



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

Il Rettore

Prot. n. 95386 del 04/07/2016
Pos. II/1.2016

Spett.le

**Ministero dell'Ambiente e della
tutela del territorio e del mare**

**Direzione Generale per le
Valutazioni Ambientali**

**Divisione II Sistemi di
Valutazione Ambientale**

*DGSalvaguardia.Ambientale@PEC.
minambiente.it*

e p.c.

Spett.le ENAC

protocollo@pec.enac.gov.it

e p.c.

Spett.le Toscana Aeroporti S.p.A.

segreteria@pec.toscana.aeroporti.com

Oggetto: Procedimento di valutazione di impatto ambientale cod. (ID VIP) 2980 – Aeroporto “A. Vespucci” di Firenze – Masterplan aeroportuale 2014-2029

Gentilissimi,

in allegato addendum di nota tecnica sul tema "Analisi del database anemometrico ENAV in relazione al progetto di riqualificazione dell'aeroporto di Firenze (Procedimento di valutazione di impatto ambientale cod. (ID_VIP) 2980)" che integra quanto a suo tempo inviato da questa Università.

Ho ricevuto la nota dal Prof. Giovanni Modugno che ha personalmente curato il supplemento di indagini. Ritengo che, sempre nell'ottica di fornire un quadro massimamente dettagliato di dati tecnici

Segreteria del Rettore e Gestione Eventi

Piazza San Marco,4 – 50121 Firenze
telefono: +39 055 2757211 fax: +39 055 2757429 email: rettore@unifi.it



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

relativamente all'oggetto, detto addendum possa rappresentare ulteriore approfondimento, costituendo un riferimento meramente scientifico che contribuisca alla ricerca di soluzioni idonee relative alle varie problematiche legate al progetto di riqualificazione dell'aeroporto di Firenze.

Ringraziando per l'attenzione, distinti saluti

Distinti saluti

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Luigi Dei'.

Luigi Dei

Nota tecnica:

Analisi del database anemometrico ENAV in relazione al progetto di riqualificazione dell'aeroporto di Firenze (Procedimento di valutazione di impatto ambientale cod. (ID_VIP) 2980)

In questa nota tecnica si analizza il database anemometrico registrato dall'ENAV presso la pista dell'aeroporto di Firenze nel periodo 2007-2014, e si confrontano i risultati statistici per la velocità e direzione del vento con quelli già precedentemente ottenuti dal database anemometrico di tipo METAR.

Autore:

Prof. Giovanni Modugno, Dipartimento di Fisica e Astronomia, Università di Firenze

1. Introduzione e sintesi dei risultati

Per iniziare, si ricorda brevemente qual è la problematica legata ai dati anemometrici nel contesto della VIA per il progetto di riqualificazione dell'aeroporto di Firenze.

L'analisi accurata dei dati storici del vento è richiesta dalla normativa internazionale (Annesso 14 ICAO, Regolamento EASA) e nazionale (Regolamento ENAC) in fase di progettazione di una nuova pista di volo. In particolare, da tale analisi discende la costruzione di una particolare rosa dei venti aeronautica, dalla quale deve essere calcolato il coefficiente di utilizzazione (CU) di una pista di volo. Questo dato è particolarmente importante nel progetto di riqualificazione dell'aeroporto di Firenze, dato che l'aeroporto allo stato attuale soffre per l'elevata incidenza dei dirottamenti dovuti proprio a condizioni di vento sfavorevoli (circa il 3% medio annuo di dirottamenti in arrivo). L'obiettivo principale del progetto di riqualificazione descritto nel Masterplan 2014-2029 è in effetti l'eliminazione completa dei dirottamenti dovuti a cause meteo¹. Il secondo aspetto rilevante è quello dello studio previsionale della dispersione degli inquinanti atmosferici. La modellizzazione della futura dispersione atmosferica deve prendere infatti come riferimento essenziale i dati storici del vento, dai quali deriva la rosa dei venti che descrive a livello statistico la direzione e l'ampiezza della velocità del vento².

Nel caso del progetto aeroportuale di Firenze, il database anemometrico di riferimento è proprio quello rivelato presso la pista di volo a scopo aeronautico. In particolare, il database indicato nella documentazione tecnica presentata inizialmente per la VIA era quello di tipo METAR (una acquisizione ogni 30 minuti, con tempo di integrazione di 10 minuti), gestito dall'Aeronautica Militare. Tale database è quello scelto dalla World Meteorological Organization come riferimento per l'area fiorentina. Nel corso del 2015, si è analizzato nel dettaglio tale database nel contesto dell'analisi del progetto aeroportuale e del relativo studio di impatto ambientale compiuta dall'Università di Firenze.

In particolare, nelle osservazioni del Maggio 2015 (DVA-00-2015-0013977) si è presentato uno studio dettagliato del CU a partire da tale database. Lo studio mostrava che i valori di CU dichiarati sia per la pista attuale che per quella di progetto richiedevano approfondimenti sulla base dei dati storici del vento. Il database METAR dell'aeroporto di Firenze, infatti, ha statisticamente circa il 40% delle rilevazioni del vento non utilizzabili per costruire una rosa dei venti, poichè mancanti della misura della direzione del vento. Tali dati non possono essere scartati senza tenere conto del loro peso statistico, poichè essi costituiscono una popolazione di dati corrispondenti a velocità del vento basse, ben distinguibile da quella con misura della direzione del vento. Lo studio evidenziava inoltre come la pista di progetto non sarebbe allineata con la direzione dei venti prevalenti e che almeno l'1% dei voli in arrivo sarebbe dirottato a causa del vento in coda nel caso di utilizzo esclusivamente monodirezionale della pista.

Nelle prime controdeduzioni presentate dal Proponente a Settembre 2015 (INT-GEN-00-REL-001) è stata riconosciuta l'incidenza dei dirottamenti futuri previsti dallo studio dell'Università, attribuendo però i diversi risultati ottenuti per il CU con una metodologia particolare di calcolo, peraltro non esplicitata a livello di dati anemometrici.

La problematica è stata rimarcata nelle osservazioni dell'Università presentate ad Ottobre 2015 (DVA-00-2015-0027431). All'interno di tali osservazioni, si è anche evidenziato come le rose dei venti presentate per la modellizzazione della dispersione degli inquinanti atmosferici siano verosimilmente affette dallo stesso errore metodologico (si veda in particolare l'Allegato 3 alla DVA-00-2015-0027431). A differenza però dal

¹ Masterplan 2014-2019, 01_RELAZIONE_TECNICA_GENERALE_SIA

² La velocità del vento è un vettore caratterizzato da una direzione (l'angolo di provenienza rispetto al Nord, misurato in gradi) e da una ampiezza che ha le dimensioni fisiche di una velocità (misurata in nodi o in metri al secondo). Per semplicità, nel seguito ci si riferirà all'ampiezza del vettore velocità con il termine *velocità*.

calcolo del CU, non esiste nessuna soluzione a questo problema, se non l'utilizzo di un diverso database, completo della misura della direzione del vento.

Nelle successive controdeduzioni (DVA-2015-0029510 e INT-GEN-00-REL-002) il Proponente ha in effetti confermato che il database METAR non è utilizzabile per studi quantitativi di tipo meteo-climatologico, ma soltanto per effettuare studi di operatività aeroportuale. Il Proponente ha affermato di avere perciò utilizzato per tutte le proprie analisi un diverso database anemometrico fornito dall'ENAV, misurato nel periodo 2007-2011, in cui la frequenza di misura molto più elevata (un dato ogni 5 minuti, con tempo di integrazione di 2 minuti) permette di rivelare la direzione del vento in ogni condizione, quindi anche in presenza di vento debole. In particolare, a pag. 19-20 della INT-GEN-00-REL-002 sono stati presentati alcuni risultati dell'analisi del database ENAV relativamente all'operatività della pista di volo. Riguardo invece alla modellizzazione della dispersione degli inquinanti, nelle osservazioni dell'Università del Dicembre 2015 (DVA-00-2015-0032141), si è osservato come dalla documentazione presentata alla VIA non risulti evidenza di tale database ENAV ma soltanto del database METAR. Il Proponente ha risposto a tale osservazione con una nota di chiarimento a Marzo 2016 (INT-0316-009).

Dato che non risulta che sia stata presentata alla VIA un'analisi dettagliata del database ENAV, si è ritenuto importante acquisire ed analizzare tale database, ed inviare il risultato dell'analisi alla Commissione Tecnica VIA come contributo all'istruttoria. Il database anemometrico è stato ricevuto dall'ENAV in data 17 Maggio 2016 (vedi Allegato 1). La presente nota è stata redatta in seguito ad un'analisi dettagliata, che ha compreso un confronto puntuale con il database METAR analizzato in precedenza. I principali risultati dell'analisi, che verranno presentati in dettaglio nelle sezioni successive, sono i seguenti:

1) La distribuzione statistica dei dati ENAV corrispondenti a velocità del vento elevate ($v > 10$ kts) coincide quasi perfettamente con quella dei dati METAR, se si tiene opportunamente conto del peso statistico dei dati METAR scartati poichè mancanti della misura della direzione del vento. Ciò conferma appieno la bontà dell'analisi dei dati METAR compiuta nelle precedenti osservazioni dell'Università di Firenze, riguardante il calcolo del CU e la stima dei dirottamenti per la pista di progetto.

2) L'analisi fatta sulla rosa dei venti aeronautica costruita a partire dal database ENAV non sembra invece riprodurre i risultati riguardo all'incidenza dei venti in coda e dei venti al traverso contenuti nella INT-GEN-00-REL-002, anche ipotizzando metodologie di calcolo diverse.

3) L'analisi statistica fatta mostra che il database ENAV è verosimilmente attendibile per ogni classe di velocità del vento, incluse quelle corrispondenti ai venti più deboli. Il database potrebbe quindi servire come dato di input per la modellizzazione della dispersione degli inquinanti atmosferici.

Ci si augura che la presente analisi possa contribuire alla ricerca di soluzioni idonee relative alle varie problematiche legate al progetto di riqualificazione dell'aeroporto di Firenze. Si dà disponibilità a fornire alla Commissione Tecnica VIA il database anemometrico acquisito dall'ENAV ed utilizzato nell'analisi. Si dà anche disponibilità a fornire maggiori dettagli sull'analisi eseguita.

2. Analisi dei dati anemometrici ENAV

L'Allegato 2 riporta un campione delle misure contenute nel database ENAV. L'effettivo periodo di tempo per il quale il database riporta misure è 19/11/2007 – 31/12/2014, cioè 7 anni interi più un mese circa. Le misure hanno una cadenza nominale di 5 minuti, per cui il numero di dati giornalieri atteso è 288. Nel periodo effettivo ci sono 2600 giorni, perciò il numero totale di dati atteso è 748800. In realtà il database ne contiene soltanto 710487, cioè circa il 5% in meno. Si riporterà più avanti un'analisi della distribuzione dei dati mancanti. Tutti i dati nel database hanno sia la misura delle velocità sia quella della direzione del vento. Il tempo di integrazione della singola misura è 2 minuti. La velocità è espressa in nodi (knots, che abbrevieremo in kts). La conversione in unità metriche è $1 \text{ kt} = 1.852 \text{ km/h}$.

Dall'intestazione dei dati si comprende anche che l'anemometro è situato in prossimità della soglia 23 della pista di volo attuale, cioè l'estremità Sud-Ovest della pista dalla quale avviene la maggior parte dei decolli e atterraggi.

Il primo tipo di analisi fatto riguarda il confronto puntuale tra il database ENAV ed il database METAR analizzato nelle precedenti osservazioni. Da un grafico dei dati giornalieri, come quelli mostrati ad esempio in Fig. 2.1-2.2, è possibile osservare che i dati ENAV per la velocità e la direzione del vento (in blu) sono in buon accordo con i corrispondenti dati del database METAR (in rosso). Si nota anche che il database METAR contiene un numero di misure della direzione minore di quello della velocità, come già discusso.

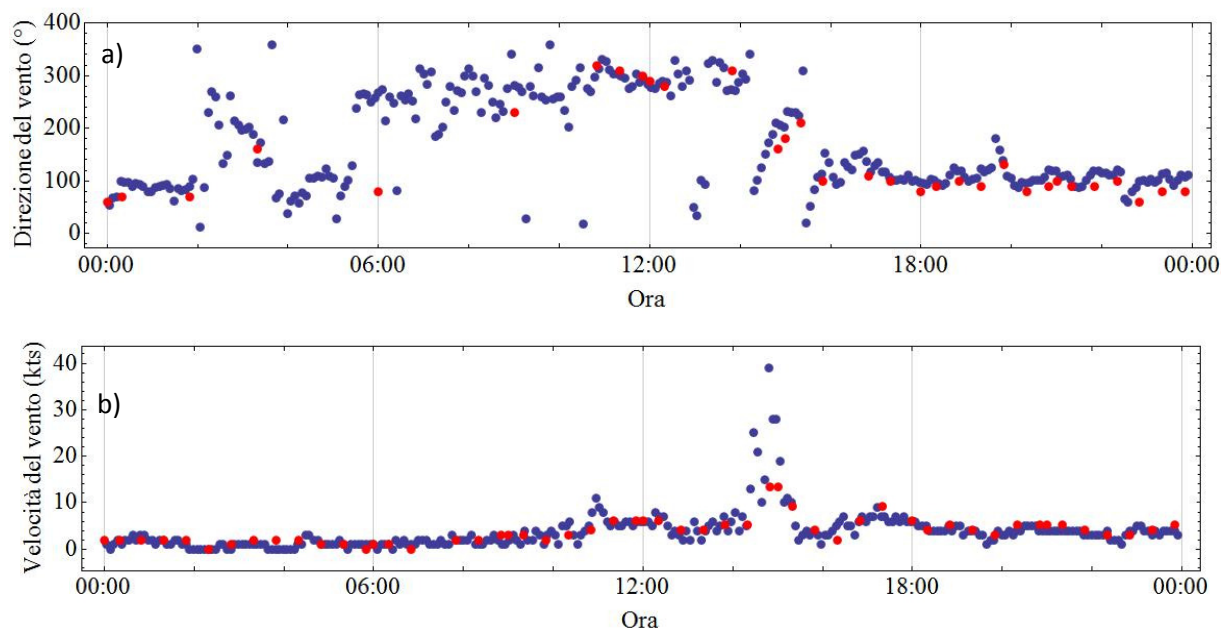


Figura 2.1. Misure della direzione (a) e della velocità (b) del vento registrati il giorno 10 Luglio 2013, dai database ENAV (in blu) e METAR (in rosso). L'orario è espresso in coordinate UTC.

Si può notare come in caso di vento a raffiche i dati ENAV tendano a catturare meglio dei dati METAR parte delle raffiche, dato il minor tempo di integrazione, registrando quindi picchi di velocità più alti. Si veda ad esempio Fig. 2.1 attorno alle ore 15.00. Dal confronto si comprende anche come la condizione tipica in cui la misura della direzione per i dati METAR è mancante sia quella di vento debole e con direzione variabile, come atteso. Si veda ad esempio l'intervallo orario 0-6 in Fig.2.2, per il quale il database METAR riporta la misura della direzione solo quando questa è stata approssimativamente costante (orario 2-4) e non la riporta invece quando questa è variata (orario 4-6).

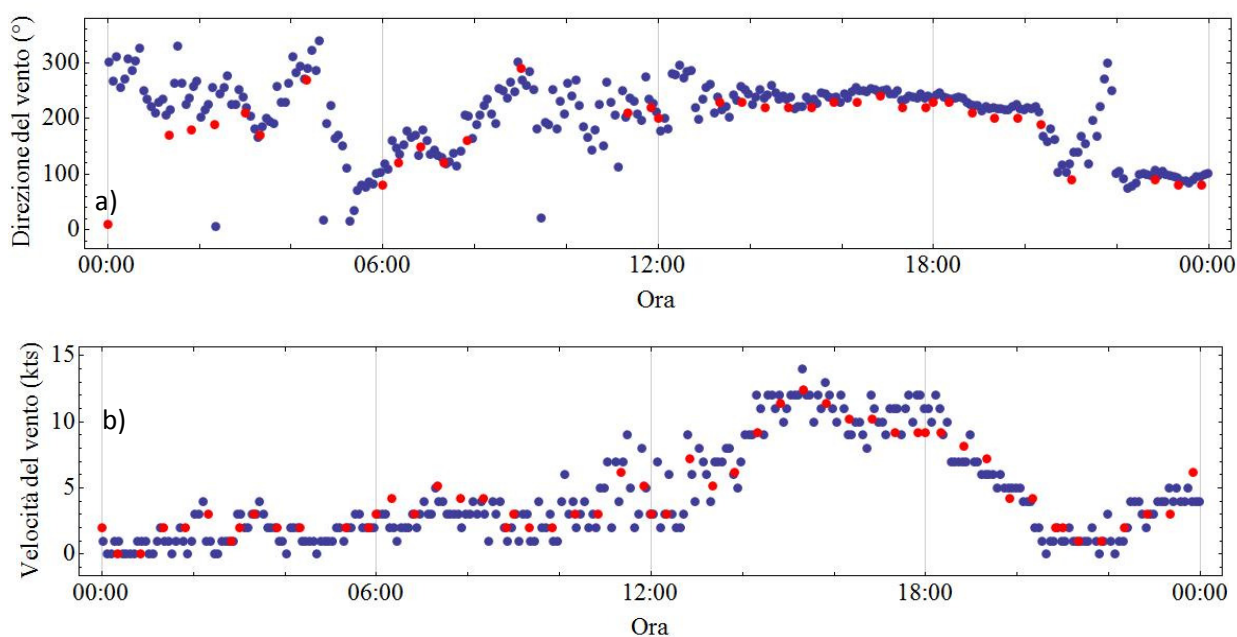


Figura 2.2. Misure della direzione (a) e della velocità (b) del vento registrati nel giorno 12 Luglio 2013 dai database ENAV (in blu) e METAR (in rosso).

Le misure di tipo METAR sono di norma acquisite con un tempo di integrazione di 10 minuti. Dovrebbe quindi essere possibile ottenere un migliore accordo tra i due database, almeno per quanto riguarda la velocità, confrontando i singoli dati METAR con la media dei dati ENAV registrati nei 10 minuti precedenti. Figura 2.3 mostra il risultato di tale operazione con i dati mostrati in Fig. 2.2. La buona correlazione tra le coppie di dati così costruite è confermata dal grafico in Fig. 2.4.

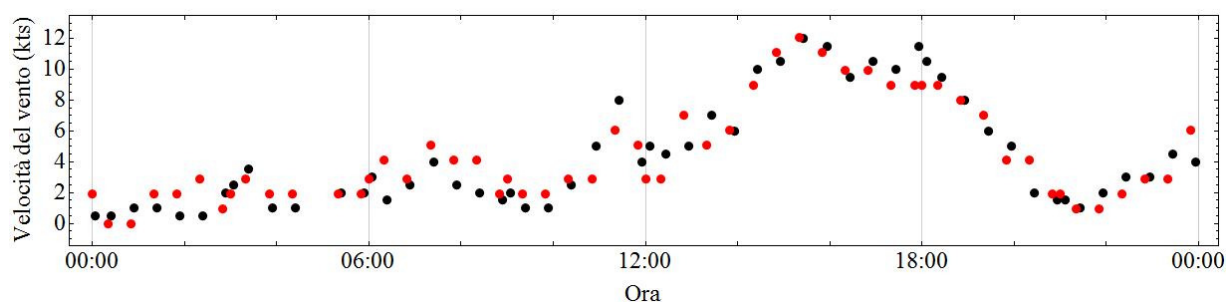


Figura 2.3. Misure della velocità del vento registrati nel giorno 12 Luglio 2013 dai database ENAV (in nero) e METAR (in rosso). I dati ENAV rappresentano la media delle 2-3 misure raccolte nei 10 minuti in cui è avvenuta la misura del corrispondente dato METAR.

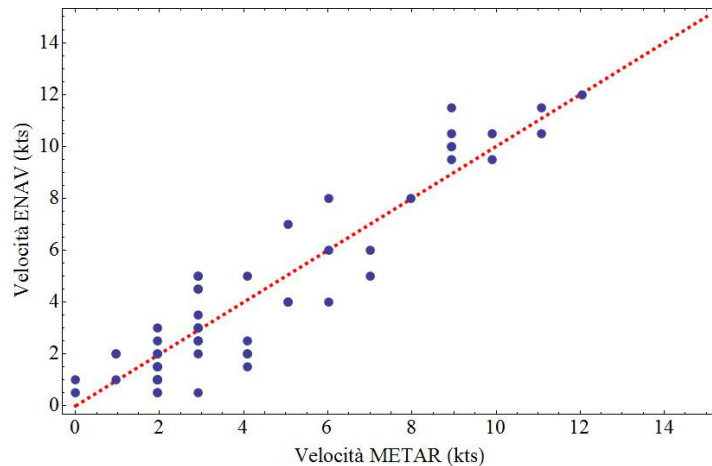


Figura 2.4. Correlazione tra le velocità dei database ENAV e METAR misurate nello stesso intervallo di tempo presumibile. I dati di partenza sono quelli mostrati in Fig. 2.3. La linea tratteggiata rappresenta l'identità.

Un altro importante confronto tra i due database riguarda la distribuzione statistica delle velocità. Le figure 2.5 e 2.6 mostrano le distribuzioni dei dati METAR con e senza misura della direzione del vento, già discussi nelle precedenti osservazioni dell'Università di Firenze³. Per semplicità si è scelto di considerare il periodo di 7 anni completi a disposizione (2008-2014), escludendo quindi i pochi dati di Novembre e Dicembre 2007. Si noti come la distribuzione dei dati senza misura della direzione abbia il massimo a velocità più basse di quella dei dati con misura della direzione, e come essa diventi a contenuto sostanzialmente nullo per velocità maggiori od uguali a 10 kts. Ciò avviene a causa delle particolari condizioni di vento debole variabile in cui la direzione non è rilevata. I dati senza misura della direzione non sono perciò il risultato di un processo di selezione casuale, ma rappresentano una distinta popolazione di misure che non può essere scartata senza tenerne opportunamente conto.

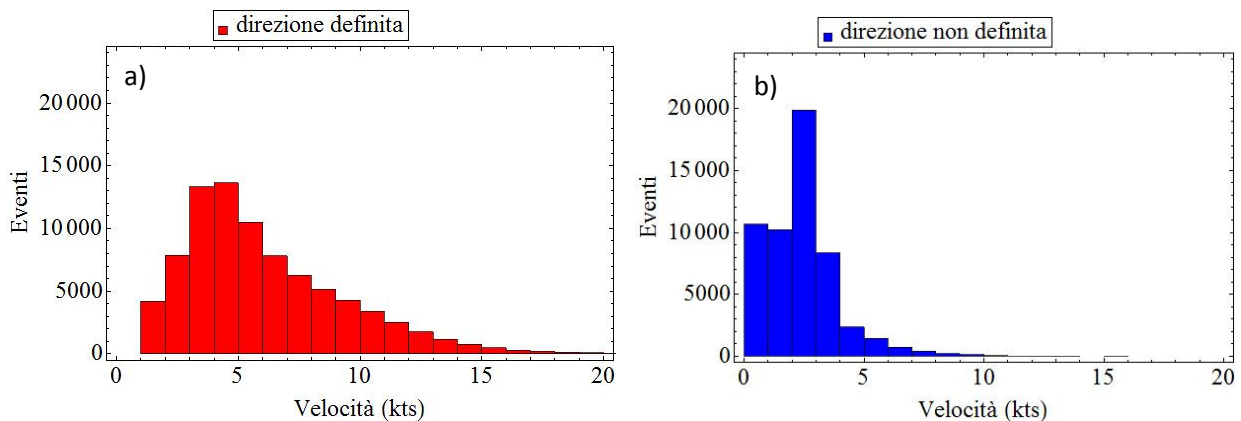


Figura 2.5. Istogramma delle misure di velocità del database METAR per il periodo 2008-2014, con orario 0-24: a) misure con direzione del vento definita; b) misure senza direzione del vento. Si noti la diversa forma delle distribuzioni dei dati con e senza misura della direzione del vento. Il numero complessivo di dati é: 83937 con misura della direzione; 54266 senza misura della direzione.

Come già discusso, il confronto mostra che la distribuzione con misura della direzione è corretta per velocità maggiori o uguali a 10 kts, a patto che la si normalizzi correttamente tenendo conto dei dati esclusi. Per il periodo 2008-2014, la percentuale dei dati senza misura della direzione è circa il 39%.

³ DVA-00-2015-0013977, Allegato C, e DVA-00-2015-0027431, Allegato 3

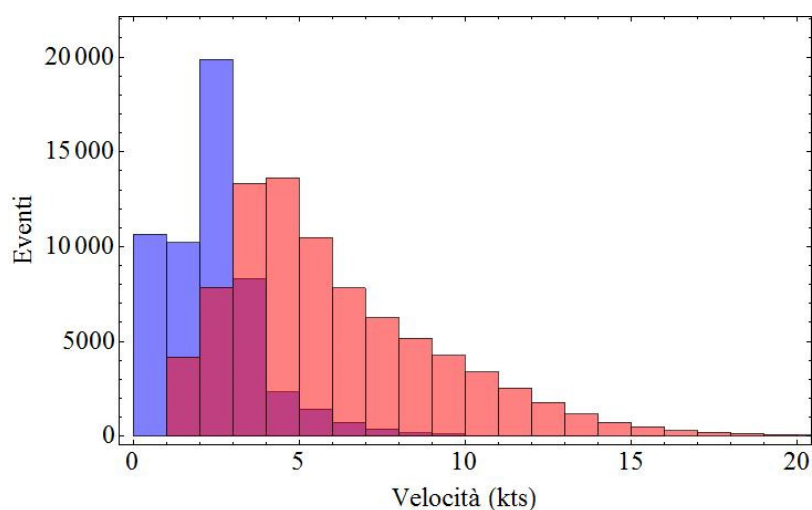


Figura 2.6. Istogrammi sovrapposti di tutte le misure di velocità del database METAR per il periodo 2008-2014, con orario 0-24. Rosso: misure con direzione del vento definita. Blu: misure senza direzione del vento. Le due distribuzioni sono le stesse di Fig. 2.5.

E' adesso possibile confrontare la distribuzione complessiva dei dati METAR con quella dei dati ENAV. Le due distribuzioni sono mostrate in Fig. 2.7. In questo caso, dato che il numero di eventi registrati nei due database è molto diverso a causa del diverso intervallo di tempo di campionamento, si è preferito costruire gli istogrammi delle frequenze, i quali possono invece essere confrontati direttamente.

Si noti come le due distribuzioni abbiano una forma analoga, con uno scostamento sensibile solo nella regione a basse velocità, principalmente tra 0 e 5 kts. In particolare, il picco della frequenza dei dati ENAV è attorno a 2 kts, mentre quello dei dati METAR è attorno a 3 kts. Questa differenza potrebbe indicare una mancanza di dati a bassa velocità nel database METAR, anche in assenza di misura della direzione.

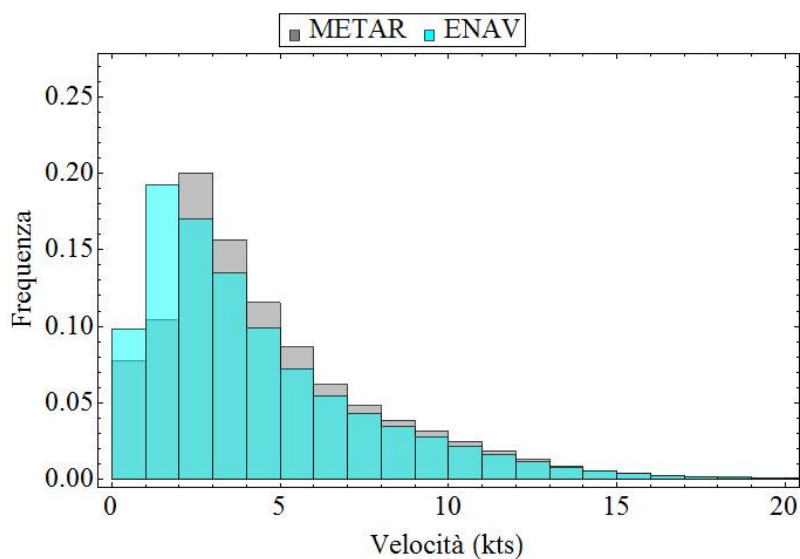


Figura 2.7. Istogrammi sovrapposti delle misure di velocità nei database METAR (grigio) ed ENAV (ciano) per il periodo 2008-2014, con orario 0-24. I dati METAR contengono sia le misure con rilevazione della direzione del vento che quelle senza.

Passiamo adesso ad approfondire la questione dei dati mancanti nel database ENAV, che come si è menzionato all'inizio costituiscono circa il 5% del totale. Analizzando in dettaglio il database si è osservato che tali dati corrispondono in gran parte a periodi abbastanza lunghi di sospensione della registrazione delle misure (da un'ora a 10 giorni), apparentemente distribuiti in modo casuale nel periodo 2008-2014. In tali periodi di sospensione, le misure METAR sono state comunque registrate, come si vede nell'esempio di Fig. 2.8. Non si conosce il motivo di tali periodi di sospensione. Una minore percentuale di dati mancanti appare a livello giornaliero (1-20 dati al giorno).

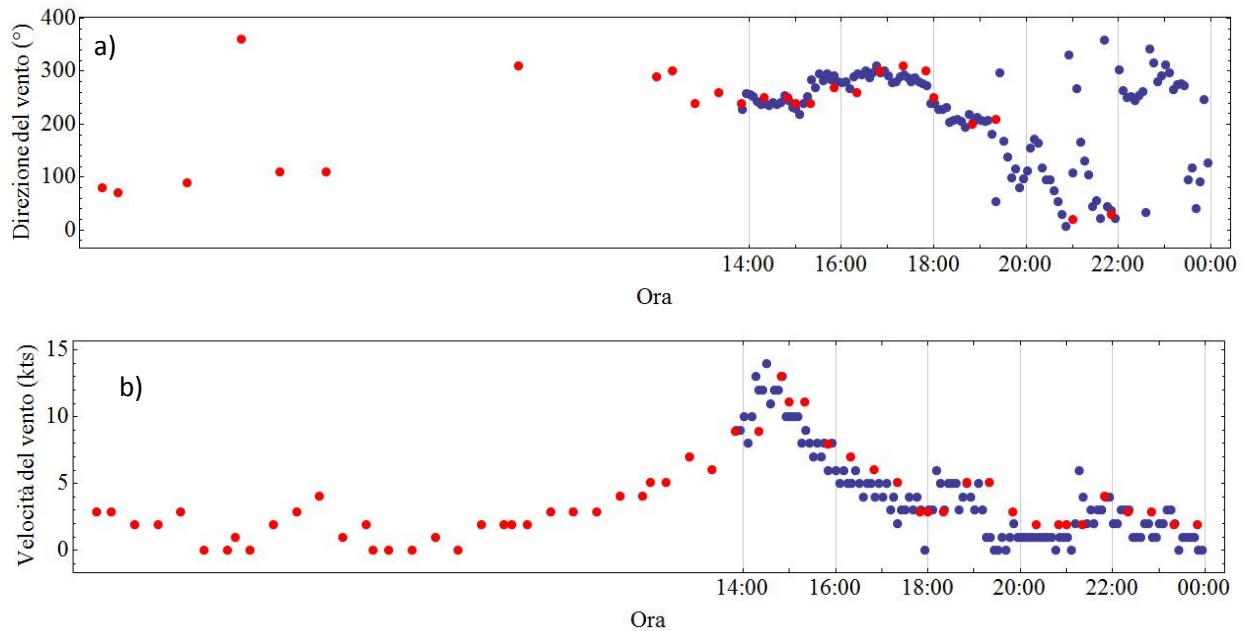


Figura 2.8. Esempio di sospensione della registrazione dei dati desumibile per il database ENAV (in blu), il giorno 25 Aprile 2008 nell'orario 0-14. In tale orario, i dati METAR sono stati registrati regolarmente.

Per avere la certezza che i dati mancanti non alterino la distribuzione dei dati presenti rispetto a quella reale, come invece avviene per il database METAR, si è deciso di ricostruire le condizioni di velocità corrispondenti ai periodi temporale nei quali tali dati avrebbero dovuto essere misurati. Per far ciò si è utilizzato il database METAR, selezionando tutti quei dati in corrispondenza dei quali non sono presenti dati ENAV. In particolare si è scelto di selezionare i dati METAR per i quali non ci siano misure ENAV nell'intervallo di 10 minuti centrato sul tempo di acquisizione dei dati METAR stessi. Il campione così selezionato contiene circa 5900 dati, che costituiscono circa il 6% del database METAR. Si è quindi ricostruita la distribuzione di velocità per tali dati, che è mostrata in Fig. 2.9 insieme a quella di tutti i dati METAR.

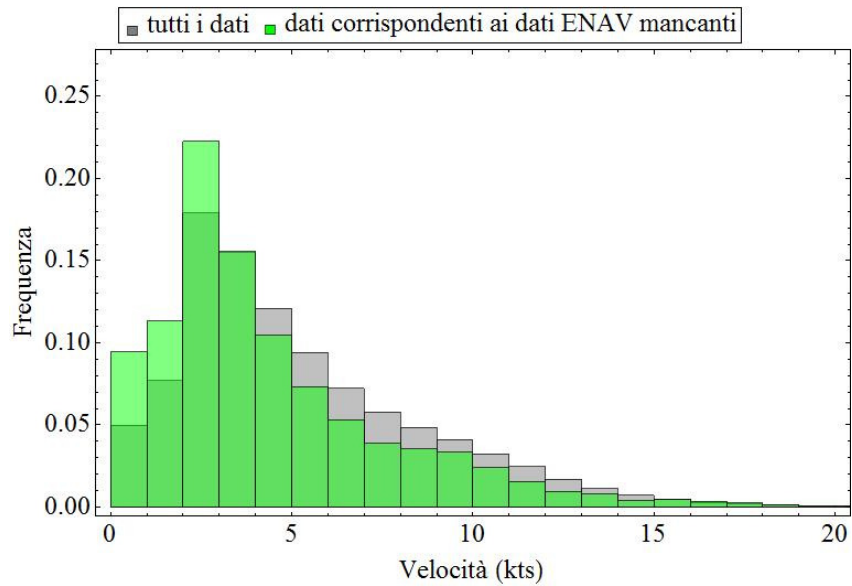


Figura 2.8. Istogrammi sovrapposti dei due insiemi di misure di velocità nel database METAR descritti nel testo, per il periodo 2008-2014, con orario 0-24. I dati in verde rappresentano il sottoinsieme del database METAR per i quali non ci sono misure nel database ENAV nell'intervallo dei 5 minuti precedenti nè dei 5 minuti successivi. I dati in grigio rappresentano tutto il database METAR.

Si nota chiaramente che le due distribuzioni quasi identiche, o certamente molto più simili tra loro di quelle in Fig. 2.5. Ciò conferma quindi che i dati assenti dal database ENAV non corrispondono a particolari condizioni di velocità del vento, come invece accade per il database METAR, e quindi possono essere trascurati senza doverne tenere conto in alcun modo nella normalizzazione dei dati presenti.

In conclusione, si è verificato che i due database contengono misure consistenti tra di loro. Data la sua maggiore frequenza di acquisizione, è chiaro che il database ENAV fornisce una stima più affidabile di quello METAR della reale distribuzione dei venti presso l'aeroporto di Firenze. Nonostante ciò, è anche evidente come le misure complete (contenenti sia la velocità che la direzione) del database METAR siano sostanzialmente identiche a quelle del database ENAV. E' quindi possibile ricostruire la reale distribuzione del vento anche dal database METAR, almeno per velocità maggiori di 10 kts, tenendo conto dei dati scartati nella procedura di normalizzazione. Questa era l'assunzione che si era fatta nelle precedenti analisi, e che si può adesso verificare esattamente.

3. Calcolo del coefficiente di utilizzazione delle piste di volo

Analizzate le caratteristiche del database anemometrico ENAV, si è proceduto al calcolo delle rose dei venti aeronautiche, seguendo la metodologia stabilita dall'ICAO⁴ e dall'EASA⁵. Si sono pertanto divisi i dati in 16 classi di direzione, corrispondenti ognuna ad un angolo di 22.5° calcolato rispetto al Nord geografico. Per ogni classe di direzione si è costruita la distribuzione delle classi di velocità calcolate come frequenze. Tali frequenze sono state infine raggruppate negli intervalli di velocità 0-10 kts, 11-13 kts, 14-20 kts e 21-40 kts. Le frequenze per le velocità superiori a 40 kts sono trascurabili. Così come fatto precedentemente⁶, si è considerato soltanto l'orario 6-23 pertinente alle operazioni di decollo e di atterraggio.

In relazione a quanto appena detto riguardo agli intervalli di velocità, bisogna notare che il database ENAV fornisce i dati di velocità arrotondati al kt (Allegato 2), definendo quindi le classi di velocità 0 kt, 1 kt, etc. Una questione importante riguarda la metodologia utilizzata per l'arrotondamento. Dal fatto che anche per la classe di velocità 0 kt sia riportata la misura della direzione del vento (si veda Fig. 2.6) si deduce che tale classe contiene velocità effettivamente diverse da zero. Si conclude perciò che l'arrotondamento sia stato fatto seguendo il criterio standard per cui la classe identificata dalla velocità v_c contenga le velocità v effettivamente misurate nell'intervallo $v_c \leq v < v_c + 1$ kt. In altre parole, la classe 0 kt contiene tutte le velocità tra 0 kt ed 1 kt (estremo superiore escluso) e così via.

Guardiamo adesso cosa questo implica dal punto di vista del calcolo della rosa dei venti aeronautica, dato che questa assunzione implica la necessità di considerare la classe di velocità nominale di un limite di vento tra quelle che contribuiscono alla limitazione. Ad esempio, la normativa stabilisce che il limite massimo di vento in coda è 10 kts, nel senso che tutti i venti con velocità $v > 10$ kts sono limitanti. Come si è detto, la classe 10 kts contiene sia i venti con velocità effettive pari a 10 kts che quelli compresi tra 10 kts ed 11 kts. Se la si include tra le classi di vento limitanti si compie perciò una sovrastima della frequenza dei venti limitanti. D'altro canto, se non la si include si compie un sottostima di tale frequenza.

In questa analisi si è deciso di mantenere la stessa metodologia usata nelle precedenti osservazioni⁷, escludendo la classe di velocità nominale dal computo. Le incidenze trovate rappresentano perciò una sottostima di quelle reali.

Una volta calcolata la rosa dei venti aeronautica, la si è utilizzata per il calcolo del coefficiente di utilizzazione (CU), che è associato ai soli venti al traverso⁸, e separatamente per il calcolo dell'incidenza dei dirottamenti dovuti al vento in coda in caso di utilizzo esclusivamente monodirezionale della pista. Si è svolto il calcolo sia per la pista di progetto, che ha orientazione 12-30, che per la pista attuale, che ha orientazione 05-23. Oltre ai limiti di vento raccomandati dall'ICAO e dall'EASA, si è considerato anche il limite di vento al traverso più stringente raccomandato dalla FAA. I calcoli sono stati compiuti soltanto per gli aeromobili di aviazione commerciale.

Si è effettuato nuovamente anche il calcolo degli stessi coefficienti utilizzando il database METAR, corretto per il fattore di normalizzazione che tiene conto dei dati senza misura della direzione del vento, così come fatto nelle precedenti osservazioni dell'Università di Firenze.

⁴ ICAO, Annex 14 e Doc 8168.

⁵ EASA, CS-ADR-DSN attached to ED Decision 2014/013/R.

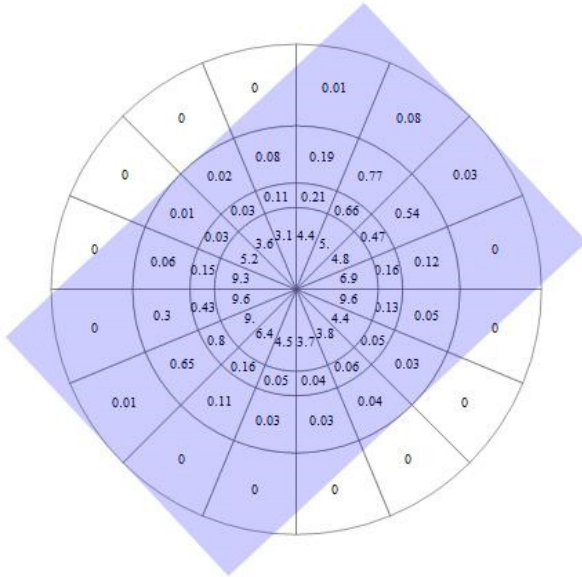
⁶ DVA-00-2015-0013977 e DVA-00-2015-0027431.

⁷ Si nota però come non fosse stato possibile trarre le conclusioni qui fatte riguardo all'arrotondamento dal solo database METAR, dato che la classe di velocità 0 kt non era contenuta nel set di dati con misura della direzione (si veda Fig. 2.5).

⁸ Considerando la pista bidirezionale, come stabilito da ICAO, Annex 14.

Pista attuale (05-23)

a) dati ENAV



b) dati METAR

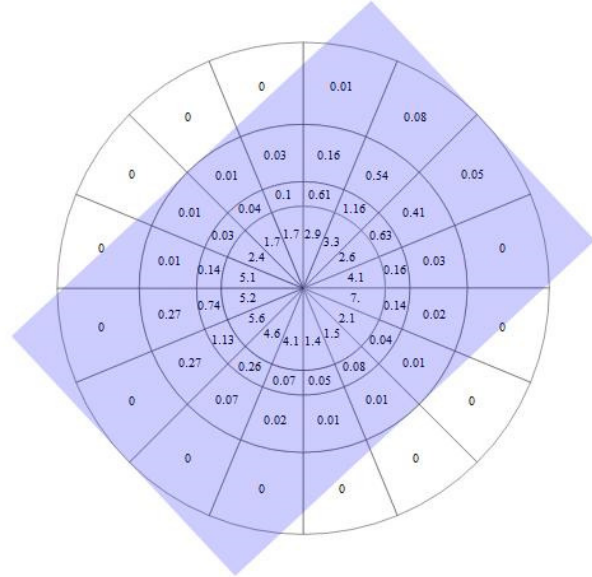
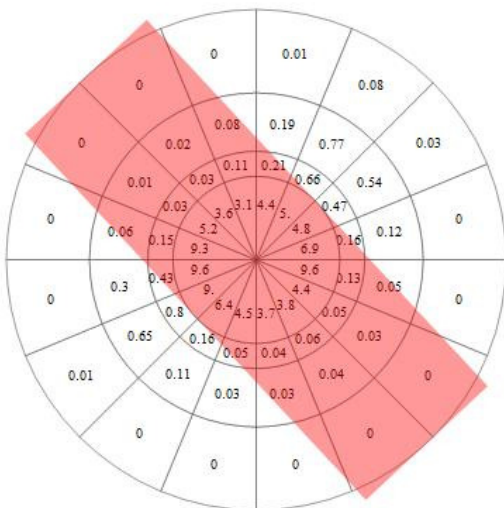


Figura 3.1 Calcolo del CU per la pista attuale, aviazione commerciale. La rosa dei venti aeronautica è stata calcolata con i dati del periodo Gennaio 2008 – Dicembre 2014, orario 6-23. I valori di CU ottenuti sono i seguenti: 100 (ENAV); 100 (METAR).

a) dati ENAV



b) dati METAR

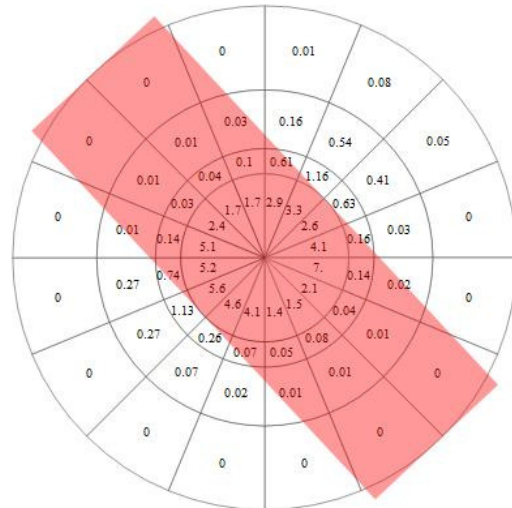
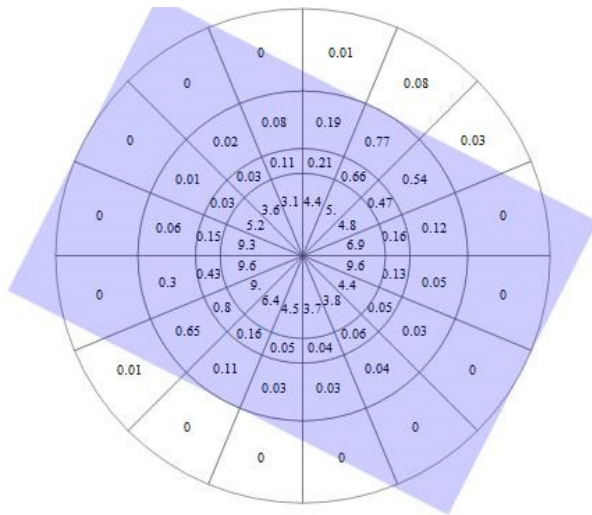


Figura 3.2 Calcolo della percentuale di venti in coda per la pista attuale, aviazione commerciale. La rosa dei venti aeronautica è stata calcolata con i dati del periodo Gennaio 2008 – Dicembre 2014, orario 6-23. I valori di ottenuti sono i seguenti: 2.2% da Sud-Ovest (ENAV); 2.1% da Sud-Ovest (METAR).

Un'ispezione delle due rose dei venti aeronautiche mostrate ad esempio in Fig. 3.1 conferma che i valori di frequenza calcolati dai due diversi database sono molto simili tra di loro, a conferma della grande somiglianza dei dati ENAV e METAR ad alti valori di velocità.

Pista di progetto (12-30)

a) dati ENAV



b) dati METAR

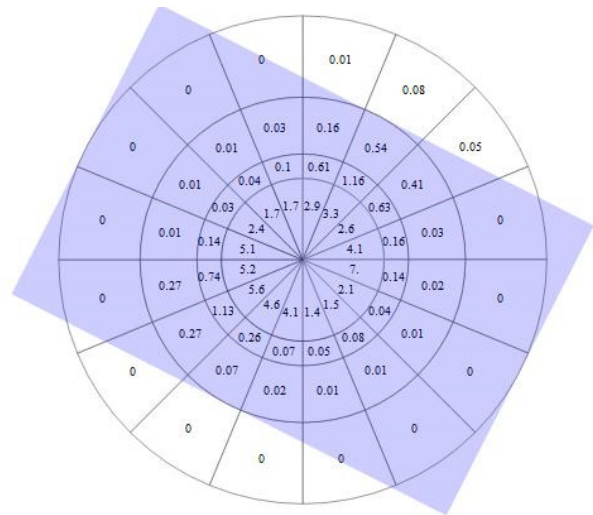
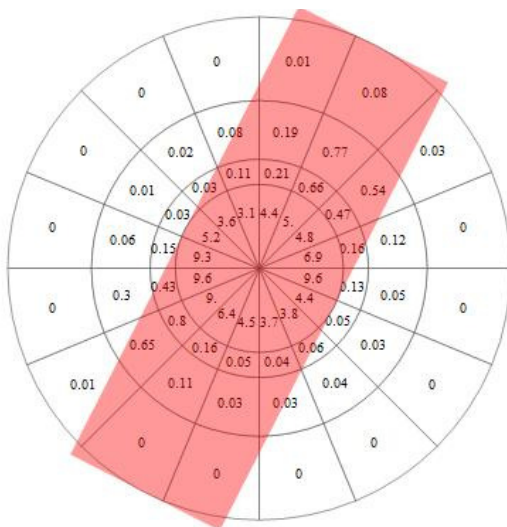


Figura 3.3 Calcolo del CU per la pista di progetto, aviazione commerciale. La rosa dei venti aeronautica è stata calcolata con i dati del periodo Gennaio 2008 – Dicembre 2014, orario 6-23. I valori di CU ottenuti sono i seguenti: 100 - 0.18 (ENAV); 100 - 0.12 (METAR).

a) dati ENAV



b) dati METAR

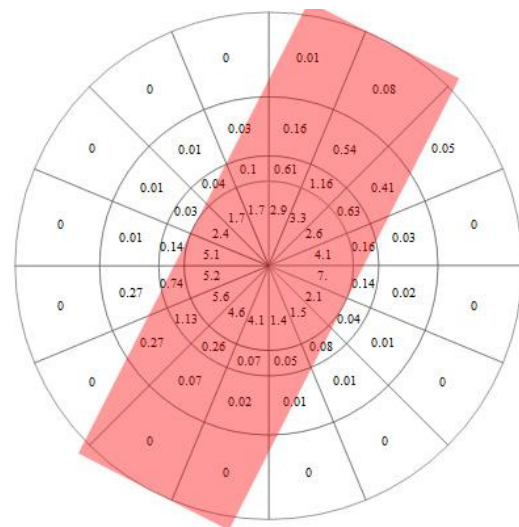


Figura 3.4 Calcolo della percentuale di venti in coda per la pista di progetto, aviazione commerciale. La rosa dei venti aeronautica è stata calcolata con i dati del periodo Gennaio 2008 – Dicembre 2014, orario 6-23. I valori di ottenuti sono i seguenti: 0.53% da Est, 0.63% da Ovest (ENAV); 0.45% da Est, 0.6% da Ovest (METAR).

In Tab. 3.1 si mostra una tabella riassuntiva dei calcoli compiuti con la rosa dei venti aeronautica costruita a partire dai dati ENAV, che possono essere confrontati con quelli METAR calcolati per lo stesso periodo. Va notato che i valori relativi ai dati METAR sono leggermente differenti da quelli nella DVA-00-2015-0013977 e DVA-00-2015-0027431, che si riferivano a periodi diversi (rispettivamente 2010-2014 e 2005-2014).

pista	tipologia	METAR	ENAV
05-23	CU da venti al traverso $v > 20$ kts *	100	100
05-23	CU da venti al traverso $v > 16$ kts †	99.97	99.96
05-23	Venti in coda da Sud - Ovest $v > 10$ kts	2.1%	2.2%
12-30	CU da venti al traverso $v > 20$ kts	99.88	99.88
12-30	CU da venti al traverso $v > 16$ kts	99.5	99.4
12-30	Venti in coda $v > 10$ kts da Est ed Ovest	1.05%	1.16%
12-30	Venti in coda $v > 5$ kts da Est ed Ovest#	5.2% (E)+ 7.4% (O)	5.3% (E)+ 8.1% (O)

* limite di vento al traverso secondo ICAO ed EASA

† limite di vento al traverso secondo FAA

limite di vento in coda oltre il quale il pilota può chiedere il cambio di pista

Tabella 3.1. Riassunto del calcolo del CU e dell'incidenza dei venti in coda effettuati con i database METAR ed ENAV per il periodo Gennaio 2008 – Dicembre 2014, orario 6-23.

Come è possibile osservare dalla tabella, i dati per il CU e per l'incidenza dei venti in coda calcolati a partire dal database ENAV sono sostanzialmente identici a quelli già trovati dal database METAR. Ciò conferma la validità del metodo di analisi già utilizzato per il database METAR. Riguardo all'operatività della pista di progetto, sembrano pertanto confermate tutte le precedenti osservazioni. Si osserva in particolare una riduzione del CU passando dalla pista attuale a quella di progetto, che è minima se si utilizza il generico limite a 20 kts dell'ICAO/EASA, ma che diventa considerevole se viene utilizzato il più recente limite della FAA per gli aeromobili previsti per l'aeroporto di Firenze (A319-A321, limite a 16 kts). Si osserva infine una permanenza dei dirottamenti dovuti al vento in coda, se la pista di progetto dovesse essere utilizzata in modalità esclusivamente monodirezionale, modalità peraltro non prevista dalla normativa ICAO.

In Tab. 3.1 si è riportata anche l'incidenza dei venti in coda con velocità superiore a 5 kts, che è il limite oltre il quale i piloti possono chiedere di utilizzare una pista solo prevalentemente monodirezionale nella direzione contraria a quella preferenziale⁹. Va notato come in questo caso le incidenze calcolate dal database ENAV non coincidono con quelle calcolate dal database METAR, ma sono leggermente maggiori. Questo scostamento è perfettamente giustificato dal fatto che il database METAR sottostima il contenuto della reale distribuzione di velocità al di sotto di 10 kt, come discusso nella Sezione 2.

⁹ Si veda la discussione a pag. 24-25 dell'allegato C della DVA-00-2015-0013977.

4. Confronto con i valori del Masterplan

In questa sezione si compie una sintetica comparazione tra i valori di CU e di incidenza dei venti in coda calcolati dal database ENAV con quelli riportati nella documentazione che compone il Masterplan 2014-2029 ed il relativo SIA.

Il Masterplan (01_RELAZIONE_TECNICA_GENERALE_SIA, a pag. 26 e a pag. 35) riporta i seguenti valori:

- a) CU per la pista attuale (05-23): 90.2%;
- b) Incidenza dei dirottamenti da vento in coda (05-23): 3.14%;
- c) CU per la pista di progetto (12-30): 97.5%¹⁰.

Il Masterplan non definisce l'incidenza dei dirottamenti dovuti al vento in coda per la pista di progetto. Il documento integrativo INT-GEN-00-REL-002 dichiara però a pag. 19-20 l'incidenza dei venti in coda superiori a 10 kt e quella dei venti al traverso uguali o superiori a 20 kt, calcolati dal database ENAV:

- d) venti in coda (12-30): 0.30% da Est e 0.35% da Ovest¹¹;
- e) venti al traverso (12-30): circa 0% da Sud-Ovest, 0.09% da Nord-Est.

Si possono confrontare tali dati con quelli che si sono calcolati nella sezione precedente dallo stesso database, vedi Tab. 3.1 e Fig. 3.3-3.4:

- a) CU per la pista attuale (05-23): 100%;
- b) venti in coda (05-23): 2.2%;
- c) CU per la pista di progetto (12-30): 99.88%.
- d) venti in coda (12-30): 0.53% da Est e 0.63% da Ovest (si veda Fig. 3.4);
- e) venti al traverso (12-30): circa 0.01% da Sud-Ovest, 0.11% da Nord-Est (si veda Fig. 3.3).

Si ricorda che i valori di CU riportati in Tab.3.1 si riferiscono ad i soli venti al traverso, mentre il contributo dei venti in coda è calcolato separatamente.

Confrontando le due serie di dati si nota un disaccordo per quanto riguarda i valori di CU, che almeno in parte è imputabile al fatto che il CU dichiarato dal Proponente include anche l'incidenza dei venti in coda. Si osserva poi una forte somiglianza tra l'incidenza dei dirottamenti dichiarata sulla base dei dati storici e l'incidenza del principale vento in coda che provoca dirottamenti (quello dai settori di Sud-Ovest) stimato in questa analisi¹². Si osserva però anche una non consistenza dell'incidenza dei venti in coda, dato che i valori stimati in questa analisi che sono quasi il doppio di quelli dichiarati dal Proponente. L'incidenza dei venti al traverso è invece quasi uguale. L'incidenza dovrebbe risultare identica in entrambi i casi, dal momento che il database su cui è stato effettuato il calcolo è lo stesso.

Al fine di provare a comprendere la ragione di tale disaccordo, si è compiuto un nuovo calcolo della rosa dei venti aeronautica per la pista di progetto facendo un'ipotesi diversa riguardo all'orario. In tutte le analisi fatte in precedenza si è assunto che l'orario fosse quello di apertura dell'aeroporto, cioè 6-23, come

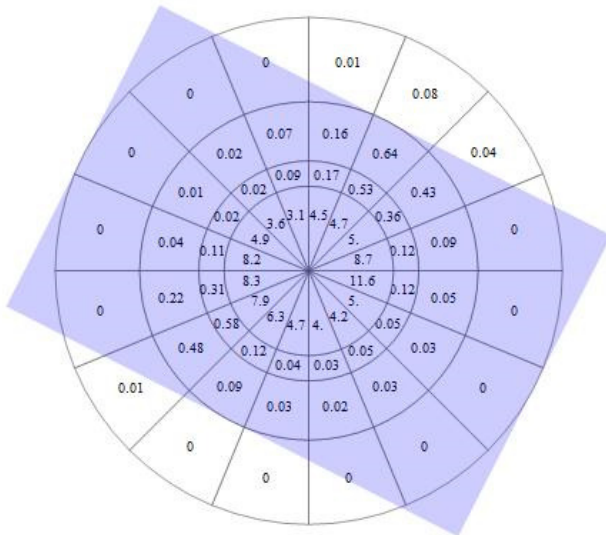
¹⁰ Il Masterplan in realtà non dichiara il valore del CU per la pista di progetto; questo valore è stato dichiarato nella valutazione del progetto preliminare compiuta dall'ENAC nel 2012, nel contesto della variante al Piano di Indirizzo Territoriale della Regione Toscana.

¹¹ Si nota che la somma di questi valori, 0.65%, è incompatibile con l'incidenza di dirottamenti dichiarati nella INT-GEN-00-REL-001 (a pag. 134), che era lo 0.9%.

¹² Si veda la DVA-00-2015-0027431, Allegato 2, per una discussione dettagliata dell'influenza dei fenomeni meteo sui dirottamenti rivelati nel periodo Luglio-Ottobre 2015. L'analisi mostrava un contributo molto minore dei venti forti da Nord-Est ai dirottamenti.

suggerito dall'ICAO. Dato però che non si ha informazione dell'orario considerato dal Proponente nei propri calcoli, si è provato a fare un nuovo calcolo prendendo i dati registrati sull'intera giornata, 0-24. La rosa dei venti aeronautica risultante per la pista di progetto è mostrata in Fig. 4.1.

a) venti al traverso



b) venti in coda

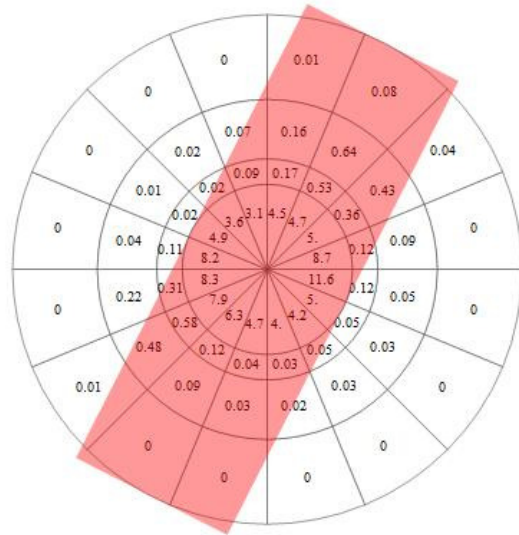


Figura 4.1 Rosa dei venti aeronautica calcolata con i dati del periodo Gennaio 2008 – Dicembre 2014, orario 0-24. L'incidenza dei venti al traverso con $v > 20$ kts per la pista di progetto è: minore di 0.01% da Sud-Ovest; circa 0.11% da Nord-Est. L'incidenza dei venti in coda con $v > 10$ kts è: circa 0.5% da Ovest; circa 0.5% da Est.

I valori trovati per la pista di progetto dalla rosa dei venti aeronautica così calcolata sono:

d) venti in coda (12-30): circa 0.5% da Est e 0.5% da Ovest;

e) venti al traverso (12-30): minore di 0.01% da Sud-Ovest, circa 0.11% da Nord-Est.

Si trovano quindi valori relativi ai venti in coda più vicini a quelli dichiarati dal Proponente, ma ancora non coincidenti, che risultano portare ad una incidenza complessiva in ogni caso maggiore od uguale all'1%. In assenza di una esplicitazione della metodologia di calcolo seguita dal Proponente non è possibile compiere ulteriori considerazioni.

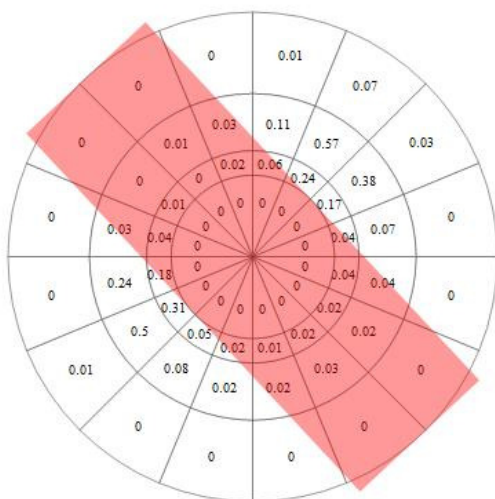
Un altro punto importante è la mancanza di consistenza tra i valori di CU dichiarati e l'incidenza dei dirottamenti misurati o previsti. Immaginando infatti di poter definire un CU effettivo che tiene conto solo dei venti in coda, la relazione più intuitiva tra CU e percentuale dei dirottamenti è la seguente: $CU = 100 - \text{percentuale dei venti in coda con } v > 10 \text{ kts}$. Non si comprende allora come per la pista di progetto il CU pari a 97.5 previsto sia compatibile con lo 0.65%-0.9% di dirottamenti dichiarati, oppure come il CU allo stato attuale, che è stato dichiarato essere pari a circa 90, sia compatibile con il 3% circa di dirottamenti osservati. La giustificazione al riguardo proposta dall'ENAC è che la velocità del vento deve essere stabilmente sopra il limite massimo perché si abbia il dirottamento oppure il mancato atterraggio¹³. In altre parole, l'affermazione è che un evento isolato di velocità oltre il limite non necessariamente produce il dirottamento di un aeromobile in arrivo.

¹³ Si veda la discussione a pag. 20 della INT-GEN-00-REL-002.

La disponibilità del database ENAV ad alta frequenza di campionamento permette di analizzare questa questione dal punto di vista statistico. Ad esempio, è possibile costruire una rosa dei venti aeronautica con i soli dati con $v > 10$ kts per i quali anche i primi 2 o 3 dati adiacenti abbiano $v > 10$ kts. In questo modo è possibile selezionare i periodi di 15 o 20 minuti in cui la velocità del vento è stata al di sopra del limite di 10 kts. La rosa dei venti è costruita come nei casi precedenti, normalizzando però le frequenze sull'insieme totale dei dati prima della selezione.

Quello che si osserva è ovviamente una riduzione dell'incidenza dei venti limitanti. Ad esempio, Fig. 4.2 mostra la maschera per il calcolo dei venti in coda per 15 min di velocità costante. Si nota una riduzione dell'incidenza dei venti limitanti da Sud-Ovest per la pista attuale dal 2.2% al 1.3%. In modo analogo l'incidenza si riduce l'incidenza dei venti in coda per la pista di progetto: da 0.63% a 0.44% da Ovest e da 0.53% a 0.3% da Est. In principio, tale riduzione potrebbe quindi giustificare una riduzione delle percentuali passando dal CU effettivo all'incidenza dei dirottamenti.

a) pista 05-23,
 $v > 10$ kts su un intervallo di 15 minuti



b) pista 12-30,
 $v > 10$ kts su un intervallo di 20 minuti

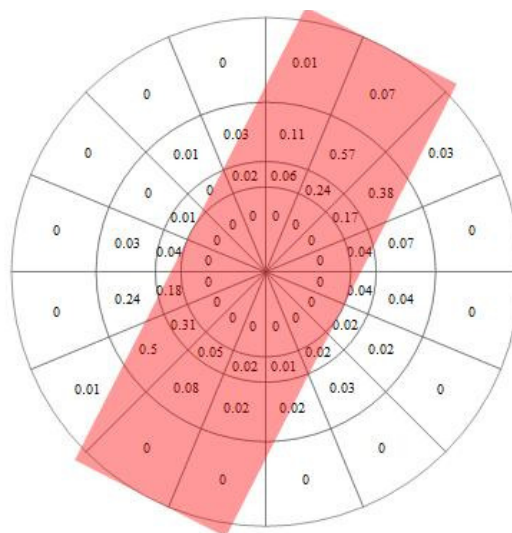


Figura 4.2. Calcolo dell'incidenza dei venti in coda per la pista attuale e per la pista di progetto, utilizzando rose dei venti calcolate secondo un'ipotetica metodologia che considera limitante soltanto i venti con velocità costantemente sopra il limite, come descritto nel testo, per periodi di costanza del vento di 15 minuti (17524 dati). I valori trovati sono: pista attuale 05-23, 1.3% da Sud- Ovest; pista di progetto 12-30, 0.44% da Ovest, 0.30% da Est.

Un calcolo analogo per periodi di 20 minuti (14476 dati) fornisce i seguenti valori: pista attuale 05-23, 0.87% da Sud- Ovest; pista di progetto 12-30, 0.30% da Ovest, 0.27% da Est.

E' però importante notare che tale riduzione non è compatibile con l'incidenza dei dirottamenti osservati allo stato attuale se si utilizza il database ENAV, sulla cui correttezza non sussistono dubbi. Infatti, l'incidenza dei dirottamenti del 3.1% dichiarata non è troppo dissimile, come si è già detto, dall'incidenza dei venti in coda da Sud-Ovest calcolata con la metodologia standard (2.2%), ma è invece sostanzialmente diversa dall'incidenza calcolata con la metodologia appena discussa (1.3%). Si ritiene pertanto che il calcolo del CU e dell'incidenza dei dirottamenti effettuato secondo la metodologia standard raccomandata dall'ICAO, che non prevede nessuna operazione di media o di verifica della costanza della velocità del vento, dia risultati attendibili anche nel caso dell'aeroporto di Firenze.

5. Distribuzione anemometrica complessiva

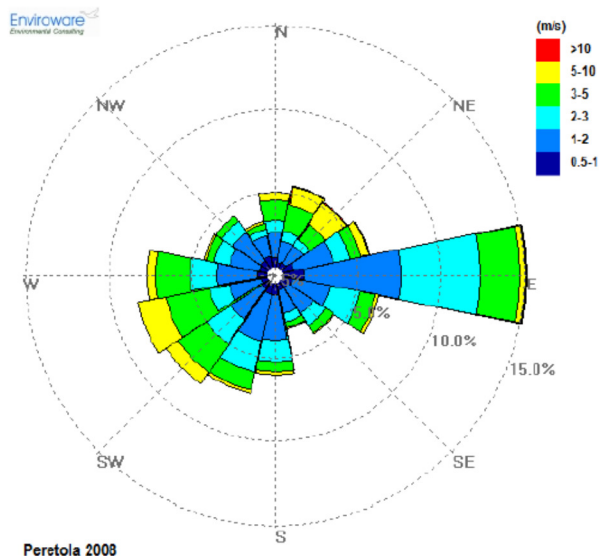
In questa sezione si discute brevemente la distribuzione statistica dei dati anemometrici ENAV in velocità e direzione per tutte le classi di velocità, cioè non solo per quelle di interesse aeronautico ($v > 10$ kt), ma anche quelle a bassa velocità. La conoscenza di tale distribuzione è necessaria per la modellizzazione della dispersione degli inquinanti atmosferici, così come discusso dal Proponente nelle SIA-AMB-01-REL-001 e INT-AMB-01-REL-001. A questo scopo si utilizza lo strumento grafico della rosa dei venti.

L'analisi dei dati è analoga a quella effettuata per la rosa dei venti aeronautica, cioè si calcolano le frequenze per le varie classi di velocità e per i 16 settori angolari prima definiti. Le classi di velocità sono però definite in modo diverso: calme ($v < 0.5$ m/s); 0.5-1 m/s; 1-2 m/s; 2-3 m/s; 3-5 m/s; 5-10 m/s, > 10 m/s. La conversione nominale delle velocità è $1 \text{ kt} = 1.852 \text{ km/h} = 0.51 \text{ m/s}$, che è possibile approssimare a $1 \text{ kt} \approx 0.5 \text{ m/s}$. Per quanto visto nelle precedenti sezioni, le calme corrispondono perciò alla classe di velocità 0 kt del database ENAV, la classe 0.5-1 m/s corrisponde a quella 1 kt, la classe 1-2 m/s alla somma delle 2 kt e 3 kt, e così via. Si noti come il database ENAV permetta di attribuire una direzione anche alle calme.

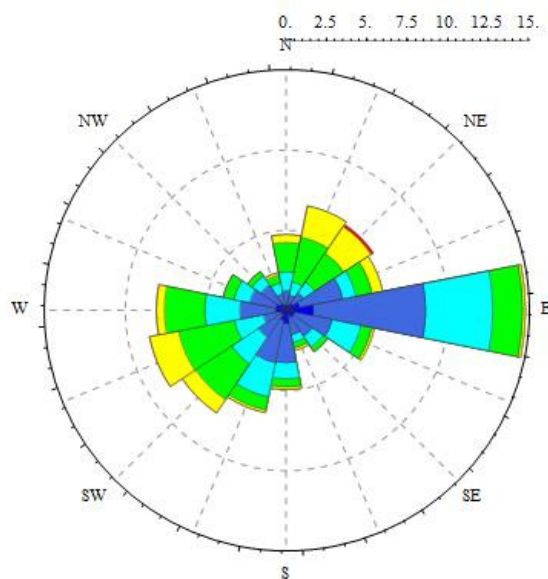
Figura 5.1 riporta, per l'anno 2008, le seguenti rose dei venti: a) quella presentata dal Proponente nello studio di impatto ambientale, INT-AMB-01-REL-001; b) quella calcolata nella DVA-00-2015-0027431 a partire dai dati METAR, compiendo intenzionalmente l'errore di normalizzazione dei dati già descritto; c) quella calcolata correttamente dai dati ENAV, con la metodologia appena descritta. Si può osservare che le rose a) e b) sono estremamente simili tra loro, mentre la c) è chiaramente diversa. Si nota in particolare nella c) una maggior estensione delle classi di velocità bassa (colore blu) a scapito di una minore estensione di quelle a velocità alta (colori verde e giallo). Questa differenza è proprio quella attesa, dato che il database METAR sottostima l'incidenza delle classi di velocità bassa, come si è già discusso nelle sezioni precedenti.

Il confronto delle rose dei venti conferma perciò che i dati riportati nella INT-AMB-01-REL-001 sono quelli del database METAR, analizzati però con una errata normalizzazione. Inoltre, la rosa dei venti corretta mostra una distribuzione sostanzialmente diversa di velocità e direzioni, il cui impatto sulla modellizzazione della dispersione degli inquinanti atmosferici andrebbe tenuto in debito conto. Come è già stato discusso, mentre il database METAR può essere utilizzato per l'analisi anemometrica di tipo aeronautico se viene usata l'opportuna normalizzazione, non è in alcun modo possibile utilizzarlo per le analisi che richiedano la conoscenza di tutte le classi di velocità del vento ed in particolare per la modellizzazione della dispersione degli inquinanti atmosferici.

a) Studio di impatto ambientale, INT_AMB_01_REL_001.



b) DVA-00-2015-0027431, dati METAR con errore intenzionale di normalizzazione.



c) questa analisi, dati ENAV analizzati correttamente.

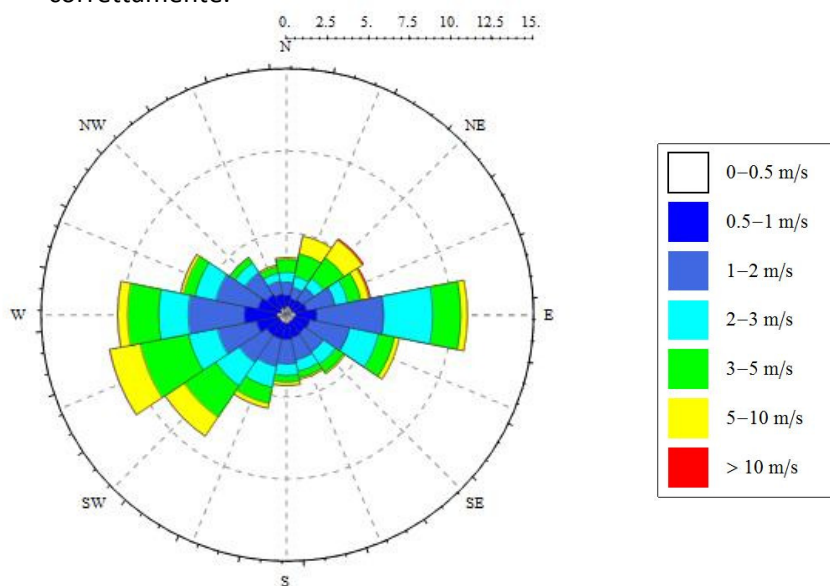
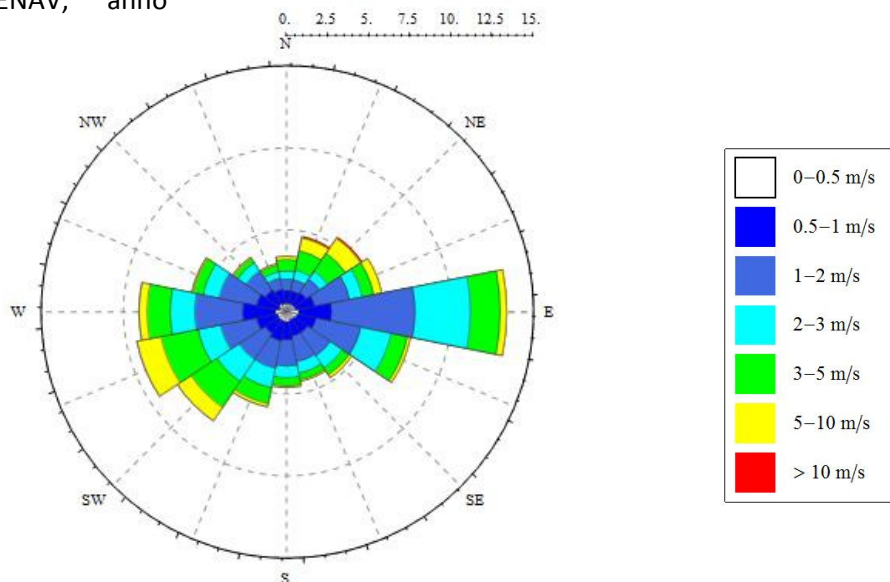


Figura 5.1. Rose dei venti per l'anno 2008. La a) è la rosa dei venti riportata dalla INT-AMB-01-REL-001. La rosa in b) si era calcolata nella DVA-00-2015-0027431 a partire dai dati METAR (orario 6-24), compiendo intenzionalmente un errore nella normalizzazione nella frequenza dei dati. La rosa in c) è stata calcolata in questa analisi a partire dai dati ENAV (orario 0-24), usando la procedura corretta. La legenda in c) si applica anche alla rosa in b). Per le b) e c) si è utilizzata la stessa conversione $1 \text{ kt} \approx 0.5 \text{ m/s}$.

A conclusione di questa sezione, in Figura 5.2 si mostra nuovamente la rosa dei venti calcolata dal database ENAV che descrive correttamente la distribuzione statistica dei venti sul sito dell'aeroporto di Firenze. Per completezza si mostra sia la rosa per il solo anno 2008, già mostrata in Fig. 5.1, insieme a quella calcolata dall'intero database ENAV a disposizione, cioè dal Novembre 2007 al Dicembre 2014.

a) dati ENAV, anno 2008.



b) dati ENAV, Novembre 2007 – Dicembre 2014.

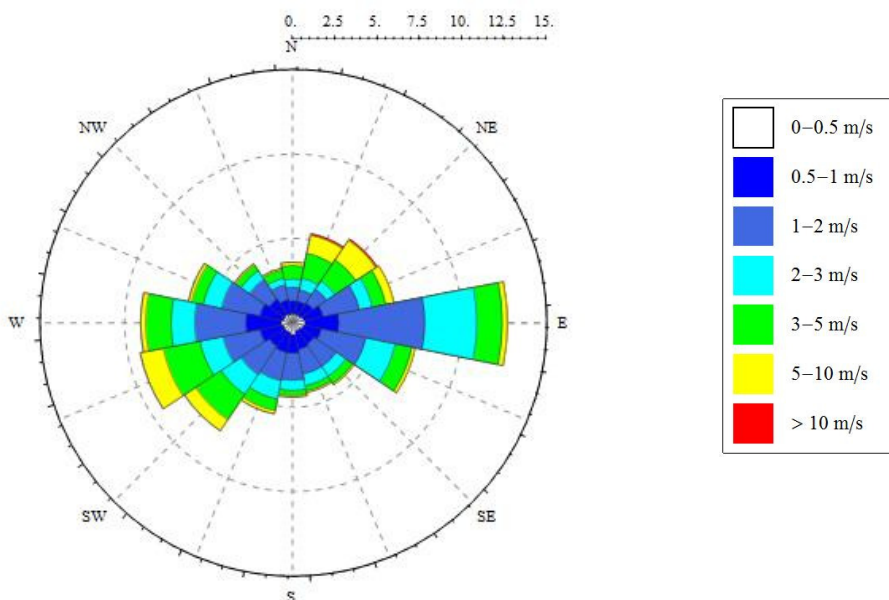


Figura 5.2. Rose dei venti calcolate dal database ENAV (orario 0-24): a) per il solo anno 2008; b) per l'intero periodo a disposizione, cioè Novembre 2007 – Dicembre 2014.



Direzione Servizi Navigazione Aerea
Operazioni di Aeroporto
Centro Aeroportuale Firenze

Firenze, 17 MAG 2016

DSNA/CA/D-LIRQ/DIR/0081487

Dott. Giovanni Modugno
Università di Firenze

Oggetto: Verbale consegna su supporto informatico dei dati anemometrici a copertura del periodo 12 Novembre 2007 – 31 Dicembre 2014.

In data 17 maggio 2016, il sottoscritto CRISAFULLI ALDO DANIELE, in qualità di Responsabile ENAV S.p.A.- C.A. Firenze, consegna al Dott. Giovanni Modugno Dell'Università di Firenze, quanto di seguito indicato:

“supporto informatico dei dati anemometrici richiesti, a copertura del periodo 12 novembre 2007 – 31 dicembre 2014, rilevati con cadenza di acquisizione di 5 minuti presso la pista dell'Aeroporto di Firenze Peretola, così come autorizzato con nota prot. DSNA/0079771 del 13/05/2016 a firma del Direttore della Direzione Servizi Navigazione Aerea di ENAV S.p.A.”

Il presente Processo Verbale viene compilato e firmato in due (2) copie originali.

Letto, confermato e sottoscritto alle ore 14.00 del 17 maggio 2016.

UNIVERSITA' DI FIRENZE

Dott. Giovanni Modugno

ENAV S.p.A.
Il Responsabile CA
Aldo Daniele Crisafulli

Rilevazioni dati medi del vento a 2'

Aeroporto: LIRQ Sistema: AWOS Periodo: 01.01.2007, 00.01 / 31.12.2014, 23.59						
Direzione vento da 0 a 360 gradi			Velocità vento da 0 a 100 nodi			
Testata richiesta: R23			Stato dei dati richiesti: E,M			
Dati Dir: nel periodo 715792		corretti 710586		nei criteri 710489		attesi 841535
Dati Vel: nel periodo 715773		corretti 710568		nei criteri 710489		attesi 841535
Anno	Mese	Giorno	Ora(UTC)	Posizione	Direzione(°)	Velocità (KT)
2007	NOV	12	09:21	R23 A	48	1
2007	NOV	12	09:26	R23 A	202	0
2007	NOV	12	09:31	R23 A	251	1
2007	NOV	12	09:32	R23 A	240	1
2007	NOV	19	12:17	R23 A	323	4
2007	NOV	19	12:22	R23 A	297	4
2007	NOV	19	12:27	R23 A	308	3
2007	NOV	19	12:32	R23 A	286	3
2007	NOV	19	12:37	R23 A	289	3
2007	NOV	19	12:42	R23 A	292	3
2007	NOV	19	12:47	R23 A	274	3
2007	NOV	19	12:52	R23 A	266	4
2007	NOV	19	12:57	R23 A	274	4
2007	NOV	19	13:02	R23 A	262	3
2007	NOV	19	13:07	R23 A	267	3
2007	NOV	19	13:12	R23 A	292	4
2007	NOV	19	13:17	R23 A	282	5
2007	NOV	19	13:23	R23 A	283	4
2007	NOV	19	13:28	R23 A	286	4
2007	NOV	19	13:33	R23 A	291	4
2007	NOV	19	13:38	R23 A	281	4
2007	NOV	19	13:47	R23 A	279	4
2007	NOV	19	13:52	R23 A	307	4
2007	NOV	19	13:58	R23 A	288	3
2007	NOV	19	14:03	R23 A	285	4
2007	NOV	19	14:12	R23 A	282	4
2007	NOV	19	14:17	R23 A	293	3
2007	NOV	19	14:22	R23 A	284	4
2007	NOV	19	14:27	R23 A	291	4
2007	NOV	19	14:34	R23 A	285	3
2007	NOV	19	14:45	R23 A	299	3
2007	NOV	19	15:16	R23 A	327	2
2007	NOV	19	16:01	R23 A	7	2
2007	NOV	19	16:06	R23 A	4	2
2007	NOV	19	16:11	R23 A	26	1
2007	NOV	19	16:16	R23 A	354	1
2007	NOV	19	16:21	R23 A	68	0
2007	NOV	19	16:26	R23 A	138	0
2007	NOV	19	16:31	R23 A	121	0
2007	NOV	19	16:36	R23 A	224	0
2007	NOV	19	16:42	R23 A	224	1
2007	NOV	19	16:48	R23 A	322	0
2007	NOV	19	16:53	R23 A	231	1
2007	NOV	19	16:58	R23 A	246	1
2007	NOV	19	17:03	R23 A	48	0
2007	NOV	19	17:08	R23 A	105	2
2007	NOV	19	17:13	R23 A	121	2
2007	NOV	19	17:28	R23 A	190	0
2007	NOV	19	17:33	R23 A	80	0
2007	NOV	19	18:15	R23 A	65	3