

Caratterizzazione delle emissioni inquinanti da riscaldamento a biomassa



2023 WEBINAR

WB 1 20 APRILE

Riscaldamento a biomassa ed emissioni inquinanti

A cura di: Marco Torre, CNR IIA

ORE 15-16

SPORTELLO ENERGIA

TERNI MARMI

Comune di Terni

Comune di Narni

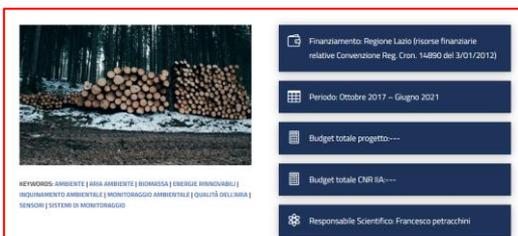
Regione Umbria

ARPA Umbria

MINISTERO DELL'AMBIENTE E DELLA SICUREZZA ENERGETICA

Biomasse tra energia e ambiente

- Biomasse e energie rinnovabili
- Ruolo delle biomasse nel mix energetico italiano
- FER termiche nel mercato Italiano
- La combustione della biomassa
- Principali inquinanti emessi durante la combustione
- Fattori di emissione e qualità dell'aria
- Effetti sulle emissioni
- Il controllo degli inquinanti
- La combustione: sistemi cogenerativi/trigenerativi
- Un caso di studio in ambiente montano in provincia di Rieti - Progetto SELVA:
analisi sperimentale e di scenario



Finanziamento: Regione Lazio (risorsa finanziaria relative Convenzione Reg. Cron. 14890 del 3/01/2012)

Periodo: Ottobre 2017 – Giugno 2021

Budget totale progetto:---

Budget totale CNR IA:---

Responsabile Scientifico: Francesco petracchini

KEYWORDS: AMBIENTE | BUIA | AMBIENTE | BIOMASSA | ENERGIE RINNOVABILI |
INQUINAMENTO AMBIENTALE | MONITORAGGIO AMBIENTALE | QUALITÀ DELL'ARIA |
SENSORI | SISTEMI DI MONITORAGGIO

<https://iia.cnr.it/project/selva-2-0/>

Quanta energia rinnovabile produciamo?

2.2 Settore Elettrico – Potenza e produzione degli impianti alimentati da fonti rinnovabili nel 2021

	Potenza efficiente lorda (MW)	Produzione lorda					
		effettiva			da Direttiva 2018/2001/CE (*)		
		TWh	ktep	Variazione % 2021/2020	TWh	ktep	Variazione % 2021/2020
Idraulica	19.172	45,4	3.903	-4,6%	48,5	4.166	1,0%
Eolica	11.290	20,9	1.799	11,5%	20,3	1.750	2,6%
Solare	22.594	25,0	2.153	0,4%	25,0	2.153	0,4%
Geotermica	817	5,9	508	-1,9%	5,9	508	-1,9%
Bioenergie	4.106	19,1	1.640	-2,9%	19,0	1.630	-3,1%
– Biomasse solide (**)	1.700	6,8	588	0,6%	6,8	588	0,6%
– Biogas	1.455	8,1	699	-0,5%	8,1	699	-0,5%
– Bioliquidi	951	4,7	353	-12,0%	4,0	343	-13,1%
Totale	57.979	116,3	10.003	-0,5%	118,7	10.207	0,3%

Fonte: GSE dati 2021

La potenza efficiente lorda di impianti alimentati da FER installata a fine anno è pari a 58,0 GW (+2,5% rispetto all'anno precedente). Il 72% si concentra negli impianti idroelettrici e fotovoltaici, ai quali corrispondono produzioni effettive rispettivamente di 45,4 TWh e 25,0 TWh (pari – considerate insieme – al 61% della produzione complessiva di energia elettrica annuale da FER)

La fonte energetica rinnovabile che nel 2021 garantisce il principale contributo alla produzione complessiva di energia elettrica da FER si conferma quella idroelettrica (39,0% del totale); seguono solare (21,5%), eolica (18,0%), bioenergie (16,4%) e geotermica (5,1%)

Quanta energia rinnovabile produciamo?

2.3 Settore Termico – Energia da fonti rinnovabili nel 2021

ktep	Produzione lorda di calore derivato			Totale	Variazione % 2021/2020
	Consumi	Impianti di sola produzione termica	Impianti di cogenerazione		
Geotermica	115	26	-	141	0,0%
Solare	247	0	-	247	4,4%
Frazione biodegradabile dei rifiuti (*)	359	-	123	482	6,0%
Biomassa solida (*)	6.777	89	295	7.161	6,8%
Bioliquidi	-	0	40	41	-28,6%
– di cui sostenibili	-	-	37	37	-30,9%
Biogas (*)	35	0	291	326	5,1%
Energia ambiente per riscaldamento e ACS (**)	2.498	-	-	2.498	0,9%
– di cui conteggiabile ai fini del monitoraggio target UE sulle FER	2.498	-	-	2.498	0,9%
Energia ambiente per raffrescamento conteggiabile ai fini del monitoraggio target UE sulle FER (**)	283	-	-	283	-
Totale	10.031	116	749	10.896	5,0%
Totale ai fini del monitoraggio target UE sulle FER (RED II)	10.314	115	746	11.176	-

Fonte: GSE dati 2021

La fonte rinnovabile maggiormente impiegata nel settore Termico è la biomassa solida (6,8 Mtep di consumi diretti, senza considerare la frazione biodegradabile dei rifiuti), utilizzata soprattutto nel settore domestico in forma di legna da ardere o pellet; assume grande rilievo anche l'energia ambiente per riscaldamento e acqua calda sanitaria (ACS) fornita da pompe di calore (2,5 Mtep), mentre sono ancora relativamente contenuti i contributi delle altre fonti (solare, geotermica)

I consumi complessivi di energia termica da FER calcolati con i criteri della Direttiva RED II sono pari a 11,2 Mtep (circa 468.000 TJ); di questi, 10,3 Mtep sono consumi diretti delle fonti (attraverso caldaie individuali, stufe, camini, pannelli solari, pompe di calore, impianti di sfruttamento del calore geotermico) mentre 0,9 Mtep sono consumi di calore derivato (ad esempio attraverso sistemi di teleriscaldamento alimentati da biomasse)

Biomasse: energia

Tecnologie disponibili:

- Compostaggio
- Digestione anaerobica
- **Combustione diretta**
- Gassificazione e pirolisi

Criticità:

- Barriere non tecniche: sociali, culturali, economiche, normative
- Mancanza di definizione univoca nella normativa nazionale
- Potere calorifico utilizzabile, in alternativa ai combustibili fossili
- Emissioni di gas climalteranti e/o inquinanti

	Calore	Ossigeno	Energia
Combustione	si	si	si
Gassificazione	si	no	si
Compostaggio	no	si	no
Digestione	no	no	si

FER termiche: dettaglio del mercato

La FER più utilizzata è la biomassa, in particolare legna e pellet usate nel residenziale; gli apparecchi in esercizio sono circa 7 milioni, con un mercato annuale di 0,2 - 0,4 milioni di apparecchi

4.3.1 Impieghi di biomassa solida nel settore Termico

TJ	2016	2017	2018	2019	2020	2021	Variazione % 2021/2020
Consumi diretti	268.041	292.025	270.383	270.256	260.352	283.719	9,0%
– Residenziale	258.465	282.916	261.746	261.375	251.751	274.208	8,9%
– Commercio e servizi	2.691	2.746	2.695	2.972	3.062	3.416	11,6%
– Industria	5.422	4.886	4.509	4.468	4.089	4.498	10,0%
– Agricoltura	1.462	1.477	1.433	1.442	1.451	1.597	10,1%
Produzione di calore derivato	22.149	22.295	22.026	21.111	20.469	16.100	-21,3%
– da impianti cogenerativi	18.898	19.018	18.667	17.537	16.431	12.359	-24,8%
– da impianti di sola produzione termica	3.251	3.276	3.359	3.574	4.038	3.741	-7,4%
Totale	290.191	314.320	292.410	291.367	280.821	299.819	6,8%

Fonte: GSE dati 2021

Nel 2021 l'energia termica complessiva ottenuta in Italia dall'impiego della biomassa solida per riscaldamento (legna da ardere, pellet, carbone vegetale/charcoal) ammonta a poco meno di 300.000 TJ (corrispondenti a 7,2 Mtep), in crescita del +6,8% rispetto all'anno precedente

La combustione

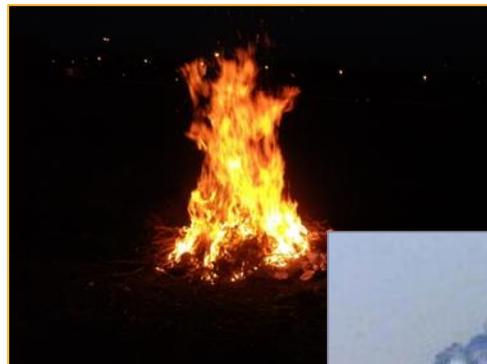
Processo chimico in presenza di ossigeno, in cui la biomassa viene parzialmente o totalmente ossidata

Vantaggi:

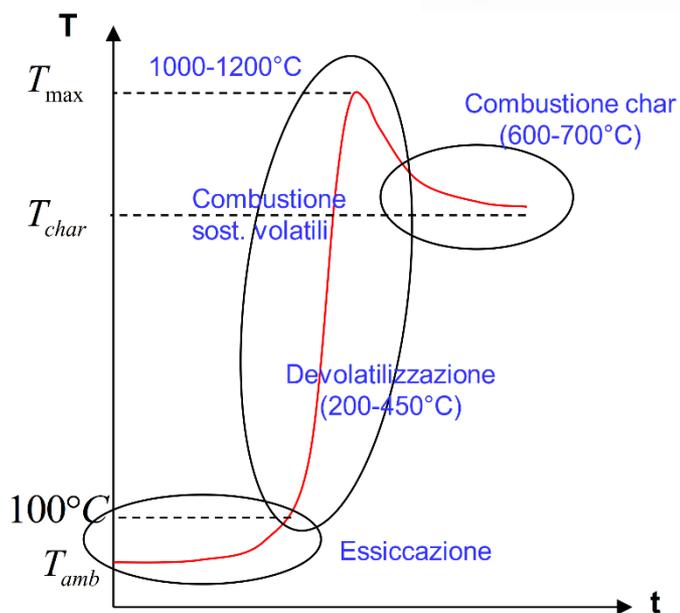
- Versatilità
- Semplicità

Svantaggi:

- Emissione di inquinanti
- Effetto della temperatura
- Effetto dell'umidità



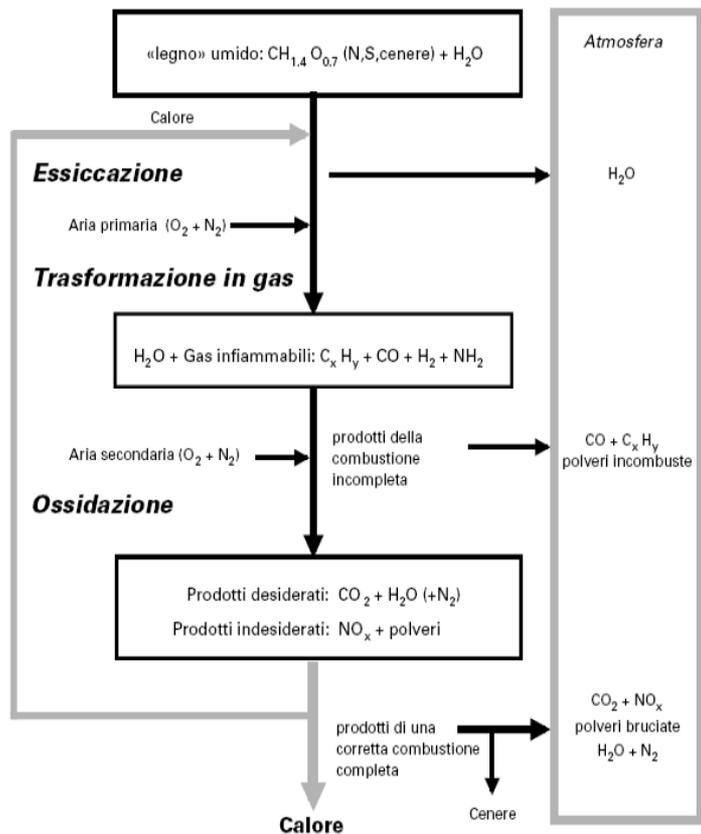
Fasi della combustione



Regola delle 3 T:

1. elevate temperatura in camera di combustione
2. elevate turbolenze per favorire omogeneità tra prodotti gassosi e aria comburente
3. tempo necessario alle cinetiche di reazione per ossidazione completa

Gli inquinanti emessi

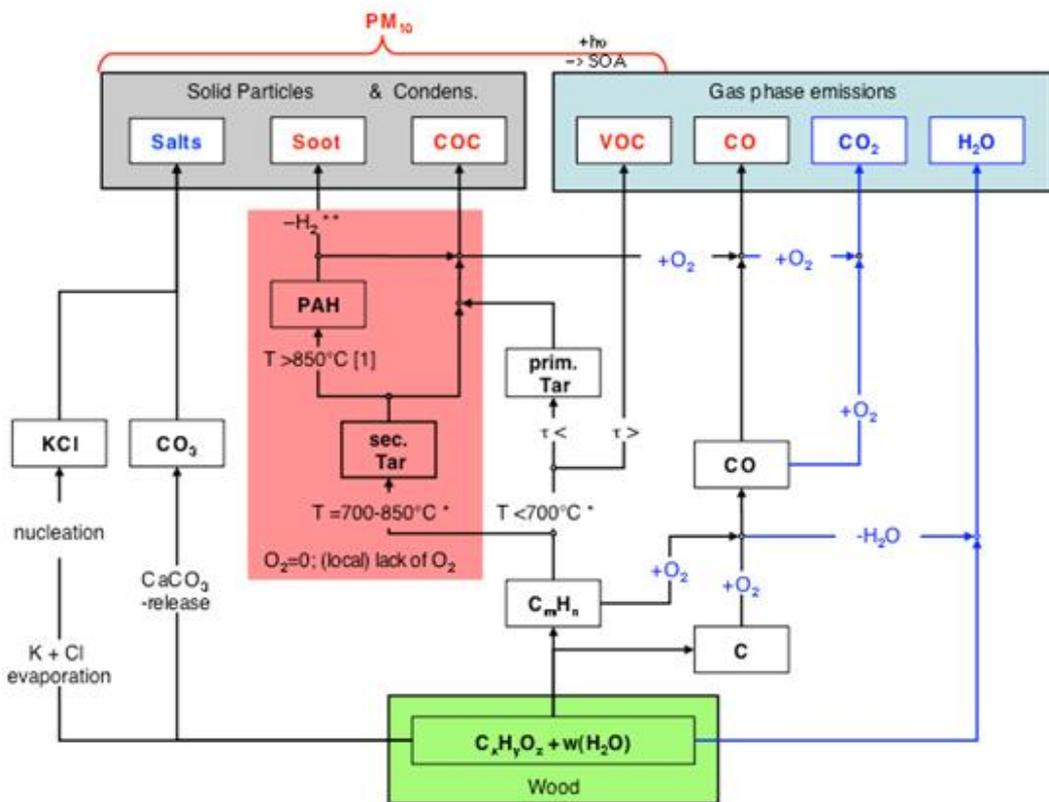


Macroscopicamente per aumentare i composti chimici in fase omogenea per migliorare la pirolisi si devono avere in camera di combustione elevate temperature con una buona omogeneità tra prodotti gassosi e l'aria comburente ottenuta producendo elevate turbolenze



Si deve dare il tempo necessario alle cinetiche di reazione per ottenere l'ossidazione completa del comburente al fine di aumentare i rendimenti e ridurre i *Prodotti di Combustione Incompleta (PICs)* costituenti la fuligine e i microinquinanti organici presenti sotto forma di vapore e particolato

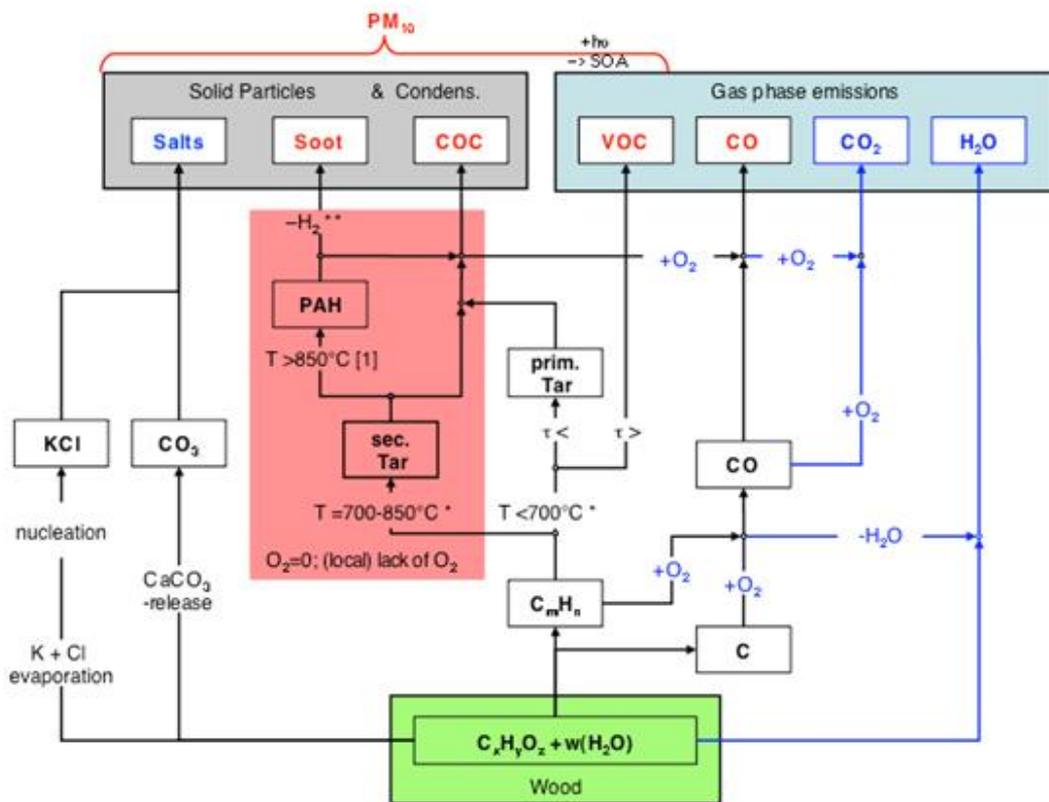
Gli inquinanti emessi



Combustione del legno, Nussbaumer (2010)

Nella combustione incompleta del legno i prodotti inquinanti di maggiore importanza sono oltre al generico particolato gli inquinanti organici come i composti organici volatili e tra questi vanno menzionati la classe di composti organici ossigenati come gli alcoli, i fenoli, i furani, i composti carbonilici e gli acidi carbossilici

Gli inquinanti emessi

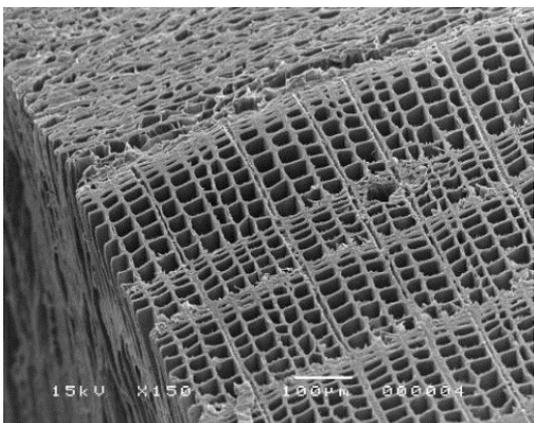


Combustione del legno, Nussbaumer (2010)

Per tossicità l'emissione più importante è data dagli **idrocarburi policiclici aromatici (PAH)** mentre l'emissione di microinquinanti organici clorurati come le policlorodibenzo-p-diossine, i policlorodibenzofurani (PCDD/F) e i policlorobifenili (PCB) sono meno importanti

Gli inquinanti emessi

Le emissioni di PCDD/F e i PCB diventano importanti quando la biomassa che alimenta la combustione risulta essere contaminata in partenza oppure sono presenti degli elementi che favoriscono la loro formazione come il cloro e la presenza di metalli che ne catalizzano la loro formazione e tra tutti il metallo che più catalizza la formazione di composti organici clorurati risulta essere il rame



necessità che il legno sia privo di composti organici alogenati o metalli pesanti (che possono derivare da precedenti trattamenti o rivestimenti protettivi che il legno può aver subito, dall'esposizione ad inquinamento stradale o industriale, dalla salsedine presente nell'aria delle zone litoranee, dai macchinari ed utensili utilizzati nella produzione del combustibile legnoso)

Normativa europea

Soglie più severe per l'inquinamento, più allineate ai nuovi limiti fissati dall'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS)

Le nuove regole porteranno sanzioni più efficaci e possibilità di risarcimento per la violazione delle norme sulla qualità dell'aria

Possibilità per i cittadini di chiedere il risarcimento dei danni alla salute dovuti all'inquinamento atmosferico.

Norme rafforzate per il monitoraggio della qualità dell'aria a sostegno di azioni preventive e misure mirate

Nell'ottobre 2022, la Commissione europea ha pubblicato una proposta di revisione della direttiva sulla qualità dell'aria ambiente

Le misure sono in linea con altre proposte legislative, come la revisione della direttiva sulle emissioni industriali e le recenti proposte sugli standard di emissione Euro 7 per i veicoli stradali

Qualità dell'aria

Nuovi valori guida OMS per la qualità dell'aria

Inquinante	Tipo di valore	Valore precedente	Valore attuale
PM ₁₀	Annuale	20 µg/m ³	15 µg/m ³
PM ₁₀	24 ore	50 µg/m ³	45 µg/m ³
PM _{2.5}	Annuale	10 µg/m ³	5 µg/m ³
PM _{2.5}	24 ore	25 µg/m ³	15 µg/m ³
Biossido di azoto	Annuale	40 µg/m ³	10 µg/m ³
Biossido di azoto	24 ore	N/D	25 µg/m ³
Ozono	Picco stagionale	N/D	60 µg/m ³
Biossido di zolfo	24 ore	20 µg/m ³	40 µg/m ³
Monossido di carbonio	24 ore	N/D	4 µg/m ³

Le raccomandazioni, che riguardano sei inquinanti principali (PM_{2.5}, PM₁₀, ozono, biossido di azoto, biossido di zolfo, monossido di carbonio), forniscono un importante riferimento nel fissare gli standard e gli obiettivi normativi

Nota: N/D significa "non definito" e indica che il valore precedente non esisteva

Qualità dell'aria

Contributi dei settori di origine alle emissioni dei principali inquinanti atmosferici nell'UE-27 nel 2020

Inquinante	Fonte primaria	Percentuale di contributo
PM10	Consumo di energia nel settore residenziale, commerciale e istituzionale, industria manifatturiera ed estrattiva e trasporto su strada	44%, 36% e 34%
PM2,5	Consumo di energia nel settore residenziale, commerciale e istituzionale, industria manifatturiera ed estrattiva e trasporto su strada	58%, 27% e 25%
NH3	Settore agricolo	94%
CH4	Settore agricolo, settore dei rifiuti	56%, 27%
NOx	Trasporto su strada, settore agricolo, industria manifatturiera ed estrattiva	37%, 19%, 15%
CO	Consumo di energia nel settore residenziale, commerciale e istituzionale	46%
BC	Consumo di energia nel settore residenziale, commerciale e istituzionale	37%
COVNM	Industria manifatturiera ed estrattiva, settore agricolo	47%, 27%
SO2	Approvvigionamento energetico, industria manifatturiera ed estrattiva	41%, 37%

Importante contributo (dal 37% fino al 58%) del settore residenziale, in particolare per i seguenti inquinanti:
PM₁₀
PM_{2.5}
BC
CO

Fattori di emissione

Tier 2 emission factors for source category 1.A.4.b.i, **open fireplaces burning wood**

Pollutant	Value	Unit	95 % confidence interval		Reference
			Lower	Upper	
NO _x	50	g/GJ	30	150	Pettersson et al. (2011) ¹⁾
CO	4000	g/GJ	1000	10000	Goncalves et al. (2012)
NMVOC	600	g/GJ	20	3000	Pettersson et al. (2011) and McDonald et al. (2000)
SO _x	11	g/GJ	8	40	US EPA (1996/1)
NH ₃	74	g/GJ	37	148	Roe et al. (2004)
TSP (total particles)	880	g/GJ	440	1760	Alves et al. (2011) ²⁾
PM ₁₀ (total particles)	840	g/GJ	420	1680	Alves et al. (2011) ²⁾
PM _{2.5} (total particles)	820	g/GJ	410	1640	Alves et al. (2011) ²⁾

Fonte: EMEP/EEA Emission inventory Guidebook 2019

Fattori di emissione

Tier 2 emission factors for source category 1.A.4.b.i, **conventional stoves burning wood and similar wood waste**

Pollutant	Value	Unit	95 % confidence interval		Reference
			Lower	Upper	
NO _x	50	g/GJ	30	150	Pettersson et al. (2011)
CO	4000	g/GJ	1000	10000	Pettersson et al. (2011) and Goncalves et al. (2012)
NM VOC	600	g/GJ	20	3000	Pettersson et al. (2011)
SO _x	11	g/GJ	8	40	US EPA (1996/2)
NH ₃	70	g/GJ	35	140	Roe et al. (2004)
TSP (total particles)	800	g/GJ	400	1600	Alves et al. (2011) and Glasius et al. (2005) ¹⁾
PM ₁₀ (total particles)	760	g/GJ	380	1520	Alves et al. (2011) and Glasius et al. (2005) ¹⁾
PM _{2.5} (total particles)	740	g/GJ	370	1480	Alves et al. (2011) and Glasius et al. (2005) ¹⁾

Fonte: EMEP/EEA Emission inventory Guidebook 2019

Fattori di emissione

Tier 2 emission factors for source category 1.A.4.b.i, **high-efficiency stoves burning wood**

Pollutant	Value	Unit	95 % confidence interval		Reference
			Lower	Upper	
NO _x	80	g/GJ	30	150	Pettersson et al. (2011) ¹⁾
CO	4000	g/GJ	500	10000	Johansson et al. (2003) ²⁾
NMVOG	350	g/GJ	100	2000	Johansson et al. (2004) ²⁾
SO _x	11	g/GJ	8	40	US EPA (1996b)
NH ₃	37	g/GJ	18	74	Roe et al. (2004) ³⁾
TSP (total particles)	400	g/GJ	200	800	Glasius et al. (2005) ^{4) 5)}
PM ₁₀ (total particles)	380	g/GJ	290	760	Glasius et al. (2005) ^{4) 5)}
PM _{2.5} (total particles)	370	g/GJ	285	740	Glasius et al. (2005) ^{4) 5)}

Fonte: EMEP/EEA Emission inventory Guidebook 2019

Fattori di emissione

Tier 2 emission factors for source category 1.A.4.b.i, **advanced/ecolabelled stoves and boilers burning wood**

Pollutant	Value	Unit	95 % confidence interval		Reference
			Lower	Upper	
NO _x	95	g/GJ	50	150	Pettersson et al. (2011)
CO	2000	g/GJ	500	5000	Johansson et al. (2003)
NMVOC	250	g/GJ	20	500	EMEP/EEA (2009)
SO _x	11	g/GJ	8	40	US EPA (1996/2)
NH ₃	37	g/GJ	18	74	Roe et al. (2004) ¹⁾
TSP (total particles)	100	g/GJ	20	250	Johansson et al.(2003); Goncalves et al. (2010); Schmidl et al. (2011) ²⁾

PM ₁₀ (total particles)	95	g/GJ	19	238	Johansson et al.(2003); Goncalves et al. (2010); Schmidl et al. (2011) ²⁾
PM _{2.5} (total particles)	93	g/GJ	19	233	Johansson et al.(2003); Goncalves et al. (2010); Schmidl et al. (2011) ²⁾

Fonte: EMEP/EEA Emission inventory Guidebook 2019

Fattori di emissione

Tier 2 emission factors for source category 1.A.4.b.i, **pellet stoves and boilers burning wood pellets**

Pollutant	Value	Unit	95 % confidence interval		Reference
			Lower	Upper	
NO _x	80	g/Gj	50	200	Pettersson et al. (2011)
CO	300	g/Gj	10	2500	Schmidl et al. (2011) and Johansson et al. (2004)
NMVOC	10	g/Gj	1	30	Johansson et al. (2004) and Boman et al. (2011)
SO _x	11	g/Gj	8	40	US EPA (1996/2)
NH ₃	12	g/Gj	6	24	Roe et al. (2004)
TSP (total particles)	62	g/Gj	31	124	Denier van der Gon et al. (2015)
PM ₁₀ (total particles)	60	g/Gj	30	120	Denier van der Gon et al. (2015)
PM _{2.5} (total particles)	60	g/Gj	30	120	Denier van der Gon et al. (2015)

Fonte: EMEP/EEA Emission inventory Guidebook 2019

Fattori di emissione

Come leggere l'etichetta **ariaPULITA**



Il numero di certificazione è composto da:

XXX-P- codice identificativo dell'azienda

123: numero progressivo dell'apparecchio certificato

In un'ottica di trasparenza del mercato nei confronti del consumatore,

ogni etichetta riporta il QR code per consultare la pagina del sito www.certificazioneariapulita.it che elenca tutti i prodotti certificati.



Le **stelle** rappresentano la classificazione degli apparecchi secondo la certificazione Aria Pulita a garanzia di **minori emissioni, più alti rendimenti e costi inferiori**.

Una sola stella indica un apparecchio che rispetta i requisiti per l'immissione sul mercato.

Guardando a prodotti di alta qualità,

Aria Pulita non certifica prodotti a una sola stella.

2 stelle indicano stufe e inserti che riducono le emissioni di polveri del 40% nel caso del pellet e del 46% nel caso della legna rispetto agli apparecchi a 1 stella.

3 stelle indicano stufe e inserti, sia a legna sia a pellet, che garantiscono emissioni di polveri ridotte del 60% rispetto agli apparecchi a 1 stella.

4 stelle indicano stufe e inserti, sia a legna sia a pellet, che garantiscono emissioni di polveri ridotte del 70% rispetto agli apparecchi a 1 stella.

Meritano le **5 stelle** stufe e inserti, sia a legna sia a pellet, che garantiscono emissioni di polveri ridotte dell'80% rispetto agli apparecchi a 1 stella.

Nota: Le percentuali sono state calcolate considerando i livelli prestazionali migliori per ciascuna classe rispetto alla classe a 1 stella.

certificazioneariapulita.it

Schema di certificazione volontario promosso da AIEL, Associazione Italiana Energie Agroforestali. Si tratta della prima certificazione di qualità in Italia che permette di valutare stufe e caminetti in base alle loro prestazioni ambientali, ossia secondo il rendimento energetico che offrono e le emissioni che producono

Fattori di emissione

Confronto delle prestazioni del generatore di calore con i limiti stabiliti dal decreto 7 novembre 2017, n.186

VALORI CERTIFICATI		
PP	mg/Nm ³	18,0
COT	mg/Nm ³	57
NOx	mg/Nm ³	109
CO	mg/Nm ³	875
η	%	82,7

LIMITI all.1 D.M. 7/11/2017, n.186			
5 stelle	4 stelle	3 stelle	2 stelle
25	30	40	75
35	70	100	150
100	160	200	200
650	1250	1500	2000
85	77	75	75

PP = particolato primario, COT = carbonio organico totale, NOx = ossidi di azoto, CO = monossido di carbonio, η = rendimento
 Tutti i valori indicati si riferiscono al gas secco in condizioni normali (273 K e 1013 mbar) con una concentrazione volumetrica di O₂ residuo pari al 13%.

Esempio di:

**CERTIFICAZIONE AMBIENTALE DEI GENERATORI DI CALORE ALIMENTATI A BIOMASSE
 COMBUSTIBILI SOLIDE**

Fattori di emissione

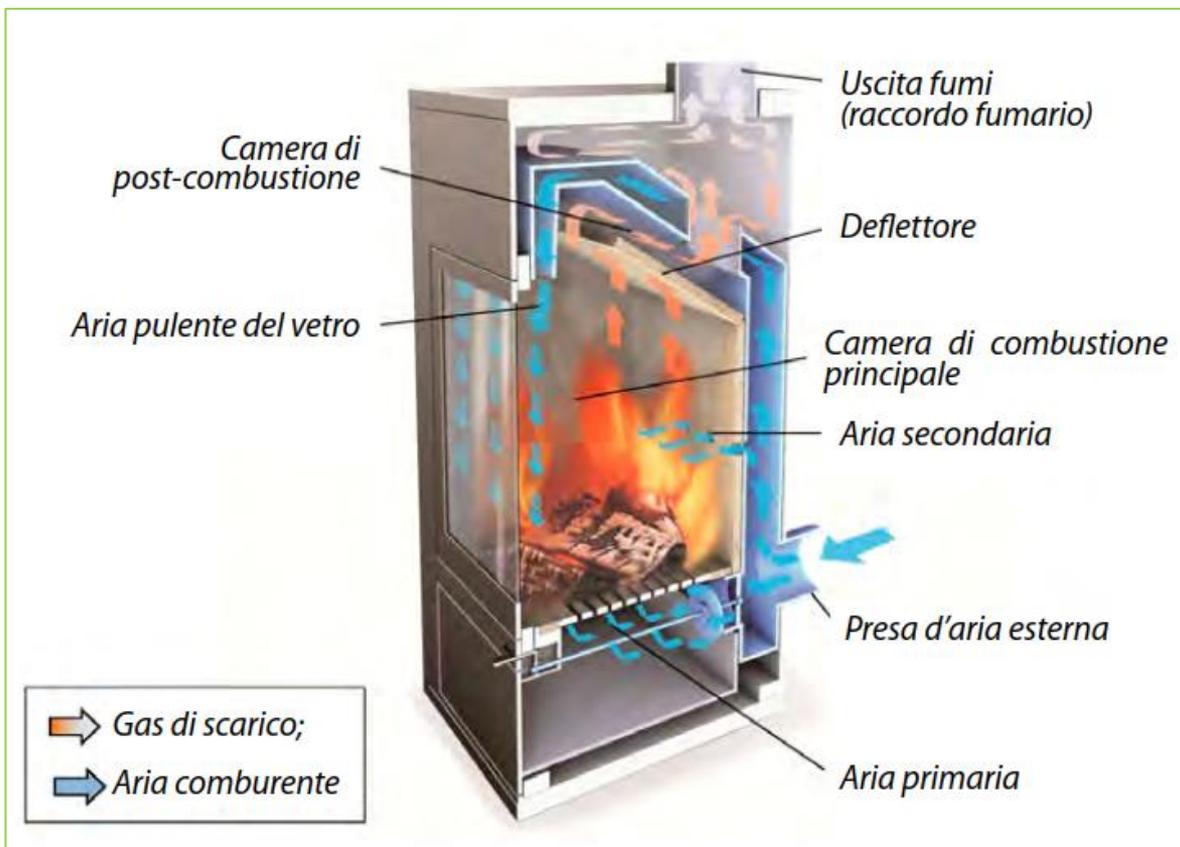
“Indirizzi regionali per l’applicazione della Decisione di esecuzione (UE) 2019/2010 della Commissione del 12 novembre 2019 che stabilisce le conclusioni sulle migliori tecniche disponibili (BAT) per l’incenerimento dei rifiuti”



Ulteriori specifiche per il calcolo dei valori limite alle emissioni - **Regione Lombardia**

Inquinante	Concentrazione consentita (mg/Nm ³)
Polveri Totali	3
Sostanze organiche sotto forma di gas e vapori (TOC)	5
Composti inorganici del cloro (HCl)	5
Composti inorganici del fluoro (HF)	1
Ossidi di zolfo (SO ₂)	15
Ossidi di azoto (NO ₂)	80
Ammoniaca (NH ₃)	5

Effetti sulle emissioni



Possibili errori:

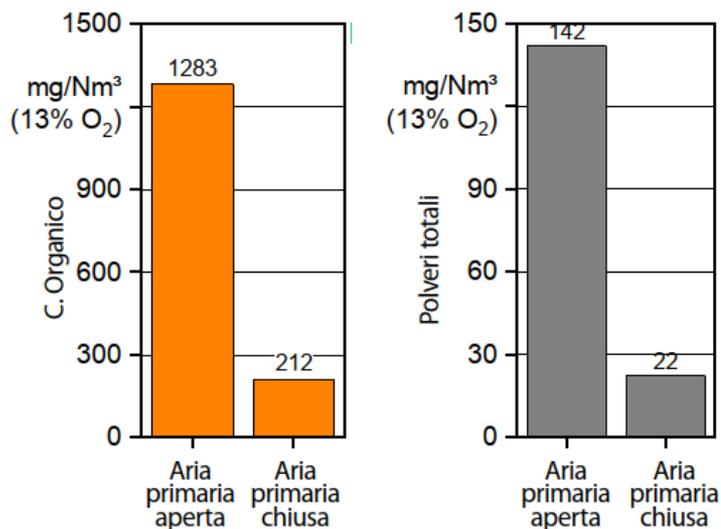
1. Aria braciere permanentemente aperta
2. Legna umida
3. Ricarica ritardata su letto di braci ancora appena attivo
4. Camera sovraccaricata

Fonte: Hans Hartmann e Robert Mack, TFZ Straubing

https://www.tfz.bayern.de/mam/cms08/festbrennstoffe/dateien/tfz_bericht_61_nutzereinflusse.pdf

Effetti sulle emissioni

Nella fase di accensione da freddo dell'apparecchio tutte le aperture dell'aria devono rimanere aperte. Successivamente, **dopo la prima carica della legna non è più necessaria l'immissione di aria**



le emissioni di carbonio organico, responsabile della produzione di fumi maleodoranti, aumentano di 6 volte e le emissioni di polveri aumentano di 6,5 volte.

Inoltre, si riduce il rendimento a causa dell'aumento della temperatura dei gas di scarico

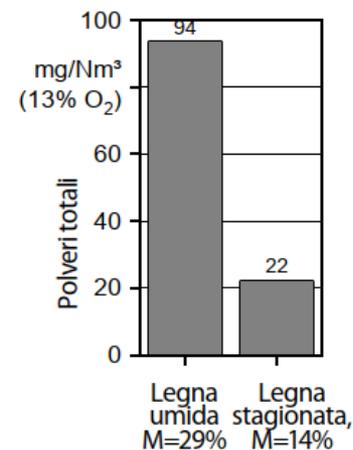
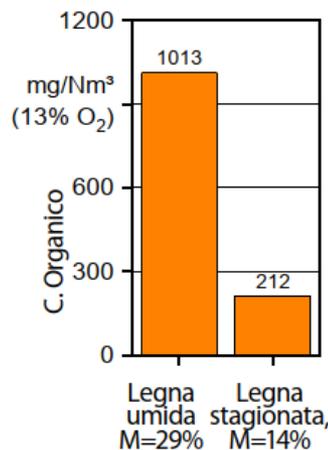
https://aielenergia.it/public/documenti/312_A4E_1-2020_Francescato.pdf

Effetti sulle emissioni

La legna da stufa dovrebbe avere un contenuto idrico compreso tra il 12 e il 20%. Questo è l'usuale campo di variazione annuale nel caso di stagionatura all'aria aperta con protezione dalla pioggia della catasta.

La legna con un contenuto idrico inferiore al 10% è troppo secca e causa una combustione troppo intensa con una parziale carenza d'aria

La legna troppo umida, al contrario, sottrae calore al processo di combustione per la vaporizzazione dell'acqua e aumenta il volume dei gas di scarico

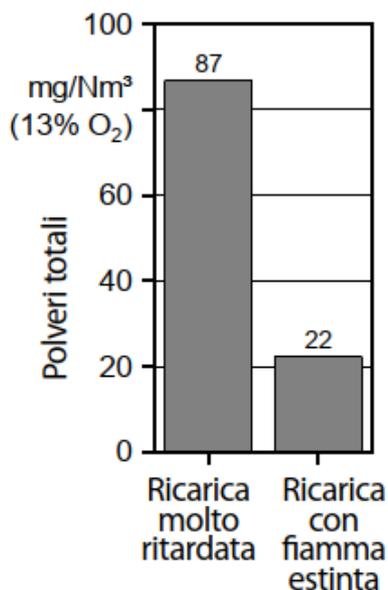
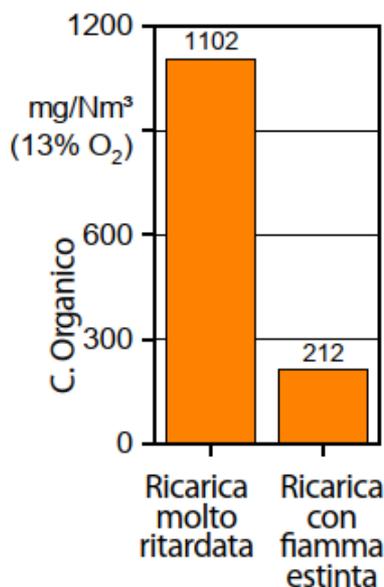


una carica di legna con un contenuto idrico del 29% causa l'aumento delle emissioni di carbonio organico di 4,8 volte e di polveri di 4,3 volte

Effetti sulle emissioni

Se la ricarica avviene quando il letto di braci è molto basso e appena in grado di accendere la legna, questa fase si allunga molto fino a che la superficie del legno si infiamma, accendendo i gas che da essa si liberano.

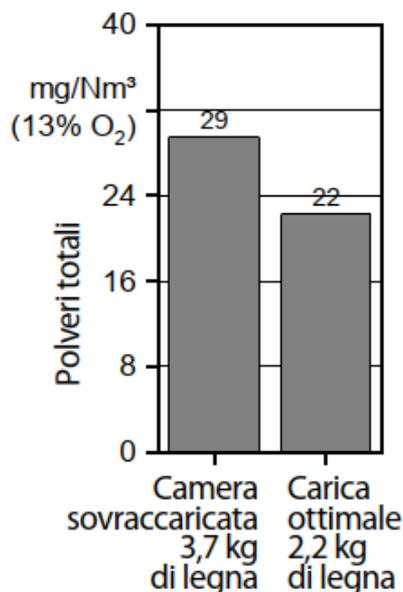
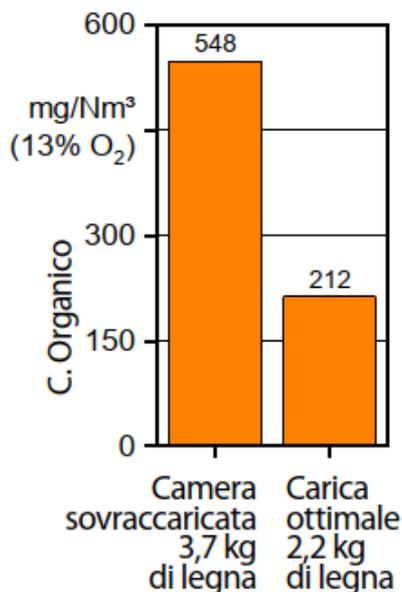
Le sostanze nocive che si formano in questa prolungata fase sono molto concentrate



una ricarica di legna troppo ritardata (quindi 85 minuti dopo l'estinzione della fiamma) comporta un aumento di 5,2 volte delle emissioni di carbonio organico e di 4 volte quelle di polveri rispetto a un uso corretto dell'apparecchio

Effetti sulle emissioni

Per garantire una lunga combustione senza necessità di ulteriori ricariche l'apparecchio viene spesso sovraccaricato di legna per mantenere a lungo un letto di braci vivo, ovvero con capacità di accensione della ricarica



Gli effetti negativi sulle emissioni sono meno gravosi degli errori precedenti. Ciononostante, sono stati rilevati incrementi del carbonio organico di 2,7 volte e di polveri di 1,3 volte, rispetto ai valori rilevati con conduzione ottimale

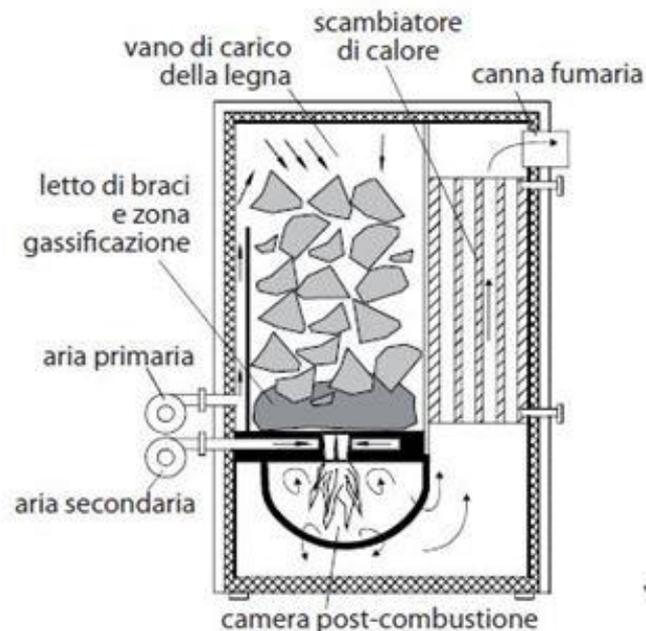
La combustione: controllo degli inquinanti

Controllo primario

Mira a prevenire la formazione dell'inquinante emesso intervenendo sui parametri della combustione:

- temperatura
- aria primaria e secondaria

Importante per NO_x e VOC
Fondamentale per CO



La combustione: controllo degli inquinanti

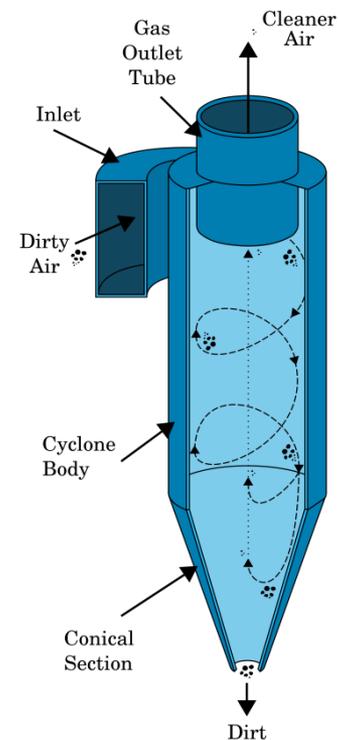
Controllo secondario

Mira a trattenere/degradare l'inquinante emesso
intervenedo direttamente sul flusso
dell'emissione (fumi)

Importante per NO_x (catalizzatori)

Fondamentale per le polveri:

- **Filtri a maniche**
- **Cycloni**
- **Elettrofiltri**
- **Wet scrubber**



La combustione: controllo degli inquinanti

Definizione e controllo della filiera

MATERIA PRIMA: identificazione e raccolta della materia prima

PRODUZIONE E TRASFORMAZIONE dei biocombustibili solidi

FILIERA DI COMMERCIALIZZAZIONE E VENDITA dei biocombustibili solidi all'utente finale

COMBUSTIONE E CONVERSIONE dei biocombustibili solidi da parte dell'utente finale

Il pacchetto **UNI EN 15234**, emanato nel 2012, contiene tutte le procedure da adottare per rispettare i requisiti di qualità del combustibile in generale e per le singole filiere di pellet, bricchette, cippato e legna da ardere oltre ad assicurare che le specifiche tecniche siano rispettate

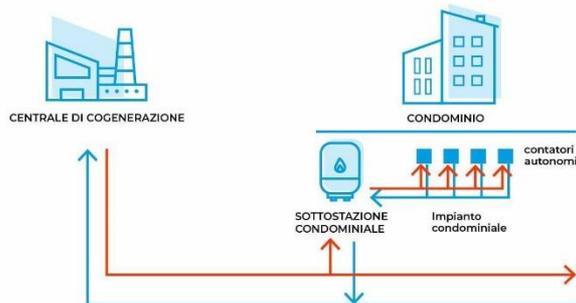
La combustione: controllo degli inquinanti

Qualità del combustibile

Le raccomandazioni prevedono le caratteristiche minime in termini di contenuti di ceneri, umidità, azoto, zolfo, ma specificano anche la necessità che il legno sia privo di composti organici alogenati o metalli pesanti



La combustione: sistemi cogenerativi/trigenerativi



Produzione combinata di energia elettrica/meccanica e di energia termica (calore) ottenute in appositi impianti utilizzando la stessa energia primaria

Il calore viene utilizzato nella forma di vapore o di altri fluidi termovettori (acqua calda/surriscaldata, olio diatermico) o nella forma di aria calda, per usi di processo industriali o in ambito civile

Per riscaldamento urbano tramite reti di teleriscaldamento, nonché per il raffreddamento tramite sistemi ad assorbimento



La combustione: sistemi cogenerativi/trigenerativi

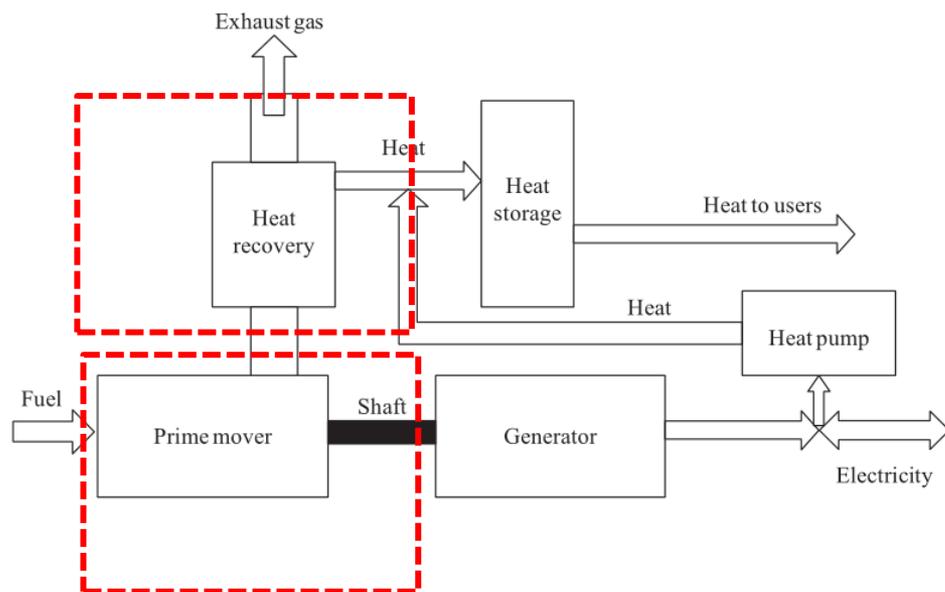


Il primo vantaggio di un cogeneratore è quindi di ridurre il consumo dell'energia primaria (combustibile), dato che la stessa può essere sfruttata per produrre elettricità e calore. In sostanza si ottiene un miglioramento del rendimento complessivo e quindi una diminuzione dei consumi (dell'ordine del 35% – 40%)

Vantaggi degli impianti di cogenerazione

1. Riduzione del consumo di energia primaria (combustibile)
2. Diminuzione delle emissioni di sostanze inquinanti
3. Localizzazione vicino all'utenza, riducendo le perdite di trasmissione
4. Modalità stand alone, minimizzando i rischi di interruzione dell'alimentazione
5. Vantaggio economico derivante da minori consumi di energia primaria
6. Possibilità di beneficiare di incentivi per gli investimenti in sistemi cogenerativi

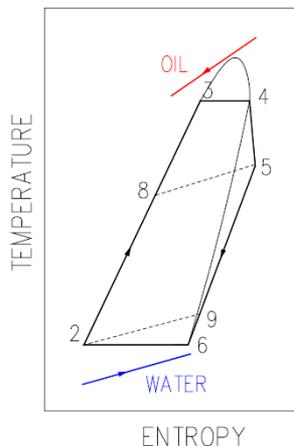
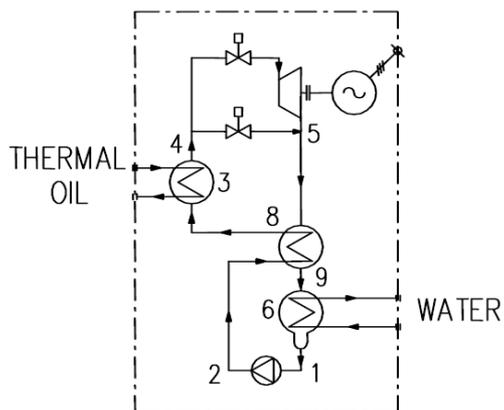
La combustione: sistemi cogenerativi/trigenerativi



1. Combustore, in cui si svolge il processo di combustione vero e proprio

2. Caldaia o sistema di recupero termico, che converte il contenuto energetico dei fumi caldi in vapore attraverso opportuno fluido termovettore

La combustione: sistemi cogenerativi/trigenerativi



3. Ciclo di potenza che valorizza il vapore prodotto generando energia elettrica mediante un turboalternatore

4. Linea di trattamento dei fumi, che abbate gli eventuali inquinanti depurando i fumi prima dello scarico in atmosfera



La combustione: teleriscaldamento

2.1.1 Sistemi di teleriscaldamento⁸ per regione – anno 2019

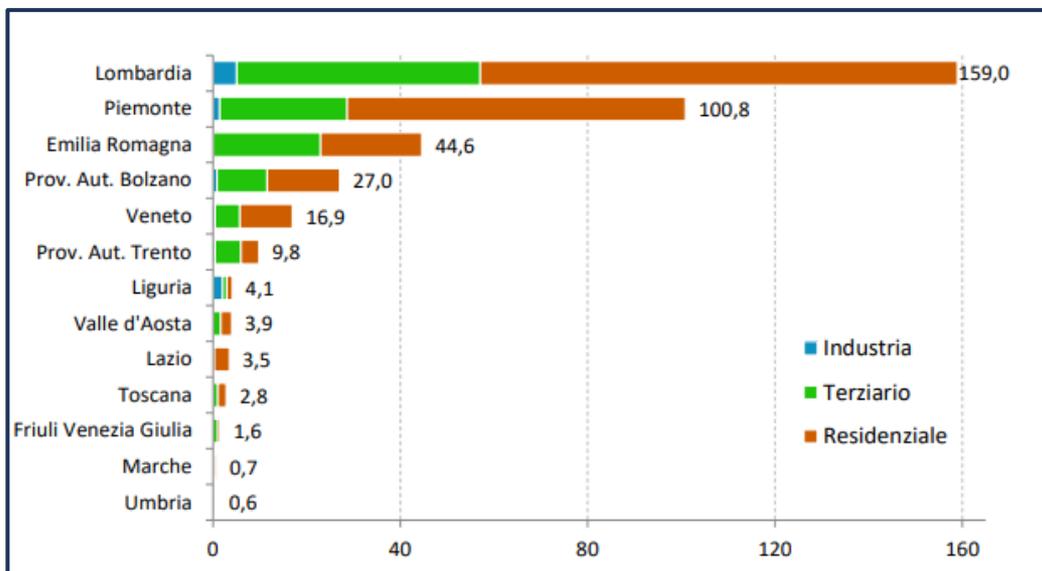
Regioni	Numero di comuni teleriscaldati	Numero di reti di teleriscaldamento	Potenza Termica installata (MW)	Estensione complessiva delle reti (km)	Numero di sottocentrali di utenza	Volumetria riscaldata (milioni di m3)
Piemonte	54	60	2.978	1.149	13.899	100,8
Valle d'Aosta	7	8	145	58	900	3,9
Lombardia	59	55	3.364	1.371	35.768	159,0
Prov. Aut. Bolzano	54	77	814	1.090	20.210	27,0
Prov. Aut. Trento	29	32	310	200	3.377	9,8
Veneto	12	11	401	146	2.233	16,9
Friuli Venezia Giulia	9	9	79	30	332	1,6
Liguria	4	5	93	19	90	4,1
Emilia Romagna	21	32	1.178	677	8.487	44,6
Toscana	30	39	167	165	6.007	2,8
Umbria	1	1	18	11	73	0,6
Marche	1	1	15	15	411	0,7
Lazio	1	1	83	26	557	3,5
Italia	282	331	9.646	4.955	92.344	375,4

Fonte: elaborazioni GSE su dati AIRU, GSE, Regioni

I territori comunali in cui esiste almeno una rete sono 282, distribuiti in 13 regioni e province autonome del centro e nord Italia. L'estensione delle reti di teleriscaldamento si attesta poco al di sotto di 5.000 km²; di questi, il 50% circa si concentra nei 113 comuni teleriscaldati della Lombardia e del Piemonte

GSE, Teleriscaldamento e teleraffrescamento in Italia - Anno 2019 (Agg. Maggio 2021)

La combustione: teleriscaldamento



GSE, Teleriscaldamento e teleraffrescamento in Italia - Anno 2019 (Agg. Maggio 2021)

Le utenze residenziali rappresentano il 63% della volumetria complessivamente riscaldata in Italia da reti di teleriscaldamento; seguono il settore terziario (34%) e le utenze industriali (3%)

Il 42% circa della volumetria riscaldata complessiva è concentrata sul territorio della Lombardia (159 milioni di m³)

In Italia i sistemi di teleraffrescamento si stanno sviluppando progressivamente sfruttando sia l'efficienza di sistema sia la possibilità di essere realizzati utilizzando infrastrutture già esistenti; attualmente, tutti i sistemi di teleraffrescamento in esercizio in Italia sono associati a sistemi di teleriscaldamento

Progetto SELVA: analisi sperimentale

- Obiettivo: sviluppare strategie integrate per la produzione di energia da biomassa locale e valutare l'impatto ambientale
- Area di studio: comune di Leonessa (Rieti): < 2500 abitanti; 969 s.l.m.
- Metodologie: inventario delle emissioni, WEB GIS, monitoraggio AQ/emissioni, installazione e monitoraggio di un impianto pilota
- **Campagna preliminare di monitoraggio della qualità dell'aria**



Progetto SELVA: analisi sperimentale

Caratteristiche di un caso di studio in ambiente montano

- Luoghi isolati: produzione locale di energia
- Basse temperature e afflusso turistico: picchi invernali di domanda
- **Controllo delle emissioni inefficiente o completamente inesistente (controllo primario e secondario)**
- Emissione areale = difficoltà nella attribuzione delle sorgenti emissive





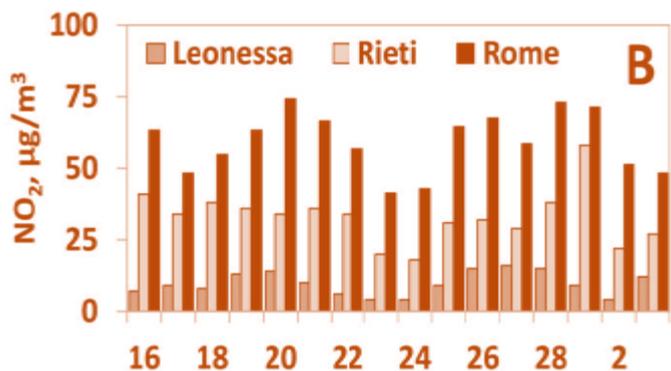
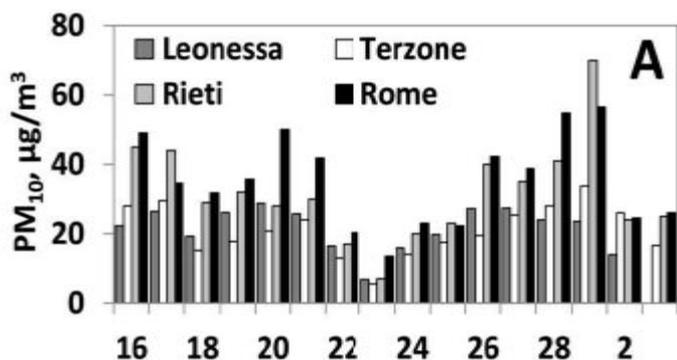
Leonessa: < 2500 abitanti; 969 s.l.m.



Rieti: 48000 abitanti; 405 s.l.m.
 Roma: 2,87 M abitanti; 20 s.l.m.

Progetto SELVA: analisi sperimentale

Qualità dell'aria in inverno



PM₁₀ confronto con Roma

Buona correlazione in inverno ($R^2 > 0,85$)

Concentrazione minore (20 vs 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) ma:

- Differenze meno marcate che in estate
- Rieti rimane comparabile a Roma

NO₂ minore e non correlato con Roma

Ozono: più alto che a Roma (minimi maggiori)

Benzene confrontabile con Roma

(1,3 vs 2,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Progetto SELVA: analisi sperimentale

Idrocarburi policiclici aromatici (IPA) in inverno

La concentrazione degli IPA era **maggiore** di quella misurata a Roma:

- Leonessa: $15,8 \pm 5,1 \text{ ng/m}^3$
- Roma: $7,0 \pm 1,5 \text{ ng/m}^3$

Inoltre: IPA con 4 anelli sono più abbondanti (31% vs 21%)

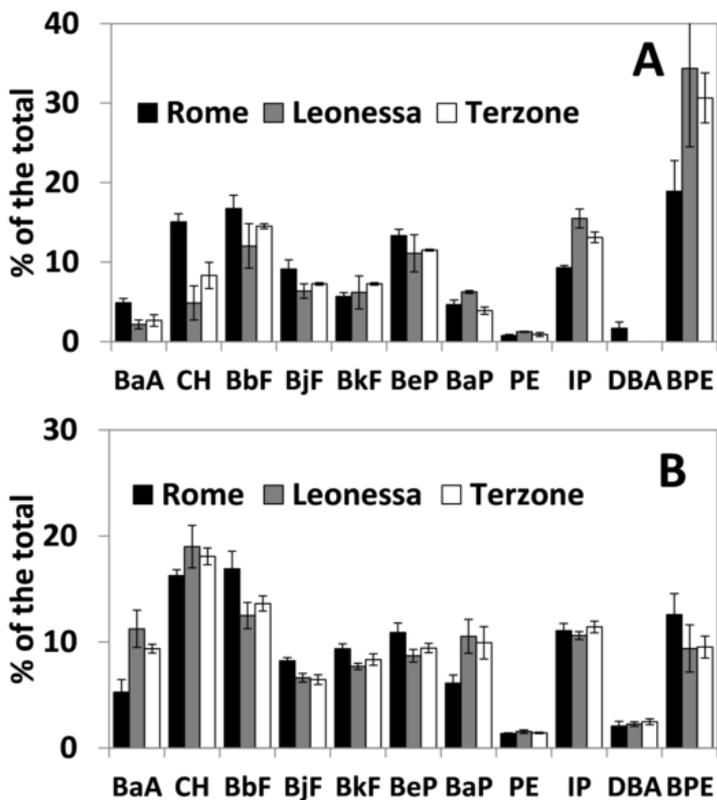
BaP - Benzo(a)pirene ($1,68 \pm 0,52 \text{ ng/m}^3$)

Possibili cause:

- Temperature differenti: $DT = -10^\circ\text{C}$
- Ridotto mescolamento verticale
- **Sorgente locale di emissione**

Progetto SELVA: analisi sperimentale

Sorgente locale di IPA?



La concentrazione relativa di BaP diminuisce con l'invecchiamento del PM, ma il BaP era più elevato a Leonessa, nonostante l'O₃ fosse più elevato

l'O₃ può reagire con gli IPA attraverso un processo di ossidazione, attaccando i legami carbonio-carbonio nelle strutture dei IPA per formare radicali instabili

Progetto SELVA: analisi sperimentale

PAH fingerprints nella combustione del legno

	Diagnostic ratios for biomass burning*	Leonessa	Rome
BaA/(BaA+CH)	0,39	0,37	0,3
IP/(IP+BPE)	0,52	0,53	0,43
BaP/BPE	1,22	1,14	0,47
CH/(CH+BaP)	0,61	0,65	0,65

Cecinato et al. (2014) Urban Climate 10:630/643

i rapporti diagnostici sono basati sulla proporzione tra la concentrazione di due o più composti specifici. Questi composti possono essere selezionati in base alla loro capacità di distinguere tra le diverse fonti di emissione, come ad esempio le emissioni da veicoli, la combustione del legno o il riscaldamento domestico

Progetto SELVA: analisi sperimentale

Altre informazioni dalla frazione organica del PM

m/z = 206

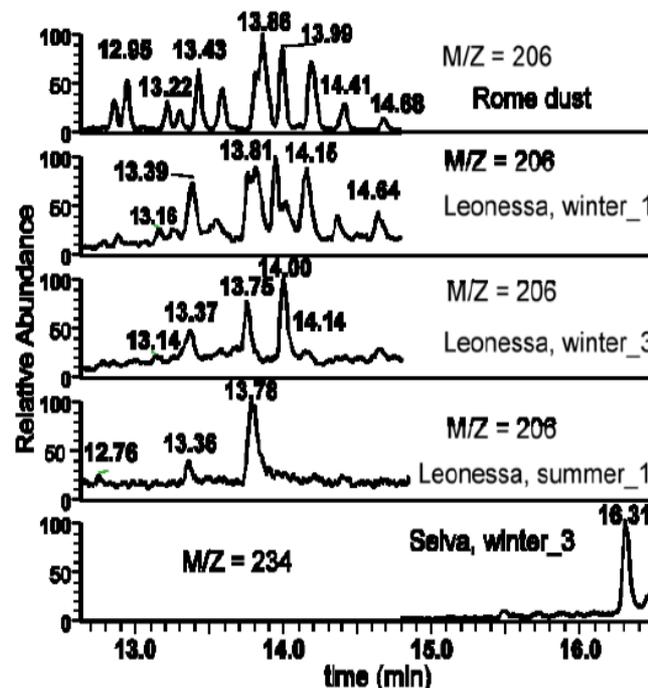
- dimetilfenantreni
- etilfenantreni

Profili diversi tra Roma e Leonessa nel periodo invernale e uguali nel periodo estivo

m/z = 234

Retene

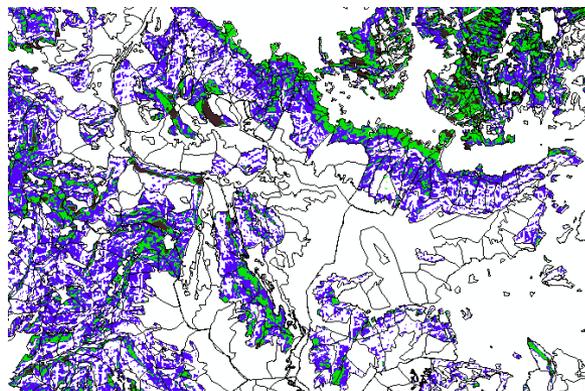
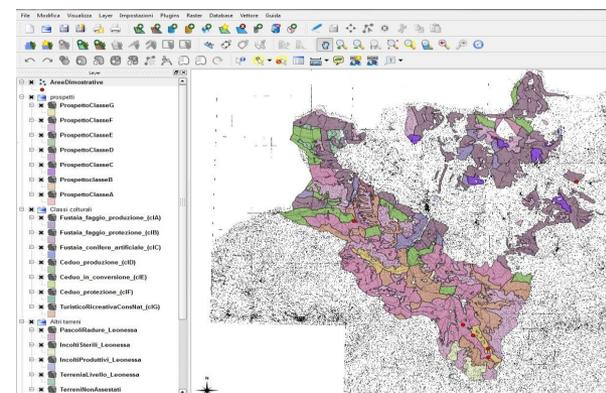
(tracciante della combustione di biomassa)



Petracchini et al. (2017) Environ Sci Pollut Res 24:4741-4754

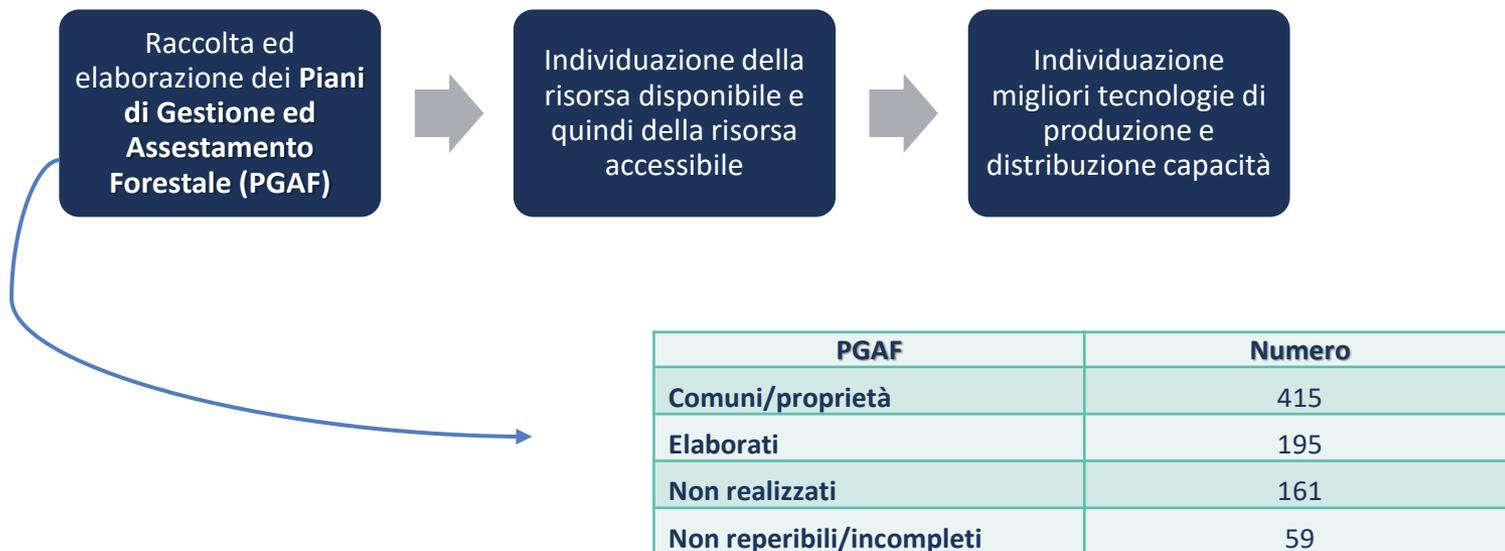
Progetto SELVA: analisi di scenario

- Analisi dei PGAF: la pianificazione interessa una superficie complessiva di circa 144.000 ettari che rappresentano circa il 30% della superficie boscata
- L'analisi dei boschi non pianificati consente di valutare le potenzialità in termini di risorse presenti sul territorio
- Definizione delle migliori tecniche disponibili del settore energetico delle biomasse solide (sulla base delle BAT già emanate dall'Unione Europea)



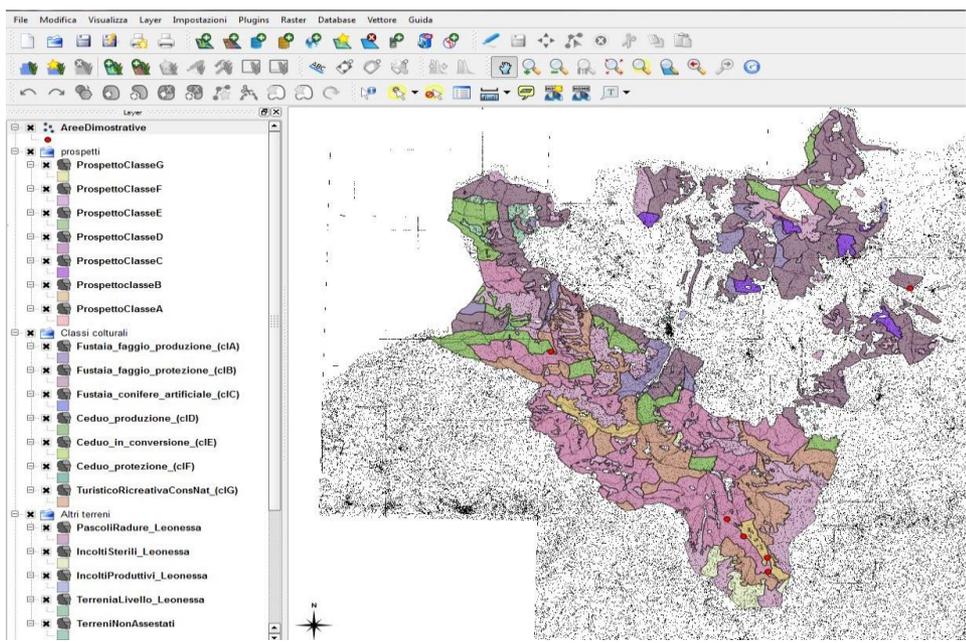
La risorsa forestale come **risorsa energetica per l'intera Regione Lazio**

Elaborazione e definizione degli scenari energetici



1. Individuazione dei comuni che hanno redatto il PGAF
2. **Raccolta dei PGAF**
3. **Elaborazione dei PGAF**
4. Creazione del Database in PostgreSQL

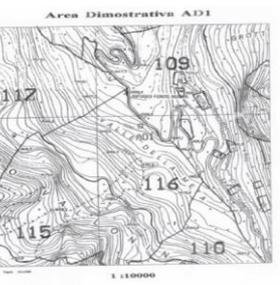
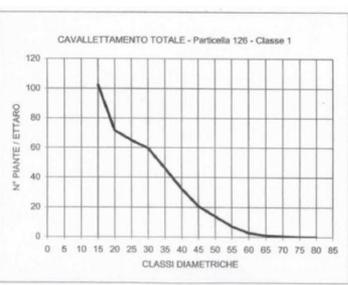
Attività di digitalizzazione: creazione opportuno shapefile (.shp)



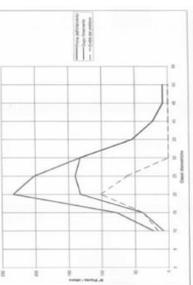
Classe	№	Superficie (ha)	Superficie (m²)
1	1	1000	10000000
2	2	2000	20000000
3	3	3000	30000000
4	4	4000	40000000
5	5	5000	50000000
6	6	6000	60000000
7	7	7000	70000000
8	8	8000	80000000
9	9	9000	90000000
10	10	10000	100000000

Classe	№	Superficie (ha)	Superficie (m²)
11	11	11000	110000000
12	12	12000	120000000
13	13	13000	130000000
14	14	14000	140000000
15	15	15000	150000000
16	16	16000	160000000
17	17	17000	170000000
18	18	18000	180000000
19	19	19000	190000000
20	20	20000	200000000

Classe	№	Superficie (ha)	Superficie (m²)
21	21	21000	210000000
22	22	22000	220000000
23	23	23000	230000000
24	24	24000	240000000
25	25	25000	250000000
26	26	26000	260000000
27	27	27000	270000000
28	28	28000	280000000
29	29	29000	290000000
30	30	30000	300000000



Classe	№	Superficie (ha)	Superficie (m²)
31	31	31000	310000000
32	32	32000	320000000
33	33	33000	330000000
34	34	34000	340000000
35	35	35000	350000000
36	36	36000	360000000
37	37	37000	370000000
38	38	38000	380000000
39	39	39000	390000000
40	40	40000	400000000



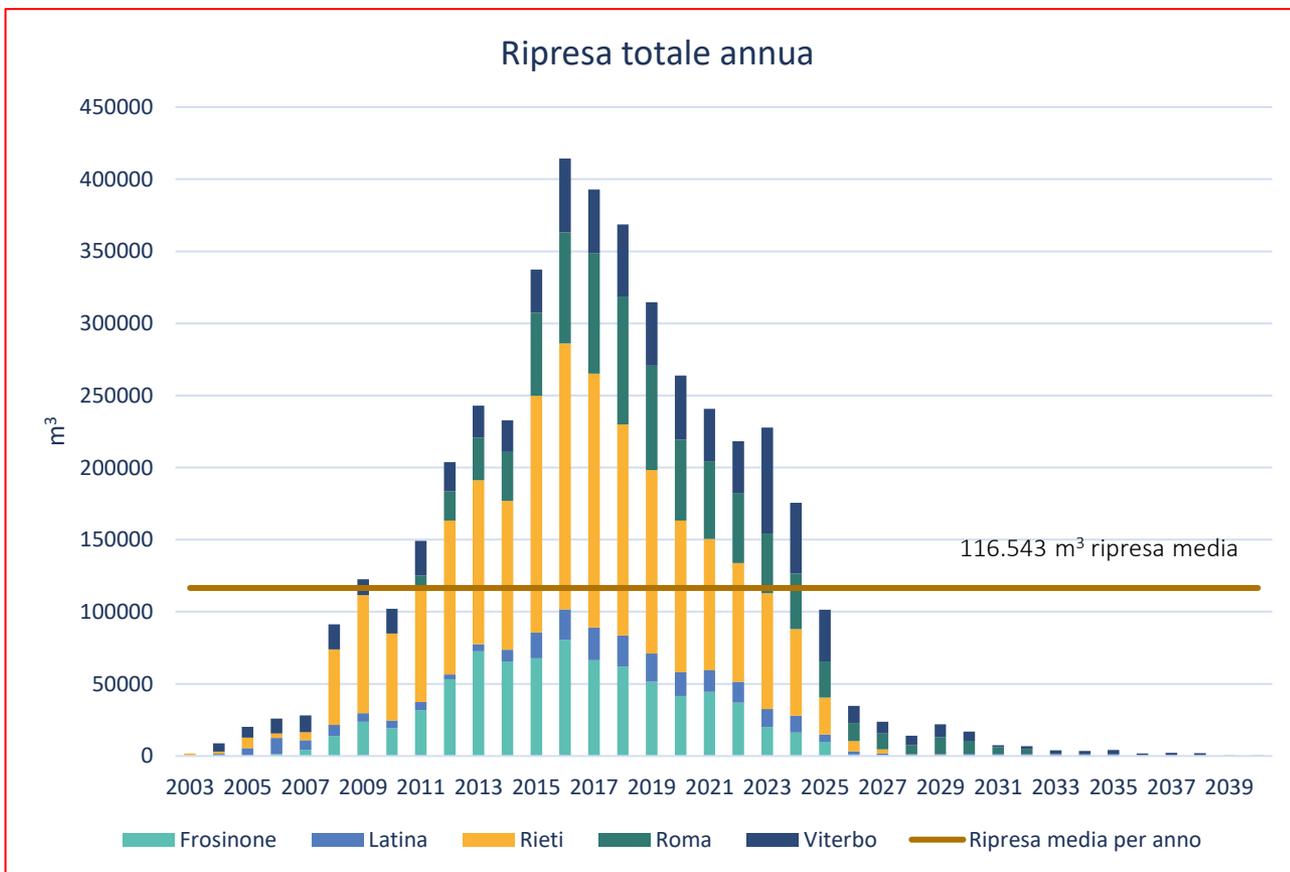
La risorsa forestale come **risorsa energetica per l'intera Regione Lazio**

Elaborazione e definizione degli scenari energetici



Provincia	2003-2017	2018-2040	2018-2020	2021-2025	2026-2030	2031-2035	2036-2040	2000-2040
Frosinone	562.123,70	285.362,55	154.924,94	127.297,52	2.478,01	662,08	-	847.486,25
Latina	164.092,53	129.620,24	57.587,87	59.184,53	6.562,66	6.285,19	-	293.712,77
Rieti	1.133.436,80	728.791,23	379.055,95	339.735,06	10.000,22	-	-	1.862.228,03
Roma	348.246,56	484.413,21	217.239,04	207.321,18	50.463,91	8.280,22	1.848,09	832.659,77
Viterbo	330.822,3903	425.832,62	138.161,70	230.656,74	41.716,18	10.448,00	4.850,00	425.832,62
Totale	2.538.721,98	2.054.019,84	946.969,51	964.195,03	111.220,97	25.675,48	6.698,09	4.592.741,82

La ripresa totale media risulta essere maggiore nella provincia di Rieti in ragione della maggiore copertura della superficie pianificata rispetto la superficie totale, seguono poi rispettivamente le province di Frosinone, Roma, Viterbo ed in ultimo la provincia di Latina



La risorsa forestale come **risorsa energetica per l'intera Regione Lazio**

Elaborazione e definizione degli scenari energetici



Stima della ripresa totale, espressa in m³ all'anno: **aree non pianificate**

Tipo forestale	Ripresa totale aree non pianificate				
	Frosinone	Latina	Rieti	Roma	Viterbo
311	75.163,53	18.849,09	130.950,26	208.843,72	194.066,11
312	2.108,41	687,57	2.371,96	5.631,62	3.009,77
313	3.083,67	899,91	2.188,31	2.235,57	2.866,89
Totale Provinciale	80.355,62	20.436,57	135.510,53	216.710,91	199.942,77
Totale Regionale	652.956,40				

Nel dettaglio:



Estensione	km ²	Percentuale rispetto alla superficie Regionale
Regione Lazio	17.232,29	
Aree pianificate	2.165,78	13%
Aree non pianificate	3.012,56	17%

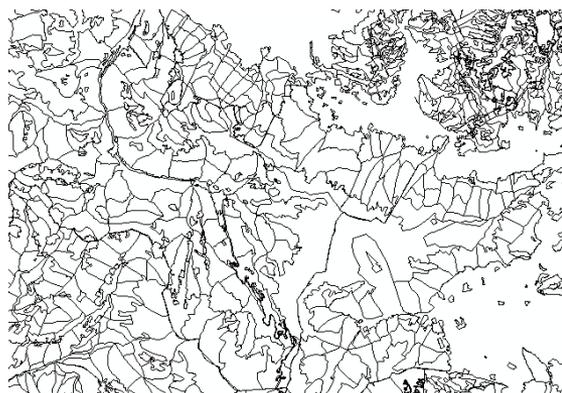
60% del patrimonio boschivo regionale è pubblico mentre circa il 40% è privato e la norma prevede l'obbligatorietà della pianificazione solo per gli enti pubblici

Province	Boschi (km ²)	Boschi non assestati (km ²)	Boschi assestati (km ²)	Percentuale boschi assestati rispetto al totale
Frosinone	1.013,91	638,30	375,61	37,0%
Latina	291,95	194,21	97,74	33,5%
Rieti	1.423,57	811,07	612,50	43,0%
Roma	1.098,48	894,90	203,58	18,5%
Viterbo	624,80	474,08	150,72	24,1%
Totale	4.452,70	3.012,57	1.440,14	32,3%

La risorsa forestale come **risorsa energetica per l'intera Regione Lazio**

Definizione dell'indice

Come qualificare e quantificare l'accessibilità della risorsa forestale?



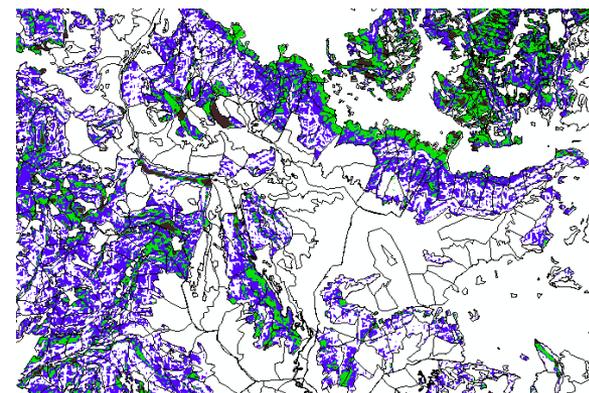
Piani di Gestione e Assestamento Forestale + Analisi delle superfici boscate non pianificate



DEM



Strato Viabilità



Risorsa Forestale disponibile

La risorsa forestale come **risorsa energetica per l'intera Regione Lazio**

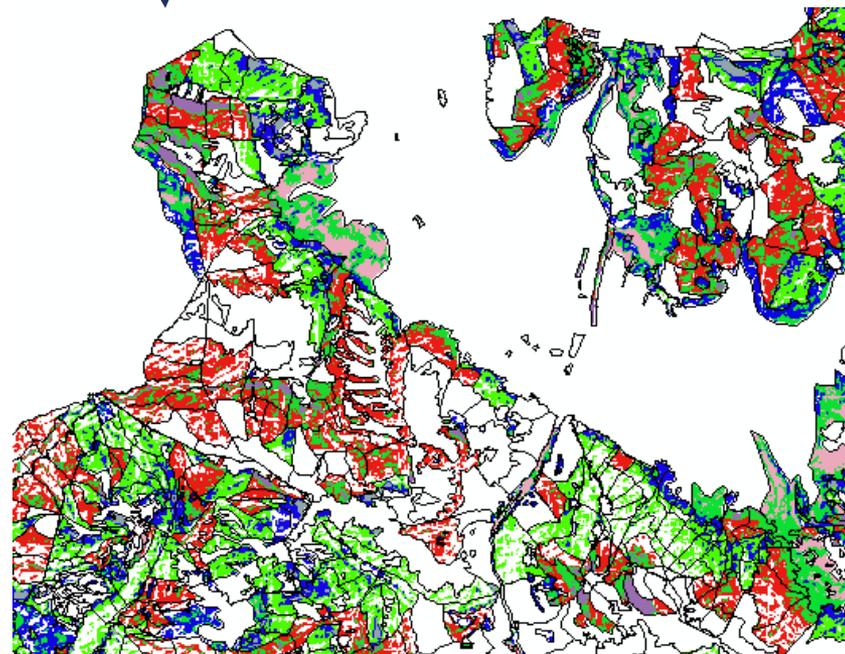
Definizione dell'indice

Come qualificare e quantificare l'accessibilità della risorsa forestale?

Parametrizzazione indice

Indice	Pendenza	Distanza
1	fino a 6°	non data
2	fino a 17°	fino a 2000 m
3	fino a 31°	fino a 1000 m

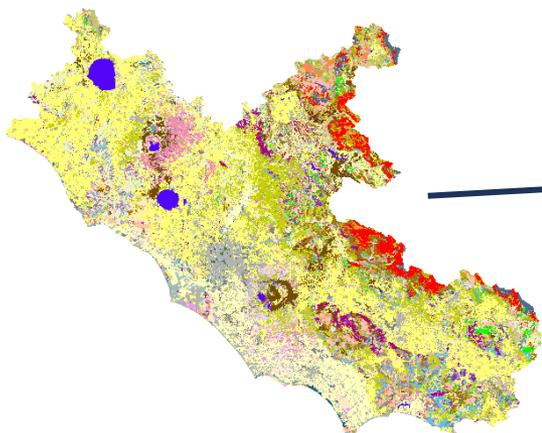
Ogni valore dell'indice corrisponde ad un diverso grado di accessibilità ed identifica tutte quelle celle che ricadono all'interno delle singole particelle e che rispettano i parametri imposti



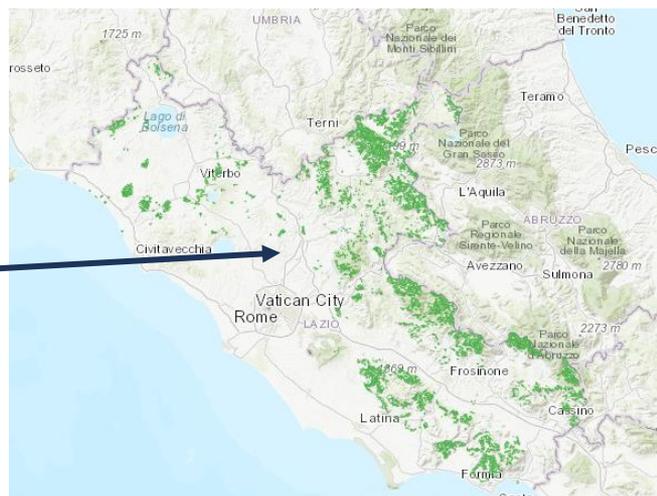
La risorsa forestale come **risorsa energetica per l'intera Regione Lazio**

Applicazione dell'indice

La risorsa forestale come **risorsa energetica**



CLC: Corine Land Cover



La pianificazione interessa una superficie complessiva di circa 144.000 ettari che rappresentano circa il 30% della superficie boscata (Corine Land Cover 2018)

La **ripresa totale delle aree pianificate** corrisponde a $2.053.778 \text{ m}^3$ nel periodo 2018-2040. Le aree boscate non pianificate presentano una **potenzialità stimata** in $652.956,40 \text{ m}^3/\text{anno}$ con una **ripresa totale** di $14.365.040,8 \text{ m}^3$ nel periodo 2018-2040

Ordini di grandezza



Tempesta	Anno	Nazioni colpite	Decessi	Milioni di m ³ di legno atterrati	Massima velocità vento misurata (km h ⁻¹)
Viviane	1990	Germania, Gran Bretagna, Irlanda, Francia, Olanda, Belgio, Svizzera (Italia nord-ovest in modo marginale)	64	60-70	>200
Lothar & Martin	1999	Francia, Belgio, Germania	140	240	259
Gudrun	2005	Irlanda, Gran Bretagna, Danimarca, Norvegia, Svezia, Russia	7	75	>180
Kyrill	2007	Irlanda, Francia, Belgio, Olanda, Danimarca, Svezia, Austria, Germania, Repubblica Ceca, Slovacchia, Svizzera e Polonia	47	66	>250
Vaia	2018	Italia	>14	6-8	>200

Tra il 28 ed il 30 ottobre 2018 ampie zone delle Alpi orientali sono state interessate da venti che hanno superato i 200 km/h ed hanno provocato dei danni gravissimi alle foreste in particolare della Lombardia, del Veneto, del Trentino-Alto Adige e del Friuli Venezia-Giulia:

6-8 milioni di m³ di legno

La risorsa forestale come **risorsa energetica per l'intera Regione Lazio**

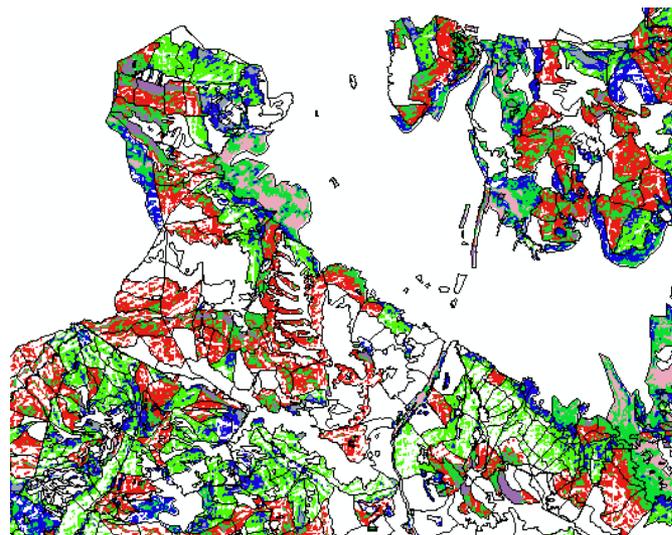
Applicazione dell'indice

La risorsa forestale come **risorsa energetica**

Applicando l'indice di accessibilità sviluppato si osserva una variazione della risorsa realmente disponibile per entrambi le due tipologie di superfici (pianificate e non). Nelle aree pianificate l'effettiva disponibilità si riduce del 32%, mentre nelle aree non pianificate si riduce del 53%

Anni	Regione Lazio
2018-2040	8,948,274
2018-2030	5,490,802
2030-2040	3,457,472

Ripresa totale disponibile espressa come m³



La risorsa forestale come **risorsa energetica per l'intera Regione Lazio**

Individuazione delle migliori tecnologie

CHP: Combined Heat Power in ambito industriale



Gassificazione e MCI



ORC (Organic Rankine Cycle) Turbine

La risorsa forestale come **risorsa energetica per l'intera Regione Lazio**

Disponibilità biomasse forestali (elaborazione ENEA^[1])

	Totale biomasse forestali [ton/anno]	Totale [ktep]
Frosinone	18.978	8
Latina	6.176	3
Rieti	31.242	13
Roma	29.184	13
Viterbo	26.109	11
Lazio	111.689	48

Consumi biomasse forestali (elaborazione ENEA^[2])

	Totale biomasse forestali [ton/anno]	Totale [ktep]
Frosinone	288.880	124
Latina	162.351	70
Rieti	31.242	76
Roma	652.387	280
Viterbo	190.683	82
Lazio	1.471.794	632

^[1] Atlante delle biomasse Rapporto ENEA RDS 2011

^[2] Indagine sui consumi energetici delle famiglie ISTAT 2013

La risorsa forestale come **risorsa energetica per l'intera Regione Lazio**

Disponibilità media annua nel periodo 2018-2050

	Biomasse forestali tot. potenziale	
	Totale biomasse forestali [ton/anno]	Totale [ktep]
Frosinone	29.110	12,52
Latina	10.462	4,50
Rieti	51.824	22,29
Roma	109.147	46,94
Viterbo	100.519	43,23
Lazio	301.063	129,47

Disponibilità media annua nel periodo 2018-2030

	Biomasse forestali tot. potenziale	
	Totale biomasse forestali [ton/anno]	Totale [ktep]
Frosinone	23.587	10,14
Latina	8.040	3,46
Rieti	36.358	15,64
Roma	97.698	42,01
Viterbo	89.382	38,44
Lazio	255.066	109,69

La risorsa forestale come **risorsa energetica per l'intera Regione Lazio**

Capacità installabile e Producibilità

Tipo di tecnologia	Producibilità				
	Cogenerazione GWh _{th}	Trigenerazione GWh _{th}	Energia Elettrica GWh _{el}	Cogen+Trigen GWh _{th}	kTEP
GA+MCI	158.1	124.8	216.3	282.9	24.3
Impianto ORC	220.5	174.7	116.5	395.2	34.0
TOTALE	378.5	299.5	332.8	678.0	58.3

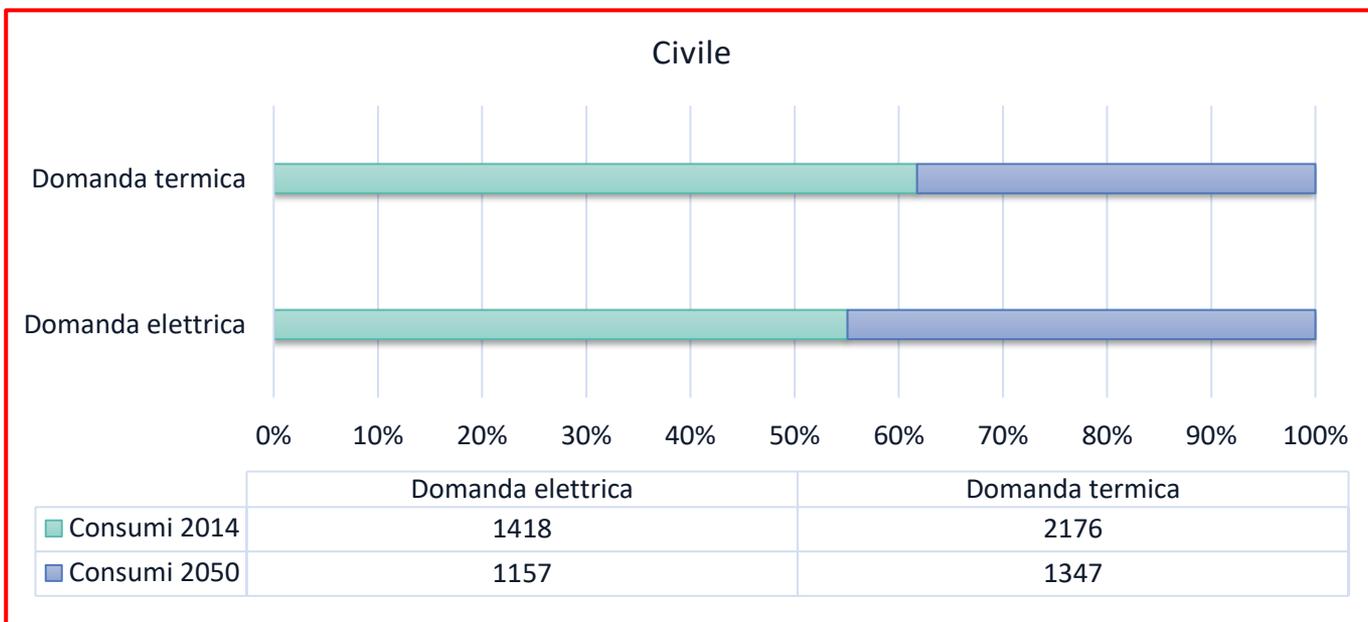


Gassificazione e MCI



ORC (Organic Rankine Cycle) Turbine

Proiezione dei consumi - **Regione Lazio**



- Riduzione dei consumi
- **Introduzione di nuove tecnologie**

Policy energetica

Tutte le azioni e gli obiettivi di efficientamento energetico rientrano nell'attuazione del Piano nazionale di Azione per l'Efficienza Energetica - PAEE 2017 in coerenza con quanto introdotto dal D.lgs. 102/2014. Il PAEE 2017 in considerazione del fatto che, in Italia, quasi il 40% del consumo finale di energia è assorbito da edifici civili, uffici pubblici e privati, negozi ed altri edifici, definisce strategie di medio - lungo termine per la riqualificazione energetica degli immobili



PER - Piano Energetico Regionale considera l'ambito di utilizzo finale "civile" (residenziale e terziario) uno degli ambiti cardine nel breve, medio e lungo termine per la riduzione dei consumi energetici finali

Conclusioni

- Integrazione della combustione di biomassa nel ciclo della CO₂
- Contributo della biomassa alla produzione di energia rinnovabile
- Dipendenza dei fattori di emissione dal tipo di impianto
- Sviluppo delle reti di teleriscaldamento e teleraffrescamento
- Esempio di Analisi di scenario per l'uso ai fini energetici della biomassa solida (Progetto SELVA)

Ruolo della combustione domestica della biomassa sulla QA locale
(Progetto SELVA)

- Abbondanza relativa del BaP
- Rapporti diagnostici specifici
- Analisi frazioni organica del PM: dimethyl/ethyl-phenantrenes
- Approccio integrato mediante diversi traccianti

**Conoscere e comprendere la qualità dell'aria
che respiriamo significa credere in uno sviluppo
sostenibile e agire a tutela delle generazioni
future**

GRAZIE PER L'ATTENZIONE