

# **Relazione tecnica sulle scie di condensazione degli aerei (contrails o chemtrails) e sui loro effetti ambientali**

## **Introduzione**

### ***Scie di condensazione (CONTRAILS)***

Le scie di condensazione (CONTRAILS, dall'acronimo inglese CONDensation TRAILS) sono prodotte dalla condensazione del vapore acqueo contenuto nei gas di scarico dei motori degli aerei, in particolare degli aerei a reazione. I gas di scarico, a loro volta, sono il prodotto della combustione di idrocarburi a temperature comprese nell'intervallo che va dai 280 °C ai 980 °C e sono sostanzialmente costituiti, in ordine di massa totale decrescente, da anidride carbonica (CO<sub>2</sub>), vapore acqueo (H<sub>2</sub>O) e tracce di altri composti. Dal punto di vista meteorologico le scie di condensazione sono delle vere e proprie nubi artificiali che, al pari delle nubi naturali, si formano quando un volume d'aria si raffredda sino a raggiungere la saturazione del vapore acqueo in esso contenuto con la formazione di numerose goccioline e, se le temperature sono negative, da cristalli di ghiaccio. Le scie di condensazione, in particolare, divengono visibili quando al loro interno la densità dei cristalli di ghiaccio raggiunge o supera il valore di 0.004 g/m<sup>3</sup> (Hanson e Hanson, 1995).

A differenza delle nubi naturali, però, le scie di condensazione non si formano per espansione e conseguente raffreddamento dei volumi d'aria ma per il miscelamento di volumi d'aria a diversa temperatura. Dal punto di vista del meccanismo di formazione, pertanto, le scie di condensazione possono considerarsi in tutto e per tutto analoghe agli sbuffi di vapore che fuoriescono da una pentola a pressione. Anche se l'intervallo di temperature ambientali nel quale le scie di condensazione si possono formare è relativamente ampio (dai -10 °C ai -60 °C), in generale risultano favorite le temperature inferiori ai -30/-40 °C (Peters, 1993).

Non sempre i gas di scarico degli aerei danno origine ad una scia visibile e non sempre le scie rimangono visibili per lungo tempo. Questa varietà di comportamento nasce dal fatto che:

- 1) per potersi avere la condensazione, è necessario che la quantità di vapore acqueo presente negli strati d'aria attraversati dal velivolo sia sufficientemente vicina al punto di saturazione calcolato rispetto all'acqua liquida;
- 2) per potersi avere la persistenza delle scie, è necessario che la quantità di vapore acqueo sia superiore alla quantità necessaria per renderla satura rispetto al ghiaccio.

L'individuazione di queste condizioni è relativamente semplice da realizzare graficamente, facendo uso del diagramma di Clausius-Clapeyron (Figura 1). In base a questo diagramma, nota che sia la temperatura e la pressione del vapore acqueo dei gas di scarico e ambientali, è possibile individuare la linea che separa i valori di temperatura e pressione ambientale dove la condensazione dei gas di scarico può avvenire da quella dove invece è inibita. Nello stesso diagramma è possibile individuare l'area ove le temperature e pressioni del vapore consentono la persistenza della scia. È evidente come, a parità di caratteristiche del gas di scarico, anche piccole variazioni delle proprietà dell'ambiente esterno possano avere grandi ripercussioni sulla formazione e durata della scia di condensazione. Sempre dallo stesso diagramma si può evincere come, a parità di temperatura esterna, aerei con gas di scarico più freddo producano più facilmente e più persistenti scie di condensazione (lo stesso motivo per cui i gas di scarico delle automobili appena messe in moto sono più facilmente visibili). I motori degli aerei di nuova generazione, sono caratterizzati da una maggior efficienza e una minor temperatura dei gas di scarico, pertanto, a parità di condizioni ambientali, è naturale aspettarsi un aumento nella frequenza delle scie di condensazione.

Tutte queste considerazioni teoriche, unite a campagne di misura, hanno portato allo sviluppo di tecniche e algoritmi utili alla previsione della formazione delle scie di condensazione. In particolare questi studi hanno mostrato come:

- 1) l'esistenza di movimenti verticali dei volumi d'aria dove avviene il rilascio dei gas di scarico favorisca in maniera significativa (dal 16% all'84 % dei casi) la formazione, persistenza ed espansione delle scie di condensazione. (Appleman, 1953; Peters, 1993; Hanson e Hanson, 1995);
- 2) la relativa abbondanza di vapore acqueo nell'ambiente ove i gas di scarico vengono rilasciati sia di fondamentale importanza per permettere la formazione e persistenza delle scie di condensazione (Schumann, 1996; Schrader, 1997);
- 3) la dinamica dei vortici d'aria che si creano nella scia degli aerei in volo permette di spiegare l'intermittenza nel tessuto delle scie di condensazione (Gierens, 1996; Lewellen and Lewellen, 2001).

### ***Scie chimiche (CHEMTRAILS)***

Contrariamente a quanto accade per le scie di condensazione, attualmente non esiste una definizione precisa e univoca di scia chimica o CHEMTRAIL (dall'acronimo inglese CHEMical TRAIL). Allo scrivente risulta noto un unico documento (lo "Space Preservation Act" H.R. 2977, del 2001) che menziona esplicitamente le scie chimiche, senza però darne alcuna definizione. Inoltre le versioni aggiornate dello stesso atto non contengono alcuna ulteriore menzione del termine CHEMTRAIL. Pur non essendoci alcuna definizione precisa, si è osservato che, in generale, con il termine CHEMTRAIL vengono indicate le scie di condensazione prodotte dagli aerei che persistono a lungo o che si espandono sino a formare delle velature. In base a quanto riportato nel paragrafo precedente, la naturale varietà delle caratteristiche atmosferiche riesce naturalmente a rendere conto di come a volte le scie di condensazione si dissipino in tempi brevi ed in altri casi rimangano visibili per ore o addirittura si espandano. Adottando la definizione attualmente in uso di CHEMTRAIL, pertanto, esse possono essere considerate come un caso particolare delle scie di condensazione. Per questa ragione nelle considerazioni che seguono relativamente alle possibili fonti di inquinamento collegato alle scie degli aerei, non verrà fatta alcuna distinzione tra CONTRAIL e CHEMTRAIL ed esse verranno trattate allo stesso modo per quanto riguarda i loro effetti sull'ambiente.

## Stime del traffico aereo sulla regione Friuli Venezia Giulia

Il cielo del Friuli Venezia Giulia è interessato da quattro corridoi aerei civili (si veda Figura 2 allegata) che si inseriscono nelle seguenti quote:

<i>Corridoio</i>	<i>Tratta del corridoio</i>	<i>Quota minima ft (metri)</i>	<i>Quota massima ft (metri)</i>
<b>1</b>	<b>M859</b>	8000 (2434 m)	24500 (7468 m)
<b>2</b>	<b>P125 (1)</b>	9000 (2743 m)	19500 (5945 m)
	<b>P125(2)</b>	11000 (3353 m)	19500 (5945 m)
	<b>P125 (3)</b>	13000 (3962 m)	19500 (5945 m)
	<b>P125 (4)</b>	10000 (3048 m)	24500 (7468 m)
<b>3</b>	<b>A21</b>	8000 (2434 m)	19500 (5945 m)
<b>4</b>	<b>L607</b>	11000 (3353 m)	24500 (7468 m)
	<b>L607</b>	15000 (4572 m)	24500 (7468 m)

*Nella tabella sono riportate le caratteristiche dei quattro corridoi aerei mostrati in figura 2 e suddivisi nelle varie tratte (otto) che li costituiscono. Le varie tratte sono a loro volta distinte in base all'altezza minima e massima di utilizzo. Fonte: U.S. Department of Defence - Catalogue of Aeronautic Charts and Flight Information Publications – EU N AFR & MID EAST 17 Jun 1999. Si ricorda che 1 piede corrisponde a 30.48 centimetri*

Il corridoio G373 è suddiviso in quattro tratte mentre il corridoio L607 è suddiviso in due tratte che si distinguono per quota e per direzione. Dalla tabella sopra riportata e dalla figura 2 si può osservare come il Tarvisiano e marginalmente il territorio del comune di Paularo siano in prossimità di un incrocio di quattro tratte di corridoi aerei, tutte a quote superiori ai 3000 m.

### ***Atterraggi e decolli da Ronchi dei Legionari***

Relativamente al traffico aereo sulla nostra regione, sono di seguito riportati i dati (fonte ISTAT, [www.istat.it](http://www.istat.it)) del numero di atterraggi e decolli registrati dall'aeroporto di Ronchi dei Legionari negli anni che vanno dal 2002 al 2005 (ultimo anno censito) suddiviso in “traffico passeggeri” e “traffico merci” (include il traffico postale).

<b>Tipologia</b>	<b>2002</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>
<b>Passeggeri</b>	11693	10028	9747	10054
<b>Merci</b>	nd	4695	7900	9259

Nella tabella sopra riportata non si osserva una chiara tendenza all'aumento o alla diminuzione nel numero di atterraggi e decolli nel traffico passeggeri mentre risulta più evidente la tendenza all'aumento del traffico merci che nel 2005 ha assunto un'entità analoga al traffico passeggeri.

### ***Sorvoli aerei***

Per quanto riguarda il numero di sorvoli aerei della nostra regione, l'ENAV ha fornito i dati relativi ai transiti di aeromobili lungo il corridoio M859 (indicativo per le tratte est-ovest) e P125 (indicativo delle tratte nord-sud) negli anni 2003 e 2006. Come si evince dalla tabella seguente il cielo della nostra regione è attraversato mediamente da 30 000 aerei all'anno e, pur se il

campione è molto limitato nel tempo, si può individuare una leggera crescita complessiva nel numero dei sorvoli passando dal 2003 al 2006.

<i>Anno</i>	<i>M859</i>	<i>PI25</i>	<i>TOTALE</i>
2003	20513	7874	28387
2006	24907	6541	31448

## Emissioni di inquinanti da scie di condensazione

### *Emissioni dovute alla combustione*

I gas di scarico degli aerei (vengono qui considerati solo gli aerei a reazione) sono il risultato della combustione di propellente costituito da una miscela di idrocarburi alcani ( $C_nH_{(2n+2)}$ ). I due tipi più diffusi di combustibile per aerei a reazione sono il Jet A-1 (estratto dalla colonna di distillazione all'altezza della Paraffina) e Jet B (estratto dalla colonna di distillazione all'altezza della Nafta-Cherosene) anche se quest'ultimo viene sostanzialmente utilizzato solo in zone climatiche fredde. Oltre alla miscela di idrocarburi, il combustibile per aerei contiene, in misura molto minore, altre sostanze che svolgono un'azione antiossidante, anticorrosiva ed antistatica.

La tabella successiva riporta, nel dettaglio, la frazione di emissione (grammi di sostanza per kg di combustibile) per singola specie chimica. Si ricorda che il quantitativo di sostanze emesse è funzione non solo della quantità di combustibile ma anche di comburente (ossigeno molecolare presente nell'aria); questo spiega come mai in alcuni casi la massa di sostanze emesse superi la massa del combustibile.

<b>Tabella 1. Indice di emissione (grammi di sostanza emessa per kilogrammo di combustibile) per motori aerei</b> (fonte: IPCC Report on Aviation and Global Atmosphere)			
<b>Specie</b>	<b>Idle (motori accesi ad aereo fermo)</b>	<b>Decollo</b>	<b>Crociera</b>
CO <sub>2</sub>	3160	3160	3160
H <sub>2</sub> O	1230	1230	1230
CO	25 (10-65)	1	1-3.5
HC (Idrocarburi)	4 (0-12)	0.5	0.2-1.3
NO <sub>x</sub>	4.5 (3-6)	32 (10-65)	7.9-15.4
SO <sub>x</sub>	1	1	1

Oltre alle emissioni sopra riportate, i motori degli aerei a reazione emettono anche fuliggine (particelle carboniose prodotte da combustione non ideale) e particelle metalliche.

Il quantitativo di fuliggine emesso per kilogrammo di carburante è indicativamente compreso tra 0.01 e 0.2 g. Le particelle che costituiscono la fuliggine hanno forma generalmente sferica e hanno un raggio compreso tra i 10 e i 30 nm. Queste particelle evolvono ossidandosi rapidamente e agendo da nuclei di condensazione, quindi favorendo la condensazione del vapore acqueo e la formazione dei cristalli di ghiaccio.

Le particelle metalliche emesse dagli aerei sono sostanzialmente legate:

- 1) alle impurità presenti nel combustibile;
- 2) all'erosione delle parti metalliche che compongono i motori stessi. I metalli presenti in queste particelle sono l'Alluminio, il Titanio, il Cromo, il Nichel, il Bario e il Ferro.

Una stima precisa delle percentuali dei vari metalli non è a priori possibile, essendo legata al livello di manutenzione dei motori e alle loro condizioni d'uso. In generale, comunque, si stima che le particelle metalliche abbiano una concentrazione in volume dell'ordine di alcune parti per miliardo e, riferite alla quantità di carburante, si stimano essere dell'ordine delle  $10^7$ - $10^8$  particelle per kg di carburante.

### ***Emissioni dovute a cause contingenti***

Nel corso di esperimenti scientifici aerei appositamente attrezzati possono rilasciare sostanze particolari in atmosfera. Questo è il caso degli esperimenti condotti in Sudafrica e in Messico per incrementare le piogge (rilascio di sali di Calcio e Sodio alla base delle nubi temporalesche ad un'altezza di ca. 1500-2000 m; Bruintjes, 1999) e degli esperimenti condotti nel golfo del Messico per modificare la traiettoria degli uragani (rilascio di ioduro d'argento nella sommità delle nubi; progetto STORMFURY [http://www.aoml.noaa.gov/hrd/hrd\\_sub/sfury.html](http://www.aoml.noaa.gov/hrd/hrd_sub/sfury.html)). Altri esperimenti sono stati condotti in passato dalla NASA (2003, <http://www.wff.nasa.gov/webcast>) per studiare i venti nell'alta atmosfera rilasciando trimetilalluminio, una sostanza che ossida istantaneamente emettendo luce e rimanendo visibile a lungo permettendo così di tracciare i flussi atmosferici in quota.

In situazioni di emergenza gli aerei possono rilasciare parte del combustibile allo scopo di ridurre il loro peso prima dell'atterraggio. Se i velivoli sono dotati di post-bruciatori (in genere sono aerei militari) il combustibile viene bruciato durante l'espulsione. Se gli aerei non hanno postbruciatori, allora il combustibile viene semplicemente rilasciato in atmosfera su zone non abitate.

Non risulta che esperimenti del tipo sopra riportato o episodi di emergenza abbiano mai avuto luogo in regione.

## Effetti ambientale delle scie di condensazione

Gli effetti ambientali delle scie di condensazione vengono suddivisi negli effetti sull'atmosfera medio-bassa (sotto i 3000 m s.l.m.) e sull'alta atmosfera (sopra i 3000 m). Questa distinzione si basa sull'osservazione che mediamente l'atmosfera sopra i 3000 m risulta stabile, cioè i moti verticali sono mediamente trascurabili rispetto ai moti orizzontali (Giaiotti e Stel, 2007). Per questo motivo le sostanze rilasciate sopra i 3000 m mediamente non raggiungono il suolo se non in situazioni peculiari, al contrario di quelle emesse sotto i 3000 m che possono raggiungere il suolo e interessare direttamente la salute umana.

### *Effetti sull'atmosfera medio bassa*

La quantità di sostanze inquinanti emesse nella bassa atmosfera da un singolo aereo dipende fortemente dal tipo di aereo. Assumendo come rappresentativi, in un'ottica cautelativa, i consumi di un Boeing 777 (aereo di dimensioni medio-grandi) e cioè ca. 11 litri per km, assumendo che la quota di 3000 metri venga raggiunta con un percorso di 6 km, si ricavano le seguenti quantità di sostanze inquinanti emesse:

<b>Tabella 2. Stima per eccesso delle quantità di sostanze inquinanti emesse al di sotto dei 3000 m da un singolo aereo e per un intero anno</b>		
<b>Sostanza</b>	<b>Quantità per singolo aereo (g)</b>	<b>Quantità per 20000 decolli e atterraggi (stima proiettata sull'anno 2005) (kg)</b>
<b>CO</b>	50	1000
<b>HC (Idrocarburi)</b>	26	520
<b>NOx</b>	1650	3200
<b>SOx</b>	50	1000

(Valori ottenuti utilizzando la colonna "Decollo" della Tabella 1 assumendo il valore  $0.8 \text{ kg/m}^3$  per la densità del combustibile)

### *Effetti sull'alta atmosfera*

Dal punto di vista degli effetti ambientali legati alle emissioni in alta atmosfera, come precedentemente indicato, le sostanze emesse al di sopra dei 3000 mediamente non raggiungono il suolo, pertanto gli unici effetti sull'ambiente sono quelli legati a: *i*) aumento dei gas serra (in particolare  $\text{CO}_2$ ); *ii*) effetto schermante delle scie di condensazione.

Per quanto riguarda il punto *i*) (effetto dei gas serra) le stime effettuate dall'IPCC mostrano che l'effetto del rilascio globale di  $\text{CO}_2$  (tutto il traffico aereo) relativo all'anno 1992 è equivalso ad un aumento di  $0.02 \text{ Wm}^{-2}$  nella potenza trattenuta dall'atmosfera (si ricorda che la potenza ricevuta dal Sole è di  $1353 \text{ Wm}^{-2}$ ) e che, in base ai futuri scenari emissivi, nel 2050 l'effetto della  $\text{CO}_2$  potrebbe portare ad un valore della potenza trattenuta comunque inferiore a  $0.1 \text{ Wm}^{-2}$ .

Per quanto riguarda il punto *ii*) (ruolo schermante delle scie) le stime relative al 1992 mostrano che gli effetti delle scie sono equivalsi ad un aumento della potenza trattenuta dall'atmosfera compreso tra  $0.01$  e  $0.06 \text{ Wm}^{-2}$ , mentre la stima proiettata sul 2050 indica un effetto compreso tra  $0.05$  e  $0.4 \text{ Wm}^{-2}$ .

## **Conclusion**

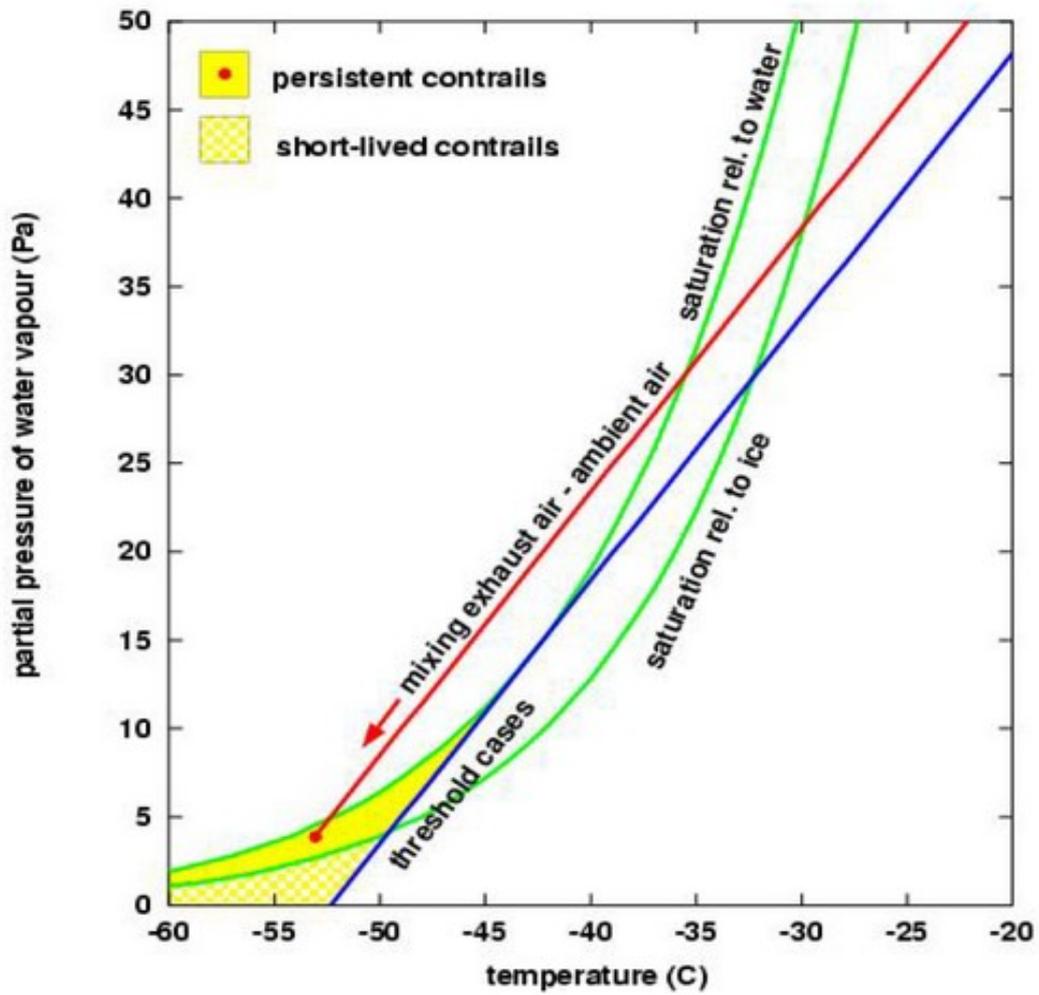
In base a quanto sopra riportato è possibile concludere che:

- 1) la variabilità e varietà delle osservazioni relative alla formazione e persistenza delle scie di condensazione sulla nostra regione possono essere interamente spiegate ricorrendo ai normali meccanismi in atto naturalmente nell'atmosfera;
- 2) si ritiene che sulla nostra regione gli effetti inquinanti delle scie di condensazione siano trascurabili a livello locale, ad eccezione, in linea di principio, della zona aeroportuale di Ronchi dei Legionari;
- 3) l'influenza a livello globale delle scie di condensazione emesse sopra la nostra regione è trascurabile, in quanto si stima che, mediamente, ogni giorno nel mondo si possono avere dagli 80 000 ai 90 000 voli aerei (fonte: STAR Alliance, Sky Team, One World).

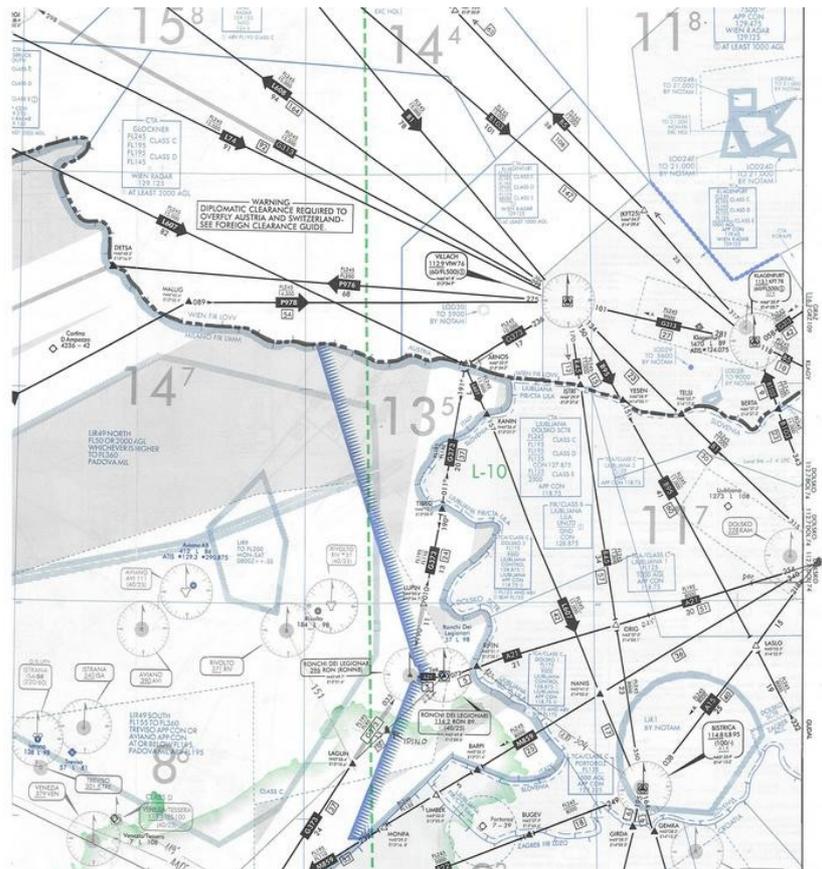
Palmanova 16 Maggio 2008

il Tecnico Fisico  
dr. Fulvio Stel

il Responsabile di Settore  
dr. Renato Villalta



**Figura 1.** Diagramma di Clausius-Clapeyron. La linea blu separa le regioni ove i contrails si possono formare (area gialla) dall'area ove le scie di condensazione non si possono formare. In particolare l'area gialla continua indica la regione del diagramma ove le scie di condensazione assumono carattere persistenti



**Figura 2.** Mappa riportante i corridoi aerei (linee nere continue) che interessano la nostra regione. Tutti i corridoi aerei si sviluppano tra un'altezza di 8000 piedi e 24 500 piedi (ca. 2434 m e 7468 m)

## Riferimenti Bibliografici

AA.VV., 1999. IPCC Special Report on Aviation and the Global Atmosphere. *WMO-UNEP Publications*.

Appleman, H. S., 1953. The formation of exhaust condensation trails by jet aircraft. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 34, pp.14-20.

Bruientjes, R. T., 1999. A Review of Cloud Seeding Experiments to Enhance Precipitation and Some New Prospects. *Bulletin of the AMS*, 80, pp. 805-820.

Giaiotti, D. B. and Stel, F., 2007. The effects of environmental water vapor on hailstone size distribution. *Atmos. Res.*,

Hanson, H. M. and Hanson, D. M., 1995. A reexamination of the Formation of Exhaust Condensation Trails by jet Aircraft. *J. Appl. Meteorol.*, 34, pp. 2400-2405.

Lewellen, D. C. and Lewellwn, W. S., 2001. The effects of aircraft wake dynamics on contrail development. *J. Atmos. Sci.*, 58, pp. 390-406.

Peters, J. L., 1993. New techniques for Contrail Forecasting. *Air Weather Service Technical Report*, AD-A269 686, 31 pp.

Schumann, U., 1996. On the conditions for contrail formation from aircraft exhausts. *Meteor. Z.*, 5, pp. 3-22.

Schrader, M. L., 1997. Calculations of aircraft contrail formation critical temperatures. *J. Appl. Meteorol.*, 36, pp. 1725-1729.