

Le emissioni in atmosfera dalle combustioni in Lombardia

**Stefano Caserini, Anna Fraccaroli, Anna Maria Monguzzi, Marco Moretti,
Angelo Giudici, Elisabetta Angelino, Giuseppe Fossati**

ARPA Lombardia, Settore Aria e Agenti Fisici, Viale F. Restelli, 3/1 - 20124 Milano - s.caserini@arpalombardia.it

RIASSUNTO

Il lavoro presenta le stime delle emissioni in atmosfera di polveri fini, precursori di polveri fini e gas serra in Lombardia provenienti dalle attività di combustione di combustibili e carburanti, come stimate dall'inventario regionale INEMAR per l'anno 2003.

I dati dei consumi elaborati nell'inventario derivano da informazioni raccolte sia mediante questionari relativi alle principali sorgenti puntuali della regione, sia consultando le diverse fonti statistiche. Le emissioni in atmosfera sono stimate sia attraverso dati derivanti da misure effettuate presso gli impianti che tramite fattori di emissione proposti in letteratura e utilizzati in ambito EMEP-Corinair e IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change).

La combustione nel settore del trasporto stradale risulta essere la principale sorgente per numerosi inquinanti, fra cui PM₁₀, NO_x, SO₂ e CO. L'olio combustibile utilizzato per la produzione di energia è la maggiore fonte di SO₂ (56% delle emissioni totali regionali), mentre il gasolio per autotrazione fornisce il principale contributo alle emissioni di NO_x (44% del totale). Per le emissioni di polveri (sia PM₁₀ che PM_{2,5}), oltre ai determinanti contributi della combustione del gasolio per autotrazione e della legna in ambito domestico, sono rilevanti anche i processi di usura nel traffico stradale (pneumatici, freni, abrasione dell'asfalto) e le attività relative al settore agro-zootecnico. La benzina è la principale fonte di CO (50%), mentre il metano costituisce una sorgente di grande importanza (45%) per la CO₂ e di interesse anche per gli ossidi di azoto (21% del totale regionale).

Il lavoro fornisce altresì una valutazione dei fattori di emissione medi dalle attività di combustione in Lombardia a diverse scale di dettaglio.

PAROLE CHIAVE: *Emissioni in atmosfera, combustibili, inventario emissioni, Lombardia.*

SUMMARY

1. INTRODUZIONE

Nell'ambito del Piano Regionale per la Qualità dell'Aria della Regione Lombardia, nel periodo 1999-2001 è stato realizzato un primo inventario regionale delle emissioni in atmosfera riferito all'anno 1997 (Caserini et al, 2001) basato sul database INEMAR (Inventario Emissioni ARia).

Successivamente, a partire dal 2003 l'inventario regionale è stato gestito e sviluppato da ARPA Lombardia, nello specifico dalla U.O. Modellistica del Settore Aria e Agenti Fisici, nell'ambito di una convenzione con la Regione Lombardia. In tale ambito sono state quindi realizzate le versioni dell'inventario di emissioni riferite agli anni 2001 e 2003. Per entrambi le edizioni i risultati finali sono stati prima sottoposti ad un periodo di revisione pubblica, al fine di recepire, nella pubblicazione della versione definitiva, eventuali indicazioni emerse nel corso di tale periodo. Attualmente è in corso di realizzazione presso ARPA Lombardia l'aggiornamento dell'inventario di emissioni all'anno 2005, i cui primi risultati saranno disponibili nell'estate 2007.

Dal gennaio 2006 il sistema INEMAR viene inoltre utilizzato per la realizzazione degli inventari delle emissioni in altre 4 regioni del bacino padano (Piemonte, Emilia Romagna, Friuli Venezia Giulia, Veneto) e in Puglia.

I risultati della versione finale dell'inventario 2003, basato sulle metodologie contenute nell'ultima versione 4.0 del sistema Inemar, sono disponibili sul sito di Inemar (Regione Lombardia, 2006) da settembre 2006. Sono disponibili le emissioni di 11 inquinanti (SO_2 , NO_x , COV, CH_4 , CO, CO_2 , N_2O , NH_3 , PTS, PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$) e 3 parametri di inquinanti aggregati quali le sostanze acidificanti, i precursori dell'ozono e le emissioni totali di gas serra, stimati sulla base dei coefficienti proposti da De Leeuw (2002).

I risultati, dettagliati per inquinante, attività e tipo di combustibile, sono stati scaricati da un elevato numero di utenti e hanno costituito una delle basi per l'impostazione delle politiche regionali per il risanamento della qualità dell'aria e la gestione degli episodi critici, nonché per l'elaborazione di numerosi studi modellistici sulla formazione, il trasporto e la diffusione del particolato fine in atmosfera (Silibello et al., 2005).

2. METODOLOGIE PER L'INVENTARIO DELLE EMISSIONI

L'inventario delle emissioni in atmosfera, generata da una vasta tipologia di attività, richiede inevitabilmente l'applicazione di numerose e diversificate metodologie di calcolo, desunte dalle linee guida nazionali ed europee per la redazione degli inventari delle emissioni e dalla letteratura scientifica.

Fra i riferimenti più recenti relativi alle modalità di predisposizione degli inventari di emissione nella normativa italiana si possono citare i "Criteri per la redazione di inventari delle emissioni" contenuti nell'Allegato 2 del D.L. 261 del 1/10/2002, l'Atmospheric Emission Inventory Guidebook (EEA,

2005) e le "Linee guida agli inventari locali di emissioni in atmosfera", del Centro Tematico Nazionale Aria Clima ed Emissioni (CTN_ACE, 2001).

I diversi approcci di calcolo utilizzati per l'inventario della Regione Lombardia, tramite l'implementazione in specifici moduli del database INEMAR, sono presentati in Caserini et al. (2005) e disponibili sul sito web di INEMAR (Regione Lombardia, 2006).

La classificazione delle attività utilizzata è quella definita nell'ambito del progetto EMEP-CORINAIR nella sua ultima versione denominata SNAP (Selected Nomenclature for Air Pollution) 97. Il codice che identifica le attività è formato da tre cifre, rappresentanti rispettivamente i macrosettori (11), i settori (76) e le attività (498 di cui 493 utilizzate per l'inventario 2001, comprendendo le aggiunte fatte per necessità specifiche in ambito regionale) che individuano le fonti di emissione.

Per quanto riguarda le principali sorgenti puntuali (centrali termoelettriche, cementifici, raffinerie, vetrerie, ecc.), responsabili di una quota rilevante delle emissioni da combustione, nell'inventario 2003 le informazioni sulle emissioni in atmosfera e sui consumi di combustibili sono state raccolte tramite una scheda di censimento e/o tramite la documentazione disponibile ai fini dell'Autorizzazione Integrata Ambientale (Regione Lombardia, 2005) e dalle dichiarazioni nel registro italiano INES (EPER, 2005).

Nelle schede, i dati di emissioni sono solitamente riferiti a inquinanti quali SO_2 , NO_x , COV, CO e PTS (polveri totali sospese), mentre per altri inquinanti, (es. CO_2 , PM_{10} e $\text{PM}_{2.5}$) in assenza di misurazioni specifiche, è necessario ricorrere all'approccio più utilizzato dagli inventari delle emissioni, che effettua la stima sulla base di un indicatore che caratterizza l'attività della sorgente e di un fattore di emissione, specifico del tipo di sorgente, del processo industriale e della tecnologia di abbattimento adottata, secondo la seguente relazione:

$$E_i = A \times FE_i \times 10^{-6}$$

dove:

E_i = emissione dell'inquinante i (t anno^{-1});

A = indicatore dell'attività, ad es. consumo di combustibile (t anno^{-1} o GJ anno^{-1});

FE_i = fattore di emissione dell'inquinante i (g t^{-1} di combustibile o g GJ^{-1} di combustibile).

Le emissioni per piccoli impianti industriali o, in generale, per sorgenti diffuse (ad esempio emissioni da impianti di riscaldamento domestico, attività agricole) sono determinate utilizzando la relazione citata, a partire da indicatori di attività non riferiti ad un impianto singolo e localizzabili con un punto, ma generalmente riferiti ad un poligono generalmente coincidente con entità territoriale (comune, provincia, regione). Nel caso l'indicatore si riferisca ad un'entità territoriale più estesa rispetto alla risoluzione attesa dell'inventario, se per esempio fosse disponibile solo a scala regionale a fronte di un dettaglio desiderato comunale, si fa uso comunemente

di cosiddette variabili proxy o surrogato (REF). La bontà di questo approccio, utilizzato per piccoli impianti industriali o, in generale, per sorgenti diffuse (ad esempio emissioni da impianti di riscaldamento domestico, attività agricole) dipende dalla precisione dei fattori di emissione, tanto maggiore quanto più si scende nel dettaglio dei singoli processi produttivi, utilizzando specifici fattori di emissione caratteristici della tipologia impiantistica.

Da notare che per quanto riguarda le polveri fini le emissioni sono state stimate, in assenza di dati misurati, a partire dalle misure di PTS e utilizzando le informazioni sulle distribuzioni granulometriche disponibili in letteratura (CEPMEIP, 2002; Klimont, 2002; US-EPA, 1986; US-EPA, 1996). In questo modo è stato possibile stimare più del 90% delle emissioni di polveri fini dalle grandi sorgenti puntuali.

2.1 Fattori di emissione

I fattori di emissione utilizzati nell'Inventario 2003 derivano da diverse fonti disponibili nella letteratura scientifica nazionale ed internazionale, fra cui:

- U.S. EPA FIRE (US-EPA, 2005): forse il set più completo di fattori di emissione, pur se a volte i dati poco si prestano ad essere utilizzati, per le diversità tecnologiche fra la realtà statunitense ed europea, per la scarsa tracciabilità di alcuni dati, nonché per la superabile anche se fastidiosa scomodità delle unità di misura anglosassoni utilizzate. L'ultima versione del database, creata dalla "Clearinghouse for Inventories & Emissions Factors" è disponibile direttamente come applicativo web.

- European Atmospheric Inventory Guidebook (EEA, 2005): principale riferimento a livello europeo, fornisce metodologie di stima delle emissioni per attività SNAP diversificando approcci semplificati o dettagliati, contiene generalmente pochi dati per le polveri fini, assicurando una certa copertura per le sorgenti più rilevanti.

- CEPMEIP (CEPMEIP, 2002): è un set coerente di fattori di emissione di PTS, PM10 e PM2.5 sviluppato dal TNO (Olanda) nell'ambito dei lavori del progetto "Coordinated European Programme on Particulate Matter Emission Inventories, Projections and Guidance".

- Database Inventaria (APAT CTN-ACE, 2004): è un database italiano, realizzato dal Centro Tematico Nazionale Atmosfera, Clima ed Emissioni (CTN-ACE), contenente i dati del Guidebook e ulteriori dati aggiunti a livello nazionale.

- EFDB (IPCC-NGGIP, 2005): database predisposto dall'IPCC per la stima delle emissioni di gas serra, pur se in grado di ospitare anche dati di particolato, contiene ad oggi solo fattori di emissione di gas serra (principalmente CO₂, CH₄, N₂O).

- LRTAP-EFDB (Pulles, 2006): è attualmente in corso la realizzazione da parte di una task-force coordinata dal TNO di un database con struttura simile al database EFDB dell'IPCC, contenente i circa 36000 fattori di emissione presenti nel Guidebook EEA, di cui circa 6000 per le polveri. In futuro

è prevista la disponibilità on-line del database e la possibilità di un suo aggiornamento tramite inserimento e verifica dei dati dall'interfaccia web.

La scelta dei fattori di emissione per l'inventario 2003 si è basata anche su specifici approfondimenti sulle emissioni dalle combustioni residenziale di gas, gasoli e olio (Caserini et al., 2004), di legna (EEA, 2005; DIIAR, 2006), nonché per le emissioni di polveri dall'allevamento di animali (Lükewille et al., 2001), dai mezzi off-road (APAT, 2006), dalla combustione di tabacco (Klepeis et al., 2003) e da fuochi artificiali (CEPMEIP, 2002).

Per il calcolo delle emissioni da trasporto su strada sono stati usati gli algoritmi proposti dalla metodologia europea Corinair COPERT III (EEA, 2005), anche per quanto riguarda le emissioni di particolato dall'usura di freni, pneumatici e manto stradale (Ntziachristos, 2003). È in corso di implementazione la versione COPERT IV, recentemente resa disponibile (EEA, 2006).

2.2 Consumi di combustibili e carburanti

I dati relativi ai consumi di combustibili e carburanti elaborati nell'inventario 2003 sono stati raccolti sia dalle principali sorgenti puntuali della regione che da diverse fonti statistiche, tra cui SNAM Rete Gas, Unione Petrolifera, Bollettino Petrolifero, Ufficio Statistica e Ufficio Tributi della Regione Lombardia. Uno specifico studio sulla reperibilità e l'attendibilità delle diverse fonti di dati di consumi di combustibili e carburanti è stato effettuato da Rete Punti di Energia nell'ambito del progetto regionale di ricerca sui cambiamenti climatici "Progetto Kyoto" (Rete Punti Energia, 2005); ad esempio, è stata approfondita la criticità dell'informazione disponibile nel Bollettino Petrolifero, che fornisce le vendite per diversi combustibili liquidi derivati dal petrolio e disaggregati a livello provinciale, dato che, alla scala provinciale, può essere anche sensibilmente diverso dal dato dei consumi, per via della presenza non uniforme di punti di produzione e stoccaggio. Le imprecisioni nei dati resi disponibili dal Bollettino petrolifero sono state dedotte sia dal confronto con i dati dichiarati nel censimento condotto nell'ambito dell'inventario per le grandi sorgenti di combustione sia, per quanto riguarda il gasolio agricolo, dal confronto con i dati delle dichiarazioni effettuate all'Ufficio Tributi regionale ai fini delle esenzioni fiscali. Ulteriori incertezze si aggiungono per le sorgenti diffuse, per la necessità di disaggregare il dato disponibile di consumo (regionale o provinciale) al livello di dettaglio geografico desiderato (provinciale, comunale). Per altri combustibili, come ad esempio il gas naturale, la disponibilità di dati di consumo ai punti di riconsegna comunali o sovracomunali rende la stima dei consumi comunali molto più solida e verificabile.

In Tabella 1 si riportano i valori dei consumi per macrosettore, espressi in TJ anno⁻¹ e in t anno⁻¹ (sulla base di poteri calorifici medi); in Figura 1 si mostra la distribuzione percentuale dei consumi per combustibile.

TABELLA 1
Consumi di combustibili e carburanti in Lombardia nel 2003 ripartiti per macrosettore.

	gas	gasolio	benzina	olio	carbone	legna	totale
	TJ/anno	TJ/anno	TJ/anno	TJ/anno	TJ/anno	TJ/anno	TJ/anno
1-Produzione energia e trasform. combustibili	173.173	26		66.933	5.244	454	245.829
2-Combustione non industriale	276.091	34.112		1.499		30.214	341.916
3-Combustione nell'industria	163.168	4.945		8.083	10.294	5.797	192.287
7-Trasporto su strada	6.344	142.421	105.774				254.539
8-Altre sorgenti mobili e macchinari		29.942	104				30.045
9-Trattamento e smaltimento rifiuti	4.853						4.853
Totale consumi (TJ/anno)	623.630	211.445	105.878	76.514	15.538	36.465	1.069.470
PCI medio (GJ/t)	48,4	42,7	43,9	40,6	29,3	12,5	
Consumi (t/anno)	12.890.344	4.952.576	2.410.144	1.883.176	530.443	2.917.205	25.583.887

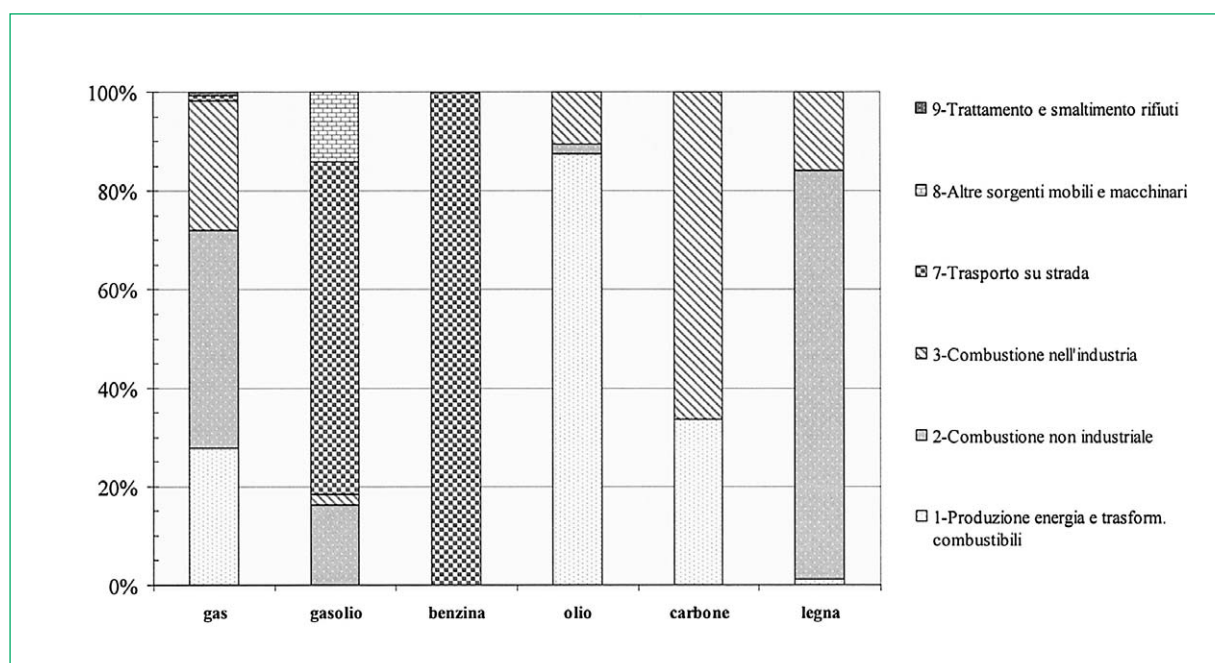


Fig. 1 - Distribuzione percentuale dei consumi di combustibili e carburanti in Lombardia nel 2003 per macrosettore.

3. IL DATABASE INEMAR

Dopo essere stato utilizzato nella versione 2.0 per la stima delle emissioni per l'anno 1997, e nella versione 3.0 per l'inventario dell'anno 2001, dal luglio 2003 la gestione e l'aggiornamento di INEMAR è stata affidata ad Arpa Lombardia, che ha curato le versioni 4.0 e 4.1, utilizzate per l'inventario 2003; la versione 5.0 è in corso di implementazione per l'inventario 2005 in collaborazione con le altre regioni o ARPA che dal 2005 utilizzano il sistema Inemar.

Il sistema è composto da 13 metodologie di calcolo (aeroporti, agricoltura, biogeniche, diffuse, discariche, puntuali stimate, puntuali misurate, ri-

scaldamento, serbatoi, traffico diffuso, traffico lineare, polveri fini, emissioni aggregate) e da 250 tabelle. Per tutti i moduli di calcolo sono disponibili dati di emissione suddivisi per Comune, combustibile, attività e inquinante, e per ogni specifico modulo sono inoltre disponibili i risultati disaggregati con un maggiore dettaglio (ad esempio per quanto riguarda il traffico, per ognuna delle 106 tipologie veicolari).

Collegandosi al sito web di Inemar (Regione Lombardia, 2006) è possibile scaricare i risultati delle emissioni dei diversi inquinanti, relative all'anno 2003, con aggregazione a livello regionale, provinciale e comunale, per ogni attività della classificazione Corinair e tipo di combustibile.

4. RISULTATI

L'inventario delle emissioni 2003 ha reso disponibili una notevole mole di dati relativi a 14 parametri inquinanti, 245 attività (per molte attività SNAP non sono presenti emissioni in Lombardia), 1546 comuni, 33 combustibili e 13 tipologie emissive, oltre ad una grande mole di dati di dettaglio per le singole tipologie emissive.

Essendo quindi difficile riassumere sinteticamente i risultati dell'inventario, si riportano in Tabella 2 solo alcune conclusioni sul quadro emissivo a scala regionale.

Va ricordato che le stime sono affette da un'incertezza, inevitabilmente legata alle metodologie utilizzate e alla qualità dei dati in ingresso.

A livello regionale le maggiori emissioni di SO₂ derivano dalla combustione negli impianti di produzione energia (59% delle emissioni totali di SO₂), mentre la fonte più importante di NO_x è costituita dal traffico veicolare, che copre il 44% delle emissioni totali di ossidi di azoto, seguita dalle combustioni nell'industria (21%).

I composti organici volatili non metanici (COV) sono prodotti principalmente dall'uso di solventi (45%) e dal traffico (18%); quest'ultimo è anche la maggiore sorgente emissiva di CO (55%).

Le emissioni di CH₄ (48%), N₂O (65%) e NH₃ (97%) sono quasi interamente dovute alle pratiche agricole e all'allevamento zootecnico. I contributi alla CO₂eq sono rilevanti per trasporto su strada (22%), combustione non industriale (21%), produzione di energia (18%) e combustione nell'industria (15%).

Le polveri sono emesse prevalentemente dal trasporto su strada (32% di PM2.5, PM10 e PTS) e dalla combustione non industriale (32% di PM2.5, 28% di PM10 e 25% di PTS).

4.1. Emissioni per combustibile

In Tabella 3 e in Figura 2 sono mostrati i risultati dell'inventario 2003 ripartiti per combustibile.

4.1.1 Gas naturale

Alla combustione di gas naturale (rilevante nella produzione di energia e nel riscaldamento sia industriale che residenziale) si deve il 21% delle emissioni di NO_x e il 45% delle emissioni di CO₂ (38% di CO₂eq), di cui costituisce la principale fonte. I contributi alle emissioni di tutti gli altri inquinanti sono poco rilevanti (8% dell'N₂O, 3% del CO, 1% dell'SO₂, < 1% per polveri e COV).

4.1.2 Olio combustibile

Questo combustibile è da solo responsabile del 56% delle emissioni di SO₂, mentre contribuisce in misura minore alle emissioni di tutti gli altri inquinanti (8% di CO₂, circa 4% di NO_x e delle polveri, 3% dell'N₂O). Da notare come, anche in seguito alle politiche regionali per la qualità dell'aria, l'uso dell'olio combustibile è molto diminuito negli ultimi anni in Lombardia sia nella produzione di energia (a causa della conversione di molti impianti termoelettrici) che nel settore residenziale.

4.1.3 Diesel e gasolio

Il gasolio per autotrazione (diesel) contribuisce in modo importante alle emissioni di NO_x (44%), di polveri (36% di PM2.5, 31% di PM10 e 28% di PTS), di CO₂ (17%) e di N₂O (10%). Nettamente minori sono i contributi alle emissioni di altri inquinanti, sia per quanto riguarda il diesel nel settore trasporti (5% emissioni regionali di SO₂), che per il

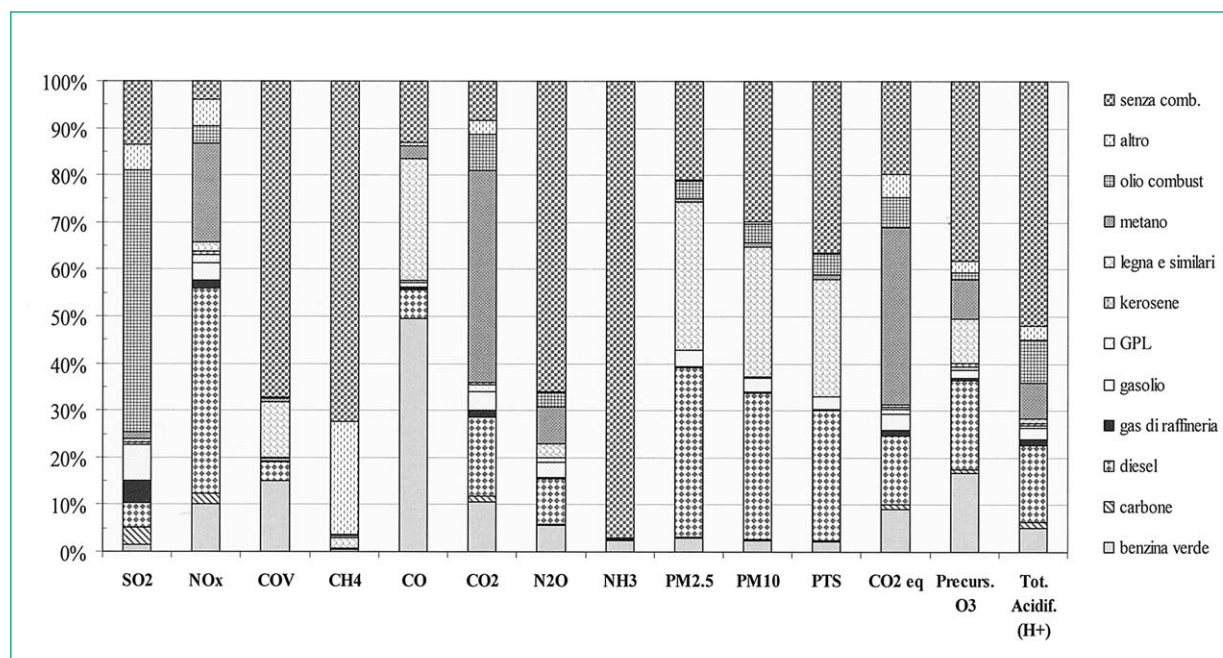


Fig. 2. Distribuzione percentuale delle emissioni in Lombardia per l'anno 2003 per tipo di combustibile.

TABELLA 2
Emissioni in Lombardia per l'anno 2003 ripartite per macrosettore.

Combustibile	SO ₂	NOx	COV	CH ₄	CO	CO ₂	N ₂ O	NH ₃	PM2.5	PM10	PTS	CO ₂ eq	Precurs. O ₃	Tot. Acidif. (H+)
	t/anno	t/anno	t/anno	t/anno	t/anno	kt/anno	t/anno	t/anno	t/anno	t/anno	t/anno	kt/anno	t/anno	kt/anno
benzina verde	723	19.334	48.937	2.108	308.183	7.666	939	2.534	651	651	651	8.001	106.455	592
carbone	2.016	4.057	24	31	71	956	27	35	39	67	90	965	4.982	153
diesel	2.655	83.843	12.758	692	38.141	12.202	1.608	43	7.925	8.035	8.375	12.716	119.251	1.908
gas di raffinaria	2.437	2.984	353	42	389	1.040	48		37	37	77	1.056	4.037	141
gasolio	4.061	7.464	490	289	2.219	2.846	539		754	784	817	3.020	9.844	289
GPL	0,0	2.902	1.670	74	6.653	963	166	0,0	2,0	2,0	2,0	1.016	5.943	63
kerosene	185	1.809	1.097	2,1	2.396	482	4,2		16	18	18	483	3.568	45
legna e similari	423	3.315	37.884	9.799	161.434		484	346	6.905	7.176	7.561	356	59.824	106
metano	751	40.283	2.344	2.929	15.677	32.683	1.300	2,6	199	225	256	33.148	53.255	899
olio combust	29.257	7.345	571	216	937	5.456	504	7,2	783	1.055	1.354	5.617	9.638	1.074
altro	2.830	10.571	557	108.572	4.597	2.139	59	20	60	81	99	4.438	15.479	319
senza comb.	7.087	7.601	219.169	326.722	80.769	6.167	10.969	96.744	4.608	7.731	11.030	17.395	241.901	6.077
Totale	52.425	191.508	325.855	451.476	621.467	72.601	16.648	99.731	21.979	25.861	30.329	88.209	634.177	11.668

TABELLA 3
Emissioni in Lombardia per l'anno 2003 ripartite per combustibile.

	SO ₂	NOx	COV	CH ₄	CO	CO ₂	N ₂ O	NH ₃	PM2.5	PM10	PTS	CO ₂ eq	Precurs. O ₃	Tot. acidif. (H+)
	t/anno	t/anno	t/anno	t/anno	t/anno	kt/anno	t/anno	t/anno	t/anno	t/anno	t/anno	kt/anno	t/anno	kt/anno
1-Produzione energia e trasform. combustibili	30.776	18.665	1.490	674	4.178	15.370	508	2,5	734	989	1.301	15.542	24.730	1.368
2-Combustione non industriale	4.107	17.938	38.003	10.726	155.411	18.008	1.860	302	6.999	7.234	7.536	18.810	77.133	536
3-Combustione nell'industria	10.142	40.318	6.252	1.984	28.844	13.148	748	138	1.192	1.520	1.895	13.422	58.641	1.202
4-Processi produttivi	3.674	3.150	28.587	136	46.094	4.225	48	118	668	1.521	1.922	4.243	37.501	190
5-Estrazione e distribuzione combustibili	0,2	35	147.591	103.110								2.165	12.143	
6-Uso di solventi					3,9	0,2	0,0	7,7	127	341	409	966	147.635	1,2
7-Trasporto su strada	3.058	83.480	59.054	2.764	339.904	18.528	1.867	2.574	7.017	8.242	9.704	19.165	198.328	2.062
8-Altre sorgenti mobili e macchinari	502	24.156	5.515	109	16.495	2.205	713	3,0	3.006	3.117	3.338	2.428	36.801	541
9-Trattamento e smaltimento rifiuti	130	1.929	60	110.194	635	1.116	119	0,6	26	26	29	3.467	4.026	46
10-Agricoltura		1.685	1.372	216.867	24.710		10.777	96.550	1.345	1.975	3.279	7.895	9.182	5.716
11-Altre sorgenti e assorbimenti	35	152	27.231	4.912	5.191		5,8	35	866	895	917	105	28.056	6,5
Totale	52.425	191.508	325.855	451.476	621.467	72.601	16.648	99.731	21.979	25.861	30.329	88.209	634.177	11.668

gasolio a fini di riscaldamento (8% di SO₂).

4.1.4 Benzina verde

La combustione di benzina dà origine al 50% delle emissioni totali di CO, al 15% delle emissioni di COV, al 10% delle emissioni di NO_x e all'11% delle emissioni di CO₂.

4.1.5 Legna

L'utilizzo della legna come combustibile in ambito domestico fornisce un contributo molto rilevante alle emissioni di particolato fine (circa il 25 % delle emissioni su base annua), di CO (26%) e di COV (12%).

4.2. Emissioni di PM da traffico

Le principali sorgenti di particolato primario sono i veicoli pesanti e le automobili diesel, a causa di fattori di emissione più elevati per i motori diesel rispetto a quelli a benzina e del netto aumento negli ultimi anni in Italia dei veicoli diesel (oltre il 60% delle immatricolazioni di automobili).

Le emissioni di PM2.5 derivano principalmente da veicoli pre-Euro, con un contributo sostanziale dei veicoli pesanti (Figura 3). I veicoli passeggeri Euro II e Euro III forniscono un contributo di PM2.5 maggiore dell'Euro I, dovuto al ricambio estensivo dei veicoli nel periodo 1997 - 2001.

I fattori di emissione medi per tipo di veicolo e carburante sono mostrati in Tab. 4.

4.2. Emissioni di PM dalla combustione residenziale di legna

La combustione di legna da caminetti residenziali e da stufe rappresenta una parte sostanziale delle emissioni di PM10 primario in Lombardia. La ripartizione per combustibile delle emissioni di PM10 nelle 11 province della Lombardia (Figura 4) mostra come la legna sia responsabile di oltre il 90% del particolato fine emesso dalla combustione non industriale in tutte le province ad eccezione della provincia di Milano. Va ricordato che data la dipendenza delle emissioni da riscaldamento dalla stagione, su base regionale il contributo raggiunge nei mesi invernali anche il 40 % delle emissioni totali di PM10.

Va ricordato che la stima delle emissioni dalla combustione di legna in ambito domestico è soggetta ad una notevole incertezza, dovuta sia alla difficoltà di reperimento di dati sull'uso di legna, sia alla notevole variabilità dei fattori di emissione.

Per quanto riguarda il primo aspetto, l'inventario di questa sorgente per l'anno 2003 è stato basato su un'indagine svolta dalla Fondazione Lombardia per l'Ambiente nell'ambito del Progetto Kyoto (Marazzi et al., 2005; Marazzi et al., 2006). Gli elevati livelli di consumo sono confermati in altre regioni italiane (es. Trentino, Piemonte e Umbria).

Un secondo punto critico è la grande variabilità dei fattori di emissione (in particolare per polveri, CO e IPA), in relazione al tipo di legna, al tipo di impianto di combustione e alle modalità della stessa (Houck et al., 2001; EEA, 2004; Gullett et al., 2003; Livio, 2006). La stima per l'inventario 2003 è stata effettuata utilizzando specifici fattori di emissioni per cinque tipologie di sistemi di combustione, desunti dalla letteratura scientifica disponibile (Tab. 5). Si nota come i fattori di emissione di polveri primarie dalla combustione della legna sono

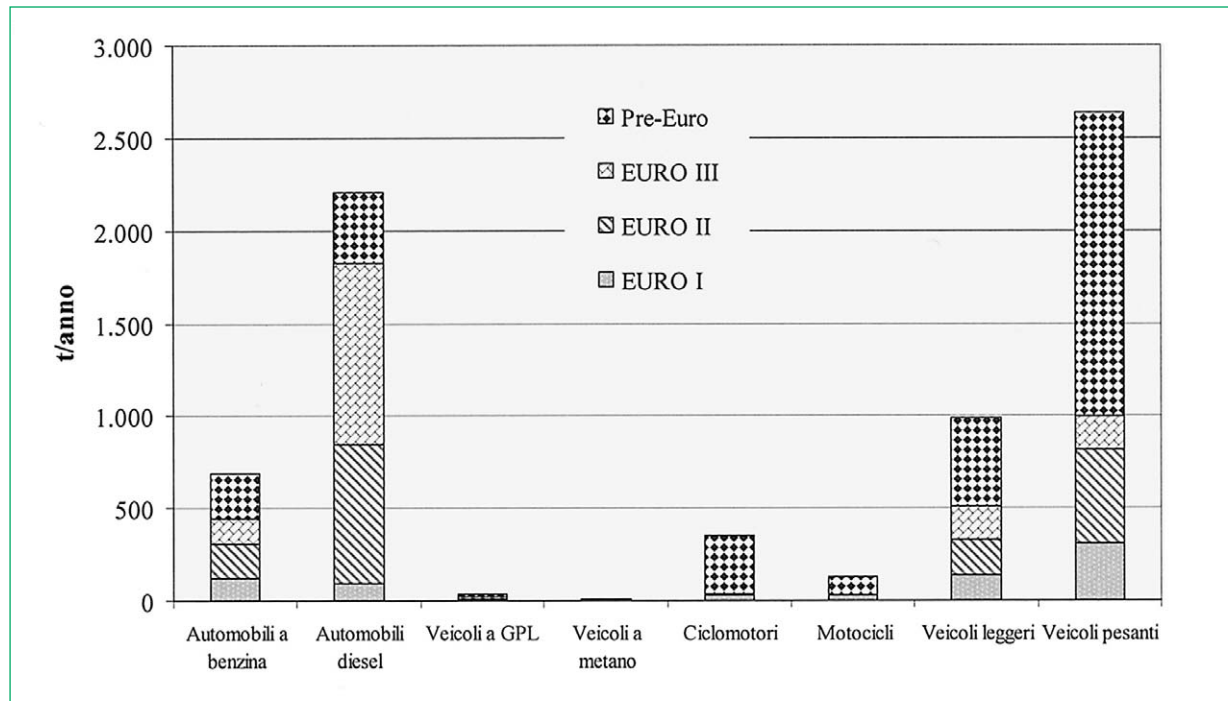


Fig. 3 - Emissioni di PM2.5 primario per tipo di veicolo e classi legislative (t anno⁻¹).

TABELLA 4
Fattori di emissione medi dal traffico stradale.

Tipo di veicolo	Comb.	SO ₂	NO _x	COV	CH ₄	CO	CO ₂	N ₂ O	NH ₃	PM2.5	PM10	PTS	CO ₂ eq	Precurs. O ₃	Totale acidif. (H ⁺)
		mg/km	mg/km	mg/km	mg/km	mg/km	g/km	mg/km	mg/km	mg/km	mg/km	mg/km	g/km	mg/km	g/km
Automobili	benzina	20	544	524	36	6.807	209	27	74	20	32	46	218	1.937	17
Automobili	diesel	41	653	92	5,1	529	183	27	0,9	93	105	119	191	947	16
Automobili	GPL	0,0	1.168	799	31	3.174	170	14	0,0	14	26	40	176	2.574	25
Automobili	metano	0,0	716	435	27	2.400	156	11	0,0	14	26	40	160	1.572	16
Veicoli leggeri < 3,5 t	benzina	33	1.067	993	41	13.201	349	23	56	32	50	67	357	3.748	28
Veicoli leggeri < 3,5 t	diesel	58	1.366	142	4,1	654	259	17	0,9	161	179	200	265	1.880	32
Veicoli pesanti > 3,5 t e autobus	benzina	58	6.801	6.154	94	65.572	618	2,9	0,4	103	165	239	620	21.666	150
Veicoli pesanti > 3,5 t e autobus	diesel	185	6.896	1.146	82	2.053	832	29	2,5	480	543	631	843	9.786	156
Ciclomotori (< 50 cm ³)	benzina	6,5	29	7.111	177	12.270	69	1,0	1,0	167	173	178	73	8.498	0,9
Motocicli (> 50 cm ³)	benzina	10	128	3.334	186	16.600	105	1,8	1,8	49	55	61	109	5.319	3,2

nettamente superiori, anche di 1 - 2 ordini di grandezza, ai livelli medi associati alla combustione domestica dei tradizionali combustibili fossili gassosi e liquidi. D'altra parte, la grande dipendenza delle emissioni dalla tipologia di apparecchio, con valori inferiori anche di un ordine di grandezza per i sistemi più innovativi a pellets, rende peraltro possibili rilevanti riduzioni delle emissioni in seguito a politiche di limitazione dell'uso delle tecnologie più obsolete e il rinnovo del parco apparecchi (DIIAR, 2006; Livio, 2006).

5. CONCLUSIONI

Le combustioni di combustibili e carburanti rimangono il principale contributo all'inquinamento dell'aria in Lombardia. Negli scorsi decenni le politiche di risanamento dell'aria hanno portato a consistenti diminuzione dei livelli di SO₂, NO₂ CO e polveri totali sospese in atmosfera (Giudici et al., 2006), a causa del passaggio a combustibili liquidi con minore contenuto di zolfo, ceneri e composti tossici nonché per la diffusione del gas naturale.

La crescita dei consumi di carburanti (in particolare diesel) nel settore dei trasporti stradali ha negli ultimi anni attenuato i benefici ambientali legati alla progressiva introduzione di dispositivi catalitici per le auto a benzina e di veicoli diesel con minori emissioni.

I benefici per la qualità dell'aria derivanti dal miglioramento delle tecnologie nel settore energetico, civile ed industriale sono stati parzialmente attenuati dalla crescita dell'utilizzo di legna da ardere, che negli ultimi anni è stata evidenziata come un fattore di primaria importanza sia per il particolato fine primario che in quanto precursore del particolato secondario organico.

RICONOSCIMENTI

L'inventario emissioni INEMAR è gestito e sviluppato da ARPA Lombardia su incarico della Regione Lombardia, D.G. Qualità dell'Ambiente, come da convenzione approvata con d.G.R. 30 maggio 2003, n.13176 e successivamente con d.G.R. 22 dicembre 2005, n. 1548.

BIBLIOGRAFIA

APAT CTN-ACE (2002) *Manuale dei fattori di emissione nazionali*, Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici - National Topic Centre for Air Climate and Emissions. www.sinanet.anpa.it/aree/atmosfera/emissioni/emissioni.asp.

APAT CTN-ACE (2004) *Manuale dei fattori di emissione nazionali* www.inventaria.sinanet.apat.it

APAT (2006) *Metodologia di stima delle emissioni off-road*. R. De Lauretis, comunicazione personale.

Caserini S., Fraccaroli A., Monguzzi A.M., Moretti M., Ballarin Denti A., Giudici A. (2001) Lombardia Region (Italy) emission inventory: methodologies and results. EPA Emission Inventory Conference "One atmosphere, one inventory, many challenges", Denver, Colorado, 1-3 maggio 2001. www.epa.gov/ttn/chief/conference/ei10/

Caserini S. et al. (2004) "Relazione tecnico-scientifica: emissione di inquinanti dalla combustione in impianti termici civili" Rapporto ARPA Lombardia - Settore Aria, Allegato n.1 alla D.G.R. VII/17533 del 17/05/2004, B.U.R.L. 2° supplemento straord. al n.22 del 27 maggio 2004.

Caserini S., Monguzzi A.M., Fraccaroli A., Mo-

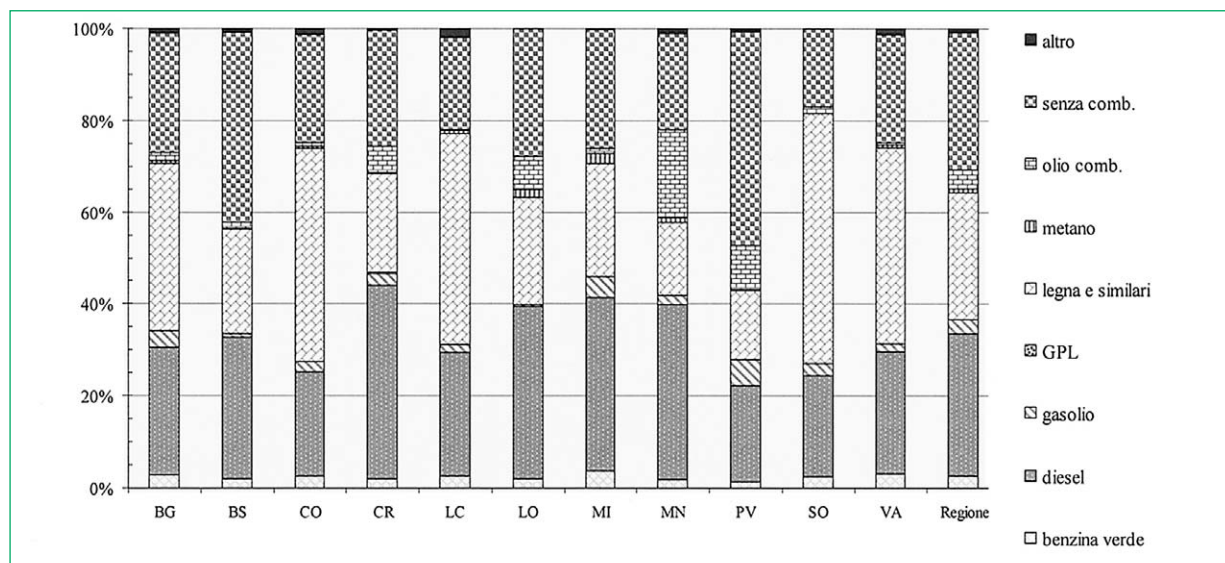


Fig. 4 - Ripartizione per combustibile delle emissioni di PM10 nelle 11 province della Lombardia.

TABELLA 5
Fattori di emissione medi nel settore riscaldamento civile.

Settore 2.02 (impianti residenziali)	Comb.	SO ₂	NO _x	CO	NMVOC	PM10	IPA	PCCD/F	consumi totali	
									g/GJ	TJ/anno
Attività SNAP										
2.02.02 Caldaia < 50 MW	gas naturale	0,5	50	25	5	0,2	n.d.	2		222.291
2.02.02 Caldaia < 50 MW	gasolio	100	50	20	3	5	5	10		28.135
2.02.02 Caldaie con potenza termica < 50 MW	olio	150	150	16	10	40	5	10		1.296
2.02.06 Camino aperto	legna	13	70	5650	5650	500	280	170		3.672
2.02.07 Stufa tradizionale, camino chiuso o inserto	legna	13	70	5650	1130	250	280	170		13.609
2.02.08 Stufa o caldaia innovativa	legna	13	60	2260	560	150	280	30		1.666
2.02.09 Sistema BAT a legna o stufa pellets	legna	13	70	1130	110	70	0,3	n.d.		2.160
2.02.10 Sistema BAT pellets	legna	13	60	620	60	30	0,1	n.d.		185

retti M., Angelino E., Fossati G., Giudici A. (2005) L'inventario delle emissioni in atmosfera in Lombardia: stato dell'arte e prospettive. Ingegneria Ambientale, XXXIV/5, 222-233

CEPMEIP (2002) *Co-ordinated European Programme on Particulate Matter Emission Inventories, Projections and Guidance*, Database presented on the Internet: www.air.sk/tno/cepmeip/.

CTN_ACE (2001) Linee guida agli inventari locali di emissioni in atmosfera. APAT -CTN_ACE (Centro Tematico Nazionale Aria Clima ed Emissioni). <http://www.inventaria.sinanet.apat.it/ipertesto/home.htm>

De Leeuw F. (2002) *A set of emission indicators for long-range transboundary air pollution*, Environmental Science & Policy 5 (2002) 135-145.

DIAR (2006) *Indicazioni tecnico-gestionali per la realizzazione di progetti di utilizzo energetico di biomasse in aziende agricole e impianti termici civili e industriali e stima del contributo alla riduzione delle emissioni di gas-serra in Lombardia*. Rapporto n. 609.6002.50.13, Progetto Kyoto - Linea Scenari E Politiche - UOSP2C.

EEA (2005) *EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook - 2005* <http://reports.eea.europa.eu/EMEP/CORINAIR4/en/page002.html>

EEA (2006) *Atmospheric Emission Inventory Guidebook - Road Transport Activities 070100 - 070500. Copert IV Update, sept. 2006*, <http://reports.eea.europa.eu/EMEP/CORINAIR4/en/page002.html> <http://lat.eng.auth.gr/copert/>

EPER (2005) *Dichiarazione INES*. Anno di riferimento 2003. www.dichiarazioneINES.it/login.asp dai ricoveri. Risultati di un anno di monitoraggio, Suinicoltura 2 - 2004, 22-29.

Giudici A., Lanzani G., Caserini S. (2006) Il ruolo di Arpa Lombardia per il controllo delle sorgenti fisse. Atti del Corso di formazione permanente del Politecnico di Milano "Il particolato fine in atmosfera", Milano, 11-13 ottobre 2006.

Gullett B.K., Touati A., Hays M.D. (2003) PCDD/F, PCB, HxCBz, PAH, and PM Emission Factors for Fireplace and Woodstove Combustion in the San Francisco Bay Region. Environ. Sci. Technol., 37, 1758-1765

Houck J., Crouch J., Huntley R. (2001) *Review of wood heater and fireplace emission factor*. Proceedings 10th International Emission Inventory Conference. www.epa.gov/ttn/chief/conference/ei10/

IPCC-NGGIP (2005) *EFDB database*. Intergovernmental Panel on Climate Change - National Greenhouse Gas Inventories Programme. www.ipcc-nggip.iges.or.jp/EFDB/main.php

Klepeis N.E., Apte M.G., Gundel L.A., Sextro R.G., Nazaroff W.W. (2003) *Characterizing Size-Specific ETS Particle Emissions*, Conference paper; Indoor Air '02 - 9th International Conference on Indoor Air Quality and Climate, Monterey, CA.

Klimont Z., Cofala J., Bertok I., Amann M. ,

- Heyes C., Gyarfas F. (2002)** *Modelling Particulate Emissions in Europe. A Framework to Estimate the Potential and Control Costs*, I.I.A.S.A., Interim Report IR-02-076. www.iiasa.ac.at/Admin/PUB/Catalog/PUB_PROJECT_TAP.html?sb=20
- Livio S. (2006)** *Valutazione energetica ed ambientale della combustione di biomasse*. Tesi di Laurea, DIIAR Politecnico di Milano, A.A. 2005/2006
- Lükewille A., et al. (2001)** *A Framework to Estimate the Potential and Costs for the Control of Fine Particulate Emissions in Europe*, I.I.A.S.A., Interim Report IR-01-023. www.iiasa.ac.at/Admin/PUB/Catalog/PUB_PROJECT_TAP.html?sb=20
- Marazzi L. et al. (2005)** Approfondimenti dell'indagine sulla combustione domestica di legna in Lombardia. Fondazione Lombardia per l'Ambiente, Progetto Parfil, Unità Operativa 6
- Marazzi L. et al. (2006)** Stima del consumo di legna per riscaldamento domestico in Lombardia: metodologia di indagine e implicazioni ambientali. *La Rivista dei Combustibili*, nov-dic 2006
- Ntziachristos L. (2003)** "Road vehicle tyre & brake wear, & road surface wear. Activities 070700-070800", *Emission Inventory Guidebook*, Aristotle University Thessaloniki / Lab of Applied Thermodynamics, Thessaloniki, Greece, Version. 1.0, August 2003.
- Pulles T. (2006)** LRTAP-EFDB. Atti della Task Force on Emission Inventory & Projection, Expert Panel on Combustion and Industry, Roma 3-4 Aprile 2006 www.tfeip-secretariat.org/EP_Combustion_April_2006/LRTAP_EFDB.pdf
- Regione Lombardia (2005)** *Autorizzazione Integrata Ambientale (AIA)*. Compilazione on-line delle dichiarazioni IPPC/AIA. www.sviluppосostenibile.regione.lombardia.it/ippc/jsp/index.jsp
- Regione Lombardia (2006)** *Inventario Emissioni INEMAR – Dati finali 2003*. (sett. 2006) www.ambiente.regione.lombardia.it/inemar/inemarhome.htm
- Rete Punti Energia (2005)** *Progetto Kyoto – Ricerca sui cambiamenti climatici e dei gas serra in Lombardia*. Linea Emissioni/Unità Operative 3 e 4 – Report finale
- Silibello C., Calori G., Brusasca G., Giudici A., Angelino E., Fossati G., Peroni E., Buganza E. (2005)** *Modelling of PM10 concentrations over Milano urban area: validation and sensitivity analysis of different aerosol modules*. Proc. of 5th Int. Conf. on Urban Air Quality, Valencia, Spain, 29-31 March 2005.
- US-EPA (1986)** *AP-42 Appendix B.1 - Particle size distribution data and sized emission factors for selected sources*. www.epa.gov/ttn/chieff/ap42/
- US-EPA (1996)** *AP-42 Appendix B.2 - Generalized particle size distributions*. www.epa.gov/ttn/chieff/ap42/
- US-EPA (2005)** *Factor Information REtrieval (FIRE)*. Technology Transfer Network Clearinghouse for Inventories & Emissions Factors. www.epa.gov/ttn/chieff/software/fire/index.html