



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PISA

Facoltà di Ingegneria

Corso di laurea in Ingegneria Civile

TESI DI LAUREA

Previsione delle emissioni di biossido di azoto e ozono
nella città di Livorno

CANDIDATA:

Elena Quercioli

RELATORI:

Prof. Ing. M.Losa

Prof. Ing. M.Tempestini

Ing. J. Pellegrino

Anno Accademico 2006/2007

INTRODUZIONE

L'inquinamento atmosferico è la presenza nell'atmosfera di sostanze che causano un effetto misurabile sull'essere umano, sugli animali, sulla vegetazione o sui diversi materiali .

Queste sostanze di solito non sono presenti nella normale composizione dell'aria, oppure lo sono ad un livello di concentrazione inferiore.

Su scala locale la diffusione atmosferica degli inquinanti è influenzata notevolmente da fattori metereologici e tra questi in particolare dalle precipitazioni atmosferiche, che contribuiscono letteralmente a dilavare l'aria dai contaminanti presenti, e dall'intensità del vento.

Questo chiarisce il motivo per cui le zone più soggette ai fenomeni di inquinamento sono le zone urbane dove sono presenti impedimenti alla circolazione dell'aria e dove ovviamente sono concentrate le maggiori fonti di emissione (industrie, trasporti, centrali elettriche e molte altre fonti).

L'inquinamento ambientale è sempre andato di pari passo con l'evoluzione della cosiddetta civiltà. L'incremento demografico e l'addensamento abitativo in alcune zone specifiche, legati alla necessità di sopperire ai bisogni industriali e civili dell'uomo, ha comportato un'azione inquinante a livello locale e mondiale notevolmente elevata.

Negli ultimi anni fortunatamente le restrizioni normative hanno ridimensionato le emissioni di inquinanti in atmosfera ma, in controtendenza rispetto a tutti gli altri settori, quello del trasporto ha comunque registrato un incremento del 22%.

Questo è spiegabile considerando che i trasporti, in particolare quelli su strada, stanno diventando meno inquinanti grazie all'applicazione di misure più restrittive sulle emissioni e all'inserimento di elementi di innovazione tecnologica ma, nello stesso tempo, l'aumento della domanda compromette i risultati conseguiti.

La qualità dell'aria rappresenta quindi un fattore importante di cui tenere conto durante la realizzazione di opere di ingegneria civile per cui il legame tra sviluppo dei trasporti e attenzione verso l'ambiente si fa sempre più stretto.

Oggetto dello studio specifico è l'analisi della relazione esistente tra inquinanti presenti e emissioni prodotte per validare un modello di previsione della concentrazione di Ozono, in modo da valutare come l'incremento delle attività può influire sulla qualità dell'aria.

Nel caso specifico siamo andati a studiare l'area relativa alla città di Livorno che risulta un centro ben definito vista la presenza di aree industriali, del porto turistico-commerciale e la vicinanza all'aeroporto di Pisa.

INQUINANTI DELL' ARIA

L'atmosfera terrestre, comunemente chiamata aria, è un aerosol di dispersioni di particelle liquide e solide in un involucro gassoso costituito da una miscela di gas composta da Azoto(N₂), Ossigeno(O₂), vapore acqueo, Argon (Ar), Biossido di Carbonio (CO₂) e gas rari.

			Comp. in volume		Comp. in peso		
GAS	Formula	P.M.	%	ppm*	%	ppm	g
Azoto	N ₂	28.0	78.1	780 900	75.51	755 100	38 648 x 10 ²⁰
Ossigeno	O ₂	32.0	20.9	209 500	23.15	231 500	11 841
Argo	Ar	39.9	0.93	9 300	1.28	12 800	0.6555
Anidride Carbonica	CO ₂	44.0	0.03	300	0.04	460	0.0233
Neon	Ne	20.2		18		12.5	0.000636
Elio	He	4.0		5.2		0.72	0.000037
Metano	CH ₄	16.0		2.2		1.2	0.000062
Cripto	Kr	83.8		1		2.9	0.000146
Ossido nitroso	N ₂ O	44.0		1		1.5	0.000002
Idrogeno	H ₂	2.0		0.5		0.03	0.000002
Xeno	Xe	131.3		0.08		0.36	0.000018

*(T = 0°C, 273 °K, P = 1 atm., 101.3 pA)

La parte di atmosfera che ci interessa più da vicino è la cosiddetta "troposfera", avente uno spessore variabile dai 6 ai 17 km a partire dalla superficie terrestre, in cui è concentrata la maggior quantità di aria che respiriamo e che quindi permette la continuazione della vita così come la conosciamo. Questa, purtroppo, è anche quella maggiormente influenzata dall'inquinamento

atmosferico, eccezione fatta per l'ozonofera, situata ad una altezza maggiore, che risente di particolari e più resistenti tipi di inquinanti quali i clorofluorocarburi, che partecipano direttamente alla diminuzione dell'ozono in essa contenuto. Caratteristica peculiare della troposfera è la diminuzione costante di temperatura con l'altezza (6°C per km), che permette la dispersione degli inquinanti in quota: tanto è che in particolari condizioni, ossia quando la temperatura comincia a crescere con l'allontanarsi dalla superficie terrestre (stato di inversione termica) gli inquinanti vengono schiacciati e mantenuti a livello del suolo. La composizione dell'atmosfera, così come riportata in tabella, è giunta a noi grazie ad un equilibrio dinamico instauratosi durante le varie ere. L'introduzione di nuove sostanze o la variazione della concentrazione di quelle già esistenti porta ad un continuo spostamento del punto di equilibrio di cui "l'effetto serra", ossia l'aumentata concentrazione di biossido di carbonio, principale imputato della formazione di una cappa che provoca l'aumento della temperatura a livello del suolo, è sicuramente la conseguenza più conosciuta.

1.1 INQUINANTI PRIMARI E SECONDARI

A prescindere dalla loro origine, gli inquinanti vengono distinti in **primari** e **secondari**.

Inquinanti primari	Componenti in atmosfera		Inquinanti secondari	Tipo reazione
gas acidi NH ₃	+	particelle basiche H ₂ SO ₄	= particelle saline (NH ₄) ₂ SO ₄	reazione acido base
SO ₂ , H ₂ S, part. atmosf. NO	+	O ₂ , H ₂ O	= H ₂ SO ₄	ossidazioni
	+	O ₂ , O ₃	= NO ₂	
Idrocarburi, HC+	+	NO, O ₃	= NO ₂	reazioni fotochimiche
	+	rad. solare, O ₂	= O ₃	
	+	rad. solare, NO ₂ ,	= NO	
	+	O ₂ O ₃	= radicali liberi	

Primari sono gli inquinanti che vengono immessi direttamente nell'ambiente in seguito al processo che li ha prodotti. Gli inquinanti secondari sono invece quelle sostanze che si formano dagli inquinanti primari a seguito di modificazioni di varia natura causate da reazioni che, spesso, coinvolgono l'ossigeno atmosferico e la luce.

I principali inquinanti primari sono quelli emessi nel corso dei processi di combustione di qualunque natura, cioè il monossido di carbonio, il biossido di carbonio, gli ossidi di azoto (principalmente sottoforma di monossido di azoto), le polveri e gli idrocarburi incombusti. Nel caso in cui i combustibili contengano anche zolfo, si ha inoltre emissione di anidride solforosa.

Dopo la loro emissione in atmosfera, gli inquinanti primari sono soggetti a processi di diffusione, trasporto e deposizione. Subiscono inoltre dei processi di trasformazione chimico-fisica che possono portare alla formazione degli

inquinanti secondari, nuove specie chimiche che spesso risultano più tossiche e di più vasto raggio d'azione dei composti originari.

Fra i processi di formazione degli inquinanti secondari, particolare importanza è assunta dalla serie di reazioni che avvengono fra gli ossidi di azoto e gli idrocarburi in presenza di luce solare. Questa catena di reazioni porta all'ossidazione del monossido di azoto (NO) a biossido di azoto (NO₂), alla produzione di ozono (O₃) ed all'ossidazione degli idrocarburi, vi è formazione di aldeidi, perossidi, di acidi nitriloperacetici (PAN), acido nitrico, nitrati e nitroderivati in fase particellare, e centinaia di altre specie chimiche minori. L'insieme dei prodotti di queste reazioni viene definito **smog fotochimico**, che rappresenta una delle forme di inquinamento più dannose per l'ecosistema. L'uso del termine smog è dovuto alla forte riduzione della visibilità che si determina nel corso degli episodi di inquinamento fotochimico, dovuta alla formazione di un grande numero di particelle di notevoli dimensioni.

La dispersione dei contaminanti in atmosfera è determinata dai fenomeni di diffusione turbolenta e di trasporto delle masse d'aria mentre la rimozione degli inquinanti è determinata dai vari processi di deposizione. Sia la dispersione che la rimozione sono strettamente dipendenti dai vari processi meteorologici che regolano il comportamento delle masse d'aria nella troposfera (lo strato più basso dell'atmosfera). Per lo studio del comportamento degli inquinanti primari è così necessario non solo conoscere il profilo qualitativo, quantitativo e temporale delle emissioni, ma anche possedere delle informazioni sui processi meteorologici che interessano le aree soggette alla presenza dei vari inquinanti.

1.2 INQUINANTI DI ORIGINE NATURALE

Anche se è l'inquinamento originato dall'uomo quello che risulta più imputato nel peggioramento della qualità dell'aria, non bisogna dimenticare l'importanza dell'inquinamento di origine naturale. Ci sono molte fonti di inquinanti naturali che spesso assumono più rilevanza delle loro controparti di origine antropogenica.

Gli inquinanti naturali dell'aria sono sempre stati parte della storia dell'uomo. Le polveri e i vari gas emessi dai vulcani, dagli incendi delle foreste e dalla decomposizione dei composti organici entrano in atmosfera ad intervalli più o meno regolari e in qualche caso a livelli che possono causare degli effetti drammatici a carico del clima. In ogni caso bisogna sottolineare che gli inquinanti naturali non rappresentano necessariamente un serio problema come possono esserlo gli inquinanti generati dalle attività umane perché risultano spesso notevolmente meno pericolosi dei composti prodotti dall'uomo e non si concentrano mai sulle grandi città. Le sorgenti naturali di biossido di zolfo comprendono i vulcani, le decomposizioni organiche e gli incendi delle foreste. L'ammontare preciso delle emissioni naturali risulta difficile da quantificare, nel 1983 si stimava che le emissioni di biossido di zolfo si aggiravano sugli 80-290 milioni di tonnellate (le sorgenti antropogeniche nel mondo emettevano circa 69 milioni di tonnellate all'anno).

Le sorgenti naturali di ossidi di azoto includono i vulcani, gli oceani, le decomposizioni organiche e l'azione dei fulmini. Le stime ipotizzano un valore variabile fra i 20 e i 90 milioni di tonnellate all'anno per le sorgenti naturali, mentre per quelle antropogeniche un valore attorno ai 24 milioni di tonnellate. L'ozono è un inquinante secondario che si forma in prossimità del livello del suolo come risultato di una serie di reazioni chimiche catalizzate dalla luce. In

ogni caso, circa il 10-15% dell'ozono troposferico proviene dagli alti strati dell'atmosfera (stratosfera) dove si forma per azione dei raggi UV a partire dall'ossigeno molecolare.

L'importanza delle sorgenti naturali di particolato è invece minore di quelle antropogeniche dato che originano particelle di dimensioni tali da non poter arrecare danni rilevanti all'apparato respiratorio. Includono i vulcani e le tempeste di sabbia. Queste sorgenti solitamente non provocano degli episodi di inquinamento particolarmente acuto in quanto l'inquinamento in genere avviene su scala temporale relativamente ridotta. Esistono comunque le eccezioni: l'esplosione del vulcano Saint Helens nel maggio del 1980, per esempio, ha causato un peggioramento della qualità dell'aria negli Stati Uniti ed in tutto il Pacifico nord-orientale per mesi dopo la sua eruzione, con ripercussioni anche sul clima a livello mondiale.

Le polveri provenienti dal Sahara possono viaggiare nell'aria per migliaia di Km per poi giungere non solo in paesi relativamente vicini come l'Italia e la Grecia, ma anche in zone più remote come il Regno Unito.

Molti composti organici volatili (VOC) vengono prodotti in natura dalle piante. L'isoprene è un comune VOC prodotto dalla vegetazione; alcuni ricercatori ritengono che la sua importanza nello scatenare l'asma ed altre reazioni allergiche sia molto più significativa di altri composti di origine antropogenica. Le piante inoltre producono i pollini (considerati componenti del particolato atmosferico) e tutti sono a conoscenza degli effetti allergici che possono causare queste sostanze nei soggetti predisposti.

La maggior parte dei composti gassosi dell'aria costituisce parte dei cicli naturali, per questo gli ecosistemi sono in grado di mantenere l'equilibrio tra le varie parti del sistema. Comunque, l'introduzione di grandi quantità di composti addizionali può compromettere anche definitivamente i naturali cicli biochimici preesistenti. Dato che molto poco può essere fatto dall'uomo nei riguardi

dell'inquinamento naturale, la maggior preoccupazione deve essere quella di ridurre le emissioni inquinanti prodotte dalle attività umane.

1.3 INQUINANTI DI ORIGINE ANTROPICA

Nel corso della storia l'uomo ha sempre utilizzato le risorse a propria disposizione in modo pressochè indiscriminato, senza curarsi minimamente delle particolari ricadute ambientali che poteva avere la sua presenza nell'ambito dei vari cicli naturali. La distruzione e l'inquinamento ambientale sono sempre andati di pari passo con l'evoluzione della cosiddetta civiltà. Un tempo la popolazione umana era comunque molto meno rappresentata e l'impatto ambientale risultava praticamente ininfluenza, almeno in ambito globale. Ora, purtroppo, l'enorme incremento demografico e l'addensamento abitativo in alcune specifiche zone comporta un'azione inquinante a livello locale e mondiale notevolmente più elevata, estremamente preoccupante e spesso particolarmente nociva sia per l'uomo che per l'ambiente.

L'inquinamento atmosferico maggiore è quello che l'uomo produce per soddisfare le proprie necessità civili ed industriali. I vari processi di combustione utilizzati per cuocere i cibi, per riscaldarsi, per alimentare i veicoli a motore e i macchinari, producono gli inquinanti più diffusi.

L'inquinamento dell'aria di origine antropogenica si sprigiona dalle grandi sorgenti fisse (industrie, impianti per la produzione di energia elettrica ed inceneritori); da piccole sorgenti fisse (impianti per il riscaldamento domestico) e da sorgenti mobili (il traffico veicolare). Molte di queste sorgenti sono strettamente legate alla produzione ed al consumo di energia, specialmente

combustibili fossili.

L'uso di combustibili fossili per il riscaldamento domestico, in particolare di oli combustibili pesanti, di biomassa e di carbone è una fonte significativa di inquinamento ambientale di particolati e di biossido di zolfo, specialmente nelle regioni temperate (soprattutto in Cina ed Europa dell'Est). Anche il traffico contribuisce in gran parte alle emissioni di questi inquinanti nelle città caratterizzate da una grande congestione veicolare, e questo a causa della presenza di una sterminata serie di autoveicoli che utilizzano benzine ad alto tenore di zolfo (soprattutto in Asia). Nelle città dove viene ancora utilizzata la benzina col piombo (l'ex benzina rossa), il traffico può contribuire per l'80-90% alla concentrazione atmosferica di questo pericoloso inquinante.

Per quanto riguarda gli altri inquinanti principali è da sottolineare che nell'emissione di ozono e di composti organici volatili le sorgenti antropogeniche hanno un ruolo fondamentale tanto quanto quelle naturali; le combustioni in genere rappresentano la causa principale delle emissioni di ossido di azoto; i motori dei mezzi di trasporto rappresentano tipicamente la causa principale delle emissioni di monossido di carbonio.

Oltre alle sostanze che vengono prodotte a seguito dei vari processi di combustione, sono da segnalare tutti quegli inquinanti che vengono prodotti nel corso di particolari cicli tecnologici. Questi composti vengono liberati in quantità notevolmente inferiori e per questo risultano poco rilevanti come impatto globale a livello planetario; in ogni caso, sono spesso dotati di elevata tossicità, e la loro presenza è particolarmente importante a livello locale. La strategia di approccio è chiaramente diversa: gli specifici inquinanti di origine industriale sono infatti da ricercare non dopo la loro diffusione nell'ambiente (immissioni atmosferiche), ma al momento del loro rilascio (emissioni atmosferiche).

L'impatto degli inquinanti sull'uomo dipende dalla zona di produzione degli inquinanti e dalla loro dispersione. Le grandi sorgenti fisse, spesso localizzate lontano dai più grandi centri abitati, disperdono nell'aria a grandi altezze, mentre il riscaldamento domestico ed il traffico producono inquinanti che si liberano a livello del suolo in aree densamente abitate. Come conseguenza, le sorgenti mobili e quelle fisse di piccole dimensioni contribuiscono in modo maggiore all'inquinamento dell'aria nelle aree urbane e, di conseguenza, attentano alla salute pubblica molto più di quanto non si potrebbe supporre facendo un semplice confronto quantitativo fra i vari tipi di emissioni.

1.4 INQUINANTI PRINCIPALI

1.4.1 MONOSSIDO DI CARBONIO

CARATTERISTICHE

L'ossido di carbonio (CO) o monossido di carbonio è un gas incolore, inodore, infiammabile, e molto tossico. Si forma durante le combustioni delle sostanze organiche, quando sono incomplete per difetto di aria (cioè per mancanza di ossigeno). Le emissioni naturali e quelle antropogeniche sono oramai dello stesso ordine di grandezza, e questo fa chiaramente comprendere quale sia il trend inquinante che si è instaurato nel corso dell'ultimo secolo. Il monossido di carbonio è estremamente diffuso soprattutto nelle aree urbane a causa dell'inquinamento prodotto dagli scarichi degli autoveicoli.

Gli effetti sull'ambiente sono da considerarsi trascurabili, mentre gli effetti sull'uomo sono particolarmente pericolosi. La sua pericolosità è dovuta alla formazione con l'emoglobina del sangue di un composto fisiologicamente inattivo, la **carbossi-emoglobina**, che impedisce l'ossigenazione dei tessuti. A basse concentrazioni provoca emicranie, debolezza diffusa, giramenti di testa; a concentrazioni maggiori può provocare esiti letali.

FONTI INQUINANTI

Le principali emissioni naturali sono dovute agli incendi delle foreste, alle eruzioni dei vulcani, alle emissioni da oceani e paludi e all'ossidazione del metano e degli idrocarburi in genere emessi naturalmente in atmosfera.

La fonte principale di emissione da parte dell'uomo è costituita dall'utilizzo dei combustibili fossili per i motori a scoppio degli autoveicoli e per le attività industriali (soprattutto impianti siderurgici e raffinerie di petrolio).

Escludendo l'anidride carbonica, la quantità di ossido carbonio che viene emesso dai processi di combustione che avvengono negli autoveicoli è circa 10 volte maggiore di quella degli altri inquinanti. A seconda del regime di marcia la concentrazione usuale che si riscontra nei gas di scarico delle automobili varia fra il 3,5 e il 10%. Le concentrazioni più elevate nei gas di scarico si riscontrano quando il motore funziona al minimo, a regimi più elevati la produzione di CO è nettamente minore. Per questo motivo nelle zone urbane dove il traffico procede a rilento e dove le fermate ai semafori sono frequenti, la concentrazione del CO può raggiungere punte particolarmente elevate. I motori Diesel, funzionando con maggiori quantità di aria, garantiscono una combustione più completa ed emettono minori quantità di CO rispetto ai motori a benzina (in compenso emettono più particolati). Negli ultimi anni la quantità di CO emessa dagli scarichi degli autoveicoli è diminuita per il miglioramento dell'efficienza dei motori, per il controllo obbligatorio delle emissioni e per il crescente utilizzo delle marmitte catalitiche.

Per quanto riguarda le attività industriali c'è da sottolineare il fatto che il CO è un discreto combustibile e la sua emissione con i gas di combustione costituisce una perdita energetica, per questo si cerca sempre di attuare le combustioni in eccesso di aria, migliorandole come resa e di conseguenza limitando l'emissione di ossido di carbonio. Combustioni incomplete possono avvenire solo quando gli impianti non vengono mantenuti, oppure all'avviamento degli impianti, quando la combustione avviene in difetto di aria per brevi periodi. Fra i processi industriali che provocano emissioni rilevanti di CO in atmosfera, le principali sono le emissioni degli impianti siderurgici, dove si impiega il coke per la

riduzione del materiale ferroso, o nelle conversioni, dove si impiega l'ossigeno per ossidare il carbonio contenuto nelle ghise per convertirle in acciaio o per abbassare il tasso di carbonio. Altre fonti sono le industrie petrolchimiche che producono il gas di sintesi (una miscela di CO e idrogeno) che serve per le produzioni di importanti composti chimici sintetici, e le raffinerie di petrolio.

DIFFUSIONE

In atmosfera la concentrazione di fondo del monossido di carbonio è di 0,1-0,2 ppm nell'emisfero nord e di 0,04-0,06 ppm nell'emisfero sud, a dimostrazione dell'importanza del consumo di combustibili come fonte dell'inquinamento.

Nell'aria inquinata di aree intensamente urbanizzate può raggiungere 1-10 ppm, in alcune gallerie stradali sono state rilevate concentrazioni di 500 ppm. Il CO permane in atmosfera per circa 3-4 mesi e viene rimosso attraverso reazioni di ossidazione ad anidride carbonica o attraverso reazioni fotochimiche coinvolgenti il metano e i radicali OH. Per questa sua scarsa reattività viene spesso utilizzato come tracciante dell'andamento temporale degli inquinanti a livello del suolo.

Negli ambienti interni il monossido di carbonio proviene dalle stufe a gas, a legna, ad olio combustibile, dai fornelli, dalle sigarette e dalle automobili accese in garage. In alcuni casi sono stati rilevate anche concentrazioni di 50 ppm per operazioni di movimentazione dell'auto in garage, che confina di norma con l'abitazione, quando all'esterno la concentrazione misurata era al massimo di 1 ppm.

EFFETTI SULL' UOMO

Per le sue caratteristiche l'ossido di carbonio rappresenta un inquinante molto insidioso, soprattutto nei luoghi chiusi dove si può accumulare in concentrazioni letali. Tali situazioni sono purtroppo frequenti e innumerevoli sono i casi di avvelenamento e gli incidenti anche mortali imputabili alle stufe o agli scaldabagni difettosi o non controllati. Essendo il CO incolore, insapore, inodore e non irritante, può causare morti accidentali senza che le vittime si rendano conto di quel che sta loro succedendo. Frequenti sono pure i suicidi provocati dai gas di scarico delle automobili nei locali non aerati.

Una volta respirato, il CO si lega all'emoglobina con una affinità che è 220 volte superiore a quella dell'ossigeno e formando un composto inattivo fisiologicamente che viene chiamato carbossiemoglobina. Questa sostanza, al contrario dell'emoglobina, non è in grado di garantire l'ossigenazione ai tessuti, in particolare al cervello ed al cuore. La morte sopravviene pertanto per asfissia. L'effetto del CO risulta maggiore in altitudine, per la ridotta percentuale di ossigeno nell'aria. In caso di intossicazione bisogna immediatamente portare all'aria aperta il soggetto colpito, perché la respirazione di aria arricchita di ossigeno aiuta l'eliminazione del CO dalla carbossiemoglobina.

Una concentrazione di CO nell'aria pari a 2000-4000 ppm (0,2%-0,4%) provoca la morte in circa 15 minuti, dopo aver provocato perdita di conoscenza. In presenza di 1000 ppm si sopravvive circa 90 minuti. I primi sintomi dell'avvelenamento sono l'emicrania e un senso di vertigine, purtroppo il gas provoca anche sonnolenza e questo impedisce spesso alle vittime di avvertire il pericolo e di aerare il locale.

A causa del traffico automobilistico la popolazione urbana è spesso soggetta a lunghe esposizioni a basse concentrazioni. La lenta intossicazione da ossido di carbonio prende il nome di ossicarbonismo e si manifesta con sintomi nervosi e

respiratori. Nel sangue è presente una percentuale di carbossiemoglobina che dipende dalla concentrazione di CO alla quale una persona è esposta: per ogni ppm di CO presente in aria, lo 0,16% di emoglobina viene trasformato in carbossiemoglobina; sono necessarie però alcune ore perchè si raggiunga la massima saturazione. In proporzione periodi di esposizione più brevi formano meno carbossiemoglobina. Sono considerate fisiologiche concentrazioni di carbossiemoglobina minori dell'1% dell'emoglobina circolante nel sangue. Quando nell'aria la concentrazione di CO è di 12-31 ppm si arriva al 2-5% di carbossiemoglobina e si manifestano i primi segni con aumento delle pulsazioni cardiache, aumento della frequenza respiratoria e disturbi psicomotori (nei guidatori di auto si allungano in modo pericoloso i tempi di reazione). A 100 ppm di esposizione per diverse ore (come nel caso di lunghe soste in gallerie stradali) compaiono vertigini, cefalea e senso generale di spossatezza, che possono essere seguiti da collasso.

Nei fumatori la percentuale di carbossiemoglobina presente nel sangue può variare dal 6% in fumatori moderati, sino al 10% in accaniti fumatori di sigarette che siano esposti anche ad una concentrazione esterna di CO di circa 40 ppm per 1 ora, quando al confronto un non fumatore ha un aumento di carbossiemoglobina da 1,6 al 2,6%.

L'esposizione a monossido di carbonio comporta inoltre l'aggravamento delle malattie cardiovascolari, un peggioramento dello stato di salute nelle persone sane ed un aggravamento delle condizioni circolatorie in generale.

LEGGI E LINEE GUIDA

Il Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri del 28 marzo 1983 fissa il valore limite di concentrazione media nelle 8 ore pari a 10 mg/mc, mentre il valore limite di concentrazione media nell'arco di 1 ora è pari a 40 mg/mc.

Il Decreto Ministeriale 25/11/94 fissa inoltre il livello di attenzione ed il livello di allarme per quanto riguarda il monossido di carbonio nelle aree urbane: considerando la media oraria (media delle misure effettuate nell'arco di 1 ora) il livello di attenzione è fissato in 15 mg/mc, mentre il livello di allarme è posto a 30 mg/mc.

Il Decreto Ministeriale n.60 del 02-04-2002 va ad abrogare in parte le leggi precedenti. Emanato per ottemperare alle Direttive Europee, pone come valore limite di media massima giornaliera 10 mg/mc (da raggiungere entro il 2005).

Il limite di sicurezza per i lavoratori esposti al CO, come TLV-TWA, è di 25 ppm, pari a 29 mg/mc (limite indicato dall'ACGIH, American Conference of Governmental Industrial Hygienists).

NB: I livelli di attenzione sono definiti come le concentrazioni di inquinanti atmosferici che determinano lo stato di attenzione, cioè una situazione di inquinamento atmosferico che, se persistente, determina il rischio di raggiungere lo stato d'allarme. Lo stato di allarme è definito come uno stato suscettibile di determinare una condizione di rischio ambientale e sanitario. Gli stati di attenzione o di allarme si raggiungono quando, al termine di un ciclo di monitoraggio, si rileva il superamento, per uno o più inquinanti, del livello di attenzione o di allarme. Quando questi livelli vengono raggiunti scatta una serie di provvedimenti finalizzata alla difesa della popolazione da eventuali esposizioni a rischio.

1.4.2 OSSIDI DI AZOTO

CARATTERISTICHE

Pur essendo presenti in atmosfera diverse specie di ossidi di ozoto, per quanto riguarda l'inquinamento dell'aria si fa quasi esclusivamente riferimento al termine NO_x che sta ad indicare la somma pesata del monossido di azoto (NO) e del biossido di azoto (NO_2). L'ossido di azoto (NO) è un gas incolore, insapore ed inodore; è anche chiamato ossido nitrico. E' prodotto soprattutto nel corso dei processi di combustione ad alta temperatura assieme al biossido di azoto (che costituisce meno del 5% degli NO_x totali emessi). Viene poi ossidato in atmosfera dall'ossigeno e più rapidamente dall'ozono producendo biossido di azoto. La tossicità del monossido di azoto è limitata, al contrario di quella del biossido di azoto che risulta invece notevole. Il biossido di azoto è un gas tossico di colore giallo-rosso, dall'odore forte e pungente e con grande potere irritante; è un energico ossidante, molto reattivo e quindi altamente corrosivo. Esiste nelle due forme N_2O_4 (forma dimera) e NO_2 che si forma per dissociazione delle molecole dimere. Il colore rossastro dei fumi è dato dalla presenza della forma NO_2 (che è quella prevalente). Il ben noto colore giallognolo delle foschie che ricoprono le città ad elevato traffico è dovuto per l'appunto al biossido di azoto. Rappresenta un inquinante secondario dato che deriva, per lo più, dall'ossidazione in atmosfera del monossido di azoto. Il biossido di azoto svolge un ruolo fondamentale nella formazione dello smog fotochimico in quanto costituisce l'intermedio di base per la produzione di tutta una serie di inquinanti secondari molto pericolosi come l'ozono, l'acido nitrico, l'acido nitroso, gli alchilnitriti, i perossiacetilnitriti, ecc.

Si stima che gli ossidi di azoto contribuiscano per il 30% alla formazione delle piogge acide (il restante è imputabile al biossido di zolfo e ad altri inquinanti). Da notare che gli NO_x vengono per lo più emessi da sorgenti al suolo e sono solo parzialmente solubili in acqua, questo influenza notevolmente il trasporto e gli effetti a distanza.

FONTI INQUINANTI

Su scala globale si stima che le emissioni di ossidi di azoto naturali ed antropogeniche siano dello stesso ordine di grandezza (circa 200 milioni di tonnellate).

Le sorgenti naturali sono costituite essenzialmente dalle decomposizioni organiche anaerobiche che riducono i nitrati a nitriti; i nitriti in ambiente acido formano acido nitroso che, essendo instabile, libera ossidi di azoto.

Da segnalare anche l'azione dei fulmini, gli incendi e le emissioni vulcaniche. La principale fonte antropogenica di ossido di azoto è data dalle combustioni ad alta temperatura, come quelle che avvengono nei motori degli autoveicoli: l'elevata temperatura che si origina durante lo scoppio provoca la reazione fra l'azoto dell'aria e l'ossigeno formando monossido di azoto. La quantità prodotta è tanto più elevata quanto maggiore è la temperatura di combustione e quanto più veloce è il successivo raffreddamento dei gas prodotti, che impedisce la decomposizione in azoto ed ossigeno. Da notare che le miscele "ricche" (cioè con poca aria) danno luogo ad emissioni con basso tenore di monossido di azoto (ma elevate emissioni di idrocarburi e monossido di carbonio per effetto di combustioni incomplete) a causa della bassa temperatura raggiunta nella camera di combustione. Miscela "povere" (cioè con elevata quantità di aria) danno ancora luogo a basse concentrazioni di NO nelle emissioni, ma impediscono una buona resa del motore perché l'eccesso di aria raffredda la camera di

combustione. Quando i fumi vengono mescolati con aria allo scarico si forma una significativa quantità di biossido di azoto per ossidazione del monossido ad opera dell'ossigeno.

In generale i motori diesel emettono più ossidi di azoto e particolati (fumo) rispetto ai motori a benzina, i quali però emettono più ossido di carbonio e idrocarburi.

Si stima che in Italia vengano emesse in atmosfera circa 2 milioni di tonnellate all'anno di ossidi di azoto, di cui circa la metà è dovuta al traffico degli autoveicoli.

Altre importanti fonti di ossidi di azoto sono gli impianti termici e le centrali termoelettriche; le quantità emesse sono comunque relativamente minori dato che nel corso della combustione vengono raggiunte temperature di fiamma più basse. Sorgenti antropogeniche di ossidi di azoto sono inoltre la produzione dei fertilizzanti azotati, la produzione di acido nitrico per ossidazione dell'ammoniaca e la fabbricazione degli esplosivi, tutti i processi chimici che impiegano acido nitrico (come ad esempio la dissoluzione di metalli).

DIFFUSIONE

Negli ultimi anni le emissioni antropogeniche di ossidi di azoto sono aumentate enormemente, soprattutto a causa dell'aumento del traffico veicolare, e questo ha comportato di conseguenza un aumento dei livelli di concentrazione nelle aree urbane.

La concentrazione di fondo del monossido di azoto in atmosfera varia da 0,2 a 10 µg/mc; nell'aria inquinata la concentrazione di NO è in genere di 50-750 ppb (62-930 µg/mc).

Nel caso in cui l'inquinamento sia dovuto ad una casualità fortuita, la

concentrazione dell'inquinante nell'aria cala rapidamente nel giro di 2-5 giorni: infatti l'ossido di azoto viene sempre rimosso per ossidazione

Nelle atmosfere inquinate in modo continuativo (in genere dagli autoveicoli) si assiste ad un ciclo giornaliero di formazione di inquinanti secondari: il monossido di azoto viene ossidato tramite reazioni fotochimiche (catalizzate dalla luce) a biossido di azoto; si forma così una

miscela NO-NO₂, che raggiunge il picco di concentrazione nelle zone e nelle ore di traffico più intenso. Attraverso una serie di reazioni, ancora catalizzate dalla luce solare, si giunge alla formazione di ozono e di composti organici ossidanti. Durante la notte queste sostanze decadono formando composti organici nitrati, perossidi ed aerosol acidi. Una situazione del genere si verifica specialmente nelle città ad elevato traffico e molto soleggiate come ad esempio Los Angeles, Città del Messico, Santiago del Cile, Roma, ecc. Le città sembrano avvolte che una nube di inquinanti che, oltre a provocare una diminuzione della visibilità costituiscono un pericolo per la salute dei soggetti più deboli come i bambini, gli anziani e gli asmatici. La situazione può diventare estremamente seria se fenomeni di intrappolamento ed assenza di vento impediscono alla nube di disperdersi.

La concentrazione ambientale del biossido di azoto oscilla tra 1 e 9 µg/mc; nei Paesi Occidentali la media annuale è compresa fra 20 e 90 µg/mc, mentre nelle città in genere non supera i 40 µg/mc.

Negli ambienti indoor la concentrazione di ossidi di azoto risulta più elevata nelle cucine per le combustioni aperte dei fornelli (spesso può arrivare a concentrazioni più elevate di quelle esterne). La diminuzione di questi inquinanti risulta comunque estremamente rapida non appena vien meno la causa della loro produzione.

EFFETTI SULL' UOMO

L'azione sull'uomo dell'ossido di azoto è relativamente blanda; inoltre, a causa della rapida ossidazione a biossido di azoto, si fa spesso riferimento esclusivo solo a quest'ultimo inquinante, in quanto risulta molto più tossico del monossido.

Il biossido di azoto è un gas irritante per le mucose e può contribuire all'insorgere di varie alterazioni delle funzioni polmonari, bronchiti croniche, asma ed enfisema polmonare. Lunghe esposizioni anche a basse concentrazioni provocano una drastica diminuzione delle difese polmonari con conseguente aumento di rischio di affezioni alle vie respiratorie

Gli effetti del biossido di azoto si manifestano generalmente parecchie ore dopo l'esposizione, così che spesso le persone normalmente non si rendono conto che il loro malessere è dovuto all'aria inquinata che hanno respirato.

Per il biossido di azoto l'Organizzazione Mondiale per la Sanità (OMS) raccomanda il limite guida orario di 200 µg/mc, il limite per la media annuale è invece 40 µg/mc.

Per un'esposizione di mezz'ora la concentrazione di 560 µg/mc è la più alta concentrazione alla quale non si hanno effetti rilevabili. Brevi esposizioni a 50-150 mg/mc provocano risentimenti polmonari; 100 mg/mc, inalati per 1 minuto, provocano notevoli danni al tratto respiratorio; concentrazioni di 300-400 mg/mc portano alla morte per fibrosi polmonare.

I lavoratori più esposti ad alte concentrazioni di biossido di azoto sono gli addetti alla manipolazione dell'acido nitrico (industrie chimiche, galvaniche, orafe) e chi opera la saldatura ad arco elettrico.

EFFETTI SULL' AMBIENTE

L'inquinamento da biossido di azoto ha un impatto sulla vegetazione di minore entità rispetto al biossido di zolfo. In alcuni casi, brevi periodi di esposizione a basse concentrazioni possono incrementare i livelli di clorofilla; lunghi periodi causano invece la senescenza e la caduta delle foglie più giovani.

Il meccanismo principale di aggressione comunque è costituito dall'acidificazione del suolo gli inquinanti acidi causano un impoverimento del terreno per la perdita di ioni calcio, magnesio, sodio e potassio e conducono alla liberazione di ioni metallici tossici per le piante.

Da notare che l'abbassamento del pH compromette anche molti processi microbici del terreno, fra cui l'azotofissazione.

Gli ossidi di azoto e i loro derivati danneggiano anche edifici e monumenti, provocando un invecchiamento accelerato in molti casi irreversibile.

LEGGI E LINEE GUIDA

Il DPR n. 203 del 24 maggio 1988 fissa il valore limite per il biossido di azoto: il 98° percentile delle concentrazioni medie di un'ora rilevate nell'arco di un anno ha il valore limite pari a 200 µg/mc. Il DPR n. 203 prevede anche dei valori guida per il biossido di azoto:

il 50° percentile delle concentrazioni medie di 1 ora rilevate durante l'anno ha il valore guida di 50 µg/mc;

il 98° percentile delle concentrazioni medie di 1 ora rilevate durante l'anno ha il valore guida di 135 µg/mc

Il Decreto Ministeriale 25/11/94 fissa inoltre il livello di attenzione ed il livello di allarme per quanto riguarda il biossido di azoto nelle aree urbane:

considerando la media oraria (media delle misure effettuate nell'arco di 1 ora) il

livello di attenzione è fissato in 200 µg/mc, mentre il livello di allarme è posto a 400 µg/mc.

Il Decreto Ministeriale n.60 del 02-04-2002 va ad abrogare in parte le leggi precedenti. Emanato per ottemperare alle Direttive Europee, pone come valore limite orario 200 µg/mc (da raggiungere entro il 2010), come limite annuale 40 µg/mc (anche questo da raggiungere entro il 2010) e come limite annuale per la protezione della vegetazione 30 µg/mc. La soglia di allarme è di 400 µg/mc. Il limite di sicurezza per i lavoratori esposti al biossido di azoto, come TLV-TWA, è di 3 ppm, pari a 5,6 mg/mc; come TLV-STEL è di 5 ppm, pari a 9,4 mg/mc (limiti indicati dall'ACGIH, American Conference of Governmental Industrial Hygienists).

Il limite di sicurezza per i lavoratori esposti all'ossido di azoto (ossido nitrico), come TLV-TWA, è di 25 ppm, pari a 31 mg/mc (indicato dall'ACGIH).

NB: I livelli di attenzione sono definiti come le concentrazioni di inquinanti atmosferici che determinano lo stato di attenzione, cioè una situazione di inquinamento atmosferico che, se persistente, determina il rischio di raggiungere lo stato d'allarme. Lo stato di allarme è definito come uno stato suscettibile di determinare una condizione di rischio ambientale e sanitario. Gli stati di attenzione o di allarme si raggiungono quando, al termine di un ciclo di monitoraggio, si rileva il superamento, per uno o più inquinanti, del livello di attenzione o di allarme. Quando questi livelli vengono raggiunti scatta una serie di provvedimenti finalizzata alla difesa della popolazione da eventuali esposizioni a rischio.

1.4.3 OSSIDI DI ZOLFO

CARATTERISTICHE

Normalmente gli ossidi di zolfo presenti in atmosfera sono l'anidride solforosa (SO₂) e l'anidride solforica (SO₃); questi composti vengono anche indicati con il termine comune SO_x.

L'anidride solforosa o biossido di zolfo è un gas incolore, irritante, non infiammabile, molto solubile in acqua e dall'odore pungente. Dato che è più pesante dell'aria tende a stratificarsi nelle zone più basse.

Rappresenta l'inquinante atmosferico per eccellenza essendo il più diffuso, uno dei più aggressivi e pericolosi e di gran lunga quello più studiato ed emesso in maggior quantità dalle sorgenti antropogeniche.

Deriva dalla ossidazione dello zolfo nel corso dei processi di combustione delle sostanze che contengono questo elemento sia come impurezza (come i combustibili fossili) che come costituente fondamentale.

Dall'ossidazione dell'anidride solforosa si origina l'anidride solforica o triossido di zolfo che reagendo con l'acqua, sia liquida che allo stato di vapore, origina rapidamente l'acido solforico, responsabile in gran parte del fenomeno delle piogge acide. Dato che la reazione di ossidazione che conduce alla formazione dell'anidride solforica è molto lenta, e data la reattività di questo composto con l'acqua, in genere la concentrazione del triossido di zolfo varia fra l'1 e il 5% della concentrazione del biossido di zolfo (che viene considerato l'inquinante di riferimento).

FONTI INQUINANTI

Le emissioni naturali di biossido di zolfo sono principalmente dovute all'attività vulcanica (circa 20 milioni di tonnellate l'anno).

Le emissioni antropogeniche rappresentano più di 150 milioni di tonnellate all'anno e sono dovute principalmente ai processi di combustione dei combustibili fossili e liquidi (carbone, petrolio, gasolio); oltre il 90% del biossido di zolfo viene prodotto nell'emisfero Nord.

Il carbon fossile ha un contenuto di zolfo che varia dallo 0,1 al 6% e il petrolio greggio dallo 0,05 al 4,5%. Oltre il 90% dello zolfo presente nel combustibile viene trasformato in biossido di zolfo (lo 0,5-2% viene trasformato in anidride solforica ed il resto rimane nelle ceneri sotto forma di solfati).

Rilevanti sono anche le emissioni nei processi di produzione dell'acido solforico, nella lavorazione di molte materie plastiche, nella desolforazione dei gas naturali, nell'arrostimento delle piriti, nell'incenerimento dei rifiuti; l'apporto inquinante dato dalle emissioni dei mezzi di trasporto appare invece trascurabile.

L'emissione di biossido di zolfo in Italia è approssimativamente dovuta per il 5% al riscaldamento domestico, per il 40% ai processi industriali comprese le combustioni e per il 50% alla produzione di energia elettrica ad opera delle centrali termoelettriche; assieme le altre sorgenti contribuiscono per un valore pari al 5%.

Da notare che i combustibili a basso tenore di zolfo non sono facilmente disponibili e i processi di desolforazione sono costosi. Solo una maggiore sensibilizzazione dell'opinione pubblica sul problema delle piogge acide negli ultimi anni, sembra stia spingendo verso interventi nel settore.

DIFFUSIONE

La concentrazione di fondo è stata valutata attorno a 0,2-0,5 µg/mc, mentre nelle aree urbane si possono raggiungere i 50 µg/mc; nelle grandi città industrializzate ed in via di sviluppo vengono spesso rilevati anche livelli di 300 µg/mc (dati dell'Organizzazione Mondiale della Sanità, 1998).

Il biossido di zolfo permane in atmosfera per 1-4 giorni subendo reazioni di trasformazione e principalmente l'ossidazione ad acido solforico che ricade in forma di nebbie o piogge acide. Gli ossidi di zolfo di notte vengono anche assorbiti dalle goccioline di acqua presenti nell'aria dando origine ad un aerosol che determina una foschia mattutina.

A causa della grande reattività del biossido di zolfo, le concentrazioni negli ambienti interni sono generalmente molto basse (almeno la metà di quelle esterne). Inoltre nei mesi invernali, quando il livello di concentrazione all'esterno tende ad aumentare per effetto del maggior utilizzo del riscaldamento domestico, le abitazioni restano chiuse per il freddo e pertanto la concentrazione indoor risulta più contenuta.

Nelle abitazioni sono inoltre presenti numerose sostanze ed oggetti che assorbono il biossido di zolfo (oggetti in pelle, coperte di lana) e contribuiscono a diminuire la concentrazione dell'inquinante. Una precauzione da osservare durante gli episodi acuti di smog è infatti quella di rimanere chiusi nelle abitazioni.

Nel corso degli ultimi anni, a causa degli interventi che sono stati adottati per il miglioramento della qualità dei combustibili e per la diffusione della metanizzazione degli impianti di riscaldamento, l'emissione degli ossidi di zolfo nelle aree urbane dei Paesi Occidentali si è notevolmente ridotta, per cui l'importanza del biossido di zolfo come inquinante è leggermente diminuita (almeno nei centri abitati).

EFFETTI SULL' UOMO

Per l'elevata solubilità in acqua il biossido di zolfo viene facilmente assorbito dalle mucose del naso e del tratto superiore dell'apparato respiratorio (questo rappresenta una fortuna dato che solo quantità molto ridotte possono raggiungere gli alveoli polmonari). L'alta reattività lo rende un composto estremamente irritante. E' stato comunque notato un effetto sinergico con le polveri sospese per la capacità che queste hanno di veicolare gli inquinanti nelle zone più profonde dell'apparato respiratorio.

A basse concentrazioni gli effetti del biossido di zolfo sono principalmente legati a patologie dell'apparato respiratorio come bronchiti, asma e tracheiti e ad irritazioni della pelle, degli occhi e delle mucose.

Analisi epidemiologiche hanno evidenziato un aumento dei ricoveri ospedalieri, specie di anziani e bambini, a concentrazioni superiori a 0,3 mg/mc. Già a concentrazioni di 0,06 mg/mc come valore medio annuale si verificano episodi di bronchite e infezioni alle prime vie respiratorie.

Il caratteristico odore pungente del biossido di zolfo viene percepito dal naso alla concentrazione di 0,8-2,6 mg/mc. A questi livelli bisogna infilare la maschera antigas o, trattenendo il respiro, raggiungere una zona non contaminata. Per brevi periodi, in assenza di maschera, ci si può proteggere anche tenendo sul naso e sulla bocca un panno umido.

Brevi esposizioni di 10' a concentrazioni di 3 mg/mc provocano un aumento del ritmo respiratorio e del battito cardiaco; concentrazioni di 25 mg/mc provocano irritazioni agli occhi, al naso ed alla gola, oltre ad un aumento della frequenza cardiaca. Concentrazioni maggiori di 5 g/mc producono asfissia tossica con morte per collasso cardiocircolatorio.

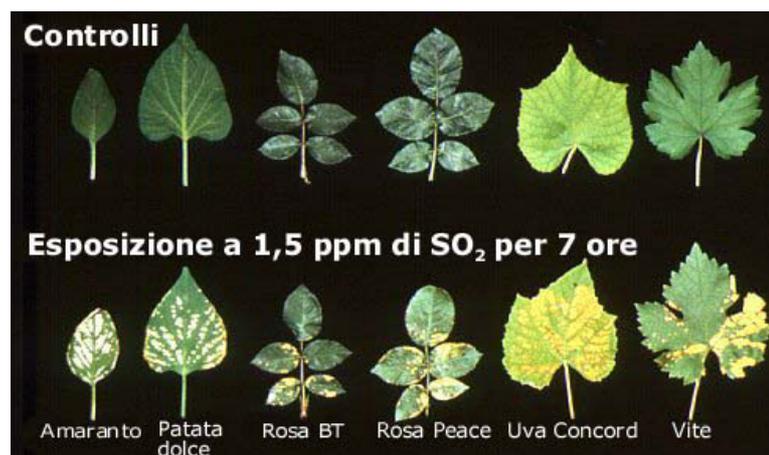
EFFETTI SULL' AMBIENTE

L'azione principale operata ai danni dell'ambiente da parte degli ossidi di zolfo consiste nell'acidificazione delle precipitazioni meteorologiche con la conseguente compromissione dell'equilibrio degli ecosistemi interessati. Gli effetti corrosivi dell'acido solforico si riscontrano anche sui materiali da costruzione, sui metalli e sulle vernici.

L'acido solforico trasforma i carbonati insolubili dei monumenti e delle opere d'arte in solfati solubili che vengono dilavati per azione della pioggia.

Il biossido di zolfo a basse concentrazioni provoca un rallentamento nella crescita delle piante, mentre ad alte concentrazioni ne provoca la morte alterandone la fisiologia in modo irreparabile.

Nelle foglie il biossido di zolfo viene trasformato in acido solforoso e solfiti, da questi per ossidazione si generano i solfati. Quando il livello di anidride solforosa nell'aria diviene insostenibile, nelle foglie si accumulano inutilizzati i solfiti che ad alta concentrazione causano la distruzione della clorofilla, il collasso delle cellule e la necrosi dei tessuti.



Come si può chiaramente vedere dalla foto, un'esposizione anche breve al biossido di zolfo provoca notevoli danni a livello fogliare.

Le foglie presentano fra i margini e le nervature delle aree irregolari di colore bianco, giallo o marrone, che presentano necrosi; negli aghi delle conifere diviene marrone l'apice delle foglie.

Questi effetti aumentano quando si è in presenza di un'umidità relativa elevata, vi sono alte temperature, c'è un'intensa luminosità ed anche nel caso in cui le piante siano vecchie.

L'effetto di una esposizione prolungata a concentrazioni di anidride solforosa incapaci di causare sintomi evidenti è più difficile da rilevare: consiste in una serie di alterazioni fisiologiche fra le quali la riduzione della crescita e della riproduzione e la senescenza anticipata.

L'effetto sulle piante è particolarmente accentuato quando l'anidride solforosa si trova in presenza di ozono (sinergismo).

LEGGI E LINEE GUIDA

Il DPR n. 203 del 24 maggio 1988 fissa i valori limite per il biossido di zolfo: la mediana delle concentrazioni medie nelle 24 ore rilevate nell'arco di un anno ha il valore limite pari a 80 µg/mc;

il 98° percentile delle concentrazioni medie nelle 24 ore rilevate nell'arco di un anno ha il valore limite pari a 250 µg/mc;

la mediana delle concentrazioni medie nelle 24 ore rilevate durante il semestre invernale (1 ott.-31 mar.) ha il valore limite pari a 130 µg/mc.

Il DPR n. 203 prevede anche dei valori guida per il biossido di zolfo:

la media aritmetica delle concentrazioni medie nelle 24 ore rilevate nell'arco di 1 anno ha il valore guida di 40-60 µg/mc;

il valore medio nelle 24 ore ha il valore guida di 100-150 µg/mc.

Il Decreto Ministeriale 25/11/94 fissa inoltre il livello di attenzione ed il livello di allarme per quanto riguarda il biossido di zolfo nelle aree urbane:

considerando la media delle medie orarie rilevate nell'arco di 24 ore il livello di attenzione è fissato in 125 µg/mc, mentre il livello di allarme è posto a 250 µg/mc.

Il Decreto Ministeriale n.60 del 02-04-2002 va ad abrogare in parte le leggi precedenti. Emanato per ottemperare alle Direttive Europee, pone come valore limite orario 350 µg/mc (da raggiungere entro il 2005), come limite giornaliero 125 µg/mc (anche questo da raggiungere entro il 2005) e come limite annuale per la protezione della vegetazione 20 µg/mc. La soglia di allarme è di 500 µg/mc.

Il limite di sicurezza per i lavoratori esposti al biossido di zolfo, come TLV-TWA, è di 2 ppm, pari a 5,2 mg/mc; come TLV-STEL è di 5 ppm, pari a 13 mg/mc (limiti indicati dall'ACGIH, American Conference of Governmental Industrial Hygienists).

NB: I livelli di attenzione sono definiti come le concentrazioni di inquinanti atmosferici che determinano lo stato di attenzione, cioè una situazione di inquinamento atmosferico che, se persistente, determina il rischio di raggiungere lo stato d'allarme. Lo stato di allarme è definito come uno stato suscettibile di determinare una condizione di rischio ambientale e sanitario. Gli stati di attenzione o di allarme si raggiungono quando, al termine di un ciclo di monitoraggio, si rileva il superamento, per uno o più inquinanti, del livello di attenzione o di allarme. Quando questi livelli vengono raggiunti scatta una serie di provvedimenti finalizzata alla difesa della popolazione da eventuali esposizioni a rischio.

1.4.4 OZONO

CARATTERISTICHE

L'ozono è un gas tossico di colore bluastro, costituito da molecole instabili formate da tre atomi di ossigeno (O₃); queste molecole si scindono facilmente liberando ossigeno molecolare (O₂) ed un atomo di ossigeno estremamente reattivo (O₃ → O₂+O). Per queste sue caratteristiche l'ozono è quindi un energico ossidante in grado di demolire sia materiali organici che inorganici. L'ozono è presente per più del 90% nella stratosfera (la fascia dell'atmosfera che va dai 10 ai 50 Km di altezza) dove viene prodotto dall'ossigeno molecolare per azione dei raggi ultravioletti solari. In stratosfera costituisce una fascia protettiva nei confronti delle radiazioni UV generate dal sole.

Per effetto della circolazione atmosferica viene in piccola parte trasportato anche negli strati più bassi dell'atmosfera (troposfera), nei quali si forma anche per effetto di scariche elettriche durante i temporali.

Nella troposfera in genere è presente a basse concentrazioni e rappresenta un inquinante secondario particolarmente insidioso. Viene prodotto nel corso di varie reazioni chimiche in presenza della luce del sole a partire dagli inquinanti primari, in modo particolare dal biossido di azoto.

Gli effetti sull'uomo di una eccessiva esposizione all'ozono riguardano essenzialmente l'apparato respiratorio e gli occhi; da segnalare anche l'azione nociva nei confronti della vegetazione e quella distruttiva nei confronti dei materiali. La formazione dell'ozono stratosferico ha luogo per la maggior parte a più di 30 Km di altezza.

Qui le radiazioni Ultra Violetto con lunghezza d'onda inferiore ai 242 nm dissociano l'ossigeno molecolare in ossigeno atomico che, per la sua reattività, si combina rapidamente con una molecola di ossigeno originando

l'ozono ($O+O_2 \longrightarrow O_3$). A loro volta le molecole di ozono che si formano nel corso di questa reazione assorbono le radiazioni solari con lunghezza d'onda compresa fra 240 e 340 nm, e questo ne provoca la fotolisi che libera un atomo ed una molecola di ossigeno ($O_3 \longrightarrow O_2+O$). In definitiva questi processi instaurano un equilibrio dinamico che mantiene la concentrazione di ozono pressochè costante e che permette di schermare più del 90% delle pericolose radiazioni UV provenienti dal sole. L'abbattimento delle radiazioni UV ad elevata energia fa sì che nella troposfera inferiore questo meccanismo di formazione dell'ozono non sia attivo, per cui l'ozono troposferico è presente esclusivamente per il ridotto scambio atmosferico fra troposfera e stratosfera e per la formazione di ozono a partire da inquinanti atmosferici primari.

Nella troposfera la sorgente principale di ozono è data dal biossido di azoto che in presenza della luce solare dà origine per fotolisi all'ossigeno atomico (che produce l'ozono reagendo con l'ossigeno molecolare). Una notevole quantità di ozono viene anche prodotta nel corso delle ossidazioni degli idrocarburi presenti nell'aria, fra i quali anche i terpeni liberati dai vegetali.

La produzione di ozono da parte dell'uomo è, quindi, indiretta dato che questo gas si origina a partire da molti inquinanti primari. Per estensione si può quindi affermare che le principali sorgenti antropogeniche risultano essere quelle che liberano gli inquinanti precursori e cioè il traffico automobilistico, i processi di combustione, l'evaporazione dei carburanti, i solventi, ecc.

L'ozono stratosferico si concentra in una particolare fascia detta ozonosfera posta fra i 20 e i 30 Km di altezza. La concentrazione del gas non si mantiene costante sia per le periodiche e naturali variazioni nella distribuzione planetaria che per l'azione di vari agenti inquinanti di origine antropogenica.

Per quanto riguarda l'ozono troposferico bisogna sottolineare che la concentrazione del gas varia anche di molto a seconda della zona geografica

considerata, dell'ora, del periodo dell'anno, delle condizioni climatiche, della direzione e velocità del vento, del grado di inquinamento primario, ecc.

La concentrazione di fondo alle nostre latitudini varia fra 0,03 e 0,07 ppm, anche se nell'ultimo secolo è praticamente raddoppiata; nelle zone industriali ed urbane aumenta al ritmo dell'1-2 % all'anno.

Nelle aree urbane i livelli massimi di concentrazione si verificano in genere verso mezzogiorno e sono preceduti, nelle prime ore del mattino, da concentrazioni massime di ossidi di azoto e di idrocarburi rilasciati dal forte traffico dei veicoli all'inizio della giornata (composti che ne costituiscono i precursori); dopo le ore 18 di solito questi valori scendono e raggiungono i minimi durante la notte a testimonianza dell'importanza della luce nella produzione dell'ozono.

Le più alte concentrazioni di ozono si rilevano nei mesi più caldi dell'anno, per la forte insolazione; le condizioni di alta pressione e di scarsa ventilazione favoriscono inoltre il ristagno degli inquinanti ed il loro accumulo.

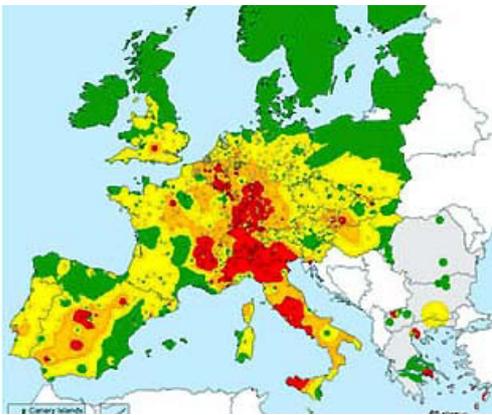
Dato che l'inquinamento da ozono interessa in particolare solo 4-6 ore del giorno, si considera di solito solo la concentrazione media massima oraria.

Nei grandi centri urbani si sono superati i valori di 0,1 ppm in circa 15-100 giorni dell'anno. In alcune città nei paesi in via di sviluppo si raggiungono anche valori di 1 ppm; in Italia in casi eccezionali sono stati superati i 0,3 ppm. A questi valori l'ozono non rappresenta solo un inquinante atmosferico, ma un vero e proprio pericolo per la salute.

Da sottolineare il fatto che l'ozono urbano si può diffondere anche in aree più periferiche o in campagna dove la ridotta presenza di inquinanti riducenti (come il monossido di azoto) rende l'ozono più stabile; la concentrazione può quindi rimanere alta per lunghi periodi e raggiungere anche dei picchi in aree impensabili come, ad esempio, i parchi cittadini.

La concentrazione dell'ozono viene rilevata anche come indice della presenza dello smog fotochimico (vedi) del quale l'ozono è uno dei rappresentanti principali; l'OMS ha stabilito un limite massimo di 0,1 ppm.

Negli ambienti interni la concentrazione di ozono e di ossidanti fotochimici è di norma inferiore a quella esterna dato che queste sostanze reagiscono con i materiali presenti; da notare che le combustioni interne dei fornelli (che producono monossido di azoto) tendono a ridurre la concentrazione di ozono perché il monossido riduce l'ozono ad ossigeno ($\text{NO} + \text{O}_3 \longrightarrow \text{NO}_2 + \text{O}_2$). In ambienti interni di lavoro le esposizioni professionali all'ozono interessano le zone dove si effettuano operazioni di saldatura, si impiegano precipitatori elettrostatici per le polveri, si utilizzano lampade UV e negli uffici per l'uso di macchine fotocopiatrici.



Le aree in rosso rappresentano le zone a maggiore concentrazione di ozono nell'estate del 2003.

EFFETTI SULL' UOMO

La molecola dell'ozono è estremamente reattiva, in grado di ossidare numerosi componenti cellulari, fra i quali amminoacidi, proteine e lipidi.

Alla concentrazione di 0,008-0,02 ppm (15-40 µg/mc) è possibile già rilevarne l'odore; a 0,1 ppm provoca una irritazione agli occhi ed alla gola per la sua azione nei confronti delle mucose. Concentrazioni più elevate causano irritazioni all'apparato respiratorio, tosse ed un senso di oppressione al torace che rende difficoltosa la respirazione. I soggetti più sensibili, come gli asmatici e gli anziani possono essere soggetti ad attacchi di asma anche a basse concentrazioni. Alla concentrazione di 1 ppm provoca mal di testa e a 1,7 ppm può produrre edema polmonare.

In presenza di altri ossidanti fotochimici, di biossido di zolfo e di biossido di azoto, l'azione dell'ozono viene sempre potenziata per effetto sinergico.

Concentrazioni elevate possono provocare la morte.

Numerosi casi di gravi intossicazioni da ozono sono state riferite per i lavoratori addetti alle saldature, in quanto vi è un maggior irraggiamento di radiazioni UV nell'ambiente e, di conseguenza, una formazione di ozono in loco.

Studi sugli animali dimostrano che l'ozono può ridurre la capacità del sistema immunitario di combattere le infezioni batteriche nel sistema respiratorio.

Tutte queste patologie si riferiscono ad esposizioni relativamente brevi, le conseguenze derivate da un'esposizione per vari anni a concentrazioni non elevate sono ancora poco chiare (si sospetta comunque una notevole influenza nell'aumento delle allergie).

Gli eventuali disturbi correlati alla presenza dell'ozono in genere terminano se i soggetti colpiti soggiornano in ambienti salubri. Comunque i ricercatori sono concordi nel ritenere che ripetuti danni a breve termine dovuti all'esposizione ad ozono, possono danneggiare in modo permanente l'apparato respiratorio. Per esempio, l'azione ripetuta dell'ozono sui polmoni in via di sviluppo dei bambini può portare ad una ridotta funzionalità polmonare da adulti. Inoltre, l'esposizione all'ozono può accelerare il declino della funzionalità polmonare

che avviene come risultato del naturale processo di invecchiamento. In ogni caso è da sottolineare il fatto vi sono grandi differenze individuali nelle risposte a questo inquinante. I soggetti più sensibili sono: i soggetti asmatici e quelli con patologie polmonari e cardiovascolari; gli anziani; le donne incinte; i bambini; chi fa attività fisica sostenuta all'aperto (lavoro, sport, svago) perché l'aumentata attività fisica causa un aumento della respirazione (che si fa anche più profonda).

I danni dovuti all'ozono possono anche verificarsi senza alcun segno evidente. Qualche volta non ci sono sintomi, mentre altre volte sono troppo leggeri per essere percepiti. Le persone che vivono nelle aree dove i livelli di ozono sono spesso alti possono verificare che i sintomi iniziali dovuti alla presenza dell'ozono si affievoliscono col passar del tempo (in modo particolare quando l'esposizione ad alti livelli di ozono persiste per parecchi giorni consecutivi). Questo non significa che hanno sviluppato una resistenza all'ozono: infatti l'ozono continua a danneggiare l'apparato respiratorio anche quando i sintomi sono scomparsi. Quando i livelli di ozono sono più alti del normale, bisognerebbe diminuire il tempo passato all'aperto, o almeno ridurre l'attività fisica all'aria aperta per proteggere la propria salute fino al momento in cui il livello di ozono non scende.

EFFETTI SULL' AMBIENTE

Per quanto riguarda la vegetazione, i danni provocati dall'ozono sono talmente ingenti nel mondo che questo gas è considerato, assieme al biossido di zolfo, una delle principali cause del declino delle foreste. L'ozono (e gli ossidanti fotochimici in genere) provoca una riduzione nella crescita delle piante e, a maggior concentrazione, clorosi e necrosi delle foglie.

Il primo effetto visibile si manifesta sui cloroplasti che, dopo l'esposizione,

assumono una colorazione verde chiara e si rompono facilmente, disperdendo la clorofilla nel citoplasma cellulare. L'ozono provoca un'alterazione del bilancio ionico, modifica gli amminoacidi, altera il metabolismo proteico, modifica la composizione in acidi grassi insaturi e reagisce con i residui solfidrici. Provoca un crollo immediato del livello di ATP, probabilmente a causa dello sbilanciamento ionico ed inibisce la fissazione della CO₂. L'ozono causa clorosi con colorazione giallo pallido delle foglie (particolarmente evidente negli aghi dei pini) e provoca un prematuro invecchiamento della pianta. A causa dell'esposizione ad ozono compaiono fra le nervature delle lesioni sull'apparato fogliare di un colore marrone pallido o intenso (anche rosso porpora nelle piante nelle quali l'ozono stimola la formazione del pigmento antocianina). Come le lesioni si allargano, la foglia diviene di colore marrone e qualche volta color bronzo, poi cade. Le piante più vecchie sono quelle che vengono colpite prima. Molti studi hanno dimostrato che è l'esposizione ad elevate concentrazioni per breve tempo che provoca i danni maggiori; le esposizioni a livelli costanti sono meno dannose.



La foto a lato illustra una foglia di tabacco esposta a concentrazioni di ozono relativamente basse.

La pianta è stata trattata con ozono alla concentrazione di 70 ppb (0,14 mg/mcubo) per 7 ore al giorno per un periodo di due settimane.

Le specie più sensibili all'ozono sono: il tabacco, gli spinaci, l'erba medica, l'avena, la segala, i fagioli, l'orzo ed il noce; su queste piante, sempre meno frequenti in prossimità delle aree urbane, è possibile notare la comparsa dei primi sintomi di sofferenza già a concentrazioni di 0,05-0,12 ppm di ozono.

L'ozono causa ingenti danni a materiali e monumenti, provocando un notevole danno al patrimonio artistico ed importanti perdite economiche.

Per la sua reattività attacca ed infragilisce anche le gomme naturali e artificiali. I tessuti vengono indeboliti ed i colori perdono la loro brillantezza; le fibre di cellulosa sono molto sensibili all'ossidazione, pertanto vengono particolarmente attaccati i capi in cotone e derivati cellulosici.

L'ozono produce anche dei danni alle vernici, specialmente per l'azione sinergica con il biossido di zolfo.

Si deve comunque osservare che parecchi danni attribuiti all'ozono sono in

realità provocati dagli ossidanti fotochimici in genere, dei quali l'ozono è solo un rappresentante.

LEGGI E LINEE GUIDA

In attuazione della Direttiva Europea 2002/3/CE è stato varato il Decreto Legislativo n.183 del 21 maggio 2004. Questo Decreto va ad abrogare le varie norme precedenti relativamente alle prescrizioni sull'ozono e fissa:

i valori bersaglio da conseguire dal 2010;

gli obiettivi a lungo termine per la protezione della salute umana e della vegetazione;

le soglie di informazione e di allarme, rispettivamente pari a 180 microgrammi su metrocubo e 280 microgr/mc come media oraria;

i criteri per la classificazione e l'ubicazione dei punti di campionamento per la misurazione continua in siti fissi dell'ozono;

i criteri per calcolare i punti di campionamento;

i metodi per misurare i precursori dell'ozono;

gli obiettivi di qualità dei dati;

e infine i vari metodi di riferimento per l'analisi e la modellizzazione dell'ozono.

I valori indicati dall'ACGIH, American Conference of Governmental Industrial Hygienists, sono:

per il lavoro pesante, moderato o leggero, ma svolto in un arco temporale minore di 2 ore il TLV-TWA è posto a 0,2 ppm, pari a 0,4 mg/mc;

per il lavoro leggero il TLV-TWA è posto a 0,1 ppm, pari a 0,2 mg/mc;

per il lavoro moderato il TLV-TWA è posto a 0,08 ppm, pari a 0,16 mg/mc;

per il lavoro pesante il TLV-TWA è posto a 0,05 ppm, pari a 0,1 mg/mc;

1.4.5 PARTICOLATO

CARATTERISTICHE

Spesso il particolato rappresenta l'inquinante a maggiore impatto ambientale nelle aree urbane, tanto da indurre le autorità competenti a disporre dei blocchi del traffico per ridurre il fenomeno.

Le particelle sospese sono sostanze allo stato solido o liquido che, a causa delle loro piccole dimensioni, restano sospese in atmosfera per tempi più o meno lunghi; le polveri totali sospese o **PTS** vengono anche indicate come **PM** (Particulate Matter).

Il particolato nell'aria può essere costituito da diverse sostanze: sabbia, ceneri, polveri, fuliggine, sostanze silicee di varia natura, sostanze vegetali, composti metallici, fibre tessili naturali e artificiali, sali, elementi come il carbonio o il piombo, ecc.

In base alla natura e alle dimensioni delle particelle possiamo distinguere:

- gli **aerosol**, costituiti da particelle solide o liquide sospese in aria e con un diametro inferiore a 1 micron (1 μm);
- le **foschie**, date da goccioline con diametro inferiore a 2 micron;
- le **esalazioni**, costituite da particelle solide con diametro inferiore ad 1 micron e rilasciate solitamente da processi chimici e metallurgici;
- il **fumo**, dato da particelle solide di solito con diametro inferiore ai 2 μm e trasportate da miscele di gas;
- le **polveri** (vere e proprie), costituite da particelle solide con diametro fra 0,25 e 500 micron;
- le **sabbie**, date da particelle solide con diametro superiore ai 500 μm .

Le **particelle primarie** sono quelle che vengono emesse come tali dalle sorgenti naturali ed antropiche, mentre le **secondarie** si originano da una serie di reazioni

chimiche e fisiche in atmosfera. Le **particelle fini** sono quelle che hanno un diametro inferiore a 2,5 μm , le altre sono dette **grossolane**. Da notare che il particolato grossolano è costituito esclusivamente da particelle primarie.

Le polveri **PM10** rappresentano il particolato che ha un diametro inferiore a 10 micron, mentre le **PM2,5**, che costituiscono circa il 60% delle PM10, rappresentano il particolato che ha un diametro inferiore a 2,5 micron.

Vengono dette **polveri inalabili** quelle in grado di penetrare nel tratto superiore dell'apparato respiratorio (dal naso alla laringe).

Le **polveri toraciche** sono quelle in grado di raggiungere i polmoni.

Le **polveri respirabili** possono invece penetrare nel tratto inferiore dell'apparato respiratorio (dalla trachea fino agli alveoli polmonari).

FONTI INQUINANTI

Le polveri si originano sia da fonti naturali che antropogeniche. Le polveri fini derivano principalmente da processi di combustione (particolato primario cioè prodotto direttamente) e da prodotti di reazione dei gas (particolato secondario); la frazione grossolana delle polveri si origina in genere da processi meccanici (solo p. primario).

Le principali **fonti naturali** di particolato primario sono le eruzioni vulcaniche, gli incendi boschivi, l'erosione e la disgregazione delle rocce, le piante (pollini e residui vegetali), le spore, lo spray marino e i resti degli insetti.

Il particolato naturale secondario è costituito da particelle fini che si originano in seguito alla ossidazione di varie sostanze quali: il biossido di zolfo e l'acido solfidrico emessi dagli incendi e dai vulcani; gli ossidi di azoto liberati dai terreni; i terpeni (idrocarburi) emessi dalla vegetazione.

Il particolato primario di **origine antropica** è invece dovuto: all'utilizzo dei combustibili fossili (riscaldamento domestico, centrali termoelettriche, ecc.); alle emissioni degli autoveicoli; all'usura dei pneumatici, dei freni e del manto stradale; a vari processi industriali (fonderie, miniere, cementifici, ecc.). Da segnalare anche le grandi quantità di polveri che si possono originare in seguito a varie attività agricole.

Le polveri secondarie antropogeniche sono invece dovute essenzialmente all'ossidazione degli idrocarburi e degli ossidi di zolfo e di azoto emessi dalle varie attività umane.



La foto mostra un' eruzione dell'Etna ripresa dal satellite. Come si può vedere l'emissione di gas e polveri è veramente significativa.

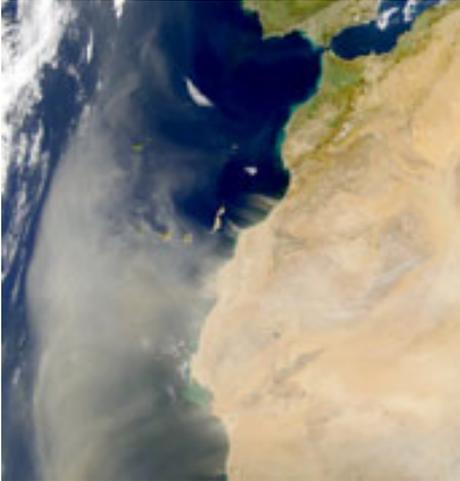
DIFFUSIONE

Si stima che ogni giorno vengano immesse nell'aria circa 10 milioni di tonnellate di particolato; di queste il 94% è di origine naturale (nella foto a lato si vedono gli effetti di un'enorme tempesta di sabbia nel deserto del Sahara). La concentrazione nell'aria di queste particelle viene comunque limitata dalla naturale tendenza alla deposizione per effetto della gravità e dall'azione delle nubi o delle piogge (rimozione umida). Nell'aria pulita in genere la

concentrazione di questo inquinante è dell'ordine di 1-1,5 µg/mc.

Oltre che dalla natura dei venti e dalle precipitazioni la permanenza in atmosfera è fortemente condizionata dalle dimensioni delle particelle. Quelle che hanno un diametro superiore a 50 micrometri sono visibili nell'aria e sedimentano piuttosto velocemente causando fenomeni di inquinamento su scala molto ristretta. Le più piccole possono rimanere in sospensione per molto tempo; alla fine gli urti casuali e la reciproca attrazione le fanno collidere e riunire assieme, in questo modo raggiungono delle dimensioni tali da acquistare una velocità di caduta sufficiente a farle depositare al suolo. Le polveri PM10 possono rimanere in sospensione per 12 ore circa, mentre le particelle con un diametro inferiore ad 1 µm fluttuano nell'aria anche per 1 mese.

Il particolato emesso dai camini di altezza elevata può essere trasportato dagli agenti atmosferici anche a grandi distanze. Per questo motivo parte dell'inquinamento di fondo riscontrato in una determinata città può provenire da un'industria situata a diversi Km dal centro urbano. Nei centri urbani l'inquinamento da polveri fini (che sono le più pericolose per la salute) è essenzialmente dovuto al traffico veicolare ed al riscaldamento domestico. Per questo motivo, quando la concentrazione di particolato nell'aria diventa troppo alta, vengono attuate delle limitazioni al traffico; in varie nazioni può anche essere imposto un limite alla temperatura del riscaldamento negli ambienti chiusi: 18°C in Germania o 20°C in Italia.



Una tempesta di sabbia nel deserto del sahara fotografata dal satellite.

EFFETTI SULL' UOMO

A prescindere dalla tossicità, le particelle che possono produrre degli effetti indesiderati sull'uomo sono sostanzialmente quelle di dimensioni più ridotte, infatti nel processo della respirazione le particelle maggiori di 15 micron vengono generalmente rimosse dal naso. Il particolato che si deposita nel tratto superiore dell'apparato respiratorio (cavità nasali, faringe e laringe) può generare vari effetti irritativi come l'infiammazione e la secchezza del naso e della gola; tutti questi fenomeni sono molto più gravi se le particelle hanno assorbito sostanze acide (come il biossido di zolfo, gli ossidi di azoto, ecc.).

Per la particolare struttura della superficie, le particelle possono anche adsorbire dall'aria sostanze chimiche cancerogene; trascinandole nei tratti respiratori e prolungandone i tempi di residenza, ne accentuano gli effetti. Le particelle più piccole penetrano nel sistema respiratorio a varie profondità e possono trascorrere lunghi periodi di tempo prima che vengano rimosse, per questo sono le più pericolose. Queste polveri aggravano le malattie respiratorie croniche come l'asma, la bronchite e l'enfisema.

Le persone più vulnerabili sono gli anziani, gli asmatici, i bambini e chi svolge

un'intensa attività fisica all'aperto, sia di tipo lavorativo che sportivo.

Nei luoghi di lavoro più soggetti all'inquinamento da particolato l'inalazione prolungata di queste particelle può provocare reazioni fibrose croniche e necrosi dei tessuti che comportano una broncopolmonite cronica accompagnata spesso da enfisema polmonare.

EFFETTI SULL' AMBIENTE

Gli effetti del particolato sul clima e sui materiali sono piuttosto evidenti.

Il particolato dei fumi e delle esalazioni provoca una diminuzione della visibilità atmosferica; allo stesso tempo diminuisce anche la luminosità assorbendo o riflettendo la luce solare. Negli ultimi 50 anni si è notata una diminuzione della visibilità del 50%, ed il fenomeno risulta tanto più grave quanto più ci si avvicina alle grandi aree abitative ed industriali. Le polveri sospese favoriscono la formazione di nebbie e nuvole, costituendo i nuclei di condensazione attorno ai quali si condensano le gocce d'acqua. Di conseguenza favoriscono il verificarsi dei fenomeni delle nebbie e delle piogge acide, che comportano effetti di erosione e corrosione dei materiali e dei metalli.

Il particolato inoltre danneggia i circuiti elettrici ed elettronici, insudicia gli edifici e le opere d'arte e riduce la durata dei tessuti. Le polveri (ad esempio quelle emesse dai cementifici), possono depositarsi sulle foglie delle piante e formare così una patina opaca che, schermando la luce, ostacola il processo della fotosintesi.

Gli effetti del particolato sul clima della terra sono invece piuttosto discussi. Sicuramente un aumento del particolato in atmosfera comporta una diminuzione della temperatura terrestre per un effetto di riflessione e schermatura della luce solare, in ogni caso tale azione è comunque mitigata dal fatto che le particelle riflettono anche le radiazioni infrarosse provenienti dalla terra. E' stato

comunque dimostrato che negli anni immediatamente successivi alle più grandi eruzioni vulcaniche di tipo esplosivo (caratterizzate dalla emissione in atmosfera di un'enorme quantità di particolato) sono seguiti degli anni con inverni particolarmente rigidi. Alcune ricerche affermano che un aumento di 4 volte della concentrazione del particolato in atmosfera comporterebbe una diminuzione della temperatura globale della terra pari a 3,5°C.

LEGGI E LINEE GUIDA

Il Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri del 28 marzo 1983 fissa i valori limite per le particelle sospese:

la media aritmetica delle concentrazioni medie nelle 24 ore rilevate nell'arco di un anno ha il valore limite pari a 150 µg/mc;

il 95° percentile delle concentrazioni medie nelle 24 ore rilevate nell'arco di un anno ha il valore limite pari a 300 µg/mc.

Il DPR n. 203 del 24 maggio 1988 prevede dei valori guida per le particelle sospese:

la media aritmetica delle concentrazioni medie nelle 24 ore rilevate nell'arco di 1 anno ha il valore guida di 40-60 FN equiv/mc;

il valore medio nelle 24 ore ha il valore guida di 100-150 FN equiv/mc.

Il Decreto Ministeriale del 25/11/94 fissa il livello di attenzione ed il livello di allarme per quanto riguarda le particelle sospese totali nelle aree urbane:

considerando la media delle medie orarie rilevate nell'arco di 24 ore il livello di attenzione è fissato in 150 µg/mc, mentre il livello di allarme è posto a 300 µg/mc.

Il DM 25/11/94 prevede anche il monitoraggio della frazione respirabile delle polveri sospese (PM10), prefissando come obiettivo di qualità il valore di 40

$\mu\text{g}/\text{mc}$ (da raggiungere a partire dal primo gennaio 1999).

Il DM 21/04/99 individua i criteri ambientali e sanitari in base ai quali i Sindaci possono limitare la circolazione degli autoveicoli per migliorare la qualità dell'aria nelle aree urbane.

Il Decreto Ministeriale n.60 del 02-04-2002 va ad abrogare in parte le leggi precedenti. Emanato per ottemperare alle Direttive Europee, pone come valore limite giornaliero per il PM10 $50 \mu\text{g}/\text{mc}$ (da raggiungere entro il 2005), come limite annuale $40 \mu\text{g}/\text{mc}$ (anche questo da raggiungere entro il 2005).

NB: I livelli di attenzione sono definiti come le concentrazioni di inquinanti atmosferici che determinano lo stato di attenzione, cioè una situazione di inquinamento atmosferico che, se persistente, determina il rischio di raggiungere lo stato d'allarme. Lo stato di allarme è definito come uno stato suscettibile di determinare una condizione di rischio ambientale e sanitario. Gli stati di attenzione o di allarme si raggiungono quando, al termine di un ciclo di monitoraggio, si rileva il superamento, per uno o più inquinanti, del livello di attenzione o di allarme. Quando questi livelli vengono raggiunti scatta una serie di provvedimenti finalizzata alla difesa della popolazione da eventuali esposizioni a rischio.

MODELLO AQMAN

Per l'analisi della concentrazione di ozono si è ricorsi all'utilizzo di AQMAN program, che è stato sviluppato e messo a punto dal CAIT (Center for Advanced Infrastructure Technology). Questo programma prevede la determinazione della concentrazione di inquinanti e il relativo AQI (Air Quality Index).

La metodologia è stata validata ed implementata nella zona rurale del Nord Mississippi.

Il programma è suddiviso in 5 categorie di dati d'ingresso:

- Dati climatici
- Dati di traffico
- Emissioni veicolari
- Punti sorgente di emissione
- Dati operazioni portuali ed aeroportuali

I *dati climatici* devono essere comprensivi dei relativi riferimenti sul nome della stazione di monitoraggio utilizzata che dovrebbe trovarsi il più vicino possibile alla zona da analizzare. È importante ricordare che i centri abitati presentano mediamente temperature più elevate rispetto alle corrispondenti aree rurali, questo fenomeno prende il nome di "HEAT-ISLAND EFFECT".

I *dati di traffico* sono considerati suddivisi in 3 zone radiali con raggi di 5, 8, 16 km con il centro posizionato sulla stazione di monitoraggio della città analizzata. Per ogni zona si inseriscono i seguenti parametri:

- Volume totale di traffico
- Velocità media delle auto
- Velocità media dei camion
- Percentuale delle auto
- Percentuale dei camion

La somma delle percentuali per ogni zona di macchine e camion deve essere pari al 100%.

Per quanto riguarda le *emissioni veicolari* inserendo nel programma il valore della distanza media giornaliera percorsa da un utente (calcolata mediando la distanza radiale tra il centro città e i suoi confini in ogni direzione e poi moltiplicando tale valore per 2) è possibile stimare direttamente il valore del VOC e dell'NO_x prodotto dalle emissioni veicolari.

I dati riguardanti i *punti sorgente di emissione* sono suddivisi in 3 zone radiali rispettivamente di 8, 16, 32 km; per ogni zona si devono fornire i valori giornalieri del VOC e dell'NO_x.

Anche i *dati delle operazioni portuali ed aeroportuali* sono considerati in 3 zone radiali di 8, 16, 32 km rispettivamente e in ogni zona dobbiamo inserire il numero totale di tali operazioni, il che significa considerare la fase di partenza e decollo come una operazione e la fase di approdo e atterraggio come un'altra operazione separata dalla prima.

Una volta inseriti nel sistema tutti i dati di ingresso esso ci fornisce una stima della concentrazione del livello di Ozono nell'aria.

In realtà, AQMAN è un modello statunitense, quindi tiene conto del suo parco veicolare ben diverso da quello presente in Europa ma soprattutto fa riferimento ad una organizzazione territoriale profondamente diversa.

Nello specifico il territorio americano è caratterizzato da enormi centri urbani notevolmente distanti l'uno dall'altro mentre le nostre città si presentano in dimensioni molto più ridotte ma decisamente vicine le une alle altre. Questa diversa conformazione comporta l'influenza degli inquinanti di una certa area su quella immediatamente adiacente.

Per poter tenere conto di queste e di altre differenze, il modello AQMAN è stato adattato al nostro territorio attraverso fasi successive, confrontando i dati in output con quelli rilevati localmente dalle centraline ARPAT presenti nelle nostre città.

Nel capitolo successivo andiamo a vedere nello specifico i dati di ingresso relativi alla città di Livorno.

INVENTARIO DELLE EMISSIONI NELLA CITTA' DI LIVORNO

L'inventario delle emissioni è lo strumento che consente di conoscere la pressione esercitata sull'ambiente dalle sorgenti di emissioni inquinanti in atmosfera sia determinate dalle attività umane che di origine naturale.

Per la realizzazione di un inventario è importante utilizzare una nomenclatura che permetta di individuare tutte le attività rilevanti per la valutazione delle emissioni atmosferiche. Per questo si dividono le varie attività umane in macrosettori.

MACROSETTORE 1: Combustione - Energia e industria di trasformazione

Il macrosettore riunisce le emissioni di caldaie, turbine a gas e motori stazionari e si focalizza sui processi di combustione necessari alla produzione di energia su ampia scala. I criteri da adottare nella scelta delle sorgenti da considerare in questo gruppo sono di tipo:

- qualitativo: centrali pubbliche e di cogenerazione, centrali di teleriscaldamento
- tecnologico: caldaie con potenza termica che ricade in uno dei seguenti intervalli:
 - non inferiore a 300 MW;
 - compresa tra 50 e 300 MW;
 - inferiore a 50 MW.

Le emissioni da includere in questo macrosettore sono quelle rilasciate durante un processo di combustione controllata e va tenuto conto dei processi di abbattimento primari (o durante la fase produttiva) e secondari (a valle del processo produttivo). I combustibili possono essere di tipo solido, liquido,

gassoso e, tra quelli di tipo solido, vanno inclusi le biomasse o i rifiuti qualora questi vengano adoperati come combustibile.

MACROSETTORE 2: Combustione - Non industriale

Comprende i processi di combustione analoghi a quelli del macrosettore precedente, ma non di tipo industriale. Vengono considerati, quindi, gli impianti commerciali ed istituzionali, quelli residenziali (riscaldamento e processi di combustione domestici quali camini, stufe, ecc.) e quelli agricoli stazionari (riscaldamento, turbine a gas, motori stazionari ed altro).

MACROSETTORE 3: Combustione – Industria

Comprende impianti analoghi a quelli del macrosettore 1 ma strettamente correlati all'attività industriale; pertanto vi compaiono tutti i processi che necessitano di energia prodotta in loco tramite combustione: caldaie, fornaci, prima fusione di metalli, produzione di gesso, asfalto, cemento, ecc. Bisogna prestare attenzione a non confondere ciò che va collocato in questo macrosettore con quello che, invece, va riportato all'interno del successivo: nel macrosettore 3 vanno stimate le emissioni dovute ai processi combustivi e non quelle dovute alla produzione di beni o materiali.

MACROSETTORE 4: Processi Produttivi

Comprende i processi industriali di produzione. Rispetto al macrosettore precedente, vanno considerate le emissioni specifiche di un determinato processo, ovverossia quelle legate non alla combustione, ma alla produzione di un dato bene o materiale. Si raccolgono qui le stime riguardanti le emissioni dovute ai processi di raffinazione nell'industria petrolifera, alle lavorazioni

nell'industria siderurgica, meccanica, chimica (organica ed inorganica), del legno, della produzione alimentare, ecc.

MACROSETTORE 5: Estrazione, distribuzione combustibili fossili / geotermico

Il macrosettore raggruppa le emissioni dovute ai processi di produzione, distribuzione, stoccaggio di combustibile solido, liquido e gassoso e riguarda sia le attività sul territorio che quelle off-shore. Comprende, inoltre, anche le emissioni dovute ai processi geotermici di estrazione dell'energia.

MACROSETTORE 6: Uso di solventi

Comprende tutte le attività che coinvolgono l'uso di prodotti a base di solvente o comunque contenenti solventi. Da un lato, quindi, va inclusa la produzione quale fabbricazione di prodotti farmaceutici, vernici, colle, ecc., soffiatura di plastiche ed asfalto, industrie della stampa e della fotografia, dall'altro vanno stimate anche le emissioni dovute all'uso di tali prodotti e quindi dalle operazioni di verniciatura (sia industriale che non), a quelle di sgrassaggio, dalla produzione di fibre artificiali fino ad arrivare all'uso domestico che si fa di tali prodotti.

MACROSETTORE 7: Trasporti Stradali

Il macrosettore include i settori: automobili, veicoli leggeri, veicoli pesanti, motocicli - tutti suddivisi ulteriormente, in base alla tipologia del percorso, nelle attività autostrade, strade extra urbane, strade urbane -, ciclomotori, evaporazione di benzina, usura di freni e pneumatici

MACROSETTORE 8: Altre Sorgenti Mobili

Include il trasporto ferroviario, la navigazione interna, i mezzi militari, il traffico marittimo, quello aereo e le sorgenti mobili a combustione interna non su strada, come ad esempio mezzi agricoli, forestali (seghe, apparecchi di potatura, ecc.), quelli legati alle attività di giardinaggio (falciatrici, ecc.) ed i mezzi industriali (ruspe, caterpillar, ecc.).

MACROSETTORE 9: Trattamento e Smaltimento Rifiuti

Comprende le attività di incenerimento, spargimento, interrimento di rifiuti, ma anche gli aspetti ad essi collaterali come il trattamento delle acque reflue, il compostaggio, la produzione di biogas, lo spargimento di fanghi, ecc. Inoltre fanno capo a questo macrosettore l'incenerimento di rifiuti agricoli (ma non di sterpaglie sui campi, che vengono considerate nel macrosettore successivo) e la cremazione di cadaveri.

MACROSETTORE 10: Agricoltura

Comprende le emissioni dovute alle attività agricole (con e senza fertilizzanti e/o antiparassitari, pesticidi, diserbanti) ed all'incenerimento di residui effettuato in loco; fanno parte del macrosettore anche le attività di allevamento (fermentazione enterica, produzione di composti organici) e di produzione vivaistica.

MACROSETTORE 11: Altre sorgenti di Emissione ed Assorbimenti

Spesso indicato con il nome "Natura", il macrosettore comprende tutte quelle attività non antropiche che generano emissioni (attività fitologica di piante, arbusti ed erba, fulmini, emissioni spontanee di gas, emissioni dal suolo,

vulcani, combustione naturale, ecc.) e quelle attività gestite dall'uomo che ad esse si ricollegano (foreste gestite, piantumazioni, ripopolamenti, combustione dolosa di boschi).

3.1 MONITORAGGIO

Nella definizione più semplice del termine, si può definire il monitoraggio diretto dei composti aerodispersi come la rilevazione sistematica della loro presenza nell'aria, nell'ambito di una procedura stabilita a priori e che si basa su misurazioni ripetute con una frequenza appropriata.

Il monitoraggio, di per sé, non ha molto significato se non viene abbinato ad un'azione di controllo, intesa come una valutazione dei dati ottenuti al fine di confrontarli con una situazione di riferimento per identificare eventuali situazioni di pericolo o irregolarità.

E' anche vero che il monitoraggio può essere eseguito sia per valutare la conformità alle prescrizioni di legge che per motivi di studio allo scopo di realizzare dei rapporti ambientali o delle ricerche scientifiche; il fine ultimo è comunque la tutela dell'individuo, della popolazione e dell'ambiente. Inoltre, specialmente in ambito industriale, spesso conviene abbinare i monitoraggi alla verifica della funzionalità delle strutture più inquinanti al fine di predisporre un loro miglioramento ottimizzandone il rendimento, in questo modo si riesce ad avere anche una maggiore efficacia nei controlli. In effetti c'è sempre una maggiore collaborazione fra le parti se si abbina il monitoraggio ad un processo di ottimizzazione produttiva e quindi ad eventuali vantaggi economici.

In genere le responsabilità dei monitoraggi vengono attribuite alle autorità competenti, ma soprattutto nel caso degli impianti industriali, ci si affida molto all'autocontrollo dei gestori degli impianti che possono anche affidare il lavoro a terzi.

La scelta degli agenti aerodispersi da monitorare è essenzialmente legata alle probabilità che si superino le concentrazioni che possano arrecare danni alla salute o all'ambiente. In questo senso è opportuno valutare le condizioni meteorologiche, il periodo dell'anno, le fonti inquinanti, le condizioni ambientali, la dislocazione dell'area dove si deve operare, i flussi d'aria, ecc. In effetti le possibili variabili sono molte e quasi tutte incidono anche sui tempi di misura e sulle frequenze di campionamento.

Una volta pianificato il tutto si inizia l'attività vera e propria di monitoraggio. I dati ottenuti vengono quindi validati, cioè esaminati per vedere se effettivamente possono essere rappresentativi della situazione esaminata. Una volta elaborati, accertata l'affidabilità dei risultati e la loro confrontabilità con dei risultati ottenuti con analoghe indagini, si procede alla stesura della relazione valutativa.

A seconda del loro utilizzo, i dispositivi utilizzati in un monitoraggio diretto possono essere suddivisi essenzialmente in 4 categorie: personali, portatili, trasportabili o fissi.

I dispositivi **personali** vengono posti fisicamente su di una persona e devono necessariamente essere molto leggeri e poco ingombranti. Servono a monitorare l'aria nella zona della respirazione e permettono così di valutare l'esposizione personale ad una determinata sostanza inquinante.

Solitamente vengono utilizzati per rilevare le sostanze tossiche, ma in alcuni casi sono impiegati anche per monitorare l'esposizione a gas infiammabili o asfissianti. Alcuni strumenti possono essere dotati di vari canali di misura allo

scopo di monitorare contemporaneamente più composti chimici, in questo caso i dispositivi si possono dimostrare molto utili se il personale deve spostarsi molto all'interno di un sito e può essere esposto a più sostanze chimiche diverse.

I dispositivi **portatili** sono degli strumenti realizzati per essere facilmente trasportati da un posto ad un altro e possono essere utilizzati anche durante il trasporto. In genere funzionano a batterie, oppure sono predisposti per utilizzarle e si impiegano per fare dei monitoraggi continui oppure ad intervalli periodici.

Questi dispositivi rappresentano la maggioranza in commercio e sono disponibili in un'ampia gamma di misure, forme e specifiche tecniche. Hanno la caratteristica di essere molto versatili e possono essere utilizzati per individuare delle perdite di gas, per fare rilevamenti occasionali o per monitoraggi d'area.

Con il termine strumenti **trasportabili** vengono indicati tutti quei dispositivi che possono essere spostati rapidamente da un posto ad un altro, ma che non sono stati costruiti per essere portatili; per questo motivo, non possono essere utilizzati durante uno spostamento. I dispositivi trasportabili sono adatti per la dislocazione temporanea in aree dove ci può essere il rischio contingente di un'esposizione ad un gas, magari a causa della natura del lavoro che si sta eseguendo. In genere questi strumenti trasportabili non possono essere spostati più di una volta al giorno, per cui a seconda delle necessità, al loro utilizzo si preferisce l'impiego dei dispositivi portatili o di quelli fissi.

La strumentazione **fissa** è costituita da parti tutte permanentemente installate e viene impiegata quasi sempre nell'ambito delle applicazioni industriali, anche se negli ultimi anni molti dispositivi fissi hanno ottenuto un notevole successo nel campo del monitoraggio della qualità dell'aria ambiente. I dati presi in

considerazione in questa tesi sono appunto rilevati dalle centraline fisse presenti nella città di Livorno.

Stazione		SO ₂ µg/m ³ (media su 24h)	NO ₂ µg/m ³ (max oraria)	CO mg/m ³ (max oraria)	O ₃ µg/m ³ (max oraria)	PM ₁₀ µg/m ³ (media su 24h)	PTS µg/m ³ (media su 24h)
Livorno	Gabbro	---	---	---	SI	---	---
Livorno	V.le Carducci	SI	SI	SI	---	SI	---
Livorno	P.za Mazzini	---	SI	SI	---	---	---
Livorno	P.za Cappiello	SI	SI	---	SI	---	---
Livorno	V. Gobetti	---	SI	SI	---	SI	---
Livorno	V. Rossi	---	SI	---	SI	---	---
Livorno	Villa Maurogordato	---	SI	SI	SI	SI	---
Rosignano	V. Costituzione	---	SI	SI	---	---	---
Rosignano	Via Veneto	SI	SI	---	---	SI	---
Rosignano	V. Rossa	SI	SI	---	SI	---	---
Piombino	V.le Unità d'Italia	---	SI	SI	---	---	SI
Piombino	Cotone	---	SI	SI	---	SI	---

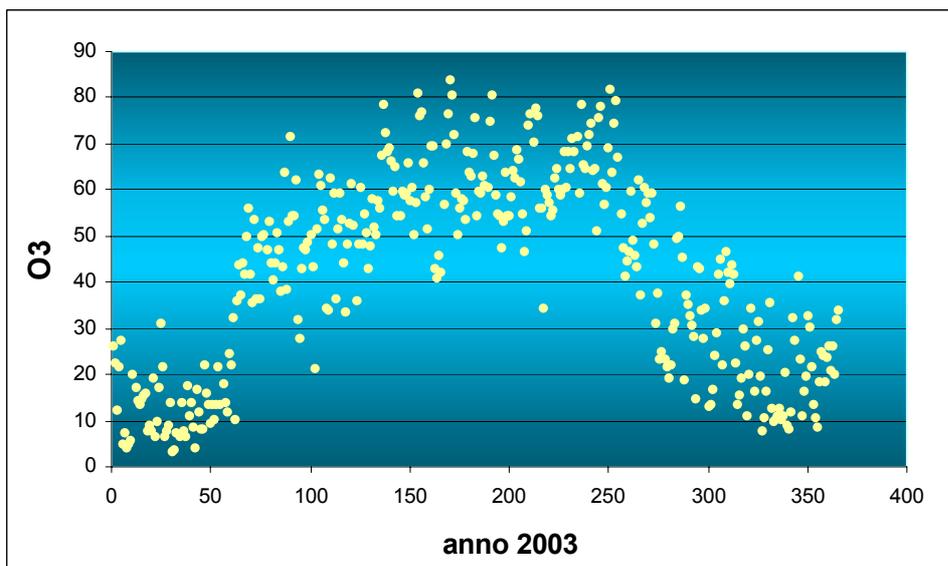
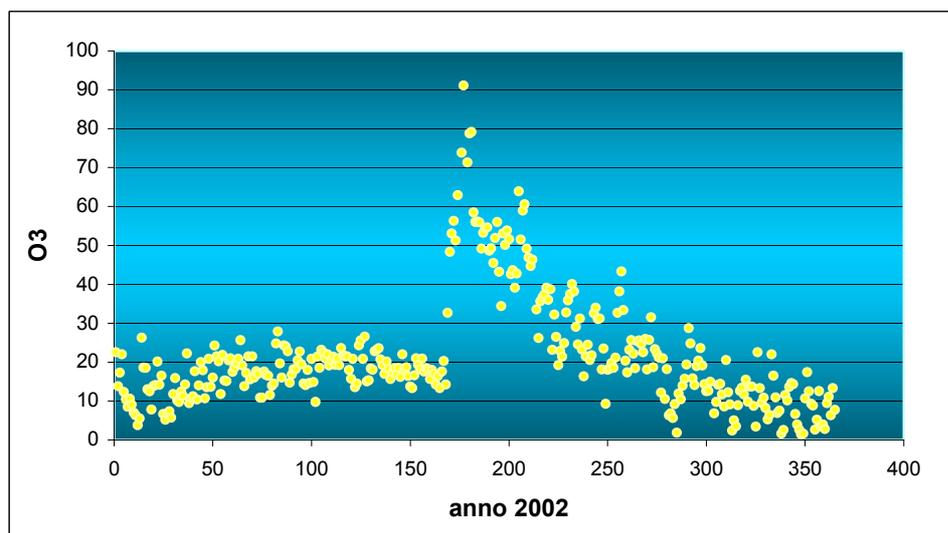
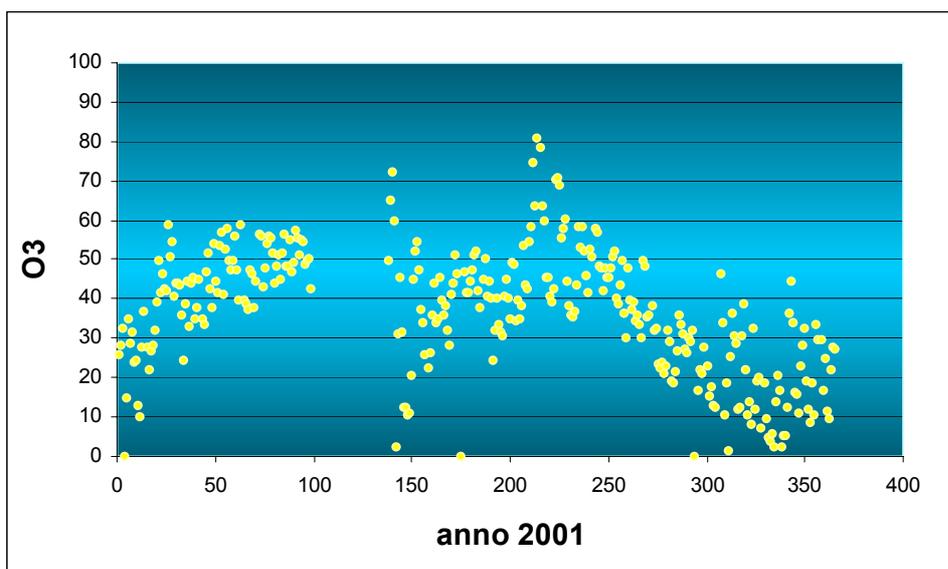
Giudizio di qualità	SO ₂ µg/m ³ (media su 24h)	NO ₂ µg/m ³ (max oraria)	CO mg/m ³ (max oraria)	O ₃ µg/m ³ (max oraria)	PM ₁₀ µg/m ³ (media su 24h)	PTS µg/m ³ (media su 24h)
Buona	0-50	0-50	0-2,5	0-120	0-25	0-50
Accettabile	51-125	51-200	2,6-15	121-180	26-49	51-150
Scadente	126-250	201-400	15,1-30	181-240	50-74	151-300
Pessima	>250	>400	>30	>240	>74	>300

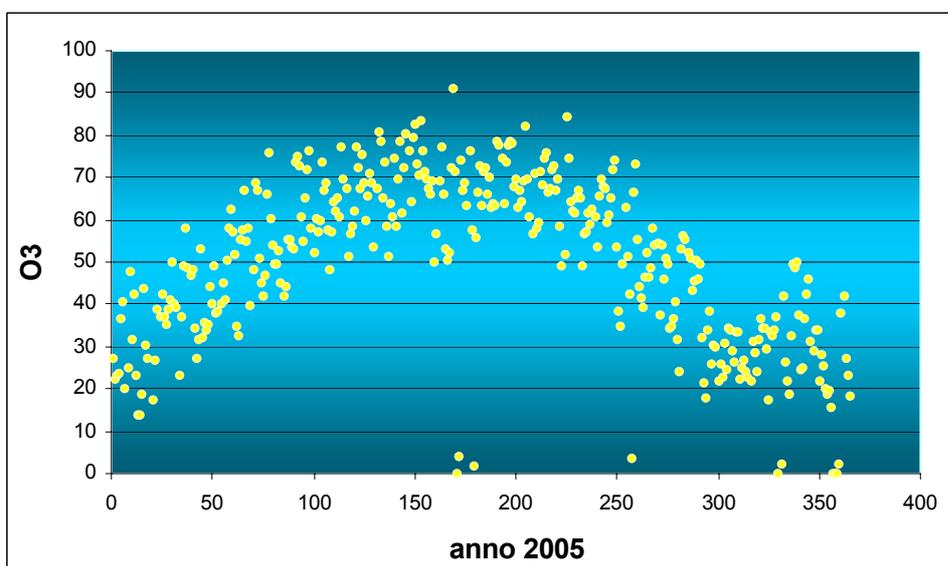
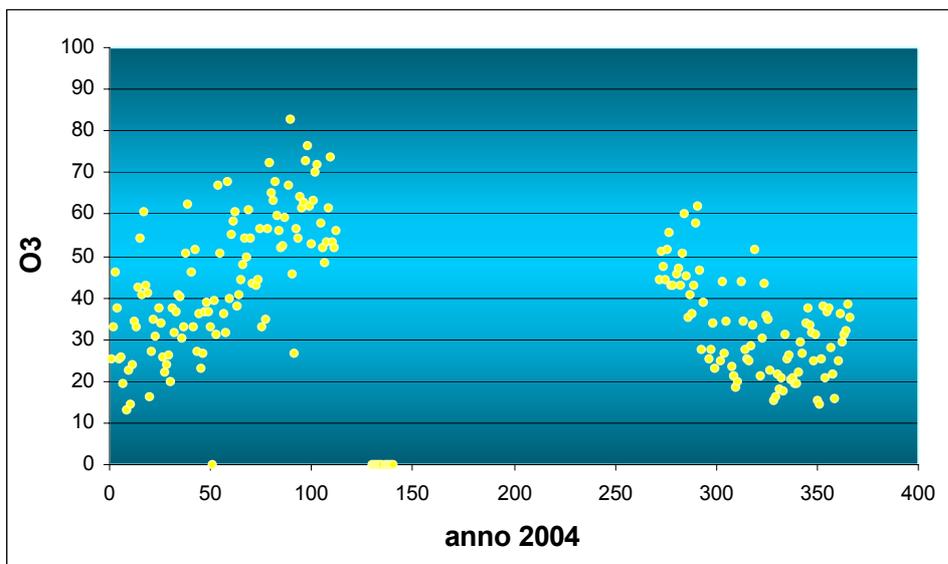
La tabella evidenzia che le centraline rilevano solo alcuni inquinanti e non tutti quelli presenti nella troposfera. Visto che il nostro studio è principalmente riferito alle emissioni di Ozono, i dati di nostro interesse ci sono forniti da quattro rilevatori: P.za Cappiello, Via Rossi, Villa Maurogordato, Gabbro.

Nello specifico abbiamo preso in considerazione i valori della Centralina di Via Rossi, situata in pieno centro, integrandoli con quelli di p.za Cappello la dove mancavano i monitoraggi. Le altre due stazioni situate in periferia sono state ovviamente omesse.

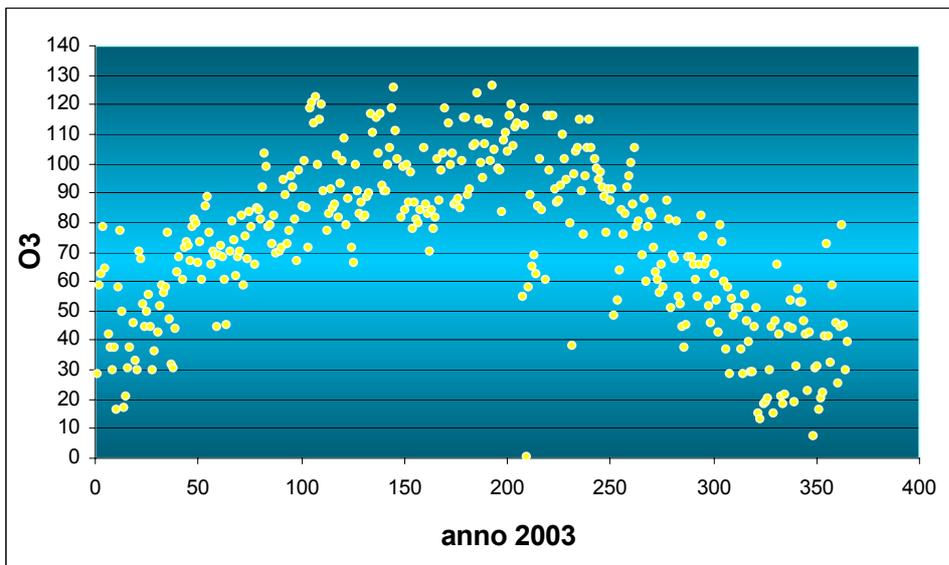
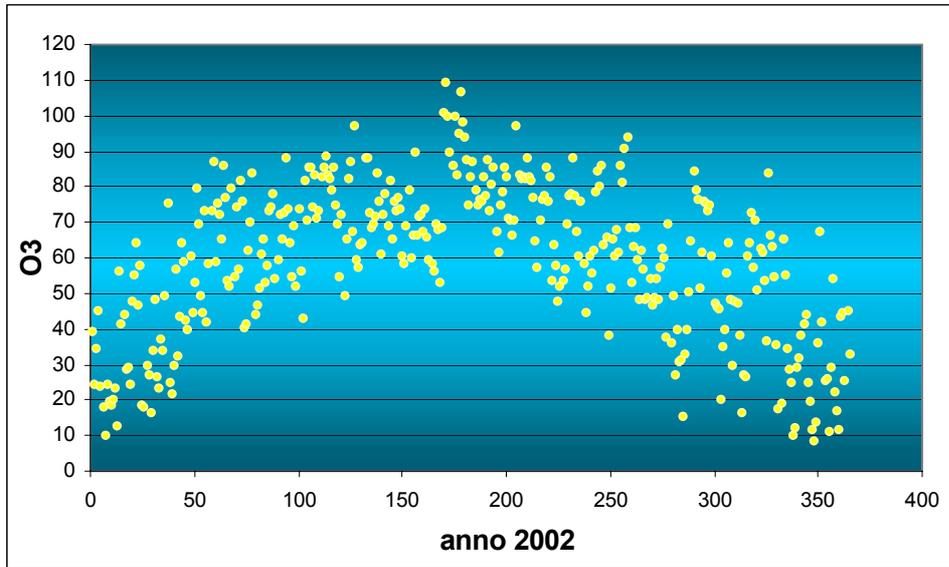
Di seguito sono riportati i monitoraggi di Ozono negli anni presi in considerazione dal nostro studio.

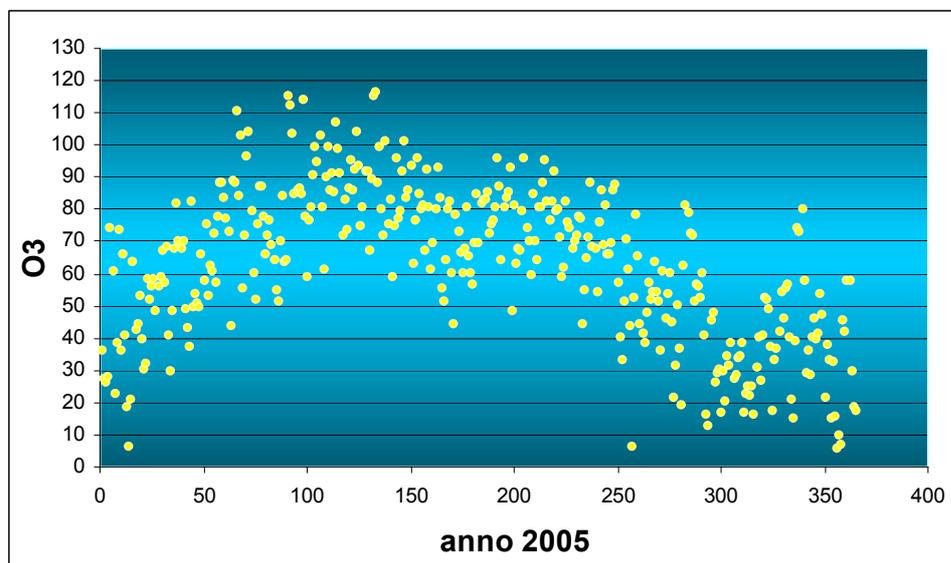
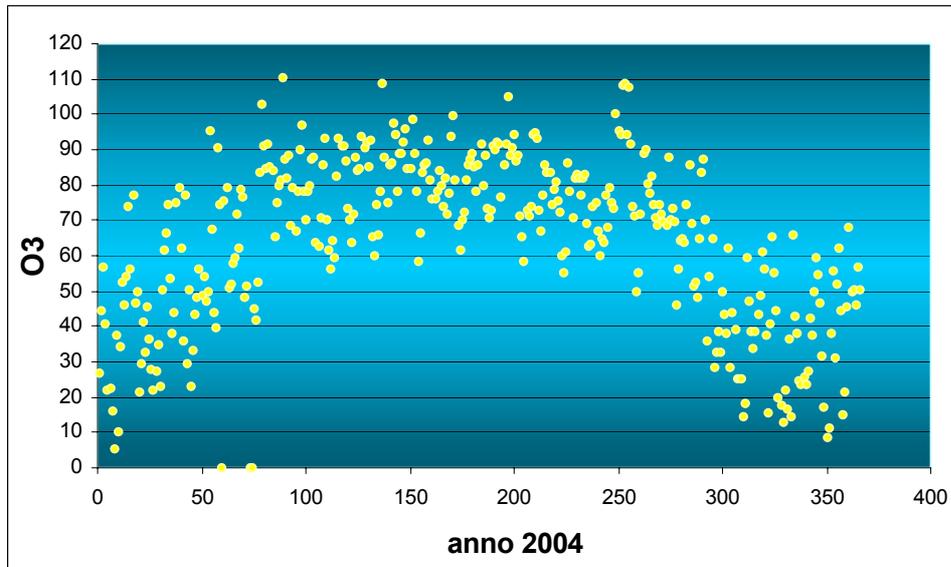
CENTRALINA VIA ROSSI





CENTRALINA P.ZA CAPPIELLO





Osservando con attenzione i grafici e soprattutto confrontando i dati rilevati nelle due centraline emerge un aspetto importante: contrariamente al pensiero comune la concentrazione di Ozono risulta più alta in P.za Cappelletto, situata in una zona residenziale, piuttosto che in Via Rossi, dove circola la maggior parte del traffico cittadino. La spiegazione a ciò è piuttosto semplice, l' Ozono è un inquinante secondario, che si forma dopo reazioni con altre componenti dell' aria, ed è quindi evidente che tenderà ad essere presente più lontano dalle fonti di inquinamento.

Ciò che invece accomuna tutti i grafici è l' andamento parabolico che evidenzia un aumento della concentrazione di Ozono nei giorni centrali dell' anno.

Questo dimostra la stretta relazione dell' inquinante con i dati metereologici ed in special modo con la temperatura.

3.2 METEOROLOGIA

La concentrazione degli inquinanti nell'aria è determinata da diversi fattori:
dalla quantità dei contaminanti presenti nelle emissioni;
dal numero e dal concentramento delle sorgenti inquinanti;
dalla distanza dai punti di emissione;
dalle trasformazioni chimico-fisiche alle quali sono sottoposte le sostanze emesse;
dalla eventuale velocità di ricaduta al suolo;
dalla situazione morfologica delle aree interessate all'inquinamento;
dalle condizioni meteorologiche locali e su grande scala.

Su scala locale il fattore che più influenza il trasporto e la diffusione atmosferica degli inquinanti è l'intensità del vento; inoltre un ruolo notevole è svolto dalle precipitazioni atmosferiche che contribuiscono letteralmente a dilavare l'aria dai contaminanti presenti.

Di solito le zone più soggette ai fenomeni di inquinamento sono le zone urbane ed industriali, soprattutto se si trovano in aree dove sono presenti dei naturali impedimenti alla circolazione dell'aria: ad esempio le valli chiuse da montagne, che presentano sempre problemi di ristagno per la ridotta ventilazione atmosferica; oppure allo stesso modo le aree localizzate in avvallamenti o depressioni del terreno.

Altri fattori che rivestono una notevole importanza negli episodi di inquinamento acuto sono l'intensità della luce solare e l'alta temperatura, in determinate condizioni possono portare al manifestarsi dello smog fotochimico. In genere le concentrazioni dei contaminanti dell'aria sono minori quando il vento è almeno moderato e l'atmosfera è instabile nei bassi strati. Al contrario, le concentrazioni degli inquinanti sono elevate in presenza di nebbia persistente

oppure in assenza di vento o quando si è in presenza di inversioni termiche.

Le **inversioni termiche** sono dei fenomeni atmosferici che impediscono il normale rimescolamento delle masse d'aria: in genere, la temperatura dell'aria decresce man mano che aumenta l'altezza (circa 7°C per Km) e questo fa sì che le masse d'aria più calde, essendo meno dense, salgano e prendano il posto dell'aria più fredda che scende. Dato che quest'aria calda è anche quella più inquinata perché si trova nella zona delle maggiori emissioni inquinanti, ne risulta un rimescolamento dei vari strati della troposfera che porta ad una diminuzione della concentrazione dei contaminanti atmosferici. In alcuni casi, però, si possono formare degli strati d'aria più calda a qualche decina o centinaia di metri d'altezza (inversione termica) per cui lo strato sottostante non sale e ristagna al suolo; il tutto comporta inevitabili processi di accumulo delle sostanze inquinanti. Le inversioni termiche si formano solitamente nelle notti limpide subito dopo il tramonto, a causa del rapido raffreddamento del terreno (che a sua volta provoca un rapido raffreddamento dell'aria con cui è a contatto). Questo fenomeno è detto inversione termica di tipo radiativo e in genere termina col riscaldamento mattutino della superficie terrestre; se questo non avviene gli inquinanti si possono accumulare anche per più giorni consecutivi, con tutti i problemi che ciò comporta.

Considerando l'influenza che le condizioni climatiche hanno sulla concentrazione di inquinanti nell'aria dobbiamo tener conto dei seguenti fattori:

- temperatura media (°C)
- temperatura massima (°C)
- temperatura minima (°C)
- temperatura massima-temperatura minima (°C)

- velocità media del vento (m/sec)
- velocità massima del vento (m/sec)
- velocità minima del vento (m/sec)
- direzione media del vento (gradi)
- precipitazione totale (inches)
- copertura del cielo
- radiazione solare (Langlay/day)

Il materiale c'è stato fornito dall' azienda ARSIA Agenzia Regionale per lo Sviluppo e l' Innovazione nel settore Agricolo- forestale.

Nelle pagine seguenti sono allegati i fattori climatici così come sono stati utilizzati nel Modello. Ovviamente per problemi di spazio vengono riportati soltanto i valori ogni 15 giorni.

ANNO 2001

Date	Air Temperature, °C				Wind Speed, m/s			Avg Wind	Total	Cloud	Solar
	Avg	Max	Min	Max-	Avg	Max	Min	Direction,	Precipit.	Cover	Radiation,
	Temp.	Temp.	Temp.	Min	Speed	Speed	Speed	degree	inches		Lang/day
1/1/01	5,93	9,74	2,97	6,77	1,54	2,91	0,46	104	0,0	2	97
1/15/01	0,23	2,78	-1,08	3,87	3,14	3,88	1,91	52	0,0	2	52
2/1/01	9,48	12,42	8,29	4,13	2,40	3,56	1,84	298	0,0	2	103
2/15/01	7,77	10,06	5,80	4,26	0,89	1,28	0,00	147	0,0	2	158
3/1/01	3,57	3,96	3,31	0,64	2,29	4,36	0,91	340	0,0	1	94
3/15/01	11,82	17,25	8,43	8,82	1,22	3,13	0,00	0	0,0	2	157
4/1/01	12,93	18,01	9,05	8,96	1,95	2,80	1,04	105	0,0	2	243
4/15/01	7,32	12,34	1,97	10,38	1,36	2,14	0,62	117	0,0	2	141
5/1/01	17,56	23,67	13,50	10,16	1,51	2,12	1,03	124	0,0	2	284
5/15/01	16,29	19,26	14,60	4,66	1,04	2,86	0,00	77	0,0	1	133
6/1/01	21,43	25,54	17,85	7,69	0,11	0,45	0,00	31	0,0	2	329
6/15/01	21,19	27,41	15,89	11,52	0,42	1,54	0,00	138	0,0	2	358
7/1/01	24,55	29,09	20,07	9,02	1,94	3,06	1,19	241	0,0	2	312
7/15/01	24,56	31,62	19,90	11,72	2,06	4,04	0,80	137	0,0	2	292
8/1/01	27,35	33,50	21,87	11,63	2,32	4,24	0,46	257	0,0	2	323
8/15/01	25,41	31,98	20,23	11,75	1,93	3,10	0,59	236	0,0	2	307
9/1/01	19,13	23,00	14,81	8,19	3,03	5,75	0,77	223	0,1	1	167
9/15/01	14,21	20,00	10,84	9,16	2,93	5,34	1,20	156	0,0	2	260
10/1/01	17,76	21,88	14,79	7,09	1,22	2,39	0,35	283	0,0	1	132
10/15/01	18,75	23,72	16,29	7,43	1,37	2,69	0,53	189	0,0	2	132
11/1/01	15,89	16,23	15,51	0,72	1,33	1,74	0,93	170	1,2	0	32
11/15/01	6,78	8,45	5,85	2,60	5,98	7,16	4,83	45	0,0	2	72
12/1/01	9,22	11,75	7,24	4,51	3,90	5,37	2,09	50	0,0	2	88
12/31/01	5,88	10,34	1,85	8,49	3,60	6,45	2,00	139	0,0	2	25

ANNO 2002

Date	Air Temperature, °C				Wind Speed, m/s			Avg Wind	Total	Cloud	Solar
	Avg	Max	Min	Max-	Avg	Max	Min	Direction,	Precipit.	Cover	Radiation,
	Temp.	Temp.	Temp.	Min	Speed	Speed	Speed	degree	inches		Lang/day
1/1/02	2,05	6,20	-0,52	6,72	2,15	3,21	1,24	83	0,0	2	98
1/15/02	1,89	5,97	0,22	5,75	3,04	4,64	1,40	54	0,1	1	76
2/1/02	9,48	12,42	8,29	4,13	1,27	2,11	0,64	308	0,0	2	86
2/15/02	7,77	10,06	5,80	4,26	2,48	3,88	1,47	61	0,8	0	21
3/1/02	11,03	13,45	9,12	4,33	1,79	3,49	0,00	144	0,0	2	131
3/15/02	10,85	13,76	8,95	4,81	1,15	2,21	0,00	129	0,1	1	112
4/1/02	10,34	14,89	7,12	7,77	1,64	3,21	0,62	304	0,0	2	254
4/15/02	10,84	13,59	8,62	4,98	2,86	4,48	1,05	285	0	2	216
5/1/02	15,44	21,19	11,02	10,16	1,91	3,60	0,76	126	0	2	295
5/15/02	16,76	21,92	12,53	9,39	1,39	3,01	0,00	239	0	2	313
6/1/02	21,90	28,84	16,59	12,25	1,22	2,67	0,42	190	0,0	2	309
6/15/02	22,38	27,42	17,68	9,74	1,43	2,73	0,00	282	0,0	2	318
7/1/02	23,77	27,94	19,53	8,40	3,13	3,65	2,97	186	0,0	2	220
7/15/02	18,45	22,67	16,38	6,29	1,79	3,04	0,69	107	0,7	0	140
8/1/02	22,96	27,62	19,93	7,70	1,42	2,95	0,54	162	0,2	0	265
8/15/02	20,63	24,17	17,69	6,48	1,83	3,91	0,00	295	0,0	2	301
9/1/02	21,70	26,90	18,16	8,74	2,22	4,12	0,66	139	0,0	1	250
9/15/02	18,32	22,31	14,80	7,50	1,84	3,20	0,43	203	0,0	2	234
10/1/02	15,01	20,41	10,86	9,54	2,10	3,38	1,12	172	0,0	2	228
10/15/02	16,22	19,76	13,90	5,86	1,76	3,04	0,86	138	0,0	2	137
11/1/02	14,81	17,58	12,47	5,11	2,40	3,39	1,29	56	0,0	1	91
11/15/02	16,99	18,34	15,90	2,44	4,65	7,64	2,13	136	0,0	2	22
12/1/02	7,81	8,26	7,54	0,72	2,31	2,99	1,81	34	0,0	1	118
12/15/02	8,43	9,87	6,66	3,21	2,38	3,71	0,48	64	0,4	0	45
12/31/02	9,48	11,33	7,66	3,67	2,34	4,41	0,53	93	0	0	49

ANNO 2003

Date	Air Temperature, °C				Wind Speed, m/s			Avg Wind	Total	Cloud	Solar
	Avg	Max	Min	Max-	Avg	Max	Min	Direction,	Precipit.	Cover	Radiation,
	Temp.	Temp	Temp.	Min	Speed	Speed	Speed	degree	inches		Lang/day
1/1/03	10,6	14,2	8,9	5,3	2	3	0,00	231	0	2	63
1/15/03	7,5	11,6	5,4	6,2	1	2	0,00	184	0	2	81
2/1/03	3,4	7,0	0,7	6,2	3	5	1,59	51	0	2	133
2/15/03	2,8	8,5	-0,4	9,0	3,9	5,6	0,82	60	0,0	2	154
3/1/03	10,4	13,8	9,1	4,7	1,1	1,8	0,61	211	0,2	0	112
3/15/03	4,9	9,4	2,4	7,0	2,8	4,4	1,17	78	0,0	2	169
4/1/03	13,9	19,9	10,4	9,4	2,9	4,9	1,25	145	0,0	2	270
4/15/03	13,8	18,6	10,7	7,9	3,4	5,5	2,84	49	0,0	2	279
5/1/03	17,6	23,7	13,5	10,2	1,9	3,3	1,10	185	0,0	2	275
5/15/03	16,2	22,0	11,3	10,7	2,8	3,9	1,98	127	0,0	2	285
6/1/03	20,8	25,8	16,0	9,8	1,5	3,1	0,00	263	0,0	2	271
6/15/03	24,1	28,7	20,7	8,0	1,8	3,5	0,64	269	0,0	2	265
7/1/03	25,9	32,6	21,5	11,1	2,1	4,4	0,53	177	0,0	2	288
7/15/03	23,1	23,2	22,9	0,3	1,2	2,4	0,51	50	0,0	2	261
8/1/03	27,8	30,6	23,4	7,2	2,0	3,3	1,25	146	0,0	2	258
8/15/03	26,4	30,4	23,8	6,6	1,9	2,8	1,06	211	0,0	2	357
9/1/03	21,1	24,3	17,9	6,4	1,9	3,6	0,47	227	0,0	2	94
9/15/03	18,4	23,6	14,7	8,9	2,6	3,6	1,42	48	0,0	2	223
10/1/03	19,2	21,5	17,4	4,2	2,3	3,3	1,81	94	0,0	2	56
10/15/03	13,4	16,2	10,3	5,8	5,4	6,4	4,68	48	0,0	2	156
11/1/03	13,2	16,9	10,5	6,4	4,0	9,2	0,61	148	1,4	0	11
11/15/03	10,3	13,4	8,2	5,2	3,0	4,4	1,74	58	0,1	1	69
12/1/03	11,2	12,4	9,9	2,5	2,6	4,4	1,06	54	0,0	2	102
12/15/03	9,7	13,5	6,3	7,2	2,7	3,5	1,25	195	0,0	2	108

ANNO 2004

Date	Air Temperature, °C				Wind Speed, m/s			Avg Wind	Total	Cloud	Solar
	Avg	Max	Min	Max	Avg	Max	Min	Direction,	Precipit.	Cover	Radiation,
	Temp.	Temp	Temp	Min	Speed	Speed	Speed	degree	inches		Lang/day
1/1/04	8,2	11,8	6,3	5,5	1,9	3,0	0,47	104,3913	0,0	2	103
1/15/04	10,0	11,5	8,0	3,5	5,1	8,1	2,09	283,25	0,0	2	119
2/1/04	8,0	10,1	6,5	3,5	1,3	2,4	0,92	161,625	0,0	2	12
2/15/04	9,0	11,2	7,6	3,6	1,2	2,6	0,00	307,26316	0,0	2	76
3/1/04	1,7	5,9	-0,8	6,7	2,8	3,4	2,11	44,583333	0,0	1	113
3/15/04	13,9	17,4	9,5	7,9	1,3	2,2	0,00	210,45455	0,0	2	153
4/1/04	11,8	15,9	8,6	7,3	2,6	3,5	0,88	179,25	0,0	2	218
4/15/04	10,3	12,1	8,3	3,8	1,9	2,8	1,03	104,45833	0,0	2	48
5/1/04	13,1	16,1	10,9	5,2	1,5	3,3	0,40	303,77273	0,0	2	215
5/15/04	17,2	22,0	13,7	8,3	2,3	3,4	1,73	160,16667	0,0	2	216
6/1/04	16,7	20,3	14,6	5,7	1,6	2,8	0,79	204,5	0,1	1	112
6/15/04	18,9	24,3	15,8	8,5	2,3	2,8	0,35	161,86957	0,0	2	280
7/1/04	22,9	29,4	18,3	11,0	1,1	2,2	0,55	229,55556	0,0	2	264
7/15/04	20,1	23,6	16,3	7,4	2,2	4,2	0,53	305,04348	0,0	2	292
8/1/04	23,5	28,4	19,3	9,1	1,5	2,9	0,62	292,52174	0,0	2	255
8/15/04	24,4	29,5	19,5	10,0	1,7	3,4	0,39	205,6087	0,0	2	282
9/1/04	20,8	25,4	17,1	8,3	1,8	3,4	0,87	214,66667	0,0	2	261
9/15/04	18,9	22,0	17,1	4,9	1,5	2,7	0,45	179,81818	0,0	1	105
10/1/04	17,9	22,2	15,8	6,4	1,3	2,5	0,59	146,13043	0,0	1	119
10/15/04	15,3	19,3	11,8	7,4	1,4	2,4	0,32	184,63636	0,3	0	91
11/1/04	17,1	19,0	15,8	3,2	2,1	3,2	0,69	100,79167	0,3	0	36
11/15/04	8,4	11,8	6,9	5,0	3,0	3,8	1,33	25,083333	0,0	2	99
12/1/04	7,3	9,7	5,0	4,6	3,5	6,3	2,41	46,541667	0,4	0	38
12/15/04	10,7	14,1	8,7	5,4	1,4	2,3	0,55	82,583333	0,0	2	54

ANNO 2005

Date	Air Temperature, °C				Wind Speed, m/s			Avg Wind	Total	Cloud	Solar
	Avg Temp.	Max Temp.	Min Temp	Max- Min	Avg Speed	Max Speed	Min Speed	Direction, degree	Precipit. inches	Cover	Radiation, Lang/day
1/1/05	6,59	11,69	4,25	7,43	2,37	3,77	0,98	131,16667	0,0	2	76
1/15/05	5,91	10,77	3,05	7,72	2,16	3,15	0,84	88,25	0,0	2	90
2/1/05	6,89	8,75	4,66	4,09	3,05	5,38	1,59	270,125	0,0	2	34
2/15/05	5,41	9,56	2,62	6,94	1,92	2,48	1,00	96,791667	0,0	2	152
3/1/05	2,60	1,65	5,43	7,07	2,97	4,77	1,68	38,916667	0,0	2	195
3/15/05	9,29	13,38	6,73	6,65	1,17	2,26	0,00	199,54545	0,0	2	190
4/1/05	12,34	16,83	8,58	8,25	3,18	4,12	2,11	45,958333	0,0	2	244
4/15/05	12,10	17,22	9,11	8,11	2,22	4,12	1,12	127,56522	0,0	2	276
5/1/05	18,71	24,63	14,61	10,02	1,11	2,16	0,00	190,3913	0,0	2	299
5/15/05	16,11	20,72	12,85	7,87	1,69	2,84	0,69	241,45833	0,0	2	270
6/1/05	21,07	25,66	16,76	8,91	2,10	4,10	1,14	211,83333	0,0	2	291
6/15/05	18,41	22,77	15,53	7,24	1,62	3,21	0,68	163,33333	0,2	0	200
7/1/05	25,94	32,61	21,52	11,09	3,02	4,63	1,59	243,375	0,0	2	296
7/15/05	23,14	27,82	18,77	9,05	1,89	3,73	0,61	307,95833	0,0	2	330
8/1/05	24,72	32,41	18,36	14,05	1,71	2,36	0,83	149,5	0,0	2	310
8/15/05	22,57	27,70	17,72	9,98	2,42	4,42	1,28	128,29167	0	2	298
9/1/05	24,20	29,26	20,95	8,30	2,39	3,86	0,92	153,70833	0	2	242
9/15/05	18,90	21,99	17,12	4,87	1,38	2,47	0,32	311,90476	0	2	224
10/1/05	17,94	22,16	15,80	6,36	2,24	3,95	0,30	109,95652	0	2	181
10/15/05	15,34	19,25	11,82	7,44	2,63	4,42	0,87	63,217391	0	2	161
11/1/05	16,63	18,73	15,15	3,58	1,85	3,64	0,39	140,52174	0,00786	1	65
11/15/05	11,31	13,67	9,97	3,70	3,38	4,54	0,92	58,583333	0,29082	0	42
12/1/05	5,14	9,42	2,66	6,76	2,20	3,28	1,08	41,375	0,0393	1	92
12/15/05	5,32	8,47	3,59	4,88	2,93	4,06	0,00	74	0	2	86

3.3 FLUSSI DI TRAFFICO

La città di Livorno è situata a 43°e 33' di latitudine nord, 10°18' di longitudine est, sul Mar Tirreno costa occidentale italiana.

Le distanze stradali da Livorno per alcune delle maggiori città italiane sono le seguenti: Torino 350 Km, Milano 310 Km, Genova 180 Km, Verona 310 Km, Bologna 175 Km, Firenze 95 Km, Roma 315 Km.

La principale via di collegamento sulla direttrice nord-sud è costituita dalla Strada Statale 1 Aurelia con le relative varianti. Le relazioni viarie con l'entroterra sono invece assicurate essenzialmente dalla Strada di Grande Comunicazione Firenze-Pisa-Livorno che consente anche un più agevole collegamento con Siena e Perugia.

Il sistema autostradale è rappresentato dalla A12 Genova-Sestri Levante-Livorno che grazie all'innesto nell'Autocisa all'altezza di Sarzana consente il collegamento con la A1 a Parma e quindi con la direttrice del Brennero. Altre possibilità di inserimenti nella grande rete stradale sono poi offerte dalla A11 Firenze mare.

Per quanto riguarda la linea cittadina per il calcolo dei flussi di traffico sono state considerate soltanto le arterie principali per non rischiare di conteggiare due volte gli stessi mezzi.

I flussi sulle principali strade cittadine ci sono stati forniti dai rilevamenti effettuati dal Comune di Livorno e sono raccolti nella tabella che segue.

Capitolo 3- Inventario delle emissioni

STRADA	DIREZ. 1 vei/giorno	DIREZ.2 vei/giorno	TOT. VEICOLI	%mezzi pesanti DIREZ. 1	%mezzi pesanti DIREZ. 2	TOT. AUTO	TOT. CAMION
Via Montebello	5594	7250	12844	0,41	0,62	12776	68
Via Montebello	6737	3286	10023	0,59	0,88	9954	69
Via S.Jacopo	3419	3619	7038	0,79	0,97	6976	62
Via S.Carlo	1679		1679	0,54		1670	9
Via Cecconi	4651		4651	0,45		4630	21
Piazza Mazzini	12989		12989	1,14		12841	148
Piazza Mazzini	13645		13645	3,59		13155	490
Via Grande	4342		4342	0,85		4305	37
Via Grande	5646		5646	1,26		5575	71
Via del Voltone	6693		6693	0,82		6638	55
Piazza della Repubblica	6235		6235	2,07		6106	129
Piazza della Repubblica	15969		15969	1,15		15785	184
Via De Lardarel	6932		6932	2,9		6731	201
Piazza Garibaldi	4371		4371	0,85		4334	37
Viale Avvalorati	10280		10280	0,84		10194	86
Via Cogorano	5937		5937	10,65		5305	632
Via del Porticciolo	3653		3653	0,68		3628	25
Via S.Giovanni	7685		7685	0,7		7631	54
Via Gramsci	9682	4916	14598	3,71	2,22	14130	468
Viale del Risorgimento	8785	7594	16379	1,24	1,03	16192	187
Viale del Risorgimento	6826	11692	18518	1,86	1,14	18258	260
Via S.Giovanni Bosco	5270		5270	0,68		5234	36
Via di Salviano	8967		8967	19,43		7225	1742
Via di Salviano	7534	5630	13164	2,99	1,9	12832	332
Via degli Etruschi	2424		2424	1,86		2379	45
Via degli Etruschi	8197	6801	14998	0,68	1,6	14833	165
Via degli Etruschi	2534		2534	1,14		2505	29
Via Torino	4397	4151	8548	0,39	0,48	8511	37
Viale Nazario Sauro	13414	15781	29195	1,16	0,91	28896	299
Viale della Libertà	10576	5736	16312	4,28	2	15745	567
Via Mospignotti	6694		6694	0,69		6648	46
Via della Costanza	7463	1449	8912	1,76	4,83	8711	201
Via dei Pelaghi	8386		8386	0,52		8342	44
Via dell' Artigianato	8540	6352	14892	2,22	1,46	14610	282
Via delle Sorgenti	3814	4376	8190	1,97	0,64	8087	103
Via degli Acquedotti	13265	14215	27480	1,98	1,27	27037	443
Via Salvatore Orlando	6491	6134	12625	1,36	1,84	12424	201
Via Cinta Esterna	9275	6216	15491	1,23	1,13	15307	184
Via Cinta Esterna	10311	19660	29971	2,2	10,47	27686	2285

Viale Italia	8259	10237	18496	2,78	1,08	18156	340
Via dell' Ardenza	10096	10105	20201	2,22	2,1	19765	436
Via dell' Ardenza	14478		14478	14,75		12342	2136
Via Grotta delle Fate	2100	1958	4058	2	0,26	4011	47
Via di Montenero	7035	6328	13363	1,86	1,49	13138	225
Via Mondolfi	5668		5668	1,02		5610	58
Via Mondolfi	5359	7174	12533	2,37	2,48	12228	305
Via Pigafetta	3245		3245	1,54		3195	50
Via Littorale	9151	8969	18120	3,01	3,17	17560	560
Via Littorale	6489	6346	12835	4,24	3,53	12336	499
Viale Genova	6807	7201	14008	10,34	8,61	12684	1324
Via Leonardo Da Vinci	10443	9748	20191	7,09	9,44	18530	1661

I flussi sopra indicati sono stati rilevati in giorni feriali.

Al fine del nostro studio che si prefigge di poter dare previsioni durante l' intero arco dell' anno e quindi ovviamente nei vari giorni settimanali abbiamo considerato che il traffico si suddivida nel modo seguente:

Nel periodo invernale

- Lunedì 1.3
- Martedì 1.2
- Mercoledì 1.2
- Giovedì 1.2
- Venerdì 1.3
- Sabato 0.5
- Domenica 0.3

Nel periodo estivo

- Lunedì	1.0
- Martedì	0.9
- Mercoledì	0.8
- Giovedì	0.9
- Venerdì	1.0
- Sabato	1.2
- Domenica	1.2

La differenziazione tra il periodo invernale ed estivo è d'obbligo visto che contrariamente a quanto accade nelle città interne, a Livorno, così come in tutte le altre province situate sul mare, il traffico estivo si intensifica notevolmente nel fine settimana. Inoltre non è da sottovalutare il traffico turistico di auto che nei mesi di Giugno, Luglio, Agosto si sviluppa in città a causa dell'imbarco sui traghetti per raggiungere la Corsica e la Sardegna.

Con questi dati e con le indagini, condotte ancora una volta dal Comune di Livorno, sui flussi veicolari in entrata ed in uscita nei vari svincoli della strada statale 1 abbiamo ricavato la tabella seguente (ancora una volta per limitare l'ingombro ci siamo riferiti solo ad alcuni giorni del mese).

ANNO 2001

Date	Total Traffic Volume, veh/day				% Truck			% Car		
	< 5 km	5-8 km	8-16 km	Total	< 5 km	5-8 km	8-16 km	< 5 km	5-8 km	8-16 km
	Radius	Radius	Radius		Radius	Radius	Radius	Radius	Radius	Radius
1/1/01	164.818	98.891	89.002	352.710	0,470	0,508	0,548	0,530	0,488	0,449
1/15/01	164.818	98.891	89.002	352.710	0,470	0,508	0,548	0,530	0,488	0,449
2/1/01	152.584	91.551	82.396	326.530	0,470	0,508	0,548	0,530	0,488	0,449
2/15/01	152.584	91.551	82.396	326.530	0,470	0,508	0,548	0,530	0,488	0,449
3/1/01	153.147	91.888	82.700	327.735	0,470	0,507	0,548	0,530	0,488	0,449
3/15/01	153.147	91.888	82.700	327.735	0,470	0,507	0,548	0,530	0,488	0,449
4/1/01	40.582	24.349	21.914	86.846	0,473	0,511	0,552	0,527	0,485	0,446
4/15/01	40.582	24.349	21.914	86.846	0,473	0,511	0,552	0,527	0,485	0,446
5/1/01	153.646	92.188	82.969	328.803	0,470	0,507	0,548	0,530	0,488	0,449
5/15/01	153.646	92.188	82.969	328.803	0,470	0,507	0,548	0,530	0,488	0,449
6/1/01	170.100	102.060	91.854	364.013	0,465	0,502	0,542	0,535	0,493	0,453
6/15/01	170.100	102.060	91.854	364.013	0,465	0,502	0,542	0,535	0,493	0,453
7/1/01	47.578	28.547	25.692	101.817	0,450	0,486	0,525	0,550	0,506	0,465
7/15/01	47.578	28.547	25.692	101.817	0,450	0,486	0,525	0,550	0,506	0,465
8/1/01	158.736	95.242	85.718	339.696	0,462	0,499	0,539	0,538	0,495	0,455
8/15/01	158.736	95.242	85.718	339.696	0,462	0,499	0,539	0,538	0,495	0,455
9/1/01	70.621	42.372	38.135	151.129	0,457	0,494	0,533	0,543	0,500	0,460
9/15/01	70.621	42.372	38.135	151.129	0,457	0,494	0,533	0,543	0,500	0,460
10/1/01	165.892	99.535	89.582	355.008	0,470	0,508	0,548	0,530	0,487	0,448
10/15/01	165.892	99.535	89.582	355.008	0,470	0,508	0,548	0,530	0,487	0,448
11/1/01	152.922	91.753	82.578	327.254	0,471	0,508	0,549	0,529	0,487	0,448
11/15/01	152.922	91.753	82.578	327.254	0,471	0,508	0,549	0,529	0,487	0,448
12/1/01	65.864	39.518	35.566	140.949	0,474	0,511	0,552	0,526	0,484	0,446
12/31/01	165.579	99.347	89.412	354.338	0,470	0,508	0,548	0,530	0,487	0,448

ANNO 2002

Date	Total Traffic Volume, veh/day				% Truck			% Car		
	< 5 km	5-8 km	8-16 km	Total	< 5 km	5-8 km	8-16 km	< 5 km	5-8 km	8-16 km
	Radius	Radius	Radius		Radius	Radius	Radius	Radius	Radius	Radius
1/1/02	154.515	92.709	83.438	330.662	0,470	0,508	0,548	0,530	0,488	0,449
1/15/02	154.515	92.709	83.438	330.662	0,470	0,508	0,548	0,530	0,488	0,449
2/1/02	167.390	100.434	90.391	358.215	0,470	0,507	0,548	0,530	0,488	0,449
2/15/02	167.390	100.434	90.391	358.215	0,470	0,507	0,548	0,530	0,488	0,449
3/1/02	167.953	100.772	90.695	359.420	0,469	0,507	0,548	0,531	0,488	0,449
3/15/02	167.953	100.772	90.695	359.420	0,469	0,507	0,548	0,531	0,488	0,449
4/1/02	167.567	100.540	90.486	358.594	0,469	0,507	0,547	0,531	0,488	0,449
4/15/02	167.567	100.540	90.486	358.594	0,469	0,507	0,547	0,531	0,488	0,449
5/1/02	155.808	93.485	84.136	333.429	0,470	0,507	0,548	0,530	0,488	0,449
5/15/02	155.808	93.485	84.136	333.429	0,470	0,507	0,548	0,530	0,488	0,449
6/1/02	72.175	43.305	38.975	154.455	0,457	0,494	0,533	0,543	0,500	0,460
6/15/02	72.175	43.305	38.975	154.455	0,457	0,494	0,533	0,543	0,500	0,460
7/1/02	173.673	104.204	93.784	371.661	0,464	0,501	0,542	0,536	0,493	0,453
7/15/02	173.673	104.204	93.784	371.661	0,464	0,501	0,542	0,536	0,493	0,453
8/1/02	160.898	96.539	86.885	344.321	0,462	0,499	0,539	0,538	0,495	0,455
8/15/02	160.898	96.539	86.885	344.321	0,462	0,499	0,539	0,538	0,495	0,455
9/1/02	46.232	27.739	24.966	98.937	0,451	0,487	0,526	0,549	0,505	0,464
9/15/02	46.232	27.739	24.966	98.937	0,451	0,487	0,526	0,549	0,505	0,464
10/1/02	155.589	93.353	84.018	332.960	0,470	0,508	0,549	0,530	0,487	0,448
10/15/02	155.589	93.353	84.018	332.960	0,470	0,508	0,549	0,530	0,487	0,448
11/1/02	167.728	100.637	90.573	358.939	0,471	0,508	0,549	0,529	0,487	0,448
11/15/02	167.728	100.637	90.573	358.939	0,471	0,508	0,549	0,529	0,487	0,448
12/1/02	41.475	24.885	22.397	88.757	0,477	0,515	0,556	0,523	0,481	0,443
12/15/02	41.475	24.885	22.397	88.757	0,477	0,515	0,556	0,523	0,481	0,443

ANNO 2003

Date	Total Traffic Volume, veh/day				% Truck			% Car		
	< 5 km	5-8 km	8-16 km	Total	< 5 km	5-8 km	8-16 km	< 5 km	5-8 km	8-16 km
	Radius	Radius	Radius		Radius	Radius	Radius	Radius	Radius	Radius
1/1/03	157.724	94.635	85.171	337.530	0,470	0,508	0,549	0,530	0,487	0,448
1/15/03	67.724	40.634	36.571	144.929	0,474	0,512	0,553	0,526	0,484	0,445
2/1/03	67.724	40.634	36.571	144.929	0,474	0,512	0,553	0,526	0,484	0,445
2/15/03	68.326	40.996	36.896	146.217	0,473	0,511	0,552	0,527	0,485	0,446
3/1/03	68.326	40.996	36.896	146.217	0,473	0,511	0,552	0,527	0,485	0,446
3/15/03	158.284	94.971	85.473	338.728	0,470	0,508	0,548	0,530	0,488	0,449
4/1/03	158.284	94.971	85.473	338.728	0,470	0,508	0,548	0,530	0,488	0,449
4/15/03	159.001	95.401	85.861	340.263	0,470	0,508	0,548	0,530	0,488	0,449
5/1/03	159.001	95.401	85.861	340.263	0,470	0,508	0,548	0,530	0,488	0,449
5/15/03	45.377	27.226	24.503	97.106	0,463	0,501	0,541	0,537	0,494	0,454
6/1/03	48.002	28.801	25.921	102.723	0,455	0,492	0,531	0,545	0,501	0,461
6/15/03	164.028	98.417	88.575	351.020	0,464	0,501	0,541	0,536	0,493	0,454
7/1/03	164.028	98.417	88.575	351.020	0,464	0,501	0,541	0,536	0,493	0,454
7/15/03	176.834	106.101	95.491	378.426	0,462	0,499	0,539	0,538	0,495	0,455
8/1/03	176.834	106.101	95.491	378.426	0,462	0,499	0,539	0,538	0,495	0,455
8/15/03	175.043	105.026	94.523	374.593	0,464	0,501	0,542	0,536	0,493	0,453
9/1/03	175.043	105.026	94.523	374.593	0,464	0,501	0,542	0,536	0,493	0,453
9/15/03	158.717	95.230	85.707	339.655	0,470	0,508	0,548	0,530	0,487	0,448
10/1/03	158.717	95.230	85.707	339.655	0,470	0,508	0,548	0,530	0,487	0,448
10/15/03	67.976	40.786	36.707	145.468	0,475	0,513	0,554	0,525	0,483	0,444
11/1/03	67.976	40.786	36.707	145.468	0,475	0,513	0,554	0,525	0,483	0,444
11/15/03	171.277	102.766	92.490	366.534	0,470	0,508	0,548	0,530	0,488	0,449
12/1/03	171.277	102.766	92.490	366.534	0,470	0,508	0,548	0,530	0,488	0,449
12/15/03	41.475	24.885	22.397	88.757	0,477	0,515	0,556	0,523	0,481	0,443

ANNO 2004

Date	Total Traffic Volume, veh/day				% Truck			% Car		
	< 5 km	5-8 km	8-16 km	Total	< 5 km	5-8 km	8-16 km	< 5 km	5-8 km	8-16 km
	Radius	Radius	Radius		Radius	Radius	Radius	Radius	Radius	Radius
1/1/04	157.071	94.243	84.818	336.132	0,470	0,507	0,548	0,530	0,488	0,449
1/15/04	157.071	94.243	84.818	336.132	0,470	0,507	0,548	0,530	0,488	0,449
2/1/04	41.807	25.084	22.576	89.466	0,478	0,516	0,557	0,522	0,481	0,442
2/15/04	41.807	25.084	22.576	89.466	0,478	0,516	0,557	0,522	0,481	0,442
3/1/04	171.149	102.689	92.420	366.258	0,470	0,508	0,549	0,530	0,487	0,448
3/15/04	171.149	102.689	92.420	366.258	0,470	0,508	0,549	0,530	0,487	0,448
4/1/04	157.941	94.765	85.288	337.994	0,471	0,508	0,549	0,529	0,487	0,448
4/15/04	157.941	94.765	85.288	337.994	0,471	0,508	0,549	0,529	0,487	0,448
5/1/04	68.498	41.099	36.989	146.585	0,473	0,511	0,551	0,527	0,485	0,446
5/15/04	68.498	41.099	36.989	146.585	0,473	0,511	0,551	0,527	0,485	0,446
6/1/04	162.632	97.579	87.821	348.033	0,465	0,502	0,542	0,535	0,492	0,453
6/15/04	162.632	97.579	87.821	348.033	0,465	0,502	0,542	0,535	0,492	0,453
7/1/04	163.616	98.170	88.353	350.139	0,464	0,501	0,541	0,536	0,493	0,454
7/15/04	163.616	98.170	88.353	350.139	0,464	0,501	0,541	0,536	0,493	0,454
8/1/04	47.889	28.733	25.860	102.481	0,436	0,471	0,508	0,564	0,519	0,477
8/15/04	47.889	28.733	25.860	102.481	0,436	0,471	0,508	0,564	0,519	0,477
9/1/04	162.061	97.237	87.513	346.811	0,465	0,503	0,543	0,535	0,492	0,453
9/15/04	162.061	97.237	87.513	346.811	0,465	0,503	0,543	0,535	0,492	0,453
10/1/04	171.268	102.761	92.485	366.513	0,471	0,508	0,549	0,529	0,487	0,448
10/15/04	171.268	102.761	92.485	366.513	0,471	0,508	0,549	0,529	0,487	0,448
11/1/04	170.802	102.481	92.233	365.516	0,471	0,509	0,550	0,529	0,487	0,448
11/15/04	170.802	102.481	92.233	365.516	0,471	0,509	0,550	0,529	0,487	0,448
12/1/04	158.056	94.834	85.350	338.240	0,471	0,508	0,549	0,529	0,487	0,448
12/15/04	158.056	94.834	85.350	338.240	0,471	0,508	0,549	0,529	0,487	0,448

ANNO 2005

Date	Total Traffic Volume, veh/day				% Truck			% Car		
	< 5 km	5-8 km	8-16 km	Total	< 5 km	5-8 km	8-16 km	< 5 km	5-8 km	8-16 km
	Radius	Radius	Radius		Radius	Radius	Radius	Radius	Radius	Radius
1/1/05	68.412	41.047	36.943	146.403	0,476	0,514	0,555	0,524	0,482	0,444
1/15/05	68412,414	41.047	36.943	146.403	0,476	0,514	0,555	0,524	0,482	0,444
2/1/05	159985,79	95.991	86.392	342.370	0,471	0,509	0,550	0,529	0,486	0,447
2/15/05	159985,79	95.991	86.392	342.370	0,471	0,509	0,550	0,529	0,486	0,447
3/1/05	160329,79	96.198	86.578	343.106	0,470	0,508	0,548	0,530	0,487	0,448
3/15/05	160329,79	96.198	86.578	343.106	0,470	0,508	0,548	0,530	0,487	0,448
4/1/05	173346,28	104.008	93.607	370.961	0,471	0,509	0,549	0,529	0,487	0,448
4/15/05	173346,28	104.008	93.607	370.961	0,471	0,509	0,549	0,529	0,487	0,448
5/1/05	43263,449	25.958	23.362	92.584	0,475	0,513	0,554	0,525	0,483	0,444
5/15/05	43263,449	25.958	23.362	92.584	0,475	0,513	0,554	0,525	0,483	0,444
6/1/05	164874,79	98.925	89.032	352.832	0,465	0,503	0,543	0,535	0,492	0,453
6/15/05	164874,79	98.925	89.032	352.832	0,465	0,503	0,543	0,535	0,492	0,453
7/1/05	179711,28	107.827	97.044	384.582	0,467	0,504	0,545	0,533	0,490	0,451
7/15/05	179711,28	107.827	97.044	384.582	0,467	0,504	0,545	0,533	0,490	0,451
8/1/05	178980,28	107.388	96.649	383.018	0,463	0,501	0,541	0,537	0,494	0,454
8/15/05	178980,28	107.388	96.649	383.018	0,463	0,501	0,541	0,537	0,494	0,454
9/1/05	164944,79	98.967	89.070	352.982	0,468	0,505	0,546	0,532	0,490	0,451
9/15/05	164944,79	98.967	89.070	352.982	0,468	0,505	0,546	0,532	0,490	0,451
10/1/05	69211,414	41.527	37.374	148.112	0,474	0,512	0,553	0,526	0,484	0,445
10/15/05	69211,414	41.527	37.374	148.112	0,474	0,512	0,553	0,526	0,484	0,445
11/1/05	160078,79	96.047	86.443	342.569	0,4712906	0,509	0,550	0,5287094	0,486	0,447
11/15/05	160078,79	96.047	86.443	342.569	0,4712906	0,509	0,550	0,5287094	0,486	0,447
12/1/05	160151,79	96.091	86.482	342.725	0,4704923	0,508	0,549	0,5295077	0,487	0,448
12/15/05	160151,79	96.091	86.482	342.725	0,4704923	0,508	0,549	0,5295077	0,487	0,448

Per avere un riscontro dei dati appena visionati siamo andati a controllare il parco veicolare ACI della città di Livorno negli anni di studio.

ANNO 2001	AUTOBUS	AUTOCARRI TRASPORTO MERCI	AUTOVEICOLI SPECIALI / SPECIFICI	AUTOVEICOLE	MOTOCARRI E QUADRICICLI TRASPORTO MERCI	MOTOCICLI	MOTOVEICOLI E QUADRICICLI SPECIALI / SPECIFICI	RIMORCHI E SEMIRIMORCHI SPECIALI / SPECIFICI	RIMORCHI E SEMIRIMORCHI TRASPORTO MERCI	TRATTORI STRADALI O MOTRICI	ALTRI VEICOLI	TOTALE
AREZZO	461	19.993	3.320	202.219	2.524	25.595	75	5.035	1.819	542		261.583
FIRENZE	1.697	58.065	9.718	585.918	6.928	94.372	99	19.026	3.121	1.263	5	780.212
GROSSETO	359	14.273	1.843	129.482	2.737	17.404	37	1.979	827	297	8	169.246
LIVORNO	601	15.621	2.798	189.941	3.145	40.866	35	3.790	2.439	1.071	3	260.310
LUCCA	492	22.268	3.058	230.035	6.524	31.658	67	3.227	1.895	964		300.188
MASSA CARRARA	232	8.892	1.233	108.727	2.331	16.057	26	994	1.201	713	5	140.411
PISA	596	22.951	3.937	239.084	3.887	34.912	63	6.050	1.592	581	3	313.656
PISTOIA	349	17.611	2.305	169.175	2.050	17.243	32	3.436	873	364		213.438
PRATO	239	16.551	1.732	142.481	1.413	15.286	35	3.363	620	305	1	182.026
SIENA	487	19.975	2.652	168.605	2.798	21.121	55	3.237	1.395	281	3	220.609
Totale TOSCANA	5.513	216.200	32.596	2.165.667	34.337	314.514	524	50.137	15.782	6.381	28	2.841.679

ANNO 2002	AUTOBUS	AUTOCARRI TRASPORTO MERCI	AUTOVEICOLI SPECIALI / SPECIFICI	AUTOVEICOLE	MOTOCARRI E QUADRICICLI TRASPORTO MERCI	MOTOCICLI	MOTOVEICOLI E QUADRICICLI SPECIALI / SPECIFICI	RIMORCHI E SEMIRIMORCHI SPECIALI / SPECIFICI	RIMORCHI E SEMIRIMORCHI TRASPORTO MERCI	TRATTORI STRADALI O MOTRICI	ALTRI VEICOLI	TOTALE
AREZZO	465	21.129	3.547	204.912	2.443	27.281	92	5.022	1.911	582	-	267.384
FIRENZE	1.728	65.591	10.076	598.834	6.818	103.414	149	18.938	3.322	1.380	6	810.256
GROSSETO	377	15.281	1.909	130.781	2.614	19.171	57	2.040	864	321	8	173.423
LIVORNO	620	16.454	2.900	189.822	3.048	44.881	46	3.780	2.461	1.080	2	265.094
LUCCA	474	23.722	3.217	231.500	6.493	34.679	94	3.250	1.946	987	1	306.363
MASSA CARRARA	243	9.534	1.270	110.053	2.299	17.716	35	1030	1.253	749	5	144.187
PISA	628	24.124	4.075	241.858	3.692	36.036	71	5.988	1.695	657	2	318.826
PISTOIA	357	18.831	2.432	170.508	1.932	18.604	23	3.422	929	382	-	217.420
PRATO	254	17.552	1.837	144.283	1.323	16.383	46	3.341	668	328	1	186.016
SIENA	496	19.244	2.668	167.403	2.684	23.038	91	3.270	1.476	291	2	220.663
Totale TOSCANA	5.642	231.462	33.931	2.189.954	33.346	341.203	704	50.081	16.525	6.757	27	2.909.632

Capitolo 3- Inventario delle emissioni

ANNO 2003	AUTOBUS	AUTOARRI TRASPORTO MERCI	AUTOVEICOLI SPECIALI / SPECIFICI	AUTOVEICOLI	MOTOCICLI E QUADRICICLI TRASPORTO MERCI	MOTOCICLI	MOTOVEICOLI E QUADRICICLI SPECIALI / SPECIFICI	RIMORCHI E SEMIRIMORCHI SPECIALI / SPECIFICI	RIMORCHI E SEMIRIMORCHI TRASPORTO MERCI	TRATTORI STRADALI O MOTRICI	ALTRI VEICOLI
AREZZO	471	22.146	3.773	208.458	2.370	29.089	135	5.031	1.995	606	-
FIRENZE	1.746	72.163	10.607	614.314	6.580	111.535	235	18.832	3.491	1.482	5
GROSSETO	370	16.240	2.018	132.337	2.526	21.119	112	2.080	912	348	8
LIVORNO	630	17.272	3.042	191.897	2.916	49.074	115	3.846	2.477	1.070	2
LUCCA	488	24.788	3.371	233.206	6.400	37.775	137	3.251	1.999	1.032	1
MASSA CARRARA	245	10.137	1.320	111.522	2.265	19.631	51	1.004	1.302	726	5
PISA	644	25.318	4.289	244.403	3.555	38.362	91	5.912	1.719	637	2
PISTOIA	362	19.449	2.598	172.650	1.838	19.830	41	3.425	968	407	-
PRATO	260	18.006	1.945	146.305	1.258	17.526	57	3.329	657	332	1
SIENA	481	19.979	2.861	168.618	2.537	24.796	151	3.310	1.568	323	2
Totale TOSCANA	5.697	245.498	35.824	2.223.710	32.245	368.737	1.125	50.020	17.088	6.963	26

ANNO 2004	AUTOBUS	AUTOARRI TRASPORTO MERCI	AUTOVEICOLI SPECIALI / SPECIFICI	AUTOVEICOLI	MOTOCICLI E QUADRICICLI TRASPORTO MERCI	MOTOCICLI	MOTOVEICOLI E QUADRICICLI SPECIALI / SPECIFICI	RIMORCHI E SEMIRIMORCHI SPECIALI / SPECIFICI	RIMORCHI E SEMIRIMORCHI TRASPORTO MERCI	TRATTORI STRADALI O MOTRICI	ALTRI VEICOLI	TOTALE
AREZZO	467	22.737	4.046	212.421	2.278	30.450	188	4.820	1.929	594		279.930
FIRENZE	1.741	75.579	11.131	615.825	5.989	116.269	342	17.206	3.409	1.386	5	848.882
GROSSETO	374	17.026	2.198	132.749	2.338	22.534	159	1.993	899	350	8	180.628
LIVORNO	618	17.679	3.241	189.095	2.537	52.371	174	3.561	2.421	1.090	2	272.789
LUCCA	482	25.531	3.537	232.259	6.053	39.763	175	3.008	2.040	1059	1	313.908
MASSA CARRARA	251	10.566	1.411	111.528	2.130	21.244	79	953	1.250	640	5	150.057
PISA	639	25.934	4.570	244.128	3.176	40.244	135	5.456	1.698	629	3	326.612
PISTOIA	363	19.605	2.798	172.418	1.686	20.245	76	3.166	947	405		221.709
PRATO	271	18.445	2.051	148.431	1.191	18.186	88	3.093	614	305	1	192.676
SIENA	491	20.618	3.033	170.352	2.393	26.271	215	3.168	1.576	324	2	228.443
Totale TOSCANA	5.697	253.720	38.016	2.229.206	29.771	387.577	1631	46.424	16.783	6.782	27	3.015.634

ANNO 2005	AUTOBUS	AUTOARRI TRASPORTO MERCI	AUTOVEICOLI SPECIALI / SPECIFICI	AUTOVEETTURE	MOTOCARRI E QUADRICICLI TRASPORTO MERCI	MOTOCICLI	MOTOVEICOLI E QUADRICICLI SPECIALI / SPECIFICI	RIMORCHI E SEMIRIMORCHI SPECIALI / SPECIFICI	RIMORCHI E SEMIRIMORCHI TRASPORTO MERCI	TRATTORI STRADALI O MOTRICI	ALTRI VEICOLI	TOTALE
AREZZO	467	22.737	4.046	212.421	2.278	30.450	188	4.820	1.929	594		279.930
FIRENZE	1.741	75.579	11.131	615.825	5.989	116.269	342	17.206	3.409	1.386	5	848.882
GROSSETO	374	17.026	2.198	132.749	2.338	22.534	159	1.993	899	350	8	180.628
LIVORNO	618	17.679	3.241	189.095	2.537	52.371	174	3.561	2.421	1.090	2	272.789
LUCCA	482	25.531	3.537	232.259	6.053	39.763	175	3.008	2.040	1059	1	313.908
MASSA CARRARA	251	10.566	1.411	111.528	2.130	21.244	79	953	1.250	640	5	150.057
PISA	639	25.934	4.570	244.128	3.176	40.244	135	5.456	1.698	629	3	326.612
PISTOIA	363	19.605	2.798	172.418	1.686	20.245	76	3.166	947	405		221.709
PRATO	271	18.445	2.051	148.431	1.191	18.186	88	3.093	614	305	1	192.676
SIENA	491	20.618	3.033	170.352	2.393	26.271	215	3.168	1.576	324	2	228.443
Totale TOSCANA	5.697	253.720	38.016	2.229.206	29.771	387.577	1631	46.424	16.783	6.782	27	3.015.634

Dal momento che l'Acì fornisce il parco veicolare dell'intera provincia, per calcolare i mezzi circolanti in città abbiamo proporzionato il numero di vetture con il numero di abitanti. La popolazione è inoltre un'altro dei dati importanti di cui tiene conto il nostro modello.

COMUNE	Popolazione Legale al 21.10.01	MOVIMENTO NATURALE			MOVIMENTO MIGRATORIO			Saldo totale	Popolazione residente al 31.12.01
		Nati vivi	Morti	Saldo	Iscritti	Cancellati	Saldo		
Bibbona	3051	6	5	1	48	23	25	26	3077
Campiglia Marittima	12540	23	38	-15	20	9	11	-4	12536
Campo nell'Elba	4155	11	7	4	25	20	5	9	4164
Capoliveri	3105	3	5	-2	20	14	6	4	3109
Capraia Isola	333	3	0	3	5	6	-1	2	335
Castagneto Carducci	8226	12	21	-9	4	11	-7	-16	8210
Cecina	26515	36	61	-25	74	53	21	-4	26511
Collesalveti	15871	31	31	0	27	16	11	11	15882
Livorno	156274	205	376	-171	517	312	205	34	156308
Marciana	2162	7	7	0	4	7	-3	-3	2159
Marciana Marina	1891	4	8	-4	1	1	0	-4	1887
Piombino	33925	42	80	-38	108	121	-13	-51	33874
Porto Azzurro	3220	10	9	1	1	1	0	1	3221
Portoferraio	11508	19	27	-8	26	28	-2	-10	11498
Rio Marina	2150	2	7	-5	3	5	-2	-7	2143

Capitolo 3- Inventario delle emissioni

Rio nell'Elba	952	1	1	0	3	1	2	2	954
Rosignano Marittimo	30581	47	89	-42	175	127	48	6	30587
San Vincenzo	6540	11	22	-11	20	16	4	-7	6533
Sassetta	548	0	1	-1	1	0	1	0	548
Suvereto	2897	7	1	6	0	0	0	6	2903
Totale Provincia	326444	480	796	-316	1082	771	311	-5	326439

COMUNE	Popolazione residente al 1.1.02	MOVIMENTO NATURALE			MOVIMENTO MIGRATORIO			Saldo totale	Popolazione residente al 31.12.02
		Nati vivi	Morti	Saldo	Iscritti	Cancellati	Saldo		
Bibbona	3077	13	28	-15	129	62	67	52	3129
Campiglia Marittima	12536	86	147	-61	268	205	63	2	12538
Campo nell'Elba	4164	37	46	-9	147	105	42	33	4197
Capoliveri	3109	28	30	-2	138	99	39	37	3146
Capraia Isola	335	0	1	-1	41	19	22	21	356
Castagneto Carducci	8210	56	88	-32	270	169	101	69	8279
Cecina	26511	197	337	-140	720	471	249	109	26620
Collesalvetti	15882	137	138	-1	704	575	129	128	16010
Livorno	156308	1196	1853	-657	2679	2132	547	-110	156198
Marciana	2159	18	27	-9	95	57	38	29	2188
Marciana Marina	1887	16	23	-7	33	29	4	-3	1884
Piombino	33874	261	465	-204	684	511	173	-31	33843
Porto Azzurro	3221	34	29	5	130	88	42	47	3268
Portoferraio	11498	94	139	-45	516	157	359	314	11812
Rio Marina	2143	12	26	-14	79	46	33	19	2162
Rio nell'Elba	954	8	9	-1	46	15	31	30	984
Rosignano Marittimo	30587	243	329	-86	966	605	361	275	30862
San Vincenzo	6533	42	90	-48	227	150	77	29	6562
Sassetta	548	3	7	-4	12	21	-9	-13	535
Suvereto	2903	21	33	-12	86	78	8	-4	2899
									0
Totale Provincia	326439	2502	3845	-1343	7970	5594	2376	1033	327472

COMUNE	Popolazione residente al 1/1/03	MOVIMENTO NATURALE			MOVIMENTO MIGRATORIO									Saldo totale	Popolazione residente al 31/12/03
		Nati vivi	Morti	Saldo	Iscritti				Cancellati				Saldo		
					Dall'estero	Dall'interno	Altri iscritti	Totale	Per l'estero	Per l'interno	Altri cancellati	Totale			
Capraia Isola	356	1	5	-4	1	21	0	22	0	22	0	22	0	-4	352
Collesalvetti	16.010	159	184	-25	75	592	25	692	1	596	10	607	85	60	16.070
Livorno	156.198	1.251	1.960	-709	1.056	1.863	69	2.988	95	1.995	507	2.597	391	-318	155.880
Bibbona	3.129	21	41	-20	22	95	0	117	3	113	0	116	1	-19	3.110
Castagneto Carducci	8.279	56	103	-47	227	197	3	427	16	172	36	224	203	156	8.435
Cecina	26.620	176	347	-171	199	631	59	889	13	485	16	514	375	204	26.824

Capitolo 3- Inventario delle emissioni

Rosignano Marittimo	30.862	227	393	-166	250	881	10	1.141	32	604	9	645	496	330	31.192
Campiglia Marittima	12.538	85	168	-83	85	282	4	371	11	243	0	254	117	34	12.572
Piombino	33.843	227	501	-274	250	533	495	1.278	16	514	87	617	661	387	34.230
San Vincenzo	6.562	51	87	-36	49	222	54	325	5	161	0	166	159	123	6.685
Sassetta	535	3	12	-9	13	13	4	30	0	25	0	25	5	-4	531
Suvereto	2.899	23	36	-13	32	67	5	104	5	52	5	62	42	29	2.928
Campo nell'Elba	4.197	36	55	-19	48	107	0	155	0	82	0	82	73	54	4.251
Capoliveri	3.146	22	38	-16	59	146	1	206	2	59	4	65	141	125	3.271
Marciana	2.188	20	35	-15	16	59	17	92	1	48	2	51	41	26	2.214
Marciana Marina	1.884	14	18	-4	16	31	1	48	3	31	0	34	14	10	1.894
Porto Azzurro	3.268	29	34	-5	37	164	0	201	0	84	0	84	117	112	3.380
Portoferraio	11.812	98	134	-36	135	235	70	440	11	212	21	244	196	160	11.972
Rio Marina	2.162	12	29	-17	18	33	0	51	0	37	0	37	14	-3	2.159
Rio nell'Elba	984	4	14	-10	15	47	0	62	0	29	0	29	33	23	1.007
Tot. Provincie	327472	2515	4194	-1679	2603	6219	817	9639	214	5564	697	6475	3164	1485	328957

AGGREGATI TERRITORIALI	Popolazione residente al 1/1/04	MOVIMENTO NATURALE			MOVIMENTO MIGRATORIO									Saldo totale	Popolazione residente al 31/12/04
		Nati vivi	Morti	Saldo	Iscritti				Cancellati				Saldo		
					Dall'estero	Dall'interno	Altri iscritti	Totale	Per l'estero	Per l'interno	Altri cancellati	Totale			
Bibbona	3.110	27	26	1	29	89	0	118	9	129	0	138	-20	-19	3.091
Campiglia Marittima	12.572	109	143	-34	65	303	4	372	11	237	5	253	119	85	12.657
Campo nell'Elba	4.251	42	53	-11	39	88	0	127	6	69	0	75	52	41	4.292
Capoliveri	3.271	31	32	-1	59	144	2	205	2	46	0	48	157	156	3.427
Capraia Isola	352	4	1	3	5	18	1	24	0	13	0	13	11	14	366
Castagneto Carducci	8.435	65	100	-35	114	204	2	320	9	174	1	184	136	101	8.536
Cecina	26.824	198	279	-81	207	668	23	898	17	540	5	562	336	255	27.079
Collesalveti	16.070	138	157	-19	67	648	2	717	12	574	33	619	98	79	16.149
Livorno	155.880	1.322	1.839	-517	791	1.931	52	2.774	107	2.041	3	2.151	623	106	155.986
Marciana	2.214	15	24	-9	18	62	10	90	1	42	0	43	47	38	2.252
Marciana Marina	1.894	13	16	-3	14	45	8	67	1	34	7	42	25	22	1.916
Piombino	34.230	253	442	-189	269	651	9	929	22	547	32	601	328	139	34.369
Porto Azzurro	3.380	37	33	4	38	154	0	192	0	122	0	122	70	74	3.454
Portoferraio	11.972	109	140	-31	97	237	13	347	8	237	23	268	79	48	12.020
Rio Marina	2.159	16	30	-14	9	54	39	102	0	74	13	87	15	1	2.160
Rio nell'Elba	1.007	9	9	0	23	104	1	128	0	21	0	21	107	107	1.114
Rosignano Marittimo	31.192	237	326	-89	204	931	13	1.148	39	669	27	735	413	324	31.516
San Vincenzo	6.685	37	97	-60	67	227	73	367	3	135	0	138	229	169	6.854
Sassetta	531	6	7	-1	8	20	0	28	0	4	1	5	23	22	553

Capitolo 3- Inventario delle emissioni

Suvereto	2.928	23	35	-12	32	56	0	88	6	50	0	56	32	20	2.948
Tot. Provincia	328.957	2.691	3.789	-1.098	2.155	6.634	252	9.041	253	5.758	150	6.161	2.880	1.782	330.739

COMUNE	Popolazione residente al 1/1/05	MOVIMENTO NATURALE			MOVIMENTO MIGRATORIO										Saldo totale	Popolazione residente al 31/12/05
		Nati vivi	Morti	Saldo	Iscritti				Cancellati				Saldo			
					Dall'estero	Dall'interno	Altri iscritti	Totale	Per l'estero	Per l'interno	Altri cancellati	Totale				
Capraia Isola	366	1	3	-2	3	26	0	29	0	11	1	12	17	15	381	
Collesalveti	16.149	130	175	-45	41	594	0	635	8	551	29	588	47	2	16.151	
Livorno	155.986	1.313	1.852	-539	597	1.886	4.913	7.396	112	2.010	187	2.309	5.087	4.548	160.534	
Bibbona	3.091	20	24	-4	23	95	3	121	14	88	0	102	19	15	3.106	
Castagneto Carducci	8.536	74	92	-18	77	186	6	269	4	204	42	250	19	1	8.537	
Cecina	27.079	204	310	-106	162	700	12	874	16	520	3	539	335	229	27.308	
Rosignano Marittimo	31.516	245	400	-155	127	915	6	1.048	18	696	0	714	334	179	31.695	
Campiglia Marittima	12657	100	152	-52	66	357	7	430	19	235	1	255	175	123	12.780	
Piombino	34369	224	424	-200	175	597	24	796	34	532	29	595	201	1	34.370	
San Vincenzo	6854	37	68	-31	45	205	1	251	1	156	3	160	91	60	6.914	
Sassetta	553	4	7	-3	17	27	0	44	1	24	1	26	18	15	568	
Suvereto	2948	25	30	-5	36	93	1	130	7	86	0	93	37	32	2.980	
Campo nell'Elba	4.292	35	32	3	40	105	0	145	2	87	0	89	56	59	4.351	
Capoliveri	3.427	30	29	1	37	160	0	197	0	84	0	84	113	114	3.541	
Marciana	2.252	13	28	-15	6	47	13	66	3	61	0	64	2	-13	2.239	
Marciana Marina	1.916	12	21	-9	9	44	3	56	0	50	2	52	4	-5	1.911	
Porto Azzurro	3.454	30	28	2	17	89	0	106	6	119	0	125	-19	-17	3.437	
Portoferraio	12.020	106	125	-19	64	236	16	316	21	246	19	286	30	11	12.031	
Rio Marina	2.160	18	33	-15	5	76	1	82	0	62	1	63	19	4	2.164	
Rio nell'Elba	1.114	12	11	1	8	66	0	74	1	48	0	49	25	26	1.140	
Tot. Provincia	330739	2633	3844	-1211	1555	6504	5006	13065	267	5870	318	6455	6610	5399	336138	

Attraverso la comparazione dei dati di traffico da noi stimati e il totale dei veicoli circolanti si evince che in media circola ogni giorno circa il 70 % del parco auto complessivo. Questo dato risulta accettabile.

Un' ultima considerazione da fare è quella relativa alle velocità medie dei mezzi circolanti.

Questo aspetto è notevolmente importante, infatti gli inquinanti prodotti dai veicoli che circolano a velocità sostenute sono nettamente inferiori rispetto a quelli emessi dagli stessi veicoli che mantengono una velocità più bassa o addirittura pari a zero nel caso di code o attese ai semafori.

Le velocità medie sono state calcolate effettuando percorsi urbani ed extraurbani in diverse ore della giornata, in modo da riuscire a tenere conto sia delle ore di traffico intenso sia di quelle serali o pomeridiane.

GIORNO	TRATTO	PARTENZA	ARRIVO	TEMPO (min)	TEMPO (h)	DISTANZA (km)	VELOCITA' MEDIA
mercoledì 9 Agosto	Rosa-Pizza Mazzini	16.34	16.45	11	0,18	5,4	29,45
	Centro Città	16.49	17.28	39	0,65	14,8	22,77
	Variante	17.42	17.49	7	0,12	9,6	82,29
	Livorno-Quercianella (Romito)	17.50	17.58	8	0,13	5	37,50
	Variante (Quercianella-Cecina)	18.00	18.14	14	0,23	19,8	84,86
	Cecina Centro	18.19	18.30	11	0,18	2,5	13,64
	Variante (Cecina-Quercianella)	18.43	18.56	13	0,22	19,3	89,08
	Quercianella-Livorno (Romito)	18.57	19.05	8	0,13	5,9	44,25
	Variante	19.07	19.10	3	0,05	4,5	90,00
venerdì 11 Agosto	Variante	8.15	8.28	13	0,22	10	46,15
	Centro Città	8.28	9.20	52	0,87	20	23,08
	Lungomare	9.20	9.41	21	0,35	11	31,43
domenica 20 Agosto	Centro Città	14.50	15.12	22	0,37	10,5	28,64
sabato 12 Agosto	Pisa Livorno	19.20	19.51	31	0,52	26,6	51,48
	Centro Città	18.52	19.16	24	0,40	10,3	25,75
lunedì 21 Agosto	centro Città	12.10	13.30	80	1,33	30	22,5
giovedì 24 Agosto	Rosa-Pizza Mazzini	14.30	14.40	10	0,17	5,4	32,40
	Centro Città	14.39	15.21	42	0,70	15	21,43
	Variante	15.21	15.29	8	0,13	9,6	72,00
	Lungomare	15.30	15.47	17	0,28	8	28,24
	Centro Città	15.47	16.10	23	0,38	11	28,70

Concludendo le velocità che abbiamo assunto nel nostro modello sono:

Truck Average Speed, mi/h			Car Average Speed, mi/h		
< 5 km	5-8 km	8-16 km	< 5 km	5-8 km	8-16 km
Radius	Radius	Radius	Radius	Radius	Radius
21	33	50	24	37	70

La cartografia che segue illustra la suddivisione del territorio in aree circolari rispettivamente di raggio 5Km, 8Km, 16Km.

Questa rappresentazione ci ha aiutato a differenziare il traffico cittadino da quello periferico che presenta, come abbiamo già detto, caratteristiche decisamente diverse.

3.4 SORGENTI PUNTUALI



In tabella sono riportate le emissioni puntuali di cinque inquinanti suddivise per provincia ed il contributo percentuale delle singole province al totale regionale.

Provincia	CO	%	COV	%	NO _x	%	PM ₁₀	%	SO _x	%
Arezzo	288,6	0,9	517,6	11,3	4.229,0	14,9	48,3	2,5	8.627,7	10,1
Firenze	427,8	1,3	1.019,9	22,3	4.328,8	15,2	283,1	14,8	1.845,4	2,2
Grosseto	19,6	0,1	0,8	0,0	140,8	0,5	50,6	2,6	751,6	0,9
Livorno	31.134,4	92,7	2.586,5	56,5	16.342,6	57,4	1.105,9	57,6	72.298,7	85,0
Lucca	1.251,5	3,7	142,7	3,1	1.821,5	6,4	168,4	8,8	822,8	1,0
Massa-Carrara	0,0	0,0	35,1	0,8	14,7	0,1	9,9	0,5	0,0	0,0
Pisa	151,1	0,4	189,7	4,1	1.290,4	4,5	87,0	4,5	468,2	0,6
Pistoia	13,5	0,0	26,2	0,6	50,3	0,2	7,8	0,4	57,5	0,1
Prato	5,5	0,0	56,3	1,2	30,6	0,1	8,8	0,5	34,3	0,0
Siena	296,0	0,9	0,6	0,0	211,1	0,7	149,3	7,8	150,5	0,2
Totale regionale	33.588		4.575		28.460		1.919		85.057	

La suddivisione delle emissioni puntuali per provincia evidenzia la presenza nella provincia di Livorno delle più importanti sorgenti puntuali che, per ogni inquinante, hanno un contributo superiore al 50% del totale regionale, con punte del 93% del Monossido di Carbonio e 85% degli Ossidi di Zolfo.

Queste rilevanti emissioni sono dovute alla presenza di impianti industriali come la raffineria Agiplas e l' impianto chimico della Solvay, insieme all' inceneritore AAMPS.

Anche per le emissioni puntuali è stata effettuata una suddivisione per macrosettori, i due inquinanti puntuali che più ci interessano per la formazione di ozono sono riportati nelle tabelle seguenti.

BIOSSIDO DI CARBONIO

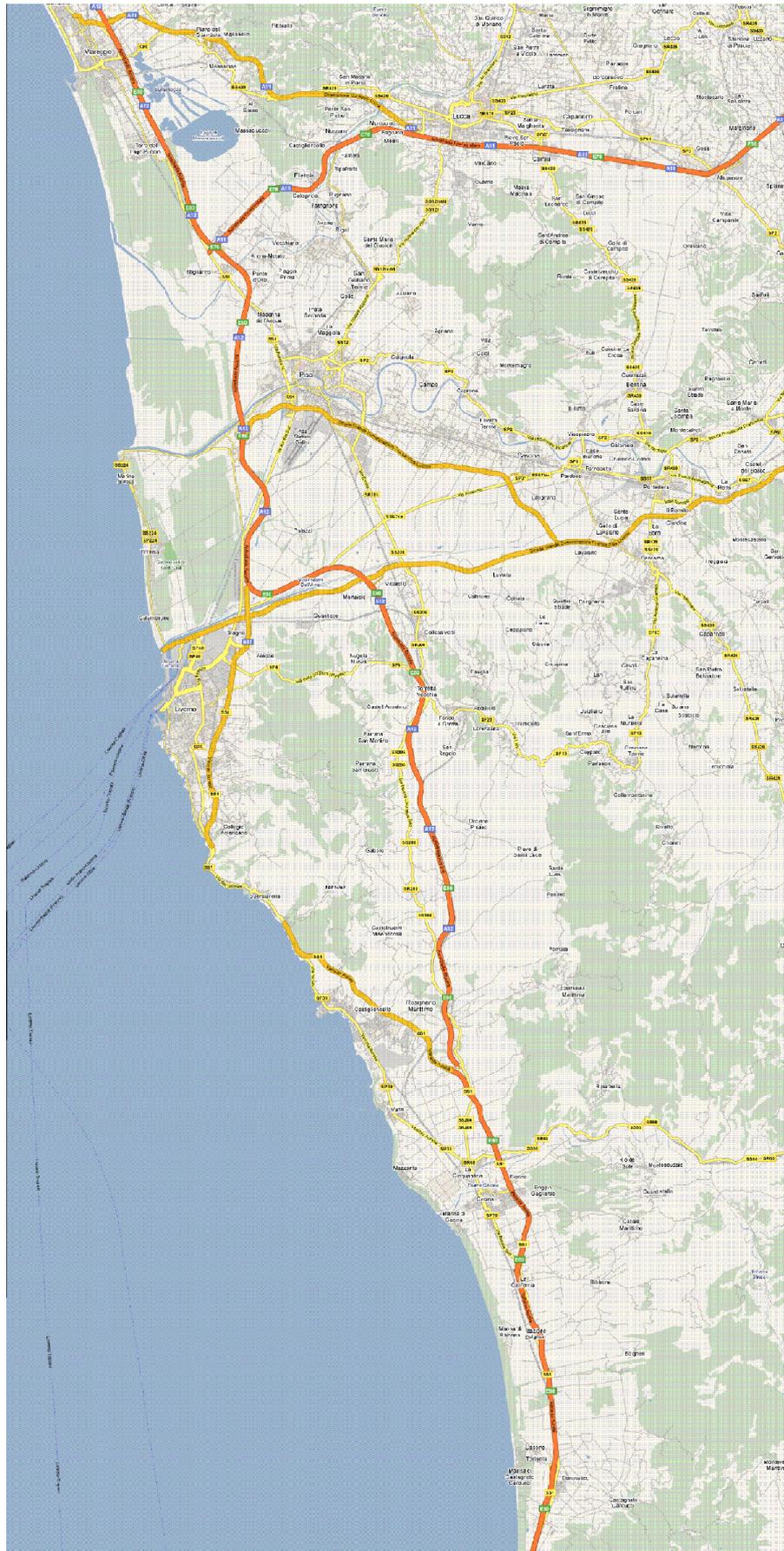
Macrosettore	AR	FI	GR	LI	LU	MS	PI	PT	PO	SI
Centr.Elettriche Pubbl.,Cogeneraz., Telerisc.	218,0	0	0	1.300,8	0	0	0	0	0	0
Combustione - Industria	41,7	403,5	7,7	13.827,7	1251,5	0	128,9	4,1	5,5	296,0
Processi Produttivi	22,8	9,2	0	16.002,9	0	0	0	0	0	0
Trattamento e Smaltimento Rifiuti	6,1	15,1	11,8	3,1	0	0	22,2	9,4	0	0
Totale provinciale	289	428	20	31134	1251	0	151	13	5	296

COMPOSTI ORGANICI VOLATILI

Macrosettore	AR	FI	GR	LI	LU	MS	PI	PT	PO	SI
Centr.Elettriche Pubbl.,Cogeneraz Telerisc.	109,3	0,0	0,0	700,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Combustione - Industria	8,4	125,5	0,2	215,6	71,0	35,1	12,2	1,3	0,5	0,6
Processi Produttivi	27,1	102,5	0,0	1.385,8	35,8	0,0	0,7	0,0	0,0	0,0
Estrazione,distribuzione combustibili fossili	348,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Uso di solventi	23,8	790,9	0,0	283,0	35,9	0,0	175,8	24,0	55,7	0,0
Trattamento e Smaltimento Rifiuti	0,5	1,1	0,6	1,5	0,0	0,0	1,1	0,9	0,0	0,0
Totale provinciale	518	1.020	1	2.586	143	35	190	26	56	1

Questi dati confermano la scelta da noi effettuata nel considerare le seguenti fonti puntuali :

- Agiplas Livorno collocata nel raggio degli 8 km
- Solvay collocata radialmente tra i 16 ed 32 km
- Saint Gobayn collocata radialmente tra i 16 ed 32 km
- Inceneritore AAMPS collocato nel raggio degli 8 km



IL PORTO

Il porto di Livorno occupa una posizione di primo piano nella graduatoria nazionale.

Grazie alla sua polivalenza esso è stato di volta in volta emporio commerciale aperto ai mercanti di ogni razza e di ogni fede, zona franca per le merci in deposito, porto carbonifero quando il carbone costituiva la più importante fonte di energia per il Paese, quindi scalo e servizio per l'industria ed in tempi più recenti porto containers tra i primi nel Mediterraneo e terminal passeggeri di grande rilevanza.

Il porto di Livorno può contare inoltre su un'ampia gamma di funzioni operative come il cabotaggio, i traffici specializzati che esso è in grado di attrarre grazie alla sua splendida posizione baricentrica in Italia e nel Mediterraneo, agli ampi spazi pianeggianti che lo circondano con infrastrutture viarie a livello europeo, con un aeroporto internazionale, il "Galilei", a pochi chilometri dalle banchine ed un retroterra fortemente industrializzato.

Senza contare che lo scalo livornese dispone di una struttura operativa moderna ed efficiente specie per la movimentazione dei contenitori, Quale la Darsena Toscana.

Il porto di Livorno, le cui aree si estendono per 1.100.000 metri quadri, ha uno sviluppo complessivo di banchine pari a 15000 metri con fondali che vanno fino ad un massimo di trentasette piedi nella nuova Darsena Petroli.

Dal punto di vista corografico il porto di Livorno si presenta con due imboccature: quella Nord, tra le dighe del Marzocco e della Meloria, larga 330 metri, dalla quale possono transitare navi con pescaggio massimo non superiore a 5 metri, e quella sud posta tra l'estremo meridionale della curvilinea e la secca

antistante l' edificio del faro larga 300 metri attraverso la quale possono entrare ed uscire navi che abbiano un pescaggio massimo pari a 11.50 metri.

La bocca sud è protetta dalla diga della vegliaia e tra questa e la costa sud si estende una vasta zona di bassi fondali.

Tutto questo è facilmente riscontrabile nella cartografia allegata nella pagina seguente.

La presenza a Livorno del porto, e quindi di tutte le attività ad esso legate, è, per quanto detto fino ad ora, imprescindibile nella valutazione della qualità dell' aria della città stessa.

Vediamo appunto nello specifico quanto l' area portuale influisce sull' emissioni di inquinanti nel Territorio.

4.1 I CONTAINERS

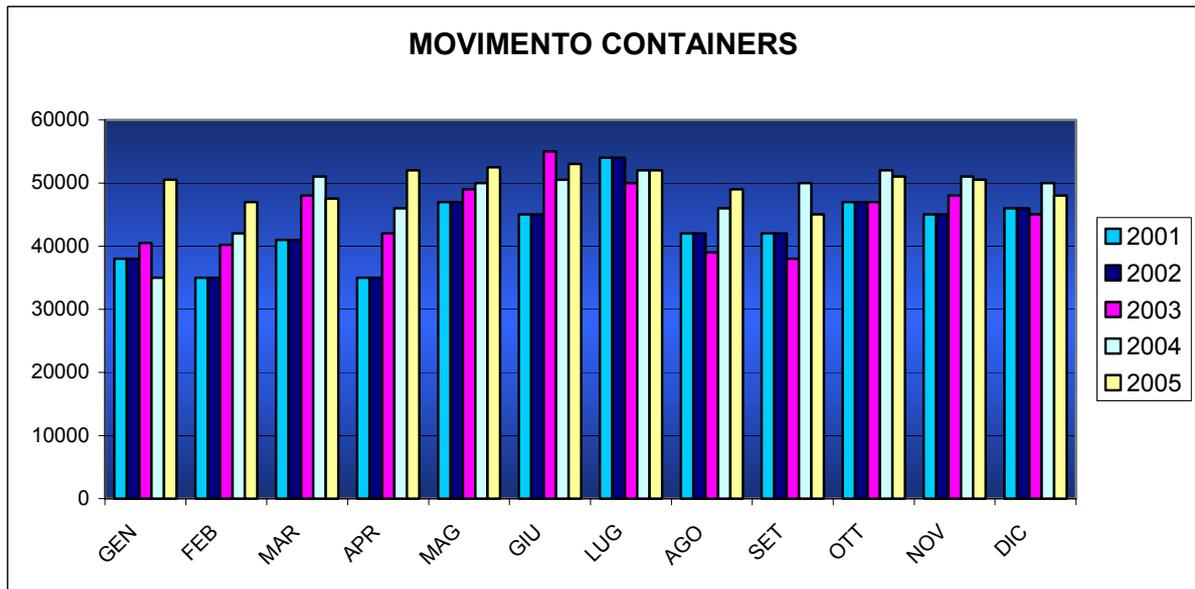


Agli inizi degli anni ottanta lo scalo livornese con 300.000 contenitori in arrivo e in partenza conquistò il record Mediterraneo in questo traffico ad alta specializzazione. Il fatto che negli ultimi anni tale primato, che Livorno detenne a lungo, sia diventato appannaggio di scali concorrenti, nulla toglie alla vocazione e alle caratteristiche di questo porto che grazie al suo hinterland di industrie produttrici di merci adatte alla contaneirizzazione si è differenziato come importante terminal marittimo nei traffici unitizzati.

Del resto a Livorno il contenitore non era certo una novità. Già tanti anni prima, infatti, le truppe americane di stanza nel vicino Camp Darby stabilirono sulla Calata Assab un centro di raccolta e smistamento dei così detti CONEX BOX, scatoloni di legno della portata di 4000 Kg, per il trasporto di materiale vario.

Fu una esperienza utile per il porto perché insegnò a risolvere i numerosi problemi di movimentazione, stoccaggio e riparazione collegati all'uso dei conex. Così quando, nella seconda metà degli anni sessanta, esplose nei traffici commerciali il boom dei contenitori da 20 e 40 piedi esso non trovò impreparate, anche sotto l'aspetto professionale, le categorie livornesi.

I risultati si sono visti, se dai 22.000 contenitori nel 1969 si è arrivati alle cifre di oggi.

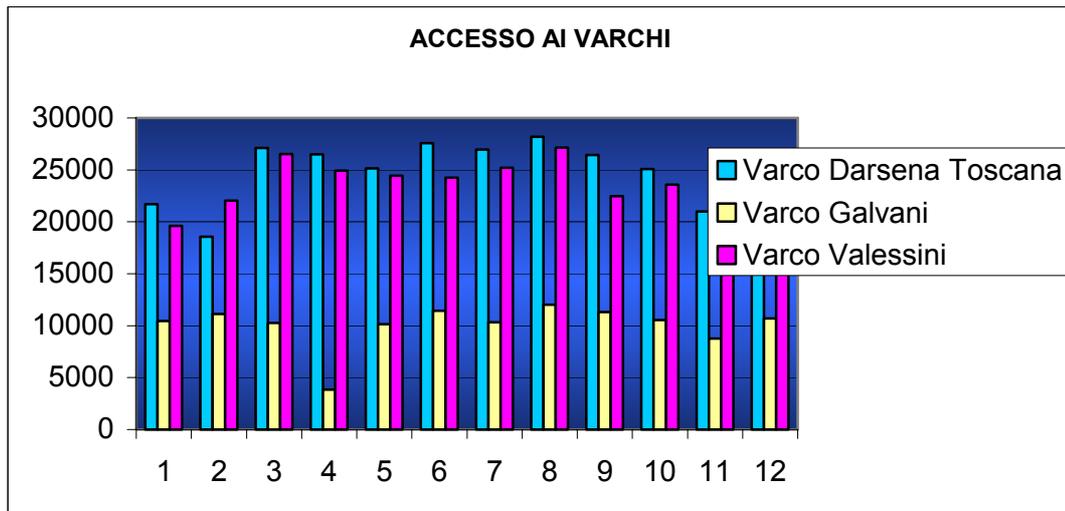


Il nostro interesse a questa attività è dovuto al fatto che una quota assai vicina all' 80% dei contenitori in arrivo ed in partenza usa il mezzo gommato.

Questo dato è stato da noi riscontrato effettuando un controllo sull' accesso ai varchi

- Darsena Toscana
- Galvani
- Valessini

effettuato dai mezzi pesanti nei diversi mesi dell' anno.



Possiamo ragionevolmente parlare di circa trecento imprese di auto trasporto, con sede principale o secondaria a Livorno, operanti nell' ambito dello scalo marittimo.

E' quindi necessario considerare questo traffico come un valore aggiuntivo del normale traffico cittadino.

4.2 INTERPORTO TOSCANO LIVORNO-GUASTICCE

Il progetto Interporto nasce negli anni 80 per dare una risposta alla crescente richiesta di aree di stoccaggio dovuta all'esplosione del traffico containerizzato che stava saturando il Porto di Livorno. Il progetto trovava riferimento legislativo nel Piano Generale dei Trasporti, P.G.T. approvato con DPR 10/01/1986, e quindi nel Piano Regionale Integrato dei Trasporti (PRIT) del 30/05/89, con l'individuazione dei corridoi plurimodali e dell'assetto dei centri merci.

Nel 1990 la Legge 240 fa chiarezza sul ruolo degli interporti e sull'intermodalità, e inserisce l'Interporto di Livorno tra quelli di 1° livello di importanza nazionale, potendo quindi beneficiare delle speciali provvidenze economiche previste.

In questi ultimi anni gli interporti stanno vivendo una realtà in continua evoluzione che segue la rivoluzione in atto nel mondo del trasporto e della logistica configurandosi sempre più come poli logistici dove si realizzano, con le primarie funzioni di interscambio modale, servizi di supporto al sistema delle imprese.

L'Interporto Guastocce, situato a metà strada tra lo scalo marittimo livornese e l'aeroporto internazionale "Galilei" di Pisa, in questi anni ha prodotto un grande sforzo per risanare un territorio difficile, in termini geotecnici e di rischio idraulico, aggiornando la propria progettazione di 1° fase realizzativa attraverso due adeguamenti al Piano Particolareggiato comunale che hanno consentito, pur mantenendo la logica di impianto originario, di produrre una progettazione delle strutture al passo con i tempi e di soddisfare pienamente le nuove richieste insediative.

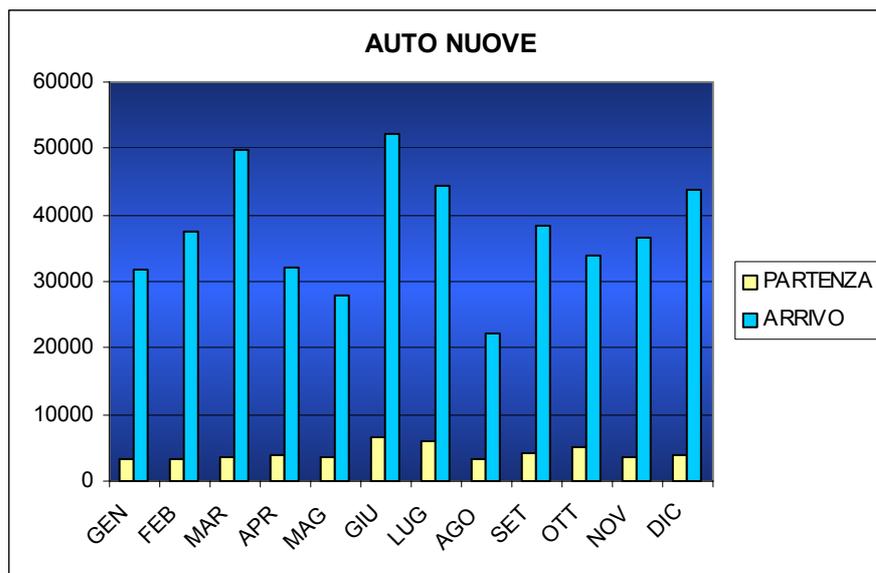
4.3 LE AUTO NUOVE



Il traffico di AUTO NUOVE nel Porto di Livorno riveste una notevole importanza, tanto da rendere lo scalo livornese uno dei principali del settore, non solo in Italia ma in Europa (fondamentale grazie alla vastissima disponibilità di spazi che questo traffico richiede).

Uno dei terminal più importanti per questa attività è il “LEONARDO DA VINCI” specializzato nel traffico di auto nuove, dispone di 167 metri di banchina e di circa 100.000 metri quadri di aree.

Il terminal offre inoltre la disponibilità per attività correlate al traffico gestito, come il lavaggio, la deceratura, eventuali modifiche meccaniche, assemblaggio, e magazzinaggio.



Il grafico nella pagina precedente mostra l' entità del traffico di auto nuove nel porto ed evidenzia la netta superiorità dei mezzi in arrivo rispetto a quelli in partenza.

Le auto nuove che giungono al porto di Livorno da tutta Europa, dall' America ed anche da Oriente vengono poi smistate in tutto il centro Italia attraverso un fitto sistema di autotrasporto. Al loro arrivo però esse vengono messe in moto e guidate dallo sbarco fino ai piazzali specializzati.

È quindi importante al fine del nostro studio tenere di conto anche della loro presenza.

4.4 I TRAGHETTI E LE NAVI DA CROCIERA

Quello che nei decenni scorsi era considerato solo uno scalo commerciale è diventato via via un porto passeggeri di primo ordine tanto che il relativo movimento è arrivato ad oltrepassare 2.000.000 passeggeri l'anno (vedi tabella), merito indubbiamente della brevità delle rotte per Corsica e Sardegna, dove si dirige nel periodo estivo una notevole massa di Turisti, ma merito anche delle moderne strutture ricettive realizzate nel porto.

MESE	PASSEGGERI		
	ARRIVI	PARTENZE	TOTALE
GEN	18287	13373	31660
FEB	8251	8203	16454
MA	17870	24787	42657
APR	32515	38451	70966
MAG	57054	78120	135174
GIU	111406	148226	259632
LUG	194181	222331	416512
AGO	277531	256942	534473
SET	162309	94097	256406
OTT	48700	33800	82500
NOV	17956	14286	32242
DIC	18698	26069	44767
TOTALE	964758	958685	1923443

L'aspetto per noi interessante è legato al fatto che la maggior parte di questi turisti si reca all'imbarco con un proprio mezzo di trasporto.

Il fatto che il porto si trovi proprio nel centro della città, ci impone di considerare le auto, le moto ed i mezzi pesanti al seguito dei turisti come un dato aggiuntivo al normale traffico cittadino.

CONSUNTIVO NAVI TRAGHETTO (ANNO 2005)									
MESE	AUTO			MOTO			MEZZI PESANTI		
	ARRIVI	PART.	TOTALE	ARRIVI	PART.	TOTALE	ARRIVI	PART.	TOTALE
GEN	7052	5204	12256	17	7	24	537	562	1099
FEB	3554	3565	7119	7	9	16	679	690	1369
MAR	6173	8304	14477	60	100	160	944	994	1938
APR	10356	12540	22896	446	692	1138	764	935	1699
MAG	18822	26868	45690	2220	2899	5119	1091	1176	2267
GIU	38045	51220	89265	3492	3327	6819	1921	2476	4397
LUG	60641	71050	131691	2848	3515	6363	2770	3412	6182
AGO	84748	80507	165255	7643	7330	14973	2677	2734	5411
SET	57317	33593	90910	2455	1639	4094	1036	1128	2164
OTT	18132	12041	30173	468	281	749	1728	1566	3294
NOV	7540	5792	13332	51	10	61	1108	1007	2115
DIC	7484	9524	17008	8	29	37	957	880	1837
TOTALE	319864	320208	640072	19715	19838	39553	16212	17560	33772

Occorre inoltre sottolineare che ogni anno giungono nel porto di Livorno altri 400.000 passeggeri provenienti dalle 400 navi da crociera che mediamente vi fanno scalo. Queste persone utilizzano pullman turistici per recarsi nelle principali province toscane.

4.5 LE NAVI

L'aspetto più evidente di cui non abbiamo ancora parlato sono proprio le Navi, che spostandosi nelle acque limitrofe al porto e all'interno dei bacini costituiscono delle vere e proprie sorgenti di inquinamento. Le emissioni in atmosfera dovute ai motori navali sono regolamentate dalla **Direttiva 2001/80/CE** del Parlamento europeo del 23 ottobre 2001 concernente la **“limitazione delle emissioni nell'atmosfera di taluni inquinanti originati dai grandi impianti di combustione”** aggiornata in parte dalla **Direttiva 2003/47/CE** del 15 gennaio 2003.

Fattore di impatto ambientale “normato”	Fonte normativa	Categorie di navi	Media ambientale
<i>Emissioni di ossidi di azoto</i> <i>Ciascun motore diesel con una potenza in uscita superiore a 130kW installato a bordo di una nave costruita dopo il 1/1/2000, o riconvertito dopo quella data, deve rispettare i limiti di cui alla reg 13, espressi in g NOx/kWh e variabili in funzione del “rated engine speed” espresso in rpm.</i>	<i>M Annex VI, reg. 13</i>		
Halon. Divieto all'uso di halon a bordo di navi costruite dopo il 1/10/94.	SOLAS 74, Cap. II-2, reg. 5 e 6	Navi da carico	A
Halon. Divieto all'uso di halon e obbligo di recupero degli halon contenuti nei sistemi di protezione antincendio e negli estintori: non si applica alle navi mercantili qualora i detentori degli halon presentino un piano di recupero degli stessi.	D M Ambiente 2/9/2003, art.1	Tutte	A
<i>Sostanze lesive per l'ozono</i>	<i>Protocollo di</i>	<i>Tutte</i>	<i>A</i>

<p><i>stratosferico. Sono proibite le emissioni deliberate di sostanze lesive per l'ozono stratosferico, compresi gli halon e i clorofluorocarburi (CFC), incluse le emissioni che avvengono nelle operazioni di manutenzione e smaltimenti dei sistemi (sono invece escluse le emissioni da perdite delle installazioni). Sono proibite su tutte le navi le nuove installazioni che contengono tali sostanze, con l'eccezione delle installazioni che contengono idro-clorofluorocarburi (HCFC), che sono consentite fino al 1/1/2020. Per le installazioni esistenti contenenti tali sostanze sono già intervenuti divieti (bando dell'uso), con un'eccezione per halons.</i></p>	<p><i>Montreal 1987/1997, M All. VI, reg. 12</i></p>		
<p><i>L'incenerimento dei rifiuti è regolamentato dall'Annesso VI, ma può essere eseguito solo se permesso dalle Autorità di Bandiera e da quelle Costiere. Non ci sono normative nazionali specifiche in proposito, Eventuali ordinanze delle Capitanerie di Porto che vietano l'incenerimento alle navi di bandiera italiano o estera sono vincolanti solo nella fascia territoriale del compartimento marittimo di competenza. Al di fuori delle acque territoriali dovrebbe essere sempre consentito, purchè si rispetti la Marpol.</i></p>	<p><i>M All. VI reg. 16, Ordinanze Capitanerie di porto</i></p>		<p><i>A</i></p>

<p>Ogni inceneritore installato a bordo delle navi dopo il 1/1/2000 deve: 1) essere dotato di un certificato emesso dall'Amministrazione che attesti a) il fatto che sia "di tipo approvato" secondo lo standard per il test "di t. a." riportato nell'Appendice IV all'Annesso VI Marpol e b) la sua rispondenza ai requisiti della Risoluzione IMO MEPC.76 (40) "Specificazioni standard per gli inceneritori di bordo"; 2) essere dotato di sistema di monitoraggio in continuo della temperatura dell'effluente in uscita; e 3) essere gestito in maniera tale che non sia alimentato con rifiuti quando la temperatura scende al disotto degli 850 °C consentiti. Non è quindi richiesto un controllo operativo delle emissioni o dei parametri di funzionamento dell'impianto di combustione, se non la temperatura dell'effluente. La</p>	<p>M.All.VI reg. 16, Risoluzione IMO MEPC.76 (40) "Specificazioni standard per gli inceneritori di bordo" (solo inceneritori fino a 1.500 kW per unità)</p>	<p>Tutte</p>	<p>A, M (fanghi dell'inceneritore)</p>
<p>Risoluzione citata chiede anche che siano effettuati dei controlli almeno spot sul contenuto di ossigeno nella camera di combustione</p>			
<p>E' proibito l'incenerimento a bordo di navi di determinate sostanze, fra le quali i residui del carico di cui all'Annesso I, II e III Marpol, i materiali d'imballaggio contaminati dalle medesime sostanze, i "polychlorinated biphenyls" (PCBs), i rifiuti contenenti metalli pesanti in dosi superiori a quelle di "traccia" e i prodotti petroliferi raffinati contenenti composti alogenati.</p>	<p>M.All.VI reg. 16</p>	<p>Tutte</p>	<p>A</p>
<p>Le miscele oleose di sentina, le morchie della purificazione del combustibile, i fanghi fognari (da impianto di trattamento) non sono residui del carico. Di conseguenza la loro combustione è consentita. Essa può avvenire anche negli impianti di combustione principali o ausiliari o nelle caldaie, purché non nei porti.</p>	<p>M.All.VI reg. 16</p>	<p>Tutte</p>	<p>A</p>

<i>L'incenerimento a bordo di plastiche PVC è consentito solo se mediante inceneritori dotati di certificazione di tipo approvato dall'IMO</i>	<i>M.All.VI reg. 16</i>		
Le polveri risultanti dai processi di incenerimento rientrano nella categoria dei "rifiuti operativi" di cui alla reg. 1 Annex V (definizione di rifiuti) e nella cat. "tutti gli altri rifiuti" ai fini dell'applicazione delle regole sullo scarico dei rifiuti in funzione delle aree (speciali o meno). Ne consegue che lo scarico in mare delle polveri è sempre vietato nelle aree speciali, mentre al di fuori di tali aree è consentito solo oltre le 12 miglia. Le navi che operano l'inceneritore nelle aree speciali devono quindi consegnare le polveri agli impianti di raccolta a terra.	Risoluzione IMO MEPC.76 (40) "Specificazioni standard per gli inceneritori di bordo", art. 1.8.2		

Il movimento complessivo di navi da noi preso in considerazione ci è stato fornito dall' Autorità Portuale di Livorno ed è raccolto nella tabella che segue.

MOVIMENTO NAVI PORTO DI LIVORNO					
	ANNO 2001	ANNO 2002	ANNO 2003	ANNO 2004	ANNO 2005
	Num. Mov.				
TRADIZIONALE	1002	918	890	1153	798
PORTACONTENITORI	1275	1388	1221	1120	1091
TRAGHETTI	4152	4432	4338	4308	4385
PORTARINFUSE	264	235	297	279	238
CISTERNE	1538	1447	1231	1040	763
TOTALE	8231	8420	7977	7900	7275

4.6 LE IMBARCAZIONI DA DIPORTO



Un aspetto caratteristico della città è il rione di “Venezia Nuova”.

Il quartiere, la cui costruzione fu avviata nel 1629 su progetto dell’ ingegner Santi, deve il suo nome alla scelta operata, al tempo, di ricorrere a tecniche e maestranze veneziane. Nacque così questo splendido spaccato urbanistico che mantiene ancora oggi gran parte delle caratteristiche originarie: una fitta rete di canali navigabili che anticamente collegavano il porto ai magazzini e alle abitazioni dei commercianti ivi residenti, fondazioni sull’ acqua, ponti, vicoli e palazzi signorili. L’ utilizzo attuale dei “fossi” è riservato al ricovero delle numerose imbarcazioni da diporto. Altri natanti sono invece approdati presso lo Yacht Club, la Lega Navale ed i tre moli che incontriamo lungo la costa.

Essendo il numero complessivo di questi mezzi a motore notevolmente elevato, almeno nel periodo estivo, risulta per noi imprescindibile la loro considerazione al fine del nostro studio.

Nella pagina seguente è allegato l’ ultimo censimento barche risalente al 1997, che riteniamo vicino a quello attuale vista l’ invarianza degli spazi disponibili.

CENSIMENTO IMBARCAZIONI DA DIPORTO					
PUNTI DI ATTRACCO	FINO A 6m	DA 6,5m A 12m	DA 12m A 16m	N.R.	TOT
FOSSI	1792	481		23	2296
YACHT CLUB		66	26		92
LEGA NAVALE		13	5		18
MOLO NAZARIO SAURO	160	80			240
MOLO ARDENZA				243	243
MOLO ANTIGNANO	200	100			300
TOTALE	2152	740	31	266	3189

I RISULTATI

Introducendo nel modello Aqman modificato tutti i valori considerati fino ad ora siamo giunti ad una previsione della concentrazione di Ozono presente nella città di Livorno per gli anni 2001, 2002, 2003, 2004, 2005 di cui avevamo già i reali rilevamenti effettuati dalla società ARPAT.

Come già detto i valori di ozono che abbiamo considerato sono quelli relativi alla centralina di Via Rossi e di P.za Cappiello, tenendo conto che entrambe rientrano nell' area dei cinque chilometri dal centro della città, si è pensato di mediare i due valori per omogeneizzare i rilevamenti.

Il confronto tra i valori medi dei dati ARPAT e quelli di output del modello, come si può verificare dai grafici che seguono, evidenzia una somiglianza oltre le aspettative.

IL FOGLIO DI LAVORO

Record Number Location		LAT	LON	Elev, m	Day of Year	Year	Month	
1	Livorno,LI	11	10,32	43,544	4	1	2001	1
2	Livorno,LI	11	10,32	43,544	4	2	2001	1
3	Livorno,LI	11	10,32	43,544	4	3	2001	1
4	Livorno,LI	11	10,32	43,544	4	4	2001	1
5	Livorno,LI	11	10,32	43,544	4	5	2001	1
6	Livorno,LI	11	10,32	43,544	4	6	2001	1
7	Livorno,LI	11	10,32	43,544	4	7	2001	1
8	Livorno,LI	11	10,32	43,544	4	8	2001	1
9	Livorno,LI	11	10,32	43,544	4	9	2001	1
10	Livorno,LI	11	10,32	43,544	4	10	2001	1
11	Livorno,LI	11	10,32	43,544	4	11	2001	1
12	Livorno,LI	11	10,32	43,544	4	12	2001	1
13	Livorno,LI	11	10,32	43,544	4	13	2001	1
14	Livorno,LI	11	10,32	43,544	4	14	2001	1
15	Livorno,LI	11	10,32	43,544	4	15	2001	1
16	Livorno,LI	11	10,32	43,544	4	16	2001	1
17	Livorno,LI	11	10,32	43,544	4	17	2001	1
18	Livorno,LI	11	10,32	43,544	4	18	2001	1
19	Livorno,LI	11	10,32	43,544	4	19	2001	1
20	Livorno,LI	11	10,32	43,544	4	20	2001	1
21	Livorno,LI	11	10,32	43,544	4	21	2001	1
22	Livorno,LI	11	10,32	43,544	4	22	2001	1
23	Livorno,LI	11	10,32	43,544	4	23	2001	1
24	Livorno,LI	11	10,32	43,544	4	24	2001	1
25	Livorno,LI	11	10,32	43,544	4	25	2001	1
26	Livorno,LI	11	10,32	43,544	4	26	2001	1
27	Livorno,LI	11	10,32	43,544	4	27	2001	1
28	Livorno,LI	11	10,32	43,544	4	28	2001	1
29	Livorno,LI	11	10,32	43,544	4	29	2001	1
30	Livorno,LI	11	10,32	43,544	4	30	2001	1
31	Livorno,LI	11	10,32	43,544	4	31	2001	1

Day			Date	Total Traffic Volume, veh/day			
				< 5 km Radius	5-8 km Radius	8-16 km Radius	Total
1	Mon	1	1/1/01	164.818	98.891	89.002	352.710
2	Tue	2	1/2/01	152.353	91.412	82.271	326.036
3	Wed	3	1/3/01	152.353	91.412	82.271	326.036
4	Thu	4	1/4/01	152.353	91.412	82.271	326.036
5	Fri	5	1/5/01	164.818	98.891	89.002	352.710
6	Sat	6	1/6/01	65.103	39.062	35.156	139.320
7	Sun	7	1/7/01	40.174	24.104	21.694	85.973
8	Mon	1	1/8/01	164.818	98.891	89.002	352.710
9	Tue	2	1/9/01	152.353	91.412	82.271	326.036
10	Wed	3	1/10/01	152.353	91.412	82.271	326.036
11	Thu	4	1/11/01	152.353	91.412	82.271	326.036
12	Fri	5	1/12/01	164.818	98.891	89.002	352.710
13	Sat	6	1/13/01	65.103	39.062	35.156	139.320
14	Sun	7	1/14/01	40.174	24.104	21.694	85.973
15	Mon	1	1/15/01	164.818	98.891	89.002	352.710
16	Tue	2	1/16/01	152.353	91.412	82.271	326.036
17	Wed	3	1/17/01	152.353	91.412	82.271	326.036
18	Thu	4	1/18/01	152.353	91.412	82.271	326.036
19	Fri	5	1/19/01	164.818	98.891	89.002	352.710
20	Sat	6	1/20/01	65.103	39.062	35.156	139.320
21	Sun	7	1/21/01	40.174	24.104	21.694	85.973
22	Mon	1	1/22/01	164.818	98.891	89.002	352.710
23	Tue	2	1/23/01	152.353	91.412	82.271	326.036
24	Wed	3	1/24/01	152.353	91.412	82.271	326.036
25	Thu	4	1/25/01	152.353	91.412	82.271	326.036
26	Fri	5	1/26/01	164.818	98.891	89.002	352.710
27	Sat	6	1/27/01	65.103	39.062	35.156	139.320
28	Sun	7	1/28/01	40.174	24.104	21.694	85.973
29	Mon	1	1/29/01	164.818	98.891	89.002	352.710
30	Tue	2	1/30/01	152.353	91.412	82.271	326.036
31	Wed	3	1/31/01	152.353	91.412	82.271	326.036

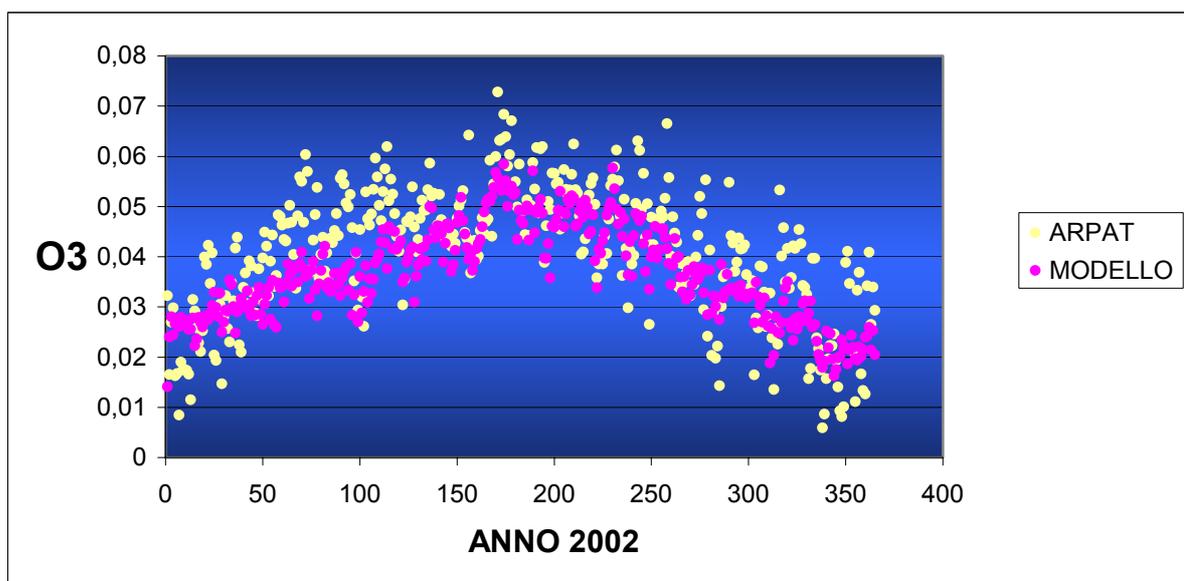
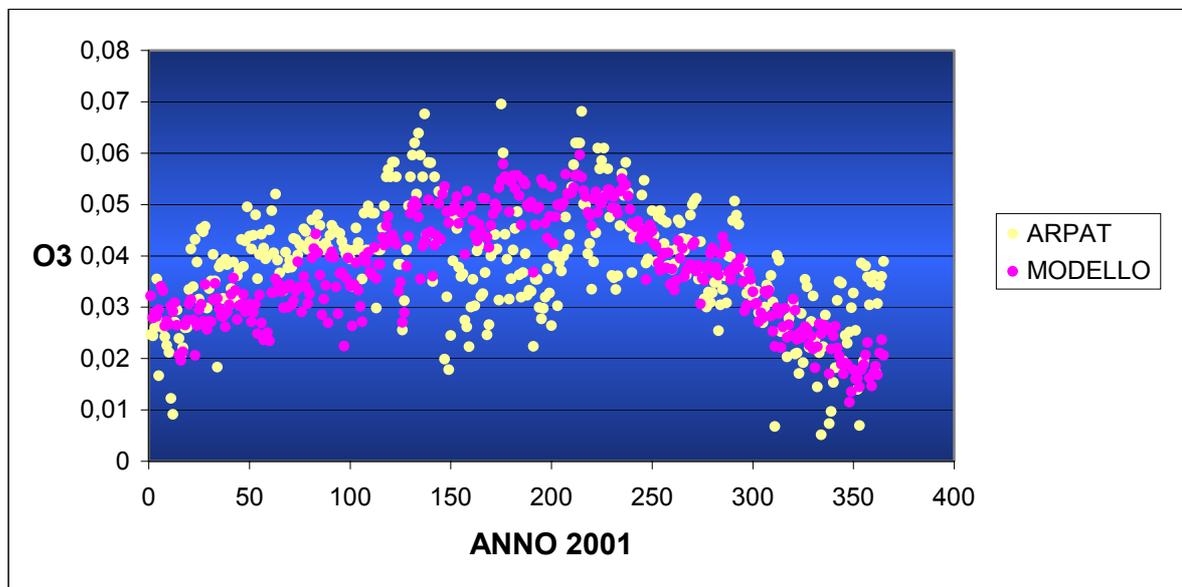
% Car			Air Temperature, °C				Wind Speed, m/s		
< 5 km Radius	5-8 km Radius	8-16 km Radius	Avg Temp.	Max Temp.	Min Temp.	Max-Min	Avg Speed	Max Speed	Min Speed
0,530	0,488	0,449	5,93	9,74	2,97	6,77	1,54	2,91	0,46
0,530	0,487	0,448	9,58	11,35	7,61	3,73	2,29	3,82	1,42
0,530	0,487	0,448	10,36	11,59	8,79	2,80	1,48	2,36	0,96
0,530	0,487	0,448	8,09	9,66	6,31	3,34	1,87	3,26	0,69
0,530	0,488	0,449	8,51	10,82	5,85	4,98	1,25	3,17	0,62
0,527	0,485	0,446	12,82	15,54	10,77	4,77	2,74	4,13	1,95
0,524	0,482	0,443	12,50	15,50	9,33	6,17	1,69	2,52	0,64
0,530	0,488	0,449	8,62	9,76	7,81	1,95	1,10	1,80	0,00
0,530	0,487	0,448	8,50	11,44	5,85	5,59	1,17	2,20	0,45
0,530	0,487	0,448	9,19	10,48	7,83	2,65	1,74	2,84	1,03
0,530	0,487	0,448	10,57	12,97	9,45	3,53	1,51	1,83	0,97
0,530	0,488	0,449	9,84	10,62	8,58	2,04	2,01	2,77	1,55
0,527	0,485	0,446	6,54	8,60	3,31	5,30	4,44	6,50	2,39
0,524	0,482	0,443	1,67	3,69	0,52	3,17	4,98	6,03	3,74
0,530	0,488	0,449	0,23	2,78	-1,08	3,87	3,14	3,88	1,91
0,530	0,487	0,448	1,67	5,02	0,55	4,47	2,60	3,47	1,94
0,530	0,487	0,448	2,53	5,76	0,90	4,86	3,44	4,34	1,72
0,530	0,487	0,448	5,90	8,78	3,75	5,03	0,94	1,34	0,38
0,530	0,488	0,449	6,06	8,69	4,50	4,20	2,36	3,19	1,22
0,527	0,485	0,446	6,93	11,08	5,05	6,03	2,53	3,66	1,05
0,524	0,482	0,443	7,38	11,33	5,27	6,06	1,70	2,61	0,61
0,530	0,488	0,449	7,36	10,26	5,01	5,25	1,08	1,79	0,40
0,530	0,487	0,448	3,64	9,23	0,00	9,23	1,39	2,09	0,53
0,530	0,487	0,448	8,94	9,82	6,44	3,38	2,09	3,94	0,85
0,530	0,487	0,448	9,00	13,54	5,22	8,32	1,62	3,30	0,42
0,530	0,488	0,449	9,04	11,98	7,14	4,85	2,03	2,99	1,04
0,527	0,485	0,446	8,73	11,46	6,70	4,76	1,04	1,82	0,87
0,524	0,482	0,443	10,82	14,79	8,59	6,20	2,03	2,99	1,04
0,530	0,488	0,449	9,32	10,28	8,28	2,00	1,04	1,82	0,87
0,530	0,487	0,448	10,20	12,00	9,37	2,63	2,40	3,56	1,84
0,530	0,487	0,448	9,86	11,71	8,56	3,16	1,47	1,94	0,61

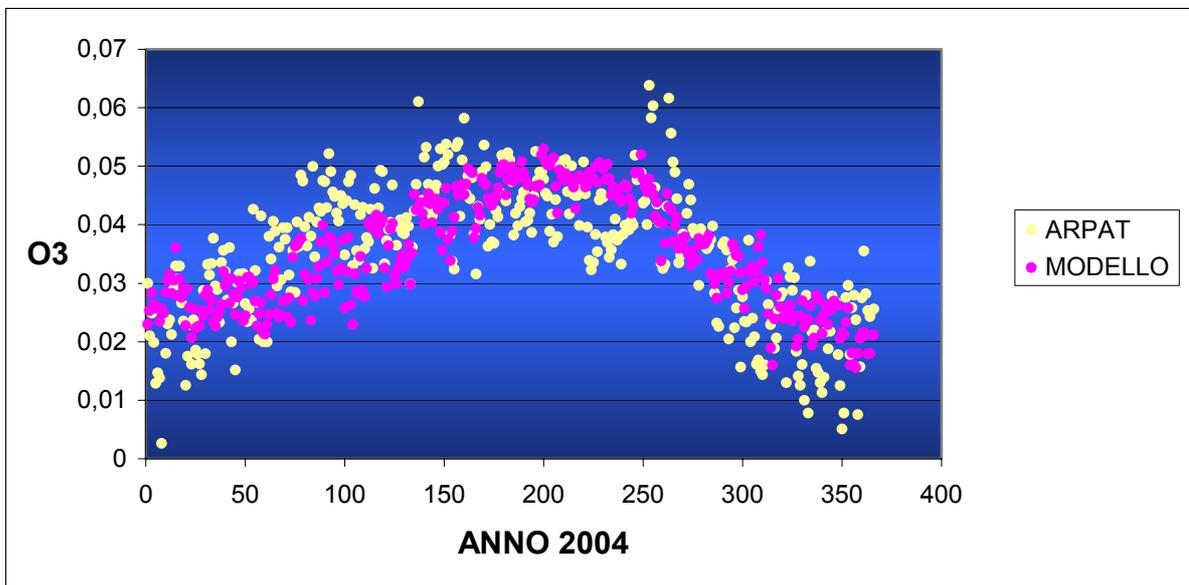
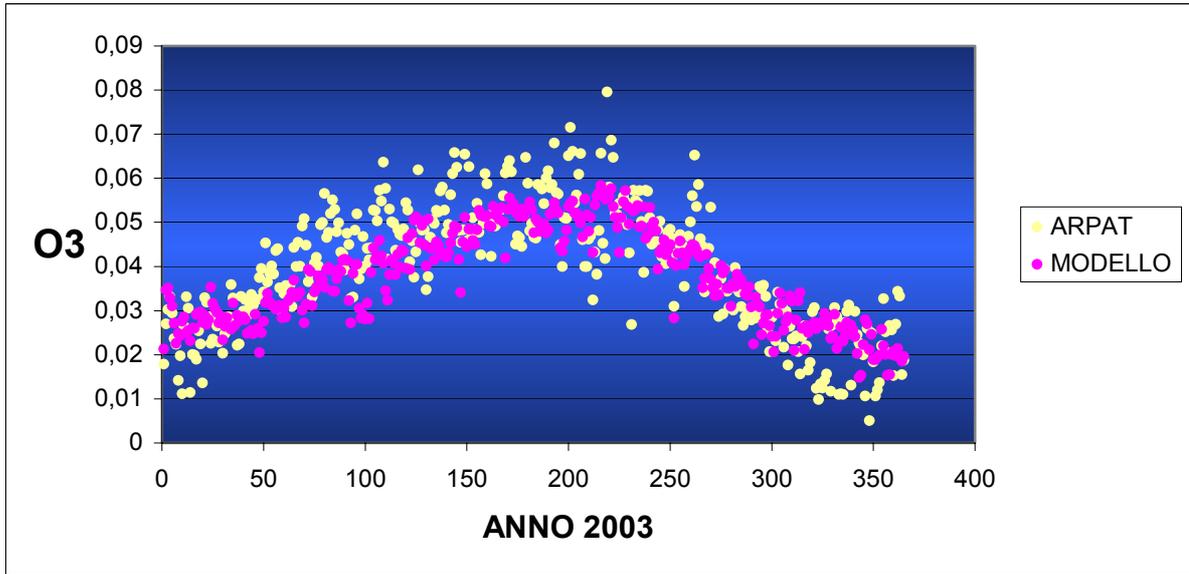
Avg Wind Direction, degree	Total Precipitation, inches	Cloud Cover, Y(0)/P(1)/N(2)	Solar Radiation, Langleys/day	Avg Daily Operations			
				< 8 km Radius	8-16 km Radius	16-32 km Radius	Total
104	0,0	2	97	45	0	75	120
127	0,2	0	26	45	0	75	120
222	0,0	1	70	45	0	75	120
174	0,5	0		45	0	75	120
166	0,0	2	43	45	0	75	120
133	0,0	1	27	50	0	96	146
158	0,0	1	30	50	0	96	146
230	0,4	0	50	45	0	75	120
252	0,0	2	100	45	0	75	120
122	0,0	1	24	45	0	75	120
122	0,0	1	20	45	0	75	120
71	0,0	1	15	45	0	75	120
54	0,0	2	52	45	0	96	141
52	0,0	2	108	45	0	96	141
52	0,0	2	52	45	0	75	120
52	0,0	2	42	45	0	75	120
56	0,3	0	26	45	0	75	120
147	0,0	1	85	45	0	75	120
50	0,0	2	55	45	0	75	120
86	0,0	2	71	45	0	96	141
98	0,0	2	115	45	0	96	141
96	0,0	2	68	45	0	75	120
128	0,0	2	13	45	0	75	120
127	0,0	2		45	0	75	120
147	0,7	0		45	0	75	120
272	0,0	2	103	45	0	75	120
141	0,0	1		45	0	96	141
116	0,0	2	102	45	0	96	141
197	0,0	2	12	45	0	75	120
176	0,0	2	33	45	0	75	120
298	0,0	2	81	45	0	75	120

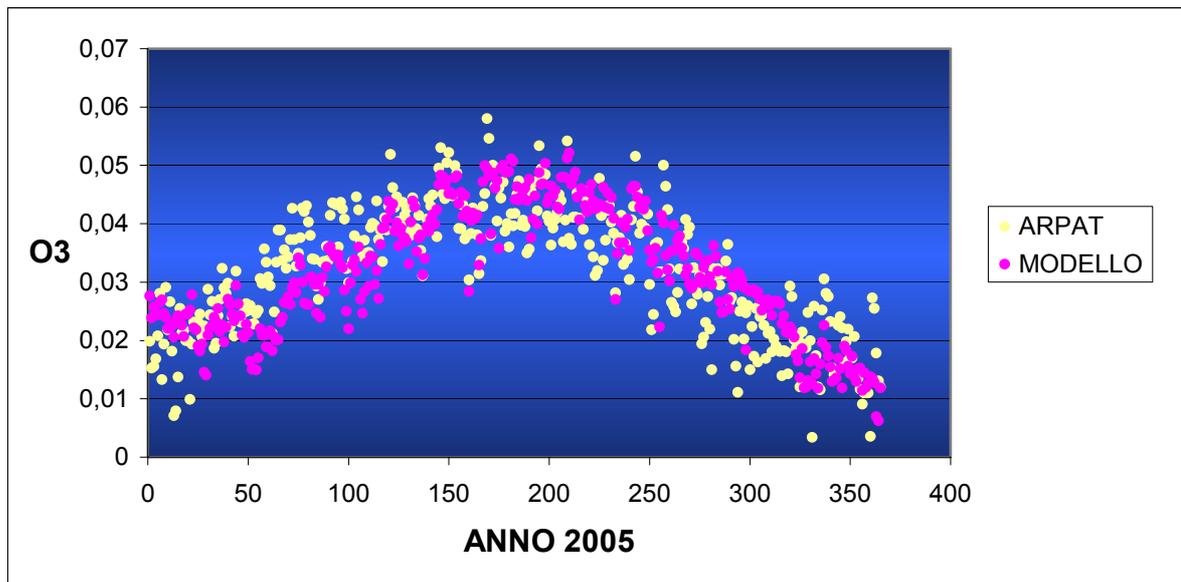
County/Province		Vehicular VOC Emissions				Vehicular NOx Emission			
Population	% Change wrt 1990	Zone 1 tons/day	Zone 2 tons/day	Zone 3 tons/day	Total tons/day	Zone 1 tons/day	Zone 2 tons/day	Zone 3 tons/day	Total tons/day
326.439	9,7	1,361761	0,603393	0,443198	2,408352	21,73807	10,06495	8,017879	39,82089
326.439	9,7	0,868142	0,391254	0,334826	1,594221	17,83373	8,076678	6,971086	32,8815
326.439	9,7	0,900114	0,532988	0,316354	1,749456	17,8907	10,70454	6,471011	35,06625
326.439	9,7	0,907762	0,501287	0,30931	1,718359	18,71935	10,38116	6,453055	35,55357
326.439	9,7	0,858776	0,531545	0,3651	1,755421	16,68056	10,47209	7,375548	34,52819
326.439	9,7	0,305232	0,194815	0,120437	0,620485	6,244214	4,007729	2,501962	12,75391
326.439	9,7	0,228705	0,122635	0,065235	0,416574	4,682803	2,52469	1,355821	8,563314
326.439	9,7	0,916186	0,483271	0,380153	1,77961	18,2298	9,714735	7,780492	35,72502
326.439	9,7	0,876628	0,453103	0,369803	1,699534	15,46679	8,232701	7,085278	30,78477
326.439	9,7	0,917804	0,487179	0,309233	1,714217	18,93461	10,09264	6,452971	35,48023
326.439	9,7	0,81093	0,43062	0,308816	1,550366	16,76798	8,937867	6,452157	32,15801
326.439	9,7	0,727008	0,418734	0,349835	1,495577	15,13773	8,74159	7,336436	31,21575
326.439	9,7	0,4148	0,219276	0,121554	0,75563	8,357578	4,454182	2,504634	15,31639
326.439	9,7	0,243544	0,128629	0,066086	0,438259	4,881265	2,601395	1,357844	8,840505
326.439	9,7	0,942984	0,500884	0,370993	1,814862	19,52939	10,4099	7,757713	37,69701
326.439	9,7	0,897125	0,474226	0,338839	1,710191	18,0696	9,630246	6,980401	34,68025
326.439	9,7	0,953576	0,503097	0,315901	1,772574	18,99448	10,1224	6,469102	35,58598
326.439	9,7	0,892909	0,467099	0,326069	1,686077	16,92638	9,016589	6,500343	32,44331
326.439	9,7	0,812034	0,459722	0,372371	1,644126	15,30076	8,829369	7,398897	31,52903
326.439	9,7	0,411173	0,215787	0,124813	0,751773	7,943425	4,232106	2,514058	14,68959
326.439	9,7	0,233975	0,121557	0,070374	0,425906	4,25785	2,267196	1,371781	7,896827
326.439	9,7	1,126634	0,489389	0,410892	2,026916	19,93429	8,913348	7,884861	36,73249
326.439	9,7	0,877458	0,516677	0,334682	1,728816	18,03802	10,67215	6,970754	35,68093
326.439	9,7	0,941185	0,5118	0,313591	1,766576	18,97347	10,40087	6,463441	35,83778
326.439	9,7	0,805151	0,460267	0,3076	1,573017	16,76002	9,606354	6,449734	32,81611
326.439	9,7	0,760994	0,517997	0,358843	1,637834	15,19375	10,44256	7,3579	32,99422
326.439	9,7	0,38117	0,202436	0,119611	0,703216	7,887593	4,204358	2,500068	14,59202
326.439	9,7	0,214223	0,112768	0,066883	0,393873	4,212526	2,24467	1,360199	7,817395
326.439	9,7	0,795501	0,422253	0,371871	1,589626	16,41005	8,746982	7,759717	32,91675
326.439	9,7	0,946389	0,499899	0,339726	1,786015	18,98201	10,1162	6,983	36,0812
326.439	9,7	0,851166	0,448524	0,317284	1,616973	16,83746	8,972395	6,473292	32,28314

CONFRONTO DATI GIORNALIERI

ARPAT-DATI AQMAN







Nelle pagine che seguono sono allegati gli istogrammi di confronto tra le medie mensili Arpat e quelle elaborate dal nostro modello.

Per tutti i mesi dell' anno (ad eccezione del mese di giugno in cui, come si vede dalla tabella sotto, lo scarto percentuale supera di poco il 20%) la differenza tra i dati non supera mai il 13%.

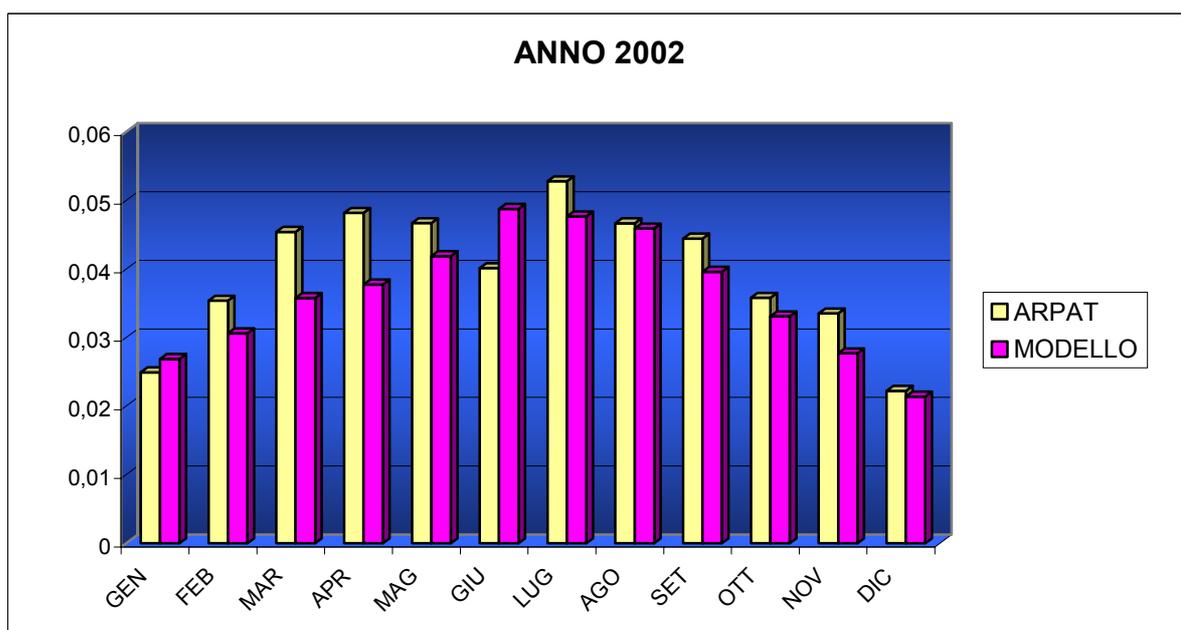
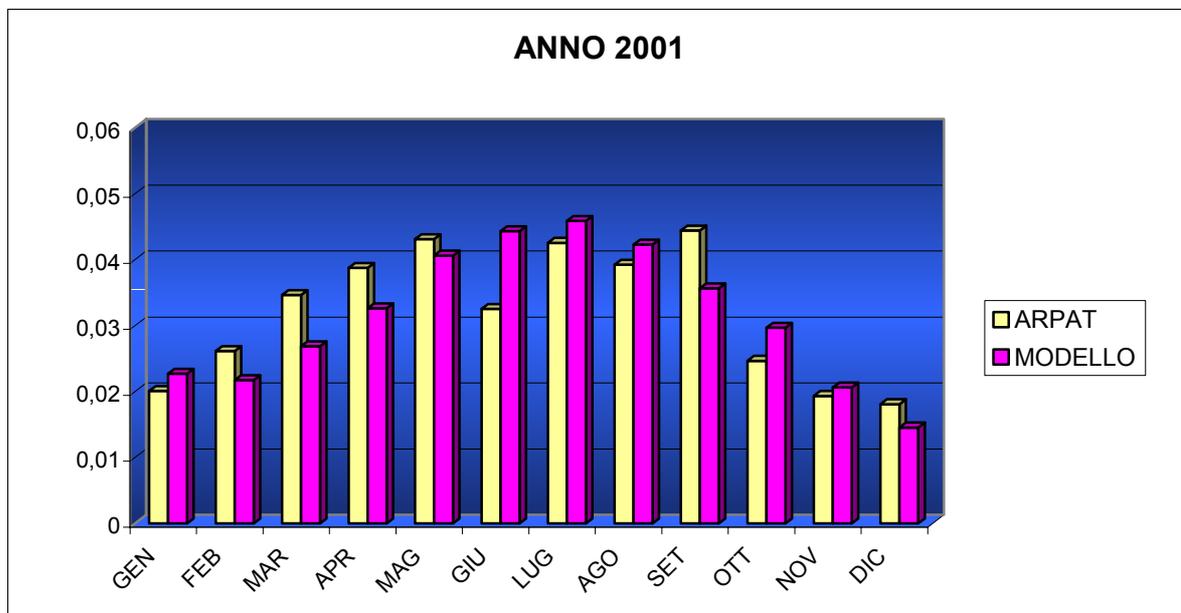
Questo dato conferma la validazione del nostro modello e ci consente di utilizzarlo per prevedere a quali conseguenze, in termini di qualità dell' aria, può condurre l' aumento del traffico veicolare, del traffico portuale o aeroportuale ma anche quali vantaggi possono portare politiche di attenzione verso l' ambiente.

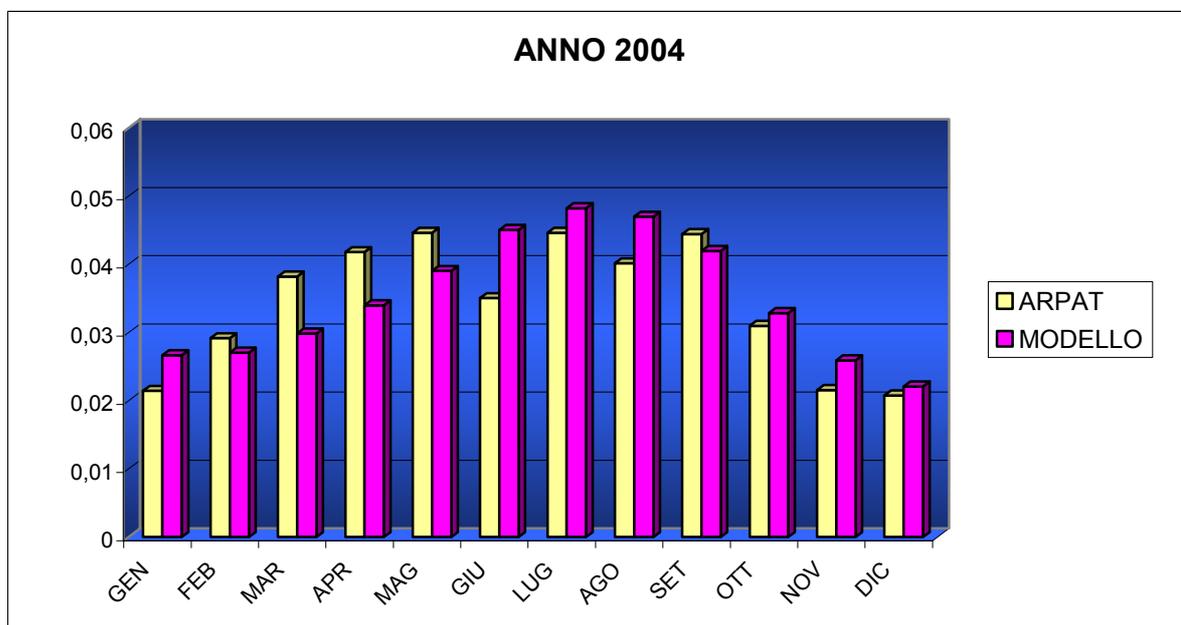
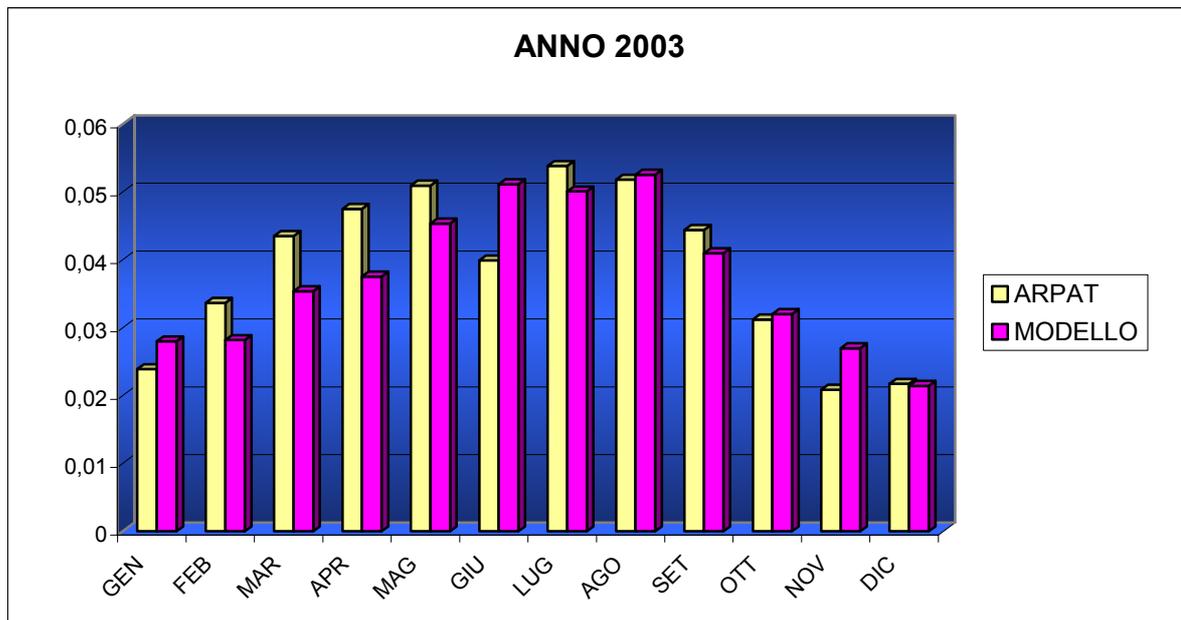
A pag 133 è riportato l' istogramma di confronto delle medie annuali.

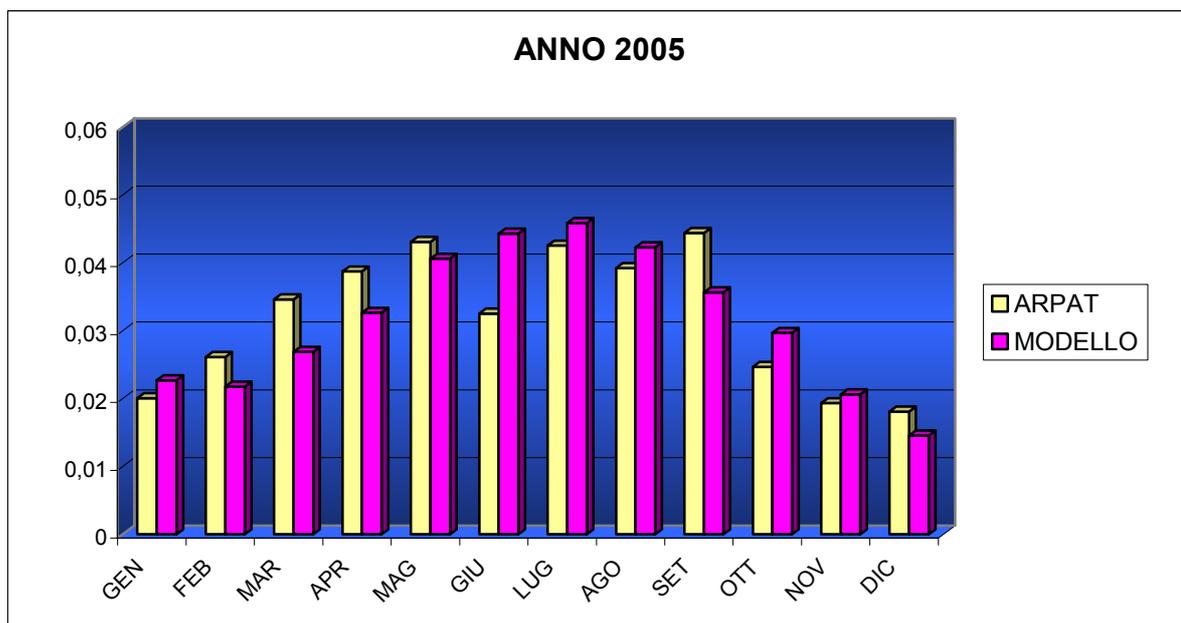
Lo scarto percentuale in questo caso risulta inferiore al 4.5%.

CONFRONTO MEDIE MENSILI

ARPAT-AQMAN

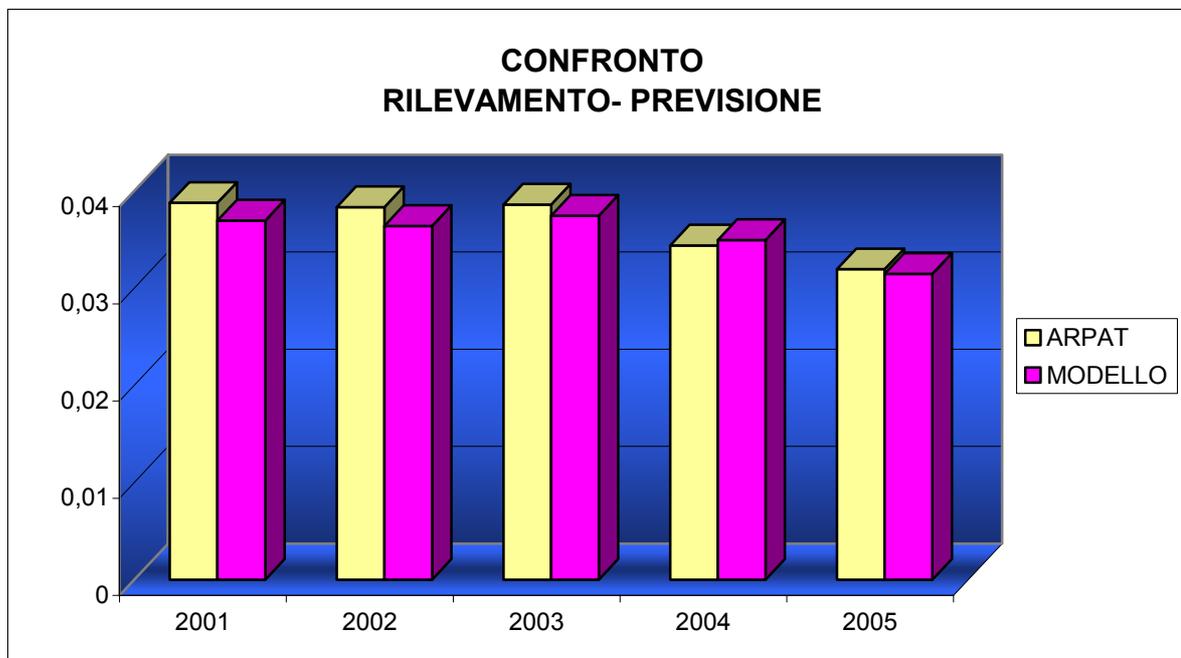






CONFRONTO DATI ANNUALI

ARPAT- AQMAN



LA PREVISIONE

Abbiamo già parlato dell' invidiabile posizione occupata da Livorno.

Sorta con la vocazione di essere la porta a mare della Toscana, si trova affacciata sul Mar Mediterraneo, alla foce della Val d' Arno che rappresenta una via naturale di penetrazione nell' interno del versante occidentale della penisola e le permette di comunicare con la conca Firenze-Pistoia e con il restante bacino dell' Arno, ovvero con le parti della regione economicamente più ricche e sviluppate, nonché con il corridoio di collegamento con l' Europa centrale e settentrionale.

Viste le prospettive di incremento dei traffici di merci che vanno delineandosi, Livorno è tutt'altro che sfavorita. Infatti se è vero che a livello internazionale i porti privilegiati per l' accoglienza dei nuovi traffici dovrebbero essere quelli di Genova e Trieste, per loro vicinanza all' Europa centrale, la reale situazione, insediativa ed infrastrutturale, di questi due porti non è così preferibile come potrebbe sembrare.

Nell' ottica delle opportunità che si presenteranno nei prossimi anni dobbiamo prendere però atto che le aree attrezzate del porto di Livorno e quelle ad esso adiacenti sono insufficienti a soddisfare la richiesta crescente degli spazi per movimentare agevolmente le merci.

Per fortuna però la potenzialità di un porto si valuta in rapporto al suo immediato retroterra e la potenzialità del porto labronico da questo punto di vista è del tutto preferibile a quella delle altre realtà portuali italiane.

Non a caso il Consiglio Nazionale dell' Economia e del Lavoro nel "rapporto sulla competitività nella portualità italiana" lo inserisce al primo posto fra i dieci

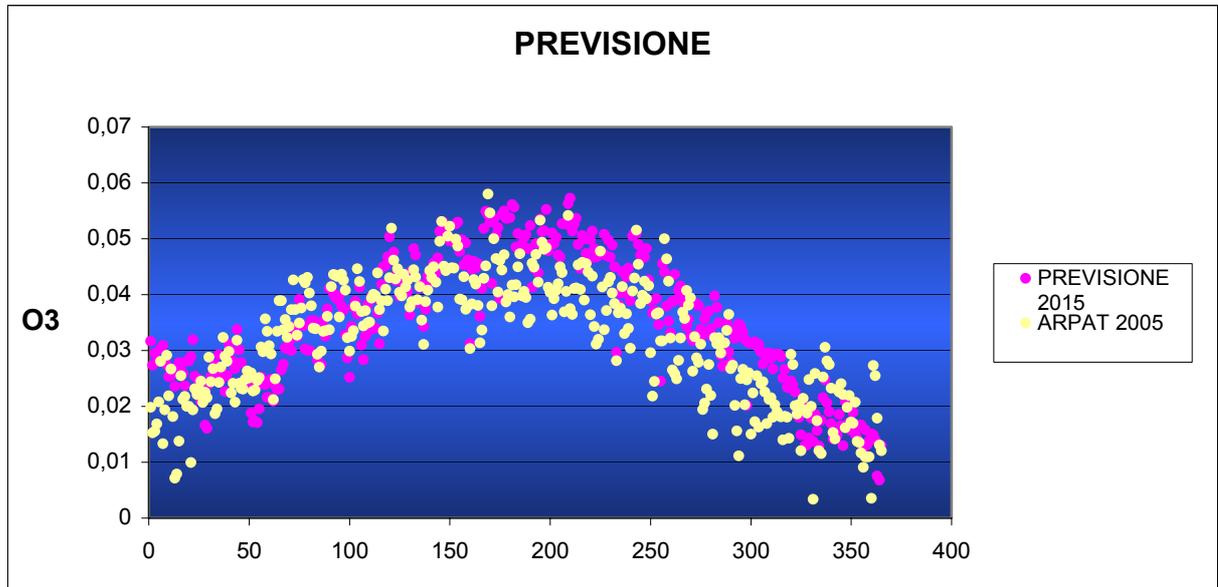
porti a maggiore vocazione di sviluppo futuro, riconoscendogli le maggiori opportunità di crescita.

Tenendo in considerazione la necessaria condizione di ampliare le aree di stoccaggio e movimentazione delle merci ed offrire assetti viari e ferroviari adeguati, il porto di Livorno prevede di poter passare dagli attuali 800.000 TEU (unità di misura dei contenitori) a circa 2.900.000 o forse più nel 2015.

Le navi di nuova generazione stanno aumentando la loro stazza netta e stazza lorda per cui l' aumento del TEU non corrisponderà necessariamente all' aumento del numero di navi, il nostro modello però, può comunque darci un' idea di quanto questa evoluzione di traffici inciderà sulla qualità dell'aria della città di Livorno.

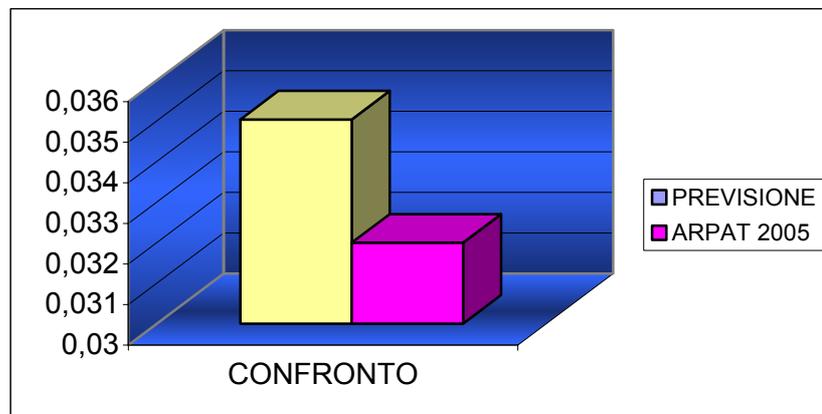
CONFRONTO DATI GIORNALIERI

ARPAT 2005 - MODELLO 2015



CONFRONTO MEDIA ANNUALE

ARPAT 2005 – MODELLO 2015



Ovviamente tra i dati in ingresso nel modello è stato modificato il numero di movimenti di navi ma anche il numero di mezzi pesanti che, come abbiamo visto nel paragrafo relativo all' auto trasporto containers, risulta ad esso legato.

L' andamento del grafico riferisce un aumento della percentuale di ozono nell' aria rispetto a quella rilevata ad oggi dalle centraline Arpat (particolarmente evidente nell' istogramma delle medie annuali dove si vede che i valori sono quasi doppi rispetto a quelli attuali).

Questo conferma ancora l' attendibilità del nostro modello ma ci mette in guardia di fronte al fatto che il progetto di ampliamento dei traffici commerciali comporterà un miglioramento nell' economia cittadina ma anche un peggioramento delle condezioni ambientali.

Questo deve essere di stimolo per la ricerca di innovazioni tecnologiche che consentano ai mezzi di trasporto futuri di creare minor danno all' ambiente.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- *“INVENTARIO REGIONALE DELLE SORGENTI DI EMISSIONE IN ARIA AMBIENTE”*
Direzione Generale Politiche Territoriali Ambientali (Regione Toscana)
Aggiornamento all’ anno 1995
- *“INVENTARIO REGIONALE DELLE SORGENTI DI EMISSIONE IN ARIA AMBIENTE”*
Direzione Generale Politiche Territoriali Ambientali (Regione Toscana)
Aggiornamento all’ anno 2000
- *“CONSIDERAZIONI SULLA STRUTTURA ORGANIZZATIVA DEL SETTORE LAVORI PUBBLICI E VIABILITA’”*
Analisi condotta a cura del Servizio di Statistica, Studi Ricerca e Documentazione della provincia di Livorno
Giugno 2001
- *“SMOG E DINTORNI*
L’inquinamento atmosferico ed acustico nelle città italiane”
Legambiente
Gennaio 2005
- *“QUALITA’ DELL’ ARIA NELLE AREE URBANE TOSCANE”*
Daniele Grechi, Franco Giovannini, Gabriella Caldini, Federica Cimoli
Giugno 2005
- *“LA MOBILITA’ IN ITALIA: IDICATORI SU TRASPORTI ED AMBIENTE”*
APAT
Dati di sintesi Anno 2005
- *“PORTO DI LIVORNO*
Un’idea per l’ Europa”
Camera di Commercio, Industria Agricoltura e Artigianato del Comune di Livorno”
Gennaio 2003
- *“LE OPPORTUNITA’ DELLA PORTUALITA’ NELLA PROVINCIA DI LIVORNO”*
Università degli studi di Firenze in collaborazione con la Provincia di Livorno
Giugno 2006
- *“ RELAZIONE SULLE ATTIVITA’ PORTUALI PER L’ ANNO 2005”*
Autorità Portuale di Livorno
Marzo 2006

INDICE

INTRODUZIONE	pag. 1
CAPITOLO 1- INQUINANTI DELL' ARIA	pag. 3
1.1- INQUINANTI PRIMARI E SECONDARI	pag. 5
1.2- INQUINANTI DI ORIGINE NATURALE	pag. 7
1.3- INQUINANTI DI ORIGINE ANTROPICA	pag. 9
1.4- INQUINANTI PRINCIPALI	pag. 12
1.4.1- MONOSSIDO DI CARBONIO	pag. 12
1.4.2- OSSIDO DI AZOTO	pag. 18
1.4.3- OSSIDO DI ZOLFO	pag. 25
1.4.4- OZONO	pag. 32
1.4.5- PARTICOLATO	pag. 41
CAPITOLO 2- MODELLO AQMAN	pag. 49
CAPITOLO 3- INVENTARIO DELLE EMISSIONI NELLA CITTA' DI LIVORNO	pag. 52
3.1- MONITORAGGIO	pag. 56
3.2- METEOROLOGIA	pag. 66
3.3- FLUSSI DI TRAFFICO	pag. 74
3.4- SORGENTI PUNTUALI	pag. 92

CAPITOLO 4- IL PORTO	pag. 96
4.1- I CONTAINERS	pag. 100
4.2- INTERPORTO TOSCANO LIVORNO- GUASTICCE	pag. 103
4.3- LE AUTO NUOVE	pag. 104
4.4- I TRAGHETTI E LE NAVI DA CROCIERA	pag. 106
4.5- LE NAVI	pag. 108
4.6- LE IMBARCAZIONI DA DIPORTO	pag. 112
CAPITOLO 5- I RISULTATI.	pag. 114
CAPITOLO 6- LA PREVISIONE	pag. 130
CAPITOLO 7- CONCLUSIONI	pag. 134
RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	pag. 135