

# **Studio modellistico di impatto ambientale – comparto atmosfera – del sistema aeroportuale di Malpensa**

## **Relazione di sintesi dello studio**

Autori: Giuseppe Quaglia  
Alessandro Nanni  
Luciano Gilli  
Alberto Gotti

ENVITECH - Ambiente e Tecnologie S.r.l.

Novara, Marzo 2001

## Riassunto

Lo studio svolto mira alla valutazione dell'impatto sulla qualità dell'aria prodotto dalla movimentazione aerea che avviene presso lo scalo di Malpensa. In particolare lo studio focalizza l'attenzione sul territorio in sponda destra del Ticino, che appartiene alla Provincia di Novara.

Dopo aver svolto una caratterizzazione meteo-climatologica dell'area in esame, comprendente l'analisi della locale anemologia e della qualità dell'aria, come derivate dalle serie storiche di monitoraggio rese disponibili da diverse fonti istituzionali, si è provveduto a caratterizzare la movimentazione aerea che si svolge presso lo scalo di Malpensa ed a valutarne le emissioni in termini di ossidi di azoto ed idrocarburi incombusti. In questa fase, sono state sfruttate a fondo le potenzialità del sistema SARA, utilizzando il terminale installato presso la sede di Novara dell'ARPA Piemonte. Con esso è stato possibile estrarre il dettaglio delle movimentazioni aeree avvenute nel periodo di interesse, ottenendo quindi la serie storica dei decolli e degli atterraggi avvenuti in un prefissato periodo temporale, comprendendo anche il tipo di aeromobile e la rotta seguita da ciascuno di essi.

Le emissioni sono state ottenute seguendo la procedura raccomandata da US-EPA (United States Environmental Protection Agency) per la determinazione delle emissioni da sorgenti aeromobili ed applicando i fattori di emissione disponibili in letteratura da studi effettuati dall'ICAO (International Civil Aviation Organization) e dalla FAA (Federal Aviation Administration).

Tali emissioni sono state quindi utilizzate per la caratterizzazione delle sorgenti aeromobili nella terza ed ultima fase dello studio, dedicata all'applicazione di un modello di dispersione in grado di valutare, all'interno dell'area in esame, le ricadute al suolo di inquinanti generati dalla movimentazione aerea connessa alle attività aeroportuali di Malpensa.

È stato così possibile ottenere mappe di isoconcentrazione di ossidi di azoto e di idrocarburi incombusti e confrontare i relativi livelli statistici con gli standard di qualità dell'aria, fissati dalla vigente normativa.

Lo studio condotto ha mostrato che il sistema aeroportuale di Malpensa produce, sul territorio circostante, ricadute al suolo di una certa significatività sia per ossidi di azoto che per idrocarburi totali, specialmente nelle aree immediatamente circostanti l'aeroporto (qualche chilometro di distanza). La dispersione avviene principalmente in alcune zone sottovento rispetto al punto di emissione, mostrando che la meteorologia locale è uno dei fattori che maggiormente influiscono sulle ricadute degli inquinanti emessi.

Ricadute al suolo non del tutto trascurabili sono tuttavia rilevabili anche a distanze elevate, ponendo in una situazione di potenziale esposizione aree sia piemontesi che lombarde. Entro l'area investigata di 30x30 chilometri e per gli inquinanti presi in considerazione, non si rilevano comunque superamenti dei limiti di legge.

È stato anche possibile valutare il contributo delle ricadute generate dal sistema aeroportuale di Malpensa sulla qualità dell'aria in alcuni recettori sensibili, ottenendo che nel punto di monitoraggio di Lonate Pozzolo le attività connesse a Malpensa contribuiscono alla generazione di circa il 20 % del biossido di azoto qui rilevato sperimentalmente.

A Oleggio, rispetto a quanto rilevato sperimentalmente dall'ARPA di Novara, le concentrazioni simulate modellisticamente mostrano un contributo di Malpensa dell'ordine del 15-20 % per gli ossidi di azoto e del 10 % circa per gli idrocarburi. È tuttavia possibile affermare che i fenomeni di inquinamento acuto qui rilevati possono essere prodotti principalmente da emissioni generate dal sistema aeroportuale di Malpensa.

Si sottolinea infine che la presenza di significative concentrazioni di ossidi di azoto può attivare complessi fenomeni fotochimici, compresa la generazione fotochimica di ozono, composto dall'azione fortemente irritante e fitotossica. Nelle aree immediatamente circostanti lo scalo, le concentrazioni di ozono possono quindi raggiungere livelli pericolosamente elevati.

## 1 Introduzione

Nell'ambito degli approfondimenti condotti dalla Provincia di Novara circa l'impatto ambientale del sistema aeroportuale di Malpensa, è stata svolta un'attività di studio modellistico delle ricadute inquinanti in atmosfera generate dal funzionamento di tale sistema. Oggetto dello studio è l'inquinamento prodotto dalle emissioni in atmosfera generate dal traffico degli aeromobili in partenza ed in arrivo sullo scalo aeroportuale e, a fronte delle informazioni disponibili, di quelle generate da alcune attività d'indotto sullo scalo (emissioni evaporative dai depositi di carburante e dagli stessi aeromobili in sosta, ecc.).

L'obiettivo finale dello studio è quello di derivare informazioni circa la distribuzione spaziale e temporale dell'inquinamento atmosferico prodotto attualmente dal sistema aeroportuale in esame, su scala temporale climatologica, così da consentire un confronto dei livelli d'inquinamento calcolati con gli standard vigenti di qualità dell'aria e con i rilevamenti sperimentali significativi disponibili in sito.

La presente relazione costituisce una sintesi dello studio di impatto ambientale svolto per il comparto atmosfera del sistema aeroportuale di Malpensa.

### 1.1 Approccio metodologico

L'uso di metodologie modellistiche diffusionali, per lo studio dei potenziali impatti sull'ambiente atmosferico d'impianti industriali o di grosse infrastrutture per il trasporto, è ormai pratica diffusa anche in Italia. Le metodologie modellistiche utilizzate a tale scopo consistono sostanzialmente in programmi software di simulazione della dispersione degli inquinanti in atmosfera, sulla base di specifici algoritmi di calcolo e di parametrizzazioni semiempiriche atte alla semplificazione della soluzione numerica del problema. In tal modo, il modello matematico, supposte note la meteorologia, la conformazione del terreno e la varietà delle emissioni inquinanti, fornisce una soluzione semplificata e determina quindi la distribuzione spaziale e temporale sul territorio dell'inquinamento atmosferico.

Nella scelta della metodologia più appropriata, in funzione delle caratteristiche del sito in esame e del tipo di emissioni, svolgono una funzione decisiva anche il livello di dettaglio delle informazioni meteorologiche disponibili e gli obiettivi delle elaborazioni. In tal senso non sempre il modello più articolato è quello ottimale, in quanto un modello avanzato richiede una gestione "avanzata" dell'input e dell'output, mentre le risposte attese potrebbero essere esaustivamente ottenute già con codici di calcolo più semplici.

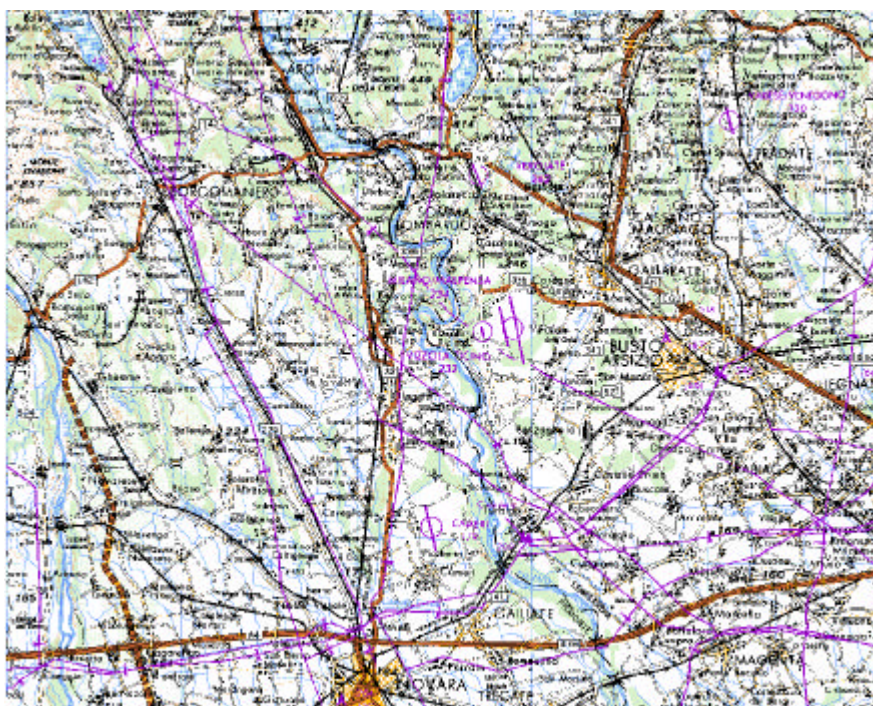
In sintesi il problema può essere suddiviso nelle seguenti fasi:

- caratterizzazione del sito di studio dal punto di vista meteo-climatologico;
- individuazione delle sorgenti inquinanti e stima della relativa attività emissiva;
- determinazione a calcolo della dispersione a breve e medio raggio.

In questa relazione si presenta una sintesi delle attività svolte, ed in particolare delle elaborazioni che hanno permesso la caratterizzazione della qualità dell'aria e della meteo-climatologia dell'area di interesse, compreso anche il confronto con gli standard di qualità dell'aria, delle sorgenti emittenti, costituite dagli aeromobili in arrivo ed in partenza dallo scalo di Malpensa, e della loro attività ed infine delle ricadute inquinanti, determinate per via modellistica, indotte dalle emissioni del sistema aeroportuale di Malpensa.

## 2 Caratterizzazione meteo-climatologica e di qualità dell'aria dell'area di indagine

Il territorio oggetto di indagine è costituito dall'area intorno all'Aeroporto Intercontinentale di Malpensa, in una zona al confine fra Piemonte e Lombardia. In figura 1 è riportata l'area oggetto di studio con i principali centri urbani e le vie di comunicazione.



**Figura 1** Area di indagine.

## 2.1 Descrizione dei dati meteorologici disponibili

Per lo svolgimento della caratterizzazione meteo-climatologica, i dati sono stati reperiti facendo essenzialmente ricorso a fonti istituzionali, costituite dal programma regionale di monitoraggio della qualità dell'aria portato avanti già da alcuni anni dalla Regione Lombardia. La postazione di monitoraggio per la quale i dati rilevati sono stati giudicati maggiormente adatti agli scopi del presente studio, è quella di Lonate Pozzolo. Sono tuttavia stati presi in considerazione anche i dati monitorati in altri punti del territorio lombardo e piemontese, onde poter verificare e confermare la significatività della postazione di Lonate.

## 2.2 Caratterizzazione meteo-climatologica e della qualità dell'aria

L'area oggetto dell'indagine è collocata a cavallo fra la provincia di Novara e quella di Varese, in una zona priva di rilievi significativi e caratterizzata da condizioni meteorologiche tipiche dell'Italia settentrionale, con clima continentale e venti deboli o moderati.

Ai fini della caratterizzazione meteo-climatologica e di qualità dell'aria, si è fatto riferimento ad una serie storica di durata annuale (1 gennaio – 31 dicembre 1999). Per quanto concerne l'analisi della qualità dell'aria, sono stati presi in considerazione il monossido (NO) ed il biossido d'azoto (NO<sub>2</sub>), gli inquinanti che, insieme agli idrocarburi (HC), costituiscono le principali specie emesse da aeromobili. Come parametri meteorologici sono stati invece analizzati la velocità e direzione del vento, la temperatura e la radiazione solare globale.

### 2.2.1 Qualità dell'aria

La vigente normativa fissa un valore limite della qualità dell'aria per il solo biossido di azoto, riferendosi al 98° percentile della distribuzione annuale delle medie orarie, che non deve superare 200 µg/m<sup>3</sup>. Sono inoltre fissate delle soglie di attenzione e di allarme (su base oraria), pari a 200 µg/m<sup>3</sup> e 400

$\mu\text{g}/\text{m}^3$ . La Direttiva 1999/30/CE del 22.3.99, non ancora recepita, stabilisce infine per il biossido di azoto il limite di  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  come media annuale, che dovrebbe essere rispettato entro l'anno 2010.

Allo scopo di potere effettuare confronti con i limiti di legge vigenti e futuri, per i rilevamenti di biossido di azoto disponibili per la stazione di Lonate Pozzolo sono stati calcolati i valori di 98° percentile ed i superamenti delle soglie di attenzione e di allarme delle concentrazioni; nella seguente Tabella 1 sono riportati i risultati di queste elaborazioni.

<b>NO<sub>2</sub></b>	<b>Lonate Pozzolo</b>
98° percentile	87.99
S. Attenzione	0
S. Allarme	0

**Tabella 1** Stima del 98° percentile e del numero di superamenti delle soglie di attenzione e allarme della concentrazione di NO<sub>2</sub> presso la postazione di monitoraggio di Lonate Pozzolo.

Per quanto concerne l'NO, non esistono invece limite di legge.

Sia per il monossido che per il biossido di azoto sono inoltre stati calcolati i valori delle medie mensili e l'andamento dei giorni tipo trimestrali per l'anno 1999. Per i dettagli di tali andamenti si può fare riferimento alla relazione finale dello studio.

L'analisi dei dati evidenzia un grado di inquinamento medio basso dell'area, per quanto riguarda sia il monossido sia il biossido di azoto. Per NO<sub>2</sub>, infatti, non si registra alcun superamento sia del valore limite sia della soglia di attenzione. Il valore del 98° percentile della distribuzione annuale è notevolmente inferiore al limite di legge.

L'esame dell'andamento medio giornaliero (giorno tipo) del monossido di azoto evidenzia, nei trimestri caldi, una tipica modulazione bimodale, con massimi nelle prime ore del mattino e nelle tarde ore del pomeriggio. Contemporaneamente, si osserva l'esistenza di un minimo nelle ore centrali del pomeriggio, allorché una più intensa radiazione solare facilita l'ossidazione di NO a formare NO<sub>2</sub> nell'ambito del cosiddetto "ciclo dell'ozono", una serie di reazioni fotochimiche, catalizzate dalla presenza di idrocarburi, che permettono il raggiungimento di differenti punti di equilibrio nelle concentrazioni relative di monossido e biossido di azoto e di ozono.

Nel semestre freddo, si osserva invece un andamento dell'ossido di azoto più piatto, conseguenza dalla ridotta radiazione solare, che non giunge quindi ad attivare completamente i processi fotochimici e che produce un più intenso raffreddamento notturno del suolo. In tale situazione non è possibile il completo sviluppo verticale giornaliero del "mixing layer" e, conseguentemente, viene drasticamente ridotto il volume di diluizione disponibile per le sostane inquinanti emesse al suolo. Nel periodo estivo la diluizione degli inquinanti all'interno del "mixing layer" avviene su volumi maggiori (maggiore sviluppo verticale del "mixing layer"), causando una consistente diminuzione delle concentrazioni durante le ore più calde della giornata.

I risultati delle elaborazioni sui dati reperiti, sono stati anche comparati con quelli derivanti della valutazione preliminare della qualità dell'aria nella Regione Piemonte contenuta nella "Legge Regionale 7 aprile 2000 n.43 – Disposizioni per la tutela dell'ambiente in materia di inquinamento atmosferico".

Allo scopo, sono state considerate le 3 stazioni della Provincia di Novara, citate in tale Legge, più vicine alla stazione di Lonate Pozzolo.

Nella seguente Tabella 2 si riporta, per quanto attiene all'NO<sub>2</sub>, un confronto tra i dati ottenuti dalle registrazioni di Lonate Pozzolo e quelli derivanti dalla L.R. n. 43/00 (pag. 35). Si noti come la postazione di Lonate Pozzolo presenta concentrazioni generalmente più basse rispetto alle altre prese in considerazione.

Località	Data campionamento	Media annuale ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	98° percentile ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Massimo orario ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Borgomanero	1995	100	265	506
Cerano	1995	48	127	243
Novara	1996	122	324	620
Lonate Pozzolo	1999	35	88	173

**Tabella 2** Comparazione fra standard di qualità per diverse stazioni.

Confrontando inoltre i valori medi mensili rilevati a Lonate Pozzolo con l'andamento medio annuo "regionale", ottenuto utilizzando tutti i dati disponibili delle stazioni della Regione Piemonte, si può notare che Lonate Pozzolo ben si uniforma a tale andamento regionale.

Infine è stato effettuato un confronto degli andamenti medi giornalieri di  $\text{NO}_2$  registrati a Lonate Pozzolo con i dati raccolti nella campagna di misura effettuata dall'ARPA di Novara mediante laboratorio mobile presso il Comune di Oleggio nel periodo 28 giugno - 24 luglio 2000, ottenendo, sebbene i dati siano riferiti a 2 anni differenti, una notevole confrontabilità degli andamenti. Anche i valori massimi orari sono confrontabili essendo, rispettivamente,  $86 \mu\text{g}/\text{m}^3$  e  $111 \mu\text{g}/\text{m}^3$  rispettivamente per Lonate Pozzolo e Oleggio.

## 2.2.2 Meteorologia locale

La caratterizzazione meteorologica, e la predisposizione del conseguente input per le simulazioni con il modello di dispersione, è stata basata sui rilievi, effettuati presso la stazione di Lonate Pozzolo, di velocità e direzione del vento, temperatura e radiazione solare totale.

### 2.2.2.1 Velocità e direzione del vento

Dall'analisi delle rose dei venti, per la cui consultazione si rimanda alla relazione finale del presente studio, l'area risulta caratterizzata da venti di bassa intensità in cui è ben visibile una circolazione dominante sull'asse NE - SW. La componente da NE risulta maggiormente presente nelle ore notturne, mentre la componente da SW risulta essere molto attiva durante il giorno, con velocità piuttosto basse. Sempre da NE provengono, sia di notte sia di giorno, i venti più intensi, associati presumibilmente a condizioni di tempo perturbato.

Nel loro complesso, le elaborazioni descrivono una condizione abbastanza tipica per la Pianura Padana, con venti più deboli di notte (spesso inferiori a  $1.0 \text{ m/s}$ ) e un po' più intensi nelle ore diurne.

### 2.2.2.2 Temperatura

Le misure di temperatura mostrano la tipica situazione cui è soggetta in generale tutta l'Italia settentrionale. La temperatura media mensile varia fra  $1.5$  e  $24 \text{ }^\circ\text{C}$ , mentre lungo l'arco della giornata si osservano escursioni di  $8 - 10 \text{ }^\circ\text{C}$ , con valori minimi notturni invernali di  $0 \text{ }^\circ\text{C}$  e valori massimi diurni estivi attorno ai  $27 \text{ }^\circ\text{C}$ .

### 2.2.2.3 Radiazione solare globale e stabilità

L'andamento del giorno medio trimestrale di radiazione solare totale, mostra un comportamento del tutto classico, anche se le registrazioni di radiazione solare totale appaiono disturbate dalla possibile presenza di ombre proiettate sull'elemento sensibile del radiometro.

Sulla base delle misure di radiazione solare e di velocità del vento, integrate con considerazioni medie circa la nuvolosità, è stato possibile determinare il valore orario della classe di stabilità che può rappresentare in termini qualitativi il grado di turbolenza termica dell'atmosfera. Questa informazione

costituisce un input molto importante del modello di qualità dell'aria perché permette di descrivere la capacità dispersiva dell'atmosfera.

Le classi di stabilità sono state calcolate applicando algoritmi classici (Paine, 1986), che prevedono la classificazione in 6 gruppi, dalla A (fortemente instabile) alla F (fortemente stabile). Le stagioni invernali, a causa del forte raffreddamento notturno, sono generalmente caratterizzate da frequenti condizioni di stabilità (E-F); nei mesi estivi sono d'altro canto presenti, di giorno, condizioni più convettive (A-C). La distribuzione stagionale, illustrata nella seguente Tabella 3, presenta valori tipici della Pianura Padana.

	(%) Dati	A (%)	B (%)	C (%)	D (%)	E (%)	F (%)
1° Trim.	93.1	1.6	10.3	8.1	21.8	3.1	55.0
2° Trim.	95.1	11.2	16.4	9.2	23.9	0.6	38.7
3° Trim.	83.8	12.1	18.4	8.6	32.5	0.4	27.9
4° Trim.	89.3	1.3	6.4	6.6	25.4	1.8	58.5
Totale	90.3	6.5	12.8	8.2	25.7	1.5	45.3

**Tabella 3** Distribuzione percentuale sul totale stagionale della classe di stabilità

La distribuzione oraria delle classi di stabilità, la cui rappresentazione è riportata nella relazione finale del presente studio, mostra che sia di notte sia di giorno le situazioni di neutralità (classe D) sono associate a vento forte e/o condizioni di cielo nuvoloso. Con cielo sereno, le ore notturne presentano condizioni stabili, mentre le ore diurne, grazie alla presenza della radiazione solare, danno luogo a condizioni convettive. Per la presenza di anemologia piuttosto debole, le situazioni di stabilità intermedia (classe E) risultano poco rappresentate.

### 3 Caratterizzazione delle sorgenti inquinanti e stima della loro attività

#### 3.1 Approccio metodologico alla stima delle emissioni degli aviogetti commerciali

La metodologia di stima delle emissioni indotte da aeromobili è stata messa a punto sulla base di informazioni di letteratura (EPA, 1985 e 1999, FAA, 1997). Il ciclo di atterraggio e decollo (LTO – “Landing and TakeOff cycle”) è stato considerato un buon indicatore dell'attività del singolo aeromobile, in quanto le emissioni che caratterizzano tale ciclo avvengono entro lo strato di rimescolamento atmosferico, e sono quindi le sole in grado di influenzare le concentrazioni inquinanti al suolo.

Un LTO comincia quando l'aeromobile inizia la sua discesa verso l'aeroporto di arrivo (“approach”) e, passando attraverso le fasi di movimento a terra e attesa successivi all'atterraggio (“taxi in/idle”) e precedenti il decollo (“taxi out/idle”), di decollo (“takeoff”) e di salita (“climb out”), si conclude con il raggiungimento, da parte dello stesso aereo, dell'altitudine di crociera. Le cinque fasi di un LTO sono caratterizzate da regimi di potenza standard per ciascun aeromobile e quindi da specifici fattori di emissione (“emission factors”, EF) degli inquinanti.

Tra le principali specie inquinanti che caratterizzano le emissioni da aviogetti commerciali (idrocarburi - HC, monossido di carbonio – CO, ossidi di azoto – NO<sub>x</sub>, particolato – PM e biossido di zolfo – SO<sub>2</sub>), soltanto HC ed NO<sub>x</sub> presentano concentrazioni tali da produrre significativi impatti ambientali. Gli idrocarburi sono emessi principalmente quando i motori degli aerei operano a bassi regimi e la combustione può quindi risultare incompleta; al contrario, le emissioni di NO<sub>x</sub> aumentano all'aumentare della potenza dei motori e della temperatura di combustione.

La metodologia di base proposta da EPA ("U.S. Environmental Protection Agency") per calcolare le emissioni da aviogetti in un qualsiasi aeroporto possono essere riassunte come segue:

- 1) Determinazione dell'attività dell'aeroporto in termini di numero di LTO;
- 2) Determinazione di un valore di altezza di rimescolamento efficace per un LTO;
- 3) Definizione delle caratteristiche della flotta di aerei in attività presso l'aeroporto;
- 4) Stima dei tempi caratteristici di ciascuna fase di un LTO (TIM – "Time In Mode");
- 5) Selezione degli EF;
- 6) Calcolo delle emissioni in base all'attività dell'aeroporto, dei TIM e degli EF degli aviogetti.

Gli ultimi due punti devono essere ripetuti per ogni tipo di apparecchio in attività in un certo aeroporto. Per una descrizione dettagliata della metodologia adottata si rimanda a EPA, 1999.

### 3.2 Reperimento dei dati di decollo e di atterraggio di aeromobili

I dati di decollo e di atterraggio degli aeromobili, rappresentano il primo e più importante input per la caratterizzazione delle sorgenti attive nell'area dell'aeroporto di Malpensa. Per il reperimento di tali dati, si è intensivamente utilizzato il client del sistema SARA installato presso la sede di Novara dell'ARPA, un sistema modulare di gestione dei tracciati radar, integrato ad un modulo di georeferenziazione dei dati che ne permette un'efficiente visualizzazione.

Utilizzando il sistema SARA, è possibile estrarre, in formato testo, il dettaglio dei passaggi aerei attraverso sezioni dello spazio ("gate") definite a scelta dall'utente. In tal modo è possibile ottenere un elenco degli aerei che, nel corso di una base temporale prefissata, hanno seguito una determinata rotta, individuata da un "gate" posizionato trasversalmente ad essa.

Per lo svolgimento dello studio di cui si tratta, è risultato necessario estrarre i dati di sorvolo attraverso quattro differenti sezioni, o "gate" (testa pista, rotta 35R, rotta 35L ed atterraggio). Tuttavia il tempo macchina necessario per estrarre tutti i dati ritenuti necessari anche solo per il periodo di monitoraggio ufficiale delle rotte (dal 19 Aprile al 25 Luglio 2000), sarebbe risultato eccessivo e si è quindi reso necessario individuare una settimana tipo per ciascuna stagione ed estrarre i dati di sorvolo attraverso i quattro "gate" solo per queste settimane.

Preliminarmente è stato quindi necessario verificare che sia rappresentativo utilizzare un simile approccio per la corretta e completa descrizione dei movimenti aerei che si svolgono presso Malpensa.

#### 3.2.1 Reperimento dei dati

I dati necessari sono stati quindi reperiti secondo due differenti modalità inizialmente si è provveduto ad individuare il numero giornaliero di movimenti aerei complessivo e secondo le direttrici 35R e 35L. Tali dati hanno permesso la determinazione di un andamento tipico settimanale per il numero di decolli. Successivamente è stato individuato, sulla base di tali dati, un periodo significativamente rappresentativo dell'andamento settimanale e stagionale tipo, per il quale, utilizzando il sistema SARA, fosse possibile estrarre efficacemente i dati di dettaglio di rotta e tipo di aeromobili decollati e atterrati a Malpensa.

In questo modo è stato possibile limitare l'estrazione dei dati a due serie settimanali entro il periodo di monitoraggio delle rotte e di una per il periodo autunnale.

##### 3.2.1.1 Reperimento dei dati numerici complessivi di decolli

Il numero giornaliero di decolli è stato ottenuto da uno studio pubblicato da ARPA Novara, condotto sui dati relativi al periodo di monitoraggio ufficiale delle rotte (dal 19 Aprile al 25 Luglio 2000), che raccoglie il numero di decolli complessivi e disaggregati per le due direttrici 35L e 35R.

Un'analisi preliminare dei dati di cui sopra, ha portato alla determinazione dei parametri statistici presentati nella seguente Tabella 4.



SERIE L		SERIE R		SERIE TOTALE	
Media	233	Media	120	Media	353
Errore standard	3.97	Errore standard	4.18	Errore standard	2.71
Mediana	234	Mediana	114	Mediana	356
Moda	245	Moda	158	Moda	360
Deviazione standard	37.91	Deviazione standard	39.91	Deviazione standard	25.86
Varianza campionaria	1437.06	Varianza campionaria	1592.86	Varianza campionaria	668.52
Curtosi	-0.87	Curtosi	-1.16	Curtosi	3.54
Asimmetria	0.256	Asimmetria	-0.093	Asimmetria	-1.101
Intervallo	156	Intervallo	156	Intervallo	167
Minimo	171	Minimo	33	Minimo	255
Massimo	327	Massimo	189	Massimo	422
Somma	21183	Somma	10893	Somma	32076
Conteggio	91	Conteggio	91	Conteggio	91
Più grande	327	Più grande	189	Più grande	422
Più piccolo	171	Più piccolo	33	Più piccolo	255

**Tabella 4** Risultati dell'analisi statistica preliminare sul numero di decolli registrati nel periodo di monitoraggio ufficiale delle rotte.

### 3.2.2 Analisi statistiche sui dati numerici di decolli

Sui dati reperiti di numerosità di decolli giornalieri suddivisi per direttrice (35L, 35R) e totali, sono state condotte specifiche analisi statistiche, finalizzate alla verifica della omogeneità temporale dei dati stessi ed alla determinazione di un andamento settimanale tipico. Tali analisi hanno inoltre permesso di verificare che possono essere individuate alcune settimane significativamente rappresentative dell'andamento complessivo e che possono quindi essere utilizzate come settimane campione.

La valutazione statistica dell'omogeneità temporale nell'arco della settimana è stata effettuata mediante l'applicazione del rank-sum test di Kruskal-Wallis distintamente per le tre serie di dati complessivi e relativi alle direttrici 35L e 35R.

Il valore di **p** (che rappresenta la credibilità dell'ipotesi nulla del test, ovvero della non differenza tra i giorni della settimana) ottenuto per le serie relative alla direttrice 35L e 35R (rispettivamente **p-value = 0.5949** e **p-value = 0.6852**), consente di accettare, in entrambi i casi, l'ipotesi di omogeneità temporale nel corso della settimana.

Un risultato diverso si ottiene quando si considera il numero totale di decolli: il valore di **p** ottenuto (**p-value = 0**) non consente di accettare l'ipotesi di omogeneità nell'arco della settimana.

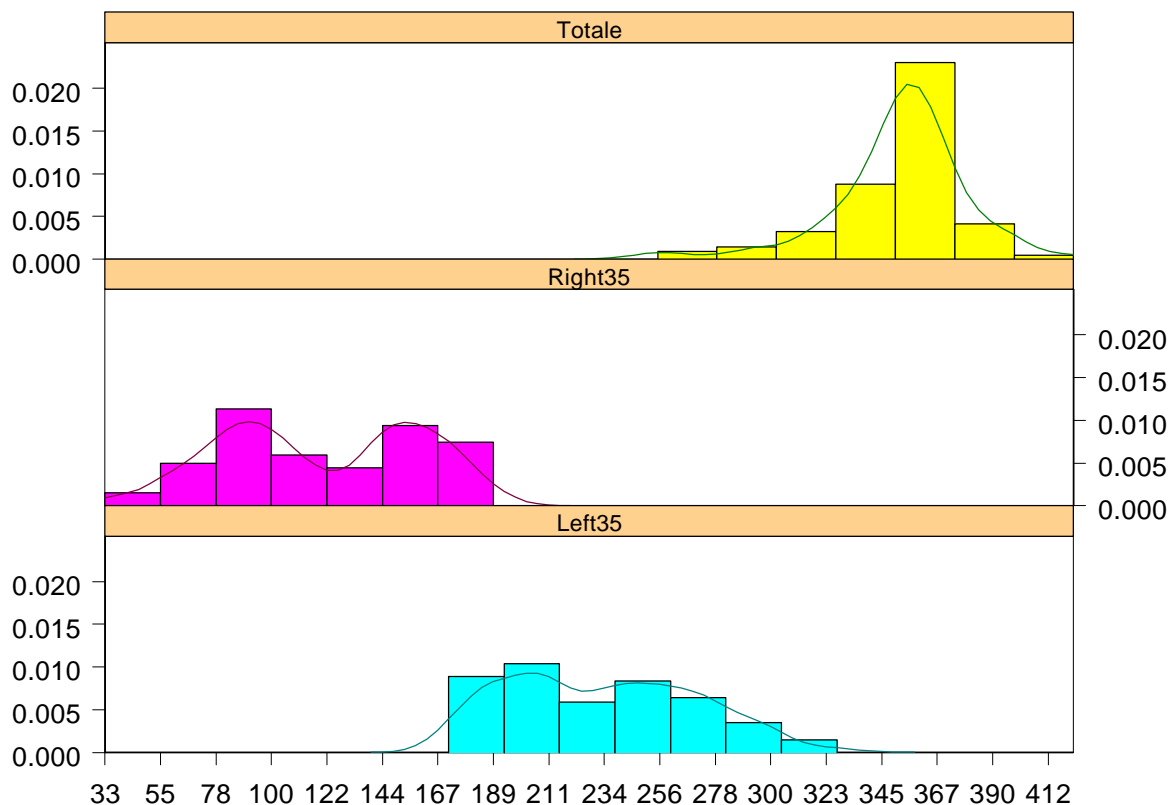
Si è quindi provveduto a valutare statisticamente se all'interno del periodo considerato le settimane mostrino tra loro differenze significative.

Sulla base dei risultati del test statistico (per direttrice 35L: **p-value = 0.5988**; per direttrice 35R: **p-value = 0.7441**; per serie complessiva: **p-value=0.1605**) si può ritenere credibile l'ipotesi di omogeneità del dato aggregato su base settimanale nel periodo considerato, per tutte e tre le serie di dati prese in considerazione.

L'insieme di questi risultati porta a ritenere che l'unità temporale minima idonea a rappresentare l'attività della sorgente sia la settimana. Inoltre se ne deduce che la scelta di una settimana piuttosto che un'altra è sostanzialmente equivalente.

Un risultato interessante può essere ottenuto analizzando gli istogrammi di frequenza delle tre serie considerate (Figura 2). Tali grafici, congiuntamente ai risultati di un test statistico di confronto (t-test, Tabella 5) tra i valori centrali delle serie 35L e 35R portano a ritenere che esiste una differenza significativa tra i

valori medi del numero di decolli relativi alle due serie. In particolare tale differenza, (ad una confidenza del 95%) e collocabile nell'intervallo **(101.6909 124.4630)**



**Figura 2** Forme distribuzionali delle serie 35L, 35R e totale.

<p>Data: x: Left35 in Numerodecolli , and y: Right35 in Numerodecolli          T = 19.5965, df = 180, <b>p-value = 0</b>          Alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0          95 percent confidence interval: <b>(101.6909 124.4630)</b>          sample estimates: mean of x = 232.7802 mean of y = 119.7033</p>
---

**Tabella 5** 35L e 35R Standard Two-Sample t-Test.

### 3.2.3 Reperimento dei dati di dettaglio

Una volta verificato che è possibile affrontare il problema dell'estrazione dei dati di dettaglio dei sorvoli aerei, attraverso i "gate" prefissati, individuando delle settimane rappresentative, si è provveduto appunto alla determinazione degli intervalli temporali su cui operare. Un'analisi preliminare della disponibilità di dati, ha permesso di individuare tre settimane che possono essere ritenute un campione attendibile della

situazione primaverile, estiva ed autunnale per quanto concerne i dati di decollo e di atterraggio da Malpensa. I periodi campione sono i seguenti:

- dal 7 al 13 Maggio 2000, rappresentativo della stagione primaverile;
- dal 22 al 28 Luglio 2000, rappresentativo della stagione estiva;
- dal 8 al 14 Ottobre 2000, rappresentativo della stagione autunnale.

Si noti che due delle tre settimane campione individuate rientrano nel periodo di monitoraggio ufficiale delle rotte (dal 19 Aprile al 25 Luglio 2000).

Per quanto concerne la terza settimana campione individuata, non appartenendo questa al periodo di monitoraggio ufficiale delle rotte, si è ritenuto necessario valutare statisticamente l'omogeneità della stessa rispetto alla serie relativa al periodo dal 19-04-2000 al 25-07-2000.

Dai risultati del test di adattamento ("goodness of fit", Test di Kolmogorov-Smirnov a due campioni) della settimana di ottobre alla forma distribuzionale definita dal periodo di monitoraggio ufficiale delle rotte, risulta che in tutti e tre i casi (35L **p-value=0.5449**, 35R **p-value=0.6417**, totale **p-value=0.2101**) la credibilità di appartenenza dei dati alla medesima forma distribuzionale è assai elevata.

### 3.3 Stima delle emissioni

#### 3.3.1 Tempi caratteristici di fase (TIM)

Poiché i motori degli aeromobili operano a regimi praticamente standard nel corso di ogni fase di un LTO, le emissioni possono essere calcolate, con buona precisione, sulla base di fattori di emissione specifici per ciascuna fase. In questo caso diventa quindi fondamentale determinare con precisione la durata di ciascuna delle cinque fasi di un LTO: i tempi caratteristici di fase sono stati derivati da indicazioni di letteratura e da quanto a suo tempo fissato da Battelle, 1997, ottenendo i valori indicati di seguito

Fase LTO	Tempo caratteristico (min)
Atterraggio	4.5
Parcheggio e attesa	6.0
Distacco dal "gate" e attesa	13.0
Decollo	0.7
Salita	2.5

Le fasi con aviogetto a terra dipendono considerevolmente dalle specifiche procedure caratteristiche di ogni aeroporto. Il tempo adottato si riferisce ad una media relativa ad un aeroporto americano con caratteristiche di attività simili a Malpensa (Logan, Boston). Il tempo di decollo è invece praticamente standard per ogni tipo di apparecchio e di aeroporto, così come quello di atterraggio. La durata della fase di salita è invece legata allo spessore dello strato di rimescolamento, che varia in funzione del tipo di suolo, della stagione, della nuvolosità e dell'altezza del sole sull'orizzonte; quanto maggiore è lo spessore assunto di tale strato, tanto maggiore è la quantità di massa complessiva emessa nel corso della fase di salita di un ciclo LTO. Seguendo le indicazioni EPA, per lo spessore dello strato rimescolato è stato assunto un valore costante pari a 915 m (3000 ft), corrispondente, approssimativamente, al massimo in condizioni estive. Ai fini del calcolo delle emissioni, tale valore deve intendersi come conservativo.

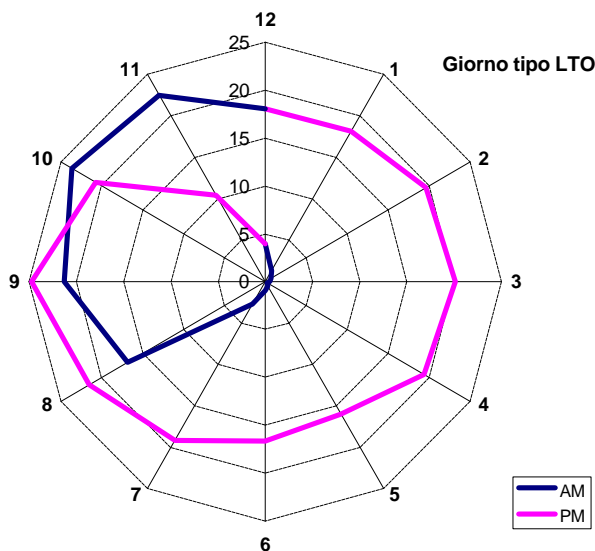
#### 3.3.2 Caratterizzazione della flotta

Allo scopo di assegnare appropriati ratei emissivi alle attività aeroportuali degli aeromobili, occorre caratterizzare la composizione, tipica per ogni aeroporto, della flotta di apparecchi in attività

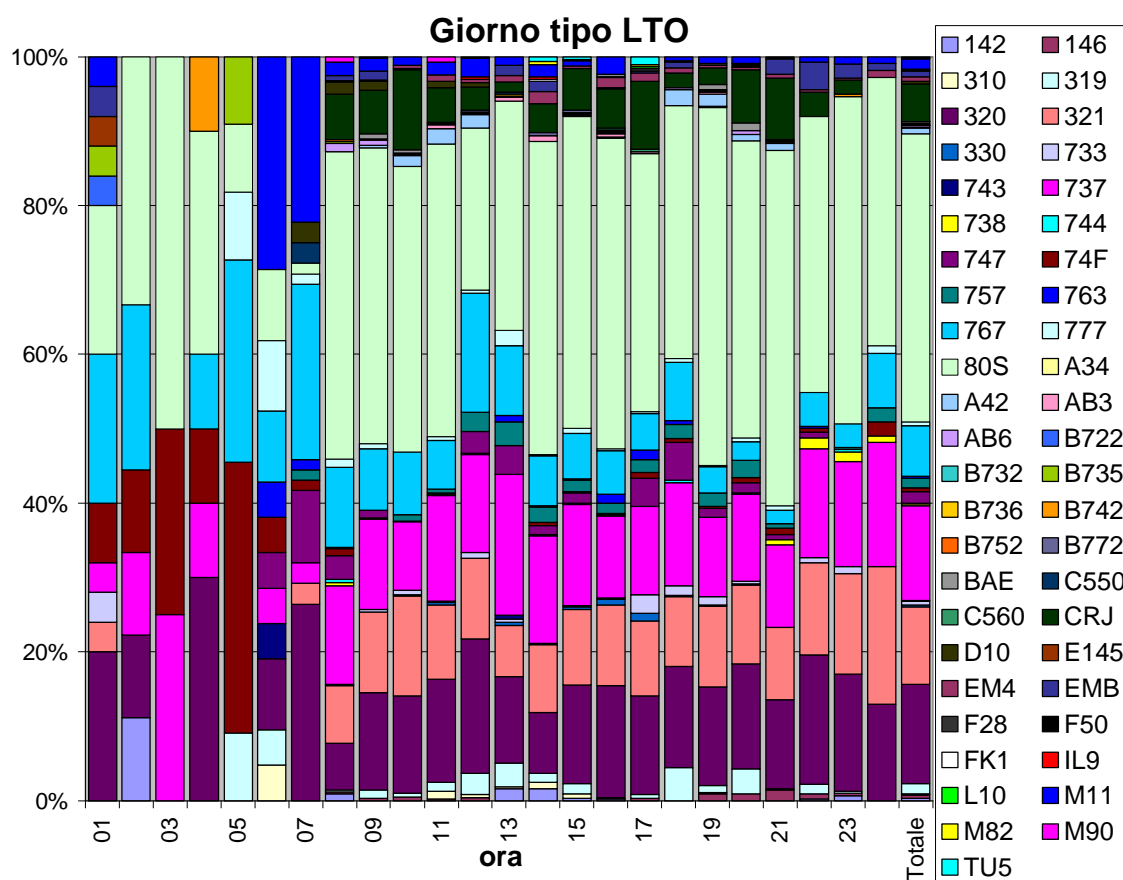
Nel caso di Malpensa, sulla base delle estrazioni di dati dal sistema SARA, di cui si è già discusso, è stato possibile derivare, per ciascun tipo di aeromobile, un giorno tipo di LTO (insieme delle medie dei valori orari rilevati). I voli che presentano un modello di aereo non identificato (attorno al 15% del totale) sono

stati ridistribuiti sugli aviogetti identificati secondo la distribuzione osservata. Inoltre, poiché il database degli EF adottato non esaurisce gli aviogetti che operano su Malpensa, i modelli non compresi (in ragione di un altro 15% circa) sono stati ridistribuiti secondo le medesime modalità

Sono quindi stati costruiti l'andamento temporale del giorno tipo complessivo di LTO (Figura 3) ed il contributo percentuale orario agli LTO medi di ciascun aviogetto (Figura 4).



**Figura 3** Andamento temporale LTO complessivi medi



**Figura 4** Distribuzione percentuale oraria degli aviogetti.

L'attività media aeroportuale presenta tre picchi principali: tra le 9 e le 10 del mattino (24 LTO), tra le 14 e le 15 (20 LTO) e tra le 20 e le 21 (25 LTO, picco principale di attività), ed un minimo assoluto tra le 3 e le 4. L'aviogetto di codice 80S risulta avere percentualmente la più elevata attività praticamente in tutte le ore della giornata, eccetto tra le 4 e le 7 del mattino, quando la numerosità di apparecchio tipo M11, 767, 74F e 320 risulta superiore e comunque l'attività complessiva dell'aeroporto risulta assai ridotta. Altri avioggetti si osservano in percentuale considerevole, tra essi il 737 e il 321.

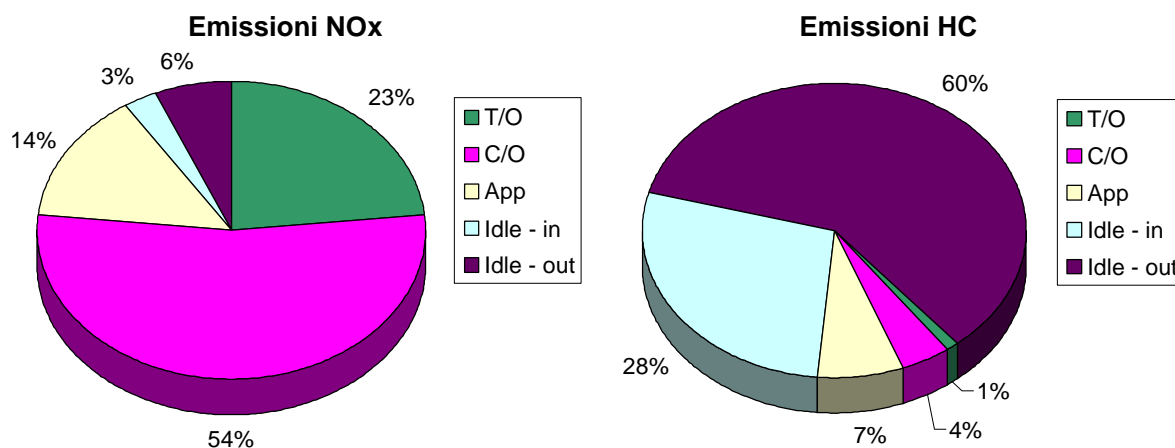
### 3.3.3 Database ICAO dei fattori di emissione

Le caratteristiche di emissione degli aeromobili variano per numero e tipo di motore usato. La fonte degli EF usati in questo studio è l'"ICAO engine exhaust emissions data bank" diffuso dall'ICAO ("International Conference of Aviation Organizations") attraverso il WEB ed aggiornato al 29 febbraio 2000. Tale archivio è tra le più complete raccolte di fattori di emissione da aeromobili, ed è compilata ed aggiornata sulla base delle informazioni direttamente fornite dai principali produttori mondiali di apparecchi.

Nell'archivio, il fattore di emissione per lo specifico motore, lo specifico inquinante e la specifica fase LTO, è fornito in termini di g emessi per kg di combustibile consumato e di consumo di combustibile per unità di tempo. L'archivio è inoltre dotato di una tabella di corrispondenza [modello di avioggetto; numero e tipo motori].

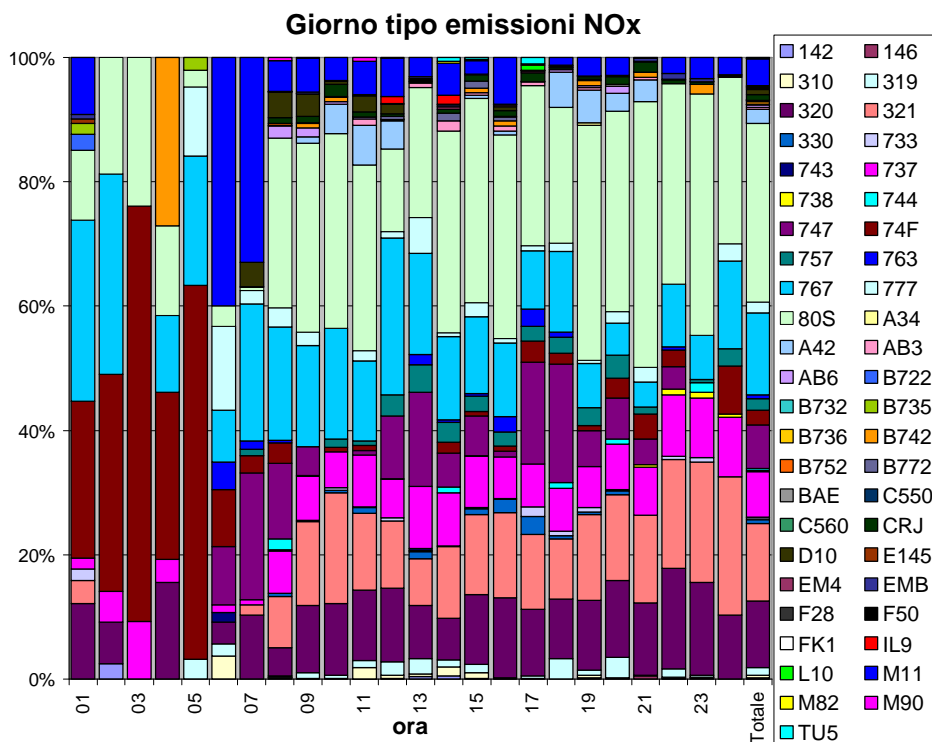
### 3.3.4 Calcolo delle emissioni giornaliere medie

Sulla base del giorno tipo di LTO calcolato e dell'archivio ICAO dei fattori di emissione, sono state quindi determinate le emissioni giornaliere medie, disaggregate per avioggetto e per ora. Con i dati di emissione così ottenuti, sono stati costruiti i giorni tipo di emissione di  $\text{NO}_x$  e HC, in termini sia complessivi sia per fase LTO. Sulla base di tali elaborazioni, è stato anche possibile studiare la distribuzione delle emissioni secondo le specifiche fasi di LTO (Figura 5).

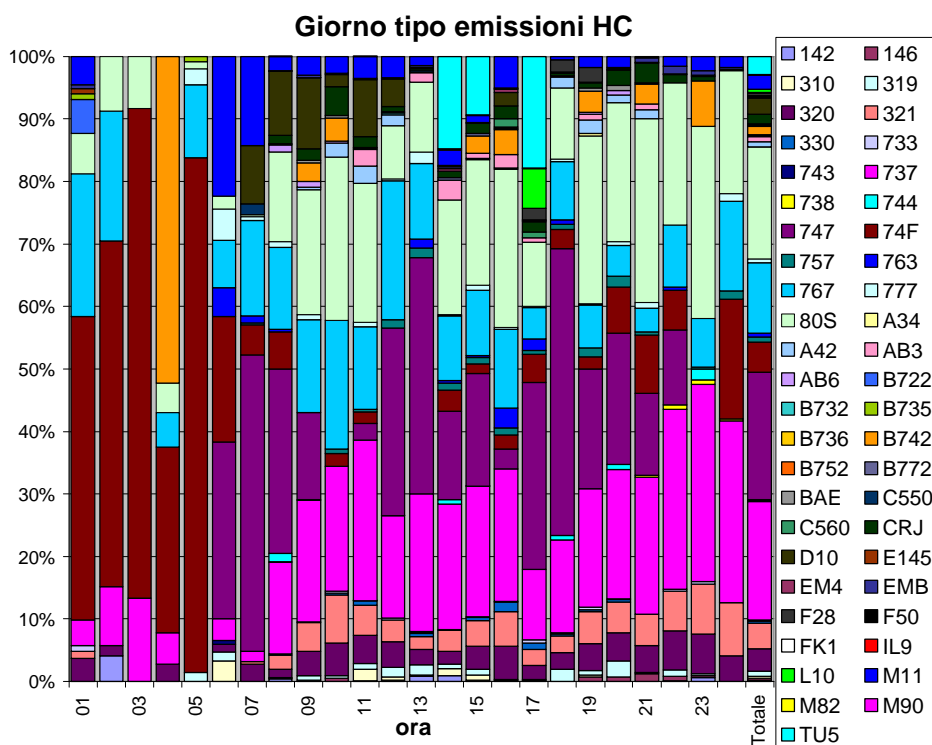


**Figura 5** Contributo percentuale all'emissione complessiva delle diverse fasi LTO, inquinanti  $\text{NO}_x$  e HC.

Le Figure Figura 6 e Figura 7 presentano inoltre le distribuzioni percentuali orarie di contributo all'emissione complessiva di ciascun modello di aeromobile.



**Figura 6** Distribuzioni percentuali sulle emissioni del giorno tipo dei contributi dei vari modelli di automobile, inquinante NO<sub>x</sub>



**Figura 7** Distribuzioni percentuali sulle emissioni del giorno tipo dei contributi dei vari modelli di automobile, inquinante HC

#### 3.3.4.1 Emissioni giornaliere di NO<sub>x</sub>

Il valore aggregato giornaliero di emissione per NO<sub>x</sub> risulta pari a quasi 4500 kg. La distribuzione sulle 24 ore presenta un picco principale tra le ore 10 e le 11 (308335 g/h) e picchi secondari alle ore 17-18 ed alle 20-21 (rispettivamente 269009 g/h e 287478 g/h) mantenendosi tuttavia piuttosto costante tra le ore 7 e le 22. A causa anche della temperatura e del regime di esercizio, la fase LTO che comporta mediamente le massime emissioni risulta la salita ("Climbout" – C/O), che contribuisce sul totale per circa il 54%. Altre fasi significative risultano il decollo ("Takeoff" – T/O, 23%) e l'atterraggio ("Approach", 14%), mentre le fasi a terra contribuiscono complessivamente per meno del 10%. Per quanto riguarda la distribuzione sugli aviogetti, i modelli 80S e 767, che abbiamo visto essere i più rappresentati in termini di LTO, presentano i più elevati contributi praticamente in tutte le ore eccetto la notte, quando il massimo contributo deriva dai modelli 74F e M11.

#### 3.3.4.2 Emissioni giornaliere di HC

Il valore aggregato giornaliero di emissione di HC è pari a oltre 500 kg, con una distribuzione dei carichi nella giornata tipo che presenta il picco principale tra le ore 16 e le 17 (40365 g/h) ed altri picchi secondari tra le 7 e le 8 del mattino (36041 g/h), tra le 12 e le 13 (37076 g/h) e tra le 20 e le 21 (29906 g/h), risultando nel complesso più variabile rispetto all'NO<sub>x</sub>. Le fasi LTO di gran lunga più critiche per ciò che concerne le emissioni di HC risultano quelle a terra prima del decollo e dopo l'atterraggio (rispettivamente "Idle-in", 60% e "Idle-out", 28%), mentre i contributi complessivi delle rimanenti fasi non superano il 12%. Tra i modelli di aviogetto che maggiormente contribuiscono alle emissioni di HC possiamo citare: 80S, 747, 737, 767 e, di notte, 74F e B742. Da notare inoltre i notevoli contributi del modello TU5, la cui attività su Malpensa risulta piuttosto ridotta e valutabile in 0.36 LTO giornalieri, rilevabili tra le ore 13 e le 17; tale contributo potrebbe derivare da una sovrastima dei reali fattori di emissione.

#### 3.3.5 Calcolo delle emissioni aggregate annuali dagli aeromobili

Sulla base delle emissioni giornaliere medie e degli andamenti medi settimanali (su base giornaliera) ed annuali (su base stagionale), sono state determinate le emissioni aggregate a livello annuale di HC e NO<sub>x</sub>, ottenendo rispettivamente 189.9 t/anno e 1628.2 t/anno.

Per ciò che concerne gli NO<sub>x</sub>, le emissioni calcolate risultino in linea rispetto a quanto riportato in letteratura per aeroporti statunitensi con traffico aereo confrontabile a quello di Malpensa (con riferimento all'anno 1990). Le emissioni di HC sono invece significativamente inferiori ai dati relativi ad aeroporti statunitensi, ma in linea con quanto riportato da Battelle, 1997. Si tenga inoltre presente che le emissioni sembrano avere una debole dipendenza dall'attività dell'aeroporto in termini di cicli LTO, dipendendo invece fortemente anche da fattori quali la composizione della flotta e i tempi caratteristici di ciascuna fase.

È stato infine possibile calcolare per l'aeroporto di Malpensa anche le emissioni annuali disaggregate per fase LTO (dati riportati nella relazione conclusiva dello studio).

#### 3.3.6 Caratterizzazione delle sorgenti emmissive non costituite da aeromobili

Per completare il quadro emissivo del sito di Malpensa, è stato necessario prendere in considerazione anche le possibili sorgenti non costituite da aeromobili, ovvero le sei centrali termiche ed elettriche a servizio delle strutture aeroportuali (compreso un recente impianto di cogenerazione), l'inceneritore di rifiuti a camera multipla interno al complesso di Malpensa e le perdite evaporative dal gruppo di sei serbatoi di carburante a tetto fisso (dotati di sistemi di recupero delle perdite evaporative con efficienza del 100 % durante lo riempimento, e del 80 % durante i rifornimenti) presenti entro il sedime aeroportuale.

Sono state invece trascurate le emissioni prodotte dal traffico autoveicolare indotto dal movimento passeggeri presso lo scalo di Malpensa e quelle generate nelle aree adibite a parcheggio, in quanto è presumibile che tali emissioni, essendo prodotte al suolo, restano strettamente confinate alle aree immediatamente limitrofe a quelle di generazione.

I dati utilizzati per la caratterizzazione delle sorgenti inquinanti fisse, sono stati forniti in via ufficiale da SEA alla Ditta Battelle e da essa utilizzati per lo studio di valutazione di impatto completato nel 1997. A

seguito di una verifica condotta, in accordo con i responsabili dell'Amministrazione provinciale di Novara, interpellando i responsabili di SEA, è stato possibile stabilire che i dati pubblicati da Battelle sono tuttora validi, anche se SEA ha attualmente commissionato una verifica di tali dati.

### 3.3.7 Riepilogo dei dati emissivi

La seguente Tabella 6 riassume complessivamente le emissioni di NO<sub>x</sub> e di HC prodotte dalle differenti tipologie di sorgenti individuate all'interno del sedime aeroportuale. Alcune delle sorgenti emissive riportate non sono tuttavia state utilizzate nel corso delle simulazioni dispersive (quelle indicate da doppio asterisco (\*\*)), mentre i dati etichettati da un asterisco (\*) derivano dal rapporto Battelle del 1997.

<b>Sorgente di emissioni</b>	<b>NO<sub>x</sub></b>	<b>HC</b>
Traffico stradale (**)	53.2 (*)(**)	12.2 (*)(**)
Parcheggi (**)	4.2 (*)(**)	5.7 (*)(**)
Impianti termoelettrici	92.0 (*)	3.4 (*)
Inceneritore	1.2 (*)	0.1 (*)
Serbatoi di combustibile	0 (*)	1.3 (*)
Operazioni di supporto a terra	221.5 (*)	59.0 (*)
Aerei in fase di decollo	381.3	2.3
Aerei in fase di salita	866.6	7.7
Aerei in fase di atterraggio	229.2	13.8
Aerei in fase di taxi-in	47.7	52.4
Aerei in fase di taxi-out	103.4	113.6
<b>TOTALE</b>	<b>2000.3</b>	<b>271.5</b>

**Tabella 6** Riepilogo delle caratteristiche emissive delle varie sorgenti presenti all'interno del sistema aeroportuale di Malpensa (T/anno)

## 4 Studio modellistico delle ricadute inquinanti emesse dalle sorgenti aeroportuali

### 4.1 Approccio metodologico alla stima modellistica delle ricadute inquinanti attribuibili al sistema aeroportuale

La scelta del modello di calcolo da utilizzare nello studio della dispersione degli inquinanti emessi dalle diverse sorgenti, è principalmente condizionata dal tipo di inquinante, dalle caratteristiche del territorio e delle sorgenti medesime e dal periodo temporale di simulazione. Nella fattispecie, è stato esaminato l'inquinamento prodotto da ossidi di azoto (NO<sub>x</sub>) ed idrocarburi totali (HC). Considerando tali inquinanti non reattivi, almeno su scala spaziale limitata, nelle simulazioni della dispersione, non è stato necessario tener conto di reazioni chimiche o passaggi di fase. L'adozione di un modello climatologico di tipo "short term", in grado di ricostruire i valori medi orari delle concentrazioni, ha inoltre reso possibile la ricostruzione dei parametri statistici orari, tri-orari o giornalieri su cui si basano i vigenti limiti di legge.

A partire dai dati meteorologici registrati dalla stazione di Lonate Pozzolo nel 1999 (l'annata più recente tra quelle disponibili), elaborati nel corso della caratterizzazione meteo-climatologica del sito d'indagine, e dalla stima delle emissioni inquinanti, effettuata sulla base dei movimenti aerei registrati a Malpensa nel corso delle settimane campione stagionali dell'anno 2000, il calcolo delle concentrazioni di inquinanti al suolo è stato effettuato utilizzando il modello matematico diffusionale gaussiano ISCST3, dopo aver caratterizzato la distribuzione spaziale delle emissioni secondo le linee guida di utilizzo del codice.



I valori di concentrazione al suolo calcolati con ISC3T3 sono stati quindi sottoposti a "post-processing", in modo da ricavare i parametri statistici annuali confrontabili con i rilevamenti sperimentali disponibili in sito e con gli esistenti standard di qualità dell'aria (SQA) fissati dalla vigente normativa.

#### 4.1.1 Descrizione del dominio di calcolo

Il dominio di calcolo utilizzato è costituito da un'area quadrata di 30 km di lato, attraversata da nord a sud dalla valle del Ticino. Poiché lo studio è focalizzato sull'impatto prodotto dall'impianto aeroportuale sul territorio della Provincia di Novara, dopo un attento esame della meteorologia e dei risultati di alcune simulazioni preliminari, la posizione relativa di Malpensa entro il dominio di calcolo è stata scelta centrata nella direzione nord-sud e decentrata di 10 km nella direzione est-ovest.

Il dominio di calcolo è stato infine discretizzato in una griglia di 61x61 punti recettori di passo 500m. Le simulazioni sono inoltre state eseguite anche per alcuni recettori isolati rappresentanti stazioni o punti di rilevamento di parametri di qualità dell'aria (Oleggio, Lonate Pozzolo, ecc.) o località sensibili di interesse.

#### 4.1.2 Descrizione del modello ISC3ST

Il modello ISC3ST (Industrial Source Complex Dispersion Models version 3, "short term") ha sostituito, nell'Agosto 1995, la precedente versione (ISC2) nelle "Guideline Of The Air Quality Models" (cfr. Supplement C - August 1995) pubblicate dall'U.S. EPA (United States Environmental Protection Agency). Questo modello è identificato nelle «Guidelines on Air Quality Models» dell'U.S. EPA, come «preferred» per siti a topografia piana o ondulata (rilievi di altezza inferiore alla quota fisica di emissione), anzi in questi casi il suo utilizzo viene classificato tra le «refined modeling techniques». Per i siti a topografia complessa, invece, l'algoritmo incluso in ISC3 è equivalente a quello del modello COMPLEX-I e rappresenta una tecnica di "screening" che fornisce in queste situazioni stime ampiamente conservative.

Le caratteristiche salienti del modello sono state illustrate nella relazione finale di questo studio, mentre per una descrizione più dettagliata si rimanda ai manuali relativi: User's Guide For The Industrial Source Complex (ISC3) Dispersion Models (Revised), Volume I - User Instructions, Volume II - Description of Model Algorithms.

#### 4.1.3 Ripartizione delle emissioni nelle sorgenti virtuali utilizzate

Il set di sorgenti virtuali utilizzato per le simulazioni è stato scelto sulla base dell'entità delle emissioni stimate per singola fase LTO, delle rotte di decollo/atterraggio previste (NOTAM ufficiale) e della dispersione spaziale delle effettive rotte in decollo ed atterraggio (estratte dal sistema SARA). Le rotte sono state seguite fino all'uscita degli aviogetti dallo strato rimescolato, fissato a 915m (3000ft).

L'atterraggio è stato sempre considerato da sud, con direttrice parallela alle piste (169°N), e sono state simulate, in senso antiorario, le rotte, tutte rettilinee, 5H (50°N), 5G (358°N) (ultimo tratto curvato a Est), 5D e 5F (unite con direzione 315°N) e 5C (280°N). Ciascuna rotta è stata suddivisa in un numero opportuno di sorgenti volumetriche tali da approssimare correttamente sorgenti lineari (vedi raccomandazioni del manuale di ISC). Le dimensioni trasversali delle sorgenti sono state determinate sulla base della dispersione, rispetto alla rotta standard, dei percorsi effettivamente seguiti dagli aviogetti, come derivanti dalle interrogazioni del sistema SARA. Per la fase terminale di salita ed in atterraggio, le sole dimensioni verticali delle sorgenti sono state considerate costanti, pari rispettivamente a 320m e 240m. Le attività a terra (parcheggio e attesa degli aeromobili, traffico veicolare di supporto, altre sorgenti) sono state schematizzate tramite sorgenti volumetriche disposte lungo le piste con spessore verticale di 50 m. Il gradiente di salita degli aviogetti è stato assunto pari al minimo previsto per il corridoio utilizzato.

Complessivamente sono state quindi utilizzate 29 diverse sorgenti.

Le emissioni sono state ripartite equamente tra le varie sorgenti rappresentanti ciascuna fase del ciclo LTO. In tal modo risulta che le sorgenti a terra sono comunque le principali e che per HC sono addirittura preponderanti: gli idrocarburi sono infatti emessi in quantità superiore durante le fasi in cui il motore lavora a bassi regimi, ovvero le fasi a terra e l'atterraggio.

#### 4.1.4 Descrizione delle simulazioni e risultati

Il set di dati meteorologici utilizzati per le simulazioni è quello, precedentemente descritto, rilevato presso la stazione di Lonate Pozzolo nel 1999. Le emissioni, assegnate in valore orario a ciascuna sorgente, sono state disaggregate temporalmente e spazialmente sulle rotte considerate, in base agli effettivi passaggi di aeromobili nel corso delle settimane campione stagionali del 2000. Per ciascuno dei due inquinanti considerati, sono state effettuate due simulazioni, una relativa all'intero anno meteorologico, l'altra relativa al solo periodo di monitoraggio delle rotte. I risultati delle simulazioni numeriche sono stati infine sottoposti a "post-processing" per derivare, sull'intero dominio di calcolo, i parametri statistici confrontabili con i vigenti SQA nazionali e comunitari.

Il contributo dell'impianto al 98° percentile orario degli  $\text{NO}_x$  (si veda la relazione finale dello studio, figure 5 e 9, Allegato FIGURE) presenta livelli superiori a  $90 \mu\text{g}/\text{m}^3$  in una limitata area presso la valle del Ticino, verso SW rispetto all'impianto. In tale direzione, i livelli si mantengono superiori a  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  fino a distanze di circa 5 km, mentre l'area interessata da valori superiori a  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  risulta più estesa. Nessun punto del dominio presenta contributi superiori all'SQA italiano, ( $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), ma si tenga presente che esiste un valore guida nazionale di questo parametro pari a  $135 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Confrontando tali risultati con il di 98° percentile calcolato a Lonate Pozzolo, ( $88 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), è possibile valutare che, entro circa 5 km dall'aeroporto, il contributo prodotto da Malpensa potrebbe risultare preponderante rispetto a tutte le altre sorgenti attive nella zona.

Il contributo dell'impianto alla mediana oraria degli ossidi di azoto (si veda la relazione finale dello studio, figure 6 e 10, Allegato FIGURE) risulta piuttosto limitato, se confrontato con il valore guida di  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . La media (si veda la relazione finale dello studio, figure 7 e 11, Allegato FIGURE) presenta invece livelli anche superiori a  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . I massimi orari mostrano infine (si veda la relazione finale dello studio, figure 8 e 12, Allegato FIGURE) una distribuzione spaziale meno influenzata dalla meteorologia, con valori superiori a  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$  in corrispondenza degli estremi delle piste. L'area interessata da massimi superiori a  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  è tuttavia piuttosto estesa. Sembra quindi che, nell'area ad esso immediatamente circostante, l'impianto di Malpensa possa contribuire anche pesantemente a fenomeni episodici di alte concentrazioni.

Per quanto concerne gli idrocarburi, i livelli d'inquinamento risultano più contenuti rispetto agli  $\text{NO}_x$ , essendo le emissioni più basse, anche se più concentrate sulle attività a terra. Il contributo dell'impianto al massimo tri-orario (si veda la relazione finale dello studio, figure 13 e 15, Allegato FIGURE), indice di situazioni d'impatto persistente per più di un'ora, presenta valori superiori a  $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$  agli estremi delle piste. I valori si mantengono superiori a  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  entro un'area piuttosto estesa. Le medie presentano invece distribuzioni analoghe agli  $\text{NO}_x$  (si veda la relazione finale dello studio, figure 14 e 16, Allegato FIGURE), con livelli più contenuti.

A causa della mancanza di dati sperimentali per gli idrocarburi entro l'area immediatamente circostante l'aeroporto di Malpensa, non è possibile, in questo caso, valutare il possibile contributo dell'impianto aeroportuale stesso.

La serie storica di concentrazione ricostruita per Oleggio evidenzia un andamento differente rispetto a quelle relative a Lonate Pozzolo, Castelletto Ticino e Varallo Pombia, mostrando una maggiore uniformità nelle concentrazioni orarie, mentre nelle restanti località la componente episodica (presenza di picchi di concentrazione) risulta più evidente.

## 5 CONCLUSIONI

Lo studio condotto ha mostrato che il sistema aeroportuale di Malpensa produce, sul territorio circostante, ricadute al suolo di una certa significatività sia per ossidi di azoto che per idrocarburi totali.

Si può notare che, in generale, la dispersione avviene principalmente in alcune zone sottovento rispetto al punto di emissione. Ciò significa che la locale meteorologia e la disposizione dei venti dominanti è uno dei fattori che maggiormente influiscono sulle ricadute degli inquinanti emessi.

Ricadute al suolo sono inoltre rilevabili anche a distanze elevate, ponendo in una situazione di potenziale esposizione aree sia piemontesi che lombarde.

Entro l'area investigata di 30x30 chilometri e per gli inquinanti presi in considerazione, non si rilevano tuttavia superamenti dei limiti di legge. Il codice di simulazione ha infatti ricostruito i valori di standard di qualità dell'aria riportati nella seguente Tabella 7.

Inquinante	Riferimento normativo	Parametri di controllo	Periodo di osservazione	Valore limite di riferimento	Valore massimo ricostruito modellisticamente
Biossido di azoto (NO <sub>2</sub> )	Livello di attenzione D.M. 15/04/94 D.M. 25/11/94	Media oraria	Ogni giorno	200 µg/m <sup>3</sup>	236.9 µg/m <sup>3</sup>
	Livello di allarme D.M. 15/04/94 D.M. 25/11/94	Media oraria	Ogni giorno	400 µg/m <sup>3</sup>	236.9 µg/m <sup>3</sup>
	Valore limite D.P.R. 203/88	98° percentile concentrazioni medie di 1 ora	1 gennaio 31 dicembre	200 µg/m <sup>3</sup>	97.2 µg/m <sup>3</sup>
	Valore guida D.P.R. 203/88	50° percentile concentrazioni medie di 1 ora	1 gennaio 31 dicembre	50 µg/m <sup>3</sup>	3.3 µg/m <sup>3</sup>
		98° percentile concentrazioni medie di 1 ora	1 gennaio 31 dicembre	135 µg/m <sup>3</sup>	97.2 µg/m <sup>3</sup>
Idrocarburi totali (escluso metano) espresso in C	D.P.C.M. 28/03/83	Concentrazione media di 3 ore consecutive da specificarsi secondo le zone a cura delle Autorità regionali competenti	Da adottarsi nelle zone e nei periodi dell'anno dove si siano verificati dei significativi superamenti dell'ozono	200 µg/m <sup>3</sup>	25.8 µg/m <sup>3</sup>

**Tabella 7** Confronto dei parametri di qualità dell'aria fissati dalla vigente legislazione con i valori massimi simulati nel corso del presente studio per gli stessi parametri.

Si tenga presente che, mentre le simulazioni modellistiche sono state condotte per gli ossidi totali di azoto (NO e NO<sub>2</sub>), il limite di legge è previsto solo per il biossido di azoto: in via cautelativa, si è quindi ipotizzato che tutti gli ossidi di azoto ricostruiti dal codice di simulazione possano essere considerati nella forma di biossido, ovvero che le emissioni di ossidi di azoto siano costituite esclusivamente da biossido.

Dall'analisi delle mappe di isoconcentrazione, si può notare che i massimi dei parametri statistici considerati sono ricostruiti in punti abbastanza vicini all'area aeroportuale, mentre, a mano a mano che ci si allontana dai punti di emissione, le concentrazioni ricostruite, sia per gli ossidi totali di azoto che per gli idrocarburi, decrescono significativamente.

È a questo punto interessante tentare di valutare il contributo delle ricadute generate dal sistema aeroportuale di Malpensa sulla qualità dell'aria in alcuni recettori sensibili, confrontando il dato ricostruito modellisticamente con il valore rilevato sperimentalmente in alcuni punti oggetto di monitoraggio di qualità o di applicazioni modellistiche.

Il contributo generato dal sistema di Malpensa nel punto di monitoraggio di Lonate Pozzolo pare decisamente inferiore al valore di qualità dell'aria rilevato sperimentalmente, nello stesso punto, dalla postazione fissa di monitoraggio. D'altra parte il suo particolare posizionamento, a margine di un'arteria stradale ad alta frequentazione, permette di ipotizzare che i rilievi di ossidi di azoto possano essere influenzati anche da emissioni autoveicolari. In tale punto, il contributo apportato dal sistema aeroportuale di Malpensa alle concentrazioni di biossido di azoto può quindi essere quantificato in circa il 20 % delle concentrazioni rilevate sperimentalmente.

Anche a Oleggio le concentrazioni simulate modellisticamente sono inferiori a quanto rilevato sperimentalmente dall'ARPA di Novara, con un contributo di Malpensa dell'ordine del 15-20 % per gli ossidi di azoto e del 10 % circa per gli idrocarburi. I massimi orari sperimentali e ricostruiti modellisticamente per il periodo aprile-luglio sono tuttavia del tutto confrontabili, a dimostrazione del fatto che i fenomeni di inquinamento acuto, rilevati a Oleggio, possono essere prodotti principalmente da emissioni generate dal sistema aeroportuale di Malpensa.

I rilievi condotti con campionatori passivi in alcune località del novarese vanno invece confrontati con i dati medi ricostruiti modellisticamente per il periodo di campionamento: le simulazioni mostrano generalmente che l'impianto di Malpensa produce contributi trascurabili, ma in alcuni casi (Bellinzago e Cameri) le concentrazioni simulate possono rendere conto fino al 20 % del locale inquinamento da ossidi di azoto.

Si sottolinea infine che la presenza di significative concentrazioni di ossidi di azoto può spesso attivare localmente fenomeni fotochimici estremamente complessi; tra di essi la produzione fotochimica di ozono è certamente uno dei più pericolosi, in quanto l'azione fortemente irritante e fototossica dell'ozono può produrre importanti effetti deleteri sulla locale fauna e flora, senza contare i possibili effetti sulla salute umana. Ad aggravare il possibile impatto di elevate concentrazioni di ozono fotochimico vi sono inoltre gli idrocarburi metanici e non metanici: spesso tali composti entrano, come catalizzatori, nel ciclo dell'ozono fotochimico modificando gli equilibri chimici tra i componenti delle reazioni. Come effetto finale si possono quindi ottenere concentrazioni di ozono pericolosamente elevate.

## Bibliografia

- Battelle, 1997. Studio di valutazione dell'impatto atmosferico associato al traffico aereo ed alle attività dell'aeroporto Malpensa di Milano.
- Briggs G. A. (1969): "Plume Rise", U.S. Atomic Energy Commission Critical Review Series, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN. Report NTIS TID-25075.
- Briggs, G. A. (1974): "Diffusion estimation on small emission", U.S. Atomic Energy Commission Critical, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN. Rep. USAEC ATDL-106.
- Briggs, G. A. (1975): "Plume rise prediction. Lectures on air pollution pollution and environmental impact analyses", American Meteorological Society, Boston, MA, pp. 59-111.
- EPA, 1999. Evaluation of air pollutant emissions from subsonic commercial jet aircraft. EPA420-R-99-013.
- EPA, 1985. Compilation of air pollutant emission factors, volume II: mobile sources, AP-42.
- FAA, 1997. Air quality procedures for civilian airports and air forces bases. FAA-AEE-97-03 AL/EQ-TR-1996-0017.
- ICAO Engine Exhaust Emissions Data Bank, First Edition 1995, ICAO, Doc 9646-AN/943
- ICAO, 1993. Annex 16 "International standards and recommended practices, Environmental protection", Volume II "Aircraft engine emissions", 2nd ed.
- ISTISAN (1990): "Modelli per la progettazione e valutazione di una rete di rilevamento per il controllo della qualità dell'aria", Rapporto ISTISAN 90/32.
- U.S. EPA (1986): "Guideline on air quality models (Revised)", Rep. EPA-450/2-78-027R.
- U.S. EPA (1995): AP-42 "A compilation of air pollutants emission factors". Fifth edition. (available from GPO – Government Printing Office and NTIS).
- U.S. EPA (1995): "User Guide for the Industrial Source Complex dispersion models (revised), volume I: User instructions - volume 2: Description of model algorithms", Rep EPA-454/B-95-003b.
- [www.icao.org](http://www.icao.org)

