

## **RELAZIONE TECNICA SUI DATI METEOCLIMATICI**

## I N D I C E

<b>1</b>	<b>INTRODUZIONE.....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>CLIMATOLOGIA DELL'AREA.....</b>	<b>4</b>
2.1	CENNI DI CLIMATOLOGIA REGIONALE.....	4
2.2	INQUADRAMENTO METEOCLIMATICO LOCALE.....	7
2.2.1	Fonte dei dati.....	7
2.2.2	Sintesi dei dati disponibili.....	9
2.2.3	Regime anemologico.....	11
2.2.4	Classi di stabilità.....	15
2.2.5	Inversioni termiche.....	18
2.2.6	Le brezze.....	21
<b>3</b>	<b>DATI DI INPUT UTILIZZATI NELLE SIMULAZIONI.....</b>	<b>24</b>
3.1	ANALISI CLIMATOLOGICA.....	24
3.2	BREZZE.....	24

## 1 INTRODUZIONE

L'analisi delle condizioni meteorologiche è di fondamentale rilevanza per lo studio della dispersione degli inquinanti in atmosfera ed è pertanto indispensabile per fornire valutazioni attendibili sulla situazione dell'inquinamento atmosferico.

Tra i parametri misurati, quelli che rivestono maggiore importanza al fine della dispersione e del trasporto degli inquinanti sono:

- frequenza di presentazione delle direzioni del vento;
- frequenza di presentazione delle varie classi di stabilità atmosferica;
- frequenza di presentazione delle varie altezze dello strato di miscelamento.

L'ultimo parametro, cioè l'altezza dello strato di miscelamento, è particolarmente importante in quanto costituisce la quota sino alla quale l'inquinante è libero di disperdersi in alto. In caso di basse altezze di miscelamento l'inquinante è confinato nei bassi strati di atmosfera e quindi la dispersione è ostacolata.

Nel presente documento vengono innanzitutto descritti i caratteri meteoroclimatici presenti sia a scala regionale che a livello locale, nell'intorno della *Centrale* di Monfalcone. In particolare il paragrafo si sofferma ad analizzare il regime anemologico e quelle situazioni potenzialmente in grado di generare situazioni critiche, cioè presenza di fenomeni di brezza e presenza di inversioni termiche con base al suolo.

I dati, oltre che dalla stazione meteo di Centrale, sono stati rilevati nelle stazioni di:

- Trieste (dal 1951 al 1991);
- Udine Campoformido (dal 1951 al 1977);
- Ronchi dei legionari (dal 1967 al 1991).

Tutte le informazioni climatologiche sono tratte da pubblicazioni *ENEL* e del *Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare*.

## 2 CLIMATOLOGIA DELL'AREA

### 2.1 CENNI DI CLIMATOLOGIA REGIONALE

La Centrale Termoelettrica di Monfalcone (cfr. fig. 2/1) è situata all'estremità orientale della regione Friuli Venezia Giulia all'interno del territorio del comune di Monfalcone, in provincia di Gorizia, circa 25 km a Nord-Ovest di Trieste e circa 20 km a Sud-Ovest di Gorizia. Con riferimento al sistema cartografico nazionale, l'impianto ricade all'interno del Foglio in scala 1:100000 n. 40a "Gorizia", Quadrante III, Tavoletta NO; le coordinate geografiche (Roma40) indicative sono lat. = 45°48' e long. = 13°33' (est da Greenwich).

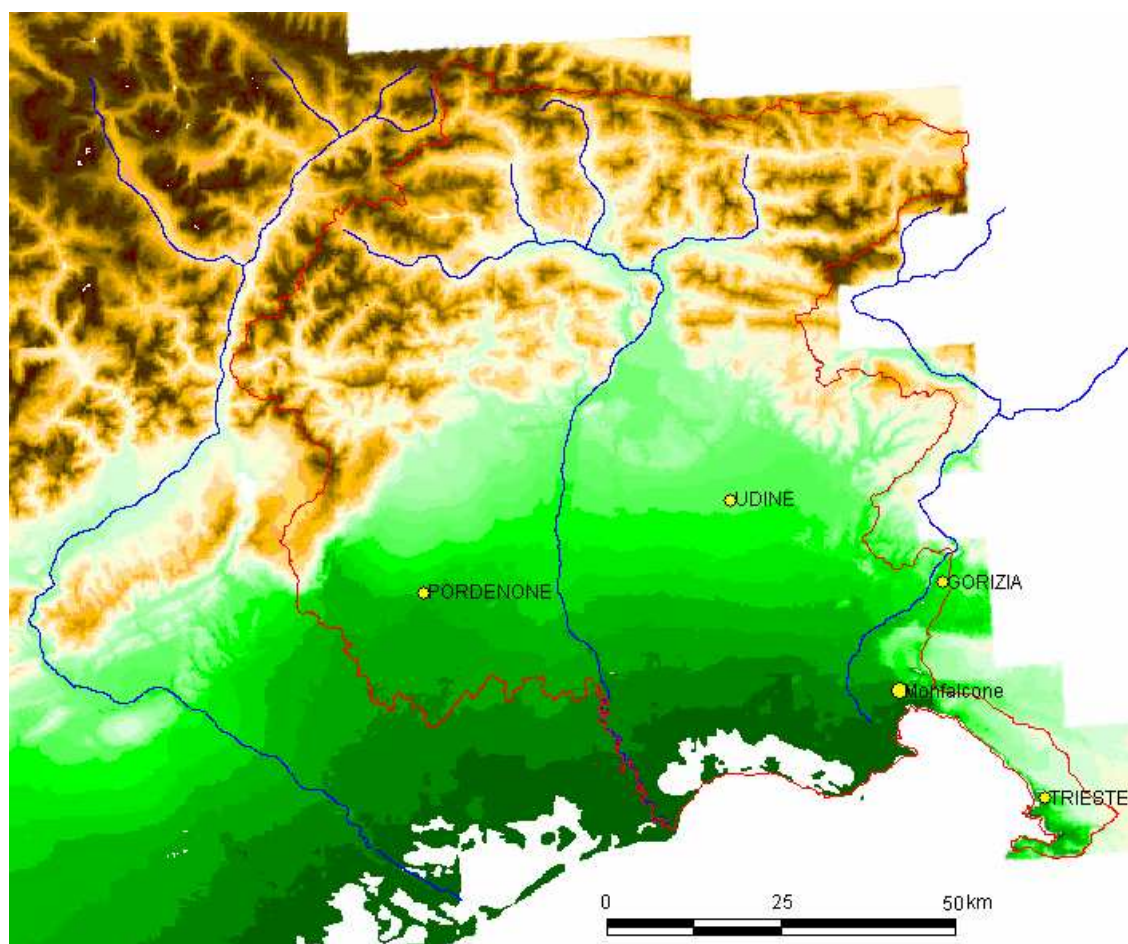


Figura 2/1 Morfologia dell'area in studio

La regione Friuli Venezia Giulia è caratterizzata da una posizione geografica e da un'orografia che ne condizionano in modo determinante il tempo meteorologico ed il clima. Essa è situata alle medie latitudini, dove è molto marcato il contrasto tra le masse d'aria polare e tropicale. Tale contrasto genera frequentemente delle perturbazioni dello stato normale dell'atmosfera, le quali evolvono seguendo le leggi della dinamica e della

termodinamica dei fluidi. In zone orograficamente complesse, come il Friuli Venezia Giulia, i processi di formazione delle perturbazioni e la loro evoluzione sono influenzati fortemente dai rilievi e dalla loro disposizione rispetto alla circolazione prevalente delle masse d'aria.

In estrema sintesi il clima della regione può essere considerato come continentale moderato con connotazione umida; tale definizione trae le sue fondamenta dalla classificazione dei climi classica del Koppen, ma con opportuni aggiustamenti dettati dai lavori specialistici eseguiti dal Polli, dal Gentili, dall'ERSA e dall'Osservatorio Meteorologico Regionale (OSMER) dell'ARPA.

Nell'area di studio la funzione termoregolatrice del Mare Adriatico è molto limitata poiché la scarsa profondità delle acque le rende soggette a notevoli variazioni stagionali (bassa capacità termica) e a modeste capacità mitigatrici.

L'Adriatico è piuttosto un'importante area di convergenza e smistamento delle masse d'aria che provengono dall'Atlantico, dal Mediterraneo e dall'Europa centro - orientale, con scambi che avvengono prevalentemente nel senso dei meridiani determinando una continua alternanza del tempo.

In tutta la regione il mese meno piovoso è febbraio, con valori che variano dai 70-100 mm di pioggia sulla costa e in pianura, ai 140 - 160 mm nella zona prealpina. I mesi più piovosi sono giugno e novembre, quando si registrano mediamente 100-120 mm di pioggia sulla fascia costiera e fino a 360-380 mm in alcune zone montagnose. Le precipitazioni si presentano uniformi durante l'anno, con massimi nei mesi di settembre e novembre; il numero dei giorni nuvolosi è invece più elevato nei mesi di gennaio e maggio, minimo in luglio.

L'intensità dei fenomeni meteorici estivo-autunnali è mediamente superiore a quella delle piogge invernali e primaverili. Infatti, esaminando i dati pluviometrici trentennali della stazione di Udine, si nota che l'intensità media giornaliera delle piogge nei singoli mesi (calcolata come rapporto tra la pioggia media mensile ed il numero medio di giorni piovosi al mese) varia da febbraio a luglio tra 11 e 13 mm/giorno, mentre da agosto a gennaio si attesta sui 15-17 mm/giorno. Infine il numero medio di giorni piovosi (o nevosi) aumenta passando dalla costa (92-96) alle Prealpi (124 giorni sulle Prealpi Giulie), per poi decrescere leggermente sulla zona alpina seguendo un andamento che

richiama la distribuzione annuale delle piogge. Da settembre a marzo il numero medio di giorni piovosi varia su tutta la regione da 6 a 9; da aprile ad agosto si nota invece una forte differenziazione tra la costa (mediamente 7-9 giorni piovosi), l'alta pianura (10-12 giorni) e in quota (12-14 giorni).

La temperatura media annua è di 13°C, mentre l'umidità raggiunge le punte massime in ottobre e dicembre. In generale si può affermare che la fascia pianeggiante e costiera della regione (dove sono situati i 4 capoluoghi e le maggiori località turistiche) rientra, per quanto attiene alle temperatura media annua, fra i valori di 12 e 14 °C, con alcune lievi differenze dovute sostanzialmente solo alla maggiore vicinanza al Mare Adriatico e alla giacitura.

La temperatura media annua, su base trentennale (1961-1990, Servizio Idrografico Nazionale), per Trieste è di 14,4°C; per la zona occidentale si può considerare una temperatura inferiore di 0,5 - 1 °C. Gli estremi assoluti, tra - 14 e + 38°C, sono piuttosto rari e legati a particolari situazioni meteorologiche, quali le intense irruzioni di masse d'aria gelide continentali o l'apporto di masse d'aria tropicali; in entrambi i casi, la presenza della Bora enfatizza, sulla fascia costiera, non solo l'apporto di aria gelida da est, come è abbastanza noto, ma anche la compressione ed il riscaldamento (effetto foehn) delle masse d'aria calde tropicali nei mesi estivi. Cioè, la Bora, seppur di lieve intensità, è una con-causa dei massimi estremi di temperatura sulla costa (come anche sul resto della pianura regionale). Durante l'inverno sono comunque molto rari i giorni con temperature minime inferiori a -5°C e d'estate quelli con temperature massime superiori ai 32°C.

Il regime delle brezze sia di mare che di monte appare ben sviluppato, soprattutto nel periodo estivo. Altro fattore climatico importante è la nebbia, che in alcune località si presenta con frequenze significative.

## 2.2 INQUADRAMENTO METEOCLIMATICO LOCALE

Il sito dove sorge la *Centrale* di Monfalcone è posto all'apice nordoccidentale del Golfo di Trieste. Il sito si colloca al margine tra il settore orientale della pianura friulana e l'altopiano del Carso, al confine con la Slovenia.

Di seguito sono analizzate le serie storiche provenienti dalle centraline meteorologiche fisse, installate sia nell'entroterra che lungo il Golfo di Trieste, sulla base dei quali è stato elaborato un profilo meteoclimatologico locale.

Sono inoltre state considerate le informazioni relative all'anno 2001, misurate nella stazione meteorologica in corrispondenza dell'impianto di Monfalcone.

Particolare attenzione è stata dedicata all'analisi locale del regime anemologico, ai fenomeni di brezza ed alla presenza di inversioni termiche con base al suolo. A questo scopo sono studiate due situazioni meteoclimatiche tipo, verificatesi nei giorni 21/09/2003 e 20/07/2003, di significativa importanza per la caratterizzazione del regime di brezza e per la successiva stima delle ricadute di inquinanti in atmosfera.

### 2.2.1 Fonte dei dati

Le centraline di rilevamento di dati meteorologici prescelte (con le indicazioni sui periodi di disponibilità dei dati) sono:

- Trieste, per gli anni dal 1951 al 1991, distante circa 28 km da Monfalcone e che si colloca ad un'altezza di 20 m s.l.m.;
- Ronchi dei Legionari (GO), per gli anni dal 1967 al 1991. Distante circa 4 km da Monfalcone si colloca ad un'altezza di 12 m s.l.m.;
- Udine Campoformido (UD), per gli anni dal 1951 al 1977. Distante circa 40 km da Monfalcone, si colloca ad un'altezza di 94 m s.l.m.;
- Monfalcone (GO), Centrale Termoelettrica, per l'anno 2001 per i parametri di radiazione solare, temperatura e velocità del vento al suolo (13 m) ed in quota (143 m).

La localizzazione delle stazioni è riportata in 2/2. Come si osserva la loro distribuzione sul territorio è tale da fornire una adeguata idea della meteorologia locale e delle eventuali differenze da zona a zona che dovessero manifestarsi.

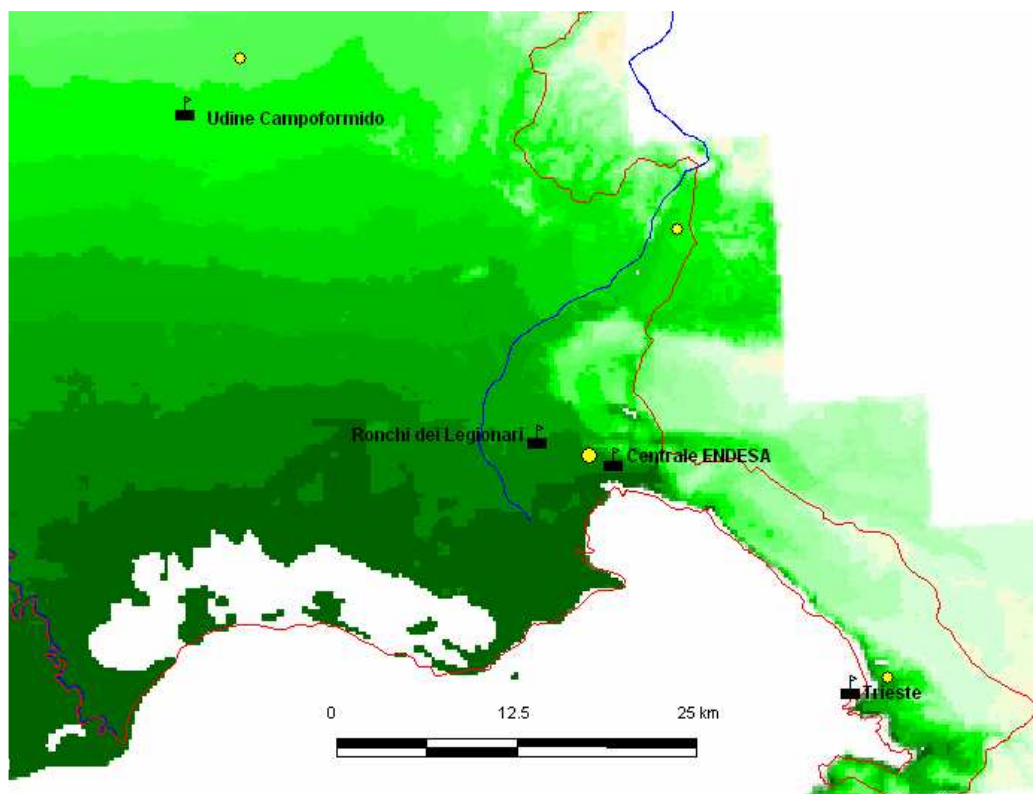


Figura 2/2 Ubicazione delle stazioni meteorologiche considerate

In figura 2/3 è mostrata la centralina di rilevamento dati meteorologici della rete Endesa posta all'interno dello Stabilimento.

La stazione è dotata di due unità di misura, una posta a 13 metri al suolo e l'altra a circa 143 metri. La seconda unità di misura è costituita da tre anemometri installati sul camino di *Centrale* e sostenuti da bracci orizzontali di circa 8 metri di lunghezza, disposti a 120° di distanza angolare tra di loro. Dei tre segnali disponibili, un software sceglie il segnale proveniente dall'anemometro la cui misura è ritenuta meno influenzata dalla presenza del camino stesso.

L'unità di misura di bassa quota è posizionata in prossimità di edifici che ne potrebbero influenzare l'accuratezza della misura; tuttavia l'analisi delle rose dei venti svolta nel paragrafo 2.2.3 conferma la bontà del sistema di misura.



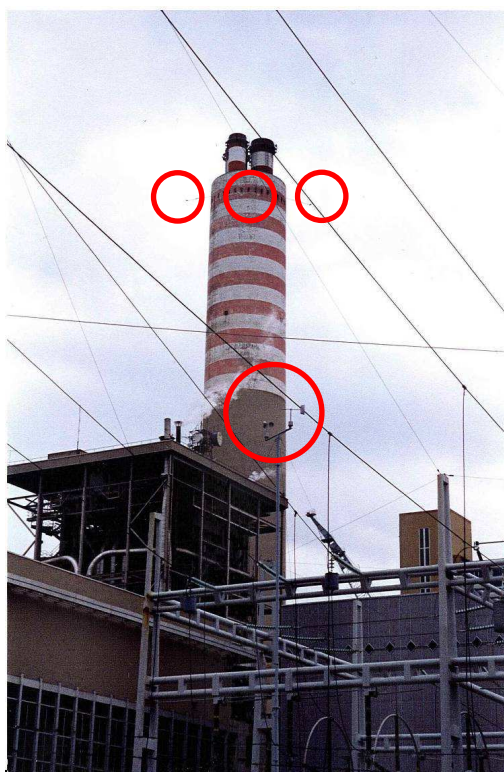


Figura 2/6 Centralina meteorologica della Centrale di Monfalcone

Infine, tra le situazioni potenzialmente in grado di generare situazioni critiche, cioè presenza di fenomeni di brezza e presenza di inversioni termiche con base al suolo, ne sono state analizzate alcune in base alle mappe meteorologiche fornite da *ARPAL-CMIRL Centro Metro Idrologico della Regione Liguria* che dispone all'indirizzo internet <http://www.cmirl.ge.infn.it/> di un archivio delle previsioni meteorologiche fornite da modelli prognostici a diversa risoluzione.

### **2.2.2 Sintesi dei dati disponibili**

Dall'analisi delle serie storiche registrate nelle stazioni ENEL-Aeronautica Militare possono essere tratte le seguenti considerazioni:

- I dati rilevati nelle stazioni di Trieste, Ronchi dei Legionari e Udine Campoformido presentano alcune disomogeneità imputabili alle distanze che intercorrono tra le diverse stazioni e alla collocazione geografica traducibile in una maggiore o minor vicinanza al mare.
- Il regime termico si discosta sensibilmente tra le stazioni in prossimità della costa e quelle maggiormente all'interno. Per quanto riguarda la media delle temperature massime annuali, le stazioni di Trieste e Ronchi dei Legionari si

mantengono su valori simili (17,3 °C la prima, 18,2 °C la seconda); al contrario la stazione di Udine Campofornido registra i valori più elevati (23,4 °C). La stazione di Udine Campofornido registra anche i valori di temperatura media minima più bassi (2,2 °C) mentre quella di Trieste mostra i più elevati (11,2°C); la stazione di Ronchi dei Legionari si mantiene su valori intermedi (7,8 °C).

- La piovosità si mantiene uniforme con i massimi distribuiti tra i mesi di settembre e dicembre nelle stazioni di Trieste e Ronchi dei Legionari e da giugno a novembre nella stazione di Udine Campofornido. La stazione con il minor valor medio annuale di precipitazioni è Trieste (1.022 mm), seguita da Ronchi dei Legionari (1.152 mm) e Udine Campofornido (1.387 mm).
- Il regime igrometrico si presenta differenziato con una massima frequenza annuale, per Ronchi dei Legionari con il 63,10‰, corrisponde ad una temperatura compresa tra 5,1 e 10 °C e ad un'umidità relativa compresa tra l'91 ed il 100%; la stazione con frequenza annuale minore è Trieste con il 53,66‰, corrispondente ad una temperatura di 20,1@25 °C e ad un'umidità relativa compresa tra l'61 ed il 70%. Udine Campofornido presenta un valore intermedio pari al 59,48‰, corrispondente ad una temperatura di 10,1@15°C ed ad un'umidità relativa compresa tra il 81 e 90%.
- La distribuzione delle classi di stabilità atmosferica risulta, infine, sostanzialmente identica in tutte le stazioni con una lieve prevalenza della classe neutra per Trieste nei confronti delle altre due stazioni (47,8% contro il 44%). Tale situazione si inverte per la classe stabile, dove Trieste presenta un valore lievemente inferiore (26,6%) rispetto a quello analogo delle altre due stazioni (30-31%).
- I dati relativi alle inversioni termiche, rilevate in poche stazioni in Italia, sono disponibili solo per la postazione di Udine Campofornido, per il periodo dal 1963 al 1986. I dati mostrano come durante le ore notturne sia spesso presente un'inversione con base al suolo (83,4%), con uno spessore caratteristico compreso tra i 100 e i 200 metri. La seconda inversione si manifesta prevalentemente tra i 1.000 ed i 2.000 metri sia nelle ore diurne che notturne. Data la posizione della Centralina, collocata nell'entroterra a oltre 40 km dal mare, è ragionevole ritenere

i dati rappresentativi dei fenomeni di brezza di monte, mentre non sono rilevate particolari informazioni per le inversioni collegate con le brezze di terra e di mare.

In conclusione si può affermare che le stazioni lungo la costa (Trieste e Ronchi dei Legionari) presentano caratteristiche climatologiche analoghe o comunque confrontabili. Al contrario i dati climatologici registrati nella stazione di Udine risentono della posizione geografica della stessa, che risulta decentrata nell'entroterra nel mezzo della pianura friulana, discostandosi da quelli registrati nelle stazioni lungo la costa.

### **2.2.3 Regime anemologico**

La circolazione al suolo è caratterizzata da una predominanza dei quadranti orientali, in pianura il regime ventoso appare, nel complesso, omogeneo con alcune differenze per quanto concerne la rotazione, al livello locale, dei venti di origine termica. Le frequenze di accadimento più elevate sono disposte sull'asse NE-SO; i venti dal I quadrante sono costituiti dalle componenti di Grecale, Levante e di Bora, che spesso soffiano in maniera intensa soprattutto lungo il litorale ed in prossimità della costa; ad esse si affiancano, per direzione, le brezze di terra e di monte, che spirano, con intensità moderata verso la costa durante le ore notturne.

I fenomeni di brezza di mare, appaiono ben sviluppati, e si distribuiscono, a seconda della stazione esaminata, all'interno del III quadrante, mantenendosi in direzione perpendicolare alla costa.

Nella figure 2/3 e 2/4 sono mostrate le rose dei venti relative alle stazioni dell'Aeronautica Militare (i cui dati sono elaborati da ENEL) e di Monfalcone per l'anno 2001.

L'influenza del fattore stagionale per la stazione di Ronchi dei Legionari è mostrata in figura 2/5.

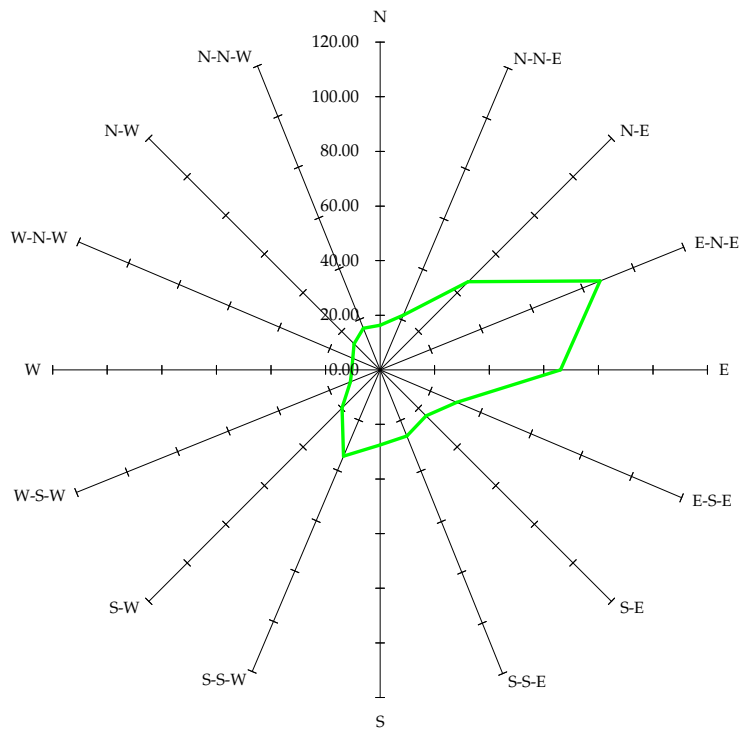
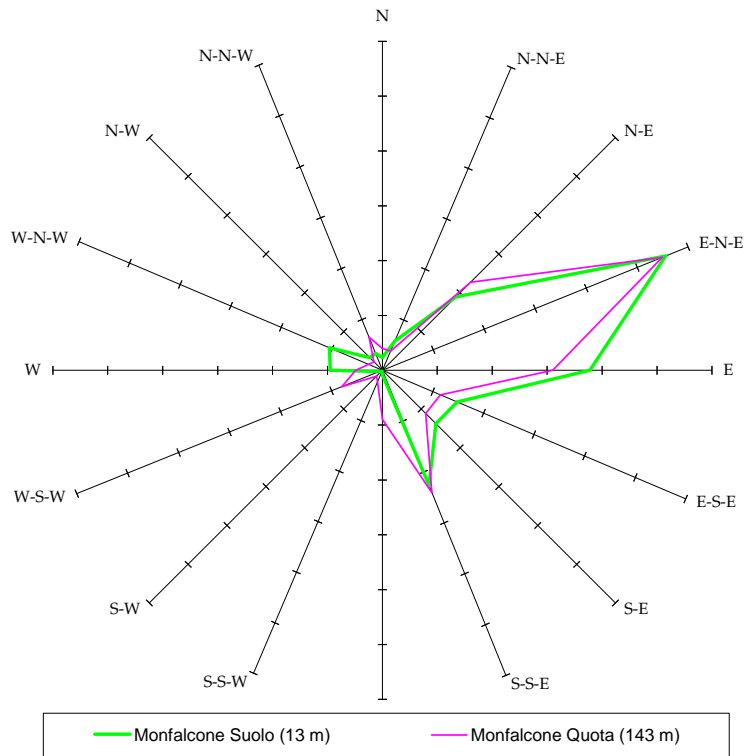


Figura 2/3 Rosa dei venti annuale: stazioni di Centrale (in alto) e di Ronchi dei Legionari (in basso)

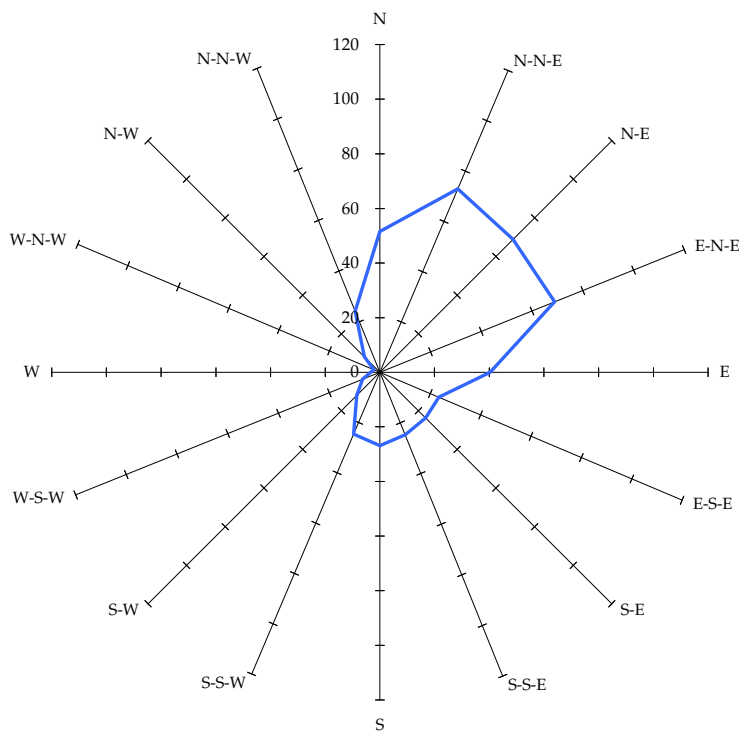
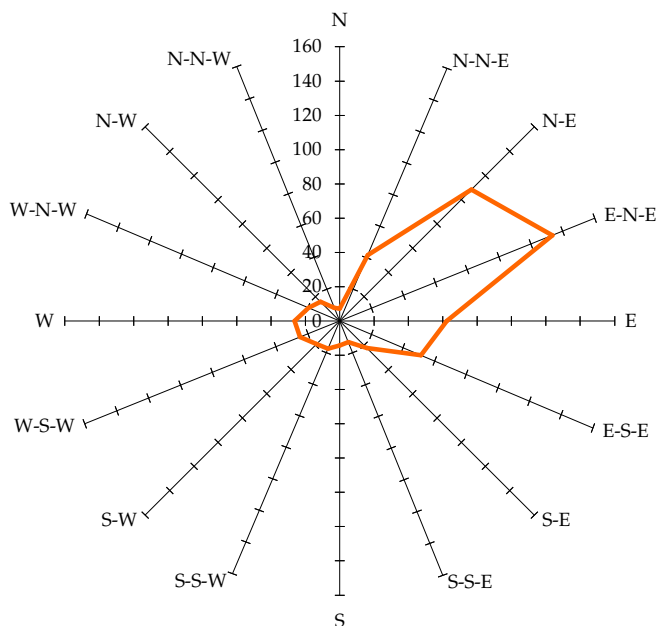


Figura 2/4 Rosa dei venti annuale: stazione di Trieste (in alto) e Udine Campofornido (in basso)

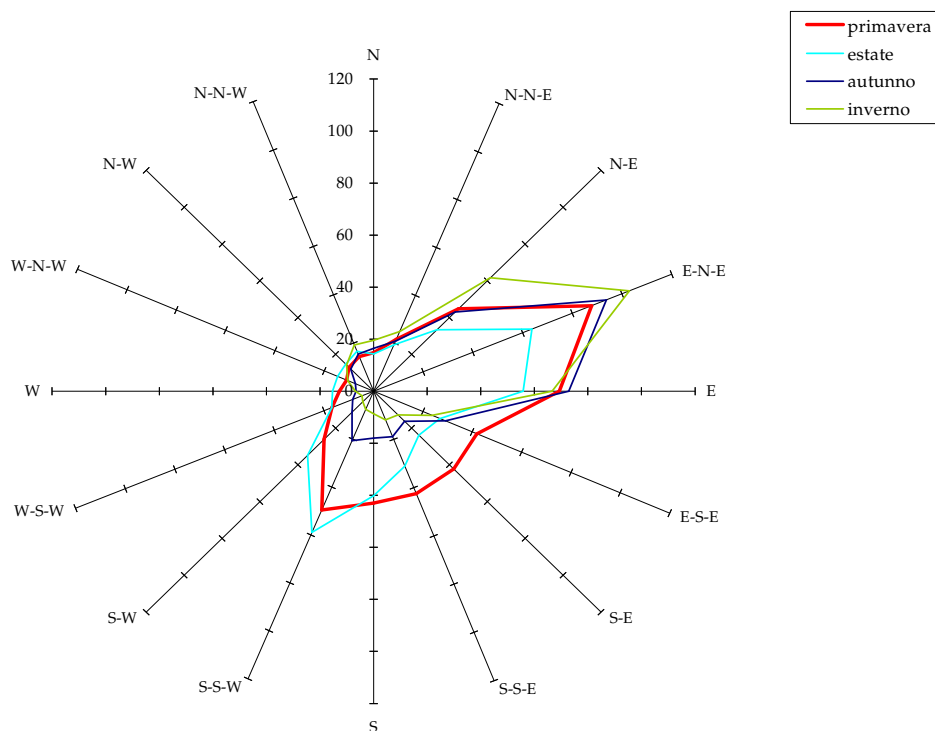


Figura 2/5 Rose dei venti stagionali: stazione di Ronchi dei Legionari

Le rose rappresentate, relative al regime dei venti al suolo, mostrano significative analogie. Prevalgono fortemente i venti da Nord Est, costituiti dal Grecale, dal Levante e dalla Bora, di origine sinottica e generalmente di forte intensità. Nella stazione di Udine C. le frequenze risultano spostate maggiormente verso Nord, principalmente a causa della rotazione indotta dalla conformazione orografica locale rispetto alle direzioni sinottiche.

La configurazione barica di maggiormente frequente, che fa da motore ai venti da Nord-Est, presuppone la presenza di un anticiclone sui Balcani e di un'area di bassa pressione sul mediterraneo Centrale; in alternativa la Bora "scura", portatrice di brutto tempo, ha un'origine ciclonica determinata da una depressione sul mar Ligure e sull'Alto Adriatico.

Si nota, per tutte le rose, la presenza di una componente minoritaria, compresa nel III quadrante, comprensiva dei fenomeni di brezza, la cui direzione è approssimativamente perpendicolare alla costa, e dei giorni di Libeccio.

Non si nota alcuna significativa differenza tra il regime anemologico al suolo e in quota registrato a Monfalcone. Tuttavia si rileva che l'anemometro al suolo (13 m) è posizionato in prossimità di edifici che ne influenzano l'accuratezza della misura.

Nella stazione di Ronchi dei Legionari, l'orientamento dei venti di origine termica coincide con quelli di natura sinottica; si veda infatti come la rosa dei venti stagionale risulti praticamente identica in tutte le stagioni.

#### 2.2.4 Classi di stabilità

La stabilità atmosferica, di norma definita attraverso il gradiente termico verticale esistente, ovvero sia attraverso le variazioni della temperatura dell'aria con la quota, costituisce un parametro molto importante per gli studi concernenti la dispersione degli inquinanti in aria. Infatti da essa dipendono le modalità della dispersione nello strato limite atmosferico.

Per lo studio dei problemi di diffusione si utilizza la classificazione della stabilità atmosferica in sei categorie o classi di stabilità definite secondo la seguente tabella 2/1.

<b>Categoria A</b>	situazione estremamente instabile; turbolenza termodinamica molto forte; shear del vento molto debole.
<b>Categoria B</b>	situazione moderatamente instabile; turbolenza termodinamica media; shear del vento moderato.
<b>Categoria C</b>	situazione debolmente instabile; turbolenza molto debole; shear del vento moderato-forte.
<b>Categoria D</b>	situazione neutra (adiabatica e pseudoadiabatica); turbolenza termodinamica molto debole; shear del vento forte.
<b>Categoria E</b>	situazione debolmente stabile; turbolenza termodinamica molto debole; shear del vento forte.
<b>Categoria F + G</b>	situazione stabile o molto stabile; turbolenza termodinamica assente; shear del vento molto forte.

Tabella 2/1 Classi di Stabilità di Pasquill-Gilford

La nebbia, definita in meteorologia come meteora che riduce la visibilità a meno di un chilometro, non viene classificata in nessuna classe ma rappresenta una categoria a parte, data la particolare struttura dell'atmosfera caratterizzata dalla presenza di un'inversione di temperatura.

Nella seguente tabella 2/2 sono confrontate le frequenze di presentazione delle varie classi di stabilità atmosferica stimate sia a partire dai dati di Monfalcone che di Ronchi dei Legionari. Come si osserva, il confronto è confortante in merito alla rappresentatività delle due stazioni.

	Ronchi Dei Legionari	Monfalcone
<b>A</b>	4,12	4,4
<b>B</b>	9,89	23,3
<b>C</b>	3,92	3,9
<b>D</b>	44,97	35,5
<b>E</b>	5,00	
<b>F+G</b>	32,10	E-F 32,9

Tabella 2/2 Frequenza delle Classi di Stabilità Atmosferica

Si precisa che le classi di stabilità atmosferica sono ottenute seguendo la seguente metodologia: nelle ore diurne, è stato effettuato il classico confronto tra livello di irraggiamento solare e velocità del vento; nelle ore notturne, poiché l'irraggiamento netto non è calcolato, è stata considerata la velocità del vento associata ad ipotesi sullo stato di copertura nuvolosa del cielo derivanti dall'irraggiamento alla sera ed al mattino.

L'associazione delle condizioni di stabilità con la direzione di provenienza del vento evidenzia le modalità di diffusione degli inquinanti per le diverse direzioni; nelle figure 2/6, 2/7 e 2/8 si riportano le rose dei venti annuali per classe di stabilità registrate presso le tre stazioni meteo dell'AM.



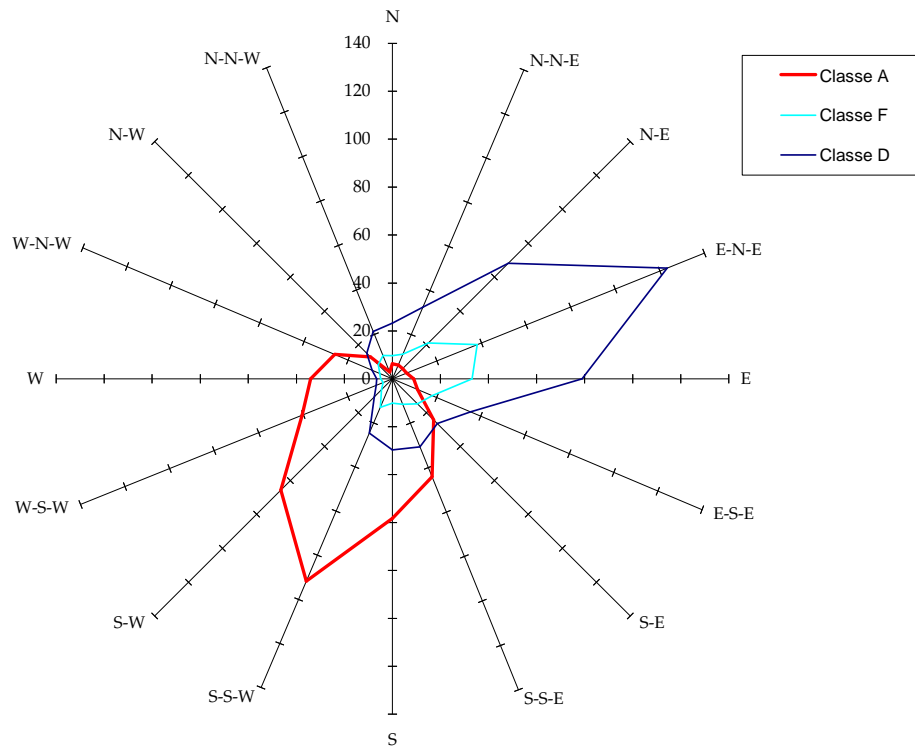


Figura 2/7 Rose dei venti per classe di stabilità: stazione di Ronchi dei Legionari

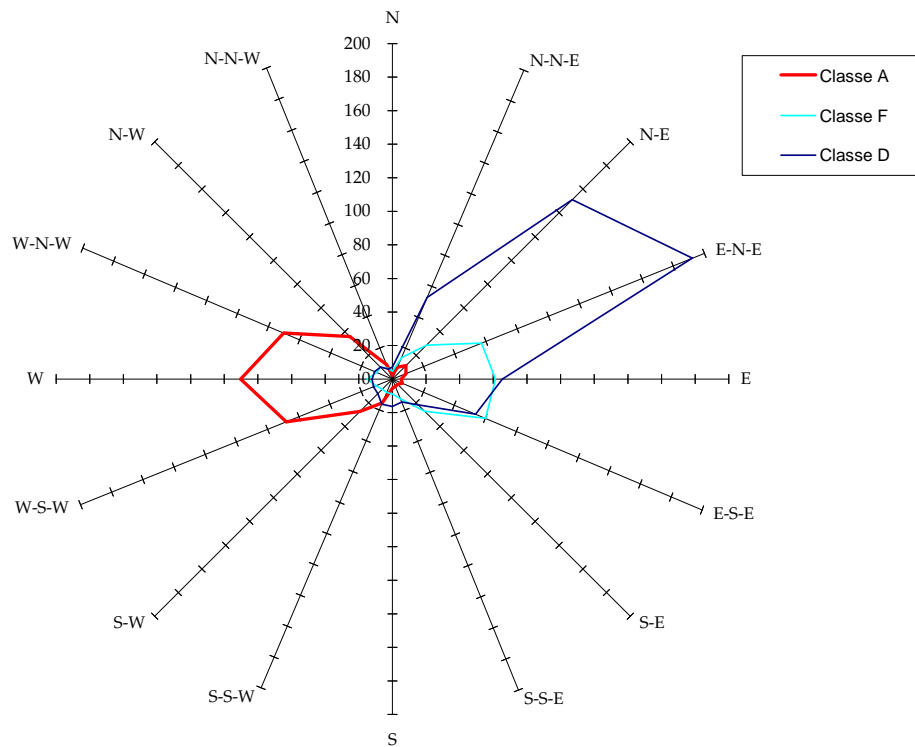


Figura 2/7 Rose dei venti per classe di stabilità: stazione di Trieste

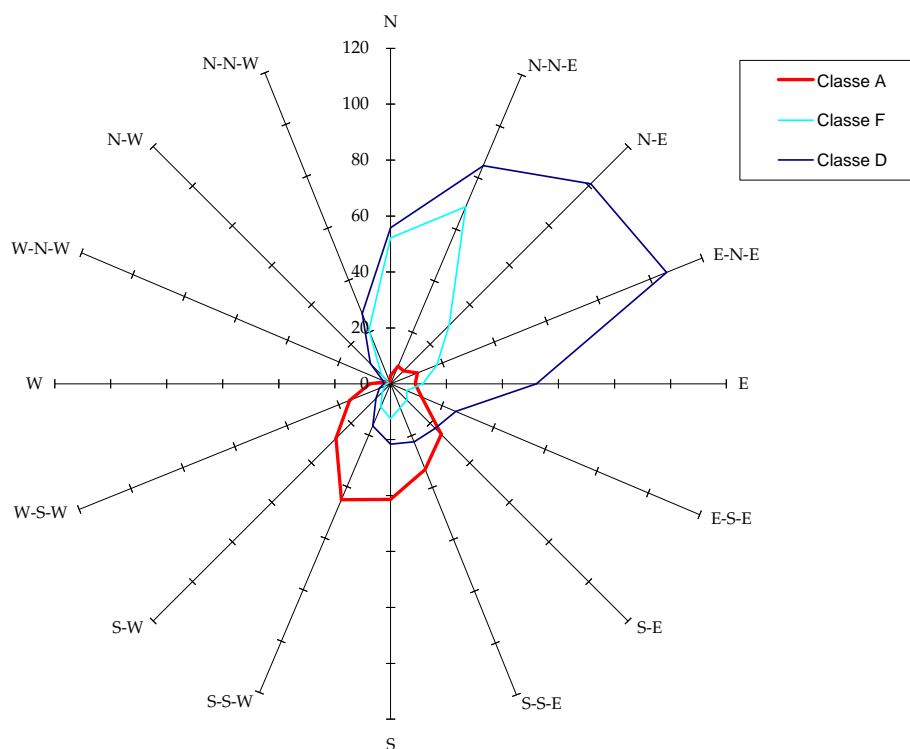


Figura 2/8 Rose dei venti per classe di stabilità: stazione di Udine Campofornido

I grafici confermano che la direzione prevalente, in presenza di atmosfera instabile, risulta coincidere con l'orientamento dei venti di brezza di mare, cioè in direzione perpendicolare alla linea di costa. L'insorgere delle brezze è determinato dalla presenza di un campo livellato di alta pressione, che favorisce il prevalere, a livello locale, dei venti termici rispetto a quelli di origine sinottica.

Il regime anemologico d'origine convettiva appare ben sviluppato, anche per quanto riguarda la presenza di brezze di monte, che si sviluppano sinergicamente alle eventuali brezze di terra determinate dalla linea di costa.

Si noti infatti come la componente prevalente in classe F si discosti leggermente da quella in classe D e coincida con la localizzazione dei rilievi posti nell'entroterra, sufficientemente imponenti da fungere da motori per i venti di pendio.

### 2.2.5 Inversioni termiche

Con il termine inversione termica si indica quel fenomeno che si riscontra nell'atmosfera caratterizzata da un aumento anziché da una diminuzione della temperatura con il crescere dell'altezza.

Nello studio del comportamento atmosferico degli effluenti, e quindi della dinamica degli inquinamenti, il fenomeno delle inversioni termiche nei bassi strati atmosferici acquista una particolare importanza; ciò perché i bassi strati di inversione, in alcuni casi rappresentano un ostacolo nella diluizione degli agenti inquinanti, mentre in altri possono costituire una protezione. Gli elementi che caratterizzano un'inversione sono:

- la dimensione geometrica (spessore);
- la posizione nello spazio;
- l'intensità.

La dimensione geometrica è definita dalla distanza verticale che intercorre tra la base e la sommità dell'inversione, dove con questi due termini si intende il luogo dei punti in cui la temperatura comincia, rispettivamente, ad aumentare e a diminuire con l'altezza.

Per quanto riguarda la posizione nello spazio, l'inversione termica può essere al suolo, se la base coincide con la superficie terrestre, o in quota, se la base è posizionata ad una certa altezza dal suolo. Questi due casi possono verificarsi su terreni liberi da costruzioni.

Sugli agglomerati urbani, invece, le inversioni solo raramente hanno inizio dal suolo a causa della "isola di calore urbana" che determina nei primi strati un continuo mescolamento. Per questo motivo la base dell'inversione termica viene a trovarsi al di sopra dei tetti. Tale situazione può dar luogo a elevate concentrazioni di inquinanti, in quanto gli effluenti emessi al disotto dell'inversione (scarichi domestici e degli autoveicoli) rimangono intrappolati dalla base dell'inversione stessa.

Se l'inversione è al suolo e si è in presenza di complessi industriali isolati dotati di camini molto alti, vi è una maggiore probabilità che l'altezza effettiva dei camini superi lo strato di inversione e quindi gli effluenti vengano a trovarsi in un ambiente nel quale si abbia una maggiore e più rapida diluizione.

L'intensità dell'inversione è data dal rapporto del quadrato della differenza di temperatura potenziale tra la base e la sommità e il prodotto dell'altezza della base per lo spessore dello strato di inversione.

Nella tabella 2/3 sono riportate le frequenze registrate presso la stazione AM di Campoformido con le quali la prima e la seconda inversione si manifestano alle varie altezze nel periodo notturno e diurno.

Quota (m)	Prima Inversione		Seconda Inversione	
	Notturna	Diurna	Notturna	Diurna
Suolo	847,81	198	-	-
< 100	36,02	31,11	6,4	1,05
100-150	7,99	18,63	11,99	2,63
150-200	6,29	17,67	11,19	2,63
200-250	4,58	14,6	11,46	4,2
250-300	4,45	16,9	12,53	6,31
300-350	5,76	20,74	14,66	4,73
350-400	7,47	24,01	20,79	12,61
400-450	5,37	26,31	34,65	17,34
450-500	3,14	24,39	37,85	18,92
500-600	5,37	43,98	48,77	22,07
600-700	3,01	30,73	36,25	24,17
700-800	4,32	36,11	38,38	37,31
800-900	6,68	54,35	66,36	55,18
900-1000	5,89	69,33	94,35	66,21
1000-1500	21,74	183,98	263,33	292,17
1500-2000	14,8	116,38	175,11	245,93
2000-2500	7,33	55,89	86,89	141,36
2500-3000	1,96	16,9	29,05	45,19
>3000	0	0	0	0
<b>Totale</b>	<b>1.000</b>	<b>1.000</b>	<b>1.000</b>	<b>1.000</b>

Tabella 2/3 Frequenze di Accadimento della Inversione Termica al Suolo ed in Quota (%)

Si nota che nelle ore notturne la prima inversione si manifesta quasi sempre a quote inferiori a 200 metri, mentre nelle ore diurne è più ampiamente distribuita su tutto il campo di misura. La seconda inversione si manifesta prevalentemente tra i 1.000 ed i 2.000 metri sia nelle ore diurne che notturne.

### 2.2.6 Le brezze

I numerosi studi effettuati sulle caratteristiche ed i meccanismi che portano alla formazione delle brezze sono concordi ad affermare che in presenza di condizioni di cielo sereno e con poca ventilazione, si assiste, sulle zone costiere, all'insorgere durante il giorno di un vento che arriva dal mare, generalmente perpendicolare alla costa, che viene definito brezza di mare; il fenomeno si inverte durante le ore notturne, dando luogo alla brezza di terra.

La brezza ha origine a causa delle diverse caratteristiche termiche dell'acqua e del terreno; il mare possiede una maggiore inerzia termica della terraferma, e si riscalda più lentamente durante il giorno, mentre si raffredda più lentamente durante la notte. Di conseguenza, nelle ore di sole, sopra la superficie marina si forma una relativa zona di alta pressione, che spinge l'aria verso il basso e verso l'esterno, mentre nella zona più calda (sul terreno) si forma una relativa bassa pressione, che aspira l'aria dalle zone circostanti e la spinge verso l'alto. Questo dislivello barico sospinge verso la costa l'aria più fredda e più umida che sta sulla superficie marina; contemporaneamente, sulla terraferma, le condizioni di convergenza danno luogo ad una corrente ascensionale, a cui ne fa contro una discendente sul mare. Il ciclo si chiude con l'instaurarsi di un flusso di aria calda, al di sopra del flusso di aria fredda, e in direzione del mare, denominato flusso di ritorno.

Con il calare del sole ed il variare delle condizioni il fenomeno si inverte: durante la notte il suolo si raffredda molto più rapidamente (per irraggiamento) del mare; a notte fonda inizia generalmente a soffiare la brezza di terra, più debole, che continua a soffiare con intensità crescente fino all'alba (cioè l'ora più fredda) e poi prosegue nella prima mattinata, fino a scomparire. Tra giorno e notte l'avvicinarsi dei due tipi di brezza è caratterizzato da qualche ora di momentanea calma di vento.

La direzione della brezza è dovuta (oltre ovviamente alla conformazione orografica locale) alla distribuzione della pressione: durante le prime ore del fenomeno essa è generalmente perpendicolare alla linea di costa; con il passare del tempo, a causa dell'aumento della velocità e della turbolenza e quindi a causa del maggior effetto Coriolis rispetto all'attrito, la direzione tende a divenire parallela alla linea di costa.

L'intensità e l'estensione del fenomeno dipendono invece da svariati fattori. In generale l'entità di una brezza è direttamente proporzionale al gradiente di temperatura orizzontale e all'altezza dello strato perturbato dell'atmosfera. Alle nostre latitudini, durante le prime ore del mattino, la brezza riguarda solamente le zone costiere ma, con il passare del tempo, il vento si propaga anche nell'entroterra e può penetrarvi anche per 30-50 km, raggiungendo una velocità massima di 7-8 m/s; sul mare l'estensione e l'intensità sono minori. L'andamento durante le ore del giorno è abbastanza regolare, nelle giornate assolate la brezza incomincia a manifestarsi intorno alle 9-10 del mattino e raggiunge la sua intensità massima nel pomeriggio; dopo il tramonto, si affievolisce per poi estinguersi in serata; durante la notte il fenomeno si ripete, in maniera meno marcata, in senso contrario. In verticale la brezza di mare si estende al massimo fino a 600 metri di altitudine, mentre l'altezza della brezza di terra è solitamente di poco superiore al centinaio di metri.

Il meccanismo della brezza, appena descritto, è un fenomeno che agisce su piccola scala, che provoca gradienti barici e anticicloni di limitata intensità e grandezza e può essere inibito e influenzato dalle circolazioni su vasta scala, determinate dalle grandi figure di alta o bassa pressione.

Esistono infine altri tipi di brezza, dette di valle e di monte, che pur avendo sempre un'origine termica, hanno luogo in un ambiente montano e collinare. Quest'ultimo tipo di vento termico ha origine sui rilievi quando cessa l'insolazione; l'aria a contatto con i versanti in quota si raffredda velocemente e, diventata più pesante, tende a scivolare verso il basso, dalle creste fino al fondovalle ed alla pianura. Può accadere, nel caso della presenza di rilievi in prossimità della costa, che durante le ore notturne il fenomeno della brezza di terra di sommi alla brezza di monte, rinforzando i venti, comunque di intensità molto modesta, in direzione del mare.

Nel caso oggetto di studio, a livello del litorale Friulano compreso tra il Golfo di Trieste e la Laguna di Marano, i venti di brezza di mare risultano, al suolo, di un'intensità media tra 1-2 m/s, con valori massimi compresi tra 5 a 8 m/s e di direzione, perpendicolare alla costa. Il verificarsi di tali fenomeni di brezza di mare determina condizioni di instabilità alle basse quote con sovrastanti situazioni di stabilità/neutralità: la base del ginocchio termico in terreni pianeggianti è posta ad un'altezza dell'ordine di  $x^{1/2}$ , dove  $x$  è la distanza, in metri, dalla costa; in ogni caso, alle nostre latitudini, l'altezza dell'inversione

termica non supera generalmente i 600 metri di quota dal livello del suolo. Al di sopra dell'inversione termica è usualmente presente una corrente di aria calda di ricircolo, opposta a quella al suolo, di minore intensità di circa 3-4 m/s, e di uno spessore massimo tra i 1.000 e i 1.500 metri dalla prima inversione; oltre tale quota si verifica l'allineamento alle correnti sinottiche.

I venti termici notturni, di minore intensità e di minore spessore, aventi origine all'interno del Litorale, assumono nell'alta pianura direzioni analoghe alle principali valli, e presentano in prossimità della costa una forte componente settentrionale.

Il formarsi delle brezze di terra presuppone, rispetto a quelle di mare, una situazione sostanzialmente opposta; al suolo si verifica una forte inversione termica dello spessore di 100 - 200 metri, caratterizzata da condizioni di forte stabilità atmosferica e venti di intensità moderata (circa 3 m/s). Al di sopra del flusso freddo l'andamento della temperatura varia bruscamente, indicando l'instaurarsi di un'atmosfera maggiormente instabile o neutra; lo spessore del flusso di ritorno, caratterizzato da velocità molto basse (in media 1 m/s), oscilla tra i 200 e gli 800 metri, generalmente le correnti deboli tendono infatti ad allinearsi velocemente con le componenti sinottiche.

### **3 DATI DI INPUT UTILIZZATI NELLE SIMULAZIONI**

#### **3.1 ANALISI CLIMATOLOGICA**

Sono state considerate singole situazioni meteorologiche, per ognuna delle quali è stato ricostruito il campo di venti tridimensionale, impostando la stabilità atmosferica, la direzione e l'intensità del vento; il numero totale di simulazioni è stato quindi definito da tutte le possibili combinazioni dei parametri sopra citati (80 direzioni del vento, 12 classi di velocità del vento e 6 classi di stabilità atmosferica, per un totale di quasi 5.000 casi [non tutte le oltre 5.000 combinazioni sono fisicamente possibili]). Per ogni caso sono stati poi considerati i fenomeni di dispersione e trasporto del pennacchio in modo da calcolare la concentrazione media oraria degli inquinanti, su tutto il dominio di calcolo.

In questo modo sono state comprese nelle simulazioni tutte le possibili situazioni critiche, anche qualora il loro verificarsi risulti improbabile. Infine le concentrazioni ottenute sono state correlate con le statistiche meteorologiche registrate nella stazione sia di Ronchi dei Legionari che di Monfalcone, stazione al suolo, ottenendo risultati simili, data la estrema somiglianza dei dati registrati tra le due stazioni, come precedentemente evidenziato. Per il calcolo delle concentrazioni medie giornaliere si è fatto riferimento ai soli dati rilevati presso la stazione di Monfalcone, poiché i dati registrati presso Ronchi dei Legionari sono forniti in formato già aggregato e non permettono la stima delle medie giornaliere.

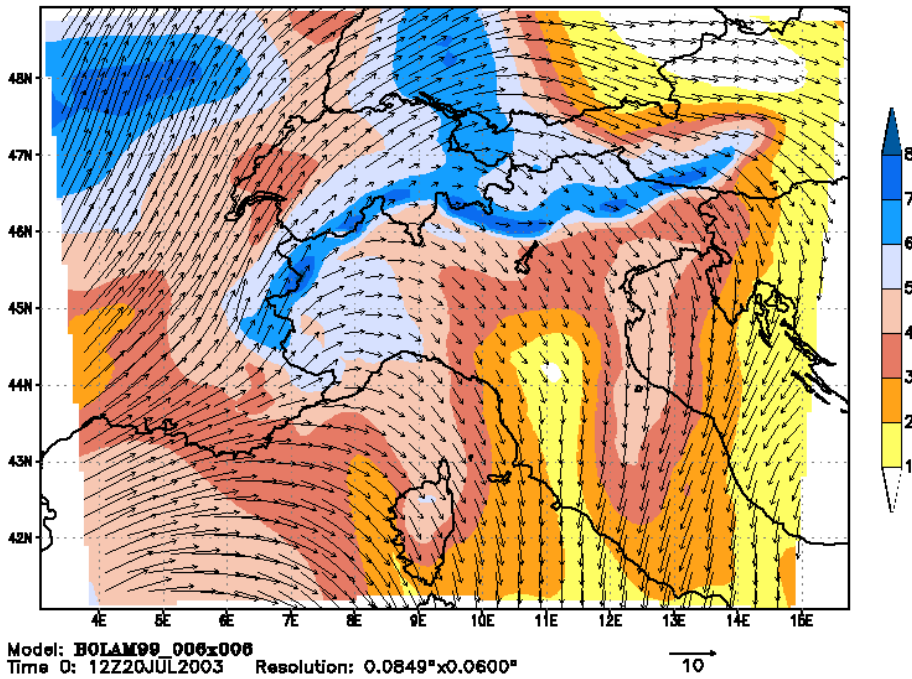
#### **3.2 BREZZE**

Mediante il set di dati fornito dal Dipartimento di Fisica dell'Università di Genova, e relativo ai due giorni di Luglio e Settembre 2003 precedentemente analizzati in dettaglio, è stato ricostruito un profilo verticale di velocità del vento e temperatura e quindi calcolata la concentrazione istantanea al suolo.

Nelle figure 3/1 e 3/2 è mostrata il regime di vento presente sull'Italia settentrionale nei giorni 20/07/2003 e 21/09/2003 in cui le condizioni di brezza appaiono ben sviluppate, che sono state oggetto di una simulazione numerica di approfondimento.



*DIFI (Genoa - Italy) - ISAC-CNR (Bologna - Italy)*  
Specific Humidity [g/kg] and Wind Vectors [m/s]  
12Z Sun 20 JUL  $\tau = 0h$  - level 700 hPa



*DIFI (Genoa - Italy) - ISAC-CNR (Bologna - Italy)*  
Specific Humidity [g/kg] and Wind Vectors [m/s]  
00Z Mon 21 JUL  $\tau = 12h$  - level 700 hPa

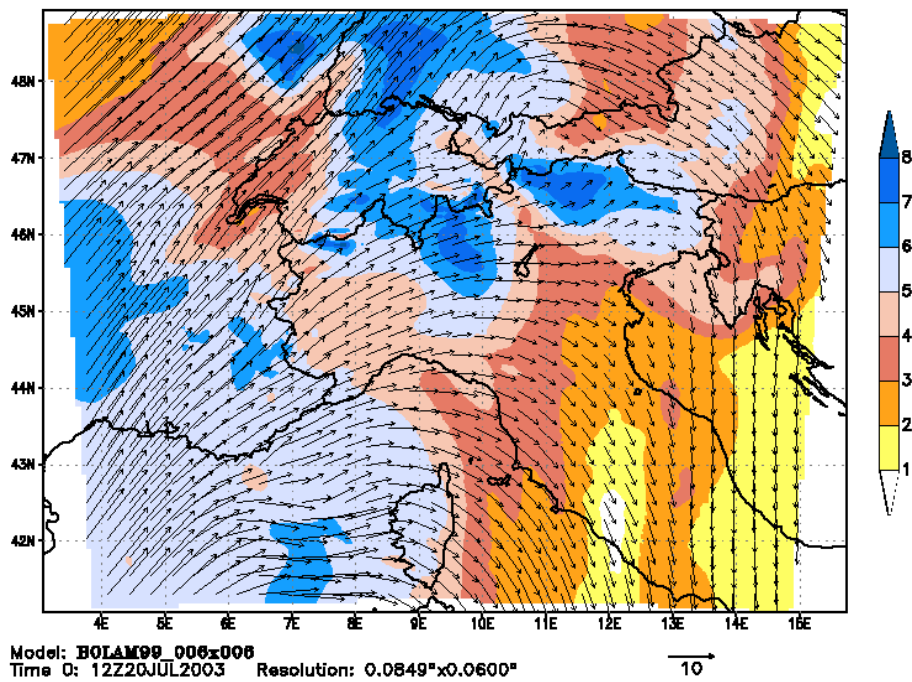
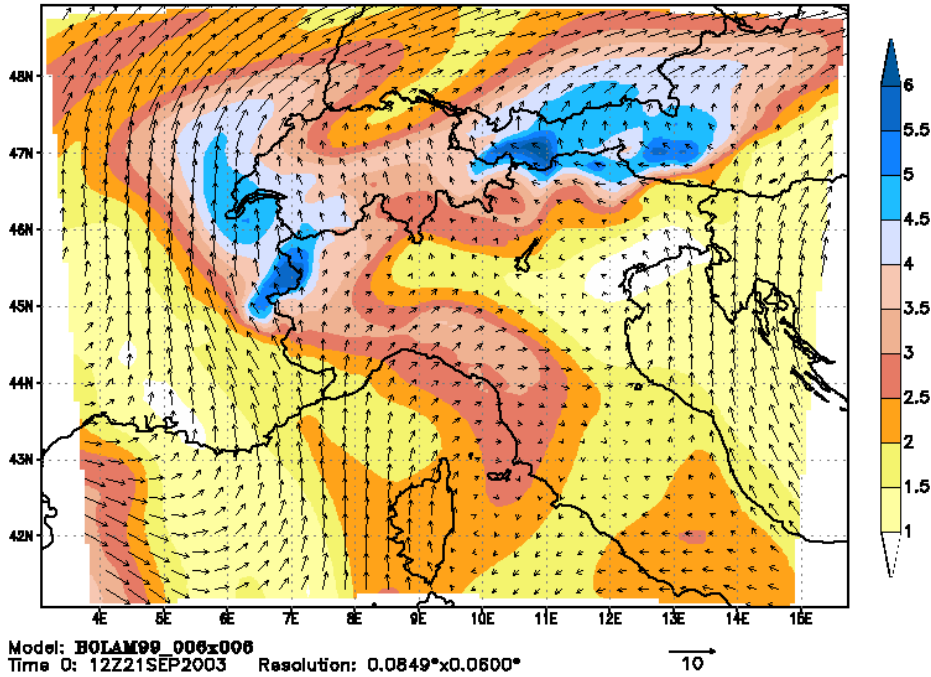


Figura 3/1 Regime di vento del 20-07-2003: ore 00:00 (in alto) ore (12:00) in basso

*DIFI (Genoa - Italy) - ISAC-CNR (Bologna - Italy)*  
Specific Humidity [g/kg] and Wind Vectors [m/s]  
12Z Sun 21 SEP  $\tau = 0h$  - level 700 hPa



*DIFI (Genoa - Italy) - ISAC-CNR (Bologna - Italy)*  
Specific Humidity [g/kg] and Wind Vectors [m/s]  
00Z Mon 22 SEP  $\tau = 12h$  - level 700 hPa

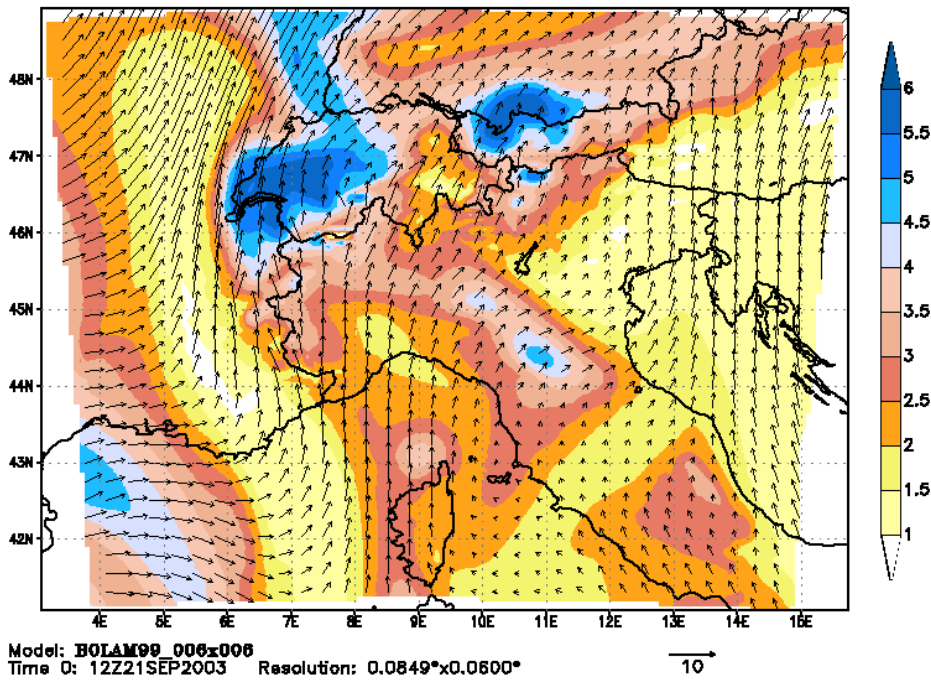


Figura 3/2 Regime di vento del 21-09-2003: ore 00:00 (in alto) ore (12:00) in basso