



Dipartimento Provinciale di Venezia

Via Lissa, 6
30171 Venezia Mestre Italy
Tel. +39 041 5445511
Fax +39 041 5445500
e-mail: dapve@arpa.veneto.it

Le emissioni aeroportuali

Febbraio 2007

Realizzato a cura di:

A.R.P.A.V.

Dipartimento Provinciale di Venezia

dr. R. Biancotto (direttore)

Unità Operativa Sistemi Ambientali

dott.ssa M. Rosa (dirigente responsabile)

dott.ssa S. Pistollato (elaborazioni)

dott.ssa C. Zemello (elaborazioni)

Redatto da:

dott.ssa M. Rosa, dott.ssa S. Pistollato; dott.ssa Consuelo Zemello

Si ringrazia:
la SAVE S.p.A.,
per i dati resi disponibili.

*Tutti i diritti riservati.
È vietata la riproduzione anche parziale
non espressamente autorizzata*

Le emissioni aeroportuali	1
1 Aeroporti e inventari delle emissioni	4
2 Introduzione al problema	5
2.1 Stima delle emissioni aeroportuali	5
2.2 L'inventario APAT	6
2.3 INEMAR.....	7
3 Inquinanti prodotti dal traffico aereo	8
4 Stima delle emissioni dell'aeroporto civile di Venezia	9
4.1 Raccolta dei dati di traffico aereo	10
4.2 Elaborazione dei dati e algoritmo di stima.....	11
4.2.1 Disaggregazione comunale in funzione delle rotte	14
4.3 Risultati	16

BIBLIOGRAFIA

20

1 Aeroporti e inventari delle emissioni

Il principale scopo di un inventario delle emissioni è quello di fornire una stima quantitativa della pressione emissiva che insiste su un determinato territorio; in generale, i risultati di un inventario rappresentano informazioni indispensabili per individuare su quali fonti può essere più efficace o prioritario agire per ridurre la formazione di certi inquinanti o la produzione di certi precursori.

L'utilizzo degli inventari di emissione a supporto della gestione e pianificazione della qualità dell'aria è stato ampiamente riconosciuto sia dalla normativa europea che da quella italiana; la disponibilità di stime di emissioni sufficientemente dettagliate sul territorio, comunque, è richiesta anche per la valutazione di impatto (V.I.A.) delle nuove fonti di emissione e di quelle esistenti (come può essere un aeroporto).

Gli inventari di emissione si distinguono in base a diversi parametri: scala territoriale (da subcomunale a nazionale), tipologia di fonti di emissione (puntuali, lineari, areali) e attività emissive considerate, specie di inquinanti trattate, approccio metodologico (top down e bottom up). Per quanto riguarda le **attività** responsabili della formazione di emissioni, la nomenclatura utilizzata a livello europeo per codificare la loro varietà e numerosità è quella **EMEP-CORINAIR**: le attività vengono così classificate in 11 macrosettori, 56 settori e 260 categorie (o attività).

All'interno di questa classificazione, le 5 attività responsabili delle emissioni aeroportuali vengono così suddivise:

080500 Traffico aereo

080501 Traffico nazionale (cicli LTO - < 1000 m)

080502 Traffico internazionale (cicli LTO - < 1000 m)

080503 Traffico nazionale di crociera (> 1000 m)

080504 Traffico internazionale di crociera (> 1000 m)

080505 Mezzi di supporto a terra.

2 Introduzione al problema

La valutazione dell'inquinamento atmosferico associato all'esercizio di una infrastruttura aeroportuale può essere effettuata tramite la stima delle emissioni prodotte dalle diverse attività presenti e la predisposizione di un inventario.

In linea generale, la metodologia utilizzata in un inventario per stimare le emissioni è la seguente:

$$E_i = A \times FE_i$$

dove:

E_i rappresenta l'**emissione** dell'inquinante i ,

A è un opportuno **indicatore dell'attività** correlato con le quantità emesse,

FE_i è il **fattore di emissione** per l'inquinante i e l'attività espressa da A , ovvero la massa dell'inquinante emessa per una quantità unitaria dell'indicatore.

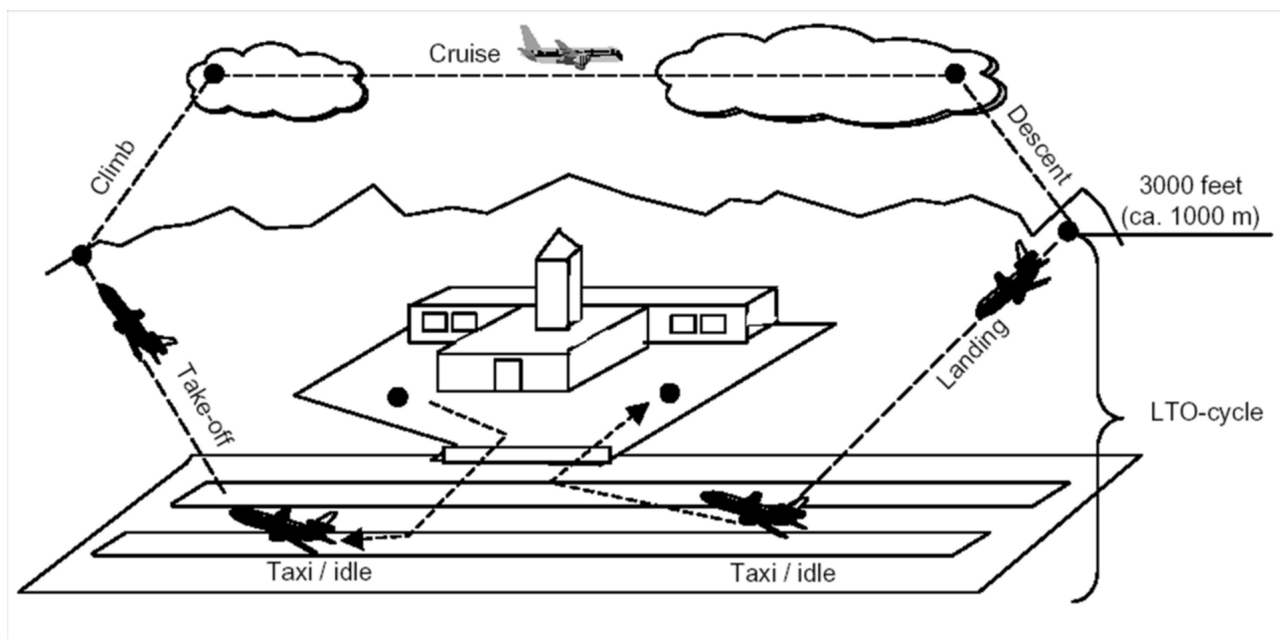
2.1 Stima delle emissioni aeroportuali

Una metodologia attendibile di stima delle emissioni, nei pressi del suolo, indotte dagli aeromobili, è desumibile dalla letteratura internazionale (US EPA – Agenzia USA per la Protezione dell'Ambiente - e FAA – Amministrazione Federale dell'Aviazione).

Per ottenere tale stima, un buon indicatore dell'attività del singolo aeromobile è il cosiddetto ciclo di atterraggio e decollo (**LTO** – "**Landing and TakeOff cycle**"), che include tutte le attività e operazioni di un aereo al di sotto del limite dei 1000 m., che corrisponde all'altezza standard della zona di rimescolamento.

La valutazione delle emissioni degli aeromobili è eseguita utilizzando specifici **fattori di emissione** (espressi in termini di *massa di inquinante emesso per unità di combustibile*), relativi alla condizione di spinta massima del motore, ricavati da misure sperimentali al banco sui diversi modelli di motori. Il ciclo standard di atterraggio-decollo prevede quattro fasi di durata prefissata (atterraggio, decollo, salita e movimento a terra) a cui corrispondono potenze erogate dal motore predefinite e consumi di combustibile caratteristici per ogni tipo di motore. Per ognuna delle quattro fasi predefinite che costituiscono il ciclo standard di atterraggio-decollo, i fattori di emissione sono espressi come percentuale dell'emissione corrispondente a quella di massima spinta e la stima dell'emissione si ottiene pertanto dal prodotto tra il fattore di emissione ed il consumo di combustibile. **I risultati della singola valutazione sono le emissioni dei diversi inquinanti per ogni fase del ciclo di atterraggio-decollo effettuato da ogni motore montato sui veicoli.**

Figura 1: Schema ciclo LTO (“Landing TakeOff cycle”)



2.2 L’inventario APAT

L’A.P.A.T. ha provveduto a compilare, per gli anni 1990, 1995 e 2000, l’inventario nazionale delle emissioni in atmosfera^[1] (www.sinanet.apat.it/aree/atmosfera/emissioni) e ha poi effettuato la **disaggregazione a livello provinciale** delle stime di emissione. La metodologia utilizzata è quella *top down*: lo scopo è stimare l’entità delle emissioni locali partendo dalla conoscenza delle emissioni su un’area più vasta, individuando le tipologie di sorgenti così come sono definite nell’inventario più ampio e che ricadono all’interno del territorio più circoscritto.

Nell’ipotesi che $E_{k,j}$ sia l’emissione nazionale per l’attività k e per l’anno j , $S_{k,i,j}$ sia il valore assunto dalla **variabile proxy** associata all’attività k per l’anno j e per la provincia i -esima e $S_{k,j}$ il suo valore assunto su scala nazionale per lo stesso anno, è possibile stimare l’emissione provinciale $E_{k,i,j}$ con la seguente:

$$E_{k,i,j} = E_{k,j} \cdot S_{k,i,j} / S_{k,j}$$

ponendo $S_{k,j} = \sum_i S_{k,j,i}$, con i da 1 a N (N = numero di provincie).

Le emissioni di una provincia relative ad un macrosettore vengono poi ottenute come somma delle emissioni per quella provincia derivanti da tutte le attività appartenenti a quel macrosettore.

Tornando al caso specifico delle emissioni aeroportuali, sono state prese in considerazione quattro attività del settore 080500 e, ad ognuna di esse, è stato associato come indicatore il **numero di cicli di atterraggio/decollo (cicli LTO) nel corso dell’anno**: si sono così calcolate le emissioni nazionali.

Per la disaggregazione provinciale, la variabile proxy utilizzata è stata, in generale, il numero di atterraggi per aeroporto; in particolare si sono considerate le seguenti proxy per ciascuna attività:

- ✓ 080501 - traffico nazionale sotto i 1000 m di quota: numero di atterraggi totali
- ✓ 080502 - traffico internazionale sotto i 1000 m di quota: numero di atterraggi internazionali
- ✓ 080503 - traffico nazionale di crociera sopra i 1000 m di quota: numero di atterraggi totali

- ✓ 080504 - traffico internazionale di crociera sopra i 1000 m di quota: numero di atterraggi internazionali.

In Provincia di Venezia è presente la struttura aeroportuale di Tessera, che occupa uno dei primi posti nella classifica degli aeroporti italiani per traffico merci e passeggeri.

Per quanto riguarda le emissioni aeroportuali, è disponibile la disaggregazione dell'inventario nazionale APAT del 2000^[1] (vedi Tabella 1).

Tabella 1: Inventario APAT 2000 - stime emissive (in tonnellate/anno) relative alla Provincia di Venezia per le attività connesse al settore aeroportuale

PROVINCIA DI VENEZIA			
APAT 2000			
	80501	80502	80503
SOx	7	18	24
NOx	91	222	348
COV	18	68	11
CO	82	238	38
CO2	24036	55400	73124
PM10	4	16	-

2.3 INEMAR

INEMAR (INventario EMissioni ARia)^{[7][8]}, adottato anche nel presente lavoro, è un database progettato per realizzare l'inventario *bottom up* delle emissioni in atmosfera, stimando le emissioni a **livello comunale** dei diversi inquinanti, per ogni attività della classificazione Corinair e tipo di combustibile. Realizzato da Regione Lombardia e ARPA Lombardia, raccoglie tutte le variabili necessarie per la stima delle emissioni: indicatori di attività (consumo di combustibili, consumo di vernici, quantità incenerita, ed in generale qualsiasi parametro che traccia l'attività dell'emissione), fattori di emissione, dati statistici necessari per la disaggregazione spaziale e temporale delle emissioni.

Per quanto riguarda le emissioni aeroportuali, i fattori di emissione sono stati utilizzati secondo le linee guida dell'Atmospheric Emission Inventory Guidebook, mentre come indicatore di attività è stato scelto il **numero di voli avvenuti nel corso del 2003**, dettagliati per:

- ✓ codice ICAO (International Civil Aviation Organization) che individua il tipo di aereo
- ✓ tipo di spostamento (atterraggio o decollo)
- ✓ tipo di volo (nazionale o internazionale)
- ✓ ora del giorno.

Il database INEMAR non considera il contributo emissivo dovuto al traffico di crociera (attività 080503 e 080504), incluso nelle stime nazionali APAT; contiene invece le emissioni dell'attività 080505 (Mezzi di supporto a terra), non considerata nell'inventario APAT.

Regione Lombardia ha realizzato un confronto fra le stime delle emissioni aeroportuali ottenute dall'inventario APAT (top down) e INEMAR (bottom up). I risultati del confronto sono confortanti, infatti l'ordine di grandezza delle stime è quasi sempre lo stesso e non si evidenziano scostamenti macroscopici.

3 *Inquinanti prodotti dal traffico aereo*

Le strutture aeroportuali sono responsabili dell'emissione di un gran numero di inquinanti. Alcuni di questi sono strettamente legati alle attività che comportano una qualsiasi combustione: ozono (non emesso direttamente, ma formato dall'emissione dei suoi precursori), monossido di carbonio, ossidi di azoto, composti organici volatili e materiale particolato.

In generale, il funzionamento della piattaforma aerea può essere diviso in diverse fonti di inquinamento atmosferico.

- I motori d'aereo emettono principalmente ossidi di azoto (NO_x), monossido di carbonio (CO), composti organici volatili (COV), biossido di zolfo (SO₂) e polveri (PM). Emettono anche anidride carbonica (CO₂) e acqua (H₂O). Le emissioni di ossidi di azoto e delle particelle in sospensione sono preponderanti in fase di decollo e di salita, mentre le emissioni di monossido di carbonio e di idrocarburi sono preponderanti al momento dell'avanzamento a terra.
- Le emissioni al suolo risultano direttamente dal funzionamento dell'aeroporto: i gruppi elettrogeni, i gruppi ausiliari di potenza, i compressori, gli elevatori, i tappeti per i bagagli, le prove motori, i veicoli di servizio, le centrali di produzione di energia, le dotazioni per lavori, le dotazioni per la manutenzione, la conservazione di carburante, la conservazione di prodotti vari (solventi, pitture, prodotti di pulizia interna, prodotti di manutenzione degli spazi verdi), le zone di contenimento delle acque scure...
- A tutte queste fonti bisogna aggiungere il traffico stradale (veicoli personali, veicoli di nolo, taxi, bus, navette...) indotto per servire l'aeroporto (passeggeri, personale della piattaforma).

All'interno dell'*Atmospheric Emission Inventory Guidebook* dell'EEA^[4], nel capitolo dedicato al trasporto aereo, sono riportate alcune utili osservazioni sul contributo emissivo dovuto agli aeroporti: **il contributo delle emissioni aeroportuali di CO₂ è stimato pari a circa il 2% sul totale**. Questo contributo relativamente piccolo può essere spiegato in base al fatto che la maggior parte delle emissioni degli aerei viene liberata nella parte più alta della troposfera, se non nella bassa stratosfera.

La tabella che segue schematizza, per diversi inquinanti, l'incidenza del traffico aereo in Europa.

Tabella 2: Emissioni da traffico aereo in Europa. Range del contributo del traffico aereo sul totale delle emissioni nazionali secondo Corinair-94 (voli internazionali di crociera, attività 080504, esclusi).

ATTIVITA'	Traffico aereo: contributo % alle emissioni nazionali	
	080501 e 080502 %	080503 %
SO ₂	0 – 0.2	-
NO _x	0 – 3	0 – 2
NM VOC	0 – 0.6	-
CO	0 – 0.3	-
CO ₂	0 – 2	0 - 1
CH ₄	0	-
N ₂ O	0	-

4 Stima delle emissioni dell'aeroporto civile di Venezia

Come precedentemente accennato, il confronto fra le emissioni aeroportuali calcolate per la Lombardia con le metodologie top down e bottom up, ha evidenziato valori compatibili. Per verificare se considerazioni analoghe valgano anche per le emissioni aeroportuali veneziane, in accordo con l'Amministrazione Comunale e all'interno di un progetto molto vasto che prevede la caratterizzazione delle emissioni provinciali, il Dipartimento Provinciale di Venezia di ARPAV ha condotto uno studio che ha portato a stimare, con approccio bottom up, le emissioni da traffico aereo nazionale ed internazionale al di sotto dei 1000 m di quota in Provincia di Venezia nell'anno 2005.

In particolare con la classificazione SNAP delle attività così come definite da **EMEP-CORINAIR**, il calcolo ha riguardato le attività **080501 - Traffico aereo nazionale (cicli LTO < 1000 m)** e all'attività **080502 - Traffico internazionale (cicli LTO < 1000 m)**. Non è stato per il momento possibile stimare il contributo dovuto ai mezzi di supporto a terra di cui all'attività 080505, non avendo ottenuto dati sul consumo di carburante del parco mezzi dell'aeroporto.

La realizzazione dell'inventario bottom up delle emissioni aeroportuali ha previsto varie fasi:

- raccolta dei dati di traffico aereo
- elaborazione dei dati e algoritmo di stima
- risultati

Per ognuna, segue una descrizione dettagliata.

4.1 Raccolta dei dati di traffico aereo

Al fine di realizzare la stima bottom up delle emissioni dell'aeroporto Marco Polo di Venezia relativamente alle due attività suddette, è stata utilizzata la struttura del database INEMAR e sono state ricostruite alcune delle tabelle in esso contenute, a partire dai dati di traffico aereo forniti da SAVE SpA, azienda che gestisce l'aeroporto.

SAVE ha fornito i seguenti dati relativi sia all'aviazione commerciale che all'aviazione generale:

- ✓ data e ora del volo
- ✓ tipo di spostamento (atterraggio o decollo)
- ✓ numero del volo
- ✓ codice IATA (International Air Transport Association) che indica provenienza o destinazione
- ✓ tipo di aereo (codice ICAO, International Civil Aviation Organization).

Questi dati di traffico sono stati forniti per ciascun aereo in atterraggio o in decollo nelle tre settimane a maggior traffico dell'anno 2005, secondo le prescrizioni stabilite dal D.M. 31 ottobre 1997 "Metodologia di misura del rumore aeroportuale" che è stato applicato per analogia anche all'inquinamento atmosferico e che divide l'anno in 3 periodi:

- ✓ Periodo 01/02 - 31/05 settimana dal 16/05/05 al 22/05/05
- ✓ Periodo 01/06 - 30/09 settimana dal 24/07/05 al 31/07/05
- ✓ Periodo 01/10 - 31/01 settimana dal 01/10/05 al 07/10/05.

In queste 3 settimane (esattamente 22 giorni) è stato registrato un totale di 5015 movimenti (atterraggio o decollo).

Per disaggregare a livello comunale la stima delle emissioni provinciali era necessario conoscere anche le procedure di salita iniziale (SID) e di arrivo (STAR), cioè la rotta percorsa dall'aereo in fase di decollo e atterraggio, rispettivamente. Perciò SAVE ha fornito anche i dati di traffico aereo registrati dai sistemi ENAV di torre (Tabella 3) che contengono oltre alle precedenti informazioni anche:

- ✓ rotta di atterraggio o decollo (SID/STAR)
- ✓ marca aereo
- ✓ pista di atterraggio o decollo

Tabella 3: Esempio di dati

DATA_VOLO	ORA	PISTA	A/D	VOLO	MARCA	TIPO_AM	SID/STAR	PROV/DEST
16/05/2005	8	4	A	ELG01181	IALPZ	F100	FER1A	NAP
16/05/2005	8	4	A	DLH02728	IADLT	AT72	ALBET1A	MUC
16/05/2005	8	4	A	JET00592	EICUM	A320	CHI1A	CTA
16/05/2005	8	4	A	LBW00161	YUAOK	F100	CHI1A	
16/05/2005	9	4	A	USA00022	US649	B762	FER1A	PHL
16/05/2005	9	4	A	DNM00411	PHPRJ	F50	ALBET1A	ZRH

Purtroppo i sistemi ENAV di torre non registrano tutti i voli, in particolare trascurano la maggior parte dei movimenti di aviazione generale, cioè quelli dei piccoli aerei privati; sono stati quindi trascurati 349 movimenti e ne sono stati considerati 4666, nei 22 giorni suddetti.

Inoltre sono stati trascurati altri 280 movimenti, poiché mancavano informazioni relative alla destinazione/provenienza o al tipo di aereo (codice ICAO). Alla fine sono stati considerati **4386** movimenti (atterraggi o decolli).

Il traffico aereo di tutto l'anno 2005 dell'aeroporto di Venezia comprende circa 70'000 movimenti, per una media di circa 192 movimenti al giorno, prossima a quella considerata nelle 3 settimane di dati (199 movimenti/giorno). Il traffico di queste 3 settimane è stato quindi considerato rappresentativo di tutto l'anno 2005 ed è stato utilizzato per stimare le emissioni complessive annuali.

E' stata indagata la possibilità che esistano dei voli che transitano sopra l'aeroporto al di sotto dei 1000 m di quota senza atterrare, quindi senza essere stati conteggiati. In effetti alcuni voli di emergenza o di esercitazione possono transitare senza atterrare, ma si tratta di pochi voli all'anno e sono stati trascurati.

4.2 Elaborazione dei dati e algoritmo di stima

Per ogni inquinante l'algoritmo di stima dell'emissione è il seguente^[8]:

$$EmA_{i,j,k,w} = FE_AEREI_{i,j} * NUM_MOVIMENTI_{i,k,w} / 1000$$

dove:

$EmA_{i,j,k,w}$ = emissioni per ogni codice aereo i , per ogni fase di movimento j , per nazionalità w , nell'ora k [t/anno]

$FE_AEREO_{i,j}$ = fattore di emissione per ogni codice aereo i e per ogni fase di movimento j [kg/volo]

$NUM_MOVIMENTI_{i,k,w}$ = numero di movimenti per ogni codice aereo i e per decollo o atterraggio (legati alle fasi di movimento), per ogni nazionalità w , nell'ora k [voli/ora]

E' stato necessario costruire una tabella che contenesse tutti i dati di traffico espressi come numero di movimenti in funzione del codice aereo (ICAO), decollo o atterraggio, nazionalità e ora.

Gli inquinanti presi in considerazione sono:

- ossidi di zolfo ($SO_2 + SO_3$)
- ossidi di azoto ($NO + NO_2$, come NO_2)
- Composti Organici Volatili ad esclusione del metano (COV)
- monossido di carbonio (CO)
- biossido di carbonio (CO_2)
- polveri atmosferiche con diametro inferiore ai 10 μm (PM_{10})
- polveri totali (PTS)
- polveri atmosferiche con diametro inferiore ai 2,5 μm ($PM_{2,5}$)

Le fasi di movimento considerate sono riportate in Tabella 4.

Tabella 4: Cinque fasi di movimento considerate

ID_FASE_MOVIMENTO	NOME_FASE_MOVIMENTO	DECOLLO_ATTERRAGGIO
1	APPROCH-LANDING	A
2	TAXY IN	A
3	TAXY OUT	D
4	TAKE OFF	D
5	CLIMB	D

I fattori di emissione utilizzati sono quelli proposti dal Atmospheric Emission Inventory Guidebook, che dipendono dal tipo di inquinante, dalla fase di movimento (approch-landing, taxi in, taxi out, take off, climb) e dal tipo di aereo (**codice ICAO**). Al fine di semplificare e ridurre la numerosità dei tipi di aereo, alle 210 tipologie ICAO circolanti (41 nel nostro caso) è stato associato uno dei 45 aerei (17 nel nostro caso) ed i fattori di emissione corrispondenti, sulla base del tipo di motore e della relativa potenza, secondo le associazioni adottate nella metodologia INEMAR (Tabella 5). Il fattore di emissione per PM₁₀ e PM_{2,5} è stato tratto da EPA^[15].

E' stato decodificato il codice IATA che individua l'aeroporto da cui proviene o verso cui va un aereo (provenienza/destinazione) attraverso una ricerca sul sito www.airlinecodes.co.uk/aptcodesearch.asp e ciascun volo è stato classificato come **nazionale o internazionale**, a seconda che l'aeroporto di provenienza o di destinazione si trovasse in Italia (nazionale) oppure all'estero (internazionale).

La fase di spostamento (**decollo o atterraggio**) era già esplicitata nei dati di traffico, ma è stata associata alle 5 fasi di movimento del ciclo LTO: approach-landing e taxi in appartenenti all'atterraggio, taxi out, take off e climb appartenenti al decollo. Questo perché i fattori di emissione sono definiti in funzione delle 5 fasi di movimento.

Dopo aver moltiplicato il numero di movimenti per il fattore di emissione corrispondente si ottiene l'emissione per ogni codice aereo, per ogni fase di movimento, per nazionalità e nell'ora k; a partire da questa emissione è possibile ottenere le emissioni totali (di tutti gli aerei sommati indipendentemente dalla tipologia ICAO) distinte per ogni ora del periodo considerato oppure le emissioni totali di tutto il periodo (somma di tutte le emissioni orarie) distinte per volo nazionale o internazionale, in modo da associarle alle due diverse attività EMEP – CORINAIR (080501 e 080502).

Per calcolare l'emissione annuale è stata divisa l'emissione di periodo per il numero di giorni considerati (22 giorni) e moltiplicata per il numero di giorni dell'anno 2005 (365).

Tabella 5: Corrispondenza adottata nella metodologia INEMAR, tra codice ICAO di origine e codice ICAO di riferimento associato ad un particolare fattore di emissione

Tipo di aereo (Codice ICAO)	
Codice ICAO originale	Codice ICAO di riferimento
B739	A320
A320	
A321	
E120	AT43
AT43	
AT72	AT72
AT45	
AT44	
RJ85	B461
RJ1H	
B462	
B463	B722
T154	
B738	
B734	B734
A319	
B752	
B763	B763
A306	
B762	
L101	DC10
DH8D	DH8D
AN12	DHC7
F100	F100
MD87	
F70	
B732	
DH8C	F27
E135	F28
CRJ2	
E145	
CRJ1	
F50	F50
B733	MD82
MD82	
MD83	
MD88	
B737	
B735	
B736	
SB20	SB20

4.2.1 Disaggregazione comunale in funzione delle rotte

Per disaggregare le emissioni dell'aeroporto nei comuni su cui insistono le rotte degli aerei nelle fasi di atterraggio e decollo si sarebbero dovuti utilizzare i tracciati radar degli aeromobili presi in considerazione per le tre settimane di riferimento. Dato che i tracciati radar non sono disponibili, la configurazione delle rotte di volo è stata determinata mediante consultazione delle AIP (Aeronautical Information Publication) dell'Ente Nazionale di Assistenza al Volo, disponibili al sito internet www.enav.it/AIP/AIP-ENAV.html di AIP Italia alla sezione RAC 4-4-7.1^[10].

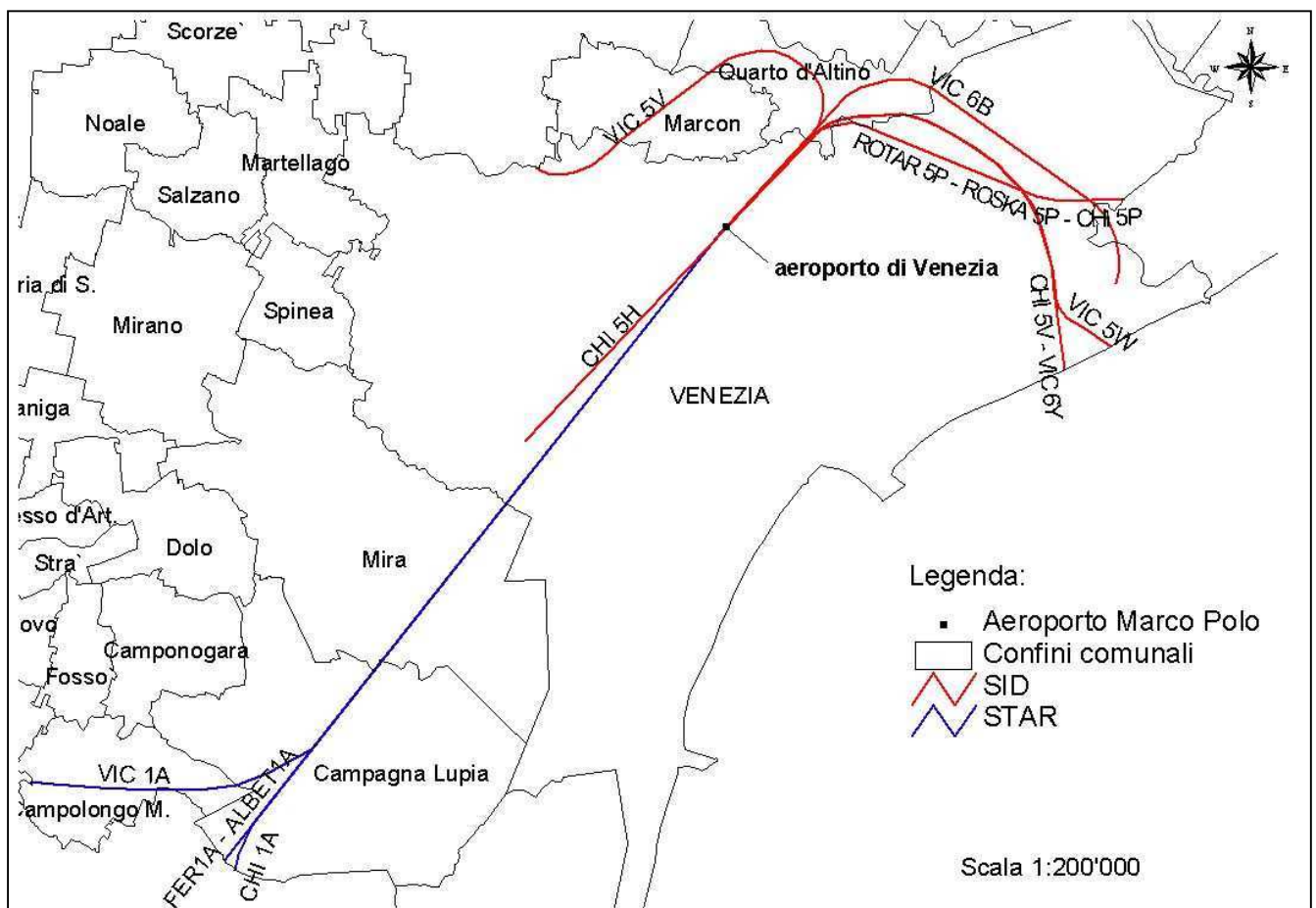
Tale modo di procedere trova peraltro conforto nella normativa italiana che prescrive, laddove non fosse possibile desumere direttamente dal volato reale le rotte degli aeromobili, di adottare gli assi ideali pubblicati nelle AIP Italia^[13].

Sono state quindi riprodotte in Arcview le parti delle procedure come pubblicate in AIP Italia (Figura 2) e relative alle procedure standard di salita iniziale (SID) e di arrivo (STAR), cioè le rotte generalmente percorse dall'aereo in fase di decollo e atterraggio. Non si è tenuto conto della dispersione spaziale delle tracce più o meno variabile.

Da queste rotte ideali sono state ottenute:

- la lunghezza delle rotte sotto i 1000 m e la loro suddivisione per comune (Tabella 6),
- la frequenza di percorrenza delle rotte, distinguendo tra arrivi e decolli (Tabella 7).

Figura 2: Rotte standard AIP Italia



Nello studio delle rotte sono state prese in considerazione solo le tratte sotto i 1000 m e che insistono su territorio della Provincia di Venezia.

Per individuare il tratto di rotta al di sotto dei 1000 m sono state utilizzate le informazioni contenute nelle SID/STAR di AIP Italia. Le informazioni incluse nelle SIDs (Standard Instrumental Departure) sono informazioni riguardanti la rotta da mantenere e le quote minime (MEA – Minimum Enroute Altitude / MEL – Minimum Enroute Level) da mantenere nei diversi tratti della rotta per avere le dovute separazioni dagli ostacoli e per rispettare le eventuali restrizioni/regolamentazioni presenti nei pressi di un aeroporto. Inoltre sono inclusi i livelli minimi di attraversamento (MCA – Minimum Climb Altitude / MCL – Minimum Climb Level) riferiti a determinati punti della rotta. Questi livelli (o altitudini) minimi presenti nelle SIDs, garantiscono una separazione minima dal più alto ostacolo presente nel raggio di 5 miglia nautiche dalla posizione stimata dell'aeroplano^[12]. Tutti i voli in partenza da un aeroporto devono sempre attenersi alle SIDs e alle eventuali restrizioni di salita contenute.

Le caratteristiche di costruzione delle STARs (Standard Terminal Arrival Routes) non differiscono da quelle di costruzione delle SIDs (rotta – quote minime), come del resto la separazione dagli ostacoli garantita in base al modo in cui sono indicate le quote minime (livelli – altitudini).

Consultando le SID/STAR di AIP Italia sono stati individuati i tratti di rotta o i punti indicati con MEA 3000 o MCA 3000 e sono stati presi in considerazione solo i tratti di rotta al di sotto di questi punti, che indicano approssimativamente i 1000 m di quota.

Inoltre non sono stati presi in considerazione i numerosi tratti di rotta al di fuori dei confini amministrativi provinciali indicati in Figura 2.

Tabella 6: lunghezza delle rotte sotto i 1000 m e loro suddivisione per comune

NOME ROTTA	COMUNE	CODICE ISTAT COMUNE	LUNGHEZZA ROTTA (m)	LUNGHEZZA TOTALE (m)
FER 1A	Venezia	27042	13100	29800
	Mira	27023	7800	29800
	Campagna Lupia	27002	8900	29800
ALBET 1A	Venezia	27042	13100	29800
	Mira	27023	7800	29800
	Campagna Lupia	27002	8900	29800
VIC 1A	Venezia	27042	13100	35260
	Mira	27023	7800	35260
	Campagna Lupia	27002	6740	35260
	Campolongo	27003	7620	35260
CHI 1A	Venezia	27042	13100	29880
	Mira	27023	7800	29880
	Campagna Lupia	27002	8980	29880
CHI 5H	Venezia	27042	10800	10800
ROTAR 5P	Venezia	27042	16700	16700
ROSKA 5P	Venezia	27042	16700	16700
CHI 5P	Venezia	27042	16700	16700
VIC 6B	Venezia	27042	13300	20300
	Quarto d'Altino	27031	5400	20300
	Jesolo	27019	1600	20300
VIC 5V	Venezia	27042	8000	19000
	Marcon	27020	4200	19000
	Quarto d'Altino	27031	6800	19000
VIC 5W	Venezia	27042	16600	20400
	Quarto d'Altino	27031	3800	20400
CHI 5V	Venezia	27042	16450	20250
	Quarto d'Altino	27031	3800	20250
VIC 6Y	Venezia	27042	16450	20250
	Quarto d'Altino	27031	3800	20250

Tabella 7: frequenza di percorrenza delle rotte, distinguendo tra arrivi e decolli

NOME ROTTA	DECOLLO/ATTERRAGGIO	NOME PISTA	PERCENTUALE VOLI	NUMERO VOLI	TOTALE VOLI
FER 1A	A	4	0.3194510175	675	2113
ALBET 1A	A	4	0.4439185991	938	2113
VIC 1A	A	4	0.0416469475	88	2113
CHI 1A	A	4	0.1949834359	412	2113
CHI 5H	D	22	0.0013198416	3	2273
ROTAR 5P	D	4	0.0259568852	59	2273
ROSKA 5P	D	4	0.0805103388	183	2273
CHI 5P	D	4	0.4122305323	937	2273
VIC 6B	D	4	0.0043994721	10	2273
VIC 5V	D	4	0.0039595249	9	2273
VIC 5W	D	4	0.0008798944	2	2273
CHI 5V	D	4	0.0017597888	4	2273
VIC 6Y	D	4	0.4689837220	1066	2273

Per stimare l'emissione di periodo (somma di tutte le emissioni orarie), relativa a ciascun comune della Provincia di Venezia interessato dalle suddette rotte, per ciascun inquinante è stato utilizzato il seguente algoritmo^[81]:

$$EmA_{I,m,w} = \sum_{i,j} EmA_{I i,j,w} * perc_voli * \frac{lungh_rotta_m}{\sum lungh_rotta_{m,r}}$$

dove:

$EmA_{I,m,w}$ = emissioni per ciascun comune I, per fase di decollo o atterraggio m, per nazionalità w [t/anno]

$EmA_{I i,j,w}$ = emissioni per ogni codice aereo i, per ogni fase di movimento j, per nazionalità w [t/anno]

perc_voli = percentuale di utilizzo di una certa rotta di decollo o atterraggio rispetto al totale dei decolli o degli atterraggi [%]

$lungh_rotta_m$ = lunghezza di una rotta all'interno di un certo comune [metri]

$\sum lungh_rotta_{m,r}$ = lunghezza totale della rotta in Provincia di Venezia [metri]

4.3 Risultati

La Tabella 8 riporta le stime (in tonnellate/anno) delle emissioni dei principali inquinanti nella Provincia di Venezia (INEMAR 2005), limitatamente alle due attività del macrosettore 8 della classificazione CORINAIR:

- 080501 Traffico nazionale (cicli LTO < 1000 m),
- 080502 Traffico internazionale (cicli LTO < 1000 m).

Nella medesima tabella sono riportate, per un confronto, anche le emissioni top down stimate da APAT 2000.

Tabella 8: Confronto stime INEMAR 2005 e APAT 2000 delle emissioni in atmosfera dall'aeroporto di Venezia nell'anno 2005

		Provincia di Venezia emissione (t/anno)							
attività	stima	SOx	NOx	COV	CO	CO2	PTS	PM10	PM2,5
80501 - nazionale	bottom up INEMAR 2005	11	117	19	125	33356	1	1	1
	top-down APAT	7	91	18	82	24036		4	
80502 - internazionale	bottom up INEMAR 2005	18	195	88	272	55228	3	3	2
	top-down APAT	18	222	68	238	55400		16	
80501 + 80502	bottom up INEMAR 2005	28	311	107	398	88584	4	4	4
	top-down APAT	25	313	86	320	79436		20	

Per tutti gli inquinanti le stime INEMAR (bottom up) e APAT (top down) hanno valori molto prossimi (per il PM₁₀ leggermente inferiori).

Nella Tabella 9 sono riportate le emissioni in tonnellate/anno disaggregate per i 7 comuni sui quali insistono le rotte di volo, cioè Venezia, Campagna Lupia, Mira, Quarto d'Altino, Campolongo, Marcon e Jesolo. Si osserva che dal 70 all'80 % dell'emissione totale riguarda il Comune di Venezia e che i Comuni di Campolongo, Marcon e Jesolo sono interessati solo marginalmente.

Conoscendo l'emissione per ciascuna ora delle tre settimane di dati per ciascun inquinante, è stato possibile ricostruire il **giorno tipo dell'emissione** dei diversi inquinanti (Grafico 1 - Grafico 4). Si osserva che per SO_x, NO_x e PM₁₀ le ore di punta dell'emissione sono le ore 7:00 del mattino, le ore 11:00 – 12:00 e le ore 15:00 – 17:00, che corrispondono alle ore di maggior traffico aereo, infatti nel Grafico 5 è riportata la somma di tutti i movimenti (decollo o atterraggio) per ciascuna ora del giorno delle 3 settimane di dati a disposizione e sono evidenti i 3 picchi suddetti.

Tabella 9: Stima delle emissioni totali nell'anno 2005, suddivise per ciascun comune su cui insistono le rotte al di sotto dei 1000 m

Attività 80501	COMUNE							PROVINCIA
	Venezia	Campagna Lupia	Mira	Quarto	Campolongo	Marcon	Jesolo	VENEZIA
SOx (t/a)	7.7	1.2	1.1	0.6	0.0	0.0	0.0	11
NOx (t/a)	95.7	6.3	5.6	8.7	0.2	0.1	0.0	117
COV (t/a)	12.7	3.0	2.7	0.8	0.1	0.0	0.0	19
CO (t/a)	83.7	18.8	16.6	5.6	0.6	0.1	0.0	125
CO2 (t/a)	24277.7	3750.4	3309.5	1878.5	114.6	18.1	7.2	33356
PM10 (t/a)	1.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	1
PTS (t/a)	1.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	1
PM2,5 (t/a)	0.9	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	1

Attività 80502	COMUNE							PROVINCIA
	Venezia	Campagna Lupia	Mira	Quarto	Campolongo	Marcon	Jesolo	VENEZIA
SOx (t/a)	12.7	2.0	1.8	1.0	0.1	0.0	0.0	18
NOx (t/a)	158.5	11.4	10.1	14.2	0.3	0.1	0.1	195
COV (t/a)	58.3	13.3	11.8	3.9	0.4	0.0	0.0	88
CO (t/a)	178.6	42.9	37.8	11.5	1.3	0.1	0.0	272
CO2 (t/a)	39994.6	6336.2	5591.4	3071.2	193.6	29.5	11.7	55228
PM10 (t/a)	1.9	0.3	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	3
PTS (t/a)	1.9	0.3	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	3
PM2,5 (t/a)	1.7	0.3	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	2

Grafico 1: Giorno tipo 2005 dell'emissione di ossidi di azoto

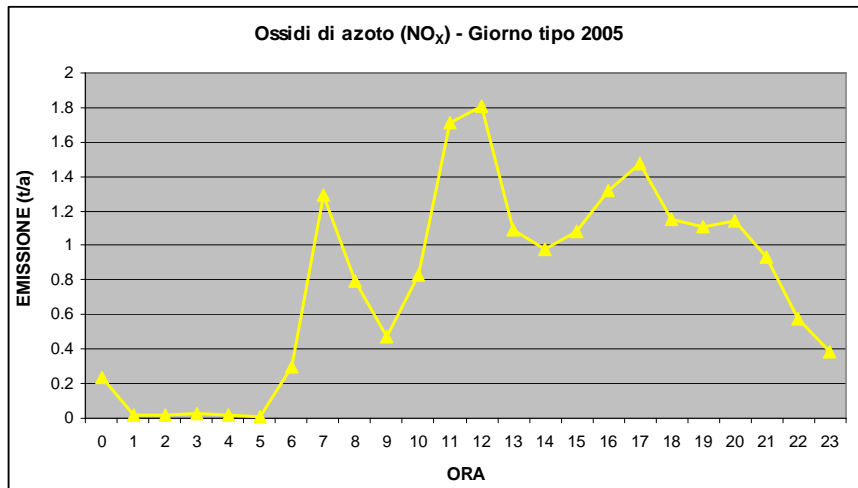


Grafico 2: Giorno tipo 2005 dell'emissione di Composti organici Volatili

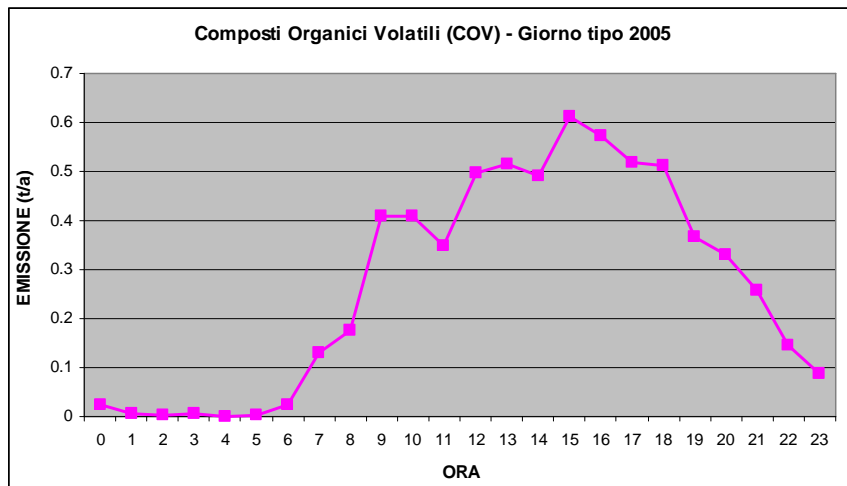


Grafico 3: Giorno tipo 2005 dell'emissione di ossidi di zolfo

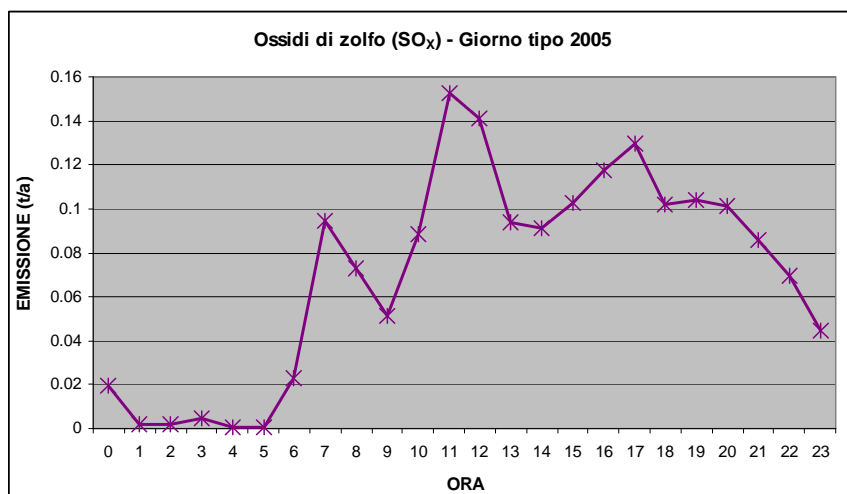


Grafico 4: Giorno tipo 2005 dell'emissione di PM10

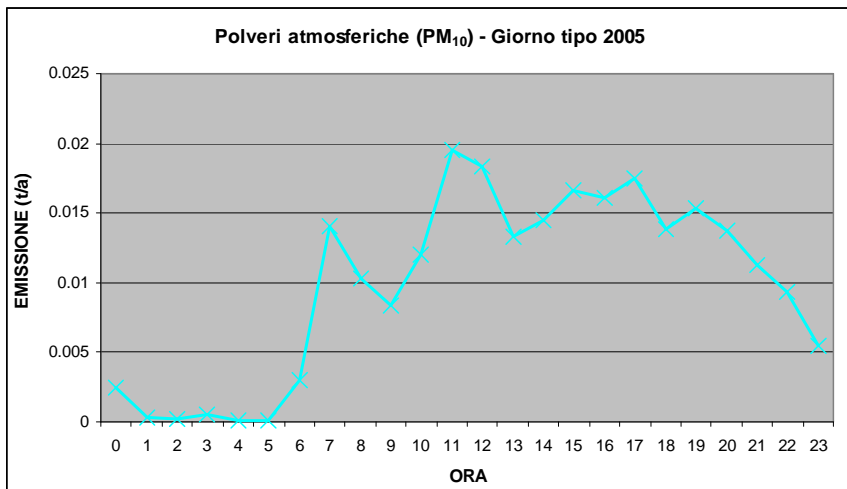
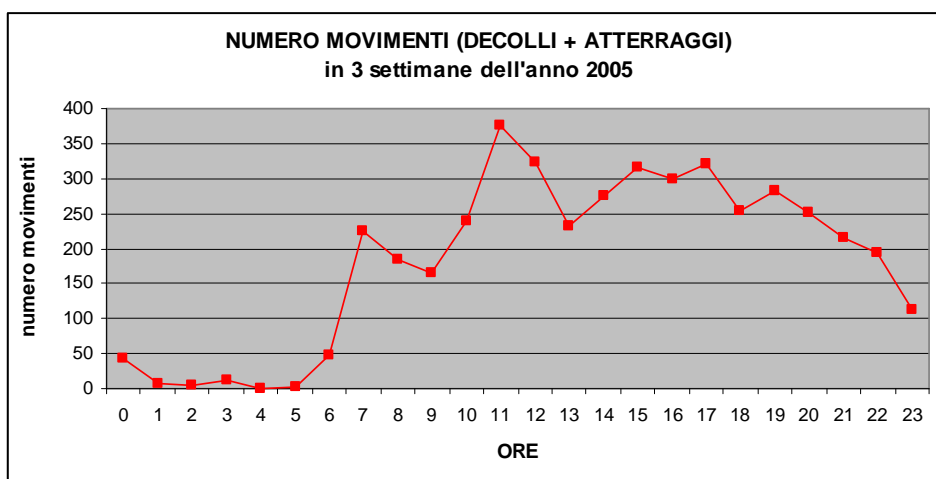


Grafico 5: Somma del numero di movimenti verificati nelle 3 settimane di dati



BIBLIOGRAFIA

- 1 APAT, 2004, *La disaggregazione a livello provinciale dell'inventario nazionale delle emissioni*.
www.sinanet.apat.it
- 2 <http://www.inventaria.sinanet.apat.it>, sito web dell'APAT con la guida agli inventari locali
- 3 Giuseppe Brusasca – Alessandro Nanni – Paola Radice, ARIANET s.r.l., *Inquinamento atmosferico indotto da aeromobili*, presentazione al workshop di Milano del 16 novembre 2005
- 4 European Environment Agency, *EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook – 2005*.
<http://reports.eea.eu.int/EMEPCORINAIR4/en>
- 5 http://www.nice.aeroporto.fr/agir_environnement_it/nuisances/2, sito web dell'aeroporto di Nizza
- 6 <http://193.206.192.204/aree/atmosfera/emissioni/bdEMI/>, stime emissioni APAT 2000
- 7 <http://www.ambiente.regione.lombardia.it/inemar/inemarhome.htm>, stime emissioni INEMAR
- 8 ARPA Lombardia, *INEMAR - Inventario emissioni - La stima delle emissioni dagli Aeroporti*, presentazione del modulo INEMAR aeroporti ed estratto in Access del modulo INEMAR aeroporti
- 9 ARPAV – Regione del Veneto, Osservatorio Regionale Aria, 2004, *Stima delle emissioni in atmosfera nel territorio regionale veneto - Disaggregazione a livello comunale delle stime APAT provinciali 2000*
- 10 <http://www.enav.it/AIP/AIP-ENAV.html#> , RAC 4-4-7.1, sito di AIP Italia con i tracciati delle rotte standard (SID/STAR) di decollo e atterraggio dall'aeroporto Marco Polo
- 11 http://www.traffico-aereo.it/pages/atct/atct07/atct07_0.htm spiegazione documento AIP Italia
- 12 <http://www.md80.it/staticpages/index.php?page=sidstar> spiegazione del significato delle sigle nelle mappe SID/STAR
- 13 www.airlinecodes.co.uk/aptcodesearch.asp, decodifica codici IATA
- 14 SAVE, Aeroporto Marco Polo di Venezia, 2005, *Caratterizzazione acustica dell'intorno aeroportuale - Calcolo delle isofoniche con modelli revisionali – Traffico 2004/2005*
- 15 *EPA's National Emissions Inventory (NEI) for PM2.5 (2004)*