

1.2.3.2 Analisi delle grandezze meteoclimatiche nel comune di Ferrara.

Per il comune di Ferrara, si riportano di seguito alcune elaborazioni di dettaglio dei dati relativi ai parametri meteorologici quali:

- temperatura (°C),
- direzione (°) e velocità del vento (m/s),
- altezza di rimescolamento (m),
- classi di stabilità.

Le elaborazioni, come già precedentemente illustrato, sono state ottenute dai dati meteo forniti dal Servizio Idro-Meteorologico di ARPA, utilizzando il preprocessore meteorologico tridimensionale Calmet applicato all'area del comune di Ferrara.

Il preprocessore Calmet, a partire da osservazioni relative ai parametri meteorologici disponibili (stazioni al suolo e radiosondaggi), effettua un'interpolazione nello spazio e nel tempo e ricostruisce i campi atmosferici su un grigliato regolare a maglie di 5 Km di lato.

I dati dei parametri temperatura, direzione e velocità del vento, forniti dal SIM e ottenuti con Calmet relativamente al comune di Ferrara, sono confrontati con i dati registrati presso la stazione urbana di Ferrara gestita dal Servizio Idro-Meteorologico a partire dal maggio 2004, collocata presso l'Università di Ferrara, in via Paradiso n.12.

Temperatura e precipitazioni

Nel grafico di figura 1.10 sono riportate le temperature medie mensili dell'anno 2005 a confronto con quelle degli anni 2003 e 2004.

I mesi invernali dell'anno 2005 sono stati caratterizzati da temperature inferiori rispetto agli anni precedenti (vedi i mesi gennaio e febbraio e da ottobre sino a dicembre). Anche il periodo estivo è stato meno caldo rispetto all'anno 2003. In particolare nel mese di agosto si è rilevata per l'anno 2005 una temperatura media inferiore ai due anni precedenti: questa differenza trova riscontro anche nelle intense precipitazioni cadute nel mese di agosto nel comune di Ferrara (vedi figura 1.11). Complessivamente il 2005 rispetto all'anno precedente è stato caratterizzato da un maggiore numero di giorni con precipitazioni superiori ai 5 mm nell'intera regione, che però in generale si sono distribuite in modo difforme rispetto al 2004: dopo un inizio anno "secco" (vedi i mesi di gennaio, febbraio, marzo), le precipitazioni si sono concentrate nella seconda parte dell'anno.

*Fig. 1.10: Comune di Ferrara. 2003-2005.
Andamento delle temperature medie mensili,*

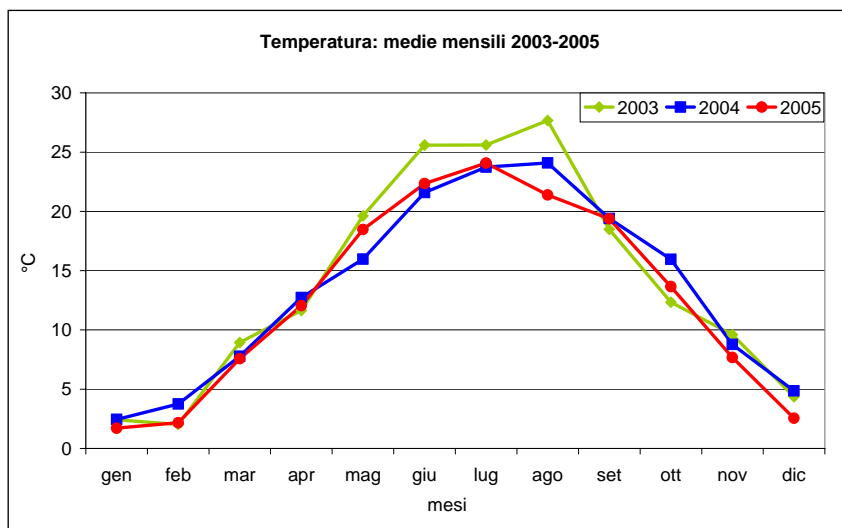
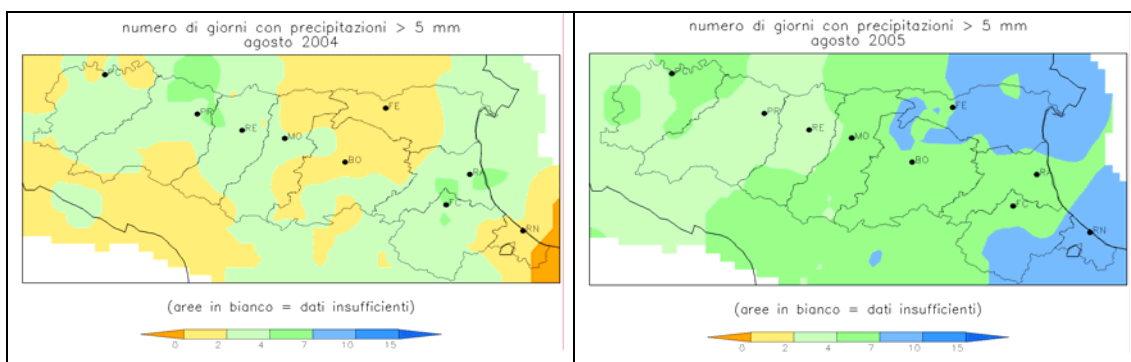


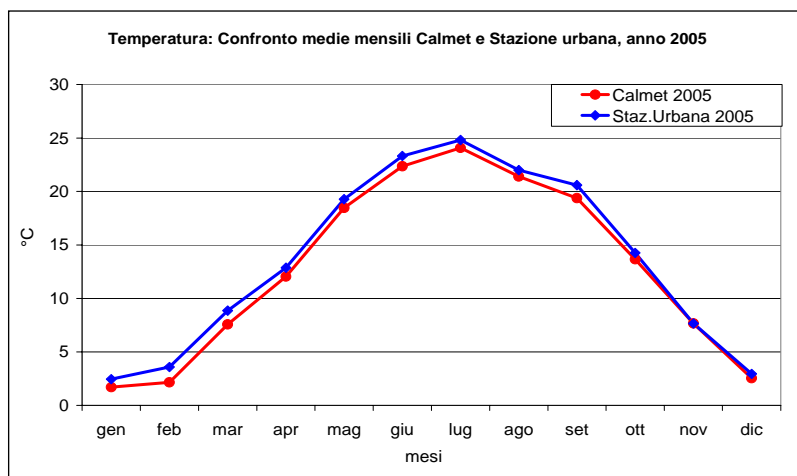
Fig. 1.11: Comune di Ferrara. 2004 e 2005. Numero di giorni con precipitazione > 5mm.



Si riportano nel grafico di figura 1.12 le temperature medie mensili del comune capoluogo calcolate da Calmet a confronto con quelle misurate dalla stazione meteo urbana collocata presso l'Università di Ferrara, in via Paradiso n.12.

Le temperature registrate presso la stazione urbana sono quasi esattamente sovrapponibili a quelle calcolate dal preprocessore Calmet secondo la metodologia descritta in precedenza: per tutto il corso dell'anno le temperature misurate nella della stazione urbana differiscono da quelle calcolate da Calmet al più di +1°C.

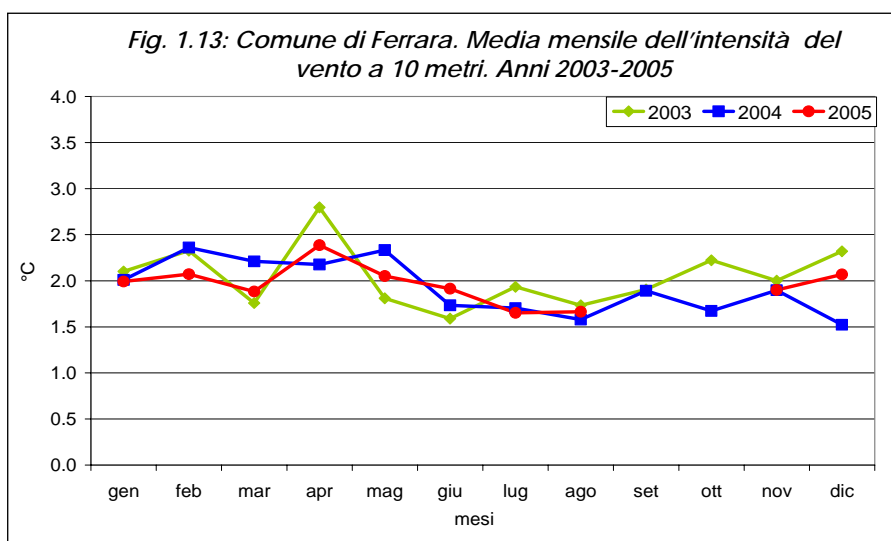
Fig.1.12: Comune di Ferrara. 2005. Andamento delle temperature medie mensili. Confronto dati Calmet, dati stazione urbana SIM



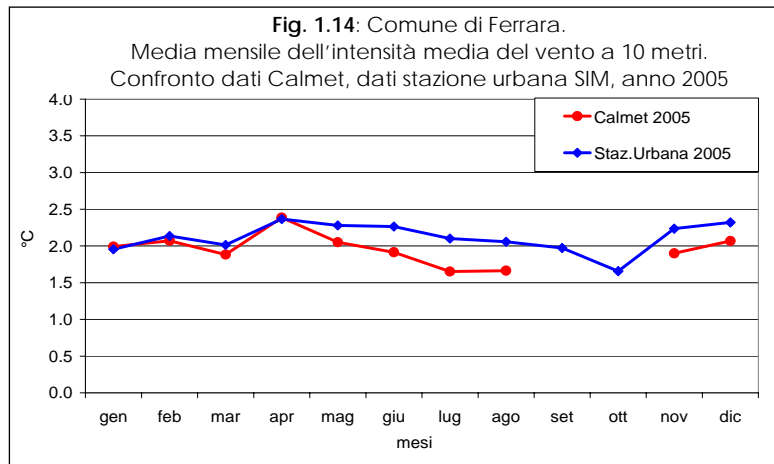
Intensità del vento e direzione del vento

La rappresentazione delle intensità medie mensili del vento stimate da Calmet nel corso degli ultimi 3 anni, evidenzia valori molto bassi, inferiori a 2.5 m/s. Per l'anno 2005 non sono state riportate le intensità medie relative ai mesi di settembre e ottobre in quanto in questi mesi la stazione di Malborghetto di Boara, una delle stazioni di riferimento utilizzate dal preprocessore Calmet, ha avuto problemi di funzionamento.

Si osserva una leggera variabilità stagionale con un calo della ventilazione nei mesi estivi da maggio ad agosto.

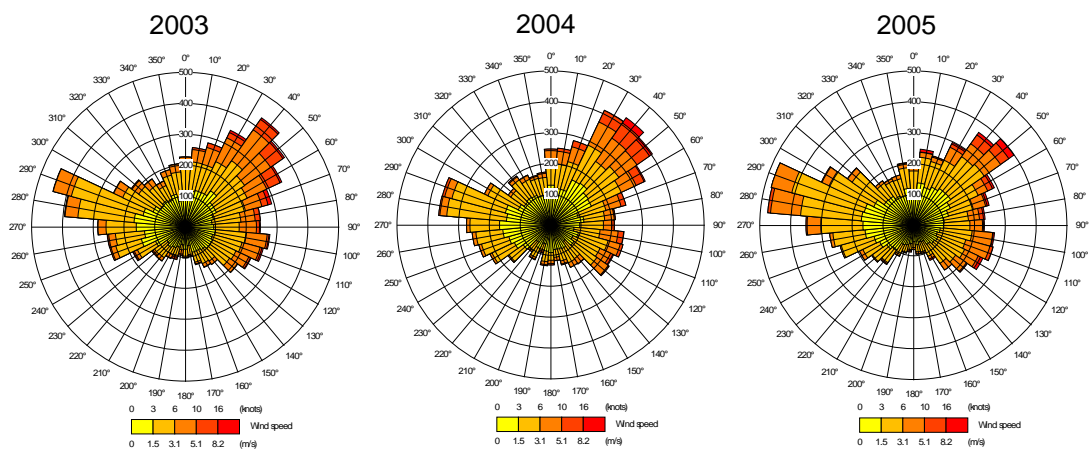


Per l'anno 2005, nella figura 1.14 sono riportate le intensità medie mensili del vento in m/s ricavate dai dati Calmet a confronto con le intensità medie mensili elaborate dalle misure registrate presso la stazione urbana presso l'Università di Ferrara, in via Paradiso n.12: i valori derivati da Calmet di velocità del vento sono inferiori ai valori registrati presso la stazione urbana.



In Fig. 1.15 sono riportate le rose del vento calcolate a partire dai dati disponibili di direzione e velocità del vento per gli anni 2003, 2004 e 2005. Le rose del vento sono stata realizzate con il modello ADMS-URBAN¹⁰ che prevede l'apposita applicazione per il calcolo della rosa a partire da dati orari di velocità e direzione del vento. Il modello ADMS usato per l'elaborazione della rosa dei venti considera come calme i valori di velocità del vento minori o uguali a 0.75 m/s.

Fig. 1.15: Comune di Ferrara. Rosa dei venti, dati Calmet, Ferrara, anni 2003- 2005



I casi di calma di vento, come definiti da ADMS, sono pari al 18%,19% e 15% sul totale dei dati validi, rispettivamente per gli anni 2003, 2004 e 2005.

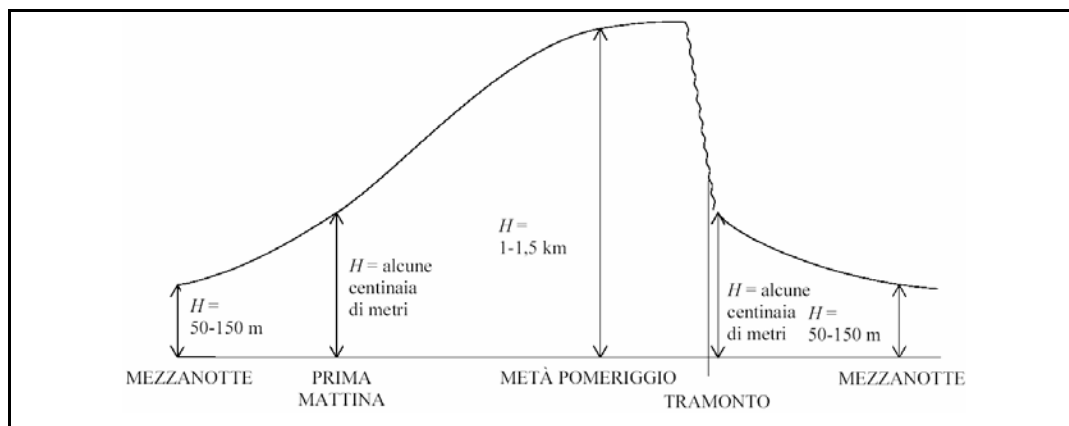
Come già analizzato in precedenza, le direzioni di provenienza prevalenti sono quelle dal settore nordest con velocità massime dell'ordine degli 8 m/s, e quelle dal settore ovest - nordovest, con velocità massime dell'ordine dei 5 m/s.

Altezza di rimescolamento

Lo *Strato di rimescolamento* è la regione all'interno della troposfera condizionata dalla superficie terrestre (rugosità e flussi di calore) che può estendersi fino a 2.5 Km sopra di essa¹¹. Tale strato è la zona in cui si verifica la diffusione degli inquinanti; il suo spessore (*altezza di rimescolamento*) può variare da 50 a 2000 metri in funzione delle condizioni meteorologiche (quantità di luce solare e intensità del vento) e delle caratteristiche della superficie. Presenta un ciclo diurno e stagionale. La figura 1.16 schematizza la sua variazione giornaliera.

Se si osserva il grafico della variazione giornaliera dell'altezza di rimescolamento,

Fig.1.16: Variazione giornaliera dell'altezza di rimescolamento



Fonte: Corso di formazione introduttivo su ADMS – Urban.
Introduzione alla meteorologia dello strato limite e alla dispersione dell'inquinamento

si nota che essa aumenta man mano che dall'alba si passa alle prime ore del pomeriggio (ore 14 – 15), ossia in corrispondenza delle ore centrali della giornata, caratterizzate da una maggiore insolazione. Tale condizione apporta calore alla crosta terrestre e quindi, per irraggiamento, all'aria sovrastante che viene coinvolta in moti

¹⁰ ADMS URBAN (versione 2.0.4.0, sviluppato dalla Cambridge Environmental Research Consultants - UK) è un modello analitico stazionario, eseguibile su PC, della dispersione in atmosfera di sostanze inquinanti rilasciate nelle aree urbane da differenti tipologie di sorgenti (puntuali, lineari, di aree e di volumi).

¹¹ R.B. Stull "An Introduction to Boundary Layer Meteorology" Kluwer Ac.Pub, 1988.

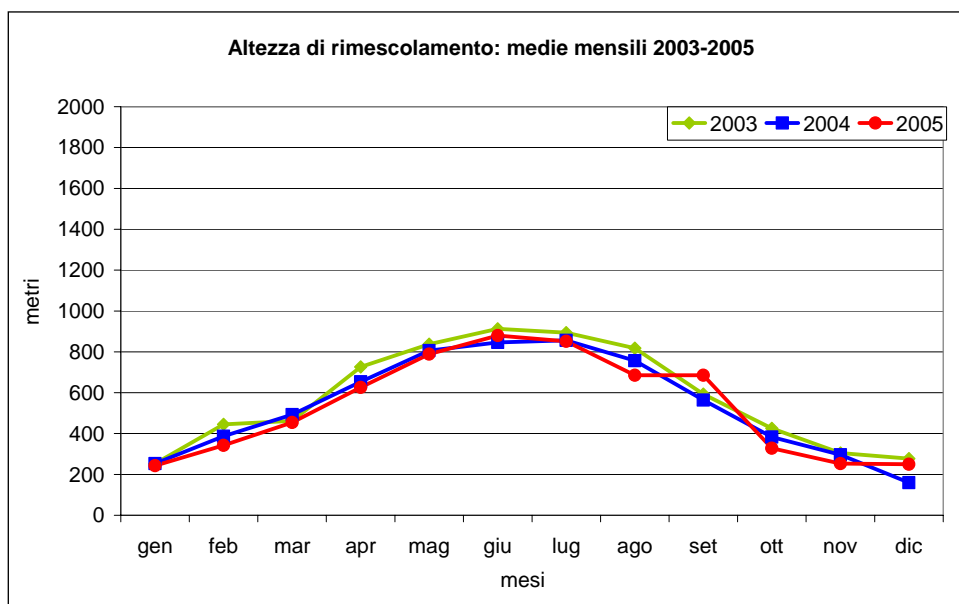
ascensionali di aria calda verso l'alto con formazione di celle convettive (turbolenza atmosferica di origine termica).

L'altezza di rimescolamento nelle ore centrali della giornata raggiunge mediamente i 1500 m, con picchi di altezza massima di 2500 m.

A partire dal tramonto l'altezza di rimescolamento diminuisce rapidamente con il raggiungimento in media della quota di 150 – 100 m, con valori minimi di 50 m.

Riguardo al ciclo stagionale, rappresentato in figura 1.17, si osserva che nei mesi invernali lo strato di rimescolamento presenta i valori più bassi dell'anno, causa il modesto irraggiamento solare, l'alta umidità relativa, la presenza di nebbie e la bassa temperatura.

Fig. 1.17: Media mensile dell'altezza di rimescolamento, anni 2003-2005



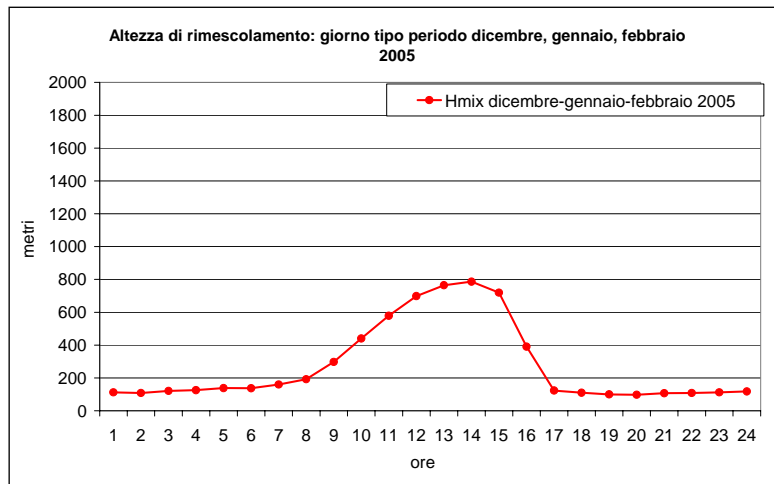
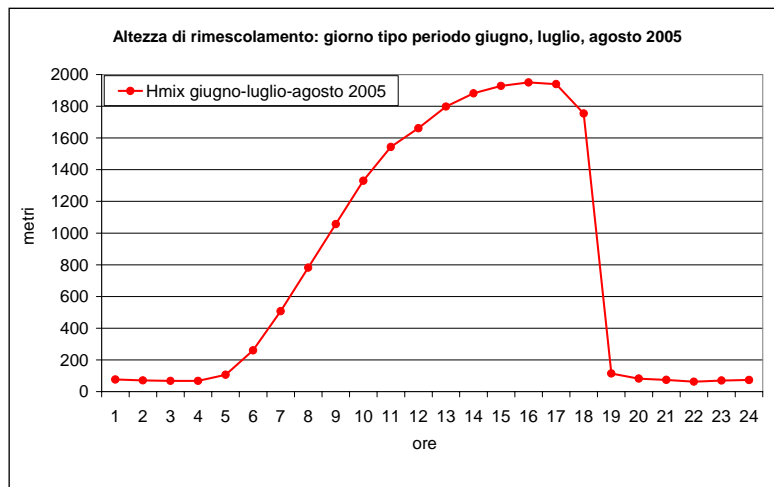
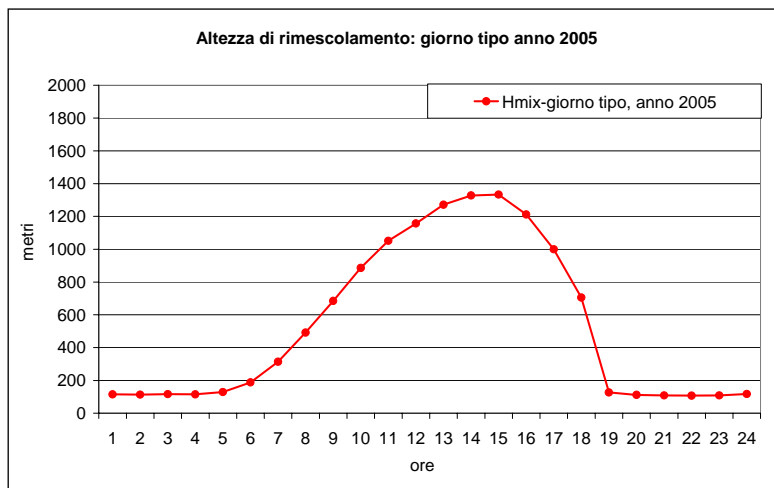
Quando lo strato di rimescolamento si riduce a zero si ha l'inversione termica al suolo, situazione nella quale gli inquinanti primari, cioè quelli prodotti direttamente dalle fonti, non possono diffondere nell'atmosfera e quindi persistono al suolo in concentrazioni elevate. La riduzione dello strato di rimescolamento è uno stato che favorisce alte concentrazioni d'inquinanti.

Inversamente, nel periodo estivo, le alte temperature diurne e l'irraggiamento solare favoriscono l'aumento dello strato di rimescolamento e quindi, in casi di tempo stabili, si ha una maggiore diluizione degli inquinanti rispetto ad altri periodi dell'anno.

PROVINCIA DI FERRARA
Piano di Tutela e Risanamento della Qualità dell'Aria

Di seguito si riportano le elaborazioni relative al giorno tipo della grandezza in esame calcolato sull'intero anno, sui mesi invernali (dicembre, gennaio e febbraio) e sui mesi estivi (giugno, luglio, agosto) dell'anno 2005 a Ferrara.

Fig. 1.18: Comune di Ferrara. Giorno tipo dell'altezza di rimescolamento, 2005



L'analisi più dettagliata del giorno tipo calcolato per il periodo invernale ed estivo rileva una maggiore escursione giornaliera in estate rispetto all'inverno: l'altezza di rimescolamento raggiunge il suo valore massimo nelle ore centrali della giornata (dalle 14 alle 16), e mentre in estate arriva fino ai 2000 m, in inverno non supera mai i 1000 m (in corrispondenza delle ore 14 - 15).

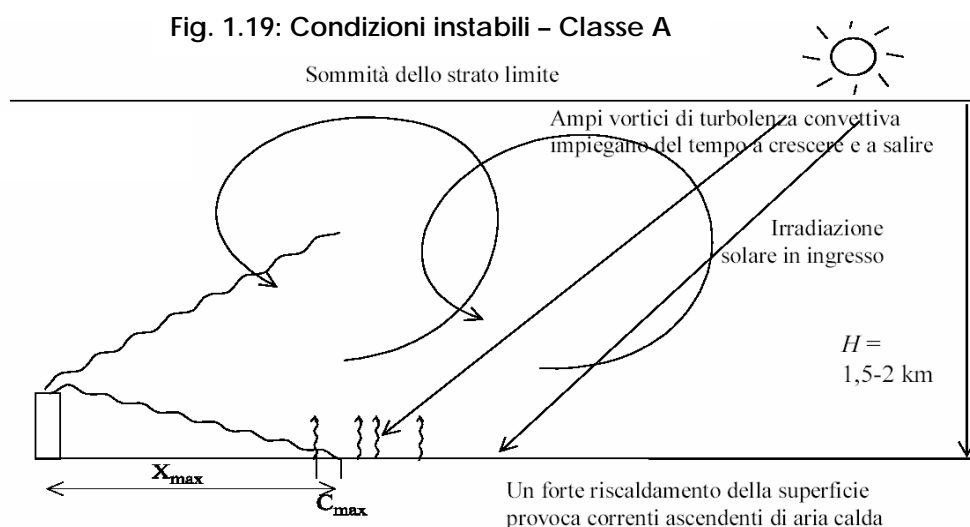
Classi di Stabilità

Le categorie di stabilità atmosferica (stabilità, instabilità, neutralità) sono utili ai fini della valutazione della turbolenza atmosferica, e quindi delle condizioni di dispersione degli inquinanti. In condizioni di stabilità (classi F e G) le sostanze inquinanti permangono più a lungo allo stesso livello. In condizioni di instabilità (classe A forte instabilità, B instabilità, C debole instabilità), l'inquinante viene rapidamente rimescolato in atmosfera ad opera dei moti turbolenti di origine termica. La classe D rappresenta la neutralità e in tale condizione la dispersione e la salita della nuvola dell'inquinante risultano inibite.

I seguenti grafici sono esemplificativi delle condizioni di stabilità atmosferica e del loro verificarsi nella realtà.

Condizioni instabili - classe A

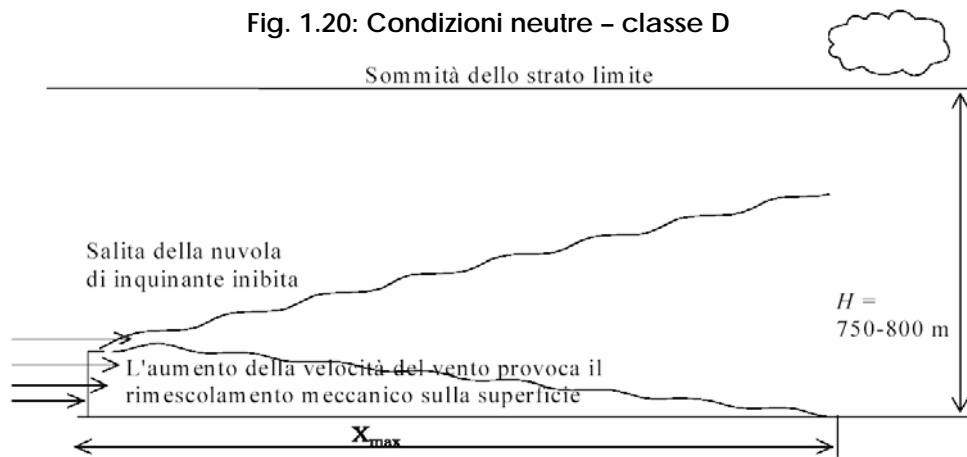
Generalmente si hanno condizioni molto convettive nelle giornate soleggiate con una leggera brezza, quando la superficie terrestre è asciutta e si verifica una forte irradiazione solare. Le correnti ascendenti d'aria calda salgono dal suolo provocando turbolenza nello strato limite.



Condizioni neutre – classe D

Le condizioni meteorologiche neutre si verificano di solito in condizioni di nuvolosità, che di giorno impedisce l'irraggiamento del sole verso il terreno e di notte quello del terreno verso l'alto, e in assenza di pioggia. Più raramente vi può essere neutralità anche in casi di cielo sereno (di giorno o di notte) ma con vento sufficientemente forte da rimescolare gli strati prossimi al terreno.¹²

Sono generalmente neutre le condizioni in prossimità dell'alba e del tramonto. Questa è la categoria più ampia; infatti le condizioni neutre si verificano in molti

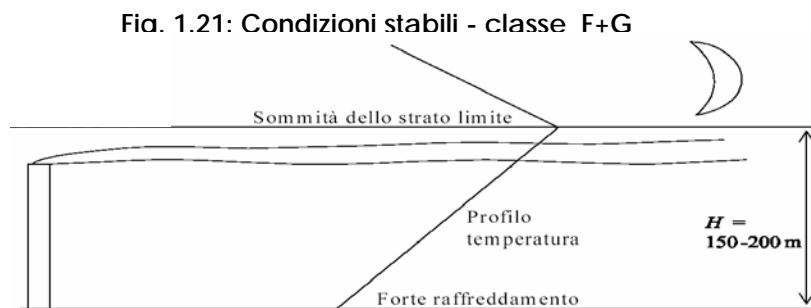


momenti della giornata e periodi dell'anno.

Condizioni stabili- classe F+G

Le condizioni molto stabili si verificano nelle notti serene e senza vento caratterizzate da forte raffreddamento del terreno e del più basso strato dell'atmosfera provocato da radiazione a onde lunghe verso lo spazio. Di solito sono accompagnate da inversioni del

gradiente di temperatura, cioè la temperatura aumenta all'aumentare dell'altezza dal suolo. Lo strato limite presenta una



¹² J.H.Seinfeld "Atmospheric Chemistry and Physics of Air Pollution" Wiley, New York, 1986.

stratificazione, con gli strati più densi verso il suolo, i quali tendono ad inibire qualunque moto verticale provocato dagli attriti alla superficie.

Il fenomeno di inversione termica ha effetto negativo sulla qualità dell'aria, specialmente quando l'emissione di inquinanti avviene al di sotto della base dell'inversione, che funge da tappo alla dispersione verso l'alta atmosfera e può provocare concentrazioni al suolo elevate. Quando invece l'emissione avviene al di sopra, esso funge da protezione, ostacolando la ricaduta al suolo dell'inquinante ¹³.

In tabella 1.2 si riporta una definizione delle classi di stabilità in funzione della turbolenza meccanica (velocità del vento) e di quella termica (indice di insolazione: 7= cielo sereno, 1 = molto nuvoloso).

Tab.1.2: Determinazione della classe di stabilità secondo il metodo usato da CALMET

		Classi di velocità del vento [nodi]											
		0÷1	1÷2	2÷3	3÷4	4÷5	5÷6	6÷7	7÷8	8÷9	9÷10	10÷11	>11
Indice di insol.	1	F	F	F	F	F	F	E	E	E	E	D	D
	2	F	F	F	E	E	E	D	D	D	D	D	D
	3	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
	4	C	C	C	D	D	D	D	D	D	D	D	D
	5	B	B	B	C	C	C	C	C	C	D	D	D
	6	A	B	B	B	B	B	B	C	C	C	C	D
	7	A	A	A	A	A	B	B	B	B	C	C	C

dove:

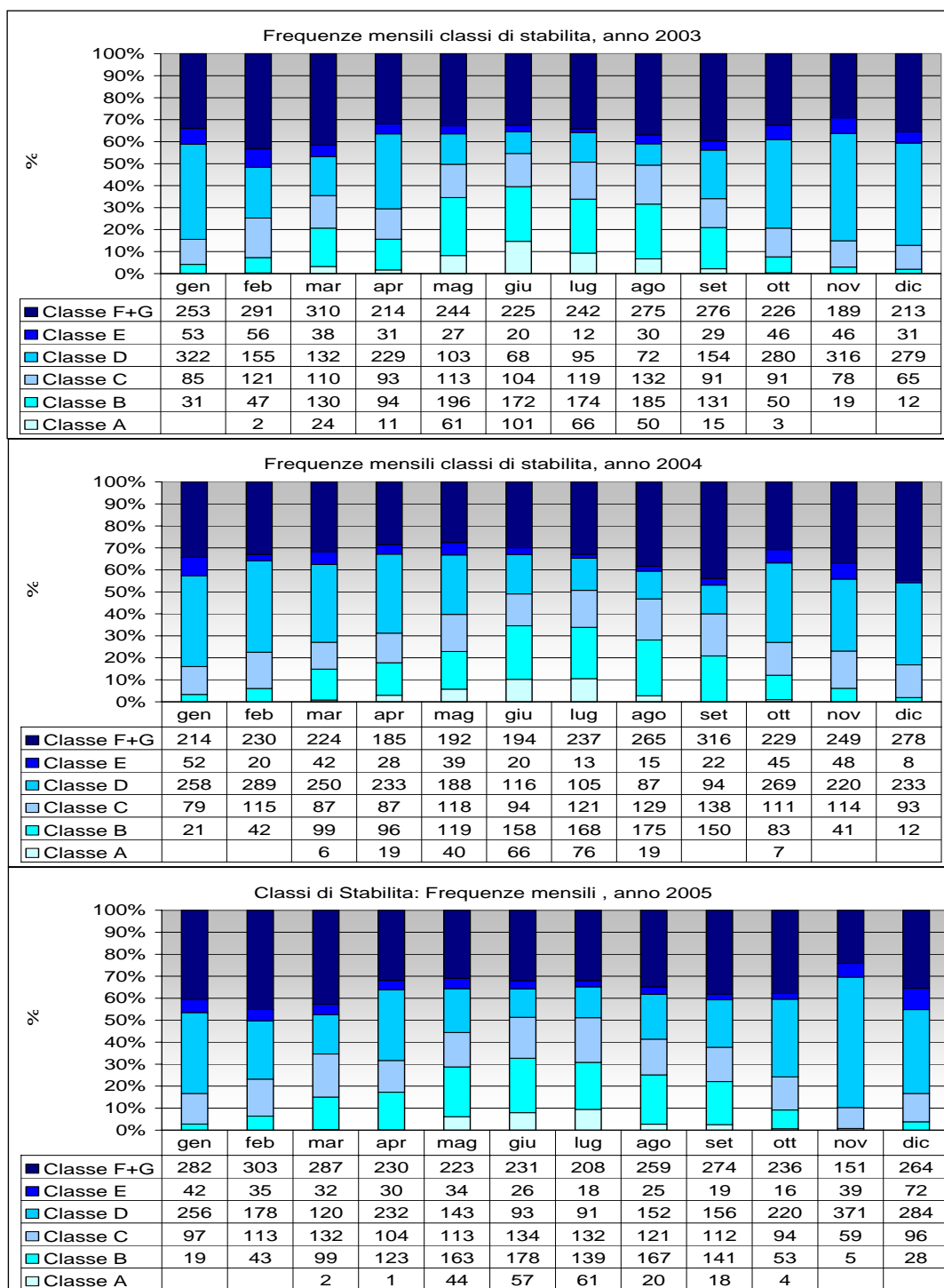
- A:** condizioni estremamente instabili, **B:** condizioni moderatamente instabili,
- C:** condizioni leggermente instabili, **D:** condizioni neutre,
- E:** condizioni leggermente stabili, **F:** condizioni stabili

Di seguito (figura 1.22) si riportano le frequenze delle classi di stabilità estratte da Calmet per il comune di Ferrara per l'anno 2005 a confronto con gli anni 2003 e 2004.

¹³ Vismara R. "Ecologia Applicata" (2° edizione), Biblioteca Scientifica Hoepli, 1992.

PROVINCIA DI FERRARA
Piano di Tutela e Risanamento della Qualità dell'Aria

Fig.1.22: Comune di Ferrara. Classi di stabilità: frequenza e numero casi mensili.



La percentuale relativa al numero di casi di ogni singola classe di stabilità è stata calcolata sul numero totale dei dati validi per l'anno corrente. Negli ultimi anni si riscontra una sostanziale stazionarietà della percentuale di distribuzione delle diverse categorie in oggetto. Come già anticipato risultano preponderanti le classi F+G e D (stabilità), mentre sono poco presenti le classi A e B (instabilità).

Tab. 1.3: Percentuali Classi di stabilità

Anno	% Classe A	% Classe B	% Classe C	% Classe D	% Classe E	% Classe F+G
2003	4%	15%	14%	26%	5%	35%
2004	3%	14%	16%	29%	4%	34%
2005	2%	14%	16%	28%	5%	36%

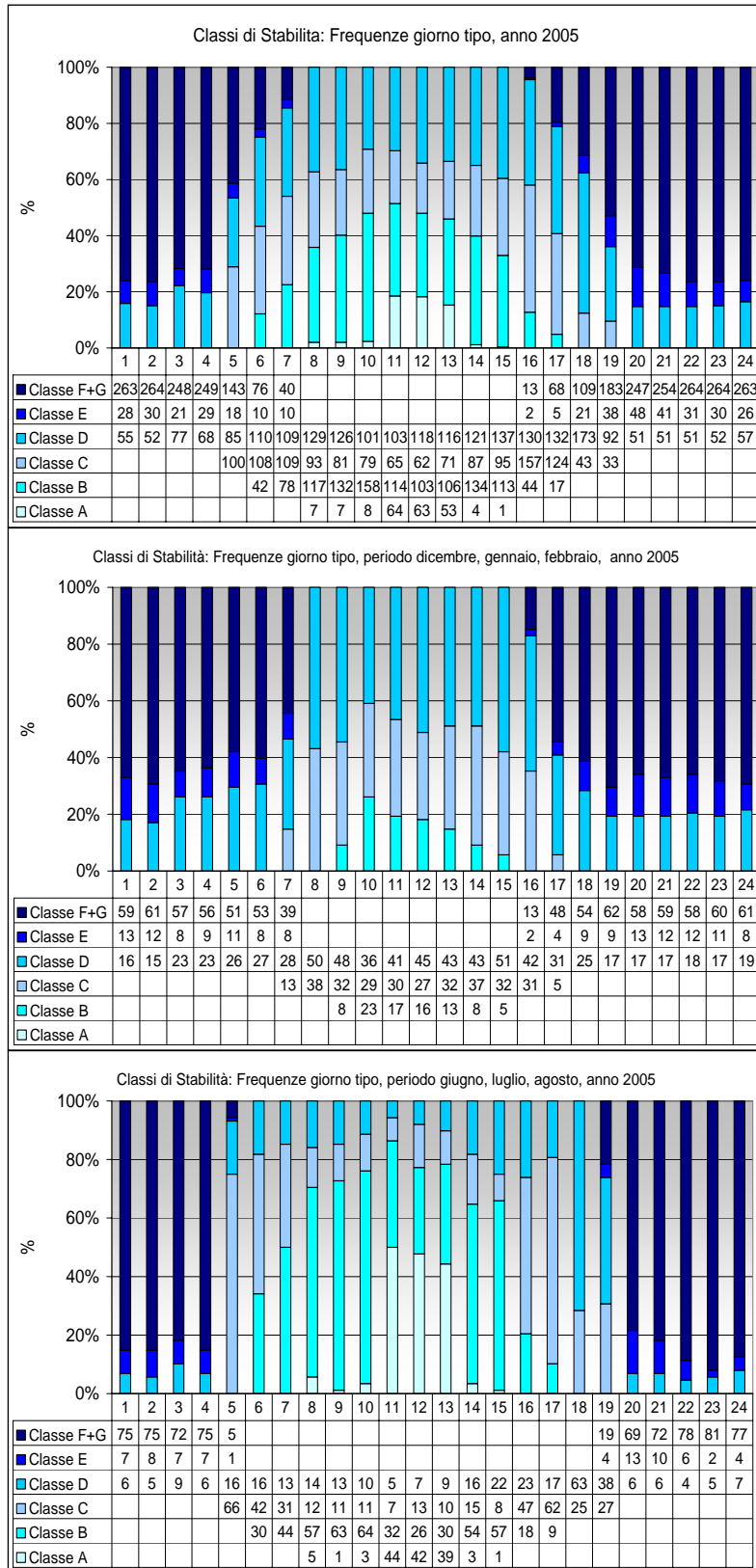
Dai grafici si osserva anche la distribuzione in termini percentuali delle classi nei vari mesi: le classi F+G e soprattutto D sono prevalenti nella stagione invernale; la classe F è fortemente presente anche nei mesi di settembre, ottobre e marzo. La classe A è presente solo nel periodo estivo ed è particolarmente frequente nei mesi di giugno e luglio, mentre la classe B nei mesi da aprile a settembre. La classe C è uniformemente distribuita in tutti i mesi dell'anno con frequenze non superiori al 20%.

Nel 2005 risultano più frequenti le classi F+G nei mesi da gennaio a giugno rispetto al 2004, nei mesi di novembre e dicembre rispetto al 2003. Nel 2005 è maggiore il numero di casi di classe di stabilità D nei mesi di novembre e dicembre.

Di seguito (figura 1.23) si riportano le elaborazioni relative al giorno tipo della grandezza in esame calcolato sull'intero anno, sui mesi invernali (dicembre, gennaio e febbraio) e sui mesi estivi (giugno, luglio, agosto) dell'anno 2005.

PROVINCIA DI FERRARA
Piano di Tutela e Risanamento della Qualità dell'Aria

Fig.1.23: Comune di Ferrara. Giorno tipo dell'altezza di rimescolamento, anno 2005



Dal grafico relativo alla frequenza % delle classi di stabilità atmosferica nelle 24 ore del giorno-tipo calcolato sull'intero anno 2005, si osserva la distribuzione della classe F+G nelle prime ore della giornata, dalle ore 1 sino alle ore 5-6 e nelle ore della sera, dalle 19 in poi.

Questo intervallo cambia nella elaborazioni del giorno tipo invernale ed estivo: in inverno, causa le temperature più basse che contribuiscono al mantenimento della condizione di inversione termica venuta ad assestarsi durante la notte, la classe F+G rimane fortemente presente fino alle ore 7, mentre nel pomeriggio, rispetto alla precedente elaborazione sul giorno tipo anno, inizia a manifestarsi a partire dalle ore 16.

In estate, grazie a temperature più elevate che dissolvono prima il fenomeno di inversione termica venuto a crearsi durante la notte, la classe F+G rimane vincolata alle prime ore della giornata e scompare a partire dalle 5 del mattino, mentre la sera comincia a insidiarsi a partire da un'ora più tarda (dalle 20).

L'analisi degli andamenti nelle due stagioni inoltre permette di evidenziare la maggiore presenza delle classi D e C nelle ore centrali delle giornate invernali, mentre in estate la classe A è specifica delle ore più soleggiate e calde (ore 11-13).