

## Il wind shear

Semplificando la prevista classificazione<sup>3</sup>, possiamo identificare un *wind shear verticale*, definito come la variazione del vento con l'altezza, quale sarebbe misurata da due anemometri posti in verticale ad altezze differenti (per esempio su di una torre), e un *wind shear orizzontale*, dato invece dalla variazione che misurerebbero i due anemometri se fossero posti in punti differenti ma alla medesima quota (per esempio lungo una pista). Ragionando in termini temporali, la suddivisione è tra *fenomeni transitori* (associati in generale alle nubi convettive), e *fenomeni non transitori* (brezze di mare e di terra, vento catabatico, ecc.). I primi sono fenomeni decisamente più pericolosi in quanto di grande intensità e, in frequenti casi, di complessa localizzazione; i secondi, che pure non devono comunque essere trascurati, sono associati alle variazioni a cui risulta soggetto un flusso d'aria per la variabilità delle condizioni superficiali (presenza di orografia,

Tra le condizioni meteorologiche a rischio per il volo, il *wind shear* è quella sicuramente associata alle situazioni di maggior pericolosità, soprattutto nei casi in cui l'assenza di nubi o altri fenomeni rivelatori possa suggerire al pilota una diversa e più sicura condotta di volo. Il *wind shear* è definito come una *locale variazione della velocità e/o della direzione del vento, sia in senso verticale che orizzontale*<sup>1</sup>; maggiore la variazione nelle componenti della velocità oppure minore lo spazio in cui esse avvengono, più forte il fenomeno che ne risulta. Globalmente, possiamo asserire che, in presenza di *wind shear*, il mezzo aereo è portato ad assumere una traiettoria diversa da quella prevista, mentre gli effetti del fenomeno assumono tanta più importanza quanto più si verificano in prossimità del suolo<sup>2</sup>, dove, per la particolarità di assetto del velivolo e di vicinanza con il terreno, qualunque manovra di recupero da parte del pilota può risultare impossibile, quando non addirittura portare ad un peggioramento della situazione.

<sup>1</sup> La definizione ufficiale dell'ICAO (*International Civil Aviation Organization*) per il *wind shear* è: "a change in wind speed and/or direction in space, including updrafts and downdrafts".

<sup>2</sup> Si parla, in questo caso di *low level wind shear* (wind shear dei bassi strati), che l'ICAO definisce come quello che si presenta nei primi 1600 ft di quota (circa 500 m), lungo il sentiero di avvicinamento o lungo la fase terminale dell'atterraggio o iniziale del decollo.

<sup>3</sup> Il *wind shear* si suddivide fondamentalmente in:

- *shear verticale del vento orizzontale*: è la variazione della compo-

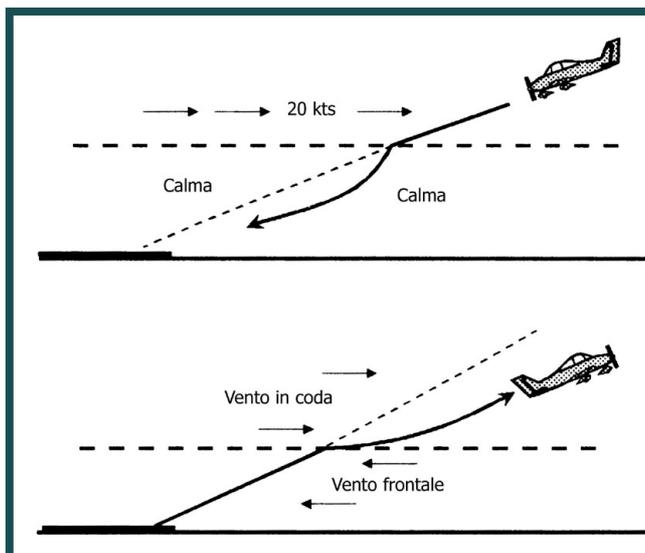


Figura 1. Effetto del *wind shear* verticale sui sentieri di discesa (sopra) e di decollo (sotto) di un aeromobile

nente orizzontale della velocità del vento tra due punti presi sulla verticale;

- *shear orizzontale del vento orizzontale*: è la variazione della componente orizzontale della velocità del vento tra due punti su un piano orizzontale;
- *shear orizzontale del vento verticale*: è la variazione della componente verticale della velocità del vento tra due punti su di un piano orizzontale;

alternanza tra diversi tipi di terreno, ecc.). Quando di tipo *non transitorio*, il wind shear risulta prevedibile con un certo grado di attendibilità, tendendo a persistere sulla medesima area per un periodo di tempo relativamente lungo, dell'ordine delle ore. Se associato alle nubi convettive il wind shear ha, al contrario, vita media breve, dell'ordine dei minuti, interessa scale di grandezza inferiori, dell'ordine delle decine di metri, e risulta decisamente più intenso; queste caratteristiche lo rendono più difficile da prevedere e, di conseguenza, più pericoloso.

Gli effetti del wind shear su di un aereo dipendono da una serie di fattori, anche imputabili al tipo di mezzo ed alla fase del volo; molto spesso, poi, la presenza di shear non viene nemmeno sospettata dal pilota, soprattutto quando le condizioni sembrano ideali per il volo. L'osservazione delle condizioni meteorologiche ci deve allora permettere di stimare con una certa attendibilità se, al verificarsi di certe situazioni, ci dobbiamo aspettare un wind shear associato e con quale possibile grado di pericolosità. Il wind shear viene rilevato fra masse d'aria che si muovono con differente velocità e queste situazioni sono sia tipiche di zone orograficamente complesse, zone frontali (comprese quelle di brezza), inversioni termiche, sia associate a nubi fortemente convettive, in particolare quelle temporalesche. Ma anche la presenza di ostacoli dev'essere considerata come possibile origine di wind shear, soprattutto per i nostri campi di volo, dove la loro presenza non risponde a quei criteri sufficientemente restrittivi che, negli scali commerciali, limitano il verificarsi di condizioni favorevoli alla formazione di turbolenze nell'area terminale e aeroportuale. Poiché la vulnerabilità alla turbolenza di un aeromobile aumenta tanto più l'apparecchio è leggero e minore la sua velocità rispetto all'aria, gli ULM ne risultano particolarmente sensibili e per essi può risultare più problematico gestire turbolenze provocate da costruzioni (hangar, club house, ecc.) o elementi naturali (alberi, vegetazione ad alto fusto, ecc.) adiacenti alla pista.

## Lo shear verticale

Parlando di shear verticale si dovranno allora valutare con particolare attenzione tutte quelle situazioni in cui il vento nei bassi strati può risultare più debole di quello in quota<sup>4</sup>. Tralasciando le situazioni di tipo frontale<sup>5</sup>, poiché associate

<sup>4</sup>Rifacendosi alla classificazione più completa, dovremmo, in questo caso, parlare più correttamente di *shear verticale del vento orizzontale*.

<sup>5</sup>I fronti costituiscono delle "zone di transizione", volte a separare masse d'aria a temperatura, e quindi densità, differenti; al loro passaggio, si presenta anche una variazione nella direzione di provenienza del vento, che crea così una vera e propria *discontinuità* in corrispondenza della superficie frontale. I fronti possono essere associati sia a wind shear verticale che orizzontale, rilevabili sia davanti al fronte caldo che dietro a quello freddo; il fenomeno risulta più intenso nel fronte freddo, perché la superficie frontale è più inclinata, ma nel fronte caldo, più lento, le condizioni di wind shear sono più durature.

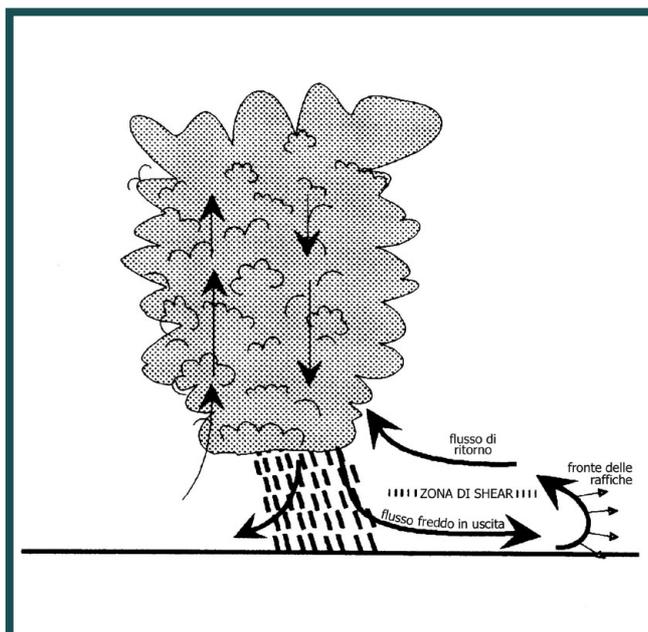


Figura 2.  
Formazione di una zona di shear tra il flusso freddo in uscita dalla base di un cumulonembo e il flusso caldo di ritorno verso la nube...

a condizioni di maltempo e quindi improbabile teatro di volo ultraleggero, ci concentriamo su quelle situazioni potenzialmente più pericolose, perché, come già accennato, del tipo *in aria chiara*, cioè senza la presenza visibile di fenomeni rivelatori.

L'apparente tranquillità atmosferica nelle prime ore della giornata può nascondere la presenza di uno strato di aria fredda (quindi più densa) a contatto con il suolo, con un vento in superficie assente o comunque molto più debole di quello immediatamente al di sopra dello strato stesso e con presenza, quindi, di shear nella limitata estensione verticale che segna il passaggio verso quote superiori; un caso simile potrebbe verificarsi anche durante le giornate invernali, per esempio quando vi è presenza di neve al suolo nei dintorni. Incappare in queste condizioni durante un atterraggio potrebbe richiedere inaspettate azioni di controllo della velocità e della quota, per quella che si presentava inizialmente come una semplice procedura di approccio: lo shear creato dalla brusca caduta del vento frontale avrebbe infatti come conseguenza un'improvvisa riduzione della portanza, con conseguente rapido aumento del rateo di discesa. Similmente, l'improvviso aumento del vento in coda durante il decollo potrebbe portare una aeromobile leggero in condizioni prossime a quelle di stallo (**Figura 1**).

Anche le brezze possono essere causa di shear verticale quando si sovrappongono ad un vento prevalente o a condizioni di calma di vento, e anche il loro avanzare sulla terraferma viene normalmente associato con una rotazione del vento di tipo frontale. Un caso particolare riguarda poi le piste che si trovano situate tra la linea costiera e una catena montuosa; quando le condizioni sono favorevoli allo sviluppo della brez-

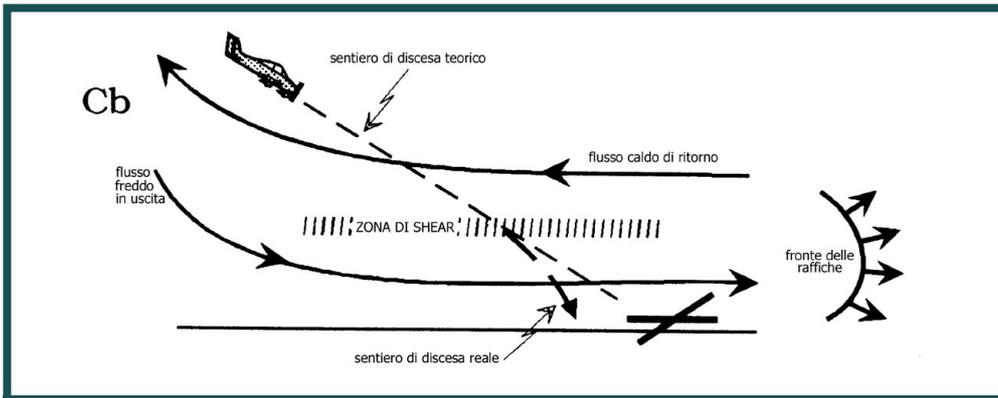


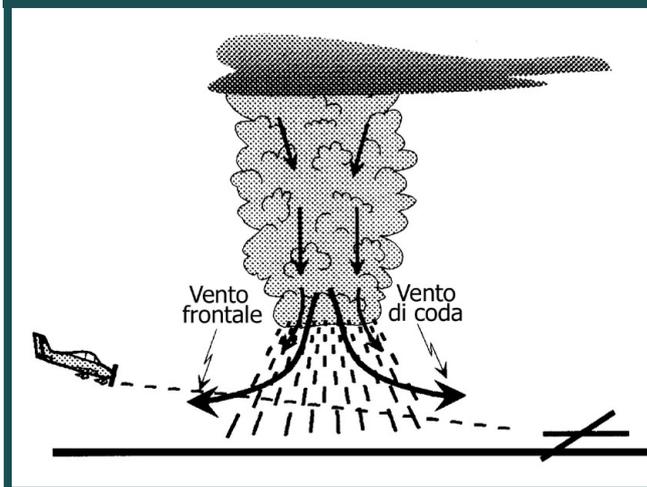
Figura 3.  
... e l'effetto dell'attraversamento di un gust front da parte di un aeromobile in atterraggio

za, frequentemente esse favoriscono anche la presenza di un flusso di caduta durante la notte e nel primo mattino (brezza di terra), il che significa che nella prima parte della giornata, il vento prevalente richiederà che gli atterraggi e i decolli debbano essere fatti verso le cime. Quando la terra si riscalda e la brezza marina si stabilizza, vi è un periodo di turbolenza, durante il quale la velocità e la direzione del vento fluttuano e dove non è insolito per le maniche a vento a ciascuna estremità della pista riportare venti di direzione opposta; è quindi buona pratica ritardare decolli e atterraggi finché il vento non si sia definitivamente stabilizzato.

## Wind shear e cumulonembi

Wind shear molto forte è spesso associato anche con i CB (cumulonembi), indipendentemente dalla presenza o meno del fenomeno temporalesco. Durante la fase di crescita della nube, infatti, le correnti ascensionali che si trovano al suo interno esercitano una potente azione di "risucchio" dell'aria dalla base, creando, al suolo, condizioni fortemente turbolente nelle immediate vicinanze.

Figura 4.  
La rotazione del vento all'attraversamento di una downburst...



Nelle celle temporalesche vere e proprie, il wind shear è invece soprattutto associato alle correnti discendenti, dette *downdraft* o *downburst*, che si formano al di sotto dei CB nella loro fase di maturazione (quindi contemporaneamente alla pioggia intensa e ai fulmini), in pratica delle colonne d'aria che scendono dalla nube, espandendosi orizzontalmente in tutte le direzioni, con una componente predo-

minante che segue lo spostamento della nube. Le *downburst* sono 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 appunto 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 raggiungere raffiche di 75 m/s.

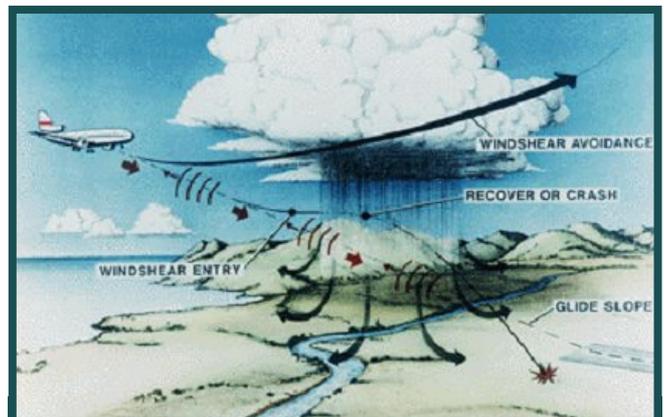


Figura 5.  
... e l'effetto combinato di shear orizzontale e verticale sulla traiettoria di un aeromobile in atterraggio

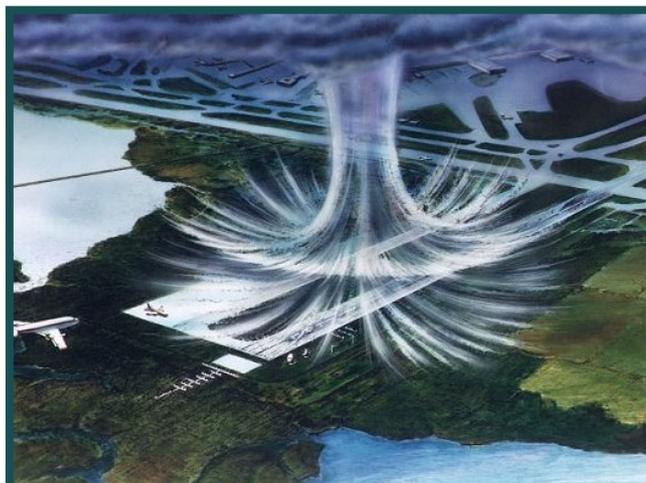
Il flusso d'aria freddo e denso di una downburst, propagandosi al suolo, si incunea sotto la massa di aria ambiente a maggior temperatura, provocando così un forte aumento di pressione e la formazione di una superficie di discontinuità nel vento, detta *gust front* (letteralmente "fronte delle raffiche"), che può trovarsi anche 10 o 20 miglia sottovento alla cella, mentre una zona di shear si forma anche tra il flusso freddo e la sovrastante aria più calda, che spesso si muove in direzione opposta, cioè verso la parte inferiore del CB (Figura 2). L'elevata distanza tra il fronte delle raffiche e la nube che lo ha originato può contribuire a creare situazioni di elevata criticità: se, per esempio, pensiamo alla forte attività convet-

tiva pomeridiana che caratterizza d'estate le nostre pianure del nord, vediamo come sia tutt'altro che remota l'evenienza di un atterraggio, proprio quando il pilota si trova a una distanza dalla cella temporalesca, tale da fargli presupporre di aver ancora margine sufficiente per poter condurre la manovra in tutta sicurezza. In questa situazione, invece, l'aeromobile, attraversando la zona di shear provocata dalla downdraft, percepirebbe una condizione di shear verticale del vento orizzontale, dovuta alla rotazione di 180° nella direzione del vento, simile a quelle già discusse in precedenza, con conseguente diminuzione della portanza e rischio di un prematuro impatto con il suolo (**Figura 3**).

A maggior ragione, il pericolo è in agguato quando il pilota, a fronte di una situazione di criticità dovuta all'inaspettato avvicinamento di un temporale e con il campo in vista, cercasse di "forzare la mano", superando il CB e atterrando prima che la nube si presenti sulla verticale della pista... magari proprio volando al di sotto della sua base! A giocare ulteriormente a suo sfavore vi potrebbe pure essere la circostanza che il CB si presenti con una base sufficientemente alta e che l'assenza di precipitazioni al suolo lasci momentaneamente la visibilità ancora su valori ragionevolmente buoni. Ciò che invece accade è che l'aeromobile percepisce inizialmente il vento frontale proveniente dal flusso alle spalle del CB, che però varia improvvisamente di 180° non appena si passa anteriormente alla nube. Ancora, ciò porta ad una grande perdita di velocità all'aria e di quota, senza considerare l'ulteriore possibile perdita di quota, dovuta all'inevitabile azione di shear orizzontale<sup>6</sup> della downdraft (**Figura 4**).

In presenza di downdraft, infatti, i due tipi di shear 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 nube inizia a farsi sentire l'effetto delle correnti discendenti, che abbassano il sentiero di discesa, e infine l'aumento del vento di coda rafforza l'effetto della downdraft, provocando eventualmente un contatto anticipato con il suolo, specialmente se il pilota, reagendo all'iniziale sensazione di aumento del sostentamento, ha improvvisamente ridotto motore per cercare di recuperare il previsto assetto d'atterraggio (**Figura 5**).

<sup>6</sup> Più precisamente, di *shear orizzontale del vento verticale*.



La rappresentazione pittorica di una downdraft.

Pur sottolineando che un cumulonembo dovrebbe sempre e comunque essere evitato "a priori", uno dei segni più tangibili della presenza di un'intensa downdraft è l'osservazione della cosiddetta *virga*, cioè della precipitazione che evapora prima di raggiungere il suolo; la base della nube presenta, allora, un aspetto un po' sfilacciato, di cui è facilissimo accorgersi se, per esempio, la si osserva in controluce (**Figura 6**). Il processo di evaporazione, infatti, sottraendo calore all'ambiente circostante, raffredda la colonna d'aria in discesa tanto violentemente da accelerarne rapidamente la caduta al suolo... un motivo in più per ogni pilota per tenersene abbondantemente alla larga! ✈️

Figura 6.

Un'immagine di *virga*, osservata controluce sotto la base di un cumulonembo; si nota come la precipitazione evapori molto prima di raggiungere il suolo, provocando un forte raffreddamento della circostante aria ambiente per l'assorbimento di calore latente

