



**CISMA Srl - Società di Ingegneria**

sede legale e operativa - NOI Techpark  
via Ipazia 2 - 39100 Bolzano  
+39 0471.1727086

P. IVA 02453250215

**www.cisma.it - info@cisma.it**

sede operativa - Palazzo Stella  
via A. Degasperi 77 - 38123 Trento  
+39 0461.1637648

[cisma@pec.cisma.bz.it](mailto:cisma@pec.cisma.bz.it)

## **Inventario delle emissioni in atmosfera**

### **Anno 2019**

#### **Committente**



Provincia Autonoma di Bolzano  
Agenzia provinciale per l'ambiente e la tutela del clima  
Ufficio Aria e rumore

<b>Documento</b>	<b>Data</b>	<b>Autore</b>
2020_10_EMI_INEMAR2019_BZ.s/IT	3.09.2021	Ing. Andrea Cemin
		<b>Responsabile</b>
		Ing. Andrea Cemin

## Indice

Indice delle figure.....	2
Indice delle tabelle .....	4
Parte Generale .....	5
Ossidi di azoto (NO <sub>x</sub> ) .....	12
Materiale Particolato (PM10, PM2.5).....	18
Ammoniaca (NH <sub>3</sub> ).....	22
Composti organici volatili (COV).....	23
Idrocarburi policiclici aromatici (IPA) .....	24
Metalli pesanti .....	25
Gas climalteranti .....	26
Emissioni di CO <sub>2</sub> lorda e CO <sub>2</sub> netta.....	26
Emissioni di CH <sub>4</sub> .....	28
Emissioni di N <sub>2</sub> O.....	28
CO <sub>2</sub> equivalente e Global Warming Potential .....	29
Emissioni di CO <sub>2</sub> equivalente .....	30
Evoluzione della stima delle emissioni di CO <sub>2</sub> negli inventari .....	31
Assorbimenti di Carbonio .....	32
APPENDICE .....	34
Inquinanti di origine secondaria .....	34
Materiale particolato d'origine secondaria (PM2.5 e PM10) .....	34
Biossido di azoto d'origine secondaria (NO <sub>2</sub> ) .....	34
Ozono (O <sub>3</sub> ).....	35

## Indice delle figure

Figura 1: Distribuzione percentuale delle emissioni dei macroinquinanti e gas climalteranti per macrosettore (anno 2019) .....	8
Figura 2: Distribuzione percentuale delle emissioni dei microinquinanti per macrosettore (anno 2019).....	11
Figura 3: Distribuzione percentuale delle emissioni di NO <sub>x</sub> in relazione al macrosettore (anno 2019).....	12
Figura 4: Trend delle emissioni di NO <sub>x</sub> nell'inventario della Provincia di Bolzano	13
Figura 5: Fattori di emissione medi degli NO <sub>x</sub> per le autovetture diesel .....	14

Figura 6: Quota percentuale di emissioni di NO <sub>x</sub> per tipologia di veicolo sulla A22 (2019).....	16
Figura 7: Composizione del traffico pesante (> 3,5 t) alla frontiera del Brennero (ASFINAG 01/2020).....	16
Figura 8: Quota percentuale di emissioni di NO <sub>x</sub> per tipologia di strada in Alto Adige (2019).....	17
Figura 9: Distribuzione territoriale delle emissioni di NO <sub>x</sub> (2019) .....	17
Figura 10 - Fattori di emissione medi di PM10 per classe Euro (autoveicoli diesel, regime autostradale).....	19
Figura 11: Distribuzione percentuale delle emissioni di PM10 per tipo di fonte (2019).....	20
Figura 12: Utilizzo di legna da ardere nei comuni altoatesini.....	20
Figura 13 - Distribuzione territoriale delle emissioni di PM10 (2019).....	21
Figura 14: Confronto delle emissioni di PM10 per tipo di fonte nei comuni di Laces e Bolzano (2019) .....	22
Figura 15: Distribuzione percentuale delle emissioni di NH <sub>3</sub> per tipo di fonte (2019).....	23
Figura 16 - Distribuzione percentuale delle emissioni di COV per tipo di fonte (2019).....	23
Figura 17: Distribuzione percentuale delle emissioni di B(a)P per tipo di fonte (2019).....	25
Figura 18: Distribuzione percentuale delle emissioni di CO <sub>2</sub> lorda per macrosettore (2019) .....	27
Figura 19: Distribuzione percentuale delle emissioni di CO <sub>2</sub> netta per macrosettore (2019) .....	27
Figura 20: Quota percentuale di emissioni di CO <sub>2</sub> da traffico per tipologia di strada in Alto Adige (2019) .....	27
Figura 21: Distribuzione percentuale delle emissioni di CH <sub>4</sub> per tipo di fonte (2019).....	28
Figura 22: Distribuzione percentuale delle emissioni di N <sub>2</sub> O per tipo di fonte (2019).....	29
Figura 23: Contributo dei singoli inquinanti alle emissioni di CO <sub>2</sub> equivalente ....	30
Figura 24: Distribuzione percentuale delle emissioni di CO <sub>2</sub> equivalente per macrosettore (2019) .....	30
Figura 25 - Andamento delle emissioni di CO <sub>2</sub> Netta e Lorda negli anni 2005 - 07 - 10 - 13 - 15 e 2019 .....	31

Figura 26 - Andamento delle emissioni di CO <sub>2</sub> equivalente e delle sue componenti negli anni 2005 - 07 - 10 - 13 - 15 e 2019 .....	32
Figura 27: Assorbimento di CO <sub>2</sub> del macrosettore 11 (kt).....	33

## 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 2013 2015 e 2019 .....	9
Tabella 5: Emissioni di gas climalteranti nel 2013, 2015 e 2019 (la combustione di biomassa viene considerata neutrale e quindi con emissione di CO <sub>2</sub> uguale a zero) .....	10
Tabella 6: Rapporto NO <sub>2</sub> / NO <sub>x</sub> allo scarico di autovetture diesel.....	15
Tabella 7 Distribuzione percentuale delle emissioni di B(a)P per tipo di fonte e combustibile (2019) .....	25
Tabella 8: Coefficienti utilizzati per il calcolo della CO <sub>2</sub> equivalente.....	29
Tabella 9: Emissioni di CO <sub>2</sub> netta ed equivalente al netto della quota assorbita .	33

## 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

<b>Nome</b>	<b>Formula chimica</b>	<b>Unità misura</b>
Ammoniaca	NH <sub>3</sub>	[t/anno]
Composti organici volatili (non metanici)	NMCOV	[t/anno]
Monossido di carbonio	CO	[t/anno]
Biossido di zolfo	SO <sub>2</sub>	[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 <sub>x</sub>	[t/anno]

### Gas climalteranti (gas ad effetto serra)

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

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

**Microinquinanti**

<b>INORGANICI</b>		
<b>Nome</b>	<b>Formula chimica</b>	<b>Unità misura</b>
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]
<b>ORGANICI</b>		
<b>Nome</b>	<b>Formula chimica</b>	<b>Unità misura</b>
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 le fonti emmissive e le relative cause. Per gli impianti soggetti ad autorizzazione alle emissioni 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 emmissive di cui non si dispone di dati di analisi al camino (la maggior parte delle fonti emmissive), 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:

<b>Macrosettore</b>	
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	Treatmento 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 (2021) disponibili gli inventari delle emissioni riferiti agli anni 1997, 2000, 2004, 2005, 2007, 2010, 2013, 2015 e 2019. È importante ricordare che nella realizzazione delle varie 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 grafica i dati di emissione del 2019 con un confronto in forma tabellare con gli inventari immediatamente precedenti:

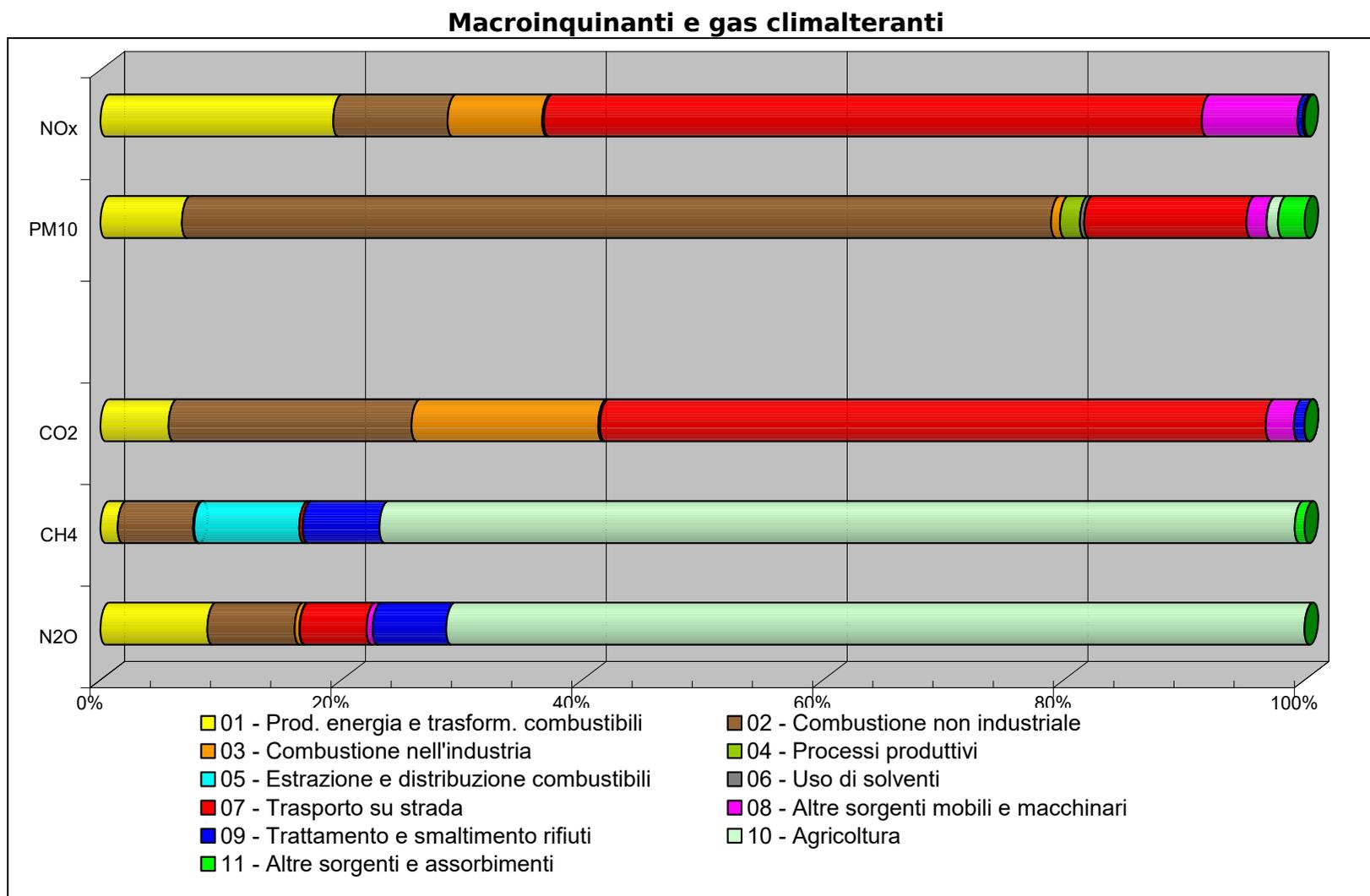


Figura 1: Distribuzione percentuale delle emissioni dei macroinquinanti e gas climalteranti<sup>1</sup> per macrosettore (anno 2019)

<sup>1</sup> Dove non diversamente specificato con il termine CO<sub>2</sub> si fa riferimento qui alla CO<sub>2</sub> "netta" (vedi pag. 26)

<b>Macrosettore</b>	<b>Inquinante</b>	<b>anno</b>	<b>CO [t]</b>	<b>COV [t]</b>	<b>NH<sub>3</sub> [t]</b>	<b>NO<sub>x</sub> [t]</b>	<b>PM10 [t]</b>	<b>PM2.5 [t]</b>	<b>PTS [t]</b>	<b>SO<sub>2</sub> [t]</b>
Produzione di energia e trasformazione combustibili		2013	448	79	-	1.142	124	119	131	49
		2015	479	99	-	1.059	122	118	127	50
		2019	493	101	-	1.206	116	112	120	57
Combustione non industriale		2013	11.531	833	30	665	1.134	1.120	1.194	132
		2015	11.337	808	30	599	1.128	1.114	1.187	122
		2019	12.410	879	34	592	1.234	1.218	1.299	72
Combustione nell'industria		2013	123	64	1	338	21	19	24	175
		2015	101	56	0	319	14	13	16	106
		2019	92	45	0	491	13	12	14	68
Processi produttivi		2013	47	193	-	5	44	16	50	3
		2015	66	174	-	7	23	7	26	4
		2019	76	201	0	8	28	9	32	5
Estrazione e distribuzione combustibili		2013	-	314	-	-	-	-	-	-
		2015	-	259	-	-	-	-	-	-
		2019	-	351	-	-	-	-	-	-
Uso di solventi		2013	-	1.445	-	-	15	14	20	-
		2015	-	1.419	-	-	7	7	9	-
		2019	-	1.499	-	-	6	6	8	-
Trasporto su strada		2013	4.797	965	63	4.804	309	229	405	8
		2015	4.894	815	58	4.522	278	202	373	2
		2019	3.312	608	48	3.408	230	158	325	5
Altre sorgenti mobili e macchinari		2013	350	68	0	553	31	29	31	4
		2015	474	109	0	939	51	48	51	5
		2019	361	69	0	495	29	26	29	4
Trattamento e smaltimento rifiuti		2013	11	3	3	24	1	1	1	5
		2015	3	1	3	22	0	0	0	1
		2019	5	1	3	28	0	0	0	2
Agricoltura		2013	-	3.899	5.138	12	16	5	39	-
		2015	-	3.899	5.101	8	16	5	39	-
		2019	-	3.453	5.092	9	16	5	39	-
Altre sorgenti ed assorbimenti		2013	39	26.521	0	2	38	38	38	0
		2015	37	26.520	0	2	37	37	37	0
		2019	38	25.995	0	2	38	38	38	0
<b>Totale</b>		<b>2013</b>	<b>17.347</b>	<b>34.383</b>	<b>5.234</b>	<b>7.544</b>	<b>1.733</b>	<b>1.590</b>	<b>1.933</b>	<b>376</b>
		<b>2015</b>	<b>17.392</b>	<b>34.158</b>	<b>5.192</b>	<b>7.476</b>	<b>1.675</b>	<b>1.551</b>	<b>1.864</b>	<b>290</b>
		<b>2019</b>	<b>16.786</b>	<b>33.201</b>	<b>5.177</b>	<b>6.237</b>	<b>1.709</b>	<b>1.584</b>	<b>1.904</b>	<b>213</b>
<b>Variazione</b>		<b>13-15</b>	<b>0,3%</b>	<b>-1%</b>	<b>-1%</b>	<b>-1%</b>	<b>-3%</b>	<b>-2%</b>	<b>-4%</b>	<b>-23%</b>
		<b>15-19</b>	<b>-3,48%</b>	<b>-3%</b>	<b>-0,3%</b>	<b>-17%</b>	<b>2%</b>	<b>2%</b>	<b>2%</b>	<b>-26%</b>

Tabella 4: Emissioni di macroinquinanti negli anni 2013 2015 e 2019

<b>Macrosettore</b>	<b>Inquinante</b>	<b>anno</b>	<b>CO<sub>2</sub> [kt]</b>	<b>CH<sub>4</sub> [t]</b>	<b>N<sub>2</sub>O [t]</b>
Produzione di energia e trasformazione combustibili		2013	106	183	56
		2015	108	256	57
		2019	113	252	68
Combustione non industriale		2013	569	986	53
		2015	473	979	52
		2019	405	1.101	55
Combustione nell'industria		2013	260	7	3
		2015	261	13	3
		2019	311	15	3
Processi produttivi		2013	2	0	0
		2015	3	1	0
		2019	3	1	0
Estrazione e distribuzione combustibili		2013	-	3.104	-
		2015	-	2.747	-
		2019	-	1.538	-
Trasporto su strada		2013	1.179	88	39
		2015	1.139	69	39
		2019	1.108	50	42
Altre sorgenti mobili e macchinari		2013	51	2	5
		2015	86	2	6
		2019	47	1	4
Trattamento e smaltimento rifiuti		2013	12	1.937	31
		2015	15	1.711	37
		2019	18	1.124	47
Agricoltura		2013	-	13.384	553
		2015	-	13.384	541
		2019	-	13.384	544
Altre sorgenti ed assorbimenti		2013	-	144	0
		2015	-	144	0
		2019	-	144	0
<b>Totale</b>		<b>2013</b>	<b>2.179</b>	<b>19.835</b>	<b>741</b>
		<b>2015</b>	<b>2.085</b>	<b>19.307</b>	<b>735</b>
		<b>2019</b>	<b>2.004</b>	<b>17.611</b>	<b>763</b>
<b>Variazione</b>		<b>13-15</b>	<b>-4%</b>	<b>-3%</b>	<b>-1%</b>
		<b>15-19</b>	<b>-4%</b>	<b>-9%</b>	<b>4%</b>

Tabella 5: Emissioni di gas climalteranti nel 2013, 2015 e 2019 (la combustione di biomassa viene considerata neutrale e quindi con emissione di CO<sub>2</sub> uguale a zero)

### Microinquinanti

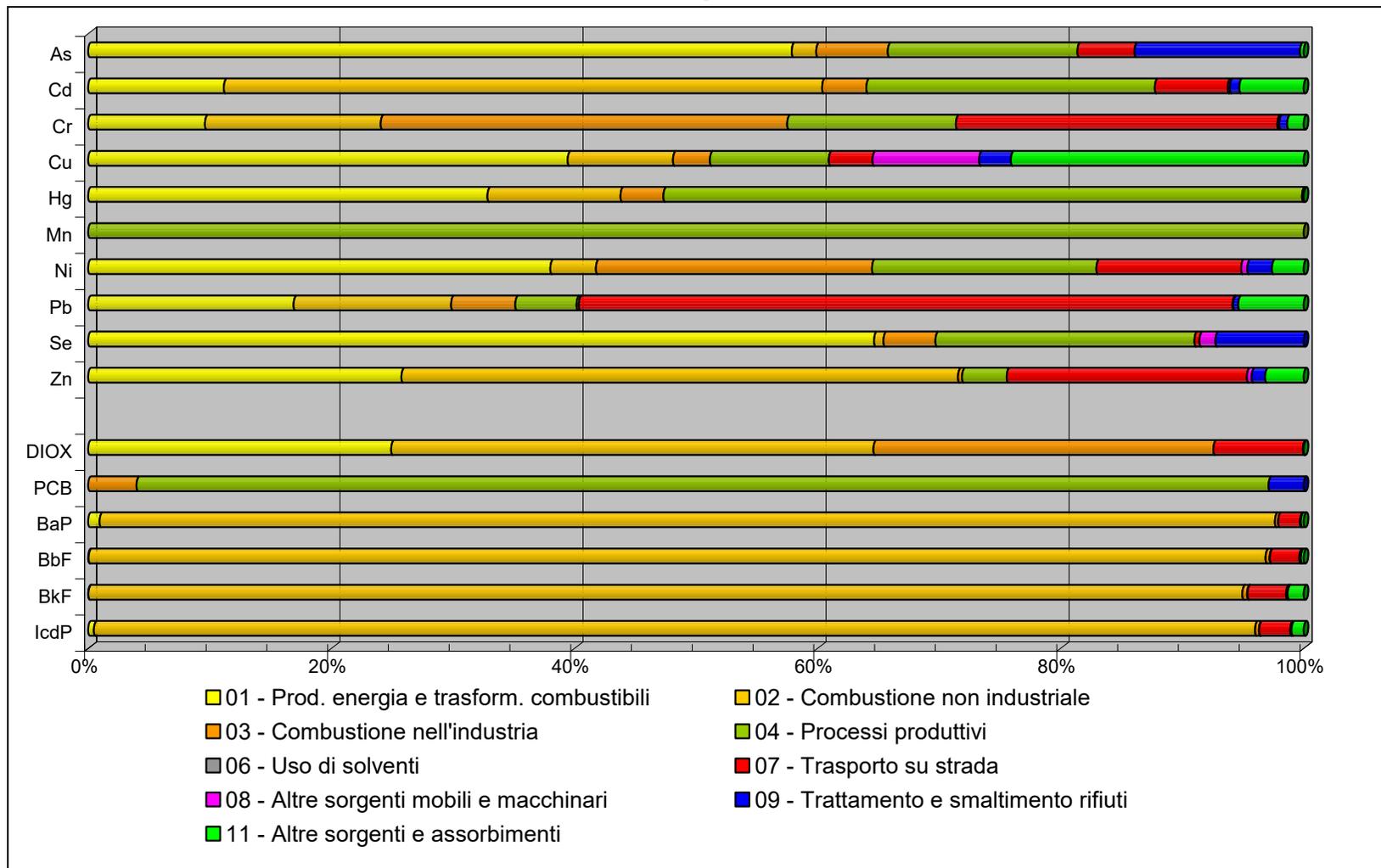


Figura 2: Distribuzione percentuale delle emissioni dei microinquinanti per macrosettore (anno 2019)

Dal grafico relativo ai macroinquinanti è facilmente riconoscibile come il traffico stradale ed i processi di combustione non industriale (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 ( $\text{NO}_2$ ); il solo traffico stradale presenta una quota di emissioni di ossidi di azoto prossima al 55% del totale.

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

## Ossidi di azoto ( $\text{NO}_x$ )

Gli ossidi di azoto ( $\text{NO}$  e  $\text{NO}_2$ ) 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 ( $\text{O}_3$ ).

La formazione di  $\text{NO}_x$  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 (Figura 3) per il quale 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.

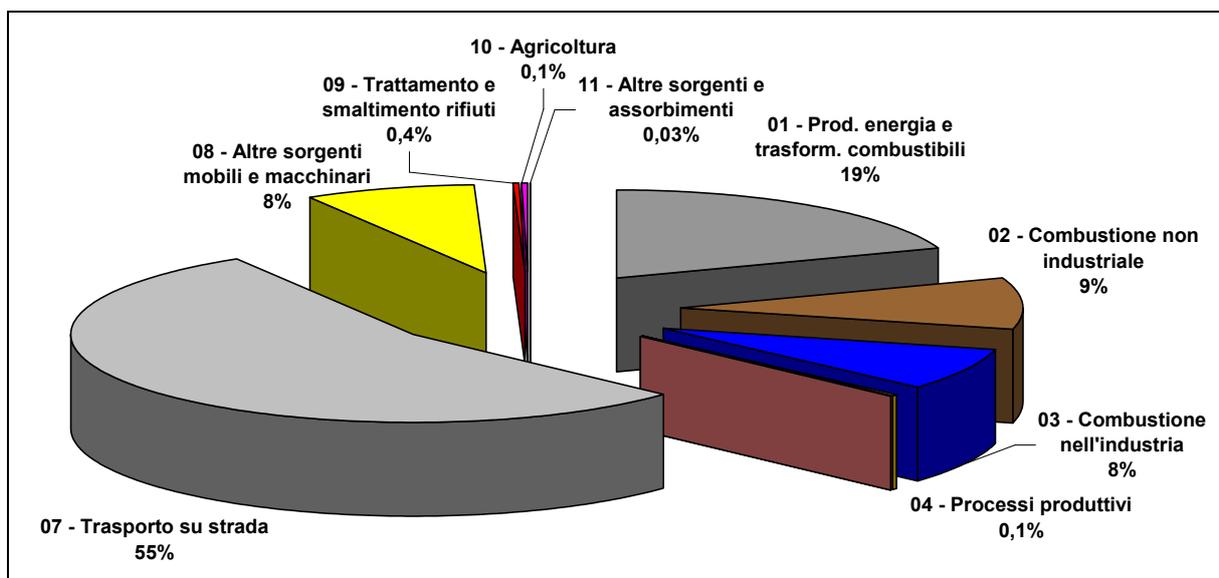


Figura 3: Distribuzione percentuale delle emissioni di  $\text{NO}_x$  in relazione al macrosettore (anno 2019)

Le migliorie più significative nel settore della riduzione delle emissioni derivano dalle cosiddette “classi euro” ed in particolare, per quanto concerne gli  $\text{NO}_x$ , da quanto previsto per la classe Euro6 in quanto impongono importanti riduzioni delle emissioni di  $\text{NO}_x$ .

La maggior parte dei costruttori di mezzi pesanti hanno in commercio veicoli di classe Euro6 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 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  $\text{NO}_x$ .

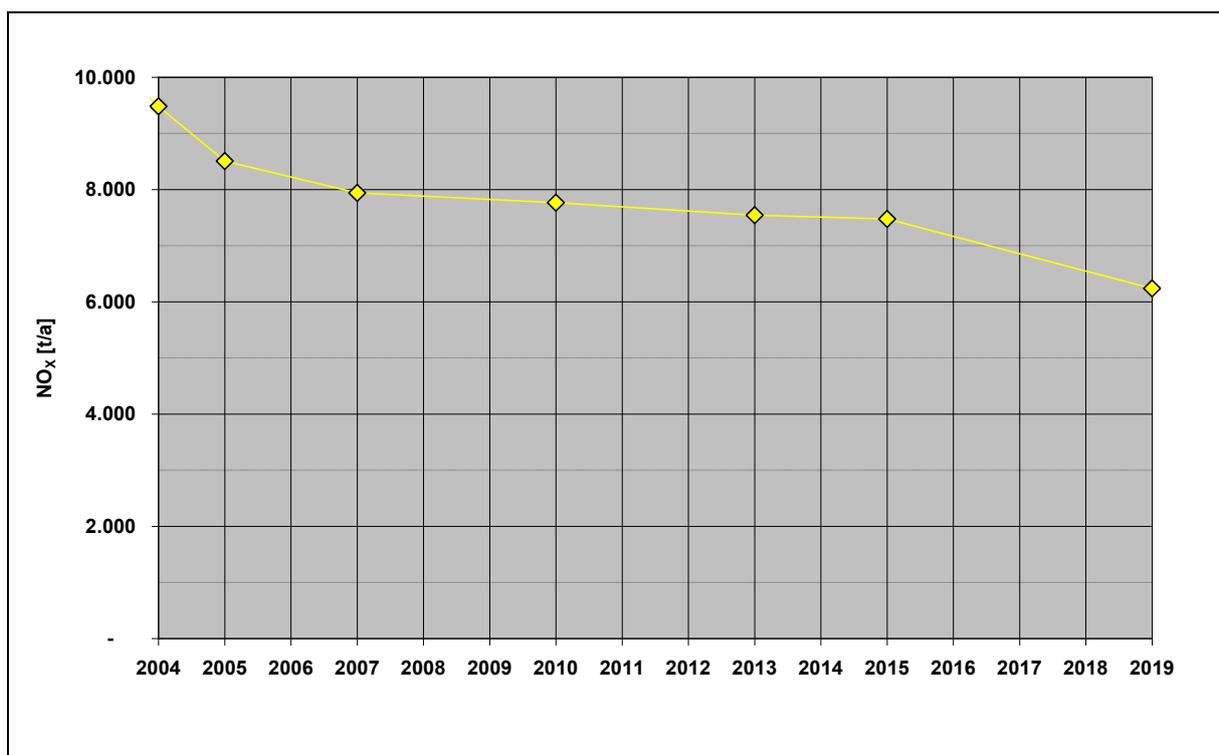


Figura 4: Trend delle emissioni di  $\text{NO}_x$  nell’inventario della Provincia di Bolzano

Tale andamento al ribasso è possibile riscontrarlo anche nelle misure di qualità dell’aria dove si evidenzia un trend in diminuzione dell’ $\text{NO}$ . Tale trend appare però meno marcato nelle misure di  $\text{NO}_2$ . 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 medi utilizzati negli ultimi inventari (vedi Figura 5), dove si può osservare una significativa revisione per le classi Euro5 ed Euro6.

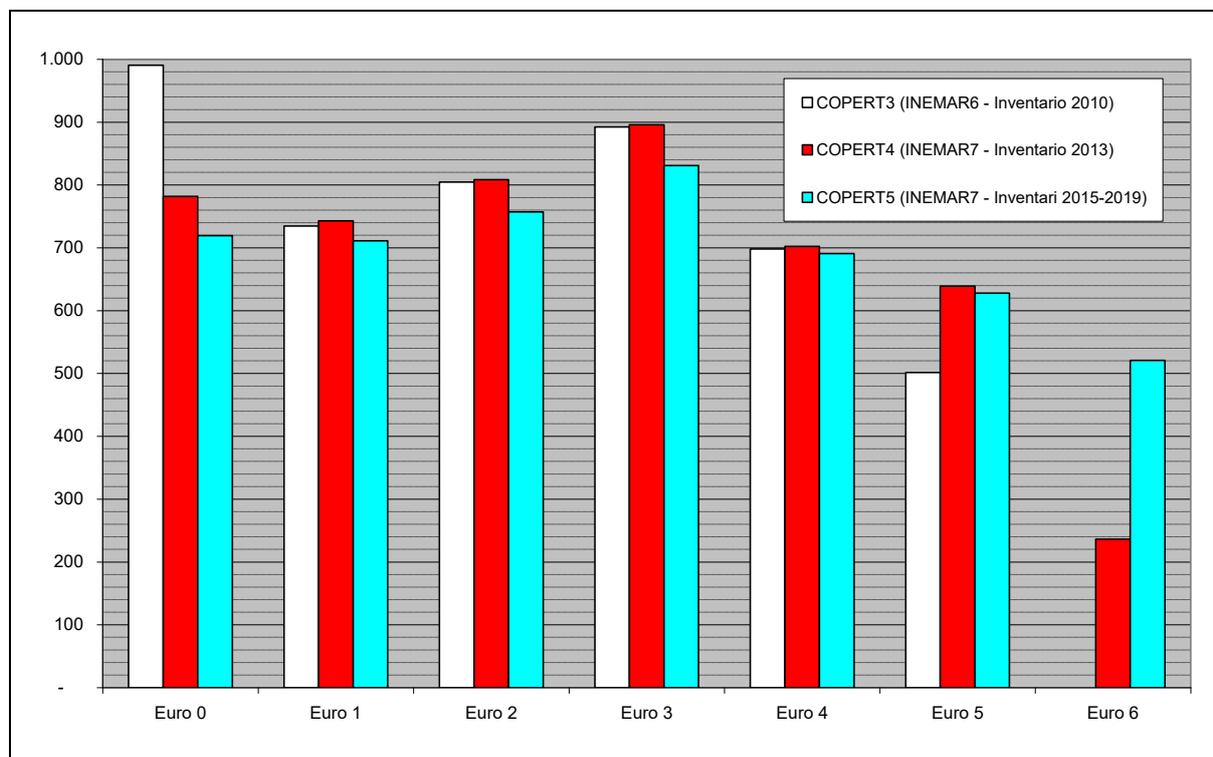


Figura 5: Fattori di emissione medi degli NO<sub>x</sub> per le autovetture diesel

Tale differenza è da ricondurre alla disponibilità di dati di misura su veicoli circolanti per le classi Euro3 ed Euro4 e che nella precedente versione del manuale dei fattori di emissione (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 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 NO<sub>2</sub>. Per tale ragione è necessario approfondire ulteriormente l’analisi andando a scomporre le emissioni di NO<sub>x</sub> nelle due componenti (NO ed NO<sub>2</sub>).

Negli ultimi anni è stato possibile constatare come il rapporto  $\text{NO}_2/\text{NO}$  delle emissioni da traffico si sia progressivamente spostato a favore dell' $\text{NO}_2$ . Questo rapporto è importante in quanto il valore limite per la protezione della salute umana è fissato solamente per l' $\text{NO}_2$ .

Il motivo di tale aumento delle emissioni di  $\text{NO}_2$  è da ricercarsi nell'adozione del catalizzatore ossidante nei veicoli diesel. Tale sistema, adottato a partire dalla classe Euro3, serve a ridurre le emissioni di idrocarburi (HC) e di monossido di carbonio (CO), ma come effetto secondario ossida l' $\text{NO}$  in  $\text{NO}_2$ . Il rapporto più alto tra  $\text{NO}_2$  ed  $\text{NO}$  lo si trova nelle autovetture diesel a partire dall'Euro3 (Tabella 6).

<b>Classe</b>	<b>% <math>\text{NO}_2</math></b>
Euro 0	8%
Euro 1	8%
Euro 2	11%
Euro 3	35%
Euro 4	40% - 46%
Euro 5	30 - 34%
Euro 6	35%

Tabella 6: Rapporto  $\text{NO}_2 / \text{NO}_x$  allo scarico di autovetture diesel<sup>2</sup>

L'aumento dell'emissione di  $\text{NO}_2$  allo scarico non comporta un aumento direttamente proporzionale delle concentrazioni in aria a causa delle reazioni chimiche in atmosfera (reazioni tra  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{O}_3$ , radicali  $\text{OH}$ ) che non permettono di avere un rapporto 1:1 tra emissione ed immissione di  $\text{NO}_2$ . Ciò nonostante, tale aumento risulta essere certamente di ostacolo alla riduzione delle concentrazioni di  $\text{NO}_2$  in atmosfera anche in presenza di una riduzione delle emissioni complessive di  $\text{NO}_x$ .

Come sopra già riportato, il traffico su gomma ha una grandissima influenza sulle emissioni di  $\text{NO}_x$ . 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. Di particolare rilievo è la notevole presenza di traffico pesante (26% circa) che risulta essere particolarmente negativa sulle emissioni rendendosi responsabile per il 52% delle emissioni totali di  $\text{NO}_x$  dell'autostrada.

<sup>2</sup> Institute of Internal Combustion Engines and Thermodynamics. (2019) *Update of emission factors for HBEFA Version 4.1*

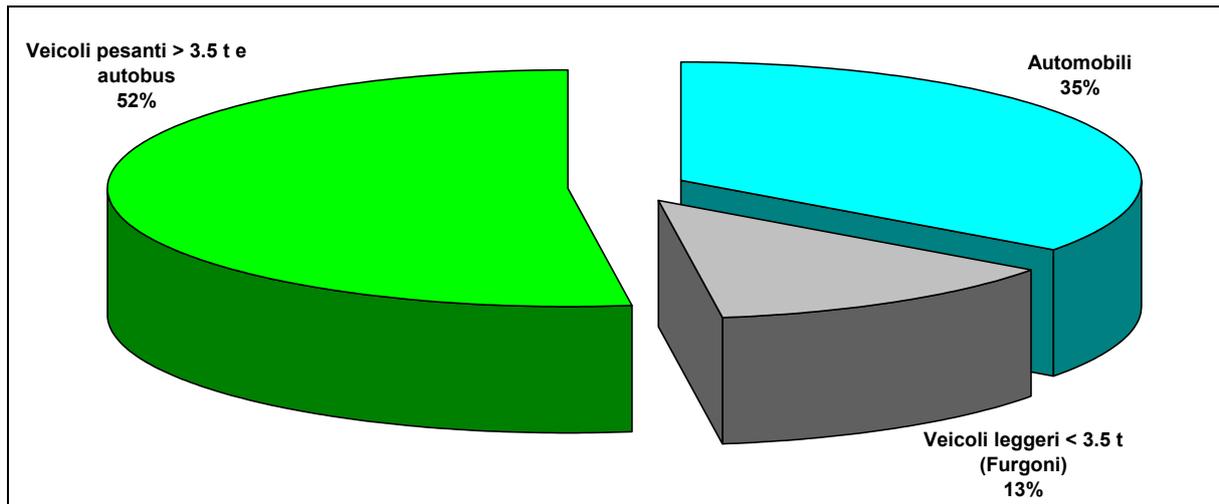


Figura 6: Quota percentuale di emissioni di NO<sub>x</sub> per tipologia di veicolo sulla A22 (2019)

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 EURO6 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.

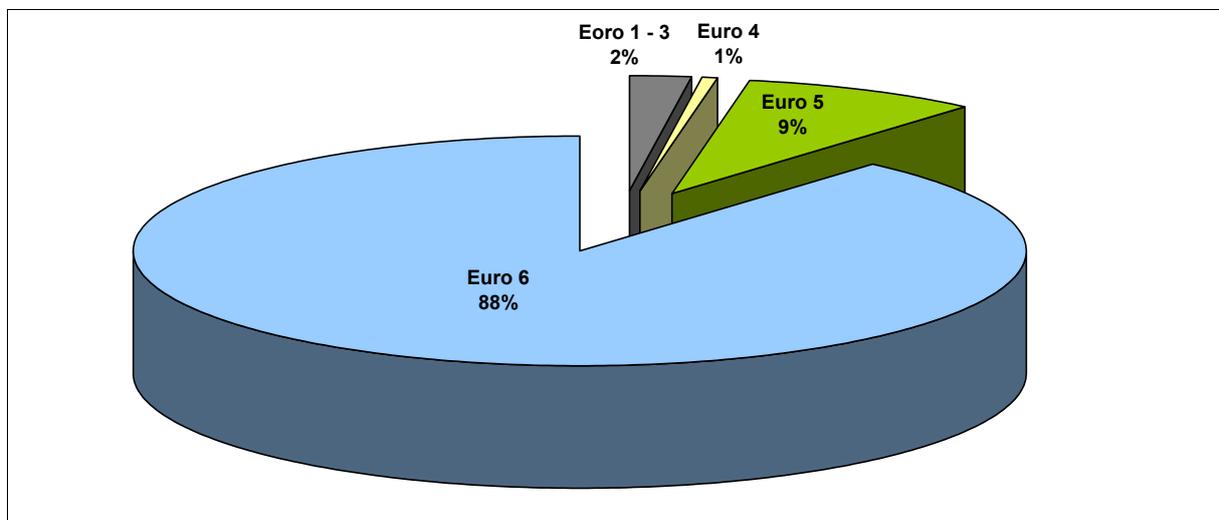


Figura 7: Composizione del traffico pesante (> 3,5 t) alla frontiera del Brennero (ASFAG 01/2020)

Si ha così che già pochissimi anni dopo l'immissione sul mercato dei veicoli EURO6 la loro presenza sull'asse del Brennero è già prevalente. Da ciò ne consegue che il calo delle emissioni di NO<sub>x</sub> 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<sub>x</sub> emerge in modo chiaro dal confronto con le altre strade presenti sul territorio provinciale.

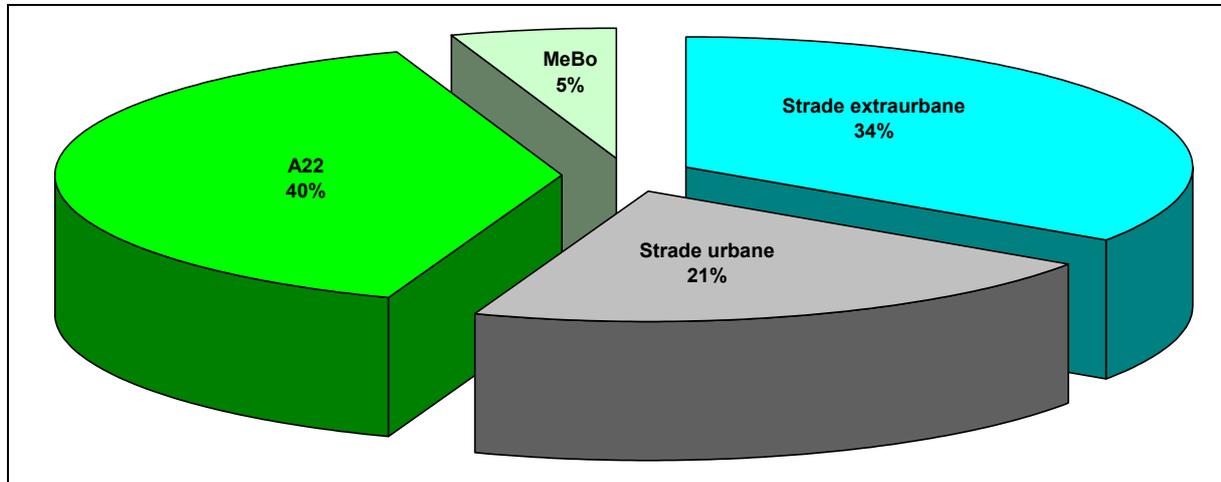


Figura 8: Quota percentuale di emissioni di NO<sub>x</sub> per tipologia di strada in Alto Adige (2019)

Anche la mappa di distribuzione territoriale evidenzia in modo inequivocabile la forte influenza del traffico stradale sul bilancio delle emissioni di NO<sub>x</sub>.

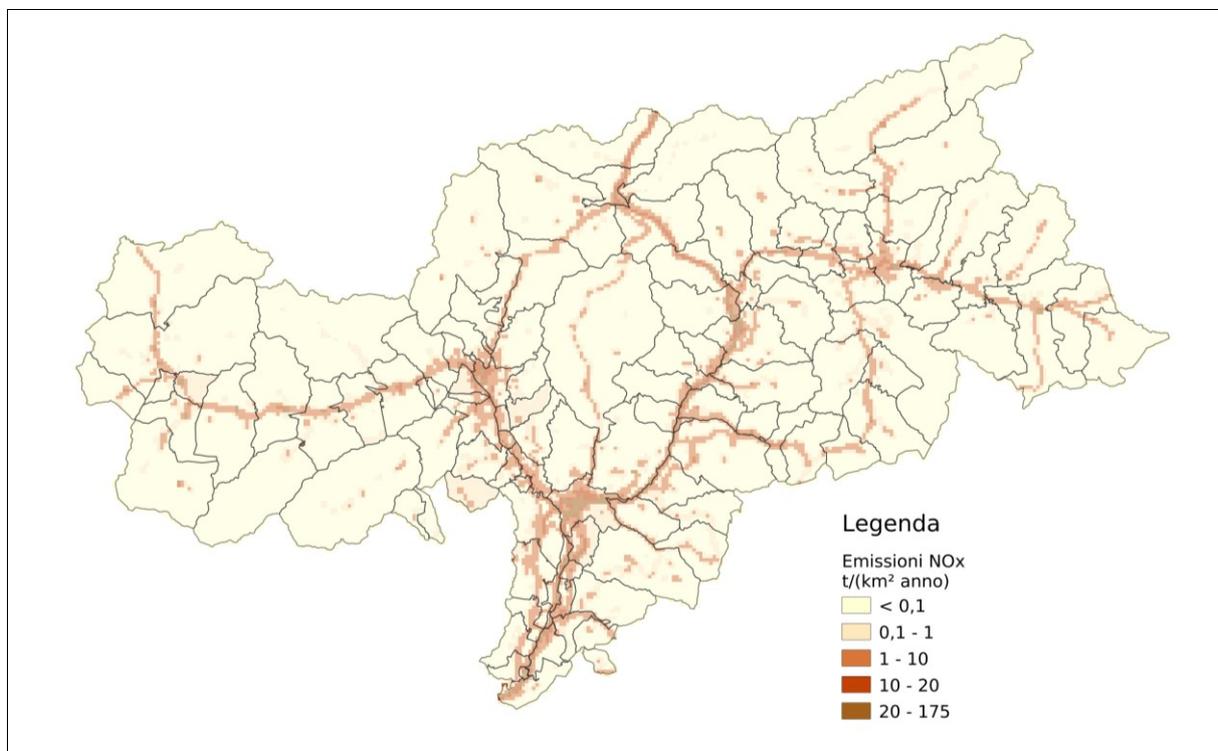


Figura 9: Distribuzione territoriale delle emissioni di NO<sub>x</sub> (2019)

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  $\text{NO}_2$ . La reazione chimica più importante è quella che coinvolge l'NO e l'ozono ( $\text{O}_3$ ) e che vede come prodotti finali l' $\text{NO}_2$  e l'ossigeno ( $\text{O}_2$ ). 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  $\text{NO}_2$ . In direzione opposta interviene poi la reazione che vede la riduzione dell' $\text{NO}_2$  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  $\text{O}_3$ . Queste interdipendenze tra varie sostanze presenti in atmosfera fa sì che le concentrazioni di NO e di  $\text{NO}_2$  possano variare anche in modo non direttamente dipendente dalla presenza di fonti emmissive di  $\text{NO}_x$ .

## **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  $\mu\text{m}$ . Queste particelle sono particolarmente dannose per la salute in quanto riescono a penetrare fin nelle parti più profonde dei polmoni. La loro composizione è assai 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 PM2.5 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%, al 67% negli inventari 2013 e 2015 e al 72% nel 2019. Il contributo del traffico è invece

sceso dal 36% nel 2000 al 29% nel 2007 al 18% nel 2013 al 17% nel 2015 e al 13% nel 2019. Per quanto concerne il traffico è necessario segnalare che, a fronte delle le notevoli riduzioni delle emissioni di particolato ottenute con il trattamento dei gas di scarico (ad. es. filtro antiparticolato), esiste una componente delle polveri legata all'usura (freni, pneumatici e manto stradale) che non ha subito sostanziali riduzioni con il rinnovarsi dei veicoli e che negli ultimi anni è quindi diventata la componente principale del particolato emesso; per il 2019 si stima che solo il 28% del PM10 imputabile al traffico sia emesso allo scarico.

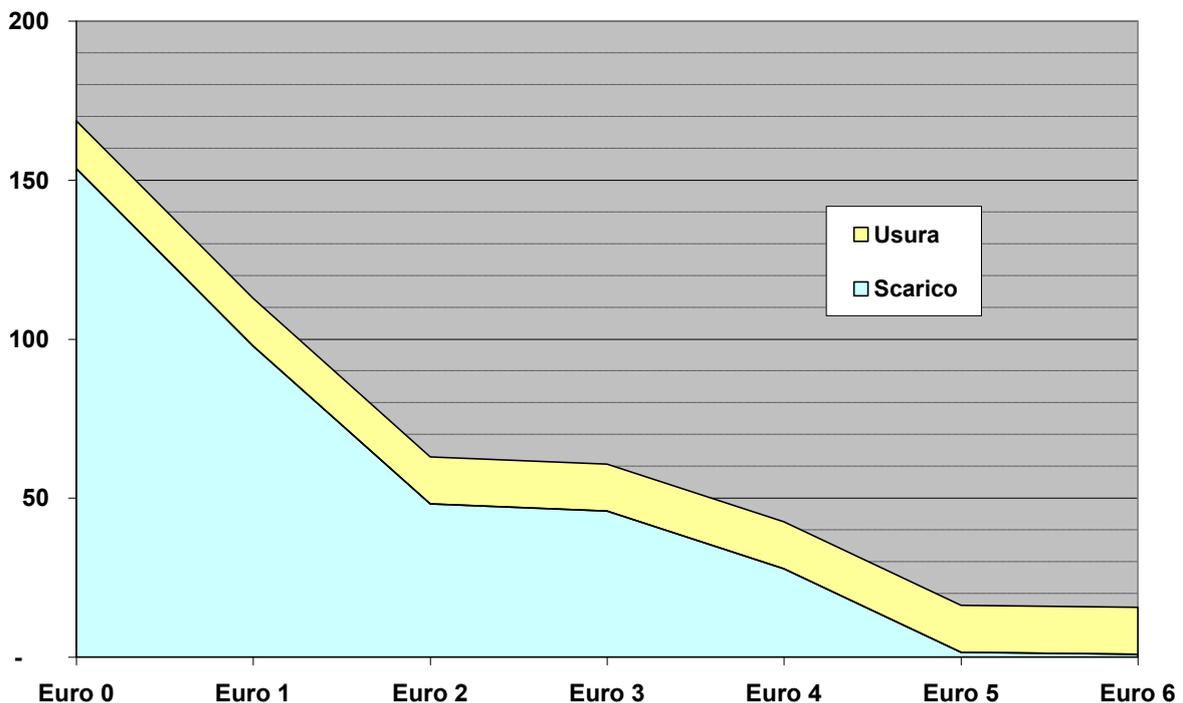


Figura 10 - Fattori di emissione medi di PM10 per classe Euro (autoveicoli diesel, regime autostradale)

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.

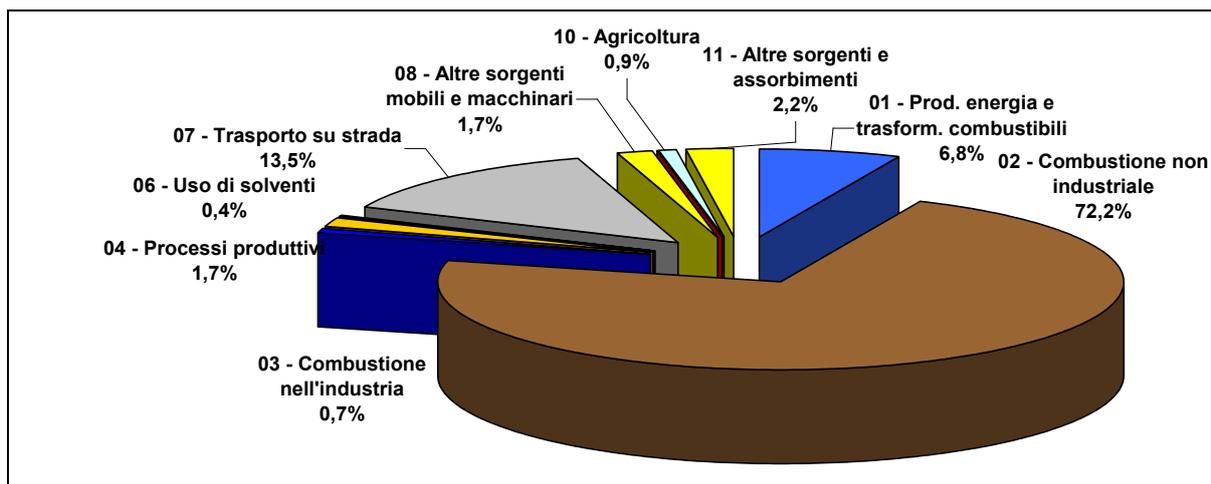


Figura 11: Distribuzione percentuale delle emissioni di PM10 per tipo di fonte (2019)

Valutando le emissioni di particolato in funzione del tipo di combustibile utilizzato si evidenzia il contributo della combustione della legna, che genera il 79% del PM10 emesso nel 2019, di cui il 72% dal settore della combustione non industriale (riscaldamento domestico).

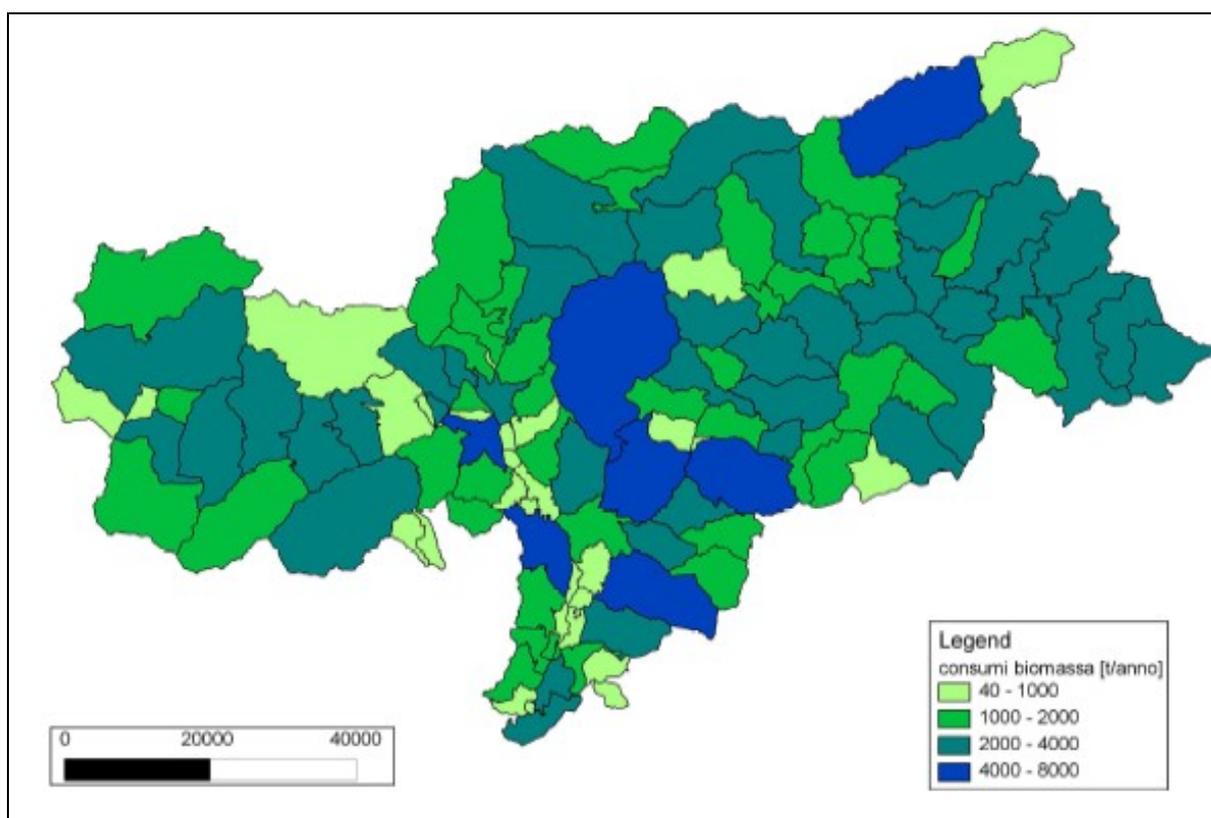


Figura 12: Utilizzo di legna da ardere nei comuni altoatesini<sup>3</sup>

<sup>3</sup> Fonte: TIS-Bozano / sezione energia e ambiente

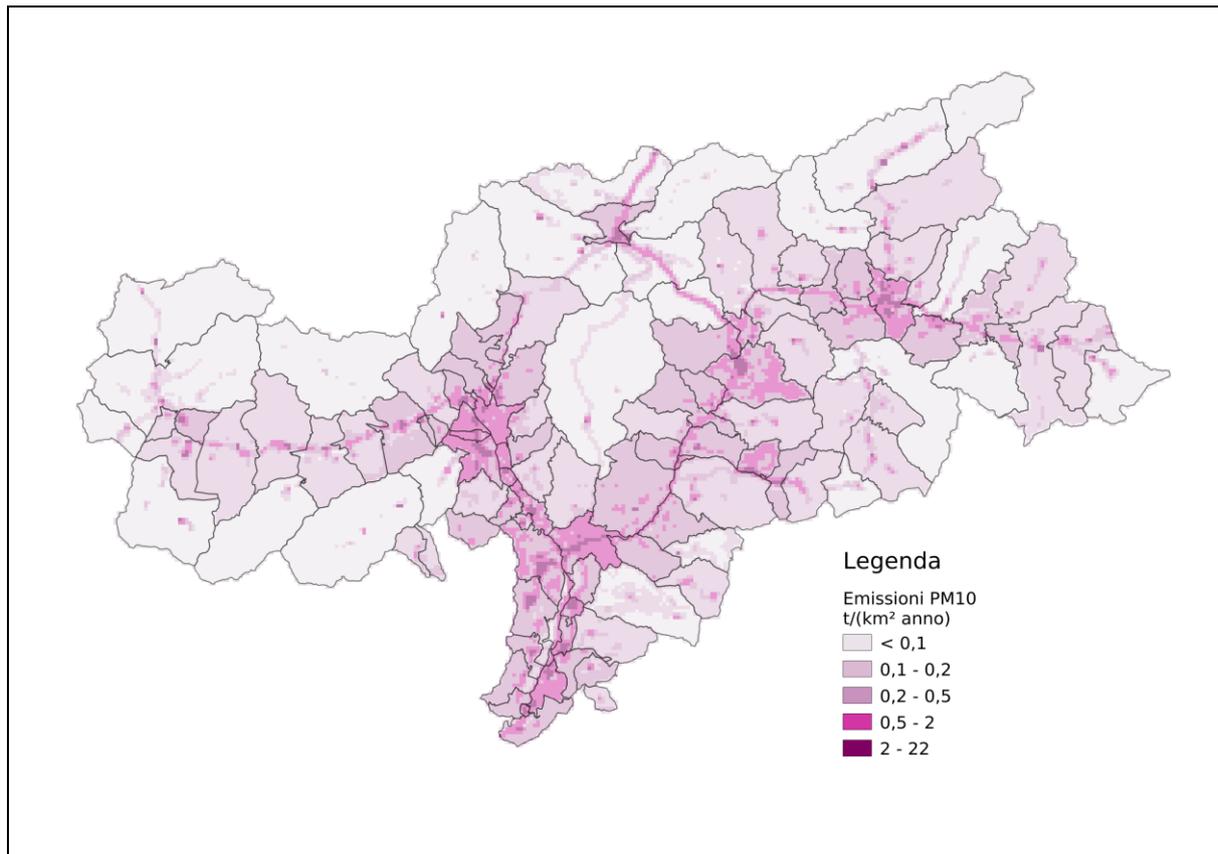


Figura 13 - Distribuzione territoriale delle emissioni di PM10 (2019)

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<sub>x</sub>. Una conferma di tale situazione ci viene offerta anche dai dati di PM10 e PM2.5 registrati dalla rete di misura della qualità dell'aria.

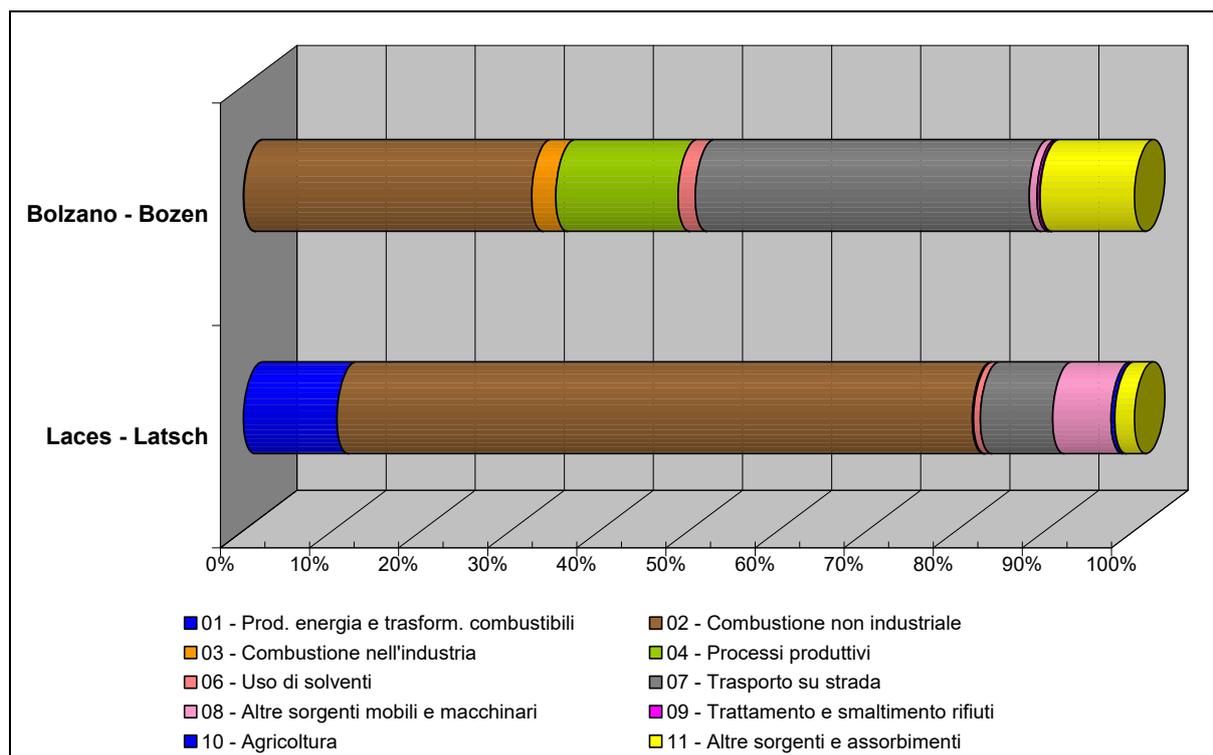


Figura 14: Confronto delle emissioni di PM10 per tipo di fonte<sup>4</sup> nei comuni di Laces e Bolzano (2019)

## Ammoniaca (NH<sub>3</sub>)

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' $\text{NH}_3$  reagisce con gli acidi per formare sali di ammonio che concorrono alla formazione del particolato secondario.

<sup>4</sup> Si ricorda che il Macrosettore 01 - Prod. energia e trasform. combustibili comprende gli impianti di teleriscaldamento a biomassa, mentre il Macrosettore 02 - Combustione non industriale include gli Impianti termici domestici.

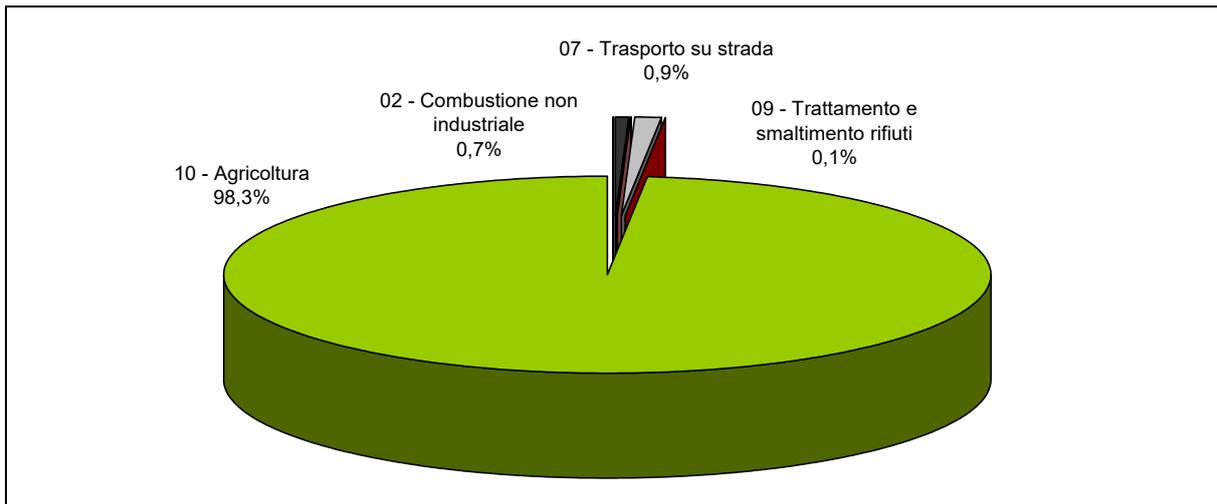


Figura 15: Distribuzione percentuale delle emissioni di NH<sub>3</sub> per tipo di fonte (2019)

## 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 CH<sub>4</sub>. Nell'inventario delle emissioni il CH<sub>4</sub> 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.

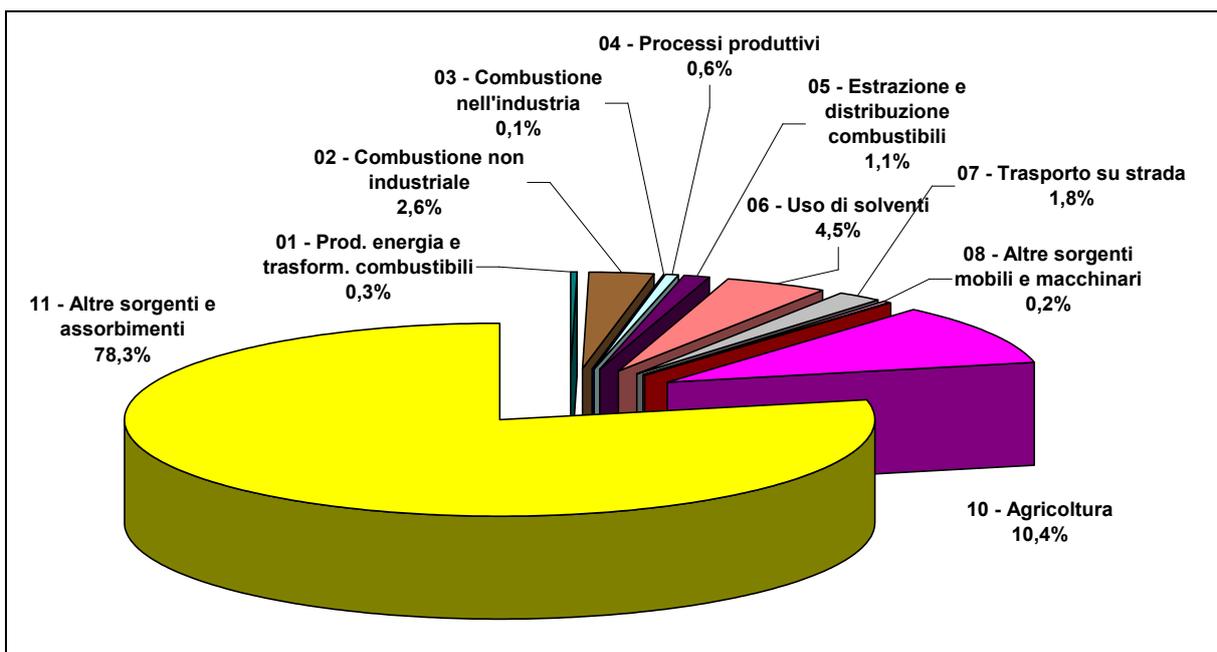


Figura 16 - Distribuzione percentuale delle emissioni di COV per tipo di fonte (2019)

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.

## **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 dai 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 produzione di notevoli quantità di inquinanti.

Macrosettore	Benzina verde	diesel	legna ed altri combustibili simili	Senza combustibile	Totale
Produzione energia			0,9%		<b>0,9%</b>
Riscaldamento civile			96,7%		<b>96,7%</b>
Combustione nell'industria			0,1%	0,2%	<b>0,3%</b>
Trasporto su strada	0,1%	1,6%		0,1%	<b>1,8%</b>
Altre sorgenti mobili e macchinari		0,1%			<b>0,1%</b>
Altre sorgenti e assorbimenti				0,2%	<b>0,2%</b>
<b>Totale</b>	<b>0,1%</b>	<b>1,7%</b>	<b>97,7%</b>	<b>0,5%</b>	<b>100,0%</b>

Tabella 7 Distribuzione percentuale delle emissioni di B(a)P per tipo di fonte e combustibile (2019)

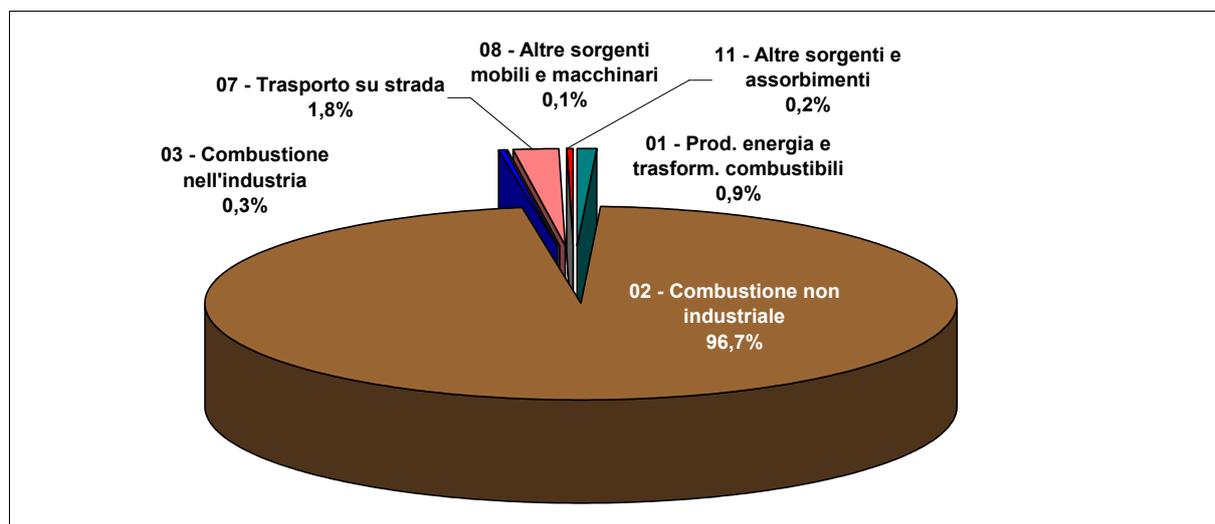


Figura 17: Distribuzione percentuale delle emissioni di B(a)P per tipo di fonte (2019)

## 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, CO<sub>2</sub>, ma altre sostanze, come il metano ed il protossido di azoto, pur se emesse in quantitativi minori, possono dare un contributo significativo.

### **Emissioni di CO<sub>2</sub> lorda e CO<sub>2</sub> netta**

Nell'ambito dell'inventario delle emissioni vengono computate come CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> netta che viene calcolata come CO<sub>2</sub> emessa da fonti non rinnovabili.

Questa distinzione viene adottata in quanto la combustione delle biomasse non comporta emissioni aggiuntive di CO<sub>2</sub> in atmosfera essendo la biomassa un combustibile biogenico, ossia generato per fotosintesi a partire da carbonio già presente in atmosfera. Per contro la CO<sub>2</sub> generata da processi industriali di produzione per contatto o da combustione di carburanti fossili immette in atmosfera nuova CO<sub>2</sub> 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).

Osservando la distribuzione delle emissioni di CO<sub>2</sub> lorda si può vedere come i due settori maggiormente rappresentati siano il traffico ed i riscaldamenti civili.

Per quanto riguarda i contributi alle emissioni di CO<sub>2</sub> netta per contro 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 CO<sub>2</sub> netta si vede che l'autostrada incide per circa un terzo.

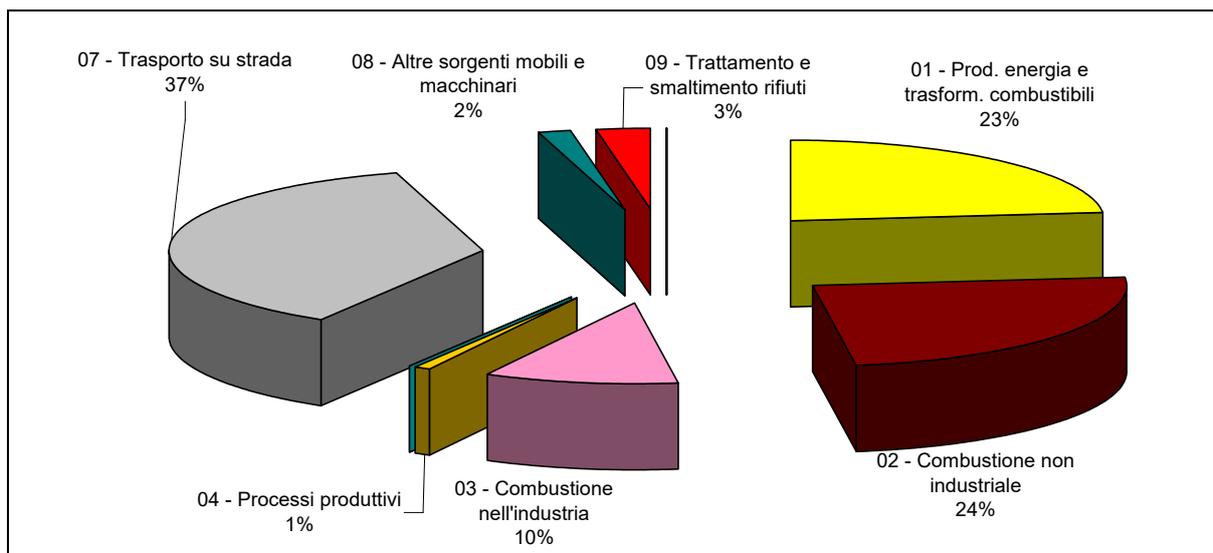


Figura 18: Distribuzione percentuale delle emissioni di CO<sub>2</sub> lorda per macrosettore (2019)

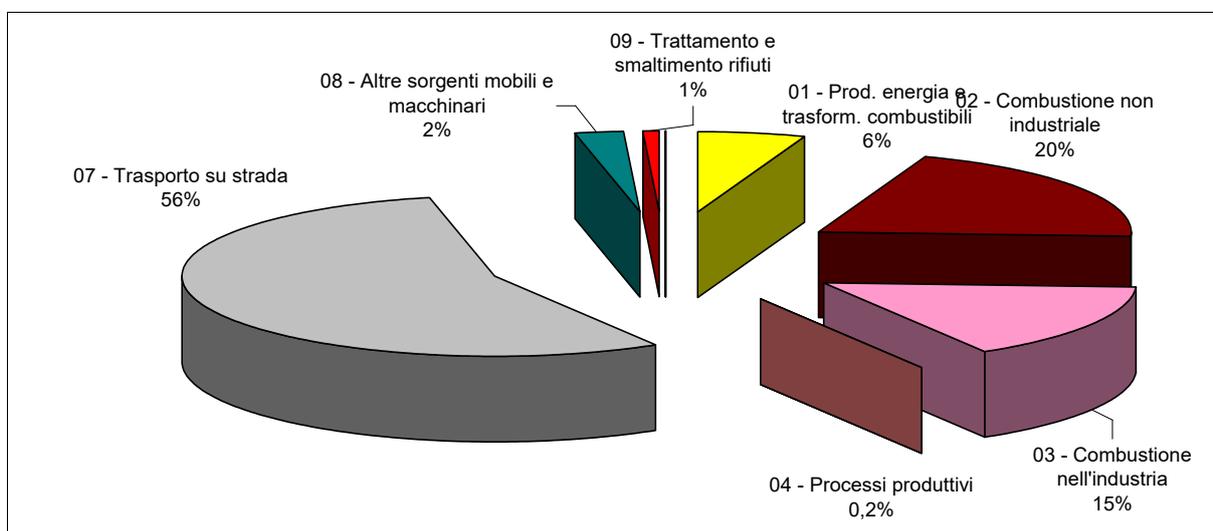


Figura 19: Distribuzione percentuale delle emissioni di CO<sub>2</sub> netta per macrosettore (2019)

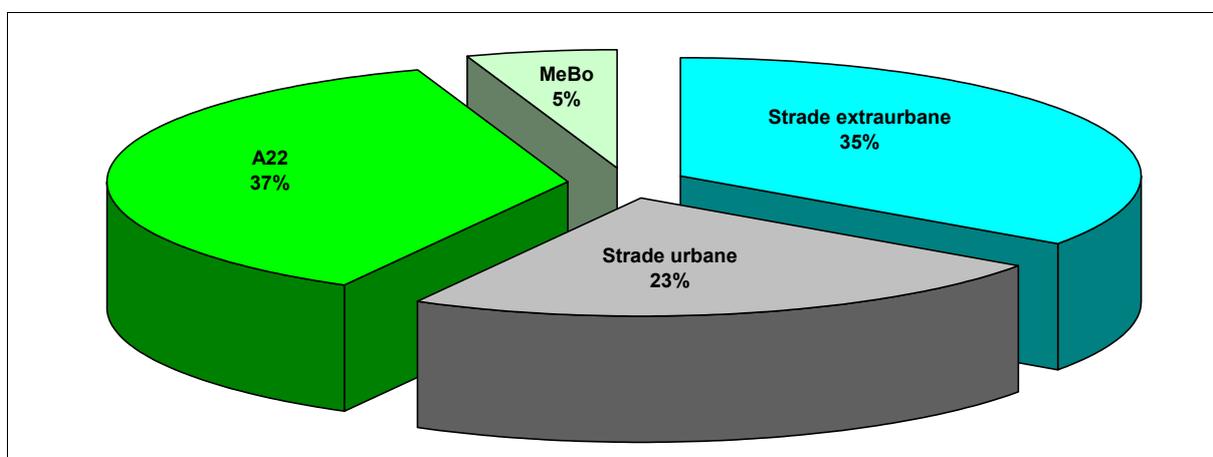


Figura 20: Quota percentuale di emissioni di CO<sub>2</sub> da traffico per tipologia di strada in Alto Adige (2019)

## **Emissioni di CH<sub>4</sub>**

Il 76% 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. Vengono contemplate 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).

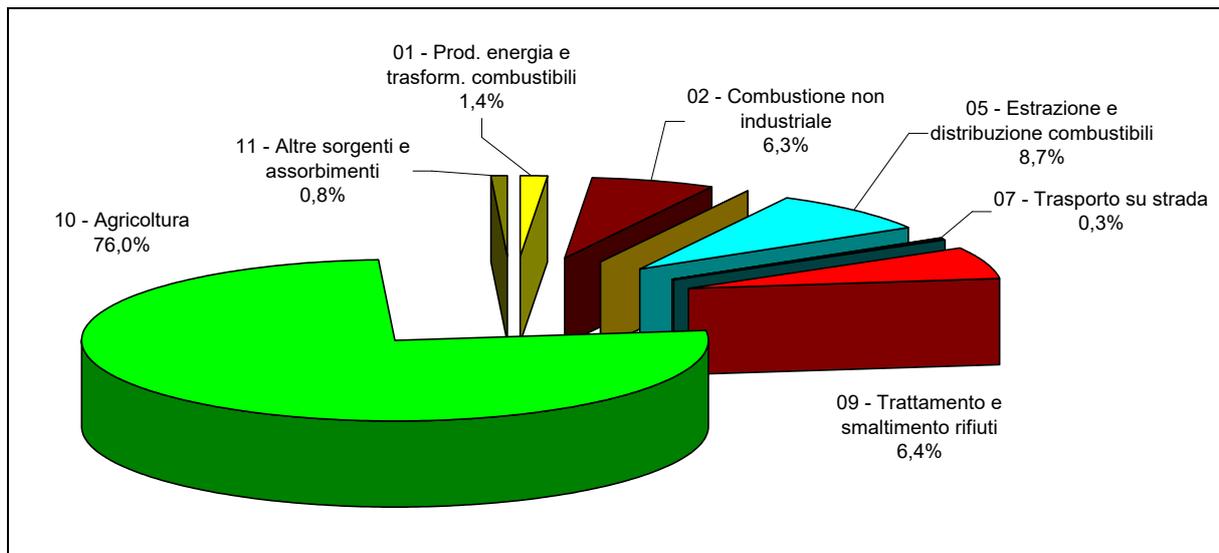


Figura 21: Distribuzione percentuale delle emissioni di CH<sub>4</sub> per tipo di fonte (2019)

## **Emissioni di N<sub>2</sub>O**

Le emissioni di protossido di azoto (N<sub>2</sub>O), 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 N<sub>2</sub>O che poi si disperde in atmosfera.

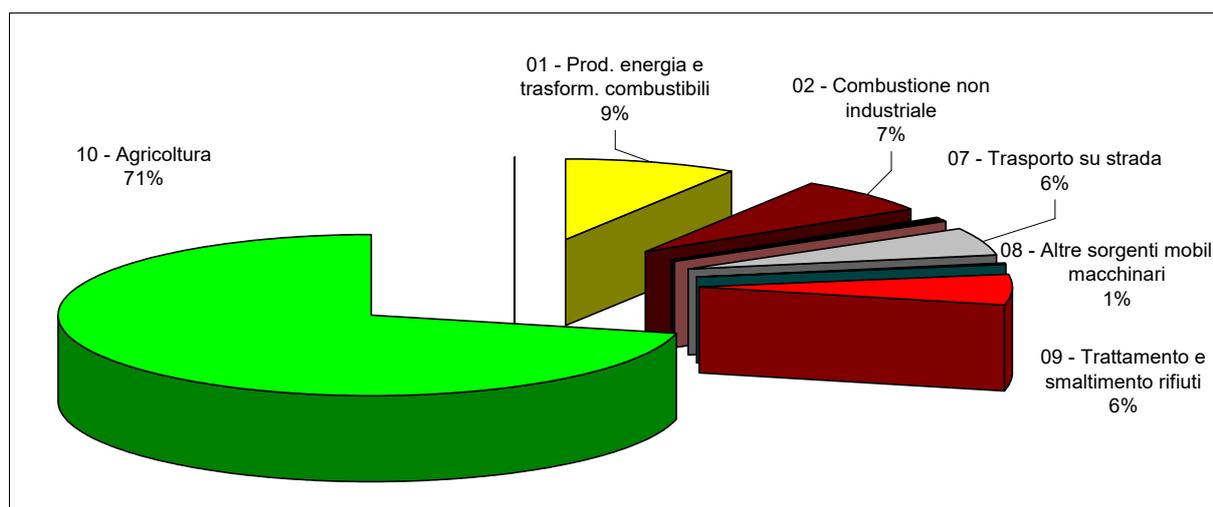


Figura 22: Distribuzione percentuale delle emissioni di N<sub>2</sub>O per tipo di fonte (2019)

### **CO<sub>2</sub> 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 (CO<sub>2</sub>);
- il metano (CH<sub>4</sub>);
- il protossido di azoto (N<sub>2</sub>O).

Il loro potenziale effetto serra viene stimato utilizzando un indice denominato GWP (Global Warming Potential):

Inquinante di partenza	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub> O
CO <sub>2</sub> equivalente	21	1	310

Tabella 8: Coefficienti utilizzati per il calcolo della CO<sub>2</sub> equivalente

Quindi le emissioni dei diversi gas serra vengono aggregate e sono riportate attraverso l'indicatore CO<sub>2</sub>eq (CO<sub>2</sub> 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<sub>i</sub> = Global Warming Potential;

E<sub>i</sub> = emissione dell'inquinante climalterante i.

## **Emissioni di CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> equivalente è riportato nelle figure seguenti.

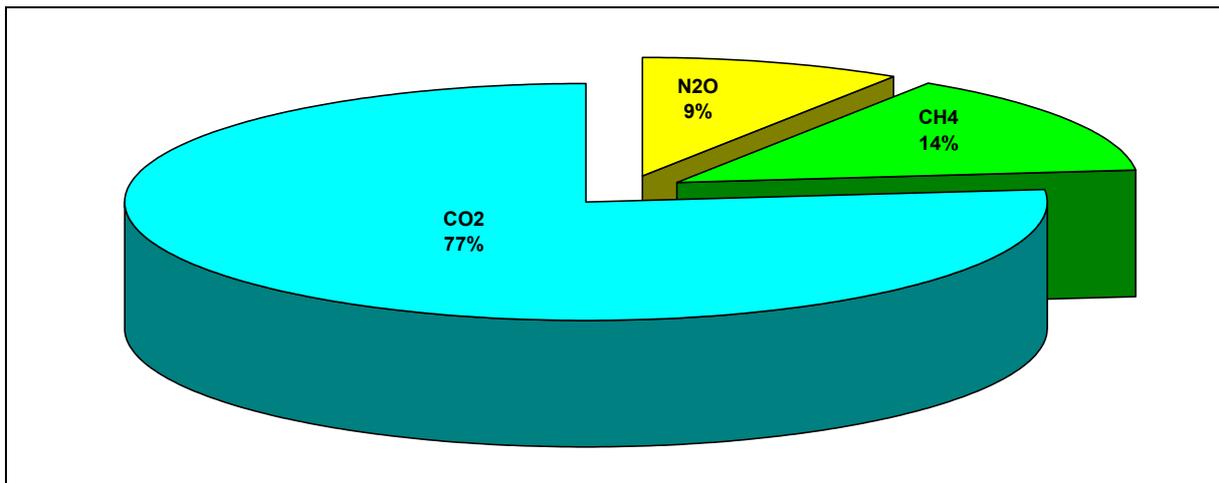


Figura 23: Contributo dei singoli inquinanti alle emissioni di CO<sub>2</sub> equivalente

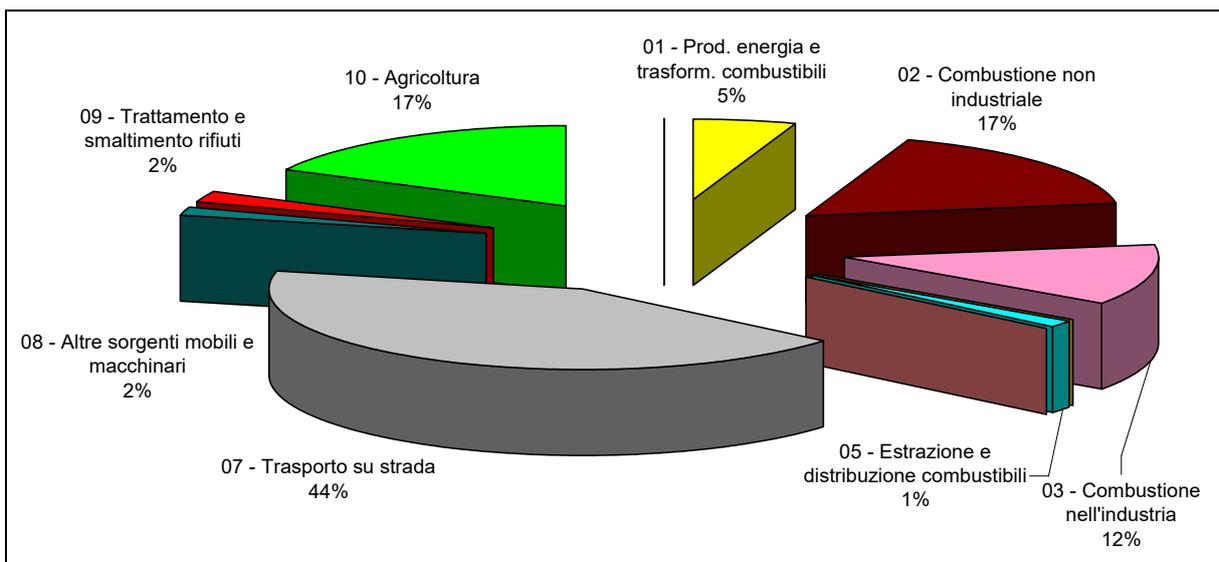


Figura 24: Distribuzione percentuale delle emissioni di CO<sub>2</sub> equivalente per macrosettore (2019)

Le biomasse combustibili sono considerate neutrali ai fini del calcolo della CO<sub>2</sub> equivalente e non vengono considerate nel calcolo.

### **Evoluzione della stima delle emissioni di CO<sub>2</sub> negli inventari**

L'andamento delle emissioni di CO<sub>2</sub> netta stimata per gli inventari realizzati (Figura 25) appare altalenante, in quanto la metodologia di stima negli anni è cambiata adottando diversi fattori di emissione e computando diversamente alcuni indicatori. La CO<sub>2</sub> lorda presenta un trend leggermente crescente, a causa prevalentemente dell'incremento del numero di impianti di teleriscaldamento a biomassa, motivo per il quale è andata via via aumentando la differenza tra CO<sub>2</sub> lorda e CO<sub>2</sub> netta.

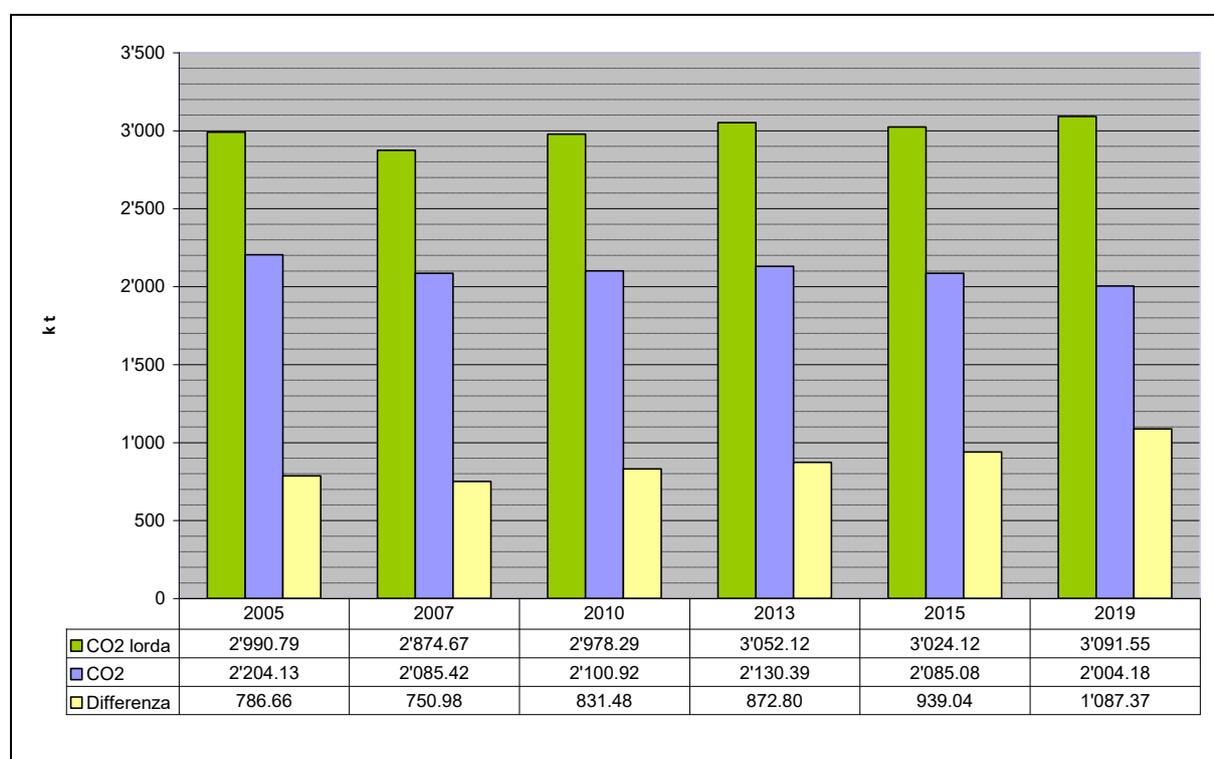


Figura 25 - Andamento delle emissioni di CO<sub>2</sub> Netta e Lorda negli anni 2005 - 07 - 10 - 13 - 15 e 2019<sup>5</sup>

L'andamento delle emissioni di CO<sub>2</sub> equivalente e delle sue componenti CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O e CH<sub>4</sub> mostra un trend complessivamente decrescente, con una riduzione complessiva del 11% per la stima dell'anno 2019 rispetto al valore inizialmente calcolato per il 2005 (Figura 26).

<sup>5</sup> I valori relativi agli anni 2007, 2010 e 2013 sono stati aggiornati rispetto ai rapporti precedenti per una revisione del bilancio provinciale del gas metano nel settore industriale

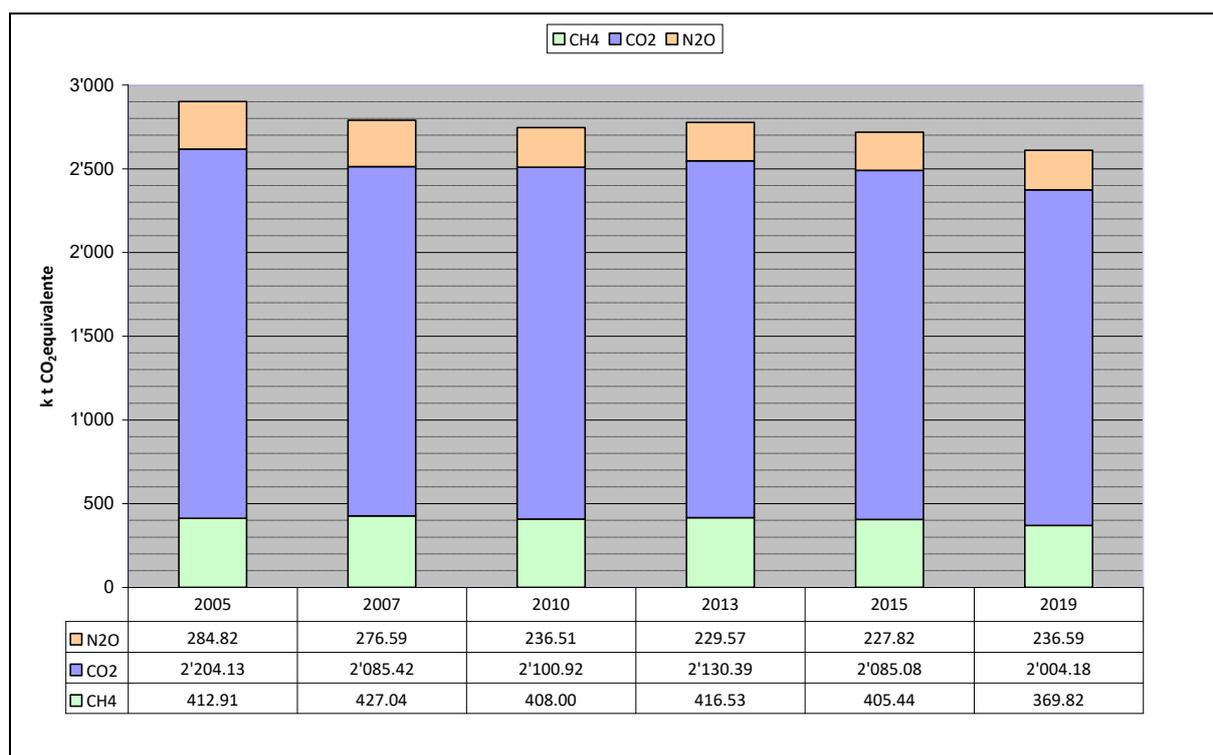


Figura 26 - Andamento delle emissioni di CO<sub>2</sub> equivalente e delle sue componenti negli anni 2005 - 07 - 10 - 13 - 15 e 2019<sup>5</sup>

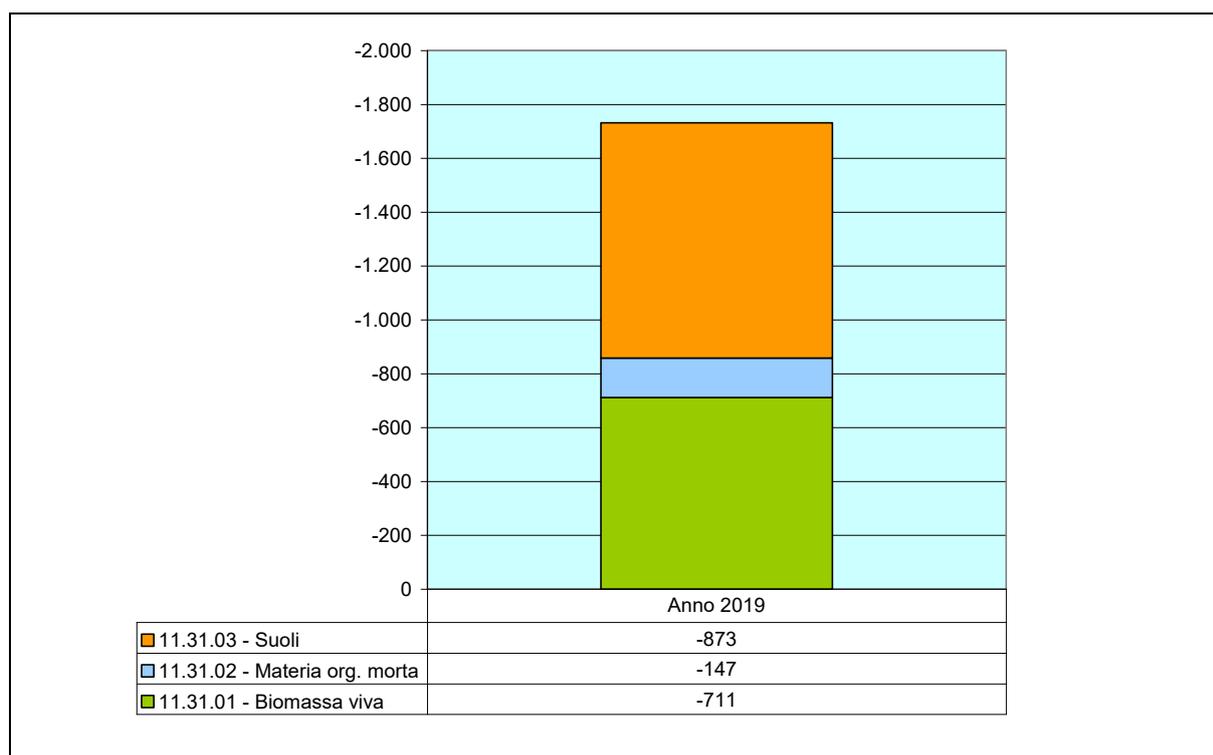
### **Assorbimenti di Carbonio**

A partire dall'anno 2010, all'interno dell'inventario delle emissioni vengono considerati anche gli assorbimenti di CO<sub>2</sub> da parte delle foreste provinciali.

L'anidride carbonica (CO<sub>2</sub>) 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%.

Nell'analisi delle emissioni di CO<sub>2</sub> 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 9 dove, per la CO<sub>2</sub>equivalente, si nota l'importante contributo derivante dall'attività agricola

Figura 27: Assorbimento di CO<sub>2</sub> del macrosettore 11 (kt)

<b>Macrosettore</b>	<b>CO<sub>2</sub></b>	<b>CO<sub>2</sub> eq</b>
01 - Prod. energia e trasform. combustibili	113,27	139,56
02 - Combustione non industriale	404,57	445,04
03 - Combustione nell'industria	310,64	311,88
04 - Processi produttivi	3,05	3,17
05 - Estrazione e distribuzione combustibili		32,29
06 - Uso di solventi		
07 - Trasporto su strada	1.107,99	1.122,17
08 - Altre sorgenti mobili e macchinari	46,86	48,10
09 - Trattamento e smaltimento rifiuti	17,79	55,83
10 - Agricoltura		449,69
11 - Altre sorgenti e assorbimenti	-1.731,39	-1.728,34
<b>TOTALE</b>	<b>272,79</b>	<b>879,38</b>

Tabella 9: Emissioni di CO<sub>2</sub> 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.

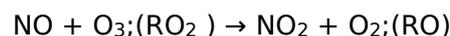
#### **Materiale particolato d'origine secondaria (PM2.5 e PM10)**

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.

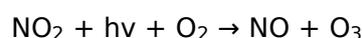
Le particelle secondarie possono essere trasportate su lunghe distanze contribuendo così all'inquinamento atmosferico anche a notevole distanza dalle fonti emissive.

#### **Biossido di azoto d'origine secondaria (NO<sub>2</sub>)**

Ogni processo di combustione produce ossidi d'azoto (NO e NO<sub>2</sub>) 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<sub>2</sub> reagendo in atmosfera con l'ozono (O<sub>3</sub>) o radicali liberi (RO<sub>2</sub>):



Attraverso il processo di fotolisi, l'NO<sub>2</sub> viene ritrasformato in NO:



Ma essendo tale secondo processo 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 NO<sub>2</sub> a causa dell'assenza di luce solare. Questi processi contrapposti possono provocare notevoli sbalzi delle concentrazioni di NO<sub>2</sub> durante l'arco di una giornata.

### **Ozono (O<sub>3</sub>)**

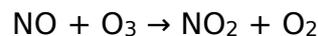
L'ozono è un gas particolare che in concentrazioni normali ha funzioni benefiche per la vita. Infatti, a quote molto elevate (stratosfera) serve a proteggere la terra dalle radiazioni ultraviolette dannose per la vita organica, mentre a bassa quota (troposfera) serve a mantenere libera l'atmosfera da 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'NO<sub>2</sub>.

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'O<sub>3</sub>:



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.