

Rubrica meteo (1) : Le ship trails

Luca Onorato - *Centro Meteo-Idrologico Regione Liguria (ARPAL-CMIRL)*
 luca.onorato@arpal.org

The phenomenon of ship condensation trails called "ship trails", still quite unknown is usually confined in the low-level marine boundary layer along with the other stratocumulus clouds off-shore. Ships release their exhaust fumes into the clean ocean air, where it is easier to point out the emissions effects on the clouds formation. These ships trails phenomenon is very well identified, due to cloud droplet size differences between the condensation trails (small cloud droplets) and the surrounding stratocumulus cloud deck (large cloud droplets). This phenomenon can exceptionally last for several days when it happens during a persistent high pressure system. This allows its identification through satellite imageries.

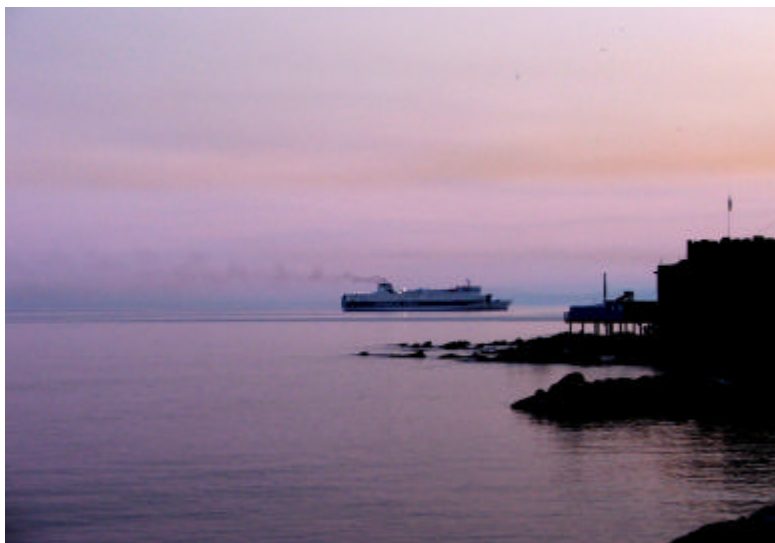
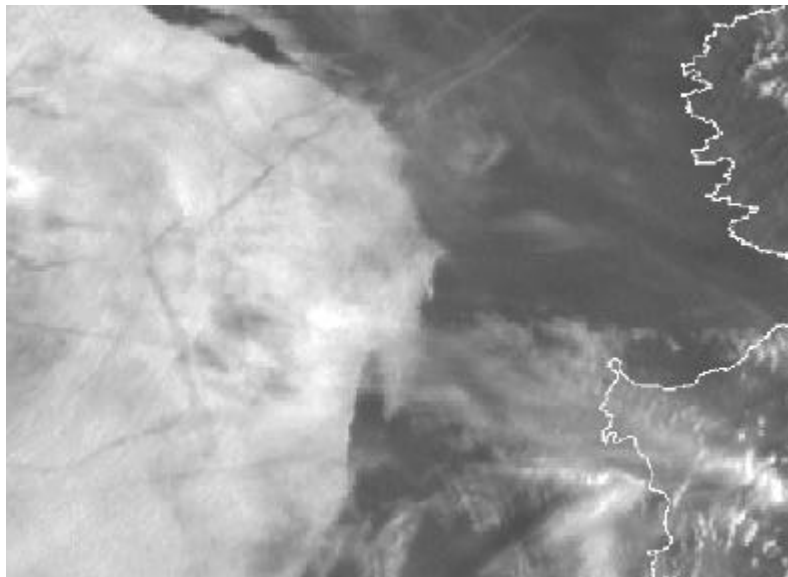
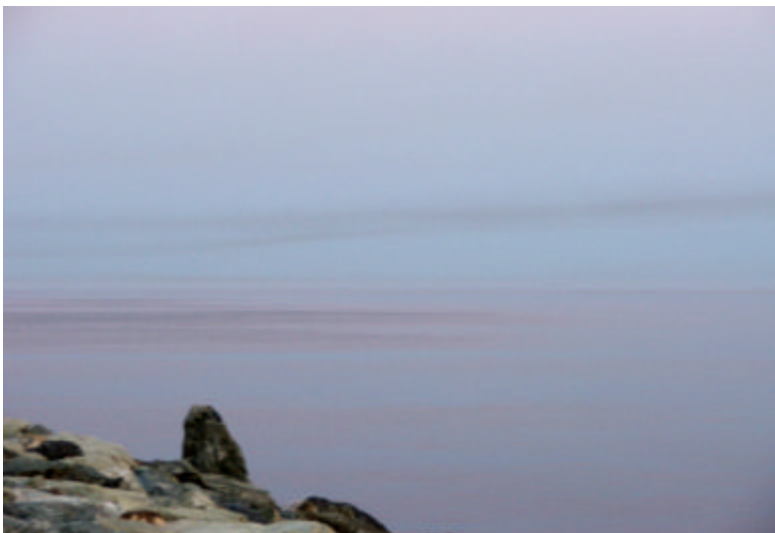


Fig. 1 - Il Fenomeni percussori delle 'Ship trail clouds' sono collegati ai fumi di scarico del traffico marittimo (F. De Bonis) e possono verificarsi in condizioni anticicloniche caratterizzate da una significativa stabilità della colonna d'aria che favorisce un ristagno degli inquinanti in prossimità della superficie marina.



1. Tracce nuvolose legate al trasporto marittimo

Dagli anni 80 ad oggi, oltre alle emissioni atmosferiche di origine naturale (eruzioni vulcaniche, incendi spontanei, tempeste di sabbia ecc.), si è andato via via registrando un deciso incremento delle emissioni antropiche: quest'ultimo contributo è il diretto responsabile una serie di perturbazioni caratterizzate da diverse scale spazio-temporali che hanno iniziato ad interessare l'intero comparto atmosferico. Basti pensare agli effetti locali legati alla formazione di ozono nelle aree urbane o all'incremento dei così detti 'gas serra', associato a mutazioni climatiche in atto sull'intero pianeta.

Infatti, l'uomo ha accelerato inconsapevolmente il processo di decomposizione negli ultimi decenni bruciando ingenti riserve di materia organica immagazzinata nei combustibili fossili, con un conseguente incremento della concentrazione della CO₂ e di altri aerosol atmosferici (ad esempio la SO₂). Tale tendenza si è accentuata con l'avvento dell'industrializzazione ed ha comportato una modifica del bilancio radiativo globale con una tendenza all'aumento della temperatura media superficiale (vedere box pagina seguente).

Nonostante le incertezze e le controversie i climatologi sono abbastanza d'accordo nell'affermare che piccole variazioni di CO₂ globale (in eccesso rispetto al ciclo naturale) possono produrre ef-

fetti mutevoli sul clima, poiché tale gas agisce come una serra, permettendo così alle radiazioni visibili di penetrare in atmosfera, per poi comportarsi da trappola nei confronti della radiazione irraggiata nell'infrarosso dalla superficie verso l'alta atmosfera. Oltre all'inquinamento da CO₂ l'uomo tende a produrre un altro tipo di perturbazione che è legata all'emissione di particolato atmosferico; infatti, le caratteristiche microfisiche delle particelle in sospensione (di origine naturale e antropica) tendono a condizionare la riflessione di energia raggiante, modificando così la riflettività globale e in ultima analisi i precari equilibri climatici in atto.

Se a questo quadro aggiungiamo anche l'interazione tra gli aerosol di origine antropica con il vapore acqueo presente in atmosfera, la situazione tende a complicarsi ulteriormente, poiché l'incremento del particolato si traduce in una diminuzione della dimensione media delle gocce, portando così ad un aumento della loro concentrazione con conseguenti modifiche dei fenomeni nuvolosi e precipitativi; infatti, recenti studi hanno evidenziato come tali cambiamenti fossero legati da una parte ad un incremento della copertura nuvolosa (e del suo tempo di permanenza in atmosfera), dall'altra ad un'inibizione delle precipitazioni con conse-

L'annata 2004 ed il trend delle temperature superficiali

Nel 2004 la temperatura superficiale del globo ha oltrepassato di 0,4 °C il valore normale calcolato sul periodo 1961-1990.

Tale dato situa il 2004 in 4° posizione rispetto agli anni più caldi a partire dal 1961 dietro però al 1998, il 2002 e il 2003. Per cui anche i valori di quest'annata confermerebbero il riscaldamento del clima osservato nell'ultimo decennio con un incremento termico nell'emisfero Nord di circa 1,8 °C nel corso del secolo ed evidenti anomalie positive di temperatura che hanno interessato il continente asiatico, l'Alaska, gli Stati Uniti occidentali e zone offshore dell'Atlantico Settentrionale (fonte: Météofrance, 2005).

guenti modifiche sull'intero ecosistema nel medio-lungo termine.

Tra i cambiamenti meteo climatici indotti dalle attività umane, il fenomeno delle 'scie di condensazione' formate dal traffico aereo (contrails), così come quello indotto dei gas di scarico delle navi (denominate più correntemente ship trails), presentano caratteristiche del tutto peculiari su cui si è focalizzata parte della ricerca scientifica per comprendere meglio i meccanismi che regolano l'immissione e la dispersione d'inquinanti in atmosfera.

La ricerca si è concentrata sulla formazione delle contrails e sui possibili cambiamenti climatici indotti dall'intenso traffico aereo, mentre la conoscenza del fenomeno simile, ma originantesi dal traffico marittimo, risulta più limitata. Infatti le ship trails oltre ad essere poco conosciute, sono

anche meno visibili rispetto ad altri fenomeni meteorologici poiché oltre ad avere una bassa probabilità di accadimento tendono a manifestarsi in mare aperto (offshore), anche in presenza di nubi basse e stratiformi tra le quali si possono facilmente confondere. Inoltre, sono difficilmente localizzabili da un punto di osservazione posto in prossimità della superficie (costiero o marino che sia) proprio a causa del loro limitato sviluppo verticale. Infatti le ship trails, rimangono generalmente confinate a livelli più bassi dell'atmosfera in prossimità della superficie marina, contrariamente alle contrails che si originano negli strati prossimi alla tropopausa.

Tuttavia, in particolari condizioni meteorologiche, può accadere che questo fenomeno sia identificato attraverso il satellite e, se particolarmente persistente, possa essere seguito nella sua evoluzione, come ci testimonia la straordinaria quanto rara immagine d'apertura proveniente dal satellite Meteosat Second Generation (MSG). In questo caso è possibile evidenziare con estrema chiarezza gli effetti della nuvolosità legata ai fumi rilasciati al largo della Corsica e della Sardegna, attraverso singole tracce presenti sia esternamente che internamente alla nuvolosità stratiforme.

In alcune situazioni eccezionali, caratterizzate dalla presenza di un robusto campo anticiclonico, può accadere che la nuvolosità prodotta dagli scarichi delle navi tenda ad espandersi in veri e propri filamenti nuvolosi in lento movimento secondo la debole circolazione ai bassi livelli. Poiché il fenomeno possiede una maggiore riflettività rispetto alla nuvolosità di origine naturale (stratiforme), può essere monitorato ed osservato dal satellite, anche per un intervallo temporale di parecchie ore se non di giorni (come nel caso presentato in figura 2).

L'incremento locale della riflettività (albedo) sembrerebbe essere dovuto alle piccole gocce di vapore acqueo che si formano attorno nuclei di condensazione contenuti nei fumi di scarico immessi dalle navi in un ambiente poco o per nulla inquinato (come quello oceanico) e caratterizzato da bassissime concentrazioni di aerosol. Contrariamente ai nuclei di

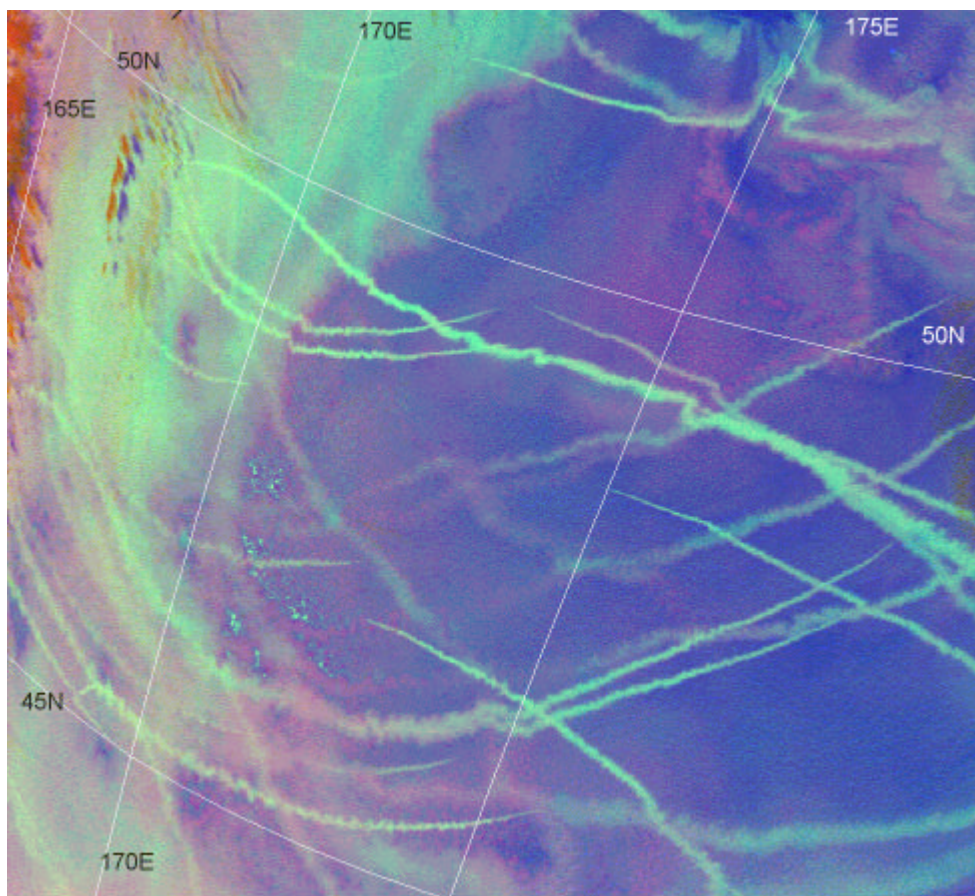


Fig.2 - Dal satellite NOAA AVHRR si evidenziano chiaramente le "Ship trail clouds" causate dal traffico marittimo (fonte Eumestat; canale RGB-NIR-IR), nell'atlantico orientale in presenza di un esteso sistema anticiclonico

condensazione naturali (caratterizzati da dimensioni maggiori), le piccole gocce che si formano attorno ai nuclei derivanti dai fumi di scarico, una volta immesse nell'ambiente non riescono a precipitare a causa della taglia e tendono così a persistere maggiormente nel comparto atmosferico.

2. Ship trails e strato limite atmosferico

Le Ship trails, pur sviluppandosi nello strato atmosferico immediatamente a contatto con la superficie marina, sono indirettamente legate alla circolazione dell'alta atmosfera in quanto si possono manifestare in presenza di una zona anticiclonica ben strutturata e persistente (vedi figura 3) a tutte le quote, caratterizzata da un'inversione termica nei bassi livelli; infatti l'andamento termico della colonna d'aria evidenzia un progressivo isolamento di uno strato umido e più freddo, ben differenziato dalla massa d'aria più calda e secca sovrastante che è caratterizzata da significativi fenomeni di subsidenza tipici del regime anticiclonico. In queste condizioni i fumi emessi dalle navi non possono disperdersi nell'atmosfera, restando così confinati nelle prime centinaia di metri d'altezza, in prossimità dello strato limite dell'atmosfera o boundary layer (si veda box a fianco).

3. Le ship trails come traccianti di inquinanti in ambienti poco contaminati

In zone urbane o industriali (interessate da continui fenomeni d'inquinamento) risulta abba-

Strato limite (Boundary layer)



Lo strato limite è ben visibile nella fotografia scattata nelle prime ore del mattino nella zona costiera antistante il porto di Genova in condizioni d'inversione termica e lo scarso rimescolamento dell'inquinamento originatosi dalla zona portuale e costiera. Tale strato che non fa parte della divisione standard presenta un limite ai bassi livelli molto variabile, che risente dei processi termodinamici, quali ad esempio riscaldamento diurno, raffreddamento notturno, evaporazione, traspirazione ecc...

Viene definito come la regione entro la quale l'atmosfera risente degli effetti superficiali attraverso scambi di quantità di moto, calore e umidità. In particolare, l'individuazione dell'altezza di mescolamento (h) è di estrema importanza per una caratterizzazione climatologica di un'area specifica, quando si vogliono studiare i problemi legati all'inquinamento.

Libera atmosfera è lo strato che sovrasta lo strato limite (PBL) ed è caratterizzato da un'escursione termica molto ridotta e una minore turbolenza rispetto allo strato limite

stanza difficile comprendere come gli inquinati possano contribuire alla formazione di nubi in quanto l'atmosfera può risultare

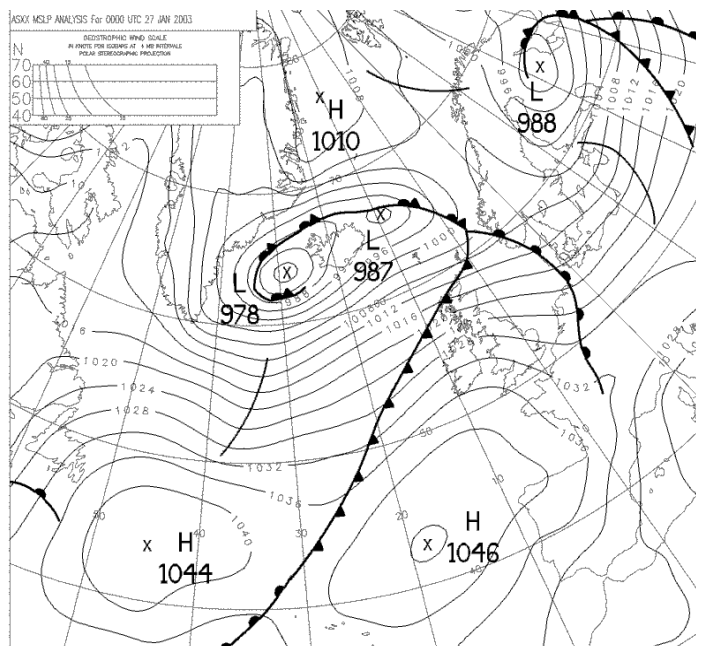
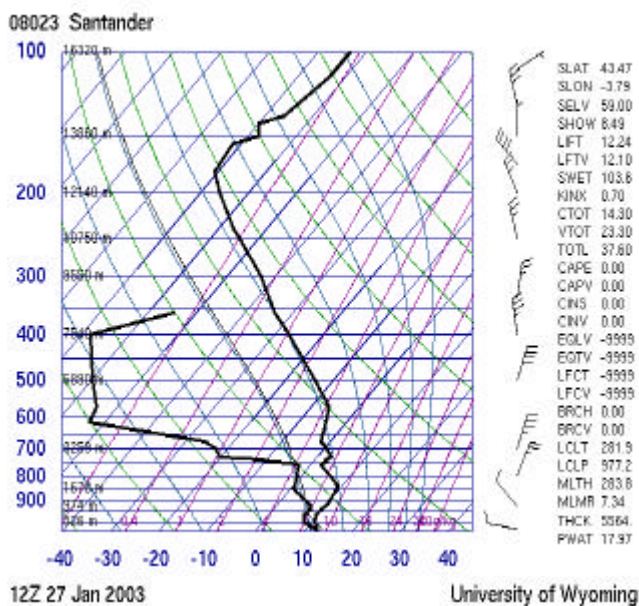


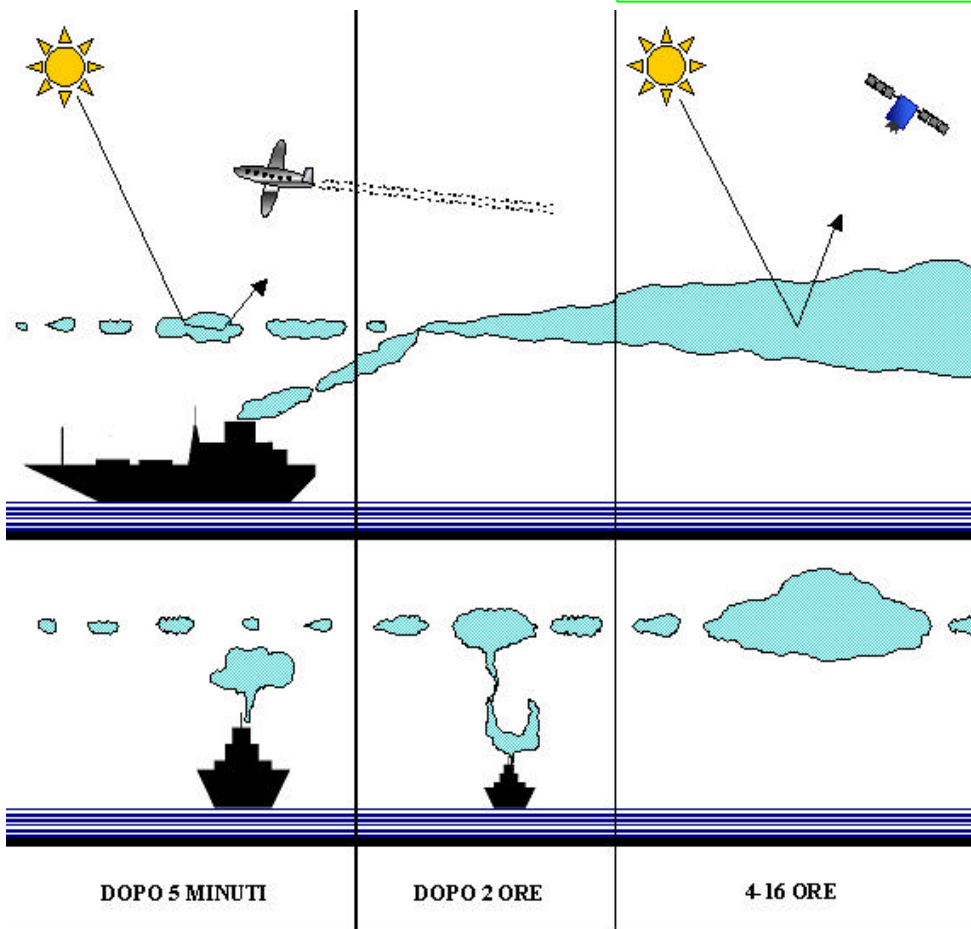
Fig. 3 - Il radiosondaggio di Santander (costa spagnola atlantica di Bilbao) del ore 12 del 27 gennaio 2003 e l'analisi al suolo dei fronti per le 00 UTC dello stesso giorno, evidenziavano per la presenza di un esteso anticiclone delle Azzorre al di sotto del 50° N

più o meno miscelata. Per questo motivo il fenomeno delle ship trails in ambiente oceanico ha fornito l'occasione ad alcuni ricercatori di studiare fonti d'inquinanti emesse in ambienti remoti, dove le concentrazioni degli aerosol derivanti dalle attività umane sono molto basse o quasi inesistenti. Proprio in queste zone poco contaminate sarebbe più semplice misurare gli effetti dell'emissione dei combustibili fossili sulla formazione della nuvolosità.

Il fenomeno delle 'Ship trails' si può spiegare con un aumento locale della concentrazione di nuclei di condensazione associati ai gas di scarico delle navi. Se queste unità, singolarmente non rappresentano un'importante fonte d'inquinamento, invece lo possono diventare quando i fumi dei natanti in passaggio rimangono isolati nello strato a contatto con la superficie marina: gli scarichi si comportano da nuclei di condensazione solo nello strato più umido e freddo, confinato al di sotto di una massa d'aria sovrastante che è relativamente più calda a causa dei significativi fenomeni di subsidenza. Così, quanto i fumi liberati dall'imbarcazione entrano a contatto dello strato d'aria più superficiale che

Droplets e Raindroplets

Gran parte particelle di pulviscolo atmosferico che risultano possedere dimensioni comprese tra 0.1 e 5 micron possono agire da nuclei di condensazione agevolando il coagulo delle molecole di vapore acqueo. I nuclei di condensazione possono essere costituiti in prevalenza da sale marino, solfati e nitrati con una taglia dimensionale media generalmente < 0,2 micron. Le neonate gocce di nube (droplets) formatesi dall'unione di molecole di vapore eccedente possono raggiungere dimensioni di 10-50 micron e concentrazioni dell'ordine delle centinaia di milioni per metro cubo. Tende così ad originarsi la nuvola le cui microscopiche goccioline galleggiano sostenute dalle correnti ascendenti che hanno portato alla saturazione del vapore acqueo. Così la formazione di raindrops (dal diametro compreso tra qualche millimetro e 200 micron) avviene attraverso differenti processi che vedono l'aggregazione casuale di centinaia di milioni di droplets tra loro. A questo meccanismo, che da solo non basta per spiegare la formazione delle particelle d'acqua che cadono all'interno della nube, si sommano anche fenomeni di coalescenza; in questo caso le gocce di dimensioni maggiori vengono trascinate su e giù dai moti verticali all'interno della nube e tendono a catturare nel loro movimento gocce più piccole raggiungendo per l'appunto dimensioni attorno a 200 micron, con una conseguente ricaduta e nuova cattura di altre goccioline fino alle dimensioni delle gocce di pioggia reali. Nella collisione le gocce più grandi possono catturare una certa frazione di goccioline urtate, attraverso un processo che è tanto più efficace quanto più la nube è densa. Quando poi le gocce urtate raggiungono diametri superiori a circa 200 micron e non sono più sostenute dalle correnti ascendenti, tendono a ricadere all'interno della nube, catturando in tal modo altre gocce e ingrossandosi ulteriormente. Solo se il numero di goccioline urtate e lo spessore della nube sono abbastanza grandi (diametri di 0,5-2 mm) le raindrops ingrossate usciranno dalla base della nube, raggiungendo così la superficie, quando la base della nuvola è sufficientemente bassa e l'umidità dell'ambiente di caduta risulta elevata (in modo da contrastare l'evaporazione delle gocce stesse).



si è raffreddato dal basso a contatto con la superficie oceanica, le goccioline di nubi chiamate 'droplet' (vedere box qui sopra), tendono via via a formare una coltre nuvolosa più compatta e persistente.

La traccia iniziale (Fig. 1) legata ai gas di scarico, essendo relativamente più calda rispetto all'aria preesistente, tende ad espandersi per alcune centinaia di metri fino a quanto il moto verticale viene bloccato dall'inversione termica, come evidenziato dal radiosondaggio mostrato in fig. 3. Una significativa espansione laterale che rende la nuvolosità ben visibile dal satellite tende via via a prevalere sul movimento verticale quando la nave si allontana dal punto d'emissione (vedere schematizzazione in fig. 4). Si possono verificare fenomeni di sovrassaturazione caratterizzati da un locale aumento delle concentrazioni di droplets (immessi artificialmente dal traffico marittimo), che a causa delle ridotte dimensioni rispetto alle goccioline di origine naturale, tendono così a persistere maggiormente in atmosfera (da 2 a 16 ore) senza andare incontro a fenomeni di coalescenza e quindi di successiva precipitazione.

4. Le ship trails nell'occhio del satellite

Le formazioni nuvolose legate a fenomeni d'inquinamento, come quelle originatesi dalla condensazione dei fumi di scarico delle

Fig.4 le ship trails possono formare nuvole che non tendono a precipitare, persistendo così anche per un tempo di vita di alcuni giorni con un conseguente sviluppo nuvoloso legato alle particelle di nucleizzazione (evidente nella visione di lato e di poppa del vascello per i differenti istanti temporali e l'allargamento della coltre nuvolosa rilasciata dalla nave molte ore dopo il suo passaggio). Realizzazione grafica a cura di Veronica Bonati (su base C. Floor, 1988)

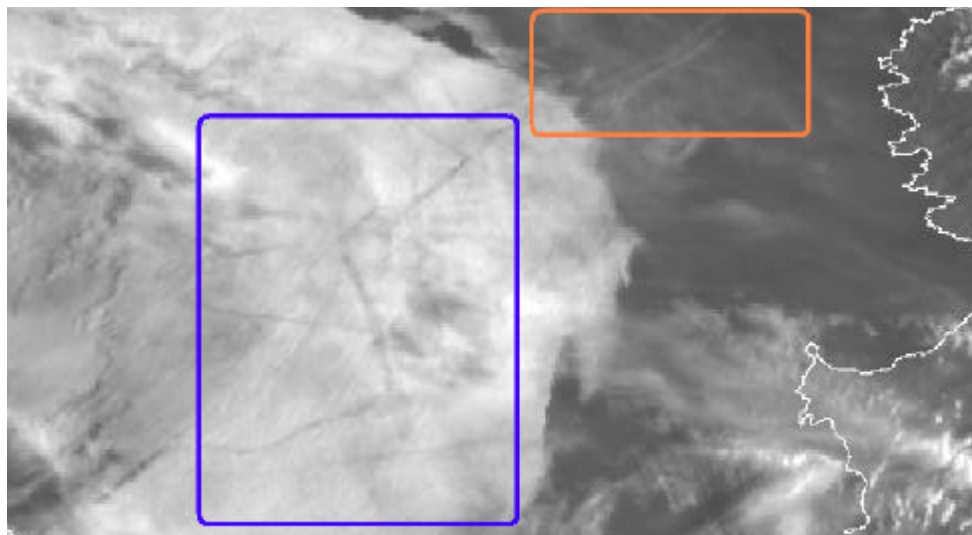


Fig. 5 - L'immagine in alto evidenzia la possibile formazione del fenomeno (f. Onorato) e si riferisce ad una giornata inizio estiva caratterizzata da condizioni relativamente stabili ed un accumulo ai bassi livelli dei fumi di scarico provenienti da una nave in uscita dal porto di Genova in condizioni relativamente stabili; l'immagine in basso (già mostrata in apertura) rende bene l'idea del fenomeno, così come ripreso dal satellite il 23 marzo 2005 al largo dei settori occidentali della Corsica e Sardegna. Sono evidenti le tracce sia esternamente alle nubi stratiformi (striature chiare nella parte delimitata da bordo arancione in alto a destra nella foto), sia internamente (le tracce più scure all'interno della nube più calda e dalle tinte chiare delimitata da bordo blu).

navi tendono ad avere una riflettività maggiore rispetto alle nubi atmosferiche e sono caratterizzate da particelle (idrometeore) più piccole e più numerose. Come nell'immagine d'esempio, ricavata dal satellite del NOAA, le nubi rilasciate dal traffico marittimo presentano un colore più giallastro se confrontate con quelle naturali che invece presentano un colore tendente al rosso (vedere la precedente fig. 2). E' possibile scorgerele dal satellite Meteosat 6 e Meteosat 7 nel canale del visibile, poiché si presentano con un colore più chiaro rispetto alla maggior parte della nuvolosità d'origine naturale. Particolarmente evidenti sui canali del visibile del Meteosat a causa del maggiore albedo che le caratterizza, possono tuttavia apparire nelle immagini prossime all'in-

frarosso, canale più sensibile alla taglia delle gocce rispetto al visibile. Se l'infrarosso può essere d'aiuto per evidenziare le scie di condensazione degli aerei (nubi alte molto fredde del tipo cirrus o cirrocumulus), invece le tracce nuvolose legate a fenomeni di condensazione dei gas di scarico delle imbarcazioni non sono sempre chiaramente individuabili in questo canale, poiché la loro temperatura è prossima a quella superficiale marina.

5. Fenomeni legati alle emissioni di origine naturale

Le diverse emissioni, indipendentemente dalla loro origine, sono generalmente responsabili di un'alterazione degli strati nuvolosi a causa dell'incremento

dei nuclei di condensazione presenti in atmosfera. Questi fenomeni che sono associati ad un aumento della copertura nuvolosa comportano un generale aumento della riflettività della luce solare in quanto questa nuvolosità presenta un albedo maggiore rispetto alle nubi naturali. Un esempio proviene dall'analisi delle particelle sospese trasportate dalle tempeste di sabbia. In questo caso, infatti, il particolato agisce come nucleo di condensazione per le particelle di vapore acqueo che poi combinandosi tra loro danno origine ai cloud droplets (precursori delle gocce di pioggia o rain droplets, potenzialmente in grado di cadere sulla superficie terrestre). Dall'analisi in campo e da recenti studi (che si avvalgono anche di simulazioni modellistiche), è emerso come un aumento delle concentrazioni di sabbia in atmosfera tenda a far diminuire quantitativamente le precipitazioni. I risultati preliminari indicano che l'aumento dei nuclei di condensazione, legati alla formazione di droplets, tende a competere per una limitata concentrazione sia di vapore acqueo, sia d'acqua presente allo stato liquido. La maggior parte delle particelle che agiscono come centro di enucleazione per il vapore acqueo, determinano così una minore concentrazione di acqua per ogni centro. Il risultato finale si traduce in una combinazione di cloud droplets che presentano dimensioni minori rispetto alle condizioni naturali. Quindi, ne conseguirebbe un effettivo abbassamento della probabilità di formazione di rain droplets ed in ultima analisi del quantitativo di precipitazioni.

6. Per saperne di più

Ship trails in the Region off the bay of Biscay (www.Eumetsat.de)

Immane: Satellite meteorology - european ad international news, n18, may 2003 (http://www.eumetsat.int/en/area2/image/PDF/image18_e.pdf)

15 July 1998 -- GOES-9 Visible - Ship Condensation Trails Off the California Coast (<http://cdebsjournal.topcities.com/Jan2302.htm>)

Ringraziamenti

Un particolare ringraziamento va al Dr. Gallino per il materiale riguardante le ship trails e alla Dr.ssa Bonati per il prezioso contributo di elaborazione grafica