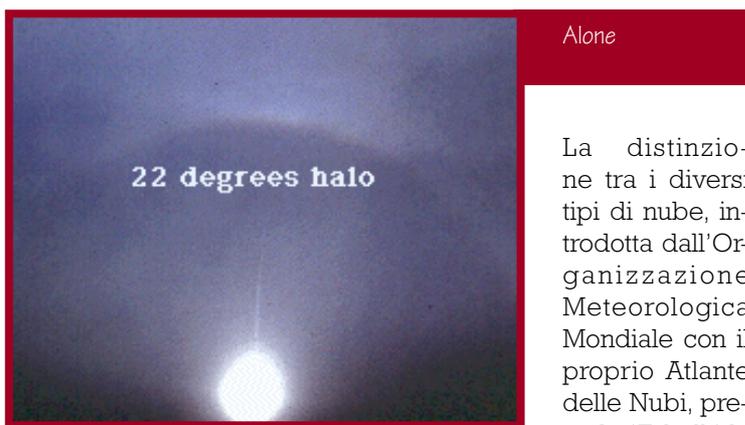


LE NUBI terza parte

CLASSIFICARE LE NUBI

Di Marco Tadini

Concludiamo l'argomento inerente la classificazione delle nubi, pur limitandoci, secondo quanto già detto nei numeri precedenti, ad una visione d'insieme che non affronta il dettaglio di una catalogazione eccessivamente complicata, riservata ad un ambiente professionale.



Alone

22 degrees halo

La distinzione tra i diversi tipi di nube, introdotta dall'Organizzazione Meteorologica Mondiale con il proprio Atlante delle Nubi, prevede (*Tabella*) la

definizione di una serie di *generi*, *specie* e *varietà*, a cui vanno aggiunte le cosiddette *particolarità supplementari* e le *nubi accessorie*. I **generi** sono dieci e sono quelli che già conosciamo come "nomi" delle nubi, ciascuno accompagnato dalla sua abbreviazione caratteristica; i generi sono ovviamente auto-escludenti, nel senso che una nube può appartenere ad uno e ad uno soltanto dei dieci casi previsti (ovviamente, una nube non potrebbe mai essere contemporaneamente un cirro ed un cumulonembo!). Si noti che, seguendo la convenzione stabilita internazionalmente, i termini della classificazione sono stati riportati nella corretta dizione latina. Le **specie** permettono di suddividere i generi in base alla forma, alle dimensioni, alla struttura interna ed ai processi fisici eventualmente coinvolti nella formazione delle nubi stesse; sono quattordici, sono anch'esse autoescludenti (una nube può quindi presentare una sola delle specie previste per il suo tipo: ad esempio, un cirro potrà essere o "fibratus" o "uncinus", ma non le due cose insieme) e nella *tabella* appaiono accompagnate dalla sigla del tipo di nube che ne può essere interessata. Generi e specie vengono ulteriormente suddivisi

in *varietà*, determinate considerando o la trasparenza della nube o la posizione di elementi macroscopici al suo interno; le varietà sono nove, ma diversamente dai casi precedenti, non sono auto-escludenti: una nube può infatti essere descritta utilizzando contemporaneamente due o più delle varietà disponibili per il proprio tipo. Una nube può infine presentare contemporaneamente una o più **particolarità supplementari** (viene ad esempio detta "incus", incudine, quell'appiattimento caratteristico della cima dei cumulonembi, provocato dall'incontro con l'inversione termica della tropopausa) o **nubi accessorie**; vengono così dette quelle nubi (una o più) che accompagnano altre nubi, rimanendo generalmente più piccole e separate, o solo parzialmente fuse, dalla principale.

Le nubi alte: **Cirri (Ci), Cirrostrati (Cs) e Cirrocumuli (Cc)**

Sono le nubi che si formano ai livelli superiori della troposfera, al di sopra dei 20.000 piedi circa (6000 metri), risultando composte da una preponderanza di cristalli di ghiaccio, motivo per il quale appaiono di aspetto sottile e di colore bianco brillante, anche se possono poi presentare colorazioni diverse quando il sole è basso sull'orizzonte. I **Cirri** appaiono privi di uniformità, spesso sottili e a ciuffi, a volte con riccioli più brillanti e marcati e con tutte le forme intermedie. Si formano per la salita di aria umida nell'alta atmosfera, anche non in associazione con eventi frontali nella bassa troposfera; a volte possono anche essere ricondotti al decadimento delle parti superiori dei cumulonembi. Appaiono come Cirri anche le **scie di condensazione** dovute al passaggio di aeromobili in volo ad alta quota attraverso aria molto fredda, dove la temperatura provoca l'immediata trasformazione del vapore dei gas di scarico in cristalli di ghiaccio. In generale, essendo alti e tenui, i Cirri non comportano una significativa riduzione della radiazione solare incidente, né sono in grado di inibire il raffreddamento notturno della superficie terrestre. Diversamente dai Cirri, i **Cirrostrati** prendono invece la forma di un velo uniforme a coprire tutto il

Cirri



-- U. of Illinois Cloud Catalog --



Cirrostrati

-- Photograph by Robert M. Rauber --
-- U. of Illinois Cloud Catalog --

cielo, attraverso il quale è sempre possibile rilevare il Sole o la Luna con un interessante effetto di **alone**¹. Vengono prodotti dalla lenta ascesa di aria che condensa o sublima nell'alta troposfera, di solito precedendo un evento frontale caldo. Cirri e Cirro-

strati, sebbene possano semplicemente segnare il fluire in quota di masse d'aria dalle caratteristiche differenti da quelle presenti al suolo², sono difatti più comunemente conosciute come le nubi che costituiscono il primo segnale di una variazione delle condizioni meteorologiche, nella fattispecie quelle, appunto, caratteristiche dell'approssimarsi di un fronte caldo. Cirri e Cirrostrati non portano precipitazioni, a causa del loro esclusivo contenuto di cristalli di ghiaccio e possono svilupparsi a tutte le ore del giorno e della notte, anche se le loro caratteristiche "evanescenti" ne rendono difficile o del tutto impossibile l'osservazione in assenza di luce solare. I **Cirrocumuli** sono, infine, l'equivalente in quota degli **Alto cumuli** e degli **Strato cumuli** (*che analizzeremo in seguito*), ma sono molto meno comuni di entrambe e risultano formati da "celle" allineate in modo tale da ricordare le ondulazioni della sabbia. I **Cirrocumuli** nascono, infatti, per il moto ondoso o per la turbolenza che attraversa uno strato umido nell'alta atmosfera; la nube rende così visibile la marcata differenza tra le direzioni del vento alla base ed alla cima dello strato stesso, nonché la trama delle correnti ascendenti e discendenti. Anche i **cirrocumuli** non producono precipitazioni e sono associabili, a volte, con condizioni di tempo buone.

Il movimento delle nubi alte tende a rappresentare quello del fluire dei venti alle alte quote, il che non coincide necessariamente con la direzione del vento al suolo. Pur potendo variare a seconda della latitudine, della stagione dell'anno e delle condizioni meteorologiche, la loro più comune direzione di

¹ L'**alone** (*halo*) è un anello che appare a circondare il Sole o la Luna ad una distanza di circa 22°, in conseguenza del fenomeno fisico della *rifrazione* della luce, provocato dai cristalli di ghiaccio della nube, quando questi hanno forma esagonale e diametro inferiore ai 20,5 millesimi di millimetro.

² Una loro persistenza può in questo caso essere associata alla presenza di una *corrente a getto* (*jet stream*).

provenienza è quindi quella occidentale, in accordo con le grandi correnti da ovest (*westerlies*) che rappresentano i moti preponderanti dell'atmosfera nella fascia extratropicale o temperata. La loro velocità apparente è comunque bassa, paragonata a quella delle nubi di quota inferiore.

Le nubi medie: **Alto cumuli (Ac) e Altostrati (As)**

Le nubi medie sono così dette perché si sviluppano negli strati intermedi della troposfera, tipicamente tra i 6500 ed i 20.000 piedi (da 2000 a 6000 metri). A causa della loro quota inferiore, sono composte principalmente da gocce d'acqua, anche se possono contenere cristalli di ghiaccio in presenza di temperature sufficientemente basse. Nella maggior parte delle sue forme, l'**Alto cumulo** presenta una struttura "a bande" o globulare, con o senza fratture intermedie, dovuta

alla turbolenza degli strati umidi della media troposfera (apparendo, a volte, anche in più strati successivi), con ombreggiature interne che la rendono facilmente distinguibile dai più elevati **Cirrocumuli**³. Gli **Alto cumuli** si formano per l'attività convettiva interna ad uno strato umido in quota, ma anche per la dispersione delle cime dei cumuli o dei cumulonembi, specialmente nelle ultime ore del giorno. Quando osservati nelle prime ore di una calda ed umida mattina estiva, possono invece annunciare la formazione di temporali nella seconda parte della giornata. Gli **Altostrati** sono invece nubi più prettamente stratiformi, che si formano per la lenta ascesa di aria che precede un fronte caldo o un'occlusione, dove spesso introducono le prime precipitazioni. Appaiono spesso sottili e nebbiosi, ma non appena si ispessiscono divengono di un uniforme grigio scuro. Coesistono frequentemente con nubi di quota inferiore e possono arrivare a confondersi con i Cirri o i Cirrostrati più elevati. Composti principalmente



-- Photograph by Ronald L. Holle --
-- U. of Illinois Cloud Catalog --

Alto cumuli

³ Gli **Alto cumuli**, inoltre, non producono *alone*.



-- Photograph by Ronald L. Holle --
-- U. of Illinois Cloud Catalog --

Stratocumuli

da gocce d'acqua, Altostrati sottili possono produrre pioggia debole, che però, il più delle volte evapora prima di raggiungere il suolo, fenomeno questo noto con il termine di **virga**.

Nubi basse: Stati (St), Stratocumuli (Sc) e Nembostrati (Ns)

Le nubi basse sono composte principalmente di gocce d'acqua, poiché hanno base solitamente al di sotto dei 6500 ft (2000 metri); possono tuttavia presentare anch'esse ghiaccio e neve nell'eventualità di temperature molto rigide. Gli **Strati** sono nubi dall'aspetto uniforme, prive di particolari caratteristiche, spesso con una base al di sotto dei 500 metri (1650 ft) e sempre interamente formate da gocce d'acqua; sono tenui e sottili, specialmente quando risultanti dall'innalzamento delle nebbie (la nebbia stessa può essere considerata come uno Strato con base al suolo). I venti umidi che spirano lungo le coste o sopra le colline vengono frequentemente innalzati quanto basta per dare luogo alla formazione di Strati o "nebbie collinari" (*hill fog*); i venti caldi che invece scorrono su una superficie fredda, specialmente se innevata, producono Strati estesi, dall'aspetto simile alla nebbia ma con base innalzata rispetto al terreno. Quando la pioggia o la neve cadono attraverso aria chiara, tendono a raffreddare gli strati

Nembostrati



-- Photograph by Ronald L. Holle --
-- U. of Illinois Cloud Catalog --

umidi sottostanti alla nube di provenienza, producendo macchie frastagliate di strati che, posti al di sotto della nube principale, vengono allora detti **frattostrati**. Gli **Stratocumuli** sono probabilmente tra le nubi più comuni e rappresentano la versione ai bassi livelli dei superiori Altocumuli e Cirrocumuli; si formano infatti nei primi chilometri di quota, quando la turbolenza portata dal vento innalza l'aria al di sopra del suo livello di condensazione. Anche lo Stratocumulo mostra una caratteristica struttura "a bande", solitamente disposte in modo trasversale alla direzione del vento; con il trascorrere del tempo queste bande tendono a dissolversi nel loro lato sottovento ed a riformarsi in quello sopravvento, dando così l'impressione di un lento movimento di rotolamento attraverso il cielo. Gli Stratocumuli possono a volte essere interrotti da squarci di cielo sereno, ma molto più frequentemente diviene possibile apprezzarne lo spessore e la profondità solo grazie alle loro diverse tonalità di grigio; gli Stratocumuli, infatti, si presentano spesso in strati multipli, quando non in combinazione con altre nubi, tipicamente Altocumuli. Lo Stratocumulo è completamente formato da gocce d'acqua e, sebbene non associato di per se stesso con la pioggia, può marcatamente aumentare la consistenza delle precipitazioni che lo attraversano, provenendo da nubi più alte⁴. Gli Stratocumuli possono a volte formarsi per estensione di nubi cumuliformi, ma più frequentemente vengono a nascere al di sotto di un'inversione termica, laddove la combinazione tra il raffreddamento radiativo di uno strato d'aria umida e la presenza di correnti convettive, che innalzano lo strato stesso dal basso, portano alla formazione di nubi che vengono forzate ad espandersi sotto l'inversione; in questo caso è la presenza di turbolenza nel flusso del vento a conferire allo strato di nubi la caratteristica struttura "a rotoli". I **Nembostrati**, infine, sono nubi stratiformi spesse ed estese, che provocano pioggia o neve; rappresentano lo stadio immediatamente precedente l'arrivo di un fronte caldo, quello cioè successivo all'ispessimento degli Altostrati. Il Nembo-

strato appare scuro dal di sotto, ma non appena la pioggia o la neve intensificano, la sua base può divenire indistinguibile, con l'appendice di brandelli di frattostrati bassi; la forma tipicamente

⁴ Il processo è noto con il termine inglese di *seeder/feeder*, difficilmente traducibile nella nostra lingua, almeno con altrettanta "eleganza".

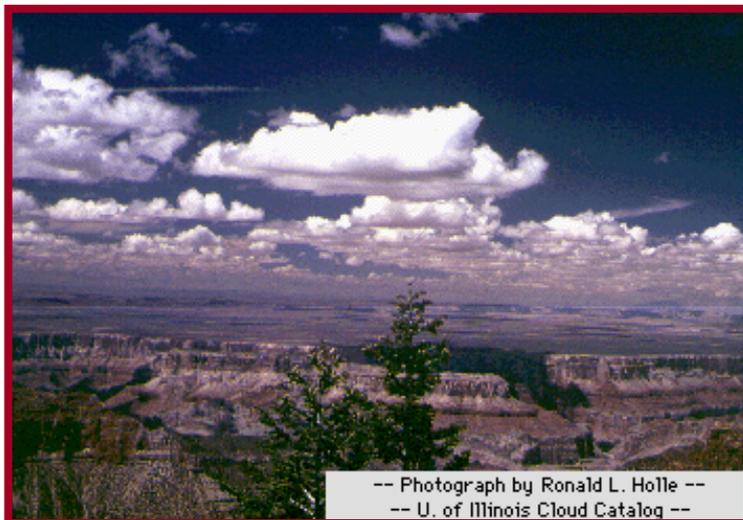
amorfa dei Nembostrati li porta a volte ad avere uno spessore tale da venire da alcuni autori classificati non come nube stratiforme bassa, ma tra quelle a sviluppo verticale. Questa nube ha un alto contenuto di acqua e può provocare severi fenomeni di *icing* agli aeromobili.

Nubi a sviluppo verticale: Cumuli (Cu) e Cumulonembi (Cb)

Generalmente di origine frontale o termica, queste nubi possono presentare dimensioni verticali superiori ai 12.000 metri (39.000 ft), rilasciando incredibili quantità di energia (sotto forma di *calore latente*⁵) attraverso i processi che involgono il cambiamento di fase dell'acqua presente all'interno della stessa nube. Il **Cumulo** è la nube convettiva più comune e si forma solo quando l'atmosfera è instabile, secondo quanto abbiamo già visto discutendo a proposito del sondaggio termodinamico: una bolla di aria calda s'innalza adiabaticamente⁶ oltre il proprio livello di condensazione, formando una nube dal caratteristico aspetto "a panna montata", il cui sviluppo verticale prosegue sino a quando l'instabilità atmosferica è in grado di mantenere il processo d'innalzamento. Le nubi cumuliformi tendono a formarsi separatamente l'una dall'altra, senza quindi possedere la notevole estensione orizzontale tipica di quelle stratiformi, proprio poiché sono queste stesse bolle a staccarsi in modo individuale

⁵ Il **calore latente** è il calore assorbito dall'acqua che evapora; occorrono infatti 600 calorie per trasformare in vapore 1 gr acqua, energia che viene successivamente trasportata dalle correnti convettive e restituita al momento della condensazione.

⁶ Cioè senza scambio di calore con la circostante atmosfera.



-- Photograph by Ronald L. Holle --
-- U. of Illinois Cloud Catalog --

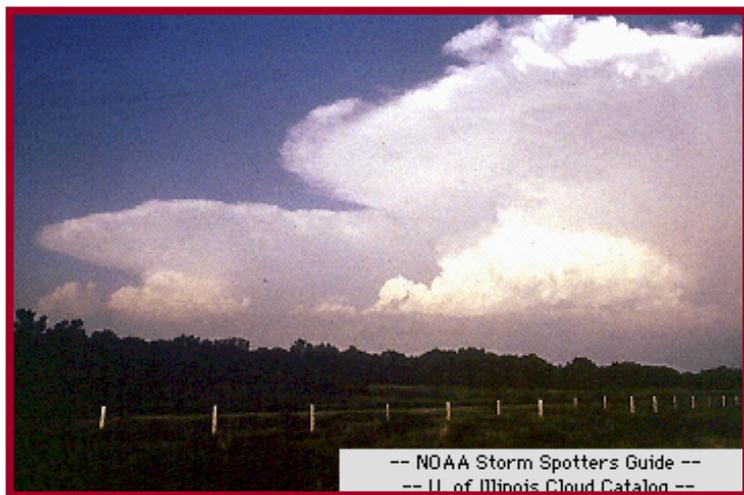
Cumuli

dalla superficie del suolo. Contemporaneamente alla sua formazione, nei dintorni di una nube cumuliforme si vengono a creare anche correnti discendenti di aria chiara (*downdraft*), a compensazione di quella in ascesa. Piccole nubi cumuliformi, sparpagliate e circondate da ampi tratti di cielo sereno, si formano quando lo strato d'instabilità instabile è tenue; esse vengono chiamate **cumuli di bel tempo** o **cumuli umili** (*cumulus humilis*) non solo poiché incapaci di produrre precipitazioni, ma anche perché indicanti l'improbabilità di fenomeni solitamente legati alla presenza di più imponenti nubi cumuliformi (rovesci, temporali). I grossi cumuli o **cumuli congesti** (*cumulus congestus*), detti anche *torreggianti*, si sviluppano, invece, quando lo strato instabile è dell'ordine dei 3000 metri circa (10.000 ft); nei bollettini di osservazione meteorologica METAR la loro presenza viene indicata dalla sigla TCU, acronimo della forma inglese *towering cumulus*. Essi presentano bordi netti e sono spesso caratterizzati da altrettanto marcate protuberanze, che rendono la nube molto simile ad una torre; da sotto, i TCU appaiono

LA CLASSIFICAZIONE OMM

GENERI	SPECIE	VARIETA'	PARTICOLARITA' SUPPLEMENTARI	NUBI ACCESSORIE	
Ci - Cirrus	fibratus	Ci, Cs	intortus	Ci	incus, pileus
Cc - Cirrocumulus	uncinus	Ci	vertebratus	Ci	mamma, velum
Cs - Cirrostratus	spissatus	Ci	undulatus	Cc, Cs, Ac, As, Sc, St	virga, pannus
Ac - Altocumulus	castellanus	Ci, Cc, Ac, As	radiatus	Ci, Ac, As, Sc, Cu	praecipitatio
As - Altostratus	floccus	Ci, Cc, Ac	lacunosus	Cc, Ac, Sc	arcus
Ns - Nimbostratus	stratiformis	Ac, Sc, Cc	duplicatus	Ci, Cs, Ac, As, Sc	tuba
Sc - Stratocumulus	nebulosus	Cs, St	translucidus	Ac, As, Sc, St	
St - Stratus	lenticularis	Cc, Ac, Sc	perlucidus	Ac, Sc	
Cu - Cumulus	fractus	St, Cu	opacus	Ac, As, Sc, St	
Cb - Cumulonimbus	humilis	Cu			
	mediocris	Cu			
	congestus	Cu			
	calvus	Cb			
	capillatus	Cb			

solitamente grigio scuri o addirittura neri, lasciando intravedere poco o nulla del sovrastante cielo blu. I **Cumulonembi** sono infine le più imponenti e vigorose nubi convettive, in grado di produrre non solo rovesci di pioggia, ma anche temporali, grandine, colpi di vento e, occasionalmente, anche tornado. A volte l'intensità delle correnti convettive in ascesa può essere tale da spingere il nascente Cumulonembo ben oltre il confine superiore della troposfera, innalzandolo nella tropopausa e, addirittura, anche nella bassa stratosfera. Quando, invece, la nube



Cumulonembi

non possiede la forza sufficiente per "sfondare" l'ostacolo dell'inversione termica della tropopausa, si limita ad appiattirvicisi contro; la sua testa assume così la già citata caratteristica forma piatta, detta "ad incudine" (*incus* o *anvil top*). Se la parte più alta di un Cumulonembo contiene una preponderanza di cristalli di ghiaccio, a quote più basse esso risulta invece composto da un mix turbolento di acqua e ghiaccio, che include pioggia, chicchi di grandine e neve. Le forti correnti ascendenti che danno origine ai CB possono essere associate o alla presenza di moti convettivi nella massa d'aria (*temporali di massa*) oppure al passaggio di un fronte freddo (*temporali frontali*). I temporali di massa sono costituiti da singoli CB facilmente visibili a distanza; quelli frontali sono invece associati a più nubi temporalesche, distanziate tra di loro da 1 a 3 km e costituenti un corpo nuvoloso compatto che avanza su un fronte di un centinaio di km. I Cumulonembi sono il più possibile evitati da ogni attività aeronautica (sono le uniche nubi la cui presenza viene indicata sia nei bollettini di osservazione meteorologica METAR che in quelli di previsione TAF, accordando la sigla CB al relativo gruppo che ne indica il grado di copertura), non solo per la presenza di queste intense correnti, in grado di creare fenomeni di forte turbolenza e *wind shear*, ma anche perché il loro contenuto in termini di *acqua sopraffusa* può rapidamente portare alla for-

mazione di strati di ghiaccio sulle superfici esterne degli aeromobili (*icing*). La **soprappuffione** è uno stato anomalo nel quale l'acqua, così come altre sostanze, rimane liquida pur trovandosi ad una temperatura inferiore al suo valore di solidificazione, condizione resa possibile dalla tensione superficiale della pellicola d'acqua che avvolge ogni goccia. La soprappuffione è, ovviamente, una condizione instabile: l'equilibrio delle gocce viene, infatti, immediatamente rotto quando esse entrano in contatto con un corpo solido, che provoca la rottura delle pellicole superficiali. In seguito all'urto, l'acqua congela istantaneamente, anche per il contatto con la superficie solida, che assume la funzione dei nuclei di cristallizzazione (è così chiaro che le parti dell'aeromobile sulle quali è più probabile l'accumulo di ghiaccio saranno anche quelle più direttamente esposte al moto). Ne risulta quindi che l'*icing* è un fenomeno pericoloso soprattutto nelle immediate prossimità dell'isoterma 0°C, tipicamente tra -5°C e -10°C, mentre al di sotto dei -10°C il ghiaccio è molto friabile ed ha la consistenza della neve. Per temperature ancora inferiori non si hanno generalmente problemi di ghiaccio, in quanto il numero di gocce soprappuffe presenti nell'atmosfera è praticamente nullo e vi è una più rilevante presenza di cristalli di ghiaccio, ininfluenti ai fini della stessa formazione di ghiaccio. Il *wind shear*⁷ è invece associato soprattutto alle *downburst*, le correnti discendenti che si formano al di sotto del cumulonembo, letteralmente delle colonne d'aria che scendono dalla nube, espandendosi orizzontalmente in tutte le direzioni quando incontrano il suolo; l'espansione può generare fronti di raffiche che si propagano orizzontalmente in direzioni opposte, provocando *wind shear*. Le *downburst* sono state classificate, a seconda delle loro dimensioni, in *macroburst* e *microburst*. Le prime sono di dimensioni maggiori, i venti radiali si espandono per ca. 4 km, durano al massimo 30 min. e raggiungono velocità del vento di ca. 60 m/s. Sono solitamente generate da una nube la cui temperatura è sostanzialmente inferiore all'atmosfera circostante: la temperatura più bassa induce una relativa alta pressione nella nube, che, di conseguenza, provoca la fuoriuscita d'aria per mantenere l'equilibrio, dando origine alla *macroburst*. Una *microburst* è più localizzata, il suo raggio d'azione è inferiore a 4 km, dura al massimo 10 min. e può rag-

⁷ Il **wind shear** consiste in una *variazione nella direzione e/o nell'intensità del vento nello spazio*. Dal punto di vista aeronautico si parla di wind shear quando questa variazione è tale da spostare un aeromobile dalla traiettoria di volo, o da richiedere un intervento di controllo da parte del pilota. Può presentarsi a tutte le quote, ma quello più significativo per la navigazione aerea è il **low level wind shear**, definito come il *wind shear che si presenta lungo il sentiero di avvicinamento o lungo la fase terminale dell'atterraggio o iniziale del decollo*. In pratica quello che si verifica nei primi 500 m di quota, ca. 1600ft.

giungere raffiche di 75 m/s. Sono solitamente generate dai temporali nella loro fase di maturazione, quindi contemporaneamente alla pioggia intensa e ai fulmini. Il secondo fenomeno che può provocare *wind shear* nei temporali è il *gust front*, letteralmente "fronte delle raffiche", che può trovarsi anche 10 o 20 NM sottovento alla cella. Il *gust front* è dovuto alla discesa di aria fredda dalla cima della cella temporalesca, che si espande al suolo provocando un forte aumento di pressione e una discontinuità nel vento. A volte è segnalato da una striscia di nubi cumuliformi, ma è maggiormente insidioso quando si trova in aria chiara, perché non è facilmente localizzabile e perché si trova a una distanza dalla cella temporalesca tale da far supporre al pilota l'allontanamento dall'area di pericolo.

Uno *shear verticale del vento orizzontale*⁸ si tradu-

⁸ Si definisce **wind shear verticale** la *variazione nella direzione e/o nell'intensità del vento con l'altezza, quale sarebbe misurata da due o più anemometri posti a differenti altezze su di una torre*. Si definisce **wind shear orizzontale** una *variazione nella direzione e/o intensità del vento quale sarebbe misurata da due o più anemometri posti alla stessa altezza su più punti di una pista*. Esiste poi lo **shear del vento verticale**, da non confondere con il wind shear verticale, definito come *la variazione della sola componente verticale del vento*.

ce in diminuzione o aumento del vento di testa o di coda e, di conseguenza, in diminuzione o aumento di portanza, particolarmente pericolosi nelle fasi di atterraggio o di decollo. In particolare una diminuzione del vento in testa o un aumento del vento in coda hanno come conseguenza una riduzione della portanza, che porta a un abbassamento del cammino (rampe) di decollo o di avvicinamento. Un aumento del vento in testa o una diminuzione del vento in coda hanno come conseguenza un aumento di portanza, con innalzamento del cammino di atterraggio o decollo. Le correnti verticali discendenti agiscono invece sull'angolo di incidenza, che la corda alare forma con la direzione del vento relativo. Poiché la portanza dipende anche dall'angolo di incidenza attraverso il coefficiente di portanza, una diminuzione dell'angolo di incidenza si traduce in una diminuzione di portanza, con il risultato di abbassare il cammino dell'aereo. In presenza di *downburst* gli effetti si sovrappongono: nella fase iniziale l'aereo si trova in una zona dove aumenta il vento in testa, quindi è sottoposto a un iniziale aumento di portanza. Al di sotto della *downdraft* comincia a farsi sentire l'effetto delle correnti discendenti, che abbassano il cammino di atterraggio, e infine l'aumento del vento di coda rafforza l'effetto della *downdraft*, provocando eventualmente l'impatto con il suolo. ✈️