REGIONE TOSCANA

Giunta Regionale

Direzione Generale

Politiche Territoriali Ambientali e per la Mobilità

Settore

Energia, tutela della qualità dell'aria e dall'inquinamento elettromagnetico e acustico

INVENTARIO REGIONALE DELLE SORGENTI DI EMISSIONE IN ARIA AMBIENTE – IRSE 2007

AGGIORNAMENTO ALL'ANNO 2007

Inventario regionale delle sorgenti di emissione in aria ambiente. Aggiornamento all'anno 2007

A cura di

Furio Forni Regione Toscana Giunta Regionale -Direzione Generale delle Politiche Territoriali e Ambientali - Settore "Energia, tutela della qualità dell’aria e dall’inquinamento elettromagnetico e acustico"

INDICE

1. Inquadramento generale pag. 3

2. Metodologia pag. 6

2.1 Dimensione spaziale

2.2 Dimensione temporale

2.3 Sostanze inquinanti

2.4 Nomenclatura delle attività

2.5.Classificazione delle sorgenti di inquinamento

2.6 Metodologia di stima delle emissioni da sorgenti diffuse e lineari/nodali

2.7 Fattori di Emissione

2.8 Modello per la stima delle emissioni da Traffico stradale

2.9 Modello per la stiam di emissioni da decollo ed atterraggio aeromobili

2.10 Modello per la stima delle emissioni da navi

2.11 Modello per la stima delle emissioni dalla Vegetazione

2.12 Modello per la stima delle emissioni da Incendi forestali

2.13 Disaggregazione temporale

2.14 Disaggregazione spaziale delle emissioni sul reticolo 1 km x 1 km

3. Risultati dell'inventario relativi all'anno 2000 pag. 22

3.1 Inquinanti principali

3.2 Metalli pesanti

3.3 Gas serra

4 Fenomeni a mesoscala: eutrofizzazione, acidificazione, formazione di ozono troposferico e materiale particolato secondario pag. 36

4.1 Indicatori di pressione dei fenomeni a scala regionale

1. Inquadramento generale

Uno degli strumenti conoscitivi su cui si fonda l'operato regionale nell'ambito del processo di gestione della qualità dell'aria è costituito dall'Inventario Regionale delle Sorgenti di Emissione in aria ambiente (**I.R.S.E.**). In particolare l'inventario delle emissioni costituisce uno degli strumenti principali per lo studio delle pressioni e dello stato della qualità dell'aria, nonché per la definizione dei relativi Piani di tutela e risanamento.

L'IRSE si configura quindi come strumento conoscitivo indispensabile nell'ambito del Piano Ambientale Energetico Regionale (PAER) e nell'ambito del Piano Regionale sulla Qualità dell'Aria (PRQA)

In pratica le domande a cui deve rispondere un inventario delle emissioni sono:

- Quanto si inquina ?
- Chi inquina ?
- Dove si inquina ?
- Come si inquina ?

I pricipali utilizzatori di un inventario regionale delle emissioni sono:

- Regione per la pianificazione e programmazione della gestione della qualità dell'aria
- Regione per definire la scelta di priorità di intervento
- Regione per previsione scenari di qualità dell'aria futuri in funzione dell'adozione di strumenti normativi, implementazione tecnologie, ecc.
- Alle Province e Comuni per predisposizione P.T.C. e P.S.
- Comuni delle zone di risanamento per la predisposizione dei PAC
- Amministrazioni varie nell'ambito delle procedure di V.I.A.

Ulteriori utilizzi di un inventario delle emissioni possono essere:

- fornire un supporto, insieme ai modelli di dispersione, per la valutazione e la gestione della qualità dell'aria ambiente affiancando le misure di qualità dell'aria effettuate dalle reti di monitoraggio e laddove i livelli degli inquinanti lo consentano sostituendo le misure stesse;
- permettere la stesura di mappe delle emissioni per la pianificazione territoriale sia per quanto riguarda l'identificazione delle aree "a rischio", sia per programmare la distribuzione di nuove sorgenti
- fornire i dati di input ai modelli matematici di dispersione per calcolare le concentrazioni al suolo di inquinanti in atmosfera
- rendere possibile l'elaborazione di scenari di intervento al fine di ridurre l"incidenza di uno o più inquinanti in un"area tramite modifiche ai dati in input delle emissioni
- consentire la valutazione, attraverso il supporto di modelli matematici ad hoc, del rapporto costi/benefici sia delle politiche di controllo che di intervento.

Deve essere evidenziato che la lettura e l'interpretazione dei dati di emissione non è semplice. Infatti anche il valore assoluto elevato di una emissione di una sostanza inquinante (fattore di pressione) non determina necessariamente, non esistendo una correlazione lineare, una situazione di livelli di inquinamento critici (fattore di stato). Per valutare approssimativamente l'effetto di una emissione si devono considerare anche le dimensioni spaziali/ territoriali in cui si verifica, le condizioni/modalità di emissione, la natura della/e sostanze inquinanti in questione, la orografia del territorio e le condizioni meteoclimatiche prevalenti.

Alcune semplici considerazioni possono permettere di acquisire elementi interpretativi che aiutano nella comprensione dei fenomeni.

In genere le emissioni di tipo puntiforme isolate (attività produttive e/o di produzione di energia con camini di una certa altezza), anche se con valori assoluti molto elevati, non determinano condizioni al suolo particolarmente critiche per periodi di tempo prolungati (eventuali esposizioni di medio – lungo termine) perché la diffusione e il trasporto degli inquinanti operano in modo da disperdere questi su ampie zone/territori, riducendo notevolmente la possibilità del verificarsi di episodi acuti di inquinamento.

Invece, molte emissioni di piccola entità distribuite diffusamente su di un territorio (ad esempio, generate da impianti di riscaldamento domestici o da una densa rete viaria urbana), con altezze di rilascio modeste o quasi nulle (si pensi all'altezza dal suolo delle emissioni dei veicoli) possono determinare, anche in concomitanza di condizioni meteoclimatiche sfavorevoli, livelli di concentrazione al suolo molto elevati.

Inoltre la dimensione spaziale/territoriale a cui viene attribuita una emissione comporta una differente interpretazione di questa. Ad esempio, la valutazione della entità di emissioni a livello regionale produce alcune valutazioni e conclusioni che possono essere modificate, anche completamente, a livelli spaziali/territoriali più ridotti (scala spaziale/territoriale provinciale, e comunale).

Il presente rapporto costituisce l'aggiornamento all'anno 2007 dell'inventario e la metodologia utilizzata per la sua redazione, sostanzialmente identica a quella utilizzata negli aggiornamenti precedenti è da ritenersi conforme con quanto indicato dalla normativa vigente DLgs. 155/2010.

Il documento è articolato in 4 capitoli:

- il capitolo 1 "*Inquadramento generale*" riporta le modalità di utilizzo dell'Inventario regionale delle sorgenti di emissione;
- il capitolo 2 "*Inventario Regionale delle Sorgenti di Emissione in aria ambiente (I.R.S.E) Anno 2007*" riporta le caratteristiche dell'inventario regionale;
- il capitolo 3 "*Risultati dell'inventario relativi all'anno 2007*" riporta i risultati dell'inventario suddivisi per :
    - emissioni regionali degli inquinanti principali suddivise per tipologia di sorgente, per macrosettori e per le principali attività;
    - emissioni regionali dei metalli;
    - emissioni regionali dei gas serra e della CO2 equivlente suddivise per macrosettori;
- il capitolo 4 "*Fenomeni a mesoscala: eutrofizzazione, acidificazione, formazione di ozono troposferico e materiale particolato secondario*" riporta i risultati dell'inventario relativi agli inquinanti responsabili di tali fenomeni ed il relativo confronto dei dati per il periodo 1995-2007.

2 Metodologia.

Per inventario delle emissioni si intende una serie organizzata di dati relativi alle quantità di inquinanti introdotti nell' atmosfera da attività antropiche e da sorgenti naturali raggruppati per:

- attività economica,
- intervallo temporale (anno, mese, giorno, ecc.),
- unità territoriale (regione, provincia, comune, maglie quadrate di 1 km2, ecc.),
- combustibile (per i soli processi di combustione).

Le quantita di inquinanti emesse dalle diverse sorgenti della zona in esame si possono ottenere:

- tramite misure dirette, campionarie o continue;
- tramite stima.

La misura diretta delle emissioni puo essere effettuata solo per alcuni impianti industriali, di solito schematizzati come sorgenti puntuali. Per tutte le altre sorgenti, denominate sorgenti diffuse (piccole industrie, impianti di riscaldamento, sorgenti mobili, ecc.), si deve ricorrere a stime.

Le emissioni sono stimate a partire da dati quantitativi sull'attività presa in considerazione e da opportuni fattori di emissione attraverso la semplice formula **E = A x F**, dove E sono le emissioni, A è l'attività (per esempio per gli impianti termici i consumi di combustibili) e F il fattore di emissione per unità di attività espresso in grammi per unità di attività (ad esempio nel caso dei consumi di combustibili in grammi per gigajoule).

Tale approccio del tutto generale è applicato, a seconda delle attività prese in considerazione, esplicitando le metodologie per la determinazione dell attività e la scelta degli opportuni fattori di emissione. Questi ultimi possono essere semplici fattori moltiplicativi o tenere conto, in forma funzionale, dei differenti parametri costruttivi ed operativi degli impianti, dei macchinari e dei processi.

I fattori di emissione devono essere periodicamente aggiornati per tener conto sia dell'evoluzione tecnologica associata alle singole attività, sia del miglioramento della conoscenza sui singoli fattori.

2.1 Dimensione spaziale

Per quanto riguarda la dimensione spaziale, le emissioni delle principali sorgenti industriali e civili e delle principali linee e nodi di comunicazione sono stimate singolarmente e sngolarmente georeferenziate mediante le rispettive coordinate geografiche; le altre sorgenti sono stimate su base comunale e disaggregate, ai fini della applicazione di modellistica atmosferica, su un reticolo composto da maglie quadrate di lato 1km.

2.2 Dimensione temporale

L'intervallo temporale preso in considerazione per la stima delle emissioni è l'anno solare. Per quanto riguarda la disaggregazione temporale delle emissioni, in conseguenza della necessita di ottenere emissioni rilevanti su scala locale, ed ai fini della applicazione di modellistica atmosferica, la stima è disaggregata su base oraria, sui differenti giorni della settimana e su base mensile.

2.3 sostanze inquinanti

Gli inquinanti presi in considerazione nell'inventario sono:

- **inquinanti principali**: monossido di carbonio (CO) – composti organici volatili, con l'esclusione del metano (COV) – particelle sospese con diametro inferiore a 10 micron (PM10) - particelle sospese con diametro inferiore a 2,5 micron (PM2,5) – ammoniaca (NH3) - ossidi di azoto (NOX) – ossidi di zolfo (SOX);
- **gas serra**: anidride carbonica (CO2) – metano (CH4) – protossido di azoto (N2O);
- **metalli pesanti**: Arsenico (As) – Cadmio (Cd)- Cromo (Cr) – Rame (Cu) – Mercurio (Hg) – Nichel (Ni) – Piombo (Pb) . Selenio (Se) – Zinco (Zn) – Berillio (Be) – Manganese (Mn) – Stronzio (St) – Vanadio (Va)
- **principali POPs (Persistent Organic Pollutants)**: benzene (C6H6) - benzo[a]pirene (BAP) - benzo[b]fluorantene (BBF) - benzo[k]fluorantene (BKF) - indeno[123cd]pirene (INP) - esaclorobenzene (HCB) Diossine Furani: (PCCD-F)
- **Altri inquinanti**: idrogeno solforato (H2S)

2.4 Nomenclatura delle attività

La nomenclatura delle attività rilevanti per la valutazione delle emissioni di inquinanti dell aria, in accordo con quanto previsto dalla norma vigente (Appendice V al DLgs. 155/2010) prende a riferimento le versioni più aggiornate dei manuali sviluppati a livello comunitario EMEP-CORINAIR e le ulteriori specificazioni riportate nei documenti elaborati dall'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale ISPRA.

La classificazione in uso nell'IRSE è ampliata ed integrata al fine di renderla coerente con l'attività di aggiornamento dei fattori di emissione e delle nuove metodologie di stima. La nuova classificazione mantiene la sua coerenza, pur nel suo maggior dettaglio, con la classificazione internazionale SNAP 2007 ed anche con la classificazione adottata dall'ISPRA per l'inventario nazionale delle emissioni.

In dettaglio la classificazione prevede il raggruppamento delle attività in settori che a loro volta sono organizzati nei seguenti 11 macrosettori:

1. Combustione industria dell'energia e trasformaz. fonti energetiche
2. Impianti di combustione non industriali
3. Impianti di combustione industriale e processi con combustione
4. Processi produttivi
5. Estrazione e distribuz. combustibili fossili ed energia geotermica
6. Uso di solventi
7. Trasporti stradali
8. Altre sorgenti mobili e macchine
9. Trattamento e smaltimento rifiuti
10. Agricoltura
11. Altre sorgenti/Natura

2.5 Classificazione delle sorgenti di inquinamento

Per la realizzazione dell inventario è stata introdotta la suddivisione delle sorgenti di emissione in sorgenti puntuali, sorgenti lineari/nodali e sorgenti diffuse.

Sorgenti puntuali

Per sorgenti puntuali s'intendono tutte quelle sorgenti d'emissione che sia possibile ed utile localizzare direttamente, tramite le loro coordinate geografiche sul territorio e per le quali è necessaria una caratterizzazione in termini di parametri utili anche per lo studio dei fenomeni di trasporto e diffusione degli inquinanti, cioè da utilizzarsi in applicazioni modellistiche.

In questo quadro per le sorgenti puntuali sono state reperite informazioni dirette oltre alla qualità e quantità di sostanze inquinanti emesse e le coordinate del luogo d'emissione, anche l'altezza e diametro del punto d'emissione (camini), le caratteristiche dinamiche dell'emissione (portata dei fumi, velocità d'efflusso, temperatura dei fumi) ecc

In linea di principio, una volta escluse le attività mobili e quelle attività che per definizione o caratteristica intrinseca sono casualmente distribuite sul territorio (ad esempio l'utilizzo di prodotti domestici), tutte le altre attività sono caratterizzabili localizzando precisamente le sorgenti d'emissione.

In questo senso è localizzabile, ad esempio, ogni singolo impianto per riscaldamento domestico od ogni stazione di servizio. Tuttavia la loro effettiva localizzazione, e la conseguente quantificazione delle rispettive emissioni per singola sorgente, pur rispondendo a criteri di completezza dell'inventario, comporterebbe un impiego di risorse che non è possibile sostenere sia in fase di prima realizzazione dell'inventario che per il suo aggiornamento.

Inoltre, il livello d'accuratezza dell'informazione così ottenibile non è necessario per le finalità dell'inventario, compresa quella d'utilizzo per l'impiego di modelli di dispersione.

In via generale per definire e caratterizzare una sorgente come puntuale, sono usate le seguenti soglie di emissione:. Una sorgente è dichiarata puntuale se nell'arco dell'anno solare di riferimento ha emissioni che superano almeno una delle seguenti soglie:

- relativamente al monossido di carbonio: 250 t/anno
- relativamente ad uno qualsiasi degli inquinanti principali: 25 t/anno
- relativamente ad uno qualsiasi dei metalli pesanti: 250 kg/anno

Inoltre, sono considerate sorgenti puntuali anche stabilimenti produttivi che pur non superando le soglie sopraindicate, presentano peculiarità di produzione o di ubicazione (es. centrali geotermoelettriche, centrale termoelettrica dell'isola del giglio, inceneritori, ecc..)

La caratterizzazione delle emissioni puntuali è stata effettuata sorgente per sorgente tramite l'invio di un apposito questionario. Le sorgenti sono state quindi singolarmente posizionate sul territorio tramite le loro coordinate UTM.

Poiché le quantità emesse dipendono anche dalla modalità di funzionamento delle fonti d'emissione, sono state raccolte informazioni in questo senso (es. diagrammi di carico); tali informazioni sono, inoltre, utili per la disaggregazione temporale delle emissioni.

L'elenco delle aziende è ottenuto a partire dall'elenco definito nel primo inventario integrato alla luce dei cambiamenti intercorsi nel tessuto produttivo nell intervallo di tempo trascorso dal 1995 (primo censimento) al 2000, al 2003 e al 2005 (secondo, terzo e quarto censimento) fino ad arrivare al 2007 (anno dell'aggiornamento in corso). Il numero complessivo delle sorgenti puntuali, che per quanto detto varia leggermente per ogni anno di rilevamento, è di poco superiore alle 200 unità.

Con riferimento a tali sorgenti è stata seguita la seguente procedura:

- selezione delle sorgenti mediante raccolta ed analisi dei dati esistenti e stima preliminare delle emissioni,
- indagine diretta presso i gestori degli stabilimenti produttivi tramite questionario.

Il questionario completo è composto da 4 sezioni nelle quali si richiedono:

- le generalita dell azienda, e dello stabilimento produttivo;
- l'identificazione delle attività svolte secondo la metodologia CORINAIR;
- una descrizione sintetica del processo produttivo;
- un riepilogo delle sezioni o linee produttive (unità) di cui si compone lo stabilimento;
- la descrizione dei punti di emissione (camini), e le caratteristiche degli effluenti dai punti di emissione e delle tecniche di abbattimento;
- con riferimento a ciascuna unità, le emissioni di inquinanti e tutti gli altri elementi che la caratterizzano (attività, capacità produttiva, materie prime utilizzate, consumi di combustibile ecc.), ed i dati relativi alla distribuzione oraria, giornaliera e mensile della produzione.

I dati reperiti sono validati con riferimento in particolare:

- alla verifica delle emissioni dichiarate raffrontate a quelle ottenute con l utilizzo di fattori di emissione standard;
- alla verifica delle emissioni dichiarate raffrontate a quelle ottenute sommando le emissioni calcolate per ogni singolo camino.

Nei casi particolari di attività che prevedono il rilascio degli inquinanti come emissioni diffuse e non solamente come emissioni convogliate nei camini (come per le emissioni di Composti Organici Volatili nei processi di verniciatura industriale), il calcolo delle emissioni totali degli inquinanti è effettuato tenendo in considerazione le quantità dichiarate di materie prime utilizzate nell impianto (prodotti vernicianti e solventi), la loro percentuale nella composizione di composti volatili e i sistemi di abbattimento specifici adottati.

Per tutte le aziende inoltre, a completamento delle informazioni contenute nel questionario, è effettuato l'inserimento di emissioni di inquinanti non dichiarati dalle aziende ma di cui sia nota la presenza, e di cui il relativo valore di emissione è calcolato tramite l'utilizzo di appositi fattori di emissione standard. Ove necessario è contattata nuovamente l'azienda per richiedere chiarimenti ai fini di risolvere incongruenze ed effettuare eventuali integrazioni.

Sorgenti lineari/nodali

Come sorgenti lineari/nodali sono indicate le principali arterie (strade, linee fluviali, linee ferroviarie) e nodi di comunicazione (porti, aeroporti) e alcuni tipologie di impianti con emissioni diffuse su ampie superfici quali le cave e le discariche (vedi immagine seguente). Per tutte queste sorgenti la stima delle emissioni viene effettuata singolarmente e localizzandole precisamente sul territorio tramite le loro coordinate. Ove utile alla caratterizzazione delle emissioni, le arterie viarie sono suddivise in tratti. Le arterie viarie minori vengono invece trattate nell'ambito delle sorgenti diffuse.

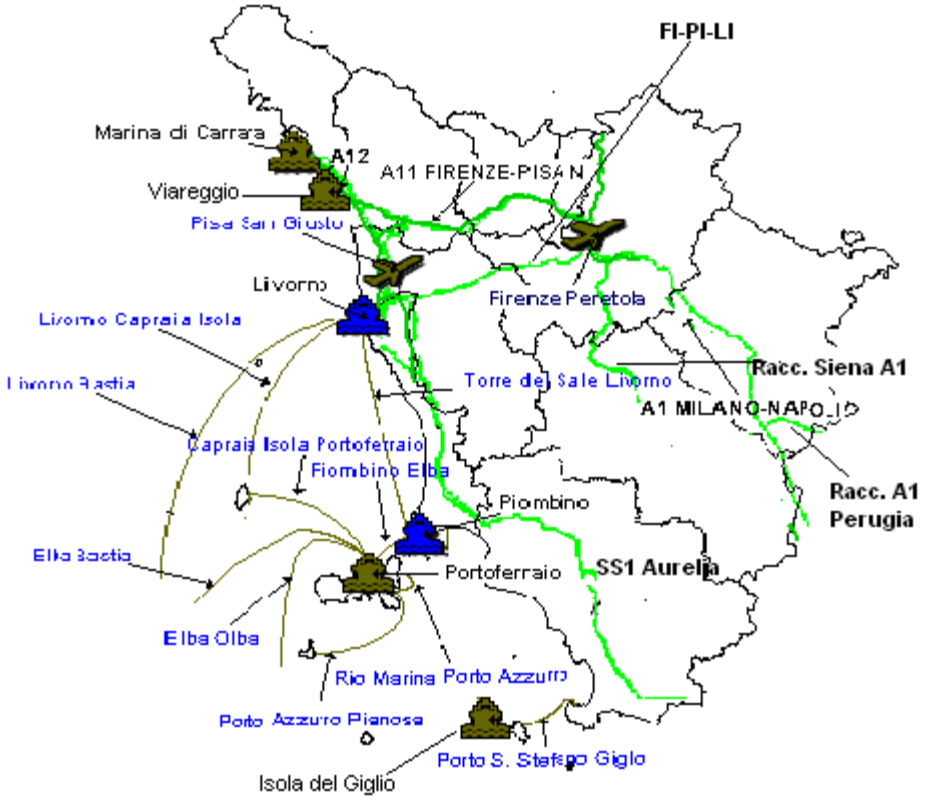


Figura 1 - Rappresentazione delle sorgenti lineari nodali presenti nell'inventario

Sorgenti diffuse

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 dell emissione, non rientrano nelle sorgenti puntuali, sia le emissioni effettivamente di tipo areale (ad esempio le foreste) o ubique (ad esempio traffico diffuso, uso di solventi domestici, ecc.).

2.6 Metodologia di stima delle emissioni da sorgenti diffuse e lineari/nodali

Per quanto riguarda le attività diffuse e lineari/nodali, le emissioni, nei casi piu semplici, sono stimate a partire da indicatori statistici dell attività e da opportuni fattori di emissione. Si ottiene:

$$\mathbf{E_{ijk} = A_{ij} \times F_{jk}}$$

dove:

E_{ijk} sono le emissioni dell'inquinante k dall'attività j nel comune i;

A_{ij} è il valore dell'attività j nel comune i (per esempio, per gli impianti termici, i consumi di combustibili);

F_{jk} è il fattore di emissione dell'inquinante k dalla attività j, per unità di attività espresso in grammi per unità di attività (ad esempio nel caso dei consumi di combustibili in grammi per gigajoule).

Nei casi piu casi complessi, quali il traffico su strada, il traffico aereo, il traffico marittimo, per la vegetazione, per gli incendi boschivi e per l applicazione di pesticidi, viene fatto ricorso a modelli di stima (vedi punti 2.8-2.12)

Per la valutazione degli indicatori di attività è seguita la seguente procedura:

- reperimento dei dati statistici necessari alla valutazione delle emissioni,
- individuazione di quei settori dove sono necessarie attività di indagine diretta sul territorio al fine del reperimento di dati specifici (consumi, produzione, flussi, ecc.);
- indagine diretta presso i gestori delle aziende tramite invio di lettere di richiesta dati.

Le emissioni diffuse sono stimate su base comunale. Dove il dato non è disponibile su tale scala, ma si è reperito solo un dato provinciale o regionale, si è provveduto a stimare il dato comunale mediante l'utilizzo della metodologia delle variabili proxy o surrogati.

L'utilizzo dei surrogati è inteso a fornire una stima di una attività ad un certo livello di disaggregazione territoriale quando sia nota per unità territoriali piu grandi. In questo caso si attribuisce all'attività la stessa distribuzione territoriale di un'altra grandezza (detto surrogato), nota a livello inferiore (comunale), e che si valuta sia ben correlata all'attività sconosciuta a livello di comune ma nota a livello di provincia o di regione.

In questo caso, indicato con i il comune, con t il valore provinciale o regionale, con A l'attività di interesse e con S la variabile proxy si ottiene il valore della attività nel comune i come:

$$\mathbf{A_i = A_t \, . \, S_i \, / S_t}$$

2.7 Fattori di Emissione

L'uso di fattori di emissione corretti rappresenta una dei fattori più critici per ottenere stime il più possibile veritiere e realistiche.

A questo scopo riveste un ruolo fondamentale il continuo aggiornamento dell intera base dati dei fattori di emissione, della classificazione delle attività e delle metodologie di stima delle emissioni di inquinanti dell aria all interno dei modelli per la stima delle emissioni.

L aggiornamento prende le mosse dal profondo processo di revisione ed aggiornamento delle informazioni e delle metodologie di supporto alla realizzazione degli inventari delle emissioni di inquinanti dell'aria che si e sviluppato, nel corso degli ultimi anni, a livello europeo.

Tale processo di revisione è stato sospinto dalla sempre maggiore consapevolezza dell importanza degli inventari delle emissioni nei processi decisionali relativi alla gestione della qualità dell aria.

I principali prodotti di questo processo di revisione a livello internazionale sono:

- L aggiornamento della classificazione delle attività di interesse per l inquinamento atmosferico SNAP (SNAP 2008);
- L aggiornamento dei fattori di emissione dei gas serra contenuto nel documento 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (IPCC 2006);
- L aggiornamento dei fattori di emissione degli inquinanti principali e dei metalli pesanti contenuto nel joint EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook;
- L aggiornamento della metodologia per la stima delle emissioni di inquinanti dell aria da traffico stradale contenuta nel EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook;
- L aggiornamento della metodologia di stima delle emissioni di inquinanti da traffico marittimo contenuta nell EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook,;
- L aggiornamento della metodologia di stima delle emissioni di inquinanti da traffico aereo riassunta nel documento: Eurocontrol, Aircraft Particulate Matter Emission Estimation through all Phases of Flight (2005);
- I fattori di emissione del Dioxin Inventory reports sviluppato dalla European Commission.

2.8 Modello per la stima delle emissioni da Traffico stradale

In generale le emissioni da traffico stradale, possono essere suddivise in quattro tipologie di emissioni:

- a caldo (emissioni da veicoli i cui motori hanno raggiunto la loro temperatura di esercizio) calcolate per tutti i tipi di veicoli;
- a freddo (emissioni durante il riscaldamento del veicolo; convenzionalmente, sono le emissioni che si verificano quando la temperatura dell'acqua di raffreddamento e inferiore a 70°‹C) calcolate, per mancanza di conoscenze piu approfondite, per i soli veicoli leggeri (automobili, motocicli, ciclomotori e veicoli commerciali con peso a pieno carico inferiore a 3,5 tonnellate);
- evaporative (per i soli Composti Organici Volatili escluso il Metano) rilevanti per i soli veicoli alimentati a benzina;
- da abrasione (per le sole Particelle sospese con diametro inferiore a 10 e 2,5 micron) calcolate per tutti i tipi di veicoli.

Le emissioni totali possono dunque esprimersi come:

$$\mathbf{E = Ehot + Ecold + Eevap + Eabr}$$

dove Ehot sono le emissioni a caldo, Ecold le emissioni a freddo, Eevap le emissioni evaporative ed Eabr le emissioni da abrasione.

Il modello prende in considerazione le seguenti tipologie di veicoli:

- Automobili (portata minore di 2.5 t)
- Veicoli commerciali
- Autobus
- Motocicli

La categoria delle automobili è ulteriormente scomposta, in base al carburante (benzina, gasolio, gpl, metano) in base alla cilindrata (cc), e quindi in base all applicazione delle normative delle Comunità Europea sulle caratteristiche dei motori ai fini della tutela dell aria (EURO 0, EURO 1, ecc..):

I veicoli commerciali sono suddivisi in 9 classi di portata (P) (3.5<P<7.5, 7.5<P<12, 12< P<14,14<P<20, 20<P<26, 26<P<28, 26<P<28, 20<P <28, P>32)

I veicoli commerciali a benzina e gasolio con portata maggiore di 3.5t (veicoli commerciali pesanti) sono ulteriormente suddivisi in base all applicazione delle normative della Comunità Europea in materia di abbattimento delle emissioni da trasporto stradale:

Gli autobus sono suddivisi in Autobus urbani ed extraurbani e per calsse di portata (P<15 t, 15<P<18, P>1/8 t) e per normativa comunitària.

Sono inoltre inseriti gli autobus a metano senza suddivisione per portata ma classificati per normativa.

I motocicli sono suddivisi in quattro classi di cilindrata (cc): (cc<50, 50<cc<250, 250<cc<750, cc>750) ed in base all'applicazione delle normative delle Comunità Europea.

Il modello, al fine di definire in modo piu dettagliato i reali modi di impiego dei mezzi, prevede la suddivisione delle percorrenze totali in tredici classi di velocita (10-20, 20-30, , 120-130) e la

definizione di distribuzioni di velocita per tipologia di veicolo a cui corrispondono specifici fattori di emissione valutati al centro dei singoli intervalli di velocita (alle velocita 15, 25, ..., 125 km/h).

Infine il modello permette la correzione delle emissioni per tenere conto degli effetti della pendenza della strada (-3%, -2%, -1%, 0, 1%, 2%, 3%) e, nel caso dei soli veicoli pesanti, del carico (a pieno carico, a mezzo carico, a vuoto).

Al fine di stimare le emissioni il modello richiede la specificazione delle percorrenze associate alle varie tipologie di veicolo. In paticolare la percorrenza m_{jkl} puo essere ottenuta come:

$$\mathbf{m_{jkl} = h_{jl} \cdot v_{jl} \cdot q_{jkl}}$$

dove:

m_{jkl} sono le percorrenze per classe di velocita o piu correttamente i veicoli chilometro per anno (quantita complessiva di chilometri percorsi dalla totalita dei veicoli di categoria j alimentati con il combustibile l in un anno nella classe di velocita k);

h_{jl} e il numero di veicoli di categoria j alimentati con il combustibile l circolanti nell area della simulazione;

v_{jl} la percorrenza media dei veicoli di categoria j alimentati con il combustibile l nel periodo preso in considerazione;

q_{jkl} e la quota della percorrenza del veicolo di categoria j alimentato con il combustibile l effettuata nella classe di velocita k.

Oltre lla specificazione delle percorrenze il modello richiede la stima anche dei consumi. Le formule di base per la stima dei consumi a caldo è la seguente:

$$\mathbf{Chot_{jkl} = Uhot_{jkl}\ m_{jkl}}$$

dove:

- j indica la tipologia di veicolo, k la classe di velocita, l il combustibile:
- Chot sono i consumi espressi in grammi;
- Uhot sono i consumi unitàri espressi in grammi per chilometro,
- m sono le percorrenze totali o piu correttamente i veicoli chilometro per anno (quantità complessiva di chilometri percorsi dalla totalita dei veicoli in un anno).

La stima dei consumi è necessaria alla stima delle emissioni per una serie di inquinanti le cui le emissioni dipendono dal consumo di combustibile (ad esempio ossidi di zolfo e piombo). Inoltre la stima e utilizzata per calibrare il modello e dedurre le percorrenze medie per tipo classe e categoria di veicolo.

La somma dei consumi per combustibile stimati dal modello viene validata per confronto con il valore dei consumi rilevati statisticamente. Le fonti dei dati per i consumi di combustibili nel trasporto stradale sono:

- Bilancio energetico nazionale del Ministero delle Attività Produttive, per le stime a livello nazionale;
- Bollettino petrolifero del Ministero delle Attività Produttive, per le stime a livello locale.

Per quanto riguarda, invece i veicoli commerciali pesanti e gli autobus, i consumi specifici vengono calcolati non solo in funzione della classe di velocita, ma anche del fattore di carico e della pendenza della strada. Le funzioni utilizzate, sono specifiche per ciascuna tipo, classe e categoria di veicolo, fattori di carico e classe di pendenza.

Infine il modello richiede la stima dei consumi specifici medi per i motocicli e ciclomotori.

Stima emissioni a caldo

Le emissioni di ossidi di azoto, monossido di carbonio, composti organici volatili, particelle sospese con diametro inferiore a 10 micron, metano, protossido di azoto ed ammoniaca sono stimate a partire dalle percorrenze e da opportuni fattori di emissione.

La formula di base per la stima delle emissioni a caldo a partire dalle percorrenze è la seguente:

$$\mathbf{Ehot_{ijkl} = Fhotm_{ijkl}\ m_{jkl}}$$

dove:

- i indica l inquinante, j la categoria di veicolo, k la classe di velocita, l il combustibile,
- Ehot sono le emissioni espresse in grammi;
- Fhotm sono i fattori di emissione espressi in grammi per chilometro;
- m sono le percorrenze totali o piu correttamente i veicoli chilometro per anno (quantita complessiva di chilometri percorsi dalla totalita dei veicoli in un anno).

Le emissioni di metalli pesanti (cadmio, cromo, rame, nickel, selenio e zinco) diossine e furani sono direttamente correlate ai consumi di combustibili e sono trattate a parte rispetto alla metodologia delineata nel paragrafo precedente. In questo caso le emissioni sono stimate dai consumi di combustibile valutati dal modello e da opportuni fattori di emissione per quantita di combustibile consumato:

$$\mathbf{Ehot_{ijkl} = Fhotc_{ijkl}\ Chot_{jkl}}$$

dove:

- i indica l inquinante, j la categoria di veicolo, k la classe di velocita, l il combustibile;
- Ehot sono le emissioni espresse in grammi;
- Chot sono i consumi espressi in grammi;
- Fhotc sono i fattori di emissione espressi in grammi per grammo di combustibile consumato.

.

Stima dei consumi e delle emissioni a freddo

Durante il funzionamento a freddo del veicolo si produce da un lato un extra-consumo di combustibile e dall'altro una differente modalita di combustione; entrambi i fenomeni portano ad un aumento delle emissioni. L'aumento delle emissioni e presente in tutti i tipi di veicoli, tuttavia per mancanza di conoscenze più approfondite e preso in considerazione solo per i veicoli leggeri. Le emissioni dovute al funzionamento a freddo sono ottenute stimando la quota extra di emissioni da aggiungere alle emissioni a caldo per ottenere le emissioni totali.

La quantita extra di emissioni è stimata a partire dalla quota parte della percorrenza degli autoveicoli espletata con i motori a freddo.

La quantita extra di consumi dipende dalla temperatura ambiente e dalla velocita media ed è stimata come somma dei consumi mensili a partire dalla:

$$\mathbf{Ccold_{jk} = \Sigma_{jkmhnt}\ Ccold_{jkmhnt}}$$

dove j indica la tipologia di veicolo, k la classe di velocita, m il mese dell'anno, h la classe di velocita a freddo, n la classe di temperatura di avvio del motore, t la classe di temperatura media diurna nel mese m

Stima delle emissioni evaporative

Le emissioni di COV da evaporazione nei veicoli a benzina si aggiungono alle emissioni di COV da combustione. Le emissioni evaporative sono suddivise in tre parti:

- perdite in movimento;
- perdite diurne;
- emissioni "hot soak".

Le perdite in movimento sono perdite evaporative che avvengono quando il veicolo e in uso. Le perdite sono dovute al riscaldamento del serbatoio provocato dai condotti di scarico dei gas, all'aria calda proveniente dal comparto motore che fluisce sotto il veicolo e riscalda il serbatoio, al combustibile di ritorno del comparto motore, e al calore irradiato dalla pavimentazione della strada.

Le perdite diurne sono causate dal riscaldamento e raffreddamento del serbatoio dovuti all'escursione termica giornaliera dell'ambiente. Temperature piu basse causano la contrazione della miscela aria-vapore nel serbatoio, ogni seguente aumento della temperatura causa l'espansione della miscela aria-vapore e la fuoriuscita di vapore dal serbatoio.

Le emissioni "hot soak" sono generate dal riscaldamento del sistema di alimentazione del combustibile dovuto al calore disperso dal motore e dai condotti di scarico dei gas quando il veicolo viene spento. Il calore proveniente dal motore puo causare l'aumento della temperatura del combustibile nel carburatore ad un valore di circa 70°‹ causando l'evaporazione dalla benzina della sua frazione piu leggera. Le emissioni "hot soak" sono tipicamente piu basse per i veicoli ad iniezione poiché il sistema di alimentazione del combustibile è chiuso ed i vapori non possono disperdersi durante una "hot soak". Per i veicoli ad iniezione le emissioni "hot soak" sono dovute al riscaldamento del serbatoio da parte dei condotti di scarico dei gas e del combustibile di ritorno dal sistema ad iniezione.

Nell'ambito della metodologia le emissioni evaporative sono stimate per i soli veicoli leggeri a benzina (automobili, veicoli commerciali con peso a pieno carico<3,5 e motocicli).

Le emissioni nella metodologia sono stimate distinte fra le differenti cilindrate ed i fattori di emissione sono modulati in funzione della cilindrata.

Le emissioni, in tonnellate, delle autovetture leggere a benzina sono stimate a partire dalla formula seguente (in cui):

$$\mathbf{Eeva_{jm} = S_{jm} + D_{jm} + R_{jm}}$$

dove:

- j indica la tipologia del veicolo espressa dalla cilindrata e dalla normativa ECE che rispetta
- Eevajm emissioni evaporative
- Sj emissioni "hot soak"
- Dj perdite diurne
- Rj perdite in movimento

Stima delle emissioni di PM10 e PM2,5 da abrasione

All interno del modello è implementata una specifica metodologia per la valutazione delle emissioni di particelle sospese con diametro inferiore a 10 micron da abrasione dei freni, delle gomme e della superficie stradale. La stima in questi settori è ancora molto incerta soprattutto per quanto riguarda le emissioni da abrasione della strada.. Le emissioni sono stimate a partire dalle percorrenze e da opportuni fattori di emissione.

2.9 Modello per la stiam di emissioni da decollo ed atterraggio aeromobili

Il modello fornisce la stima delle emissioni dei principali inquinanti dell'aria prodotte dal movimento degli aerei nell aeroporto. In particolare sono stimati i cicli LTO (Landing-Takeoff) dei singoli aeromobili. Per ciclo LTO si intendono tutte le operazioni effettuate dagli aerei in volo e a terra. Quindi sono presi in considerazione: discesa e approccio da un altezza di circa 3000 piedi (915 m) dal livello del suolo, contatto con il terreno, rullaggio in arrivo, sosta con i motori al minimo e arresto, accensione e sosta con i motori al minimo, rullaggio in partenza, decollo e salita fino a circa 3000 piedi dal livello del suolo.

Ai fini della stima delle emissioni, le operazioni sopra elencate possono essere raggruppate in 4 fasi: approccio, rullaggio e sosta in arrivo e partenza, decollo e salita. Per ciascuna di queste fasi ogni classe di aereo è caratterizzata da tempi medi caratteristici di operazione.

Nel modello di calcolo sono state individuate le seguenti classi di aereo:

- Aviogetti giganti (Jumbo jet)
- Aviogetti a lungo raggio
- Aviogetti a medio raggio
- Aviogetti uso business
- Aviogetti a turboelica commerciali
- Aviogetti a turboelica uso business
- Aerei a Pistoni
- Elicotteri
- Aerei Militari

L emissione è calcolata in base alla seguente formula:

$$\mathbf{Ek = Fk\ LTOk\ 10^{-3}}$$

Dove Ek emissioni da parte del modello di aereo k, Fk fattore di emissione in chilogrammi per ciclo LTO dell anidride carbonica da parte del modello di aereo k,

La stima non prende in considerazione le emissioni determinate da altre attività aeroportuali quali, ad esempio, le caldaie, i gruppi elettrogeni, i veicoli a terra ecc. Tali emissioni sono trattate come parte delle emissioni da combustione nel terziario e da traffico.

2.10 Modello per la stima delle emissioni da navi

Con riferimento alle attività delle navi è consuetudine distinguere tra le seguenti fasi: (a) approccio e ormeggio nei porti; (b) stazionamento in porto; (c) partenza dal porto e (d) navigazione. In particolare la fase (a) inizia quando la nave inizia a decelerare e finisce quando ormeggia, mentre la fase (c) inizia quando la nave libera gli ormeggi e finisce quando ha raggiunto la velocità di crociera.

Dopo il suo arrivo in porto la nave continua a generare le sue emissioni in banchina (in fase di stazionamento). Deve essere infatti prodotta energia per i servizi ausiliari (l'illuminazione, il riscaldamento od il condizionamento, le pompe, la refrigerazione, ecc.). Per soddisfare tale richiesta di energia, usualmente sono utilizzate una o più caldaie a vapore, operanti a potenza, e conseguentemente consumi, ridotti. Tuttavia, alcune navi a vapore utilizzano motori diesel ausiliari per fornire energia ai servizi ausiliari.

Dal punto di vista dei consumi e delle emissioni possono essere individuate due fasi di manovra (a e c), una fase di stazionamento (b) ed una fase di crociera (d).

Per l'applicazione della metodologia sono necessarie una stima del numero di giorni spesi nelle differenti fasi di navigazione:

- Crociera
- Manovra
- Stazionamento
- Carico e scarico serbatoi
- per ogni classe di navi:
- Trasporto solidi alla rinfusa
- Trasporto liquidi alla rinfusa
- Carico generico
- Porta container
- Passeggeri/Ro-Ro/carico
- Passeggeri
- Traghetti veloci
- Carico in navigazione interna
- Vela
- Rimorchiatore
- Pesca
- Altri

equipaggiate con i seguenti propulsori:

- Caldaie a vapore
- Motori ad alta velocità
- Motori a media velocità
- Motori a bassa velocità
- Turbine a gas
- Motori entrobordo per barche turistiche
- Motori fuoribordo
- Motori per carico e scarico dei serbatoi

ed utilizzanti i seguenti combustibili:

- Olio combustibile
- Olio distillato
- Diesel
- Benzina.

Le emissioni sono ottenute come:

$$\mathbf{Eijklm = Sjkm(T) \cdot tjklm \cdot Fijlm}$$

dove: i inquinante, j combustibile, k classe di nave, l tipo di propulsore, m fase di navigazione, Eijklm emissioni dell'inquinante i dall'uso del combustibile j, su navi di classe k, con propulsori di tipo l, nella fase di navigazione m, Sjkm (T) consumi giornalieri di combustibile j, in navi di classe k, nella fase di navigazione m, in funzione del tonnellaggio lordo, tjklm giorni in navigazione delle navi di classe k, nella fase di navigazione m, con propulsori di tipo l, che usano il combustibile j, Fijlm fattore di emissione dell'inquinante i, dall'uso del combustibile j, in propulsori di tipo l, nella fase di navigazione m.(per SOx, tenendo conto del contenuto medio di zolfo nel combustibile).

2.11 Modello per la stima delle emissioni dalla Vegetazione

Il modello fornisce la stima della emissioni dei composti organici volatili prodotte dalla vegetazione suddivise per classe secondo la nomenclatura delle attività CORINAIR, e fascia altimetrica secondo la classificazione ISTAT (pianura, collina, montagna).

L emissione in tonnellate di composti organici volatili è calcolata in base alla seguente formula:

$$\mathbf{Ecovij = (EIkj + EMkj + EAkj)}$$

dove:i classe CORINAIR, j fascia altimetrica (pianura, collina, montagna), k specie vegetale (appartenente alla classe i), Ecovij emissioni di composti organici volatili per la classe i e fascia altimetrica j, EI emissioni di isoprene, EM emissioni di monoterpeni, EA emissioni di altri composti.

Le emissioni sono stimate per le seguenti specie vegetali:

- Conifere
- Fustaie di resinose
- Abete bianco
- Abete rosso
- Larice
- Pini
- Altre resinose
- Miste
- Decidue emettitrici di isoprene
- Fustaie di latifoglie
- Sughere
- Rovere
- Cerro
- Altre querce
- Decidue non emettitrici di isoprene
- Fustaie di latifoglie
- Castagno

- Faggio
- Pioppi
- Altre
- Miste
- Fustaie di latifoglie e resinose consociate
- Cedui semplici
- Cedui composti
- Altra vegetazione
- Macchia mediterranea

L'algoritmo di calcolo tiene conto del fattore di biomassa della specie, della superficie in ettari coperta dalla singola specie nelle fascia altimetrica j, dela temperatura efficace giornaliera per specie e fascia altimetrica, della radiazione solare fotosinteticamente attiva, dalle temperature medie mensili e dalle temperature minime massime e medie giornaliere.

2.12 Modello per la stima delle emissioni da Incendi forestali

Nel modello sono prese in considerazione le differenti colture come definite dal Corpo Forestale dello Stato nell apposito foglio notizie incendi:

- Resinose alto fusto
- Latifoglie alto fusto
- Miste alto fusto
- Ceduo semplice
- Ceduo composto
- Macchia mediterranea

Pe l'applicazione del modello occorre la valutazione della quantità di biomassa bruciata definita dalla seguente formula:

$$\mathbf{M = \alpha Ai\ Bi}$$

dove: i tipologia di vegetazione, Ai area (in ettari) della superficie incendiata coperta dalla coltura i, Bi quantità media a secco di biomassa (in tonnellate per ettaro) emersa dal terreno nella coltura i, α efficienza dell incendio ovvero frazione di biomassa distrutta definitivamente (in caso di incendio completo deve essere posta uguale ad 1 mentre in caso di incendio parziale dovrà esprimere la valutazione della quantità di biomassa effettivamente bruciata).

Le emissioni dei vari inquinanti si valutano a parture della quantità di massa bruciata e da aopportuni fattori di emissione.

.

2.13 Disaggregazione temporale

Le emissioni annue sono le prime informazioni che caratterizzano gli inventari. Una voltaeffettuata la stima delle emissioni su base annuale è possibile fornire una ulteriore stima della loro distribuzione temporale soprattutto per l'utilizzo di modelli matematici per lo studio della dispersione su breve periodo.

Dal punto di vista della modalità di funzionamento, infatti, bisogna distinguere in primo luogo tra sorgenti continue e discontinue, identificando e caratterizzando i periodi di attività e quelli di inattività. Sono sorgenti continue quelle sorgenti le cui emissioni sono caratterizzabili in termini di regolarità (piccole variazioni di quantità emesse da un periodo all'altro), e continuità (es. centrali termoelettriche di base) ovvero periodicità (es. riscaldamento domestico) nelle emissioni. Sono sorgenti discontinue tutte le sorgenti che emettono in maniera intermittente e non regolare, e comunque per piccoli periodi (es. qualche ora al giorno).

In conseguenza, dal punto di vista della disaggregazione temporale dell'inventario, per ciascuna attività, sono prese in considerazione:

- la disaggregazione oraria (nel corso delle ventiquattro ore);
- la disaggregazione stagionale (nei differenti mesi);
- la disaggregazione fra giorni festivi, prefestivi e feriali.

Tale variazione è in generale legata a parametri dipendenti dalla temperatura e a parametri di tipo comportamentale o sociale quali l'orario lavorativo, i tassi di produzione, la richiesta di energia elettrica, ecc.

La quantità di inquinante i emesso a causa dell'attività j nell'ora h del giorno della settimana g del mese m è data da:

$$\mathbf{Eijmgh = Eij \cdot fm \cdot fg \cdot fh / 8760}$$

dove: Eij è la quantità annuale di inquinante i emesso a causa dell'attività j, fm è il fattore di distribuzione per i differenti mesi, fg è il fattore di distribuzione per i differenti giorni della settimana, fh è il fattore di distribuzione per le differenti ore del giorno.

I fattori fm, fg, fh sono tali che la somma su tutti i mesi giorni dellea settimana e ore nel giorno sia uguale a 8760.

2.14 Disaggregazione spaziale delle emissioni sul reticolo 1 km x 1 km

La dimensione territoriale dell'inventario è quella comunale. All'interno del territorio comunale le emissioni puntuali e lineari sono stimate singolarmente e singolarmente posizionate sul territorio in base alle coordinate Gauss-Boaga dei punti e degli estremi delle rette mentre le emissioni diffuse stimate a livello di comune possono essere distribuite su un reticolo a maglie quadrate di lato 1 km.

In questo contesto si può suddividere il problema nei seguenti casi particolari:

- il dato da distribuire è una variabile estensiva ovvero dipende da una variabile proporzionale al grado di copertura di ogni singola maglia (ad esempio le foreste, le emissioni dal domestico, ecc.); in questo caso si utilizza il grado di copertura della variabile su ogni singola maglia e si rapporta il valore comunale a tale grado di copertura;
- il dato da distribuire è una variabile intensiva ovvero dipende dalla presenza o meno dell attività stimata a livello comunale sulla singola maglia; in questo caso si utilizza il peso della maglia sul totale comunale ottenuto dalla conoscenza della variabile proxy;

Il secondo caso è simile a quello per le sorgenti puntuali eliderai ed è basato sulla esatta conoscenza della attività sulla singola maglia.

Nel primo caso, invece, si fa ricorso alle mappe sull uso del suolo, sviluppate nell’ambito del progetto comunitàrio CORINE Land Cover. A partire dalle mappe è possibile, per ogni attività della classificazione CORINE Land Cover, calcolare la copertura su ogni singola maglia.

Una volta effettuato il calcolo, le emissioni dall attività i sulla maglia k si ottengono come:

$$\mathbf{Eik = \Sigma j\ (Eij\ Qkj\ Pkl\ /\ \Sigma kPkl)}$$

Dove: i è l'attività le cui emissioni si vuole distribuire sulle maglie, j il comune, k la maglia, l la variabile proxy assegnata all attività i, Eij l'emissione totale dell attività i nel comune j, Qkj la porzione della maglia k ricadente nel comune j, Pkl la copertura della proxy (o tematismo) l sulla maglia k.

3. Sintesi regionale dei risultati dell'inventario IRSE 2007

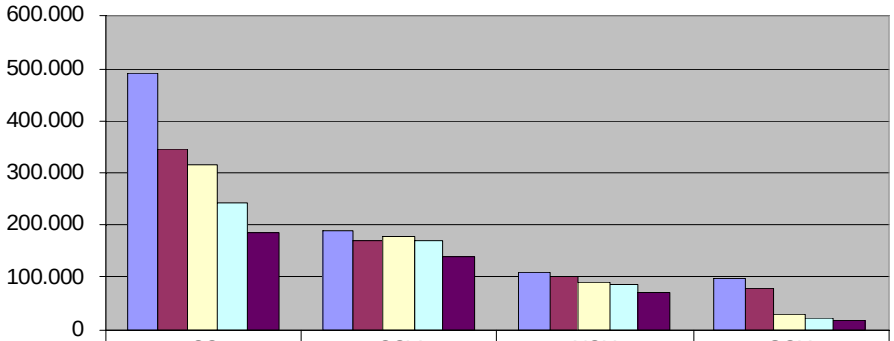
Nel presente capitolo sono riportati i risultati dell'IRSE, relativi all'aggiornamento 2007. E' da precisare che in occasione di ciascun aggiornamento dell'inventario, vengono ricalcolati utilizzando gli eventuali nuovi fattori di emissione e le nuove metodologie di calcolo, tutte le stime relative agli anni precedenti di aggiornamento, così da garantire una maggior coerenza nel confronto delle serie storiche. Nell'ambito dell'aggiornamento al 2007 sono state quindi ricalcolate le stime emissione per gli anni 1995, 2000, 2003, 2005 e 2007.

Il periodo di tempo di 13 anni (1995 – 2007), nel quale sono disponibili, per gli anni 1995, 2000, 2003, 2005 e 2007 i dati di emissione dell'IRSE, deve ritenersi sufficiente per avvertire ed evidenziare risultati e trend nelle emissioni regionali e, quindi, per valutare i contributi assoluti e relativi della varie tipologie di sorgenti di emissione al fine di impostare con le necessarie priorità le azioni e misure da adottarsi.

Al fine di non appesantire il testo vengono riportate solo alcune elaborazioni come totali regionali con utilizo di mappe e rappresentazioni grafiche piuttosto che tabelle. I dati di maggior dettaglio sono scaricabili come tabelle excel dal sito http://servizi.regione.toscana.it/aria/.

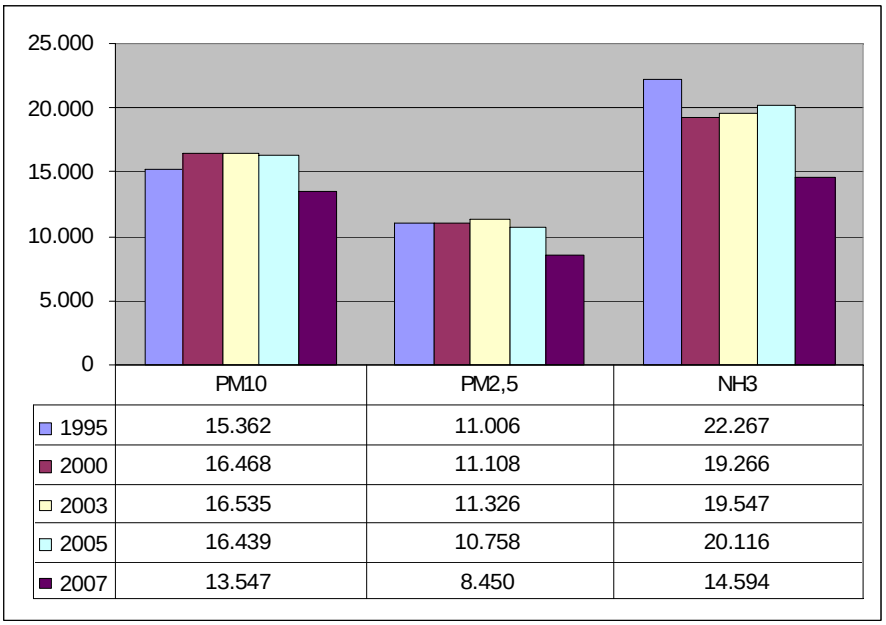
3.1 Inquinanti principali

Di seguito sono riportati gli andamenti relativi alle sostanze inquinanti principali: monossido di carbonio (CO), composti organici volatili (COV), ossidi di azoto (NO_X), ossidi di zolfo (SO_X), materiale particolato fine PM_{10} e $PM_{2,5}$ e ammoniaca (NH_3).



	CO	COV	NOX	SOX
1995	487.606	190.124	111.201	96.198
2000	345.880	170.659	100.308	78.290
2003	315.871	178.541	87.753	29.811
2005	244.756	169.084	84.774	23.595
2007	185.202	139.862	71.095	17.220

Figura 2 – Andamenti complessivi per CO, COV, NOx, SOx



	PM10	PM2,5	NH3
1995	15.362	11.006	22.267
2000	16.468	11.108	19.266
2003	16.535	11.326	19.547
2005	16.439	10.758	20.116
2007	13.547	8.450	14.594

Figura 3 – Andamenti complessivi per PM10, PM2,5, NH3

I grafici mostrano come per il monossido di carbonio, gli ossidi di zolfo e l'ammoniaca si sono registrati sostanziali decrementi che risultano più contenuti per le altre sostanze inquinanti.

Relativamente al monossido di carbonio (CO) il grafico mostra un chiaro trend decrescente. Le stime infatti indicano nel 1995 un valore complessivo di 487.606 tonnellate e di 185.202 tonnellate nel 2007 paria d una riduzione del 62%. Il settore che ha avuto le maggiori diminuzioni sono i trasporti che hanno visto ridurre le loro emissioni specifiche dal 1995 al 2007 del 67%.

Anche le emissioni di composti organici volatili (COV) hanno visto una diminuzione dal 1995 al 2007 passando rispettivamente da 190.1254 tonnellate a 139.862 pari ad un decremento del 265. Analizzando i dati in dettaglio, si nota tuttavia che la quasi totalità del decremento è da scriversi al settore della mobilità che hanno visto ridurre le loro emissioni specifiche dal 1995 al 2007 del 52%.

Per quanto riguarda le emissioni di ammoniaca (NH3), il grafico mostra un andamento relativamente costante negli anni ed una diminuzione nel 2007 totalmente ascrivibile al settore Altro ed in particolare all'utilizzo della energia geotermica che dal 2005 al 2007 ha visto ridurre le proprie emissioni rispettivamente da 11.065 a 6415 tonnellate, pari ad una riduzione specifica del 42% dovuta alla attivazione dei sistemi di abbattimento AMIS.

Per quanto riguarda il materiale particolato PM10 e PM2,5, i grafici mostrano una andamento sostanzialmente costante fino al 2005 ed una riduzione nel 2007. In particolare per il PM10 le stime relative agli anni 2005 e 2007 sono rispettivamente di 16.439 e 13.547 tonnellate pari ad un decremento del 18%. Per il PM2,5 le stime degli anni 2005 e 2007 sono rispettivamente di 10.758 e 8.450 tonnellate pari ad un decremento del 21%. Tali riduzioni sono da scriversi sostanzialmente al riscaldamento ed ai trasporti che hanno visto ridurre le emissioni specifiche rispettivamente del 31% e 14% per il PM10 e del 32% e 15% per il PM2,5.

Le emissioni di ossidi di zolfo (SOX) sono quelle che tra il 1995 ed il 2007 hanno avuto il maggior decremento passando rispettivamente da 96.188 a 17.220 tonnellate pari ad una riduzione complessiva del 82%.

Anche le emissioni di ossidi di azoto presentano una grafico decrescente con valori dal 1995 al 2007 rispettivamente di 11.201 e 71.095 tonnellate pari ad una riduzione complessiva del 36%. tali riduzioni sono da ascriversi totalmente al settore dei trasporti e dell'industria che hanno visto entrambi ridurre le loro emissioni specifiche dal 1995 al 2007 del 38%.

Nelle figure e grafici seguenti sono riportati rispettivante le emissioni per tipologia di sorgente ed i valori stimati per ciascun macrosettore.

Ossidi di zolfo

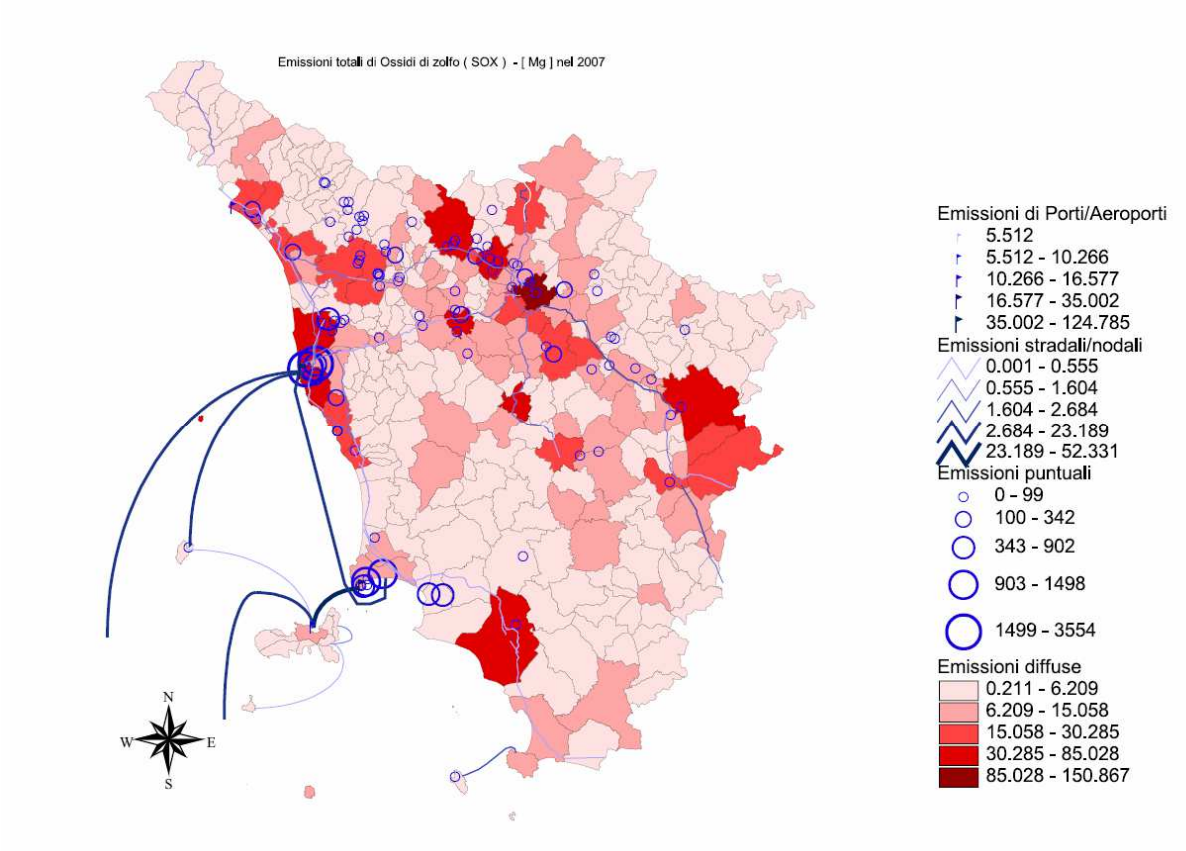
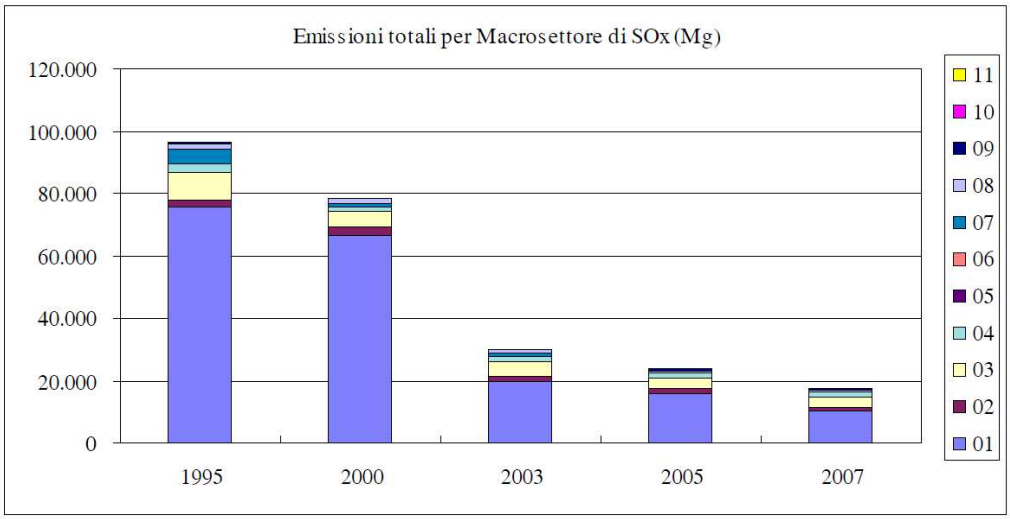


Figura 4 - Emissioni totali di SOx (Mg) per comune, linea ed impianto Anno 2007



01 Combustione industria energia e trasform. fonti energ.
02 Impianti di combustione non industriali
03 Impianti di combustione industriali
04 Processi Produttivi
05 Estrazione distribuzione combust. fossili/energ.geot.
06 Uso di solventi
07 Trasporti Stradali
08 Altre sorgenti mobili
09 Trattamento e Smaltimento Rifiuti
10 Agricoltura
11 Altre sorgenti/natura

Figura 5 Emissioni totali per macrosettore di SOX (Mg) dal 1995 al 2007

Le emissioni di ossidi di zolfo (SOX) derivano per la loro totalità dai settori legati alle produzione di energia con centrali termoelettriche (50%), dalla combustione nell'industria (17%) e dai processi produttivi (11%).

Ossidi di azoto

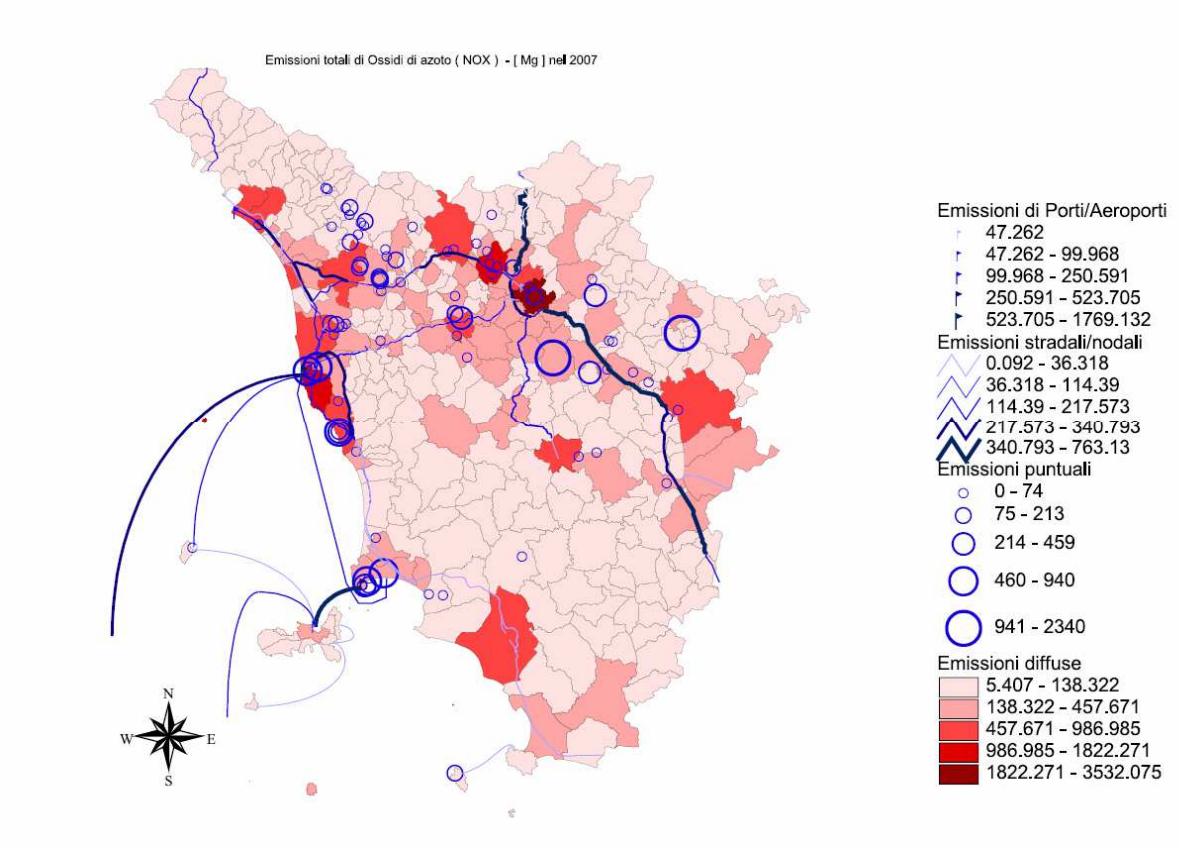


Figura 6 - Emissioni totali di NOx (Mg) per comune, linea ed impianto Anno 2007

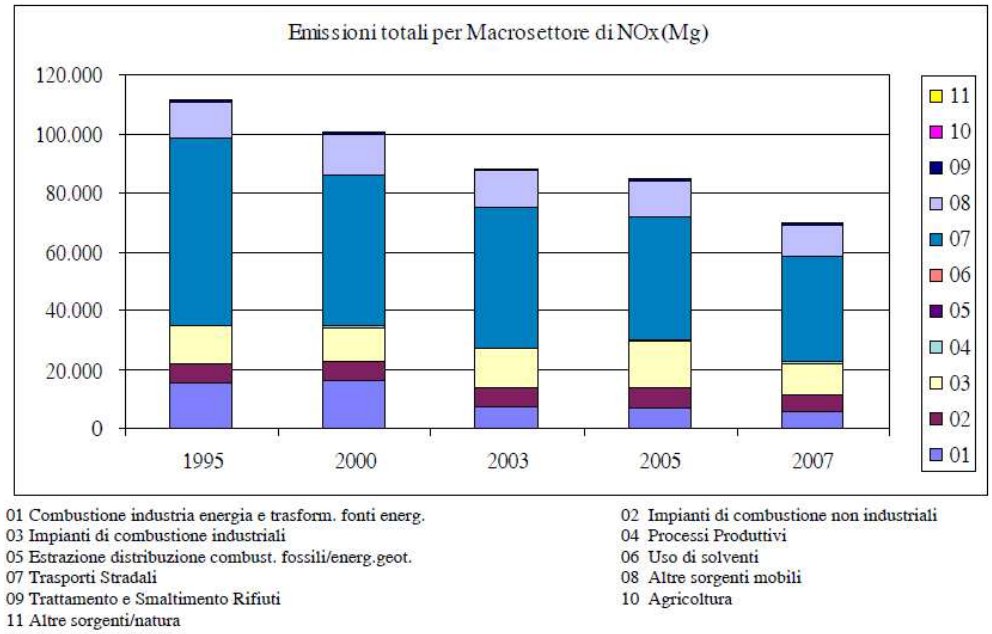


Figura 7- Emissioni totali per macrosettore di NOX dal 1995 al 2007

Per quanto riguarda gli ossidi di azoto (NOX), il settore con le maggiori emissioni è rappresentato dai trasporti stradali con la metà delle emissioni regionali. Altre fonti rilevanti sono i processi di combustione nell'industria con il 17% e le altre sorgenti mobili (porti, aereoporti, macchine agricole, ecc..) con il 15%.

Monossido di carbonio

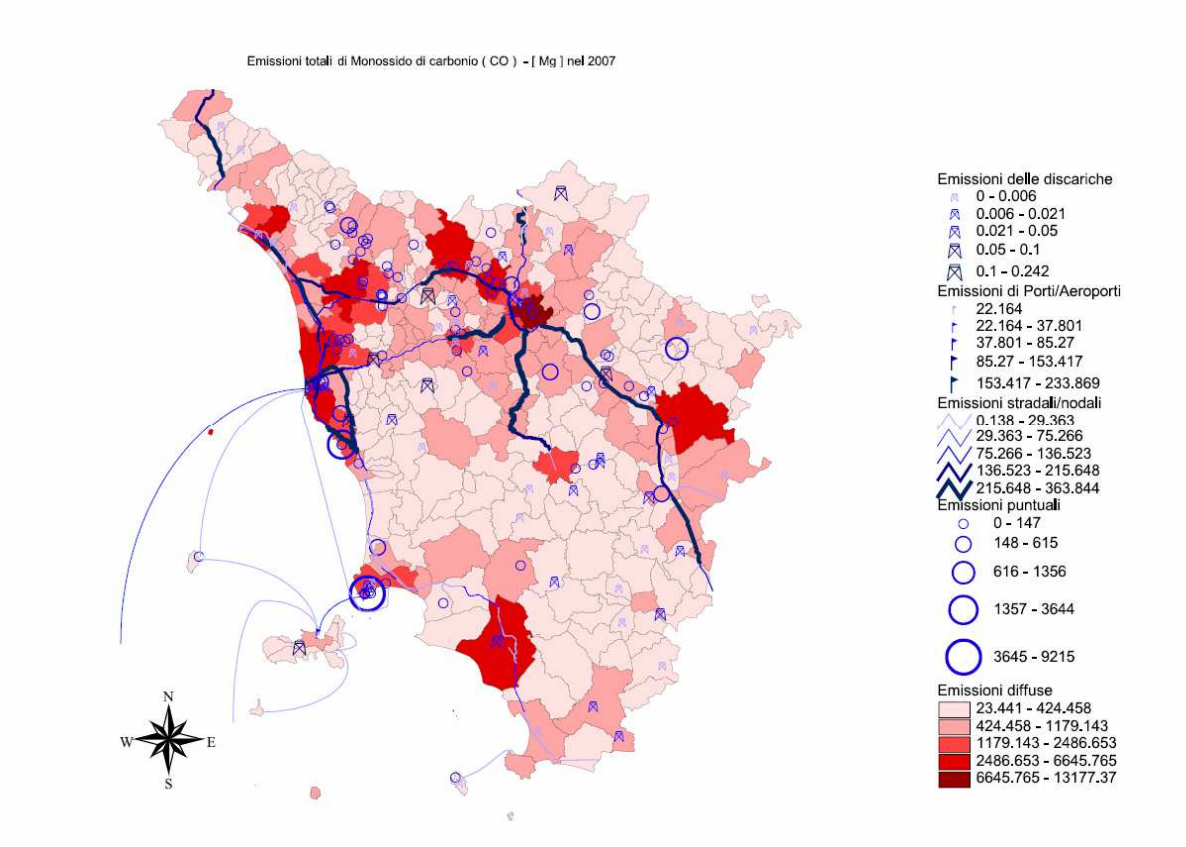


Figura 8 - Emissioni totali di CO (Mg) per comune, linea ed impianto Anno 2007

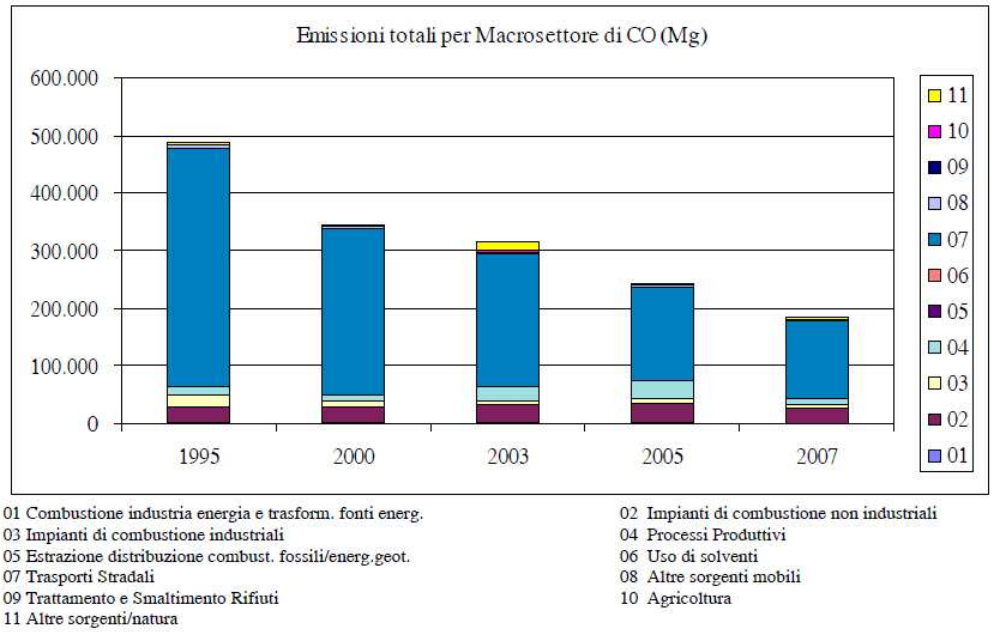


Figura 9 - Emissioni totali per macrosettore di CO dal 1995 al 2007

Per il monossido di carbonio (CO) il settore con le maggiori emissioni sono i trasporti stradali con il 72% seguito dal riscaldamento domestico con il 13%.

Particelle sospese con diametro inferiore a 10 micron

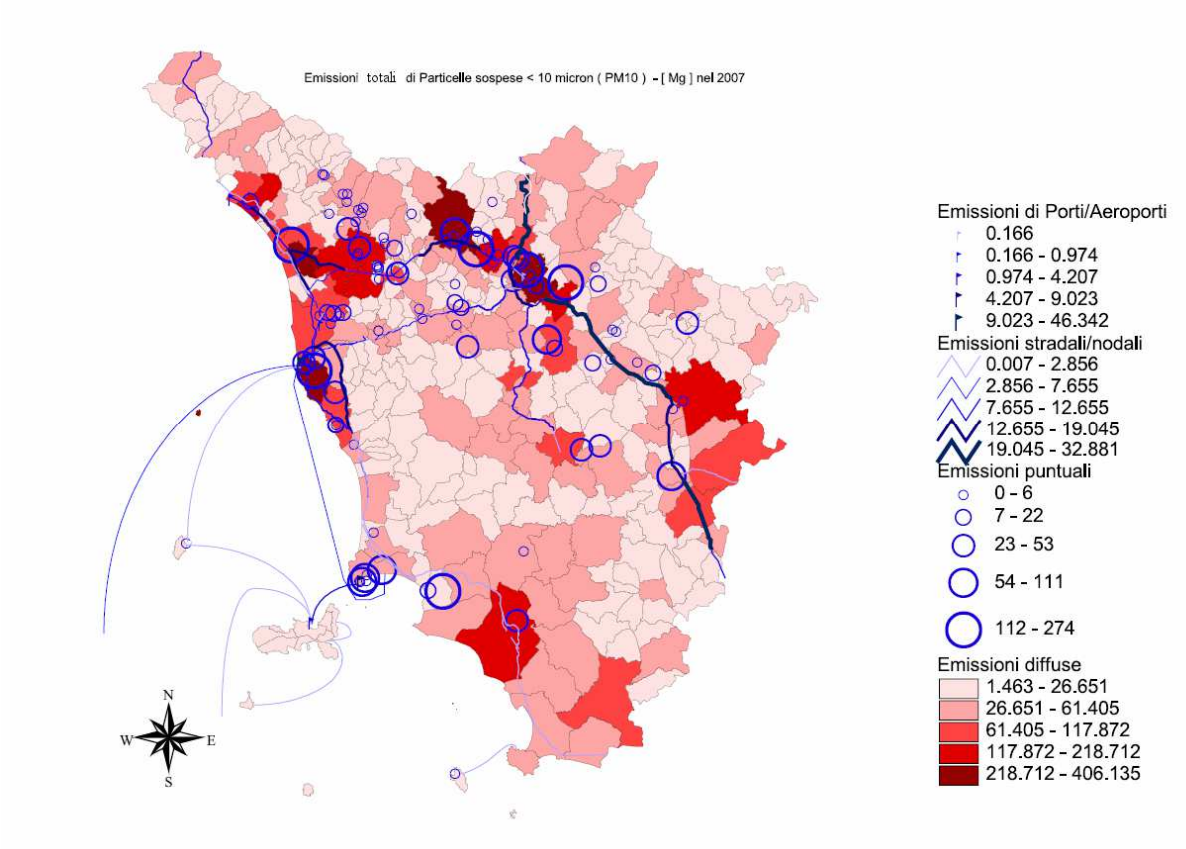


Figura 10 - Emissioni totali di PM10 (Mg) per comune, linea ed impianto Anno 2007

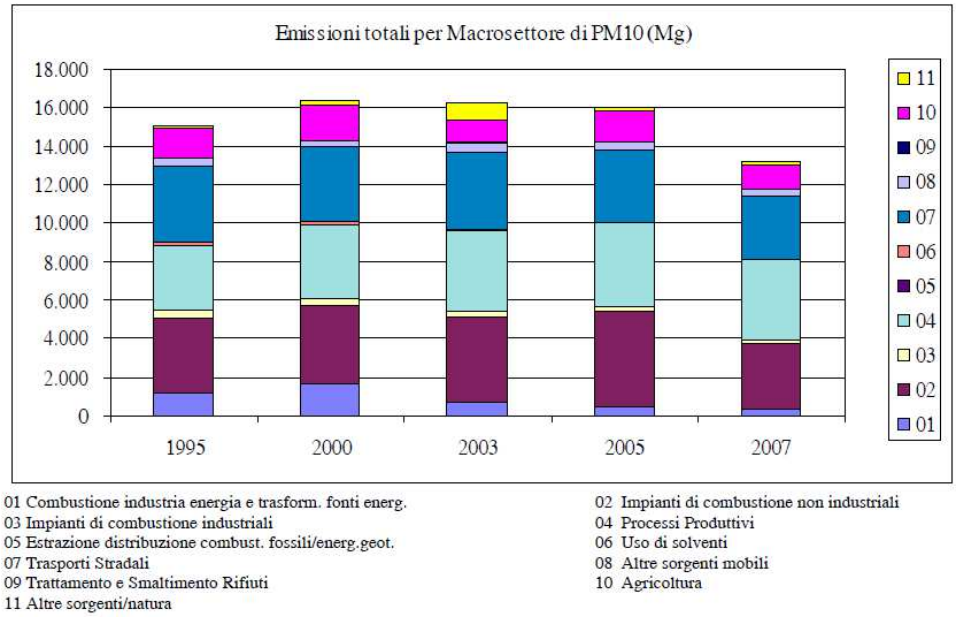


Figura 11 - Emissioni totali per macrosettore di PM10 dal 1995 al 2007

Relativamente al materiale particolato fine PM10 i settori che maggiormente contribuiscono sono i processi produttivi (33%), il riscaldamento domestico con il 25% ed i trasporti stradali con il 24%.

Particelle sospese con diametro inferiore a 2,5 micron

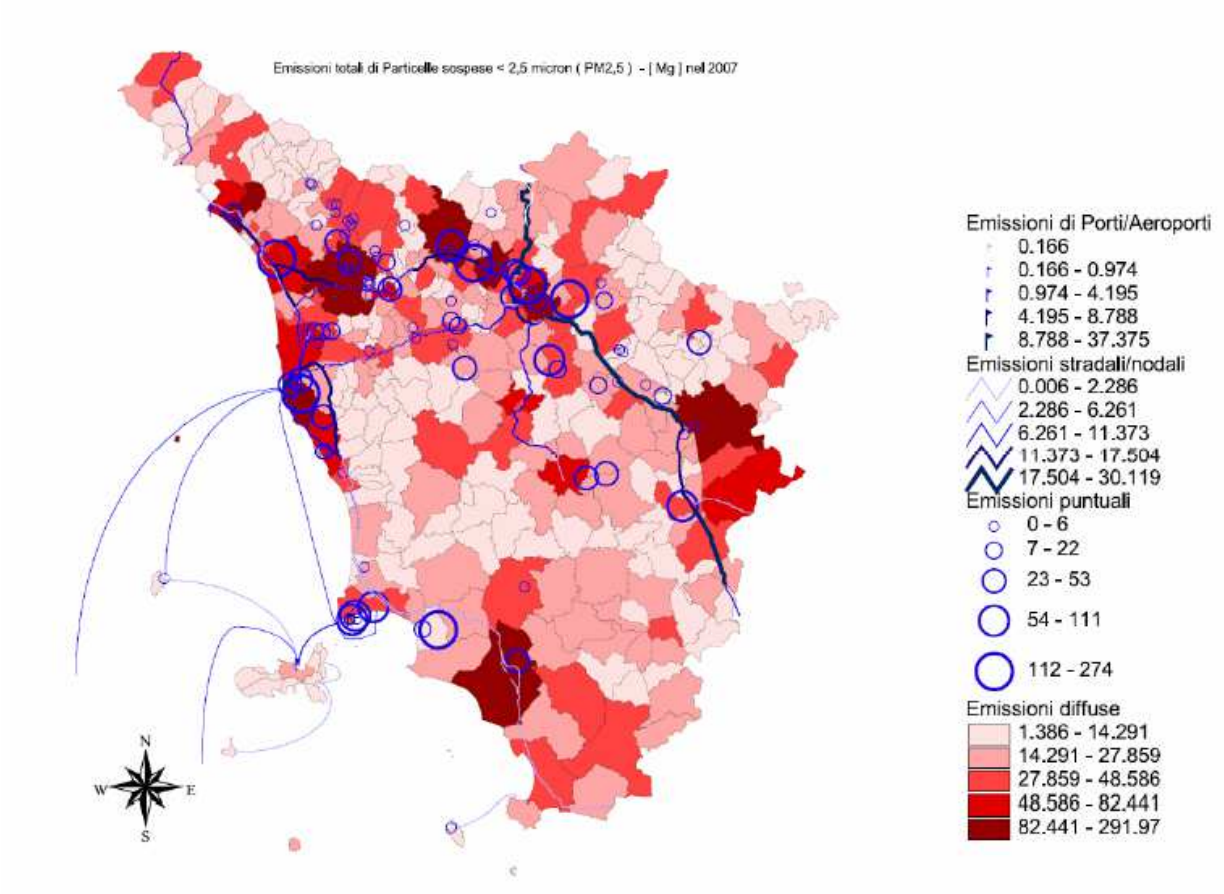


Figura 12 - Emissioni totali di PM2,5 (Mg) per comune, linea ed impianto Anno 2007

Se ci si riferisce alla parte più fine del particolato (PM2,5), pur confermando i settori già citati come quelli che danno il maggior contributi, cambia leggermente la loro importanza relativa. Le stime mostrano infatti che il principale settore è il riscaldamento domestico con il 39%, seguito dai trasporti stradali con il 34% ed i processi produttivi con il 12%.

Composti organici volatili

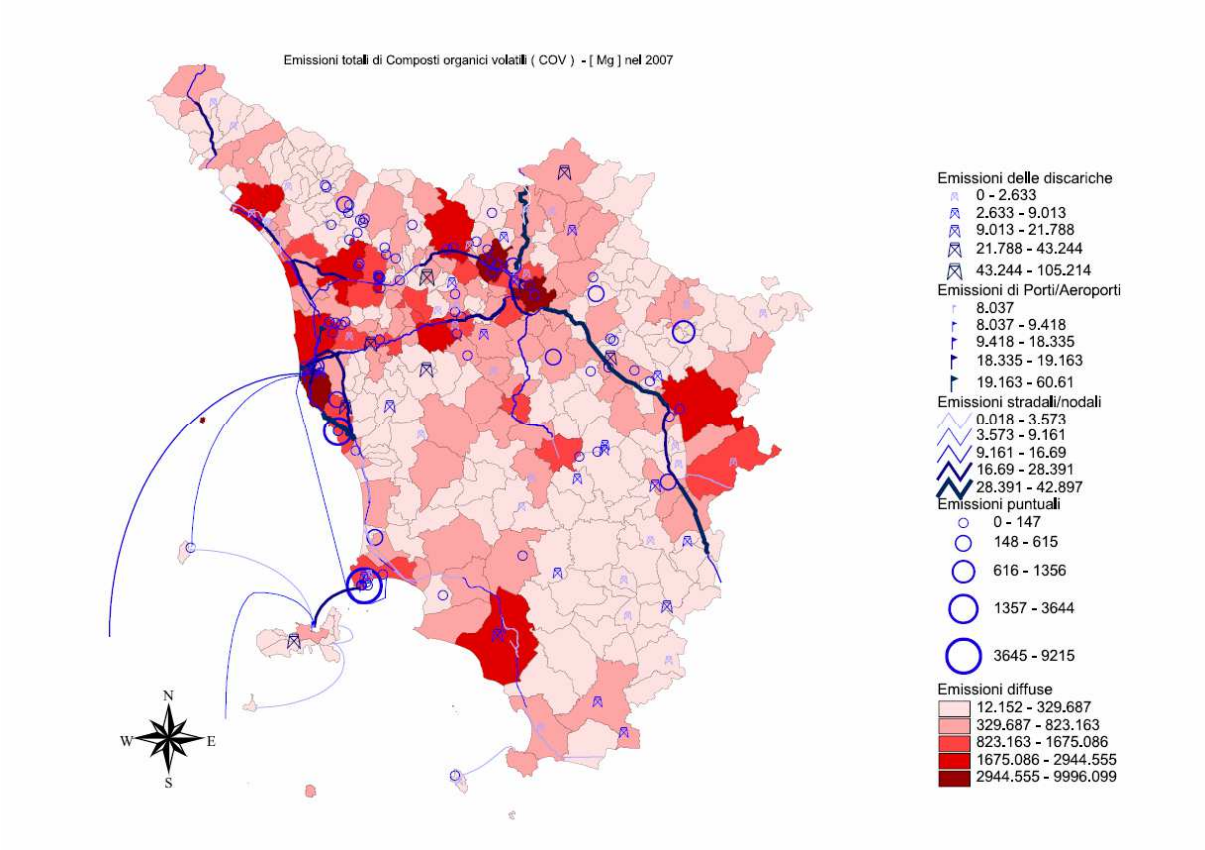


Figura 13 - Emissioni totali di COV (Mg) per comune, linea ed impianto Anno 2007

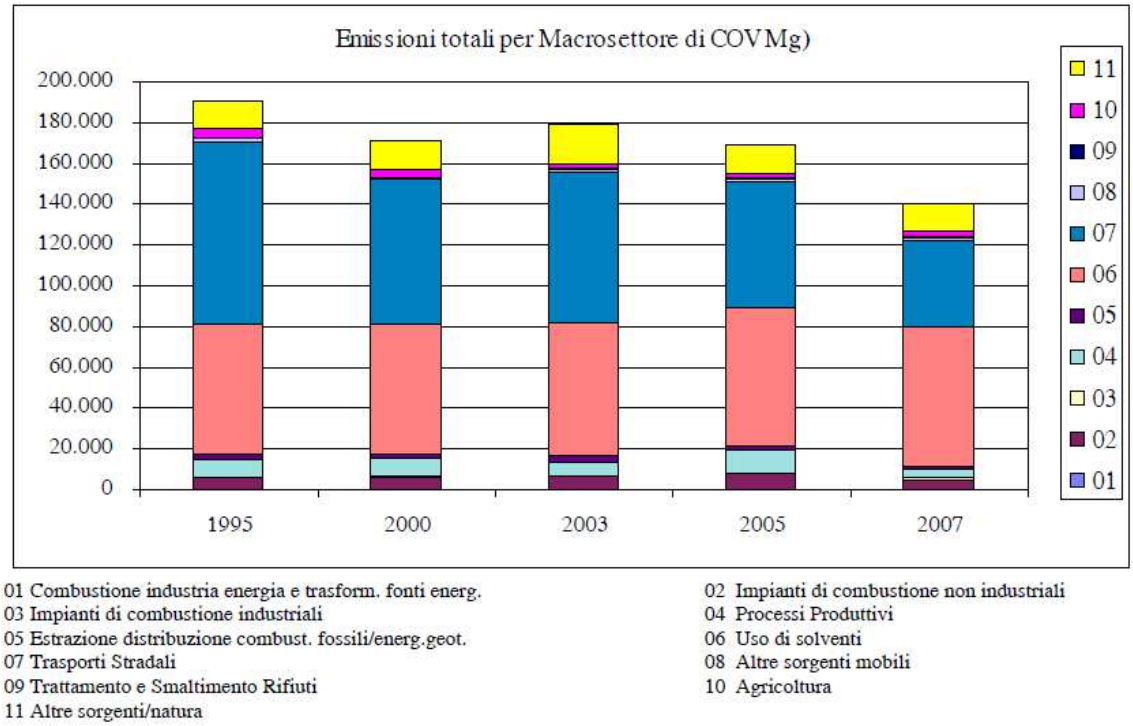


Figura 14 Emissioni totali per macrosettore di COV dal 1995 al 2007

L'emissione dei composti organici volatili (COV) avviene sostanzialmente dai soli settori uso di solventi con il 49% e dai trasporti stradali con il 30%..

Ammoniaca

L'ammoniaca (NH3) è emessa per la quasi totalità dall'agricoltura con il 49% e dalle centrali geotermoelettriche con il 44%.

3.2 Metalli pesanti

Arsenico

Le emissioni di arsenico (pari a 1.051 kg nel 2007) sono principalmente dovute al settore Estrazione distribuzione di combustibili fossili/energia geotermica (46%) ed al settore dei Processi Produttivi (25%).

Cadmio

Le emissioni di cadmio (pari a 544 kg nel 2007) sono principalmente dovute al settore dei Processi Produttivi (57%).

Cromo

Le emissioni di cromo (pari a 2.103 kg nel 2007) sono principalmente dovute al settore dei Combustione nell'industria dell'energia e trasformazione fonti energetiche (59%).

Rame

Le emissioni di rame (pari a 8.125 kg nel 2007) sono principalmente dovute ai Trasporti Stradali(47%) e ai Processi Produttivi (40%).

Mercurio

Le emissioni di mercurio (pari a 1.625 kg nel 2007) sono principalmente dovute al settore Estrazione distribuzione di combustibili fossili/energia geotermica liquidi (92%).

Nichel

Le emissioni di nichel (pari a 15.331 kg nel 2007) sono principalmente dovute al settore Combustione nell'industria dell'energia e trasformazione fonti energetiche (74%).

Piombo

Le emissioni di piombo (pari a 29.821 kg nel 2007) sono principalmente dovute ai Trasporti Stradali (49%) e ai Processi Produttivi (43%).

Selenio

Le emissioni di selenio (pari a 1.983 kg nel 2007) sono principalmente dovute al settore Impianti di combustione industriale (88%).

Zinco

Le emissioni di zinco (pari a 559.610 kg nel 2007) sono principalmente dovute al settore Processi Produttivi (77%).

3.3 Idrocarburi Policiclici Aromatici e Benzene

Benzo[a]pirene (BAP)

Le emissioni di BAP (pari a 1.379 kg nel 2007) sono principalmente dovute al settore Impianti di combustione non industriali (58%).

Benzo[b]fluorantene (BBF)

Le emissioni di BBF (pari a 1.112 kg nel 2007) sono principalmente dovute al settore Impianti di combustione non industriali (72%).

Benzo[k]fluorantene (BKF)

Le emissioni di BKF (pari a 689 kg nel 2007) sono principalmente dovute al settore Impianti di combustione non industriali (69%).

Indeno[123cd]pirene (INP)

Le emissioni di INP (pari a 717 kg nel 2007) sono principalmente dovute agli Impianti di combustione non industriali (82%).

Benzene

Le emissioni di benzene (pari a 1.336.045 kg nel 2007) sono principalmente dovute ai Trasporti stradali (99%).

3.4 Gas serra

Relativamente alle emissioni di gas serra di seguito si riportano i grafici degli andamenti delle emissioni dei gas climalteranti metano (CH4), protossido di azoto (N2O) e anidride carbonica (CO2) sia singolarmente sia espresse come CO2 equivalente.

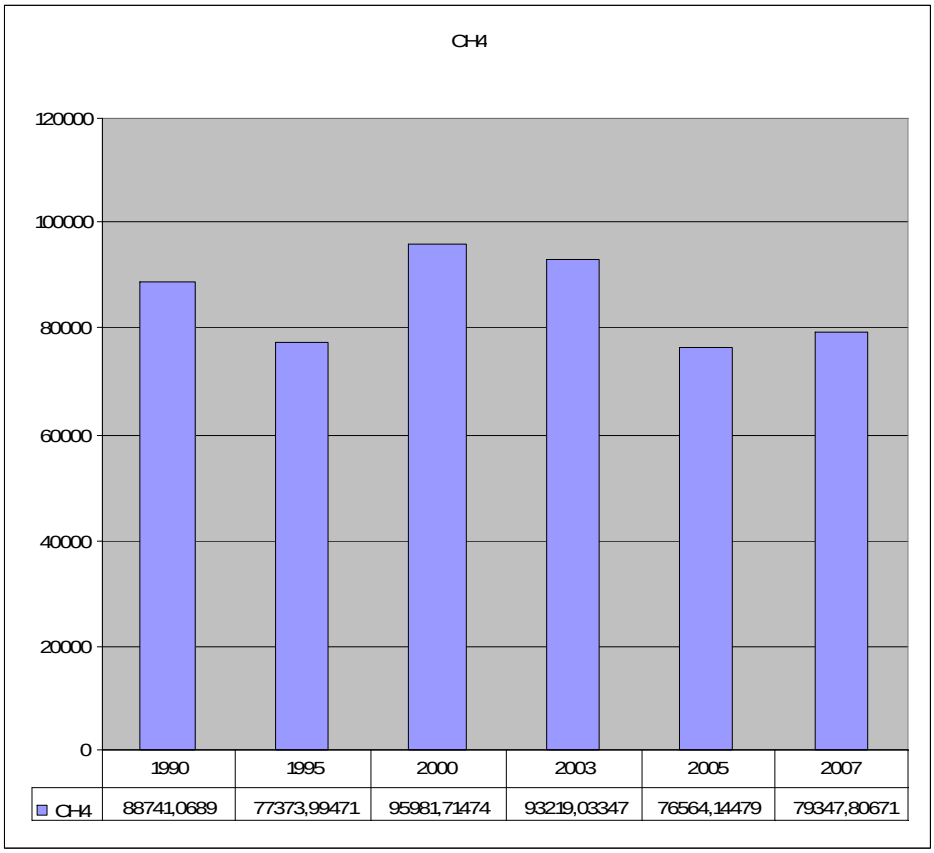


Figura 15 – Emissioni totali di metano

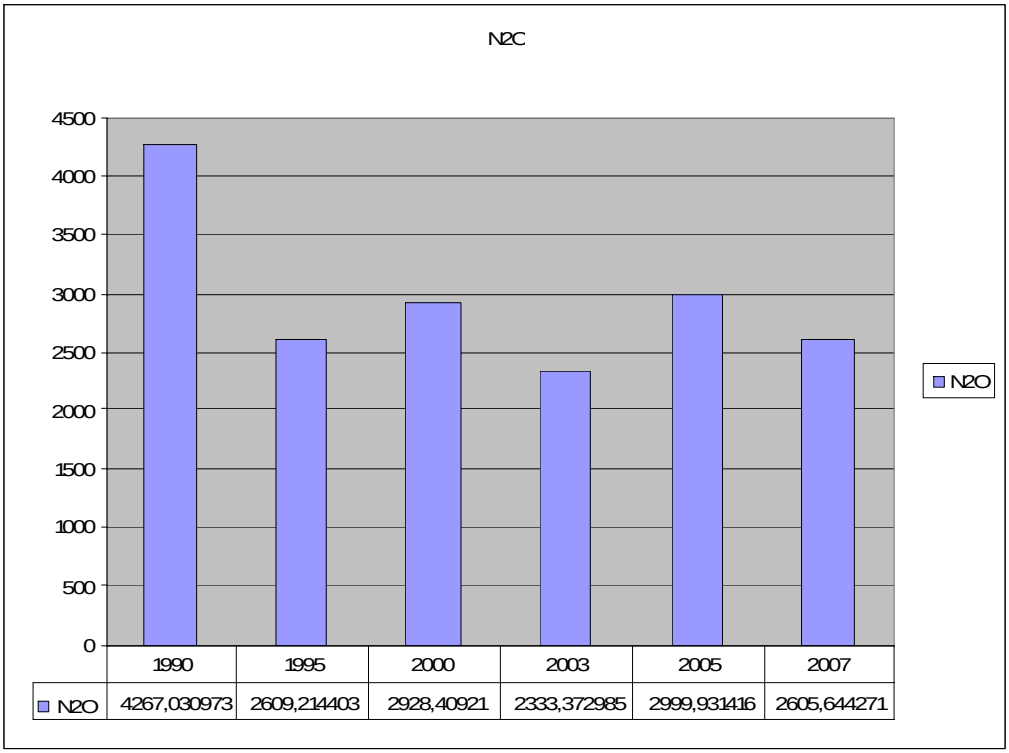
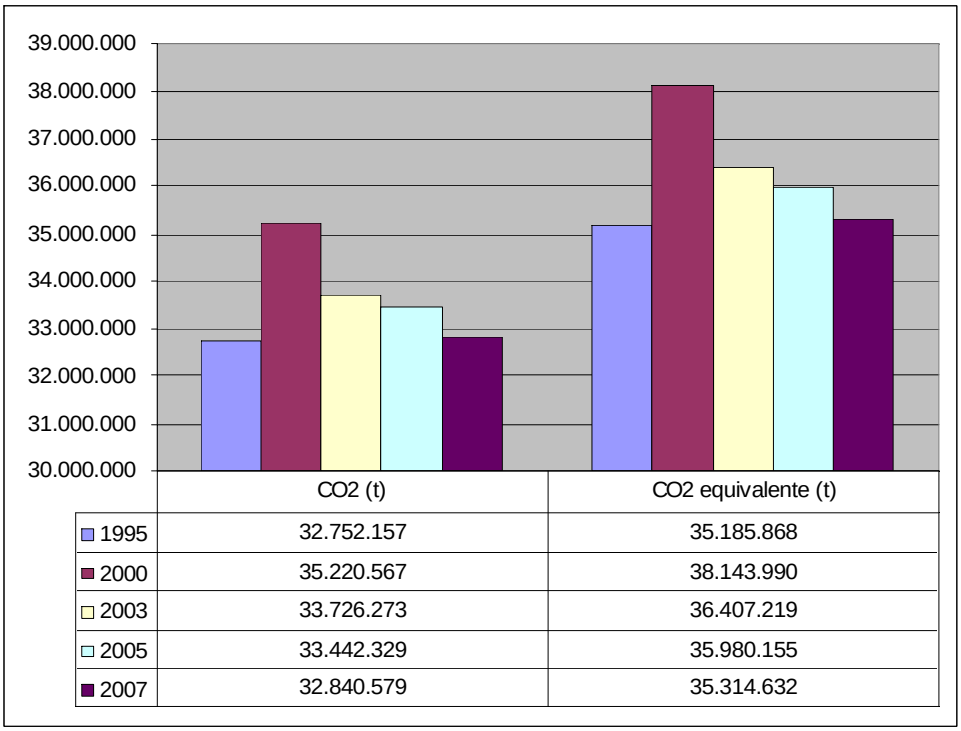


Figura 16 – Emissioni totali di protossido di azoto



	CO2 (t)	CO2 equivalente (t)
1995	32.752.157	35.185.868
2000	35.220.567	38.143.990
2003	33.726.273	36.407.219
2005	33.442.329	35.980.155
2007	32.840.579	35.314.632

Figura 17 – Emissioni totali di anidride carbonica e di CO2 equivalente

I grafici mostrano un apprezzabile decremento per quanto riguarda le emissioni di CO_2, mentre le emissioni di metano e protossido di azoto non presentano un chiaro trend decrescente.

Di seguito è riportata la suddivisone per macrosettori delle emissioni dei gas climalterant.

Anidride Carbonica

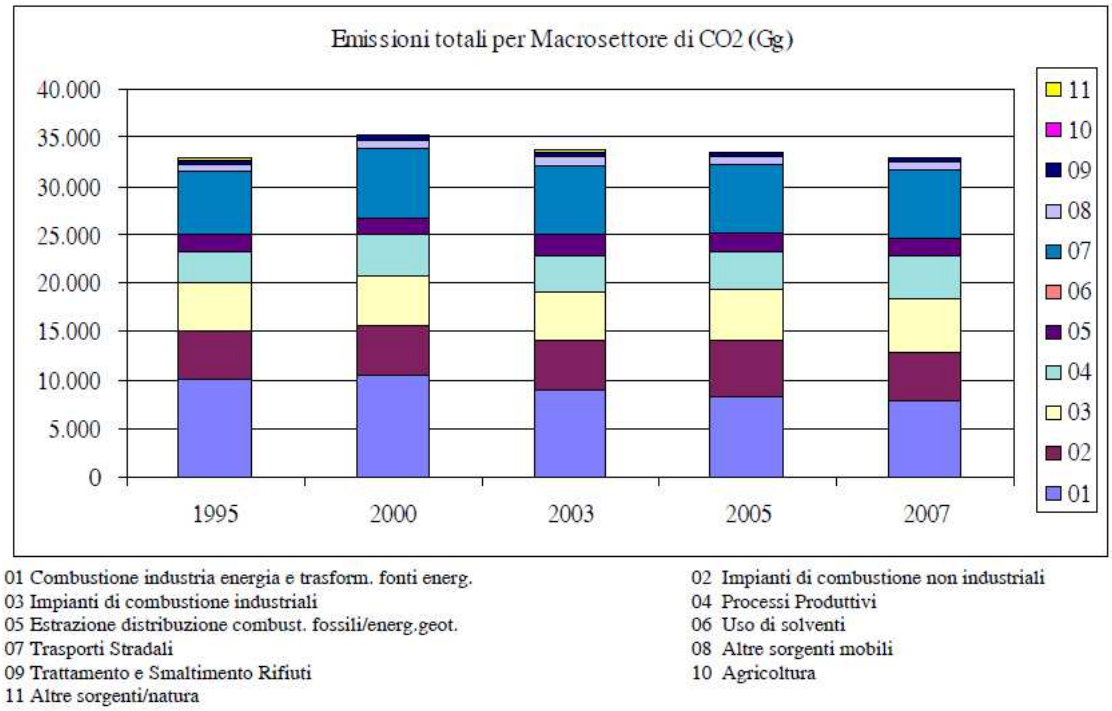


Figura 18 Emissioni totali per macrosettore di CO2 dal 1995 al 2007

Le emissioni totali di anidride carbonica (pari a 32.867.397 tonnellate nel 2007) sono ripartite tra i settori: Combustione nell'industria dell'energia e trasformazione fonti energetiche (24%); Trasporti Stradali (22%); Impianti di combustione industriale (17%); Impianti di combustione non industriali (15%) e Processi produttivi (13%).

Protossido di azoto

Le emissioni totali di protossido di azoto (pari a 2.606 tonnellate nel 2007) sono principalmente dovute al settore Agricoltura (59%) ed in minor parte ai Trasporti Stradali (19%).

Metano

Le emissioni totali di metano (pari a 98.531 tonnellate nel 2007) sono principalmente dovute al Trattamento e Smaltimento Rifiuti (62%) e al settore Agricoltura (17%); per una minore quota (12%) contribuisce il settore Estrazione distribuzione di combustibili fossili/energia geotermica.

CO2 equivalente

Per quanto riguarda le emissioni di CO2 equivalente, i settori con le maggiori emissioni sono quelli relativi alla produzione di energia elettrica con il 23%, il settore dei trasporti stradali con il 21% ed il riscaldamento domestico con il 14%.

4 Fenomeni a mesoscala : eutrofizzazione, acidificazione, formazione di ozono troposferico e materiale particolato secondario

In questo capitolo vengono riportati i risultati dell'inventario degli inquinanti responsabili dei fenomeni di acidificazione, eutrofizzazione, della formazione dell'ozono troposferico e della formazione del materiale particolato secondario.

I fenomeni dell'acidificazione, dell'eutrofizzazione, della formazione dell'ozono troposferico e della formazione di materiale particolato secondario, sono problemi interconnessi a scala europea o continentale (mesoscala) generati dalle emissioni di biossido di zolfo (SO_2), ossidi di azoto (NOx), composti organici volatili (COV), ammoniaca (NH_3), monossido di carbonio (CO) e metano (CH_4) così come descritto nella figura seguente.

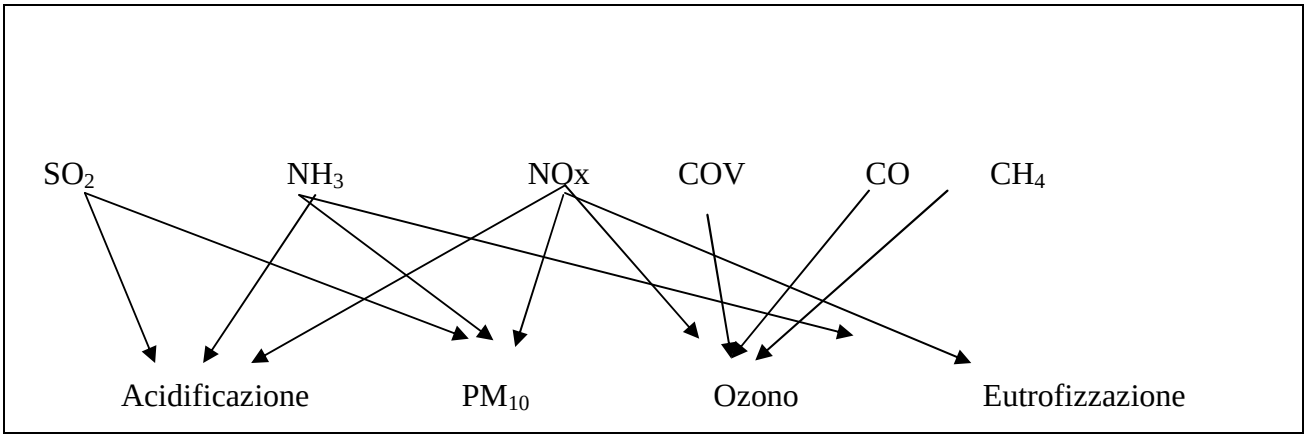


Figura 19- Schema di interconessione tra inquinanti e fenomeni a mesoscala

Risulta evidente da questa interconnessione come sia necessario un approccio integrato per affrontare queste problematiche. La UE ha infatti emanato direttive hanno come conseguenza una serie di effetti complessivi a livello comunitàrio, quali:

- delineare una strategia che determina dei limiti di emissione nazionali (LEN) differenziati che riflettono il principio "chi inquina paga" e massimizzare i benefici ambientali della riduzione delle emissioni. riduzione delle deposizioni acide sia in termini di carichi di acidità che di superfici esposte;
- riduzione del numero dei giorni durante i quali le concentrazioni di ozono superano quelle previste negli orientamenti sanitari dell'O.M.S.; ciò significa una riduzione complessiva dell'esposizione anche per la vegetazione;
- riduzione della superficie degli ecosistemi comunitàri esposta ad ulteriore eutrofizzazione;
- riduzione dei precursori responsabili della formazione di materiale particolato secondario al fine di ridurre i livelli di concentrazione ambientale di materiale particolato fine.

Questi fenomeni hanno influenza anche a livello nazionale e regionale, per cui determinare e tenere sotto controllo l'evoluzione delle sostanze che li provocano, è una attività basilare nella gestione della qualità dell'aria.

Il problema dell'acidificazione

La formazione di sostanze acidificanti dovute alle emissioni di ossidi di zolfo, ossidi di azoto e di ammoniaca, ha numerose conseguenze sulla vegetazione, sulle acque, sui terreni, sugli edifici e sui monumenti. In particolare a livello europeo e nazionale si ha una riduzione dell'alcalinità dei laghi e dei corsi d'acqua, che può esercitare effetti acuti e cronici sulle popolazioni biologiche ed una acidificazione delle acque di falda.

A livello regionale gli effetti più importanti sono principalmente identificabili in:

- riduzione del pH dei terreni forestali, che insieme alla liscivazione di nutrienti vitali, ne comporta carenze nutritive, che a loro volta rendono le foreste vulnerabili alla siccità, alle malattie ed agli attacchi di insetti;
- danni agli edifici e ai monumenti dovuti ai fenomeni di corrosione, solubilizzazione e solfatazione.

Il problema dell'eutrofizzazione

Il fenomeno dell'eutrofizzazione consiste nell'incremento della disponibilità di azoto da parte degli ecosistemi vegetali, tramite deposito di ossidi di azoto e di ammoniaca. Questo, che può apparire inizialmente come un effetto minore, o addirittura desiderabile, presto arriva ad un punto dove il disturbo ai sistemi ecologici diventa nocivo per l'ambiente, provocando, in generale, una perdita della biodiversità. Deve essere notato che questo problema riguarda sia gli ecosistemi terrestri sia quelli lacustri e marini, con un incremento incontrollato della crescita di piante ed alghe (il fenomeno della mucillaggine che spesso si presenta lungo alcune delle coste italiane). In Toscana, data la conformazione del territorio, la tipologia dell'agricoltura, questo fenomeno si presenta con minori effetti.

La formazione dell'ozono troposferico

L'ozono troposferico è costituito da ozono prodotto e trattenuto nell'atmosfera in prossimità della superficie terrestre. Non viene emesso da fonti antropiche in quantità significative ma costituisce un inquinante secondario che si forma a causa della reazione di precursori quali gli ossidi di azoto (NOx) e i composti organici volatili (COV) a contatto con la luce solare. II carico più elevato di ozono si presenta pertanto in estate, in particolare nei giorni che fanno registrare un elevato irraggiamento solare. L'ozono e i suoi precursori possono essere trasportati per centinaia di chilometri.

L'ozono è un potente ossidante che può reagire con un'ampia serie di componenti cellulari e materiali biologici. In particolare, può danneggiare tutte le parti delle vie respiratorie. Alle concentrazioni nell'atmosfera rilevate, l'ozono produce una serie di effetti sulle singole colture e specie arboree, nonché sulla composizione delle specie vegetali naturali, provocando perdite in termini economici, di qualità e di biodiversità. Esso può inoltre degradare i materiali in molti modi.

La formazione di materiale particolato secondario

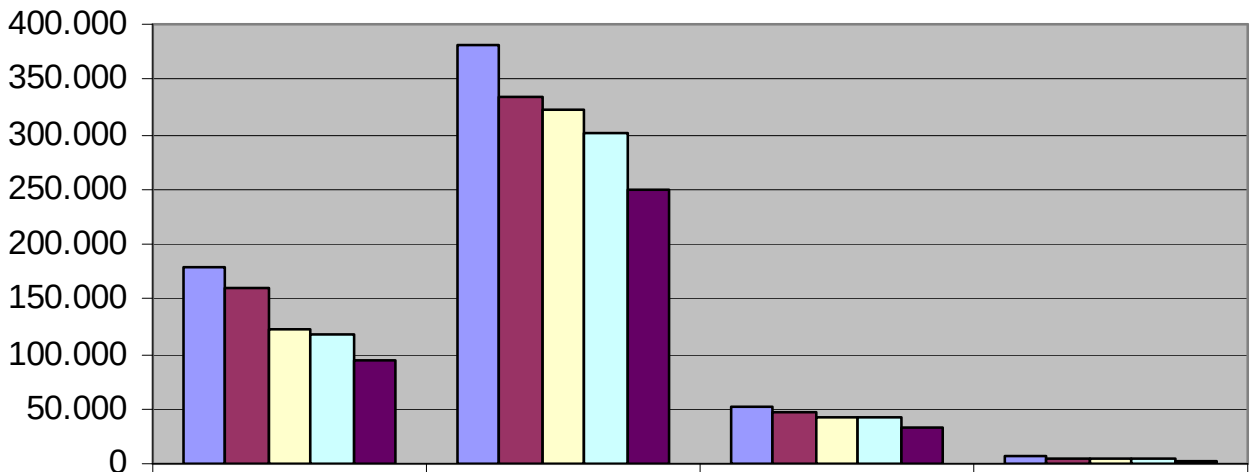
Il materiale particolato secondario che si forma in atmosfera è costituito, in genere, da polveri di granulometria inferiore ad 1 micron e di varia composizione. I principali meccanismi di formazione del materiale particolato secondario sono dovuti:

- reazioni in atmosfera tra ossidi azoto, ossidi di zolfo ed ammoniaca che comportano la formazione di solfati e nitrati.
- reazioni in atmosfera dell'ozono con altri inquinanti quali NO_2, SO_2, COV e NH_3.

Al fine di approfondire le conoscenze circa questo fenomeno, la Regione Toscana ha promosso con appositi stanziamenti il Progetto regionale PATOS (Particolato Atmosferico uin TOScana) per acquisire maggiori elementi di conoscenza sui meccanismi di formazione, sulle sorgenti di emissione, sulla composizione chimico-fisica e sugli effetti sanitari, in collaborazione con le Università di Firenze e Pisa, oltre ad altri Istituti di ricerca pubblici e privati.

4.1 Indicatori di pressione dei fenomeni a scala regionale

Per valutare nel tempo l'evoluzione a scala regionale di tali fenomeni, e di confrontare inoltre tali andamenti con il quadro a scala nazionale, si è utilizzato un apposito indicatore per ciascuno di essi, espresso dalla somma pesata delle emissioni dei singoli inquinanti coinvolti nei singoli fenomeni, sia per gli anni 1995 -2007. Per i pesi dei vari inquinati si è utilizzato lo studio pubblicato dall'Agenzia europea dell'Ambienete "de Leeuw , F. (2002). A set of emission indicators for long-range transboundary air pollution. Environmental Science and Policy, Volume 5, Issue 2, p. 135-145"



	PM10 primario + PM10 secondario equivalente	Precursoni Ozono	eutrofizzanti equivalenti	Acidificanti equivalenti
1995	179.559	380.778	52.365	6.747
2000	159.627	333.206	46.756	5.786
2003	122.710	322.405	43.248	4.021
2005	116.880	300.994	42.656	3.784
2007	94.860	248.376	33.839	2.955

Figura 20 Emissioni pesate inquinanti per tipologia di fenomeno per anno (Mg)

Il grafico mostra un generale decremento delle emissioni associate a tutti i fenomeni maggioremente marcato per quanto riguara i precursori dell'ozono e il materiale particolato PM10.