



POLITECNICO
MILANO 1863

DIPARTIMENTO DI
INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE



LEAP

Laboratorio Energia e Ambiente Piacenza

Bologna, 18 marzo 2016 - Regione Emilia Romagna

Verso il nuovo Piano Energetico Regionale - Seminario "Le Bioenergie"

Le biomasse legnose nell'impiego residenziale. Problematiche e possibili soluzioni.

Senem Ozgen – LEAP/Politecnico di Milano

Alberto Sogni – LEAP

senem.ozgen@polimi.it

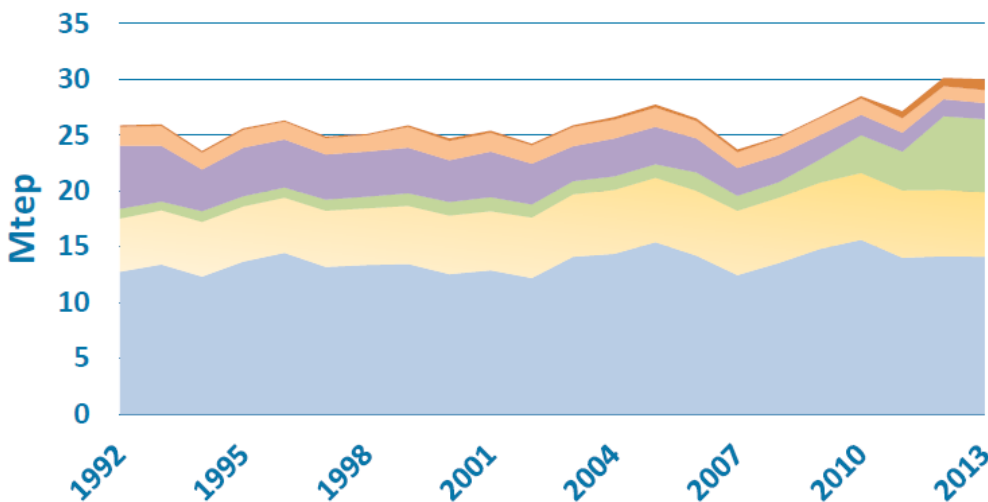
alberto.sogni@polimi.it

Sommario

1. Diffusione delle biomasse legnose per uso residenziale in Italia e in regione Emilia-Romagna;
2. Tecnologie commerciali di conversione energetica;
3. Quadro emissivo correlato nel bacino padano e sul territorio della regione Emilia-Romagna;
4. Attività di ricerca LEAP/Politecnico di Milano nel settore;
5. Soluzioni tecnologiche e altre misure per il contenimento delle emissioni;
6. Considerazioni conclusive.

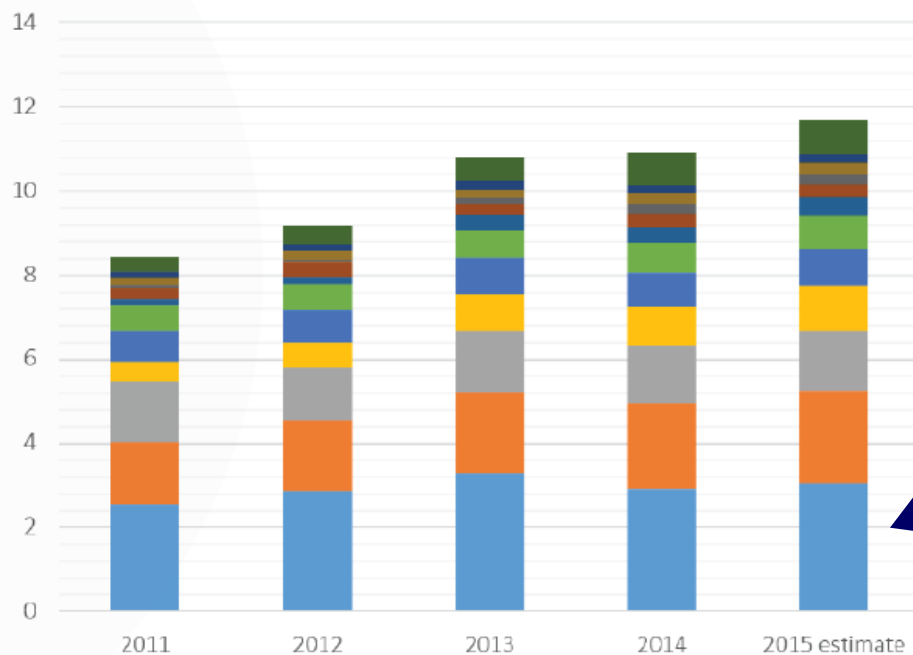


Diffusione biomasse ad uso residenziale - Italia



- Altri combustibili
- GPL
- Gasolio
- Legna
- Energia Elettrica
- Gas naturale

Consumo energetico nel settore residenziale in Italia per fonte energetica. Nel 2013 la legna è stata pari al 22% del totale. (fonte: ENEA - RAEE 2015)



- other
- PL
- FI
- PT
- BE
- ES
- DK
- AT
- FR
- SE
- DE
- IT

Evoluzione del consumo annuo di pellet nei principali paesi europei per riscaldamento domestico diretto (escludendo la cogenerazione) in milioni di tonnellate.

L'Italia rimane il principale consumatore di pellet a livello europeo e mondiale (oltre 3 Mton).

(fonte: AEBIOM - European Biomass Association - Statistical Report 2015)



Diffusione biomasse ad uso residenziale – Emilia Romagna



- Piemonte Liguria Valle d'Aosta
- Lombardia
- Triveneto
- Emilia Romagna
- Toscana Marche Umbria
- Sardegna
- Lazio
- Abruzzo Molise Campania
- Puglia
- Calabria Basilicata Sicilia

Distribuzione regionale delle stufe a pellet. L'Emilia Romagna è tra le regioni italiane a maggior diffusione del fenomeno (8% sul totale nazionale).

(fonte: QualEnergia «Guida all'acquisto del pellet di qualità» - ottobre 2012 - Elaborazione AIEL su dati GAD e APAT Lombardia)

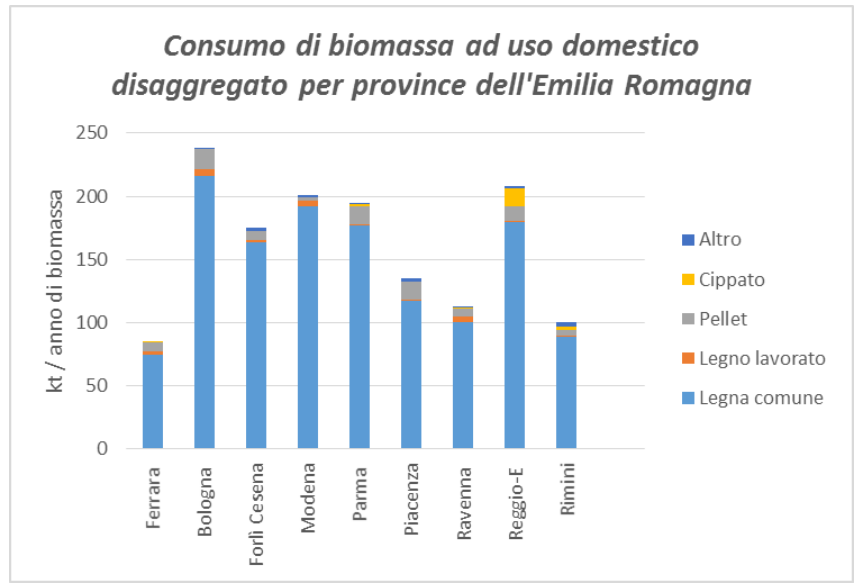
Emilia Romagna

(fonte: Elaborazione LEAP da «Indagine sul consumo di biomassa legnosa in Emilia Romagna», ARPA ER 2011)



Consumo domestico di biomassa in Emilia Romagna nel 2010 (t/anno)

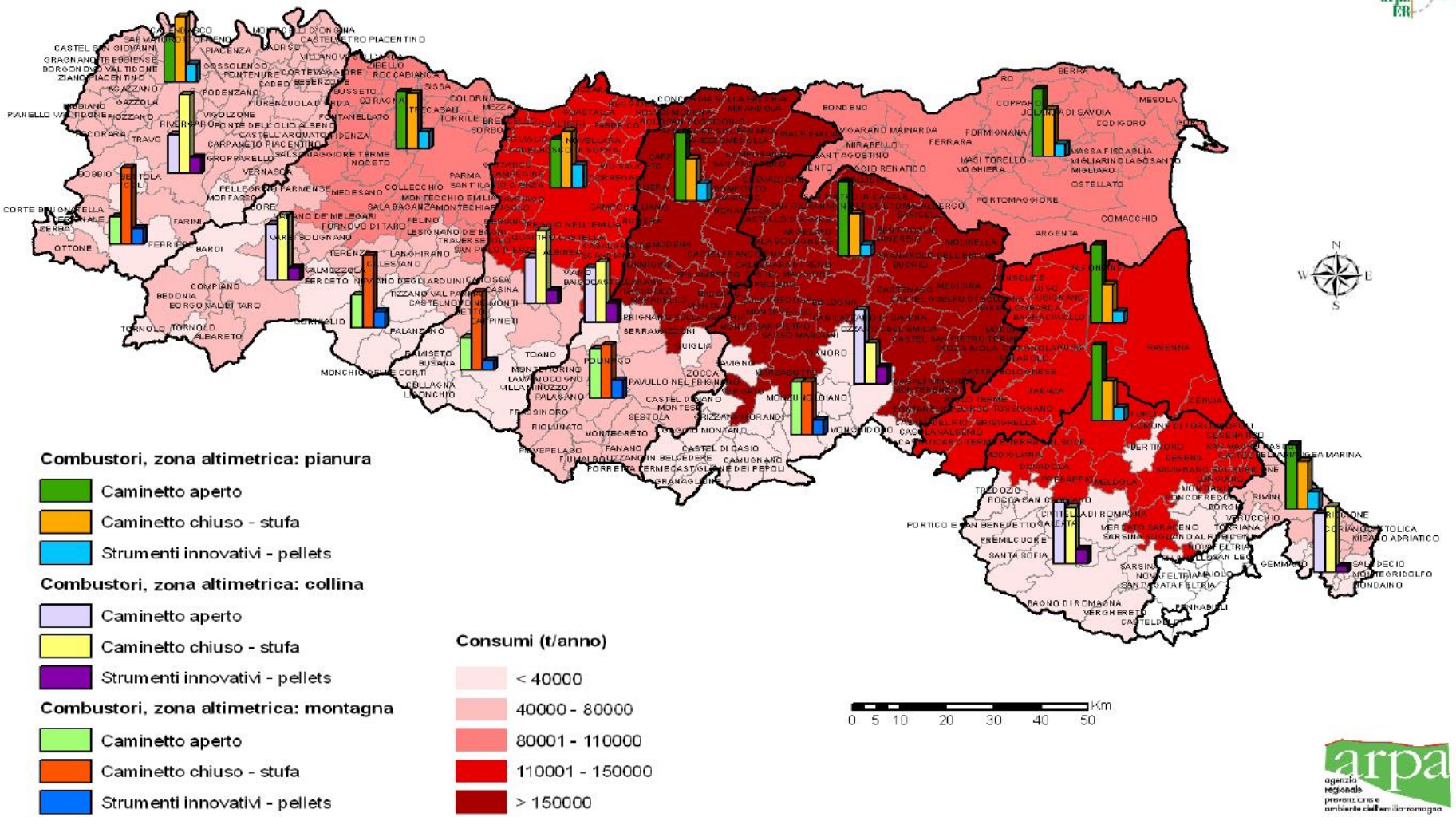
Legna da ardere comune	1.308.987
Legno lavorato	23.123
Pellet	105.686
Cippato	20.684
Altro	14.118
TOTALE	1.472.597



Diffusione biomasse ad uso residenziale – Emilia Romagna

Mappa dei consumi di biomassa ad uso domestico aggregati per provincia e per zona altimetrica

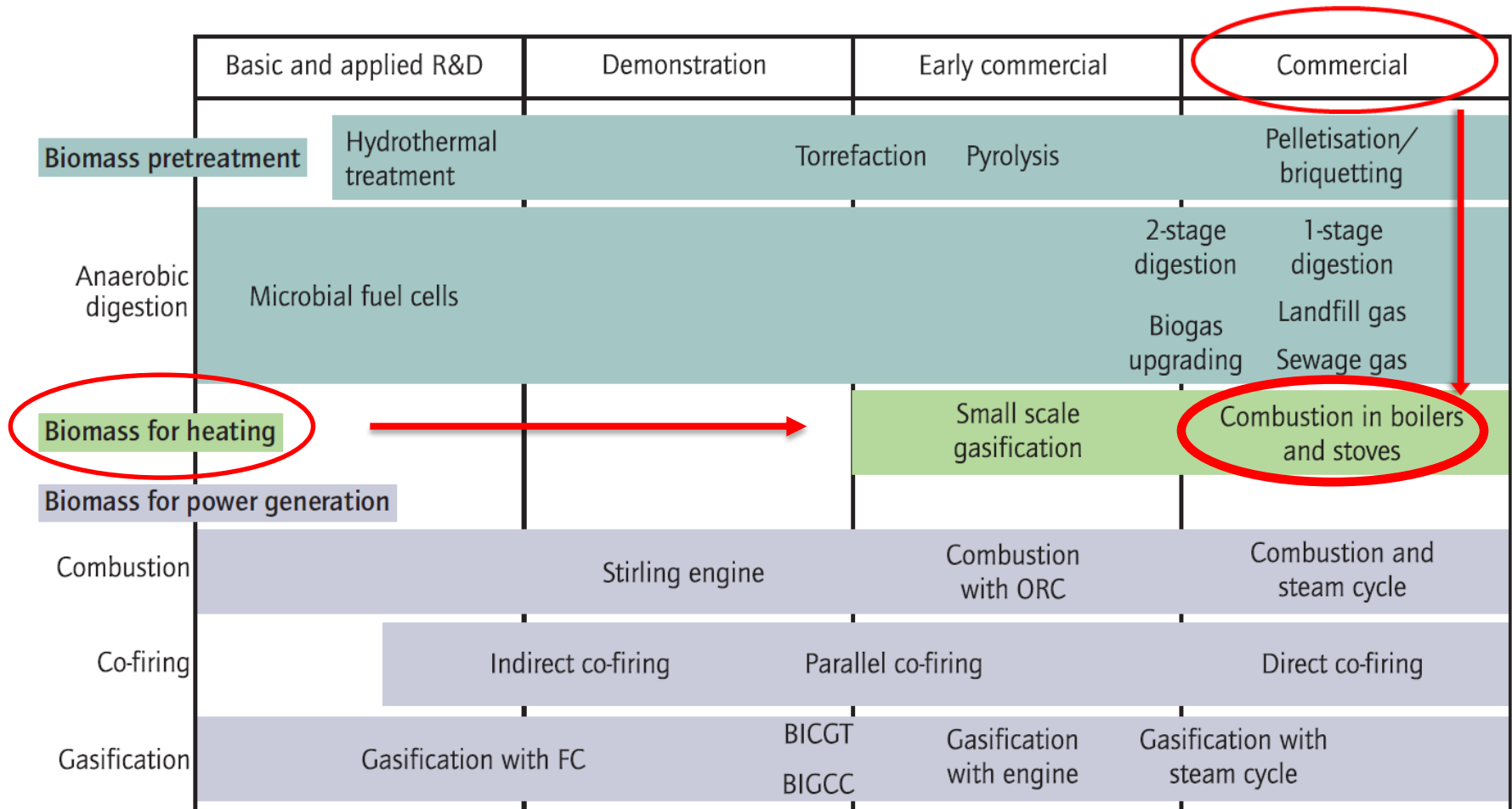
(fonte: «Indagine sul consumo di biomassa legnosa in Emilia Romagna», ARPA ER 2011)



Tecnologie commerciali di conversione energetica

Panoramica delle tecnologie di conversione energetica e relativo stadio di maturità tecnologica.

(fonte: IEA Bioenergy for Heat and Power – Technology Roadmap 2012)


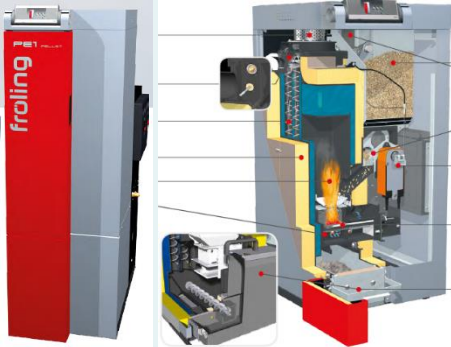


Note: ORC = Organic Rankine Cycle; FC = fuel cell; BICGT = biomass internal combustion gas turbine; BIGCC = biomass internal gasification combined cycle

Source: Modified from Bauen *et al.*, 2009

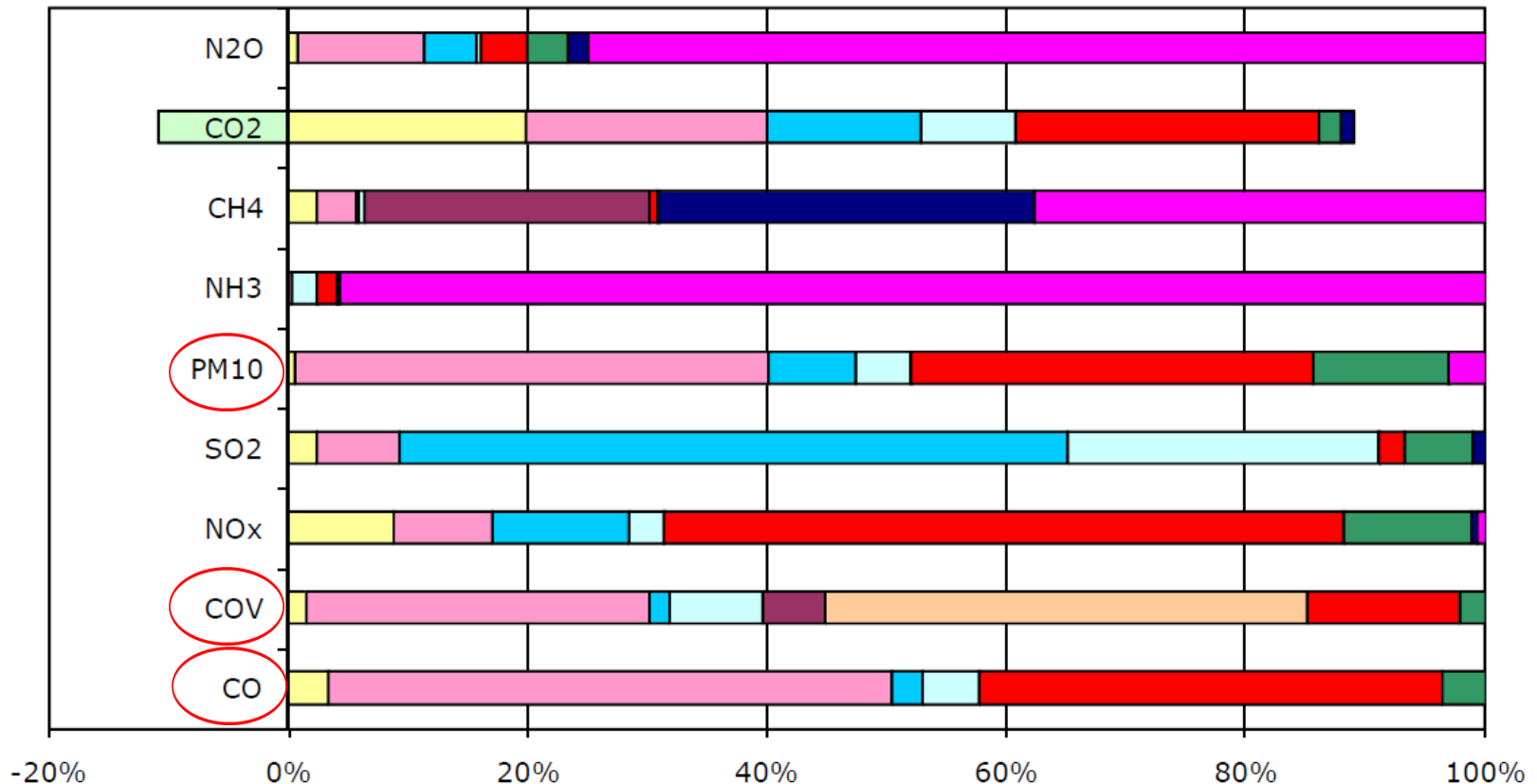
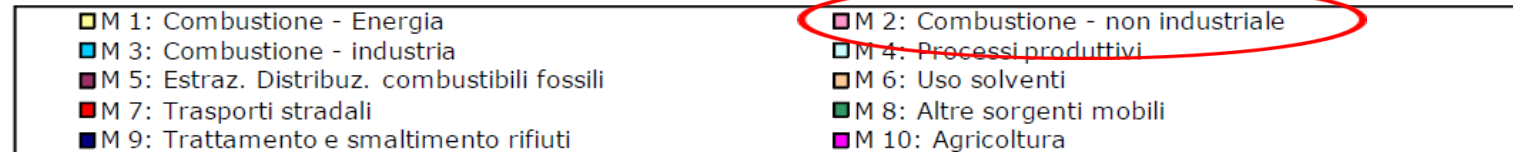


Tecnologie commerciali di conversione energetica

Combustibile	Tecnologia	Potenza	Rendimento	Immagine
LEGNA	Camini e termocamini	Da pochi kW per i camini aperti a 30-40 kW per i Termocamini	Camino aperto 20-25% - Camini chiusi e Termocamini 65-85%	 <p>Esempio Termocamino (www.edilkamin.com)</p>
	Stufe e termostufe	Stufe 5-15 kW Termostufe 12-25 kW	65 – 85 %	
	Caldaie	10 -35 kW 35 – 500 kW	87 – 93 %	
	Termocucine	5 kW – 20 kW	50 – 80 %	
PELLET	Termocamini e inserti	Da pochi kW fino a 30-40 kW	Termocamini e inserti 65-85%	 <p>Esempio Caldaia (www.froeling.com)</p>
	Stufe	5 kW – 15 kW	75 – 92 %	
	Termostufe	12 kW – 25 kW	75 – 94%	
	Caldaie	10 -35 kW 35 – 500 kW	87 – 95 %	
CIPPATO	Caldaie	25 – 1000 kW	85 – 94 %	

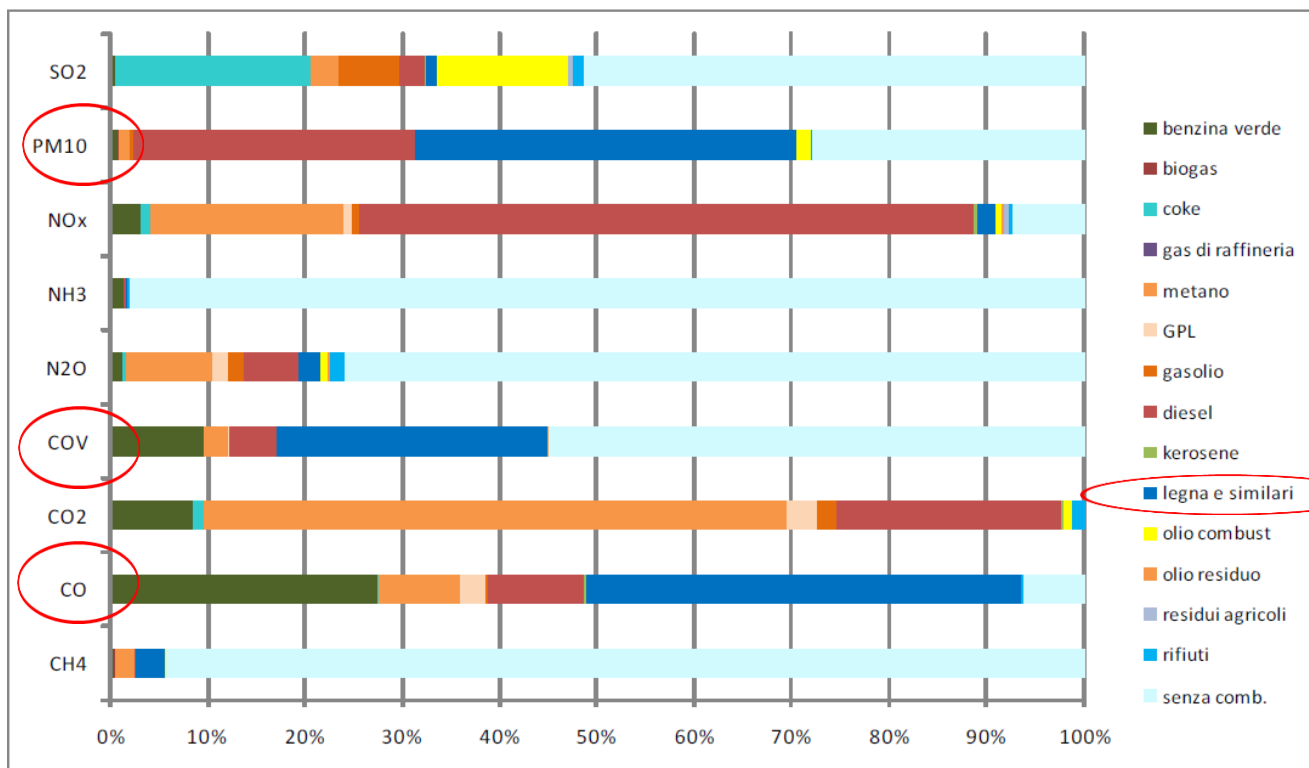
Quadro emissivo correlato in Emilia Romagna

Inventario delle emissioni anno 2010: stima delle emissioni per attività in Emilia Romagna, utilizzando una classificazione internazionale condivisa fra le Regioni del Nord Italia. (fonte: INEMAR - Arpa Emilia-Romagna (2013), Inventario Emissioni in Atmosfera: emissioni in Regione Emilia-Romagna nell'anno 2010)



Quadro emissivo correlato in Emilia Romagna

Inventario delle emissioni anno 2010: stima delle emissioni per combustibile in Emilia Romagna. (fonte: INEMAR - Arpa Emilia-Romagna (2013), Inventario Emissioni in Atmosfera: emissioni in Regione Emilia-Romagna nell'anno 2010)



Emissioni per tipologia di combustibile nel 2010 (t/anno, kt/anno per CO2) riferite al solo settore della combustione non industriale in Emilia Romagna

	CH4	CO	CO2	NMVOC	N2O	NH3	NOx	PM10	PTS	SO2
Metano	482	4015	8832	803	482		6102	32	32	80
GPL	9	94	584	19	131		561	2	2	
Gasolio	64	183	677	27	128		549	46	46	915
legna e similari	4924	78965		27460	215	154	1517	5316	5567	200



Quadro emissivo correlato in Emilia Romagna

Confronto dei fattori di emissione PM10 (g/GJ) per vari tipi di combustore utilizzati nell'attuale compilazione dell'inventario regionale delle emissioni Inemar ER 2010, quelli suggeriti dal successivo aggiornamento delle linee guida europee (Emep 2013) e FE derivanti da studi specifici condotti in Italia (fonte Caserini et al, 2014). (fonte: Deserti et al., 2015. Politiche ambientali e uso di biomassa in Pianura Padana. Ecoscienza n.1 (2015), p.46-49)

	Inventario RER	Guidebook 2013		Caserini et al, 2014	
		valore	range	valore	range
Camino aperto tradizionale	500	840	420-1680	512	434-611
Stufa tradizionale a legna Camino chiuso o inserto	250	760	380-1520	183, 178	140-225
Stufa avanzata	150	380	290-760	143	120-176
Sistema a legna o stufa a pellets (migliore tecnologia disponibile)	70	95	19-238	109	75-139
Caldaia automatica a pellets o cippato o legna (migliore tecnologia disponibile)	30	29	10-48	61	30-103



Determinazione dei FE di impianti residenziali

Campagna sperimentale (2010-2012)

Obiettivo: determinazione dei fattori di emissione sperimentali di apparecchi di riscaldamento residenziale alimentati a biomassa legnosa a carica manuale ed automatica, maggiormente diffusi in Italia con cicli di combustione reali.

Gruppi di lavoro:

- ENEA: coordinamento
- Innovhub-SSI (Stazione Sperimentale per i Combustibili) per le prove sperimentali con campionamenti al camino
- Politecnico di Milano (DICA Sez. Ambientale): selezione degli apparecchi, del combustibile, determinazione dei cicli di prova ed elaborazione dati per il calcolo dei FE
- ARPA Lombardia: determinazione dei cicli di prova

FATTORI DI EMISSIONE DALLA COMBUSTIONE DI LEGNA E PELLETTI IN PICCOLI APPARECCHI DOMESTICI

Ingegneria dell' Ambiente Vol. 1, n.1/2014

Stefano Caserini¹, Senem Ozgen^{1,*}, Silvia Galante¹, Michele Giugliano¹,
Francesca Hugony², Gabriele Migliavacca², Carmen Morreale²

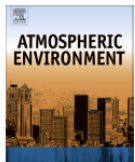
¹Politecnico di Milano, cambiare in Dipartimento
²INNOVHUB- Stazione Sperimentale



Contents lists available at ScienceDirect

Atmospheric Environment 94 (2014) 144–153

journal homepage: www.elsevier.com/locate/atmosenv



Emission factors from small scale appliances burning wood and pellets



Senem Ozgen^{a,*}, Stefano Caserini^a, Silvia Galante^a, Michele Giugliano^a,
Elisabetta Angelino^b, Alessandro Marongiu^b, Francesca Hugony^c, Gabriele Migliavacca^c,
Carmen Morreale^c

^a Politecnico di Milano, D.I.C.A. Sez. Ambientale, Piazza Leonardo da Vinci 32, 20133 Milano, Italy

^b ARPA Lombardia (Regional Agency for Environmental Protection) Settore Monitoraggi Ambientali, via Rosellini 17, 20124 Milano, Italy

^c INNOVHUB- Stazione Sperimentale per i combustibili, V.le de Gasperi 3, 20095 San Donato Milanese, Italy



Determinazione dei FE di impianti residenziali



Caminetto Aperto CA



Caminetto Chiuso CC



Stufa Innovativa SI



Stufa Tradizionale ST



Stufa Pellet SP

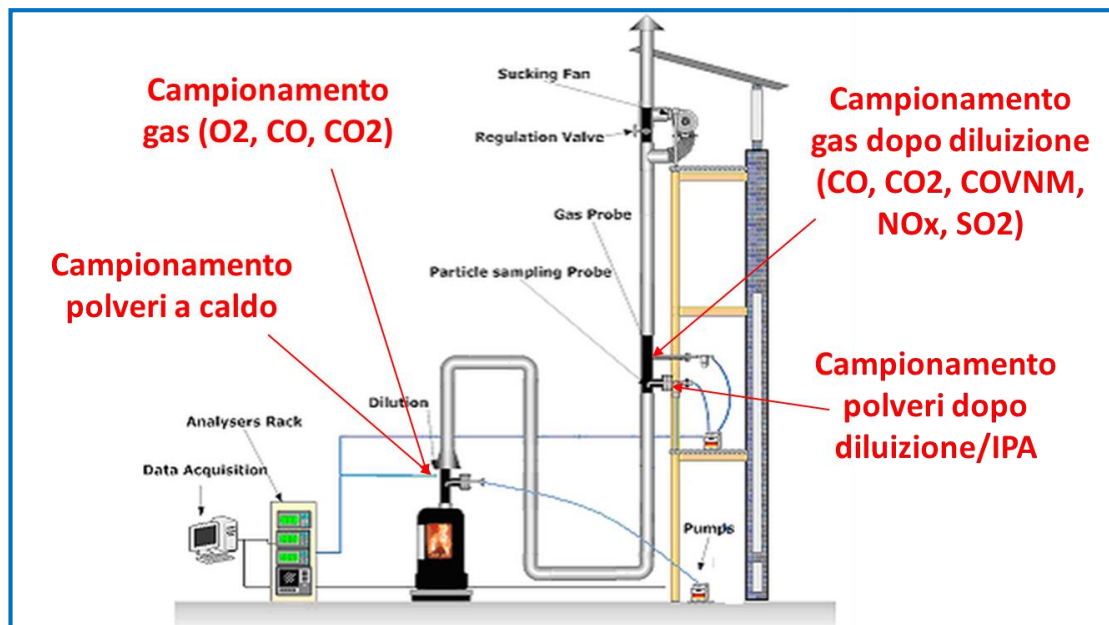


Caldaia Pellet CP

- 6 tecnologie di combustione
- 5 essenze legnose e due qualità di pellet
- circa 300 fattori di emissione (FE) sperimentali
- FE sperimentali sotto condizioni rappresentative dell'utilizzo reale dell'apparecchio
- FE sperimentali sotto cicli di carico proposti dalle normative EN
- confronto con le linee guida europee (EMEP, 2013)

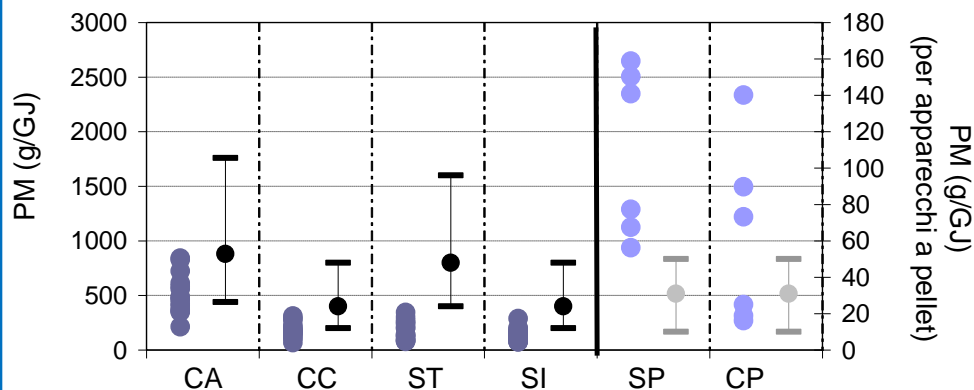
Verifica della dipendenza dei FE sperimentali da diversi parametri:

- tipologia dell'apparecchio -
- tipologia di essenza per i ciocchi di legna
- qualità del pellet
- ciclo di combustione
- condizioni di campionamento di PM (campionamento con diluizione e raffreddamento vs. campionamento a caldo)

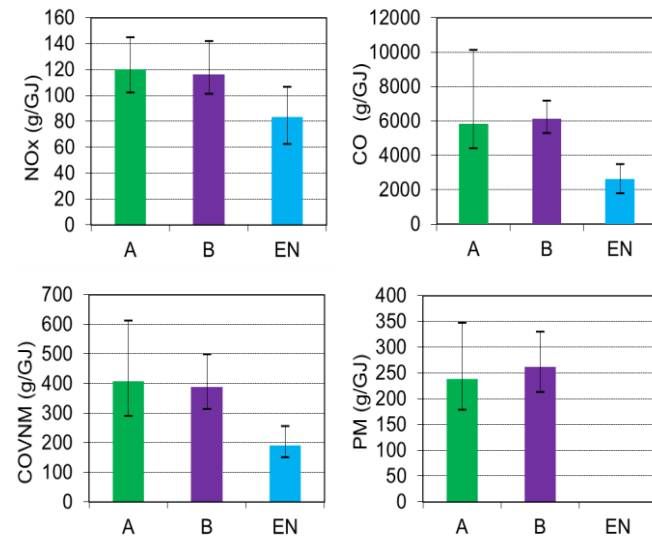


Determinazione dei FE di impianti residenziali

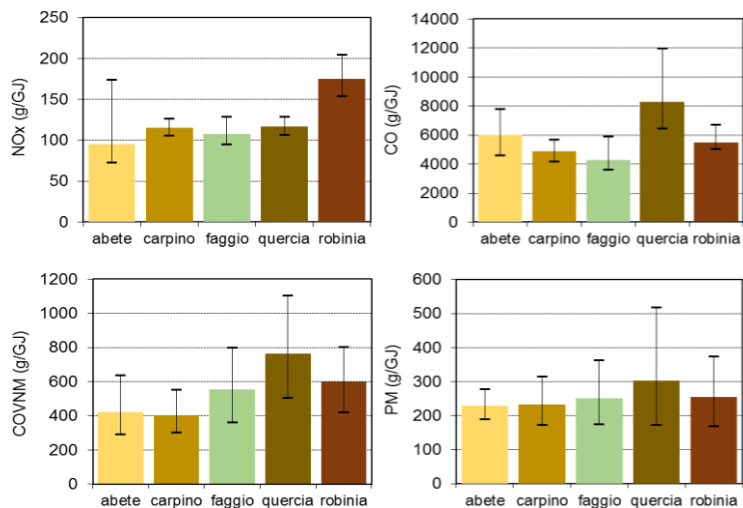
FE in stretta dipendenza dalla tecnologia di combustione, anche se tecnologie avanzate non sempre hanno FE minori



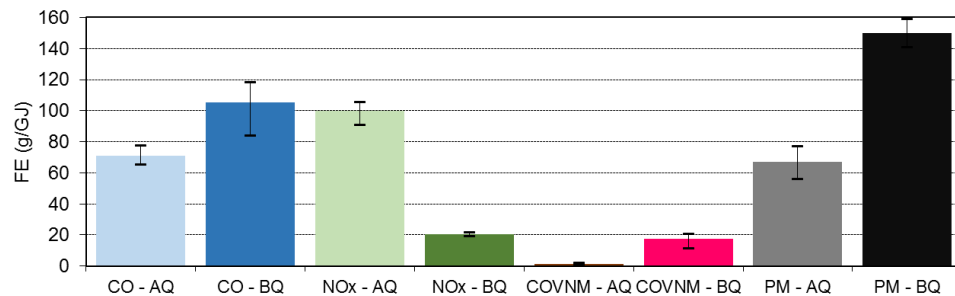
FE reali (cicli A e B) per CO e COVNM raddoppiano rispetto ai cicli EN



Minor influenza dell'essenza legnosa rispetto alla variabilità in base alla tecnologia



Migliori condizioni di combustione ottenute con il pellet di qualità si rispecchiano in un aumento dei FE medi per il pellet ad alta qualità



AQ: pellet alta qualità, BQ: pellet bassa qualità





Emissioni di Polveri Fini e Ultrafini da impianti di combustione

REVIEW PAPER

Rev Environ Sci Biotechnol
DOI 10.1007/s11157-012-9280-0

Ultrafine particle emissions for municipal waste-to-energy plants and residential heating boilers

Senem Ozgen · Giovanna Ripamonti ·
Stefano Cernuschi · Michele Giugliano



ELSEVIER

Available online at www.sciencedirect.com

SciVerse ScienceDirect

BIOMASS AND BIOENERGY 50 (2013) 65–74

<http://www.elsevier.com/locate/biombioe>



Experimental evaluation of particle number emissions from wood combustion in a closed fireplace

Senem Ozgen*, Stefano Cernuschi, Michele Giugliano

Politecnico di Milano, DIAR – Environmental Engineering Department, Piazza L. da Vinci, 32, 20133 Milano (MI), Italy



Emissioni di UFP da impianti di combustione

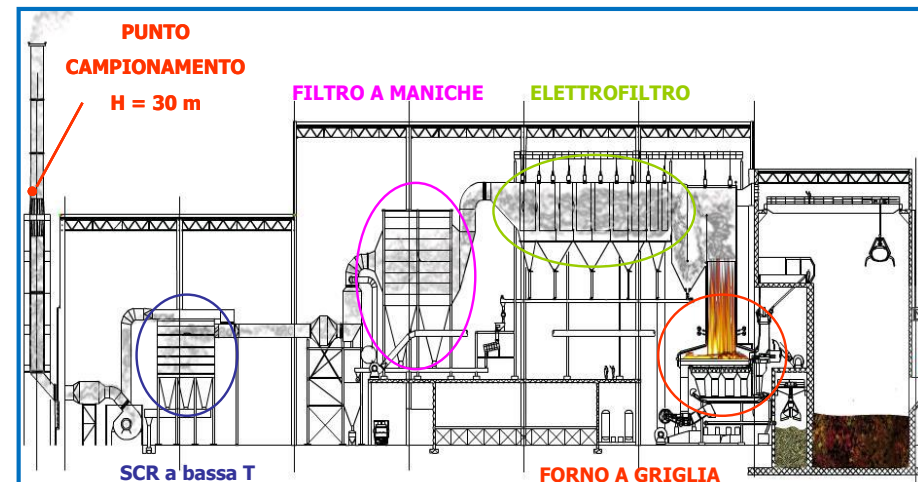
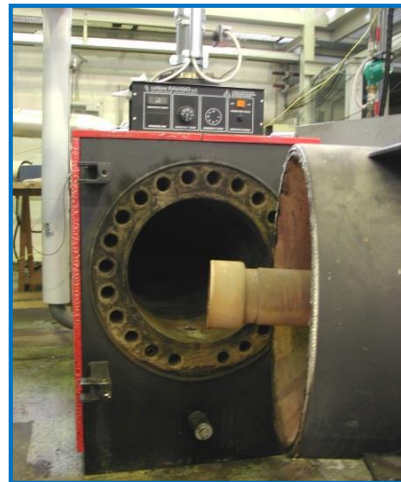
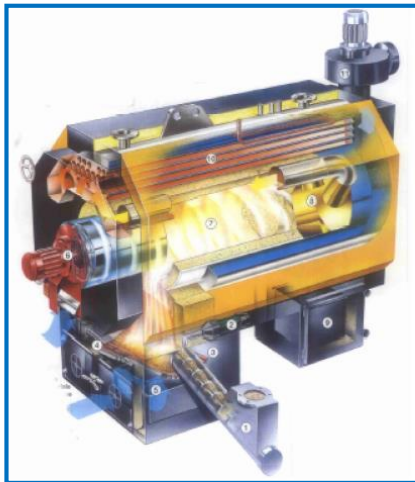
Campagna sperimentale (2007-2009)

Obiettivo: Quantificazione delle emissioni di particolato ultrafine (UFP, $dp < 100\text{nm}$) e nanoparticolato (NP, $dp < 50\text{ nm}$) da processi di combustione stazionaria:

- utenze civili alimentate con combustibili convenzionali (gasolio e gas naturale) e biomasse (pellet)
- impianti di termovalorizzazione dei rifiuti solidi urbani

Gruppi di lavoro:

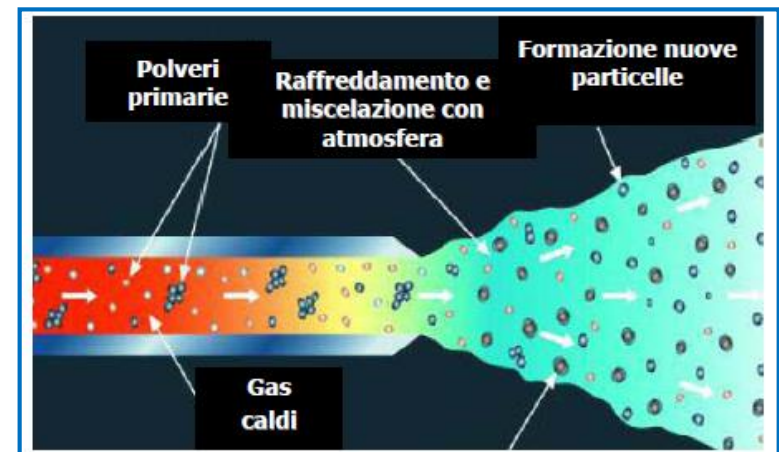
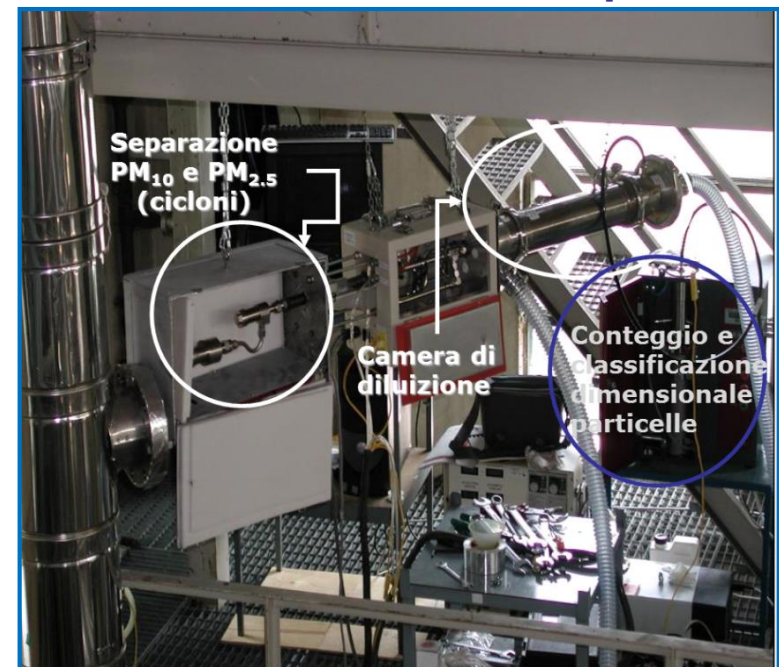
- LEAP: coordinamento
- Politecnico di Milano (DICA Sez. Ambientale): selezione degli apparecchi, del combustibile, determinazione dei cicli di prova, attività sperimentale presso i lab INNOVHUB ed elaborazione dati
- Innovhub-SSI (Stazione Sperimentale per i Combustibili) per le prove sperimentali con campionamenti al camino



Emissioni di UFP da impianti di combustione

- Misura della **concentrazione in numero** e delle **caratteristiche dimensionali** del PM
 - componente primaria prodotta durante la combustione
 - componente secondaria formata all'atto dell'immissione in atmosfera
- Valutazione degli **effetti di condensazione** mediante l'utilizzo di un sistema di diluizione delle emissioni
- Effetti della diluizione e raffreddamento dei fumi:
- in presenza di specie semivolatili nei fumi (per es. acido solforico, idrocarburi non metanici-VOCNM) si osservano fenomeni di nucleazione di nuove particelle nei fumi diluiti e raffreddati a causa della riduzione della tensione di vapore delle specie semivolatili
- comunque eccessiva diluizione riduce la pressione parziale degli stessi e causa una diminuzione del numero di particelle
- i campionamenti a caldo, previsti normalmente dai protocolli di misura del particolato, possono sottostimare la concentrazione in numero delle particelle emesse

Sistema di diluizione e raffreddamento con aria secca e pura

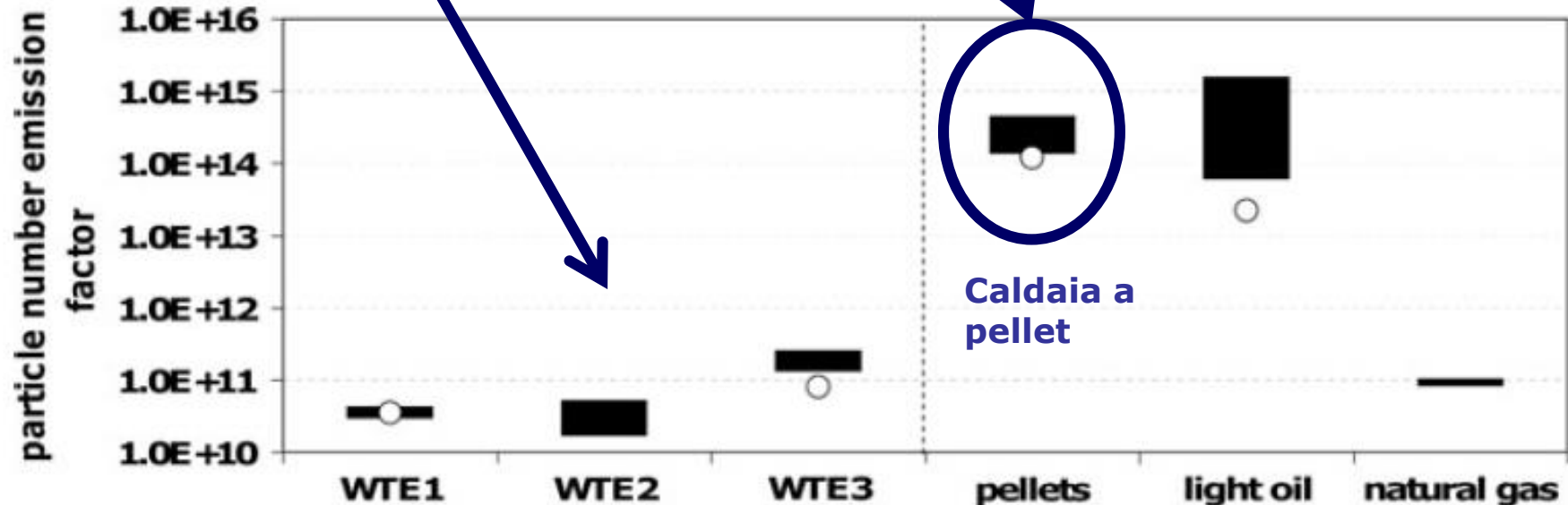


Emissioni di UFP da impianti di combustione

Fattori di emissione del numero di particelle (particelle emesse riferite al consumo di combustibile)

Possibilità di applicare misure primarie e secondarie in impianti a larga scala

Controllo elettronico automatico, combustione a due stadi, controllo secondario della sola frazione grossolana



Caldia a pellet

Termovalorizzatori (WTE): particelle / kg rifiuto ; caldaie residenziali particelle / kg combustibile (barre: intervallo di FE sperimentali con il campionamento a diluizione, cerchi: medie per il campionamento a caldo)

Emissioni di UFP da impianti di combustione

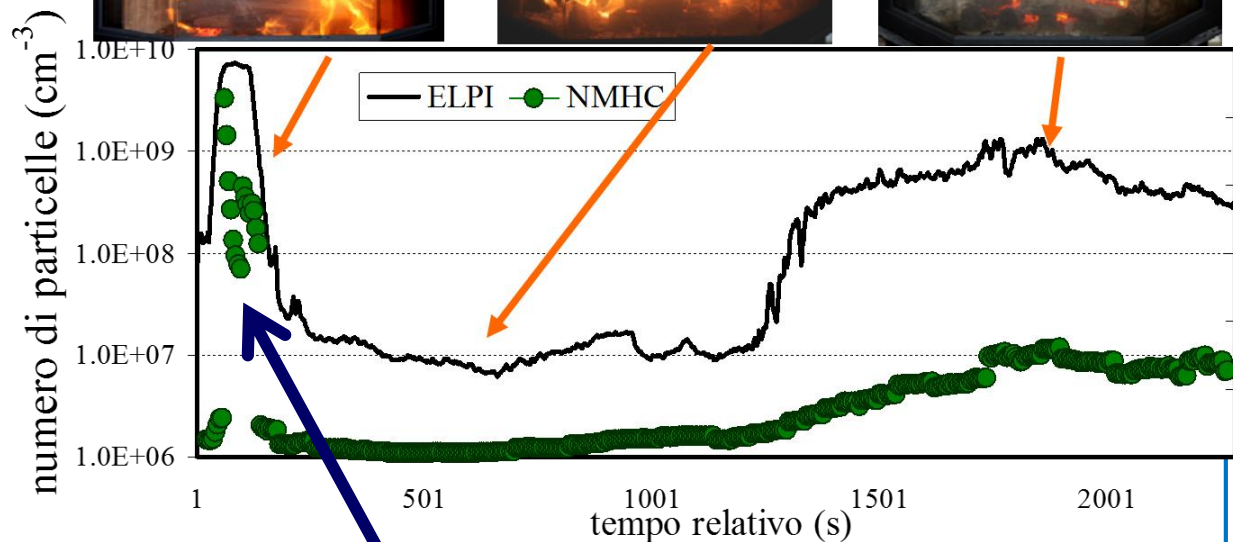
Sistemi a carica manuale – fasi della combustione

Caminetto chiuso a legna di faggio

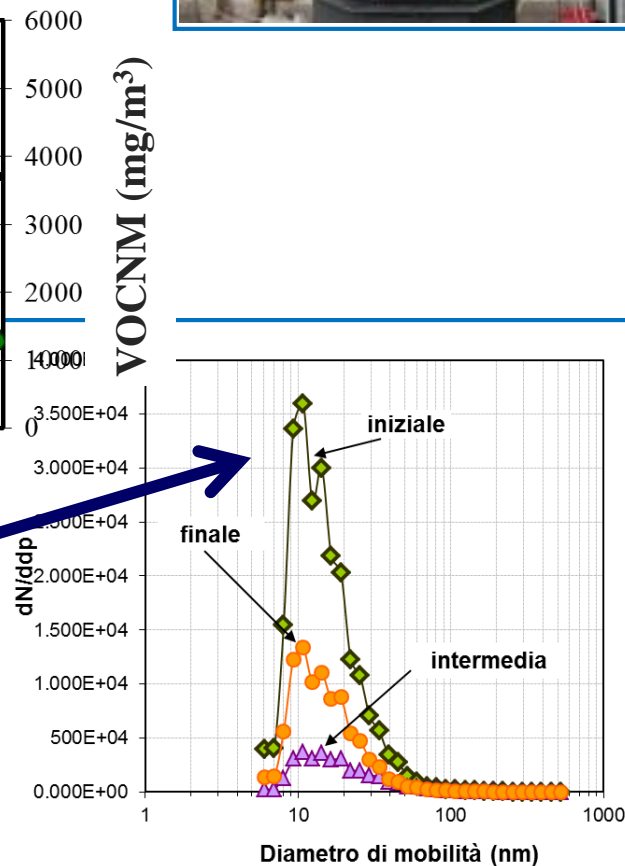
1: fase iniziale

2: intermedia

3: fase finale



La fase di accensione a freddo comporta un incremento delle NP e dei loro precursori semivolatili



Caratterizzazione chimico-fisica/tossic. delle UFP

Progetto **TOBICUP: TOxicity of BIomass COmbustion generated Ultrafine Particles**
(Grant 2013-1040 della Fondazione Cariplo)

Campagna sperimentale (2014-2015) (attualmente in fase di elaborazione dei dati)

Obiettivo: la caratterizzazione chimico-fisica delle particelle UFP generate dalla combustione di biomasse e la determinazione della risposta delle UFP in termini di tossicità.

Gruppi di lavoro:

- Università degli studi di Milano (Dip. di Farmacologia e Scienze Biomolecolari): coordinamento ed analisi tossicologiche
- LEAP: prove sperimentali con campionamenti al camino
- Politecnico di Milano (DICA Sez. Ambientale): selezione degli apparecchi, del combustibile, determinazione dei cicli di prova, attività sperimentale presso il LEAP ed elaborazione dati
- Università degli studi di Milano (Dip. di Chimica): analisi per la determinazione della componente ionica e carboniosa ed elaborazione dati
- Università degli studi di Milano (Dip. di Fisica): analisi degli elementi, campionamento in aria ambiente ed elaborazione dati
- Università degli studi di Firenze (Dip. di Chimica): analisi degli elementi

Prove in laboratorio LEAP:

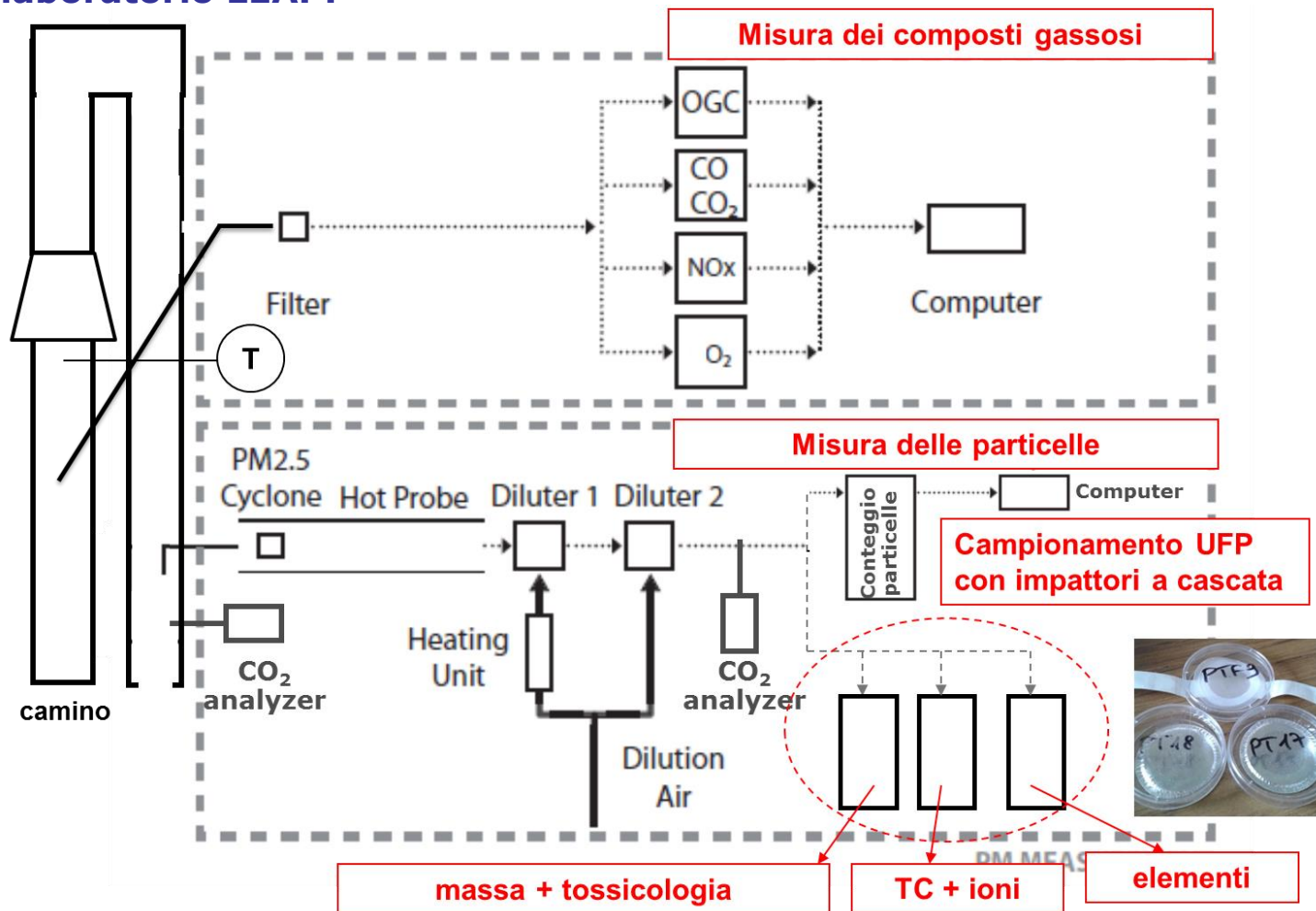


Campionamento in aria ambiente:



Caratterizzazione chimico-fisica/tossic. delle UFP

Prove in laboratorio LEAP:



- 2 tecnologie di combustione
- 2 essenze legnose e due qualità di pellet
- FE sperimentali sotto condizioni rappresentative dell'**utilizzo reale** dell'apparecchio
- raccolta dei campioni di UFP per analisi fisico-chimiche e tossicologiche



Soluzioni tecnologiche per contenere le emissioni

Misure primarie: sono volte a ridurre i prodotti della combustione incompleta, che risultano i più dannosi per la salute. Per avere combustione completa servono le **TTT**: **T**emperature elevate – **T**empo sufficiente per il completamento delle reazioni di combustione – **T**urbolenza adeguata per il miscelamento di aria e gas di combustione:

- Opportune tecniche di accensione dei dispositivi a biomassa perché nella fase di avvio le temperature sono molto basse.
- Combustione a due stadi: aria primaria per convertire il combustibile solido in gas + aria secondaria per la combustione dei gas in una camera isolata.
- Accumulo inerziale per le caldaie a carica manuale per contenere le fluttuazioni del carico.
- Controllo elettronico delle condizioni di combustione (sonda lambda per regolare l'eccesso d'aria e sensori di temperatura).
- Alimentazione automatizzata per avere condizioni di combustione più regolari (tipica dei dispositivi a pellet).

Misure secondarie: sistemi di filtrazione e abbattimento delle polveri e degli inquinanti, ancora lontani dalla maturità commerciale su scala domestica, ma utilizzati negli impianti a taglia industriale:

- Filtri elettrostatici ESP
- Filtri a tessuto o a manica
- Filtri a lavaggio
- Sistemi catalitici per riduzione ossidi di azoto



Altre misure per contenere le emissioni

Combinando l'adozione di alcune delle soluzioni tecnologiche più mature fra quelle disponibili e introducendo adeguate politiche energetiche e di informazione è possibile prevedere un deciso contenimento del fenomeno emissivo per gli apparecchi a combustione di biomassa su scala residenziale.

In linea con le misure già adottate da altri paesi europei e in coerenza con quanto previsto anche dal PAIR 2020 – Piano Aria Integrato Regionale dell'Emilia-Romagna, alcune misure sono:

- Favorire il turnover tecnologico verso i modelli di stufe e caldaie più efficienti.
- Disincentivare l'utilizzo degli impianti più inefficienti (rendimento < 75%) soprattutto nelle aree a più alta concentrazione di polveri e ossidi di azoto.
- Dare attuazione a norme che introducano obblighi in fase di installazione e di manutenzione degli impianti.
- Dare attuazione a norme che introducano la certificazione ambientale dei generatori di calore.
- Campagna di informazione circa le problematiche della combustione di biomassa in apparecchi tradizionali.



Considerazioni conclusive

- La diffusione dell'impiego della biomassa a scala residenziale è un fenomeno in crescita e l'Emilia Romagna ne è interessata in modo consistente insieme alle altre regioni, soprattutto del Nord.
- Il fenomeno rappresenta un positivo ricorso ad una fonte energetica rinnovabile, consente un sostanziale beneficio in termini di produzione di gas serra, introduce la possibilità di interessanti ricadute economiche su filiere locali di produzione, trasformazione e impiego della biomassa.
- D'altra parte, questo fenomeno è correlato ad elevati livelli di emissioni inquinanti in atmosfera, soprattutto per quanto concerne il particolato.
- Nonostante ci sia accordo sul punto precedente, la determinazione dei fattori emissivi è ancora affetta da un certo grado di incertezza e necessita di ulteriori sforzi di ricerca e di azioni di standardizzazione.
- L'evoluzione tecnologica in questo settore è in corso sia sul fronte del miglioramento dell'efficienza dei dispositivi sia su quello del contenimento delle emissioni. Un ulteriore sforzo di ricerca è necessario e auspicabile.
- Per il contenimento delle emissioni le misure di tipo primario, volte all'ottimizzazione della combustione, sono di fondamentale importanza. Le misure secondarie di abbattimento e filtrazione sono meno efficaci e più lontane dalla maturità commerciale su scala domestica.
- Azioni normative e di incentivazione mirata possono favorire la transizione verso tecnologie molto più performanti e rispettose dell'ambiente.

