2010

Nella seguente tabella e relativo grafico sono riportati i consumi di biomassa, suddivisi nei periodi con apporto solare termico e senza, in funzione del delta tra la temperatura interna dell'edificio (pressoché costante) e la temperatura ambientale esterna. Per il dettaglio giornaliero si veda il successivo grafico.

Periodo monitoraggio	Consumo legna con apporto solare termico (kg)	Consumo legna senza apporto solare termico (kg)	media delta T (Temp interna meno Temp esterna) (°C)
09/11 - 14/11	130,3		7,8
15/11 - 20/11		143,0	6,2
21/11 - 26/11	131,7		8,2
27/11 - 02/12		148,3	8,6
03/12 - 08/12	128,0		10,8
09/12 - 14/12		150,5	14,7
15/12 - 20/12	131,2		18,9
14/01 - 19/01		145,0	15,9
20/01 - 25/01	131,3		17,7
26/01 - 31/01		153,2	17,1
01/02 - 06/02	132,7		13,7
07/02 - 12/02		142,8	16,6
13/02 - 19/02	122,3		13,1
20/02 - 27/02		128,3	9,8
28/02 - 06/03	116,6		10,6
07/03 - 13/03		127,7	15,4
14/03 - 20/03	114,9		7,9



L'andamento dei consumi varia pressoché proporzionalmente al delta T, ovvero la differenza tra la temperatura interna e quella esterna (delta T maggiore indica dunque basse temperature esterne). Risulta evidente che nel periodo di impiego del solare termico il consumo di legna sia minore.

Lo scostamento nel rapporto tra consumi e temperature, visibile nel grafico con dettaglio giornaliero, è anche in funzione della capacità termica dell'accumulo (dunque il calore immagazzinato che può durare diversi giorni se non prelevato), il tipo di consumo (solo riscaldamento o anche acqua calda sanitaria), il contributo effettivo del solare termico in base alla radiazione captata.

Pur considerando tutte le implicazioni precedentemente accennate riguardo alla variabilità del contributo del solare termico, dai dati rilevati nel monitoraggio deriva un risparmio medio di 15 kg di biomassa al giorno, circa al 10% di biomassa in condizioni di assenza impianto solare termico.

Tale stima, ricavata sperimentalmente dal monitoraggio, è comunque rappresentativa per la tipologia impiantistica dell'azienda Foglietta alle condizioni meteorologiche del passato inverno.

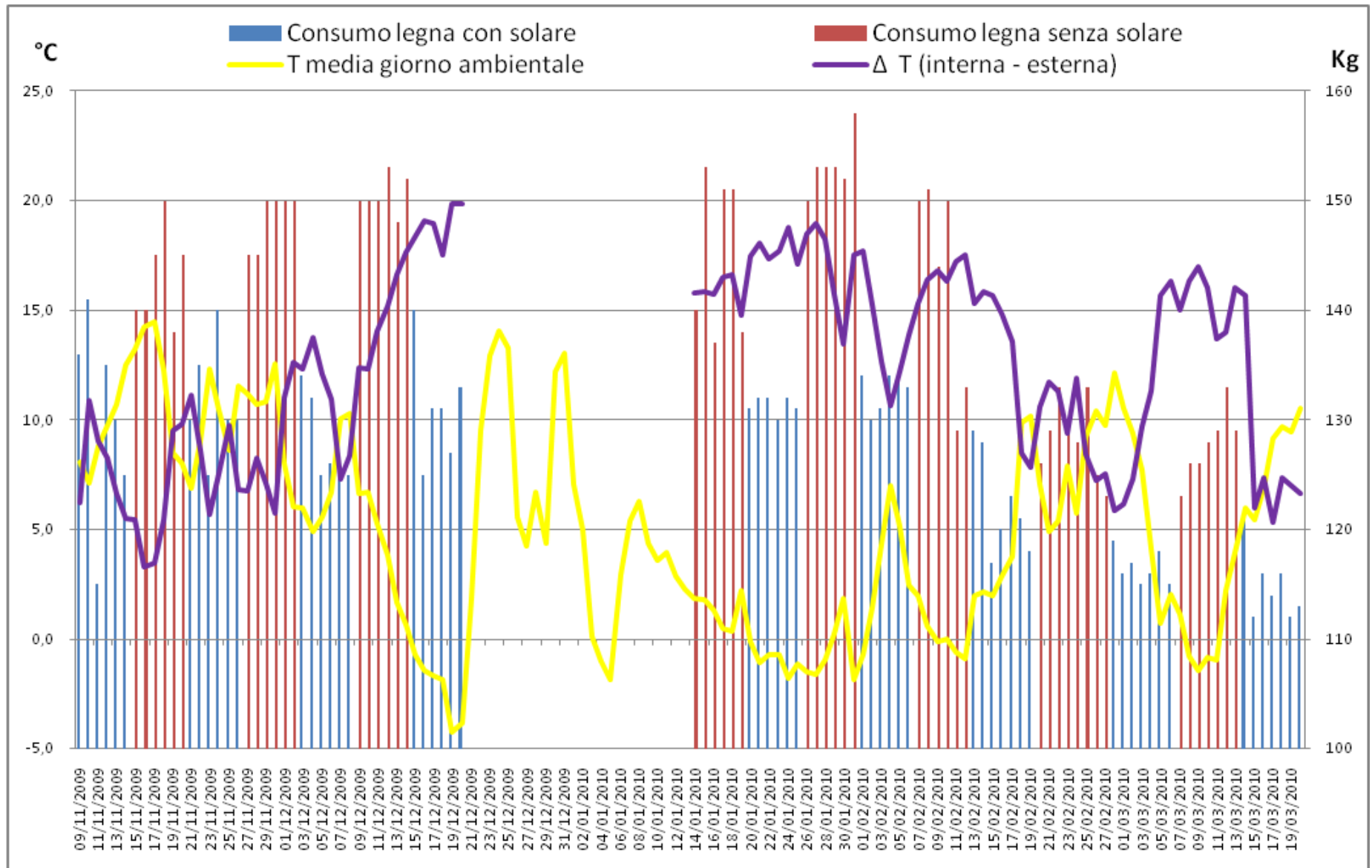
Il monitoraggio distinto con e senza apporto solare termico ci permette di stimare, per tutta la stagione invernale, l'andamento dei consumi di biomassa alle due condizioni.

Ricostruendo il profilo dei consumi per il restante periodo invernale di accensione della caldaia da metà ottobre a metà aprile si ottiene:

- Nell'ipotesi di impiego del solare termico i consumi di biomassa sono pari a circa 185 quintali
- Nell'ipotesi di non impiego del solare termico i consumi di biomassa sono pari a circa 207 quintali

Considerando l'andamento delle stagioni termiche delle due stagioni di monitoraggio, che come emerso rispetto alla media storica sono risultate la prima leggermente più calda (con un consumo di 132 quintali di legna) e la seconda leggermente più fredda, si può desumere che il consumo medio per la stagione invernale per l'azienda sia pari a 158 quintali di legna.

In allegato si riporta il dettaglio delle schede di rilevazione giornaliere compilate dal conduttore dell'azienda.



1.2 Valutazione sulle differenti forme di preparazione della biomassa

Considerando la tipologia di caldaia installata presso l'azienda, dotata di un doppio caricamento del combustibile, manuale per spaccato di legna (ma anche fascine e rotoballe) e automatico per cippato e pellet, è possibile stimare la convenienza del ricorso a queste forme di preparazione della biomassa reperibili in commercio.

Per la stagione invernale 2009 – 2010 era prevista una sperimentazione diretta della combustione di cippato e pellet; purtroppo a seguito di una rottura del sistema di caricamento della coclea non è stato possibile eseguire queste prove dirette di combustione.

Considerando comunque i parametri di umidità, PCI e costo dei vari combustibili, è possibile stimare l'eventuale convenienza al ricorso di pellet e cippato rispetto allo spaccato di legna.

Spaccato di legna:

per la stagione invernale si è utilizzata la riserva di legna disponibile a seguito del taglio effettuato nel 2006 (per dettagli si veda la precedente relazione).

Fino a dicembre è stata utilizzata la legna accatata nel magazzino affianco il locale caldaia; da gennaio si è fatto ricorso alla legna presente nel deposito a cielo aperto. A seguito della misurazione di umidità di entrambe le riserve, è emerso che la legna del magazzino presentava un tenore di umidità del 13,9% mentre quella del deposito a cielo aperto un tenore di umidità del 19,6%. considerando le tabelle di correlazione umidità / PCI in base al tipo delle essenze utilizzate si è applicato un valore di potere calorifico inferiore (PCI) pari a 4 kwh/kg.

Per i costi relativi all'autoproduzione si applica la stima eseguita nella precedente annualità, comprendente i costi calcolati al quintale sulla base dell'effettiva resa di raccolta operata dall'azienda (800 quintali/ettaro) e dal *prezzario regionale per l'esecuzione di opere forestali e di ingegneria naturalistica*. Le fasi considerate nel costo sono

1. primo taglio, "ramatura" e depezzatura
2. trasporto del legname
3. accatastamento
4. caricamento manuale della legna (fase di esercizio)

Ne risulta un costo della legna spaccata autoprodotta pari a 10,60 €/q.le.

Per la verifica a confronto con l'acquisto di spaccato di legna sono considerate le seguenti opzioni, sulla base dei prezzi rilevati da fornitori locali:

- legna di pregio acquistata (con aggiunta costo per accatastamento e caricamento manuale): 18,00 €/q.le, con PCI pari a 4,2 kwh/kg.
- legna mista acquistata (con aggiunta costo per accatastamento e caricamento manuale): 16,00 €/q.le, con PCI pari a 3,4 kwh/kg.

Cippato

Il cippato, ottenuto dallo sminuzzamento del legno, permette di utilizzare, rispetto alla produzione dello spaccato di legna, anche gli scarti dei tagli (ramaglie) solitamente lasciate direttamente sul campo. Ciò permette di ottenere una resa maggiore per ettaro rispetto allo spaccato, nell'ordine del 20 – 30%. Di converso Il cippato ottenuto direttamente dal bosco raggiunge circa il 50% di contenuto idrico, solitamente commercializzato fresco con contenuto di umidità circa del 30%. Ne

conseguono una resa energetica minore rispetto allo spaccato e un'elevata produzione di cenere (quindi una maggiore frequenza di pulizia della caldaia).

Per le prove di confronto si sono dunque applicati i seguenti parametri, stimati sulla base dei rilievi diretti sul campo:

- produzione per ettaro di cippato: 1.100 quintali
- potere calorifico inferiore: 2,8 kWh/kg
- costo autoproduzione cippato pari a 7,40 €/q.le

Per i costi relativi all'autoproduzione sono stati applicati i parametri derivati del *prezziario regionale per l'esecuzione di opere forestali e di ingegneria naturalistica* per le seguenti fasi:

1. taglio
2. trasporto del legname
3. cippatura ed essiccamento
4. caricamento del serbatoio per il prelievo automatico del combustibile nella caldaia attraverso coclea (fase di esercizio).

Nel costo incide notevolmente la cippatura, che va eseguita direttamente presso le aziende che producono cippato, dunque con un doppio costo del trasporto. Per quantitativi di esbosco pari a quelli dell'azienda in oggetto (circa 600 q.li), l'acquisto o l'affitto della cippatrice risulterebbe antieconomico.

In prima analisi dunque l'autoproduzione del cippato presenta una maggiore resa per ettaro e minore attività di lavorazione e di caricamento del combustibile (che deve essere quotidiana per lo spaccato), occorre però considerare il maggior costo per il serbatoio di accumulo e per la coclea per operare un confronto con l'utilizzo dello spaccato di legna.

Per il confronto con il cippato acquistato, a seguito di un'indagine presso fornitori locali è emerso che il prezzo del prodotto può variare notevolmente in base all'origine della biomassa (da bosco, potature, segherie ecc) e al grado di umidità. Occorre considerare che per la corretta combustione delle caldaie di piccola dimensione il cippato deve essere di buona qualità, cioè un tenore idrico massimo del 30% e prodotto solo legno "vergine" (in quanto i piccoli combustori non sono dotati di trattamento dei fumi). Inoltre a differenza dello spaccato di legna l'essiccazione è più problematica, in quanto la presenza di ramaglie e fogliame può determinare la putrescenza del prodotto.

Si sono formulate due ipotesi, per un prodotto con tenore idrico max 30% e un PCI del 2,8 kWh/kg:

- acquisto di modiche quantità di cippato (100 quintali circa) ad un prezzo (con trasporto) di 9 €/q.le
- acquisto e stoccaggio di cippato (superiore a 200 quintali) ad un prezzo (con trasporto) di 7 €/q.le

Pellet

In previsione delle prove di combustione l'azienda ha acquistato un sacco da 10 quintali di pellet al costo di 20€ / q.le; si consideri che il costo per i sacchetti da 15 kg, formato normalmente venduto, oscilla da 3,5 – 4 €. Si può dunque valutare anche un prezzo medio di acquisto del pellet maggiore per le successive valutazioni, pari a 26 €/q.le.

Sul pellet acquistato dall'azienda è stata effettuata la misura del tenore di umidità che risulta del 9,7%; ne deriva un PCI pari a 5 kWh/kg.

Considerando che tutti i combustibili descritti potrebbero essere bruciati nella caldaia con uguale rendimento dell'impianto, è possibile stimare i costi relativi al combustibile per la stagione invernale 2009 – 2010, sia con apporto del solare termico che senza.

NOTA: Nelle tabelle che seguono in questo capitolo e successivi, si specifica che il confronto è operato a parità di Energia utile prodotta dall'utilizzo del combustibile, sulla base dei rendimenti degli impianti a confronto con i consumi effettivi rilevati con l'utilizzo dello spaccato autoprodotta.

$$EPU = (\text{Consumo legna}) \text{ Kg PCI (kwh/kg)} \times \text{Rendimento (\%)}$$

Pf = potenza al focolare (kw)

Pu = potenza termica utile (kw)

rend. = rendimento al 100% della potenza

Tm = temperatura di mandata (°C)

Epu = energia utile prodotta dalla combustione del combustibile

Pci = potere calorifico inferiore del combustibile

C = consumo di combustibile riferito al valore di Epu fissato

Rispetto allo stesso confronto operato nella precedente stagione 2007 – 2008, si specifica che i prezzi e alcuni modelli di caldaia sono stati aggiornati.

Confronto con caldaia a legna - autoproduzione spaccato di legna											
MARCA DI RIFERIMENTO: Equador Economic 2000	Pf	Pu	Rend	Tm	Epu	Pci	consumo	costo unitario	costo tot. comb	differenza costo rispetto legna produzione propria	costo caldaia (per pellet e cippato anche dispositivo caricamento automatico)
TIPOLOGIA	kw	kw	%	°C	kwh	Kwh / kg	kg	Euro / q.le	euro	euro	euro
a legna prod. Propria	34,8	28	0,8	80	50560	4	15.800	10,6	€ 1.675	-	€ 3.600,00
acquisto legna pregiata	34,8	28	0,8	80	50560	4,2	15.048	18	€ 2.709	€ 1.034	€ 3.600,00
acquisto legna mista	34,8	28	0,8	80	50560	3,4	18.588	16	€ 2.974	€ 1.299	€ 3.600,00
pellet (acquistato all'ingrosso)	34,8	28	0,8	80	50560	5	12.640	20	€ 2.528	€ 853	€ 6.000,00
pellet (prezzo medio mercato)	34,8	28	0,8	80	50560	5	12.640	26	€ 3.286	€ 1.612	€ 6.000,00
pellet - prezzo di pareggio rispetto autoproduzione legna e ammortamento in 5 anni del dispositivo di caricamento automatico	34,8	28	0,8	80	50560	5	12.640	9	€ 1.195		€ 6.000,00
produzione cippato da legna propria	34,8	28	0,8	80	50560	2,8	22.571	7,4	€ 1.670	- € 5	€ 6.000,00
acquisto cippato	34,8	28	0,8	80	50560	2,8	22.571	9	€ 2.031	€ 357	€ 6.000,00
acquisto cippato (acquistato all'ingrosso)	34,8	28	0,8	80	50560	2,8	22.571	7	€ 1.580	-€ 95	€ 6.000,00
cippato - prezzo di pareggio rispetto autoproduzione legna e ammortamento in 5 anni del dispositivo di caricamento automatico	34,8	28	0,8	80	50560	2,8	22.571	5	€ 1.195		€ 6.000,00

Dalle analisi di confronto rispetto al consumo medio di spaccato di legna autoprodotta in azienda per il fabbisogno termico invernale, si evince che l'acquisto di legna risulta sempre meno conveniente.

Da rilevare che applicando per la legna di pregio acquistata un PCI pari a quello della legna delle aziende (mentre per la legna mista un valore di PCI più basso) il risparmio economico è favorevole alla legna di pregio, anche se ha un costo maggiore. Ovviamente per altri valori di PCI occorre valutarne la convenienza.

Il pellet risulta una alternativa interessante all'acquisto di legna (soprattutto se acquistato all'ingrosso, come l'azienda) in termini di spesa di combustibile; ma considerando il maggior costo da sostenere per il dispositivo automatico di caricamento (il prezzo può variare fra vari modelli e soluzioni) occorre valutare attentamente i tempi di rientro dell'investimento, ma anche la maggior praticità del pellet rispetto allo spaccato.

A puro titolo esemplificativo si calcola che il prezzo di pareggio in termini di convenienza rispetto alla legna autoprodotta (ed un ammortamento in 5 anni del dispositivo di caricamento automatico) è di 9 €/q.le.

Il cippato autoprodotta ha un costo per stagione invernale praticamente uguale allo spaccato, a fronte comunque di un maggiore investimento per il dispositivo di caricamento automatico.

L'acquisto di piccole quantità è sicuramente sconveniente mentre un acquisto con stoccaggio risulterebbe maggiormente conveniente, a fronte però di garantire le condizioni ideali di essiccamento (riparo da eventi meteorici, buona ventilazione.). Anche in questo caso si calcola il prezzo di pareggio in termini di convenienza rispetto alla legna autoprodotta (ed un ammortamento in 5 anni del dispositivo di caricamento automatico), che risulta essere di 5 €/q.le.

Maggior convenienza dell'uso del cippato (ma anche del pellet) è ottenibile confrontando i costi per il combustibile nel caso non sia possibile auto produrre la legna, come si evince dalla successiva tabella.

Si osservi in particolare come il prezzo di pareggio (con un ammortamento in 5 anni del dispositivo di caricamento automatico) per il cippato sia praticamente in linea con quello di mercato, mentre per il pellet il prezzo di pareggio è di poco inferiore a quello di mercato.

Confronto con caldaia a legna – acquisto spaccato di legna

MARCA DI RIFERIMENTO: Equador Economic 2000	Pf	Pu	Rend	Tm	Epu	Pci	consumo	costo unitario	costo tot. comb	differenza costo rispetto acquisto legna	costo caldaia (per pellet e cippato anche dispositivo caricamento automatico)
TIPOLOGIA	kw	kw	%	°C	kwh	Kwh / kg	kg	Euro / q.le	euro	euro	euro
acquisto legna pregiata	34,8	28	0,8	80	50560	4,2	15.048	18	€ 2.709	34,8	€ 3.600,00
pellet (acquistato all'ingrosso)	34,8	28	0,8	80	50560	5	12.640	20	€ 2.528	-€ 181	€ 6.000,00
pellet (prezzo medio mercato)	34,8	28	0,8	80	50560	5	12.640	26	€ 3.286	€ 578	€ 6.000,00
<i>pellet - prezzo di pareggio rispetto acquisto legna e ammortamento in 5 anni del dispositivo di caricamento automatico</i>	34,8	28	0,8	80	50560	5	12.640	18	€ 2.229		€ 6.000,00
acquisto cippato	34,8	28	0,8	80	50560	2,8	22.571	9	€ 2.031	-€ 677	€ 6.000,00
acquisto cippato (acquistato all'ingrosso)	34,8	28	0,8	80	50560	2,8	22.571	7	€ 1.580	-€ 1.129	€ 6.000,00
<i>cippato - prezzo di pareggio rispetto acquisto legna e ammortamento in 5 anni del dispositivo di caricamento automatico</i>	34,8	28	0,8	80	50560	2,8	22.571	10	€ 2.229		€ 6.000,00

1.3 Valutazione rispetto combustibili fossili

Di seguito si riporta la valutazione della convenienza delle biomasse rispetto alle caldaie alimentate a combustibili fossili quali metano, gasolio e gpl.

Il confronto è operato sia per l'ipotesi di autoproduzione che acquisto della legna, rispetto a diverse soluzioni in commercio offerte a rivenditori locali, coprendo la gamma di offerta dai modelli economici a quelli più efficienti.

Per le caldaie a condensazione (sia a metano che GPL) si è ipotizzato un uso con mandata di temperatura dell'acqua sia alta che bassa (per impianti tipo a pavimento), quindi anche con rendimenti diversi.

Emerge chiaramente che la legna è sempre più conveniente anche se acquistata.

Tra i combustibili fossili il più conveniente è il metano, ma non sempre le infrastrutture raggiungono le aree rurali e quindi il confronto obbligato è tra gasolio e GPL.

Per il confronto è stata valutata anche la differenza di costo della caldaia, in quanto solitamente quelle per la biomassa sono più costose. Tenendo conto del risparmio per il combustibile si è calcolato il tempo di rientro dell'investimento, che risulta spesso inferiore a un anno.

Da considerare che per il confronto si è considerato il costo della caldaia senza impianto di caricamento automatico, in realtà posseduto dall'azienda, per facilitare il confronto con altre situazioni in cui non sia previsto l'utilizzo di pellet che cippato.

Volendo considerare anche il costo dell'impianto di caricamento automatico, il tempo di rientro dell'investimento non supera comunque i due anni rispetto all'ipotesi di autoproduzione dello spaccato di legna, e si attesta sui tre – quattro anni rispetto all'ipotesi di acquisto dello spaccato rispetto al metano (ed è ancora più conveniente rispetto al GPLI).

Infine si è operato un confronto del pellet e del cippato rispetto ai combustibili fossili, con la medesima procedura sopra descritta per la legna e imputando nell'impianto a biomassa anche il costo per il caricamento automatico.

Il prezzi per pellet e cippato sono una media delle precedenti ipotesi formulate sui prezzi di mercato.

Anche in questo caso il ricorso alla biomassa risulta sempre più vantaggiosa, anche se con tempi di ritorno dell'investimento maggiori, ma comunque convenienti rispetto al GPL con il pellet, ed anche rispetto al metano con il cippato.

Tale analisi possono essere rappresentative anche per altre realtà aziendali della regione Marche; ovviamente più si discostano le tipologie edilizie e le condizioni meteo climatiche, maggiore sarà l'approssimazione.

Confronto con caldaia a legna - autoproduzione spaccato

	Pf	Pu	rend.	Tm	Epu	Pci	consumo	costo unit.	costo tot.comb	differenza costo rispetto legna produzione propria	MARCA DI RIFERIMENTO	costo caldaia	ritorno investimento in anni:
TIPOLOGIA	kw	kw	%	°C	kwh	Kwh / kg	kg	Euro / q.le	euro	euro			
a legna prod. Propria	34,8	28	0,8	80	50560	4	15.800	10,6	€ 1.675	-	Equador Economic 2000	€ 3.600,00	
						Kwh / kg		euro/kg					
a gasolio	34,8	31,5	0,91	80	50560	11,9	4.669	1,1	€ 5.136	€ 3.461	riello NKG TG	€ 2.196,00	0,4
						kwh/lt	lt	euro/lt					
tradizionale GPL	33,3	31	0,93	80	50560	6,7	8.114	0,7	€ 5.680	€ 4.005	luna 3 comfort 310Fi - Baxi	€ 1.680,00	0,5
a condensazione GPL	27	26	0,976	80	50560	6,7	7.732	0,7	€ 5.412	€ 3.737	victrix superior 26	€ 2.880,00	0,2
a condensazione GPL (bassa temp.)	27	26	1,058	40/30	50560	6,7	7.133	0,7	€ 4.993	€ 3.318	victrix superior 26	€ 2.880,00	0,2
a condensazione GPL	24,5	23,9	0,974	80	50560	6,7	7.748	0,7	€ 5.423	€ 3.749	geminox 5-25 THRI	€ 3.600,00	0,0
a condensazione GPL (bassa temp.)	24,5	23,9	1,08	40/30	50560	6,7	6.987	0,7	€ 4.891	€ 3.216	geminox 5-25 THRI	€ 3.600,00	0,0
						Kwh / nmc	nmc	Euro / nmc					
tradizionale metano	33,3	31	0,93	80	50560	9,6	5.663	0,65	€ 3.681	€ 2.006	luna 3 comfort 310Fi - Baxi	€ 1.680,00	1,0
a condensazione metano	27	26	0,976	80	50560	9,6	5.396	0,65	€ 3.508	€ 1.833	victrix superior 26	€ 2.880,00	0,4
a condensazione metano (bassa temp.)	27	26	1,058	40/30	50560	9,6	4.978	0,65	€ 3.236	€ 1.561	victrix superior 26	€ 2.880,00	0,5
a condensazione metano	24,5	23,9	0,974	80	50560	9,6	5.407	0,65	€ 3.515	€ 1.840	geminox 5-25 THRI	€ 3.600,00	0,0
a condensazione metano (bassa temp.)	24,5	23,9	1,08	40/30	50560	9,6	4.877	0,65	€ 3.170	€ 1.495	geminox 5-25 THRI	€ 3.600,00	0,0

Confronto con caldaia a legna - acquisto spaccato

	Pf	Pu	rend.	Tm	Epu	Pci	consumo	costo unit.	costo tot.comb	differenza costo rispetto legna produzione propria	MARCA DI RIFERIMENTO	costo caldaia	ritorno investimento in anni:
TIPOLOGIA	kw	kw	%	°C	kwh	Kwh / kg	kg	Euro / q.le	euro	euro			
acquisto legna pregiata	34,8	28	0,8	80	50560	4,2	15.048	18	€ 2.709	-	Equador Economic 2000	€ 3.600,00	
						Kwh / kg		euro/kg					
a gasolio	34,8	31,5	0,91	80	50560	11,9	4.669	1,1	€ 5.136	€ 2.427	riello NKG TG	€ 2.196,00	0,6
						kwh/lt	lt	euro/lt					
tradizionale GPL	33,3	31	0,93	80	50560	6,7	8.114	0,7	€ 5.680	€ 2.971	luna 3 comfort 310Fi - Baxi	€ 1.680,00	0,6
a condensazione GPL	27	26	0,976	80	50560	6,7	7.732	0,7	€ 5.412	€ 2.704	victrix superior 26	€ 2.880,00	0,3
a condensazione GPL (bassa temp.)	27	26	1,058	40/30	50560	6,7	7.133	0,7	€ 4.993	€ 2.284	victrix superior 26	€ 2.880,00	0,3
a condensazione GPL	24,5	23,9	0,974	80	50560	6,7	7.748	0,7	€ 5.423	€ 2.715	geminox 5-25 THRI	€ 3.600,00	0,0
a condensazione GPL (bassa temp.)	24,5	23,9	1,08	40/30	50560	6,7	6.987	0,7	€ 4.891	€ 2.183	geminox 5-25 THRI	€ 3.600,00	0,0
						Kwh / nmc	nmc	Euro / nmc					
tradizionale metano	33,3	31	0,93	80	50560	9,6	5.663	0,65	€ 3.681	€ 972	luna 3 comfort 310Fi - Baxi	€ 1.680,00	2,0
a condensazione metano	27	26	0,976	80	50560	9,6	5.396	0,65	€ 3.508	€ 799	victrix superior 26	€ 2.880,00	0,9
a condensazione metano (bassa temp.)	27	26	1,058	40/30	50560	9,6	4.978	0,65	€ 3.236	€ 527	victrix superior 26	€ 2.880,00	1,4
a condensazione metano	24,5	23,9	0,974	80	50560	9,6	5.407	0,65	€ 3.515	€ 806	geminox 5-25 THRI	€ 3.600,00	0,0
a condensazione metano (bassa temp.)	24,5	23,9	1,08	40/30	50560	9,6	4.877	0,65	€ 3.170	€ 461	geminox 5-25 THRI	€ 3.600,00	0,0

Confronto con pellet

	Pf	Pu	rend.	Tm	Epu	Pci	consumo	costo unit.	costo tot.comb	differenza costo rispetto legna produzione propria	MARCA DI RIFERIMENTO	costo caldaia	ritorno investimento in anni:
TIPOLOGIA	kw	kw	%	°C	kwh	kwh/kg	kg	euro/q.le	euro	euro			
pellet	34,8	28	0,8	80	50560	5	12.640	23	€ 2.907		Equador Economic 2000	€ 6.000,00	
						kwh/kg		euro/kg					
a gasolio	34,8	31,5	0,91	80	50560	11,9	4.669	1,1	€ 5.136	€ 2.229	riello NKG TG	€ 2.196,00	1,7
						kwh/lt	lt	euro/lt					
tradizionale GPL	33,3	31	0,93	80	50560	6,7	8.114	0,7	€ 5.680	€ 2.773	luna 3 comfort 310Fi - Baxi	€ 1.680,00	1,6
a condensazione GPL	27	26	0,976	80	50560	6,7	7.732	0,7	€ 5.412	€ 2.505	victrix superior 26	€ 2.880,00	1,2
a condensazione GPL (bassa temp.)	27	26	1,058	40/30	50560	6,7	7.133	0,7	€ 4.993	€ 2.086	victrix superior 26	€ 2.880,00	1,5
a condensazione GPL	24,5	23,9	0,974	80	50560	6,7	7.748	0,7	€ 5.423	€ 2.516	geminox 5-25 THRI	€ 3.600,00	1,0
a condensazione GPL (bassa temp.)	24,5	23,9	1,08	40/30	50560	6,7	6.987	0,7	€ 4.891	€ 1.984	geminox 5-25 THRI	€ 3.600,00	1,2
						kwh/nmc	nmc	euro/nmc					
tradizionale metano	33,3	31	0,93	80	50560	9,6	5.663	0,65	€ 3.681	€ 774	luna 3 comfort 310Fi - Baxi	€ 1.680,00	5,6
a condensazione metano	27	26	0,976	80	50560	9,6	5.396	0,65	€ 3.508	€ 600	victrix superior 26	€ 2.880,00	5,2
a condensazione metano (bassa temp.)	27	26	1,058	40/30	50560	9,6	4.978	0,65	€ 3.236	€ 328	victrix superior 26	€ 2.880,00	9,5
a condensazione metano	24,5	23,9	0,974	80	50560	9,6	5.407	0,65	€ 3.515	€ 608	geminox 5-25 THRI	€ 3.600,00	4,0
a condensazione metano (bassa temp.)	24,5	23,9	1,08	40/30	50560	9,6	4.877	0,65	€ 3.170	€ 263	geminox 5-25 THRI	€ 3.600,00	9,1

Confronto con cippato

MARCA DI RIFERIMENTO: Equador Economic 2000	Pf	Pu	rend.	Tm	Epu	Pci	consumo	costo unit.	costo tot.comb	differenza costo rispetto legna produzione propria	MARCA DI RIFERIMENTO	costo caldaia	ritorno investimento in anni:
TIPOLOGIA	kw	kw	%	°C	kwh	kwh/kg	kg	euro/q.le	euro	euro			
cippato	34,8	28	0,8	80	50560	2,8	22.571	8	€ 1.806	-	Equador Economic 2000	€ 6.000,00	
						kwh/kg		euro/kg					
a gasolio	34,8	31,5	0,91	80	50560	11,9	4.669	1,1	€ 5.136	€ 3.330	riello NKG TG	€ 2.196,00	1,1
						kwh/lt	lt	euro/lt					
tradizionale GPL	33,3	31	0,93	80	50560	6,7	8.114	0,7	€ 5.680	€ 3.874	luna 3 comfort 310Fi - Baxi	€ 1.680,00	1,1
a condensazione GPL	27	26	0,976	80	50560	6,7	7.732	0,7	€ 5.412	€ 3.607	victrix superior 26	€ 2.880,00	0,9
a condensazione GPL (bassa temp.)	27	26	1,058	40/30	50560	6,7	7.133	0,7	€ 4.993	€ 3.187	victrix superior 26	€ 2.880,00	1,0
a condensazione GPL	24,5	23,9	0,974	80	50560	6,7	7.748	0,7	€ 5.423	€ 3.618	geminox 5-25 THRI	€ 3.600,00	0,7
a condensazione GPL (bassa temp.)	24,5	23,9	1,08	40/30	50560	6,7	6.987	0,7	€ 4.891	€ 3.085	geminox 5-25 THRI	€ 3.600,00	0,8
						kwh/nmc	nmc	euro/nmc					
tradizionale metano	33,3	31	0,93	80	50560	9,6	5.663	0,65	€ 3.681	€ 1.875	luna 3 comfort 310Fi - Baxi	€ 1.680,00	2,3
a condensazione metano	27	26	0,976	80	50560	9,6	5.396	0,65	€ 3.508	€ 1.702	victrix superior 26	€ 2.880,00	1,8
a condensazione metano (bassa temp.)	27	26	1,058	40/30	50560	9,6	4.978	0,65	€ 3.236	€ 1.430	victrix superior 26	€ 2.880,00	2,2
a condensazione metano	24,5	23,9	0,974	80	50560	9,6	5.407	0,65	€ 3.515	€ 1.709	geminox 5-25 THRI	€ 3.600,00	1,4
a condensazione metano (bassa temp.)	24,5	23,9	1,08	40/30	50560	9,6	4.877	0,65	€ 3.170	€ 1.364	geminox 5-25 THRI	€ 3.600,00	1,8

1.4 Valutazione sull'integrazione con solare termico

Dalle precedenti analisi emerge che l'integrazione di un impianto solare termico alla centrale termica può apportare un risparmio, riferito al periodo invernale metà ottobre – metà aprile, dell'ordine del 10% di biomassa.

Tale risparmio corrisponde a circa a 20 q.li di legna (differenza tra stime consumi biomassa con e senza impiego solare termico), che significa circa 210 € per stagione invernale.

Occorre considerare che i consumi monitorati sono pressoché riferibili al riscaldamento, mentre per valutare complessivamente il contributo del solare termico occorre considerare la copertura del fabbisogno di acqua calda sanitaria.

Il tipico vantaggio di un impianto solare termico si ha proprio nel periodo estivo, quando l'irraggiamento solare è massimo alle nostre latitudini ed è valutato principalmente dalla copertura del fabbisogno di acqua calda sanitaria.

Occorre inoltre considerare che la centrale termica presso l'agriturismo dell'azienda, non essendo raggiunto dalla rete di distribuzione di metano, è integrato da una caldaia a GPL, similmente a molte realtà delle aziende marchigiane. Dalle precedenti tabelle di confronto tra diverse tipologie di caldaie emerge chiaramente che il GPL presenta i costi maggiori e quindi il ricorso al solare termico per il fabbisogno di acqua calda sanitaria, come della biomassa per il riscaldamento invernale, può apportare i massimi benefici economici.

È possibile procedere ad una stima del fabbisogno di acqua calda sanitaria dell'agriturismo, che dispone di 3 camere e una cucina, adottando i seguenti parametri di consumo medio:

- 50 litri al giorno per ospite
- 10 litri a persona per pranzo

e dunque calcolare il quantitativo di energia termica necessaria espressa in kcal (Q) giornaliera:

$$Q = G \cdot cs \cdot (T_u - T_a)$$

Dove:

- G, massa d'acqua da scaldare (l)
- cs, calore specifico dell'acqua (1 kcal/l °C)
- Tu, temperatura di utilizzo, pari a 45°C
- Ta, temperatura acqua dell'acquedotto (10 °C).

Simulando il fabbisogno annuo di acqua calda sanitaria, considerando le attività di ospitalità, organizzazione eventi con ristorazione, oltre agli usi propri otteniamo:

	pranzi	ospiti	usi propri	
persone	25	8	1	
litri / persona	10	60	50	
cadenza mensile	2	20	30	
mesi	10	6	12	
l tot	5000	57600	18000	80.600
kilocal	175000	2016000	630000	2.821.000
kwh	203,4883721	2344,186047	732,5581395	3.280

Considerando Il consumo giornaliero degli ospiti pari a:

- Fabbisogno per gli ospiti (6 x 50 l =) 300 l/giorno
- Cucina (12 x 10 l =) 120 l/giorno
- Totale 420 l/giorno

Si può dunque calcolare il quantitativo di energia termica necessaria (Q) giornaliera:

$$Q = G \cdot cs \cdot (Tu - Ta) = 420 \text{ l} \cdot 1 \text{ kcal/l} \cdot 35 \text{ }^\circ\text{C} = 14.700 \text{ kcal} = 17 \text{ kwh}$$

Considerando che l'impianto solare è formato da 4 pannelli da 2 mq l'uno, sulla base delle schede dei rendimenti fornite dal produttore, nel periodo estivo il solare termico può soddisfare il fabbisogno giornaliero richiesto.

Il risparmio ottenibile annuo può essere calcolato sempre rispetto alle caldaie alimentate a combustibili fossili quali metano, gasolio e gpl. A livello precauzionale si è ipotizzata una copertura del fabbisogno di acqua calda sanitaria con solare termico dell'80%.

valutazione risparmio solare termico per acqua calda sanitaria											
	Pf	Pu	rend.	Tm	Epu	Pci	consumo	costo unit.	costo tot.comb	risparmio solare (copertura 80%)	MARCA DI RIFERIMENTO
TIPOLOGIA	kw	kw	%	°C	kwh	kwh/kg	kg	euro/kg	euro	euro	
a gasolio	34,8	31,5	0,91	80	3280	11,9	303	1,1	€ 333	€ 267	riello NKG TG
						kwh/lt	lt	euro/lt			
tradizionale GPL	33,3	31	0,93	80	3280	6,7	526	0,7	€ 368	€ 295	luna 3 comfort 310Fi - Baxi
a condensazione GPL	27	26	0,976	80	3280	6,7	502	0,7	€ 351	€ 281	victrix superior 26
a condensazione GPL	24,5	23,9	0,974	80	3280	6,7	503	0,7	€ 352	€ 281	geminox 5-25 THRI
						kwh/nmc	nmc	euro/nmc			
tradizionale metano	33,3	31	0,93	80	3280	9,6	367	0,65	€ 239	€ 191	luna 3 comfort 310Fi - Baxi
a condensazione metano	27	26	0,976	80	3280	9,6	350	0,65	€ 228	€ 182	victrix superior 26
a condensazione metano	24,5	23,9	0,974	80	3280	9,6	351	0,65	€ 228	€ 182	geminox 5-25 THRI

In sintesi per l'agriturismo, i risparmi annui dall'applicazione del solare termico sono stimabili in:

- acqua calda sanitaria (rispetto impiego GPL) : 280 €
- risparmio biomassa per riscaldamento (rispetto all'ipotesi di utilizzo della legna autoprodotta): 210 €
- Totale risparmio: circa 500 € annui.

Considerando che l'impianto solare è costato € 3.645, l'investimento è ammortizzabile in poco più di 6 anni.

Se però consideriamo la possibilità di applicare forme di incentivazione, come ad esempio la detrazione fiscale al 55% (Comma 346 Finanziaria 2007: detrazioni per installazione di pannelli solari per produzione di acqua calda), il tempo di ammortamento può anche dimezzarsi.

I calcoli eseguiti sono specifici per la tipologia impiantistica adottata dall'azienda ma i parametri di confronto sono trasferibili ad altre realtà aziendali insediate nella Regione Marche.

Occorre inoltre sottolineare che i consumi di acqua calda sanitaria dell'agriturismo monitorato, causa la scarsa ricettività, risultano sicuramente minori rispetto ai fabbisogni di un'abitazione di una famiglia media o un'altra struttura turistica con maggiore frequenza di alloggi. A tali condizioni il vantaggio dell'impiego del solare termico sarebbe sicuramente maggiore.

Sostanzialmente si può concludere che l'applicazione del solare termico risulta conveniente, soprattutto rispetto a:

- mancanza di allaccio alla rete del metano, e dunque possibile ricorso al GPL
- necessità di elevati consumi di acqua calda sanitaria, soprattutto nel periodo estivo.

2. Campagna di campionamento invernale delle polveri sottili – test filtro antiparticolato

E' noto che la combustione di biomasse, quali il legno, come è stato evidenziato anche nella sperimentazione precedente (2007-2008), produce polveri fini (<10µm) con una elevata percentuale di PM 1 (> 70%). Riveste quindi molto interesse la possibilità di utilizzare dispositivi che riducano le emissioni di materiale particolato, con particolare riguardo al PM 1, che è la frazione più pericolosa per la salute umana.

Per investigare questa problematica è stata effettuata una sperimentazione presso l'azienda Colle Baeto, dotata di un impianto per il riscaldamento domestico e la produzione di acqua calda alimentato legna (per i dettagli si rimanda al report precedente).

A questo scopo è stato applicato alla canna fumaria del combustore un filtro elettrostatico per particolato, e sono state eseguite misure comparative delle concentrazioni nell'aria di PM 10, PM 2,5 e PM 1 in prossimità delle emissioni, facendo funzionare il combustore sia con il filtro elettrostatico inserito che disinserito.

2.1 Tecnologie per il trattamento dei fumi

Per trattamento dei fumi si intende una apparecchiatura finalizzata alla rimozione, ovvero alla riduzione della concentrazione degli inquinanti presenti nell'effluente gassoso da trattare. In base alle proprietà chimico-fisiche dell'effluente e degli inquinanti, l'impianto può essere costituito da uno o più stadi di abbattimento. In relazione allo stato fisico dell'inquinante presente nella corrente gassosa e in base anche alle sue proprietà chimiche, si sceglie il sistema di abbattimento più appropriato, come ad esempio:

- sistema a secco (ad esempio per i polveri o goccioline), dinamici e statici come i cicloni e i filtri a maniche;
- sistemi ad umido (ad esempio per anidride solforosa o acido cloridrico), come le torri di lavaggio ad assorbimento;
- sistemi termici e catalitici (ad esempio per ossidi di azoto e composti organici policiclici e/o policlorurati) come i combustori e i reattori catalitici;
- sistemi ad adsorbimento (per composti organici insolubili in acqua) come le colonne a carboni attivi;

Nel caso di impianti di abbattimento multistadio, si parla generalmente di filiera di depurazione. In genere vengono associati stadi di abbattimento ad umido, come le unità di assorbimento. E' inoltre frequente avere uno stadio finale di abbattimento catalitico o di adsorbimento, che faccia da guardia finale per l'abbattimento spinto di inquinanti particolarmente pericolosi come i composti organici clorurati. Tutte le soluzioni precedentemente descritte trovano applicazione in impianti di grandi dimensioni, come del resto previsto dalla normativa, ed a causa degli elevati costi, della necessità di personale specializzato per il loro funzionamento ed anche per gli ingombri non sono adatti per impianti domestici.

Per gli impianti a biomassa legnosa quali stufe, caminetti, caldaie a legna, quindi di piccola taglia, recentemente sono stati immessi sul mercato degli appositi filtri antiparticolato, applicati da personale specializzato all'interno della canna fumarie con interventi che si diversificano in funzione delle caratteristiche strutturali dei camini.

2.2 Filtro antiparticolato per la combustione del legno

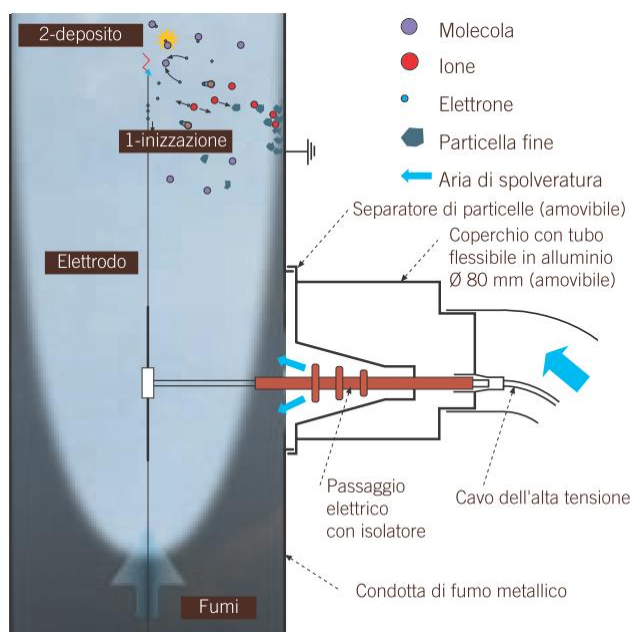
2.2.1 Descrizione del filtro

Per la presente attività è stato selezionato il filtro antiparticolato Zumikron della Rüegg, messo a disposizione dal rivenditore italiano.

Secondo i dati del costruttore il principio elettrostatico di Zumikron è universale e può funzionare con ogni tipo di apparecchio di riscaldamento a legna, di qualunque marca e principio. Rüegg ha sviluppato una serie adattata a potenze inferiori a 50 kW, per condotte da 150 a 300 mm di diametro.

Il filtro antiparticolato è un filtro “elettrico” all’interno del quale avvengono i seguenti fenomeni:

- Alimentazione della tensione nell’elettrodo
- Processo di ionizzazione
- Carica delle particelle
- Separazione delle particelle con fissaggio delle particelle più piccole alle pareti del tubo dei gas combusti attraverso forze elettrostatiche



Dai dati forniti dalla casa produttrice l'efficacia della separazione delle particelle nell'impianto pilota varia dal 57% all'81%.

I requisiti dell'impianto per il funzionamento del dispositivo sono:





- Integrazione dell'insero del filtro di combustione nella canna fumaria
- Il tubo del gas di combustione dopo l'insero del filtro deve essere realizzato in metallo e presentare almeno una lunghezza di 1,5m
- Rispettare condizioni di spazio

- Rendimento nominale del caminetto fino a 35kW
- Rendimento nominale degli impianti di combustione automatici fino a 50kW
- Temperature dei gas di combustione inferiori a 400°C

2.2.2 Verifica installazione e funzionamento

L'installazione del filtro è stata eseguita con l'ausilio del tecnico della ditta con il quale è stato effettuato il collaudo.

Nelle seguenti figure sono riportate le fasi dell'Installazione del filtro antiparticolato:

	
<p>1. Smontaggio canna fumaria</p>	<p>2. Inserimento raccordo a "T"</p>
	
<p>3. Particolare del filtro: elettrodo</p>	<p>4. Inserimento del filtro nel raccordo a "T"</p>



5. centralina di controllo con spie di segnalazione



6. collaudo

Tutte le prescrizioni in precedenza riportate sono state rispettate nel montaggio; sono state eseguite anche delle misurazioni delle temperature dei fumi in prossimità del filtro: 6 misurazioni rientranti in un range di 176 – 241 °C.

Con il supporto del conduttore dell'azienda sono state eseguite periodicamente ispezioni, controllo del corretto funzionamento della centralina, pulizia del filtro e della canna fumaria.

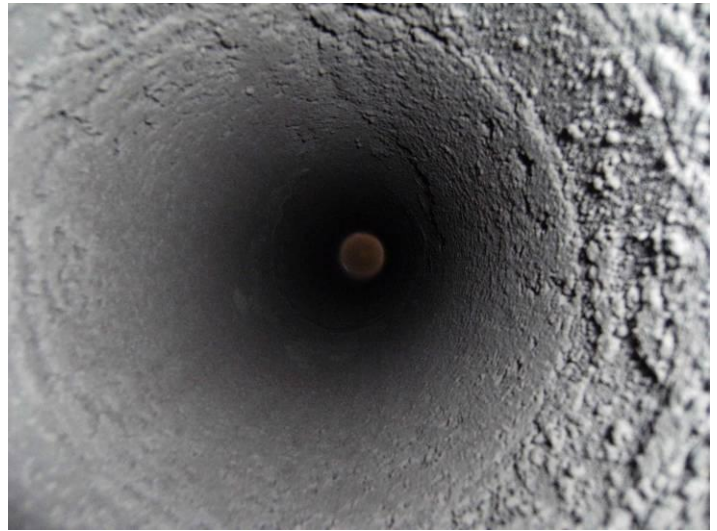
A tal proposito si mostrano alcune immagini del tubo di scarico rilevate durante le fasi di controllo dopo una settimana di utilizzo del filtro.



1. tubo pulito prima del montaggio del filtro



2. incrostazioni di fuliggine sull'elettrodo



3. incrostazioni di fuliggine all'interno della canna fumaria

Dalle foto è chiaramente visibile che il filtro ha “catturato” una discreta quantità di polveri; come visibile nell’ultima foto il deposito nel tubo è concentrato entro il primo metro del tubo.

Nelle successive verifiche si è riscontrato il medesimo livello di deposito della fuliggine, superiore alle condizioni senza filtro antiparticolato.

2.3 Risultati e discussione

2.3.1 Caratterizzazione delle polveri

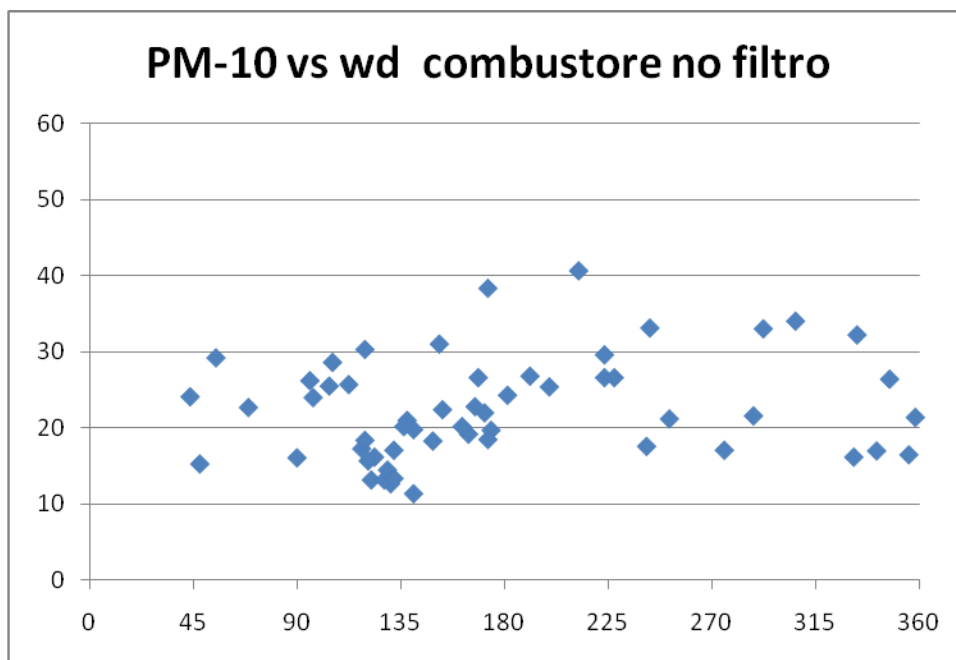
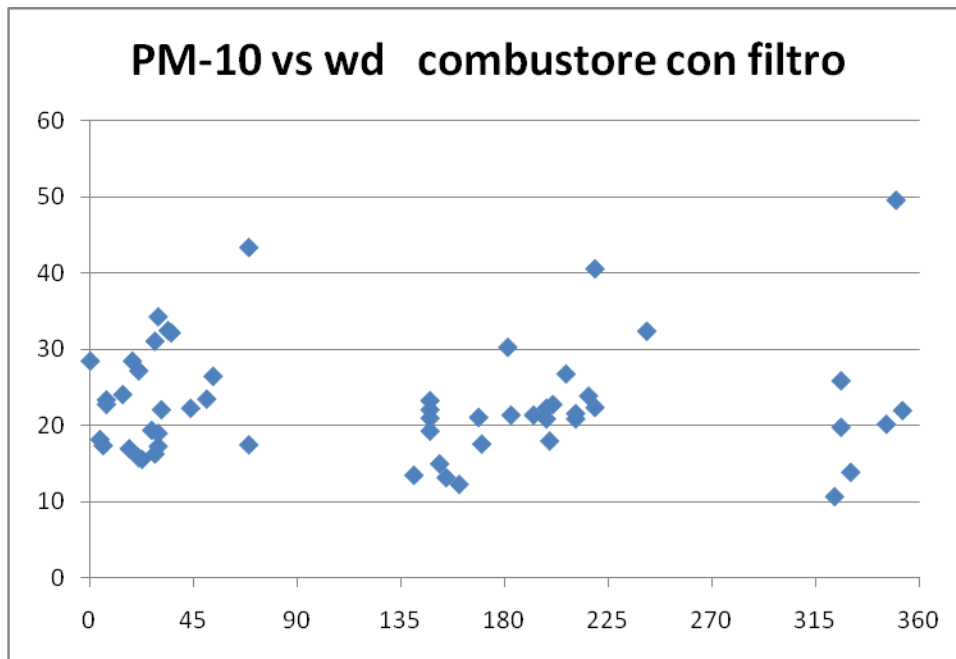
Sono state effettuate misurazioni delle concentrazioni delle tre frazioni del materiale particolato fine (PM10, PM 2,5 e PM1) nell'aria in prossimità di un combustore a legna dell'azienda agricola situata sul Monte Paganuccio, utilizzando lo spettrometro per polveri Environcheck Con. Tec. Engineering (Figura 1), che è in grado di fornire sia le concentrazioni nell'aria di PM 10, PM 2,5 e PM 1 che i parametri meteorologici quali pressione atmosferica, umidità relativa dell'aria, temperatura dell'aria, la velocità e direzione del vento.



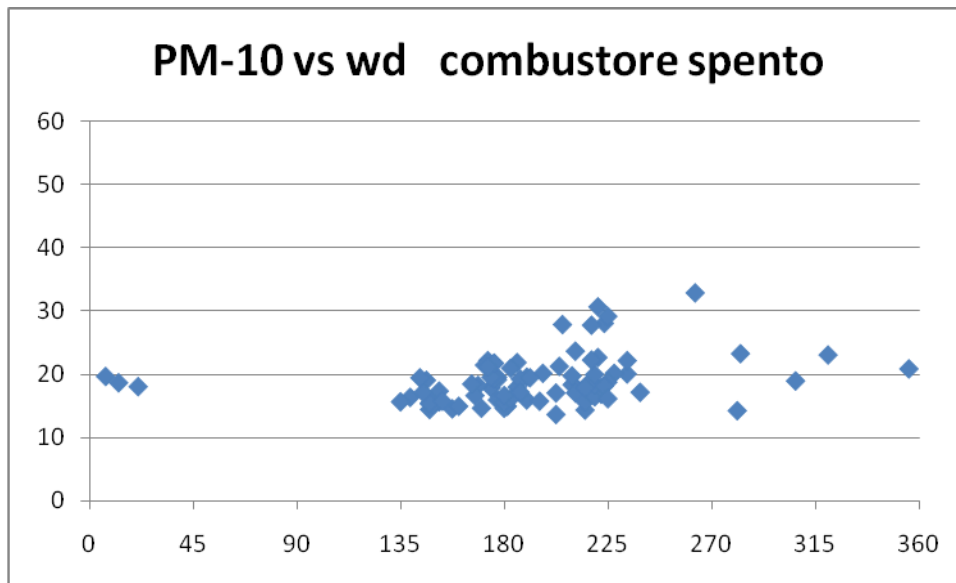
Figura 1 – Area di campionamento, cerchiato in rosso l'apparato di campionamento Environcheck e cerchiato in nero il camino del combustore.

La sperimentazione, che è iniziata l'11 novembre 2009 e che si è conclusa il 31 marzo 2010, ha avuto lo scopo di verificare l'efficacia del filtro elettrostatico antiparticolato Zumikron applicato al combustore a legna, nella riduzione delle concentrazioni di PM 10, PM 2,5 e PM 1 nell'aria campionata a 3,5 m dal camino del combustore, ad una altezza di 2 metri (figura 1). La prima parte della sperimentazione è stata utilizzata per l'installazione del filtro elettrostatico antiparticolato nella parte iniziale della canna fumaria del combustore e per la sua messa a punto. Durante la sperimentazione, che veniva sospesa quando le condizioni meteo (pioggia, neve, forte vento) non avrebbero fornito dati significativi per la sperimentazione, sono stati eseguiti campionamenti della durata di 24 ore. Le misurazioni delle concentrazioni di particolato fine nell'aria sono state effettuate sia con il filtro elettrostatico inserito che disinserito.

Il campionamento a 3,5 m dal camino potrebbe risentire della direzione del vento, anche se le giornate scelte erano con venti deboli. Le due figure seguenti mostrano come nel caso del combustore acceso, sia con filtro che senza filtro, non ci sia una dipendenza significativa della concentrazione di PM10 dalla direzione del vento (wd).



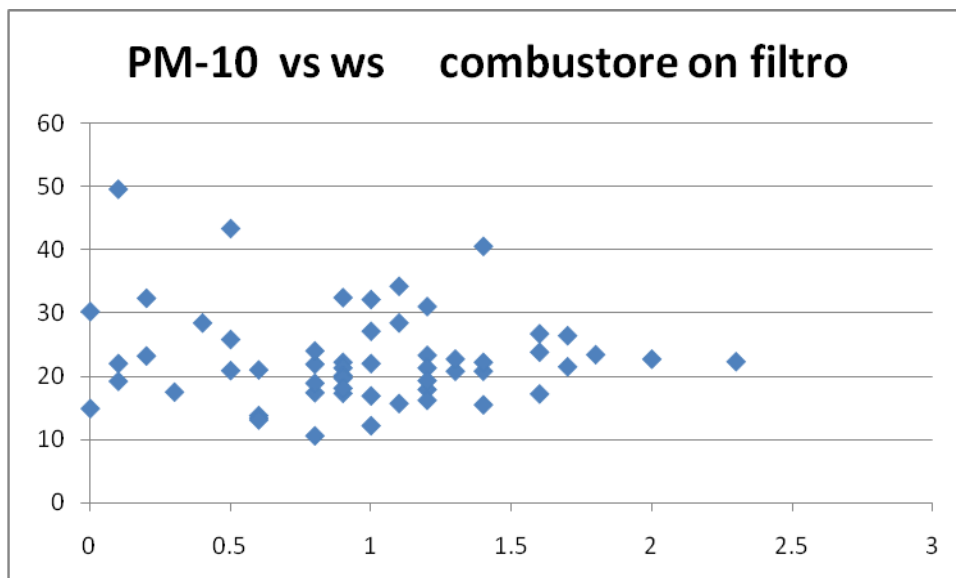
La figura seguente mostra il caso in cui il combustore è spento; in questo caso è possibile individuare una provenienza preferenziale nei valori di PM10, in media più bassi: in concomitanza con la provenienza dall'abitazione (200°-270°) si hanno valori elevati di concentrazione quando il camino dell'abitazione veniva acceso durante le ore notturne.

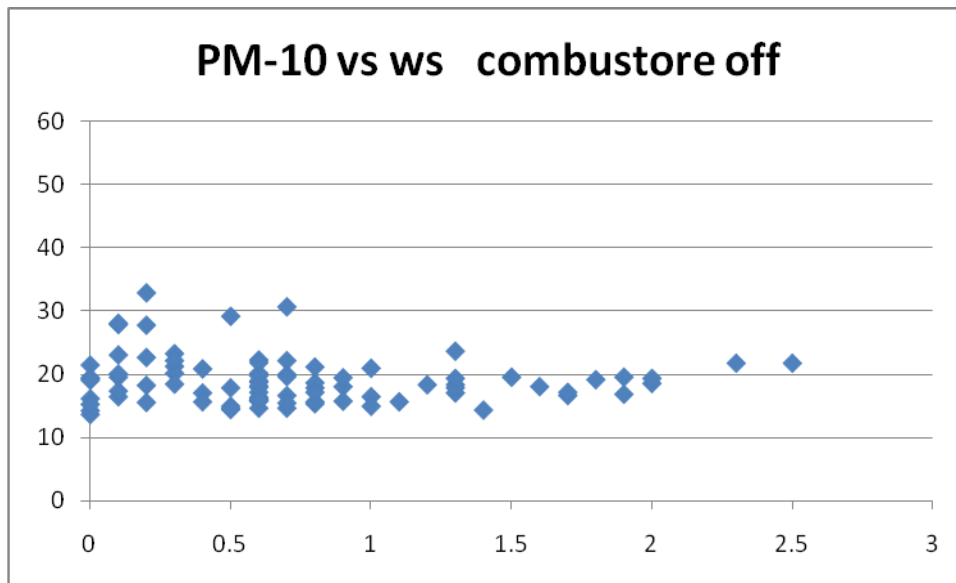


E' inoltre utile analizzare l'eventuale dipendenza delle concentrazioni misurate dall'intensità del vento (ws).

Dal confronto delle due figure seguenti si vede come le concentrazioni di PM10 misurate con combustore acceso (combustore on) tendano, all'aumentare del vento, verso le concentrazioni di PM10 misurate a combustore spento (off), ovvero di circa $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Questa analisi suggerisce quindi che, per valori del vento superiori ai $2,5 \text{ m/s}$ il particolato emesso dal combustore viene diluito velocemente dal vento, rendendo non più evidenziabile l'eventuale effetto del filtro.

Questa situazione ha ridotto fortemente il numero di giornate disponibili per i confronti (con filtro, senza filtro).





Per effettuare una corretta comparazione tra le concentrazioni di PM 10, PM 2,5 e PM1 rilevate con il filtro inserito e quelle senza filtro, è stato scelto un campione rappresentativo di 16 misure, 8 con filtro ed 8 senza filtro durante le quali le condizioni meteo (temperatura, velocità del vento, umidità relativa e pressione atmosferica) erano comparabili. Nella tabella I sono riportati, assieme alle concentrazioni nell'aria delle tre frazioni di polveri sottili, anche i dati meteorologici ed i giorni di campionamento con filtro elettrostatico inserito.

Tabella I - Concentrazioni ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) di PM 10, PM 2,5 e PM 1 nell'aria, rilevate campionando quando il combustore utilizzava il filtro antiparticolato Zumicron. I dati hanno lo scopo di caratterizzare le giornate di misura e sono riferiti a medie giornaliere, cioè calcolate considerando sia i periodi con combustore acceso che con combustore spento.

Giorno	Kg legna	T (°C)	Ws (m/s)	rH %	P (hPa)	PM 10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM 2,5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM 1 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM 1 %
13/2/10	60	1,6	1,2	74	960	25,1	21,4	20,7	82,4
14/2/10	40	7,0	0,9	74	959	20,1	18,9	18,3	91,0
15/2/10	40	3,5	1,0	78	958	22,5	20,6	19,4	86,2
16/2/10	70	4,0	0,8	84	958	19,7	18,5	17,6	89,3
17/2/10	60	3,6	0,8	94	954	22,0	15,1	13,7	62,2
14/3/10	65	7,0	0,5	62	972	13,8	12,7	12,1	87,6
15/3/10	40	5,8	0,5	71	971	22,8	20,4	18,8	82,4
16/3/10	35	3,9	0,7	68	973	17,5	15,9	15,1	86,2

Da notare inoltre che le concentrazioni di PM 10 e PM 2,5 rilevate il 14/03/10, giorno in cui era stato montato il filtro pulito, sono inferiori del 30% rispetto al valore medio degli 8 giorni, mentre la concentrazione di PM 1 è inferiore del 28% rispetto al valore medio.

Tabella II – Concentrazioni ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) di PM 10, PM 2,5 e PM 1 rilevate campionando quando il combustore non utilizzava il filtro. Concentrazioni medie sull'intera giornata.

Giorno	Kg legna	T (°C)	Ws (m/s)	rH %	P (hPa)	PM 10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM 2,5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM 1 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM 1 %
23/02/10	50	10	0,7	81	959	20,6	15,8	14,1	68,4
24/02/10	40	9,6	0,6	87	960	16,2	11,3	9,6	59,2
06/03/10,	70	3,3	0,6	60	967	12,2	10,1	9,5	77,8
07/03/10	60	2,1	1,2	65	968	17,8	15,1	13,8	77,5
08/03/10	60	0,8	1,2	64	964	26,3	19,8	17,5	66,5
09/03/10	60	0,8	0	67	972	18,6	17,6	16,6	89,2
12/03/10	70	3,4	0,9	78	967	16,7	14,3	13,4	80,2
13/03/10	65	5,1	0,6	76	972	18,3	16,0	14,9	81,4

I dati meteo medi rilevati negli 8 giorni di misure durante le quali il combustore funzionava senza filtro, come si vede dalla tabella II, non differiscono sostanzialmente da quelli rilevati negli 8 giorni in cui il combustore funzionava con filtro elettrostatico.

La variabilità delle condizioni meteorologiche e delle concentrazioni di fondo del particolato supera la variabilità rilevata tra condizioni con filtro e condizioni senza filtro.

La tabella seguente separa le ore in cui il combustore è acceso o spento nelle giornate con filtro e, analogamente, nelle giornate in cui il filtro non è installato. Come si vede, la differenza tra le ore con combustore acceso o spento è inferiore della differenza tra i giorni in cui il filtro era installato o meno. E' inoltre opportuno notare che la variabilità oraria associata alle misure è molto elevata (tra 3 e 7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

	PM10	PM2.5	PM1
Combustore acceso giorni con filtro	21.8±7	19.5±5	18.4±4
Combustore spento giorni con filtro	18.8±5	16.8±3	16.0±3
Combustore acceso giorni senza filtro	20.2±6	15.4±4	13.8±3
Combustore spento giorni senza filtro	16.5±5	14.4±3	13.3±3

Riassumendo questa analisi mostra che l'abbattimento prodotto dal filtro è comunque inferiore alla variabilità delle concentrazioni di fondo all'interno del periodo considerato, dunque non risulta

rilevante. Va comunque notato che i dati di concentrazione effettivamente utilizzabili una volta scartati i giorni con eventi meteorici (pioggia, neve), con umidità relativa superiore al 90% o con vento superiore ai 2,5 m/s sono risultati in numero non sufficiente a rendere stabile la statistica dell'analisi effettuata.

2.3.2 Determinazione Idrocarburi policiclici aromatici (IPA)

E' stato eseguito un campionamento del PM 10 della durata di 24 ore anche con il campionatore ad alto volume con lo scopo di caratterizzare il particolato per quanto riguarda la presenza di IPA. Nella tabella V sono riportati i fattori di tossicità equivalente (TEF) degli IPA rispetto al B[a]P.

Figura 2 – Area di campionamento, cerchiato in rosso il campionatore ad alto volume



Tabella -V- Fattori di tossicità equivalente(TEF) riferiti al B[a]P di alcuni IPA

Composto	Simbolo	PM	TEF
Fenantrene	PHN	178	0,00
Fluorantene	FLA	202	0,00
Pirene	PYR	202	0,00
Benzo[a]antracene	B[a]A	228	0,06
Crisene	CHY	228	0,00
Benzo[b]fluorantene	B[b]F	252	0,11
Benzo[j]fluorantene	B[j]F	252	0,11
Benzo[k]fluorantene	B[k]F	252	0,03
Benzo[a]pirene	B[a]P	252	1,00

Composto	Simbolo	PM	TEF
Perilene	PER	252	0,00
Indeno(1,2,3-cd)pirene	IND	276	0,08
Benzo(ghi)perilene	B[ghi]P	276	0,00
Dibenzo(a,h)antracene	D[ah]A	278	0,60

Nella tabella VI sono riportati i valori delle concentrazioni degli IPA presenti nel PM 10 relativi alla campagna 2007/08, durante la quale il combustore era privo di filtro, ed alla campagna 2009/10 durante la quale il combustore era equipaggiato con filtro antiparticolato.

Tabella VI – Concentrazioni di IPA (ng/m³) presenti, presso l'azienda agricola, nell'aria campionata nel mese di febbraio 2008, (sperimentazione 2007- 2008) con il combustore senza filtro e marzo 2010 con il combustore equipaggiato con il filtro elettrostatico antiparticolato.

COMPOSTO	ng/m ³ 2008 (SF)	ng/m ³ 2010 (F)
Fenantrene	0,52	0,20
Antracene	0,15	0,23
Fluorantene	1,81	0,50
Pirene	2,12	0,68
Benzo(a)antracene	3,40	2,63
Crisene	6,06	3,13
Benzo(k,+j+b)fluorantene	19,12	10,01
Benzo(e)pirene	4,69	2,60
Benzo(a)pirene	4,20	4,17
dibenzo(a,h)antracene	2,41	1,24
Benzo(g,h,i)perilene	6,99	3,93
Coronene	5,79	2,47
B[a]PE	7,95	6,17

Tenendo conto dei valori di TEF riportati nella tabella V, Il valore di B[a]PE (Benzo[a]pirene equivalente) si ottiene dalla seguente relazione:

$$B[a]PE = 0,06 \times 2,63 + 0,11 \times 10,01 + 4,17 + 0,6 \times 1,24 = 0,16 + 1,1 + 4,17 + 0,74 = 6,17 \text{ ng/m}^3$$

I dati riportati nella tabella VI mostrano che i valori delle concentrazioni di B[a]P rilevati nelle due campagne sono uguali (4,20 ng/m³ rispetto a 4,17 ng/m³), mentre le concentrazioni degli altri IPA

sono inferiori a quelle della campagna senza filtro, con conseguente diminuzione del valore di B[a]PE, 6,17ng/m³ rispetto a 7,95 ng/m³.

Si è inoltre riscontrata una diminuzione della concentrazione degli IPA nella fuliggine depositata nella canna fumaria dopo l'applicazione del filtro rispetto alla fuliggine prelevata a inizio della sperimentazione (e quindi depositata nella precedente stagione invernale), con percentuali che vanno dal 25% al 95%.

Tale prova, riportata in tabella VII, a causa dell'alta variabilità delle condizioni di contorno (la stagione 2008 – 2009 non è stata monitorata) rende difficile trarne una conclusione definitiva riguardo all'eventuale influenza del filtro nella riduzione.

Tabella VII – Concentrazione di IPA (µg/g) riscontrata nella fuliggine depositatasi e raccolta nella canna fumaria del combustore prima che venisse installato il filtro Zumicron e la fuliggine depositatasi e raccolta dopo il funzionamento del combustore con il filtro Zumicron.

	Prima del filtro (µg/g)	Con il filtro (µg/g)
Naftalene	0,57	0,12
Fenantrene	10,38	0,96
Antracene	1,81	0,35
Fluorantene	12,35	0,61
Pirene	12,57	0,63
Benzo(a)antracene	2,41	0,68
Crisene	3,76	0,83
Benzo(k,+j+b)fluorantene	4,06	2,31
Benzo(e)pirene	1,12	0,60
Benzo(a)pirene	1,54	1,15
dibenzo(a,h)antracene	n.d	n.d
Benzo(g,h,i)perilene	n.d	n.d
Coronene	n.d	n.d

2.4 Considerazioni sul monitoraggio degli effetti sulla qualità dell'aria del filtro antiparticolato

Dalla sperimentazione eseguita presso l'azienda agricola emerge che nell'ambiente circostante al combustore a legna (le misure sono state effettuate a 3,5m dal punto di emissione e ad una altezza di 2 m) non sia possibile rilevare una riduzione delle emissioni di materiale particolato nelle fasi di utilizzo del filtro antiparticolato.

Occorre precisare che la finalità della sperimentazione non era verificare l'efficacia diretta del filtro, che richiederebbe un prelievo delle emissioni dirette al camino, ma una valutazione sulla qualità dell'aria in un ambiente esposto alle emissioni di un combustore a legna, e se un sistema di abbattimento potesse incidere su quanto rilevato nell'ambiente.

Nell'intera stagione invernale inoltre le condizioni meteorologiche avverse (frequenza elevata di piogge, nevicata, ventosità elevata) hanno reso possibile avere un numero relativamente basso (16) di giornate utili per le misure. Di converso proprio in quelle giornate le concentrazioni di inquinanti nell'aria risultano basse. A dimostrazione si evidenzia quanto osservato nel precedente capitolo: con una velocità del vento superiore a 2,5 m/s il particolato emesso dal combustore viene diluito velocemente dal vento, registrando valori di particolato simili al fondo.

In sintesi si è osservato che le variazioni di concentrazione del particolato con/senza filtro sono inferiori alle variazioni delle concentrazioni misurate a combustore spento (ovvero variabilità del fondo). Quindi con i dati a disposizione non si rileva un effetto del filtro antiparticolato.

Di certo si può affermare che la variabilità delle condizioni meteorologiche e delle concentrazioni di fondo del particolato supera la variabilità rilevata tra condizioni con filtro e condizioni senza filtro.

Quanto emerso è da considerarsi valido nelle condizioni di campo riscontrate e per la tipologia di combustore utilizzato.

In allegato 2 e 3 si riportano i dati orari rilevati per ogni giornata esaminata ed i grafici relativi ai valori di particolato per le giornate prese in considerazione in questa sperimentazione, come valori di concentrazioni medie sulle 24 ore.

3. Attuali indirizzi di promozione e controllo degli impianti a biomasse di piccola – media taglia.

3.1 Il ruolo della biomassa come energia rinnovabile

Con la “direttiva 20 + 20 + 20” l’Unione Europea ha posto degli obiettivi vincolanti per tutti stati membri da raggiungere entro il 2020:

- il 20% del mix energetico complessivo dovrà provenire da fonti rinnovabili;
- risparmiare il 20% del consumo totale di energia primari;
- ridurre del 20% le emissioni di CO₂ rispetto ai livelli del 1990 rilanciando gli impegni assunti con il Protocollo di Kyoto;
- un obiettivo minimo per i biocarburanti pari al 10 per cento del combustibile impiegato dai veicoli.

In particolare, l’obiettivo sull’uso di fonti rinnovabili per l’Italia è pari al 17% degli usi finali di energia entro il 2020. Considerando che agli effetti della direttiva europea, produrre una determinata quantità di energia termica oppure di energia elettrica è equivalente, e che da un punto di vista economico nella maggior parte dei casi il costo di produzione di un kWh termico sia inferiore di quello necessario per produrre un kWh elettrico, appare evidente l’importanza di operare per promuovere la diffusione delle tecnologie per le rinnovabili termiche, rivedendo un sistema di incentivazione nel nostro paese, basato sui certificati verdi e sul conto energia, quindi per la produzione di energia elettrica.

Dal recente dossier dell’ENEA “Usi termici delle fonti rinnovabili” (11 novembre 2009, risultati del workshop promosso congiuntamente da ENEA con AIEE e FIRE) emerge che rispetto all’attuale quadro di incentivazioni legato quasi esclusivamente alla produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili, un’ipotesi di potenziare le forme di incentivazioni per la produzione di energia termica dalle fonti rinnovabili consentirebbe di rispettare gli impegni europei con oneri di incentivazione e costi di investimento del 60-80% inferiori. Dal dossier emerge inoltre come il contributo delle biomasse possa essere rilevante, ma che occorra:

- utilizzare meglio, cioè a più alta efficienza e con minor emissioni, le biomasse già attualmente disponibili sul mercato, favorendo la tipizzazione dei combustibili e la qualità delle caldaie.
- far crescere la disponibilità sul mercato di combustibili, di qualità standardizzata, derivati da biomasse prodotte in Italia sia dal mondo agricolo sui terreni di pianura, che dal mondo forestale nelle aree montane, in accordo con le funzioni di protezione del territorio.

Anche a livello regionale negli ultimi anni è emersa l’importanza di valorizzare lo sfruttamento energetico delle biomasse. Dal rapporto del Servizio Agricoltura della Regione Marche sul possibile sviluppo delle agro energie nel contesto regionale, le filiere che possono basarsi su una tecnologia consolidata sono distinte in due tipologie:

- una strettamente legata al territorio che si sviluppa interamente nel contesto agricolo (dalla produzione di materia prima alla produzione di energia),
- l’altra potrebbe avere una base territoriale ma è inserita in un contesto produttivo più ampio dove l’agricoltura compete soltanto per la fornitura di energia.

Per la prima tipologia, di nostro interesse, sono individuate le relative filiere:

1. Filiera legno-energia per la produzione di calore con caldaie di piccole/medie dimensioni;
2. Filiera legno-energia per la produzione di biocombustibili (pellet);
3. Filiera olio-energia di piccole/medie dimensioni per la produzione di biocombustibili (olio) o elettricità e/o calore;
4. Filiera del biogas per la produzione di elettricità e/o calore.

Nella graduatoria di preferenza delle filiere, si evidenzia che la filiera 1, nella quale rientrano le aziende oggetto della presente sperimentazione, rientra tra le più interessanti in termini di aspetti energetici, ambientali, economici e di possibilità aggregazione delle aziende.

3.2 Le forme d'incentivazione

Le principali forme d'incentivazione per le caldaie a biomasse possono essere divise in incentivazioni statali e regionali. A livello statale le principali misure sono legate alle agevolazioni per le ristrutturazioni edilizie (Detrazione IRPEF del 36%) e per la riqualificazione energetica degli edifici (Detrazione IRPEF del 36%); a livello regionale le incentivazioni per le caldaie a biomasse, specifiche per le aziende agricole, sono riferibili al PSR 2007 – 2010.

Riguardo alla **detrazione IRPEF 36%** (Legge 449/97 e successive modifiche) si tratta di una detrazione dalle imposte sui redditi delle spese sostenute per il recupero di case di abitazione; il beneficio spetta fino ad un tetto massimo di € 48.000,00 per abitazione, da dividere tra i soggetti aventi diritto alla detrazione per anno di imposta, da suddividere in dieci (o cinque in casi particolari) anni. Trattandosi di una detrazione dall'Irpef lorda, sono ammessi a fruirne tutti coloro che sono assoggettati all'imposta sul reddito delle persone fisiche.

I lavori per i quali spetta lo sconto fiscale sono quelli elencati dall'art. 31 della legge 5/8/1978 n. 457; in particolare, la detrazione del 36% riguarda le spese sostenute per eseguire gli interventi di manutenzione straordinaria, le opere di restauro e risanamento conservativo, i lavori di ristrutturazione edilizia per i singoli appartamenti e per gli immobili condominiali. Vi sono poi altri interventi ammessi al beneficio della detrazione, come gli interventi finalizzati al conseguimento di risparmi energetici di cui alla Legge 9/1/1991 n. 10 e D.P.R. 26/8/1993 n. 412. In questo caso la detrazione è ammessa per l'acquisto e per l'installazione dei caminetti e stufe a legna ed a pellet con un rendimento, misurato con metodo diretto, non inferiore al 70%. La dichiarazione del rendimento va fornita dal produttore.

Riguardo alla **detrazione del 55%**, tale strumento è stato introdotto con il Dm 11 marzo 2008 per incentivare la diffusione delle caldaie a biomasse (pellet, legna, cippato); l'articolo 2 del decreto, infatti, prevede che per "la sostituzione di impianti di climatizzazione invernale con impianti dotati di generatore di calore alimentati da biomasse combustibili", è possibile usufruire della detrazione d'imposta del 55% in fase di dichiarazione dei redditi.

Tale detrazione rientra nelle incentivazioni introdotte con la finanziaria 2007, esclusivamente all'interno del comma 344 che riguarda gli interventi realizzati per la riqualificazione energetica globale dell'edificio. In pratica se si sostituisce l'impianto di riscaldamento con caldaie a biomassa non si ha diritto alle detrazioni previste dal comma 347 per la "sostituzione intera o parziale di impianti di climatizzazione invernale", perché esso si riferisce solo "all'installazione di caldaie a condensazione, ovvero di pompe di calore ad alta efficienza o di impianti geotermici a bassa entalpia".

Trattandosi di riqualificazione energetica dell'intero edificio, la detrazione è subordinata al raggiungimento di un indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale non superiore ai valori dettati dal Dm 11 marzo 2008, allegato A.

Come specificato all'art. 1 del Dm 11 marzo 2008 " qualora l'intervento realizzato ai fini dell'applicazione del comma 344 dell'articolo 1 della legge finanziaria 2007, includa la sostituzione di impianti di climatizzazione invernale con impianti dotati di generatori di calore alimentati da biomasse combustibili, i medesimi generatori di calore alimentati da biomasse combustibili devono contestualmente rispettare le seguenti ulteriori condizioni:

- a) Avere un rendimento utile nominale minimo conforme alla classe 3 di cui alla norma Europea Uni-En 303-5.

Questa norma tecnica definisce delle soglie minime di rendimento per "Caldaie per riscaldamento - Caldaie per combustibili solidi, con alimentazione manuale e automatica, con una potenza termica nominale fino a 300 kW". Poichè la norma si riferisce esplicitamente alle "caldaie", rientrano senza dubbio tra le installazioni detraibili le caldaie a legna, a pellet e a cippato.

Il rendimento utile nominale minimo "n" previsto per le caldaie di classe 3, in funzione della taglia dell'impianto (potenza massima al focolare Pn, in kW) è ricavabile dalla seguente formula: $n = 67 + 6 \log Pn$. Ad esempio il rendimento di una caldaia da 34 kW deve essere pari o superiore al 76%

- b) rispettare i limiti di emissione di cui all'allegato IX alla parte quinta del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, e successive modifiche e integrazioni, ovvero i più restrittivi limiti fissati da norme regionali, ove presenti;

I valori limite, stabiliti dalla sezione 2 dell'allegato IX alla parte V del decreto legislativo 152/2006, riguardano impianti a biomasse con taglie di potenza termica comprese tra i 150 kW e i 1.000 kW. In calce alla tabella è specificato che "agli impianti di potenza termica nominale pari o superiore al valore di soglia e non superiore a 0,15 MW si applica un valore limite di emissione per le polveri totali pari a 200 mg/Nm³". Considerando che il valore soglia è 35 kW, per i normali impianti domestici, di dimensione minore, non è richiesto di rispettare tali limiti.

- c) utilizzare biomasse combustibili ricadenti fra quelle ammissibili ai sensi dell'allegato X alla parte quinta del medesimo decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, e successive modifiche e integrazioni.

In riferimento all'allegato sopracitato, le principali biomasse utilizzate per la produzione di calore sono ricavate principalmente dal legno, nelle 3 forme più diffuse: legna da ardere in ciocchi, pellet, cippato .

- d) d) (aggiunto con il Dm 26 gennaio 2010) sia garantito, per i soli edifici ubicati nella zone climatiche C, D, E e F, che i valori della trasmittanza (U) delle chiusure apribili e assimilabili, quali porte, finestre e vetrine anche se non apribili, comprensive degli infissi, considerando le parti trasparenti e/o opache che le compongono, che delimitano l'edificio verso l'esterno o verso locali non riscaldati, rispettino i limiti massimi riportati nella tabella 4.a, di cui all'articolo 4, comma 4, lettera c), del decreto del Presidente della Repubblica 2 aprile 2009, n. 59;

Occorre specificare che le trasmittanze richieste in questo ultimo caso, non sono le stesse che vengono richieste per beneficiare delle detrazioni 55% sulla sola sostituzione di vetri e infissi. In pratica, dunque, la condizione per avere accesso alla detrazione 55%, comma 344 con intervento sugli impianti a biomassa, è quella di una buona efficienza dei serramenti (la stessa richiesta per gli edifici nuovi), ma non ai livelli qualitativi richiesti per il 55% comma 345, quello appunto relativo alle finestre.

Sempre il Dm 26 gennaio 2010 inserisce un ulteriore precisazione : i soggetti che intendono avvalersi delle detrazioni fiscali relative alle spese sostenute per la sostituzione di impianti di climatizzazione invernale con impianti dotati di generatori di calore alimentati da biomasse combustibili, devono trasmettere all'Enea, entro 90 giorni dalla fine dei lavori, la documentazione e le informazioni necessarie.

A **livello regionale** per le aziende agricole incentivazioni specifiche in campo della filiera legno energia, in particolare per impianti di sfruttamento delle biomasse (ma anche per la produzione di biocombustibili quale il pellet), sono fornite dal Piano di Sviluppo Rurale 2007 – 2013 attraverso le seguenti misure:

Misura	Beneficiari	obiettivi	Tipologie investimenti
1.2.1 - Ammodernamento delle aziende agricole	Imprese agricole singole e associate.	<p>– migliorare l'efficienza aziendale attraverso la riduzione dei costi di produzione compreso il risparmio energetico;</p> <p>– promuovere il raggiungimento di migliori prestazioni dal punto di vista dell'ambiente, con particolare riferimento al risparmio delle risorse idriche e l'utilizzo di fonti energetiche rinnovabili, nonché della sicurezza sul lavoro e dell'igiene e benessere degli animali.</p>	<p>acquisto di macchine, di impianti tecnologici e/o attrezzature nuovi, per razionalizzare i mezzi di produzione aziendali, nonché finalizzati: al miglioramento delle condizioni di lavoro e degli standard di sicurezza; alla riduzione dei costi di produzione, compreso il risparmio energetico; al miglioramento della qualità delle produzioni;</p> <p>investimenti per la protezione e il miglioramento dell'ambiente compreso il risparmio energetico;</p> <p>investimenti per la produzione di energie da fonti rinnovabili, inclusi quelli finalizzati alla produzione di biomasse da impianti forestali a rapido accrescimento (Short Rotation Forestry);</p> <p>quota sostegno dal 40 al 60 %</p>
3.1.1/a - Diversificazione in attività non agricole – Interventi per l'agriturismo	Imprenditori agricoli singoli e associati.	<p>qualificare l'offerta turistica arricchire la proposta di ospitalità rurale</p> <p>sviluppare la conoscenza, anche sotto il profilo turistico, del mondo agricolo e del territorio rurale</p>	<p>ristrutturazione edilizia ed acquisto di attrezzature e arredi nonché di impianti per l'utilizzo aziendale di fonti energetiche rinnovabili;</p> <p>quota sostegno dal 40 al 60 %</p>
3.1.1/b - Diversificazione in attività non agricole – diversificazione dell'attività	Imprenditori agricoli singoli e associati di cui all'art. 2135 del C.C. ed i membri della famiglia agricola.	<p>promuovere e favorire la differenziazione delle attività dell'azienda agricola,</p> <p>attraverso lo sviluppo di nuovi settori e nuovi prodotti, fra i quali le utilizzazioni no food delle produzioni agricole e la produzione di energia da fonti rinnovabili;</p>	<p>aiuto in conto capitale destinato al cofinanziamento di investimenti strutturali aziendali materiali all'interno dell'azienda agricola:</p> <p>d) realizzazione di impianti di produzione, utilizzo e vendita di energia o calore da fonti rinnovabili di potenza massima di 1 MW elettrico;</p> <p>quota sostegno dal 40 al 60 %</p>

A queste misure specifiche si aggiungono altre legate alla filiera legno energia, in particolare per valorizzare lo sfruttamento delle biomasse a fini energetiche, ad esempio attraverso impianti forestali su terreni agricoli. Si specifica che i contributi erogati tramite PSR sono compatibili con la detrazione fiscale del 55% delle spese volte ad interventi per il risparmio energetico.

3.3 Il controllo delle emissioni da caldaie a biomassa

Il processo di combustione della biomassa, durante il quale l'energia chimica contenuta nel combustibile viene liberata sotto forma di calore, coinvolge molti aspetti e fenomeni chimico-fisici di notevole complessità. In condizioni ideali esso avviene attraverso reazioni di ossidazione complete che portano allo sviluppo di calore ed alla formazione di acqua e anidride carbonica. Nelle condizioni reali di funzionamento le reazioni di ossidazione che hanno luogo in un apparecchio alimentato a biomassa non sono complete e portano alla formazione di sostanze indesiderate. La biomassa inoltre non è costituita solo da carbonio, idrogeno e ossigeno, ma contiene piccole quantità di azoto, potassio, fosforo e zolfo più tracce di altri elementi che prendono parte alle reazioni di ossidazione e formano composti quali ossidi di azoto, ossidi di zolfo, etc..

Occorre inoltre sottolineare che gli apparecchi a biomassa funzionano nelle migliori condizioni solo con un determinato carico e con alte temperature del focolare. Queste condizioni si raggiungono a regime dopo un periodo di funzionamento più lungo rispetto a quello richiesto dai tradizionali combustibili liquidi o gassosi, variabile in funzione della tipologia e della taglia del generatore, dal tipo di combustibile, etc.

Nel caso di combustione incompleta di biomasse vergini si può avere la formazione di composti organici volatili non metanigeni (NMVOC), idrocarburi policiclici aromatici (IPA), carbonio organico totale (TOC), particolato, diossine e furani (PCDD/F), ammoniaca (NH₃) e ozono (O₃). A valle del processo di combustione si hanno anche ceneri (depositate sotto griglia o raccolte in altri punti dell'apparecchio). La combustione di biomassa è di per sé caratterizzata da emissioni piuttosto elevate di particolato; diversi studi a livello europeo hanno individuato nella combustione della biomassa legnosa una delle principali fonti di particolato in atmosfera (sia PM₁₀, PM_{2.5}, PM₁), come del resto evidenziato anche dalle prove di campionamento della qualità dell'aria effettuate con il presente progetto.

Molti degli apparecchi di piccola taglia per la combustione di biomassa presenti sul mercato nazionale sono promossi come impianti "sostenibili" o a "combustione pulita", in quanto è associata alla biomassa l'appellativo di energia rinnovabile e con contributo nullo (o quasi) al ciclo della CO₂, senza prestare la dovuta attenzione alla formazione di inquinanti, spesso maggiore rispetto alle fonti energetiche tradizionali quali il metano.

L'attuale normativa (DLgs 152/06 - Testo Unico Ambientale) riguardo all'autorizzazione alle emissioni non prevede la necessità di autorizzazione per impianti di combustione di potenza termica nominale inferiore a 1 MW alimentati a biomasse di cui all'Allegato X alla parte quinta del DLgs 152/06. Si ricorda che tale biomassa comprende materiale vegetale prodotto da coltivazioni dedicate, da interventi selvicolturali, da manutenzione forestale e da potatura, ecc..

Per quanto riguarda i valori limite di emissione gli impianti termici che utilizzano biomasse di cui all'Allegato X devono rispettare i seguenti limiti (riferiti ad un'ora di funzionamento dell'impianto nelle condizioni di esercizio più gravose, esclusi i periodi di avviamento, arresto e guasti), quando non previste norme regionali più restrittive:

Valori limite delle emissioni degli impianti alimentati a biomassa	
Potenza termica nominale dell'impianto	[*] $\geq 0,15 \text{ MW} \div < 1 \text{ MW}$
Polveri totali	100 mg/Nm ³
Carbonio organico totale (COT)	-
Monossido di carbonio (CO)	350 mg/Nm ³
Ossidi di azoto (espressi come NO ₂)	500 mg/Nm ³
Ossidi di zolfo (espressi come SO ₂)	200 mg/Nm ³
* Agli impianti di potenza termica nominale pari o superiore al valore soglia e non superiore a 0,15 MW si applica un valore limite di emissione per le polveri totali di 200 mg/Nm ³ .	

Ciò significa che per i normali impianti domestici sotto i 35 kW non ci sono limiti da rispettare.

Esistono però diverse **esperienze a livello UE** di applicazione di disposizioni a livello locale e regionale che limitano l'utilizzo degli apparecchi per il riscaldamento domestico alimentati a biomassa legnosa.

L'esperienza svizzera.

In Europa la Svizzera è tra le nazioni che da sempre promuove l'utilizzo delle biomasse ai fini energetici; basti pensare che dopo l'idroelettrico la biomassa, in particolare il legno, è la seconda fonte di energia rinnovabile. Secondo le stime dell'Ufficio federale dell'ambiente (anno 2006), i processi di combustione sono responsabili di circa il 44% del carico complessivo di PM₁₀. L'incidenza della legna da ardere è stimata all'8% del totale delle polveri fini, mentre un altro 7% è dovuto alla combustione all'aria aperta e alla combustione di rifiuti legnosi. I riscaldamenti a legna sono responsabili del 18% delle particelle emesse durante la combustione, mentre la combustione all'aria aperta incide per il 16 per cento. I riscaldamenti a legna e la combustione all'aria aperta producono complessivamente quasi tante emissioni di polveri fini quanto i motori diesel, che sono all'origine del 39 % delle particelle di combustione. La quantità di polveri fini emessa dai riscaldamenti a legna è di gran lunga superiore a quella prodotta complessivamente dai riscaldamenti a olio e a gas, anche se contribuiscono in misura minore alla produzione di calore. Se si considera il superamento dei valori limite validi per le polveri fini, l'incidenza dei riscaldamenti a legna è accentuata ancor di più dal fatto che questi impianti sono in funzione durante i periodi freddi, già critici a causa delle polveri fini, e che le emissioni interessano le zone urbanizzate. La quota parte dei riscaldamenti a legna calcolata sull'inquinamento da polveri fini può dunque essere ancora più importante localmente in inverno che come media annuale svizzera.

In virtù di questa situazione la Svizzera è tra le nazioni più attive e all'avanguardia in merito alle normative sulla qualità dell'aria, sulla certificazione delle caldaie e sui combustibili, sui limiti di emissioni da biomasse e le tecnologie di sfruttamento energetico.

Progressivamente sono state introdotte negli ultimi anni una serie di norme sempre più restrittive, fino a prevedere interventi anche per i combustori domestici a legna.

Il 4 luglio 2007 il Consiglio federale ha approvato la revisione dell'Ordinanza contro l'inquinamento atmosferico (OIA), che prevede per impianti a legna con potenza inferiore a 70 kW

Dal 1.1.2008 i riscaldamenti a legna prodotti in serie possono essere messi in funzione soltanto se dispongono di una dichiarazione di conformità: i fabbricanti, gli importatori e i rivenditori garantiscono con la loro firma che il prodotto in questione è stato testato secondo le norme EN in vigore da un laboratorio di misura accreditato e in aggiunta che i risultati delle misurazioni rispettano i valori limite in vigore per quanto riguarda le emissioni.

Per prodotti realizzati in modo artigianale e/o personalizzati sul posto, non è richiesta la dichiarazione di conformità, ma devono per contro:

- essere concepiti, dimensionati e realizzati tramite il programma di calcolo della VHP (risp. programma equivalente),
- oppure essere dotati di sistema di separazione delle polveri che assicuri un abbattimento delle stesse di almeno il 60% (filtri antiparticolato)
- oppure dimostrare il rispetto delle prescrizioni tramite misurazioni effettuate sul posto alla messa in servizio

A **livello nazionale** un esempio di approccio alla problematica delle emissioni da caldaie domestiche alimentate a legna è fornito dall'accordo per la prevenzione e la riduzione dell'inquinamento atmosferico stipulato nel 2007 dalle regioni Lombardia, Emilia Romagna, Veneto, Piemonte, le Province Autonome di Trento e Bolzano ed il Ticino, il cantone svizzero di lingua italiana. L'ambito territoriale dell'accordo, presenta caratteristiche geografiche, climatiche, demografiche ed economiche simili.

In tutti i territori coinvolti, le emissioni di inquinanti (in particolare polveri fini ed ozono) sono spesso ben oltre la soglia di allarme per la salute umana.

A tal fine è stato costituito un Tavolo Tecnico Interregionale permanente del bacino padano nell'ambito del quale sono stati individuati tre Tavoli specialistici per la definizione di provvedimenti e misure congiunte riguardanti:

1. trasporti e mobilità;
2. emissioni da sorgenti stazionarie, a partire dagli impianti termici civili a biomasse;
3. modellistica e monitoraggio della qualità dell'aria;

Tra gli elementi e le azioni di natura tecnico-organizzativa sui quali orientare l'azione coordinata e sinergica degli Enti firmatari è posta la necessità di definire ed adottare forme di regolamentazione per l'utilizzo dei combustibili, incluse le biomasse lignee per riscaldamento, per le quali si intende richiedere la diffusione di soluzioni tecnologiche migliorative.

Nello specifico è previsto di adottare congiuntamente le seguenti misure riguardo alle caldaie a biomassa:

- attuazione di una campagna informativa sui vantaggi e sulle problematiche legate alla combustione della legna da ardere e delle biomasse, indirizzandone, ove opportuno, l'utilizzo in impianti di taglia media (1-20 MWt) a servizio di reti di teleriscaldamento;
- definizione congiunta di limiti di emissione più restrittivi di quelli previsti dalla normativa nazionale per la combustione della legna e delle biomasse ;
- introduzione progressiva sul territorio di competenza degli Enti firmatari dell'obbligatorietà della certificazione dei nuovi impianti a legna e biomasse con potenza termica <35 kW, nonché delle stufe e dei caminetti alimentati a legna e biomasse;

Tra le prime azioni si individuano:

- introdurre nelle zone ritenute più critiche per la qualità dell'aria limitazioni alla combustione della legna da ardere e delle biomasse, in tutti i casi in cui siano disponibili per il riscaldamento altre fonti energetiche che possano soddisfare totalmente il fabbisogno termico necessario (gas naturale, GPL, gasolio, ecc.), ad esclusione di apparecchi che rispondano a requisiti di alta qualità energetica ed emissiva;
- promuovere una campagna di incentivazione alla rottamazione dei veicoli più inquinanti e di sostituzione dei vecchi impianti di riscaldamento civile nonché di stufe a legna;
- promuovere una campagna di comunicazione congiunta sulle misure adottate, volta anche ad incentivare e diffondere comportamenti virtuosi per il contenimento delle emissioni.

Gli interventi della Lombardia

Nella Regione Lombardia a seguito dell'accordo è stato emanato un divieto di utilizzo di biomasse legnose (nel caso negli edifici siano presenti altri impianti alimentati con combustibili ammessi) per il riscaldamento domestico nelle Zone classificate come A1 (i Comuni del territorio lombardo la cui quota altimetrica, definita da ISTAT, risulti uguale o inferiore a 300 metri sopra il livello del mare) del territorio regionale, che significa 210 comuni pari al 12,6% del territorio regionale; il divieto riguarda l'utilizzo di biomassa legnosa nei seguenti apparecchi:

- camini aperti;
- camini chiusi, stufe e qualunque altro tipo di apparecchio domestico alimentato a biomassa legnosa, acquistati prima del 1990, laddove non sia dimostrato che tali apparecchi posseggono i requisiti specificati al punto successivo
- camini chiusi, stufe e qualunque altro tipo di apparecchio domestico alimentato a biomassa legnosa, acquistati dopo il 1990, che non garantiscano un rendimento energetico maggiore o uguale al 63% e basse emissioni di monossido di carbonio (CO).

Gli interventi del Piemonte

Nell'ambito dell'aggiornamento del Piano regionale per il risanamento e la tutela della qualità dell'aria, il Consiglio Regionale nella seduta dell'11 gennaio 2007 ha approvato il Piano per il riscaldamento ambientale e il condizionamento, che prevede per i generatori di calore alimentati a legna da ardere o a biomassa solida da installarsi in edifici di nuova costruzione o in edifici esistenti, delle prescrizioni per gli interventi in zona di piano, oppure per gli interventi in zona di mantenimento:

Allegato 2 PUNTO A): REQUISITI MINIMI PER GENERATORI DI CALORE ALIMENTATI A BIOMASSA SOLIDA INSTALLATI IN ZONA DI PIANO

Potenza termica nominale complessiva	Rendimento in condizioni nominali	Polveri totali (valori medi orari mg/Nm ³ 11% O ₂ fumi secchi)	Tecnologie di contenimento (esempio)	NO _x (valori medi orari - mg/Nm ³ 11% O ₂ fumi secchi)	Tecnologie di contenimento (esempio)
35 ≤ Pn (kWt) ≤ 3000	35 ≤ Pn (kWt) ≤ 300 η ≥ 67+6log(Pn) 300 < Pn (kWt) ≤ 3000 η ≥ 82%	30	Filtro a tessuto o Precipitatore Elettrostatico	400	Tecnologie primarie per la riduzione degli NO _x (1)
3000 < Pn (kWt) ≤ 6000	η ≥ 82%	30	Filtro a tessuto o Precipitatore Elettrostatico	300	Tecnologie primarie per la riduzione degli NO _x (1)
6000 < Pn (kWt) ≤ 20000	η ≥ 82%	30 10(*)	Filtro a tessuto o Precipitatore Elettrostatico	400 200 (*)	Tecnologie primarie e/o secondarie per la riduzione degli NO _x (2)

(*) Valori medi giornalieri

(1) ad esempio: combustione a stadi, controllo automatico del rapporto aria/combustibile, ricircolo dei fumi di combustione, ecc.

(2) ad esempio: combustione a stadi, controllo automatico del rapporto aria/combustibile, ricircolo dei fumi di combustione, SNCR (Riduzione Selettiva Non Catalitica), SCR (Riduzione Catalitica Selettiva), ecc.

Gli impianti con Pn ≥ 35 kW, ad esclusione di quelli alimentati con pellets, devono essere dotati di un sistema di accumulo termico avente un volume pari ad almeno 12 dm³/kW, ma comunque non inferiore a 500 dm³. Eventuali difficoltà a rispettare tale condizione devono essere adeguatamente giustificate dal punto di vista tecnico.

Per potenze oltre i 20 MWt, nonché per quanto non indicato nella tabella sopra riportata, si rimanda a quanto previsto nel punto 1.1 del paragrafo 1 della Parte III dell'Allegato 1 alla parte quinta del d.lgs. 152/2006.

Le stufe e i camini, dotati o meno di sistema di distribuzione del calore generato, e gli impianti con potenzialità < 35 kWt devono essere conformi alle norme di prodotto vigenti.

ALLEGATO 2 PUNTO B): REQUISITI MINIMI PER GENERATORI DI CALORE ALIMENTATI A BIOMASSA SOLIDA INSTALLATI IN ZONA DI MANTENIMENTO

Potenza termica nominale complessiva	Rendimento in condizioni nominali	Polveri totali (valori medi orari mg/Nm ³ 11% O ₂ fumi secchi)	Tecnologie di contenimento (esempio)	NO _x (valori medi orari mg/Nm ³ 11% O ₂ fumi secchi)	Tecnologie di contenimento (esempio)
35 ≤ Pn (kWt) ≤ 500	35 ≤ Pn (kWt) ≤ 300 η ≥ 67+6log(Pn) 300 < Pn (kWt) ≤ 500 η ≥ 82%	50	Multiciclone	400	Tecnologie primarie per la riduzione degli NO _x (1)
500 < Pn (kWt) ≤ 3000	η ≥ 82%	50 30 (3)	Multiciclone, Filtro a tessuto o Precipitatore Elettrostatico	400	Tecnologie primarie per la riduzione degli NO _x (1)
3000 < Pn (kWt) ≤ 6000	η ≥ 82%	30	Filtro a tessuto o Precipitatore Elettrostatico	300	Tecnologie primarie per la riduzione degli NO _x (1)
6000 < Pn (kWt) ≤ 20000	η ≥ 82%	30 10 (*)	Filtro a tessuto o Precipitatore Elettrostatico	400 200 (*)	Tecnologie primarie e/o secondarie per la riduzione degli NO _x (2)

(*) Valori medi giornalieri

(1) ad esempio: combustione a stadi, controllo automatico del rapporto aria/combustibile, ricircolo dei fumi di combustione, ecc.

(2) ad esempio: combustione a stadi, controllo automatico del rapporto aria/combustibile, ricircolo dei fumi di combustione, SNCR (Riduzione Selettiva Non Catalitica), SCR (Riduzione Catalitica Selettiva), ecc.

(3) Valore limite di emissione da considerarsi requisito minimo nel caso di impianti finanziati, anche solo parzialmente, da Enti pubblici.

Gli impianti con Pn ≥ 35 kW, ad esclusione di quelli alimentati con pellets, devono essere dotati di un sistema di accumulo termico avente un volume pari ad almeno 12 dm³/kW, ma comunque non inferiore a 500 dm³. Eventuali difficoltà a rispettare tale condizione devono essere adeguatamente giustificate dal punto di vista tecnico.

Per potenze oltre i 20 MWt, nonché per quanto non indicato nella tabella sopra riportata, si rimanda a quanto previsto nel punto 1.1 del paragrafo 1 della Parte III dell'Allegato 1 alla parte quinta del d.lgs. 152/2006.

Le stufe e i camini, dotati o meno di sistema di distribuzione del calore generato, e gli impianti con potenzialità < 35 kWt devono essere conformi alle norme di prodotto vigenti.

Per concludere si illustra il **caso della Provincia Autonoma di Trento**, che finanzia l'acquisto e l'installazione di **filtri antiparticolato** sugli impianti termici civili a biomassa legnosa secondo i criteri stabiliti in appositi bandi annuali, a partire dall'anno 2008.

Sono ammesse a contributo le installazioni su tutti gli impianti termici civili a biomassa legnosa (legna in ciocchi, bricchette, pellet, cippato,...), appartenenti a soggetti privati, con potenza inferiore ai 50Kw, ovvero stufe tradizionali, stufe a combustione controllata, caminetti aperti, caminetti chiusi, cucine economiche, caldaie/boiler. Si intendono compresi tra gli impianti termici civili anche i forni a biomassa legnosa degli esercizi di ristorazione: anche per questa tipologia la potenza ammessa ai fini del finanziamento deve essere inferiore ai 50 kW.

I destinatari del contributo devono essere proprietari o titolari di un diritto reale di godimento (uso, usufrutto, abitazione) su beni immobili situati sul territorio della Provincia Autonoma di Trento; possono richiedere il finanziamento i seguenti soggetti:

- i soggetti privati (persone fisiche che non svolgono attività di impresa);
- le imprese (persone fisiche o giuridiche che svolgono attività economica e che chiedono il contributo per interventi connessi all'attività d'impresa). Le imprese possono usufruire dei contributi nel rispetto della regola del "de minimis" di cui al Regolamento CE n. 1998/2006 della Commissione del 15 dicembre 2006, pubblicato sulla Gazzetta ufficiale dell'Unione europea n. L379/5 del 28/12/2006.

L'importo massimo del contributo per l'acquisto del dispositivo è pari a:

- per i soggetti privati e le imprese che non si avvalgono della detrazione dell'Iva: Euro 1.050,00 (IVA inclusa);
- per le imprese che si avvalgono della detrazione dell'Iva: Euro 960,00 (IVA esclusa).

Per le opere di installazione è previsto un contributo del 70% della spesa sostenuta con dei limiti fissati in funzione della tipologia di intervento (si vedano le specifiche riportate all'art. 4, comma 1, lettera b, del bando).

L'Agenzia Provinciale per la Protezione Ambiente ha definito le seguenti tecnologie riconosciute ai fini del bando per la concessione di contributi per installazione di dispositivi antiparticolato sugli impianti termici civili a biomassa legnosa (Deliberazione di Giunta provinciale n. 2545 di data 10 ottobre 2008):

- Elettrofiltro Zumik®on-Celsius: il dispositivo viene installato all'interno della canna fumaria; rimangono in vista una mascherina per il controllo del funzionamento e la ventola del dispositivo. Le modalità di intervento si diversificano in funzione della configurazione stessa della canna fumaria e del modo in cui l'impianto è ad essa collegato. Il dispositivo può essere installato in qualsiasi punto tra la stufa e il camino, eventualmente anche nei sottotetti. Si rende comunque necessario un collegamento ad una presa elettrica.
- Elettrofiltro OekoTube: il dispositivo viene montato all'estremità del camino. Nei camini in acciaio l'installazione avviene appena sotto il comignolo, mentre per i camini in muratura è necessario aggiungere in cima al camino un tubo d'acciaio, innalzandolo di circa mezzo metro. In ogni caso è necessaria una presa per il collegamento elettrico vicino all'installazione.

Un intervento simile è stato promosso in **Germania**, su tutto il territorio nazionale, dall'Ufficio federale per l'economia e il controllo delle esportazioni (BAFA), autorità superiore federale subordinata al Ministero Federale dell'Economia e della Tecnologia (BMWV). Un finanziamento di 500€ è previsto per l'installazione di filtri antiparticolato in impianti per la combustione di biomassa solida ardere fino al 100 kW potenza termica nominale.

3.4 Considerazioni conclusive

Lo sfruttamento energetico delle biomasse è oramai una priorità a livello UE e gli stati membri hanno recepito a vario livello le politiche di promozione e incentivazione, sia per grandi impianti che per le piccole utenze.

Se da un lato la biomassa è da considerarsi un'energia rinnovabile occorre prestare maggiore attenzione, a livello nazionale e regionale (come del resto oramai percepito da diverse regioni italiane soprattutto del centro – nord), al controllo delle emissioni nocive, in particolare il particolato. Ciò significa definire meglio gli standards della qualità del combustibile, le tecnologie di ottimizzazione della combustione (soprattutto per i piccoli – medi impianti), l'opportunità di integrazione con altre fonti rinnovabili, i possibili sistemi di abbattimento (ormai consolidati per i grandi impianti), ed orientare i finanziamenti verso le soluzioni che maggiormente possano risultare efficaci.

La successiva figura, tratta dalla rivista Sherwood (n. 133 maggio 2007) mostra come l'evoluzione tecnologia negli ultimi decenni abbia migliorato i rendimenti degli impianti per la combustione a biomassa riducendone le emissioni. Ciò nonostante le emissioni di particolato rimangono ancora elevate, se confrontate con altre tipologie di combustibile.

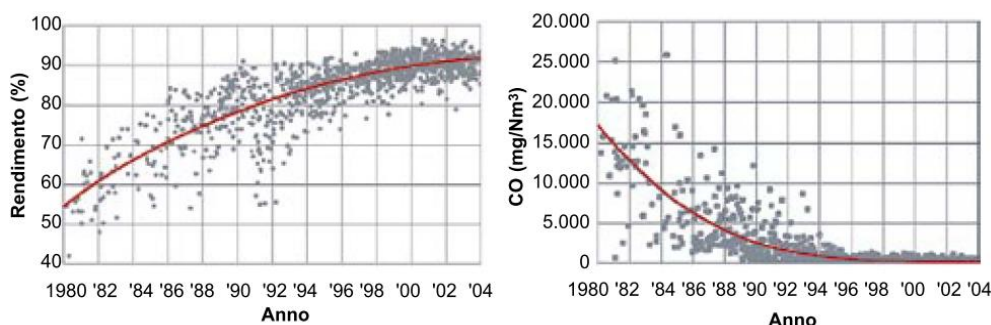


Grafico 1 - Andamento del rendimento % degli apparecchi (a sinistra) e delle emissioni di CO rilevate dal BLT di Wieselburg dal 1980 al 2004.

Risulta chiaro come attraverso un'ottimizzazione della combustione (che si ottiene principalmente migliorando il rapporto e la distribuzione di aria e combustibile, garantendo un adeguato tempo di permanenza in camera di combustione e controllando la temperatura), una corretta progettazione dell'impianto, l'utilizzo di biomassa idonea e una corretta gestione e manutenzione degli impianti sia possibile avere buoni rendimenti ed emissioni più contenute.

Nel caso di caldaie è preferibile utilizzare un opportuno accumulatore di acqua calda collegato direttamente alla mandata della caldaia tramite un'apposita pompa; ciò consente alla caldaia di funzionare in modo regolare, evitando interruzioni dovute a insufficiente richiesta di energia da parte dell'impianto di riscaldamento.

Riguardo alla tipologia del combustibile occorre valutare attentamente il diverso comportamento dello spaccato di legna e cippato rispetto al pellet: quest'ultimo presenta sicuramente una maggiore resa energetica ma anche minori emissioni d'inquinanti, grazie anche al minor contenuto di umidità, e si presta come possibile soluzione soprattutto per i dispositivi di piccola taglia.

Un'altra via da percorrere è l'evoluzione tecnologica sui sistemi innovativi di abbattimento delle polveri recentemente introdotte in Europa e che alcune province italiane stanno testando. Riguardo al loro comportamento "sul campo" occorrono maggiori informazioni, come del resto emerso anche dalla presente attività.

Allegato 1: parametri rilevati campionamento Azienda Foglietta

giorno	meteo			cariche legna						Temperatura esterna (°C)			Temperatura interna (°C)			combinazione
	pioggia	ventosità	neve	1° (kg)	ora:	2° (kg)	ora:	3° (kg)	ora:	mattino	pomeriggio	sera	mattino	pomeriggio	sera	
09/11/2009	X			44	8.00	42	14.00	50	19.00	5	14	11	11	14	18	con solare
10/11/2009				46	8.00	40	13.00	55	18.00	5	13	12	16	19	19	con solare
11/11/2009				50	7.30	35	12.30	30	19.00	6	13	10	16	18,5	19	con solare
12/11/2009		X		55	8.00	40	13.00	40	17.30	5	14	9	17	18	19	con solare
13/11/2009				50	8.30	40	12.00	40	19.00	6	12	10	16	18	18	con solare
14/11/2009				50	7.30	35	13.00	40	18.30	7	15	8	15	19	20	con solare
15/11/2009				45	8.00	50	12.30	45	19.30	5	16	12	17	20	19	senza solare
16/11/2009				55	8.30	40	12.00	45	18.00	7	15	13	14	19	19,5	senza solare
17/11/2009				50	7.30	45	12.30	50	19.00	9	16	15	15	20	19	senza solare
18/11/2009		X		55	8.30	50	13.00	45	18.30	10	18	13	17	18	18	senza solare
19/11/2009		X		48	8.00	40	12.00	50	19.30	11	19	13	15	20	19	senza solare
20/11/2009				45	7.30	45	13.00	55	19.00	12	20	15	16	19	18,5	senza solare
21/11/2009				55	8.00	35	12.30	40	19.00	4	15	13	16	18	20	con solare
22/11/2009				50	7.30	40	13.00	45	20.00	5	16	14	15	19	19	con solare
23/11/2009				55	8.00	30	12.00	40	19.30	5	15	13	16	18	20	con solare
24/11/2009				55	7.30	40	13.00	45	20.00	5	15	15	16	18	20	con solare
25/11/2009				50	8.00	35	12.00	45	19.00	4	14	14	17	19	19	con solare
26/11/2009				55	8.00	35	12.30	40	19.30	6	16	14	16	19	20	con solare
27/11/2009				50	7.30	45	13.00	50	20.00	6	17	14	15	19	20	senza solare
28/11/2009	X			55	8.00	45	12.00	45	19.00	4	13	12	17	20	20	senza solare
29/11/2009				50	7.30	45	12.30	55	19.30	6	14	10	16	19	19	senza solare
30/11/2009				55	8.00	45	12.00	50	18.30	6	14	10	16	19	20	senza solare
01/12/2009				55	8.00	45	12.00	50	19.00	5	12	10	17	20	20	senza solare
02/12/2009		X		55	7.30	45	12.30	50	20.00	5	12	9	16	20	20	senza solare
03/12/2009	X			45	9.00	40	12.30	49	19.00	4	11	9	16	19	20	con solare
04/12/2009	X			43	8.00	39	12.00	50	19.30	3	11	8	16	20	20	con solare
05/12/2009	X			45	8.30	35	13.00	45	19.30	3	10	8	16	18	19	con solare
06/12/2009				45	8.00	37	12.00	44	20.30	4	11	8	16	18	19	con solare
07/12/2009				38	7.00	40	13.30	48	20.00	4	10	7	16	17	19	con solare
08/12/2009				40	8.00	40	14.00	45	19.00	2	9	7	16	20	20	con solare
09/12/2009				55	8.30	45	12.00	50	18.00	5	12	11	17	20	20	senza solare
10/12/2009				55	8.00	45	12.00	50	19.00	5	12	11	17	20	20	senza solare
11/12/2009	X			55	8.00	45	12.00	50	19.00	4	10	8	17	20	21	senza solare
12/12/2009	X	X		56	9.00	45	12.00	52	20.00	4	10	8	16	20	21	senza solare
13/12/2009	X	X		55	8.00	43	12.30	50	19.00	2	8	6	16	19	20	senza solare

giorno	meteo			cariche legna						Temperatura esterna (°C)			Temperatura interna (°C)			combinazione
	pioggia	ventosità	neve	1° (kg)	ora:	2° (kg)	ora:	3° (kg)	ora:	mattino	pomeriggio	sera	mattino	pomeriggio	sera	
14/12/2009				58	8.30	45	12.00	49	19.30	2	8	5	16	19	20	senza solare
15/12/2009				45	8.00	45	13.00	50	19.00	1	5	1	15	18	20	con solare
16/12/2009	X		X	40	8.00	42	12.00	43	19.00	0	4	0	15	18	20	con solare
17/12/2009			X	46	8.00	39	12.00	46	19.00	-2	0	-1	14	18	20	con solare
18/12/2009	X	X	X	48	8.00	38	12.00	45	19.00	-2	1	-1	13	16	18	con solare
19/12/2009			X	43	8.00	40	12.00	44	19.00	-1	0	1	13	16	18	con solare
20/12/2009		X		45	8.00	40	12.00	48	19.00	0	2	1	14	16	18	con solare
14/01/2010		X		55	8.00	40	12.00	45	19.00	2	7	3	14	19	20	senza solare
15/01/2010				55	8.00	45	12.00	53	19.00	3	5	4	14	19	20	senza solare
16/01/2010				49	7.30	42	13.00	46	20.00	3	4	3	13	18	20	senza solare
17/01/2010				56	7.30	45	13.00	50	19.00	3	5	2	14	18	19	senza solare
18/01/2010				52	8.00	46	12.00	53	19.00	4	5	4	14	18	19	senza solare
19/01/2010				50	8.00	45	12.00	43	19.00	2	2	2	14	18	19	senza solare
20/01/2010				45	8.00	40	12.00	46	20.00	2	3	2	14	18	20	con solare
21/01/2010				44	8.00	42	12.00	46	19.00	-2	4	1	14	18	19	con solare
22/01/2010	X			45	8.00	41	13.00	46	20.00	-2	4	1	13	18	19	con solare
23/01/2010				45	9.00	38	12.00	47	20.00	-3	5	1	13	18	20	con solare
24/01/2010				46	9.00	40	13.30	46	20.30	-4	3	2	13	18	20	con solare
25/01/2010				48	8.00	40	12.00	43	19.30	-2	2	1	13	17	18	con solare
26/01/2010				55	8.30	45	12.30	50	19.00	0	3	1	13	18	20	senza solare
27/01/2010			X	56	8.00	45	12.00	52	19.00	0	3	0	14	18	20	senza solare
28/01/2010				55	8.00	46	13.00	52	20.00	-1	0	-1	14	18	20	senza solare
29/01/2010				55	8.30	44	13.30	54	18.00	-2	0	-1	13	17	18	senza solare
30/01/2010				57	8.00	44	12.00	51	19.00	-1	0	-1	12	16	18	senza solare
31/01/2010				56	8.00	45	12.00	57	19.00	-1	0	-1	12	17	18	senza solare
01/02/2010				50	8.00	40	12.30	44	20.00	-2	4	1	14	18	19	con solare
02/02/2010				44	8.00	42	12.00	44	20.00	-2	4	1	13	18	19	con solare
03/02/2010				49	9.00	39	13.00	43	19.30	-3	5	1	13	18	20	con solare
04/02/2010				46	9.00	40	12.00	48	19.30	0	8	4	14	19	20	con solare
05/02/2010	X	X		47	8.30	41	13.00	46	19.00	0	8	5	13	19	20	con solare
06/02/2010		X		46	8.00	41	12.00	46	19.00	0	3	1	13	17	19	con solare
07/02/2010				54	8.00	45	12.00	51	19.00	0	3	0	14	18	20	senza solare
08/02/2010				55	8.00	45	12.00	51	19.00	0	4	2	14	18	19	senza solare
09/02/2010				50	8.00	44	12.00	50	19.00	-2	3	-1	13	17	20	senza solare
10/02/2010				55	8.00	45	12.00	50	19.00	-1	3	-1	12	17	20	senza solare
11/02/2010				46	8.00	40	12.00	43	19.00	0	4	1	14	17	19	senza solare
12/02/2010			X	47	8.30	40	12.30	46	20.00	0	4	1	14	17	19	senza solare
13/02/2010			X	44	8.00	39	13.00	46	20.00	0	3	2	14	18	20	con solare
14/02/2010				44	8.00	39	13.00	45	20.00	2	8	4	15	19	20	con solare

giorno	meteo			cariche legna					Temperatura esterna (°C)			Temperatura interna (°C)			combinazione	
	pioggia	ventosità	neve	1° (kg)	ora:	2° (kg)	ora:	3° (kg)	ora:	mattino	pomeriggio	sera	mattino	pomeriggio		sera
15/02/2010				40	8.20	38	13.15	39	19.30	0	8	5	15	19	19	con solare
16/02/2010				42	8.30	40	12.00	38	19.00	2	5	3	16	18	19	con solare
17/02/2010	X			45	7.45	38	12.00	40	19.00	2	7	6	15	17	20	con solare
18/02/2010				45	7.50	38	12.00	38	19.00	3	8	3	16	18	21	con solare
19/02/2010				42	7.40	39	12.00	37	19.00	3	9	2	16	18	20	con solare
20/02/2010				45	8.00	40	12.00	41	19.00	4	10	5	16	18	19	senza solare
21/02/2010	x			46	8.00	40	12.00	43	19.00	5	11	7	14	17	19	senza solare
22/02/2010				47	8.30	40	12.30	46	20.00	5	12	7	14	17	19	senza solare
23/02/2010				44	8.00	39	13.00	46	20.00	6	13	8	14	18	20	senza solare
24/02/2010	x			44	8.00	39	13.00	45	20.00	5	11	7	15	19	19	senza solare
25/02/2010				40	8.20	48	13.15	45	19.30	4	11	6	15	19	19	senza solare
26/02/2010	x			42	8.30	45	12.00	38	19.00	5	12	8	16	18	19	senza solare
27/02/2010				45	7.45	38	12.00	40	19.00	4	12	7	15	17	20	senza solare
28/02/2010				42	7.50	39	12.00	38	19.00	5	12	8	16	18	20	con solare
01/03/2010				41	8.00	38	12.00	37	19.00	5	11	8	14	17	19	con solare
02/03/2010				42	8.30	39	12.30	36	20.00	5	10	7	14	17	19	con solare
03/03/2010	x			40	8.00	37	13.00	38	20.00	4	11	8	14	18	20	con solare
04/03/2010	x	x		42	8.00	37	13.00	37	20.00	4	9	7	15	19	20	con solare
05/03/2010			x	42	8.20	38	13.15	38	19.30	0	5	1	15	19	19	con solare
06/03/2010		x		40	8.30	39	12.00	36	19.00	0	4	0	16	18	19	con solare
07/03/2010				44	7.45	39	12.00	40	19.00	1	4	2	15	17	20	senza solare
08/03/2010				45	7.50	40	12.00	41	19.00	1	3	2	16	18	21	senza solare
09/03/2010				42	7.40	45	12.00	39	19.00	0	2	1	16	18	20	senza solare
10/03/2010			x	45	8.00	41	12.00	42	19.00	0	3	2	16	18	19	senza solare
11/03/2010			x	46	8.00	40	12.00	43	19.00	1	5	3	14	17	19	senza solare
12/03/2010			x	47	8.30	40	12.30	46	20.00	1	4	3	14	17	19	senza solare
13/03/2010			x	44	8.00	39	13.00	46	20.00	0	3	1	14	18	20	senza solare
14/03/2010				44	8.00	39	13.00	38	20.00	1	4	2	15	19	20	con solare
15/03/2010				39	8.20	38	13.15	35	19.30	7	16	12	15	19	19	con solare
16/03/2010	x			40	8.30	38	12.00	38	19.00	6	14	11	16	18	19	con solare
17/03/2010				39	7.45	39	12.00	36	19.00	8	15	13	15	17	20	con solare
18/03/2010				40	7.50	38	12.00	38	19.00	7	14	12	16	18	21	con solare
19/03/2010				39	7.40	37	12.00	36	19.00	8	14	11	16	18	20	con solare
20/03/2010				40	8.00	38	12.00	35	19.00	7	15	11	16	18	19	con solare

Allegato 2: parametri rilevati campionamento Azienda Colle Baeto

Dati rilevati con filtro antiparticolato applicato:

Giorno	Ora	PM-10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM-2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM-1.0 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	T ($^{\circ}\text{C}$)	rH (%)	P (hPa)	Ws (m/s)	W dir. (degr.)
13/02/10	17.05	40,6	22,5	21,3	3,9	64,7	956,6	1,4	219,3
	18.05	26,8	22,1	21,1	3	68,9	958,3	1,6	206,7
	19.05	22,8	22,2	21,7	2,6	71,8	960,1	2	201
	20.05	20,9	20,3	19,9	1,9	75	960,1	1,3	210,9
	21.05	22,3	21,3	20,7	1,2	76,3	960,1	0,9	198,2
	22.05	21,4	20,7	20,2	-0,4	80,9	961,8	0,9	182,8
	23.05	21,1	20,6	20,2	-0,8	83,1	961,8	0,6	168,7
	Media	25,1	21,4	20,7	1,6	74,4	959,8	1,2	
14/02/10	0.05	22,2	19,6	19,1	-1	83,9	961,8	0,7	172,9
	1.05	17,9	17,4	17	-1,4	83,9	961,8	0,8	174,3
	2.05	18	17,5	17,2	-1	82,1	960,1	0,6	185,6
	3.05	16	15,6	15,3	-1	80,1	960,1	0,6	189,8
	4.05	16	15,6	15,2	-1,8	83,1	960,1	0,6	177,1
	5.05	15	14,7	14,4	-2,4	84,3	960,1	0,5	181,4
	6.05	17,1	16,7	16,3	-1,7	82,9	960,1	0,4	202,5
	7.05	19,6	17,6	17	-1,1	81,6	958,3	0,1	189,8
	8.05	20,1	18,7	18,2	-1,1	82,4	960,1	0,1	233,4
	9.05	21,3	20,7	20,2	1,1	74,7	960,1	0,3	203,9
	10.05	23,3	21,5	20,8	6,6	59,5	960,1	0,3	282,6
	11.05	23,4	22,3	21,6	9	53,9	960,1	1,2	7
	12.05	22,8	21,6	20,8	8,8	56,1	960,1	1,3	7
	13.05	22	20,7	19,9	9,4	53,4	960,1	0,8	352,9
	14.05	22,1	19	18,1	7,8	59,1	958,3	1	30,9
15.05	17,5	15,1	14,1	5,9	69,7	958,3	0,8	68,9	
16.05	20,2	15,6	14,5	5,6	72,8	958,3	0,9	345,9	
17.05	19,8	18,8	18,1	4,8	75,6	958,3	0,9	326,2	

Giorno	Ora	PM-10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM-2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM-1.0 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	T ($^{\circ}\text{C}$)	rH (%)	P (hPa)	Ws (m/s)	W dir. (degr.)
	18.05	21,4	20,4	19,7	4	80	958,3	1,2	192,6
	19.05	21,6	21,2	20,7	3,5	82,9	958,3	1,7	210,9
	20.05	20,9	20,4	20	2,8	88,2	958,3	1,4	198,2
	21.05	23,9	22	21,6	2,6	89,5	958,3	1,6	216,5
	22.05	22,4	22,2	21,9	2,2	89,3	956,6	2,3	219,3
	23.05	18	17,5	17	2,3	87,5	956,6	1,2	199,6
	Media	20,1	18,9	18,3	2,7	76,5	959,3	0,9	
15/02/10	0.05	18,6	18,1	17,5	2,3	87,8	956,6	2	216,5
	1.05	18,1	17,5	17	2	89	956,6	1,6	210,9
	2.05	18,4	17,8	17,3	1,9	87,6	956,6	1,3	209,5
	3.05	17,1	16,5	16	1,9	85,4	956,6	1,3	210,9
	4.05	16,9	16,5	16	1,4	84,3	954,9	1,9	222,1
	5.05	14,4	13,8	13,2	1,3	84,1	956,6	1,4	215,1
	6.05	15,7	15	14,3	0,7	88,2	956,6	1,1	215,1
	7.05	16,5	15,7	15	0,6	89,5	956,6	1	219,3
	8.05	17,9	17,1	16,4	0,5	90,6	956,6	1,3	222,1
	9.05	18,4	17,3	16,5	1,2	87,2	956,6	1,2	219,3
	10.05	20,2	18,3	17,4	3,8	76,8	958,3	0,3	227,8
	11.05	20	18,5	17,6	7,3	60,8	960,1	0,7	219,3
	12.05	18,8	17,8	16,9	6,7	60,9	960,1	0,6	225
	13.05	19	17,8	16,9	8,7	54	960,1	0,6	306,5
	14.05	19,7	18,3	17,4	9,1	53,7	960,1	0,7	7
	15.05	24,1	21,1	19,8	7,3	59,7	960,1	0,8	14,1
	16.05	32,2	27	25,2	5,5	68,8	958,3	1	35,2
	17.05	32,5	27,6	25,6	4,7	72,4	960,1	0,9	33,8
18.05	34,3	30	27,8	3,2	81,3	960,1	1,1	29,5	
19.05	31,1	28,2	26,3	2,7	82,9	960,1	1,2	28,1	
20.05	28,5	25,9	24,2	2,7	82,3	960,1	1,1	18,3	
21.05	27,2	25,1	23,5	2,7	82,3	960,1	1	21,1	
22.05	28,5	25,9	24,3	2,7	84,1	960,1	0,4	0	

Giorno	Ora	PM-10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM-2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM-1.0 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	T ($^{\circ}\text{C}$)	rH (%)	P (hPa)	Ws (m/s)	W dir. (degr.)
	23.05	32,4	26,7	24,5	2,9	85,9	960,1	0,2	241,8
	Media	22,5	20,6	19,4	3,5	78,3	958,4	1,0	
16/02/10	0.05	27,9	25,6	24	2,4	87,3	960,1	0,1	205,3
	1.05	28,1	25,1	23,4	2,6	88,3	960,1	0,1	223,5
	2.05	22,7	21,1	19,9	2,5	89,2	960,1	0,2	220,7
	3.05	15,9	15,2	14,4	2,5	89,9	960,1	0,6	181,4
	4.05	17,9	17,2	16,6	2,1	90,3	960,1	0,5	215,1
	5.05	20,2	18,4	17,6	2,7	87,6	960,1	0,6	196,8
	6.05	15,8	15,1	14,5	3	86,3	960,1	0,6	195,4
	7.05	14,7	13,5	12,7	3,4	84,3	958,3	0,6	180
	8.05	18,3	15,4	14,4	3,5	84,1	958,3	0,2	168,7
	9.05	23,1	22	21,2	4,3	83,1	960,1	0,1	320,6
	10.05	20,9	20,2	19,4	5,5	79	960,1	0,4	355,7
	11.05	18,1	17,6	16,9	7,4	70,4	960,1	0,9	21,1
	12.05	17	15,9	15,2	9,9	61,3	960,1	1	16,9
	13.05	17,4	16,2	15,4	9,3	63,3	958,3	0,9	5,6
	14.05	22,3	20,4	18,9	7,2	76	958,3	1,4	43,6
	15.05	26,5	24,7	23,2	5	86,9	956,6	1,7	53,4
	16.05	23,5	22,3	21	4,1	88,2	956,6	1,8	50,6
	17.05	18,2	16,9	15,8	4	87,2	956,6	0,9	4,2
	18.05	16,3	15,5	14,6	3,6	89,9	956,6	1,2	28,1
	19.05	17,3	16,9	16,2	3,6	92,2	956,6	1,6	29,5
20.05	15,6	15,2	14,6	4	92,2	956,6	1,4	22,5	
21.05	15,8	15,3	14,6	4,1	91,5	956,6	1,1	21,1	
22.05	19,4	19,1	18,6	4,1	91,3	954,9	1,2	26,7	
23.05	19	18,8	18,4	4,3	90,9	954,9	0,8	29,5	
	Media	19,7	18,5	17,6	4,4	84,6	958,3	0,8	
17/02/10	0.05	18,7	18,4	18	4,2	91,4	954,9	0,8	12,6
	1.05	29,2	19,4	18	4,1	91,6	954,9	0,5	225
	2.05	32,9	21,9	18,8	4	92,8	954,9	0,2	262,9

Giorno	Ora	PM-10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM-2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM-1.0 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	T ($^{\circ}\text{C}$)	rH (%)	P (hPa)	Ws (m/s)	W dir. (degr.)
	3.05	27,8	18,5	16,7	4	90,9	954,9	0,2	217,9
	4.05	30,7	20,4	19,4	3,4	93,3	954,9	0,7	220,7
	5.05	23,7	15,8	14,7	2,7	97,2	953,2	1,3	210,9
	6.05	13	8,6	8	2,6	98,4	953,2	1,5	215,1
	7.05	11,4	7,6	7,3	2,7	98,5	951,4	1,2	209,5
	8.05	22,3	14,9	11,9	3,1	97,3	953,2	0,6	217,9
	9.05	19,8	13,2	11	3,5	96,4	953,2	0,6	209,5
	10.05	18,2	12,1	11	4,6	93,2	954,9	0,6	223,5
	11.05	15,8	10,5	9,7	4,6	93,8	954,9	1	209,5
	Media	22,0	15,1	13,7	3,6	94,6	954,0	0,8	
14/03/10	0.10	14,5	13,3	12,5	0,4	94,5	972,1	0,5	147,6
	1.10	14,6	13,5	12,7	0	94,8	972,1	0,5	157,5
	2.10	15,4	14,4	13,6	0	96,3	970,4	0,8	147,6
	3.10	16,4	15,1	14,2	-0,5	95,6	970,4	0,6	139,2
	4.10	15,7	14,7	13,9	-1,1	94,3	970,4	0,4	135
	5.10	15,7	14,8	13,9	-1	94,7	970,4	0,8	151,8
	6.10	15	14	13,2	-1,1	92,4	970,4	1	160,3
	7.10	14,7	13,6	12,8	-1	89,7	970,4	0,7	170,1
	8.10	13,7	12,9	12,2	3	79,7	970,4	0	202,5
	9.10	14,3	13,4	12,7	9,2	61,6	973,9	0	281,2
	10.10	16,2	15	14,2	15,2	43,1	975,6	0	225
	11.10	17,2	16,5	15,9	14,7	38	977,3	0,6	239
	12.10	13,9	13,5	13,3	19,1	26,9	977,3	0,6	330,4
	13.10	10,7	10,4	10,2	19,8	24,1	977,3	0,8	323,4
	14.10	9,9	9,6	9,4	19,1	24,6	975,6	0,7	338,9
	15.10	10	9,6	9,4	19,4	24	975,6	0,3	324,8
	16.10	8,2	7,9	7,7	13,4	32,3	973,9	0,2	312,1
17.10	10	7,9	7,6	9,3	40,5	972,1	0	307,9	
18.10	12,3	8,6	7,9	7,9	43,8	970,4	0	279,8	
19.10	17,6	15,6	15	5,6	59,1	968,7	0,3	170,1	

Giorno	Ora	PM-10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM-2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM-1.0 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	T ($^{\circ}\text{C}$)	rH (%)	P (hPa)	Ws (m/s)	W dir. (degr.)
	20.10	13,5	12,4	11,9	3,6	65,8	968,7	0,6	140,6
	21.10	13,2	11,1	10,3	3,3	62,1	968,7	0,6	154,6
	22.10	12,3	11,3	10,8	5	55	968,7	1	160,3
	23.10	16,7	15,8	15,3	5	60,4	968,7	0,7	167,3
	Media	13,8	12,7	12,1	7,0	62,2	972,1	0,5	
15/03/10	0.10	19,4	18,2	17,5	5	65,1	967	1,3	175,7
	1.10	19,6	18,4	17,7	4,7	67,8	967	1,5	177,1
	2.10	19,2	18,4	17,8	4,3	69,7	967	1,8	177,1
	3.10	19,4	18,9	18,4	4,1	72,5	967	2	175,7
	4.10	19,6	19,1	18,6	3,8	74,5	967	1,9	174,3
	5.10	21,8	21,3	20,7	3,3	79	967	2,5	175,7
	6.10	21,8	20,4	19,6	2,9	81,1	967	2,3	175,7
	7.10	21,9	21,1	20,4	2,2	82,8	968,7	0,6	185,6
	8.10	21,5	20,6	19,9	3,3	80,4	970,4	0	171,5
	9.10	21,2	19,7	18,8	3,6	80,9	972,1	0,8	172,9
	10.10	15,6	13,6	12,4	5,5	76,8	972,1	0,2	180
	11.10	16,2	14,7	13,6	9,3	62,9	973,9	0,6	182,8
	12.10	19,3	16,2	15,1	11,5	55,6	973,9	0	187
	13.10	19,5	17,2	16,1	12,6	50,4	973,9	0	191,2
	14.10	22,2	19,1	17,9	16,4	40,2	973,9	0,3	233,4
	15.10	43,4	34,5	26,9	11,4	54,1	973,9	0,5	68,9
	16.10	49,6	42,6	33,5	10,9	56,4	973,9	0,1	350,1
	17.10	25,9	21,9	20,4	8,8	64,5	972,1	0,5	326,2
	18.10	30,3	21,6	19,5	6,2	74,4	972,1	0	181,4
	19.10	23,3	20,2	18,8	3,5	82,7	973,9	0,2	147,6
20.10	22,1	20,3	19,1	2,2	87,8	973,9	0,1	147,6	
21.10	21	19,1	17,9	1,5	89,5	973,9	0,5	147,6	
22.10	19,3	17,7	16,6	1,2	87,9	973,9	0,1	147,6	
23.10	15	14	13,3	0,7	80,9	973,9	0	151,8	
	Media	22,8	20,4	18,8	5,8	71,6	971,2	0,7	

Giorno	Ora	PM-10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM-2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM-1.0 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	T ($^{\circ}\text{C}$)	rH (%)	P (hPa)	Ws (m/s)	W dir. (degr.)
16/03/10	0.10	15,3	14,2	13,4	0,6	79,1	972,1	0	149
	1.10	16,5	15,2	14,3	0,9	78,8	972,1	0,1	150,4
	2.10	17,4	16,2	15,4	1	81,2	972,1	0,1	151,8
	3.10	19,1	17,2	16,1	0,8	84,6	972,1	0	146,2
	4.10	15,5	14,5	13,7	0,5	79,1	972,1	0,7	147,6
	5.10	15,8	14,8	14	0,7	77	972,1	0,9	153,2
	6.10	17,2	15,7	14,8	0,3	80,6	972,1	0,8	144,8
	7.10	19,5	16,7	15,5	0,2	82,9	972,1	0,9	143,4
	8.10	18,5	16,5	15,5	5,3	66,2	972,1	0,3	165,9
	9.10	21	19,5	18,7	10	44,5	973,9	1	182,8
	10.10	16,7	15,2	14,5	12,1	33,9	975,6	1,7	180
11.10	17,2	15,4	14,7	13,9	33,2	977,3	1,7	187	
	Media	17,5	15,9	15,1	3,9	68,4	973,0	0,7	

Dati rilevati senza filtro antiparticolato applicato:

Giorno	Ora	PM-10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM-2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM-1.0 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	T ($^{\circ}\text{C}$)	rH (%)	P (hPa)	Ws (m/s)	W dir. (degr.)
23/02/10	16.06	16,9	12,3	9,9	15,6	54,8	956,6	1,4	215,1
	17.06	9,7	8,2	7,1	14,2	59,7	960,1	1,1	189,8
	18.06	21,6	20,8	20	9,9	81,8	960,1	0,4	288,2
	19.06	33	22,2	21,2	8,6	88,6	960,1	0,4	292,5
	20.06	25,4	16,9	15	8,1	91,1	958,3	0,2	199,6
	21.06	24,3	16,2	12,8	7,8	92,7	958,3	1,1	181,4
	22.06	11,3	10,2	8,7	8,3	92,4	960,1	0,6	182,8
	23.06	22,4	19,7	18,3	8,3	91,4	960,1	0,5	153,2
	Media	20,6	15,8	14,1	10,1	81,6	959,2	0,7	212,8
24/02/10	0.06	10,8	8,5	5,8	9,3	86,2	960,1	1,4	158,9
	1.06	14,9	13,8	12,5	8,7	87,8	960,1	1,4	175,7
	2.06	5,8	5,4	5	7,2	92,3	960,1	1,5	154,6
	3.06	1,4	1,1	0,7	7	92,4	958,3	0,5	156
	4.06	0,8	0,5	0,3	6,7	90,8	958,3	0,8	157,5
	5.06	0,7	0,5	0,3	7	84,8	958,3	1,3	170,1
	6.06	3,2	2,1	0,5	5,1	91,7	958,3	0,3	180
	7.06	2,7	1,8	0,7	4,6	93,5	956,6	0,4	158,9
	8.06	4,2	2,8	0,9	4,8	93,2	956,6	0,5	181,4
	9.06	5,8	3,9	2,9	8,3	85,8	958,3	0,4	208,1
	10.06	8,1	4,6	4,1	13,2	68,9	960,1	0,6	312,1
	11.06	5,7	5,3	4,9	11,5	76,4	961,8	0,3	317,8
	12.06	9,1	8,9	8,6	11,5	80,5	961,8	0,5	317,8
	13.06	20,4	13,6	12,5	11,6	78,8	961,8	0,5	302,3
	14.06	25,6	17,1	15,4	11,9	76,7	961,8	0,6	300,9
	15.06	28,3	18,9	17,4	10,3	81	960,1	0,7	292,5
	16.06	29	19,3	17,8	10,1	81,6	960,1	0,5	289,6
	17.06	32,2	21,5	20,1	9,1	86,6	960,1	0,3	333,2
18.06	34	22,6	19,9	8,3	90,1	960,1	0,2	306,5	
19.06	33,1	22	20,3	8,2	91,1	960,1	0	243,2	

Giorno	Ora	PM-10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM-2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM-1.0 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	T ($^{\circ}\text{C}$)	rH (%)	P (hPa)	Ws (m/s)	W dir. (degr.)
	20.06	26,6	18,8	18,1	7,8	92,4	961,8	0,4	223,5
	21.06	19,2	12,8	12,1	7,3	94,4	961,8	1,2	164,5
	22.06	26,8	17,8	15,9	7,1	95,8	961,8	0,7	191,2
	23.06	40,6	27,1	14,8	7,1	94,2	961,8	0,1	212,3
	Media	16,2	11,3	9,6	8,5	87,0	960,0	0,6	229,5
6/03/10	0.06	18,2	17,6	16,9	-1,4	88	967	0	146,2
	1.06	7,5	7,1	6,6	-1,7	93,4	965,2	0	126,5
	2.06	5,6	5,2	4,8	-1,6	89,7	967	0	116,7
	3.06	12,3	11,9	11,4	-2,5	89,2	967	0	151,8
	4.06	12,3	12	11,6	-2,6	92,2	965,2	0	149
	5.06	6,5	6,1	5,6	-3	93	965,2	0	149
	6.06	11,4	10,8	10,3	-3,8	91,3	967	0	135
	7.06	11,8	10,7	10,1	-4,3	91,3	967	0	125,1
	8.06	10,5	9,9	9,3	-1,4	82,3	967	0	97
	9.06	12,1	11,5	10,9	1,1	72,6	968,7	0	147,6
	10.06	12,2	11,2	10,5	6	56,2	968,7	0	153,2
	11.06	9,8	8,7	8	11,9	35,9	970,4	0,9	310,7
	12.06	17,1	16,1	15,4	13,4	32,4	972,1	1	275,6
	13.06	9,2	8,3	7,8	14,5	31,4	970,4	1	299,5
	14.06	9,4	8,4	7,9	15	29,5	970,4	1,1	285,4
	15.06	9,5	8,9	8,3	12,2	28,4	968,7	1,3	230,6
	16.06	7,6	7	6,6	7	34,7	967	1,1	253,1
	17.06	10,5	7,6	7	6,2	36,8	965,2	1	233,4
	18.06	32	8,2	6,3	5,1	35	965,2	0,8	188,4
	19.06	11,3	7	6,3	3,9	33,5	965,2	1	146,2
20.06	11,4	10,6	10,1	3	39,3	965,2	1,5	140,6	
21.06	12,7	11,2	10,6	1,5	49,7	965,2	1	130,7	
22.06	14,5	13,2	12,6	0,4	58,9	965,2	0,6	129,3	
23.06	17,3	14,1	11,9	-0,5	65,1	965,2	1	118,1	
	Media	12,2	10,1	9,5	3,3	60,4	967,1	0,6	176,6

Giorno	Ora	PM-10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM-2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM-1.0 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	T ($^{\circ}\text{C}$)	rH (%)	P (hPa)	Ws (m/s)	W dir. (degr.)
7/03/10	0.06	13,6	12,8	12,1	-1,1	68,8	965,2	1	115,3
	1.06	13,4	12,8	12,1	-1,4	69,1	967	0,9	115,3
	2.06	13,9	13	12,3	-1,1	67,5	967	0,6	129,3
	3.06	15,2	14	13,2	-0,6	66,8	967	0,8	120,9
	4.06	16,4	15,3	14,7	-1	71,1	967	0,2	126,5
	5.06	17,7	17	16,3	-2,4	76,3	967	0,8	137,8
	6.06	16,6	15,9	15,2	-2,7	77,1	967	0,1	142
	7.06	17,8	16,3	15,5	-3,2	81,5	968,7	0	163,1
	8.06	19,2	17,6	16,7	-1,7	79,5	968,7	0	168,7
	9.06	23,9	19,4	18	1,4	73,3	968,7	0	247,5
	10.06	18,7	15,7	13,9	9,3	53,5	970,4	1,2	324,8
	11.06	17,3	15,2	13,7	11,3	47,3	972,1	2,1	331,8
	12.06	16,2	14,2	12,9	8,8	51,5	970,4	2,3	331,8
	13.06	17	14,5	13	6,4	60,1	970,4	2,5	341,7
	14.06	7,8	5,7	4,3	4,7	61,8	970,4	2,2	334,6
	15.06	11,3	9,3	8,1	4,9	53,8	968,7	2,4	312,1
	16.06	11,2	9,3	8	4,6	52,5	968,7	2,1	324,8
	17.06	12,7	10,3	9,1	4,1	54,7	968,7	2,3	337,5
	18.06	13,2	10,8	9,7	3,3	56,6	968,7	1,7	340,3
	19.06	21,4	16,5	14,7	2,3	62,3	968,7	1,4	358,5
20.06	26,6	19,2	17,2	1,8	61,9	968,7	0,8	227,8	
21.06	30,3	22,5	19,9	0,8	72,3	968,7	1	119,5	
22.06	28,6	23,1	20,9	0,7	74,3	968,7	0,8	105,4	
23.06	26,4	22	20	1,4	69,1	968,7	1	347,3	
	Media	17,8	15,1	13,8	2,1	65,1	968,6	1,2	233,5
8/03/10	0.06	28,9	23,5	21,4	1,6	66,1	968,7	1,1	11,3
	1.06	31,2	25,3	23	1,5	65,9	968,7	1,1	47,8
	2.06	31	24,3	22,2	0,7	65,5	967	0,9	35,2
	3.06	30,4	22,3	19,7	0,7	71	967	0,9	71,7
	4.06	26,4	20,2	17,5	0,4	76,5	967	1,5	140,6

Giorno	Ora	PM-10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM-2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM-1.0 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	T ($^{\circ}\text{C}$)	rH (%)	P (hPa)	Ws (m/s)	W dir. (degr.)
	5.06	27,2	19,8	17	-0,2	75,5	967	1	165,9
	6.06	27,2	19,4	16,6	-0,5	74,7	967	0,9	140,6
	7.06	25,4	18,4	15,6	-0,6	74,8	965,2	1	171,5
	8.06	24,8	18,5	16,1	-0,5	72,7	965,2	1,9	130,7
	9.06	22,4	17	14,7	0,3	68,1	965,2	1,5	150,4
	10.06	24,4	19,5	17,2	1,3	63	963,5	1,8	147,6
	11.06	25,8	20,6	18,2	3,2	56,4	963,5	1,9	163,1
	12.06	38,3	21,4	16,2	3,3	55,1	963,5	2	172,9
	13.06	25,5	20,4	18,1	3,2	54,7	963,5	2	104
	14.06	25,7	20,6	18,5	2,6	55,5	961,8	2	112,5
	15.06	24	19,5	17,5	2,7	53,3	961,8	1,8	97
	16.06	26,2	20,8	19	1,4	55,5	961,8	1,9	95,6
	17.06	29,2	20,6	18,6	1	56,9	961,8	1,5	54,8
	18.06	29,6	20,5	18,6	0,1	58,3	961,8	1,2	223,5
	19.06	24,1	17,8	16,1	-0,2	59,1	961,8	0,8	43,6
	20.06	19,7	15,4	14	-0,4	59,4	961,8	0	174,3
	21.06	22	17,2	15,7	-0,6	62,5	961,8	0	171,5
	22.06	21	16,2	14,6	-0,8	65,8	961,8	0	137,8
	23.06	19,8	15,9	14,1	-1	68,3	960,1	0	140,6
	Media	26,3	19,8	17,5	0,8	63,9	964,1	1,2	121,0
9/03/10	0.06	18,9	15,7	13,9	-1,3	73,4	960,1	0	156
	1.06	19,3	16,6	14,8	-1,8	80,8	958,3	0	161,7
	2.06	18,3	17	15,4	-2,1	88,3	958,3	0	164,5
	3.06	19,6	17,9	16,4	-1,8	89	956,6	0	160,3
	4.06	18,4	17,3	15,9	-1,8	90,7	956,6	0	172,9
	5.06	18	16,9	15,5	-1,1	87	958,3	0	239
	6.06	19,3	18,6	17,5	-0,9	86,1	958,3	0	250,3
	7.06	19,3	18,9	18,2	-0,9	87,6	958,3	0	309,3
	8.06	21	20,7	20,2	-0,6	88,6	960,1	0	338,9
	9.06	18,5	18,2	18	-0,6	87,9	958,3	0	348,7

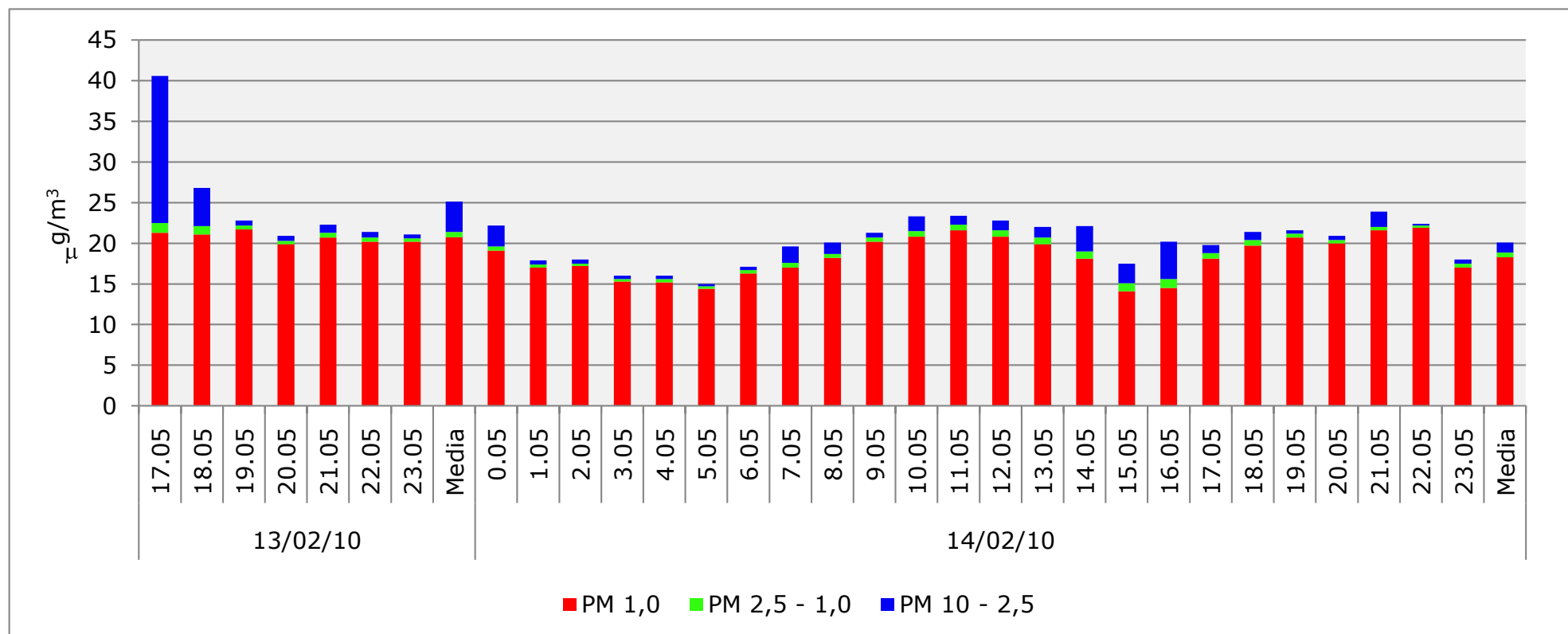
Giorno	Ora	PM-10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM-2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM-1.0 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	T ($^{\circ}\text{C}$)	rH (%)	P (hPa)	Ws (m/s)	W dir. (degr.)
	10.06	16,9	16,7	16,3	-0,4	87	958,3	0	347,3
	11.06	18,3	17,8	17,4	0	84,6	958,3	0	350,1
	12.06	20,6	18,8	18,2	0,4	82,5	958,3	0	337,5
	13.06	20,5	19,9	19,1	0,6	83,5	958,3	0	340,3
	14.06	19,5	19,1	18,6	-0,2	88,3	958,3	0	341,7
	15.06	10,9	10,7	10,6	-0,5	92,4	956,6	0	345,9
	Media	18,6	17,6	16,6	-0,8	86,1	958,2	0,0	272,8
12/03/10	0.10	12,7	12,3	12,2	-0,8	91	961,8	0	157,5
	1.10	10,5	10	9,8	-0,2	90,2	963,5	0	153,2
	2.10	9,5	9,2	9,2	-0,3	91,1	961,8	0	147,6
	3.10	10,3	10,1	10	-0,2	91,4	961,8	0	150,4
	4.10	12,3	12	11,9	-0,1	90,9	961,8	0,2	153,2
	5.10	12,7	12,4	12,1	-0,2	90,8	963,5	1,1	150,4
	6.10	13	12,6	12,4	0,3	90,9	963,5	1	150,4
	7.10	11	10,8	10,6	0,4	91,6	963,5	1,8	157,5
	8.10	9,2	9	8,8	1,2	88,1	963,5	1,8	158,9
	9.10	11,6	11,2	10,8	1,5	88,6	965,2	1,7	156
	10.10	14,5	13,5	12,8	5,5	71,7	967	1,6	160,3
	11.10	18,5	16,9	15,7	8,2	58,8	967	2,2	171,5
	12.10	20	17,8	16,4	8,8	57,3	968,7	2	170,1
	13.10	20,5	18,2	16,6	8,8	56,9	968,7	1,8	167,3
	14.10	26,6	18,9	16,9	7,4	61,8	968,7	1,8	168,7
	15.10	22,8	19,1	17,5	7,5	61,8	968,7	1,1	167,3
	16.10	18,5	16,4	15,3	8,2	55,9	968,7	1,1	172,9
	17.10	20,2	16,4	15	7,1	57,4	968,7	0,7	161,7
	18.10	20,2	16,3	15	5,1	66,3	968,7	0,6	136,4
	19.10	31	20,7	19,1	3,6	75,6	968,7	0,2	151,8
20.10	22,7	15,6	14	3	83,6	970,4	0,1	68,9	
21.10	18,3	14	12,6	2,6	86,1	970,4	0,1	149	
22.10	16,2	14,5	13,4	2	88,2	970,4	0,4	123,7	

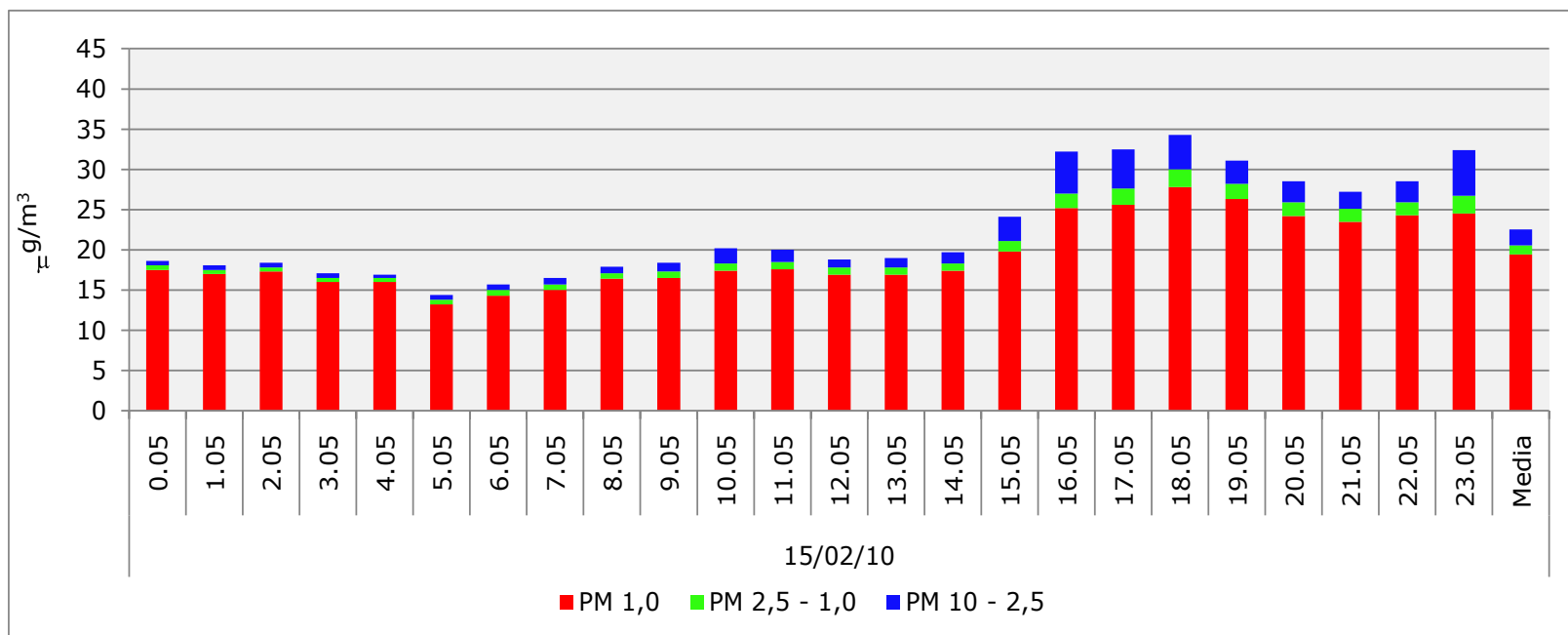
Giorno	Ora	PM-10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM-2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM-1.0 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	T ($^{\circ}\text{C}$)	rH (%)	P (hPa)	Ws (m/s)	W dir. (degr.)
	23.10	17,1	15,2	14	1,6	90,4	970,4	0,6	132,1
	Media	16,7	14,3	13,4	3,4	78,2	966,5	0,9	
13/03/10	0.10	17,4	16	14,8	1,7	90,9	970,4	0,9	171,5
	1.10	21,4	20,2	19,1	1,5	89,3	970,4	0,4	129,3
	2.10	16,3	14,7	13,5	1,9	88,7	970,4	0,3	167,3
	3.10	19,3	17,6	16,4	2,1	86,9	970,4	0,7	150,4
	4.10	20,5	18,9	17,8	1,3	88,9	970,4	0,3	160,3
	5.10	21	19,7	18,7	0,7	90,8	970,4	0,6	143,4
	6.10	20	19	18,1	0,1	91,1	970,4	0,4	165,9
	7.10	18,3	16,8	15,7	-0,6	93,3	970,4	0,5	149
	8.10	17,7	15,5	14,3	0,9	90,1	970,4	0,3	146,2
	9.10	16,3	14,3	13,1	4,3	80,8	972,1	0	191,2
	10.10	16,5	14,6	13,5	7,7	65,4	973,9	0,6	175,7
	11.10	28	17	15,4	13,9	45,6	973,9	0,2	195,4
	12.10	21,7	19,9	19	18,4	34,4	975,6	0,3	205,3
	13.10	23,5	22,2	21,3	18,6	33	977,3	0,3	247,5
	14.10	21,2	19,2	18,2	13,4	42,9	975,6	0,1	251,7
	15.10	17,6	13,5	12,2	13,7	46,4	973,9	0,9	241,8
	16.10	16,5	14,3	13,1	7,9	66,3	972,1	0,8	355,7
	17.10	15,3	13,4	12,4	7	68,6	972,1	1	47,8
	18.10	16,1	13,4	12,2	5	75,2	972,1	0,3	90
	19.10	18,4	13,1	11,9	2,1	85,5	972,1	0,8	119,5
20.10	15,7	12,9	11,8	1	91	972,1	1	120,9	
21.10	13,2	12,4	11,7	0,4	93,6	972,1	0,9	122,3	
22.10	13,2	12,3	11,6	0,2	94,5	972,1	0,8	127,9	
23.10	13,4	12,6	11,9	0	94,6	972,1	0,8	132,1	
	Media	18,3	16,0	14,9	5,1	76,2	972,2	0,6	

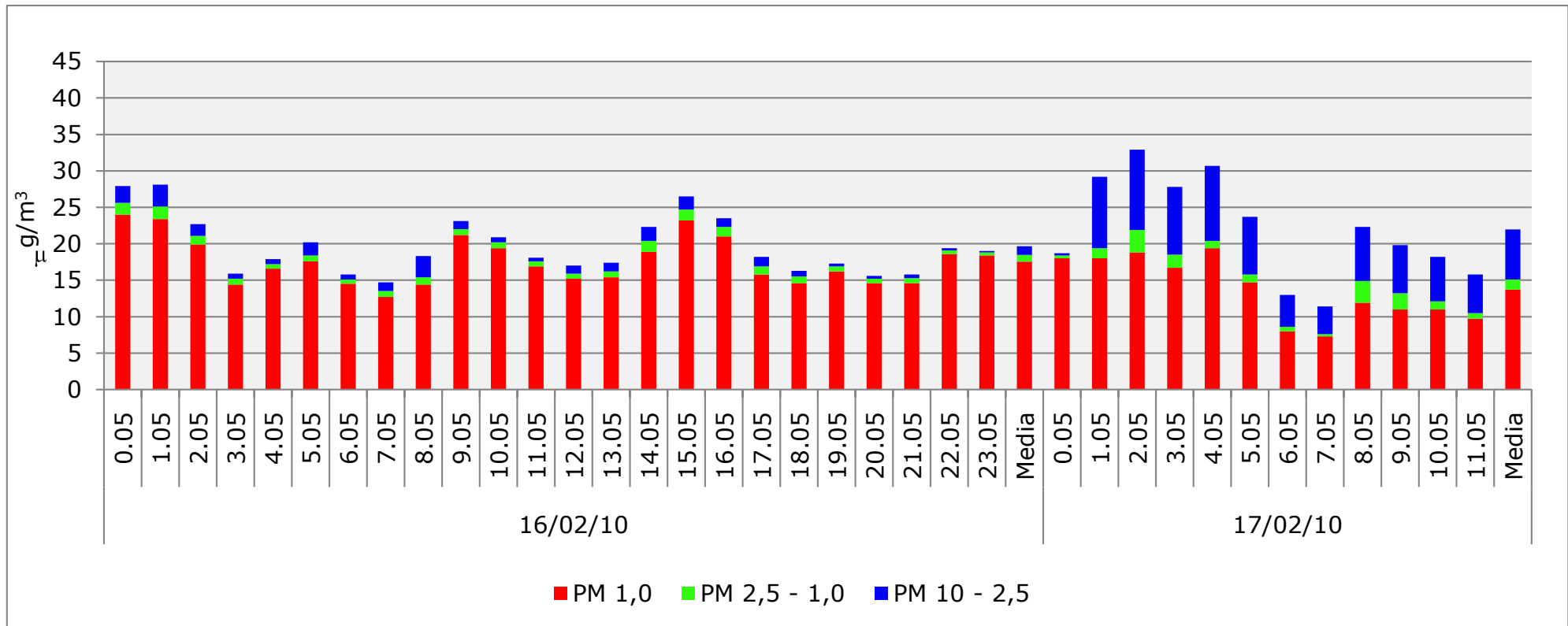
Allegato 3 - Grafici

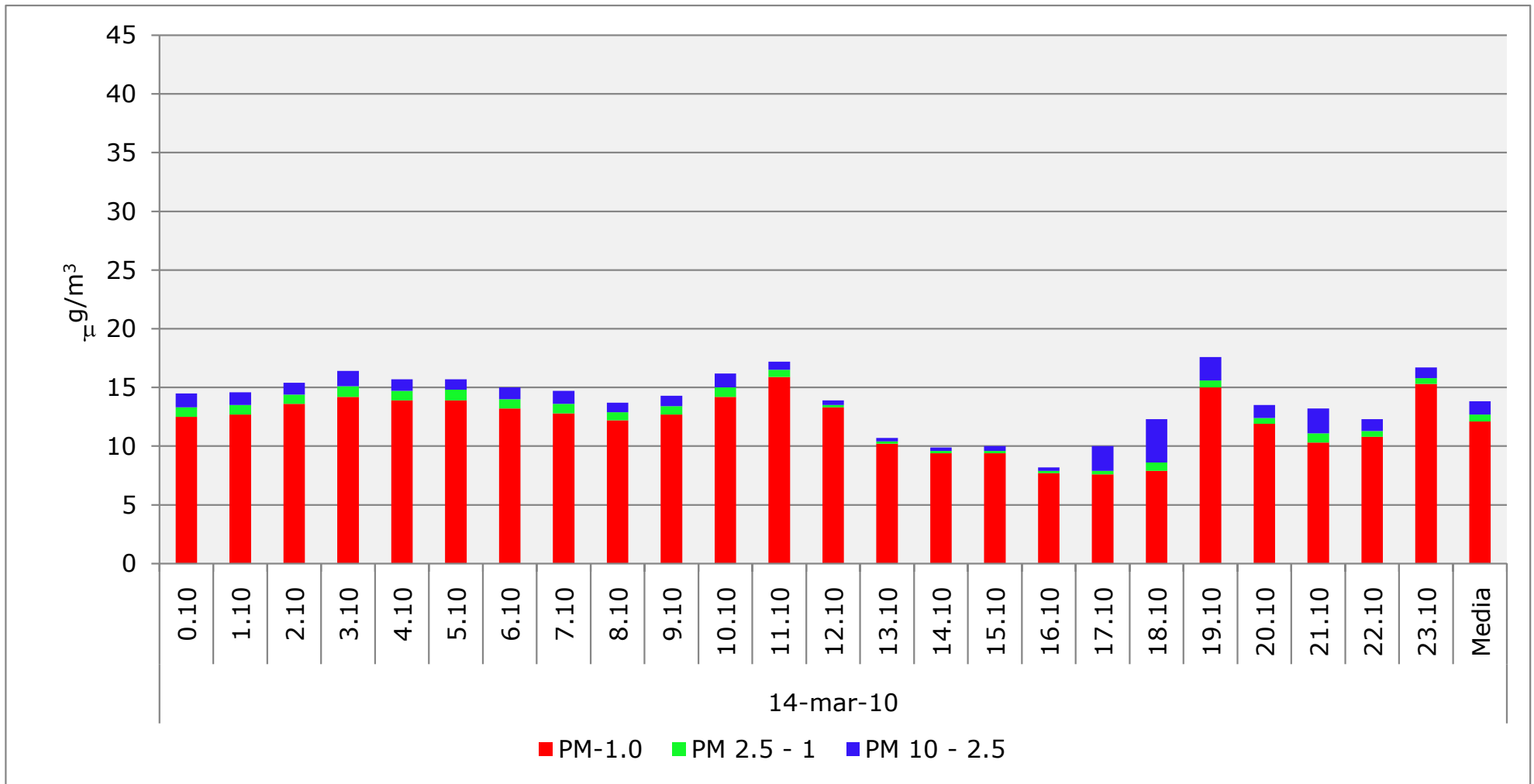
Valori di particolato per le giornate prese in considerazione per elaborazioni, come valori di concentrazioni medie sulle 24 ore

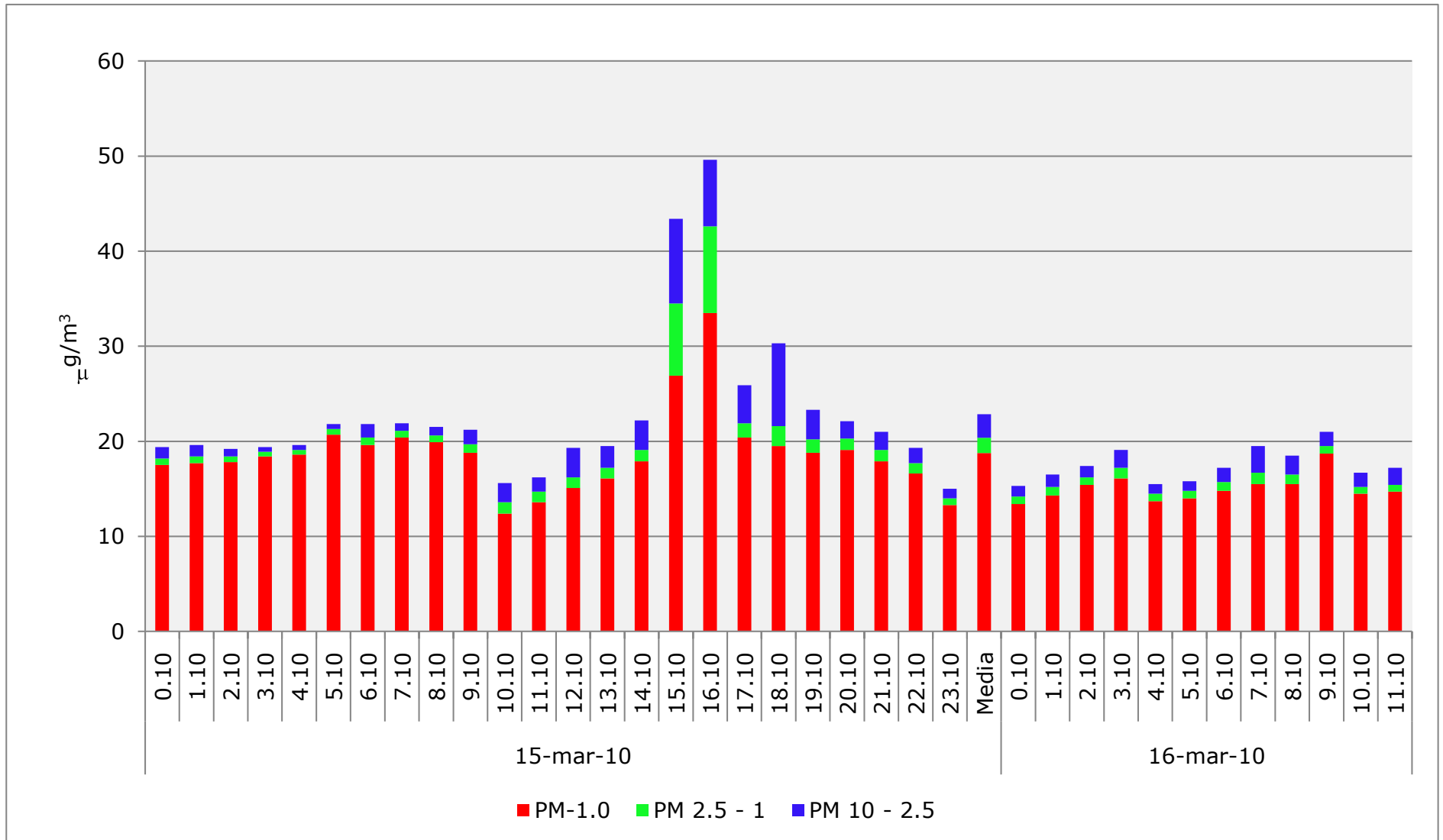
Monitoraggio con filtro











Monitoraggi senza filtro

