



LA SFIDA INVISIBILE

Esplorando il Wind Shear



I QUADERNI DI ANACNA

Titolo | La Sfida invisibile

Autore | P. Caraccio - N.G. Ferrando - G. Bellini - G. Fagioli - M. Valentini -
M . Viscosi - A. Chiarle

© 2025. Tutti i diritti riservati all'Autore

Questa opera è pubblicata direttamente dall'Autore tramite la piattaforma di selfpublishing Youcanprint e l'Autore detiene ogni diritto della stessa in maniera esclusiva.

Nessuna parte di questo libro può essere pertanto riprodotta senza il preventivo assenso dell'Autore.

Youcanprint

Via Marco Biagi 6, 73100 Lecce

www.youcanprint.it

info@youcanprint.it

*P. Caraccio - N.G. Ferrando - G. Bellini -
G. Fagioli - M. Valentini - M. Viscosi - A. Chiarle*

La Sfida Invisibile

Esplorando il Wind Shear

con il patrocinio di



Ente Nazionale per l'Aviazione Civile

Ad Andrea

Indice

Prefazione	9
<i>di Paolo Sottocorona</i>	
Introduzione	11
<i>di Marta Viscosi</i>	
1. Wind Shear senza segreti	14
Cosa dice l'ICAO?	
<i>di Gabriele Fagioli e Paolo Caraccio</i>	
2. Vento nel Vento	22
Quattro importanti domande sul Wind Shear	
<i>di Augusto Chiarle</i>	
3. Il nemico invisibile	40
Il Wind Shear è veramente il nemico invisibile temuto dai piloti?	
<i>di Gabriele Bellini</i>	
4. Il Wind Shear in cifre	46
Statistiche e analisi dai METAR italiani	
<i>di Markus Valentini</i>	
5. Wind Shear vs. Technology	60
La tecnologia usata per individuare il Wind Shear	
<i>di Nicolò Giacomo Ferrando</i>	
6. Riassumendo	84
<i>di Marta Viscosi e Paolo Caraccio</i>	

Prefazione



Quando un aereo inizia il decollo, c'è sempre una certa inquietudine, nel passeggero "comune", molto meno all'atterraggio perché "ormai siamo arrivati". Ma decollo e atterraggio sono di per sé i momenti più critici di un volo, e tendenzialmente più il secondo che il primo. Non mi rivolgo solo a un pubblico "tecnico", quindi sottolineerò come la velocità all'aria per un aereo sia la base e il fulcro del suo sostentamento, e per questo il *windshear* che potenzialmente su questa velocità può influire in maniera pericolosamente significativa per intensità e direzione, è una "bestia nera".

E contro le bestie nere vale soprattutto la conoscenza. Conoscenza che poggia su rilevamenti, osservazioni e misurazioni, oggi fortunatamente sempre più attivi ed efficaci. Decenni e decenni fa si iniziava timidamente a studiare il fenomeno, ma oggi per fortuna, grazie alla tecnica, lo studio, l'osservazione e l'imprescindibile esperienza umana, il fenomeno è "sotto osservazione", monitorato in maniera sempre più profonda ed efficace, e la conoscenza riduce il rischio. "Se lo conosci, lo eviti" recitava un vecchio slogan. Grazie ai veri e propri "professionisti", autori di questo importantissimo studio, sarà possibile conoscere sempre di più e meglio questo pericolo invisibile ed imparare a gestirlo o evitarlo. A loro il nostro grazie.

Paolo Sottocorona

Introduzione

Tra addetti ai lavori e divulgazione

Di Marta Viscosi

In qualità di addetti ai lavori (in quanto tecnici meteorologici aeronautici in servizio presso la stazione meteorologica gestita da ENAV S.p.A. ubicata nell'aeroporto di Torino Caselle¹) ci è stato chiesto di analizzare il fenomeno del wind shear a bassa quota, molto pericoloso nella fase di decollo, atterraggio, di salita iniziale o discesa finale verso le piste di volo.

Abbiamo cercato di farlo preferendo, ad un approccio prettamente tecnico, uno più divulgativo che dia la possibilità a tutti di avvicinarsi con occhi diversi alla nostra professione fatta di tecnologia, sintesi e dettaglio nel monitorare il **meteo attuale**, comunicando i fenomeni pericolosi come il wind shear secondo le codifiche internazionali.

Abbiamo poi allargato il focus con un'analisi dei sistemi attualmente in uso per la **segnalazione** del wind shear a terra e a bordo dei velivoli e con un accenno alla sua previsione.

Un lavoro accurato e complesso analizzerà un anno di **emissioni** di bollettini **METAR** semiorari e orari da parte delle stazioni meteorologiche italiane, suddividendo i rapporti di wind shear per aeroporto, frequenza e stagionalità, al fine di tratteggiare possibili caratteristiche che accomunano gli aeroporti su questa tematica.

Non meno importante inoltre una disamina degli **impatti** sulle operazioni di volo e dei relativi **costi**, esaminando anche il punto di vista del pilota.

In sintesi questo che avete tra le mani è un lavoro che ci auspichiamo esaustivo e interdisciplinare al fine di coinvolgere una platea più ampia possibile di professionisti interessati a garantire la sicurezza ed una pianificazione efficace delle operazioni aeree.

1. Codice ICAO LIME.

Biografia

Marta Viscosi è impiegata in qualità di Tecnico Meteorologo presso l'aeroporto di Torino-Caselle.

Wind Shear senza segreti

Cosa dicono l'ICAO² e il WMO³?

Di Gabriele Fagioli e Paolo Caraccio

2. International Civil Aviation Organization.

3. World Meteorological Organization.

Come lo identifica il WMO⁴

Il wind shear può essere definito come **“strati o colonne d’aria che fluiscono con velocità diverse (cioè velocità e/o direzione) verso strati o colonne adiacenti”**.

Il wind shear rappresenta un grave pericolo per l’aviazione, soprattutto quando si opera a basse quote. Anche quando si vola all’interno di uno strato con flusso laminare e il volo è regolare e senza incidenti, l’improvviso attraversamento dei confini tra diversi flussi laminari accelera l’aereo in misura maggiore o minore. A seconda della direzione del volo rispetto ai cambiamenti di velocità, lo shear può essere percepito come turbolenza, ma anche come un improvviso vento in coda o contrario con le relative conseguenze.

Oltre alla convezione, il taglio è la seconda principale fonte di turbolenza. La fluidodinamica di base ci dice che qualsiasi fluido come l’atmosfera può supportare solo un massimo di taglio tra gli strati di flusso laminare prima di trasformarsi in un flusso turbolento.

4. World Meteorological Organization.

Come viene riportato il Wind Shear

L'ICAO⁵ nell'Annesso 3 (Meteorology) classifica i wind shear in 4 classi basate sulla definizione di **shear rate**, che rappresenta l'accelerazione a cui viene sottoposto l'aeromobile:

LEGGERO (LIGHT) 0-4 KT/s

MODERATO (MODERATE) 5-8 KT/s

FORTE (STRONG) 9-12 KT/s

SEVERO (SEVERE) >12 KT/s

Il riporto da parte dei piloti viene effettuato utilizzando una stima del fenomeno secondo l'esperienza individuale utilizzando la terminologia aeronautica con acronimi ed abbreviazioni contenuti nel DOC ICAO 8400 "procedures for Abbreviation and Codes" basati sull'intensità esplicitata in:

➤ LIGHT , MODERATE , STRONG, SEVERE

con l'indicazione del guadagno o di perdita in termini di componente verticale del vento rispetto alla distanza.

NB: L'esperienza del pilota è importante anche messa in relazione con la tipologia di volo e di velivolo utilizzato (elicottero, aeromobile leggero, medio, pesante).

5. International Civil Aviation Organization.

Le informazioni rilevanti del riporto da parte del pilota dovrebbero contenere:

<i>Tipo di riporto</i>	<i>WS Wind shear</i>
<i>Identificazione del punto e sua posizione</i>	<i>APCH RWY12 in avvicinamento pista 12 WS CLIMB OUT in salita iniziale MBTS APCH RWY 12 Microraffica in avvicinamento pista 12 MBTS IMN CLIMB OUT Microraffica 1 NM in salita iniziale</i>
<i>Fenomeno osservato</i>	<i>REPORTED AT 1530 B738 riportata alle 1530 UTC tipo aeromobile B 738</i>
<i>Dettagli riporto</i>	<i>SFC 320/10 KT vento sulla superfice 320/10 KT 30 KT LOSS FNA RWY 12 30 KT in negativo in finale pista 12 20 KT GAIN FNA RYW12 20 KT in positivo in finale pista 12</i>

Come viene codificato sul METAR⁶

Esempio:

LICJ 031120Z 19015KT CAVOK 20/04 Q1009 WS R20

Il riporto di wind shear viene accodato al corpo del METAR nelle info supplementari in questi due formati:

- **WS R20** in chiaro: wind shear riportato per la pista 20
- **WS ALL RWY** in chiaro: wind shear riportato per tutte le piste

NB: Il riporto viene inserito sino a che il fenomeno è presente

Come viene codificato sul LOCAL REPORT

Nel local report il riporto in chiaro viene riportato nel campo info supplementari:

- **MODERATE WIND SHEAR REPORTED IN CLIMB OUT**

NB: Il riporto viene inserito sino a che il fenomeno è presente.

6. Messaggio METAR: Meteorological Aerodrome Report.

L'avviso di Wind Shear

Il riporto di wind shear fa parte dei riporti di volo (AIREP) e fa generare un apposito avviso WS diramato dall'MFU (Meteorological Forecast Unit) dell'ENAV di Roma. Ha questo formato:

**LICJ WS WRNG 2 221215 VALID TL 221315 MOD WS IN
APCH REP AT 1205 MD80 20KT LOSS 1NM FNA RWY20**

Decodifica:

LICJ WS WRNG 2 221215 VALID TL 221315

➤ In chiaro: "Aeroporto di Palermo LICJ warning avviso n° 2 valido dal giorno 22 ore 12.15 UTC fino al giorno 22 ore 13.15 UTC."

**MOD WS IN APCH REP AT 1205 MD80 20KT LOSS 1NM
FNA RWY20**

Decodifica:

➤ In chiaro: "Moderato wind shear in avvicinamento riportato alle ore 12.05 UTC da aeromobile tipo MD80, 20 Nodi componente discendente del vento, posizione 1 miglio nautico in finale per pista 20"

La cancellazione dell'avviso avviene con il formato:

CNL WS WRNG 2 221210/221310

Decodifica:

In chiaro: "cancellazione avviso di wind shear n 2 del 22 dalle 1210 alle 1310 UTC."

L'utilità degli avvisi di wind shear risiede nel loro formato conciso che permette di diramare a Stakeholders (ad esempio le società di gestione) avvisi tempestivi che possano essere oggetto di attivazione di procedure particolari, di monitoraggio e/o mitigazione, come quella sulla presenza di fenomeni critici.

Gli avvisi di wind shear devono essere preparati dall'ufficio meteorologico designato dall'autorità meteorologica interessata per gli aeroporti in cui il wind shear è considerato un fattore, in conformità con gli accordi locali con l'unità ATS appropriata e gli operatori interessati. Gli avvisi di wind shear devono fornire **informazioni concise sull'osservato o esistenza prevista** di wind shear che potrebbe influenzare negativamente l'aeromobile sul percorso di avvicinamento o di decollo tra il livello della pista e 500 m (1.600 ft).

Biografia

Gabriele Fagioli è stato impiegato come Tecnico Meteorologo presso l'aeroporto di Torino-Caselle.

Paolo Caraccio è un Esperto di Assistenza al Volo e istruttore che lavora presso la stazione meteo ENAV di Torino Caselle con all'attivo numerose pubblicazioni nazionali ed internazionali.

Vento nel vento

Quattro importanti domande sul Wind Shear

Di Augusto Chiarle

*Ci sono venti creati per castigo,
e nella loro furia rafforzano i loro flagelli...*

Siracide⁷

7. Siracide, o Ecclesiastico, testo deuterocanonico della Bibbia, attribuito a Ben Sira.

Introduzione

In meteorologia aeronautica il **wind shear** (o **gradiente del vento**) è un fenomeno atmosferico che consiste in una variazione repentina del vento in intensità e/o direzione. È particolarmente noto in meteorologia aeronautica in quanto pericoloso soprattutto in prossimità di aeroporti durante la fase di atterraggio, poiché inganna il pilota sul corretto assetto/velocità di discesa che il velivolo deve mantenere, portando così, in alcuni casi, ad incidenti o ad atterraggi rischiosi⁸. Per gli elicotteri o i velivoli che operino in altre zone il concetto andrebbe ulteriormente esteso.

I moti turbolenti dell'aria avvengono a diverse quote. Talvolta gli stessi fenomeni che provocano movimenti in quote medie o elevate (definiti come più genericamente come turbolenze) possono avvenire a basse quote, talvolta si tratta invece di fenomeni che nascono e si spengono in spazi più circoscritti o collegati a specifiche caratteristiche del territorio. Possono essere transitori (i più pericolosi: di breve durata ma di maggiore intensità, come ad esempio un Microburst) o non transitori (ad esempio collegati ad attività frontale o a onde orografiche) della durata anche di diverse ore.

Particolare rilevanza viene data in ambito aeronautico ai moti turbolenti che avvengono in prossimità del suolo, proprio perché i velivoli (di qualsiasi tipo) hanno meno risorse di spazio e tempo per reagire alle variazioni improvvise.

La definizione di Wind Shear, perciò, è collegata a quella dei moti turbolenti dell'atmosfera: descrive diversi fenomeni fisici sotto la stessa nomenclatura, non uno solo. In genere si usa questo termine per quelli di maggior rilevanza in prossimità delle

8. "Vertical wind shear in the lower layers of the atmosphere" e altri nella WMO e-library.

basse quote, quale che ne sia l'origine o se siano collegati o meno a fenomeni che ad altre quote avremmo definito più genericamente "turbolenze".

Data l'essenziale importanza dell'argomento, sono moltissimi gli studi che si occupano del Wind Shear e della mitigazione del suo impatto sulla sicurezza del traffico aereo.

Per dare un'idea del fenomeno nel suo insieme, tra il 2009 e il 2018 l'NTSB⁹ ha riscontrato che gli inconvenienti con cause relazionabili alla turbolenza sono state più di un terzo del totale degli inconvenienti. Ecco cosa ci dice a riguardo¹⁰:

"Turbulence-related accidents are the most common type of accident involving air carriers operating under Title 14 Code of Federal Regulations Part 121. From 2009 through 2018, the National Transportation Safety Board (NTSB) found that turbulence-related accidents accounted for more than a third of all Part 121 accidents; most of these accidents resulted in one or more serious injuries but no aircraft damage. This NTSB safety research report examines the prevalence and risk factors of turbulence-related accidents in Part 121 air carrier operations; assesses the effectiveness of policies, programs, technologies, and other applicable safety countermeasures; and makes recommendations for improving turbulence avoidance and injury mitigation."

Partiamo prendendo in esame proprio lo studio dell'NTSB:

"Turbulence arises from eddies in the atmosphere and is typically categorized by its source, such as convection, nonconvective wind

9. National Transportation Safety Board.

10. Riferimento: "Preventing Turbulence-Related Injuries in Air Carrier Operations Conducted Under Title 14 Code of Federal Regulations Part 121", <https://www.nts.gov/safety/safety-studies/Pages/DCA18SS003.aspx>

shears in clear air, mountain waves, surface features, and aircraft wake vortices. Like many accidents in aviation, turbulence-related accidents can often be influenced by multiple human, aircraft, environmental, and organizational factors. Over the past decade, the NTSB has determined the probable cause for numerous turbulence-related accidents and has issued safety recommendations for improving weather forecasting, dissemination of weather reports, and air traffic management practices to reduce the likelihood of aircraft encounters with turbulence."

Questo paragrafo ci offre la possibilità di andare anzitutto a specificare meglio di quanti e quali moti turbolenti andremo a trattare (in aria chiara, da temporale, ecc.).

Ci occuperemo principalmente del "Low Level Wind Shear" in prossimità degli aeroporti, senza dimenticare che certi tipi di traffico aereo (Elicotteri in operazioni specializzate o di soccorso, Canadair antincendio, ecc.) andranno a operare in aree non scevre da detto fenomeno, ma poco coperte dalle mitigazioni attrezzate (prive di stazioni meteo in prossimità, o di sistemi di rilevazione, previsioni di punto, ecc.). Accenneremo anche ad alcuni aspetti che possono interessare non soltanto gli equipaggi di condotta, ma anche il controllo di traffico aereo.

Sempre NTSB ci chiarisce che:

Despite steady improvements in the overall accident rate for Part 121 air carrier operations, turbulence continues to be a major cause of accidents and injuries¹¹.

Proviamo a rispondere ad alcuni quesiti.

11. "Preventing Turbulence-Related Injuries in Air Carrier Operations Conducted Under Title 14 Code of Federal Regulations Part 121", <https://www.nts.gov/safety/safety-studies/Pages/DCA18SS003.aspx>

Quanto costa il Wind Shear?

È una domanda essenziale, che si tratti di danni agli aeromobili o del costo in vite umane. Sebbene i costi e gli effetti siano variati grandemente nel corso degli anni, generalmente diminuendo progressivamente negli ultimi decenni, diamo qualche numero tanto per avere un ordine di grandezza.

Sin dagli anni '70 del secolo scorso (e fino al 2010), sono stati oltre 400 gli incidenti fatali dovuti al wind shear, nei soli Stati Uniti¹².

Uno studio condotto dalla NTSB¹³ su 19.823 inconvenienti aerei avvenuti tra il 1994 e il 2003 ha rivelato che vento, turbolenza e fenomeni correlati sono stati una causa importante o una causa importante nel 75% dei casi. Nell'1,2%-1,3% degli inconvenienti (a seconda del tipo di volo), si è trattato di Low Level Wind Shear riconosciuto come tale. Nel 6% dei casi si tratta di fenomeni collegati alla turbolenza (che potrebbero includere o meno fenomeni fisicamente correlabili a un wind shear, ma non riportati come tali o non come low level wind shear).

Un altro esempio più quantitativo, sui costi. Nel 2008 i dati raccolti dalla FAA¹⁴ sugli inconvenienti dovuti al Wind Shear, con i danni alle persone valutati secondo tabelle di conversione costi della FAA, riportano una media per singolo evento dei costi molto elevati (tabella in dollari USA suddivisa per categoria di aeromobile riferita al costo medio di un singolo evento)¹⁵:

12. "Wind-Shear System Cost-Benefit Analysis", Robert G. Hallowell and John Y. N. Cho, Lincoln Laboratory Journal, Vol. 18, n. 2, 2010, pag. 47.

13. <https://www.nts.gov/safety/safety-studies/Documents/SS0501.pdf> e altri.

14. Federal Aviation Administration.

15. "Wind-Shear System Cost-Benefit Analysis", Robert G. Hallowell and John Y. N. Cho, Lincoln Laboratory Journal, Vol. 18, n. 2, 2010, pag. 59.

COSTS (2008\$)	AIRCRAFT CATEGORY		
	AIR CARRIER	AIR TAXI	GENERAL AVIATION
People	\$ 117,345,503	\$5,086,966	\$ 1,714,929
Aircraft	\$ 4,922,000	\$ 1,626,108	\$ 148,620
Total	\$123,267,503	\$ 6,713,073	\$1,863,548

TABLE 4. The estimated average wind-shear-related accident costs are based on FAA guidelines that assign values to people (deaths and injuries) and aircraft (damaged or destroyed).

Wind Shear a bassa quota, cos'è?

Definiamo “wind shear a bassa quota”: si tratta di una variazione repentina nella direzione e/o nell'intensità del vento in prossimità del suolo¹⁶.

Questo tipo di wind shear si riscontra perciò durante la fase di avvicinamento sul sentiero di discesa, poco prima dell'atterraggio, o durante il decollo.

Durante queste fasi, potremmo avere wind shear in coda al velivolo oppure di prua, provocando brusche variazioni del-

16. Circolare ICAO 186 del 1987.

la velocità indicata (IAS), modificando di conseguenza la portanza e producendo un innalzamento o abbassamento del velivolo rispetto al sentiero di discesa ideale. Il pilota si troverà a compensare la variazione di portanza per riportarsi sul giusto sentiero, in prossimità della velocità di stallo, potenzialmente con problematiche critiche se non affrontate in tempo.

Da sottolineare come nel semplificare gli schemi istruzionali, spesso si mostrano illustrazioni presupponendo che il Wind Shear riscontrato sia in asse con la pista. Chiunque potrà giustamente notare che quasi certamente riscontreremo componenti al traverso e/o anche componenti verticali (le più importanti e potenzialmente anche con le conseguenze più serie, incluse eventualmente quelle strutturali dirette) a complicare ulteriormente le manovre.

Esempio: un Microburst generato da attività convettiva può generare un moto ascensionale/discensionale repentino e molto intenso in poco spazio. In un Microburst sono stati misurati fino a 60 km/h di corrente ascendente seguiti nel giro di pochissimo tempo da 180 km/h di raffica discendente¹⁷. Le conseguenze di una tale forza possono portare a disastri aerei come quello del Boeing 727 della PanAm a Kenner, Louisiana, 1982 (distruzione totale e 142 vittime) o di Dallas del 1985, dove un Lockheed 1011 con 163 persone a bordo si schiantò a 2000 metri dalla pista, provocando la morte di 134 persone¹⁸. Chi ha avuto a che fare con l'ITCZ¹⁹ ha riportato turbolenze forti

17. Casistica "Microburst" nei documenti della WMO e-library.

18. Fonte: A.M., 41mo stormo, programma istruzionale Wind Shear. <https://www.meteorologia.it/Colombo/wind%20shear%20per%20sv.pdf>

19. Inter Tropical Convergence Zone.

anche a decine di chilometri dal cumulonembo che le ha generate.

Sebbene molto del lavoro e dell'equipaggiamento di rilevazione del Wind Shear sia incentrato sugli **aeroporti**, non dobbiamo dimenticare chi (per diporto o mestiere) opera a basse quote al di fuori del contesto aeroportuale (e non abbia a disposizione strumentazione di bordo adeguata all'individuazione). Si pensi ad esempio alle operazioni specializzate (SPO - SPecialized Operations), che si tratti di **elicotteri** o di **Canadair** per lo spegnimento degli incendi.

Mentre chi opera negli ambienti aeroportuali può usufruire di un certo livello di assistenza (bollettini, equipaggiamenti, ecc.) chi opera al di fuori di questo contesto dovrà obbligatoriamente ovviare con la propria capacità personale di riconoscere quando è maggiore il rischio di incorrere in questi fenomeni.

Questo ci pone immediatamente in evidenza un importante quesito.

Possiamo vedere il Wind Shear?

Possiamo accorgerci che c'è uno shear in atto? O possiamo avere delle avvisaglie che possano farci scorgere la sua presenza? Sono domande più che lecite.

La risposta è articolata: talvolta sì, altre volte, ahimè, no.

Partiamo descrivendo quali "presagi" di shear e turbolenze si potrebbero riscontrare, il caso a noi più favorevole. Non saremo troppo descrittivi, rimandando approfondimenti specifici ad altro loco, ma tenteremo comunque di dipingere una panoramica appropriata al contesto senza dilungarci eccessivamente.

NUBI

Un primo indizio lo potremmo avere dalla presenza di certe nubi. Le nubi sono sempre il marker di un fenomeno fisico in atto. L'assenza di nubi non ci garantisce l'assenza di un fenomeno (si pensi alle turbolenze in aria chiara), ma la loro presenza indica sempre qualcosa in atto oltre alla semplice condensazione dell'umidità. Banalmente un buon osservatore dovrebbe pensare: "quale fenomeno fisico fa condensare l'aria proprio lì? E perché ha quella forma?"

Si pensi alle nubi lenticolari, ai rotori, alle funnel clouds (che abbiano o meno fatto un "touch down"), alle shelf clouds dei temporali, alle nubi di tipo mammatus, alle asperitas... tutte nubi che indicano sempre la presenza di moti turbolenti più o meno estremi ubicati proprio in loro prossimità.

La presenza di **nubi convettive** da sola fa presagire la estrema probabilità (tanto più alta quanto più grandi sono dette nubi) di uno shear in prossimità, all'interno e/o al di sotto di esse.

Dobbiamo dare per scontato che incontreremo wind shear, se vediamo queste nubi? È estremamente probabile, tanto più probabile quanto più estese sono le nubi del tipo specifico che stiamo osservando. Uno studio americano (basato su dati ventennali) sottolinea infatti una correlazione diretta tra nubi a sviluppo verticale e downburst, così come una correlazione diretta tra attività elettrica in un'area e la presenza di microburst²⁰.

Facciamo un esempio pratico dell'intensità degli eventi che potremmo aspettarci all'interno di nubi convettive²¹:

20. "Wind-Shear System Cost-Benefit Analysis", Robert G. Hallowell and John Y. N. Cho, Lincoln Laboratory Journal, Vol. 18, n. 2, 2010.

21. Fonte: WMO e-Library, "Aviation Hazards", pag.5.

Table 1a. Typical vertical currents due to convection

Regime	Vertical velocity			Turbulence
	(m/s)	~kt	~ft/min	
Small/medium cumulus	1-3	2-6	200-600	Light
Towering cumulus	3-10	6-20	600-2000	Moderate
Cumulonimbus	10-25	20-50	2000-5000	Severe
Severe storms (e.g. in USA)	20-65	40-130	4000-13000	Extreme
Dry thermals	1-5	2-10	200-1000	Light/Moderate
Downdraughts	3-15	6-30	600-3000	Moderate/Severe
Downdraughts	up to -25	up to 50	up to 5000	Extreme

La presenza di **nubi stratificate** indica la presenza di una inversione termica. Può far presagire che l'aria calma e stagnante sotto di essa subisca sensibili variazioni di stato una volta attraversata. Tanto maggiore è la differenza di temperatura tra sotto la nube (il nostro marker visibile) e sopra di essa, tanto più probabile e forte potrebbe essere tale turbolenza. Una inversione termica di 16 °C o più quasi certamente segnerà anche l'insorgere di variazioni significative nel vento al di sopra della nube stratificata. Va da sé che potremmo riscontrare una inversione termica senza nube.

PRECIPITAZIONI

La presenza di un **violento rovescio** sotto una nube convettiva può fornire la ragionevole certezza di un downburst, di un fronte di raffica, di rotori, tutti causa di wind shear a basso livello. Tanto

più sarà opaco il rovescio, tanto più riduce la visibilità al di là di esso, tanto più forte sarà questa energia. Anche una virga (precipitazione che non raggiunge il suolo) sarà indice di una corrente discendente, sebbene meno accentuata rispetto a un rovescio.

Questi marker li trovo nei bollettini METAR²²? Sì.

Esempio 1: l'indicazione "FC" (Funnel Cloud) indica una nube a imbuto rotante più o meno estesa, lo sfrangiamento al di sotto di una nube temporalesca. Con "+FC" sarà stato segnalato il "Touch Down", il raggiungimento del suolo, che la trasformerà in una tromba d'aria.

Esempio 2: L'indicazione "CB" (Cumulonimbus) racchiude non solo la presenza di detta nube, ma la possibilità di incorrere in downburst (micro o macroburst inclusi), rotori e fronti di raffica. L'aggiunta di un +SHRA non è assoluta certezza di wind shear, ma suggerisce prudenza per l'elevata probabilità di trovarsi coinvolti in un downburst.

ASPERITAS

Anche chiamate **Undulatus Asperatus**, sono tra le nubi più recenti entrate a far parte dell'International Cloud Atlas, l'Atlante ufficiale delle nubi, nel 2017²³. Si formano principalmente in

22. Meteorological Aerodrome Report.

23. Non perché prima non esistessero, bensì perché si sentiva la necessità di specificare meglio certe caratteristiche rispetto alla precedente catalogazione.

prossimità di nubi temporalesche, oppure anche in contesti di instabilità che tuttavia non vede la presenza di precipitazioni; in ogni caso le condizioni utili alla loro formazione sono piuttosto particolari, sia a livello di ventilazione in quota sia di energia disponibile. Si tratta di una varietà di altocumuli stratiformi (nuvole che tendono a formare estesi strati di elementi separati tra loro o a volte saldati, con uno spessore inferiore ai 500 m) di tipo opaco, che mostrano diverse tonalità di grigio. Semplificando, sono un marker di moti turbolenti. Trattandosi di **altocumuli**, la loro quota li porta a far parte delle turbolenze più che del wind shear a basse quote. Se però operiamo in prossimità di monti o alture (ad esempio con elicotteri) potrebbero trovarsi molto più prossime al suolo in cui si opera²⁴.

MAMMATUS

La **nube *mammatus*** o **nube mammellare** è una speciale nube legata al temporale. È probabile vedere mammatus soprattutto quando si parte da condizioni di aria estremamente umida nei bassi strati e i venti in quota non sono particolarmente forti. Temporalmente con correnti ascensionali più intense, o che nascono in condizioni di aria estremamente umida alle quote basse, riescono a portare fino alla tropopausa enormi quantità di acqua, dapprima sotto forma di vapore, poi come cristalli di ghiaccio e acqua sopraffusa. Quando il temporale si smorza, o l'incudine arriva a distendersi fino a molti chilometri di distanza dalla torre principale (lontana dalla corrente ascensionale),

24. Fonte: WMO e-Library e altri

sull'incudine stessa tenderanno a prevalere i cristalli di ghiaccio più piccoli, ma in quantità enormi; questi inizieranno a scendere verso il basso a causa del loro peso, ma appena usciti dalla nube troveranno subito un ambiente ostile, con aria estremamente secca e fredda. Ecco che allora sublimeranno subito, tornando sotto forma di vapore acqueo e tendendo a risalire verso l'alto. Data la grande mole di acqua in gioco sotto varie forme, il moto di discesa da una parte e di risalita dall'altra, si organizzerà con una certa regolarità e simmetria spaziale²⁵.

SHELF CLOUD, WALL CLOUD E TAIL CLOUD

La nube a muro nasce per il fatto che la corrente discendente all'interno del cumulonembo (*downdraft*), invece di abbattersi al suolo dietro al temporale come *outflow*, viene richiamata all'interno della nube temporalesca da un movimento rotatorio indotto dal mesociclone interno alla supercella. Parte di quest'aria fredda si infila nella corrente ascendente calda (*updraft*) e, avvolgendosi a spirale intorno ad essa, viene spinta nuovamente verso l'alto. Poiché il punto di rugiada di una massa di aria fredda si trova a una quota inferiore rispetto a quello di una massa di aria più calda, l'aria fredda infiltrata condenserà ad una quota altimetrica inferiore, formando così la nube a muro.

È possibile scambiare una *nube a mensola* (in inglese «shelf cloud») per una nube a muro che, soprattutto se osservata da molto vicino, appare come un grosso muro di nubi basse. Tuttavia la nube a mensola compare sempre sul bordo avanzante

25. Fonte: WMO e-Library e altri.

del temporale mentre la nube a muro è posta sul retro. Le nubi a muro tendono ad allungarsi verso la zona delle precipitazioni, mentre le nubi a mensola si sporgono verso l'esterno dell'area temporalesca.

Una nube a muro può essere grande da 250 metri a quasi 8 chilometri. Nell'emisfero settentrionale si forma generalmente a sud o sud-ovest di una supercella. Un movimento rotatorio della nube a muro indica la presenza di un mesociclone²⁶.

NUBI LENTICOLARI

L'**altocumulus lenticularis** (in italiano *altocumulo lenticolare*), è un tipo di altocumulo caratterizzato da una tipica forma a lente; queste nubi sono spesso associate alla formazione di un'onda orografica (*mountain wave*), fenomeno che può risultare molto pericoloso per il volo.

L'aria segue traiettorie ondulate, come se anche dopo aver superato il crinale della montagna mantenesse la traiettoria originale, caratterizzata appunto da moti ascendenti e discendenti che possono portare alla formazione di vortici (detti *rotori*) e turbolenze che disturbano la navigazione aerea, soprattutto nel caso di velivoli leggeri come un deltaplano o un parapendio.

Tuttavia l'utilizzo di alianti opportunamente attrezzati con impianti di ossigeno permettono lo sfruttamento di queste correnti per raggiungere quote molto elevate, anche oltre gli 8000 m²⁷.

Anche in questo caso, trattandosi di altocumuli, se non intera-

26. Fonte: WMO e-Library e altri.

27. Fonte: WMO e-Library e altri.

giamo con i monti che originano la turbolenza, non causeranno qualcosa che chiameremmo wind shear. Se, tuttavia, operiamo in zone montuose (ad esempio con elicotteri o velivoli per estinguere incendi), ecco che anche questo potrebbe diventare un marker importante per noi.

FIRENADO

La maggior parte dei vortici di fuoco sono generati da incendi, e si formano quando sono presenti una corrente ascensionale calda e una convergenza proveniente dall'incendio. Essi vanno di solito dai 10 ai 50 metri d'altezza, pochi metri di larghezza, e durano una manciata di minuti. Tuttavia alcuni possono essere alti più di un chilometro, scatenare venti di oltre 160 km/h e persistere per più di 20 minuti²⁸.

DUST DEVIL/SNOW DEVIL

Il **diavolo di sabbia** (o **diavolo di polvere**) è un fenomeno meteorologico tipico dei territori desertici e secchi. Il "diavolo di sabbia" non è minimamente legato ad una perturbazione a carattere temporalesco, come quella dei tornado, ma è comunque dovuto a correnti convettive.

La sua forma richiama molto quella delle trombe d'aria, tuttavia le dimensioni sono molto più piccole e l'altezza

28. Fonte: WMO e-Library e altri.

del cono di sabbia e polvere non si eleva oltre i 500 metri. La sua energia e di conseguenza gli effetti provocati sull'ambiente sono in generale limitati, ma in qualche caso possono anche provocare danni agli edifici ed effetti conseguenti sulle persone. Un fenomeno simile al diavolo di sabbia è il diavolo di neve, che si sviluppa in aree innevate²⁹.

IL VENTO IN AREE MONTUOSE

Chi opera in aree montuose (elisoccorso, operazioni specializzate, spegnimento incendi, elisky, diporto, ecc.) ha a che fare col pericolo di turbolenze a bassa quota. Venti di versante, effetto venturi, rotori, phoen, si vanno a unire a quanto già visto per i fenomeni temporaleschi. L'elenco è lungo. Alcuni di questi fenomeni sono visibili, ma in gran parte sono del tutto invisibili. Quasi mai in queste zone ci sono stazioni meteo presidiate e quelle automatiche non sono quasi mai in grado di fornire informazioni adeguate in proposito, nel migliore dei casi presentano vento e raffiche, come quelle aeroportuali, ma raramente sono posizionate in modo ineccepibile proprio perché situate in luoghi particolari.

In questo caso soltanto una buona preparazione, una buona conoscenza del territorio, un addestramento costante e il confronto di esperienza con altri piloti/istruttori aiuta a mitigare parzialmente. Ciò introduce una ulteriore domanda.

29. Fonte: WMO e-Library e altri.

Conclusioni: si può mitigare il pericolo del wind shear?

È la domanda finale di questa breve esposizione, non meno importante delle precedenti. Uno studio³⁰ di qualche anno fa, valido per gli Stati Uniti, ci aiuta a capire come sia sempre opportuno intervenire per tentare di mitigare il fenomeno. Nelle zone non presidiate o dove non è disponibile avere delle rilevazioni con sistemi tecnologici (di bordo o di terra), l'addestramento resta l'unica opzione, ma anche così, da solo riduce il rischio già del 20%. La presenza di sistemi di avvisi dimezza ulteriormente l'esposizione, e così via, mano a mano che si strutturano meglio le assistenze.

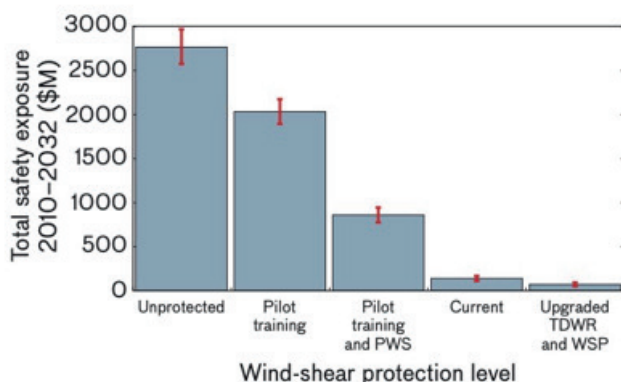


FIGURE 16. The total annual safety-related financial exposure from wind-shear accidents is dependent upon the type of protection applied (based on the current value of fiscal year 2008). The error bars show the range of values based on the minimum/maximum estimates of accident rates given in Table 5.

30. "Wind-Shear System Cost-Benefit Analysis", Robert G. Hallowell and John Y. N. Cho, Lincoln Laboratory Journal, Vol. 18, n. 2, 2010.

L'assenza di training, di stazioni meteo presidiate da operatori qualificati o di equipaggiamenti specifici (di bordo o di terra) purtroppo massimizzeranno il rischio.

Biografia

Augusto Chiarle è un Esperto di Assistenza al Volo attualmente impiegato in qualità di Tecnico Meteorologo presso l'aeroporto di Torino-Caselle e abilitato trainer presso la struttura di formazione ENAV di Forlì. Il suo nome compare in due pubblicazioni ANAC-NA ("La gestione delle emergenze ai tempi del COVID-19" e "La Runway Excursion") e ha collaborato con diverse scuole di volo per velivoli ad ala fissa ed elicotteri in qualità di istruttore.

Il Nemico Invisibile

Wind Shear: è veramente il nemico invisibile
temuto dai piloti?

Di Gabriele Bellini

Wind Shear: è veramente il nemico invisibile temuto dai Piloti?

In questi centoventi anni della storia dell'aviazione sono state molte le minacce meteorologiche sulle quali i Piloti sono stati messi in guardia e addestrati a fronteggiare; partendo fin dalle prime ore di volo si cerca di porre enfasi sull'osservazione del cielo, sulle nubi, le precipitazioni e sui fenomeni che creano una riduzione di visibilità, ma ben diverso è prepararsi a riconoscere ed affrontare una minaccia che non si vede.

Il wind shear infatti, sia che si verifichi in quota che nei bassi strati, non è visibile, ma molto pericoloso per la condotta dell'aeromobile. Come sappiamo questo fenomeno genera variazioni brusche della velocità e direzione del vento; variazioni che per semplicità si considerano solo percepite sull'asse verticale e orizzontale del velivolo. In entrambi i casi si generano alterazioni della portanza³¹ dell'aeromobile, della sua velocità indicata³², dell'assetto e della trazione/potenza necessaria per la fase del volo in cui ci si trova. Spesso tale fenomeno è collegato alla presenza di correnti a getto, onde orografiche inversioni termiche, fronti e temporali.

Analizzando quanto sopra ci si può rendere conto che la gravità delle conseguenze del wind shear aumenta con il diminuire della quota; infatti le variazioni che si verificano sull'aeromobile possono impattare pesantemente sulla sicurezza del volo se avvengono a bassa quota, principalmente durante il decollo e l'atterraggio.

31. Portanza: Componente verticale della forza aerodinamica che genera l'ala, questa forza opponendosi al peso consente di mantenere in aria l'aeromobile.

32. Velocità indicata (IAS): Velocità dell'aeromobile rilevata dal sistema pitot-statico e letta direttamente sull'anemometro.

Per valutare quanto possa essere pericoloso per un aeromobile, in decollo o atterraggio, trovarsi soggetto al wind shear possiamo considerare ciò che può avvenire in presenza di temporali e/o cumulonembi; associata a questa condizione infatti si può avere la presenza di *downburst*, ovvero una raffica molto forte discendente che una volta in contatto con il suolo si espande orizzontalmente a forma di anello; questo fronte di raffica può spingersi da 5 a 30 miglia dalla nube e può investire l'aeroporto senza preavviso apparente, questo perché si sposta con la stessa velocità del temporale.

Quindi un aeromobile in decollo o atterraggio che incontra un *downburst* è soggetto a due specifiche minacce: la prima è una raffica verticale e consiste nel pericolo di essere schiacciato a terra, la seconda invece è dovuta dal moto orizzontale che produce una variazione della componente del vento frontale o in coda, questa variazione si traduce in una possibile perdita di portanza per il velivolo, il quale anche in questo caso può ritrovarsi a perdere quota. In entrambi queste condizioni il *downburst* potrebbe essere talmente forte da vincere la capacità di salita dell'aeromobile, provocandone nei casi peggiori l'impatto con il terreno.

Come prevenire ed evitare il Wind Shear

Sicuramente il modo più efficace per difendersi dal wind shear è riconoscerlo, prevenendo quindi tale minaccia e di conseguenza evitarlo, nei casi più critici ritardando un decollo, un avvicinamento o addirittura dirottando ad un aeroporto alternato. Per fare questo è necessario che il Pilota sviluppi un senso critico

tale da mettersi in guardia una volta riconosciuti quei fattori che possono far presagire la presenza di wind shear.

Come prima cosa è fondamentale conoscere ed analizzare la condizione orografica intorno all'aeroporto, il wind shear legato a rilievi orografici può interessare grandi aree ed è quindi la condizione peggiore rispetto alla presenza di ostacoli minori, quali vegetazioni o costruzioni, quest'ultima condizione infatti crea variazioni di vento più localizzate e prevedibili. Altri indicatori visibili della possibile presenza di wind shear spaziano dai sollevamenti di polvere o sabbia, come mulinelli o nubi ad imbuto, alla presenza di celle temporalesche e intense piogge. Questi due ultimi fenomeni sono facilmente identificabili anche con l'ausilio del radar meteo di bordo.

Basandosi invece su dati numerici un buon indicatore è la differenza tra il vento effettivo, riportato dagli strumenti di bordo, e quello comunicato dalla Torre di Controllo, ecco perché è importante avere sempre i riporti meteo e i dati aggiornati e più recenti possibili.

Inoltre i più moderni velivoli sono dotati di un sistema di previsione di wind shear; tale sistema è in grado di mettere in guardia il Pilota della presenza di variazioni di vento analizzando direttamente la velocità verticale ed orizzontale del vento nelle prossimità dell'aeromobile. Viene così fornita un'indicazione visiva e sonora, solitamente tra i 50 e i 1000 piedi dal suolo, con anticipo di un minuto rispetto alla possibilità di incontrare il fenomeno.

Un altro sistema di avviso importante è il "riporto dei Piloti" (PIREP), è importante però porre enfasi sul fatto che tali riporti devono essere interpretati con la giusta attenzione, questo perché il wind shear varia in maniera repentina, bisogna considerare l'orario del riporto, quindi il tempo trascorso, la variazione della situazione meteorologica in atto e la tipologia del velivolo che ha fatto il riporto. Molto spesso infatti ci si ritrova con dei

riporti incorretti che non forniscono dati oggettivi necessari per generare un'informazione capillare ed accurata.

Infine esistono anche sistemi di previsione di wind shear come TDWR – Terminal Doppler Weather Radar e LLWAS – Low Level Windshear Alert System; tali sistemi forniscono negli aeroporti un'informazione all'ATC della minaccia in atto. Sicuramente tutto questo può aiutare gli equipaggi a rendere più visibile la minaccia legata al wind shear.

A seguito di queste valutazioni quindi ci si può aspettare che il Pilota prediliga un'azione di ritardo oppure che richieda l'utilizzo di una pista e/o una procedura più favorevole all'evitamento del fenomeno di shear, nei casi peggiori ci si aspetti anche la possibilità di una riattaccata.

Come agire una volta riconosciuto il Wind Shear

Una volta analizzati i metodi di prevenzione del wind shear e come riconoscere la possibile presenza di questo fenomeno è bene sottolineare che il parametro più importante è il tempo di anticipo con il quale ci si rende conto della minaccia, solo così si potrà mettere in atto un piano che permetta all'aeromobile di evitare le possibili conseguenze evitando anche di esserne coinvolti.

Se ciò non avviene, il futuro di un aeromobile soggetto ad un forte wind shear è legato all'energia che ha a sua disposizione, tale energia sarà necessaria per sopperire alla perdita di efficienza del velivolo. Questo aumento di energia si traduce in un aumento di velocità e di trazione/potenza del velivolo, nella maggior parte dei casi infatti l'equipaggio si troverà costretto ad

utilizzare tutta la potenza disponibile sia per vincere la corrente discendente e quindi la perdita di quota, che la possibile perdita di portanza.

Conclusioni

Per concludere si può quindi affermare che rispetto agli anni '80, anni in cui è iniziato lo studio del wind shear, oggi tale fenomeno è meno invisibile di quanto lo era allora. Infatti da una parte l'esperienza e l'addestramento dei Piloti hanno reso possibile creare una consapevolezza della minaccia e di quando si possa rischiare di incontrarla; mentre dall'altra parte le moderne tecnologie hanno contribuito a fornire avvisi, sia a bordo del velivolo che a terra, utili per aumentare l'attenzione degli equipaggi e prevenire il fenomeno.

Biografia

Gabriele Bellini è stato impiegato come Tecnico Meteorologo e FISO presso ENAV S.p.A. Il suo nome compare già in una pubblicazione ANACNA ("La gestione delle emergenze ai tempi del COVID-19") e collabora con diverse scuole di volo per velivoli ad ala fissa in qualità di istruttore.

Il Wind Shear in cifre

Statistiche e analisi dei METAR italiani

Di Markus Valentini

Introduzione

Il **wind shear** è un fenomeno meteorologico su scala microscopica spesso generato da altri fenomeni quali **onde orografiche** o **celle temporalesche**. In questa breve analisi vedremo se questi eventi sono effettivamente correlati tra loro e con quale proporzione. Ci concentreremo sui fenomeni di wind shear ai bassi strati riportati dagli aeroporti italiani attraverso l'emissione di METAR per l'intero anno 2023 e 2024³³.

Strumenti e tecnologie utilizzate

Il cuore del processo è gestito da un server PHP: questo si occupa di scaricare i dati dal sito ogimet.com e controllarne ed estrarne le informazioni (in gergo *parsificare*).

Il risultato verrà salvato in un database SQL: questo ci permetterà di fare delle analisi e dei confronti (in gergo *query*) in maniera veloce e precisa.

Per eseguire le analisi più complesse ci appoggeremo alla piattaforma specializzata **MatLab**.

33. In accordo alla Risoluzione WMO 40 sulla disseminazione dei dati meteo pubblici tra cui i METAR.

Fonte dei METAR

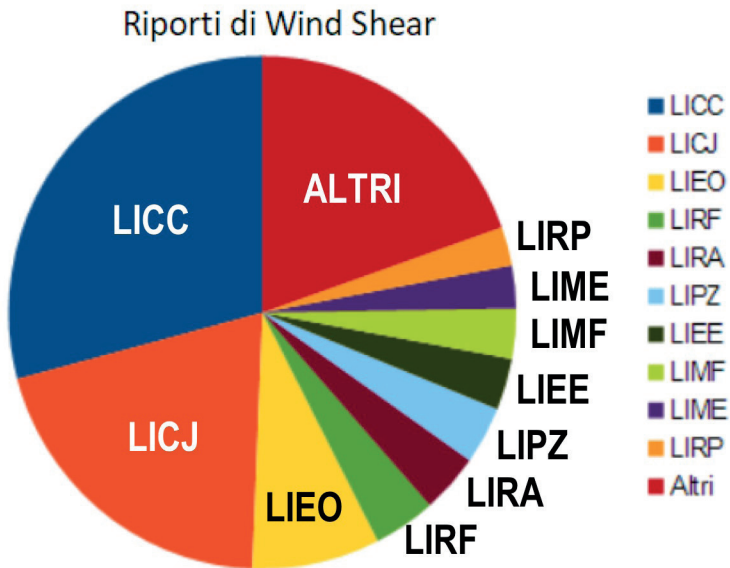
I **METAR** (Meteorological Aerodrome Report) sono dei bollettini di osservazione di alcuni parametri meteorologici (tra i quali appunto anche il wind shear) rilevati dalle stazioni meteorologiche. L'annesso 40 della **World Meteorological Organization**, di cui l'Italia è membro, promuove il libero scambio e consultazione delle informazioni meteorologiche anche tramite piattaforme open source, e per questo progetto abbiamo quindi consultato i dati condivisi da ogimet.com.

Tuttavia non è stato possibile effettuare controlli sulla fonte.

Dati ottenuti, 2023

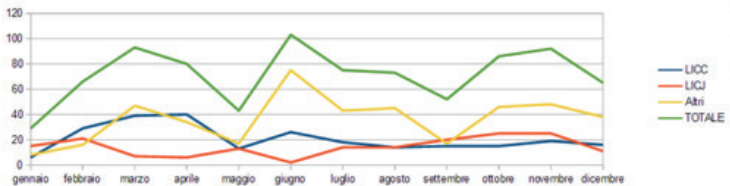
Abbiamo ottenuto circa **900 mila** METAR italiani per l'anno 2023, di questi **857** contengono riporti di wind shear, ovvero appena lo 0,1% del totale.

Si possono notare già alcune curiosità: gli aeroporti siciliani di Catania (LICC) e Palermo (LICJ) insieme hanno emesso **quasi la metà** di tutti i riporti di Wind Shear in Italia, per un totale di **423** bollettini. Dato che questi due aeroporti sono geograficamente vicini tra loro ed hanno numerosi casi di wind shear, i loro dati risultano essere significativi e perciò verranno presi come riferimento per le successive analisi.



Analisi dei dati, 2023

Vediamo innanzitutto se ci può essere un nesso tra i wind shear e le stagioni, queste dopotutto determinano e favoriscono la presenza di alcuni fenomeni meteorologici piuttosto che altri. Il risultato ottenuto è il seguente grafico:



Partendo da **Catania** (LICC) abbiamo un **picco** nei mesi di **marzo** ed **aprile** ed un **calo** a **gennaio**. **Palermo** (LICJ) invece ha un **calo** nei mesi di **marzo** ed **aprile**. Il resto degli aeroporti (**Altri**) ha il picco maggiore a giugno. Questo ci fa dedurre che in Italia non ci sia una correlazione individuabile tra i mesi e la comparsa di wind shear e che la situazione varia per ogni aeroporto.

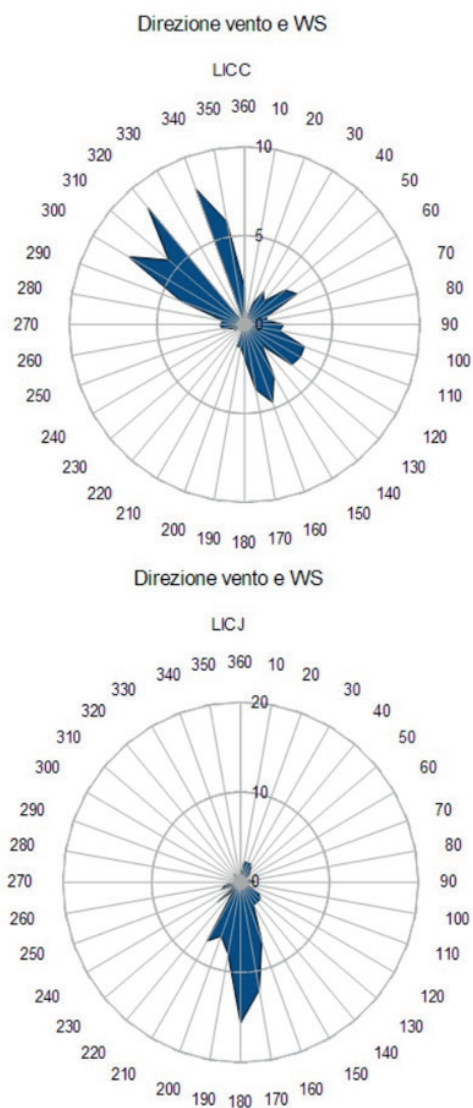
Procediamo quindi ad analizzare l'influenza che potrebbe avere la direzione del vento.

I seguenti grafici illustrano la percentuale di riporti di wind shear per ogni riporto, in base alla direzione del vento, per gli aeroporti di Catania (LICC) e Palermo (LICJ)³⁴.

Partendo da **Catania**, la maggior parte dei riporti di wind shear li abbiamo con vento proveniente da **nord ovest**, mentre per **Palermo** la stragrande maggioranza dei riporti hanno il vento proveniente da **sud**. Possiamo notare che in entrambi i casi la direzione del vento coincide con la posizione degli ostacoli orografici di maggior rilievo (l'Etna a nord ovest di Catania, i Monti Sicani a sud di Palermo).

Per quanto riguardano le percentuali di Catania nelle direzioni di sud est il riporto METAR non fornisce indizi: il numero di riporti è esiguo e non sufficiente per trarre delle statistiche significative.

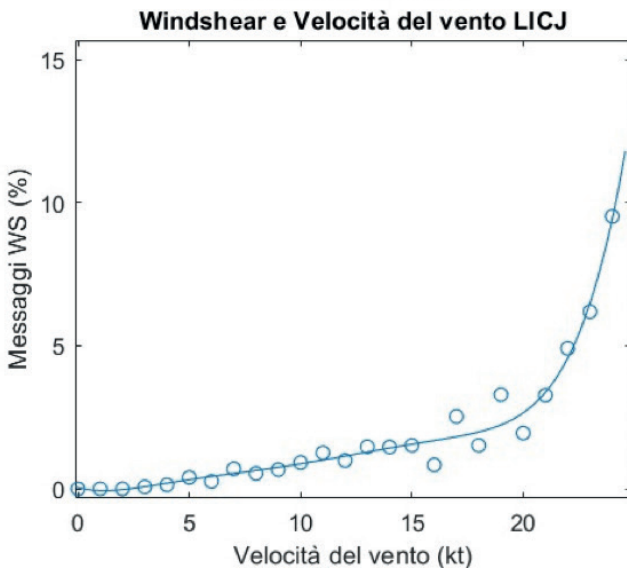
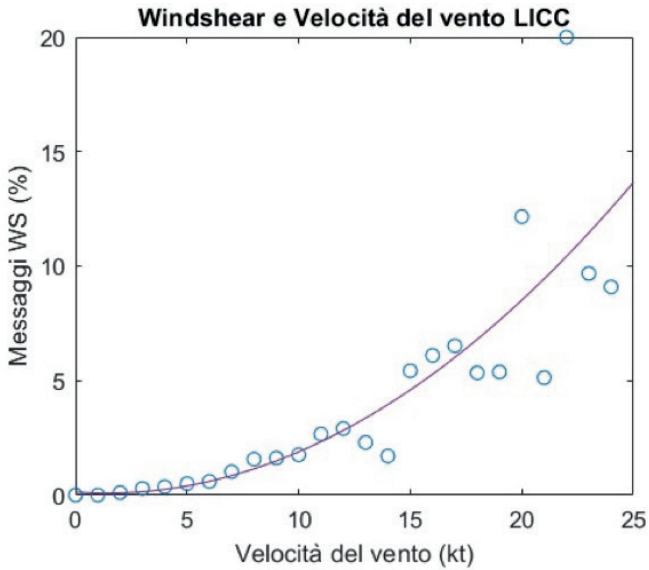
34. Esempio di lettura: a Palermo circa il 15% dei bollettini aventi direzione del vento da 180° è un riporto di wind shear.



Per quanto riguarda la **velocità** del vento, i grafici evidenziano che in entrambi i casi si ha un aumento proporzionale di fenomeni riportati: ha perfettamente senso dedurre che l'aria sia più turbolenta all'aumentare della sua energia e questo ne è la dimostrazione.

Concludiamo con un paio di dati per quanto riguardano i **fenomeni temporaleschi**: analizzando il nostro database ci sono pochissimi messaggi nei quali compaiano insieme sia wind shear che uno qualsiasi degli indicatori di celle temporalesche (in codice: qualsiasi TS, CB o TCU).

Per l'esattezza solo 64 messaggi corrispondono a questi criteri (di cui 7 a LICC, 2 a LICJ) e non è possibile trarre delle statistiche significative con così pochi dati: ciò **non significa** che il wind shear sia assente in tali condizioni, ma molto più probabilmente è dovuto al fatto che il fenomeno in tali condizioni sia molto più difficile da individuare, o che venga assunto che il fenomeno sia **sempre presente** quindi il suo riporto venga ritenuto superfluo dagli equipaggi di condotta.



Analisi dei dati, 2024

A seguito delle interessanti ma limitate analisi eseguite lo scorso anno, abbiamo deciso di replicare lo studio anche per il 2024.

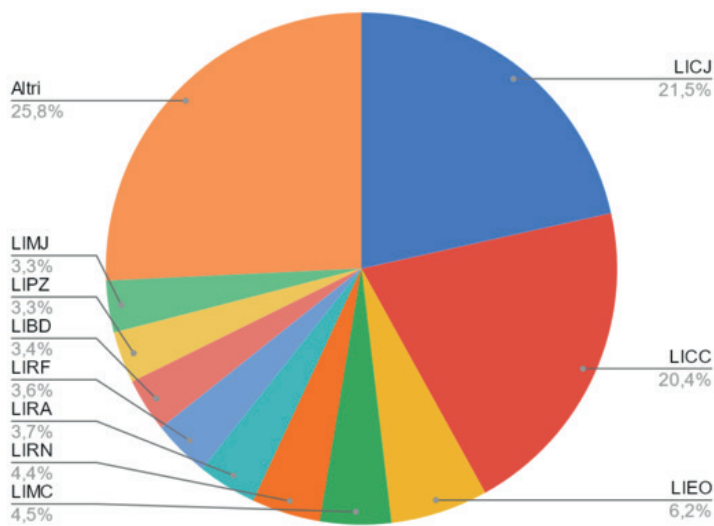
Gli strumenti e le tecnologie utilizzati sono gli stessi dell'anno scorso, con alcuni miglioramenti agli algoritmi che ci hanno permesso di analizzare dati precedentemente scartati. Questo ha comportato lievi differenze nei risultati relativi al 2023, ma le conclusioni precedenti rimangono sostanzialmente invariate.

Dati ottenuti, 2024

Anche quest'anno abbiamo raccolto circa **900 mila METAR**, di cui **827** riportano casi di wind shear. Si può già notare che i numeri siano molto simili a quelli dell'anno precedente.

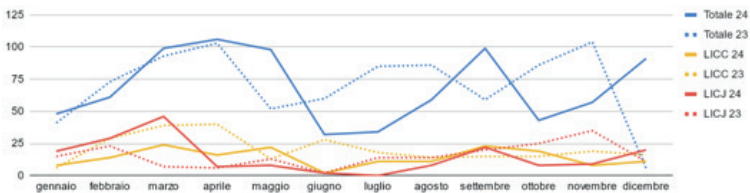
La distribuzione dei messaggi presenta diverse variazioni, con la costante che Catania e Palermo continuano a registrare il maggior numero di riporti.

Nel dettaglio, quest'anno a **Catania** (LICC) abbiamo ricevuto **169** riporti di wind shear (rispetto ai **255** del 2023), mentre a **Palermo** (LICJ) ne sono stati registrati **178** (rispetto ai **185** del 2023).



Analisi dei dati, 2024

L'anno scorso avevamo studiato l'eventuale correlazione tra i casi di wind shear e le stagioni. Replicando le analisi e confrontandole con i dati del 2023, otteniamo il seguente grafico:



È immediato notare che le distribuzioni dei messaggi del 2023 e del 2024 sono completamente diverse, con picchi e avvallamenti in periodi differenti dell'anno. L'analisi del 2023 aveva già suggerito che non ci fossero correlazioni evidenti tra stagioni e riporti di wind shear: questo confronto rappresenta un'ulteriore conferma.

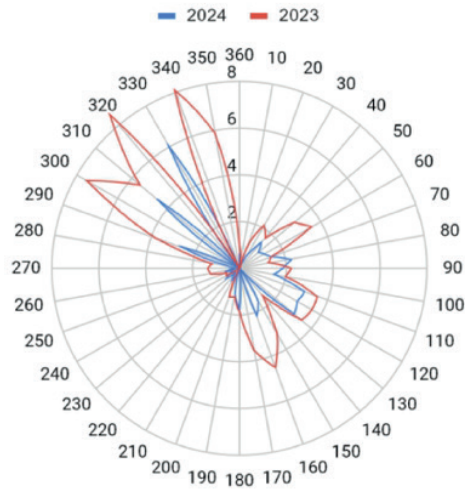
Proseguendo con l'analisi del vento utilizzando i nuovi dati relativi agli aeroporti di Palermo e Catania, abbiamo tracciato i grafici aggiornati delle percentuali di riporti di wind shear, confrontandoli con quelli dell'anno scorso.

Premettendo che, anche per il 2024, abbiamo poche centinaia di riporti per ciascun aeroporto, il che rende difficile trarre conclusioni statisticamente significative, è comunque interessante notare che, in entrambi i casi, la distribuzione delle percentuali è pressoché invariata. È quindi plausibile confermare l'ipotesi avanzata lo scorso anno, secondo cui potrebbe esserci una correlazione tra la direzione del vento e i riporti di wind shear.

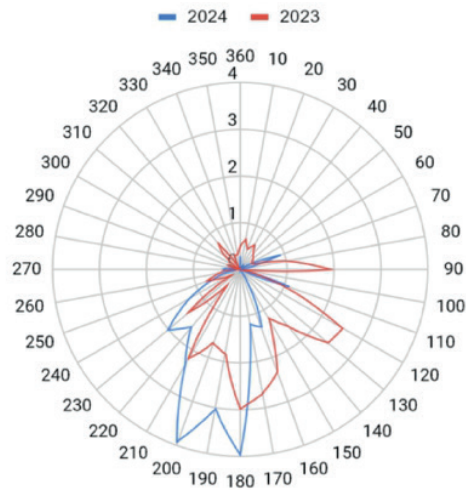
Anche per quanto riguarda l'analisi della velocità del vento, i grafici ottenuti sono analoghi a quelli dell'anno scorso. Pertanto, possiamo confermare anche in questo caso la correlazione tra la velocità del vento e i riporti di wind shear.

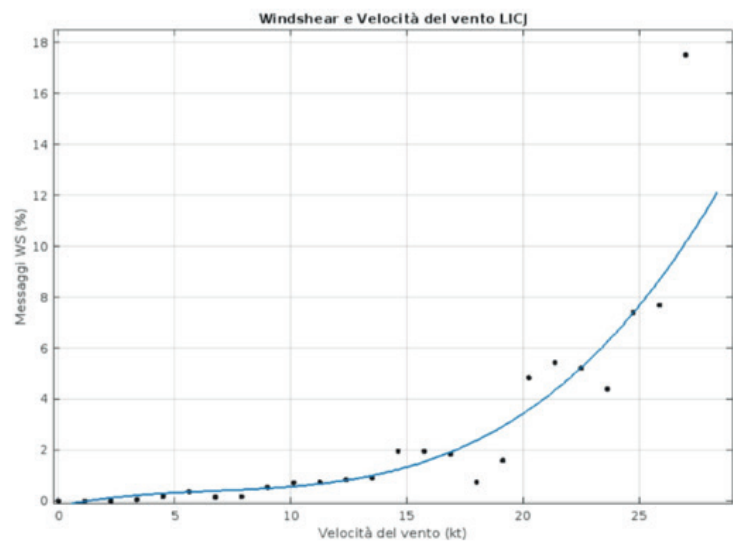
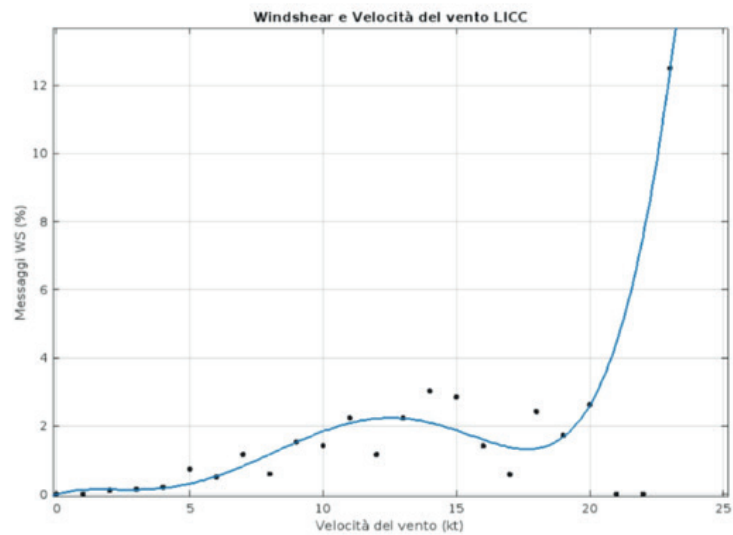
Infine, per quanto riguarda i fenomeni temporaleschi, anche nel 2024 abbiamo rilevato pochissimi messaggi in cui compaiono contemporaneamente wind shear e uno qualsiasi degli indicatori di fenomeni temporaleschi, per un totale di soli 78 messaggi emessi in tutta Italia. L'unico dato interessante è che, anche in questo caso, i numeri sono molto simili a quelli del 2023, confermando così che non si tratta di un'anomalia, ma di una relazione costante nel corso degli anni.

LICC - Direzione vento e WS (%)



LICJ - Direzione vento e WS (%)





Conclusioni

Abbiamo osservato che, a livello nazionale, l'emissione di METAR con riporti di wind shear è circa lo 0,1% del totale e che se ne hanno la stragrande maggioranza nella regione siciliana. Ne deduciamo che la sua orografia e posizione geografica hanno un impatto notevole sull'origine di questo fenomeno.

Se da un lato i mesi e le stagioni non paiono avere un nesso, di sicuro ce l'hanno il vento, la sua direzione ed intensità: ciò conferma come il wind shear sia un fenomeno strettamente correlato alle onde orografiche. Infine, non abbiamo dati sufficienti per determinarne la correlazione con i fenomeni temporaleschi, ma ci fa ricordare che è un fenomeno improvviso e sfuggente.

Biografia

Markus Valentini, laureato in Scienze dell'Informazione presso l'Università di Torino, è impiegato come Tecnico Meteorologo presso l'aeroporto di Torino-Caselle. Il suo nome compare già in una pubblicazione ANACNA ("Parsing dei messaggi NOTAM").

Wind Shear vs. Technology

La tecnologia usata per individuare
il Wind Shear

Di Nicolò Giacomo Ferrando

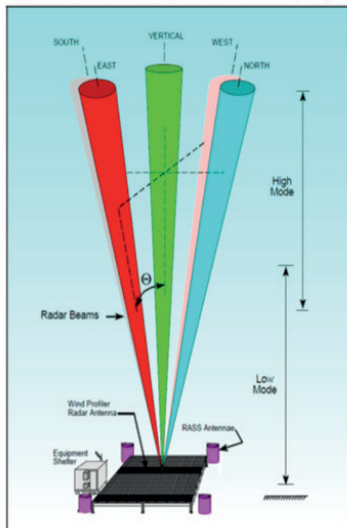
IL WIND PROFILER RADAR

Composizione e configurazioni

I wind profiler radar (WPR) sono un tipo di apparecchiatura per l'osservazione meteorologica che utilizza radar Doppler che operano nelle bande di frequenza VHF (30-300 MHz) o UHF (300-1000 MHz). Lo scopo principale dei profiler è creare una scansione verticale della direzione e intensità del vento.

Il WPR è una strumentazione di telerilevamento (l'insieme di strumenti, tecniche e metodi interpretativi che permettono di estendere e migliorare le capacità percettive dell'occhio umano, fornendo all'osservatore informazioni qualitative e quantitative su caratteristiche fisiche di elementi del mondo reale localizzati a distanza) basata sul principio del radar Doppler. I WPR acquisiscono i profili del vento sulla base delle onde elettromagnetiche emesse dall'antenna. Tali onde vengono trasmesse in tre o cinque direzioni di puntamento, a seconda della configurazione. La configurazione a tre fasci comprende un fascio orientato sullo zenit e gli altri due inclinati a 15° o 20° verso nord e verso est³⁵.

Figura 1: schema a fasci del wind profiler



35. https://www.liceovolterra.it/tesi/carconi_stefano_5B_98.pdf (pag.6)

In quelli a cinque fasci sono presenti anche due fasci orientati a sud e ovest [figura 1] e a seconda della frequenza con cui lavora il profiler, possono scansionare l'atmosfera dal suolo fino ad un massimo di 16 km di altezza. Queste configurazioni permettono di elaborare il vento in maniera tridimensionale.

Esistono vari tipi e configurazioni possibili di WPR, gli Stati Uniti ad esempio, utilizzano tre tipi di profiler³⁶.

Quelli a 404 MHz per il NOAA Profiler Network (NPN) sono molto costosi da costruire e gestire, ma forniscono la copertura più profonda dell'atmosfera.

I profiler a 915 MHz utilizzati sempre dalla NOAA³⁷ e da agenzie esterne per la ricerca sono molto più piccoli ed economici da costruire ed utilizzare, ma mancano di copertura in altezza, generalmente arrivano ad un massimo di 3 km [figura 2].

Il terzo tipo, quello più utilizzato, che opera a 449 MHz, combina i migliori attributi di campionamento dei due precedenti sistemi. Sono composti da un'antenna formata da due schiere coassiali disposte ortogonalmente l'un l'altro composte da 20 vettori ognuna. Ogni vettore è alimentato da una serie di divisori di potenza, sia i cavi che connettono i divisori di potenza che le antenne, sono

Figura 2: WPR a 915 Mhz di Arpa Piemonte a Torino



36. https://www.liceovolterra.it/tesi/carconi_stefano_5B_98.pdf (pag.8)

37. National Oceanic and Atmospheric Administration.

tagliati a specifiche lunghezze (multiple di 74 cm) in modo da mantenere la fase lungo tutta l'antenna [figura 3].

I profiler della rete NOAA³⁸ operano continuamente, alternando ogni minuto "modo" basso e alto, scambiandosi le posizioni del fascio ogni due minuti. Il modo basso campiona la bassa atmosfera, partendo da 500 metri dal suolo fino a 9 km, il modo alto si sovrappone al modo basso per la prima parte, esso infatti inizia la campionatura dai 7,5 km di altezza fino ad un massimo di 16 km³⁹.

Figura 3: WPR a 449 MHz



Utilizzo

Gli impulsi trasmessi in ciascuna direzione vengono riflessi o retro diffusi al radar da caratteristiche atmosferiche (turbolenza, nuvole, precipitazioni) e caratteristiche non atmosferiche (insetti, uccelli, alberi, aeroplani, interferenze in radiofrequenza). La sfida nell'elaborazione del segnale è evitare i ritorni da bersagli di scattering non atmosferici e concentrarsi sui ritorni atmosferici. Viene prodotto, così, un singolo profilo del vento durante un periodo di osservazione compreso tra 30 e 90 secondi. Calcolando

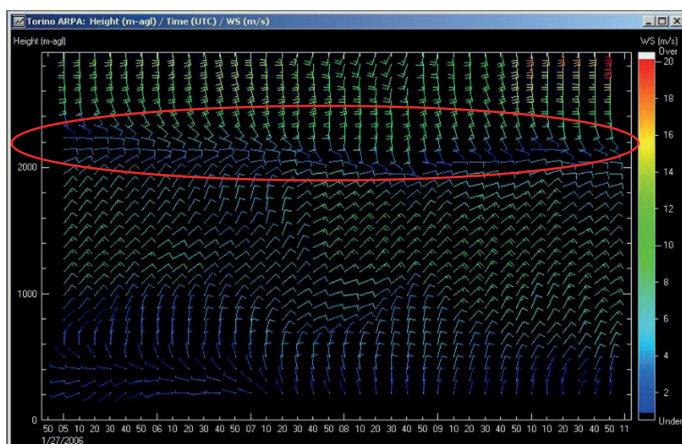
38. National Oceanic and Atmospheric Administration.

39. https://www.liceovolterra.it/tesi/carconi_stefano_5B_98.pdf (pag.42)

la media di tutti i profili del vento in un lasso di tempo specifico (da 15 a 60 minuti) si crea una stima della velocità e direzione del vento, a varie quote sulla verticale. Attraverso una serie di algoritmi, il profiler, filtra i picchi di ritorno non atmosferici e analizza il picco spettrale per tutti i fasci e per ogni livello preso in esame⁴⁰.

I profili di vento rilevati da questa strumentazione sono di solito utilizzati come supporto dal meteorologo, sia in fase di analisi meteorologica locale, sia nella formulazione di una previsione a “breve termine”. La [figura 4] mostra il profilo verticale del vento, prodotto da un WPR, la zona evidenziata di rosso mostra uno strato dove lo shear è più marcato: salendo di quota, tra i 1800 e 2200 metri, la direzione del vento passa da nord, nord-est a sud; con un calo di intensità minore a circa 2100 metri per poi aumentare nuovamente.

Figura 4: profilo verticale del vento rilevato da un WPR



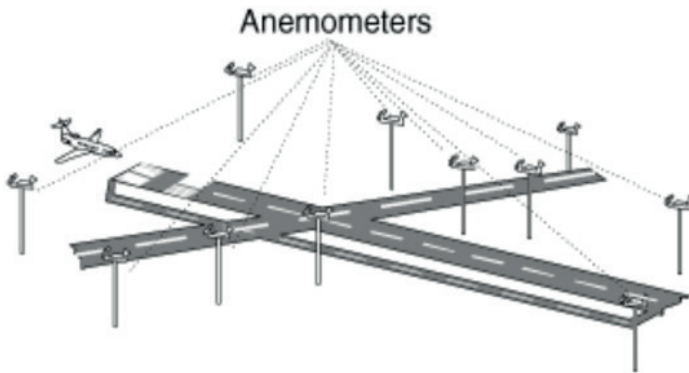
40.https://www.liceovolterra.it/tesi/carconi_stefano_5B_98.pdf (pagg.21-26)

LOW LEVEL WIND SHEAR ALERT SYSTEM (LLWAS)

Composizione

Il Low Level Wind shear Alert System (LLWAS) è costituito da una serie di anemometri posizionati strategicamente intorno e all'interno di un aeroporto. I sistemi più vecchi utilizzavano un minimo di 6 anemometri (uno centrale e 5 perimetrali) tutti all'interno dei confini dell'aeroporto, mentre i sistemi aggiornati possono averne più di 30, con alcuni posizionati fino a 3 miglia nautiche (nm) lungo i percorsi di avvicinamento e partenza [figura 5]⁴¹.

Figura 5: esempio di una composizione di LLWAS



Viene misurato prevalentemente solo il wind shear orizzontale, cioè tutti gli anemometri sono posizionati ad altezze simili sopra il riferimento dell'aeroporto. Tuttavia, in alcuni aeroporti gli anemometri per il telerilevamento sono posizionati su tralicci e

41. <https://skybrary.aero/articles/low-level-wind-shear-alert-system-llwas>

torri televisive situati nelle vicinanze dell'aeroporto e anche sulle colline circostanti dove esistono problemi noti (ad esempio Hong Kong), al fine di osservare e misurare il wind shear nel verticale.

Sistema di elaborazione

Lo scopo del sistema è fornire avvisi visivi e audio agli ATC (Air Traffic Control) in modo che possano trasmettere informazioni e avvisi su wind shear e microburst ai piloti e ad altri servizi e clienti aeroportuali. Il processore del sistema monitora e confronta continuamente la differenza vettoriale tra le osservazioni del vento superficiale perimetrale e centrale del campo. I sensori perimetrali vengono campionati regolarmente dall'unità di controllo centrale, ad es. ogni dieci secondi. Il sensore del campo centrale produce un vento superficiale medio corrente di due minuti che viene visualizzato nella torre ATC insieme a eventuali raffiche rilevate. Se la differenza vettoriale tra il centro campo ed un sensore perimetrale è superiore a 15 nodi, viene visualizzato anche il relativo vento perimetrale e viene attivato un allarme audiovisivo. Le condizioni di **microburst** vengono rilevate da diversi algoritmi, poiché un microburst può facilmente verificarsi tra due sensori perimetrali senza influenzare nessuno dei due.

Sviluppi

Sebbene i produttori di LLWAS affermino affidabilità e precisione di rilevamento superiori al 90%, c'è ancora spazio per migliora-

re l'accuratezza e l'affidabilità di LLWAS. I falsi allarmi possono essere causati da condizioni di vento a raffiche, da un'ubicazione non ottimale dell'anemometro, ad esempio schermatura da ostruzioni e da anemometri sotto/sovra lettura.

Nuove tecnologie come gli anemometri sonici possono sostituire gli anemometri a palette meccanici. Essendo strumenti a stato solido, questi nuovi sensori hanno un'affidabilità e una manutenibilità molto migliori. Le informazioni dei sensori provenienti da LLWAS possono anche essere integrate con i dati provenienti dal Terminal Doppler Weather Radar (TDWR) che vedremo nel prossimo capitolo. Laddove questo sia installato, gli output dei due sistemi saranno integrati per l'emissione di avvisi. Due termini comunemente usati relativi al LLWAS aggiornato negli Stati Uniti sono brevemente descritti di seguito:

- LLWAS-RS (Relocation and Sustainment) si riferisce all'aumento del numero di anemometri (oltre 6) e alla loro posizione strategica all'interno del confine dell'aeroporto e anche lungo i corridoi di avvicinamento e partenza fino a circa 3 miglia nautiche.
- LLWAS-NE (Network Expansion) si riferisce all'integrazione di LLWAS-RS con TDWR.

Gli LLWAS, che utilizzano in media da 10 a 20 anemometri (e in alcuni casi oltre 30) sono ormai diffusi in tutti gli Stati Uniti, ed è il livello di tecnologia utilizzato per le nuove installazioni in tutto il mondo. Inoltre, a volte è integrato con i dati del TDWR⁴².

42. [https://en.wikipedia.org/wiki/Low-level_windshear_alert_system#:~:text=LLWAS%20wind%20shear%20alerts%20are,above%20ground%20level%20\(AGL\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Low-level_windshear_alert_system#:~:text=LLWAS%20wind%20shear%20alerts%20are,above%20ground%20level%20(AGL))

TERMINAL DOPPLER WEATHER RADAR (TDWR)

Un sistema Terminal Doppler Weather Radar (TDWR) rileva e segnala condizioni meteorologiche pericolose all'interno e intorno alle zone di avvicinamento e partenza del terminal dell'aeroporto. Il TDWR identifica e allerta i controllori del traffico aereo dei rischi di wind shear a bassa quota causati da microburst e fronti di raffica, oltre a riferire sull'intensità delle precipitazioni e fornire avvisi avanzati sui cambiamenti di vento.

Le antenne TDWR [figura 6] si trovano vicino ma non su un sito aeroportuale principale. Il radar è appositamente progettato per funzionare in un ambiente

ad alto disturbo normalmente presente in prossimità degli aeroporti. Si avvale di una varietà di metodi per ridurre al minimo il disordine ed eliminare l'influenza di bersagli in movimento come uccelli, aerei e automobili. In questo modo il TDWR può misurare accuratamente la velocità del vento radiale e la sua fluttuazione da cui è possibile calcolare il wind shear a basso livello.

Gli ATC utilizzano i rapporti TDWR per avvisare i piloti che sono potenzialmente colpiti dalle condizioni meteorologiche pericolose.

Figura 6: esempio di antenna radar TDWR



Il TDWR è stato utilizzato per la prima volta operativamente negli Stati Uniti negli anni '90, dove ha gradualmente sostituito i sistemi di allarme di wind shear di basso livello basati su anemometri. Il TDWR viene installato anche in altri paesi al di fuori degli Stati Uniti dove il wind shear e i microburst rappresentano un pericolo particolare⁴³.

Vantaggi e sfide.

Il sistema TDWR è in servizio dal 1994. Dispone di un gran numero di parti software e hardware, molte delle quali sono diventate obsolete e presentano notevoli problemi di supportabilità che peggiorano con il tempo. L'ultimo incidente correlato al wind shear si è verificato all'aeroporto internazionale di Charlotte/Douglas il 2 luglio 1994, prima che il suo TDWR fosse installato e operativo (Aircraft Accident Report 95-03). Inoltre, i ritardi legati alle condizioni meteorologiche sono stati ridotti, consentendo un risparmio nel consumo di carburante per l'aviazione.

I vantaggi operativi del sistema includono il rilevamento in tempo reale di microburst, fronti di raffica, cambiamenti di vento e precipitazioni, nonché la previsione dei cambiamenti del vento che consentono una migliore efficienza dell'aerodromo quando si apportano modifiche alla pista. Il programma continuerà a implementare miglioramenti che ridurranno i costi delle operazioni e ne miglioreranno l'affidabilità⁴⁴.

43. <https://skybrary.aero/articles/terminal-doppler-weather-radar-tdwr>

44. https://www.faa.gov/air_traffic/weather/tdwr

IL NEXRAD WSR88-D

Composizione e funzionamento

NEXRAD (Next-Generation Radar) rileva le precipitazioni e i movimenti atmosferici o il vento. Restituisce dati che, una volta

Figura 7: Antenna di un NEXRAD



elaborati, possono essere visualizzati in una mappa a mosaico che mostra i modelli di precipitazioni e il loro movimento. Il sistema radar funziona in due modalità di base, selezionabili dall'operatore: una modalità aria pulita a scansione lenta per analizzare i movimenti dell'aria quando c'è poca o nessuna attività nell'area e una modalità pre-

cipitazioni, con una scansione più rapida per monitorare il tempo attivo. NEXRAD pone una maggiore enfasi sull'automazione, compreso l'uso di algoritmi e scansioni automatizzate.

Un WSR-88D standard opera nella banda S, ad una frequenza di circa 2800 MHz utilizzando un'antenna parabolica alimentata al centro. La frequenza di ripetizione degli impulsi (PRF) varia da 318 a 1300 Hz con una potenza massima di 700 kW, sebbene dipendente dal modello di copertura del volume selezionato dall'operatore. Tutti i NEXRAD hanno un diametro della parabola di 9,1 metri [figura 7]. I NEXRAD hanno un'elevazione minima e massima tradizionale compresa tra 0,1 e 19,5 gradi, sebbene l'intervallo minimo e massimo non operativo sia compreso tra -1 e +45 gradi. A differenza del suo predecessore, il WSR-74, l'antenna non può essere manovrata manualmente dall'operatore.

I dati di livello I del WSR-88D rappresentano l'uscita registrata del ricevitore digitale. La risoluzione spaziale varia con il tipo di dati e l'angolo di scansione: i dati di livello III hanno una risoluzione di 1 km x 1 grado in azimuth, mentre il livello super-res II, (implementato nel 2008 a livello nazionale negli Stati Uniti), ha una risoluzione di 250 m per 0,5 gradi in azimuth in elevazione.

Il sistema radar NEXRAD aggiorna continuamente il suo database tridimensionale tramite uno dei numerosi modelli di scansione predeterminati. Questi modelli hanno PRF diversi per adattarsi al rispettivo utilizzo, ma hanno tutti una risoluzione costante.

Problematiche e risoluzioni

Poiché il sistema campiona l'atmosfera in tre dimensioni, sono molte le variabili che possono essere modificate, a seconda del risultato desiderato. L'antenna esegue la scansione ad un massimo di 19,5 gradi di elevazione e ad un minimo di 0,5, con alcuni siti costieri che scansionano fino a 0,2 o meno. A causa della copertura incompleta dell'elevazione, un fenomeno noto come "Il cono del silenzio" è presente in tutti i radar NEXRAD. Il termine descrive la mancanza di copertura direttamente sopra i siti radar.

Quando il sistema NEXRAD è stato inizialmente implementato, il radar scansionava automaticamente tutti gli angoli in un modello di copertura del volume, anche se gli angoli di scansione più alti erano privi di precipitazioni. Di conseguenza, in molti casi, quando il maltempo era più lontano dal sito radar, i meteorologi non potevano fornire avvisi di maltempo il più tempestivi possibile. L'algoritmo AVSET (Automated Volu-

me Scan Evaluation and Termination) aiuta a risolvere questo problema terminando immediatamente la scansione del volume quando le precipitazioni ritornano ad angoli di scansione più alti e scendono al di sotto di una soglia impostata (circa 20 dBZ). Ciò può spesso consentire più scansioni di volume all'ora, migliorando il rilevamento di condizioni meteorologiche avverse, senza la necessità di aggiornamenti hardware. AVSET è stato inizialmente distribuito nell'autunno del 2011⁴⁵.

Analisi in tempo reale

Di seguito si evidenziano i METAR dell'area di Chicago e le relative immagini del NEXRAD associato⁴⁶:

(Chicago O'Hare) METAR: KORD 050851Z 02012KT 3SM TSRA BR BKN009 OVC032CB 05/04 A2988 RMK AO2 LTG DSNT ALQDS RAB01 TSB11 SLP120 FRQ LTGICCG OHD TS OHD MOV NE P0018 60030 T00500039 53012 \$

(Chicago O'Hare) METAR: KORD 050951Z 35011G25KT 4SM +TSRA BR BKN009 BKN021CB OVC040 05/04 A2989 RMK AO2 PK WND 35028/0921 LTG DSNT S PRESRR SLP121 OCNL LTGCCCCG OHD TS OHD MOV NE P0020 T00500044 \$

(West Chicago) METAR: KDPA 051005Z 02021G30KT 5SM RA BR SCT009 BKN043 OVC070 05/04 A2983 RMK AO2 PK WND 01030/1002 LTG DSNT S PRESFR P0003 T00500039

45. <https://en.wikipedia.org/wiki/NEXRAD>

46. Fonte immagini: <https://weather.ral.ucar.edu/radar/>

(Chicago-Midway) METAR: KMDW 050953Z 02007KT 3SM
-TSRA BR BKN007 OVC023CB 06/04 A2992 RMK AO2 WSHT
0922 LTG DSNT N AND SW PRESRR SLP130 OCNL LTGIC
OHD TS OHD MOV NE P0005 T00610044 \$

(Lafayette) METAR: KLAF 051021Z AUTO 21006KT 3SM
TSRA BR BKN036 OVC045 17/15 A2983 RMK AO2 LTG DSNT
ALQDS P0030 T01670150

LEGENDA METAR:

PEAK WIND: PK WND dddff(f)/(hh)mm: direzione in gradi, velocità in nodi, tempo.

LIGHTNING: [FREQ] LTG [LOC]: scariche elettriche, una volta rilevate vengono segnalate frequenza e posizione.

PRESRR or PRESFR: pressione in rapido aumento o calo.

SLPppp: pressione a livello del mare in hPa

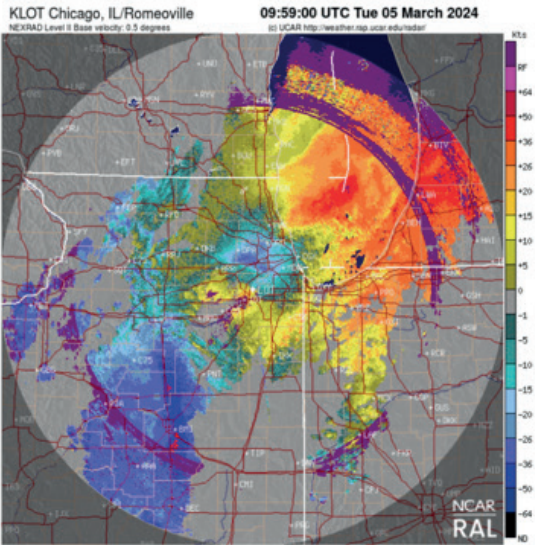
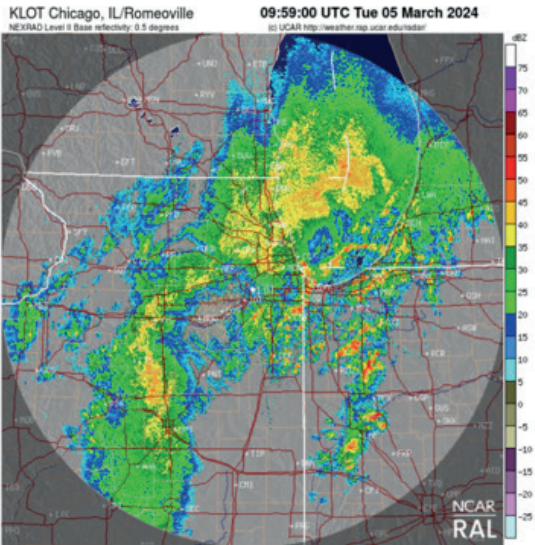
LTGCCCCG: Lightning cloud-to-cloud cloud-to-ground, scariche elettriche tra nube e nube, nube e suolo

OHD: Overhead

T00500044 – temperatura e dewpoint

\$: Indicatore di manutenzione. Un segnale indicatore di manutenzione deve essere codificato quando un sistema automatizzato rileva che è necessaria una manutenzione sul sistema⁴⁷.

47. https://www.weather.gov/media/wrh/mesowest/metar_decode_key.pdf



IL WIND SHEAR AND TURBULENCE WARNING SYSTEM (WTWS)

Utilizzo e composizione

La funzione principale dei Wind Shear and Turbulence Warning System (WTWS) comprende rilevamento di wind shear e turbolenza indotti dal terreno, microburst convettivo, fronti di raffiche, intensità delle precipitazioni e movimento delle tempeste. Prevede inoltre la turbolenza indotta dal terreno e il vento sulla superficie dell'aeroporto e fornisce indicazioni numeriche sulle previsioni meteorologiche su mesoscala, termine con cui si qualificano situazioni relative a situazioni spaziali intermedie tra grandi scale e basse scale.

Il WTWS integra dati provenienti da vari sensori e fonti, inclusi anemometri, radar meteorologici Doppler, wind profiler Doppler, modelli numerici di previsione meteorologica e una serie di osservazioni meteorologiche globali. Indirettamente, riceve dati dal sistema mondiale di previsione d'area (WAFS) dell'ICAO e dal sistema di telecomunicazioni globale dell'Organizzazione Meteorologica Mondiale (WMO). I progettisti hanno sviluppato i prodotti WTWS per migliorare la sicurezza, la capacità e l'efficienza delle operazioni fornendo automaticamente ai piloti avvisi concisi di wind shear e turbolenza. Il sistema è stato inoltre progettato per fornire ai gestori e ai supervisori del traffico aereo informazioni utili per favorire un processo decisionale efficace e per presentare dati meteorologici in tempo reale e ad alta risoluzione e indicazioni sulle previsioni ai meteorologi.

Per aumentare l'affidabilità, è stata utilizzata una serie ridondante di ambienti informatici indipendenti. Ciò garantisce che tutti i processi critici del sistema siano in esecuzione da qualche parte su una rete di computer WTWS. La capacità di perfezionare o ottimizzare gli algoritmi del sistema dopo, così come prima,

l'installazione è una caratteristica importante perché l'ottimizzazione può essere ottenuta solo dopo l'utilizzo in un ambiente operativo.

Sviluppo del modello

Per il modello a mesoscala, la Penn State University e il National Center for Atmospheric Research (NCAR) hanno sviluppato una versione avanzata chiamata MM5. Il sistema di modellazione MM5 è stato adattato per fornire previsioni in tempo reale e a corto raggio delle condizioni atmosferiche su mesoscala favorevoli al wind shear e alla turbolenza indotti dal terreno.

Gli algoritmi WTWS, molti dei quali utilizzano una tecnica di analisi nota come "logica fuzzy", producono prodotti di turbolenza e wind shear basati sui dati dei sensori. Questa tecnica utilizza tipi di dati disparati e conserva informazioni importanti durante tutto il processo decisionale, massimizzando le prestazioni dell'algoritmo. Gli input dei sensori includono stazioni meteorologiche automatiche, TDWR e un sistema di osservazione meteorologica aeroportuale – e ciascuno viene utilizzato da specifici algoritmi di rilevamento del wind shear e della turbolenza. Gli algoritmi dei prodotti meteorologici vengono utilizzati per produrre informazioni grigliate, che vengono integrate utilizzando algoritmi decisionali. Utilizzando tale schema, è possibile aggiungere al sistema un nuovo algoritmo di turbolenza o wind shear adattando il suo output a un formato standardizzato.

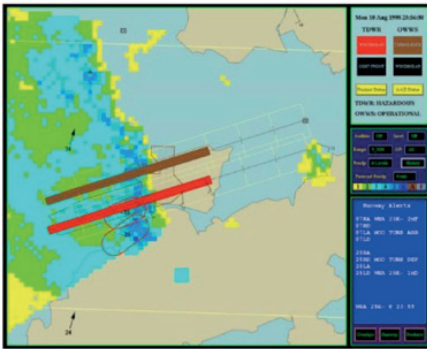
Display grafico

I formati grafici e testuali sono facilmente interpretabili da piloti, controllori, gestori del traffico aereo e meteorologi dell'aviazione. Gli avvisi utilizzano la terminologia di navigazione aeronautica comunemente accettata.

Il display grafico WTWS [figura 8] fornisce informazioni sugli avvisi di condizioni meteorologiche pericolose e altri prodotti meteorologici. Mostra il profilo orizzontale di varie aree meteorologiche pericolose, i profili del vento verticale vicino ai corridoi di avvicinamento e partenza e messaggi di avviso testuali. La situazione meteorologica viene visualizzata in diversi intervalli e livelli di dettaglio selezionabili dall'utente. I prodotti

critici e i cambiamenti importanti della situazione vengono evidenziati visivamente sul display e/o annunciati da segnali acustici. In seguito ai commenti degli utenti, il sistema è stato progettato per fornire prestazioni elevate, distinguere tra i fenomeni di wind shear e turbolenza, utilizzare

Figura 8: Display grafico di un WTWS



la terminologia aeronautica esistente e fornire l'estensione spaziale dei fenomeni nonché previsioni a 12 ore di wind shear e turbolenza con una risoluzione di 30 minuti.

Il display di allarme alfanumerico è progettato per avvisare i controllori di rischi meteorologici critici in termini di tempo e per fornire avvisi testuali per la comunicazione ai piloti. Gli avvisi vengono forniti come microburst, wind shear o turbolenza,

con intensità e posizione associate. Per gli allarmi wind shear e microburst, l'intensità è data come "perdita" o "guadagno" di vento contrario in nodi; per la turbolenza, l'intensità è specificata come "moderata" o "grave". L'intensità è la massima prevista lungo il corridoio di allerta e il luogo di allerta è il luogo in cui si prevede che si verifichi per la prima volta l'evento. Le posizioni degli eventi per gli avvisi di wind shear sono indicate come una, due o tre miglia nautiche in avvicinamento o partenza, o sulla pista. I luoghi degli eventi per gli avvisi di turbolenza sono identificati come partenza o avvicinamento⁴⁸.

48. <https://ral.ucar.edu/solutions/products/windshear-and-turbulence-warning-system-wtws>

IL PROGETTO DELL'AEROPORTO CHEK LAP KOK DI HONG KONG

Location e analisi meteorologica preliminare

Il nuovo aeroporto di **Hong Kong** a **Chek Lap Kok** (CLK) si trova su un terreno parzialmente bonificato adiacente all'isola di Lantau [figura 9], il cui terreno accidentato ha un'altitudine massima di quasi 1.000 metri. Di conseguenza, gli aeromobili che operano nel nuovo aeroporto potrebbero essere influenzati da significativi wind shear e turbolenze indotti dal terreno in determinate condizioni meteorologiche.

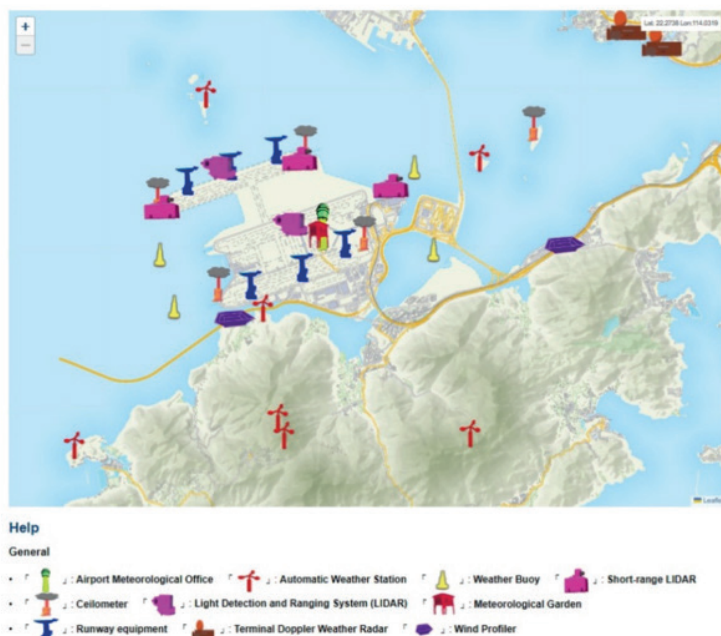
A seguito di un concorso, il progetto fu assegnato alla Weather Information Technologies Inc. (WITI) nell'ottobre 1993.



Figura 9: foto satellitare dell'aeroporto di Hong Kong

Uno dei primi compiti del programma è stato quello di eseguire un esame meteorologico e un'analisi dei dati storici di Hong Kong. Un rapporto iniziale includeva una revisione della teoria scientifica sul flusso d'aria attorno a terreni complessi, analisi

e identificazione delle condizioni che potrebbero causare wind shear e turbolenze indotte dal terreno vicino a Chek Lap Kok, esperimenti numerici volti a ottenere ulteriori informazioni sulle condizioni che producono wind shear causato dal terreno e una stima dei tempi e dell'ubicazione del wind shear significativo nel nuovo aeroporto.



Uno studio sui risultati dei voli di prova ha indicato che il wind shear e la turbolenza indotti dal terreno non erano correlati

Figura 10: configurazione sensori WTWS di Hong Kong

a un singolo fenomeno meteorologico. I principali fenomeni che potrebbero influenzare le operazioni degli aerei a Chek Lap Kok includono venti trasversali, wind shear longitudinale, grandi variazioni di vento, turbolenze, correnti ascensionali e discendenti.

Utilizzando le conoscenze acquisite dalla preparazione del primo rapporto meteorologico e da altre fonti, si è passati alla progettazione di un esperimento sul campo. Gli obiettivi fondamentali dell'esperimento, condotto tra marzo 1994 e settembre 1995, erano: quantificare la frequenza e la gravità della turbolenza e del wind shear; definire più chiaramente le condizioni meteorologiche in cui si verificano significativi wind shear e turbolenze indotti dal terreno; convalidare le previsioni del flusso d'aria effettuate dal modello su piccola scala; determinare gli elementi necessari per sviluppare il sistema di allarme wind shear; e raccogliere dati di verifica. Le principali piattaforme di osservazione utilizzate nell'esperimento sul campo includevano un aereo da ricerca King Air gestito dal Centro Nazionale statunitense per la Ricerca Atmosferica (NCAR⁴⁹), un LIDAR, un Wind Profiler e una rete di stazioni meteorologiche di superficie. Sono stati raccolti anche i dati di volo digitali dei B-747-400 Cathay Pacific operanti a Hong Kong.

I principali risultati del secondo rapporto meteorologico hanno generalmente supportato le conclusioni di studi precedenti. Tali studi hanno indicato che, nelle vicinanze di Chek Lap Kok, si verificano turbolenze indotte dal terreno da moderate a gravi e che sono più frequenti del wind shear indotto dal terreno.⁵⁰

49. National Center for Atmospheric Research.

50. <https://www.airport-technology.com/features/feature569/?cf-view&cf-closed>

IL WTWS

La ricchezza di informazioni scientifiche fornite dallo studio sul campo è stata utilizzata nella progettazione del sistema WTWS. Insieme al feedback di controllori, piloti e meteorologi dell'aviazione, queste informazioni sono state utilizzate per sviluppare un concetto operativo per il nuovo sistema di allarme, creando una configurazione tra le più complesse al mondo [figura 10]. Al fine di migliorare la sicurezza e l'efficienza operativa dell'aeroporto, il WITI ha sviluppato un sistema di avviso di wind shear e turbolenza che è stato installato, testato ed è operativo dal giorno di apertura dell'aeroporto, il 6 luglio 1998.

Il progetto, della durata di 44 mesi, è stato sponsorizzato dall'Osservatorio di Hong Kong. Il team di sviluppo del WTWS comprendeva WITI, il Centro nazionale per la ricerca atmosferica, l'Università di scienza e tecnologia di Hong Kong (HKUST) e l'Università del Wyoming.

Il WTWS fornisce informazioni sulle condizioni meteorologiche pericolose in tempo reale ai controllori del traffico aereo e ai piloti per migliorare la sicurezza nell'area del terminal e migliorare le previsioni di condizioni meteorologiche pericolose per supportare il processo decisionale strategico da parte dei gestori del traffico aereo.⁵¹

51. <https://ral.ucar.edu/solutions/products/windshear-and-turbulence-warning-system-wtws>

Ringraziamento

Un ringraziamento speciale va alla collega meteorologa Claudia Faccani per l'aiuto, le consulenze e il supporto morale.

Riassumendo

Tiriamo le fila



Di Marta Viscosi e Paolo Caraccio

Biografia

Nicolò Giacomo Ferrando è impiegato come Tecnico Meteorologo presso l'aeroporto di Torino-Caselle. Il suo nome compare già in una pubblicazione ANACNA ("La gestione delle emergenze ai tempi del COVID-19").

Riassumendo

Partendo dalla nostra analisi del wind shear come fenomeno di turbolenza peculiare a bassa quota, abbiamo evidenziato il grande impatto operativo ed i relativi costi in termini di danni materiali, perdite economiche e rischi per la sicurezza dei voli.

Gli attuali sistemi di **rilevamento** basati su tecnologia **anemometrica**, **LIDAR** e **RADAR**, possono fornire preziose informazioni utilizzate sia in ambito di monitoraggio realtime che di nowcasting sino ad arrivare alla frontiera ancora poco conosciuta della previsione di Wind Shear all’interno dei TAF⁵². Al momento tale previsione di Wind Shear è disponibile solo per alcuni aeroporti canadesi e statunitensi ed è elaborata sulla base di informazioni provenienti dai sistemi di rilevamento del fenomeno stesso installati presso gli aeroporti.

Proprio il monitoraggio meteorologico del fenomeno attraverso dati provenienti da sensori avanzati (come sistemi anemometrici integrati con dati LIDAR o radar) ha portato allo sviluppo di algoritmi complessi che potranno beneficiare dei sistemi di au-

TAF CZVL 180540Z 1806/1818 29010KT 15005/29030KT P6SM SKC FM181700 290120ZKT P6SM SKC R/VK FCST BASED ON AUTO OBS. NXT FCST BY 181200Z			
TAF	12h aerodrome forecast		
CZVL	station id:	CZVL	
180540Z	Issue time:	on the 18., 05:40 UTC	
1806/1818	Forecast period:	from the 18., 06:00 UTC till the 18., 18:00 UTC	
29010KT	Wind:	from the west-north-west (290° (+4°/-5°)) at 18.5 km/h	10 kt = 11.5 mph = 5.1 m/s
P6SM	Visibility:	>=6 miles	>=9.7 km
SKC	Sky condition:	sky clear	
WS005/29030KT	WIND SHEAR Wind:	top of layer 500 ft	150 m
		from the west-north-west (290°) at 55.6 km/h	30 kt = 34.5 mph = 15.4 m/s
trend forecast:			
FM181700	from the 18., 17:00 UTC:		
290120ZKT	Wind:	from the west-north-west (290° (+4°/-5°)) at 22.2 km/h	12 kt = 13.8 mph = 6.2 m/s
		with gusts at 40.7 km/h	22 kt = 25.3 mph = 11.3 m/s
P6SM	Visibility:	>=6 miles	
		>=9.7 km	
SKC	Sky condition:	sky clear	
RMK	Remarks:		
FCST BASED ON AUTO OBS.	forecast based on automated observation		
NXT FCST BY 181200Z	next forecast:	by the 18., 12:00 UTC	

52. Terminal Aerodrome Forecast.

(LIRA e LIMF) si trovano in aree **morfologicamente complesse**. Ad esempio, l'aeroporto di Torino (LIMF) è in una zona dove l'effetto sifone della Val di Susa in caso di forti venti di foehn tende ad incrementare la possibilità di moti turbolenti, mentre l'aeroporto di Ciampino (LIRA) risente della peculiare posizione in una orografia complessa fatta di colli e pianure adiacenti.

I soli 62 riporti di wind shear, su 829, presenti sui METAR **in concomitanza di nubi temporalesche** come Cumulonembi (CB) e/o Towering Cumulus (TCU) o associati alla presenza di fenomeni temporaleschi con codici associati a Thunderstorm (TS) potrebbero indurre a sospettare che i piloti diano per scontata la possibile presenza di wind shear nel novero dei fenomeni del temporale (con il vento forte etc.), rendendo più rari riporti contemporanei di TS e WS.

Un segnale importante di evoluzione delle tecnologie di previsione sul breve termine è dato nell'implementazione nei TAF di una quindicina di aeroporti della previsione di wind shear così come esplicitato nella previsione tradotta sotto in chiaro.

La stessa è ricavata dai dati dei sistemi di monitoraggio del fenomeno di cui questi aeroporti canadesi ed americani sono dotati in attesa di vedere finalmente operativo anche il sistema montato all'aeroporto di Palermo.

Con l'acuirsi del cambiamento climatico e la variabilità naturale dell'atmosfera quali responsabili di eventi meteorologici estremi che si verificano in momenti talvolta imprevedibili, va all'uomo e al suo ingegno studiarne la cause e mitigarne gli effetti.

Nota: La proprietà intellettuale di foto, tabelle e in generale del materiale nelle fonti citate, direttamente o indirettamente, appartiene ai rispettivi detentori e non agli autori del presente volume, non si intendono violare eventuali copyright appartenenti a qualsiasi detentore.

Biografia

Marta Viscosi è impiegata in qualità di Tecnico Meteorologo presso l'aeroporto di Torino-Caselle.

Paolo Caraccio è un Esperto di Assistenza al Volo e istruttore che lavora presso la stazione meteo ENAV di Torino Caselle con all'attivo numerose pubblicazioni nazionali ed internazionali.

Stampato per conto di
Youcanprint