



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TRENTO

Dipartimento di Ingegneria Civile
e Ambientale

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TRENTO

“PIANO DI TUTELA DELLA QUALITÀ DELL’ARIA DELLA
PROVINCIA AUTONOMA DI TRENTO”

ALLEGATO B

LE EMISSIONI DI INQUINANTI IN ARIA

ALLEGATO B

LE EMISSIONI DI INQUINANTI IN ARIA

Indice

Indice	2
B.1 Individuazione delle fonti di emissione e quantificazione delle emissioni di inquinanti in atmosfera sul territorio provinciale	3
B.1.1 Sintesi dei risultati dell'inventario per l'anno 2004	7
B.2 Informazioni attuali sull'inquinamento proveniente da altre aree esterne (altre regioni, inquinamento transfrontaliero, eccetera) e generato da eventi naturali (eruzioni vulcaniche, aerosol marino, polvere del Sahara, eccetera).....	12
B.3 Informazioni sull'inquinamento derivante da PM ₁₀ nella città di Trento e valutazioni sulla base della sua composizione.	14
B.3.1 Caratterizzazione chimica del particolato atmosferico.....	14
B.3.1.1 Indicazioni per approfondimenti futuri	18
B.3.2 Emissioni di PM ₁₀ dalla combustione della legna.....	18
B.4 Valutazione dell'esposizione domestica all'inquinamento derivante da PM ₁₀	21
B.4.1 Indicazioni per approfondimenti futuri	21

B.1 Individuazione delle fonti di emissione e quantificazione delle emissioni di inquinanti in atmosfera sul territorio provinciale

L'inventario delle emissioni degli inquinanti atmosferici di riferimento è quello relativo all'anno 2004, realizzato da Techne Consulting aggiornando i dati dell'inventario effettuato nel 1998 sulla base dei dati del 1995 e di quello del 2002 riferito al 2000.

Nell'ultima versione dell'inventario provinciale si deve segnalare la variazione di alcuni dati relativi al 1995 e 2000 rispetto alle stime precedentemente effettuate. Tali variazioni sono frutto, nello specifico caso degli inventari delle emissioni (Techne, 2006):

- della modifica nei dati di base in conseguenza di variazioni nelle fonti statistiche;
- della modifica nei dati di base in conseguenza di variazioni nella metodologia della loro stima;
- della modifica nei fattori di emissione in conseguenza di nuove e più attendibili valutazioni;
- della modifica dei dati aziendali delle emissioni in conseguenza di nuove e più attendibili valutazioni.

Nel seguito sono brevemente riassunte le variazioni intercorse, relativamente agli inquinanti principali, e le motivazioni delle stesse (Techne, 2006):

- per gli impianti di combustione non industriali le variazioni sono dovute da un lato, all'introduzione di una metodologia più accurata di valutazione dei consumi di combustibili (in particolare legna e gasolio) in cui, con riferimento alla legna è stata introdotta la suddivisione in:
 - 02020200 Domestico - Caldaie < 50 MWth
 - 02020520 Domestico - Caminetti
 - 02020530 Domestico - Stufe tradizionali.

dall'altro per il PM₁₀ la variazione è dovuta la completa revisione dei fattori di emissione; con riferimento agli ossidi di zolfo la forte modifica è dovuta ad un adeguamento del tenore di zolfo del gasolio erroneamente considerato in precedenza allo 0,3% e non allo 0,2%

- Per il Macrosettore *03 Impianti di comb. ind. e processi con comb.*

La modifica che si riscontra deriva:

- per gli impianti di combustione industriale (03010300 Industria – Caldaie < 50 MWth – Generico) dalla revisione dei fattori di emissione e di conseguenza alla nuova stima per le emissioni.;
- per la Produzione di agglomerati bituminosi Batch e Drums (03031320, 03031310) dal fatto che nel vecchio inventario, gli impianti di queste attività non erano stimate;
- per la Produzione di vetro piano (03031400) – nel 2000 sono stati forniti i fattori di emissione dall'azienda e quindi i calcoli sono stati rifatti utilizzando questi fattori anche per il 1995 ed il 2004.

- Per il Macrosettore *04 Processi senza combustione*
 - la forte modifica in diminuzione delle emissioni di PM10 deriva dalla revisione della metodologia di stima delle emissioni da cave basata ora su una metodologia dettagliata dell'EPA assumendo una velocità media del vento di 2 m/sec;
 - la forte rivalutazione delle emissioni di COV deriva dalla revisione dei fattori di emissione della produzione di alcolici (con un fattore di emissione più dettagliato dal manuale EMEP/CORINAIR);
- Per il Macrosettore *06 Uso di solventi* la rivalutazione delle emissioni è dovuta ad una più accurata valutazione dei quantitativi utilizzati nel domestico e nella verniciatura del legno;
- Per il Macrosettore *07 Trasporti Stradali* la variazione relativa al 2000 è dovuta ad una nuova valutazione delle percorrenze basata su dati più aggiornati sulle singole strade forniti dalla Provincia e relativi al 2001-2005, nonché all'utilizzo dei dati dell'anno 2000 per i consumi (in precedenza non disponibili e sostituiti con i dati 1999).
- Per il Macrosettore *08 Altre Sorgenti Mobili e macchine* la variazione è dovuta ad una completa revisione della stima dei consumi sulla base del completo aggiornamento dei fattori emissione (basati su un aggiornamento dei fattori di emissione europei) e ad informazioni più aggiornate sulle vendite di combustibili (si veda macrosettore 07);
- Per il macrosettore *10 Agricoltura* si rileva un aumento delle emissioni di PM₁₀ dovuto all'introduzione delle emissioni relative alla gestione del letame;
- Per il Macrosettore *11 Altre sorgenti in natura* l'aumento delle emissioni di COV è dovuta ad una revisione delle superfici boscate (utilizzando i dati 2003 forniti dalla Provincia in quanto ritenuti più accurati).

L inventario delle emissioni costituisce uno degli strumenti principali per lo studio dello stato attuale della qualità dell'aria, nonché per la definizione dei relativi Piani di tutela e risanamento.

Un inventario delle emissioni è una serie organizzata di dati relativi alla quantità di inquinanti introdotti in atmosfera da sorgenti naturali e/o attività antropiche. I dati di emissione devono essere disaggregati per:

- Attività economica (es. produzione di energia elettrica, trasporti, allevamenti);
- unità territoriale (es. regione, provincia, comune);
- periodo di tempo (es. anno, mese, ora);
- combustibile utilizzato (es. benzina, gasolio, metano);
- tipo di inquinante (es. NO_x, CO);
- tipo di emissione (es. puntuali, diffuse, ecc.).

La stima delle emissioni viene effettuata in modo diversificato a seconda della tipologia delle sorgenti:

- per le sorgenti puntuali, è possibile determinare direttamente il dato di emissione, sulla base delle dichiarazioni delle singole aziende o delle misurazioni dirette e continue effettuate negli impianti. Nel caso di mancanza di dati in riferimento ad uno specifico inquinante è possibile fare delle stime sulla base di un fattore di emissione opportuno;
- per le sorgenti diffuse le emissioni sono stimate su base territoriale utilizzando il seguente approccio:

$$E = A \cdot FE$$

dove:

E sono le emissioni;

A è un indicatore dell'attività;

FE è il fattore di emissione per unità di attività e per specifico inquinante.

Il fattore di emissione rappresenta quindi la quantità di inquinante emessa riferita all'unità di attività della sorgente (consumo di combustibile, quantità di prodotto processato...).

L'individuazione dei fattori di emissione adeguati è un passaggio critico nel processo di stima delle emissioni e presenta non pochi problemi di affidabilità. Solitamente i fattori vengono scelti, in base alle caratteristiche della sorgente specifica, facendo riferimento a valori riportati nella letteratura tecnico-scientifica, e adattando i dati bibliografici alla particolare situazione applicativa.

Nell'ambito del progetto CORINAIR (COoRdination-INformation-AIR), promosso e coordinato dalla Comunità Europea nell'ambito del programma sperimentale CORINE (COoRdinated Information on the Environment in the European Community), ha sviluppato e continua ad aggiornare la metododologia di stima delle emissioni di inquinanti atmosferici per la redazione degli inventari delle emissioni.

La classificazione delle fonti di emissione, adottata nell'ambito del progetto CORINAIR individua 11 macrosettori, ciascuno suddiviso in settori che sono a loro volta suddivisi in attività.

Gli 11 macrosettori individuati da CORINAIR e considerati nell'inventario sono:

1. Combustione nell'industria dell'energia e trasformazione fonti energetiche
2. Impianti di combustione non industriali
3. Impianti di combustione industriale e processi con combustione
4. Processi senza combustione
5. Altro trasporto interno e immagazzinamento di combustibili liquidi
6. Uso di solventi
7. Trasporti
8. Altre sorgenti mobili e macchine
9. Trattamento e smaltimento rifiuti
10. Agricoltura

11. Altre sorgenti/assorbenti in natura

L'inventario prende in considerazione i seguenti principali inquinanti dell'aria:

- ossidi di zolfo (SO_2+SO_3)
- ossidi di azoto ($\text{NO}+\text{NO}_2$)
- composti organici volatili, con l'esclusione del metano, (COVNM)
- monossido di carbonio (CO)
- particelle sospese con diametro inferiore a 10 micron (PM_{10})
- particelle sospese con diametro inferiore a 2,5 micron ($\text{PM}_{2,5}$)
- ammoniaca (NH_3)
- benzene (C_6H_6)
- principali idrocarburi policiclici aromatici (PAHs):
 - benzo[b]fluorantene (BBF)
 - benzo[k]fluorantene (BKF)
 - benzo[a]pirene (BAP)
 - indeno[123cd]pirene (INP)
- metalli pesanti:
 - Arsenico
 - Cadmio
 - Nichel
 - Piombo
 - Cromo
 - Mercurio
 - Rame
 - Selenio
 - Zinco
- gas serra:
 - anidride carbonica
 - metano
 - protossido di azoto

In futuro sarà utile inserire nell'inventario anche le diossine.

Le sorgenti emissive sono suddivise in: localizzate, puntuali, lineari e diffuse.

Per **sorgenti localizzate** si intendono tutte quelle sorgenti di emissione che sia possibile ed utile localizzare direttamente, tramite le loro coordinate geografiche, sul territorio.

Fra le sorgenti localizzate si individuano le **sorgenti puntuali**, ossia le sorgenti di maggiore importanza dal punto di vista emissivo, per cui è necessaria una maggiore caratterizzazione dei parametri utili per lo studio dei fenomeni di trasporto e diffusione degli inquinanti.

Come **sorgenti lineari** vengono indicate le principali arterie (strade, linee fluviali, linee ferroviarie). Per tali arterie la stima delle emissioni viene effettuata singolarmente e localizzandole precisamente sul territorio tramite le loro coordinate metriche. L'autostrada del Brennero e le strade extraurbane vengono considerate come sorgenti lineari, le arterie minori invece vengono trattate in modo distribuito.

Per **sorgenti diffuse** si intendono tutte quelle sorgenti non incluse nelle classi precedenti e che necessitano, per la stima delle emissioni, di un trattamento statistico. In particolare rientrano in questa classe sia le emissioni di origine puntiforme che, per livello di emissione non rientrano nelle sorgenti localizzate o puntuali, sia le emissioni effettivamente di tipo areale (ad esempio le foreste) o ubiqua (ad esempio traffico diffuso, uso di solventi domestici, ecc.).

B.1.1 Sintesi dei risultati dell'inventario per l'anno 2004

Di seguito si riporta una sintesi dei dati relativi all'inventario delle emissioni per l'anno 2004. Informazioni più dettagliate, anche relativamente alle emissioni per gli anni 1995 e 2000, sono consultabili nel documento dedicato redatto da Techne Consulting (Techne, 2006).

	CO (t)	COV (t)	NO _x (t)	PM ₁₀ (t)	PM _{2,5} (t)	SO _x (t)
01 Comb. ind. dell'energia e trasf. fonti energ.	11,11	17,82	115,13	3,94	0,69	0,00
02 Impianti di combustione non industriali	12.386,83	2.568,31	1.274,64	1.473,75	1.460,77	678,92
03 Impianti di comb. ind. e processi con comb.	935,70	116,44	2.692,16	118,75	91,45	1.060,86
04 Processi Produttivi	377,34	584,70	67,17	47,83	1,82	22,09
05 Estrazione,distribuz. combustibili fossili	0,00	346,42	0,00	0,00	0,00	0,00
06 Uso di solventi	0,00	2.481,84	0,00	1,46	0,00	0,00
07 Trasporti Stradali	20.486,97	4.244,10	9.274,12	674,49	625,78	403,83
08 Altre Sorgenti Mobili e macchine	2.029,37	986,36	2.483,13	270,53	257,89	58,13
09 Trattamento e Smaltimento Rifiuti	2,50	247,17	38,00	1,52	1,52	31,00
10 Agricoltura	54,45	1.476,65	2,30	89,07	27,84	0,00
11 Altre sorgenti/assorbenti in natura	78,91	15.038,38	0,04	4,66	4,20	0,00
TOTALE	36.363,18	28.108,19	15.946,69	2.685,99	2.471,96	2.254,84

Tab. 1: Emissioni totali inquinanti principali per macrosettore – Anno 2004

	CO (t)	COV (t)	NO _x (t)	PM ₁₀ (t)	PM _{2,5} (t)	SO _x (t)
02 Impianti di combustione non industriali	12.386,83	2.568,31	1.274,64	1.473,75	1.460,77	678,92
03 Impianti di comb. ind. e processi con comb.	75,55	31,09	354,49	38,44	26,96	436,28
04 Processi Produttivi	14,60	563,81	0,09	13,42	1,82	0,99
05 Estrazione,distribuz. combustibili fossili	0,00	346,42	0,00	0,00	0,00	0,00
06 Uso di solventi	0,00	2.106,92	0,00	0,00	0,00	0,00
07 Trasporti Stradali	11.455,84	2.986,76	2.578,62	210,26	199,85	116,44
08 Altre Sorgenti Mobili e macchine	2.025,26	984,57	2.467,87	268,76	257,89	57,86
09 Trattamento e Smaltimento Rifiuti	0,00	247,02	0,00	0,00	0,00	0,00
10 Agricoltura	54,45	1.476,65	2,30	89,07	27,84	0,00
11 Altre sorgenti/assorbenti in natura	78,91	15.038,38	0,04	4,66	4,20	0,00
TOTALE	26.091,44	26.349,92	6.678,05	2.098,37	1.979,33	1.290,49

Tab. 2: Emissioni inquinanti principali da sorgenti diffuse per macrosettore – Anno 2004

	CO (t)	COV (t)	NO _x (t)	PM ₁₀ (t)	PM _{2,5} (t)	SO _x (t)
01 Comb. ind. dell'energia e trasf. fonti energ.	11,11	17,82	115,13	3,94	0,69	0,00
03 Impianti di comb. ind. e processi con comb.	860,15	85,35	2.337,67	80,30	64,49	624,58
04 Processi Produttivi	362,74	20,89	67,08	34,41	0,00	21,11
06 Uso di solventi	0,00	374,92	0,00	1,46	0,00	0,00
09 Trattamento e smaltimento rifiuti	2,50	0,15	38,00	1,52	1,52	31,00
Totale	1.236,49	499,13	2.557,88	121,64	66,70	676,69

Tab. 3: Emissioni inquinanti principali da sorgenti puntuali per macrosettore - Anno 2004

	CO (t)	COV (t)	NO _x (t)	PM ₁₀ (t)	PM _{2,5} (t)	SO _x (t)
07 Trasporti	9.031,12	1.257,34	6.695,50	464,23	425,93	287,39
08 Altre sorgenti mobili e macchine	4,12	1,79	15,26	1,76	0,00	0,27
Totale	9.035,24	1.259,13	6.710,76	465,99	425,93	287,66

Tab. 4: Emissioni inquinanti principali da sorgenti lineari per macrosettore – Anno 2004

	NH ₃ (t)
01 Comb. ind. dell'energia e trasf. fonti energ.	0,00
02 Impianti di combustione non industriali	14,55
03 Impianti di comb. ind. e processi con comb.	2,66
04 Processi Produttivi	0,04
05 Estrazione,distribuz. combustibili fossili	0,00
06 Uso di solventi	0,00
07 Trasporti Stradali	172,86
08 Altre Sorgenti Mobili e macchine	0,31
09 Trattamento e Smaltimento Rifiuti	148,28
10 Agricoltura	2.009,71
11 Altre sorgenti/assorbenti in natura	0,00
<i>Totale</i>	<i>2.348,41</i>

Tab. 5: Emissioni totali di ammoniaca per macrosettore – Anno 2004

	BAP (kg)	BBF (kg)	BKF (kg)	C6H6 (kg)	INP (kg)
01 Comb. ind. dell'energia e trasf. fonti energ.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
02 Impianti di combustione non industriali	464,03	499,43	267,25	62,29	330,19
03 Impianti di comb. ind. e processi con comb.	13,02	0,20	1,57	580,20	0,00
04 Processi Produttivi	6,57	0,00	0,00	741,48	0,00
05 Estrazione,distribuz. Combustibili fossili	0,00	0,00	0,00	235,31	0,00
06 Uso di solventi	0,00	0,00	0,00	14,88	0,00
07 Trasporti Stradali	4,15	8,67	7,55	109.371,44	5,18
08 Altre Sorgenti Mobili e macchine	1,21	2,01	0,00	0,00	0,00
09 Trattamento e Smaltimento Rifiuti	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10 Agricoltura	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
11 Altre sorgenti/assorbenti in natura	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Totale</i>	<i>488,98</i>	<i>510,32</i>	<i>276,37</i>	<i>111.005,59</i>	<i>335,37</i>

Tab. 6: Emissioni totali di IPA e benzene per macrosettore - Anno 2004

	AS (kg)	CD (kg)	CR (kg)	CU (kg)	HG (kg)
01 Comb. ind. dell'energia e trasf. fonti energ.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20
02 Impianti di combustione non industriali	8,38	8,82	110,82	66,98	7,95
03 Impianti di comb. ind. e processi con comb.	17,59	23,67	81,18	24,63	98,10
04 Processi Produttivi	0,77	9,65	0,07	0,01	2,32
05 Estrazione,distribuz. combustibili fossili	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
06 Uso di solventi	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
07 Trasporti Stradali	0,00	5,57	27,87	947,47	0,00
08 Altre Sorgenti Mobili e macchine	0,01	0,45	2,26	76,62	0,01
09 Trattamento e Smaltimento Rifiuti	0,00	0,09	0,01	0,09	0,09
10 Agricoltura	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
11 Altre sorgenti/assorbenti in natura	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Totale</i>	<i>26,75</i>	<i>48,25</i>	<i>222,20</i>	<i>1.115,79</i>	<i>108,66</i>

Tab. 7: Emissioni totali metalli pesanti per macrosettore – Anno 2004

	Ni (kg)	Pb (kg)	Se (kg)	Zn (kg)
01 Comb. ind. dell'energia e trasf. fonti energ.	0,00	0,00	0,00	0,00
02 Impianti di combustione non industriali	1.656,40	180,85	0,96	272,88
03 Impianti di comb. ind. e processi con comb.	720,73	134,91	23,82	180,95
04 Processi Produttivi	54,07	0,01	19,31	0,94
05 Estrazione,distribuz. combustibili fossili	0,00	0,00	0,00	0,00
06 Uso di solventi	0,00	0,00	0,00	0,00
07 Trasporti Stradali	39,01	2.055,01	5,57	557,33
08 Altre Sorgenti Mobili e macchine	3,16	60,27	0,47	45,09
09 Trattamento e Smaltimento Rifiuti	0,00	1,02	0,00	0,61
10 Agricoltura	0,00	0,00	0,00	0,00
11 Altre sorgenti/assorbenti in natura	0,00	0,00	0,00	0,00
01 Comb. ind. dell'energia e trasf. fonti energ.	<i>2.473,38</i>	<i>2.432,07</i>	<i>50,14</i>	<i>1.057,81</i>

Tab. 8: Emissioni totali metalli pesanti per macrosettore – Anno 2004

	CH ₄ (t)	CO ₂ (t)	N ₂ O (t)
01 Comb. ind. dell'energia e trasf. fonti energ.	4,88	76.971,00	3,33
02 Impianti di combustione non industriali	621,14	1.247.681,60	148,01
03 Impianti di comb. ind. e processi con comb.	27,61	1.113.973,25	70,37
04 Processi Produttivi	3,86	287.318,95	1,93
05 Estrazione,distribuz. combustibili fossili	4.105,36	0,00	0,00
06 Uso di solventi	0,00	0,00	0,00
07 Trasporti Stradali	173,39	1.724.480,77	148,71
08 Altre Sorgenti Mobili e macchine	11,46	221.395,74	57,61
09 Trattamento e Smaltimento Rifiuti	17.063,83	82.551,80	0,00
10 Agricoltura	8.035,60	0,00	461,76
11 Altre sorgenti/assorbenti in natura	314,60	299.853,30	0,09
<i>Totale</i>	<i>30.361,73</i>	<i>5.054.226,40</i>	<i>891,80</i>

Tab. 9: Emissioni totali di gas serra per macrosettore – Anno 2004

B.2 Informazioni attuali sull'inquinamento proveniente da altre aree esterne (altre regioni, inquinamento transfrontaliero, eccetera) e generato da eventi naturali (eruzioni vulcaniche, aerosol marino, polvere del Sahara, eccetera)

Informazioni utili sul possibile apporto di inquinanti da aree esterne alla provincia, sono state dedotte dall'analisi dei dati di qualità dell'aria e dei dati meteorologici relativi ad un trimestre invernale ritenuto rappresentativo (gennaio – marzo 2004) (vedi Allegato C).

Da quest'analisi sembrerebbero emergere delle possibili correlazioni fra la qualità dell'aria della Provincia di Trento, e più in particolare dei comuni nella bassa valle dell'Adige e dei comuni dell'alto Garda, e la situazione presente nella pianura Padana in presenza di venti forti che spirano da Sud.

Al fine di approfondire e validare questa tesi sarebbe utile disporre di dati da campionamenti di inquinanti in siti remoti distribuiti sul territorio provinciale. Tali campionamenti permetterebbero infatti di ricostruire lo scenario della qualità dell'aria di background sul territorio, che è legato prevalentemente alla dispersione su meso-scala degli inquinanti. Di particolare interesse sarebbe il campionamento e l'analisi della composizione chimica del particolato atmosferico in aree remote, il che permetterebbe di ottenere informazioni utili sulla formazione del particolato primario e secondario e sulle possibili sorgenti.

Attualmente esiste una sola stazione fissa di rilevamento degli inquinanti posta in luogo remoto effettivamente rappresentativa di una situazione di background in un'area ad orografia complessa: si tratta della centralina del Monte Gaza, dove vengono misurati NO_x , SO_2 , O_3 e dove da qualche mese è stata avviata anche la misura del PM_{10} .

Il campionamento in siti remoti può permettere anche di identificare, almeno parzialmente, e di seguire l'evoluzione spaziale e temporale di singoli eventi di distribuzione del particolato atmosferico correlato a trasporti a lungo raggio, come la dispersione di polveri di origine desertica o comunque di origine naturale (emissioni vulcaniche ed aerosol marino). Il bacino del Mediterraneo rappresenta un'area soggetta a tale tipo di fenomeni in quanto masse d'aria d'origine sahariana, in presenza di condizioni anticicloniche persistenti e forti venti da Sud, possono trasportare sul continente europeo elevate quantità di particolato solido; la distanza coperta è legata al tempo di residenza in atmosfera e tanto più lungo a quanto più ridotto è il diametro delle particelle. L'incidenza delle condizioni meteo che portano a questo fenomeno è, per l'Italia settentrionale, dell'ordine di pochi punti percentuali. Ne consegue che il trasporto di inquinanti di origine antropica dal bacino della Pianura Padana, è significativamente più importante in termini di afflusso di massa dalle regioni confinanti (Barnaba e Gobbi, 2004).

Il trasporto di masse d'aria da Sud in presenza di forti situazioni avverse può essere rapportato, almeno in linea di massima, alla rosa dei venti di una stazione in quota. Verificando quella di Cima Presena (3015 m s.l.m.) si evince come valori di vento maggiori di 7 m/s con provenienza dal quadrante meridionale corrispondano ad una frequenza di accadimento inferiore al 3%. Di questi eventi, peraltro, non tutti corrispondono a condizioni

meteorologiche continentali tali da indurre un trasporto di polveri dal deserto del Sahara fino alla catena delle Alpi, ma possono essere sufficienti a indurre un afflusso di aria dal bacino padano.

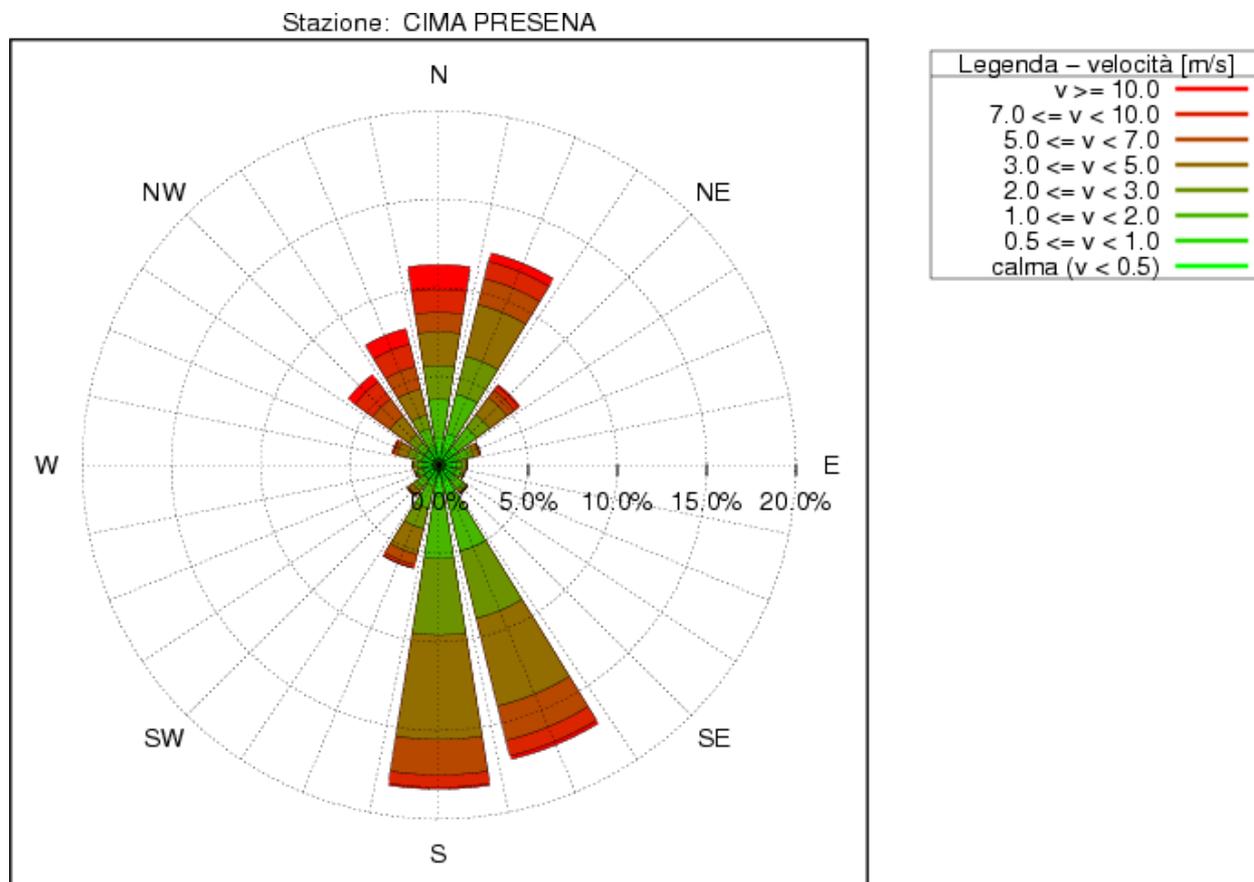


Fig. 1: Rosa dei venti a Cima Presena (3015 m s.l.m.)

È comunque possibile dedurre in maniera più precisa i percorsi delle polveri sottili originatesi sul bacino del Mediterraneo tramite tecniche modellistiche avanzate, che consistono sostanzialmente nell'applicazione di algoritmi di simulazione lagrangiana (*backward particle tracking*). Il tracciamento all'indietro delle traiettorie, nell'ipotesi di conoscere le condizioni meteorologiche su tutto il continente con risoluzione spazio temporale adeguato, consente di risalire alle aree di origine del particolato. Altro metodo consiste nell'analisi di foto da satellite, da cui è possibile dedurre lo spessore dello strato di polveri e il loro trasporto nel tempo. Si tratta, in ambedue i casi, di tecniche avanzate e complesse che richiedono elevate risorse di calcolo computerizzato.

B.3 Informazioni sull'inquinamento derivante da PM₁₀ nella città di Trento e valutazioni sulla base della sua composizione.

B.3.1 Caratterizzazione chimica del particolato atmosferico

Nel corso del 2005 la Provincia di Trento e l'Agencia per la Protezione dell'Ambiente hanno affidato al Dipartimento di Ingegneria Civile ed Ambientale dell'Università degli Studi di Trento un progetto di ricerca concernente lo “*Studio conoscitivo preliminare sulla qualità dell'aria in provincia di Trento con riferimento principale alle emissioni di polveri sottili*”.

Nell'ambito di questo studio è stato svolto anche un approfondimento sulla caratterizzazione chimica del PM₁₀ atmosferico urbano al fine di ottenere informazioni sulla composizione del particolato, sulla sua formazione e sulle possibili sorgenti.

In particolare sono state realizzate due campagne di monitoraggio di PM₁₀, una estiva (16-23 giugno 2005) ed una invernale (16-23 marzo 2006), in due stazioni del territorio comunale urbano: nel Parco S. Chiara e in Largo Porta Nuova, siti che rientrano rispettivamente nelle tipologie di stazioni di *background urbano* e *orientata al traffico*. Il campionamento invernale è stato svolto in un periodo di picco delle polveri, con valori medi giornalieri che superavano i 100 µg/m³.

Sui filtri di PM₁₀ campionati sono state svolte le seguenti analisi chimiche: analisi degli ioni (NH₄⁺, NO₃⁻, NO₂⁻, SO₄²⁻, Cl⁻, Mg²⁺, K⁺, Na⁺, Ca²⁺) analisi di carbonio organico, elementare e totale (OC/EC/TC), e, solamente per la campagna invernale, analisi elementare XRF (Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, As, Se, Br, Rb, Sr, Y, Zr, Mo, Pb).

Gli ioni inorganici (NH₄⁺, NO₃⁻, NO₂⁻, SO₄²⁻) sono per la maggior parte di origine secondaria: l'ossidazione del biossido di zolfo (SO₂) si traduce in un aumento di massa degli aerosol a causa della bassa pressione di vapore che caratterizza l'acido solforico (H₂SO₄), mentre l'acido nitrico (HNO₃) risulta più uniformemente distribuito tra la fase gassosa e particolata.

Il particolato carbonioso presente nell'atmosfera è costituito da una frazione organica, nota come carbonio organico (OC), e da una frazione resistente all'ossidazione ad una temperatura al di sotto dei 400°C, che viene definita carbonio elementare (EC). Il carbonio elementare ha una struttura grafica mentre il carbonio organico è costituito da idrocarburi e da composti ossigenati. Mentre EC è un inquinante essenzialmente di origine primaria, essendo emesso direttamente dai processi di combustione incompleta, OC è costituito da una frazione di origine primaria, derivante anch'essa dalla combustione, ed una secondaria, derivante dalla conversione gas-particella di composti organici volatili in atmosfera o dalla condensazione di composti volatili o, infine, dall'adsorbimento chimico-fisico di specie gassose sulla superficie delle particelle. Una frazione del OC primario è anche di origine biogenica, ovvero deriva dalle emissioni di spore, pollini o frammenti vegetali, e un'ulteriore frazione può essere generata da processi meccanici di erosione di suoli organici o di usura dei pneumatici. Il carbonio elementare primario, quello organico di origine secondaria e quello di origine

primaria proveniente dalla combustione sono prevalentemente presenti nella frazione più fine del particolato, ovvero nel $PM_{2,5}$, mentre OC primario di origine biogenica è caratterizzato da particelle con diametro maggiore. Nonostante l'evidente importanza delle frazioni carboniose nei processi atmosferici, le conoscenze scientifiche riguardo a concentrazioni, sorgenti, meccanismi di formazione e impatti sulla salute sono ancora scarse rispetto a quelle relative alle componenti ioniche del particolato. Nell'ambito di una caratterizzazione preliminare del particolato atmosferico della zona urbana di Trento si è quindi scelto di quantificare anche queste componenti per avere un primo quadro della situazione al riguardo. La distinzione del carbonio totale in carbonio elementare ed organico consente di effettuare stime sui quantitativi di carbonio di origine secondaria, per cui risulta utile al fine di indirizzare le politiche di controllo del particolato in atmosfera sulla frazione che maggiormente incide sulle concentrazioni di PM_{10} totali.

La composizione chimica delle polveri minerali varia in funzione delle caratteristiche geologiche della zona; in generale tali particelle sono costituite da silicati, feldspati, solfati di calcio e ossidi di ferro. Gli elementi principali che possono essere considerati come caratteristici della materia crostale, ovvero delle polveri minerali da suolo, sono l'alluminio, il calcio, il ferro, il potassio e il silicio.

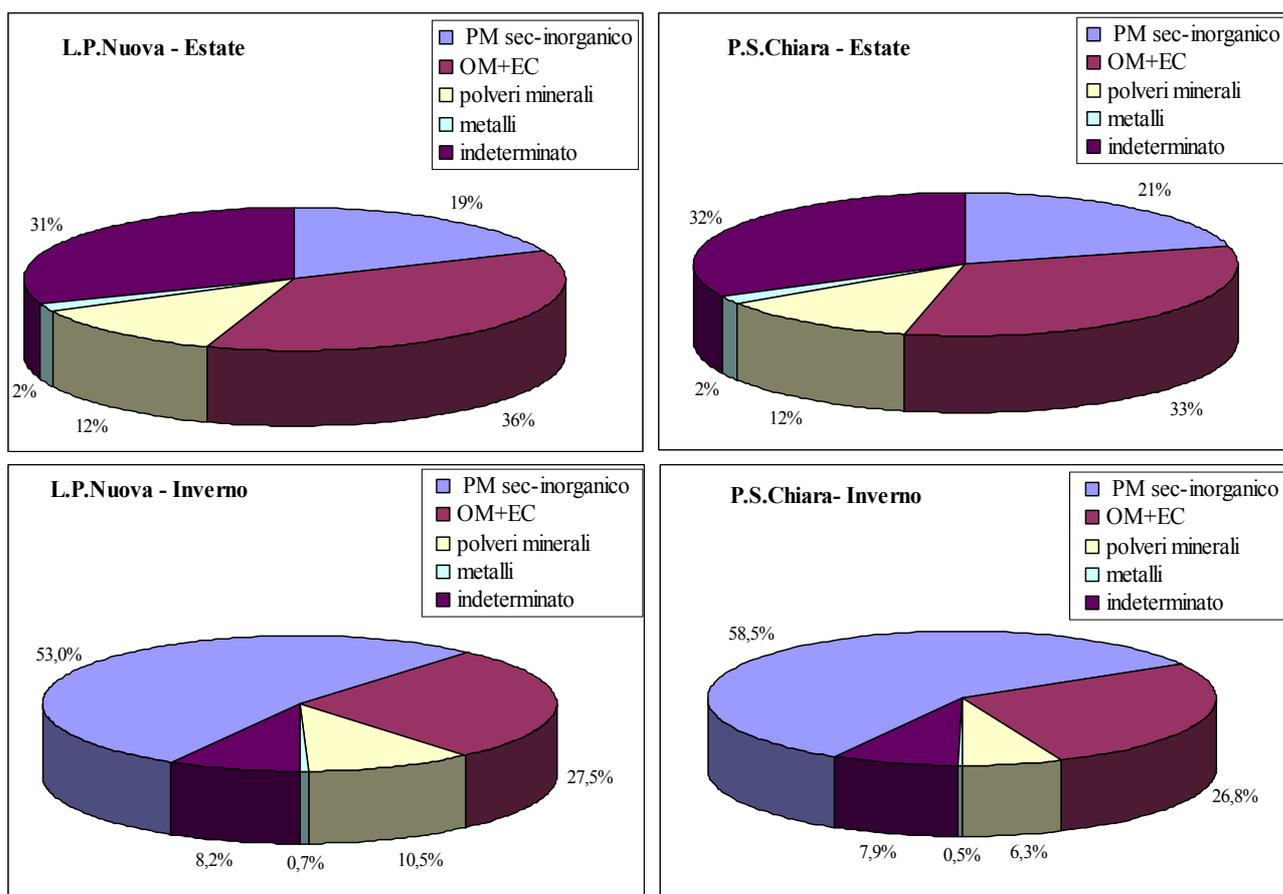


Fig. 2: Contributo delle diverse frazioni componenti il PM_{10} – campionamento estivo e invernale.

Dai risultati della caratterizzazione chimica e attraverso dati da letteratura, è stato possibile effettuare il bilancio di massa e quindi stimare le percentuali dei diversi componenti del PM₁₀ campionato, come mostrato in Fig. 2.

I risultati mostrano come il particolato secondario inorganico, costituito dai sali d'ammonio, rappresenta una frazione importante del PM₁₀ atmosferico: esso costituisce circa il 20% in estate, e supera il 50% nella composizione chimica invernale del PM₁₀. Nel caso in esame si osserva che la percentuale dei solfati è rimasta pressoché costante fra estate e inverno (media estiva: 12,7% in PSC, 11,2 % in LPN; media invernale: 11,9% in PSC, 10,8% in LPN). Si è verificato invece un aumento importante in inverno sia per il nitrato che per lo ione ammonio, che nel periodo estivo rappresentavano rispettivamente il 3,1% e il 4,8% nel sito di background e il 3,0% e il 4,3% nel sito orientato al traffico, mentre per il mese di marzo 2006 questi valori sono molto maggiori: si raggiungono i valori del 32,6% per il nitrato e 13,9% per lo ione ammonio nel sito di background e rispettivamente il 30% e il 12,2% nel sito orientato al traffico (come osservabile in Fig. 3).

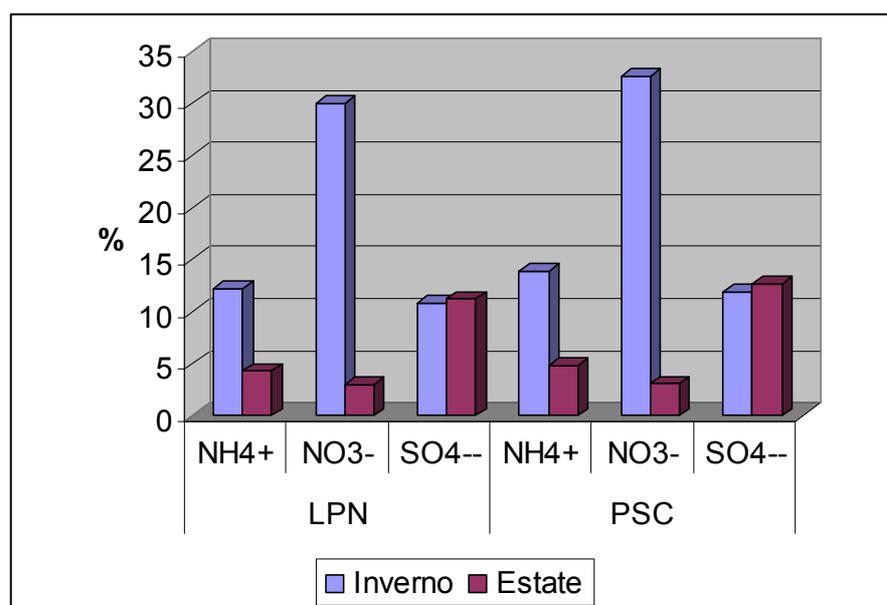


Fig. 3: Confronto fra le percentuali di NO₃⁻, SO₄²⁻ e NH₄⁺ rilevate nella campagna invernale estiva nei due siti

Le alte concentrazioni di nitrati nel periodo invernale, che passano dal 3% in estate al 30% in inverno, sono probabilmente dovute sia alle basse temperature che ne favoriscono la formazione, sia al contributo aggiuntivo alle emissioni di NO_x dagli impianti di riscaldamento, che oltretutto sono concentrate nel periodo dell'anno più sfavorevole per la dispersione degli inquinanti.

Altra componente rilevante del PM₁₀ è rappresentata dal carbonio elementare e carbonio organico, che costituiscono circa il 33-36% del particolato in estate, e circa il 27% in inverno. Il carbonio organico è presente in percentuali leggermente inferiori rispetto al periodo estivo, in quanto in estate si ha una più elevata formazione di aerosol organico secondario dovuta alle

reazioni fotochimiche (Fig. 4: Confronto fra le percentuali di EC e OM rilevate nella campagna invernale estiva nei due siti

Mentre la caratterizzazione estiva ha mostrato la mancanza di correlazione tra le due frazioni carboniose, carbonio elementare ed organico, per il periodo invernale si è trovato un legame maggiore tra EC ed OC, soprattutto in Largo Porta Nuova. Ciò è dovuto al fatto che il carbonio organico in questo caso, oltre alla frazione di origine secondaria, ha una sorgente primaria rappresentata dalla combustione negli impianti di riscaldamento domestici.

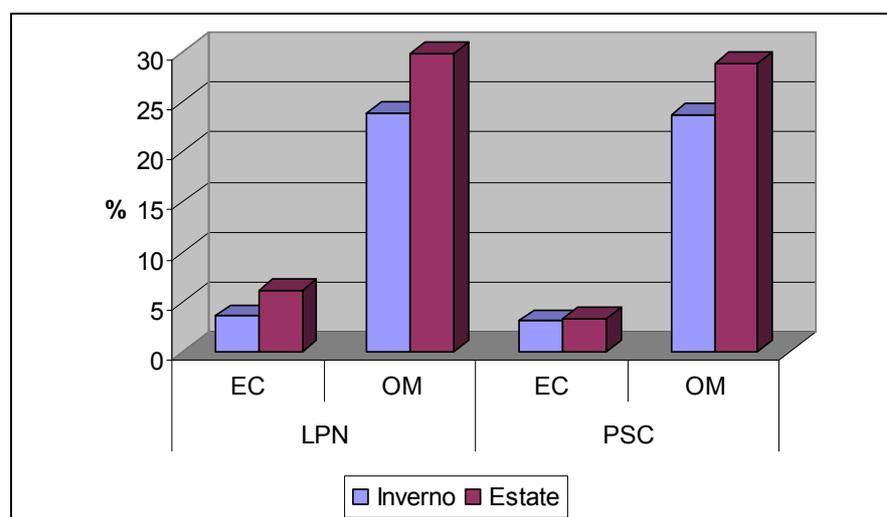


Fig. 4: Confronto fra le percentuali di EC e OM rilevate nella campagna invernale estiva nei due siti

Per quanto riguarda le polveri minerali, a partire dalle concentrazioni misurate di Al, K, Ca, Fe, Ti e Si esse possono essere stimate attraverso formule da letteratura. Si ottengono così delle concentrazioni medie di polveri minerali pari rispettivamente al 6,34% nel sito di Parco S. Chiara e al 10,53% in Largo P. Nuova, maggiori quindi per il sito orientato al traffico.

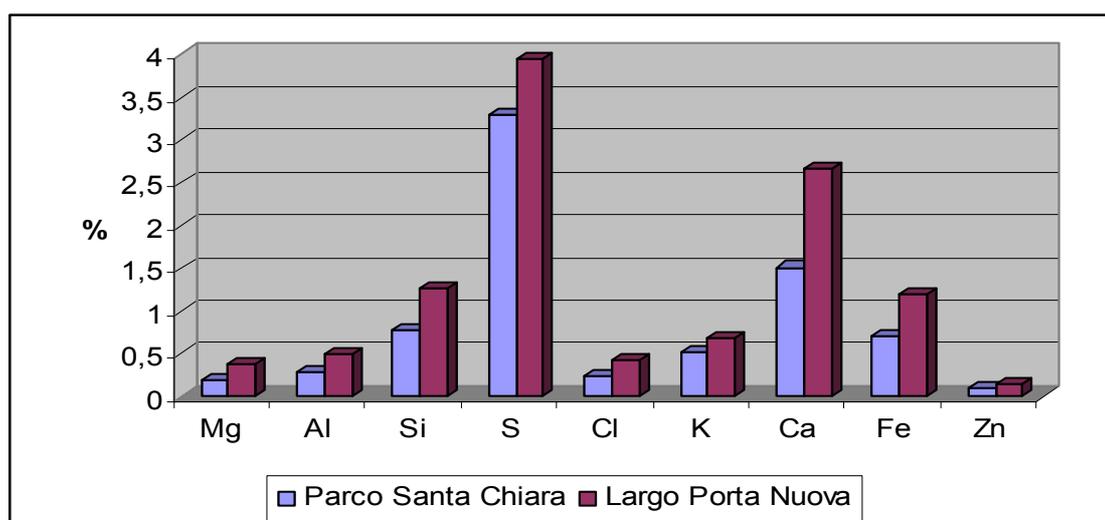


Fig. 5: Contributi percentuali medi dei principali elementi nei due siti di campionamento - campagna invernale

Il traffico veicolare infatti contribuisce alla concentrazione di PM_{10} non solo attraverso il processo di combustione e quindi per emissione dei gas di scarico, ma anche tramite un processo meccanico di erosione ed usura sia dei pneumatici che dei freni, nonché dell'asfalto, e tramite la risospensione del materiale particolato.

Nel sito orientato al traffico si osservano contributi maggiori soprattutto per gli elementi come Al, Mg, Si, Ca e Fe (vedi Fig. 5), indice della risospensione delle polveri del suolo, che costituisce una sorgente rilevante di PM_{10} .

B.3.1.1 Indicazioni per approfondimenti futuri

Per ottenere informazioni più precise ed approfondite sulla composizione chimica del particolato atmosferico nel comune di Trento, sarebbero necessarie campagne di monitoraggio svolte per un periodo di tempo lungo sia in estate che in inverno: un campionamento della durata di almeno un mese permetterebbe di cogliere le variabilità stagionali del fenomeno, di studiare le correlazioni fra i vari composti e condurrebbe a risultati medi più facilmente confrontabili con i dati di letteratura.

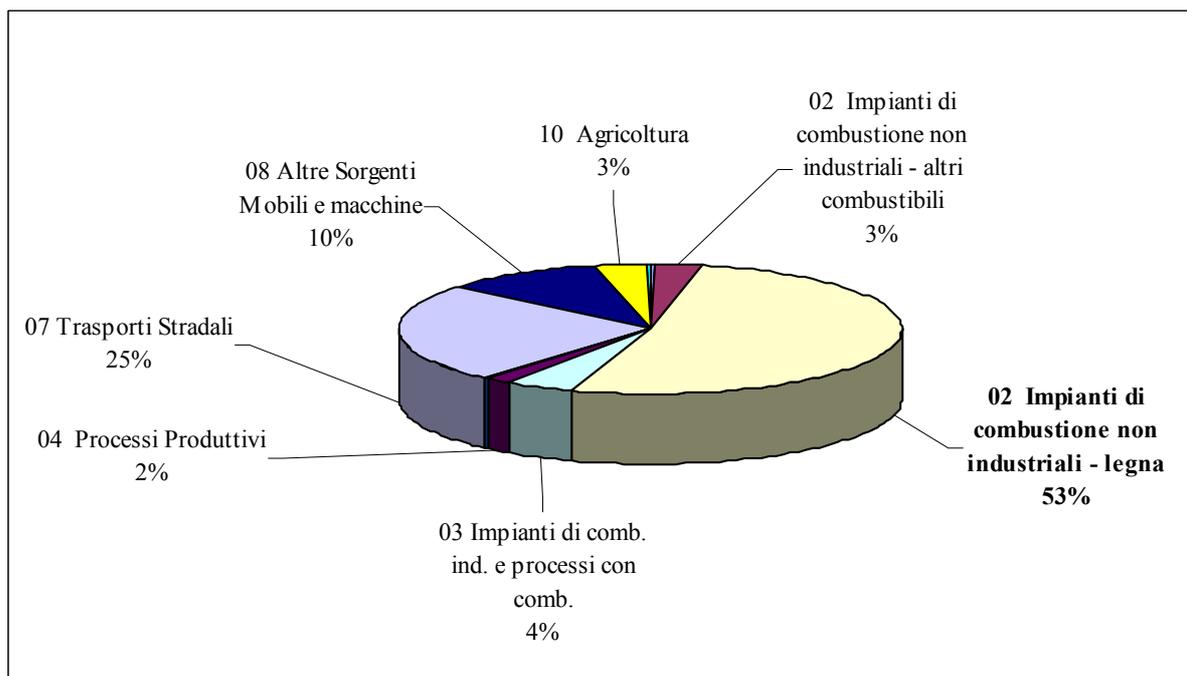
Alla luce dei risultati ottenuti si evidenzia soprattutto la necessità di un approfondimento per quanto riguarda le dinamiche di formazione in atmosfera del particolato secondario inorganico a partire dai precursori NO_x , SO_2 ed NH_3 , allo scopo di determinare gli effetti di una riduzione dei precursori sulle concentrazioni di particolato e definire quali potrebbero essere le priorità di intervento per quanto riguarda le azioni di mitigazione da intraprendere per la riduzione di queste emissioni.

B.3.2 Emissioni di PM_{10} dalla combustione della legna

Il Dipartimento di Ingegneria Civile ed Ambientale dell'Università degli Studi di Trento sta sviluppando attualmente uno “*Studio per l'approfondimento delle tematiche relative alla combustione della legna*”, affidatogli dall'Agenzia per la Protezione dell'Ambiente.

Lo studio è volto ad approfondire quale sia il contributo delle emissioni dalla combustione domestica della legna al particolato atmosferico misurato in aria ambiente nel territorio Trentino. Numerosi studi infatti mostrano come la combustione della legna possa avere un impatto sulla qualità dell'aria, soprattutto per quanto riguarda le emissioni di particolato fine atmosferico. Secondo i dati dell'inventario provinciale relativo all'anno 2004 la combustione della legna risulta una delle principali sorgenti di PM_{10} primario in provincia di Trento.

L'inventario riporta infatti che le emissioni di PM_{10} dalla combustione della legna in impianti per il riscaldamento domestici e del terziario sono pari a 1.384,45 t, che rappresentano il 94% delle emissioni dal riscaldamento a livello provinciale, e il 53% delle emissioni totali annue di PM_{10} in provincia come mostrato in Fig. 6 (Techne, 2006).

Fig. 6: Emissioni di PM₁₀ per macrosettori in provincia di Trento – Anno 2004

Le emissioni di PM₁₀ dalla combustione della legna in provincia sono suddivise come mostrato in Tab. 10.

Emissioni da impianti non industriali	PM ₁₀ (t)
02010300 Terziario - Caldaie < 50 MWth	1,98
02020200 Domestico - Caldaie < 50 MWth	92,37
02020520 Domestico - Caminetti	893,15
02020530 Domestico - Stufe tradizionali	396,96
Totale	1.384,45

Tab. 10: Emissioni di PM₁₀ dalla combustione della legna in provincia di Trento – Anno 2004

Questo risultato evidenzia un contributo significativo di questa sorgente alle emissioni di PM₁₀ in provincia e proprio da qui nasce l'esigenza di approfondire le conoscenze relative alla quantificazione e alla caratterizzazione delle emissioni di particolato dalla combustione della legna.

Il Dipartimento di Ingegneria Civile ed Ambientale dell'Università degli Studi di Trento sta sviluppando una sperimentazione su una caldaia ad alta tecnologia e una stufa tradizionale allo scopo di misurare il fattore di emissione di PM₁₀ da questi impianti ed analizzare le concentrazioni di potassio e levoglucosano nelle emissioni di PM₁₀ al variare del tipo di legna utilizzata e delle tecnologie di combustione impiegate.

Potassio e levoglucosano sono presenti in concentrazioni rilevanti nei prodotti della combustione della legna e per questo possono essere considerati dei traccianti ambientali di questa sorgente. Le concentrazioni di questi composti verranno analizzate anche in campioni

di PM₁₀ prelevati in aria ambiente sul territorio provinciale, in zone caratterizzate da alto consumo di legna per il riscaldamento, allo scopo di definire il contributo emissivo di questa sorgente al PM₁₀ atmosferico.

Oltre alla stima del fattore di emissione di PM₁₀ dalla combustione domestica della legna, è importante la valutazione del consumo di combustibile legnoso sul territorio: i consumi di legna da ardere non sono facilmente calcolabili in quanto non vi sono controlli sui quantitativi venduti dai commercianti, molti cittadini inoltre si riforniscono da propri boschi privati o da *parti* messe a disposizione dai comuni di residenza. Non vi sono dati ufficiali e precisi nemmeno sul tipo di legna utilizzata, né sulla penetrazione delle diverse tecnologie di combustione nel territorio. Per questo motivo, nell'ambito dello studio sopra citato, è stato elaborato un questionario da distribuire ai cittadini accompagnato da un'adeguata documentazione di informazione e sensibilizzazione al problema delle emissioni dalla combustione della legna. In questo modo si potranno ottenere informazioni relative ai quantitativi, al tipo e alla provenienza della legna da ardere consumata e alle tecnologie di combustione utilizzate sul territorio per la produzione energetica. Non esistendo dati ufficiali completi al riguardo, questo tipo di indagine risulta fondamentale per poter stimare adeguatamente il contributo emissivo di questa sorgente a livello provinciale.

B.4 Valutazione dell'esposizione domestica all'inquinamento derivante da PM₁₀.

Le persone trascorrono la maggior parte del loro tempo all'interno di ambienti chiusi (87,2% all'interno, 7,2% in auto e 5,6% all'esterno; Wallace, 1996), principalmente in ambiente domestico, caratterizzato dalla presenza di particolato nell'aria, il quale può derivare sia dall'inquinamento esterno (ad esempio, in presenza di strade molto trafficate o industrie) che da sorgenti specifiche interne. Le concentrazioni di polveri all'interno degli edifici domestici sono maggiori durante il giorno, in corrispondenza delle normali attività antropogeniche, rispetto al periodo notturno.

È dimostrato che le particelle con diametro aerodinamico inferiore a 10 µm (PM₁₀) causano effetti acuti e cronici su persone soggette a problemi cardio-respiratori (Ware, et al., 1986; Gielen et al., 1997; Abbey et al., 1995; Speizer and Samet, 1994; Pope et al., 1995; CEOHAATS, 1996).

La sorgente principale di PM₁₀ all'interno delle abitazioni è rappresentata dal fumo di sigaretta, oltre alle altre attività domestiche, quali cucinare, fare uso dell'aspirapolvere, spolverare e spazzare. Tuttavia, la composizione di PM₁₀ domestico è determinata principalmente da sorgenti esterne e in modo minore dalle attività antropogeniche svolte all'interno delle abitazioni, tranne che in presenza di fumatori. Il PM₁₀ domestico ed esterno è caratterizzato da una miscela di particelle diverse, sia derivanti da attività antropogeniche che da sorgenti naturali, quali ad esempio la fusione di metalli, la fuliggine, le fibre, il sale marino, il gesso, il polline e le spore dei funghi (BéruBé et al., 2003).

Secondo uno studio condotto in Svizzera (Monn Ch. Et al., 1997) i livelli interni di PM₁₀ sono circa il 70% rispetto alle concentrazioni esterne. Nelle abitazioni prive di sorgenti interne di particolato il rapporto PM₁₀ interno/PM₁₀ esterno (I/O) è <1, mentre in una casa priva di sorgenti interne, ma con un'elevata presenza di persone (fattore "attività umane") il rapporto I/O risulta >1. Solamente la presenza delle persone all'interno delle abitazioni, che conducono attività ordinarie, contribuisce alla risospensione delle particelle. Nelle case, invece, dove si utilizzano cucine a gas e dove vi è la presenza di fumatori deriva un rapporto I/O molto maggiore di 1, con valori anche superiori a 2. In questo studio è stato preso in considerazione anche l'inquinante NO₂, per il quale il rapporto tra il valore misurato all'interno e quello misurato all'esterno è sempre <1, tranne nel caso di utilizzo di cucine a gas, dove il rapporto I/O è >1,2. Il fumo di sigaretta non influenza particolarmente i valori di NO₂, come nel caso delle PM₁₀.

B.4.1 Indicazioni per approfondimenti futuri

In merito alla valutazione dell'esposizione domestica di PM₁₀ si rendono necessari degli approfondimenti, da effettuare attraverso delle campagne di misura di tale inquinante da condurre sia all'interno che all'esterno delle abitazioni, in modo da confrontare i valori

misurati. Attraverso tali misure sarà necessario valutare il contributo all'esposizione domestica considerando diverse sorgenti potenziali di particolato, quali quelle descritte sopra (fumo di sigaretta, uso di determinati elettrodomestici, ...). Inoltre, allo scopo di individuare il contributo delle sorgenti esterne all'inquinamento interno, è necessario effettuare una caratterizzazione chimica delle PM_{10} sia all'interno che all'esterno delle abitazioni.