

L'annosa questione delle scie di condensazione

Abstract

Sempre più frequentemente, negli ultimi 2-3 anni, è capitato di ricevere dalle più svariate fonti documenti, presentazioni, immagini e segnalazioni che mostrano formazioni nuvolose apparentemente strane in grado di destare notevole preoccupazione ed allarme presso l'opinione pubblica o, peggio ancora, a testimoniare "avvelenamenti" di aree piuttosto vaste da parte di misteriosi velivoli, al soldo di qualche potenza militare (quasi sempre la stessa), tramite l'irrorazione e lo spargimento di gas o sostanze "ignote" dall'alto. Oppure, sempre tramite l'ausilio di queste inquietanti tecniche e sempre secondo gli autori ed i divulgatori di tali documenti, si impedirebbe di far piovere o nevicare in alcune aree territoriali a vantaggio di altre o in concomitanza ad eventi pubblici per i quali le idrometeore sarebbero alquanto sgradite. In definitiva l'obiettivo di questi velivoli sarebbe quello di alterare l'evoluzione meteorologica in vaste aree nella migliore delle ipotesi, per finire all'avvelenamento/inquinamento di intere nazioni, o peggio ancora (ebbene si è letto anche ciò) al condizionamento delle coscienze.

Ci riferiamo chiaramente a quelle che vengono chiamate "scie chimiche".



Immagine di un cielo solcato da numerose scie di condensazione: "contrail" Fonte: nasa.gov

A questo punto è necessaria una importante premessa: la comunità scientifica non nega a priori che possano ipoteticamente esistere questi fenomeni (anche se saremmo nel campo della fantascienza); semplicemente, fino ad ora, le prove, immagini, testimonianze fornite mostrano fenomeni atmosferici del tutto conosciuti, noti da molto tempo, molti dei quali anche assai banali, e che quindi non hanno nulla di misterioso né di preoccupante.

Siccome l'onere della prova (convincente) spetta a chi fa un certo tipo di affermazione o a chi propone una determinata teoria per così dire "rivoluzionaria", attendiamo tempi migliori,

poiché fino ad oggi tutto il materiale fatto pervenire non evidenzia alcunché di ignoto o che non sia fisicamente o chimicamente spiegabile senza tirare in ballo complotti di chissà quale oscura natura.

Detto questo vediamo di affrontare sommariamente il problema anticipando che in questa circostanza si farà riferimento ai fenomeni che riguardano esclusivamente la parte fisico-meteorologica, giacché altre fonti hanno molto ben chiarito gli aspetti che riguardano la navigazione aerea, caratteristiche dei propulsori dei velivoli, componenti, aerodinamica, e via di seguito.

Il primo passo da eseguire è quello di allontanarsi subito dal termine "scie chimiche" sostituendolo con il più corretto scie di condensazione o all'inglese "*contrail*"

Cosa sono le scie di condensazione?

Si tratta di **nubi** artificiali di forma perlopiù lineare e dall'aspetto cirriforme che sono prodotte dalle emissioni vaporose emesse dai motori degli aerei, sia a pistoncini, sia a reazione, che operano ad alta quota, o comunque ad una quota nella quale la temperatura ed altre grandezze come umidità relativa e concentrazione di aerosol, ne favoriscono lo sviluppo spontaneo.

Queste stratificazioni nuvolose sono generalmente molto sottili, rarefatte e sono più chiaramente riconoscibili al satellite infrarosso che nella banda del visibile

Le scie "contrail" sono composte prevalentemente da acqua in forma solida sotto forma di minuscoli cristalli di ghiaccio. Il motore emette durante il suo funzionamento una grande quantità di vapore acqueo nell'aria circostante. Questo vapore d'acqua è prodotto durante la combustione del carburante. Vengono anche emesse dal motore particelle minuscole come biossido di carbonio, ossidi di azoto, monossido di carbonio, ed idrocarburi come il metano, solfati, particolato che formano una superficie sulla quale possono formarsi piccole gocce d'acqua o più frequentemente sublimare piccoli cristalli di ghiaccio a causa delle basse temperature ambientali esistenti alle quote in cui volano la maggior parte dei velivoli.

Le scie di condensazione sono formazioni nuvolose inizialmente tenui che, successivamente, possono dilatarsi notevolmente (in base al profilo termogigrometrico ambientale) formando ampi nastri cirriformi che si sfilacciano lateralmente nella fase di decadimento. Esistono diverse classificazioni relative alle scie di condensazione, le quali prendono in esame dimensioni, durata e modalità di formazione.

- 1) scie dovute al veloce raffreddamento dei gas di scarico dei motori, i quali immettono nell'atmosfera, più o meno umida, una quantità di vapore acqueo e nuclei di condensazione sufficienti a provocare il fenomeno. La temperatura dell'aria più favorevole è in genere quella compresa fra i -25°C ed i -40°C ed in queste condizioni ambientali esse tendono ad essere maggiormente persistenti. Ma come vedremo in seguito scie di condensazione possono formarsi anche con umidità relativa ambientale pari allo 0% a patto che la temperatura sia sufficientemente bassa.
- 2) scie di convezione dovute ai moti convettivi che si innescano dietro l'aereo quando questo vola in aria molto umida e più o meno instabile. La temperatura dell'aria più favorevole è ritenuta quella compresa nel range 0°C / -25°C . Non si manifestano immediatamente dietro l'aereo, occorrendo un certo lasso di tempo prima che i deboli moti convettivi presenti portino l'aria calda inizialmente immessa nell'atmosfera al livello di condensazione
- 3) scie di origine aerodinamica dovute alla rapida espansione dell'aria (con relativo calo di pressione e raffreddamento), provocata dal veloce movimento dell'aereo,

quando vola in condizioni ambientali caratterizzate da elevata umidità. Esse sono di norma le più fugaci.

Una seconda classificazione chiama in causa la loro durata:

- 1) scie di condensazione di breve durata: esse scompaiono assai rapidamente ed in genere hanno una "vita" di pochi minuti o anche meno; occupano solo un breve tratto di cielo dietro al velivolo. In questo caso, l'aria attraversata dall'aereo è solo leggermente umida per cui c'è poco vapore acqueo naturalmente disponibile per formare la scia di condensazione. In tali condizioni, i cristalli di ghiaccio che si formano tornano rapidamente allo stato di vapore sublimando in aria eccessivamente secca.



Esempio di contrail di breve durata. Fonte: UCAR educational

- 2) Scie persistenti: esse restano visibili anche dopo che l'aereo è scomparso alla visuale, a volte per molto tempo ed occupando vasti settori di cielo. Ciò è dovuto al fatto che la massa d'aria attraversata dall'aereo, è più umida, e quindi c'è a disposizione una maggiore quantità di vapore acqueo per formare la scia stessa. Le scie di condensazione persistenti possono essere ulteriormente classificate in due sottocategorie: quelle che si propagano o espandono anche considerevolmente e quelle che invece rimangono piuttosto sottili e confinate nello spazio. Nelle figure seguenti proponiamo un esempio di scie persistenti poco dilatate ed un esempio di scie persistenti ad elevata espansione.



Esempio di contrail persistente a bassa espansione (al centro della foto). Fonte: NOAA



Esempio di contrail persistente ad elevata espansione. Fonte: NOAA

- 3) Scie di condensazione di altra natura: somigliano alle contrails, ma si formano a causa di un processo fisico diverso ed a quote assai inferiori. Infatti, in presenza di opportune condizioni ambientali, si possono formare delle scie o vortici di vapore in prossimità delle estremità delle ali degli aerei durante le fasi di decollo ed atterraggio. Questo fenomeno è causato dal calo di pressione e quindi di temperatura nel vortice che si forma alle estremità delle ali (wingtips). Si formano pertanto delle gocce d'acqua all'interno del vortice rendendolo quindi visibile. Queste gocce evaporano di norma molto rapidamente per cui la scia scompare in poco tempo. Un esempio è proposto nell'immagine seguente:



Esempio di wingtip contrail a bassa quota. Fonte: NOAA

A questo punto, per proseguire meglio la trattazione, si rendono necessari alcuni elementari richiami di igrometria.

Umidità dell'aria.

Essa è dovuta alla presenza di vapore acqueo nell'atmosfera, variabile al variare della quota altimetrica, ed è individuata da due grandezze sostanziali: **l'umidità assoluta**, ovvero la quantità in grammi di vapore presente in ogni m³ di aria; questa grandezza non è facilmente misurabile, inoltre essa dipende dal volume e varia al variare di questo; ne consegue che non è un valore rappresentativo per l'aria che, in effetti, subisce nelle sue varie componenti continue variazioni di volume.

Oppure abbiamo **l'umidità specifica**, ovvero la quantità di vapore presente in ogni kg di aria; essa è data dalla relazione: $q = 0,622e/p$, dove **e** è la tensione del vapore e **p** la pressione atmosferica espressa in g/kg; se l'aria avente umidità specifica **q** si sposta da una regione all'altra della Terra sarà sottoposta ad espansioni o compressioni nonché a riscaldamenti o raffreddamenti, ma in ogni caso **conservierà sempre la stessa umidità specifica q**, non essendo variata nè la massa dell'aria nè tantomeno quella del vapore. Quindi l'umidità specifica è da considerarsi un elemento conservativo dell'aria e viene usata in meteorologia quale elemento caratteristico dell'aria.

Tuttavia tali parametri igrometrici assumono relativa importanza, in quanto esprimono valori statici e non mobili, mascherando la vera essenza dello stato igrometrico, e cioè le caratteristiche evolutive della grandezza, che sono quelle che risultano determinanti nei processi di condensazione ed evaporazione, indispensabili per la formazione od il dissolvimento delle masse nuvolose (nebbie se formatesi al suolo; nubi se formatesi in quota); inoltre sia l'umidità specifica che quella assoluta prescindono nelle loro proprietà dallo stato della temperatura dell'aria, che è il fattore maggiormente condizionante.

La presenza del vapore acqueo nell'aria è limitata da due fenomeni: l'evaporazione dalle superfici liquide sottostanti e la condensazione tramite la quale esso si trasforma in nebbie o nubi; tali fenomeni sono invece strettamente correlati all'andamento termico dell'aria che li condiziona e ne determina gli stadi evolutivi con passaggio di stato tra un fenomeno e l'altro. In virtù di ciò risulta più efficace un parametro di rendita percettibile lo stadio evolutivo del vapore anziché la quantità effettiva: si tratta dell'umidità relativa, che del resto implica la conoscenza dell'influenza della temperatura sulle proprietà fisiche del vapore e governa altresì i cambiamenti di stato.

Cambiamenti di stato.

Le molecole di vapore acqueo posseggono elevata energia cinetica in associazione a grande mobilità, con conseguente occupazione di tutto il volume di aria disponibile. Tale mobilità molecolare distingue lo stato gassoso sia da quello liquido che da quello solido (nello stato liquido la mobilità, sebbene ridotta, è comunque superiore che in quello solido, dove è quasi nulla).

Il ghiaccio (stato solido), assorbendo l'energia-ambiente necessaria affinché le molecole possano acquisire la mobilità tipica dello stato liquido (acqua), cambia stato e diventa liquido (fusione), e, con ulteriore assorbimento di energia, cambia nuovamente di stato divenendo gassoso (evaporazione) e, a questo punto, la mobilità molecolare avrà raggiunto i massimi livelli, tipici di una massa gassosa.

I processi inversi di condensazione (vapore-acqua) e solidificazione (acqua-ghiaccio), sono il risultato di una perdita sostanziale di mobilità molecolare come conseguenza di perdita di energia che viene restituita all'ambiente. Se l'energia disponibile è alquanto significativa è frequente il passaggio di stato diretto vapore-ghiaccio (brinamento o sublimazione) o viceversa (ghiaccio-vapore cioè sublimazione). In generale si usa definire col termine "sublimazione" i cambiamenti di stato diretti vapore-ghiaccio e viceversa. Tutti i cambiamenti di stato sono processi isoterfici, vale a dire a temperatura costante, e quindi si esplicano con assorbimento o cessione di energia all'ambiente circostante espressa in calorie necessarie ai vari cambiamenti riferiti ad un 1g di acqua, per cui la temperatura aumenterà o diminuirà solo conseguentemente a tali cambiamenti di stato e non in concomitanza; nella fattispecie avremo:

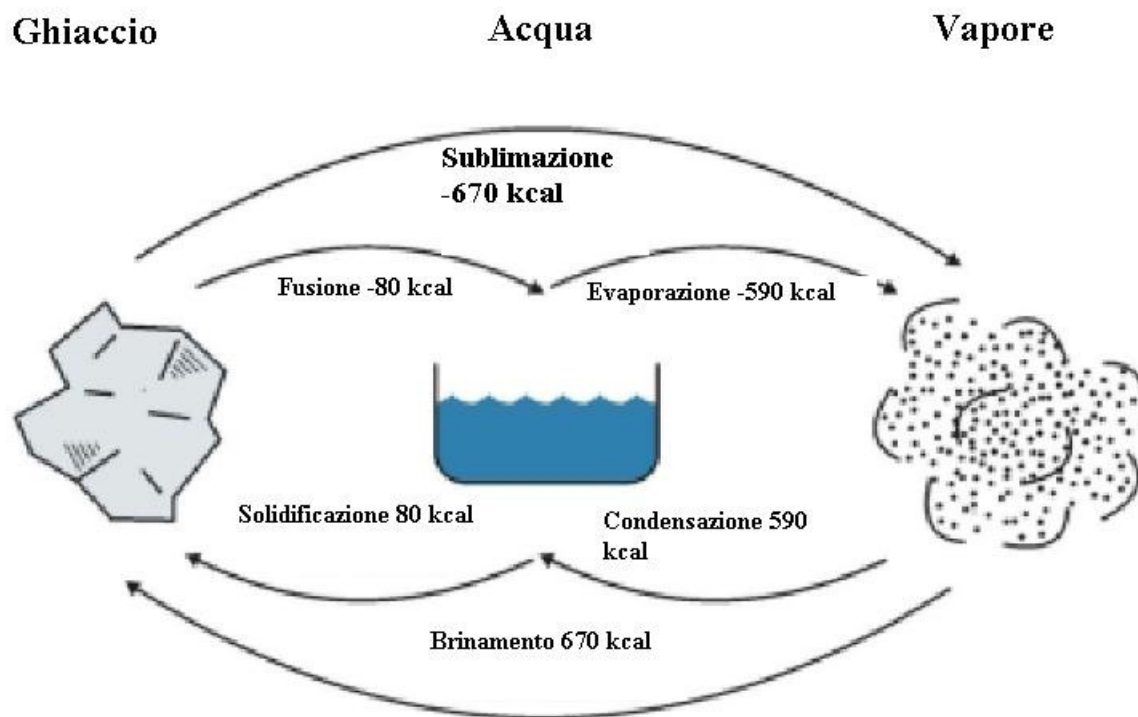
-evaporazione (passaggio di stato acqua-vapore): fabbisogno di 590 cal/grammo che verranno sottratte all'ambiente generando raffreddamento.

-condensazione (passaggio di stato vapore-acqua): perdita di 590 cal/grammo che verranno rilasciate all'ambiente generando riscaldamento (calore latente di condensazione).

-fusione (passaggio di stato ghiaccio-acqua): fabbisogno di 80 cal/grammo che verranno sottratte all'ambiente generando raffreddamento.

-solidificazione (passaggio di stato acqua-ghiaccio) perdita di 80 cal/grammo che verranno rilasciate all'ambiente.

-sublimazione (passaggio di stato vapore-ghiaccio e viceversa): fabbisogno di 670 cal/grammo nel passaggio ghiaccio-vapore e perdita di 670 cal/grammo nel passaggio vapore-ghiaccio. Il passaggio diretto vapore-ghiaccio è detto anche brinamento.



Schematizzazione dei cambiamenti di stato dell'acqua. Fonte: MeteoRomagna

Tensione di vapore.

Intuitivamente si deduce però che per quanto esposto in merito alle quantità di calore in gioco nei cambiamenti di stato, la prevalenza dell'uno o dell'altro dipende dalla temperatura ambiente: un aumento di temperatura favorirà l'evaporazione o la fusione, mentre una diminuzione innescherà i processi di condensazione e solidificazione; inoltre il vapore in fase di formazione costituisce un ostacolo ulteriore all'evaporazione stessa, poichè esso eserciterà, come tutti i gas, una pressione che si oppone all'acquisizione di altre molecole da parte dell'ambiente. L'evaporazione dalla superficie dei mari, a causa dell'azione del vento e della turbolenza termodinamica indotta, porta il vapore di nuova formazione a muoversi verso l'alto, in modo che la pressione del vapore stesso non raggiunga mai valori sufficienti da bloccare il processo evaporativo, e questo procede continuamente. Se immaginiamo però che tutto il vapore formatosi non venga rimosso dalla superficie marina si arriverà ad un punto in cui la pressione di vapore è tale che nessuna nuova molecola di vapore potrà unirsi alle altre senza qualcuna di esse le faccia spazio; si verrà a creare perciò un perfetto equilibrio tra molecole che evaporano e quelle che condensano; in tal caso il vapore si dice "saturo" e la pressione che esercita sull'ambiente sarà la massima possibile (a quella temperatura); tale pressione prende il nome di **TENSIONE DI VAPORE SATURO o PRESSIONE DI SATURAZIONE DEL VAPORE**, la quale sarà in funzione della temperatura. Approssimativamente per ogni 10° di aumento di temperatura la tensione di vapore saturo raddoppia.

Umidità relativa.

Una volta espresso il concetto di tensione del vapore saturo si può definire una grandezza igrometrica che soddisfi i requisiti che non fornivano l'umidità assoluta e quella specifica. Si definisce umidità relativa dell'aria alla temperatura T, il rapporto tra la tensione che il

vapore esercita realmente e la tensione di saturazione che potrebbe raggiungere alla quella temperatura, così espresso:

$U = E/E_s \cdot 100$ dove E= tensione reale legata alla quantità di vapore

E_s = tensione di saturazione dipendente dalla temperatura.

Come si vede questa grandezza evidenzia bene lo "status" del vapore nei confronti della saturazione, esprimendo in effetti la tensione reale del vapore come percentuale della tensione massima raggiungibile a quella temperatura, che porterebbe alla condensazione. Se ad esempio si ha una umidità relativa U del 20% significa che il vapore esercita una pressione nell'aria che è la quinta parte di quella che potrebbe raggiungere a quella temperatura, e quindi la condensazione è ancora lontana (aria secca); viceversa un valore di U del 90% indica che siamo prossimi al raggiungimento della massima pressione possibile, e la saturazione e quindi condensazione è imminente.

L'umidità relativa varia al variare dei due parametri E ed E_s , aumentando se aumenta la tensione E o diminuisce E_s : se viene immesso nuovo vapore acqueo nella massa d'aria aumenterà il valore E, mentre un calo termico farà incrementare il valore E_s . In atmosfera è molto frequente il secondo caso (incremento di E_s), infatti è un raffreddamento dell'aria che porta il contenuto di vapore alla saturazione ed alla conseguente formazione di nebbia o nubi; avremo infatti raffreddamento dell'aria per espansione ogni qualvolta essa sia invitata a salire verso l'alto (è il caso della formazione delle nubi), o in prossimità del suolo a causa della perdita di calore notturno per irraggiamento radiativo verso lo spazio.

Se si riesce a conoscere l'entità di tale raffreddamento avremo utili indicazioni sulla possibile condensazione, ed ecco che si è introdotta un'altra grandezza igrometrica denominata "temperatura di rugiada".

Temperatura di rugiada.

Essa non è altro che la temperatura alla quale si deve raffreddare l'aria umida isobaricamente (a pressione costante) affinché il vapore in essa presente giunga alla saturazione; il riferimento alla rugiada chiama in causa un fenomeno che è tipico prodotto della saturazione per raffreddamento isobarico: di notte il terreno perde calore (con cielo sereno) per irraggiamento verso lo spazio ed il calo termico conseguente sarà tale che ad un certo punto l'aria diverrà satura (incremento di E_s) con condensazione del vapore in minuscole goccioline d'acqua che si andranno a depositare al suolo (rugiada). Se indichiamo T e T_d la temperatura dell'aria e quella di rugiada avremo che la differenza $T - T_d$ esprime l'entità del raffreddamento isobarico necessario per la saturazione; se T e T_d sono uguali avremo aria satura e quindi $U = 100\%$; se la differenza $T - T_d$ è elevata l'aria sarà secca e la saturazione lontana. Se il valore T_d è negativo (al di sotto dello 0°) esso prende il nome di temperatura di brina e se l'aria verrà raffreddata oltre questo limite il vapore passerà direttamente alla fase solida (cristalli di ghiaccio) senza passare dalla fase liquida, con formazione al suolo della brina. Lo strumento che individua queste due grandezze prende il nome di "psicrometro" di cui esistono varie tipologie.

Cenni riguardanti la formazione delle nubi.

Le nubi, siano esse di origine naturale o artificiale (ad esempio le scie di condensazione) sono il prodotto della condensazione e del brinamento del vapore acqueo visti in precedenza, essendo costituite da minutissime goccioline d'acqua o piccolissimi cristalli di ghiaccio oppure da entrambe le forme simultaneamente. Del resto i gas di scarico dell'aereo presentano, come abbiamo visto in precedenza, diverse impurità che possono fungere da nuclei di condensazione o di brinamento.

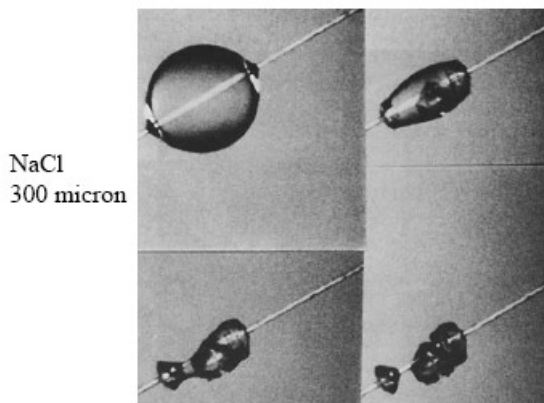
Con temperature positive ($>0^\circ$) le nubi saranno esclusivamente composte da goccioline d'acqua, mentre con temperature fortemente negative ($<-40^\circ$) saranno costituite esclusivamente da cristalli di ghiaccio; nell'intervallo $0^\circ/-40^\circ$ saranno presenti entrambe le

forme. La presenza di goccioline liquide a temperature negative è da imputare alla mancata solidificazione per l'assenza di germi cristallini, ovvero impurità che costituiscono il nucleo attorno al quale si genera ed accresce il futuro cristallo di ghiaccio; tali goccioline prendono il nome di "gocce sopraffuse o sottoraffreddate", per indicare che sono rimaste liquide pur in ambiente a temperatura negativa. Il fatto che l'acqua in prossimità del suolo congeli (ad esempio in inverno) a temperature di poco inferiori a 0° dipende dalla ricchezza sempre presente di germi cristallini dovuti ad abbondanti impurità (pulviscolo atmosferico, sale marino ecc.). Lo stato di sopraffusione o sottoraffreddamento (che nella libera atmosfera si manifesta spesso e fino a T di -40° , mentre al livello del mare è limitato a temperature meno basse ed è più raro) presenta equilibrio estremamente instabile; basta infatti un qualsiasi movimento o l'impatto con un corpo estraneo per avere immediato congelamento. In virtù di ciò avremo quindi che le nubi di un certo spessore e quindi a temperature diverse saranno costituite da cristalli di ghiaccio, goccioline liquide e goccioline sopraffuse. Poiché la temperatura diminuisce al crescere della quota altimetrica avremo i cristalli di ghiaccio nella parte superiore, goccioline sopraffuse nella parte intermedia e goccioline liquide in quella inferiore (tale descrizione è molto schematica poichè in realtà la distribuzione verticale delle varie forme è fortemente influenzata da vari fattori e non sempre rispecchia la realtà). Il diametro delle goccioline di nube è assai variabile, andando da pochi micron a 50 micron e talvolta fino a 100; mentre la concentrazione varia da qualche decina a migliaia per cm/cubo, con concentrazioni più elevate in caso di goccioline con diametro inferiore. Le goccioline ed i cristalli di ghiaccio hanno una vita che va da pochi minuti nelle nubi a sviluppo verticale (cumuliformi) a qualche ora in quelle stratificate, ed il processo di formazione, vita ed estinzione è continuo.

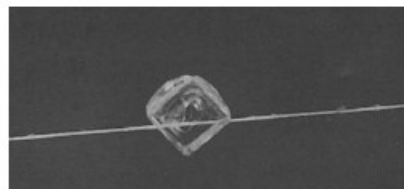
Nuclei di condensazione.

Come accennato prima la formazione delle goccioline e dei cristalli di ghiaccio è possibile grazie alla presenza del pulviscolo atmosferico o nel caso delle scie dagli aerosol prodotti dallo scarico dei motori; senza di essi la condensazione avverrebbe spontaneamente, solo con umidità relativa del 600-800%; nella libera atmosfera raramente la saturazione viene superata dell'1% ($U = 101\%$), eppure la condensazione avviene lo stesso: ciò proprio per la presenza del pulviscolo e di altre particelle; esse non solo offrono al vapore il necessario supporto per la costruzione delle goccioline di nube, ma intervengono attivamente nel primissimo stadio della condensazione. Per tale motivo esse vengono chiamate **NUCLEI DI CONDENSAZIONE**. I nuclei sono particelle di diversa natura che vengono immesse in atmosfera dalla superficie terrestre ad opera dei venti, oppure si formano nell'aria per combinazione chimica. Una prima categoria di nuclei è quella determinata dalle particelle di sale marino che si liberano dalla superficie degli oceani e che i venti diffondono nella troposfera; una seconda è costituita da particelle di solfati (tra cui domina il solfato ammonico) che si formano per combinazione chimica dei prodotti della combustione di sostanze contenenti zolfo. Oppure abbiamo ancora particelle di acido nitroso che si forma ad elevate temperature per la combinazione dell'azoto con l'ossigeno del vapore acqueo (se ne producono ad esempio negli incendi boschivi). Vi sono poi particelle terrose (si pensi alla sabbia desertica sollevata durante le tempeste su Nordafrica) che risultano perlopiù costituite da silicio e relativi derivati; come esempio finale consideriamo le particelle solide che vengono emesse dagli scarichi degli aerei in volo (un po' come succede nei tubi di scappamento delle nostre auto). I nuclei di condensazione hanno diametro compreso tra 0,001 micron e 10 micron, ma in qualche caso può essere inferiore a 0,001 micron; in base a tali dimensioni essi sono stati divisi in tre grandi categorie denominati nuclei di AITKEN dal nome di colui che li studiò per primo, e precisamente abbiamo:

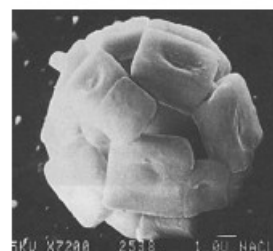
- Nuclei di Aitken piccoli: con diametro che giunge fino a 0,4 micron.
- Nuclei di Aitken grandi: con diametro compreso tra 0,4 e 1 micron.
- Nuclei di Aitken giganti: con diametro superiore al micron.



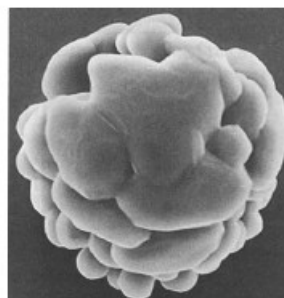
NaCl
300 micron



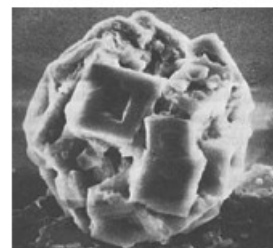
NaCl
150 micron



NaCl
6 micron



$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$
10 micron



Sale marino
30 micron

Qualche esempio di nucleo di condensazione ingrandito. Fonte: cnr-isac

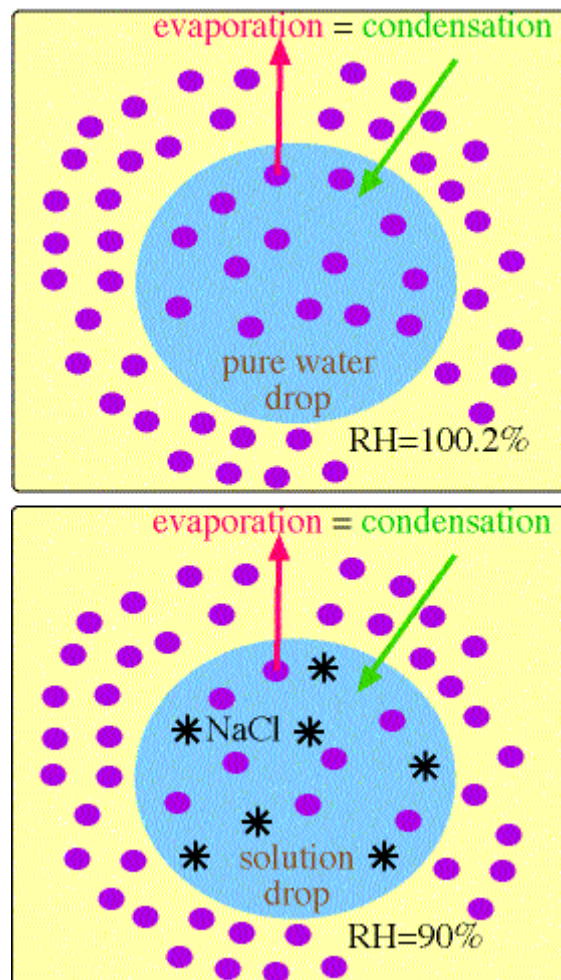
La loro concentrazione varia da poche centinaia per cm/cubo al di sopra delle distese oceaniche oppure a grandi altezze, fino a milioni per cm/cubo nelle aree industriali ed agglomerati urbani.

Una caratteristica fondamentale dei nuclei di condensazione riguarda la loro elevata igroscopicità; molti di essi, come ad esempio le particelle saline e di acido nitroso, hanno una grande affinità con l'acqua, proprietà determinante nella genesi delle goccioline di nube.

La definizione di tensione di vapore saturo vista in precedenza esprime la massima tensione che il vapore può raggiungere, per ogni temperatura, nelle circostanze che sono in genere presenti sulla superficie marina, che sono: presenza della fase liquida caratterizzata da una certa purezza. Se queste circostanze sono però diverse si avranno, per ogni temperatura, tensioni di saturazione diverse; infatti la forma della superficie che è disponibile al vapore per la condensazione, come del resto la purezza del liquido, sono aspetti che modificano la tensione di saturazione. Queste particolarità vengono denominate rispettivamente **"EFFETTO CURVATURA"** ed **"EFFETTO SOLUTO"**.

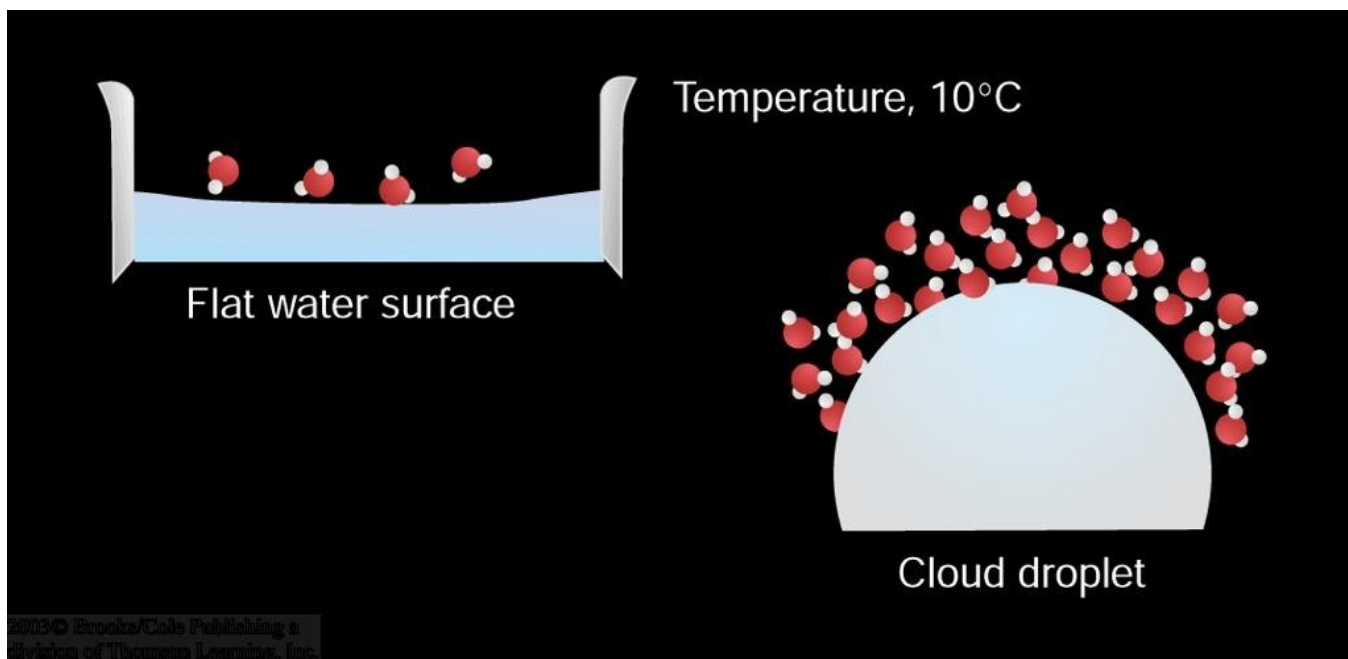
L'effetto soluto è tale per cui la tensione di saturazione, massima per un liquido puro, cala a parità di temperatura con l'aumentare della concentrazione di un qualunque soluto

disciolto in esso e la condensazione del vapore avverrà tanto prima quanto più concentrata sarà la soluzione liquida.



Schema semplificato dell'effetto soluto. Fonte: Comet MetEd

L'effetto curvatura è tale per cui la tensione di saturazione, in presenza di superficie convessa o concava, è rispettivamente maggiore o minore della tensione di saturazione con superficie piana; inoltre in caso di superficie concava essa è direttamente proporzionale al raggio di curvatura, mentre con superficie convessa è inversamente proporzionale al raggio di curvatura.



Schema semplificato dell'effetto curvatura. Fonte: Comet MetEd

Se torniamo ora ai nuclei di condensazione, compresi quelli emessi dai velivoli, è dimostrato che il ruolo fondamentale, nella fase iniziale della condensazione, è appannaggio di quelli maggiormente igroscopici. Le particelle che si presentano con superficie scabra, con molte concavità, assorbono molecole di vapore (stante "status" igrometrico idoneo), prima ancora che l'umidità relativa sia del 100% (tensione di saturazione più bassa); ciò è dovuto a due effetti: presenza di concavità e raggio di curvatura delle concavità molto piccolo. Si origina perciò quella che viene definita come **"CONDENSAZIONE CAPILLARE"**. Con la condensazione capillare si formano però goccioline estremamente piccole che rievaporerebbero subito se non fossero formate da una soluzione salina ad alta concentrazione; infatti la forma sferica delle goccioline e la minima ampiezza del raggio sarebbero elementi sfavorevoli poichè hanno l'effetto di elevare la tensione di saturazione. In ogni caso prevale però l'effetto soluto e con umidità di poco inferiore al 100% la condensazione di altro vapore sulla gocciolina prosegue (soprassaturazione). Le goccioline formate raggiungeranno il diametro di circa 2 micron e potranno perciò continuare ad ingrossarsi con condensazione di altro vapore ad umidità relativa di poco superiore al 100%; quando infatti il raggio di curvatura della superficie convessa supera tale misura (2 micron), l'effetto della convessità diviene trascurabile e non occorre che l'umidità relativa superi di molto il 100% affinché la condensazione prosegua. Quando tali processi si manifestano a temperature negative ($<0^{\circ}$), se fra i nuclei ve ne sono idonei a fungere da germi cristallini ha inizio la formazione di cristalli di ghiaccio. I nuclei che assolvono tale funzione vengono detti "nuclei di sublimazione o di brinamento"; su di essi la sublimazione è innescata dal fatto che lo stato di saturazione che prelude ad essa è caratterizzato da valori di tensione più bassi di quelli relativi alla condensazione, per cui la regola è che:

la tensione di saturazione rispetto al ghiaccio è inferiore a quella rispetto all'acqua.

I nuclei presenti in atmosfera possono essere di diversa qualità e dimensione: alcuni avviano la condensazione, altri la sublimazione, altri ancora o partecipano al processo più tardi o non vengono affatto coinvolti. Si formano quindi le prime goccioline di nube; alcune si svilupperanno, altre rievaporeranno. Si formeranno anche cristallini di ghiaccio, ma se mancano i nuclei di sublimazione, almeno fino a -40° , si formeranno solo goccioline soprassature o sottoraffreddate. Le goccioline d'acqua ed i cristalli di ghiaccio possono però coesistere (nel caso di nubi molto spesse con profilo termico verticale molto ampio), e vi

sarà spiccata tendenza da parte delle goccioline ad evaporare per poi ricondensare o sublimare sui cristalli di ghiaccio.

La condensazione si arresta quando si raggiungono diametri delle goccioline di pochi micron all'interno della nube. L'effetto soluto, molto attivo nella fase iniziale, favorisce la condensazione con umidità relativa di poco inferiore al 100%; quando invece le goccioline raggiungono diametri prossimi al micron la soluzione di cui sono composte può essere considerata pura. L'effetto soluto diviene perciò inconsistente e la condensazione proseguirà, per accumulo su goccioline già formate, di quella quota di vapore che eccede la saturazione (che nella libera atmosfera non supera l'1%) fino a quando non venga raggiunto l'equilibrio ad umidità relativa del 100%. A quel punto le goccioline saranno di diametro variabile da pochi micron a 50 micron e raramente a 100 micron, da cui ne deriva che non è la condensazione che consente di trasformare le gocce di nube in gocce di pioggia. Sebbene sussista ancora qualche incertezza sono stati individuati due meccanismi di innesco ben distinti tra loro e che comunque soddisfano gli interrogativi in merito.

Teoria dei cristalli di ghiaccio o di Wegener-Bergeron-Findeisen.

Essa trova fondamento nella diversa entità della tensione di saturazione del vapore rispetto al ghiaccio e rispetto all'acqua. Se in una nube contenente goccioline sopraffuse compare un cristallo di ghiaccio (presenza di un nucleo di sublimazione oppure caduta dall'alto del cristallo da una nube più "fredda") avviene che le goccioline presenti tenderanno ad evaporare, ed il vapore sublimerà nel cristallo. Infatti mentre le goccioline da sole sono in equilibrio col vapore ambiente (col 100% di umidità) e per ogni molecola di vapore che condensa su una goccia ve ne è una che evapora, non appena compare il cristallo il vapore risulterà soprassaturo rispetto ad esso (come visto in precedenza la tensione di saturazione rispetto al ghiaccio è inferiore a quella rispetto all'acqua); la parte di vapore eccedente la saturazione rispetto al ghiaccio andrà a sublimare nel cristallo ingrandendolo.

Ma il vapore, decurtato della quota sublimata, risulterà non saturo rispetto all'acqua con conseguente nuova evaporazione di goccioline fino a ristabilire l'equilibrio; di nuovo però il vapore sarà soprassaturo rispetto al ghiaccio ed altro vapore sublimerà su di esso accrescendolo ulteriormente; il processo, come si intuisce, una volta avviato procede da sé. Ad un certo punto il cristallo avrà raggiunto dimensioni consistenti con peso significativo, acquistando anche maggiore velocità di caduta. Correnti ascendenti più intense potranno sostenere cristalli di ghiaccio di maggiori dimensioni e peso, mentre quelle più deboli ma prolungate sosterranno cristalli solo di piccole dimensioni.

Nella caduta attraverso la nube il cristallo si ingrandisce notevolmente per collisione con goccioline più lente (generalmente sopraffuse), le quali impattando su di esso brinano o solidificano istantaneamente; inoltre i vari cristalli, cadendo, collidono e aderiscono tra loro formando cristalli più grossi e successivamente evolvendo in fiocchi di neve.



(a) Falling ice crystals may freeze supercooled droplets on contact (accretion), producing larger ice particles.

© 2007 Thomson Higher Education



(c) Falling ice crystals may collide and stick to other crystals (aggregation), producing snowflakes.

© 2007 Thomson Higher Education

Processi di accrezione (a sinistra) ed aggregazione (a destra) a carico dei cristalli di ghiaccio: Fonte: Comet MetEd

Un neonato cristallo di ghiaccio, presente in una nube contenente anche goccioline di acqua, è in ambiente idoneo alla rapida crescita per diffusione. Il vapore nella nube è saturo rispetto all'acqua liquida e quindi sovrassaturo rispetto al ghiaccio. Nell'arco di pochi minuti il cristallo può crescere di parecchie decine di micron in dimensioni lineari. Memorizziamo bene la teoria di Wegener-Bergeron-Findeisen poiché ci tornerà utile più avanti.

I nuclei di ghiacciamento mostrano quattro diversi criteri di comportamento.

1. Deposition Mode.

Il vapore acqueo a temperature al di sotto degli 0°C è adsorbito direttamente dalla fase vapore sulla superficie del nucleo dove, a temperature sufficientemente basse, è trasformato in ghiaccio.

Il nucleo viene definito *deposition sorption nucleus*.

2. Condensation Freezing Mode.

Accade quando il livello di saturazione dell'acqua è superato. Una particella di aerosol a temperature sotto 0°C agisce come un nucleo di condensazione per formare una gocciolina che ghiaccia ad un certo punto del processo di condensazione.

Il nucleo viene definito *condensation freezing nucleus*.

3. Immersion Mode.

Il nucleo si trova immerso all'interno di una gocciolina a temperature superiori a 0°C ed il ghiacciamento ha inizio in seguito quando la temperatura della gocciolina è divenuta sufficientemente bassa.

Il nucleo viene definito *immersion nucleus*.

4. Contact Mode.

Il nucleo inizializza la fase ghiaccio al momento del suo contatto con una gocciolina sovraraffreddata.

Il nucleo viene definito *contact nucleus*.

Le particelle di aerosol, comprese quelle emesse dagli scarichi degli aerei, possono dunque agire da nuclei in una qualunque e, talvolta, in tutte le precedenti modalità. Ad ogni modalità corrisponde una determinata temperatura di attivazione che può non essere la stessa delle altre modalità.

Insomma le scie di condensazione sono il risultato di diversi processi fisici che portano alla formazione di cristalli di ghiaccio tramite nucleazione delle impurità immesse in atmosfera o alla solidificazione di goccioline già presenti nei gas di scarico, esattamente come succede in natura quando si formano nubi alte; l'unica differenza sta appunto nel fatto che il vapore acqueo e gli aerosol che fungono da nuclei glaciogeni o talvolta di condensazione sono forniti dai gas di scarico degli aerei e dai processi di combustione.

Un importante fattore che influisce sulla formazione delle scie è l'umidità atmosferica. Se c'è poca umidità le scie possono comunque formarsi (e anche molto facilmente come si vedrà in seguito), tuttavia tendono a persistere per poco tempo; queste si chiamano scie di breve durata. Se c'è maggiore umidità, la scia continuerà a crescere per i motivi visti prima nella parte teorica: queste si chiamano scie persistenti. Queste ultime possono resistere per **parecchie ore** e possono crescere notevolmente in larghezza ed altezza. Possono anche espandersi notevolmente per effetto dei venti alla quota di volo, e quando succede queste scie divengono in seguito impossibili da distinguere da un cirro naturale. Le contrails, anche nella loro massima espansione e/o diffusione, sono comunque nuvole esigue che non hanno la capacità di trasformarsi (meglio dire "sostituirsi") ad una vera e propria formazione nuvolosa. In sostanza anche se fosse possibile saturare il cielo con migliaia di contrails non si innescerebbero mai fenomeni meteorologici tipici dei fronti nuvolosi reali, quali perturbazioni, pioggia, neve, temporali, grandine, fulmini, raffiche di vento.

Ciò perché le sole nubi in grado di generare precipitazioni sono le cosiddette "nubi miste" ovvero strutture nuvolose sufficientemente spesse che contemplino la contemporanea presenza di cristalli di ghiaccio, goccioline soprafuse (cioè liquide pur con temperatura ambientale sotto lo 0°C) e goccioline in temperatura ambientale sopra lo 0°C; mentre invece le scie sono composte quasi esclusivamente da cristalli di ghiaccio. L'unico "pericolo" tra virgolette rappresentato dalle contrails è riassumibile in due voci:

- lieve schermatura della luce solare a svantaggio del calore respinto.
- difficoltà nella navigazione aerea a vista.

Nel primo caso, le contrails, soprattutto quelle che hanno molta persistenza e subiscono una grande dilatazione a causa dei venti in quota, contribuiscono ad abbassare lievemente il livello luminoso del sole sulla Terra. Ma non solo; esse riflettono meno luce solare rispetto alla quantità di calore che trattengono, e il bilancio tra la luce solare che giunge sul pianeta e il flusso energetico uscente risulta leggermente alterato, per cui inducono un aumento della copertura nuvolosa a livello globale che contribuirà al cambiamento a lungo termine del clima terrestre. Detto in parole povere svolgono lo stesso identico effetto di qualunque altra nuvola di tipo cirriforme (tipica nuvola formata da cristalli di ghiaccio,

velata, e lievemente schermante). Tuttavia va considerata l'esiguità delle contrails rispetto all'enorme spazio del cielo. Per quanto esse possano persistere o dilatarsi si comporteranno esattamente come qualunque altra nuvola in cielo, evaporando, dissolvendo, cambiando forma e dimensioni secondo quanto l'aria impone di fare, e non rappresentano in alcun modo un danno ambientale così catastrofico come si è soliti pensare con troppa leggerezza.

Molte obiezioni che vengono mosse dai cosiddetti "cospirazionisti" chiamano in causa il fatto che anche in giornate in cui l'umidità relativa dell'aria è molto bassa con cieli tersi e luminosi si notano ugualmente scie di condensazione, avanzando l'ipotesi che ciò non sia fisicamente possibile (spesso si è sentito dire da persone ben poco informate che non sono possibili scie con Ur sotto il 70%). Ciò potrebbe al limite corrispondere al vero qualora ci si trovasse in bassa troposfera ed in determinati periodi dell'anno, ma alle quote alle quali viaggiano gli aerei le cose sono un poco diverse, in primis poiché siamo normalmente in presenza di temperature molto basse.

L'uso del diagramma di Appleman chiarirà alcuni aspetti. Il diagramma mette in correlazione temperatura ed umidità relativa ambientali ed un esempio viene riportato di seguito:

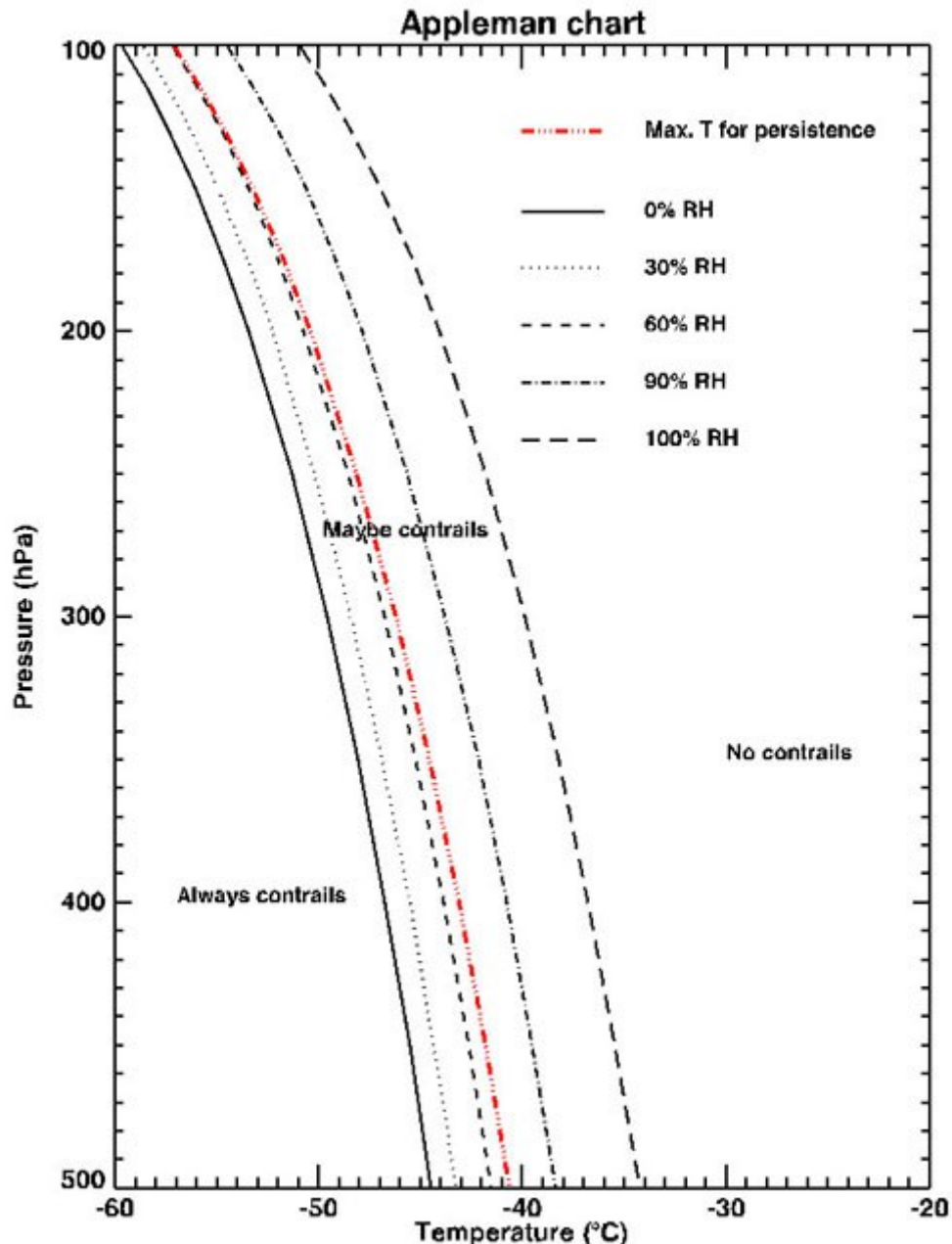


Diagramma di Appleman: Fonte NASA

In ascisse è riportata la temperatura dell'aria in °C, ed in ordinate i vari livelli troposferici (piani isobarici che vanno da 500 a 100 hPa, quote alle quali si hanno la maggior parte dei voli).

Inoltre all'interno dello schema sono riportate varie linee che indicano il profilo igrometrico verticale, e precisamente quelle che vanno dallo 0% di Ur al 100% di Ur con step del 30% di Ur.

Come si vede, qualora la temperatura ambientale ad una determinata quota sia sufficientemente bassa (tale da essere a sinistra della linea dello 0% di Ur), le scie si formano **sempre**, anche con Ur teorica dello 0% (che poi naturalmente accade molto di rado). Esempio pratico: se a 300 hPa (circa 9.000 m di altezza) abbiamo una temperatura di -50°C (ed accade sovente), le scie si formano anche con Ur dell'aria bassissima o teoricamente pari allo 0%; se invece la temperatura è a destra della linea del 100% di umidità relativa (supponiamo -35°C) la scia non si forma nemmeno se l'Ur è del 100%.

Se l'atmosfera ha temperatura inferiore rispetto a quella indicata dalla linea dello 0%, una scia di forma, anche se il tasso di umidità relativa dell'atmosfera è uguale a zero. Di per sé, sarà l'aereo, tramite il vapore che esce dallo scarico, a fornire l'umidità per la formazione della scia; per cui in giornate anche limpide con aria secca ma anche con temperature in alta troposfera piuttosto basse, la formazione delle scie è comune, anche se non vi è alcuna altra nube in cielo (ciò perché il vapore acqueo è fornito artificialmente). Se invece l'atmosfera ha temperature maggiori rispetto a quelle indicate dalla linea del 100% di U_r , le scie non si formano, anche se il tasso di umidità relativa è del 100%.

In questo caso la combinazione tra vapore acqueo dovuto al getto di gas di scarico e l'umidità relativa ambientale non sarà mai sufficiente per formare la scia a causa della temperatura dell'aria troppo elevata e per la probabile presenza di altre nubi naturali. Per profili termici verticali che portino la temperatura ambientale ad essere compresa tra le linee dello 0% e del 100% di U_r , la possibilità di formazione di scie dipenderà dal tasso di umidità atmosferica, rappresentata sul grafico come umidità relativa.

La formazione o meno della scia in queste condizioni dipende da altri fattori, il più importante dei quali rappresentato dalla presenza o meno di deboli omega negative o positive (velocità verticali di ascendenza o discendenza); nel caso di deboli moti verticali ascendenti la formazione è facilitata (ecco perché prevalgono le scie quando si avvicina un fronte caldo), mentre nel caso di deboli moti discendenti la formazione delle scie è ostacolata (dopo il passaggio di un fronte freddo). La linea rossa presente nello schema indica la massima temperatura per la quale ad una determinata quota, le scie mostrano carattere di persistenza, e normalmente il corrispondente tasso di umidità relativa si attesta tra il 60 ed il 70%.

In linea teorica scie molto persistenti, diffuse e che tendono ad espandersi notevolmente sono tipiche prima dell'arrivo di un fronte caldo o comunque dello scorrimento di aria più calda rispetto a quella preesistente, questi fenomeni sono infatti contraddistinti dall'invasione alle quote più elevate di aria meno fredda ed umida; naturalmente a patto che non venga superata la soglia termica critica vista prima tramite il diagramma di Appleman.

Pertanto l'assunto che le scie non possano formarsi in aria secca, e che la loro presenza sia inspiegabile quando non vi sono altre nubi cirriformi nel cielo, avanzato da molti sostenitori delle scie chimiche, è errato: il vapore acqueo mancante o le goccioline liquide già formate vengono fornite dal velivolo stesso.

Di seguito si riporta un secondo diagramma di Appleman esteso fino alla bassa troposfera e suolo:

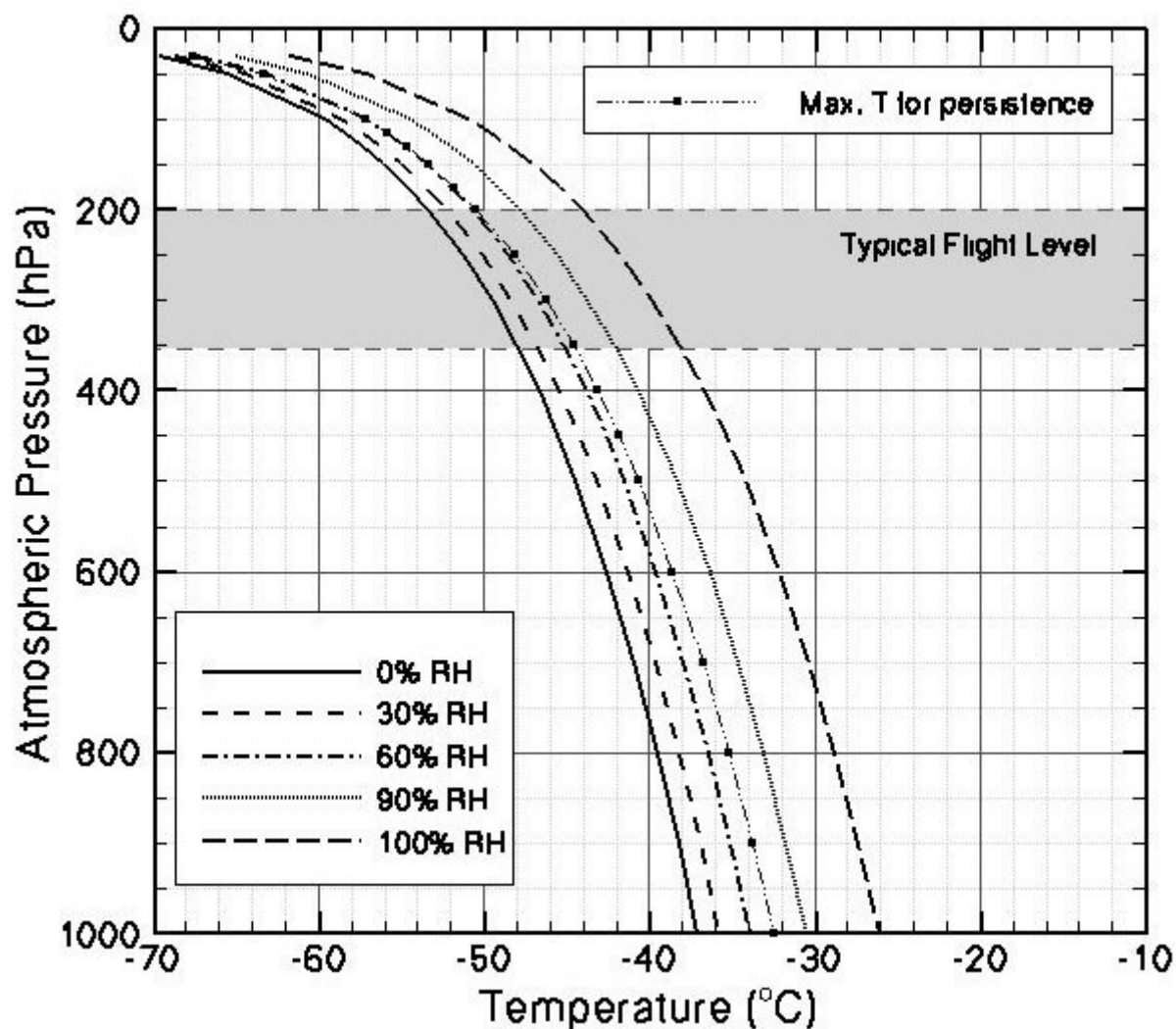


Diagramma di Appleman: Fonte NASA

Valgono le stesse considerazioni fatte in precedenza, specificando che più ci si abbassa di quota più la formazione di scie è difficile, venendo spesso a mancare temperature ambientali sufficienti a produrre il fenomeno (ad 850 hPa dovremmo avere temperature di almeno -28°C , il che è possibile solo sulle regioni polari/artiche e nel periodo invernale). La fascia grigia indica le quote troposferiche maggiormente interessate dal passaggio di aerei.

Per quanto concerne le medie latitudini, tramite il diagramma di Appleman è possibile verificare il motivo per cui le scie di condensazione sono più frequenti d'inverno che nel periodo estivo:

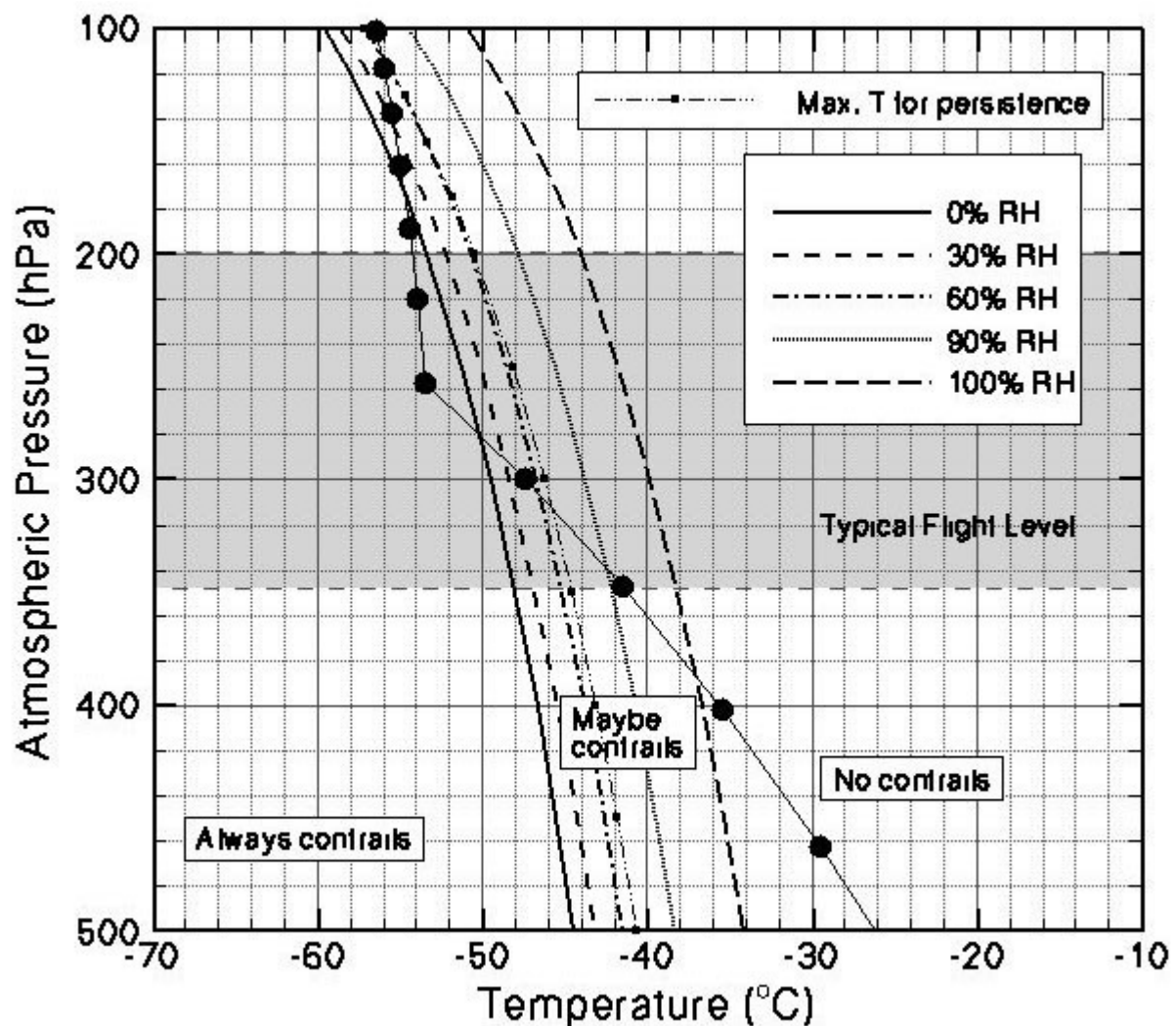


Diagramma di Appleman: Fonte NASA

Nel periodo invernale ed alle medie latitudini emisferiche (figura sopra in cui è riportato, oltre ai parametri visti in precedenza, un profilo termico verticale medio, evidenziato dalla linea con pallini neri), le condizioni termiche ambientali sono spesso molto favorevoli alla formazione di scie stanti temperature ambientali in media troposfera più basse rispetto alla stagione estiva (piani isobarici tra 500 e 250 hPa; a quote più elevate invece i valori sono più elevati rispetto all'estate). La regione troposferica per la quale divengono possibili le scie di condensazione parte indicativamente dal piano isobarico di 400 hPa.

In estate invece, sempre in riferimento alle medie latitudini, la formazione di scie ha incidenza inferiore:

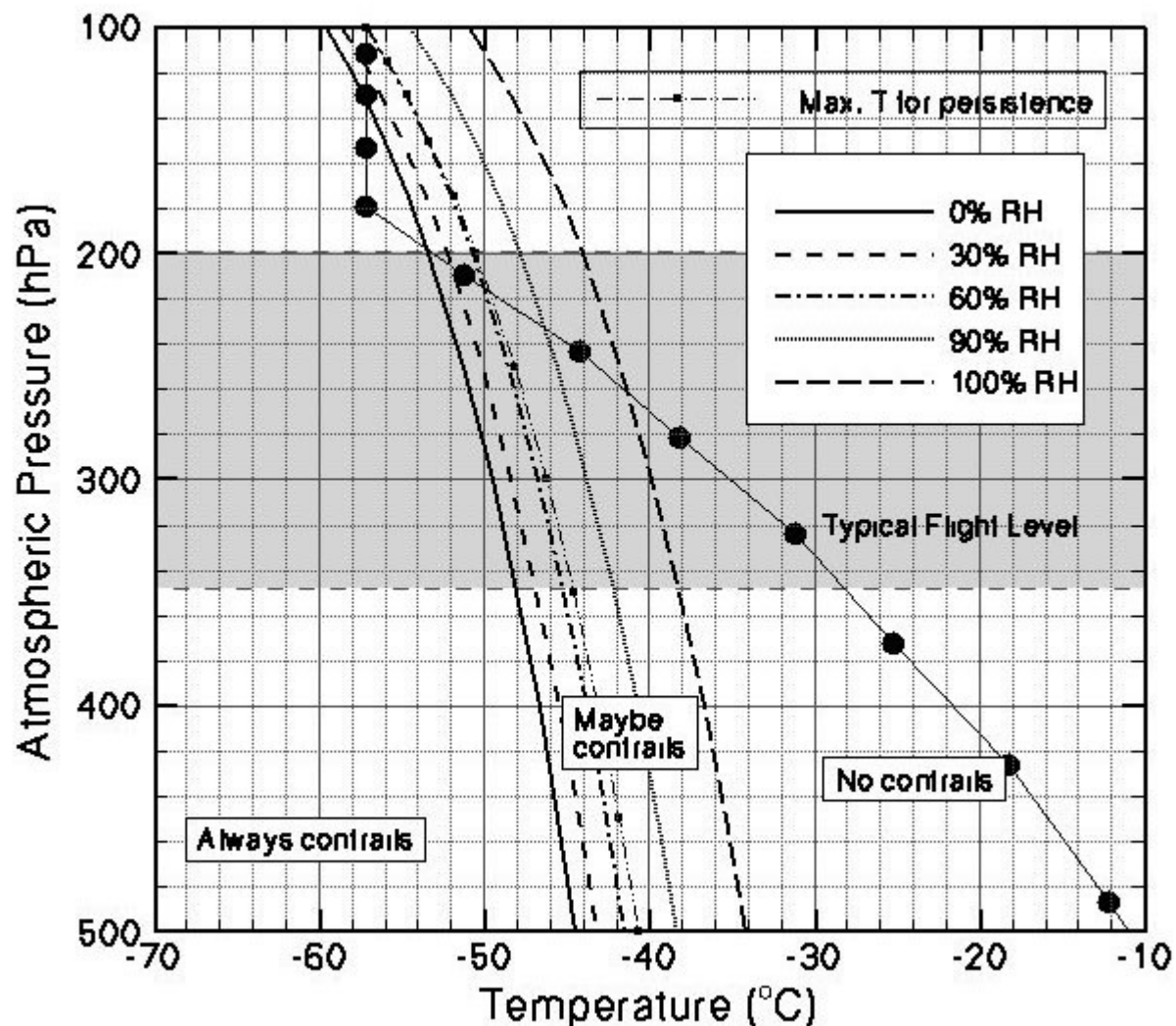


Diagramma di Appleman: Fonte NASA

Ciò accade poiché in media troposfera il profilo termico verticale medio presenta struttura sfavorevole almeno fino alla soglia dei 260 hPa, con temperature ambientali troppo elevate in rapporto all'umidità relativa ipotetica, specie nello spessore troposferico compreso tra i piani isobarici di 500 e 300 hPa. Pertanto nel periodo estivo vedremo mediamente meno scie che in inverno (anche se nel periodo invernale spesso la visibilità è limitata da nebbie o altre formazioni nuvolose) ed a quote maggiori.

Proseguendo a prendere in considerazione l'approccio di Appleman riportiamo alcune tabelle relative ai valori termici ambientali più idonei, e correlati al tasso idrometrico, per la formazione di contrail:

	RH (percent)				
Pressure (hPa)	0	30	60	90	100
30.0	-69.61	-68.67	-67.36	-64.93	-61.74
50.0	-65.53	-64.54	-63.17	-60.64	-57.15
100.0	-59.68	-58.63	-57.17	-54.47	-50.92
115.0	-58.45	-57.39	-55.91	-53.17	-49.61
130.0	-57.36	-56.29	-54.79	-52.02	-48.43
150.0	-56.07	-54.99	-53.47	-50.66	-47.01
175.0	-54.67	-53.56	-52.02	-49.18	-45.42
200.0	-53.43	-52.31	-50.76	-47.87	-44.12
250.0	-51.33	-50.19	-48.60	-45.65	-41.80
300.0	-49.58	-48.42	-46.80	-43.79	-39.87
350.0	-48.07	-46.89	-45.25	-42.20	-38.23
400.0	-46.75	-45.55	-43.89	-40.80	-36.77
450.0	-45.57	-44.36	-42.67	-39.54	-35.46
500.0	-44.50	-43.27	-41.57	-38.41	-34.28
600.0	-42.62	-41.37	-39.63	-36.41	-32.18
700.0	-41.00	-39.73	-37.97	-34.69	-30.40
800.0	-39.58	-38.29	-36.50	-33.18	-28.84
900.0	-38.30	-37.00	-35.19	-31.82	-27.43
1000.0	-37.15	-35.84	-34.00	-30.60	-26.15

Tabella di correlazione T°C/Ur% del diagramma di Appleman. Fonte: NASA

Nella tabella sopra sono indicati i valori termici correlati al tasso di umidità relativa utilizzati per creare il grafico Appleman. Essi si basano su un aeromobile con media efficienza del motore.

Pressure	Temperature
(hPa)	(deg C)
30.0	-67.64
50.0	-63.34
100.0	-57.13
115.0	-55.82
130.0	-54.66
150.0	-53.28
175.0	-51.77
200.0	-50.44
250.0	-48.16
300.0	-46.25
350.0	-44.61
400.0	-43.16
450.0	-41.85
500.0	-40.67
600.0	-38.58
700.0	-36.77
800.0	-35.17
900.0	-33.73
1000.0	-32.42

Tabella dei massimi valori termici alle varie quote per la formazione di scie persistenti. Fonte: NASA

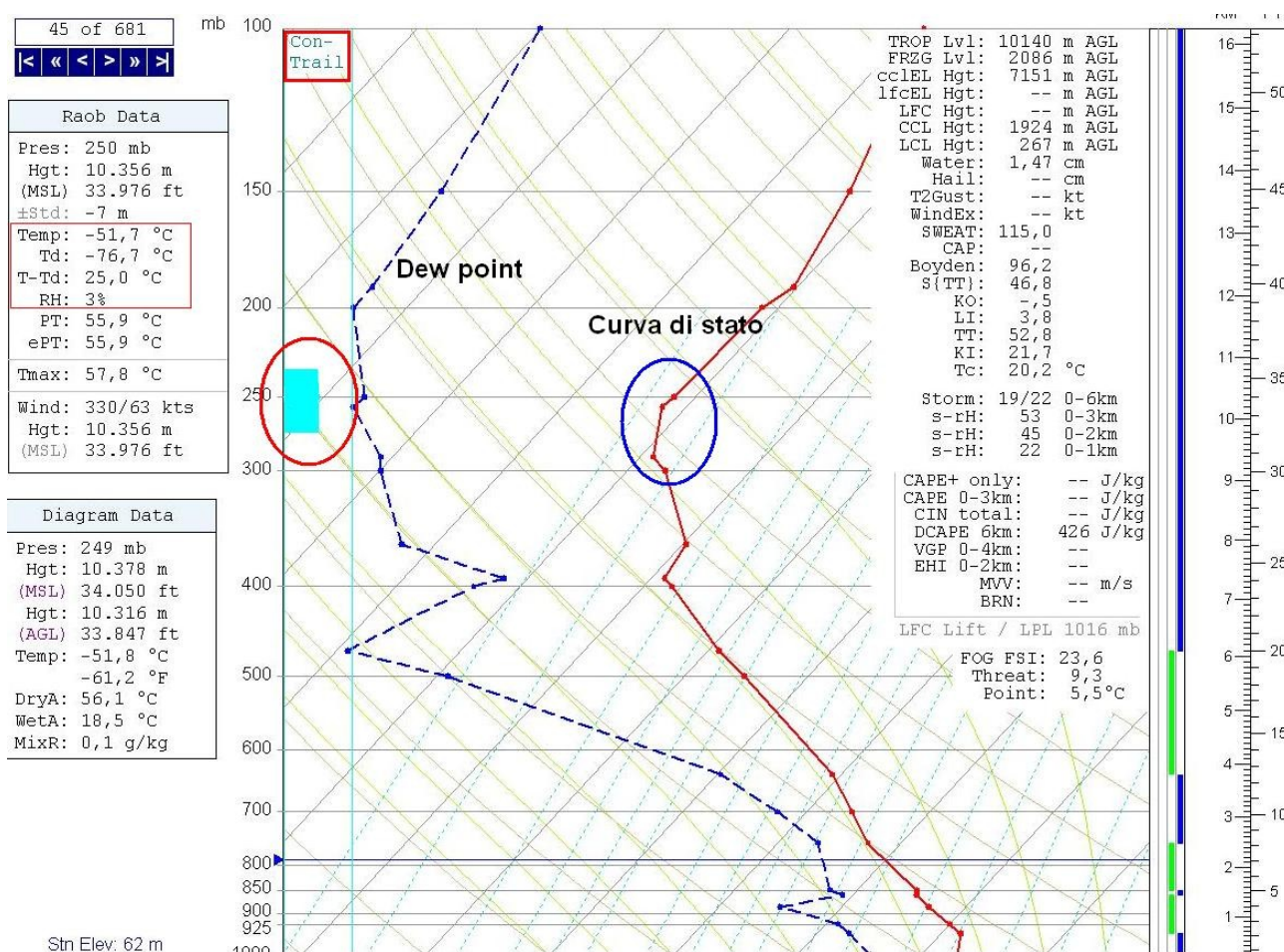
Nella tabella sopra sono invece riportati i valori termici massimi teoricamente possibili alle varie quote troposferiche per la formazione di scie persistenti.

Qualche osservazione sull'utilità del diagramma di Appleman

L'uso e l'approccio teorico del diagramma di Appleman risale a parecchi anni or sono (1953) e quindi potrebbe apparire in parte superato vista l'evoluzione successiva della navigazione aerea, tuttavia negli ultimi anni sono state apportate parziali modifiche alla teoria originale per adeguarla ai nuovi motori. Sono quindi disponibili in letteratura diagrammi e curve più accurate, anche se i concetti di fondo sui quali si basa sono rimasti inalterati.

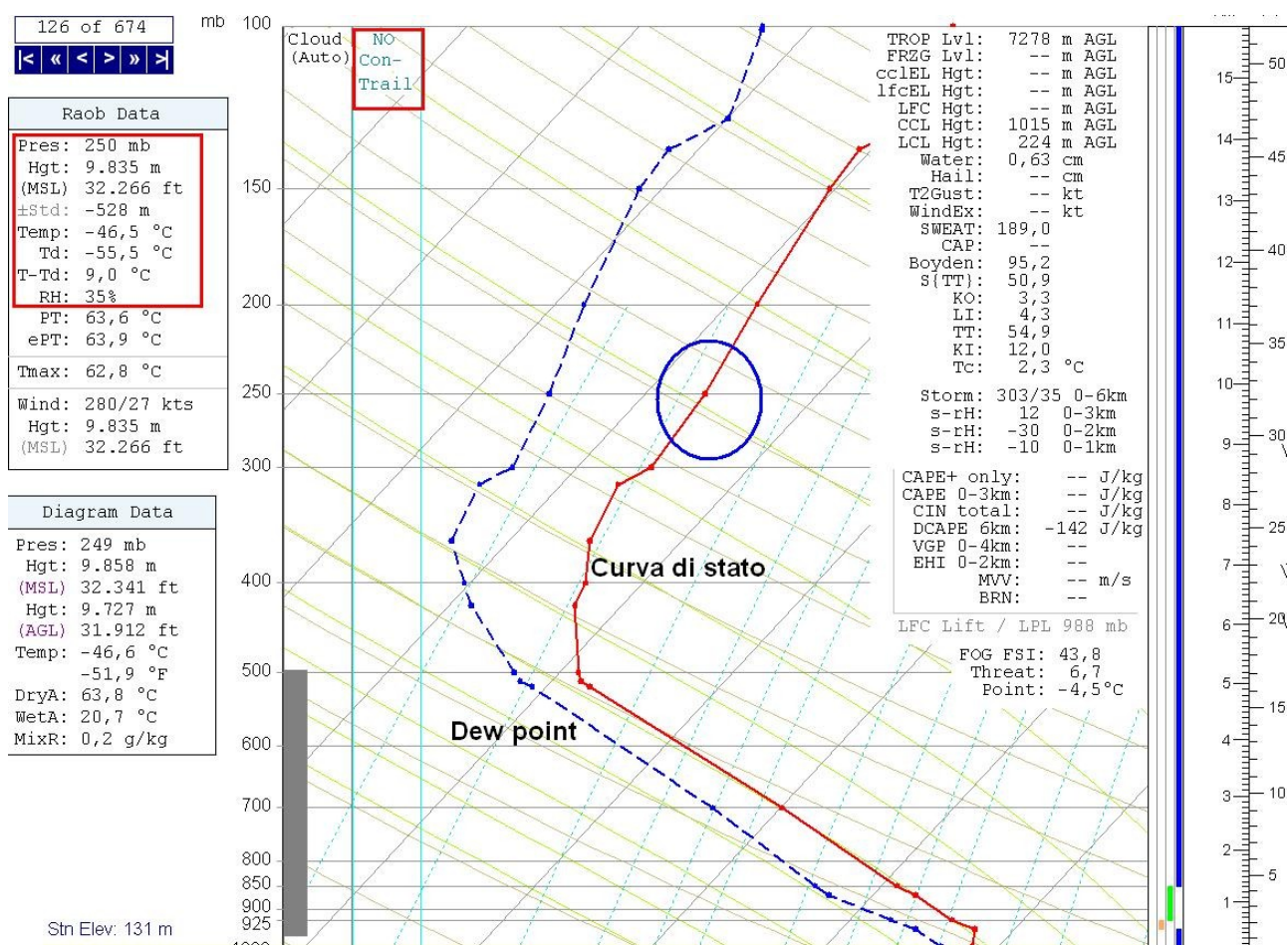
È quindi possibile prevedere con un certo anticipo, tramite prodotti di modellistica numerica o la consultazione dei radiosondaggi, se la formazione di scie di condensazione sia probabile o meno, anche in condizioni per le quali sia inibita la formazione di qualsiasi altra nube.

A proposito di radiosondaggi, sia effettivi che previsti, essi ci possono dare molteplici indicazioni anche in questo particolare fenomeno.



Radiosondaggio con elaborazione RAOB analysis tool software. Fonte: MeteoCenter

Nell'esempio evidenziato sopra abbiamo un radiosondaggio relativo alla località spagnola di Murcia (è stato prescelto poiché il profilo verticale ben si addice a quanto affermato in precedenza) delle ore 00z GMT del 20 aprile 2009 ed elaborato con il software RAOB (RAwinsonde OBservation program). Si noti come l'aria in media ed alta troposfera sia estremamente secca (desumibile dall'elevata distanza tra la curva di stato e quella del dew point), ed in alternativa come riportato nel riquadro di analisi in alto a sinistra ed evidenziato in rosso. Tra i piani isobarici di 270 e 230 hPa circa (tra 9700 e 10900 m circa di altezza) l'umidità relativa è bassissima, oscillando tra il 2 ed il 4% appena. Teoricamente non si potrebbe formare alcuna nube, ma il tool di analisi (azzurro chiaro) che calcola automaticamente la possibilità di formazione di contrail, evidenzia tale possibilità proprio a quelle quote, dal momento che la temperatura dell'aria è assai bassa ed inferiore a -50°C ed a fornire gli aerosol e vapore necessari ci pensa lo scarico dell'aereo. In questo caso avremmo un cielo completamente sgombro da nubi, ma in caso di passaggio di aerei potremmo avere sicuramente la formazione di contrail (presumibilmente non di lunga persistenza). Nello specifico, alla quota di 250 hPa (10.356 m di altezza) i dati indicano una temperatura di -51.7°C; dew point di -76.7°C ed Rh di appena il 3%; nonostante ciò la formazione di contrail è possibile. In questo caso, nonostante un cielo terso e luminoso, potremmo comunque vedere la formazione di scie che non avrebbero nulla di misterioso.



Radiosondaggio con elaborazione RAOB analisis tool software. Fonte: MeteoCenter

Prendiamo ora in esame un secondo radiosondaggio con caratteristiche diverse rispetto al precedente ed elaborato sempre tramite il software RAOB. In questo caso notiamo un profilo termoisigrometrico verticale che presenta alcuni aspetti interessanti. In primo luogo la colonna d'aria è certamente molto più umida rispetto a prima (curva di stato e del dew point assai più ravvicinate), tant'è che il cloud analysis tool prevede la formazione di nuvolosità abbastanza compatta tra i piani isobarici di 950 e 500 hPa. Sopra il piano isobarico di 500 hPa i valori igrometrici scendono un poco, pur mantenendosi decisamente superiori rispetto all'esempio precedente. In linea teorica con aria più umida anche alle quote in cui transitano i velivoli ci si aspetterebbe la formazione di contrail (se fosse vero che ciò dipende dall'umidità relativa). In realtà il contrail tool non prevede la formazione di scie; ciò perché tra i piani isobarici fino a 150 hPa la temperatura dell'aria non raggiunge i -50°C (nel radiosondaggio in oggetto l'isoterma -50°C è quella che parte obliquamente poco sotto la linea dei 600 hPa). Ad esempio sul piano isobarico di 250 hPa (riquadro rosso in alto a sinistra), posto a 9835 m di altezza, abbiamo una temperatura di -46.5°C ; dew point di -55.5°C , ed umidità relativa del 35%; non sarà molto ma è sicuramente superiori al 3% di Rh nell'esempio precedente. Dunque la temperatura dell'aria è troppo elevata per consentire, in questa circostanza, la formazione di scie, e ciò nonostante non manchino, sebbene a quote più basse, le condizioni per l'innesco di nuvolosità alquanto compatta.

Insomma, la previsione o l'analisi delle condizioni che possono condurre alla formazione di contrail non è così semplice e schematica così come si potrebbe pensare con una buona dose di superficialità.

In realtà le situazioni ambientali favorevoli all'innescare del fenomeno sono molto frequenti, anche se la presenza di nebbie o nubi alle quote inferiori può certamente impedire di scorgersi.

Dopo questa parte per così dire teorica, che per motivi di spazio è stata ridotta a poco più che l'indispensabile, passiamo a qualche esempio pratico tramite l'ausilio di immagini reperibili presso molte fonti. Il materiale diffuso è, purtroppo, parecchio e per fare una cernita abbiamo scelto un documento a caso, anche perché alla fine quasi tutti si somigliano.

Come anticipato all'inizio prendiamo in esame immagini che abbiano come protagoniste le nubi o comunque il cielo, per il resto (tipi di aerei, meccanica, rotte, componenti etc.) rimandiamo all'ottimo lavoro svolto sul sito Md80.it.

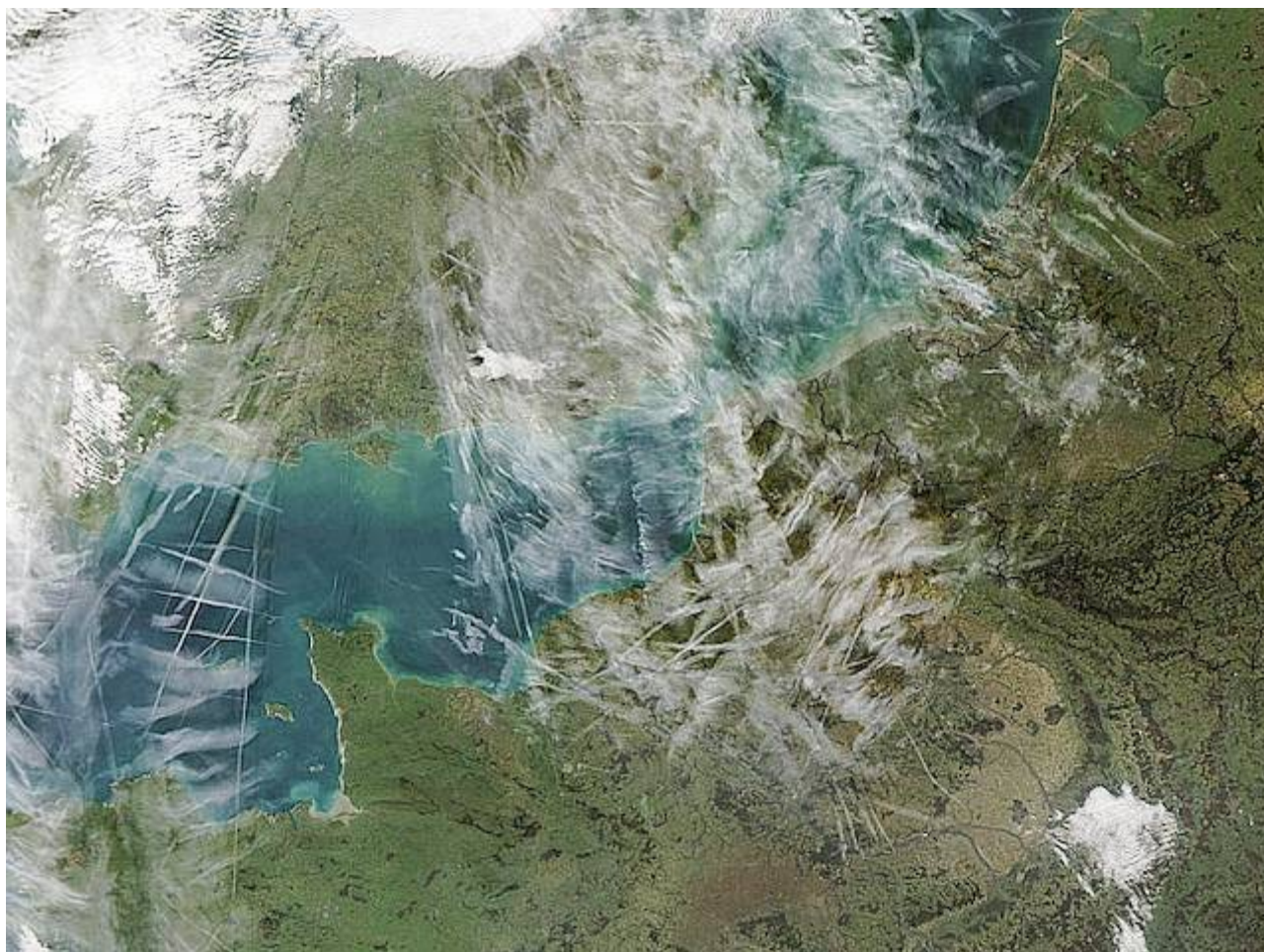


Immagine satellitare con scie di condensazione. Fonte: documento "Alza la testa"

La prima immagine della serie evidenzia un'immagine satellitare nella quale compaiono molte scie di condensazione spacciate per scie chimiche. L'elevato numero di scie e la loro espansione evidenziano l'approssimarsi in quota di correnti umide prefrontali (fronte caldo), predittive di un possibile peggioramento delle condizioni meteorologiche a breve-medio termine sulla zona di osservazione. Si può notare infatti come la nuvolosità aumenti nella parte sinistra della foto (fronte caldo che avanza). Il fatto che la persistenza delle scie non sia continua ma nella foto si vedano alcune "pause" con cielo sereno, è abbastanza

normale: infatti l'andamento delle correnti in quota (anche su livelli troposferici elevati) non è regolare, ed il flusso anteriore alla linea frontale compie delle oscillazioni alternate verso l'alto e verso il basso (deboli moti ascendenti o discendenti) innescate dal forcing frontale stesso in fase di avanzamento; si tratta di piccole onde di gravità che possono propagarsi anche a quote elevate. In corrispondenza dei moti discendenti delle onde le nubi o le scie tendono a dissolversi rapidamente (oppure non si formano) a causa dell'aumento della temperatura ambientale e diminuzione dell'umidità relativa, mentre in concomitanza a deboli moti ascendenti le nubi o le scie persistono maggiormente (oppure si formano con maggiore facilità) per motivi opposti.



Alcune scie di condensazione di diverse colorazioni. Fonte: documento "Alza la testa"

La foto in alto a destra mostra una normale scia di condensazione che ha assunto una particolare colorazione a causa del fenomeno della rifrazione della luce, un po' come accade in un arcobaleno. La foto in basso a sinistra è invece una scia di condensazione resa rossa dalla luce crepuscolare. Quella in basso a destra, infine, è una scia di condensazione prodotta dall'intera ala del velivolo (wingtips) grazie alle oscillazioni di pressione e di temperatura che avvengono al passaggio dell'aria sopra e sotto l'ala stessa. Anche qui, insomma, nulla di misterioso.



Alcune scie di condensazione di diverse forme. Fonte: documento "Alza la testa"

La didascalia delle foto sopra cita invece che "gli aerei di linea non volano in formazione e non seguono rotte di questo tipo", ma è risaputo che in cielo ci sono anche aerei di altro genere: quelli militari, per esempio, il cui ruolo è appunto volare in formazione e seguire le rotte necessarie alle loro missioni.



Scia di condensazione apparentemente interrotta. Fonte: documento "Alza la testa"

Nella didascalia della foto del documento preso a riferimento (sopra), si cita che in questo caso sono stati spenti e riaccesi i motori. In realtà è un effetto ottico molto comune nelle scie di condensazione, e dovuto all'ombra che altre formazioni nuvolose sicuramente presenti a distanza non eccessiva (la cui presenza si intuisce anche in basso nella foto) proiettano sulla scia stessa dando l'illusione di una interruzione. Anche in questo caso nulla di strano.

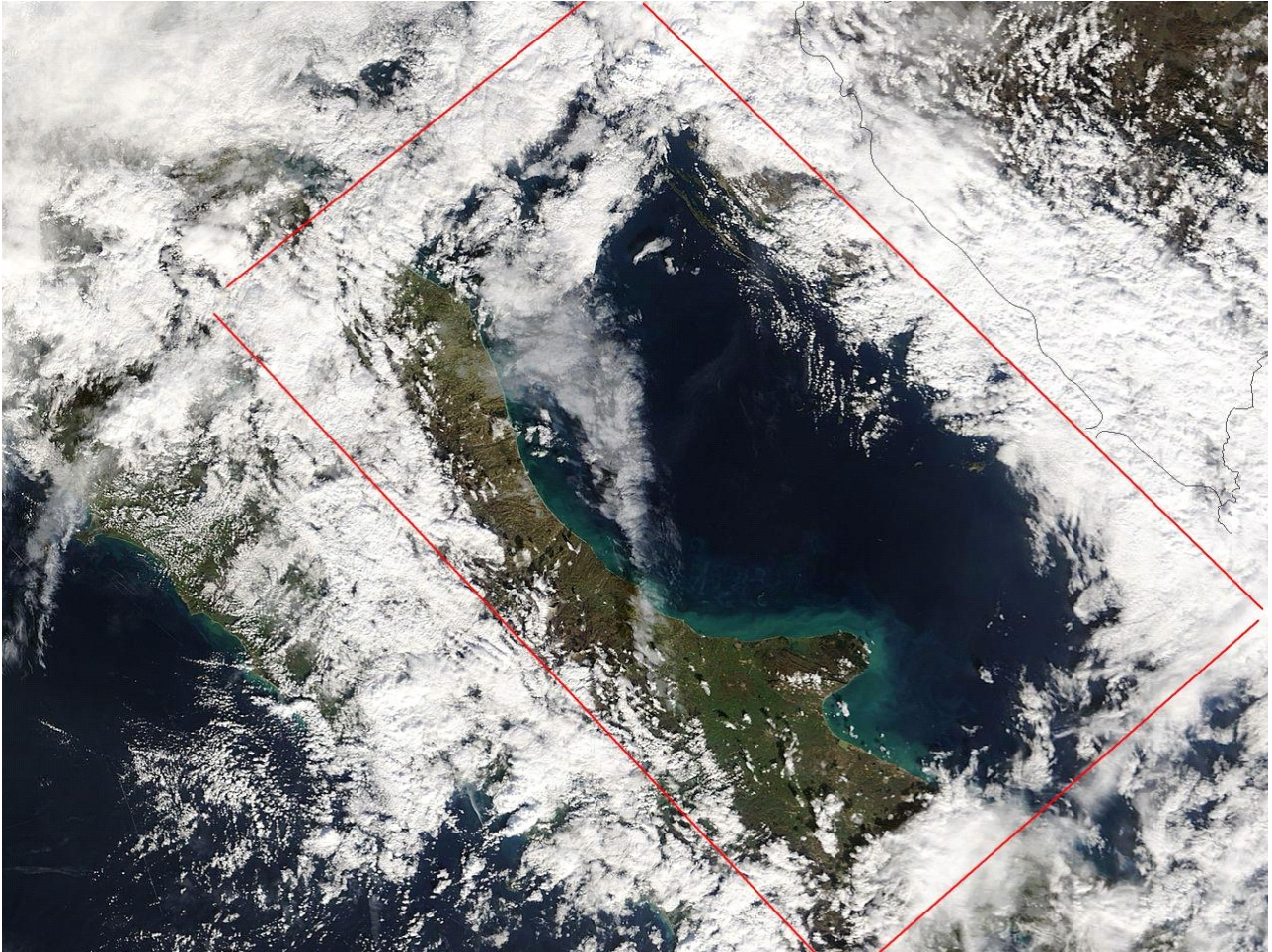
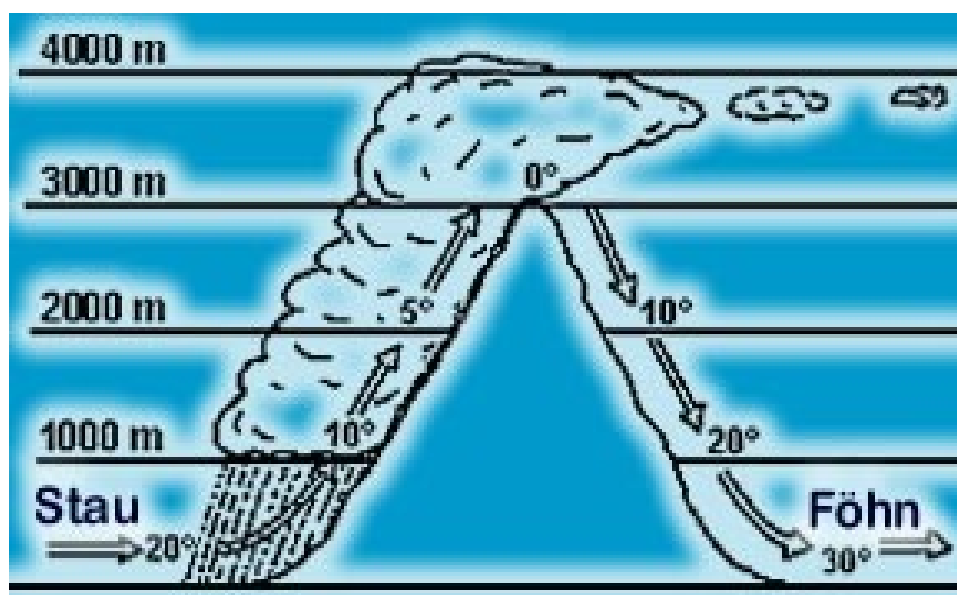


Immagine sat con nuvolosità da stau e schiarite da fohn. Fonte: documento "Alza la testa"

Secondo le teorie complottiste questa immagine sat (sopra), peraltro molto bella sotto il profilo didattico, dimostrerebbe come si impedisca di far piovere sul versante adriatico. In realtà a non far piovere ci pensa madre natura tramite una banale e conosciutissima legge fisica, vale a dire la compressione adiabatica delle masse d'aria quando esse si riversano nel versante sottovento di una catena montuosa (in questo caso l'Appennino). In quella giornata le correnti presenti in medio-bassa troposfera erano orientate da SW a NE provenendo dal mar Tirreno in condizioni meteorologiche alquanto disturbate. Le correnti sudoccidentali impattano la catena appenninica, sono sottoposte ad ascendenza forzata (orografica); l'aria si espande salendo a quote alle quali la pressione è più bassa, si raffredda e giunge a condensazione. Risultato: nubi e precipitazioni da "stau" sul versante sopravvento della catena montuosa. Sul versante adriatico accade il fenomeno opposto: l'aria si riversa verso valle, si riscalda per compressione adiabatica dovuta ai moti discendenti (catabasi), la temperatura aumenta e l'umidità relativa cala; in questo caso le nubi non si formano o se sono presenti si dissolvono, dando luogo a cieli poco nuvolosi o sereni con assenza di piogge. Sono le ben note correnti di fohn appenninico, un vento caldo e secco che in quelle aree inibisce la presenza di precipitazioni qualora le correnti provengano da SW. Tra l'altro proprio il fatto che le correnti occidentali o sudoccidentali siano dominanti a livello di vento medio annuale, è uno dei motivi per i quali le regioni tirreniche hanno piovosità assai maggiore rispetto a quelle adriatiche a causa dei fenomeni dello stau e del fohn, il cui schema è proposto di seguito.



Schema semplificato dell'effetto stau e föhn. Fonte: guida alla meteorologia G.Roth

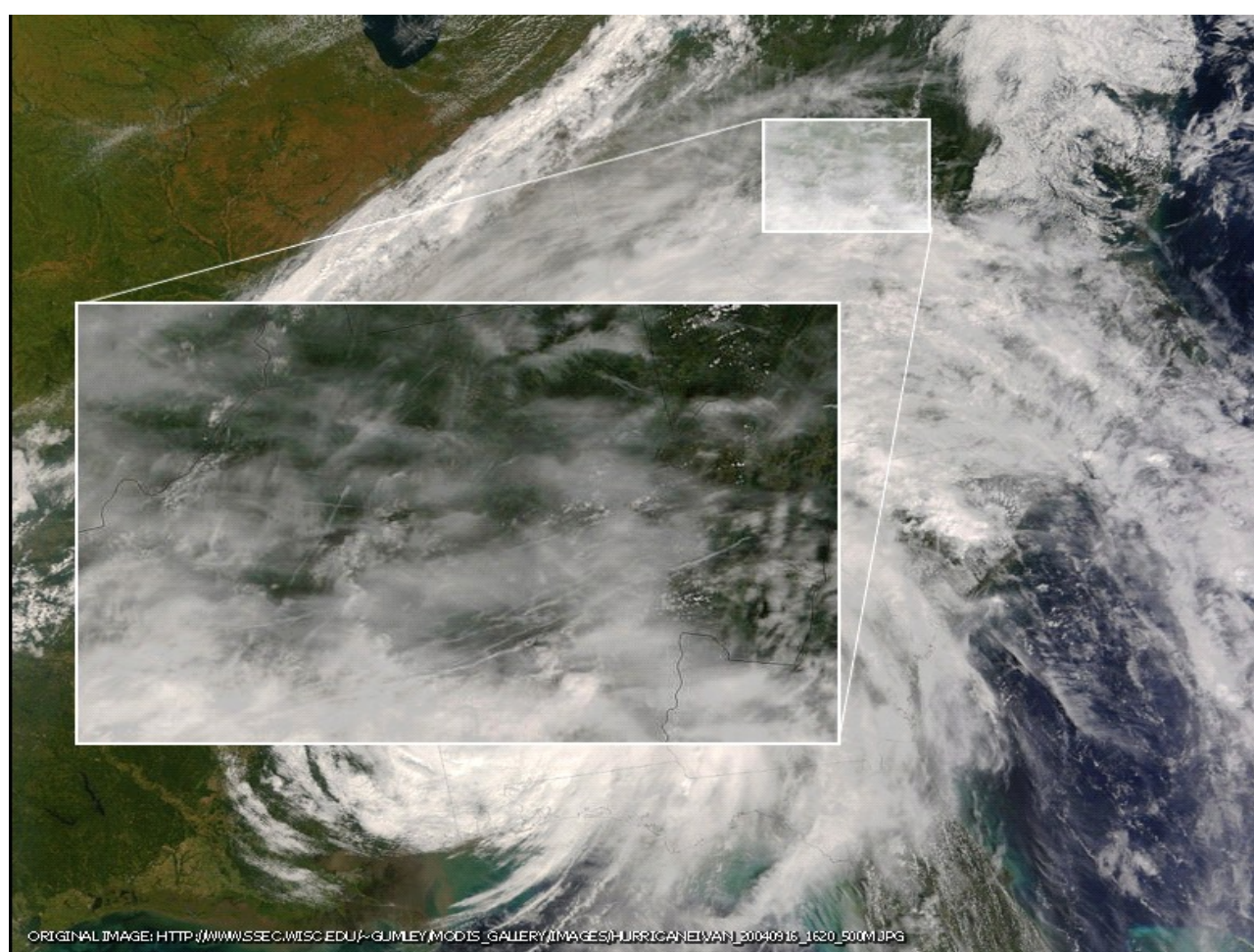
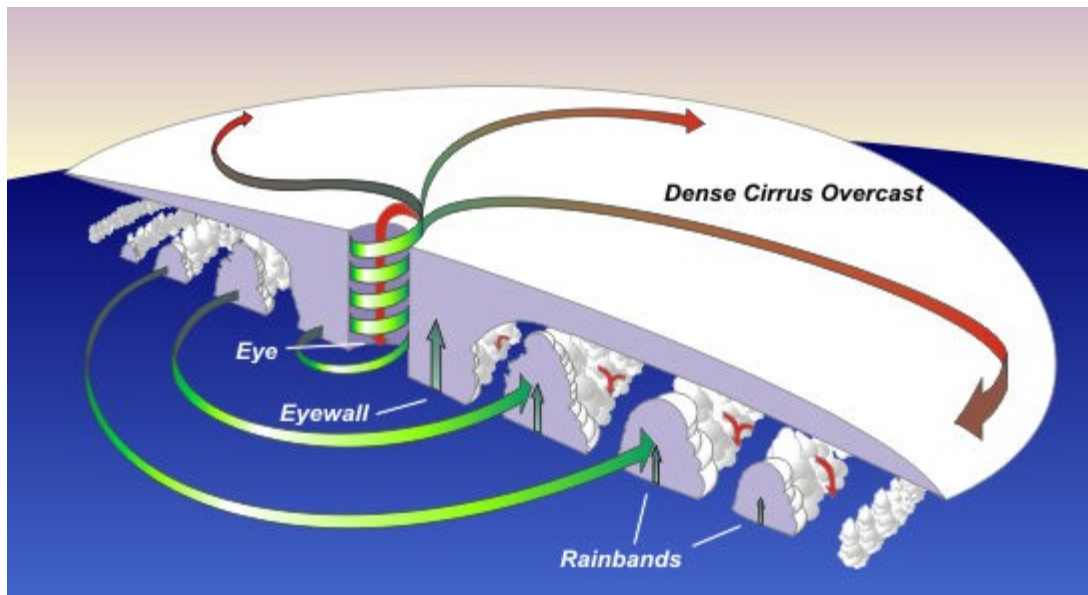


immagine sat relativa ad un ciclone tropicale. Fonte: documento "Alza la testa"

Secondo il famigerato documento in questo caso addirittura si sta tentando di controllare un ciclone (tropicale aggiungiamo noi, poiché nel documento non è neppure specificato).

Ancora una volta nulla di nuovo: è risaputo che le correnti di outflow (fuoriuscita) che alle alte quote divergono dal sistema convettivo principale caratterizzato da potenti moti ascensionali, producono intensa nuvolosità cirriforme o cirrostratiforme comportandosi similmente ad un fronte caldo. A scala ben maggiore e con migliore organizzazione accade un po' la stessa cosa che capita nei comuni cumulonembi allo stadio di maturità: l'incudine si appiattisce a contatto con la tropopausa e diverge in una densa banda di cirri o cirrostrati che hanno maggiore inclinazione nel verso delle correnti predominanti a quelle quote. Nei cicloni tropicali i moti divergenti d'alta quota espandono vaste distese cirriformi o cirrostratiformi, e se è possibile la formazione di cirri e cirrostrati, oppure la loro persistenza, è possibile anche la formazione e la persistenza di contrail.



Schema semplificato di distribuzione della nuvolosità in un ciclone tropicale. Fonte: NOAA

Proseguiamo la disamina con altre immagini che hanno ben poco di misterioso.



Altocumuli radiati: Fonte: documento "Alza la testa"

Nella foto sopra, sempre figlia del medesimo documento, si paventa che la nube raffigurata sia una innaturale evoluzione di una scia chimica composta da polveri che oscurano il sole. Invece si tratta di un comunissimo altocumulo del tipo radiato, nube che

possiamo notare in cielo centinaia di volte e che non ha alcuna correlazione con le scie di condensazione.

Il termine radiato si adotta ogni qualvolta i cirri, gli altocumuli, gli altostrati, gli stratocumuli e i cumuli sono disposti in bande parallele; può verificarsi un caso per cui le bande stesse sembrano convergere verso un punto dell'orizzonte che viene chiamato punto radiante.

Questi altocumuli sono molto influenzati dalla radiazione in onda lunga (infrarossa) in ingresso ed in uscita dalla loro superficie superiore ed inferiore.

Il raffreddamento al top produce una convezione verso il basso che conferisce allo strato una conformazione particolare. Le goccioline emettono radiazione su un dato intervallo di lunghezza d'onda mentre l'aria libera emette soltanto in quelle bande dove assorbe, ed in queste il calore può essere assorbito o ceduto soltanto molto lentamente. In tal modo il top della nube emette a lunghezze d'onda per le quali l'aria libera è trasparente ed è raffreddato per perdita di calore verso lo spazio. Questo aspetto induce una forte inversione al top della nube rendendola caratterizzata da delle specie di piccoli rotoli molto ravvicinati tra loro.



Velo di cirrostrati con alone solare. Fonte: documento "Alza la testa"

Altra nube (foto sopra) che di misterioso non ha nulla: non è composta da polveri strane, ma semplicemente da cristalli di ghiaccio; è il cirrostrato appartenente alla famiglia delle nubi alte. Essi contengono milioni di cristalli di ghiaccio, ognuno dei quali funziona come una lente in miniatura. Quando la luce del Sole o della Luna passa attraverso i cristalli di ghiaccio esagonali dei cirrostrati, può essere rifratta e formare i fenomeni alonari. Gli aloni si differenziano fra loro in base all'elevazione della fonte luminosa ed in base alla forma ed al movimento dei cristalli di ghiaccio che possono essere piatti od allungati; essi appartengono alla categoria delle "fotometeore". Tra l'altro gli aloni sono buoni predittori di

un possibile peggioramento del tempo essendo sovente correlati al settore più avanzato di un fronte caldo.



Cirro con iridescenza. Fonte: documento "Alza la testa"

Altra immagine (sopra); nel documento si afferma che questi giochi di luce sono del tutto innaturali e dovuti a nubi artificiali formate sempre da polveri misteriose o metalli diffusi dagli aerei. Molto più banalmente siamo in presenza di un bellissimo cirro con iridescenza. Le nubi costituite da minuscoli cristalli di ghiaccio possono formare corone quando passano davanti al Sole, alla Luna o, in rari casi, ad un astro con magnitudine visuale nulla o negativa. Esse sono costituite da una serie di cerchi colorati sovrapposti fra loro o disgiunti, con raggio variabile da alcuni primi d'arco a circa 10° . Si possono trasformare in iridescenze con colorazioni irregolari ed apparentemente caotiche se gli anelli si sfilacciano; in questi casi il fenomeno può essere visto fino a 45° dal Sole. Gli anelli assumono i colori dello spettro con il rosso verso l'esterno a differenza degli aloni che hanno il rosso all'interno. Le nubi che generano le corone devono essere sottili e semitrasparenti, come ad esempio i cirri. Si possono formare in ogni stagione ed in ogni luogo, sono molto frequenti le formazioni di iridescenze alle estremità delle nubi lenticolari in alta montagna. Anche le iridescenze appartengono alle fotometeore e ve ne sono di moltissime tipologie, del resto la letteratura scientifica è molto ricca in tal senso. Tra l'altro sono fenomeni conosciuti da tantissimi anni.

Sorvoliamo su altre immagini del documento che fanno sempre riferimento a comunissime fotometeore delle quali si è già trattato a sufficienza.



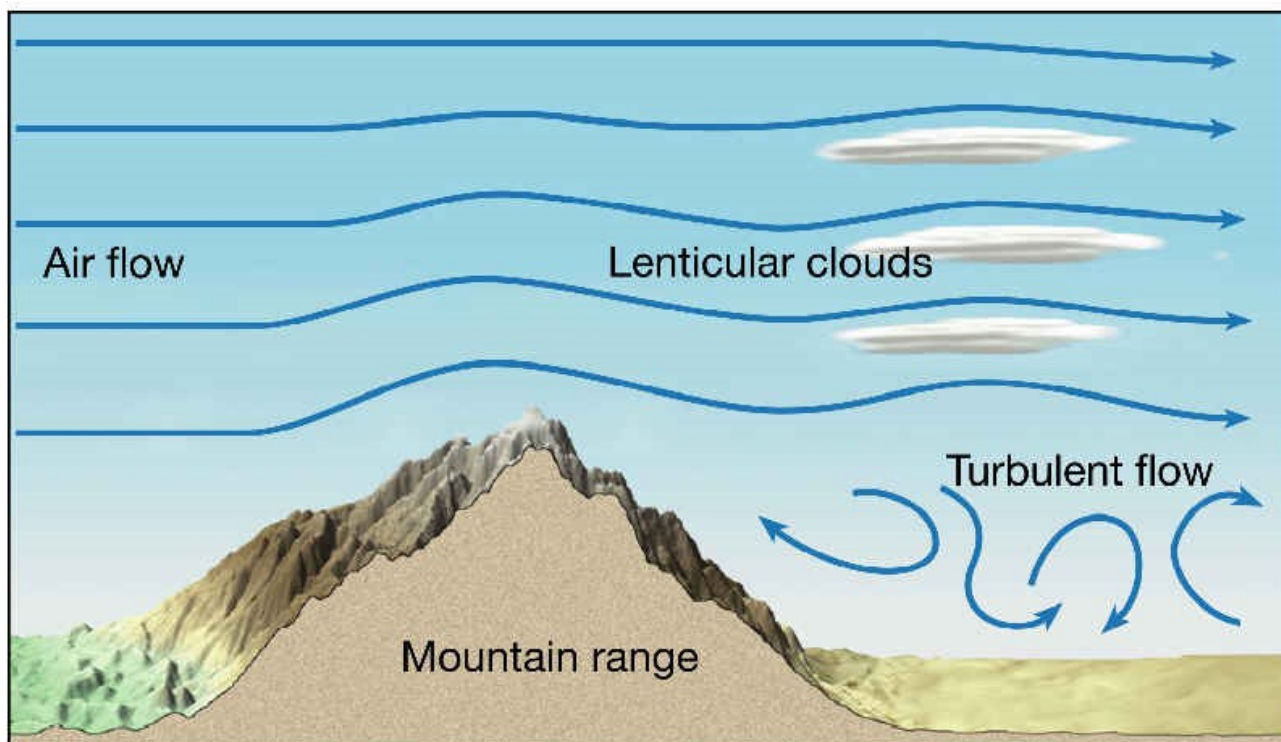
Altocumuli lenticolari: Fonte: documento "Alza la testa"

Nel documento si afferma che le nubi nella foto sopra non hanno forme o consistenze consuete. Sono invece anch'esse formazioni arcinote: si tratta di **altocumuli lenticolari**, caratteristici dei fenomeni d'onda. I cristalli di ghiaccio o le goccioline di acqua al loro interno si formano e scompaiono continuamente poiché sono generati dal raffreddamento adiabatico dell'aria che sale verso la cresta dell'onda, e spariscono alla successiva discesa. Queste nubi hanno forma a lente.

La loro formazione prende il via quando le correnti incontrano un sistema montuoso e tendono a generare delle ondulazioni sul versante sottovento. Questo fenomeno, detto "effetto d'onda orografica", è di norma invisibile, ma se abbiamo sufficiente umidità in corrispondenza delle creste delle onde, gli altocumuli lenticolari si formano laddove il flusso si solleva e si dissolvono dove il flusso discende.

Dato che le montagne hanno quasi sempre una morfologia irregolare e la forza del vento varia con la quota, le ondulazioni che si generano mostrano distanze variabili tra le singole creste d'onda e le nubi che ne derivano hanno una disposizione irregolare. Se il vento all'origine di questi movimenti ondulatori soffia a velocità quasi costante, la formazione nuvolosa resterà più o meno stazionaria nel cielo per lunghi periodi. Solitamente non producono precipitazioni malgrado l'aspetto a volte minaccioso; solo in caso di aria alquanto umida ed ispessimento della nube possono produrre lieve pioggia o pioviggine. Più spesso sono indice di tempo ventoso, ed in particolare annunciano ed accompagnano il fohn. A volte hanno anche l'aspetto di veri e propri dischi volanti, sembrando immobili nel cielo, ma non hanno alcuna correlazione con le scie di condensazione.

Lo schema semplificato della loro genesi è proposto di seguito:



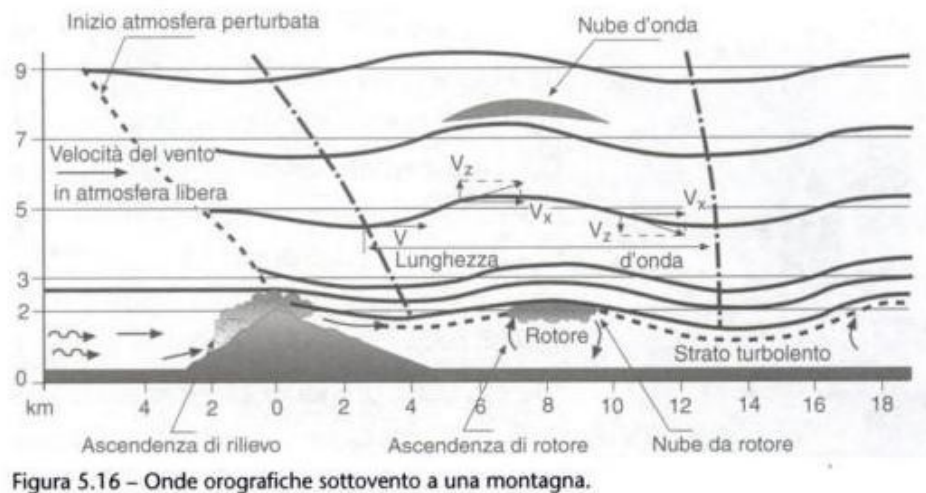
Schema semplificato della formazione degli altocumuli lenticolari: Fonte: Meted COMET



Altocumuli da rotore. Fonte: documento "Alza la testa"

Passiamo ad un'altra immagine (quella sopra) che, sempre secondo quanto affermato nel documento, rappresenterebbe un tipo di nube anomala ed inconsueta. Ovviamente il tipo di nube è assai conosciuto in meteorologia e lo si ritrova molto spesso anche nei nostri cieli. Si tratta di altocumuli da "rotore", una variante della tipologia vista in precedenza e che ha sempre origine orografica (rilievi si scorgono nella parte bassa della foto). In questo caso il flusso è orientato perpendicolarmente alla catena montuosa e rispetto al senso di maggiore lunghezza della nube. Gli altocumuli di questo tipo assumono forma di lunghi

rotoli e si generano ad onde non molto distanti l'una dall'altra; a volte sono sovrapposti a più livelli. Possono dare luogo a qualche debole pioggia o pioviggine se assumono uno spessore relativamente grande. La modalità d'innesco è schematizzata sotto e comunque esse non hanno mai origine né rappresentano l'evoluzione di un contrail, formandosi peraltro a quote più basse.



Schema semplificato della formazione degli altocumuli da rotore: Fonte: meteo.it

Come si vede dallo schema sopra le nubi da rotore si formano sovente a quote inferiori rispetto agli altocumuli lenticolari visti prima, anche se l'origine è sempre orografica. In realtà esse prendono forma tra il limite superiore del PBL e la base della cresta dell'onda orografica, mostrando aspetto maggiormente minaccioso a causa sia della turbolenza esistente tra i moti verticali di segno opposto ai lati della cresta, sia per la formazione di vortici ad asse orizzontale nel PBL.

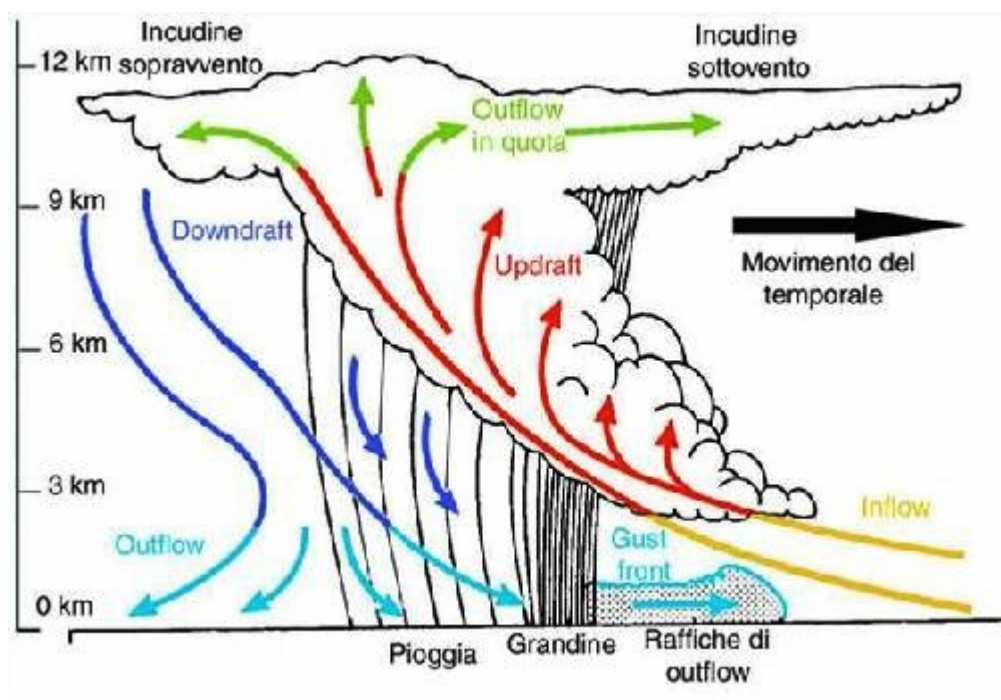


Spettacolare cumulonembo visto a grande distanza. Fonte: documento "Alza la testa"

Altra immagine presa dal documento in questione. In questo caso siamo di fronte ad una immagine spettacolare che evidenzia una enorme nube temporalesca (cumulonembo) in tutta la sua maestosità. Notiamo anche la grande incudine che denota stadio di massima maturità con updraft ancora ben attivo. La forma a fungo non ha nulla di anomalo ed è comune a molti cumulonembi (cumulonimbus capillatus incus): le correnti ascensionali sono talmente intense che il top della nube giunge fino alla tropopausa (oltre i 10.000 m), ovvero il limite che separa la troposfera dalla stratosfera, fascia nella quale la temperatura

ambientale tende a salire con la quota stabilendo una solida inversione. L'aria che sale all'interno del cumulonembo tenta di sfondare in stratosfera (a volte ci riesce, specie nelle supercelle) ma diviene quasi subito troppo fredda rispetto all'ambiente circostante, manca la spinta di Archimede ed i moti ascensionali si arrestano (proseguono per poco solo grazie alla spinta inerziale); la nube quindi si appiattisce al di sotto di questo invisibile "coperchio" (tropopausa) ed assume forma di incudine o fungo.

Di seguito si allega schema semplificato di quanto appena descritto.



Schema strutturale di un cumulonembo. Fonte: www.fenomenitemporaleschi.it

Andiamo oltre e giungiamo a considerazioni citate nel documento che oggettivamente non possono non far sorridere.



Altocumuli traslucidi in bande. Fonte: documento "Alza la testa"

Addirittura un gruppo di foto rappresentanti nubi come quella dell'immagine sopra testimonierebbe formazioni trattate con micro-onde (non si sa bene in che modo), e chiaramente ci si inoltra nello sproloquio. Per l'ennesima volta ci troviamo innanzi a nubi molto comuni, innocue e molto belle: gli altocumuli translucidi in bande. Sono composte da globuli sottili semi-trasparenti, disposti in bande, che gradualmente si distendono nel cielo e si ispessiscono in tutto il loro insieme. Talora disposti in uno o due fasci di righe parallele, come un vasto lastricato a screpolature più o meno rettilinee. Si riscontrano irregolarità nello spessore e somigliano molto alle striature nella sabbia prodotte dal vento. Infatti sono proprio i venti alla quota in cui si formano queste nubi che le modellano; soffiano perpendicolarmente alla disposizione delle bande e, compiendo piccole oscillazioni verso l'alto o verso il basso (piccole onde di gravità), dissolvono in alcune zone o ispessiscono in altre i singoli elementi che le costituiscono.

Naturalmente nulla a che vedere con scie o fantascientifiche micro-onde, solo la condensazione o sublimazione del vapore acqueo in gocce d'acqua o cristalli di ghiaccio, unitamente ai venti presenti in quota possono riuscire ad innescare nubi di siffatte forme.

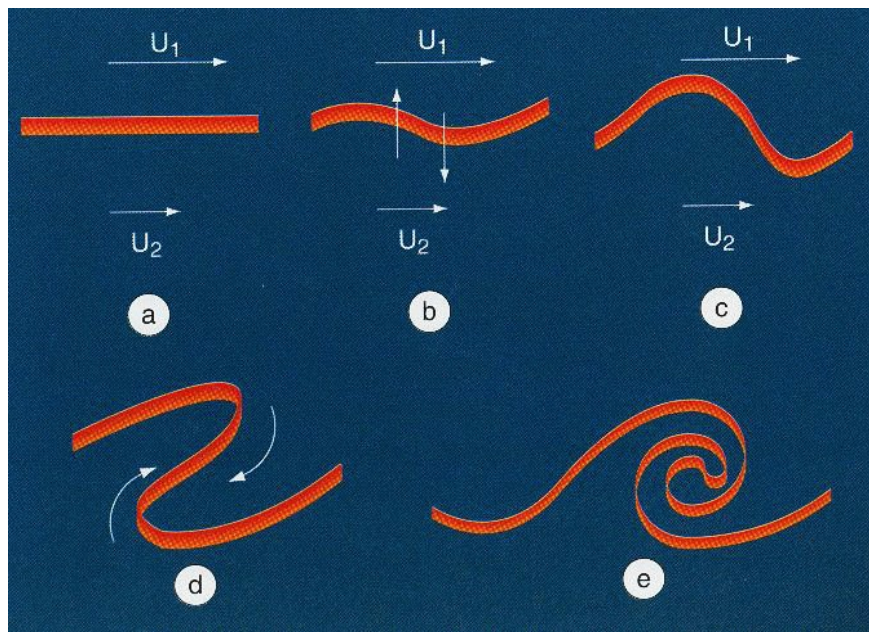


Nubi di Kelvin-Helmholtz. Fonte: documento "Alza la testa"

Nella foto sopra, sempre proveniente dalla medesima fonte, dovremmo trovarci di fronte ancora una volta a nubi “trattate” con micro-onde. Invece sono normalissime nubi innescate dalla instabilità secondo il meccanismo di Kelvin-Helmholtz, sebbene esse non siano molto frequenti e per di più di durata effimera dissolvendosi in fretta.

Hanno un'esile forma a spirale orizzontale, e devono il loro aspetto ad una discontinuità (shear) verticale nel campo del vento provocata dai flussi d'aria che scorrono al di sopra di un'altra massa d'aria che si muove con velocità o direzione differente. Questo dà origine a vortici verticali che producono una regolare struttura ad onde “arricciate”. Nella maggior parte dei casi la discontinuità del vento crea una serie di strati nuvolosi che ondeggiano sulla cresta di tali onde atmosferiche. Nel caso di questa foto i vortici sono abbastanza intensi con buon windshear e trascinano la nube dalla cresta dell'onda verso l'altro lato, un po' come un'onda marina che s'infrange in prossimità della costa. Compiendo un movimento rotatorio completo, queste onde descrivono un tracciato a spirale. Non producono precipitazioni, ma indicano turbolenze di un certo rilievo in quota. Non servono quindi aerei o generatori di onde elettromagnetiche, sono fenomeni del tutto naturali.

Si propone un semplice schema del fenomeno di seguito.



Innesco ed evoluzione delle onde di K-H dovute a windshear verticale. Fonte: www.brockmann-consult.de

Proseguiamo con la carrellata di immagini:



Mammatus cloud. Fonte: documento "Alza la testa"

La foto sopra si riferisce ad uno spettacolare esempio di mammatus clouds, tipiche formazioni nuvolose associate ai sistemi temporaleschi in genere di forte intensità. Sono nubi anch'esse assolutamente naturali e non forzate da alcun intervento esterno.

Quando gli updrafts portano parte delle precipitazioni verso l'alto, l'aria alla sommità del Cumulonembo perde gradualmente tutta la quantità di moto originaria e si estende orizzontalmente in tutte le direzioni divenendo parte dell'incudine stessa. Infatti l'aria nell'incudine, specie se in avanzato stadio di sviluppo, si è già raffreddata abbastanza da non poter più salire: se poi l'incudine si avvicina alla stratosfera allora i moti discendenti saranno ulteriormente favoriti dal momento che da quella quota, come già descritto, la temperatura ambiente comincia ad aumentare.

Quest'aria trasportata dall'updraft contiene una maggior concentrazione di cristalli di ghiaccio e goccioline d'acqua, quindi diverrà satura, più fresca e più pesante di quella circostante: ogni mammatus rappresenta pertanto un potenziale piccolo rovescio che però non raggiunge il suolo evaporando prima di arrivarci sia per l'aria più secca sottostante sia per l'aumento termico indotto dai movimenti discendenti stessi che dissolve la massa nuvolosa; si presentano sia sottovento sia sopravvento all'incudine, preferendo di gran lunga quest'ultimo settore, motivo per cui a volte possono inscenare uno straordinario spettacolo grazie all'assenza di nubi basse nella parte posteriore del temporale, come in questo caso.

Ora vediamo di analizzare un altro fenomeno solo apparentemente oscuro e misterioso, ma che in realtà è facilmente spiegabile ed anche assai noto a chi si occupa di nubi o più in generale di meteorologia.



Immagine di fallstreak holes: Fonte: documento "Alza la testa"

La foto ritrae un inquietante buco (secondo i cospirazionisti) in una distesa di nubi stratiformi, e qui per spiegare adeguatamente il fenomeno ci torna in aiuto la teoria di Wegener-Bergeron-Findeisen cui abbiamo accennato in precedenza. Diciamo che questo tipo di effetto non è molto frequente ma nemmeno così raro come si potrebbe pensare di primo acchito. La comparsa di cirri o il passaggio di un aereo con formazione di contrail al di sopra di nubi più basse formate solo o anche da goccioline di acqua, predispongono all'innescò del fenomeno; infatti avviene assai spesso la precipitazione verso il basso di alcuni cristalli di ghiaccio dalle nubi cirriformi o dalle scie.

Precipitando in basso possono entrare in una nube composta appunto da goccioline soprafuse. Le goccioline soprafuse, tramite il processo di accrezione si aderiscono ai cristalli di ghiaccio entrati nella nube i quali diventano più grandi e pesanti dando infine origine ad un fallout, ovvero una precipitazione.

Il ghiacciamento prosegue di norma spontaneamente all'interno della nube ed i fallstreaks si unificano nella parte più attiva del debole moto discendente con la creazione di un vero e proprio "buco" nello strato delle nubi. Non a caso i buchi si formano esattamente al di sotto della nube cirriforme o della scia che ne ha indotto la formazione. Sono detti Fallstreak holes e la oramai antica teoria di Bergeron ci spiega perfettamente la loro genesi. Nulla di preoccupante quindi.



Magnifico esemplare di fallstreaks holes. Fonte: documento "Alza la testa"

Nella foto sopra l'effetto è spettacolare e si nota bene anche il cirro sovrastante dal quale sono precipitati alcuni cristalli di ghiaccio in grado di dare il via al processo descritto. Ovviamente la precipitazione di cristalli verso il basso si arresta presto, sia per l'esiguità della quantità di cristalli in caduta, sia per la presenza di aria secca sottostante che ne determina la rapida sublimazione.

Non ci soffermeremo sulle fantomatiche "ombre" prodotte dalle scie (comunissimi effetti ottici; sono le scie stesse che proiettano la loro ombra sulle nubi cirriformi o cirrostratiformi nelle adiacenze), poiché oggettivamente la loro semplicità di formazione è estrema.

Allo stesso modo archiviamo rapidamente anche un'ultima immagine che rappresenterebbe un nube a forma sferica prodotta artificialmente:



Cella temporalesca vista dal satellite polare NOAA: Fonte: documento "Alza la testa"

Si tratta invece della sommità di una cella temporalesca vista dal sat. In realtà la nube nella foto ha una notevole estensione verticale e la forma tondeggiante è data dallo schiacciamento dell'updraft nella tropopausa con formazione di incudine, ed è questa che, allargandosi orizzontalmente, fa assumere la forma tondeggiante rilevabile al satellite. Basta una qualunque giornata per trovarne in quantità notevole, come nell'esempio seguente:

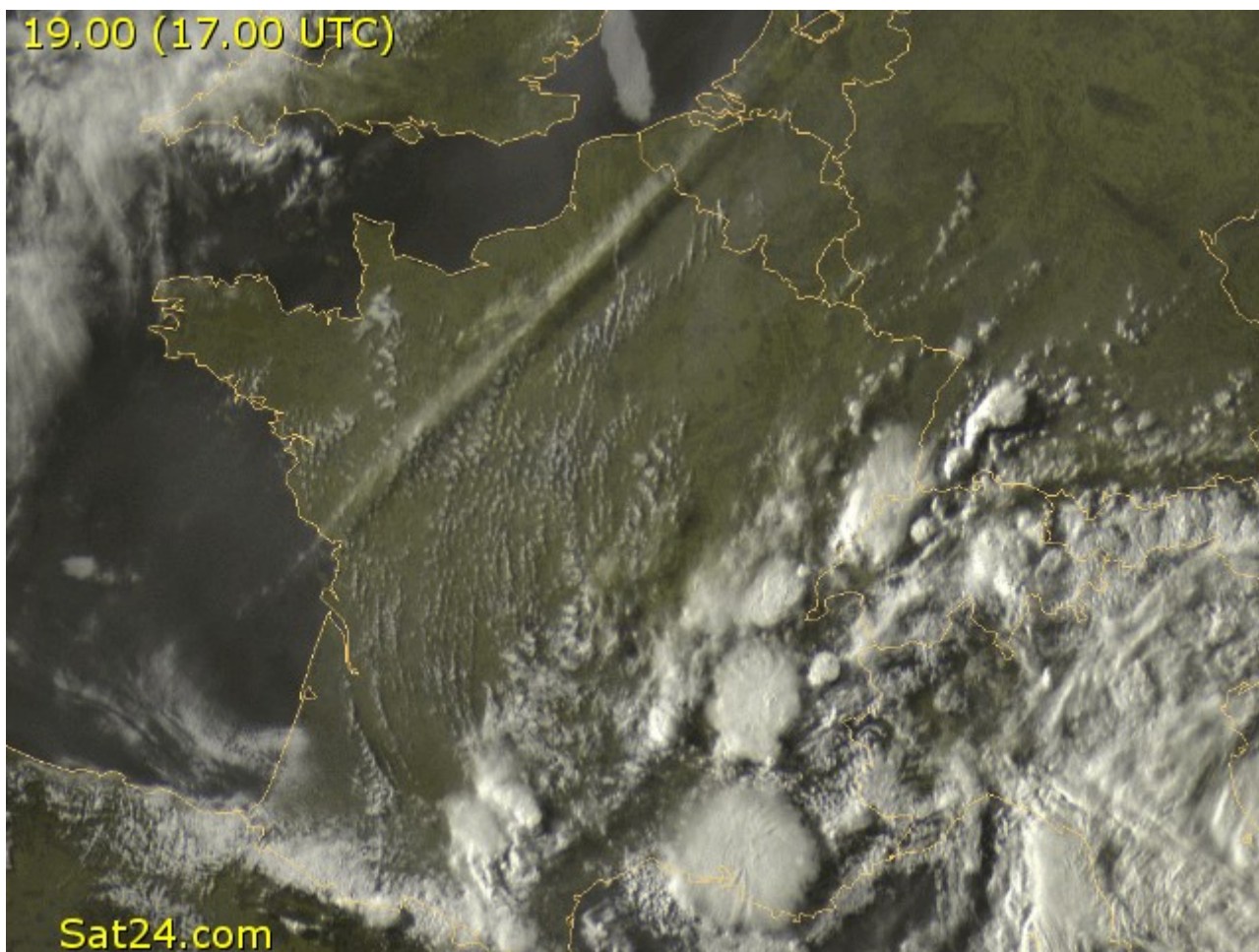


Immagine sat ore 19.00 locali del 21 aprile 2009. Fonte: Sat24.com

Ecco infatti alcune celle temporalesche dalla tipica sagoma tondeggiante su Francia orientale e meridionale estratte da una data qualunque (ma recente) dall'archivio satellitare.

Vediamo quindi di tirare qualche somma, sebbene ci sarebbero ancora altri aspetti da illustrare (come le diverse quote alle quali possono formarsi dette scie, sempre in funzione della temperatura e del tasso idrometrico ambientale, non sempre si formano a quote molto elevate, specie nel periodo invernale ad a latitudini alquanto elevate); il punto fondamentale è che comunque fino ad ora il materiale fatto pervenire attraverso i più disparati canali non presenta alcuna stranezza né tantomeno può essere fonte di preoccupazione trattandosi di fenomeni risaputi, conosciuti da tempo e facilmente spiegabili. In attesa ovviamente di prove più convincenti.

Si desidera altresì sottolineare come il presente lavoro, che potrà essere integrato da nuove considerazioni più avanti, non è dedicato ai cosiddetti cospirazionisti, i quali hanno oramai sottoscritto un atto di fede per il quale difficilmente cambieranno idea anche di fronte a prove negative schiaccianti, ma è altresì dedicato a coloro che nutrono dubbi, incertezze o paure su questi fenomeni o che più semplicemente vogliono approfondire le proprie conoscenze in merito, o ancora alle comuni persone ingiustamente allarmate dalla diffusione degli svariati documenti che girano in rete i quali, come sovente accade in queste circostanze, fanno leva sulla suscettibilità emotiva di coloro che giocoforza non possono avere basi scientifiche adeguate ad una disamina razionale di quanto propinato.

[Pierluigi Randi](#)

[Epson Meteo Regional Center](#)

[MeteoCenter](#)

[MeteoRomagna](#)