



**renerfor**  
**VALLE D'AOSTA**

**- ARIA -**

**ATTIVITÀ 2**

**SOTTO-ATTIVITÀ 2.B.2**

**GLI IMPIANTI DI TELERISCALDAMENTO A BIOMASSA E  
LE TECNOLOGIE PER RIDURRE LE EMISSIONI**

**DATA 19/04/2013**



**ARPA Valle d'Aosta**  
**Sezione Aria ed Energia**

*Arch. Bruno Battezzore*  
*Ing. Giordano Pession*



FONDO EUROPEO DI SVILUPPO REGIONALE



al c o t r a

**INSIEME OLTRE  
I CONFINI-ENSEMBLE  
PAR-DELA LES FRONTIERES**



Région Autonome  
**Vallée d'Aoste**  
Regione Autonoma  
**Valle d'Aosta**

Pubblicazione finanziata da:

Progetto strategico n. III – Renerfor

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

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

Partner valdostano del progetto Renerfor

Regione Autonoma Valle d’Aosta

Assessorato Attività Produttive

Dipartimento industria, artigianato ed energia

Risparmio energetico e sviluppo fonti rinnovabili

Responsabile: dott. Mario Sorsoloni

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

Incaricato per lo svolgimento del progetto per gli aspetti ambientali

ARPA Valle d’Aosta

Sezione ARIA ed ENERGIA

Responsabile: Ing. Lorenzo Frassy

Tecnici: Arch. Bruno Battezzatore e Ing. Giordano Pession

Coordinamento della pubblicazione e testi

Arch. Bruno Battezzatore e Ing. Giordano Pession

Stampa ed Edizione

Tipografia “La Vallée”

2013 © Regione Autonoma Valle d’Aosta - Région Autonome Vallée d’Aoste

Tutti i diritti riservati - Tout droit réservé

---



---

INDICE



---

	INDICE	1
	INTRODUZIONE	3
CAP.1		5
1.1	COS'È IL TELERISCALDAMENTO	6
1.2	LA SITUAZIONE NAZIONALE E REGIONALE DEL TELERISCALDAMENTO	8
1.3	GLI IMPIANTI OPERANTI IN VALLE D'AOSTA	13
CAP.2		26
2.1	L'INVENTARIO REGIONALE DELLE EMISSIONI	27
2.2	LE EMISSIONI STIMATE PER GLI IMPIANTI VALDOSTANI DI TELERISCALDAMENTO	27
CAP. 3		32
3.1	PANORAMICA SULLE TECNOLOGIE DI ABBATTIMENTO DELLE EMISSIONI	33
3.1.1	MISURE PRIMARIE	33
3.1.2	MISURE SECONDARIE	36
	CONCLUSIONI	45
	ALLEGATO	47
	BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA	50



---

## INTRODUZIONE



---

Nell'ambito del programma di cooperazione transfrontaliera ALCOTRA vengono sviluppati diversi progetti finalizzati a favorire lo sviluppo economico locale, la competitività e la valorizzazione delle risorse naturali e del paesaggio con il fine di migliorare la qualità della vita delle comunità e tutelare territori sfavoriti, il tutto in un'ottica di sviluppo sostenibile. Questo programma rientra, inoltre, nell'ambito di quegli interventi sponsorizzati dall'Unione Europea col fine di ottemperare agli accordi internazionali presi col Protocollo di Kyoto, e mutuati a loro volta dal cosiddetto Pacchetto 20-20-20, per ridurre l'impatto dell'uomo sul pianeta e assicurare uno sviluppo sostenibile alle generazioni future.

Tra i progetti sviluppati con i fondi del periodo 2007-2013 vi è il progetto strategico RENERFOR il quale si propone di valutare e valorizzare la disponibilità di due fonti energetiche locali che per motivi storici, per abbondanza e omogenea diffusione e per facilità di reperimento sul territorio di competenza del progetto sono da sempre oggetto di sfruttamento da parte delle popolazioni locali: la risorsa idrica e quella forestale.

Inserito nel progetto RENERFOR, il presente studio va a indagare un aspetto di non secondaria importanza, soprattutto alla luce delle velleità ambientali generali del progetto europeo, ovvero, l'impatto sulla qualità dell'aria dell'uso della biomassa legnosa vergine come vettore energetico per gli impianti di teleriscaldamento e le possibili soluzioni tecnologiche adottabili per mitigare questi effetti negativi.

Il lavoro si articola come di seguito esposto.

Nel primo capitolo si descrive brevemente in cosa consiste la tecnologia del teleriscaldamento, qual è il suo stato attuale di diffusione sul territorio nazionale e quali sono i vettori energetici più utilizzati. Successivamente, viene inquadrata la situazione locale della Valle d'Aosta con un focus su 4 dei 6 impianti attualmente operativi e con la presentazione dei dati di rete, di impianto e di consumo.

Successivamente, nel capitolo 2 viene analizzato l'impatto che la generazione collegata a queste reti di servizio ha sulla qualità dell'aria locale con lo studio delle emissioni di particolato e di gas inquinanti, confrontando i dati reperibili in letteratura con quelli dei monitoraggi effettuati in loco.

Infine, nel terzo e ultimo capitolo, viene presentata una rassegna delle diverse tecnologie esistenti per mitigare e/o abbattere il carico inquinante delle centrali.

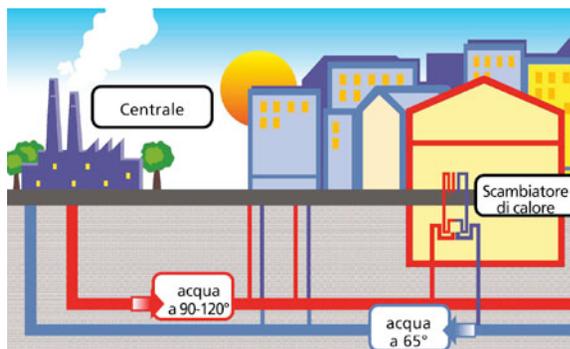


## CAPITOLO 1



## 1.1 - COS'È IL TELERISCALDAMENTO

Nel glossario dell'Autorità per l'Energia Elettrica ed il Gas il teleriscaldamento viene definito come quel "sistema di riscaldamento a distanza di un quartiere o di una città che utilizza il calore prodotto da una centrale termica, da un impianto di cogenerazione o da una sorgente geotermica. In un sistema di teleriscaldamento il calore viene distribuito agli edifici tramite una rete di tubazioni in cui fluisce l'acqua calda o il vapore". Nella normativa nazionale il concetto di teleriscaldamento ha trovato invece una definizione più precisa nel comma g) dell'articolo 2 del D. Lgs. 28 del 3 marzo 2011 che così recita: "teleriscaldamento o teleraffrescamento [è] la distribuzione di energia termica in forma di vapore, acqua calda o liquidi refrigerati, da una o più fonti di produzione verso una pluralità di edifici o siti tramite una rete, per il riscaldamento o il raffreddamento di spazi, per processi di lavorazione e per la fornitura di acqua calda sanitaria". Inoltre, nel D.M 24/10/2005 del Ministero delle attività produttive si specifica che una rete di teleriscaldamento deve soddisfare contemporaneamente tre condizioni: "alimentare tipicamente, mediante una rete di trasporto dell'energia termica, una pluralità di edifici o ambienti, essere un sistema aperto ovvero, nei limiti di capacità del sistema, consentire l'allacciamento alla rete di ogni potenziale cliente secondo principi di non discriminazione e, in ultimo, la cessione dell'energia termica a soggetti terzi deve essere regolata da contratti di somministrazione, atti a disciplinare le condizioni tecniche ed economiche di fornitura del servizio secondo principi di non discriminazione e di interesse pubblico, nell'ambito delle politiche per il risparmio energetico".



Schematizzazione di una rete di teleriscaldamento



---

Rispetto gli altri sistemi di produzione di calore per riscaldamento e acqua calda sanitaria, il teleriscaldamento è, quindi, caratterizzato dall'aver una certa distanza tra il punto di produzione e i punti di utilizzo del calore, potendo, la centrale di generazione anche alcuni chilometri dalle utenze servite.

Le componenti principali di un sistema di teleriscaldamento sono una centrale termica, ove viene prodotto il calore, una rete di trasporto e distribuzione, costituita da speciali condotte sotterranee, e un insieme di sottocentrali. Queste ultime, situate nei singoli edifici da servire, sono costituite da scambiatori di calore, che permettono di realizzare lo scambio termico tra l'acqua della rete di teleriscaldamento (circuiti primario) e l'acqua del circuito del cliente (circuiti secondario), senza che vi sia miscelazione tra i due fluidi. Alle diverse utenze è installata una apposita apparecchiatura che consente di gestire autonomamente le temperature dei locali e di registrare i relativi consumi.

L'affidabilità del servizio è elevatissima, ed è possibile applicare il sistema ad intere aree urbane, rendendolo un vero e proprio servizio pubblico, come l'acquedotto o la rete elettrica cittadina. Affinché il teleriscaldamento abbia efficacia, è necessario tuttavia alimentare delle utenze concentrate in un'area ben definita, come un quartiere residenziale, un'area commerciale o un insieme di utenze pubbliche prossime tra loro (scuole o impianti sportivi), e che abbiano una richiesta di calore abbastanza costante durante tutto l'anno o per lunghi periodi. Non è quindi consigliabile realizzare una rete di teleriscaldamento per collegare utenze isolate, sparse o con necessità occasionali.

Per quanto riguarda le modalità di generazione dell'energia di questo tipo di centrali, va rilevato che, a prescindere dalla scelta del combustibile, i sistemi che offrono una maggiore efficienza energetica globale sono quelli di cogenerazione, in cui la produzione di energia elettrica è abbinata a quella di energia termica, o di trigenerazione nei quali si genera anche acqua fredda invece che calda nel periodo estivo. In fattispecie, nel caso della cogenerazione, la centrale è in grado di produrre energia elettrica e recuperare contemporaneamente l'energia termica che si genera durante il processo termodinamico, oppure, inversamente, è possibile produrre energia elettrica utilizzando il calore prodotto da una caldaia per alimentare cicli termodinamici di tipo Rankine. In ogni caso, a parità di energia utile prodotta, la produzione combinata di energia elettrica e termica consente un minor consumo di combustibile.



---

I benefici ambientali di questa tecnologia sono da ricercare nel minor consumo di combustibile per unità di energia prodotta a parità di altri sistemi, con conseguente riduzione delle emissioni inquinanti e nella maggiore controllabilità delle emissioni le quali, essendo concentrate in un solo punto e non diffuse sul territorio, possono essere abbattute adottando sistemi che spesso sono troppo costosi per essere applicati su larga scala.

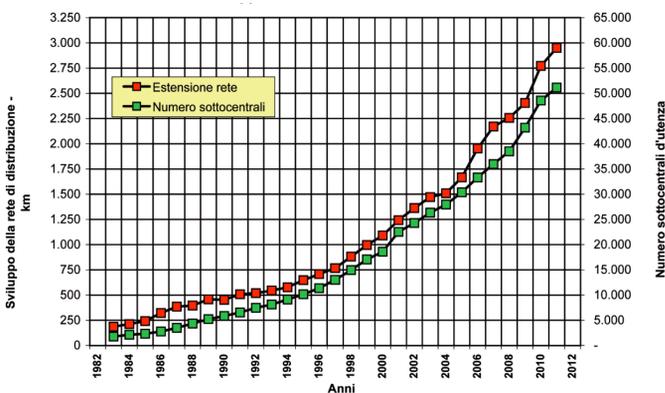
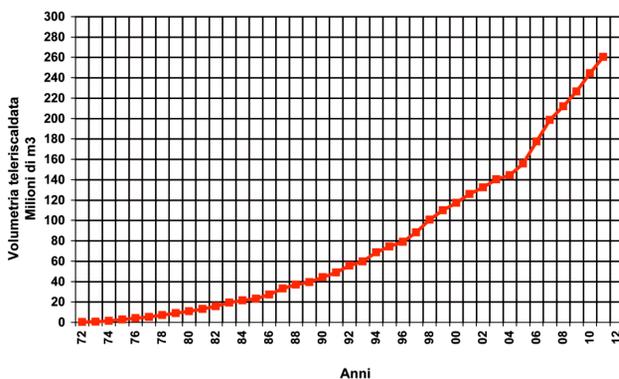
Inoltre, questo tipo di produzione e fornitura del calore bene si integra con altri processi industriali come l'incenerimento dei rifiuti urbani e la produzione di energia elettrica, permettendo di recuperarne il calore che altrimenti andrebbe disperso, con evidenti vantaggi ambientali e di risparmio energetico.

## **1.2 - LA SITUAZIONE NAZIONALE E REGIONALE DEL TELERISCALDAMENTO<sup>(1)</sup>**

Lo sviluppo italiano del settore della climatizzazione tramite rete di teleriscaldamento risulta in continua crescita sebbene si riscontri una certa resistenza alla diffusione di questo sistema a città di medie e grandi dimensioni. Infatti, fatta esclusione per realtà ormai "storiche" e oggetto di continui ampliamenti come le reti di Torino (che risulta la città più "teleriscaldata" d'Europa con oltre mezzo milione di cittadini raggiunti), Milano e Brescia, lo sviluppo di tale infrastruttura energetica avviene soprattutto in centri di medio-piccole e, sovente, di piccolissime dimensioni. Proprio ai piccoli comuni si deve la forte crescita sia in termini di volumetria riscaldata che di estensione delle reti energetiche evidenziata nei grafici qui sotto.

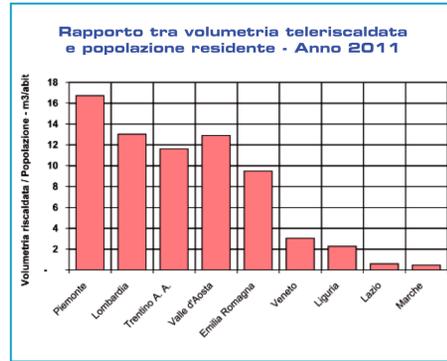
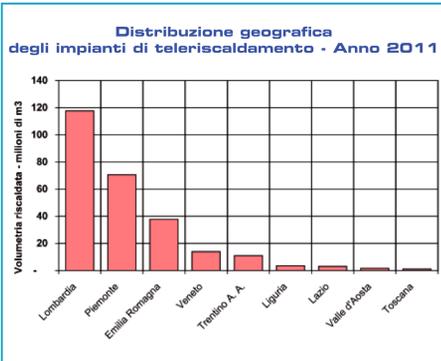
Secondo quanto riportato nell'annuario 2012 dell'Annuario 2012 de "Il riscaldamento urbano" edito da AIRU, si evince che al 31/12/2011 in Italia risultano costruite 133 reti per un totale di 260,3 milioni di m<sup>3</sup> di volumetria riscaldata, e pari a 2951 km di rete di distribuzione operativa e oltre 51000 sottocentrali di utenza.

Tuttavia, la diffusione di queste infrastrutture evidenzia una netta spaccatura in due del territorio nazionale essendo esse concentrate nel Nord Italia, con pochissimi impianti localizzati nelle regioni centrali e nessuno in quelle meridionali. Le ragioni di questo fenomeno sono da ricercare sicuramente nelle condizioni climatiche; ma, ciò non appare sufficiente poiché bisogna tenere presente che queste reti possono anche distribuire energia frigorifera e potrebbero quindi essere realizzate per condizionare invece che per riscaldare.



Fonte: AIRU

Senza entrare nel merito di una disamina dei dati nazionali, per la quale si rimanda all'approfondito studio dell'AIRU da cui sono tratte queste informazioni, ciò che è interessante notare per quanto riguarda la situazione regionale della Valle d'Aosta è che essa, con soli 6 impianti attivi a fine 2012, vanta un rapporto tra volumetria riscaldata e popolazione residente tra i più alti d'Italia e secondo solo al vicino Piemonte, sebbene la volumetria riscaldata non sia che lo 0,6% del totale nazionale.



Fonte: AIRU

VOLUMETRIA TELERISCALDATA			
REGIONE	2010	2011	
	Mm <sup>3</sup>	Mm <sup>3</sup>	%
Lombardia	112,0	117,6	45,2%
Piemonte	62,2	70,5	27,1%
Emilia Romagna	36,8	37,7	14,5%
Veneto	13,4	13,8	5,3%
Trentino Alto Adige	10,8	10,9	4,2%
Valle d'Aosta	1,2	1,5	0,6%
Lazio	3,5	3,6	1,4%
Liguria	2,8	3,0	1,2%
Toscana	1,0	1,0	0,4%
Marche	0,6	0,7	0,3%
<b>TOTALE ITALIA</b>	<b>244,4</b>	<b>260,3</b>	<b>100,0%</b>
<b>TOTALE NORD</b>	<b>236,4</b>	<b>252,0</b>	
	<b>97,0%</b>	<b>97,0%</b>	

Fonte: AIRU

Dal punto di vista energetico, le modalità di produzione dell'energia adottate per alimentare le reti di teleriscaldamento possono essere assai diverse, sia per tipologia di impianto che per fonte di energia utilizzata.

Riferendoci solo agli impianti principali e trascurando i secondari che per loro natura dovrebbero pesare poco sul totale della produzione e dei consumi, il dato che emerge dallo studio dell'AIRU è che, su scala nazionale, la tipologia prevalente è quella



dell'impianto cogenerativo alimentato da fonti fossili. Questi possono essere installazioni dedicate ad alimentare la rete di teleriscaldamento (in questo caso la produzione nazionale è di 1013 MWt e 772 MWe) o centrali termoelettriche realizzate con il fine principale di produrre energia elettrica ma il cui calore di scarto viene recuperato per alimentare le reti cittadine di climatizzazione. In questo caso il l'energia termica recuperata è stimata in 1065 MWt per l'anno 2011.

A fronte di queste due ormai consolidate tecnologie, negli ultimi anni stanno sempre più trovando applicazione gli impianti di termovalorizzazione dei rifiuti solidi urbani, il cui calore viene recuperato per alimentare le reti di teleriscaldamento, e le centrali dedicate alimentate a biomassa, spesso improntate sul modello della cogenerazione. In fattispecie, questo modello tecnologico risulta essere particolarmente indicato per alimentare gli impianti di piccola e media taglia, soprattutto se realizzato in prossimità di attività che producono abbondanti quantitativi di scarti di lavorazioni, come l'industria del legno.

Relativamente alla situazione valdostana, tutti gli impianti operanti in regione sono della tipologia delle centrali dedicate all'alimentazione della rete di teleriscaldamento che servono e solo uno di questi produce sia energia termica che elettrica. Inoltre, una di queste centrali è dotata di un impianto di recupero del calore generato dal vicino cogeneratore in servizio presso la discarica regionale di Brissogne.

TIPOLOGIA DI IMPIANTO PER POTENZA INSTALLATA (MW)		
	MWe	MWt
Impianti di cogenerazione*	772	1.031
Centrali termoelettriche	-	1.065
Impianti di termovalorizzazione RSU	-	392
Impianti di sola combustione a biomassa	-	197
Impianti di cogenerazione a biomassa	33	67
Fonte geotermica	-	41
Recupero da processo industriale	-	11
Pompe di calore	-	20
Caldaie di integrazione e riserva	-	4.115
<b>TOTALE</b>	<b>805</b>	<b>6.940</b>
*Impianti dedicati alimentati a combustibili fossili		

Fonte: AIRU (dati 2011)



Per quanto riguarda le fonti di energia utilizzate per generare il calore di cui queste reti necessitano, il gas naturale è la fonte preferita coprendo da solo oltre il 75% del fabbisogno, dato che conferma quello relativo ad un forte sbilanciamento del settore energetico nazionale verso questa fonte. Segue in questa classifica la termovalorizzazione RSU che viene sempre più utilizzata in abbinamento alla realizzazione di una rete di teleriscaldamento. Terzo combustibile in forte crescita, ma con un peso relativamente ancora poco significativo sul totale, sono le biomasse<sup>(2)</sup>, che a fine 2011 coprivano circa il 6,3 % del fabbisogno totale ma che nel 1995 non erano presenti.

Indicativo di una tendenza verso una maggiore sostenibilità del settore è il crescente ricorso all'utilizzo di energie rinnovabili, passate complessivamente da un 3 % nel 1995 al 20 % del 2011. Tuttavia, va fatto presente che questo dato include l'apporto della termovalorizzazione RSU, cosa non propriamente corretta in quanto, sebbene si tratti di un recupero di calore che altrimenti andrebbe perso, risulta comunque un modo poco proprio di utilizzare i rifiuti che, invece, potrebbero e dovrebbero trovare vie di smaltimento più nobili, come anche indicato da diverse direttive europee in materia.

FONTI DI ENERGIA UTILIZZATE				
	2011		1995	
	TEP	%	TEP	%
Gas naturale	1.179.913	75,9%	383.521	68,9%
Termovalorizzazione RSU	195.813	12,6%	6.708	1,2%
Biomasse	98.577	6,3%	-	0,0%
Carbone	45.576	2,9%	69.810	12,5%
Olio Combustibile	6.046	0,4%	79.726	14,3%
Geotermia	10.933	0,7%	4.472	0,8%
Recupero da processo industriale	2.322	0,1%	4.644	0,8%
Energia primaria fossile del SEN*	15.589	1,0%	7.750	1,4%
<b>TOTALE FOSSILI</b>	<b>1.247.125</b>	<b>80,0%</b>	<b>540.807</b>	<b>97,0%</b>
<b>TOTALE RINNOVABILI</b>	<b>307.645</b>	<b>20,0%</b>	<b>15.824</b>	<b>3,0%</b>
<b>TOTALE GENERALE</b>	<b>1.554.770</b>	<b>100,0%</b>	<b>556.631</b>	<b>100,0%</b>

\* Consumi del Sistema Elettrico Nazionale per energia elettrica prelevata dalla rete.

Fonte: AIRU



Per quanto riguarda la situazione della Valle d'Aosta, la soluzione scelta per alimentare i generatori principali è sempre quella dell'uso della biomassa legnosa vergine (cippato), mentre il gasolio è il combustibile preferito per i generatori di emergenza. Inoltre, sebbene non direttamente asservito a una rete di teleriscaldamento, va fatto presente che il cogeneratore presente nella discarica di Brissogne è alimentato con il biogas prodotto in loco.

### 1.3 - GLI IMPIANTI OPERANTI IN VALLE D'AOSTA

Attualmente in Valle d'Aosta sono operanti 6 reti di teleriscaldamento: due a La Thuile e una ciascuno per i comuni di Morgex, Pré-Saint-Didier, Pollein e Gressan in località Pila. Di questi impianti, quello di Pila non verrà considerato in questo studio perché alimentato a gasolio, mentre, non è stato possibile ottenere i dati di consumo e di gestione di uno dei due impianti operanti nel comune di La Thuile. Conseguentemente, quanto di seguito esposto si presenta sottostimato rispetto la reale situazione regionale.

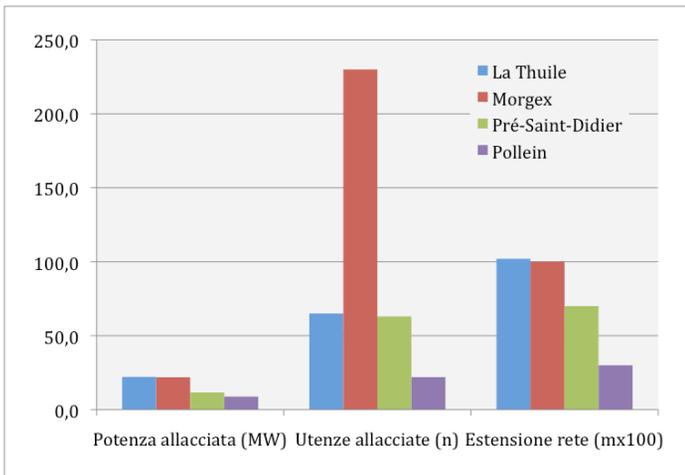
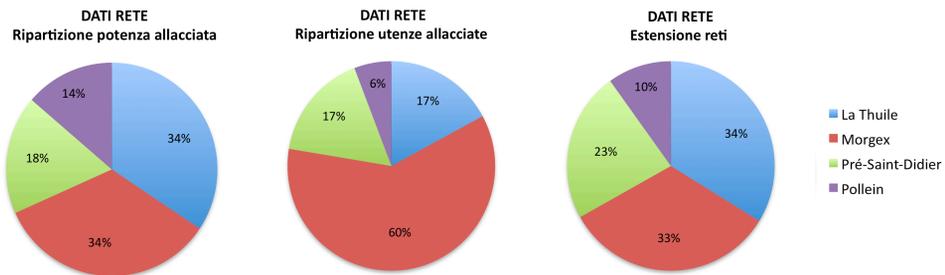
Tutti i dati di seguito esposti sono stati forniti dalle società di gestione degli impianti e sono stati rielaborati dall'ARPA Valle d'Aosta.

Innanzitutto va fatto presente che le 4 reti di cui si hanno i dati sono gestite dalla medesima società e 3 di queste insistono sull'area della Comunità Montana della Valdigne - Mont-Blanc, dove servono le utenze di 3 dei 5 comuni della zona. Complessivamente, a fine 2012 la potenza totale allacciate era poco meno di 65 MW con uno sviluppo della rete di 30 km che alimentava un totale di 380 utenze censite pari a una volumetria di 1,5 milioni di m<sup>3</sup> (dato AIRU 2011). La quarta rete, quella di Pollein vicino ad Aosta, pesa non più dell'8 % di questi valori.

DATI RETE					
	La Thuile	Morgex	Pré-Saint-Didier	Pollein	TOTALE
Potenza allacciata (MW)	22,15	21,89	11,60	8,84	64,48
Utenze allacciate (n)	65	230	63	22	380
Estensione rete (m)	10.200	10.000	7.000	3.000	30.200



Il comune di Morgex è quello con il maggior numero di utenze allacciate alla rete, ben 230, pari al 60% del totale di tutte le reti. Tuttavia, come potenza allacciata e lunghezza della rete quella di Morgex si equivale a quella del comune di La Thuile, dove evidentemente le utenze, seppur minori di numero, sono più energivore e disperse su un territorio più ampio.



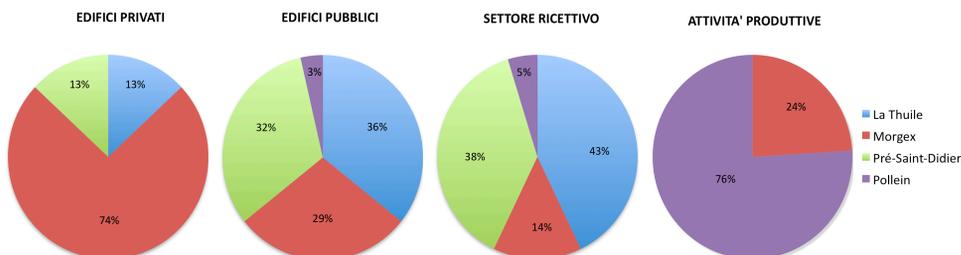
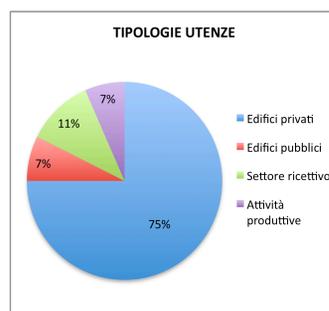
Dati reti di teleriscaldamento

I fruitori del servizio di teleriscaldamento sono essenzialmente privati; essi sommano circa i  $\frac{3}{4}$  del bacino dell'intera regione, per un totale di 285 utenze. L'altro quarto risulta equamente distribuito tra edifici ad uso pubblico (28 utenze), il settore ricettivo (alberghi, ristoranti, attività legate al turismo pari a 42 utenze) e le attività produttive (artigianato e aziende agricole essenzialmente, pari a 25). Tuttavia, va rilevato che vi sono notevoli differenze nella loro distribuzione tra i quattro comuni. I



nfatti, mentre la parte maggiore delle edifici privati sono asserviti alla rete di Morgex, che conta il 74% del totale di questa tipologia di utenza, le percentuali si ribatano se ci si riferisce alle attività produttive, dove il 76% fanno capo alla rete dell'Autoporto di Aosta. Gli edifici pubblici e/o legati al turismo risultano invece equamente distribuiti tra i tre comuni della Valdigne e solo in minima parte sono nel comune di Pollein (per dei dati puntuali si rimanda alle schede di sintesi degli impianti).

TIPOLOGIE UTENZE					
	La Thuile	Morgex	Pré-Saint-Didier	Pollein	TOTALE
Edifici privati	37	210	38	-	285
Edifici pubblici	10	8	9	1	28
Settore ricettivo	18	6	16	2	42
Attività produttive	-	6	-	19	25
<b>TOTALE</b>	<b>65</b>	<b>230</b>	<b>63</b>	<b>22</b>	<b>380</b>



La ripartizione delle tipologie di utenze per comune.

Per quanto riguarda i dati di produzione e consumo, complessivamente la potenza installata nelle 4 centrali analizzate è di 45,1 MW, dei quali 26,5 MW dei generatori principali e 18,6 MW di quelli secondari (pari al 41 % del totale), per una produzione annuale complessiva di energia termica di 57,5 GWh, di cui solo 1,5 GWh con gli impianti di emergenza. È interessante notare come a fronte di un elevato valore della potenza installata dei generatori secondari, la quota a parte di energia termica prodotta per questa via è abbastanza esigua, a dimostrazione che questi intervengono solo nei momenti di necessità come in occasione degli interventi manutentivi sulle caldaie principali o in risposta ai picchi di richiesta.



Tutti i generatori principali sono alimentati a cippato di legna vergine, mentre quelli secondari consumano gasolio o, nel caso dell'impianto di Pollein, biogas e metano.

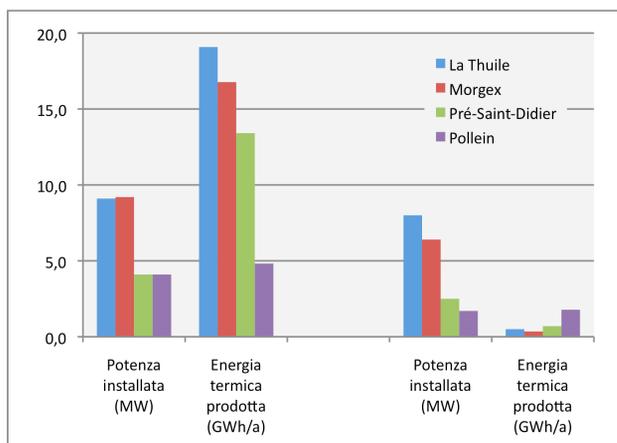
DATI IMPIANTO						
		La Thuile	Morgex	Pré-Saint-Didier	Pollein	TOTALE
<b>Impianto principale a biomassa</b>	Potenza installata (MW)	9,10	9,20	4,10	4,10	26,50
	Energia termica prodotta (kWh/a)	19.086.435	16.773.000	13.405.976	4.824.556	54.089.967
	Consumo combustibile (mcs)	58.820	40.875	26.574	9.325	135.594
<b>Impianto di integrazione</b>	Tipo combustibile	gasolio	gasolio	gasolio	metano	-
	Potenza installata (MW)	8,00	6,40	2,50	1,70	18,60
	Energia termica prodotta (kWh/a)	499.876	352.000	700.501	1.782.915**	1.552.377
	Consumo combustibile (mc-It)	52.813	10.500*	88.300	18.676	-
	<b>Totale energia termica prodotta (kWh/a)</b>	<b>19.586.311</b>	<b>17.125.000</b>	<b>14.106.477</b>	<b>6.607.471</b>	<b>57.425.259</b>
	Cogenerazione elettrica (mWhe/a)	2.181.900	0	0	0	2.181.900

\* Valore stimato.  
 \*\* Valore dato dalla somma dell'energia prodotta con il metano (179.159 kWh/a), il cui consumo è indicato nella riga sottostante, e da quella ricavata sfruttando il biogas prodotto dalla discarica di Brissogne (1.603.756 kWh/a).

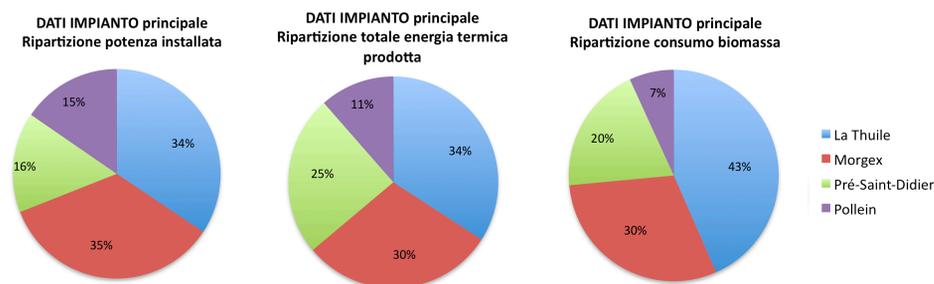
Dati di gestione degli impianti valdostani

In quanto a potenza installata ed energia termica prodotta i due comuni di Morgex e La Thuile (questa pur senza i dati del secondo operatore) costituiscono le due realtà più importanti sul territorio regionale e grossomodo si equivalgono con valori di potenza complessivi (impianto principale più impianto integrativo) intorno ai 16 MW e produzione di energia termica compresi tra 17 e 20 milioni di kWh annui ciascuno. Va tuttavia rilevato che l'impianto censito di La Thuile presenta consumi di combustibile ben maggiori rispetto a quello di Morgex poiché produce anche energia elettrica in cogenerazione per circa 2 milioni di kWh annui.

Interessante è osservare che il piccolo impianto di Pollein presenta valori di energia termica prodotta dal generatore di integrazione decisamente importanti. Ciò è dovuto al fatto che il generatore secondario è stato pensato per bruciare il biogas prodotto dalla vicina discarica di Brissogne, lavorando in affiancamento, più che in integrazione, a quello principale.

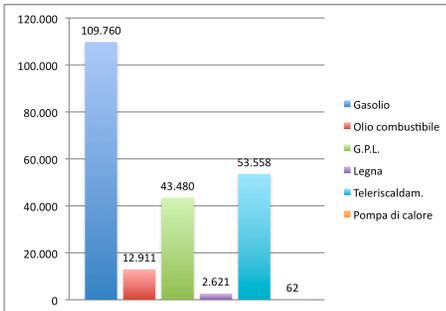


Gli impianti di generazione: a sinistra i principali, a destra quelli d'integrazione

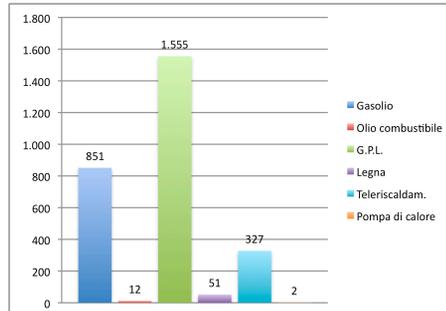


Dati degli impianti principali delle centrali valdostane

In questa sede è inoltre interessante evidenziare come, da un precedente studio di fine 2012 realizzato per il PIT-H3 "Espace Mont Blanc - Village Durables" su dati statistici del 2011, è emerso che nell'area della Val digne il teleriscaldamento assorbe circa 25% della potenza termica totale installata nella zona, con punte del 70% nei comuni dove presente, mentre il numero di impianti alimentati a GPL o gasolio è di molto inferiore alla media regionale, sia per potenza installata che per numero. Se si considera inoltre che nel caso valdostano tutte queste reti energetiche sono alimentate con cippato di biomassa legnosa vergine, si possono facilmente immaginare i vantaggi economici e ambientali derivanti dalla riduzione dei gas a effetto serra e dall'affrancamento dalle fonti energetiche fossili.



Impianti termici Valdigne. Potenze utili



Impianti termici Valdigne. Numero impianti

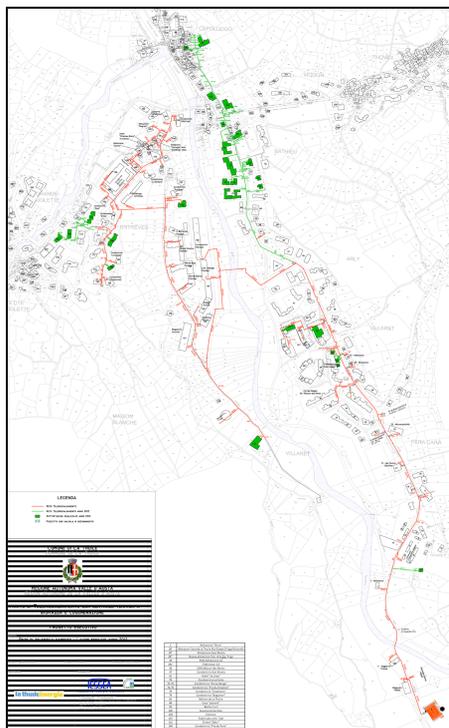
Nel seguito si procederà ad una rapida disamina degli impianti esistenti, proponendo alcune considerazioni di carattere generale emerse in base a quanto di nostra conoscenza.

### **La Thuile**

Nel comune di La Thuile sono presenti due reti di teleriscaldamento. Della prima, di “grandi dimensioni”, è stato possibile ottenere dai gestori i dati operativi e sarà qui di seguito esaminata. Della seconda, invece, come già accennato, non si sono avuti i dati di gestione ma si sa che è molto più piccola dell'altra e che fornisce gli abitati posti a monte del paese, sulla direttiva stradale del Piccolo San Bernardo, e che è alimentata a pellet.

La rete principale di La Thuile è alimentata da due caldaie della potenza complessiva di 9,15 MW: la prima di 4,65 MW ha un funzionamento annuale mentre quella di 4,5 MW è stagionale. A questo impianto si aggiunge un turbogeneratore ORC (Ciclo Organico di Rankine<sup>(3)</sup>) per la produzione combinata di energia termica ed elettrica con funzionamento annuale da 3,75 MW, di cui 0,67 MW elettrici e 3,08 termici, e una caldaia di integrazione/riserva da 8 MW. Le caldaie principali sono alimentate a cippato di legna vergine di provenienza locale, mentre la caldaia di integrazione è alimentata a gasolio.

La centrale di La Thuile è l'unica sul territorio regionale a essere dotata di un impianto di cogenerazione.



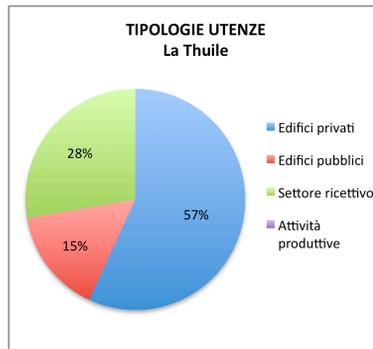
Immagini della rete principale di La Thuile con una rappresentazione del territorio coperto dal servizio.

Dai dati tecnici in possesso si evidenzia che la rete si estende per poco più di 10 km e soddisfa la domanda termica di 65 sottocentrali che richiedono una potenza di 22,15 MW. Esse corrispondono a circa il 30% della popolazione dell'abitato ed a circa 265.524 m<sup>3</sup> di utenze di tipo residenziale e terziario.

La tipologia di utenze prevalenti è costituita da privati, pari ad un 57%, ed a decrescere da attività ricettivo-alberghiere e da edifici pubblici. Non sono collegate alla rete attività produttive.

Storicamente, l'impianto di La Thuile è stato l'ultimo a essere entrato in servizio in Valle d'Aosta ed è operativo dal 2010.

Poiché sono necessari dei tempi lunghi corrispondenti all'anno solare per fare delle analisi reali sui consumi così da settare propriamente l'impianto in funzione di una prevalenza termica o elettrica, si può considerare questo impianto ancora in fase di rodaggio sotto questo punto di vista.

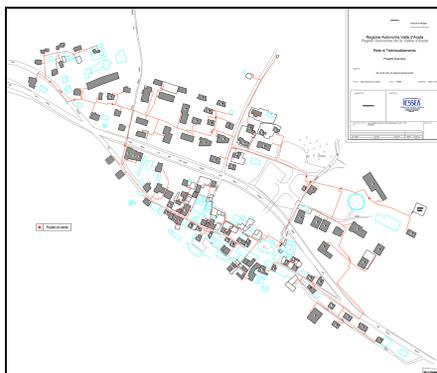


Una delle principali criticità di questa rete consiste nel fatto che essa serve un centro con una popolazione residente assai esigua (circa 750 persone) ma con importanti oscillazioni di abitanti dovute alla fruizione stagionale o infrasettimanale delle seconde case. Questo fenomeno comporta che la rete deve essere dimensionata per il carico massimo, mentre in realtà per la maggior parte dell'anno ciò non sarebbe necessario, e deve poter sopportare a forti variazioni di carico, anche giornaliere. Pertanto, essa va sostanzialmente tenuta in costante attività, con il fluido vettore in movimento senza che nessuno ne usi l'energia e le caldaie stagionali sempre attive in modalità mantenimento, cosa che fa scendere la resa. A conseguenza di ciò si hanno maggiori consumi di combustibile e elevati livelli di emissioni inquinanti rispetto a quanto strettamente necessario, come rilevato dall'ARPA VdA con apposite stime (in merito si veda il CAP 2).

Inoltre, col fine di ridurre l'impatto visivo e ambientale sugli abitanti, la centrale è stata collocata a oltre 1 km dal paese e ciò comporta una rete più estesa con maggiori dispersioni termiche.

### ***Morgex***

Il teleriscaldamento di Morgex è stato il primo ad essere costruito in Valle d'Aosta: esso risale all'anno 2000 e ha subito un importante ampliamento entrato in servizio nel 2005.

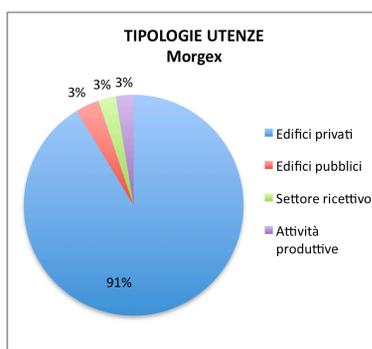


Immagini della rete del centro storico di Morgex con una rappresentazione del territorio coperto dal servizio.

Esso è alimentato da 3 caldaie a cippato di legna vergine proveniente al 90% dal vicino Piemonte. La loro potenza complessiva è di 9,2 MW ripartiti in un generatore da 4,4 MW ad uso stagionale e due da 2,4 MW ciascuno in funzione tutto l'anno. Vi è inoltre un impianto di integrazione e soccorso a gasolio da 6,4 MW ripartiti in 3 generatori.

La rete in servizio al comune di Morgex si estende per circa 10 km e alimenta 230 utenze di cui 210 residenziali e del settore terziario pari al 91% del totale. Queste corrispondono ad una volumetria servita di 635.765 m<sup>3</sup> per una potenza allacciata di 21,9 MW.

La percentuale di popolazione servita da questa infrastruttura è assai elevata e si attesta a circa l'80% del totale.





Sebbene non così evidente come nel caso del comune di La Thuile, anche per Morgex la presenza di una notevole numero di seconde case costituisce un problema per una ottimale gestione della rete di teleriscaldamento, sotto il profilo della resa dei consumi e delle ricadute sulla qualità dell'aria.

Recentemente, tuttavia, nei pressi dell'impianto è stato realizzato un capannone che permette di riparare il cippato dalle intemperie, consentendone una migliore essiccazione che si traduce in una maggiore resa calorifica poiché parte del potenziale energetico non viene disperso per l'evaporazione del contenuto d'acqua. Ciò ha permesso di risparmiare notevoli quantità di combustibile.

### ***Pré-Saint-Didier***

La rete del paesino termale è la terza per dimensione tra quelle operanti sul territorio regionale. Essa è entrata in servizio nel corso del 2008 ed è alimentata da 2 caldaie che erogano una potenza complessiva di 4,1 MW, suddivisi in 1,6 e 2,5 MW. Entrambi i generatori hanno un funzionamento annuale e sono alimentati da biomassa nella forma del cippato di legna proveniente dal vicino Canavese e in parte dalla provincia di Cuneo.

L'impianto di integrazione e soccorso è a gasolio e consta di una potenza di 2,5 MW.



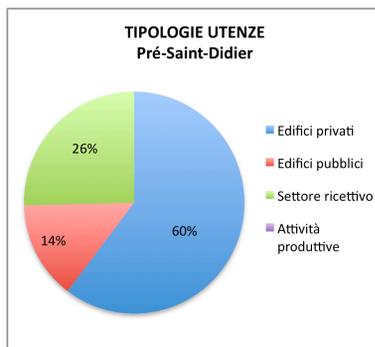
Immagini della rete di Pré-Saint-Didier con una rappresentazione del territorio coperto dal servizio.

La rete di Pré-Saint-Didier si estende per 7 km all'interno dell'abitato e alimenta 63 sottocentrali suddivise in 38 utenze civili residenziali (pari al 60% del totale), 9



edifici pubblici e 16 legate al settore turistico alberghiero. Ad esse corrispondono una volumetria di 308.000 m<sup>3</sup> riscaldati e una potenza allacciata di 11,6 MW. Nessuna attività produttiva è allacciata a questa rete.

Anche in questo caso la percentuale di popolazione servita è elevata attestandosi su un 60% del totale.



Il teleriscaldamento di Pré-Saint-Didier presenta molte analogie con le reti degli altri due comuni della Valdigne, ma la presenza di una piscina pubblica e di uno stabilimento termale, oltre a una minore presenza di seconde case nell'area servita dall'infrastruttura, permettono di stemperare le problematiche gestionali proprie delle altre due reti. Infatti, da un confronto con l'impianto di La Thuile, si evidenzia come per un numero sostanzialmente analogo di sottocentrali, a Pré st. Didier viene riscaldata una volumetria superiore del 12% utilizzando una linea di 3 km più corta, permettendo così l'installazione di una potenza di generazione decisamente inferiore.

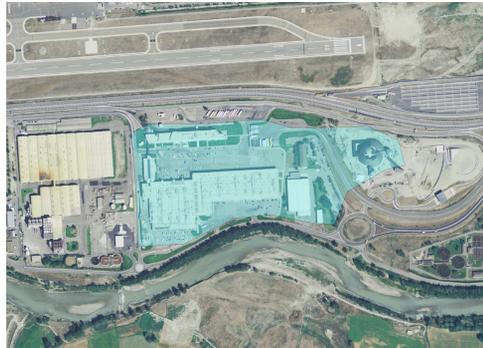
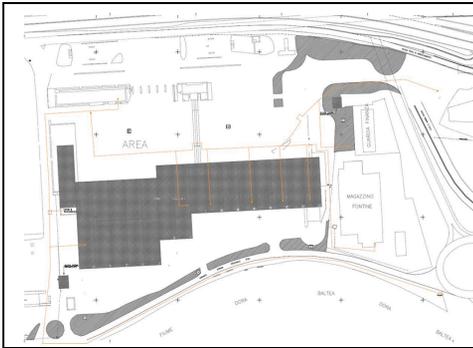
### ***Pollein***

La rete di servizio all'Autoporto di Aosta, in comune di Pollein, si presenta come particolare nel panorama valdostano per diverse ragioni.

La prima di queste è che si tratta dell'unico impianto alimentato da due tipologie differenti di biomassa. Oltre al generatore principale che brucia cippato di legna vergine proveniente dal canavese e dal cuneese, vi è un recuperatore del calore proveniente dal circuito di raffreddamento del cogeneratore installato presso la vicina discarica regionale di rifiuti RSU, il quale è alimentato con il biogas prodotto



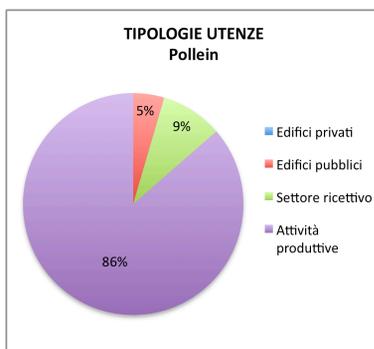
naturalmente dalla fermentazione dei rifiuti. Si tratta quindi di un utilizzo per così dire “indiretto” di un combustibile rinnovabile.



Immagini della rete di Pollein con una rappresentazione dell'area dell'Autoporto coperta dal servizio.

L'abbondanza e la continuità di disponibilità di questo calore a “chilometro zero” generano così una seconda particolarità nel sistema di gestione della centrale di teleriscaldamento: il recuperatore di calore lavora praticamente a pieno regime, quasi fosse il generatore principale, imponendo così il fermo estivo a uno dei due generatori “principali” e l'inutilità del secondo generatore da ormai alcuni anni. Nell'insieme, l'impianto principale dispone di una potenza installata di 4,1 MW, suddivisi in 2,5 MW per la caldaia a funzionamento annuale in stato di fermo e 1,6 MW per quella accesa stagionalmente. In aggiunta a ciò, la centrale dispone di un generatore di emergenza e integrazione a gas metano della potenza di 1,7 MW.

Inoltre, e questa è la terza peculiarità, questo impianto è al servizio esclusivamente di attività produttive e del terziario. Le 22 sottostazioni di utenza, di cui ben 19 al servizio di attività artigianali, riscaldano una galleria commerciale, degli uffici e un grosso ipermercato per una volumetria complessiva di circa 325.000 m<sup>3</sup> che richiede una potenza termica di 8,35 MW; il tutto alimentato da una rete di 3 km circa.



Il caso della centrale di Pollein è un esempio di efficiente gestione e di integrazione di processi diversi per la produzione di energia: il recupero di una fonte di calore che altrimenti andrebbe perso e l'abbinamento con un impianto di generazione alimentato con una fonte rinnovabile. Questo virtuoso meccanismo da modo di ottenere evidenti benefici gestionali e ambientali e, non ultimo, permette di conseguire un notevole risparmio di combustibile.

#### NOTE

(1) Fonte: AIRU - Associazione Italiana Riscaldamento Urbano

(2) In questo caso, per biomasse si intende l'insieme degli scarti di produzioni agricole o forestali, gli scarti di lavorazione del legno o dell'industria alimentare, i reflui provenienti dall'allevamento del bestiame e le specie vegetali coltivate per lo scopo, utilizzati direttamente o indirettamente per produrre combustibili come il biogas, il biodiesel o il bioetanolo

(3) Tale sistema di cogenerazione utilizza un principio simile a quello delle turbine a vapore. A differenza di queste, però, per muovere le turbine, al posto del vapore i turbogeneratori utilizzano un fluido organico a ciclo chiuso. Questo viene fatto evaporare utilizzando il calore proveniente dalla caldaia a cippato, mediante uno scambiatore; il fluido organico vaporizzato alimenta quindi la turbina che produce energia elettrica. Dopo essere transitato per la turbina, il fluido vaporizzato viene fatto raffreddare e condensare, cedendo così calore alla rete di teleriscaldamento per poi essere di nuovo inviato all'evaporatore. In questo modo si chiude il ciclo termodinamico di tipo Rankine.



## CAPITOLO 2



---

## 2.1 - L'INVENTARIO REGIONALE DELLE EMISSIONI

L'informazione riguardante le emissioni di sostanze inquinanti in atmosfera viene ottenuta attraverso la costruzione e il costante aggiornamento di un inventario delle sorgenti emissive presenti nel territorio regionale.

Ai sensi del decreto ministeriale del 20 maggio 1991, per inventario delle emissioni si intende una serie organizzata di dati relativi alle quantità di inquinanti introdotti nell'atmosfera da sorgenti naturali e da attività antropiche. I dati sono localizzati sul territorio con opportune tecniche di georeferenziazione. L'inventario delle emissioni è una raccolta dei dati raggruppati per inquinante, per attività, per combustibile, per unità territoriale (regione, provincia, comune, celle), per intervallo temporale (anno, mese, giorno).

L'inventario delle emissioni è uno strumento dinamico: la sua evoluzione riguarda sia l'aggiornamento delle informazioni sia il miglioramento dell'affidabilità e del grado di dettaglio dei dati.

In Valle d'Aosta l'inventario delle emissioni è gestito dall'Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente e al momento è aggiornato al 2010.

L'attività inerente agli impianti di teleriscaldamento viene indicata dalla nomenclatura SNAP 97 come "Macrosettore 01", a cui ne seguono altri dieci riferiti ad altre tipologie di sorgenti (riscaldamento domestico, industria, trasporti, ecc.).

## 2.2 - LE EMISSIONI STIMATE PER GLI IMPIANTI VALDOSTANI DI TELERISCALDAMENTO

Quando sono stati raccolti i dati relativi agli indicatori dell'attività emissiva considerata è possibile stimare le emissioni di inquinanti utilizzando opportuni coefficienti moltiplicativi, detti "fattori di emissione", tramite la formula

$$E = A \times FE$$

dove:

- **E** è l'emissione prodotta (espressa come massa in tonnellate o chilogrammi);



- 
- **A** è un indicatore di attività (ad esempio il combustibile impiegato per gli impianti termici o il numero di veicoli transitanti su di un tratto stradale);
  - **FE** è il fattore di emissione per quella attività espresso in grammi/unità di attività.

Gli inquinanti emessi in particolare dagli impianti di teleriscaldamento a biomassa legnosa sono:

➤ **Monossido di carbonio:**

é l'inquinante gassoso più abbondante in atmosfera; l'unico la cui concentrazione venga espressa in milligrammi al metro cubo. E' un gas incolore e inodore. Il CO ha la proprietà di fissarsi all'emoglobina del sangue impedendo il normale trasporto dell'ossigeno nelle varie parti del corpo. Alle concentrazioni abitualmente rilevabili nell'atmosfera urbana gli effetti sono reversibili.

➤ **Ossidi d'azoto:**

il monossido di Azoto (NO) è un gas incolore, inodore e insapore, mentre il biossido di Azoto (NO<sub>2</sub>) si presenta sotto forma di un gas rossastro di odore forte e pungente. Perché più stabile, il biossido è considerato più importante per gli effetti sulla salute umana; esso provoca irritazioni alle mucose degli occhi e danni alla vie respiratorie e alla funzionalità polmonare. L'NO<sub>2</sub> contribuisce all'acidificazione delle precipitazioni.

➤ **Polveri:**

La nocività sulla salute umana, dipende sia dalla composizione chimica che dalla dimensione delle particelle: quelle di diametro superiore a 10 µm si fermano nelle mucose rinofaringee dando luogo a irritazioni e allergie; quelle di diametro compreso tra 5 e 10 µm raggiungono la trachea e i bronchi; quelle infine con diametro inferiore a 5 µm possono penetrare fino agli alveoli polmonari. Le particelle fini sono dunque particolarmente pericolose. Per questo motivo la legislazione ha preso in considerazione la misura selettiva della frazione di particolato atmosferico con diametro aerodinamico inferiore a 10 µm, indicato come PM10, stabilendo per essa specifici valori di riferimento di concentrazione e, in prospettiva la frazione PM2.5. Il particolato atmosferico produce degradazione delle superfici esposte e riduzione della visibilità.



➤ **Biossido di zolfo:**

E' un gas incolore, di odore acre. L' $\text{SO}_2$  è molto irritante per gli occhi, la gola e le vie respiratorie. In atmosfera, attraverso reazioni con l'ossigeno e le molecole di acqua, contribuisce all'acidificazione delle precipitazioni, con effetti negativi sulla salute dei vegetali. Le precipitazioni acide possono avere effetti corrosivi anche su materiali da costruzione, vernici, metalli e manufatti in pietra, in particolare marmi.

Per il calcolo delle emissioni da impianti di teleriscaldamento sono stati utilizzati i seguenti dati di ingresso:

**Indicatore di attività**

Come indicatore si utilizza l'energia (misurata in GJ) derivante dalla combustione della biomassa utilizzata. Per la stima delle emissioni si sono utilizzati dell'anno 2011 per poter considerare anche l'impianto di La Thuile, che nel 2010 era ancora in fase di test.

Impianto	Energia prodotta da caldaia principale [MWh/anno]	Energia prodotta da caldaia secondaria [MWh/anno]
Morgex	17.695	1.662
La Thuile	16.471	861
Pré St. Didier	10.851	567
Pollein	4.410	1.407

Consumi annuali di combustibile per il teleriscaldamento in Valle d'Aosta – anno 2011 (fonte: SEA).

**I fattori di emissione**

I fattori di emissione sono stati definiti dall'Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici, ISPRA, e dal Guidebook dell'Agenzia Europea per l'Ambiente (2009).

Combustibile	Fattore di emissione (g/GJ)			
	$\text{NO}_x$	CO	$\text{SO}_2$	PTS
Biomassa legnosa	211	258	11	50
Gasolio	180	15	460	3

Fattori di emissione per gasolio e legna per il teleriscaldamento (fonte: ARPA).



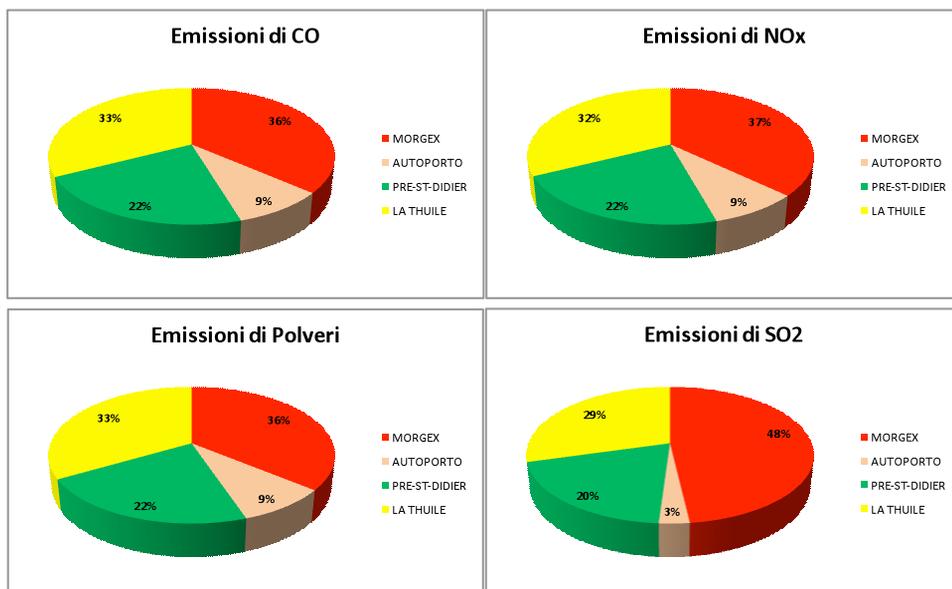
Come si nota, tra i due combustibili la biomassa legnosa è la maggior emettitrice di CO e polveri, mentre il gasolio lo è per l'SO<sub>2</sub>.

### ***Emissioni stimate***

La stima delle emissioni totali espresse in tonnellate e distinte per ogni impianto di teleriscaldamento a biomassa legnosa, sono riportate nella tabella seguente:

Impianto	Stima delle emissioni da teleriscaldamento anno 2011 (t/anno)			
	NO <sub>x</sub>	CO	SO <sub>2</sub>	PTS
Morgex	18	21	4	4
Pré St. Didier	11	13	2	3
La Thuile	16	19	2	4
Pollein	4	5	<1	1
TOTALE	49	58	8	12

Stima delle emissioni di macroinquinanti dovute ad impianti di teleriscaldamento in Valle d'Aosta (fonte: ARPA Valle d'Aosta).



Incidenza percentuale delle emissioni provenienti dagli impianti di teleriscaldamento in Valle d'Aosta (fonte: ARPA Valle d'Aosta).

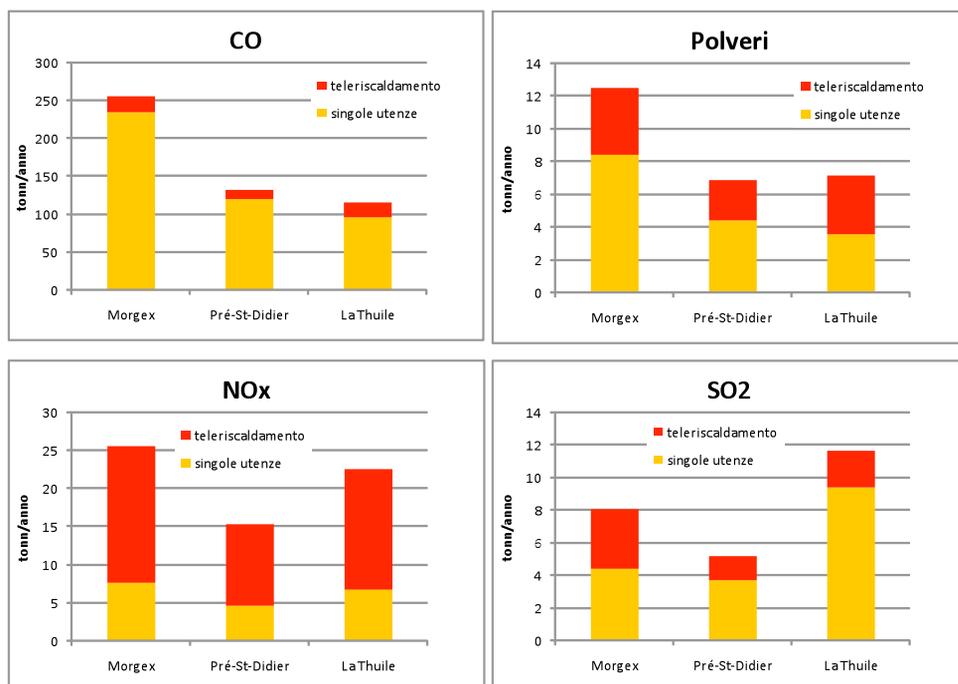


In ragione della produzione energetica di ogni impianto, si nota come gli impianti di Morgex, di Pré-Saint-Didier e di La Thuile si suddividano quasi equamente le emissioni di tale settore.

L'impianto dell'Autoporto di Pollein produce emissioni nettamente inferiori in quanto di dimensioni decisamente ridotte rispetto agli altri tre impianti.

Se si estende l'analisi all'intero settore del riscaldamento domestico a scala comunale, si può notare come le emissioni degli impianti di teleriscaldamento pesino meno per CO, SO<sub>2</sub> e polveri rispetto a quelle delle singole utenze non allacciate alla rete. Le utenze non allacciate sono alimentate quasi esclusivamente a gasolio, legna e, in minima parte, a gpl e si riferiscono alle sole unità residenziali.

Per gli ossidi d'azoto l'apporto è più ingente per il teleriscaldamento in quanto bisogna considerare che la rete alimentata dal sistema contiene spesso le utenze più energivore del comune (edifici pubblici, stabilimenti sportivi,...).



Confronto a livello comunale tra le emissioni delle reti di teleriscaldamento e quelle delle utenze ancora non allacciate (fonte: ARPA Valle d'Aosta).



## CAPITOLO 3



---

### 3.1 - PANORAMICA SULLE TECNOLOGIE DI ABBATTIMENTO DELLE EMISSIONI

In questo capitolo si cercherà di esporre una panoramica delle tecnologie e dei sistemi più interessanti adottabili per ridurre l'impatto ambientale delle centrali termiche di alimentazione alle reti di teleriscaldamento. In linea con gli obiettivi del progetto RENERFOR, il focus sarà sui sistemi adottabili nelle centrali alimentate a biomassa legnosa.

Inoltre, va tenuto presente che le leggi che disciplinano la materia sono il D.Lgs. 152/2006, il cosiddetto "Testo unico ambientale" che regola le emissioni inquinanti, e il D.Lgs. 155/2010, di recepimento della Direttiva Europea 2008/50/CE "Qualità dell'Aria" e che dispone in materia di qualità dell'aria ambiente.

Le misure applicabili possono essere distinte nei due grandi gruppi delle misure primarie e delle misure secondarie.

#### 3.1.1 - MISURE PRIMARIE

Appartengono a questa categoria quegli accorgimenti che intervengono direttamente sull'impianto e sulle sue modalità operative, regolandone la potenza e le condizioni di combustione, nonché quelli che riguardano la sua progettazione e messa in opera. Essi sono volti a migliorarne il rendimento e la qualità della combustione, così da ridurre il consumo di combustibile e, conseguentemente, la quantità e la qualità delle emissioni inquinanti. Operando un controllo in continuo delle emissioni, si può operare in tempo reale sui sistemi sotto esposti per migliorare le condizioni di combustione.

I sistemi di regolazione influenzano direttamente i livelli di emissione di CO e NO<sub>x</sub>, mentre per le polveri, per quanto le due cose siano correlate, si usano misure secondarie di contenimento.

Una prima importante misura a punto è la **regolazione della potenza** la quale migliora il rendimento annuo dell'impianto riducendo le perdite di calore utile grazie ad un aumento dei tempi di lavoro della caldaia. Questo sistema si basa sulla possibilità di variare o il quantitativo di combustibile o quello di comburente o di entrambi immessi nella camera di combustione, così da passare in continuo dalla piena potenza (100%) a quella parziale (50%). Sotto un livello minimo di potenza le caldaie moderne possono passare a una fase detta di "accensione-spegnimento" in cui



---

il braciere viene mantenuto attivo con regolari immissioni di combustibile. Questa fase, tuttavia, determina un aumento delle emissioni rispetto il lavoro in continuo.

La **regolazione della combustione** rappresenta un'ulteriore possibilità di modulare e ottimizzare il lavoro della caldaia. Il sistema più utilizzato nelle caldaie a cippato è quello della sonda Lambda che permette di controllare e regolare in continuo le condizioni della combustione, regolando l'eccesso di aria in funzione della potenza istantanea e delle caratteristiche del combustibile, per ottimizzare il rapporto combustibile/aria comburente. Ciò consente di migliorare la qualità della combustione nella fase di spegnimento e il rendimento generale dell'impianto.

I due sistemi sono quelli adottabili da qualsiasi impianto, sono i più diffusi e sono anche abbinabili tra loro, ma in tal caso quello della regolazione di potenza è prevalente sull'altro.

Un ulteriore affinamento del focolare è rappresentato dalla **regolazione dello spessore del combustibile**, realizzabile però solo sugli impianti a griglia, in cui la combustione avviene su delle griglie mobili. Questo sistema permette di mantenere costante e controllato lo spessore delle braci e del combustibile lungo la griglia, col fine di avere una maggiore uniformità nella ripartizione dell'aria e una migliore separazione dei processi di ossidazione e di emissione dei gas.

Inoltre, l'applicazione di **recuperatori di calore** dai fumi di combustione aumenta l'efficienza energetica dell'impianto sfruttando dell'energia che altrimenti andrebbe persa e riduce la temperatura dei fumi da depurare, cosa che crea delle condizioni operative migliori per alcuni tipi di filtri come quelli a manica.

Per quanto riguarda la **progettazione dell'impianto di generazione**, è importante che esso sia scelto in funzione del tipo di combustibile che andrà ad utilizzare, la qual cosa necessita evidentemente, già in fase progettuale, una pianificazione di lungo periodo su quali saranno i canali di rifornimento. Ogni focolare infatti è progettato per funzionare al meglio con uno specifico combustibile: un buon impianto, alimentato con la biomassa giusta e in giusta misura, garantisce una combustione completa riducendo gli inquinanti emessi.

Due differenti e approfonditi progetti condotti dall'IVALSA di San Michele all'Adige in collaborazione con altri centri di ricerca, ai quali si rimanda, il Progetto BioTec nel 2010 e il Progetto BiQUEEN nel 2012, hanno evidenziato come le emissioni inquinanti varino in funzione del tipo di bruciatore, delle tecniche di combustione e



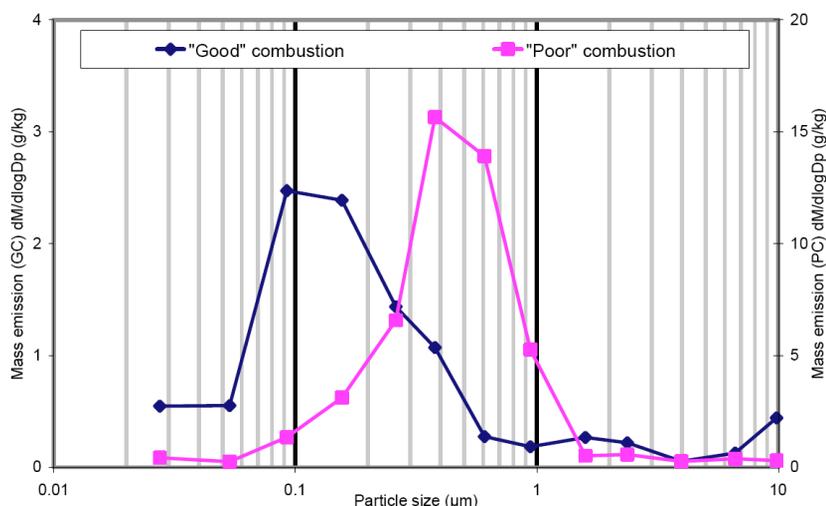
della composizione del combustibile legnoso usato. Per esempio, è emerso come prodotti apparentemente molto simili tra loro, il cippato di legna vergine, il cippato di sarmenti di vite, un loro mix e l'utilizzo di pellet, producano tutti dei quantitativi di emissioni assai differenti, a parità di tipo di caldaia utilizzata.

Biomassa	Sarmenti		Sarmenti da biologico	Mix		Cippato		Pellet vite	Pellet legno	Limiti D.Lgs. 152/06
	OFF	ON		OFF	ON	OFF	ON			
Elettrofiltro	OFF	ON	OFF	OFF	ON	OFF	ON	OFF	OFF	200 *
Polveri	131.8	96	29.5	35.5	34	37.6	9.6	10.4	8.9	30 ***
C.O.T.	6.1	2.1	1.4	< 1	1.4	2.1	1.5	1	1.1	350 **
CO	> 1000	> 1000	> 1000	> 1000	> 1000	484.5	394.8	208.7	200	500 **
NO <sub>2</sub>	376.9	443.2	194.4	283	289.7	213.4	294.2	77.7	86.3	200 **
SO <sub>2</sub>	41	24.7	28.1	21	16.3	8.1	13.9	2.1	5	

Valori inquinanti in mg/Nm<sup>3</sup> e riferiti all'11 % di ossigeno.

Fonte: A. Cristoforetti, G. Toscano - Progetto BioTec

Analogamente, uno studio del 2006 dell'università finlandese di Kuopio sulle migliori soluzioni adottabili per ridurre le emissioni inquinanti nei bruciatori domestici di biomassa legnosa ha evidenziato come la dimensione e la quantità del particolato prodotto dalla combustione vari molto in funzione della qualità della combustione stessa.



Distribuzione della dimensione del particolato (PM) in funzione della qualità della combustione

Fonte: Jarkko Tissari<sup>(1)</sup>



---

Gli impianti di grossa taglia, a causa dei grandi quantitativi di biomassa di cui hanno bisogno, spesso si trovano a dover usare cippato la cui qualità non è controllabile e costante nel tempo e che può contenere percentuali elevate di legno con di scarti di verniciatura, come nel caso del cippato ricavato da bancali industriali dismessi, o di prodotti chimici, quali i diserbanti usati sulle piante da frutto o su altri vegetali di origine agricola. In questo caso, l'adozione dei sistemi di regolazione della combustione visti sopra diventa ancora più importante, così da garantire una combustione ottimale e da ridurre i consumi di combustibile, ma non può prescindere dall'uso di tecnologie che intervengono direttamente sui fumi per abbatterne il carico inquinante (v. capitolo successivo).

Infine, tra le misure primarie possiamo annoverare anche la corretta **progettazione del circuito di distribuzione** in funzione dell'utenza e del territorio. Senza entrare nello specifico della progettazione di una rete di teleriscaldamento, per la qualcosa si rimanda alla letteratura specifica, si riportano qui di seguito alcune regole basi il rispetto delle quali contribuisce a ridurre i consumi di combustibile e quindi l'emissione di inquinanti.

Una rete eccessivamente lunga soffre inevitabilmente di elevate dispersioni termiche, così come una rete che debba rifornire un'utenza poco concentrata e distribuita su un territorio ampio avrà costi maggiori di posa per kW assorbito oltre che una bassa efficienza. Nelle minireti si considera un limite quello dei 0,25-0,16 kW erogati per metro di lunghezza.

Un altro fattore da tenere in considerazione è la continuità dell'assorbimento che deve essere in qualche modo garantito per non fare lavorare l'impianto solo per tenere caldo e operativo il circuito senza che nessuno sfrutti l'energia immessa. Diventa pertanto importante che sia collegato un certo numero di utenze energivore e costanti nell'uso come edifici pubblici, piscine, alberghi con apertura annuale. Si tratta sostanzialmente di dimensionare bene l'impianto in funzione dell'uso, così da farlo lavorare il più possibile a pieno carico riducendo al minimo i periodi di carico ridotto o di stand-by.

### **3.1.2 - MISURE SECONDARIE**

Appartengono a questa categoria quelle soluzioni che operano direttamente sui gas di scarico della centrale termica per abbatterne le emissioni inquinanti. Queste

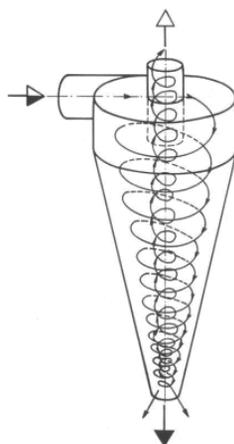


tecnologie permettono, nella maggior parte dei casi, di rientrare nei parametri di legge, cosa che non sarebbe possibile adottando solo i metodi prima elencati. L'uso è quindi obbligatorio nel caso di impianti di media e grande taglia come quelli qui trattati.

Questi sistemi operano principalmente sulle polveri emesse dalla caldaia, mentre sono ininfluenti per le emissioni di CO e NO<sub>x</sub>. Una parte rilevante delle polveri emesse dalla combustione viene trascinata dai fumi di combustione verso l'esterno e non si deposita sul fondo della camera di combustione.

**Cycloni e multi-cycloni:** sono dei dispositivi estremamente semplici che lavorano per via meccanica sfruttando la forza di gravità: l'aria inquinata viene diretta tangenzialmente alla pareti del filtro dove per effetto inerziale le particelle si agglomerano e cadono nella tramoggia posta alla base. L'aria pulita esce dalla parte opposta depurata.

L'efficienza di questo filtro è strettamente correlata alle sue dimensioni: cycloni di dimensioni medio-grandi presentano rendimenti di rimozione elevati solo per particolato di misura maggiore o uguale a 10 µm (circa il 90 %), considerato di elevate dimensioni. Sono invece poco o niente efficaci per particolato medio e piccolo (circa il 10 % per PM<sub>2,5</sub>).



Fonte: internet

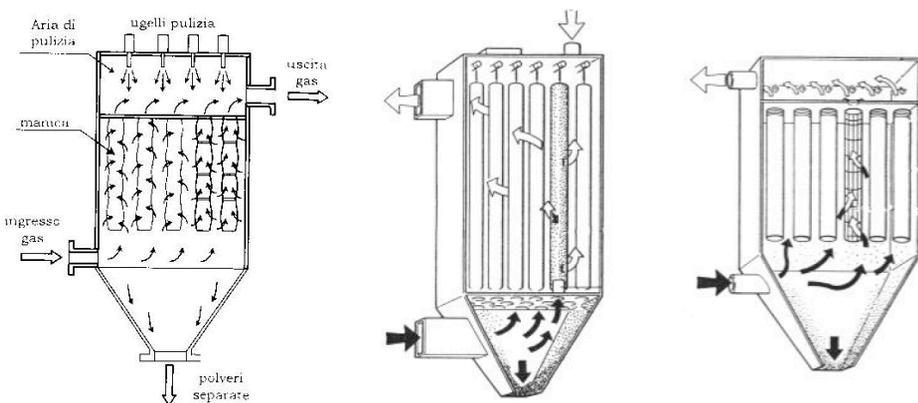
Batterie di più filtri di questo tipo, ma di piccole dimensioni (diametri intorno ai 15 cm), disposti in parallelo o in serie sono detti multi-cycloni. In tal caso, la loro efficacia per il particolato di 5 µm oscilla tra il 50 % e l'80 %.



Entrambi questi tipi di filtri sono apparecchi economici e robusti che non necessitano di molta manutenzione. Un altro vantaggio è rappresentato dal fatto che questi apparecchi lavorano in continuo sul flusso di gas, cioè senza la necessità di esclusione dalla linea del gas per la pulizia. In genere sono usati come pre-separatori per eliminare le particelle più grandi e incandescenti prima di inviare il flusso d'aria verso altri sistemi di filtraggio.

Nuovi modelli di multi cicloni, detti multi cicloni ad alta efficienza (HEMC), permettono di raggiungere percentuali del 23 % per le PM<sub>2,5</sub> ma consumano molta più energia poiché richiedono una più elevata pressione del flusso d'aria.

**Filtri a tessuto o a manica:** chiamati in inglese fabric filter (FF) o bag house filter, sono dei filtri di tessuto, spesso con forma a manica, attraverso cui viene fatta passare l'aria inquinata. Lo spessore del tessuto, la dimensione della trama e il diametro delle fibre, nonché il diametro e la velocità delle particelle determinano la capacità di filtraggio; esso è infatti realizzato in pannelli componibili le cui caratteristiche possono essere variate in funzione di ogni specifica applicazione. Il tipo di tessuto deve essere scelto in funzione della temperatura dei fumi da depurare (in genere i tessuti più usati arrivano a tollerare temperature di 180°C) e dell'eventuale presenza di componenti acide che potrebbero danneggiarlo; in genere, non sono idonei a lavorare in ambienti caldi e/o umidi. Spesso viene installato a monte di questo filtro un filtro a ciclone, così da ridurre la concentrazione delle polveri e il rischio di introdurre particelle incandescenti.



Fonte: internet e University of Kuopio<sup>(1)</sup>

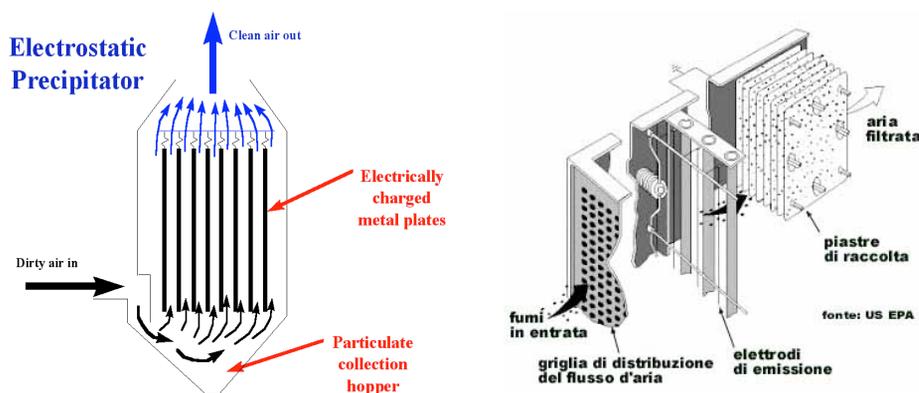


Questo tipo di filtro può arrivare a trattenere anche le particelle più fini sotto i  $2,5 \mu\text{m}$  e il suo livello di efficienza arriva al 99% del particolato  $\text{PM}_{2,5}$ . L'evoluzione nei tessuti e la possibilità di introdurre strati di carboni attivi o altri materiali chimici, porta a un continuo miglioramento di questi filtri che stanno avendo una sempre più ampia diffusione.

Benché abbastanza economici nell'installazione, le tasche di tessuto devono essere periodicamente pulite affinché non si intasino e siano così mantenuti i livelli ottimali di pressione operativa, cosa che comporta elevati costi di manutenzione e di consumo di energia.

**Filtri elettrostatici (ESP):** detti anche precipitatori elettrostatici, questi filtri sono costituiti da piastre metalliche disposte parallelamente e caricate elettricamente, attraverso cui viene fatta passare l'aria. Il differenziale di potenziale elettrico instaurato tra le piastre ionizza le particelle inquinanti che così precipitano nella tramoggia alla base del filtro o vengono attratte e trattenute sulle piastre per effetto elettrostatico. La dimensione e la scelta della tensione di alimentazione delle piastre vengono fatti in funzione della portata di gas da trattare, del tenore medio di particolato per il combustibile selezionato e della resistività dello stesso.

Questi filtri sono in grado di trattenere sia il particolato solido che quello liquido, ma non risultano adatti a rimuovere i COC, la cui presenza crea strati adesivi sulle piastre del filtro che risultano assai difficili da rimuovere, portando a un sensibile decadimento delle prestazioni.



Fonte: internet

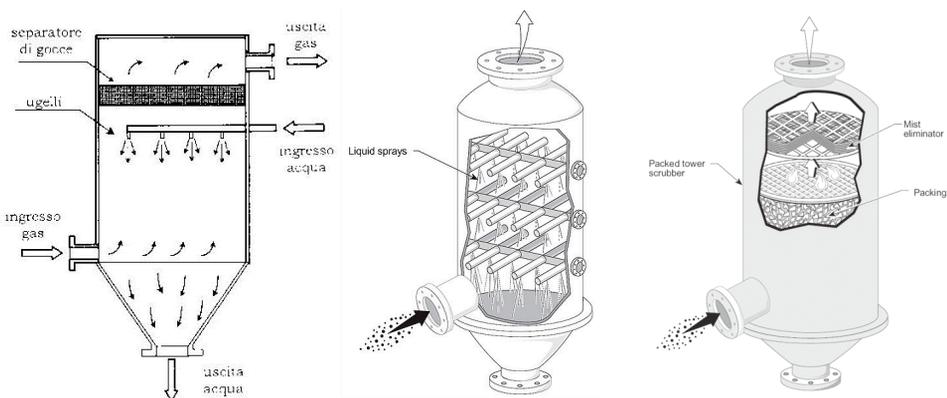


Questi sistemi sono molto efficienti, non presentano problemi a lavorare in ambienti caldi o umidi e sono in grado di trattenere anche le particelle più piccole, con rendimenti intorno al 90-95 % per particelle di 0,1-0,5  $\mu\text{m}$  e prossime al 99,9 % per le PM10 e PM2,5. Tuttavia, hanno elevati costi di installazione e di gestione, cosa che li rende di fatto inadatti a essere impiegati in impianti di piccola taglia, e necessitano di grandi spazi per avere più sezioni di trattamento dove far passare i flussi d'aria a velocità contenute. Inoltre, come i filtri a maniche, anche questi dispositivi devono essere periodicamente puliti utilizzando dei sistemi di raschiatura meccanica delle piastre o dei getti d'acqua ad alta pressione.

Con i filtri a maniche sono i sistemi più utilizzati e efficaci per pulire le emissioni nelle centrali a biomassa.

**Filtri a lavaggio (wet scrubber):** sono detti anche precipitatori a umido.

Il loro funzionamento si basa sul principio di catturare le particelle inquinanti con delle gocce di acqua nebulizzata. L'aria contaminata viene fatta passare attraverso una torre, detta torre di lavaggio, nella quale viene spruzzato il liquido nebulizzato che congloba le particelle di PM o le cattura per reazione chimica, facendole precipitare sul fondo della torre dove vengono raccolte. Al posto dell'acqua possono essere usati altri tipi di liquido che aderiscano meglio al tipo di particolato da catturare, migliorando l'efficienza del sistema, così come possono essere inseriti degli stati di materiali che favoriscano una migliore diffusione del gas nell'acqua nebulizzata. Inoltre, questo sistema permette anche di catturare gli ossidi di zolfo  $\text{SO}_x$ .



Fonte: internet

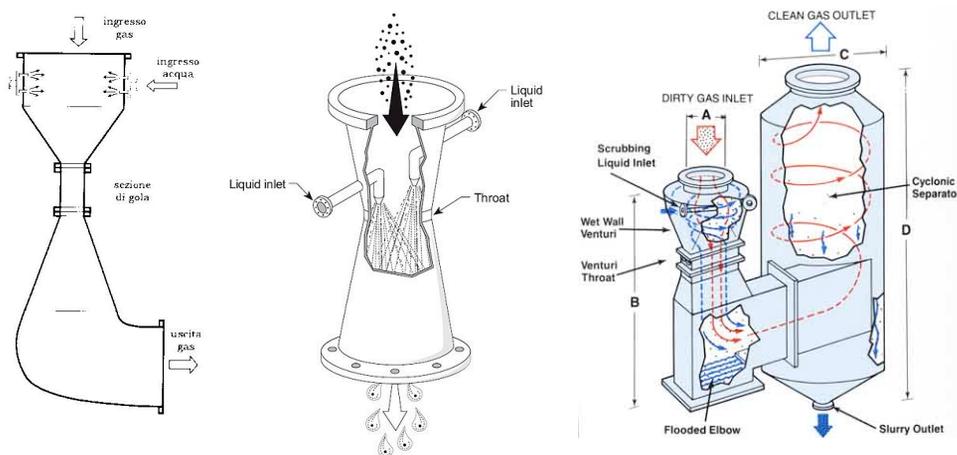
La prestazione del sistema è dell'ordine del 50 % di particelle catturate per quelle con diametro inferiore a  $3\ \mu\text{m}$ , mentre sale a un 90 % per quelle superiori a  $5\ \mu\text{m}$ . Questa tecnologia è abbastanza economica, ma deve essere dotata di una vasca di raccolta dell'acqua inquinata, la quale deve subire successivi trattamenti di depurazione, e presenta elevati consumi energetici per le pompe di emissione dell'acqua.

Questi sistemi sono i meno utilizzati negli impianti a biomassa per la loro scarsa efficienza nel rimuovere il particolato.

**Scrubber-Venturi (wet Venturi):** Questa tecnologia associa un precipitatore a umido ad un tubo di Venturi. Nel punto di strozzatura del condotto di Venturi, l'acqua raggiunge velocità assai elevate che ne determina una polverizzazione assai fine la quale ne incrementa notevolmente la capacità di rimozione delle particelle più fini. Questo sistema raggiunge un'efficacia di cattura del 90 % per il particolato di diametro inferiore ai  $5\ \mu\text{m}$ .

Come la torre di lavaggio, sovente questo filtro viene installato prima del ciclone.

Anche questa tecnologia non è particolarmente efficiente e quindi scarsamente usata.



A destra un filtro ciclone posto in batteria con un Wet Venturi

Fonte: internet

Di seguito si riportano i risultati di alcuni studi sull'efficienza dei diversi sistemi in funzione della dimensione del particolato. Come si vede anche confrontando fonti



diverse, il Wet Venturi risulta essere il meno adatto a catturare le emissioni di polveri sottili, presentando in particolare un crollo di prestazione per particelle di dimensioni sotto i 3  $\mu\text{m}$ .

Control Technology	Efficiency at Different Particle Sizes					Press. Drop “H <sub>2</sub> O”
	10 $\mu\text{m}$	2 $\mu\text{m}$	1 $\mu\text{m}$	0.5 $\mu\text{m}$	0.1 $\mu\text{m}$	
High Eff. Cyclone	90	40	30	10	1	2-8
Multi-Clone	95	60	50	20	1	2-8
Fabric Filter	99.9	99.9	99	97	95	4-10
Dry Precipitator	99.9	98	97.5	97	95	0.5-4
Venturi Scrubber	99.6	99.6	96	90	24	5-60

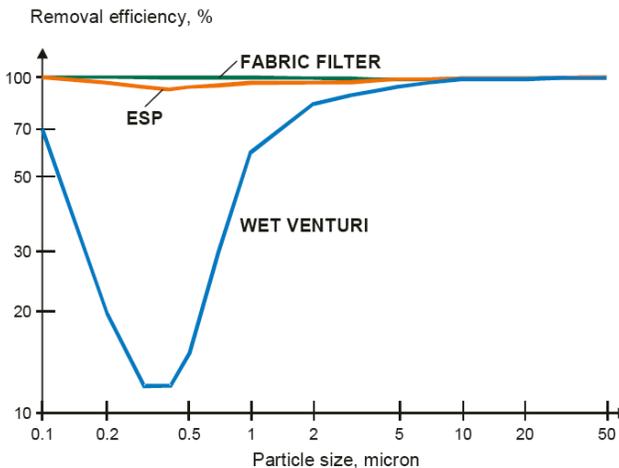
Range operativi tipici dei filtri in funzione della dimensione delle PM (%)

Fonte: Stern Air Pollution Control Manual and Eisenmann Environmental

Control System	Uncontrolled PM mg/m <sup>3</sup>	Removal Efficiency % (for 1 $\mu\text{m}$ Particles)	PM concentration mg/m <sup>3</sup> at stack
High Efficiency Cyclone	330	30-40	230-120
Multicyclone		50	165 -120
Venturi scrubber		96	15
Electrostatic precipitator		98	7-4
Baghouse		99	7-4

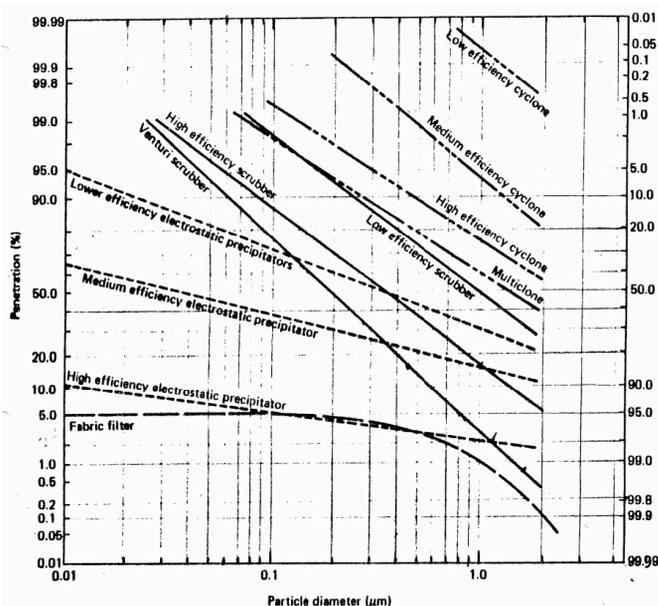
Efficienza dei diversi tipi di filtro per una concentrazione iniziale di 330 PM mg/m<sup>3</sup>

Fonte: AP42 Wet Wood and Stern



Efficienza dei filtri in funzione della dimensione delle PM (%)

Fonte: Veli Linna<sup>(1)</sup>



Efficienza dei diversi dispositivi di controllo delle emissioni.

Fonte: Stern Air Pollution Control Manual and Eisenmann Environmental

Riassumendo si può dire che, per gli impianti di piccola taglia, sino a 1 MWt di potenza, le misure primarie sono il fattore principale su cui lavorare per ridurre le emissioni, sebbene spesso i filtri a gravità abbiano comunque un costo accessibile. Questi ultimi diventano invece essenziali per impianti sino ai 3 MW consentendo il più delle volte di rientrare nei parametri di legge.

Per gli impianti di potenza superiore è necessaria invece l'installazione degli altri sistemi di separazione del particolato, che purtroppo non trovano applicazioni su impianti più piccoli soprattutto per i loro elevati costi. Tuttavia, recentemente si sta investendo in ricerca di prodotti economicamente accessibili anche per centrali sotto il MW di potenza e sul mercato stanno già iniziando a comparire i primi prodotti.

A completamento del lavoro svolto e delle fonti consultate, si riporta qui un interessante schema del già più volte citato lavoro dell'Università di Kuopio in cui si evidenziano i punti di forza e di debolezza delle due tecnologie di decontaminazione più utilizzate, i filtri EPS e quelli a manica, in funzione del tipo di inquinante.



	ESP	FF
Investment cost	-	+
Operation and maintenance costs	+	-
Pressure loss	+	-
Collecting efficiency		
- TSP	+	+
- Fine particles	-	+
- High-resistive dust	-	+
Moisture	+	-
Corrosion	-	+
High temperature	+	-
Glowing particulates	+	-
Acids and ammonia	+	-
Exploding gases	wet ESP	-
Removal of SO <sub>x</sub> , HCl, HF, etc.	-	+

Confronto delle caratteristiche dei filtri elettrostatici (ESP) e a manica (FF)

Fonte: Mikael Ohlström e Pasi Makkonen<sup>(1)</sup>

In tutte le centrali di teleriscaldamento alimentate a biomassa operanti in Valle d'Aosta sono applicati, secondo i dati pervenuti, due filtri a cicloni e un filtro elettrostatico.

In allegato si riporta la tabella riassuntiva del lavoro condotto dall'Università finlandese con una sintesi delle principali caratteristiche operative e del grado di efficacia di tutti questi sistemi.

## NOTE

(1) Progetto "Reduction of fine particle emissions from residential wood combustion - Final report", aa.vv., Università di Kuopio (FND), 2007



---

## CONCLUSIONI



Ciò che emerge da questo report di fine progetto è in parte contraddittorio e contrario a quanto comunemente consolidato nell'opinione pubblica.

In primis risulta evidente che contrariamente a quanto comunemente pensato, a livello di emissioni, il teleriscaldamento alimentato a biomassa legnosa risulta più critico per gli impatti ambientali rispetto ai combustibili gassosi come il GPL e il metano, mentre presenta evidenti vantaggi se confrontato con i combustibili petroliferi liquidi come la nafta o il gasolio. Da ciò si evince che per essere conveniente ambientalmente questo sistema dovrebbe sostituire esclusivamente utenze alimentate con combustibili liquidi o con la legna, cosa che peraltro in Valle d'Aosta trova ampi margini operativi.

Risulta altresì vero che, per quanto riguarda la questione più generale della lotta al riscaldamento globale, questo tipo di impianti porta comunque dei vantaggi riducendo al minimo l'emissione di gas a effetto serra e la dipendenza da fonti fossili, soprattutto se la biomassa utilizzata è di provenienza locale, cosa che riduce ulteriormente le emissioni legate al suo trasporto.

Per quanto riguarda il controllo delle emissioni, è emerso che gli impianti operanti in Valle sono tutti equipaggiati con i sistemi ritenuti più efficienti dalla letteratura per lo scopo. Ciò che bisogna monitorare con costanza sono sicuramente la qualità e la provenienza della biomassa bruciata.

Altro discorso invece andrebbe fatto per i piccoli impianti a biomassa legnosa, le utenze singole o condominiali, dove la mancanza di qualsiasi filtro pesa fortemente sulla qualità dell'aria locale, non essendo assolutamente controllata e controllabile allo stato attuale delle cose.

Questa analisi delle reti locali di teleriscaldamento e del carico ambientale ad esse legato dimostra, ancora una volta, che l'uso dei diversi combustibili (gasolio, GPL, metano e legna) arreca comunque sempre un inquinamento e che la variabile è, semmai, il contributo che ognuno di questi porta ai valori delle diverse tipologie di inquinanti. Le politiche energetiche attuali si trovano quindi sempre a dover scegliere e mediare tra i "mali" giudicati, di volta in volta, minori. Una corretta pianificazione dovrebbe, invece, puntare a ridurre drasticamente il fabbisogno energetico e, solo in seconda istanza, a coprire la parte rimanente con l'uso di una qualche fonte energetica, preferendo possibilmente quelle rinnovabili e locali.



---

ALLEGATO



**Table 4.** *Advantages and disadvantages of particulate control technologies.*

Device	Minimum particle size [ $\mu\text{m}$ ]	Collection efficiency [%*] (Flagan & Seinfeld 1988)	Measured collection efficiencies in Finland [%*]	Advantages	Disadvantages
Separation chamber (generally used as pre-separator)	>20	<50	not available	low pressure drop, relative simplicity and few maintenance problems, dry collection and disposal,	low collection efficiency, do not separate fine particles, inability to handle sticky materials
Cyclone (generally used as pre-separator)	5–25	50–90	60–85	simple construction, no moving components, little maintenance, low investment and operating costs, constant pressure drop, saves room, beyond temperatures control, dry relief during wet cyclone	low output for low particle diameter, bad performances at charge, emission of effluent at wet cyclone, erosion sensitive and constipation danger to the entrance, possibly noise nuisance
Multicyclone	5		75–98	simple construction, constant pressure drop, continuous particulate removal, separates big particles quite efficiently	low collection efficiency for low particle diameter, constipation danger to the entrance for high dust and moisture concentrations, for low temperatures and for sticky materials
Wet scrubbers:			not available	simultaneous removal of gaseous and particle emissions, relatively little maintenance, rather high disposal efficiency, insensitively for fluctuating gas flows, capability for cooling and cleaning hot and wet flue gases and to neutralise corrosive gases/mists, decreased dust explosion risk, efficiency control	corrosion and erosion problems, increased sewage disposal costs, potentially high pressure drop, low collection efficiency for fine particles (<1 $\mu\text{m}$ ), possibly even increasing the smallest particles, freezing problems in cold climate
Spray tower	>10	<80			
Dynamic scrubber	>2,5	<80			
Collision scrubber	>2,5	<80			
Venturi scrubber	>0,5	<99			

\* from total particle mass



**Table 4. (continues)**

Device	Minimum particle size [ $\mu\text{m}$ ]	Collection efficiency [%*] (Flagan & Seinfeld 1988)	Measured collection efficiencies in Finland [%*]	Advantages	Disadvantages
Electrostatic precipitator	<1	95–99+	99,2–99,9 (<2,5 $\mu\text{m}$ particles: 96,9–99,1 and <1 $\mu\text{m}$ particles: 95–99)	>99% overall efficiency, collects also fine particles, wet and dry separation, low pressure drops and relatively low energy demands compared to other efficient methods, continuous operation with minimum maintenance, relatively low operation costs, operation capability at high temperatures (up to 700 °C)	high capital costs, sensitive to fluctuating dust loads and gas flows, difficulties with the collection of particles with extremely high or low resistivity, relatively large space requirements, special precautionary requirements from high voltage during maintenance, collection efficiency can decline gradually and unnoticeably
Fabric filter	>0	>99	<2,5 $\mu\text{m}$ : 99,9 <1 $\mu\text{m}$ : 99,7	very high collection efficiencies (99.9%) both for coarse and fine particles, dry recovery of collected material for subsequent processing and disposal, relatively simple operation, no corrosion problems, high collection efficiency of submicron smoke and gaseous contaminants through the use of selected fibrous or granular filter aids, declining performance is well detectable	rather high maintenance requirements and operation costs (fabric changes between 2-4 years), shortened fabric life at elevated temperatures and in the presence of acid or alkaline particulate or gas constituents, sensitivity to filtration velocity, hot gases must be cooled down, glowing, sticky or big particles need pre-separation (explosion and fire hazard), the effect of relative humidity (condensation), the effect of chemicals, bypassings during failure situations

\* from total particle mass



---

## BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA



- 
- *Il riscaldamento urbano - Annuario 2012*, Trimestrale XXVII - n. 48 settembre 2012, a cura di AIRU - Associazione Italiana Riscaldamento Urbano, ed. Arti grafiche Lang srl, Genova 2011
  - *Analisi energetica della comunità Montana "Valdigne - Mont-Blanc"*, studio realizzato nell'ambito del PIT-H3 "Mont-Blanc - Villages Durables", a cura di ARPA Valle d'Aosta, Aosta 2012
  - *Reduction of fine particle emissions from residential wood combustion - Final report*, Workshop in Kuopio (FIN) a cura di K. Hytönen e J. Jokiniemi, University of Kuopio 2007
  - *Impianti di combustione a scarti di legno: controllo tecnico-analitico delle emissioni prodotte e raffronto con il quadro normativo di settore - Rapporto conclusivo*, a cura di ARPA Veneto e Provincia di Treviso, 2009
  - *An evaluation of air pollution control technologies for small wood-fired boilers*, aa.vv., RSG inc., Vermont USA 2001
  - *Moderne caldaie e impianti a legna, cippato e pellet - Progetto Fuoco*, aa.vv., ed. AIEL, Padova 2012
  - *Emission controls for small wood-fired boilers*, report per USA Forest Service, RSG inc. e BERG, 2010
  - *Emissions from wood-fired combustion equipments*, P. Beauchemin e M. Tampier, Ministry of Environment of British Columbia (CDN), 2008
  - *Tecnologies of wood combustion*, A. Strehler, presentazione per Expo 2000 - World Forum "Forests and Energy", 1999
  - *Il controllo delle emissioni in atmosfera degli stabilimenti industriali*, studio a cura di ARPA Valle d'Aosta
  
  - *Combustione del legno e polveri fini*, articolo di Valter Francescato pubblicato su Sherwood n. 133/2007
  - *La combustione del legno in piccoli apparecchi e caldaie*, articolo di Thomas Nussbaumer pubblicato su AgriForEnergy n. 03/2012



- *Prove di combustione*, presentazione a cura di A. Cristoforetti e G. Toscano nell'ambito della giornata dimostrativa del Progetto BioTec, 2010
- *Performances des chaufferies biomasse et potentiel de progrès*, presentazione a cura di Christophe Pascual (COFELY-GDF) e Grégory Rat (WEISS FRANCE)
- *Combustione del legno e inquinamento atmosferico*, presentazione a cura di Luca Colombo, SUSPI, Bellinzona (CH)

<http://bisyplan.bioenarea.eu/html-files-it/Handbook-intro.html>

<http://biqueenivalsa.jimdo.com/>

<http://www.bioenarea.eu/node/38>

<http://www.biograce.net/home>

[www.biomassfor.org](http://www.biomassfor.org)

<http://www.fiper.it/it.html>

<http://www.forestprogramme.com/>

<http://www.legnotrentino.it>





FONDO EUROPEO DI SVILUPPO REGIONALE



INSIEME OLTRE  
I CONFINI ENSEMBLE  
PAR-DELA LES FRONTIERES

