



CISMA Srl - Società di Ingegneria

www.cisma.it - info@cisma.it

Sede legale Bolzano - c/o IDM Südtirol:
via Siemens 19, 39100 Bolzano
Tel 0471.094724/26 - Fax 0471.094723

Sede Trento:
via Malpaga 8, 38122 Trento
Tel 0461.262264

Inventario delle emissioni in atmosfera

Committente



Agenzia provinciale per
l'ambiente
Ufficio Aria e rumore

Documento	Data	Autore
------------------	-------------	---------------

2015_08_EMI_s/IT	21/11/2016	Ing. Andrea Cemin
------------------	------------	-------------------

Responsabile

Ing. Gianluca Antonacci

Indice

Indice delle figure.....	2
Indice delle Tabelle	4
Parte Generale	5
Ossidi di zolfo (SO _x)	13
Ossidi di azoto (NO _x)	15
Materiale Particolato (PM10, PM2.5)	21
Monossido di carbonio (CO).....	26
Ammoniaca (NH ₃).....	26
Idrocarburi policiclici aromatici (IPA).....	27
Composti organici volatili (COV).....	28
Metalli pesanti	29
Gas climalteranti	30
Emissioni di CO ₂ lorda e CO ₂ netta.....	30
Emissioni di CH ₄	32
Emissioni di N ₂ O	32
CO ₂ equivalente e Global Warming Potenzial	33
Emissioni di CO ₂ equivalente.....	34
Assorbimenti di Carbonio.....	35
APPENDICE.....	37
Inquinanti di origine secondaria	37
Materiale particolato d'origine secondaria (PM _{2,5} e PM ₁₀)	37
Biossido di azoto d'origine secondaria (NO ₂)	37
Ozono (O ₃).....	38

Indice delle figure

Figura 1: Distribuzione percentuale delle emissioni dei macroinquinanti e gas climalteranti per macrosettore (anno 2010).....	8
Figura 2: Distribuzione percentuale delle emissioni dei macroinquinanti e gas climalteranti per macrosettore (anno 2013).....	9
Figura 3: Distribuzione percentuale delle emissioni dei microinquinanti per macrosettore (anno 2013)	12

Figura 4: Distribuzione percentuale delle emissioni di SO ₂ in relazione al macrosettore (anno 2013).....	14
Figura 5: Distribuzione percentuale delle emissioni di SO ₂ in relazione al combustibile (anno 2013).....	14
Figura 6: Distribuzione territoriale delle emissioni di SO ₂ (anno 2013).....	15
Figura 7: Trend delle emissioni di NO _x nell'inventario della Provincia di Bolzano.....	16
Figura 8: Vecchi e nuovi fattori di emissione degli NO _x per le autovetture diesel (HBEFA)	17
Figura 9: Nuovi fattori di emissione per NO e NO ₂ da autovetture diesel / 110 km/h – HBEFA 3.2 (valore Euro 6 stimato sulla base di poche misure in campo).....	18
Figura 10: Quota percentuale di emissioni di NO _x per tipologia di veicolo sulla A22 (2013)	19
Figura 11: Composizione del traffico pesante (> 3,5 t) alla frontiera del Brennero (ASFINAG 01/2015)	19
Figura 12: Quota percentuale di emissioni di NO _x per tipologia di strada in Alto Adige (2013)	20
Figura 13: Distribuzione territoriale delle emissioni di NO _x (2013) ³	21
Figura 14: Distribuzione percentuale delle emissioni di PM ₁₀ per tipo di fonte (2013).....	23
Figura 15: Utilizzo di legna da ardere nei comuni altoatesini.....	23
Figura 16: Confronto delle emissioni di PM ₁₀ per tipo di fonte nei comuni di Laces e Bolzano (2013)	24
Figura 17 - Distribuzione territoriale delle emissioni di PM ₁₀ (2013) ³	25
Figura 18: Distribuzione percentuale delle emissioni di CO per tipo di fonte (2013).....	26
Figura 19: Distribuzione percentuale delle emissioni di NH ₃ per tipo di fonte (2013)	27
Figura 20 - Distribuzione percentuale delle emissioni di COV per tipo di fonte (2013).....	28
Figura 21: Distribuzione percentuale delle emissioni di CO ₂ lorda per macrosettore (2013) .	31
Figura 22: Distribuzione percentuale delle emissioni di CO ₂ netta per macrosettore (2013) ..	31
Figura 23: Quota percentuale di emissioni di CO ₂ per tipologia di strada in Alto Adige (2013)	32
Figura 24: Distribuzione percentuale delle emissioni di CH ₄ per tipo di fonte (2013).....	32
Figura 25: Distribuzione percentuale delle emissioni di N ₂ O per tipo di fonte (2013)	33
Figura 26: Contributo dei singoli inquinanti alle emissioni di CO ₂ Equivalente.....	34
Figura 27: Distribuzione percentuale delle emissioni di CO ₂ equivalente per macrosettore (2013)	34
Figura 28: Assorbimento di CO ₂ del macrosettore 11 (kt).....	35

Indice delle Tabelle

Tabella 1: Macroinquinanti atmosferici e “gas-serra” considerati nell’inventario della Provincia di Bolzano	5
Tabella 2: Microinquinanti atmosferici considerati nell’inventario della Provincia di Bolzano	6
Tabella 3: Macrosettori dell’inventario delle emissioni.....	7
Tabella 4: Emissioni di macroinquinanti negli anni 2010 e 2013.....	10
Tabella 5: Emissioni di gas climalteranti nel 2010 e nel 2013 (la combustione di biomassa viene considerata neutrale e quindi con emissione di CO ₂ uguale a zero).....	11
Tabella 6 Distribuzione percentuale delle emissioni di B(a)P per macrosettore (2013).....	28
Tabella 7: Coefficienti utilizzati per il calcolo della CO ₂ equivalente.....	33
Tabella 8: Emissioni di CO ₂ netta ed equivalente al netto della quota assorbita	36

Parte Generale

L'inventario delle emissioni consente di quantificare ed organizzare i dati d'emissione degli inquinanti atmosferici più rilevanti secondo la loro collocazione territoriale e temporale:

Macroinquinanti

<i>Nome</i>	<i>Formula chimica</i>	<i>Unità misura</i>
Ammoniaca	NH ₃	[t/anno]
Composti organici volatili (non metanici)	NMCOV	[t/anno]
Monossido di carbonio	CO	[t/anno]
Biossido di zolfo	SO ₂	[t/anno]
Polveri < 2.5 µm	PM2.5	[t/anno]
Polveri < 10 µm	PM10	[t/anno]
Polveri totali	PTS	[t/anno]
Ossidi di azoto	NO _x	[t/anno]

Gas climalteranti (gas ad effetto serra)

<i>Nome</i>	<i>Formula chimica</i>	<i>Unità misura</i>
Anidride carbonica	CO ₂	[kt/anno]
Metano	CH ₄	[t/anno]
Protossido di azoto	N ₂ O	[t/anno]

Tabella 1: Macroinquinanti atmosferici e "gas-serra" considerati nell'inventario della Provincia di Bolzano

Microinquinanti

INORGANICI		
Nome	Formula chimica	Unità misura
Arsenico	As	[kg/anno]
Piombo	Pb	[kg/anno]
Cadmio	Cd	[kg/anno]
Cromo	Cr	[kg/anno]
Rame	Cu	[kg/anno]
Manganese	Mn	[kg/anno]
Nichel	Ni	[kg/anno]
Mercurio	Hg	[kg/anno]
Selenio	Se	[kg/anno]
Zinco	Zn	[kg/anno]
ORGANICI		
Nome	Formula chimica	Unità misura
Benzo[a]pirene	BaP	[kg/anno]
Benzo(b)fluorantene	BbF	[kg/anno]
Benzo(k)fluorantene	BkF	[kg/anno]
Idrocarburi policiclici aromatici	IPA	[kg/anno]
Policlorobifenili	PCB	[kg/Jahr]
Policloro-dibenzo-p-diossine / Policloro-dibenzofurani	PCDD/F	[mg/anno]

Tabella 2: Microinquinanti atmosferici considerati nell'inventario della Provincia di Bolzano

Nell'elaborazione dell'inventario delle emissioni si sono tenute in considerazione tutte le fonti emissive e le relative cause. Per gli impianti soggetti ad autorizzazione alle emissioni e che sono tenuti ad eseguire misure di emissione con cadenza annuale, le emissioni sono state calcolate sulla base dei dati di analisi disponibili. Per tutti gli altri impianti e per tutte le altre fonti emissive di cui non si dispone di dati di analisi al camino (la maggior parte delle fonti emissive), le emissioni sono state calcolate con l'ausilio di indicatori o parametri statistici (ad

es. quantità prodotte, popolazione, ecc.) e di specifici fattori di emissione riferiti alle singole attività censite. Inoltre, le fonti ed i relativi dati d'emissione sono stati aggregati in settori a diverso grado di definizione delle singole attività considerate. A tale scopo è stata utilizzata la classificazione europea (CORINAIR / SNAP 97) che aggrega le emissioni nei seguenti macrosettori:

Macrosettore	
1	Produzione di energia e trasformazione combustibili (ad es. teleriscaldamenti)
2	Combustione non industriale (ad es. Impianti termici domestici)
3	Combustione nell'industria (ad es. forni fusori)
4	Processi produttivi (ad es. produzione di prodotti chimici)
5	Estrazione e distribuzione combustibili (ad es. distributori di benzina)
6	Uso di solventi (ad es. attività di verniciatura)
7	Trasporto su strada
8	Altre sorgenti mobili e macchinari (ad es. traffico aereo)
9	Trattamento e smaltimento rifiuti (ad es. impianti di incenerimento rifiuti)
10	Agricoltura (ad es. l'utilizzo di erbicidi e fertilizzanti)
11	Altre sorgenti ed assorbimenti (ad es. foreste)

Tabella 3: Macrosettori dell'inventario delle emissioni

Per la Provincia di Bolzano sono attualmente (2015) disponibili gli inventari delle emissioni riferiti agli anni 1997, 2000, 2004, 2005, 2007, 2010 e 2013. E' importante ricordare che nella realizzazione delle vari edizioni inventariali sono stati applicati aggiornamenti e metodiche nuove che hanno portato a modifiche dei fattori di emissione ed all'articolazione in nuove attività. Di conseguenza, in determinati settori, le emissioni non sono direttamente confrontabili tra i vari inventari.

A partire dall'inventario 2005, per il calcolo e la gestione dei dati di emissione è stato utilizzato il sistema INEMAR (Inventario delle Emissioni in Aria). Il calcolo delle emissioni in atmosfera per inquinante è stato effettuato per le emissioni puntuali, lineari e diffuse e successivamente aggregato per comune, e per combustibile.

Di seguito si riportano in forma tabellare e grafica i dati di emissione del 2010 e 2013:

Macroinquinanti e gas climalteranti

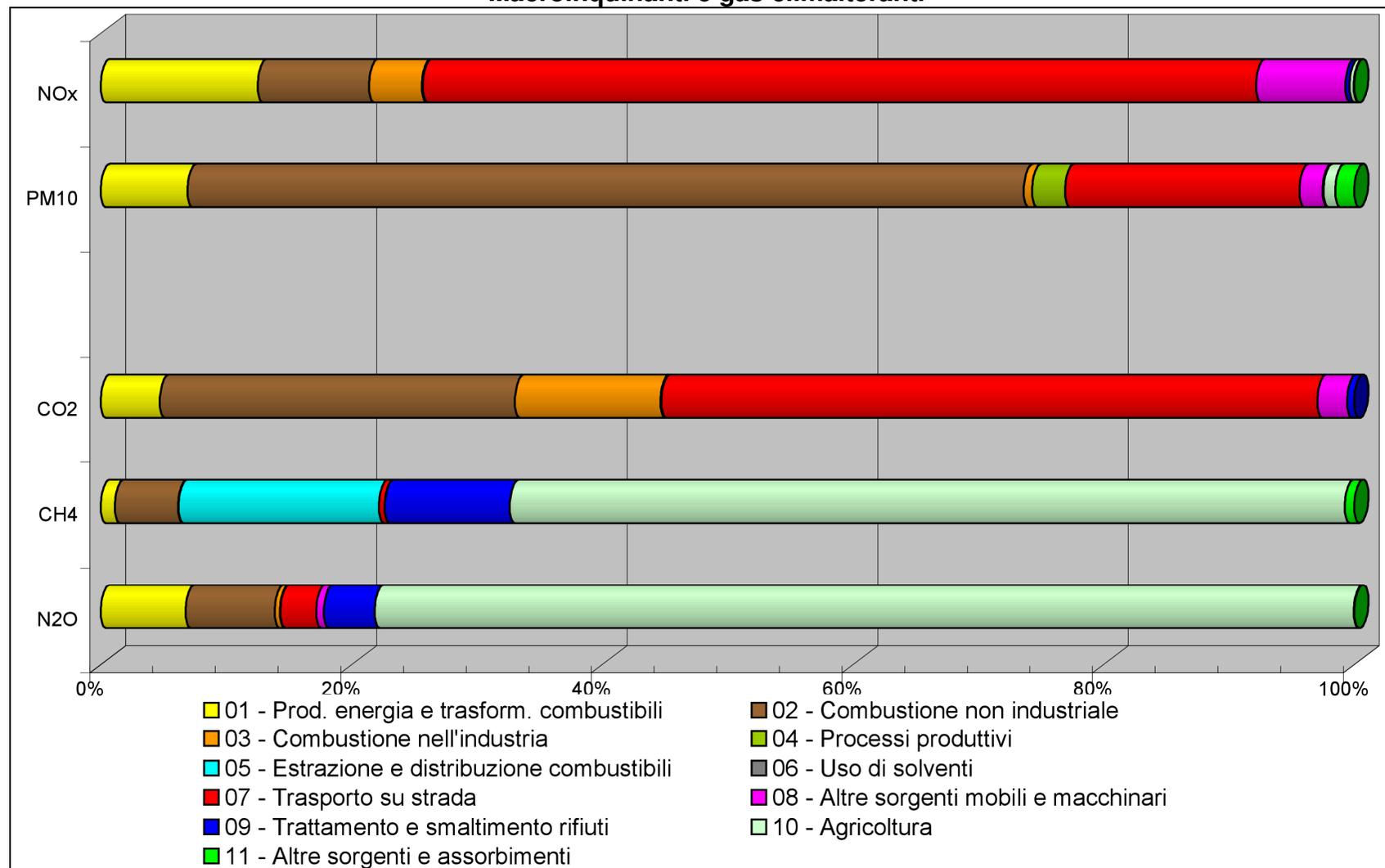


Figura 1: Distribuzione percentuale delle emissioni dei macroinquinanti e gas climalteranti per macrosetto (anno 2010)

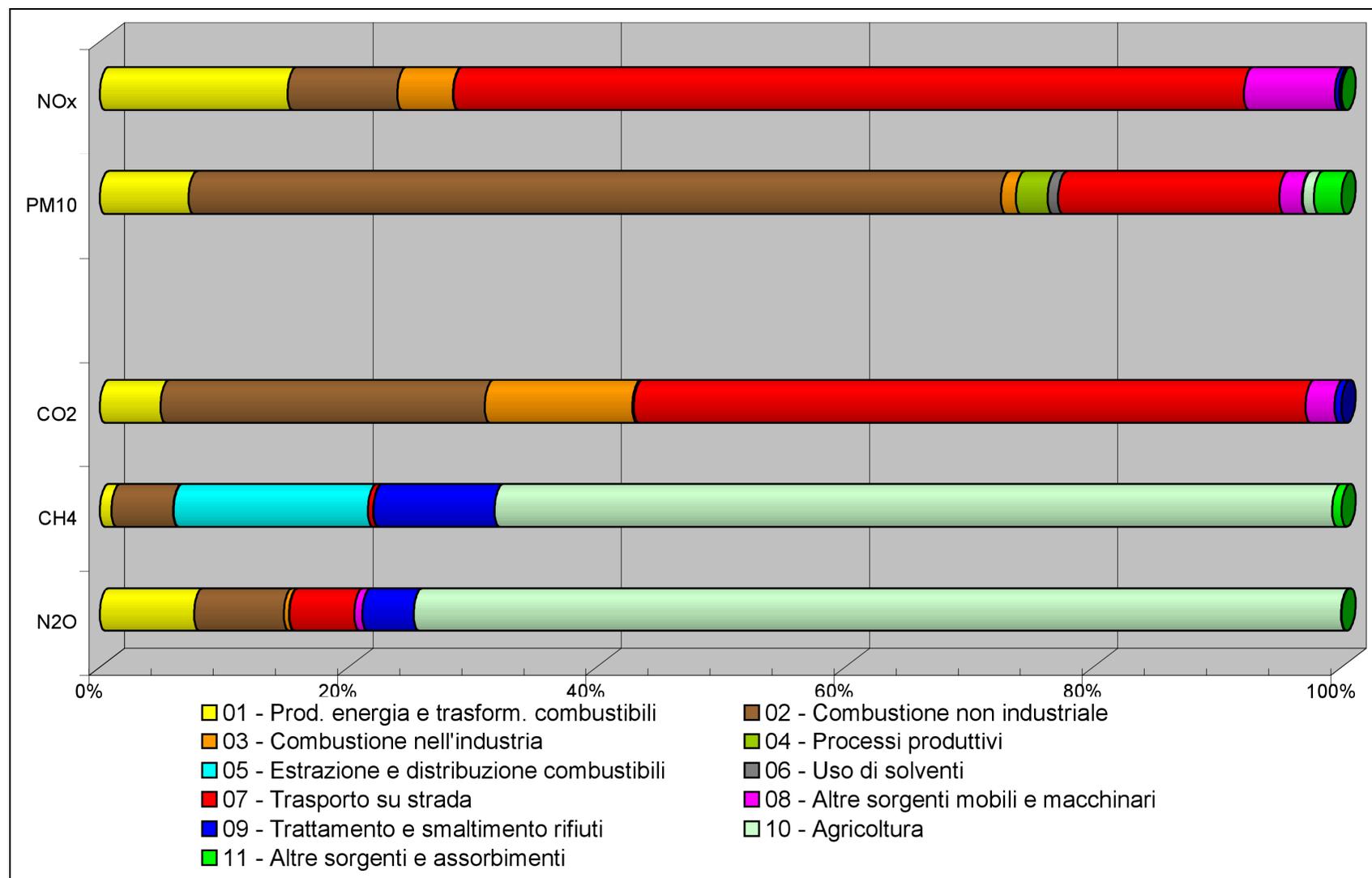


Figura 2: Distribuzione percentuale delle emissioni dei macroinquinanti e gas climalteranti per macrosettore (anno 2013)

Macrosettore	Inquinante	anno	CO [t]	COV [t]	NH ₃ [t]	NO _x [t]	PM10 [t]	PM2.5 [t]	PTS [t]	SO ₂ [t]
Produzione di energia e combustibili		2010	372	75	-	973	117	112	124	146
		2013	448	79	-	1.142	124	119	131	49
Combustione non industriale		2010	11.439	828	29	690	1.126	1.112	1.185	150
		2013	11.531	833	30	665	1.134	1.120	1.194	132
Combustione nell'industria		2010	121	64	1	326	11	10	14	175
		2013	123	64	1	338	21	19	24	175
Processi produttivi ¹		2010	47	193	-	5	44	16	49	3
		2013	47	193	-	5	44	16	50	3
Estrazione e distribuzione combustibili		2010	-	314	-	-	-	-	-	-
		2013	-	314	-	-	-	-	-	-
Uso di solventi ²		2010	-	1.445	-	-	-	-	-	-
		2013	-	1.445	-	-	15	14	20	-
Trasporto su strada		2010	5.831	656	83	5.167	315	246	407	7
		2013	4.797	965	63	4.804	309	229	405	8
Altre sorgenti mobili e macchinari ¹		2010	350	68	0	553	31	29	31	4
		2013	350	68	0	553	31	29	31	4
Trattamento e smaltimento rifiuti		2010	13	3	3	26	1	1	1	5
		2013	11	3	3	24	1	1	1	5
Agricoltura		2010	-	3.879	5.213	26	16	5	39	-
		2013	-	3.899	5.138	12	16	5	39	-
Altre sorgenti ed assorbimenti		2010	39	23.624	0	2	25	25	25	0
		2013	39	26.521	0	2	38	38	38	0
Totale		2010	18.213	31.149	5.328	7.767	1.688	1.555	1.876	490
		2013	17.347	34.383	5.234	7.544	1.733	1.590	1.933	376
Variazione			-5%	10%	-2%	-3%	3%	2%	3%	-23%

Tabella 4: Emissioni di macroinquinanti negli anni 2010 e 2013

¹ Dato registrato nel 2010 e riportato inalterato per il 2013² Valori di polveri 2013 dovuti a modifica della metodologia di calcolo (nuovi fattori di emissione)

Macrosettore	Inquinante	anno	CO ₂ [kt]	CH ₄ [t]	N ₂ O [t]
Produzione di energia e trasformazione combustibili		2010	101	220	52
		2013	106	183	56
Combustione non industriale		2010	608	980	54
		2013	569	986	53
Combustione nell'industria		2010	249	6	3
		2013	260	7	3
Processi produttivi ¹		2010	2	0	0
		2013	2	0	0
Estrazione e distribuzione combustibili		2010	-	3.104	-
		2013	-	3.104	-
Trasporto su strada		2010	1.123	90	22
		2013	1.179	88	39
Altre sorgenti mobili e macchinari ¹		2010	51	2	5
		2013	51	2	5
Trattamento e smaltimento rifiuti		2010	12	1.939	31
		2013	12	1.937	31
Agricoltura		2010	-	12.942	596
		2013	-	13.384	553
Altre sorgenti ed assorbimenti		2010	-	144	0
		2013	-	144	0
Totale		2010	2.147	19.428	763
		2013	2.179	19.835	741
			2%	2%	-3%

Tabella 5: Emissioni di gas climalteranti nel 2010 e nel 2013 (la combustione di biomassa viene considerata neutrale e quindi con emissione di CO₂ uguale a zero)

Microinquinanti

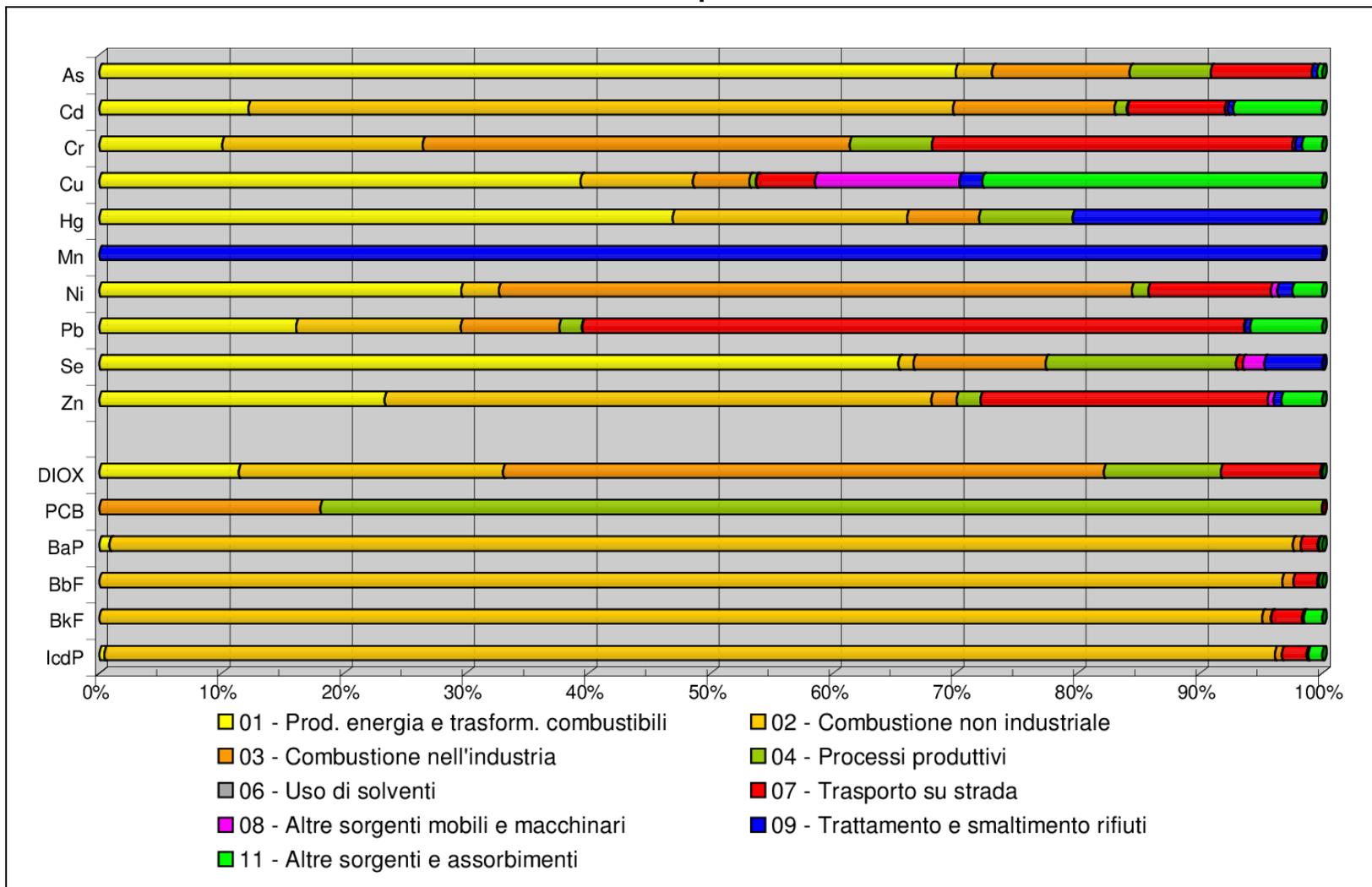


Figura 3: Distribuzione percentuale delle emissioni dei microinquinanti per macrosettore (anno 2013)

Dai grafici relativi ai macroinquinanti (Figura 1 e Figura 2) è facilmente riconoscibile come il traffico stradale ed i processi di combustione non industriali (in particolare il riscaldamento) siano i due settori con la maggior quantità di emissioni. In particolare, per quanto concerne i livelli di concentrazione nell'aria ambiente del biossido di azoto (NO_2) che in alcune stazioni di misura risultano ancora superiori ai valori limite, si noti come dalla somma di questi due settori risulti un quota di emissioni di ossidi di azoto superiore all'70% del totale.

Un quadro di maggiore dettaglio sulle emissioni, lo si può ottenere dall'analisi per singolo inquinante atmosferico di seguito riportata:

Ossidi di zolfo (SO_x)

Il biossido di zolfo (SO_2) è tossico per la salute umana, contribuisce in modo determinante alla formazione delle piogge acide ed è coinvolto nella formazione di materiale particolato nell'atmosfera. L' SO_2 si forma principalmente dalla combustione di combustibili contenuti zolfo (ad es. derivati del petrolio e carbone).

Dall'entrata in vigore della legge provinciale 16 marzo 2000, n. 8, in Alto Adige è stato interdetto quasi totalmente l'utilizzo di carbone come combustibile. L'utilizzo dei derivati del petrolio è invece consentito sotto forma di gasolio da riscaldamento, olio combustibile e carburanti da autotrazione (in particolare diesel). L'applicazione di una serie di direttive europee ha prodotto negli ultimi due decenni una notevole diminuzione della presenza di zolfo nei combustibili sia nel settore dei trasporti stradali che nel settore della produzione di calore (gasolio da riscaldamento e oli pesanti). L'utilizzo di olio combustibile ai fini del riscaldamento domestico è inoltre vietato dalla legge provinciale e pertanto in Alto Adige, gli stessi sono utilizzati solo in alcune attività produttive. La progressiva metanizzazione del territorio ha infine dato un notevole contributo di riduzione permettendo a moltissime attività di abbandonare il gasolio e gli oli combustibili per passare ad un combustibile decisamente meno inquinante (e non solo dal punto di vista dell' SO_2).

Da quanto sopra descritto ne deriva di conseguenza che in Alto Adige le attività produttive sono la maggiore fonte di emissione di SO_2 .

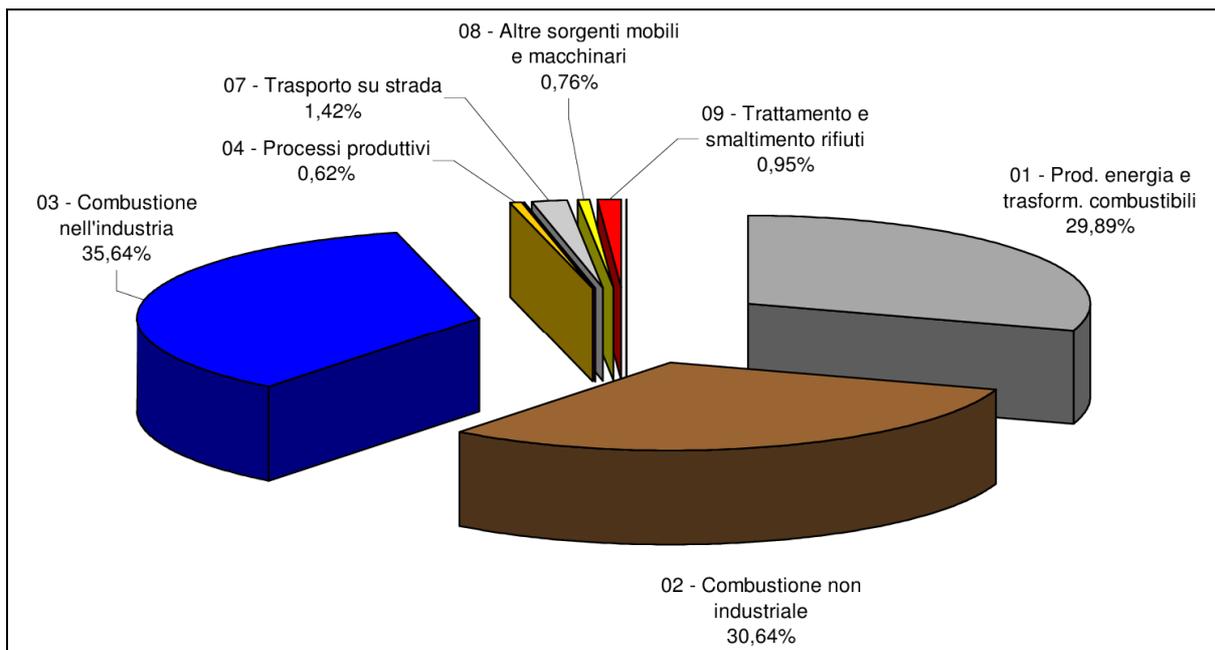


Figura 4: Distribuzione percentuale delle emissioni di SO₂ in relazione al macrosettore (anno 2013)

L'analisi delle emissioni di SO₂ dai processi di combustione ci indica il ruolo fondamentale dei combustibili liquidi ed in particolare dell'olio combustibile e del gasolio da riscaldamento. Si osserva come le emissioni di quest'ultimo e del diesel siano minori di quelle da olio combustibile nonostante che il loro consumo annuo risulti essere decisamente superiore.

Va infine sottolineato come la forte riduzione delle emissioni generate da questi combustibili abbia portato ad un incremento del peso delle emissioni da riscaldamento a legna (ora al 22%) e delle attività senza combustibile (10,25%) rispetto agli inventari precedenti.

Nella distribuzione territoriale delle emissioni (Figura 6) è possibile riconoscere, oltre all'autostrada, le aree in cui sono insediate le attività produttive e le zone abitative dove si utilizza ancora gasolio da riscaldamento.

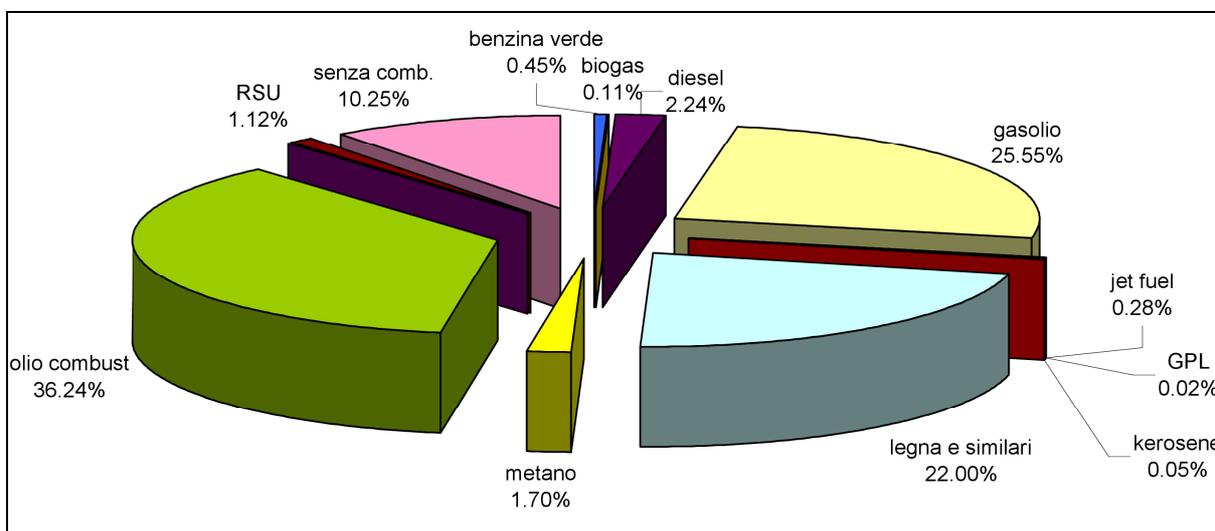


Figura 5: Distribuzione percentuale delle emissioni di SO₂ in relazione al combustibile (anno 2013)

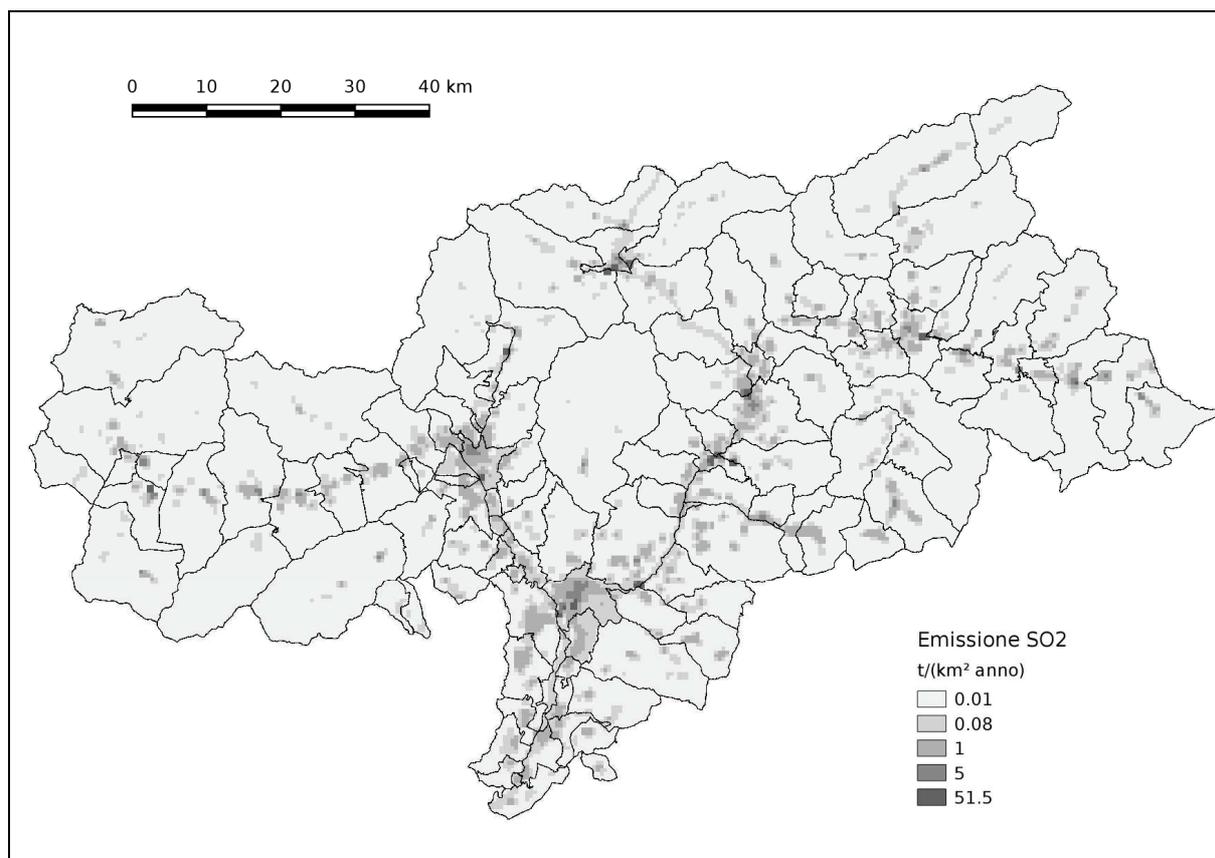


Figura 6: Distribuzione territoriale delle emissioni di SO₂ (anno 2013)³

Ossidi di azoto (NO_x)

Gli ossidi di azoto (NO e NO₂) sono irritanti per gli organi respiratori e concorrono alla formazione di piogge acide. Il loro contributo è inoltre importante nella formazione di materiale particolato secondario (PM) e nella formazione di ozono nella troposfera (O₃).

La formazione di NO_x trova origine anch'essa nei processi di combustione ed in particolare in quelli in cui sono raggiunte alte temperature. La fonte principale è il traffico stradale. A tale riguardo vi è da sottolineare come da una parte, le sempre più stringenti norme europee sui limiti di emissione degli autoveicoli spingono ad importanti migliorie dei motori e del trattamento dei gas di scarico, mentre dall'altra il costante aumento dei chilometri percorsi dai veicoli a motore, tende ad annullare la riduzione delle emissioni così ottenuta.

³ Ai fini della distribuzione territoriale delle emissioni è stato utilizzata la copertura del suolo CORINE per generare una griglia di celle di 0,5 km per lato a cui sono state assegnate le emissioni dei singoli inquinanti.

Le migliorie più significative nel settore della riduzione delle emissioni derivano dalle cosiddette “classi euro” ed in particolare, per quanto concerne gli NO_x , da quanto previsto per la classe Euro 6 in quanto impongono importanti riduzioni delle emissioni di NO_x .

La maggior parte dei costruttori di mezzi pesanti hanno in commercio veicoli di classe Euro 5 che montano un sistema di abbattimento degli ossidi azoto nei gas di scarico conosciuto con il nome di SCR (Selective Catalytic Reduction). Questo sistema, con l’aggiunta a monte del catalizzatore di un additivo a base di urea (AdBlue), trasforma gli ossidi di azoto in altre sostanze innocue come l’azoto molecolare ed il vapore acqueo. I valori limite Euro 5 dell’ NO_x stabiliti per i mezzi pesanti possono essere anche raggiunti con l’ausilio di un altro sistema di trattamento dei gas di scarico, ovvero con una combinazione del sistema di ricircolo dei gas di scarico (ERG) ed un catalizzatore di particelle.

I fattori di emissione finora utilizzati nell’inventario delle emissioni hanno ovviamente tenuto conto delle migliorie introdotte dalle varie classi euro e pertanto anche in Alto Adige è stato stimato un importante trend al ribasso delle emissioni di NO_x .

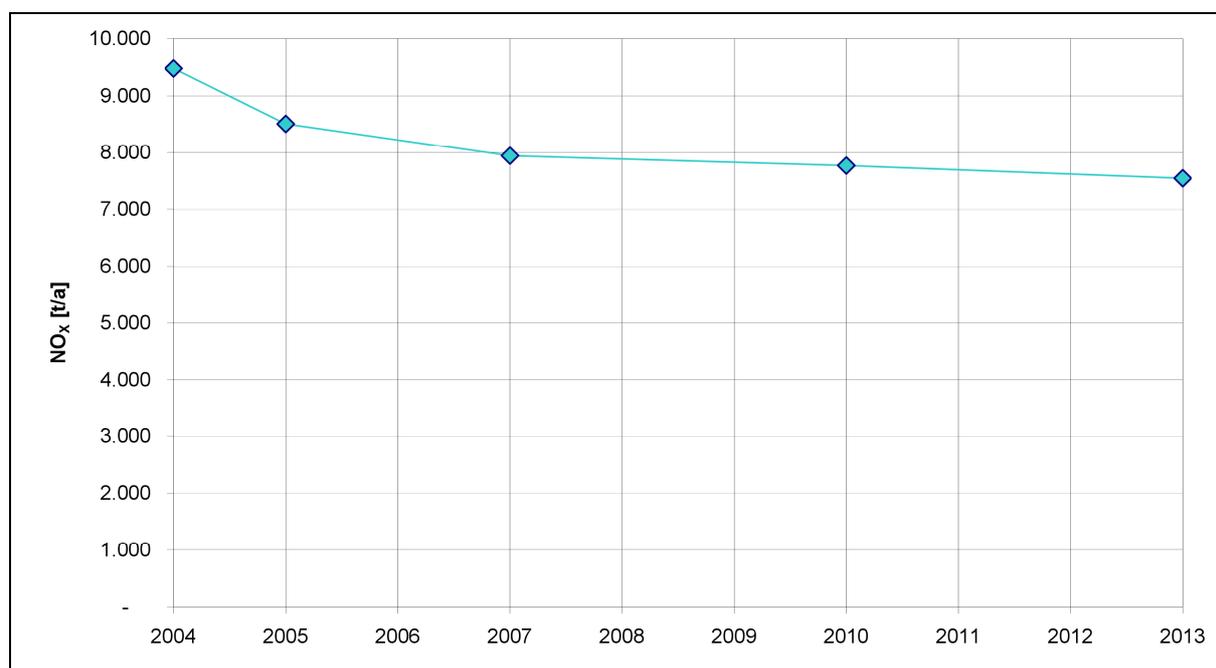


Figura 7: Trend delle emissioni di NO_x nell’inventario della Provincia di Bolzano

Tale andamento al ribasso è possibile riscontrarlo anche nelle misure di qualità dell’aria dove si evidenzia un trend in diminuzione dell’NO. Tale trend non è però riscontrabile nelle misure di NO_2 . Di seguito riportiamo un’analisi che cerca di dare una possibile risposta a tale situazione contraddittoria.

In primo luogo bisogna segnalare come i fattori di emissione utilizzati fino a poco tempo fa non fossero in linea con le emissioni realmente generate dai motori diesel delle autovetture. Ciò è facilmente riscontrabile confrontando i fattori di emissione utilizzati fino al 2009 con quelli contenuti nell'ultimo aggiornamento del manuale delle emissioni (HBEFA), pubblicato dai ministeri dell'ambiente tedesco, austriaco e svizzero nel gennaio 2010 (vedi Figura 8).

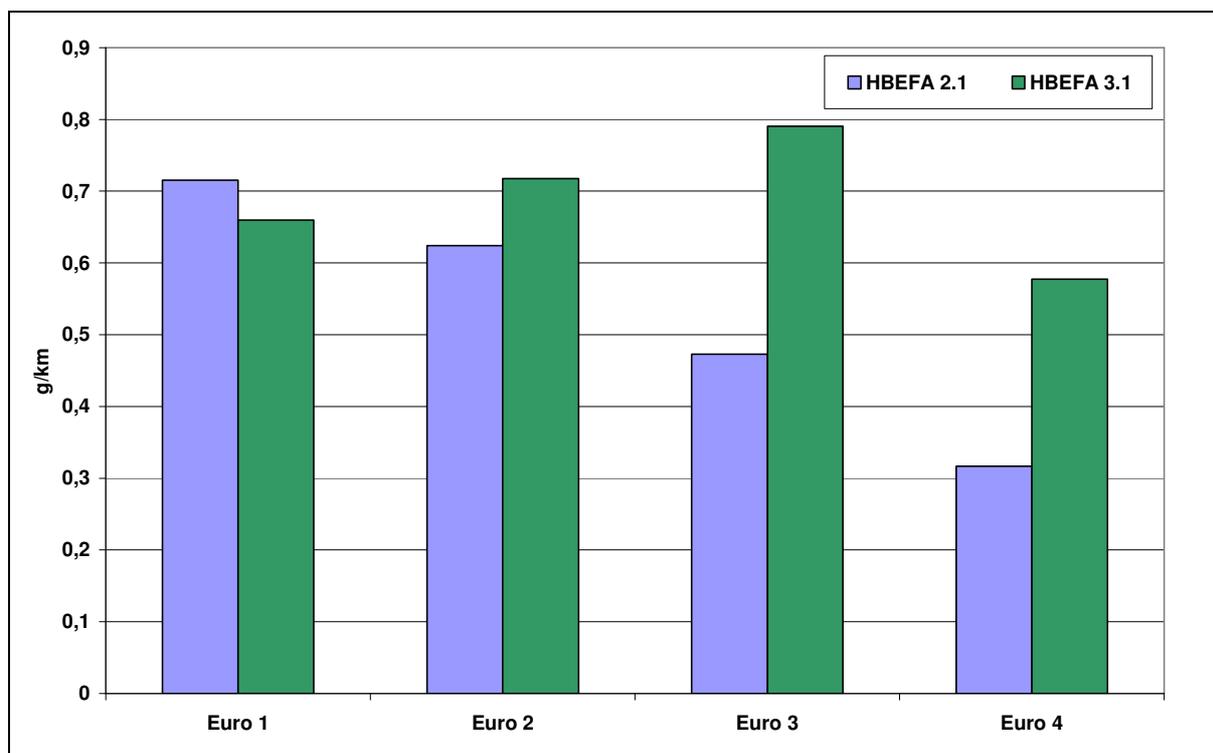


Figura 8: Vecchi e nuovi fattori di emissione degli NO_x per le autovetture diesel (HBEFA)

Tale differenza è da ricondurre alla disponibilità di dati di misura su veicoli circolanti per le classi euro 3 ed euro 4 e che nella precedente versione del manuale (2004) erano solo stimati. Tale divergenza tra emissioni attese (stimate in base alle normative in vigore e future) ed emissioni reali (ricavate da misurazioni su strada) ha trovato conferma anche dalle recenti vicende legate allo “scandalo dei motori diesel truccati” che hanno coinvolto importanti case automobilistiche a livello mondiale. Allo stato attuale non si hanno elementi per ritenere che tale problematica abbia coinvolto anche i veicoli pesanti o i veicoli a benzina.

Ma tale divergenza tra fattori di emissione previsti e misure sul campo non spiega in modo soddisfacente il differente andamento delle concentrazioni in atmosfera di NO e di NO₂. Per tale ragione è necessario approfondire ulteriormente l'analisi andando a scomporre le emissioni di NO_x nelle due componenti (NO ed NO₂).

Negli ultimi anni è stato possibile constatare come il rapporto NO_2/NO delle emissioni da traffico si sia progressivamente spostato a favore dell' NO_2 . Questo rapporto è importante in quanto il valore limite per la protezione della salute umana è fissato solamente per l' NO_2 .

Il motivo di tale aumento delle emissioni di NO_2 è ricercarsi nell'adozione del catalizzatore ossidante nei veicoli diesel. Tale sistema, adottato a partire dalla classe Euro 3, serve a ridurre le emissioni di idrocarburi (HC) e di monossido di carbonio (CO), ma come effetto secondario ossida l' NO in NO_2 . Il rapporto più alto tra NO_2 ed NO lo si trova nelle autovetture diesel a partire dall'Euro 3. La Figura 9 ci indica le emissioni che sono state verificate a seguito delle ricerche e delle analisi sul campo.

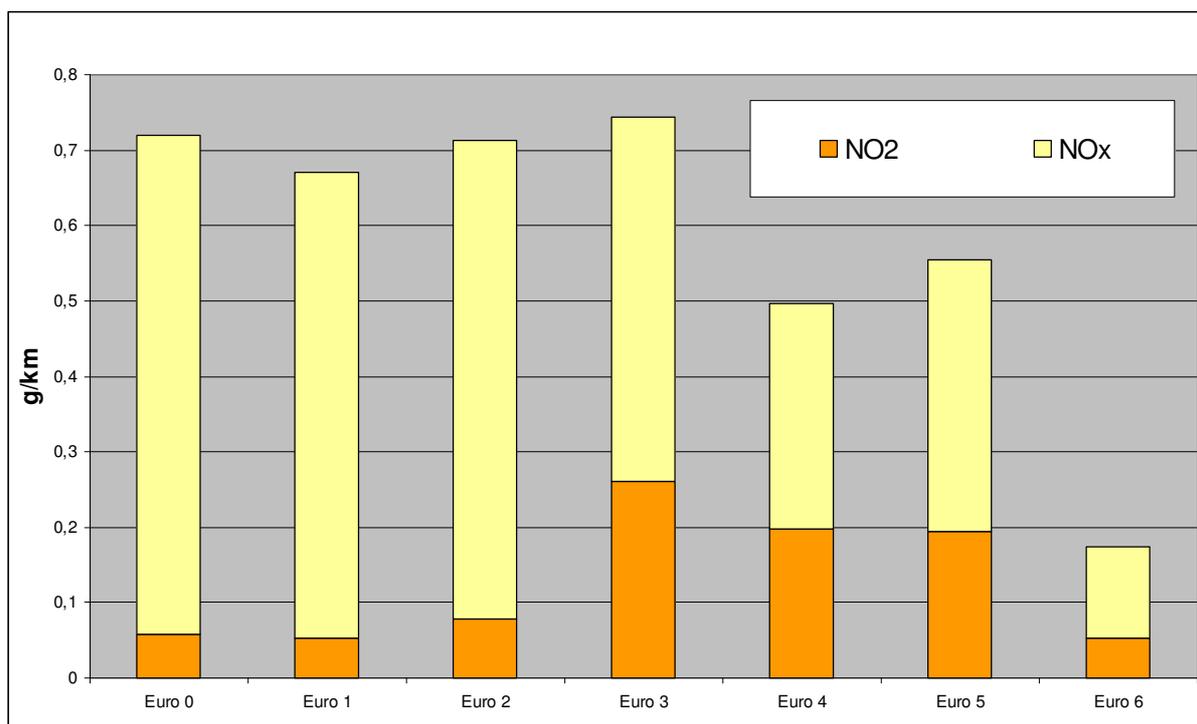


Figura 9: Nuovi fattori di emissione per NO e NO_2 da autovetture diesel / 110 km/h – HBEFA 3.2
(valore Euro 6 stimato sulla base di poche misure in campo)

L'aumento dell'emissione di NO_2 allo scarico non comporta un aumento direttamente proporzionale delle concentrazioni in aria a causa delle reazioni chimiche in atmosfera (reazioni tra NO , NO_2 , O_3 , radicali OH) che non permettono di avere un rapporto 1:1 tra emissione ed immissione di NO_2 . Ciò nonostante, tale aumento risulta essere certamente di ostacolo alla riduzione delle concentrazioni di NO_2 in atmosfera anche in presenza di una riduzione delle emissioni complessive di NO_x .

Come sopra già riportato, il traffico su gomma ha una grandissima influenza sulle emissioni di NO_x . In tale contesto vi è da rilevare come la A22 nel tratto altoatesino da Brennero a Salorno rappresenti di gran lunga l'arteria di traffico più importante a livello provinciale. Il tratto più

trafficato è tra i caselli di BZ-Sud ed Egna dove nel 2013 si è registrato un TGM di 39.478 veicoli/giorno. Di particolare rilievo è la notevole presenza di traffico pesante (24% circa) che risulta essere particolarmente negativa sulle emissioni rendendosi responsabile per il 68% delle emissioni totali di NO_x dell'autostrada.

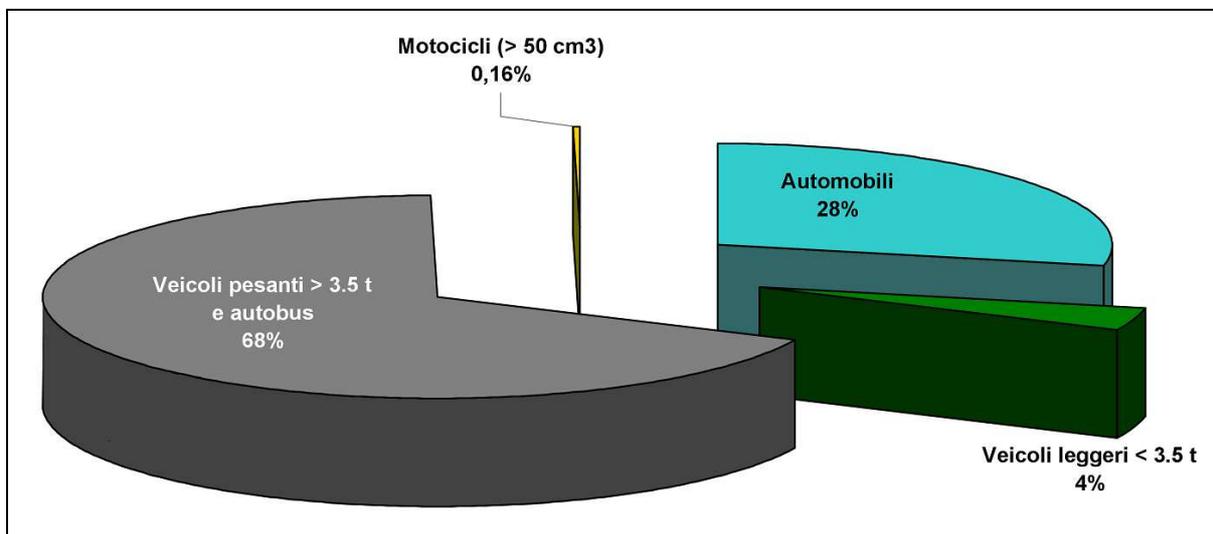


Figura 10: Quota percentuale di emissioni di NO_x per tipologia di veicolo sulla A22 (2013)

Il rapporto tra emissioni derivanti dal traffico pesante e da quello leggero è soggetto comunque a modificarsi nei prossimi anni. Non solo perché la normativa EURO 6 per i veicoli pesanti è entrata in vigore 20 mesi prima di quella dei veicoli leggeri, ma soprattutto perché il tasso di ricambio dei veicoli pesanti circolanti in autostrada è decisamente più alto di quello delle autovetture.

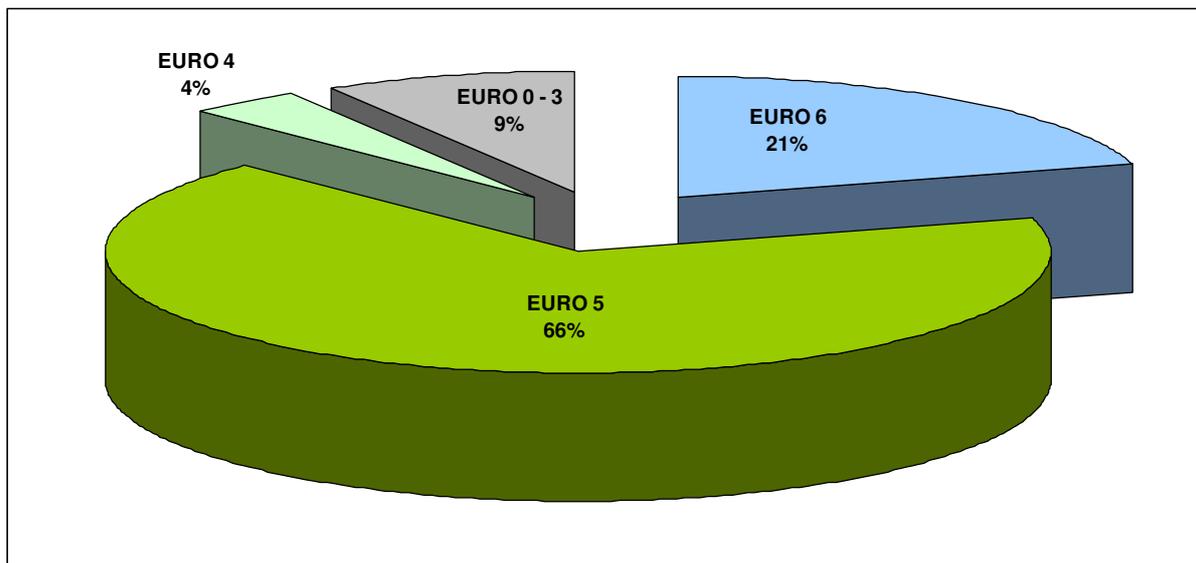


Figura 11: Composizione del traffico pesante (> 3,5 t) alla frontiera del Brennero (ASFINAG 01/2015)

Si ha così che già pochissimi anni dopo l'immissione sul mercato dei veicoli EURO 6 la loro presenza sull'asse del Brennero è già rilevante. Da ciò ne consegue che il calo delle emissioni di NO_x risulta essere molto più rapido per i veicoli pesanti in confronto ai veicoli leggeri.

L'importanza delle emissioni derivanti dal traffico circolante sull'autostrada del Brennero sul bilancio complessivo delle emissioni di NO_x emerge in modo chiaro dal confronto con le altre strade presenti sul territorio provinciale.

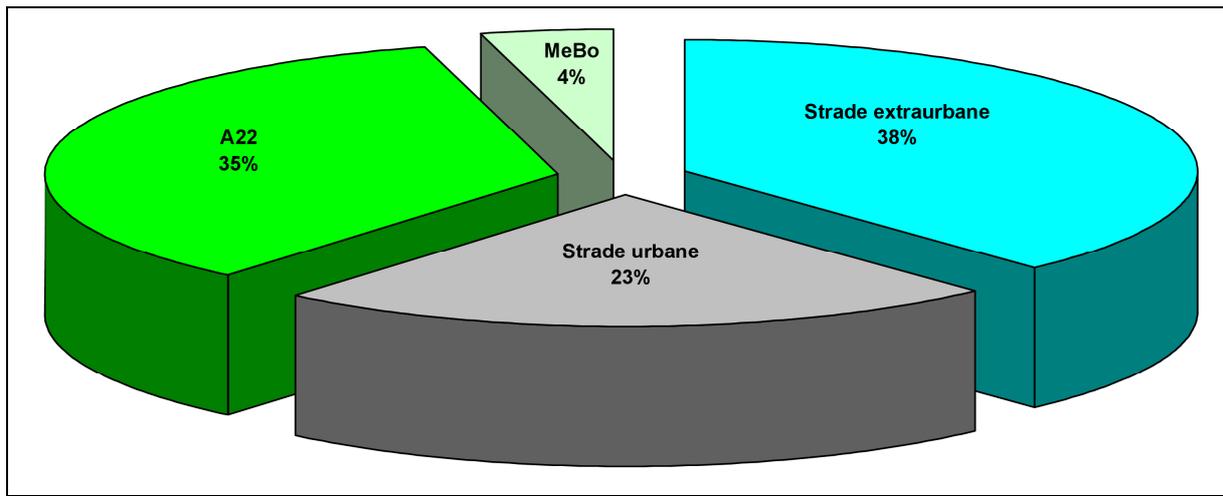


Figura 12: Quota percentuale di emissioni di NO_x per tipologia di strada in Alto Adige (2013)

Anche la mappa di distribuzione territoriale evidenzia in modo inequivocabile la forte influenza del traffico stradale sul bilancio delle emissioni di NO_x.

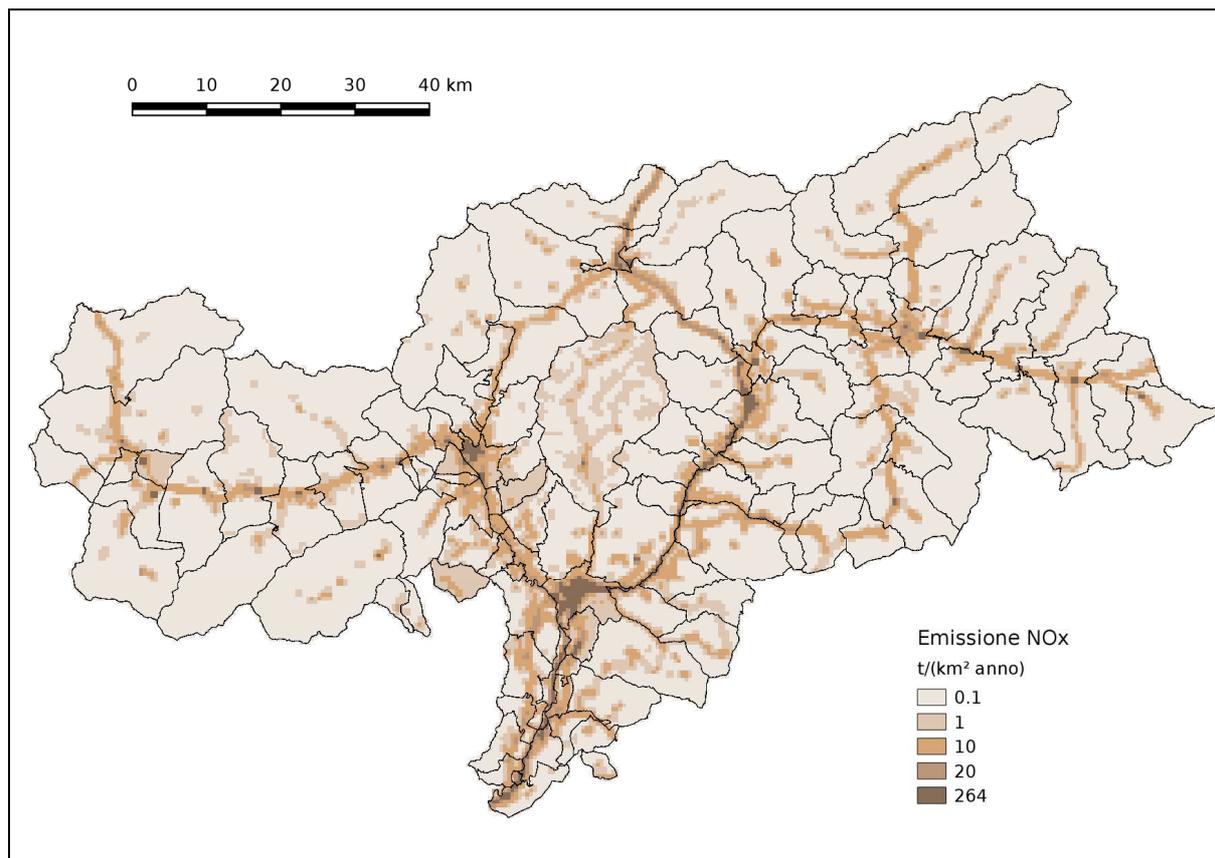


Figura 13: Distribuzione territoriale delle emissioni di NO_x (2013)³

Gli impianti di combustione emettono quasi esclusivamente ossidi di azoto sotto forma di NO che, una volta liberati in atmosfera, possono partecipare a reazioni chimiche trasformandosi in NO₂. La reazione chimica più importante è quella che coinvolge l'NO e l'ozono (O₃) e che vede come prodotti finali l'NO₂ e l'ossigeno (O₂). In tal modo, una forte presenza di NO può avere effetti positivi ai fini dell'abbattimento dell'ozono troposferico, ma da tale situazione vi sarà da aspettarsi un aumento delle concentrazioni di NO₂. In direzione opposta interviene poi la reazione che vede la riduzione dell'NO₂ in NO; reazione attraverso la quale, con l'apporto energetico delle radiazioni solari e la presenza di radicali liberi, si ottiene un aumento delle concentrazioni di O₃. Queste interdipendenze tra varie sostanze presenti in atmosfera fa sì che le concentrazioni di NO e di NO₂ possano variare anche in modo non direttamente dipendente dalla presenza di fonti emissive di NO_x.

Materiale Particolato (PM10, PM2.5)

Per definizione PM10 e PM2,5 è il materiale particolato (PM) che penetra attraverso un ingresso dimensionato con un efficienza di penetrazione del 50% per particelle con un

diametro aerodinamico di 10, ovvero 2,5 μm . Queste particelle sono particolarmente dannose per la salute in quanto riescono a penetrare fin nelle parti più profonde dei polmoni. La loro composizione è molto variegata e dipende molto dal processo in cui le stesse sono prodotte, ricordiamo ad esempio il nero fumo prodotto dai veicoli diesel o la combustione del legno, ma anche fonti naturali come il polline o la sabbia desertica. Vi sono poi i processi di formazione di particolato secondario in atmosfera a cui ad esempio partecipa l'ammoniaca rilasciata dalle attività agricole. La composizione del particolato è decisiva in relazione alla tossicità dello stesso. Si ha così che particelle contenenti metalli pesanti o idrocarburi policiclici aromatici (IPA) sono particolarmente dannose per la salute. Un ulteriore aspetto in relazione alla tossicità delle particelle è dato dalla loro dimensione perché le particelle più fini possono penetrare più profondamente fino a raggiungere anche gli alveoli polmonari. Da qui la necessità di individuare anche il PM_{2,5} come sostanza inquinante.

A livello provinciale le maggiori fonti di polveri fini sono il traffico motorizzato e la combustione domestica, ma nel corso degli anni la combustione domestica sta diventando la fonte più importante. Nel 2000 il contributo della combustione domestica nelle emissioni di polveri era stimato intorno al 26%, mentre dai dati dell'inventario 2007 risultava che lo stesso fosse salito a circa il 50%, per poi attestarsi attorno al 65% nell'inventario 2013. Il contributo del traffico è invece sceso dal 36% nel 2000 al 29% nel 2007 al 18% nel 2013. Per quanto concerne il traffico è necessario segnalare come le notevoli riduzioni delle emissioni di particolato ottenute con il trattamento dei gas di scarico (ad. es. filtro antiparticolato) siano state parzialmente compensate dal continuo aumento dei chilometri percorsi. Al contempo, per quanto riguarda la combustione domestica, il sempre maggior ricorso alla biomassa unito ad un insufficiente regolamentazione delle emissioni di polveri da impianti di piccola taglia (camini, stufe domestiche, ecc.), ha fatto aumentare il contributo di tale fonte.

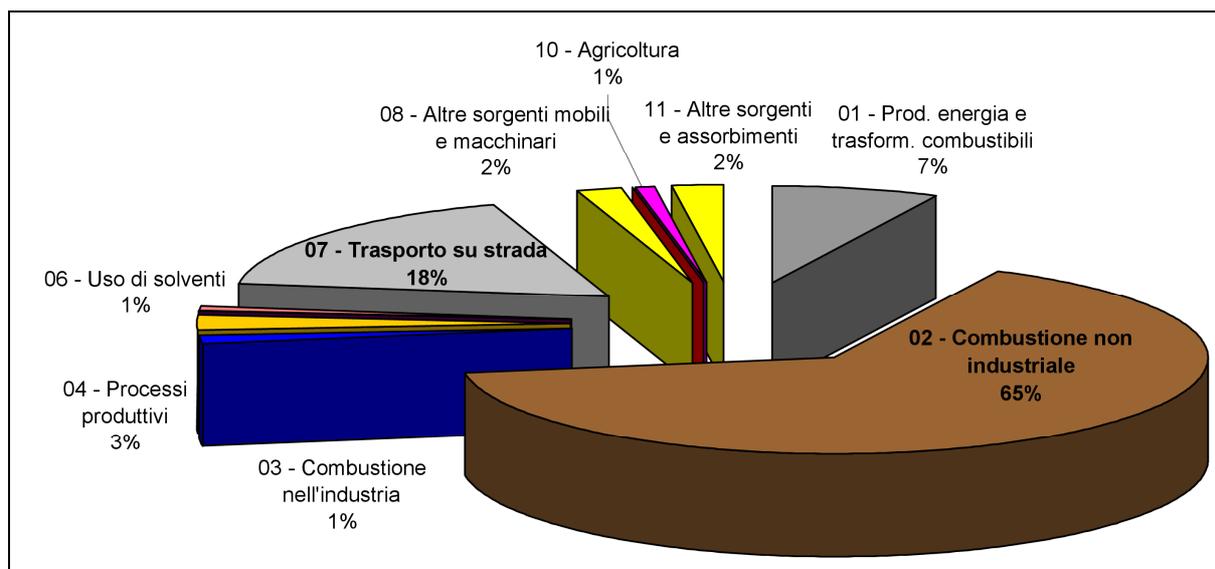


Figura 14: Distribuzione percentuale delle emissioni di PM10 per tipo di fonte (2013)

Valutando le emissioni di particolato in funzione del tipo di combustibile utilizzato si evidenzia il contributo della combustione della legna, che genera più del 99% del PM10 emesso nel 2013 dal settore della combustione non industriale (riscaldamento domestico).

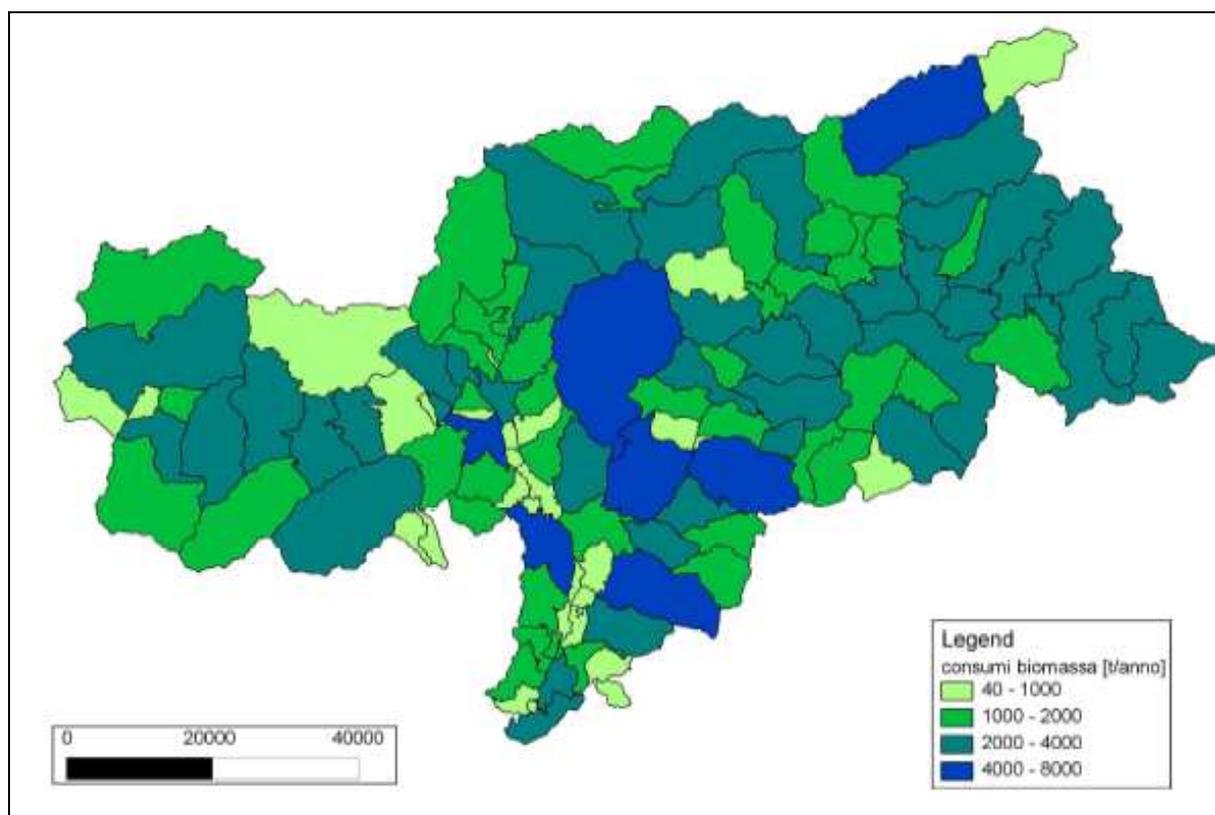


Figura 15: Utilizzo di legna da ardere nei comuni altoatesini⁴

⁴ Fonte: TIS-Bozano / sezione energia e ambiente

La combustione della legna è molto più diffusa nei comuni rurali piuttosto che in quelli fortemente urbanizzati. Infatti, se si confronta un comune rurale come Laces con la città di Bolzano si ottengono due bilanci emissivi decisamente diversi in relazione alle fonti maggiormente responsabili dell'emissione di PM₁₀. Anche la distribuzione territoriale delle emissioni di PM₁₀ rende visibile come la presenza di impianti a biomassa nelle zone rurali renda meno evidente la concentrazione delle fonti emissive nei maggiori centri abitati e lungo le arterie di traffico offrendo quindi un quadro più variegato di quello che ad esempio caratterizza le emissioni di NO_x. Una conferma di tale situazione ci viene offerta anche dai dati di PM₁₀ e PM_{2,5} registrati dalla rete di misura della qualità dell'aria.

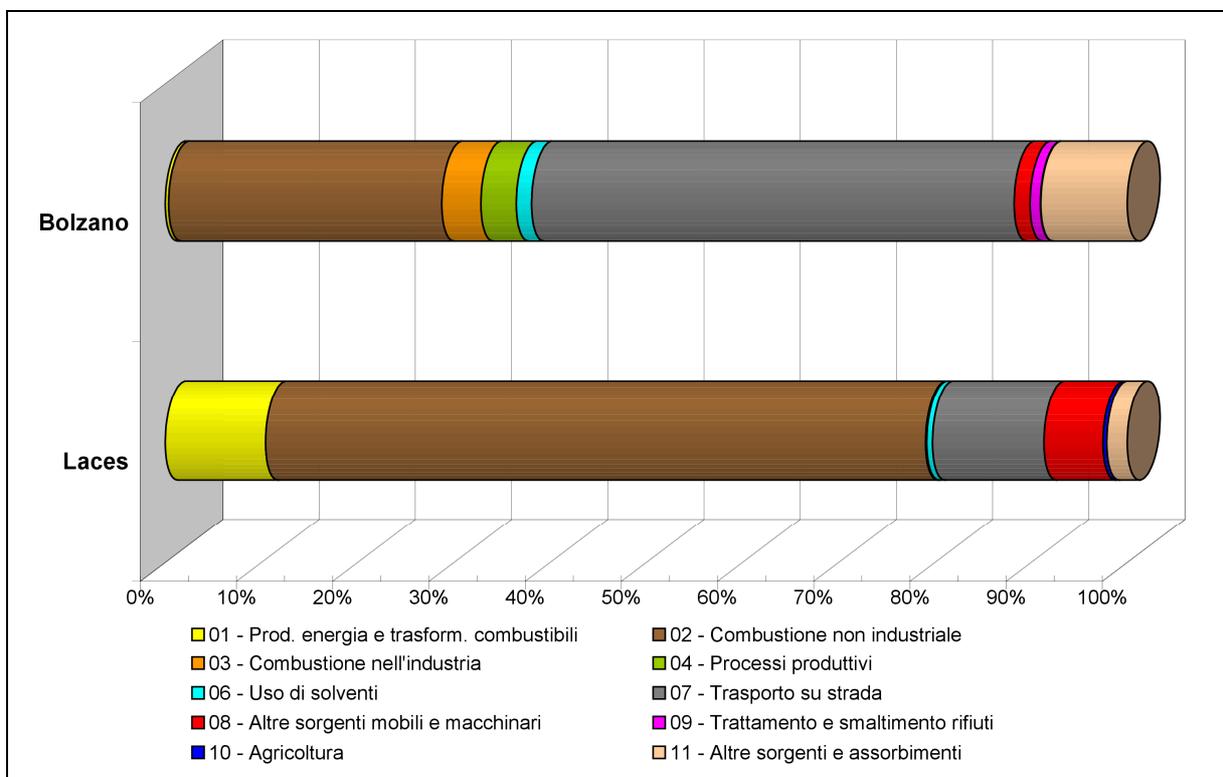


Figura 16: Confronto delle emissioni di PM10 per tipo di fonte nei comuni di Laces e Bolzano (2013)

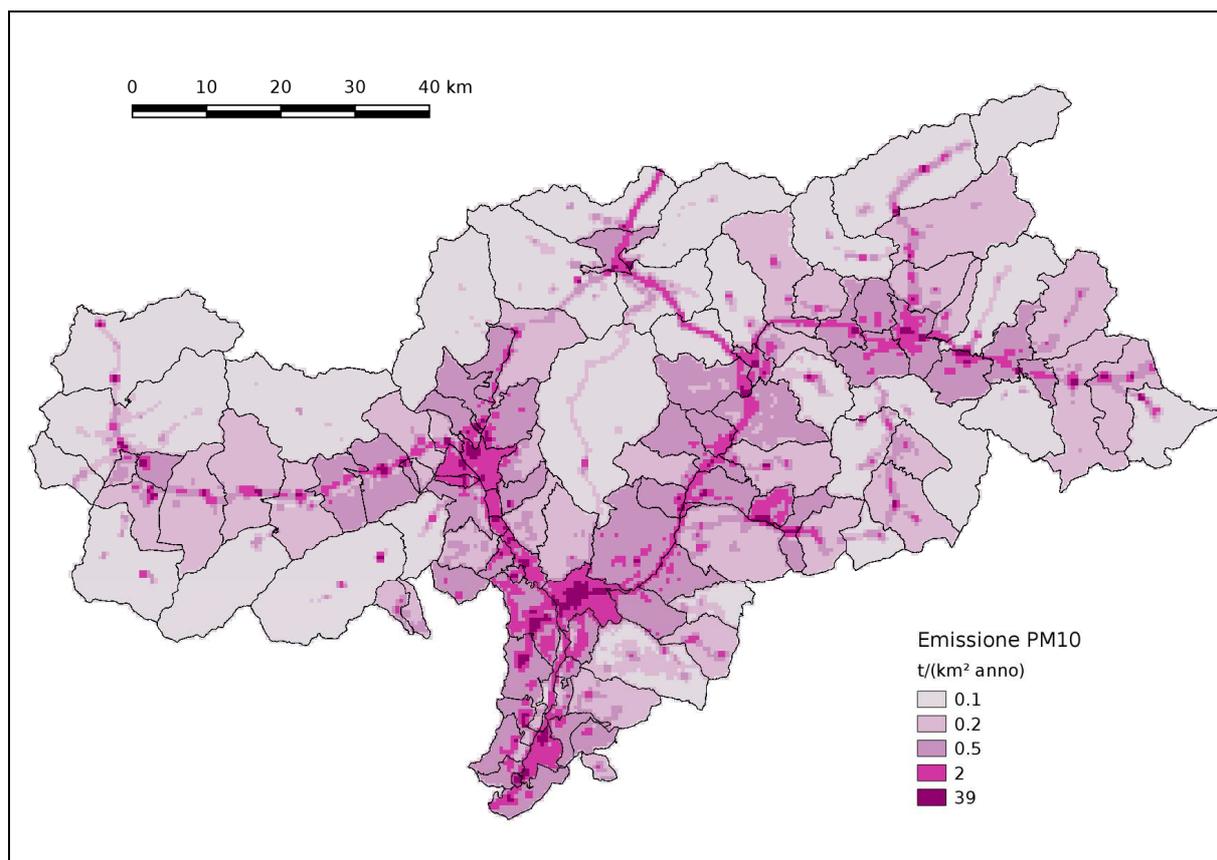


Figura 17 - Distribuzione territoriale delle emissioni di PM10 (2013)³

Monossido di carbonio (CO)

Il monossido di carbonio è un gas inodore ed incolore, ma velenoso per l'uomo. Esso si forma dall'incompleta ossidazione (combustione) di combustibili a base di carbonio (legna, carbone, gasolio, metano, ecc.). Anche per tale inquinante, le maggiori fonti di emissione sono il traffico ed il riscaldamento domestico ed anche qui si può osservare come negli anni il riscaldamento domestico abbia progressivamente aumentato il proprio contributo proporzionale nel bilancio emissivo.

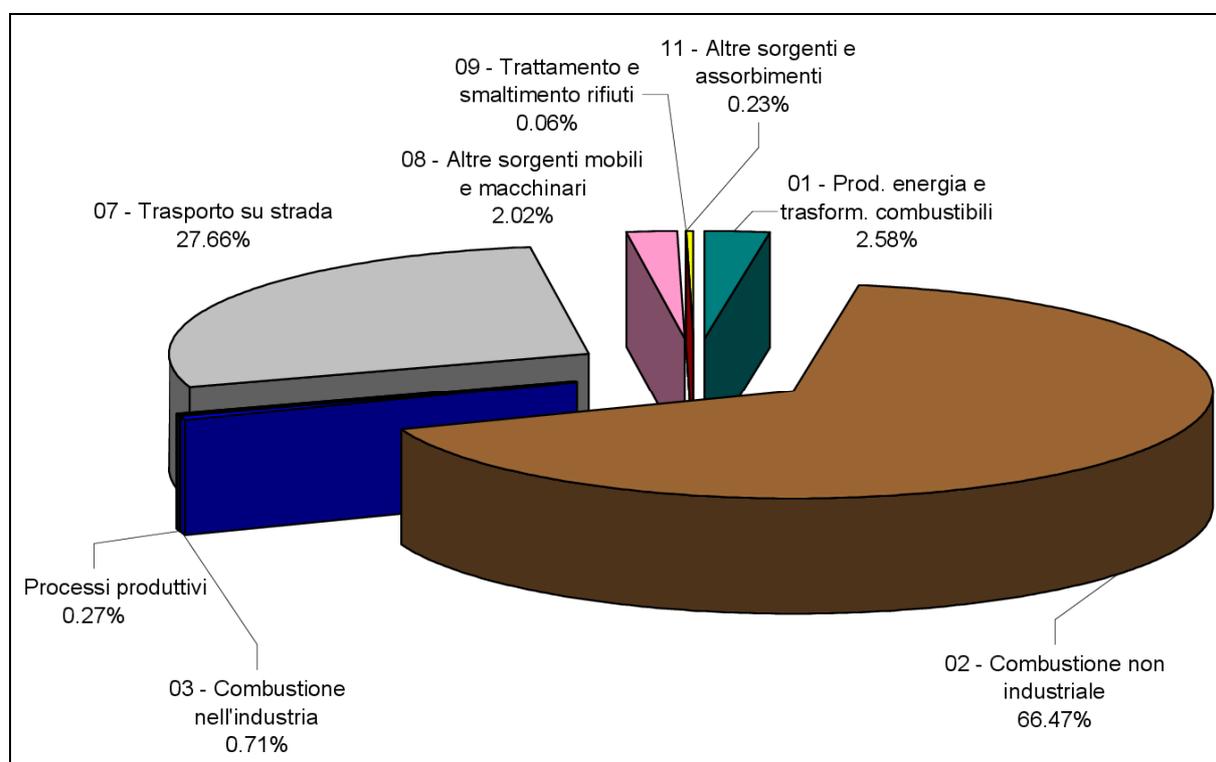


Figura 18: Distribuzione percentuale delle emissioni di CO per tipo di fonte (2013)

Ammoniaca (NH₃)

L'ammoniaca è un gas incolore ed intensamente odoroso, tossico per l'uomo. Esso si forma essenzialmente nei processi di decomposizione degli escrementi animali e, per tale ragione, all'interno dell'inventario delle emissioni la fonte principale è l'agricoltura. In atmosfera l'NH₃ reagisce con gli acidi per formare sali di ammonio che concorrono alla formazione del particolato secondario.

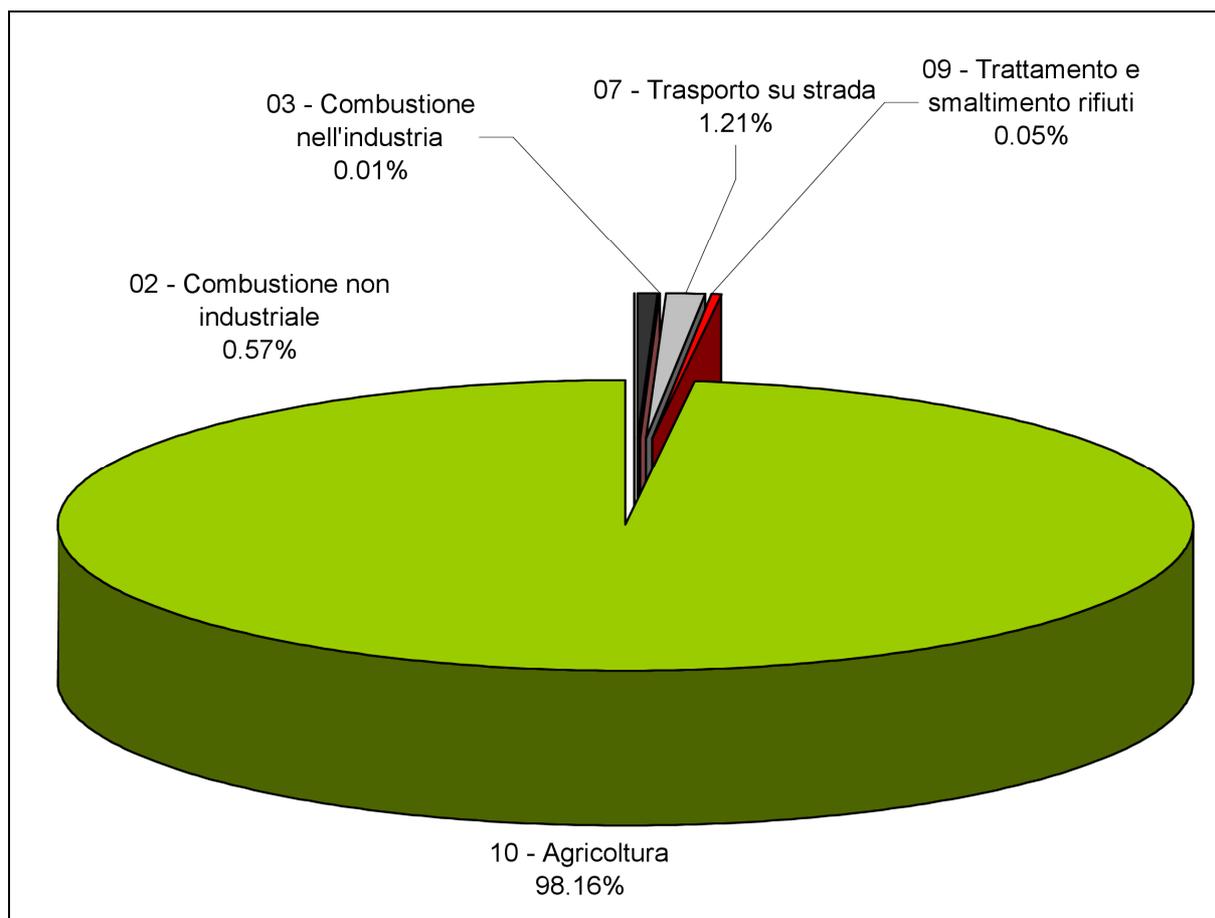


Figura 19: Distribuzione percentuale delle emissioni di NH_3 per tipo di fonte (2013)

Idrocarburi policiclici aromatici (IPA)

Con l'acronimo IPA si intende una famiglia di idrocarburi costituiti da due o più anelli aromatici, quali quello del benzene, uniti fra loro in un'unica struttura generalmente piana. Così come per il CO, gli IPA si formano generalmente nei processi di combustione a causa di un'incompleta o cattiva ossidazione dei composti del carbonio. Vari IPA sono stati classificati dalla IARC (1987) come probabili o possibili cancerogeni per l'uomo, mentre il benzo(a)pirene è stato recentemente classificato come cancerogeno per l'uomo. Anche per tale ragione il B(a)P è stato scelto come inquinante rappresentante dell'intera famiglia e come tale viene anche analizzato nelle stazioni di misura di qualità dell'aria.

In Alto Adige, la fonte principale delle emissioni di IPA è costituita dalla combustione domestica ed in particolare i piccoli impianti a biomassa (legna da ardere) che non dispongono di alcun sistema di regolazione automatica del caricamento e della combustione. Questi impianti vengono spesso utilizzati in modo non ottimale a causa di una cattiva

regolazione della combustione che porta ad una combustione incompleta in carenza di ossigeno e quindi alla produzioni di notevoli quantità di inquinanti.

	Benzina	diesel	Legno ed altri combustibili simili	senza combustibile
Produzione energia			0.9%	
Riscaldamento civile			96.8%	
Combustione nell'industria			0.5%	0.2%
Trasporto su strada	0.1%	1.2%		0.1%
Altre sorgenti mobili e macchinari		0.1%		
Altre sorgenti e assorbimenti				0.3%

Tabella 6 Distribuzione percentuale delle emissioni di B(a)P per macrosettore (2013)

Composti organici volatili (COV)

Vengono definiti composti organici volatili i composti organici che alla temperatura di 20°C hanno una pressione di vapore di 0,01 kPa. Con l'acronimo NMCOV vengono definiti i COV non metanici, ovvero senza CH₄. Nell'inventario delle emissioni il CH₄ viene calcolato a parte e quindi per COV si intendono in realtà i NMCOV.

I COV giocano un ruolo importante nella formazione dell'ozono troposferico in quanto entrano a far parte della catena reattiva che porta alla formazione dello stesso.

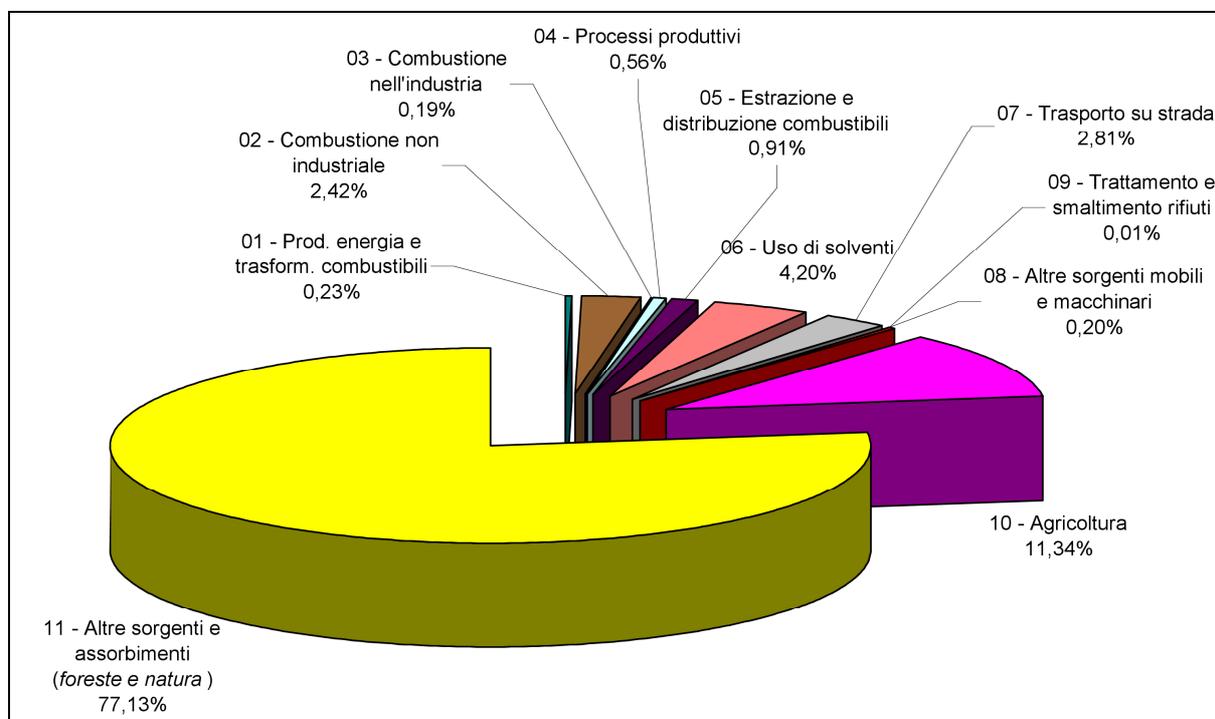


Figura 20 - Distribuzione percentuale delle emissioni di COV per tipo di fonte (2013)

Nella famiglia dei COV troviamo anche il benzene per il quale le norme prevedono anche un valore limite per la qualità dell'aria. Si tratta di una sostanza liquida incolore dall'odore caratteristico che viene aggiunta alla benzina al fine di aumentarne il numero di ottani. Essendo che lo stesso evapora facilmente, si hanno emissioni di benzene durante le operazioni di travaso nelle stazioni di servizio o anche semplicemente dal suo utilizzo come carburante da autotrazione.

In Alto Adige, la principale fonte emissiva di COV è costituita dalla vegetazione ed in particolare dalle foreste di conifere, che emettono notevoli quantità di terpeni, e dalle coltivazioni agricole. Le emissioni antropiche di COV sono generate principalmente nei processi di combustione domestica, dal traffico motorizzato e dall'utilizzo di vernici e solventi.

Con l'introduzione della direttiva 1999/13/CE riguardante la limitazione delle emissioni di COV da determinate attività produttive ed impianti e con l'introduzione di norme per la commercializzazione l'utilizzo di prodotti vernicianti a basso contenuto di solventi si sono poste le basi per una notevole riduzione delle emissioni di tale inquinante. L'introduzione dei motori ad iniezione e dei catalizzatori, nonché degli impianti di recupero dei gas di benzina presso i distributori hanno dato un ulteriore contributo in tale senso.

Metalli pesanti

Le maggiori concentrazioni di metalli pesanti nell'aria vengono di norma registrate nelle vicinanze di grandi insediamenti industriali. In Alto Adige vi è solo la zona produttiva di Bolzano che ospita alcune industrie di un certo rilievo. Tali industrie, avendo adottato le tecniche di abbattimento delle emissioni previste dalle norme, non contribuiscono in modo rilevante all'emissione di metalli pesanti. La sostituzione del piombo tetraetile delle benzine ha eliminato una delle maggiori fonti emissive di piombo. Anche il divieto d'utilizzo del carbone ha permesso di eliminare un'altra fonte emissiva.

Gas climalteranti

I gas climalteranti contribuiscono all'effetto serra terrestre e quindi all'aumento delle temperature medie a livello mondiale.

La sostanza di maggior rilievo per questo fenomeno è l'anidride carbonica, CO₂, ma altre sostanze, come il metano ed il protossido di azoto, pur se emesse in quantitativi minori, possono dare un contributo significativo.

Emissioni di CO₂ lorda e CO₂ netta

Nell'ambito dell'inventario delle emissioni vengono computate come CO₂ lorda tutte le emissioni di anidride carbonica, comprese le emissioni da combustione di materie rinnovabili, come le biomasse, che non vengono considerate generalmente nei bilanci dei gas climalteranti; per definizione si differenzia dalla CO₂ netta che viene calcolata come CO₂ emessa da fonti non rinnovabili.

Questa distinzione viene adottata in quanto la combustione delle biomasse non comporta emissioni aggiuntive di CO₂ in atmosfera essendo la biomassa un combustibile biogenico, ossia generato per fotosintesi a partire da carbonio già presente in atmosfera. Per contro la CO₂ generata da processi industriali di produzione per contatto o da combustione di carburanti fossili immette in atmosfera nuova CO₂ derivante dal carbonio che precedentemente era legato con altri elementi chimici e costituiva, ad esempio, il combustibile stoccato nel sottosuolo o la materia prima da cui ottenere i derivati di lavorazione (come il processo di decarbonatazione del cemento).

Il grafico in Figura 21 riporta le emissioni di CO₂ lorda; si può osservare come i due settori maggiormente rappresentati siano il traffico ed i riscaldamenti civili.

Per quanto riguarda i contributi alle emissioni di CO₂ netta, riportati in Figura 22, si può osservare un ruolo preponderante del traffico, mentre vengono ad avere un peso minore i riscaldamenti e la produzione energetica, per i quali non vengono computate le emissioni associate alla combustione delle biomasse legnose.

Valutando il peso delle singole tipologie di strada sulle emissioni di CO₂ netta si vede che l'autostrada incide per circa un terzo (Figura 23).

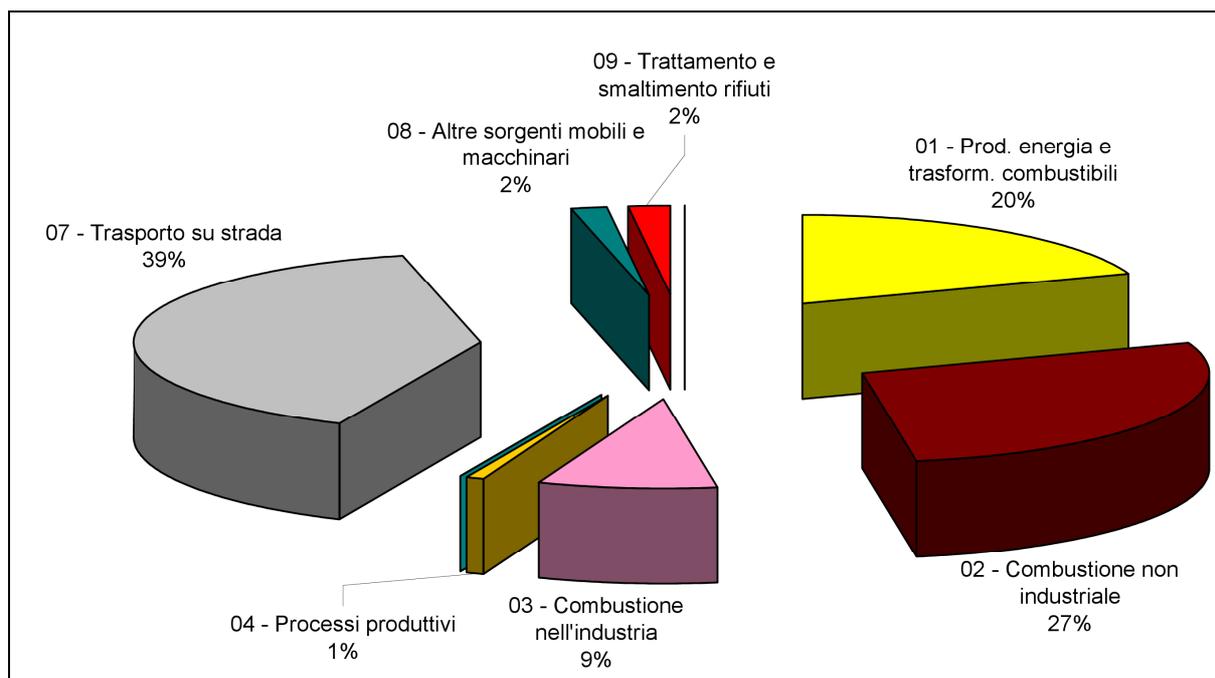


Figura 21: Distribuzione percentuale delle emissioni di CO₂ lorda per macrosetto (2013)

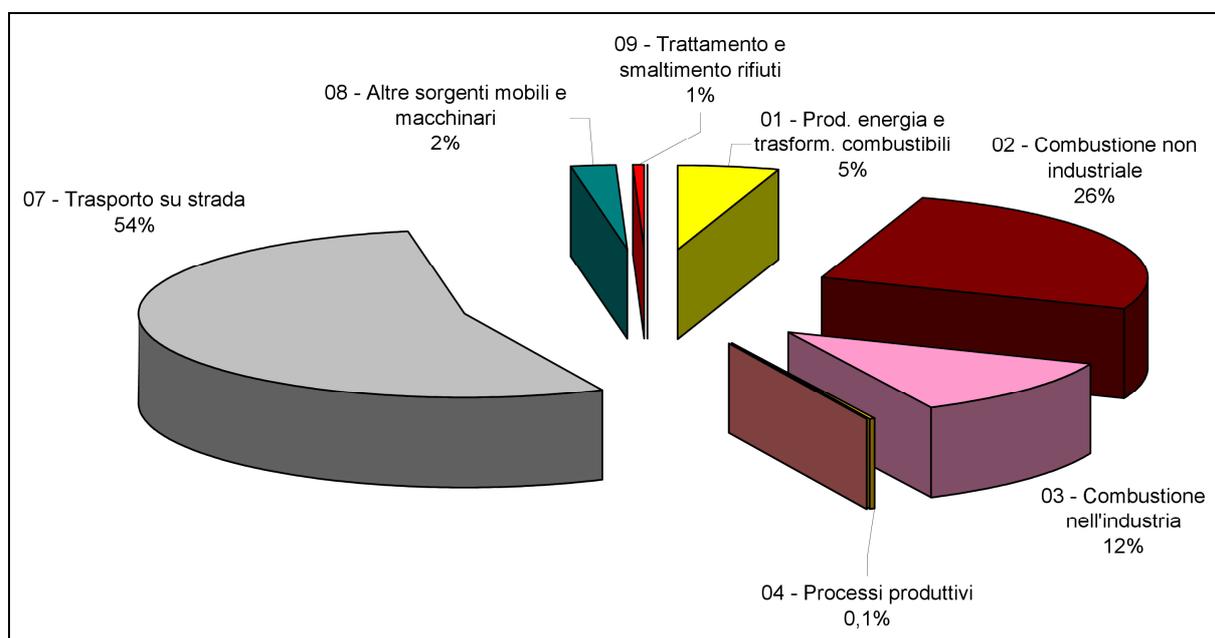


Figura 22: Distribuzione percentuale delle emissioni di CO₂ netta per macrosetto (2013)

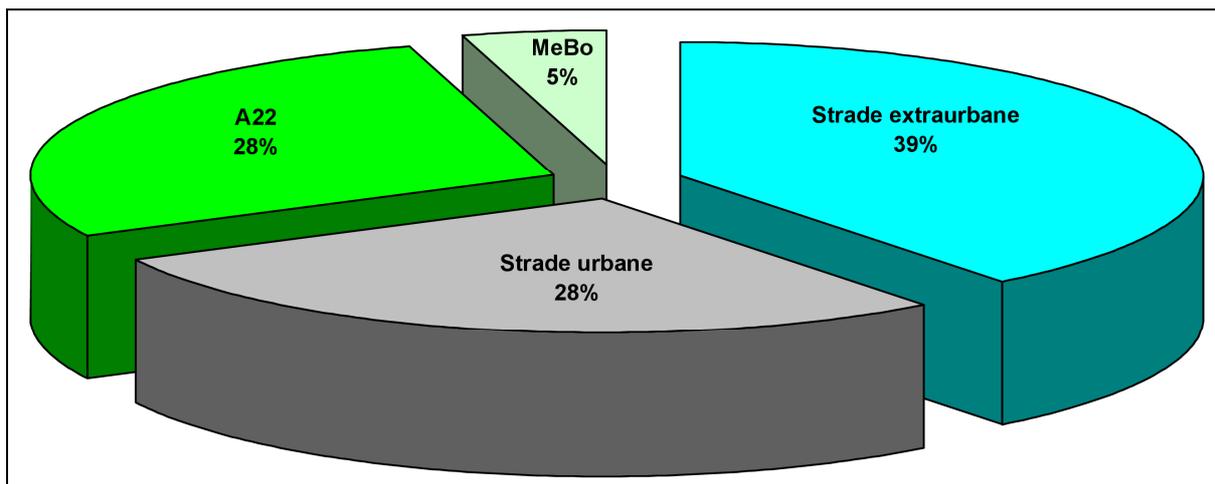


Figura 23: Quota percentuale di emissioni di CO₂ per tipologia di strada in Alto Adige (2013)

Emissioni di CH₄

Il 67,5% delle emissioni di metano in Alto Adige viene generato dall'allevamento di bestiame ed in particolare dalla fermentazione anaerobica degli escrementi e dal processo digestivo dei ruminanti. Il metano prodotto dalla decomposizione dei rifiuti organici depositati nelle discariche viene in buona parte captato e combusto con appositi impianti. Un ruolo importante lo giocano anche le perdite derivanti dalle reti di distribuzione del metano. Un ruolo minore viene infine svolto dai processi di decomposizione organica negli ecosistemi naturali (ad es. acquitrini e le paludi).

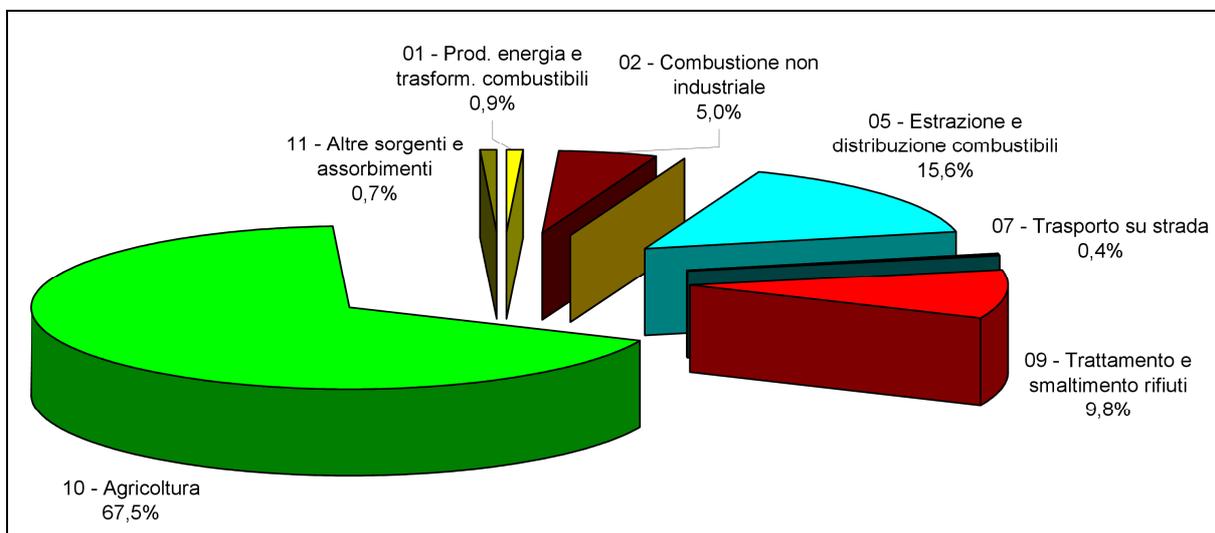


Figura 24: Distribuzione percentuale delle emissioni di CH₄ per tipo di fonte (2013)

Emissioni di N₂O

Le emissioni di protossido di azoto (N₂O), conosciuto anche con il nome di gas esilarante, provengono in gran parte dall'agricoltura. Infatti, in carenza di ossigeno, i fertilizzanti azotati presenti nei terreni vengono trasformati in N₂O che poi si disperde in atmosfera.

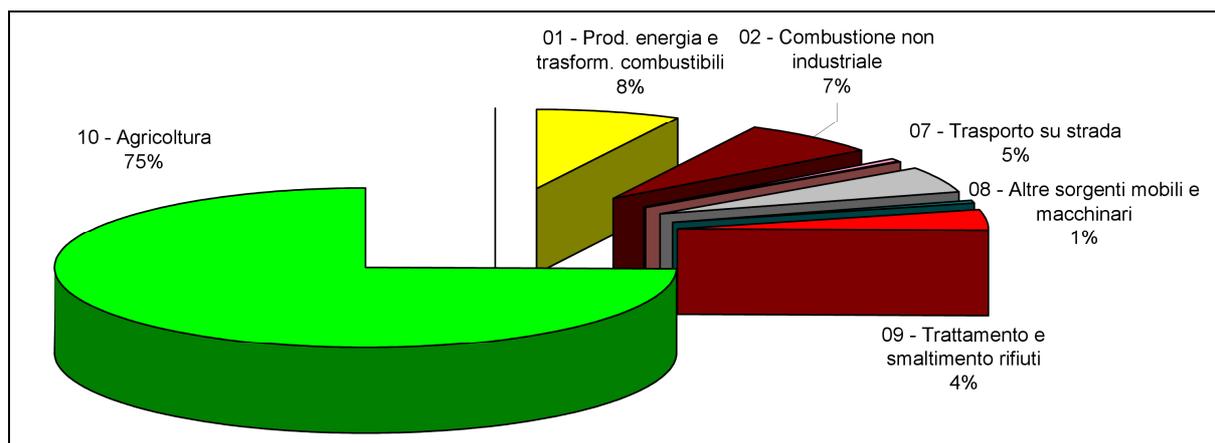


Figura 25: Distribuzione percentuale delle emissioni di N₂O per tipo di fonte (2013)

CO₂ equivalente e Global Warming Potential

Come si è detto vi sono più sostanze in grado di contribuire all'effetto serra; quelle considerate nell'inventario sono:

- l'anidride carbonica (CO₂);
- il metano (CH₄);
- il protossido di azoto (N₂O).

Il loro potenziale effetto serra viene stimato utilizzando un indice denominato GWP (Global Warming Potential), riportato in Tabella 7.

Inquinante di partenza	CH ₄	CO ₂	N ₂ O
CO ₂ equivalente	21	1	310

Tabella 7: Coefficienti utilizzati per il calcolo della CO₂ equivalente

Quindi le emissioni dei diversi gas serra vengono aggregate e sono riportate attraverso l'indicatore CO₂eq (CO₂ equivalente) che rappresenta una somma dei gas serra pesati secondo il loro potenziale climalterante, sintetizzabile con la seguente formula:

$$CO_{2eq} = \sum (GWP_i \cdot E_i)$$

dove:

GWP_i = Global Warming Potential;

E_i = emissione dell'inquinante climalterante i.

Emissioni di CO₂ equivalente

Come si è visto i gas climalteranti hanno un effetto serra più o meno accentuato e pertanto le loro emissioni possono essere rappresentate come CO₂ equivalente. In tal modo si può ottenere un quadro riassuntivo delle emissioni rilevanti ai fini del loro contributo all'effetto serra.

Il contributo delle singole sostanze alle emissioni di CO₂ equivalente è riportato in Figura 26.

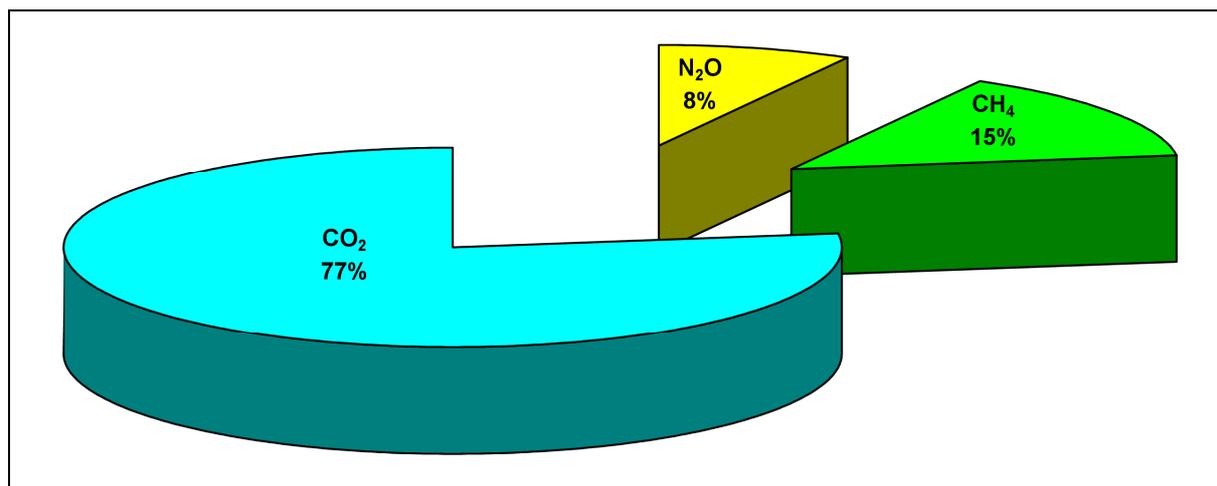


Figura 26: Contributo dei singoli inquinanti alle emissioni di CO₂ Equivalente

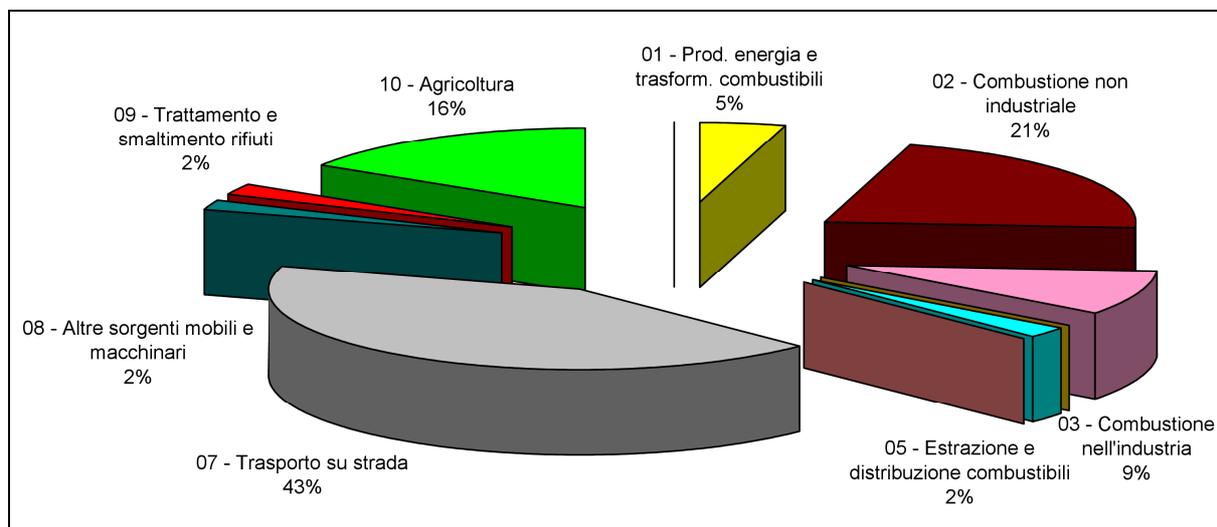


Figura 27: Distribuzione percentuale delle emissioni di CO₂ equivalente per macrosettore (2013)

Le biomasse combustibili sono considerate neutrali ai fini del calcolo della CO₂ equivalente e non vengono considerate nel calcolo.

Assorbimenti di Carbonio

A partire dall'anno 2010, all'interno dell'inventario delle emissioni vengono considerati anche gli assorbimenti di CO₂ da parte delle foreste provinciali.

L'anidride carbonica (CO₂) assorbita è espressa con valore negativo ed in particolare si stimano i seguenti contributi assorbenti delle attività: *biomassa viva* 41%, *suolo* 50% e *massa organica morta* 8% (Figura 28).

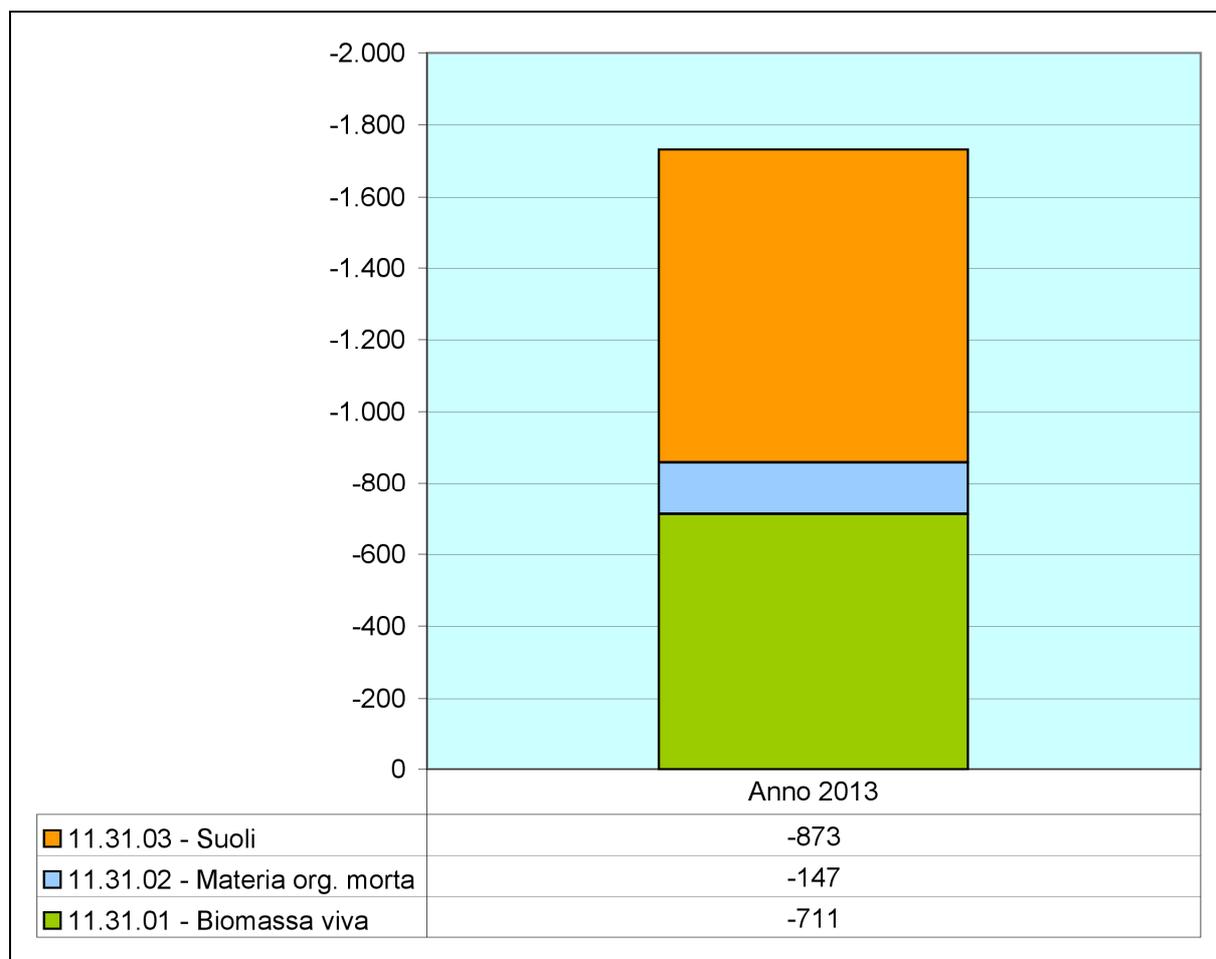


Figura 28: Assorbimento di CO₂ del macrosettore 11 (kt)

Nell'analisi delle emissioni di CO₂ riportata nei precedenti paragrafi il contributo degli assorbimenti non è stato computato, così da considerare solo il bilancio delle emissioni e da poter effettuare un confronto con gli inventari precedenti alla realizzazione del modulo Foreste.

Una stima delle emissioni complessive in cui viene considerato anche l'effetto degli assorbimenti è riportata in

Tabella 8.

Macrosettore	CO₂	CO₂eq
01 - Prod. energia e trasform. combustibili	106,27	127,53
02 - Combustione non industriale	569,08	606,50
03 - Combustione nell'industria	259,76	260,89
04 - Processi produttivi	1,94	2,00
05 - Estrazione e distribuzione combustibili	-	65,18
06 - Uso di solventi	-	-
07 - Trasporto su strada	1.179,49	1.193,37
08 - Altre sorgenti mobili e macchinari	50,73	52,21
09 - Trattamento e smaltimento rifiuti	12,06	62,27
10 - Agricoltura	-	452,56
11 - Altre sorgenti e assorbimenti	-1.731,39	-1.728,34
TOTALE	447,94	1.094,17

Tabella 8: Emissioni di CO₂ netta ed equivalente al netto della quota assorbita

APPENDICE

Inquinanti di origine secondaria

Gli inquinanti secondari non vengono emessi direttamente da delle fonti, ma bensì si formano attraverso reazioni chimiche in atmosfera. Per tale ragione essi non vengono considerati all'interno dell'inventario delle emissioni. Tuttavia, essendo che essi possono influenzare anche in modo decisivo la qualità dell'aria, si riporta di seguito una breve illustrazione delle loro principali caratteristiche.

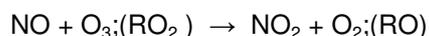
Materiale particolato d'origine secondaria ($PM_{2,5}$ e PM_{10})

Il particolato secondario si forma in atmosfera a causa di reazioni chimiche che coinvolgono inquinanti quali l'ammoniaca, il biossido di zolfo, gli ossidi azoto ed i composti organici volatili (COV). I prodotti di tali reazioni sono solfati e nitrati di ammonio, aldeidi e chetoni. Queste sostanze si aggregano facilmente a nuclei di condensazione già presenti nell'atmosfera dando così origine a particolato secondario.

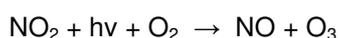
Le particelle secondarie possono essere trasportate su lunghe distanze contribuendo così all'inquinamento atmosferico anche a notevole distanza dalle fonti emissive.

Biossido di azoto d'origine secondaria (NO_2)

Ogni processo di combustione produce ossidi d'azoto (NO e NO_2) come prodotto secondario della reazione di ossidazione. La maggior parte delle emissioni è composta da molecole di NO, la cui percentuale può anche arrivare a più del 90% nei motori a combustione interna. L'NO si trasforma in NO_2 reagendo in atmosfera con l'ozono (O_3) o radicali liberi (RO_2):



Attraverso il processo di fotolisi, l' NO_2 viene ritrasformato in NO:



Ma essendo tale secondo processo è condizionato da una velocità di reazione diversa dalla quella della prima reazione, dalla concentrazione di ozono in atmosfera e dall'intensità dell'irraggiamento solare, si ha che durante le ore notturne l'NO viene quasi completamente

trasformato in NO₂ a causa dell'assenza di luce solare. Questi processi contrapposti possono provocare notevoli sbalzi delle concentrazioni di NO₂ durante l'arco di una giornata.

Ozono (O₃)

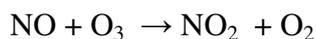
L'ozono è un gas particolare che in concentrazioni normali ha funzioni benefiche per la vita. Infatti, a quote molto elevate (stratosfera) serve a proteggere la terra dalle radiazioni ultraviolette dannose per la vita organica, mentre a bassa quota (troposfera) serve a mantenere libera l'atmosfera da microrganismi nocivi (ad es. i batteri) o altre sostanze organiche.

Questo gas però, a concentrazioni elevate agisce in modo tossico verso la vita organica e provoca irritazione alle vie respiratorie ed alle mucose, danneggiando anche le cellule vegetali e non ultimi i materiali (ad es. i monumenti).

A differenza del biossido d'azoto e del particolato esso si forma esclusivamente a causa di reazioni chimiche in atmosfera.

Nella stratosfera (dove è presente in concentrazioni molto elevate) esso si forma dall'ossigeno sotto l'azione dei potenti raggi ultravioletti. Nella troposfera e quindi a livello della vita organica, esso si forma principalmente a causa del processo chimico di fotolisi descritto al precedente capitolo sull'NO₂.

La presenza di COV nella troposfera può accrescere le concentrazioni di ozono visto che queste sostanze possono ossidare l'NO ed inibire la seguente reazione di riduzione dell'O₃:



infatti, l'NO viene sottratto alla possibilità di partecipare alla reazione di cui sopra e l'ozono non trova possibilità di trasformarsi in ossigeno. Si ha così che le maggiori concentrazioni di ozono negli strati bassi dell'atmosfera si hanno dove vi è un intenso irraggiamento solare e dove si hanno alte concentrazioni di COV o assenza di NO.