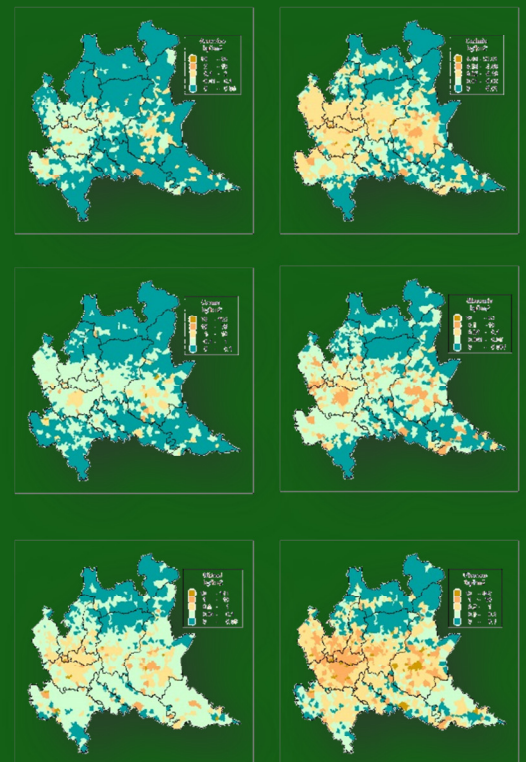
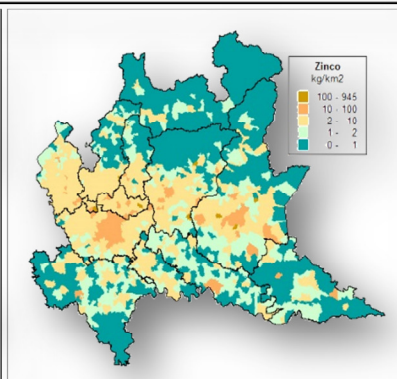
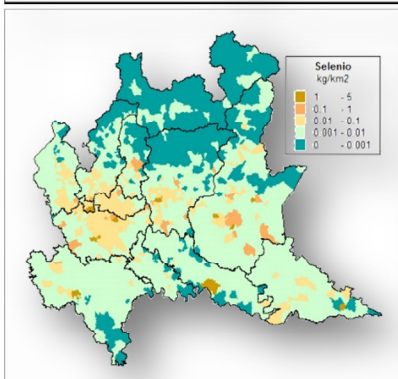
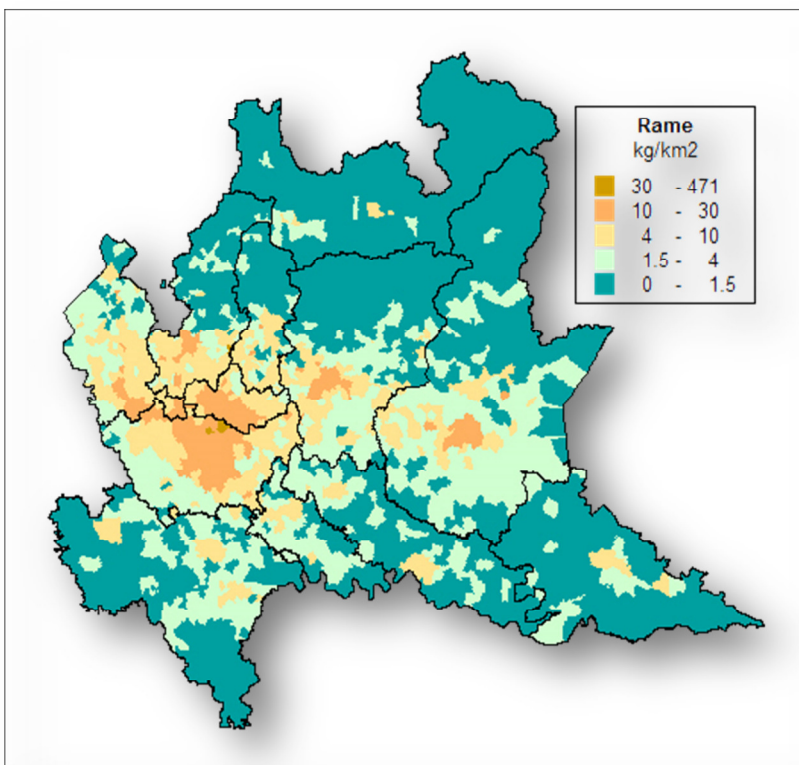


Inventario delle emissioni di metalli pesanti in Lombardia nel 2012

Analisi sistematica ed aggiornamento dei fattori di emissione, stima e spazializzazione delle emissioni di As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Se, Zn



<p>Titolo del rapporto</p> <p>“Inventario delle emissioni di metalli pesanti in Lombardia, 2012”</p> <p>Analisi sistematica ed aggiornamento dei fattori di emissione, stima e spazializzazione delle emissioni di As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Se e Zn</p>	 <p>ARPA LOMBARDIA Agenzia Regionale per la Protezione dell’Ambiente Settore Monitoraggi Ambientali Modellistica Atmosferica e Inventari</p>	
<p>Destinatario: Direzione Generale Ambiente, Energia e Sviluppo Sostenibile Regione Lombardia</p> <p>Autore: Ing. Alessandro Marongiu, Dott. Marco Moretti, Dott. Giuseppe Fossati</p> <p>Responsabile U.O. Modellistica della Qualità dell’Aria e Inventari - Settore Monitoraggi Ambientali D.ssa Elisabetta Angelino</p> <p>Direttore Settore Monitoraggi Ambientali - ARPA Lombardia: D.ssa Silvia Anna Bellinzona</p>		
<p>Sommario</p> <p>Nel presente documento sono illustrate le ipotesi adottate per l’aggiornamento dei fattori di emissione dei metalli pesanti impiegati nelle stime relative alla Lombardia per il 2012. Sono stati inseriti 562 nuovi fattori di emissione ottenuti tramite considerazioni sistematiche dalla estrapolazione da sorgenti simili e/o confrontabili. 681 fattori di emissione sono stati aggiornati in considerazione della nuova edizione dell’AIEG 2013 e/o delle variazioni dei FE ottenuti da sorgenti puntuali Lombarde. I coefficienti relativi alle emissioni di HM del modulo traffico sono stati allineati all’AIEG 2013. Il peso relativo dei differenti flussi in ingresso alla industria dei metalli ferrosi e non-ferrosi è stato stimato per i differenti comparti metallurgici considerando: materie prime minerarie, manufatti al termine del ciclo di vita, prodotti secondari industriali, semi-lavorati o semi-raffinati, materie prime recuperate.</p>		
<p>Rispetto alla edizione precedente:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aggiornato testo in riferimento alla edizione finale dell’inventario • Inseriti e completati riferimenti • Inserirle didascalie per figure e tabelle • Aggiornate le mappe alla edizione definitiva dell’inventario 2012 che sono state anche inserite come immagine di copertina 		
<p>Versione/Data</p> <p>02/Dicembre 2015</p>		<p>No di pagine</p> <p>34</p>

Sommario

Inquadramento della attività.....	4
Gestione della definizione degli inquinanti tramite FE, speciazione e granulometria.....	5
Analisi delle conoscenze attuali sulle sorgenti di emissione di metalli pesanti	6
Sviluppo dell'inventario delle emissioni di metalli pesanti in Lombardia	10
Fattori di emissione stimati da sorgenti puntuali dell'inventario 2010	10
Settore delle combustioni	15
Combustione con contatto e processi industriali e metallurgia secondaria	15
3.3.7 Produzione di piombo di seconda fusione	20
3.3.8 Produzione di zinco di seconda fusione	20
3.3.9 Produzione di rame di seconda fusione	22
3.3.10 Produzione di alluminio di seconda fusione.....	23
Settore dei metalli ferrosi, acciaio (forno elettrico).....	25
Settore del trasporto su strada	26
Altre sorgenti mobili e macchinari	27
Settore del trattamento di rifiuti.....	29
Altre sorgenti di emissione.....	30
Torce di raffineria	30
Utilizzo di fuochi d'artificio	31
Analisi sistematica del database dei fattori di emissione.....	32
Stima delle emissioni per il 2012 in Lombardia.....	33

Figura 1. Inventario delle emissioni di Hg su scala globale e stima del contributo delle sorgenti globali. Fonte: http://tfeip-secretariat.org/assets/Meetings/Presentations/Ghent-2014/MSC-E-.pdf	7
Figura 2. Fattori di emissione medi dell'Hg da puntuali misurate.. Fonte: http://tfeip-secretariat.org/assets/Meetings/Presentations/Ghent-2014/2TFEIPMercuryGermany2014.pdf	8
Figura 3. Esempi di stato e forma chimica delle possibili emissioni di Zn, Ni ed Hg per alcune tipologie di sorgenti.....	8
Figura 4. Presenza di metalli pesanti in tracce in differenti tipologie di combustibili e nella crosta terrestre. Fonte: Velimir B. Vouk, Warren T. Piver, <i>Metallic Elements in Fossil Fuel Combustion Products: Amounts and Form of Emissions and Evaluation of carcinogenicity and Mutagenicity</i> , Environmental Health Perspectives, Vol. 47, pp. 201-225, 1983.....	9
Figura 5. Analisi sistematica ed aggiornamento dei fattori di emissione.	10
Figura 6. Aggiornamento dei fattori di emissione medi da sorgenti puntuali misurate dell'inventario regionale delle emissioni.	11
Figura 7. Aggiornamento dei fattori di emissione per le combustioni del macrosettore 1.	12
Figura 8. Aggiornamento dei fattori di emissione per le combustioni del macrosettore 2.	13
Figura 9. Aggiornamento dei fattori di emissione per le combustioni del macrosettore 3.	14
Figura 10. Principali tipologie di flussi nella fusione secondaria dei metalli ferrosi e non ferrosi.	16
Figura 11. Flussi di materia in ingresso ed uscita alla fusione di metalli ferrosi e non-ferrosi.....	18
Figura 12. Ripartizione tra differenti tipologie di metalli, rottami.....	18
Figura 13. Ripartizione tra differenti tipologie di metalli, semi-lavorati.....	19
Figura 14. Confronto tra indicatori top-down e bottom-up con ripartizione tra fusione di semi-lavorati e rottami.	19
Figura 15. Produzione di zinco. Fonte: http://www.zinc.org/wp-content/uploads/sites/4/2015/04/pdf_environmental_profile.pdf .21	

Figura 16. Schema LCA del rame. Fonte: http://copperalliance.eu/docs/default-source/resources/the-env-profile-of-copper-products_lifecycle.pdf?sfvrsn=2	23
Figura 17. Fasi della produzione di alluminio primario e secondario. Fonte: http://www.alueurope.eu/sustainability/life-cycle-assessment/	24
Figura 18. Possibili fasi del recupero di alluminio da rottami e semi-lavorati. Fonte: http://www.alueurope.eu/wp-content/uploads/2011/09/2013-09-23-Aluminium-recycling-in-LCA.pdf	24
Figura 19. Processi di produzione dei metalli ferrosi. Fonte: http://www.worldsteel.org/dms/internetDocumentList/downloads/publications/LCA-position-paper/document/LCA%20position%20paper.pdf	25
Figura 20. Possibili mezzi ed apparecchi del settore off-road. Fonte: http://tfeip-secretariat.org/assets/Meetings/Presentations/Ghent-2014/Belgium-off-road.pdf	27
Figura 21. Livello di dettaglio dei dati necessari alle stime delle emissioni da Off-road tramite approccio bottom-up. Fonte: http://tfeip-secretariat.org/assets/Meetings/Presentations/Ghent-2014/Belgium-off-road.pdf	28
Figura 22. Fattori di emissione medi da puntuali misurate ed aggiornamento dei valori per l'incenerimento dei rifiuti solidi urbani.	29
Figura 23. Fattori di emissione medi da puntuali misurate ed aggiornamento dei valori per l'incenerimento di rifiuti industriali.	30
Figura 24. Confronto dei range di variabilità dei fattori di emissione per torce di raffineria, torce nella industria estrattiva e per incendi incontrollati di greggio (barre: valori medi; simboli: intervallo di confidenza).	31
Tabella 1. Indice di correlazione tra fattori di emissione di differenti categorie di inquinanti.	6
Tabella 2. Sorgenti di emissione e metalli pesanti traccianti. Fonte: G. BLENGIO, S. FALCONE, C. PASQUALETTO, P. SARTORI (2008), Polveri ultrafini ed effetti sulla salute, Centro Tematico Regionale di Epidemiologia Ambientale.	7
Tabella 3. Dati disponibili a livello nazionale sulla serie storica 2008-2012 per differenti metalli. Fonte: https://www.bgs.ac.uk/mineralsuk/statistics/europeanStatistics.html	17
Tabella 4. Aggiornamento fattori di emissione per fusione secondaria del piombo.	20
Tabella 5. Tipologia di riciclo dello zinco. Fonte: http://www.zinc.org/wp-content/uploads/sites/4/2015/04/pdf_IZA_RecyclingSS_Final1.pdf	21
Tabella 6. Aggiornamento fattori di emissione per fusione secondaria dello zinco.	22
Tabella 7. Aggiornamento fattori di emissione per fusione secondaria del rame.	23
Tabella 8. Aggiornamento fattori di emissione per fusione secondaria dell'alluminio.	25
Tabella 9. Aggiornamento fattori di emissione per la produzione di acciaio da forno elettrico.....	26
Tabella 10. Fattori di emissione da traffico, precedenti edizioni.	26
Tabella 11. Aggiornamento fattori di emissione da traffico.	27
Tabella 12. Aggiornamento dei fattori di emissione per differenti comparti degli off-road.	29
Tabella 13. Fattori di emissione per torce di raffineria.....	31
Tabella 14. Aggiornamento dei fattori di emissione da esplosione dei fuochi d'artificio.	32

Inquadramento della attività

L'affinamento delle metodologie e dei relativi fattori di emissione risulta in continua evoluzione come confermato dalla ultima edizione delle linee guida europee EMEP-EEA:

<http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2013>

Secondo quanto indicato dalla lettera di accompagnamento della ultima edizione disponibile, i maggiori approfondimenti ed aggiornamenti sono stati dedicati a:

- Fattori di emissione del Black Carbon
- Miglioramento della consistenza dei fattori di emissione del particolato, metalli pesanti, POP e BC.
- Nuove informazioni sull'utilizzo dei solventi e piccoli apparecchi domestici a legna
- Nuove informazioni sulle emissioni di COVNM ed NH₃ dal settore zootecnico e dall'uso dei fertilizzanti
- Nuove informazioni sulle emissioni evaporative da trasporti
- Nuovi dati per la stima di emissioni fuggitive di PM
- Aggiornamento della guida per la realizzazione di mappe di emissione

L'attività di aggiornamento dei fattori di emissione ha riguardato la revisione delle metodologie presenti in INEMAR relative alla stima delle emissioni in atmosfera di metalli pesanti: As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Se e Zn.

Uno dei principali aggiornamenti documentati dalla edizione dell'AIEG di riferimento ha portato alla verifica di consistenza dei fattori di emissione di questi microinquinanti, circoscrivendo e possibilmente limitando tutte quelle situazioni in cui le emissioni di microinquinanti risultavano superiori o inconsistenti con le emissioni di materiale particolato dalla stessa tipologia di sorgente.

All'interno dei lavori per la stesura degli inventari delle emissioni nazionali sono disponibili differenti relazioni di consistenza fisica dei fattori di emissione. Un possibile criterio è il seguente:

$$\text{PTS} > \text{PM}_{10} > \text{PM}_{2.5} > \text{BC}$$

Tale obiettivo è già implementato in INEMAR attraverso due normalizzazioni conseguite con il modulo granulometria e con il modulo speciazione (parlando di EC). Ulteriore condizione di consistenza deriva dalla formula [\(\[http://tfeip-secretariat.org/assets/Combustion_Industry/EP2013_Istanbul/BCandOCinventoryNorway.pdf\]\(http://tfeip-secretariat.org/assets/Combustion_Industry/EP2013_Istanbul/BCandOCinventoryNorway.pdf\)\)](http://tfeip-secretariat.org/assets/Combustion_Industry/EP2013_Istanbul/BCandOCinventoryNorway.pdf)

):

$$\text{PM}_{2.5} = \text{BC} + (1.4 \times \text{OC}) + \text{Z}$$

dove Z sono le emissioni di composti inorganici.

Gestione della definizione degli inquinanti tramite FE, speciazione e granulometria

L'attività di aggiornamento delle metodologie di stima per le emissioni di: As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Se e Zn, è articolabile su due fronti:

- Aggiornamento dei fattori di emissione ed eventuale introduzione di nuove sorgenti
- Verifica di consistenza dei fattori di emissione

Nel sistema INEMAR i fattori di emissione degli inquinanti possono essere definiti direttamente nella tabella specifica oppure nelle tabelle di speciazione o granulometria. Le ultime due tabelle, speciazione e granulometria, permettono per definizione di collegare un determinato inquinante alla presenza di uno o più traccianti svolgendo implicitamente la funzione di normalizzare il sistema permettendo di gestire con maggiore facilità la presenza di dati mancanti o le condizioni di integrità sul PM ed il BC.

L'estensione degli algoritmi sopracitati ad altri inquinanti può essere valutata quantitativamente verificando l'indice di correlazione dei fattori di emissione di un inquinante con gli altri e viceversa, tabella 1. Per questa analisi sono stati considerati i fattori di emissione reperiti della ultima edizione dell'AIEG. L'indicatore calcolato per la variabilità dei fattori di emissione di ciascun inquinante a determinate attività ed usi di combustibile è definito come segue:

$$\text{Correl}(X, Y) = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x - \bar{x})^2 \sum (y - \bar{y})^2}}$$

Dove x ed y sono i fattori di emissione dei corrispondenti inquinanti ed i valori soprastegnati sono i valori medi.

	BaP	BbF	BkF	IcdP	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Zn	COV	DIOX	PCB	HCB	PM2.5	PM10	PTS
BaP		90%	61%	78%	-14%	36%	51%	36%	42%	33%	70%	-22%	54%	75%	85%	59%	-42%	68%	68%	69%
BbF	90%		79%	66%	-4%	22%	39%	36%	49%	-7%	69%	-5%	41%	73%	86%	66%	-42%	59%	58%	60%
BkF	61%	79%		66%	-5%	2%	15%	18%	28%	19%	41%	-1%	14%	44%	72%	70%	-37%	29%	29%	30%
IcdP	78%	66%	66%		-25%	23%	29%	14%	17%	-13%	37%	-23%	33%	56%	59%	53%	-38%	49%	48%	49%
As	-14%	-4%	-5%	-25%		-14%	12%	56%	52%	7%	29%	72%	-7%	-22%	-16%	-4%	33%	-12%	-10%	-9%
Cd	36%	22%	2%	23%	-14%		89%	6%	-6%	-7%	13%	-10%	93%	61%	52%	-39%	29%	72%	72%	71%
Cr	51%	39%	15%	29%	12%	89%		32%	30%	7%	43%	3%	94%	66%	63%	-11%	20%	75%	75%	75%
Cu	36%	36%	18%	14%	56%	6%	32%		73%	6%	77%	-3%	31%	23%	32%	57%	-37%	25%	27%	28%
Hg	42%	49%	28%	17%	52%	-6%	30%	73%		-9%	87%	23%	16%	22%	36%	86%	-54%	17%	18%	19%
Ni	33%	-7%	19%	-13%	7%	-7%	7%	6%	-9%		-8%	-6%	-7%	-12%	-13%	57%	-21%	-11%	-10%	-10%
Pb	70%	69%	41%	37%	29%	13%	43%	77%	87%	-8%		-5%	39%	46%	59%	92%	-63%	38%	39%	40%
Se	-22%	-5%	-1%	-23%	72%	-10%	3%	-3%	23%	-6%	-5%		-21%	-20%	-19%	-27%	54%	-20%	-19%	-19%
Zn	54%	41%	14%	33%	-7%	93%	94%	31%	16%	-7%	39%	-21%		71%	67%	-12%	8%	80%	80%	80%
COV	75%	73%	44%	56%	-22%	61%	66%	23%	22%	-12%	46%	-20%	71%		93%	29%	-25%	92%	92%	92%
DIOX	85%	86%	72%	59%	-16%	52%	63%	32%	36%	-13%	53%	-19%	67%	93%		44%	-31%	90%	90%	91%
PCB	59%	66%	70%	53%	-4%	-39%	-11%	57%	86%	57%	92%	-27%	-12%	29%	44%		-86%	7%	7%	8%
HCB	-42%	-42%	-37%	-38%	33%	29%	20%	-37%	-54%	-21%	-63%	54%	8%	-25%	-31%	-86%		-7%	-7%	-8%
PM2.5	68%	59%	29%	49%	-12%	72%	75%	25%	17%	-11%	38%	-20%	80%	92%	90%	7%	-7%		100%	100%
PM10	68%	58%	29%	48%	-10%	72%	75%	27%	18%	-10%	39%	-19%	80%	92%	90%	7%	-7%	100%		100%
PTS	69%	60%	30%	49%	-9%	71%	75%	28%	19%	-10%	40%	-19%	80%	92%	91%	8%	-8%	100%	100%	

Tabella 1. Indice di correlazione tra fattori di emissione di differenti categorie di inquinanti.

Nel caso dei 4-IPA definiti in ambito CLRTAP la tabella seguente riporta come i fattori di emissione di BaP, BbF e BkF siano ben correlati tra loro mentre le sorgenti dell'IcdP sembrerebbero avere peculiarità differenti. In altri termini i fattori di emissione dell'IcdP presentano massimi differenti che non i 3 IPA rimanenti ovvero ci possono essere sorgenti dove la % di questo IPA è molto differente dagli altri 3.

Prendendo in considerazione il PM invece si ha la conferma quantitativa che PM2.5, PM10 e PTS possono essere associati alle stesse attività e combustibile.

Per i metalli pesanti invece non è possibile tra gli stessi ed in riferimento ad altri inquinanti trovarne uno che li possa mettere tutti in correlazione. Le principali sorgenti di emissione sono differenti per ciascun metallo pesante e non sono correlate o correlabili ai principali macroinquinanti. Per questo motivo è più indicata un trattamento dei fattori di emissione definiti singolarmente che non uno sviluppo all'interno del modulo speciazione.

A completamento dell'analisi è possibile considerare le correlazioni tra COV, PCB, HCB e diossine. COV e diossine presentano una buona correlazione con il materiale particolato ed anche una buona correlazione tra di loro. Mentre PCB ed HCB, probabilmente anche per una carenza di dati, sembrerebbero presentare sorgenti chiave differenti.

Analisi delle conoscenze attuali sulle sorgenti di emissione di metalli pesanti

Come analizzato nella tabella precedente l'analisi delle correlazioni dei fattori di emissione dei metalli pesanti, tra loro e con gli altri inquinanti del GB, mostra che le potenziali sorgenti chiave di questi microinquinanti non sono identificabili nelle stesse rilevate per i principali macroinquinanti. A complicare lo scenario l'analisi di correlazione tra i singoli metalli mostra come le potenziali sorgenti chiave siano specifiche per ciascun microinquinante. In termini maggiormente qualitativi sono comunemente disponibili dei profili riguardanti elementi-traccia connessi a specifiche fonti di combustione, tabella 2 (G. BLENGIO, S. FALCONE, C. PASQUALETTO, P. SARTORI (2008), Polveri ultrafini ed effetti sulla salute, Centro Tematico Regionale di Epidemiologia Ambientale).

Fonte di emissione	Elementi caratteristici emessi
Centrali elettriche a petrolio	V, Ni
Emissioni da veicoli a motore	Br, Ba, Zn, Fe, Pb (in paesi in cui si usa il petrolio)
Incenerimento dei rifiuti	Zn, Sb, Cu, Cd, Hg
Combustione del carbone	Se, As, Cr, Co, Cu, Al
Raffinerie	V
Fonderie di metalli non ferrosi	As, In (fusione del nichel), Cu
Metallurgia del ferro e dell'acciaio	Mn
Produzione di Mn metallo e Mn chimico	Mn
Raffineria del rame	Cu

Tabella 2. Sorgenti di emissione e metalli pesanti traccianti. Fonte: G. BLENGIO, S. FALCONE, C. PASQUALETTO, P. SARTORI (2008), *Polveri ultrafini ed effetti sulla salute, Centro Tematico Regionale di Epidemiologia Ambientale.*

Nell'ambito della collaborazione tra EMEP (European Monitoring and Evaluation Programme) della CLRTAP e MSC –E (Meteorological Synthesizing Centre – East) sono state evidenziate le criticità emergenti nelle stime delle emissioni di POPs e HMs. Dalle elaborazioni degli inventari nazionali sono risultati particolarmente critiche la completezza della descrizione delle sorgenti e l'allineamento delle sorgenti emissive principali, figura 1.

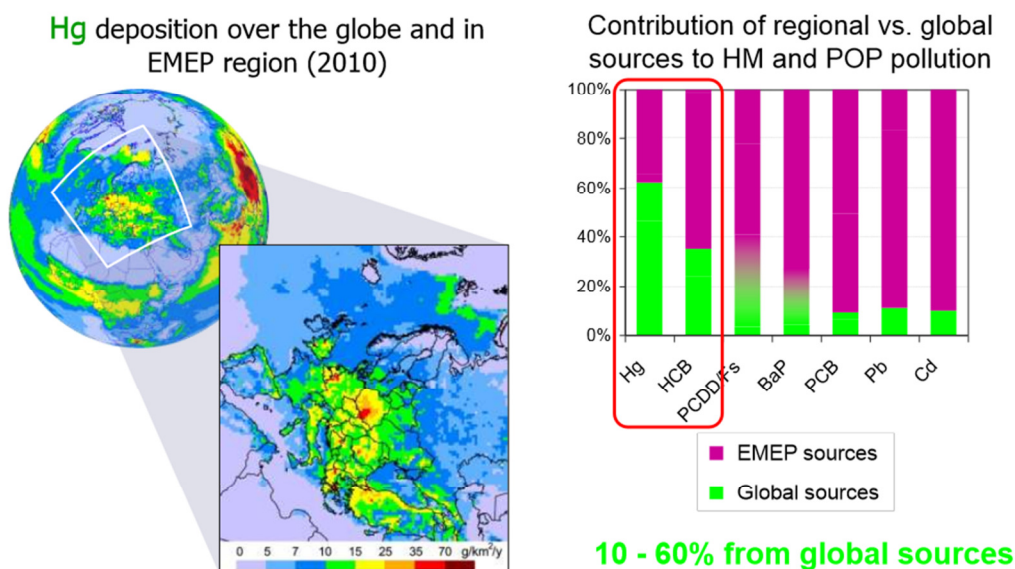


Figura 1. Inventario delle emissioni di Hg su scala globale e stima del contributo delle sorgenti globali. Fonte: <http://tfeip-secretariat.org/assets/Meetings/Presentations/Ghent-2014/MS-C-E-.pdf>

Per alcuni inquinanti organici persistenti non esiste un accordo dei risultati degli inventari per l'individuazione delle principali sorgenti emissive. I compilatori nazionali sono periodicamente sollecitati a fornire delle stime indicando eventualmente l'intervallo tra minimo e massimo della valutazione.

L'estrema variabilità dei fattori di emissione e la carenza di dati per alcune sorgenti emissive è ampiamente illustrata nell'ambito delle riunioni periodiche della TFEIP, tanto da suggerire la definizione di range entro i quali i fattori di emissione collezionabili dai differenti paesi possono variare.

Nel caso delle emissioni in Germania di mercurio, per esempio, sono riportate criticità derivanti dalla estrema variabilità dei fattori di emissione e delle differenze tra quanto riportato nel AIEG ed i fattori calcolati da sorgenti industriali monitorate. Tali aspetti sono particolarmente più critici per il mercurio a causa delle particolari caratteristiche chimico-fisiche che possono caratterizzare le emissioni di questo inquinante. Il fattore di emissione di Hg stimato dai dati di monitoraggio di una specifica sorgente in Germania può mostrare una notevole variabilità nella serie storica, tanto da far suggerire, al fine di

ottenere una migliore rappresentatività, lo sviluppo di fattori di emissione mediati su differenti anni, figura 2.

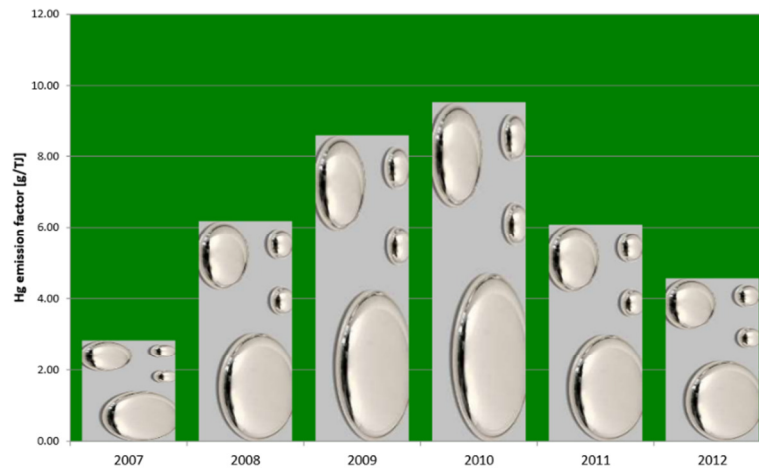
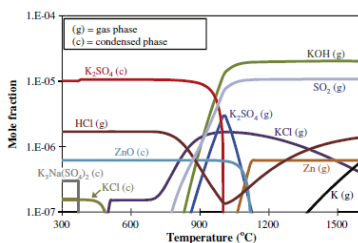


Figura 2. Fattori di emissione medi dell'Hg da puntuali misurate.. Fonte: <http://tfeip-secretariat.org/assets/Meetings/Presentations/Ghent-2014/2TFEIPMercuryGermany2014.pdf>

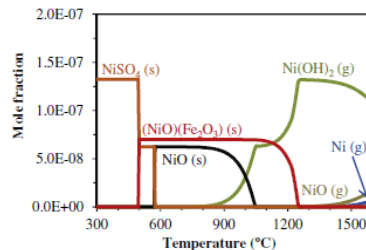
La variabilità dei fattori di emissione è riconducibile secondo la letteratura scientifica ai seguenti fattori:

- Presenza dei metalli pesanti nelle materie prime o nei combustibili
- Modalità di impiego delle materie prime o dei combustibili
- Caratteristiche chimico-fisiche dei metalli nei processi industriali
- Tecnologie dei processi industriali
- Tipologia e la efficienza dei sistemi di controllo delle emissioni
- Tecnologie e condizioni di funzionamento dei sistemi di combustione
- La presenza di processi o fasi di pirolisi

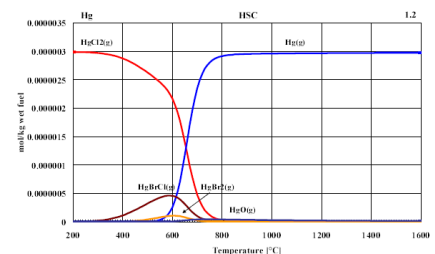
I metalli pesanti sono quindi emessi in forme chimiche differenti al variare della presenza di altri elementi e delle condizioni operative reali di processo. Nella bibliografia scientifica tale complessità viene rappresentata tramite diagrammi termodinamici ottenuti al variare della temperatura di processo per specifiche tipologie di sorgenti, figura 3. Nel caso della combustione della legna se i fumi hanno una temperatura superiore a 1100°C i componenti delle ceneri, saranno favoriti dalla termodinamica ad essere tutti in fase gassosa ed in particolare lo Zn si presenterà allo stato elementare. In zone di combustione a temperature inferiori a 1100°C ed in presenza di eccesso d'aria, lo Zn è ossidato a ZnO e potenzialmente si presenterebbe in forma condensata. Nel caso del Ni nella combustione di olio combustibile l'equilibrio termodinamico favorirà composti del Ni in fase gassosa al sopra di 900°C, mentre per temperature inferiori potranno essere favorite differenti composti del Ni in forma condensata. Questo stesso tipo di valutazione è estendibile alla forma chimico-fisica di Hg a seguito dell'incenerimento dei rifiuti, nel calcolo è stata ipotizzata una composizione media.



Equilibrio termodinamico di K e Zn nella combustione della legna (Sippula et al., *Atm. Env.*, 43, 2009, 4855-4864)



Equilibrio termodinamico di Ni nella combustione di olio combustibile (Sippula et al., *Atm. Env.*, 43, 2009, 4855-4864)



Equilibrio termodinamico di Hg nell'incenerimento dei rifiuti (REPORT 08-02, *Chemical Equilibria of Heavy Metals in Waste Incineration: Comparison of Thermodynamic Databases*, ÅBO AKADEMI)

Figura 3. Esempi di stato e forma chimica delle possibili emissioni di Zn, Ni ed Hg per alcune tipologie di sorgenti.

La presenza in tracce dei metalli pesanti nei combustibili è fattore rilevante nelle emissioni in atmosfera di questi inquinanti. Tale aspetto è stato affrontato recentemente nella definizione di fattori di emissione dei metalli pesanti nel settore dei trasporti sulla base delle concentrazioni iniziali di tali elementi nei combustibili (Tinus Pulles, Hugo Denier van der Gon, Wilfred Appelman, Marc Verheul, Emission factors for heavy metals from diesel and petrol used in European vehicles, Atmospheric Environment 61 (2012) 641-651).

Nell'ambito del trasporto su strada le concentrazioni di metalli pesanti nelle benzine e nei diesel dei distributori europei hanno mostrato una estrema variabilità. I valori si possono muovere all'interno di due ordini di grandezza rimanendo sempre nell'ordine delle parti per milione.

Considerando anche altri dati (Velimir B. Vouk, Warren T. Piver, Metallic Elements in Fossil Fuel Combustion Products: Amounts and Form of Emissions and Evaluation of carcinogenicity and Mutagenicity, Environmental Health Perspectives, Vol. 47, pp. 201-225, 1983) è possibile identificare delle distribuzioni caratteristiche dei metalli pesanti in funzione della tipologia di combustibile o considerando l'abbondanza relativa stimata nella crosta terrestre di As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Se, Zn (figura 4).

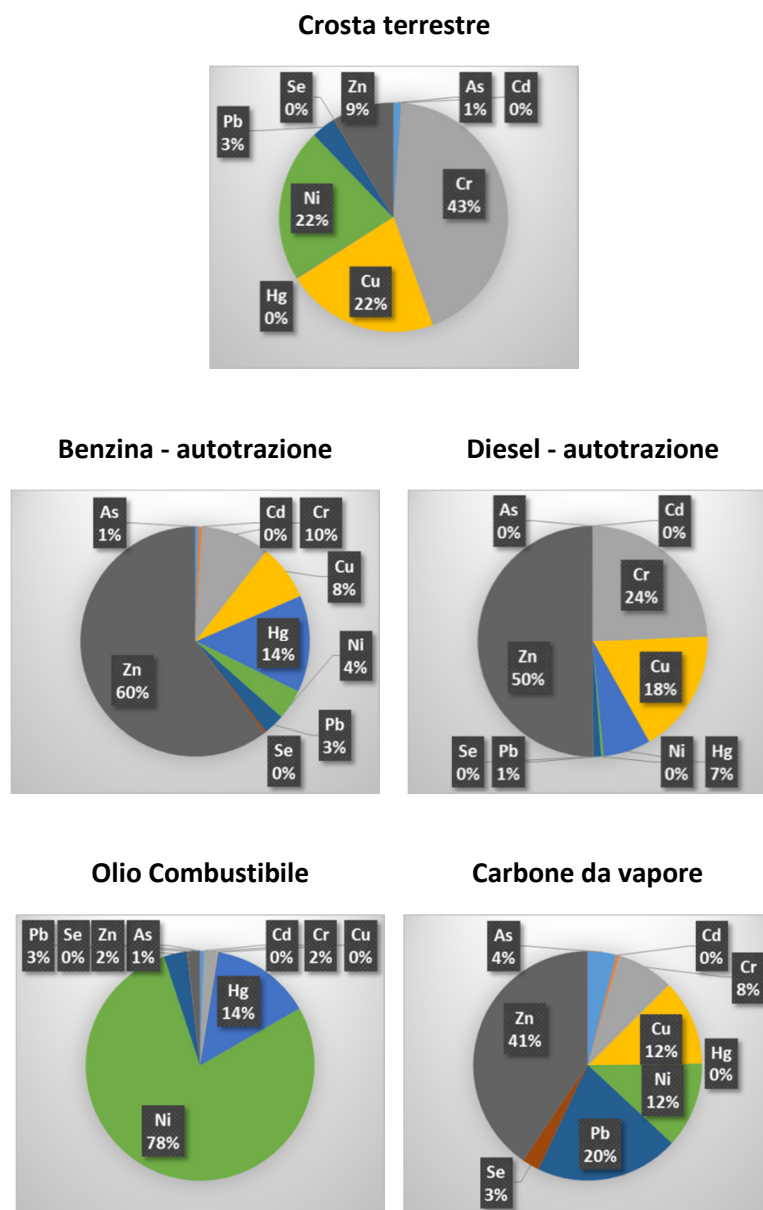


Figura 4. Presenza di metalli pesanti in tracce in differenti tipologie di combustibili e nella crosta terrestre. Fonte: Velimir B. Vouk, Warren T. Piver, Metallic Elements in Fossil Fuel Combustion Products: Amounts and Form of Emissions and Evaluation of carcinogenicity and Mutagenicity, Environmental Health Perspectives, Vol. 47, pp. 201-225, 1983.

Sviluppo dell'inventario delle emissioni di metalli pesanti in Lombardia

L'attività di aggiornamento dei fattori di emissione di (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Se, Zn) è necessaria a seguito dello sviluppo di nuove conoscenze e linee guida che possono essere riassunte come:

- L'approvazione di una nuova edizione delle linee guida GB per la redazione degli inventari delle emissioni (<http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2013>)
- L'elevata variabilità dei fattori di emissione medi anche da sorgenti puntuali se confrontati da serie storiche e la disponibilità di indicatori aggiornati alla ultima versione definitiva dell'inventario delle emissioni della Lombardia
- La disponibilità di nuovi fattori di emissione
- La necessità di verificare la consistenza dei fattori di emissione rispetto alle specifiche su PM, EC/OC ed IPA

Gli obiettivi di questa attività, considerate le differenti sorgenti di dati, possono essere articolati con il seguente algoritmo, figura 5.

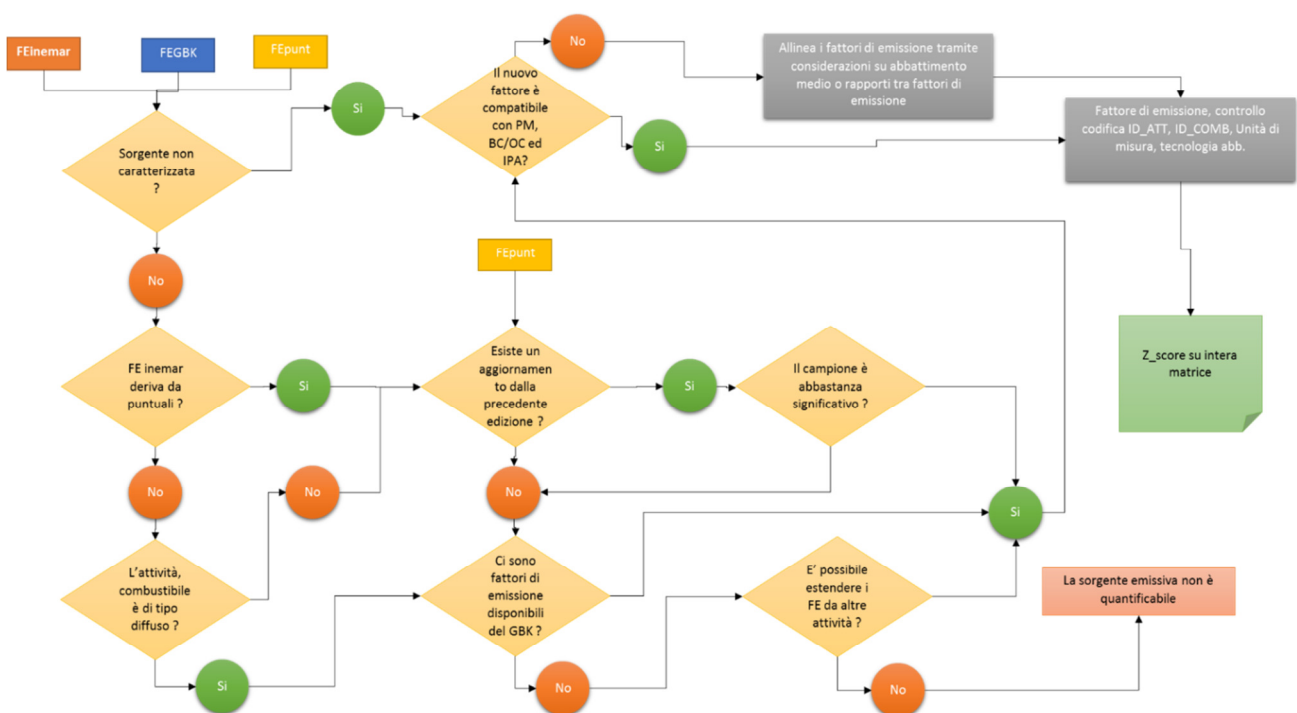


Figura 5. Analisi sistematica ed aggiornamento dei fattori di emissione.

Le possibili sorgenti dati sono quindi: la nuova edizione del Guidebook resa in formato digitale, i fattori di emissione del database INEMAR ed i fattori di emissione calcolati da sorgenti puntuali dell'ultima edizione definitiva.

Il grafico delle decisioni riportato nell'algoritmo cerca di prediligere la sostituzione di fattori di emissione stimati da puntuali con valori più aggiornati dello stesso tipo, il completamento di dati mancanti con fattori da tecnologie e combustibili simili oppure ottenuti come valori medi.

Fattori di emissione stimati da sorgenti puntuali dell'inventario 2010

Considerata l'estrema variabilità dei fattori di emissione da sorgenti puntuali, l'algoritmo descritto al punto precedente predilige l'aggiornamento dei fattori di emissione da puntuali misurate soprattutto nel caso in cui il precedente fattore di emissione fosse stato stimato con la stessa procedura.

Può essere quindi utile considerare i fattori di emissione già presenti in INEMAR ottenuti dalle puntuali nelle precedenti edizioni verde (2007-2008 e 2010) ed i valori invece calcolati dalla ultima edizione definitiva del 2010 in azzurro, figura 6.

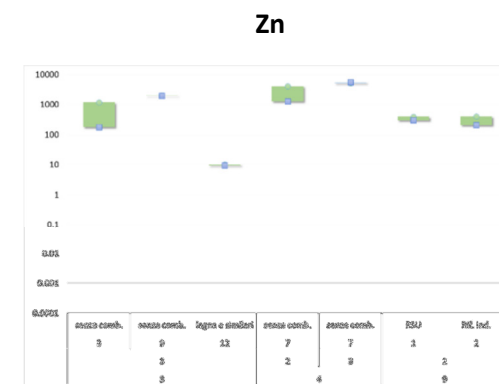
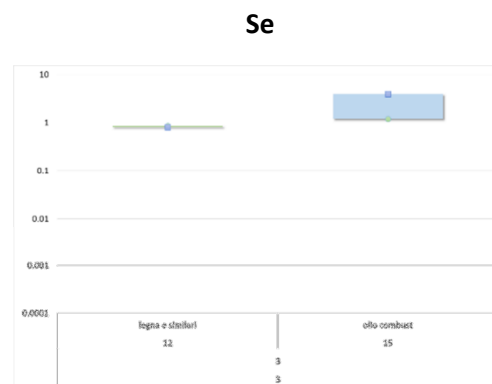
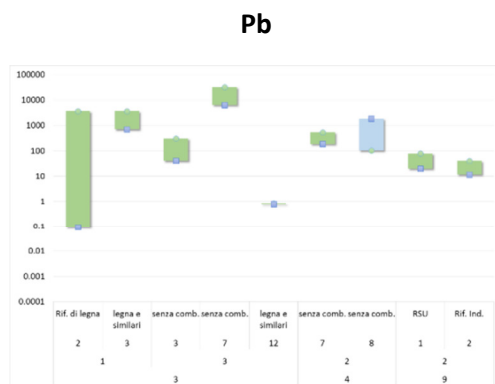
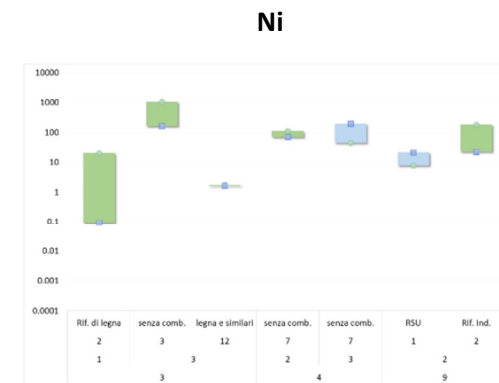
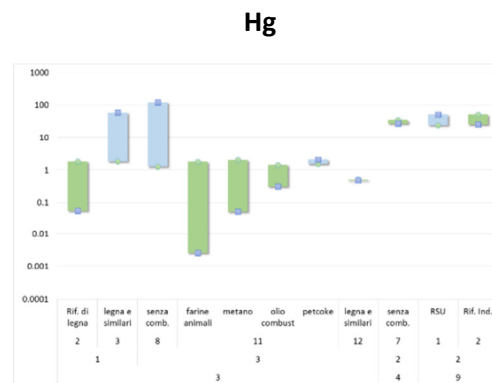
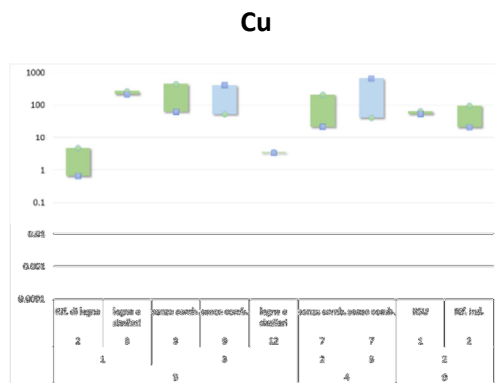
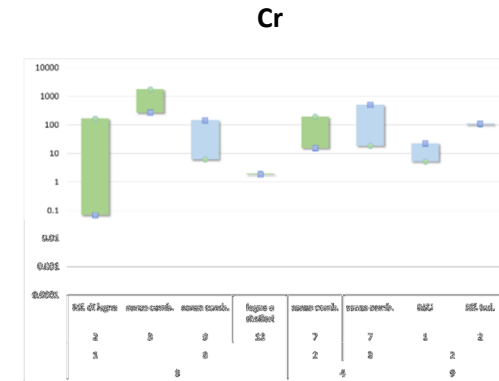
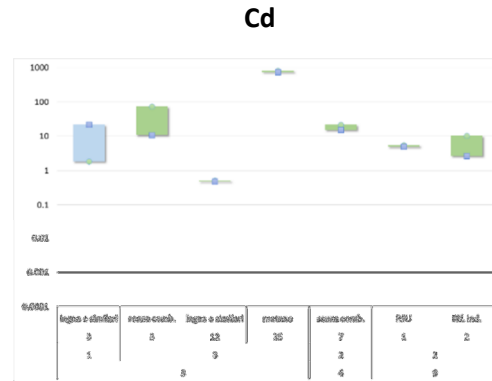
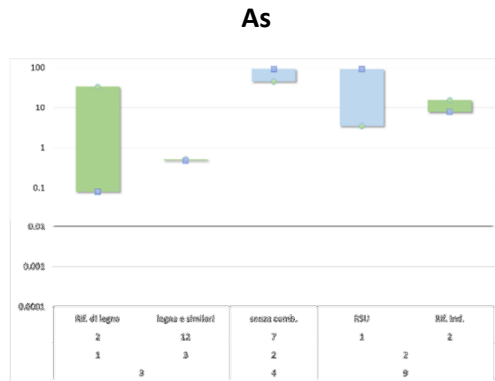


Figura 6. Aggiornamento dei fattori di emissione medi da sorgenti puntuali misurate dell'inventario regionale delle emissioni.

Produzione di energia e trasformazione di combustibili

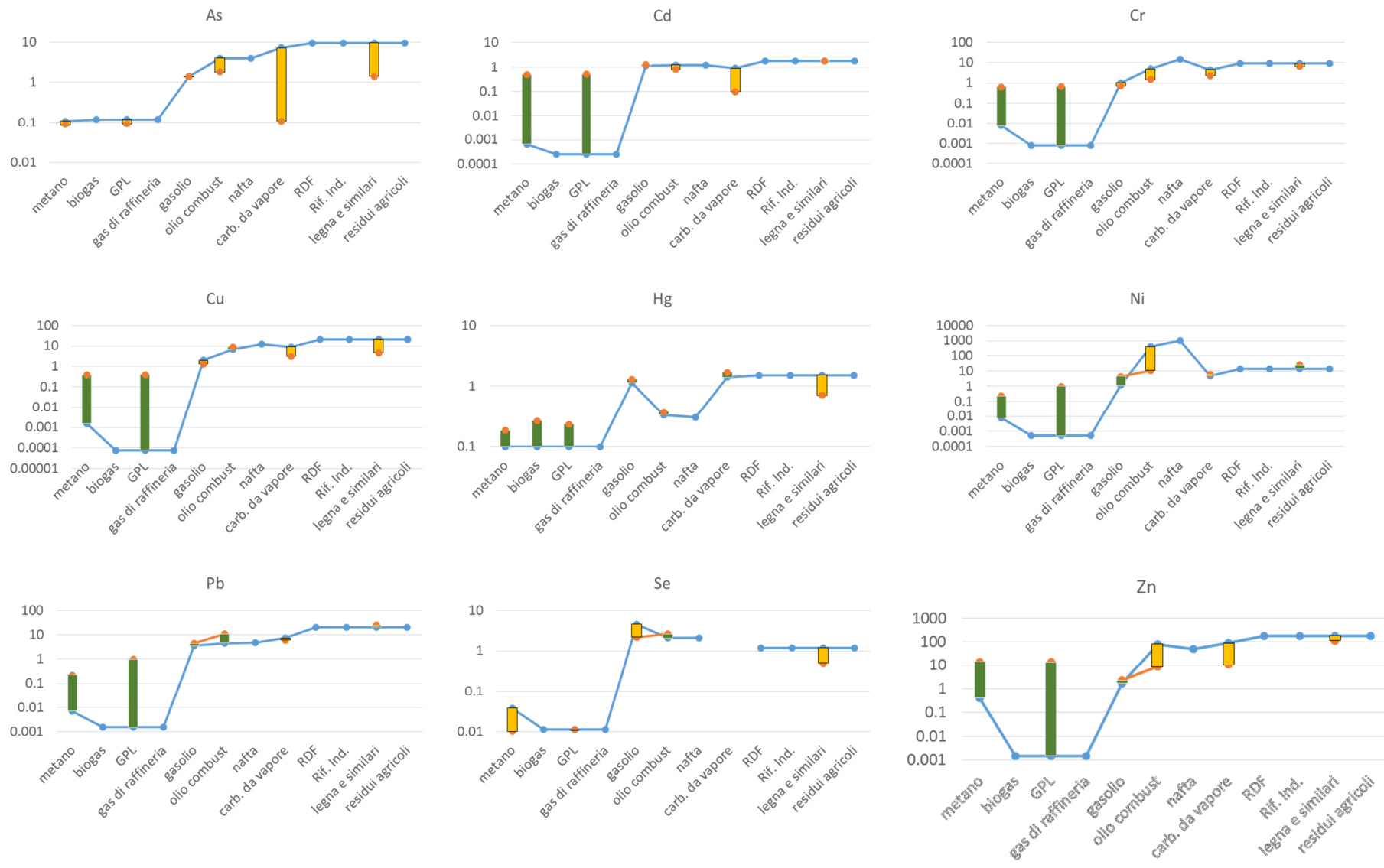


Figura 7. Aggiornamento dei fattori di emissione per le combustioni del macrosettore 1.

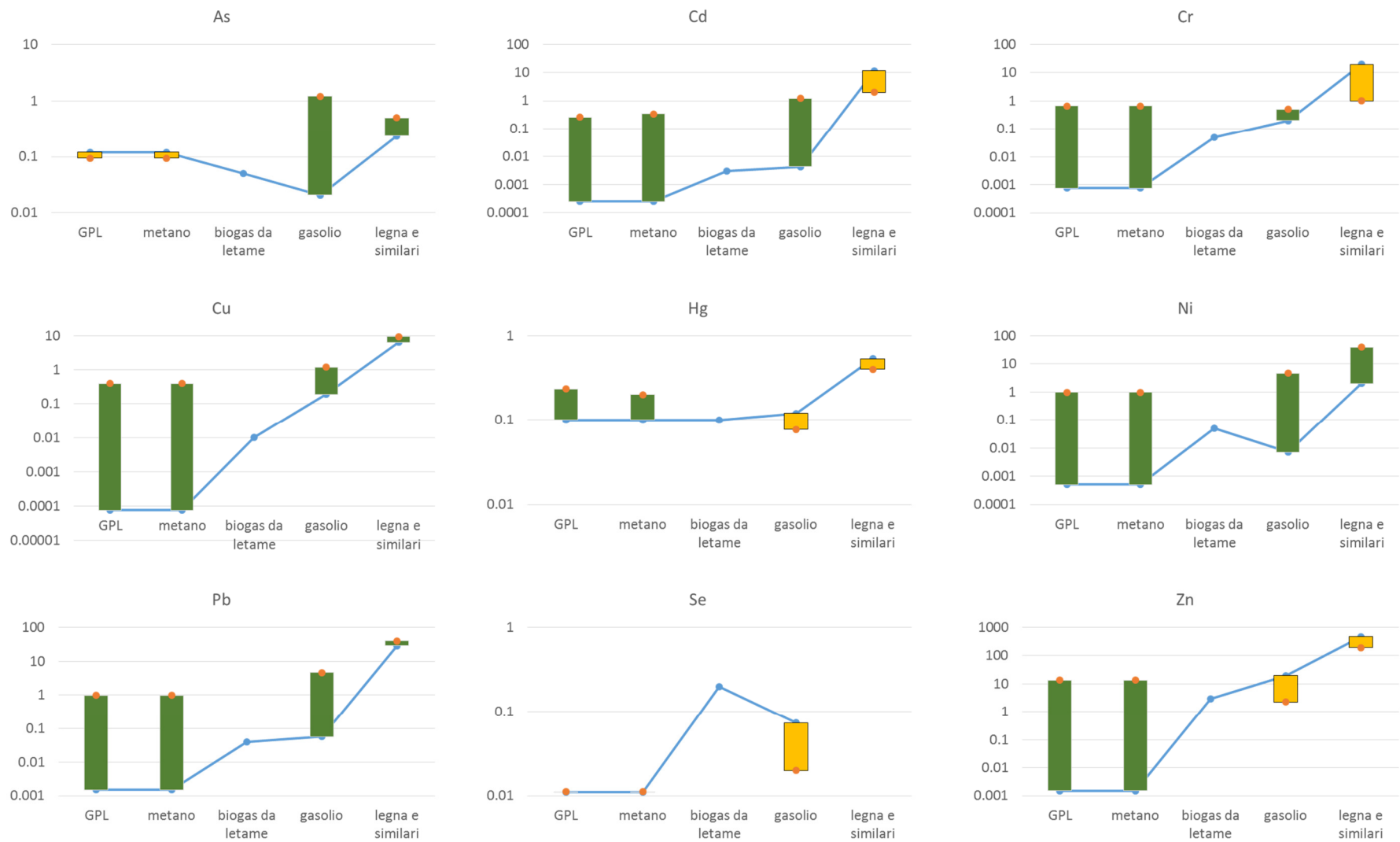


Figura 8. Aggiornamento dei fattori di emissione per le combustioni del macrosettore 2.



Figura 9. Aggiornamento dei fattori di emissione per le combustioni del macrosetto 3.

Settore delle combustioni

Le attività comprese in questa area tematica sono generalmente incluse nel macrosettore 1 e 3. La classificazione delle tecnologie impiegate può essere generalmente molto simile eccetto per le combustioni con contatto dove l'impiego di un combustibile è finalizzato a fornire energia direttamente ad una materia prima, a manufatti, a rottami etc.

Tra le tecnologie impiegate per ottenere o trasformare energia generalmente i motori a combustione interna sono caratterizzati da fattori di emissione per unità di energia maggiori che non le caldaie.

Nell'applicazione dei criteri descritti per l'aggiornamento dei fattori di emissione hanno quindi privilegiato l'aggiornamento ai fattori della nuova versione del Guidebook 2013 e la estensione dei fattori di emissione a parità di tipologia di combustibile impiegata, figure 7-8-9.

Combustione con contatto e processi industriali e metallurgia secondaria

Come evidenziato nelle precedenti elaborazioni sulla stima delle emissioni regionali di metalli pesanti, il settore della metallurgia secondaria costituisce una sorgente potenzialmente rilevante di tali inquinanti. Le attività in questo ambito ricoprono il settore delle combustioni con contatto nella fusione secondaria di: piombo, zinco, rame, ed alluminio. Oltre a queste attività si possono considerare le fonderie di ghisa ed acciaio oltre che ai processi di produzione dell'acciaio tramite forno elettrico.

Per queste attività sono stati aggiornati i fattori di emissione, tramite le medesime procedure sopra illustrate, anche considerando approfondimenti sulla tipologia degli indicatori di attività utilizzati nei lavori di implementazione dell'inventario delle emissioni della Lombardia per il 2012.

L'indicatore di attività è stato confrontato con rilevamenti regionali e nazionali relativi al recupero di metalli ed all'impiego di materie prime e semi lavorati.

Secondo quanto riportato nel rapporto sui rifiuti speciali (http://ita.arpalombardia.it/ITA/servizi/rifiuti/grsl/estrattospeciali2011/RelazioneRegione_RifiutiSpeciali2011.pdf), il riciclaggio/recupero dei metalli e dei composti metallici in Lombardia (R4 secondo D. Lgs. 152/06 e s.m.i., Parte IV, Allegato C) ammonta a:

$$S_1 = 6\,528\,800 \text{ t/anno}$$

con riferimento alle attività svolte nell'anno 2011 e contenute nel "MUD 2012" per il quale i soggetti obbligati alla compilazione erano:

- Imprese ed Enti produttori iniziali di rifiuti pericolosi tranne produttori agricoli con un volume annuo di affari non superiore a 8000 euro. Imprese ed d Enti produttori iniziali di rifiuti non pericolosi di cui all'art. 184 comma 3 lett. c) d) e g) del D.lgs. 152/2006 con più di 10 dipendenti.;
- Imprese ed Enti che effettuano operazioni di recupero e di smaltimento di rifiuti;
- Comuni o loro consorzi e Comunità montane relativamente alla gestione dei rifiuti urbani e assimilati;
- Consorzio nazionale degli imballaggi (CONAI) di cui all'articolo 224 del D.Lgs. 152/2006 e altri sistemi riconosciuti di cui all'articolo 221, comma 3 lett. a) e c).
- Intermediari e commercianti di rifiuti senza detenzione.
- Soggetti che effettuano la raccolta, il trasporto il trattamento e il recupero dei veicoli fuori uso di cui all'art. 11, comma 3, D.Lgs. 24 giugno 2003 n. 209.
- Soggetti di cui all'art. 13, commi 6 e 7, D. Lgs. 25 luglio 2005 n. 151, iscritti al registro nazionale dei produttori di apparecchiature elettriche ed elettroniche di cui all'art. 14.
- Consorzi istituiti per il recupero o il riciclaggio di particolari tipologie di rifiuti e che organizzano la gestione di tali rifiuti per conto dei consorziati.

I metalli avviati al recupero di materia da raccolta differenziata di rifiuti urbani ed i RAEE avviati al recupero di materia da raccolta differenziata di rifiuti urbani nel 2012 sono di gran lunga inferiori ed ammontano rispettivamente a:

$$S_2 = 49\,833 \text{ t/anno}$$

e

$$S_3 = 35\,882 \text{ t/anno}$$

Per il 2012 la capacità apparente del sistema produttivo di trattare rottami metallici è stimabile in:

$$S = S_1 + S_1 + S_1 = 6\,614\,515 \text{ t/anno}$$

A carattere nazionale sono invece disponibili gli studi statistici pubblicati dalla British Geological Survey, <https://www.bgs.ac.uk/mineralsuk/statistics/europeanStatistics.html> dove sono disponibili per il 2012 i dati di importazione, esportazione, produzione di metalli ferrosi e non ferrosi in Italia.

L'intero settore è alimentato tramite l'importazione di rottami, al netto delle esportazioni, e dalla integrazione nel ciclo di vita da materie prime minerarie. Nella produzione di manufatti ferrosi e non ferrosi è possibile considerare una prima fase di recupero dei rottami, eventualmente integrata dai processi minerari, la produzione di semi lavorati grezzi o raffinati e quindi l'impiego manifatturiero al netto delle esportazioni dei semilavorati, come nello schema di figura 10:



Figura 10. Principali tipologie di flussi nella fusione secondaria dei metalli ferrosi e non ferrosi.

Tale suddivisione è utile per identificare il contributo iniziale dei rottami ed l'impiego di materie prime nei manufatti essendo le attività caratterizzate da emissioni e processi molto differenti tra loro. Si tratta di una semplificazione dal momento che i processi industriali possono differire tra i differenti metalli non ferrosi oppure risultare integrati in un unico impianto. Tuttavia a livello puramente statistico l'elaborazione delle statistiche geologiche nazionali confrontate con il volume dei rottami trattati stimato in Lombardia per il 2012 permette di identificare la ripartizione tra i processi di riciclaggio dei rottami e la produzione di semilavorati.

Con questa finalità è possibile ottenere a livello nazionale i volumi relativi ai semilavorati o consumo apparente di materie prime al netto delle esportazioni tramite la relazione:

$$F = P - P_{\text{exp}} - P_{\text{imp}}$$

La variabile F rappresenta quindi il volume apparente di materie prime utilizzabili per la realizzazione dei manufatti, mentre P rappresenta la capacità produttiva legata all'impiego di rottami o alla integrazione di

materie prime minerarie. La ripartizione per ciascun settore metallurgico tra i volumi F e P rappresenta il peso della fusione secondaria sull'intero volume di impiego di Pb, Zn, Cu, Al e Fe.

La tabella di seguito mostra i dati disponibili a livello nazionale sulla serie storica 2008-2012 considerando anche l'indicatore derivato F, tabella 3.

		2008	2009	2010	2011	2012
<i>Pb</i>	Rimp	88 732	31 241	2 629	4 976	13 530
	Rexp	6 897	7 594	9 776	10 173	14 804
	Pimp	99 015	86 054	111 301	109 458	89 266
	Pexp	34 904	23 006	7 821	15 455	8 646
	F	264 011	212 048	253 480	240 503	219 020
	P	199 900	149 000	150 000	146 500	138 400
<i>Zn</i>	Rimp	177 207	170 343	211 933	190 473	222 849
	Rexp	107 724	60 385	114 638	84 477	91 747
	Pimp	261 041	140 618	279 840	284 111	196 150
	Pexp	10 824	8 749	17 448	25 955	24 766
	F	357 317	235 269	367 092	368 356	268 584
	P	107 100	103 400	104 700	110 200	97 200
<i>Cu</i>	Rimp	167 212	91 519	129 074	148 358	137 709
	Rexp	148 923	158 062	167 424	174 068	181 600
	Pimp	636 321	552 801	643 004	631 161	598 010
	Pexp	28 649	28 725	31 491	42 032	50 387
	F	631 872	530 576	613 313	596 729	555 323
	P	24 200	6 500	1 800	7 600	7 700
<i>Al</i>	Rimp	377 441	268 836	372 686	461 302	444 544
	Rexp	56 214	82 055	107 131	102 696	103 518
	Pimp	882 089	595 339	920 395	1 046 732	844 930
	Pexp	115 047	152 313	269 679	312 407	341 759
	F	1 645 042	1 321 026	1 528 716	1 612 325	1 381 171
	P	-	-	-	-	878 000
<i>Fe</i>	Rimp	5 705 462	3 321 387	4 609 403	5 752 270	5 271 612
	Rexp	387 528	325 026	422 731	317 626	324 451
	Pimp	8 936 248	4 402 511	5 907 866	6 528 749	2 957 411
	Pexp	1 042 103	660 403	977 673	965 907	929 053
	F	18 411 145	9 488 108	13 618 193	15 556 842	11 582 358
	P	10 517 000	5 746 000	8 688 000	9 994 000	9 554 000

Tabella 3. Dati disponibili a livello nazionale sulla serie storica 2008-2012 per differenti metalli. Fonte: <https://www.bqs.ac.uk/mineralsuk/statistics/europeanStatistics.html>.

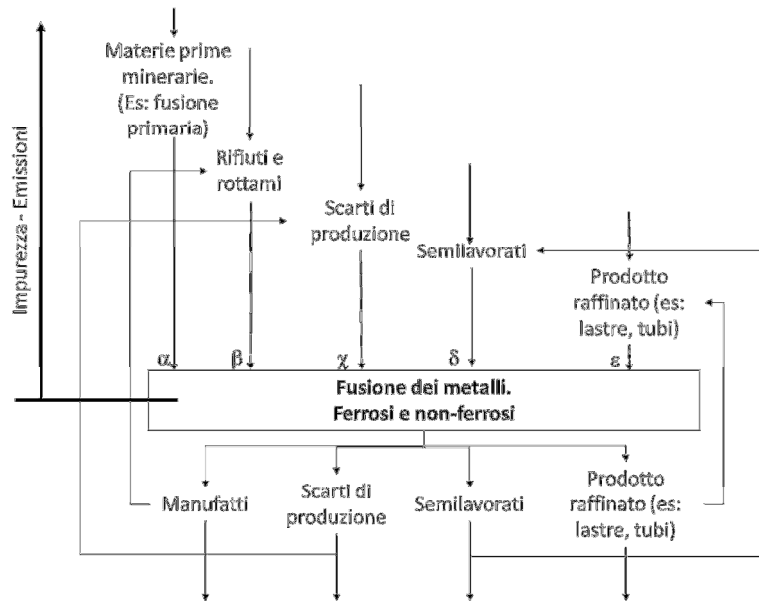


Figura 11. Flussi di materia in ingresso ed uscita alla fusione di metalli ferrosi e non-ferrosi.

Come illustrato in dettaglio per i singoli settori metallurgici è possibile identificare i principali flussi di materia che possono interessare le attività produttive del settore della metallurgia ferrosa e non.

In generale i processi possono coinvolgere differenti tipologie di materie prime, caratterizzate da differenti livelli di impurità che a loro volta possono influire sui livelli emissivi, figura 11. Considerando l'intero spettro delle attività una determinata frazione delle attività può essere potenzialmente interessata da produzioni primarie a partire da un consumo apparente di risorse minerarie. I processi in questo caso sono caratterizzati da fattori di emissione relativamente più elevati. Disponendo di dati nazionali sulle risorse minerarie il valore dell'indicatore potrebbe essere ottenuto tramite una proxy regionale (i rappresenta As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Se e Zn):

$$\alpha_i = (M_i^{imp} - M_i^{exp} + M_i^{prod}) \times \%Lomb$$

La metallurgia secondaria può impiegare rottami provenienti dal termine di vita utile dei manufatti oppure scarti di produzione, che sono relativamente maggiormente puri e quindi possono determinare livelli emissivi inferiori. Il flusso totale della conversione apparente dei rottami potrebbe essere inferiore al valore stimato S dal momento che questo considera materiali potenzialmente differenti dai metalli considerati ed anche i volumi di attività di intermediazione dei rifiuti, quindi che non si occupano direttamente di processi di fusione. Il valore per ciascun metallo è quindi ottenuto tramite proxy sui volumi di produzione, figura 12:

$$\beta_i + \chi_i = S \times \frac{P_i}{\sum P_i}$$

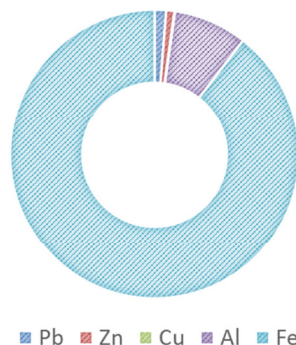


Figura 12. Ripartizione tra differenti tipologie di metalli, rottami.

Una parte dei semilavorati può essere fusa differenti volte fino alla produzione di materie prime direttamente utilizzabili dall'industria manifatturiera (per esempio coil di acciaio). In questo caso i processi a caldo impiegano materiali già relativamente raffinati ed il flusso di materia è ipotizzabile proporzionale al rapporto tra consumo apparente e volume di produzione, figura 13:

$$\delta_i = (\beta_i + \chi_i) \times \frac{F_i}{P_i}$$

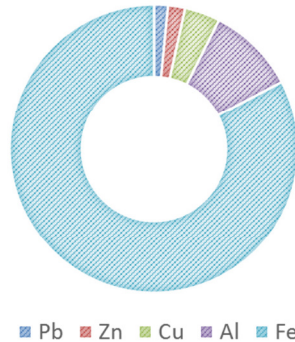


Figura 13. Ripartizione tra differenti tipologie di metalli, semi-lavorati.

Considerando l'insieme delle attività produttive ulteriori processi a caldo possono impiegare materiali raffinati nella produzione dei manufatti. Questi flussi sono molto più difficili da stimare, tuttavia si assume che le emissioni siano di gran lunga inferiori rispetto agli altri processi.

Il dato è quindi confrontato con quanto ottenuto tramite approccio bottom-up per singole attività produttive in Lombardia. L'indicatore INEMAR è stato ottenuto associando agli addetti ASIA 2011 per i codici ATECO compatibili con le attività metallurgiche un coefficiente di produttività medio specifico per attività ottenuto dalle sorgenti di tipo puntuale disponibili nell'ambito dei lavori dell'inventario regionale.

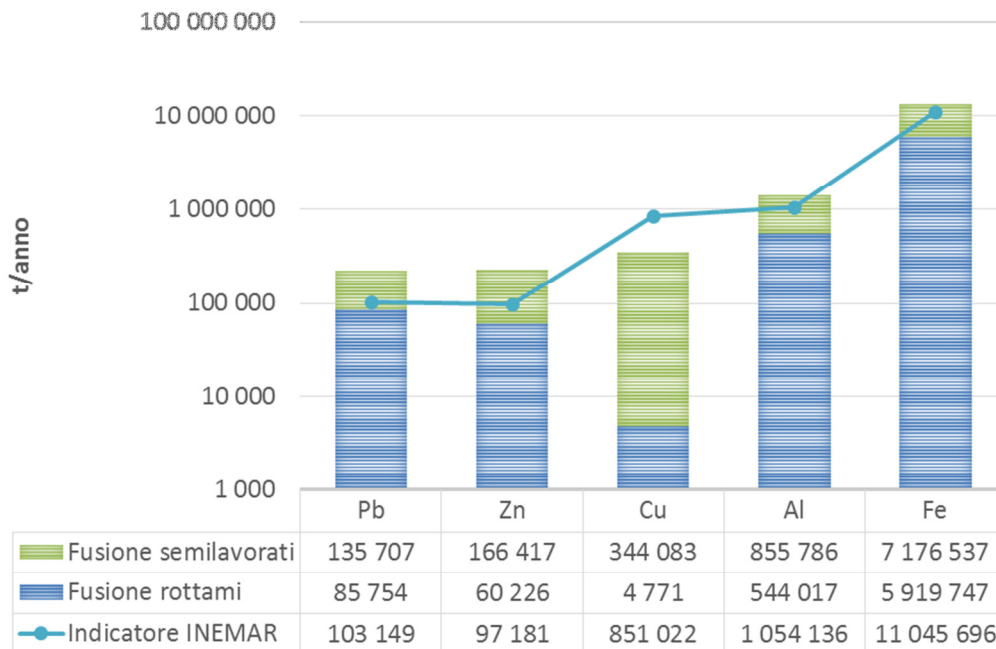


Figura 14. Confronto tra indicatori top-down e bottom-up con ripartizione tra fusione di semi-lavorati e rottami.

Le stime ottenute con l'approccio del coefficiente di produttività rapportato al numero di addetti sono confrontabili con i volumi complessivi ottenuti dal bilancio regionale sul settore F+P permettendo di identificare in percentuale sull'indicatore INEMAR 2012 il contributo dovuto al recupero di rottami ed il volume di impiego nelle attività produttive, figura 14.

3.3.7 Produzione di piombo di seconda fusione

Secondo le stime internazionali più dell'85% del Piombo è impiegato per la fabbricazione di batterie (<http://www.ila-lead.org/lead-facts/lead-uses>) seguito dal 5.5% di impiego in pigmenti. E' uno tra i metalli non ferrosi con la più alta percentuale di riciclabilità tanto che alcuni paesi possono vantare una percentuale di recupero vicina al 100%.

Questi dati sono compatibili con quanto riportato dalle statistiche minerarie per l'Italia nel 2012 dove le importazioni di minerale ammontano al 9% del totale. Il rapporto tra consumo apparente F e F+P è circa il 61%. Ne consegue che considerare l'indicatore bottom-up è cautelativo nella stima dell'indicatore di seconda fusione.

Secondo quanto riportato dall'AIEG 2013 buona parte degli impianti di fusione secondaria del piombo sono dotati di impianti di depolverazione come ad esempio filtri a manica. Secondo quanto riportato l'efficienza di tali impianti è generalmente molto alta e può raggiungere il 99.9%. Per gli impianti puntuali, quindi disponibili nel database AIDA, tali valutazioni che erano state effettuate ampiamente nelle precedenti stime (A.Marongiu, S. Caserini, M. Moretti, F. Antognazza, A. Giudici, E. Angelino, (2012) IA Ingegneria Ambientale v. XLI n. 5) sono quindi ulteriormente confermate dall'AIEG 2013. Il controllo delle emissioni nei processi di raffinazione e produzione delle leghe avviene tramite cappe di aspirazione che sono installate al di sopra dell'area di lavoro e collegate ai filtri a manica.

AIEG 2013 pubblica differenti range di fattori di emissione in funzione della tecnologia di abbattimento, mentre dalla edizione dell'inventario delle emissioni della Lombardia del 2010 è possibile ottenere alcuni fattori di emissione stimati da misure su impianti puntuali.

Al fine di conservare ipotesi omogenee tra i differenti inquinanti e rispettare le condizioni di congruenza con le emissioni di PTS, i fattori di emissione medi sono stati utilizzati per stimare all'inverso sui fattori non abbattuti l'efficienza di abbattimento media, pari al 99.9%. Tale valore è stato poi utilizzato per la definizione dei rimanenti fattori di emissione, tabella 4.

	<i>PTS</i>	<i>As</i>	<i>Cd</i>	<i>Pb</i>	<i>Zn</i>
	g/t	mg/t	mg/t	mg/t	mg/t
<i>AIEG 2013</i>	14 800	47 000	15 000	5 800 000	35 000
	13 300	42 000	14 000	5 220 000	31 000
	2 250	7 200	2 300	885 000	5 300
	1 625	3 500	1 100	426 000	2 600
	1.5	4.7	1.5	580	3.5
<i>FE da puntuali</i>	11.43232	-	-	6330.66	-
<i>η ricalcolato</i>	99.9%¹	-	-	99.9%	-
INEMAR 2012	11.43	43.80	13.98	6330.66	32.62

Tabella 4. Aggiornamento fattori di emissione per fusione secondaria del piombo.

3.3.8 Produzione di zinco di seconda fusione

A livello mondiale più del 95% dello zinco è prodotto a partire da ZnS (http://www.zinc.org/wp-content/uploads/sites/4/2015/04/pdf_environmental_profile.pdf), la lega di partenza a parte lo Zn contiene anche altri composti metallici. Il processo quindi richiede la rimozione dello zolfo prima di poter raffinare il metallo tramite processi idrometallurgici o pirometallurgici. La rimozione dello zolfo avviene tramite arrostitimento o sinterizzazione che determinano come prodotto secondario SO₂ che viene convertito ad acido solforico. Il processo conseguente è schematizzato in figura 15.

¹ Fattore di abbattimento medio utilizzato per la stima dei fattori di emissione

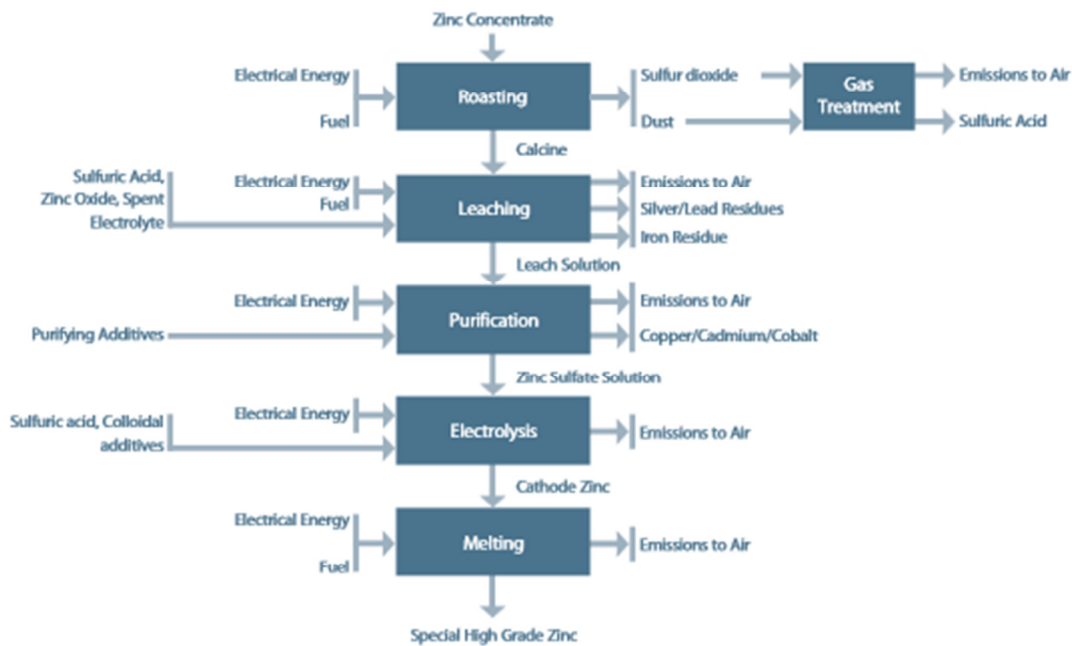


Figura 15. Produzione di zinco. Fonte: http://www.zinc.org/wp-content/uploads/sites/4/2015/04/pdf_environmental_profile.pdf

I rottami di zinco invece possono essere riciclati ad ogni stadio della produzione o dell'impiego del metallo, per esempio da: produzione di fogli di acciaio galvanizzato, processi di manifattura ed installazione dei prodotti e dalla terminazione del ciclo di vita dei manufatti.

I rottami di zinco sono raccolti e processati in funzione delle disponibilità, della composizione in metalli (es: grado di purezza, presenza di leghe, et.) e facilità di processazione. A causa delle potenziali perdite durante la manifattura e la fabbricazione è poi possibile recuperare dei residui del ciclo di produzione. In funzione della composizione del rottame, questo può essere fuso nuovamente oppure rigenerato nel processo di raffinazione, tabella 5.

SCRAP SOURCE	TYPE OF SCRAP			RECOVER PROCESS
	RESIDUES AND DROSSES (NS)	WHOLE PRODUCTS (OS)	STEEL FILTER DUST (OS)	
Brass	✓	✓	-	Remelting
Die Casting	-	✓	-	Remelting
Galvanizing	✓	-	✓	Remelting (NS) Refining (OS)
Rolled Zinc	✓	✓	-	Remelting
Other	✓	✓	✓	Remelting (NS) Refining (OS)

OS = Old scrap; NS = New scrap

Tabella 5. Tipologia di riciclo dello zinco. Fonte: http://www.zinc.org/wp-content/uploads/sites/4/2015/04/pdf_IZA_RecyclingSS_Final1.pdf.

Il quadro generale mostra una situazione molto differente da quella del piombo. Secondo quanto riportato dalle statistiche minerarie per l'Italia nel 2012 le importazioni di minerale non sono sicuramente trascurabili rispetto al totale delle importazioni e sono comunque maggiori delle esportazioni. Il rapporto tra consumo apparente F e F+P è circa il 73.4%. Ne consegue che considerare l'indicatore bottom-up è ancora più cautelativo che non nel caso del piombo.

Secondo l’AIEG 2013 molti degli impianti di fusione secondaria dello zinco sono dotati di sistemi di depolverazione come i filtri. In generale i sistemi di controllo possono variare in funzione della tipologia di rottame che è processata e del tipo di prodotto. Secondo quanto riportato l’efficienza di tali impianti è generalmente molto alta e può raggiungere il 99.9%.

AIEG 2013 pubblica differenti range di fattori di emissione in funzione della tecnologia di abbattimento, mentre dalla precedenti edizioni dell’inventario delle emissioni della Lombardia è possibile ottenere alcuni fattori di emissione stimati da misure su impianti puntuali.

Al fine di conservare ipotesi omogenee tra i differenti inquinanti e rispettare le condizioni di congruenza con le emissioni di PTS, i fattori di emissione medi sono stati utilizzati per stimare all’inverso sui fattori non abbattuti l’efficienza di abbattimento media, pari al 92.6%. Tale valore è stato poi utilizzato per la definizione dei rimanenti fattori di emissione, tabella 6.

	<i>PTS</i>	<i>As</i>	<i>Cd</i>	<i>Cu</i>	<i>Hg²</i>	<i>Ni</i>	<i>Pb</i>	<i>Zn</i>
	g/t	mg/t	mg/t	mg/t	mg/t	mg/t	mg/t	mg/t
<i>AIEG 2013</i>	425	5 900	35 000		6.5		65 000	150 000
	390	5 300	32 000		6		59 000	135 000
	80	900	5 300		6		9 900	40 000
	63	480	2 800		5.7		5 300	23 000
	0.05	0.59	3.5		5.4		6.5	15
<i>FE da puntuali</i>	31.4	-	-	1.3	-	1.3	9.133	-
<i>η ricalcolato</i>	92.6%³	-	-	-	-	-	99.99%	-
INEMAR 2012	31.4	435.9059	2585.882	1.3	0.480235	1.3	4802.353	11082.35

Tabella 6. Aggiornamento fattori di emissione per fusione secondaria dello zinco.

3.3.9 Produzione di rame di seconda fusione

Lo schema LCA del rame (http://copperalliance.eu/docs/default-source/resources/the-env-profile-of-copper-products_lifecycle.pdf?sfvrsn=2) mostra relativa elevata complessità di passaggi e processi che portano dai rottami o dalle risorse minerarie alla produzione di tubi, cavi o lamine di rame, figura 16. Anche in questo caso i rottami possono derivare dalla fine del ciclo di vita dei prodotti o da scarti di lavorazione. Le due categorie di rottami sono quindi caratterizzate da livelli di impurità molto differenti e quindi rientrano all’interno della filiera in parti del processo molto differenti. Come nel caso dello zinco sono riportati due differenti processi di raffinazione, pirometallurgico ed idrometallurgico. Nell’ambito delle statistiche geologiche i volumi si distinguono in: rottami, grezzo non raffinato, grezzo raffinato, leghe grezze e prodotti raffinati.

Il rame raffinato è il più costoso sul mercato tra tutti gli altri metalli non ferrosi (<http://www.vwd-metalli24.com/>). Secondo le statistiche nazionali, l’Italia importa in percentuale molti più semilavorati rispetto ai volumi di produzione ed esportazione. Il quadro che ne consegue è un consumo apparente di semi lavorati maggiore che non il volume nazionale di produzione. Il rapporto tra consumo apparente e consumo apparente comprensivo della produzione raggiunge quasi il 99%.

Di conseguenza la stima effettuata sui coefficienti per numero di addetti è altamente cautelativa dal punto di vista delle emissioni in atmosfera dal momento che sembrerebbe comprendere i differenti stati di produzione dei manufatti considerando anche la conversione di semilavorati a differente grado di purezza e non solo il recupero di rottami.

² Il fattore di emissione di Hg in realtà dovrebbe essere abbattuto con un’efficienza inferiore a quella prevista per gli altri metalli

³ Fattore di abbattimento utilizzato in quanto maggiormente cautelativo

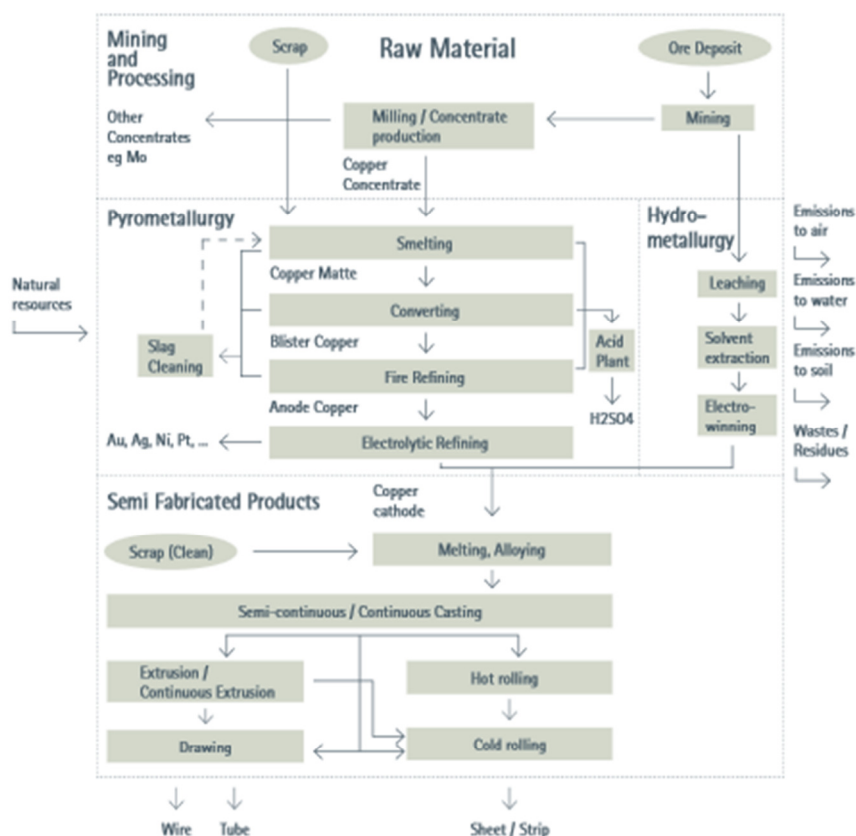


Figura 16. Schema LCA del rame. Fonte: http://copperalliance.eu/docs/default-source/resources/the-env-profile-of-copper-products_lifecycle.pdf?sfvrsn=2.

AIEG 2013 pubblica una unica serie di fattori di emissione non abbattuti per il settore della fusione secondaria del rame, mentre dalla precedenti edizioni dell’inventario delle emissioni della Lombardia è possibile ottenere alcuni fattori di emissione stimati da misure su impianti puntuali.

Al fine di conservare ipotesi omogenee tra i differenti inquinanti e rispettare le condizioni di congruenza con le emissioni di PTS, i fattori di emissione medi sono stati utilizzati per stimare all’inverso sui fattori non abbattuti l’efficienza di abbattimento media, pari al 96.72%. Tale valore è stato poi utilizzato per la definizione dei rimanenti fattori di emissione, tabella 7.

	PTS	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
	g/t	mg/t	mg/t	mg/t	mg/t	mg/t	mg/t	mg/t
AIEG 2013	320	1 400	2 300	-	28 000	130	110 000	-
FE da puntuali	10	1.74	58	146	411	146	149	1938
η ricalcolato	96.725%	99.876%	97.474%	-	98.534%	-	99.864%	-
INEMAR 2012	10	45.85589	75.33467	146	917.117742	146	3602.96256	1938

Tabella 7. Aggiornamento fattori di emissione per fusione secondaria del rame.

3.3.10 Produzione di alluminio di seconda fusione

Secondo la definizione dell’AIEG 2013 la fusione secondaria riguarda qualsiasi impianto o processo di recupero di materiali o rottami contenenti alluminio che non siano di origine estrattiva mineraria volti alla produzione di colate e lingotti. Generalmente il consumo energetico per il recupero secondario dell’alluminio è il 5% del fabbisogno per la produzione di alluminio primario. La tipologia di fornace dipende essenzialmente dal tipo di rottame impiegato. Per materiali di recupero nei cicli di produzione o rottami relativamente puliti possono essere utilizzate più frequentemente fornaci a risonanza ed induzione. Per rottami maggiormente contaminati si impiegano fornaci rotanti, basculanti o orizzontali. In base alla

tipologia di rottame è possibile che nel processo di recupero siano inserite fasi di pretrattamento. Ai rottami provenienti da manufatti coperti (per esempio le lattine) è rimossa la copertura durante la fase di pretrattamento e fusione. La raffinazione del metallo può avvenire nella fornace o con un successivo reattore per rimuovere gas ed altri metalli. Nel caso della presenza di magnesio, questo viene rimosso tramite trattamento con miscele gassose di cloro.

Il controllo delle emissioni può avvenire tramite captazione delle polveri sia nel caso di emissioni primarie che fuggitive. Filtri possono essere impiegati per ridurre le emissioni al di sotto di 10 mg/m³. La captazione dei fumi di processo costituisce un elemento critico nella riduzione delle emissioni in atmosfera dal momento che la presenza di impurità del materiale può determinare la formazione di contaminanti atmosferici in varie fasi del processo. La fornace può essere caratterizzata significativamente dalla presenza di più punti di emissione che debbono necessariamente essere captati dalla linea fumi. Per ridurre le emissioni fuggitive durante le fasi di carico/scarico possono essere impiegati differenti metodi tra cui la copertura delle porte di carico durante le fasi discontinue.

La combustione di coperture organiche dei rottami durante i pre-trattamenti o nella fornace di fusione e la captazione dei fumi rappresentano i punti maggiormente critici per le emissioni in atmosfera. Nel caso di buona progettazione e gestione dell'impianto le emissioni fuggitive possono essere di gran lunga inferiori a quelle captate. I processi possono essere anche caratterizzati da post-combustori per l'abbattimento dei COV e da scrubbers ad umido.



Figura 17. Fasi della produzione di alluminio primario e secondario. Fonte: <http://www.alueurope.eu/sustainability/life-cycle-assessment/>.

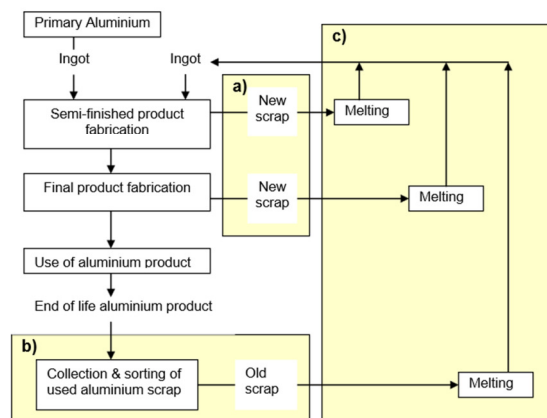


Figura 18. Possibili fasi del recupero di alluminio da rottami e semi-lavorati. Fonte: <http://www.alueurope.eu/wp-content/uploads/2011/09/2013-09-23-Aluminium-recycling-in-LCA.pdf>.

La produzione di alluminio primario per via elettrolitica impiega alluminia estratta dalla bauxite come principale materia prima, figura 17. Rispetto alle statistiche nazionali il volume di produzione primaria è attualmente del tutto trascurabile rispetto alla fusione secondaria. Come per gli altri metalli non ferrosi il recupero dell'alluminio può interessare sia prodotti intermedi nella fabbricazione dei manufatti che il recupero degli stessi al termine del ciclo di vita utile, figura 18. Il rapporto tra consumo apparente F e F+P è circa il 61%.

Per quanto riguarda i fattori di emissione AIEG 2013 considera come rilevanti per la fusione secondaria solo le emissioni di polveri. Di conseguenza sono estesi al 2012 i fattori di emissione precedentemente rilevati da sorgenti puntuali, tabella 8.

	PTS	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se
	g/t	mg/t	mg/t	mg/t	mg/t	mg/t	mg/t	mg/t	mg/t
AIEG 2013	2000	-	-	-	-	-	-	-	-
FE da puntuali	237	170	128	7390	342	11	657	1480	1
η ricalcolato	88%								
INEMAR 2012	237	170	128	7390	342	11	657	1480	1

Tabella 8. Aggiornamento fattori di emissione per fusione secondaria dell'alluminio.

Settore dei metalli ferrosi, acciaio (forno elettrico)

Come per gli altri settori la produzione di ghisa ed acciaio può impiegare: risorse minerarie, scarti di lavorazione e rottami da manufatti al termine di vita utile, figura 19. All'interno dell'inventario delle emissioni la fusione secondaria dei rottami è generalmente classificata allo SNAP 4.2.7 relativa al processo con forno elettrico.

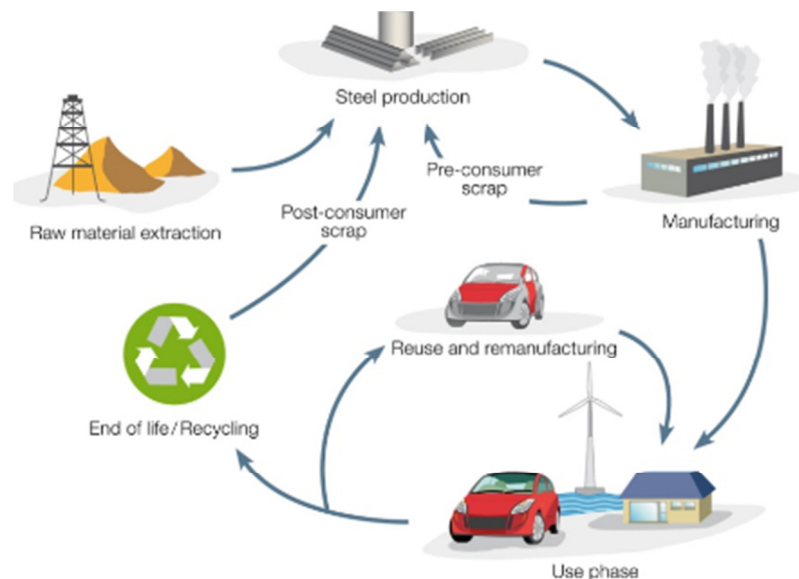


Figura 19. Processi di produzione dei metalli ferrosi. Fonte: <http://www.worldsteel.org/dms/internetDocumentList/downloads/publications/LCA-position-paper/document/LCA%20position%20paper.pdf>

Nel forno elettrico l'acciaio viene prodotto a partire da rottami. Secondo AIEG 2013 i rottami provengono principalmente da autovetture rottamate e presentano caratteristiche di composizione molto variabili. L'elettricità è fornita al forno tramite elettrodi di carbonio permettendo di raggiungere temperature fino a 1700°C. Generalmente sono introdotti nel forno anche: calce, antracite e ghisa ed in funzione della tipologia di acciaio da produrre: cromo, manganese, molibdeno e vanadio. La configurazione di processo è batch (discontinua) ed ogni ciclo di carico è caratterizzato da emissioni e descrivibile da: caricamento dei rottami, pre-riscaldamento, raffinazione con aggiunta di altri materiali e spillatura. Dopo CO e CO₂ le principali emissioni sono di polveri che al 60% sono inferiori a 10 µm.

L'impiego di rottami determina la presenza e le emissioni di metalli pesanti quali: Pb e Zn con presenze di Cu, Cr, Ni, As, Cd e Hg. Secondo AIEG 2013 sono invece emesse minori quantità di BC essendo correlato al PM2.5.

Le emissioni possono essere ridotte tramite l'adozione di buone pratiche gestionali del processo ed anche dalla installazione di sistemi di abbattimento delle polveri. La riduzione delle emissioni fuggitive può inoltre essere effettuata inserendo il forno all'interno di una area di contenimento. Il fabbisogno energetico è compreso tra 2 300 e 2 700 MJ per tonnellata di prodotto di cui 1 250-1 800 MJ/t sono relativi ai consumi di energia elettrica.

	PTS	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Zn
	g/t	mg/t	mg/t	mg/t	mg/t	mg/t	mg/t	mg/t	mg/t	mg/t
AIEG 2013	<u>30</u>	15	200	100	<u>20</u>	50	700	2600	-	3600
	<u>30</u>	8.1	120	105	<u>20</u>	<u>76</u>	410	1500	-	2300
	<u>30</u>	1	15	13	<u>20</u>	<u>1.6</u>	50	180	-	270
	<u>30</u>	0.1	1.5	1.3	<u>20</u>	<u>24</u>	5	18	-	27
FE da puntuali	13	93	15	15	22	27	69	185	35	1272
η ricalcolato	56.66%		92.5%	85%		46%	90.14%	92.88%		64.67%
INEMAR 2012	30	93	15	15	22	27	69	185	35	1272

Tabella 9. Aggiornamento fattori di emissione per la produzione di acciaio da forno elettrico.

I fattori di emissione dell'AIEG 2013 presentano in questo caso numerose disomogeneità relativamente alla % di abbattimento di differenti sistemi di depolverazione, tabella 9. In particolare si nota come AIEG 2013 mantenga lo stesso valore per le PTS e Cu mostrando anche delle non linearità su Hg.

Settore del trasporto su strada

In accordo con AIGE 2013 le emissioni di metalli pesanti sono calcolate tramite un fattore di emissione medio per consumo di differenti combustibili nella autotrazione e come speciazione delle polveri emesse a seguito della usura dei freni e dei pneumatici. I fattori di emissione da combustione tengono conto della usura delle componenti del motore e del contributo dei lubrificanti alle emissioni. Di conseguenza le tabelle riassuntive permettono di monitorare il contributo alle emissioni di HM da traffico dovuto a:

- combustione di carburante
- olio lubrificante
- usura delle parti del motore
- usura dei pneumatici
- usura dei freni

Il quadro generale prima delle modifiche, tabella 10:

	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Zn
$\mu\text{g}/\text{kg}$ di benzina verde		10	50	1700		70	20	10	1000
$\mu\text{g}/\text{kg}$ di diesel		10	50	1700		70		10	1000
$\mu\text{g}/\text{kg}$ di GPL									
$\mu\text{g}/\text{kg}$ di metano									
% PTS da pneumatici	0.0038	0.0047	0.0238			0.0299	0.176		
% PTS da freni	0.0675	0.0224	2.311			0.327	6.072		

Tabella 10. Fattori di emissione da traffico, precedenti edizioni.

L'aggiornamento ha interessato maggiormente i fattori di emissione da combustione, tabella 11:

	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Zn
$\mu\text{g}/\text{kg}$ di benzina verde	0.3	10.8	16	42	8.7	13	33.2	0.2	2163
$\mu\text{g}/\text{kg}$ di diesel	0.1	8.7	30	21.2	5.3	8.8	52.1	0.1	1738

$\mu\text{g}/\text{kg}$ di GPL	10.6	9.3	37.3	10.7		2130		
$\mu\text{g}/\text{kg}$ di metano	10.6	9.3	37.3	10.7		2130		
% PTS da pneumatici	0.0038	0.0047	0.0238	0.174	0.0299	0.176	0.02	7.434
% PTS da freni	0.0675	0.0224	2.311	51.112	0.327	6.072	0.02	8.676

Tabella 11. Aggiornamento fattori di emissione da traffico.

Altre sorgenti mobili e macchinari

Il settore delle emissioni off-road copre una larga gamma di apparecchiature che spaziano dai mezzi agricoli a quelli militari, figura 20. Le maggiori criticità nella stima delle emissioni comprendono: la difficoltà nel reperire dati di attività/consumo sufficientemente dettagliati, la classificazione delle differenti tipologie di apparecchi o delle flotte impiegate e la spazializzazione delle emissioni.



Figura 20. Possibili mezzi ed apparecchi del settore off-road. Fonte: <http://tfeip-secretariat.org/assets/Meetings/Presentations/Ghent-2014/Belgium-off-road.pdf>

Secondo le stime attuali questo settore è una sorgente rilevante per le emissioni di NOx, CO e PM2.5. La metodologia attualmente impiegata dall'AIEG 2013 comporta una articolazione degli algoritmi a differente grado di dettaglio in funzione della disponibilità dei dati. Incrementando il livello di dettaglio incrementa di molto la complessità delle procedure ed il numero di informazioni necessarie.

L'attuale versione dell'AIEG suggerisce l'impiego di statistiche nazionali di vendita sia dei combustibili che delle tecnologie e la ripartizione di percentuali di distribuzione delle tecnologie in funzione di dati industriali o di sondaggi mirati. Viene suggerito di aggregare i risultati degli inventari nel caso non siano disponibili sufficienti dettagli. Nell'impiego delle statistiche di uso dei combustibili viene rilevata da molti la difficoltà di scorporare il reale contributo non road di utilizzo dei carburanti. L'applicazione dell'algoritmo di stima di maggiore dettaglio richiede l'impiego di numerose informazioni la cui articolazione può richiedere lo sviluppo di moduli appositi. Un esempio fornito in ambito internazionale è il modello OFFREM (non attualmente disponibile al pubblico) sviluppato dal VITO che implementa l'algoritmo Tier 3 per la stima dettagliata delle emissioni da Off-road, figura 21. Utilizzando un approccio bottom – up sono necessari differenti indicatori, forestali o domestici, per effettuare la distribuzione spaziale delle emissioni.

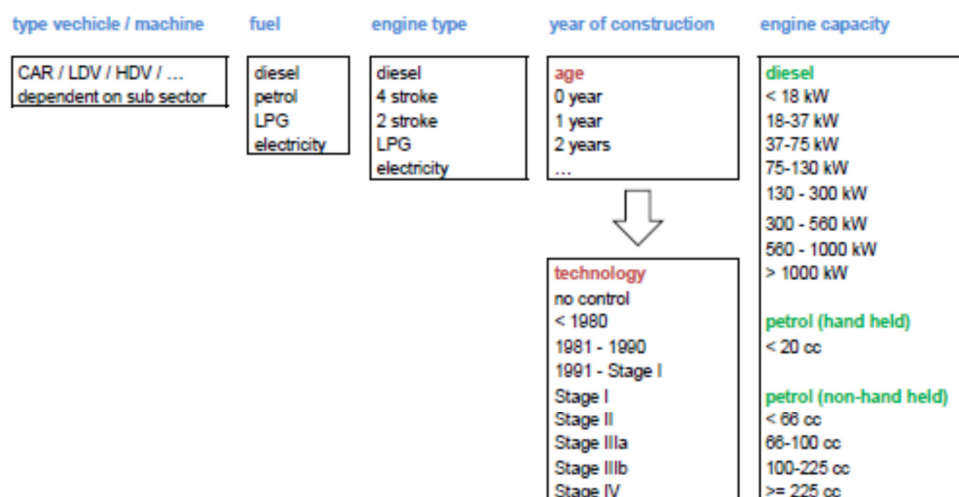


Figura 21. Livello di dettaglio dei dati necessari alle stime delle emissioni da Off-road tramite approccio bottom-up.. Fonte: <http://tfeip-secretariat.org/assets/Meetings/Presentations/Ghent-2014/Belgium-off-road.pdf>

Tuttavia le maggiori difficoltà si riscontrano nella definizione delle flotte, loro classi di età ed ore effettive di impiego. Per ottenere tali dati è possibile procedere tramite sondaggi mirati, per esempio su base web. L'incremento del livello di dettaglio di stima può complicare molto la raccolta dei dati. E' possibile identificare contributi anche di tipo ricreazionale come: quads e motocross, mentre l'incremento del dettaglio sul tipo di apparecchi nel settore costruzioni potrebbe richiedere la definizione di 25 differenti tipologie di veicoli.

Una esperienza più di tipo top-down può comportare l'impiego di un sondaggio mirato finalizzato ad identificare con maggiore accuratezza la ripartizione dell'utilizzo di combustibili in differenti settori e non solo in quello off-road. Il sondaggio può essere effettuato a monte del bilancio energetico e tuttavia non satura tutti i gradi di libertà necessari per la realizzazione di stime di massima accuratezza. Resta di difficile quantificazione l'individuazione della diffusione delle tecnologie, per es: la ripartizione tra 2 e 4 tempi o la separazione nei mezzi a terra aeroportuali tra movimento passeggeri e fork lifters.

Il quadro riassuntivo dei fattori di emissione per i metalli pesanti prende in considerazione i valori riportati dall'AIEG 2013 per l'algoritmo di tipo Tier 1, tabella.

				As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Zn
<i>Trasporti militari</i>	benzina verde	mg	GJ		0.23	1.14	38.7		1.59		0.23	22.76
	diesel	mg	GJ		0.23	1.14	38.7		1.59		0.23	22.76
<i>Locomotive di manovra</i>	diesel	mg	t		10	50	1700		70		10	1000
<i>Carrozze</i>	diesel	mg	t		10	50	1700		70		10	1000
<i>Locomotive</i>	diesel	mg	t		10	50	1700		70		10	1000
<i>Barche a motore/chiatte</i>	BFO	mg	t	680	20	720	1250	20	32000	180	210	1200
	MDO/MGO	mg	t	40	10	50	880	30	1000	130	100	1200
<i>Mezzi di supporto a terra</i>	diesel	mg	GJ		0.23	1.14	38.70		1.59		0.23	22.76
	benzina verde	mg	GJ		0.23	1.14	38.70		1.59		0.23	22.76
<i>Agricoltura</i>	benzina super	mg	GJ		17.10	11.40	39.80		11	5118	1.1	113.7
	benzina verde	mg	GJ	0.00 ⁴	0.23	1.14	38.70	0.00	1.59	0.39	0.23	22.76
	diesel	mg	GJ	0.00	0.23	1.17	39.83	0.00	1.64	0.75	0.23	23.43
<i>Silvicoltura</i>	benzina	mg	GJ	0.00	0.23	1.14	38.70	0.00	1.59	0.39	0.23	22.76

⁴ Valori dei fattori di emissione sono collassati a 0 per raggiunto limite di arrotondamento numerico del sistema

	verde											
Industria	diesel	mg	GJ	0.23	1.14	38.70		1.59	0.75	0.23	22.76	
	benzina verde	mg	GJ	0.23	1.14	38.70		1.59	0.39	0.23	22.76	
Giardinaggio ed altre attività domestiche	diesel	mg	GJ	0.00	0.23	1.17	39.83	0.00	1.64	0.75	0.23	23.43
	benzina super	mg	GJ	17.10	11.40	39.80		11.40	5118	1.10	113.7	
	benzina verde	mg	GJ	0.23	1.14	38.70		1.59		0.23	22.76	
	diesel	mg	GJ	0.23	1.14	38.70		1.59		0.23	22.76	

Tabella 12. Aggiornamento dei fattori di emissione per differenti comparti degli off-road.

Settore del trattamento di rifiuti

I fattori determinanti sulle emissioni di metalli pesanti analizzati al paragrafo sulle conoscenze attuali della fenomenologia sono sicuramente rilevanti per le emissioni di questi inquinanti nella combustione di rifiuti. L'analisi delle serie storiche delle emissioni puntuali misurate ai camini in questi impianti mostra come i fattori di emissione siano estremamente variabili anche sul breve periodo.

In generale l'analisi ha mostrato che per i rifiuti solidi urbani i fattori di emissione medi siano tendenzialmente diminuiti rispetto alle precedenti edizioni se non nel caso del Pb. Opposta considerazione invece nel caso dei rifiuti industriali, figura 22 e 23.

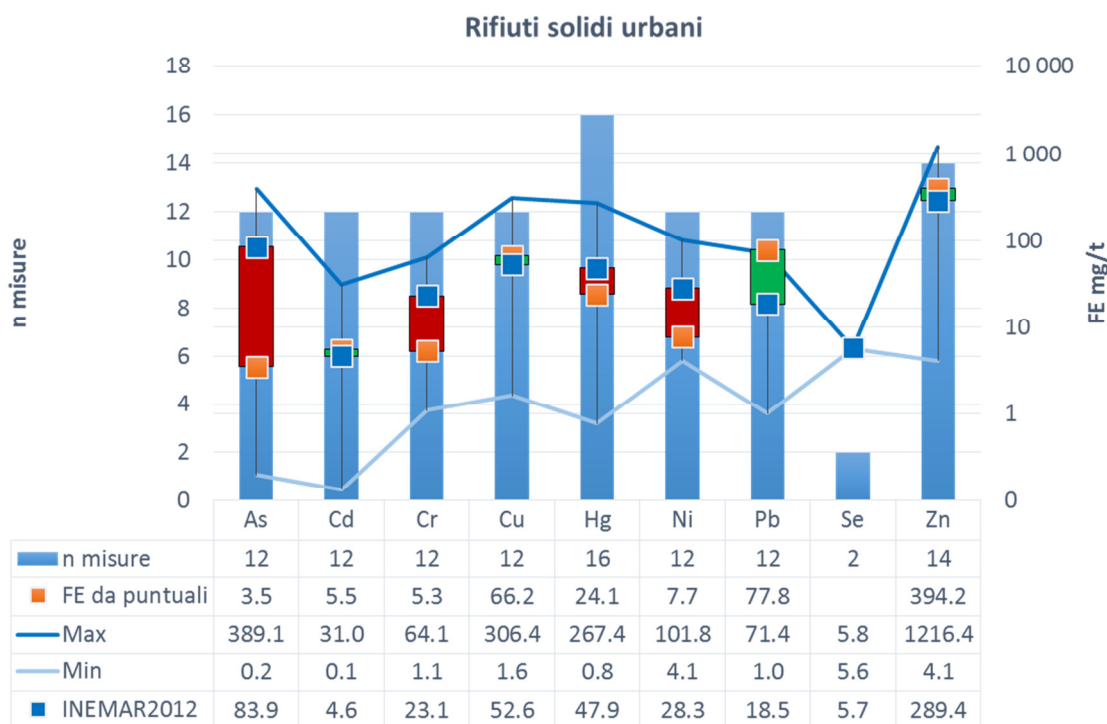


Figura 22. Fattori di emissione medi da puntuali misurate ed aggiornamento dei valori per l'incenerimento dei rifiuti solidi urbani.

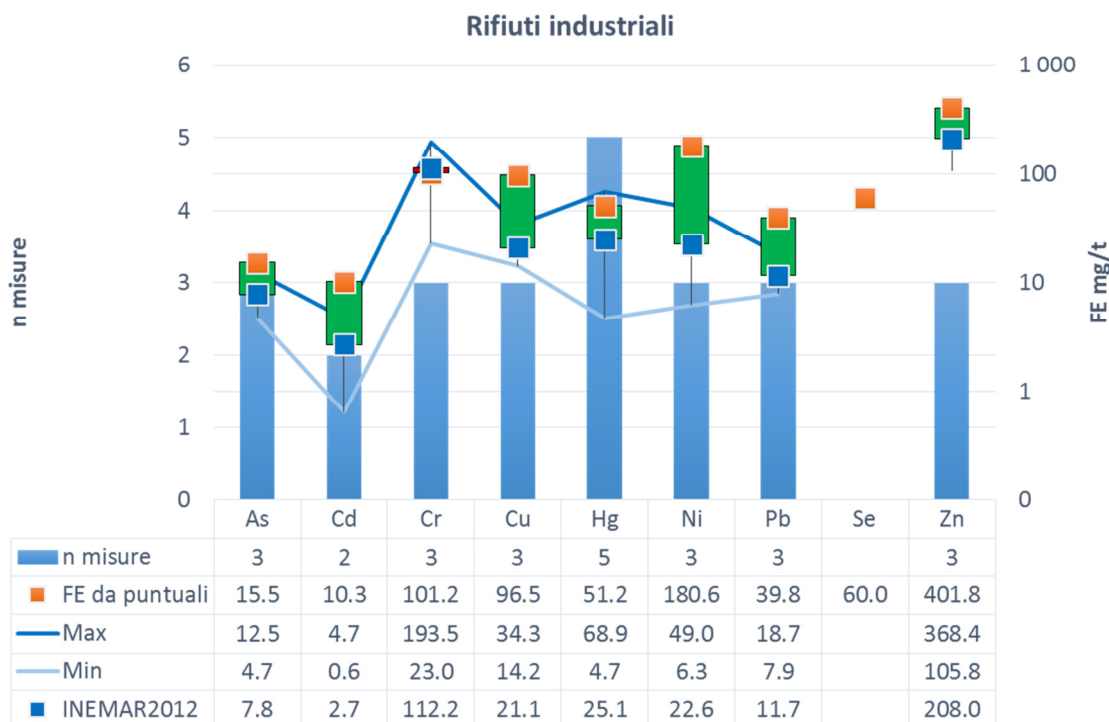


Figura 23. Fattori di emissione medi da puntuali misurate ed aggiornamento dei valori per l'incenerimento di rifiuti industriali.

Altre sorgenti di emissione

Torce di raffineria

L'ultima edizione delle linee guida europee per la compilazione degli inventari delle emissioni (AIEG), pubblicata nel 2013, dedica un capitolo specifico ai fattori di emissione di inquinanti derivanti da torce di raffineria (tabella 1) o dai processi estrattivi (<http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2013/part-b-sectoral-guidance-chapters/1-energy/1-b-fugitives/1-b-2-c-venting-flaring/view>). La frazione gassosa alimentata alla torcia può essere dovuta a scarichi pianificati o non. In quest'ultimo caso la torcia è utilizzata come dispositivo di sicurezza e controllo delle emissioni quando non è possibile recuperare il potere calorifico a causa di portate discontinue o intermittenti durante le fasi transitorie o di emergenza. I dispositivi sono quindi progettati per fare fronte allo smaltimento di portate e composizioni variabili e fluttuanti o per poter smaltire gas contenenti composti alogenati corrosivi o composti contenenti zolfo. Le torce elevate a vapore sono la configurazione tecnologica più utilizzata nelle raffinerie che nel loro funzionamento possono essere caratterizzate da una efficienza di combustione fino al 98% in funzione dei seguenti parametri⁵:

- eccesso di portata di vapore (vapore/gas < 2)
- sufficiente potere calorifico del gas alimentato (> MJ/m³)
- ridotta velocità del vento (< 10 m/s)
- sufficiente velocità di sbocco della miscela (> 10 m/s)

In funzione della composizione del gas da smaltire le emissioni di inquinanti in atmosfera derivanti dalla torcia possono consistere in composti organici incombusti (metano e COVNM), intermedi e prodotti di combustione (fuliggine, CO, NO_x) e ossidi di zolfo (SO₂ in funzione del contenuto di zolfo nel gas alimentato). L'iniezione di vapore ha l'obiettivo di ridurre il fumo e le emissioni di NO_x, riducendo la

⁵ MacDonald R.J. (1990). 'Industrial flare efficiency', University of Waterloo. Report prepared for the Industrial Program Branch, Environment Canada.

temperatura di fiamma. L'Incremento della efficienza di combustione può invece ridurre le emissioni di CH4 e COVNM.

Fattori di emissione forniti dalle linee guida sono stati ottenuti dal documento del CONCAWE del 2009 (https://www.concawe.eu/DocShareNoFrame/docs/1/PGFLNCNDFCNHBEAKPMFFPGHBEVCBG9Y9YBD73BDCGA3/CEnet/docs/DLS/Rpt_09-1-2009-00893-01-E.pdf) e sono riassunti nella tabella di seguito, tabella 13:

	PTS	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Zn
	g/t	mg/t	mg/t	mg/t	mg/t	mg/t	mg/t	mg/t	mg/t	mg/t
INEMAR2012	0.89	0.3	0.7	3	2	0.09	4	2	-	26

Tabella 13. Fattori di emissione per torce di raffineria.

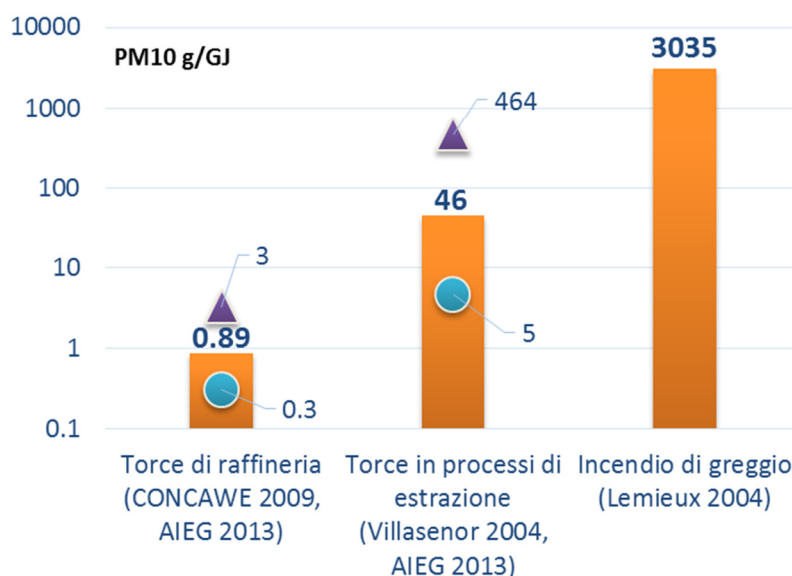


Figura 24. Confronto dei range di variabilità dei fattori di emissione per torce di raffineria, torce nella industria estrattiva e per incendi incontrollati di greggio (barre: valori medi; simboli: intervallo di confidenza).

Il grafico di figura 24 riassume quanto reperibile nella linee guida europee e nella letteratura scientifica per il PM10. I valori dei fattori di emissione sono stati convertiti, ove necessario, utilizzando come riportato dall'AIEG 2013, un potere calorifico di 45 MJ/m³ ed una densità di 0.8 kg/m³. Dove possibile sono stati indicati gli intervalli di confidenza dei range di variazione dei fattori di emissione. Il valore relativo alla combustione incontrollata di greggio è riportato solo a titolo di confronto. Ragionevolmente il fattore di emissione aumenta nel caso di torce della fase estrattiva.

Utilizzo di fuochi d'artificio

Secondo i dati riportati per una campagna specifica di misurazione⁶ a Milano durante un episodio di utilizzo intensivo di fuochi d'artificio elementi tipicamente emessi in tale contesto risultano: Sr (incrementa di 120 volte), Mg (22 volte), Ba (12 volte), K (11 volte) e Cu (6 volte). Durante l'evento è stato stimato come le emissioni da fuochi d'artificio abbiano contribuito al 50% della massa totale del PM10 (ca. 33.6 µg/m³ su un totale di concentrazione media su 4 ore di 63.9 µg/m³).

La nuova edizione del AIEG 2013 riporta fattori di emissione medi che utilizzano come indicatore le tonnellate di materiale pirotecnico esploso. Tale indicatore è risultato particolarmente di difficile definizione su scala locale tanto dall'aver indotto nei precedenti lavori dell'inventario una definizione del fattore di emissione delle PTS pro capite. Confrontando tale valore del fattore di emissione espresso in

⁶ R. Vecchi, V. Bernardoni, D. Cricchio, A. D'Alessandro, P. Fermo, F. Lucarelli, S. Nava, A. Piazzalunga, G. Valli, The impact of fireworks on airborne particles, Atmospheric Environment, Volume 42, Issue 6, February 2008, Pages 1121-1132, ISSN 1352-2310, <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2007.10.047>.

g/pro capite con quello dello stesso inquinante dell'AIEG 2013 è possibile stimare che implicitamente si è ipotizzato un consumo di circa 320 gr di materiale esplodibile per abitante della Lombardia. Utilizzando questo coefficiente è possibile esprimere tutti gli FE in mg/pro capite, tabella 14.

	PTS	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Zn
	g	mg	mg	mg	mg	mg	mg	mg	mg	mg
<i>per t esplosa (AIEG2013)</i>	109830	1330	1480	15600	444000	57	30000	784000	-	260000
<i>pro capite (PTS INEMAR e AIEG 2013)</i>	35	0.4	0.5	5.0	141.5	0.018	9.6	249.8	-	82.9
<i>pro capite (Vecchi et al. 2008)</i>				11.5	109.4		5.2	59.4	-	197.9
INEMAR 2012	35	0.4	0.5	11.5	109.4	0.018	5.2	59.4	-	197.9

Tabella 14. Aggiornamento dei fattori di emissione da esplosione dei fuochi d'artificio.

Considerando invece le concentrazioni di elementi misurare nell'area di Milano e la concentrazione stimata media di PM determinata dai fuochi d'artificio nello stesso periodo è possibile ottenere un profilo di speciazione da applicare sempre al fattore di emissione delle PTS già presente in INEMAR. I valori confrontabili mostrano un buon accordo almeno dal punto di vista qualitativo se non nel caso del Pb.

Analisi sistematica del database dei fattori di emissione

L'intera base dati dei fattori di emissione degli HM è stata analizzata implementando un algoritmo per la identificazione degli outlayers. La definizione degli indicatori statistici necessari, che debbono essere comunque adattati al caso specifico del database INEMAR si trova sul sito del NIST:

<http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/eda/section3/eda35h.htm>

Il principio di analisi è che il fattore di emissione di un determinato metallo pesante definito per una coppia di attività, combustibile non si discosti troppo dalla media definita per lo stesso metallo considerando lo stesso combustibile. L'indicatore⁷:

$$M_i = \frac{0.6745(x_i - \bar{x})}{MAD}$$

è stimato per ogni record del database rispetto alla distribuzione di tutti i dati.

M2: quanto il record si discosta dai valori della popolazione di tecnologie per ATT e COMB assegnati

M1: quanto il record si discosta dai valori della popolazione di tecnologie che impiegano lo stesso combustibile

M0: quanto il record si discosta dai valori della popolazione di tutti i dati di consumo del database.

Ordinando questi scores (che si chiamano Z scores modificati) si ottengono i potenziali outlayers dei dati ma allo stesso tempo anche eventuali hot-spot dell'inventario.

⁷ Boris Iglewicz and David Hoaglin (1993), "Volume 16: How to Detect and Handle Outliers", The ASQC Basic References in Quality Control: Statistical Techniques, Edward F. Mykytka, Ph.D., Editor.

Stima delle emissioni per il 2012 in Lombardia

Le mappe di seguito riportano la spazializzazione delle emissioni stimata per il 2012 ed espressa come emissioni comunali in Kg al Km² di superficie comunale.

