

Correlazioni tra condizioni meteo-climatiche e dispersione degli inquinanti: il caso studio della Regione Campania

G. Barone*, E. Chianese*, C. Ballone*, A. Riccio**

* Dipartimento di Chimica, Università degli Studi di Napoli "Federico II"

** Dipartimento di Scienze Applicate, Università degli Studi di Napoli "Parthenope"

1. Introduzione

Gli studi più recenti condotti in ambito medico e farmacologico hanno dimostrato l'esistenza di strette correlazioni tra diverse patologie umane e la qualità dell'aria che respiriamo; in particolare è stato sottolineato che la presenza di specifiche sostanze peggiora la qualità dell'aria determinando situazioni di potenziale rischio sanitario.

E' ormai noto che, ad esempio, l'esposizione ad alti livelli di concentrazione di ossidi di azoto (indicati complessivamente come NO_x) determina l'insorgenza di problemi alle vie respiratorie. In particolare la specie NO_2 risulta essere quella più tossica in quanto è in grado di apportare danni alle mucose e alle pareti dell'apparato respiratorio. I problemi associati all' NO_2 possono andare da un semplice decremento della capacità respiratoria, per esposizioni di 30 minuti a $560 \mu\text{g}/\text{m}^3$, fino a complicazioni irreversibili come gli edemi polmonari, per tempi e concentrazioni maggiori.

Altra sostanza il cui effetto sulla salute è da moltissimo tempo accertato è il monossido di carbonio, CO , che risulta essere tossico già per esposizioni di 8 ore a concentrazioni di $35 \text{ mg}/\text{m}^3$ (livello che si abbassa ulteriormente in caso di condizione di salute già compromesse o in condizioni di sforzo fisico). La sua azione consiste nel formare con l'emoglobina la carbossiemoglobina, un complesso più stabile della ossiemoglobina, impedendo dunque lo scambio di ossigeno con i tessuti.

Anche l'anidride solforosa, SO_2 , risulta essere una sostanza inquinante della qualità dell'aria, in quanto capace di compromettere la normale attività respiratoria, anche in persone sane, già per concentrazioni di 30 ppm; gli effetti vanno da naso-faringiti, con alterazioni dei sensi del gusto e dell'olfatto, fino a tracheiti, bronchiti e polmoniti.

L' SO_2 è inoltre responsabile delle piogge acide (trasformandosi in H_2SO_4 in presenza di acqua) ed è tra le sostanze in grado di disturbare anche l'attività vegetale, in particolare in compresenza (effetto di sinergia) con l'ozono (O_3), comportando ingiallimento del tessuto foliare e morte della pianta. Anche l'ozono è un potente inquinante; esso diversamente dagli altri prima elencati è un inquinante secondario (non emesso direttamente dalle attività antropiche) prodotto in atmosfera dalle reazioni chimiche che avvengono a carico dei suoi precursori (tipicamente NO_x e VOC).

Altre ancora sono le sostanze che sono classificate come inquinanti dell'aria, come le sostanze organiche volatili (VOC), il particolato atmosferico (PM) o ancora metalli e

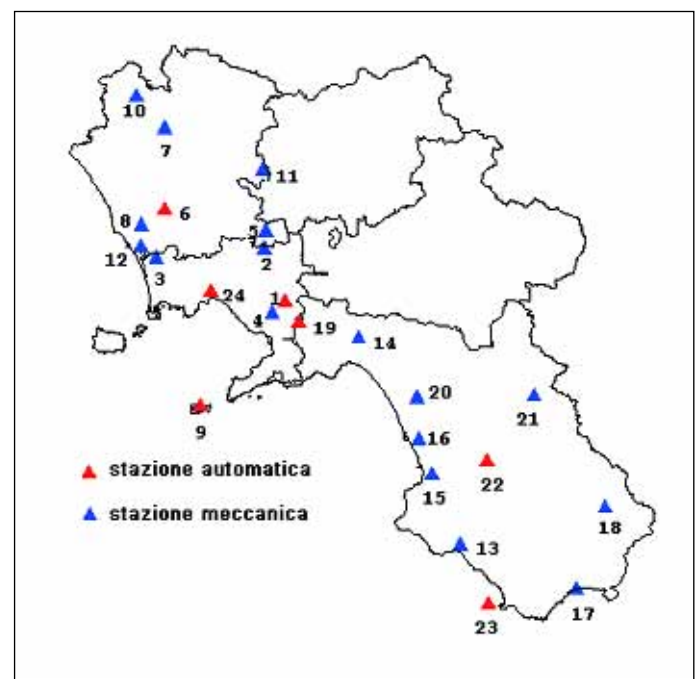


Fig. 1 - Distribuzione delle centraline meteorologiche sul territorio campano.

loro derivati. La presenza di queste sostanze in atmosfera è in parte naturale ma, soprattutto nel corso degli ultimi anni, le attività umane stanno contribuendo all'accumulo di quantità aggiuntive nella bassa atmosfera.

Per i crescenti disagi associati al peggioramento della qualità dell'aria, oggi si pone l'attenzione verso lo studio di quei fattori che, oltre ai tassi di emissione, determinano l'accumulo in atmosfera delle specie prima elencate. In particolare l'attenzione è rivolta a mettere in evidenza l'effetto dei parametri ambientali, ossia delle condizioni meteorologiche locali, sulle proprietà della qualità dell'aria.

In tal senso molte conoscenze sono state già conseguite: Anfossi [1] già nel 1979 definiva le correlazioni esistenti tra alcune variabili meteorologiche (andamento della temperatura, velocità e direzione dei venti) e dispersione degli inquinanti emessi da impianti industriali, distinguendo diversi comportamenti delle masse emesse, come dispersione verso il basso in caso di presenza di strati di inversione di temperatura sovrastanti il camino dell'impianto e condizioni di forte vento (*trapping*), oppure permanenza della massa emessa in prossimità della bocca della ciminiera in caso di inversione di temperatura al di sotto del camino ed in assenza di vento.

Anche in casi più generali, come le emissioni da sorgenti diffuse, e su scale più ampie, le correlazioni tra dispersione degli inquinanti e variabili meteorologiche risultano avere grande peso [2, 3, 4]. Questo ci consente di affermare che la conoscenza dei regimi climatici tipici di una determinata area geografica, consente di caratterizzare l'aria locale per il suo comportamento rispetto alla dispersione, individuando quelle particolari situazioni che determinano un maggiore accumulo oppure una maggiore dispersione delle sostanze emesse.

Le variabili meteorologiche solitamente usate per la descrizione dei moti delle masse d'aria sono: il gradiente verticale della temperatura, la direzione e velocità del vento (sia a bassa quota che su scala sinottica), i gradienti orizzontali di pressione (una delle cause determinanti i moti dei venti), la turbolenza atmosferica (dovuta sia all'andamento della temperatura che alla frizione di superficie).

Accanto a queste variabili meteorologiche che potremmo definire tradizionali vengono introdotte, per gli scopi citati, anche altre variabili [5] definite a partire da quelle prima elencate; di queste variabili vengono valutati gli andamenti medi annuali, con i quali vengono poi confrontati i valori particolari associati a giorni o periodi di intenso inquinamento.

Questo tipo di approccio è stato usato per caratterizzare l'atmosfera della Regione Campania nei confronti della dispersione, analizzando dati meteorologici in quota forniti dal Centro Nazionale Meteorologia e Climatologia

Aeronautica (C.N.M.C.A.) e dati meteorologici di superficie forniti da 24 stazioni gestite dall'Aeronautica Militare, dal Centro Agrometeorologico Regionale (C.A.R.) e dal Centro Regionale Inquinamento Atmosferico (C.R.I.A.), relativi al periodo 01 gennaio 1995 - 31 dicembre 2002 alle ore 00:00 e 12:00 UTC (relative cioè al meridiano di Greenwich).

Gli andamenti medi ottenuti per le variabili meteorologiche qui considerate sono stati usati come termini di riferimento per la caratterizzazione di periodi interessati da alti livelli di inquinamento. In particolare, sono stati selezionati dei giorni con alti livelli di concentrazione degli inquinanti e per tali giorni è stato eseguito un confronto tra i valori medi degli indici meteorologici scelti ed i valori giornalieri degli stessi, al fine di stabilire una relazione tra condizioni meteo-climatiche e livelli di concentrazione degli inquinanti.

Tab. 1 - Codice, denominazione e gestore delle stazioni di superficie considerate.

Codice stazione	Città	Gestore
1	Striano (NA)	CAR
2	Acerra (NA)	CAR
3	Giugliano Lago Patria (NA)	CAR
4	Terzigno (NA)	CAR
5	S. Maria a Vico (CE)	CAR
6	Grazzanise (CE)	A.M.
7	Caianello (CE)	CAR
8	Cancello Arnone (CE)	CAR
9	Capri (NA)	A.M.
10	Mignano Monte Lungo (CE)	CAR
11	Castel Campagnano (CE)	CAR
12	Villa Literno (CE)	CAR
13	Casalvelino (SA)	CAR
14	Baronissi (SA)	CAR
15	Agropoli (SA)	CAR
16	Gromola (SA)	CAR
17	Policastro (SA)	CAR
18	Buonabitacolo (SA)	CAR
19	S. Marzano sul Sarno (SA)	CAR
20	Battipaglia (SA)	CAR
21	Buccino (SA)	CAR
22	Castel S. Lorenzo (SA)	CAR
23	Capo Palinuro (SA)	A.M.
24	Napoli (osservatorio astronomico)	CRIA

I giorni di massimo inquinamento (38) sono stati individuati analizzando i dati relativi agli anni 1998-2002 forniti dalle centraline per il monitoraggio della qualità dell'aria gestite dall'ARPA Campania; la denominazione e la tipologia delle centraline i cui dati sono stati analizzati in questo articolo sono riportate nella Tabella seguente.

Tab. 2 - Centraline della Regione Campania.

Comune	Indirizzo	Tipo stazione
Avellino	via Oscar D'Agostino, 4	B
Avellino	via Cristoforo Colombo	C
Benevento	via Pace Vecchia, 57	B
Benevento	corso Garibaldi, 1	C
Caserta	via Alcide De Gasperi	B
Caserta	corso Giannone, 5	C
Caserta	via Francesco Cilea	D
Maddaloni (CE)	via Brecciamè	D
Napoli	salita Moiarriello, 16	A
Napoli	via Mario Fiore, 6	B
Napoli	piazza Miraglia, 192/193	B
Napoli	via Giulio Cesare, 68	C
Napoli	via Luca Giordano, 128	C
Napoli	piazza Museo Nazionale, 1	C
Napoli	corso Novara, 10	C
Napoli	via Filippo Maria Briganti	D
Napoli	via Argine, 902	D
Salerno	via dei Mille	B
Salerno	via Verzieri	C
Salerno	via Buonservizio	D

Tab. 3 - Dati riassuntivi sul campo dei venti in superficie alle 00:00.

00:00 UTC			
Stazione di superficie	Direzione prevalente	Velocità Media (nodi)	Percentuale di calma
Grazzanise (CE)	NE	5,65	57.20
Capri (NA)	E	4,88	16.46
Napoli	WSW	3,32	53.23
Palinuro (SA)	N	7,62	9.83
Striano (NA)	WNW	4,18	40.37
Acerra (NA)	ENE	4,13	23.91
Lago Patria (NA)	NE	4,20	13.47
Terzigno (NA)	NW	4,13	9.78
S.Maria a Vico (CE)	ENE	5,20	57.34
Caianello (CE)	E	4,85	3.91
Cancello (CE)	NNE	4,86	16.19
Mignano (CE)	SSE	4,30	21.20
C.Campagnano (CE)	ENE	8,46	13.86
Villa Literno (CE)	NE	5,54	5.98
Casalvelino (SA)	NNW	4,73	64.94
Baronissi (SA)	N	4,59	13.83
Agropoli (SA)	ESE	5,08	66.71
Gromola (SA)	NE	4,13	15.92
Policastro (SA)	N	3,61	4.36
Buonabitacolo (SA)	SSE	4,66	50.00
S.Marzano (SA)	WNW	4,08	9.83
Battipaglia (SA)	E	5,52	9.56
Buccino (SA)	ESE	4,90	76.11
C.S.Lorenzo (SA)	SE	4,07	36.46

2. Indici meteorologici usati

Le variabili meteorologiche misurate dalle centraline e potenzialmente utilizzabili per gli studi sulla meteorologia locale sono numerose. Quelle usate come *indici* per le caratteristiche dispersive dell'atmosfera sono: direzione e velocità del vento, inversioni di temperatura, temperatura a 850 hPa, altezza di mescolamento e coefficiente di ventilazione.

Il primo passo nella caratterizzazione delle condizioni dispersive locali è consistito nella ricostruzione del campo dei venti in quota ed in superficie per le stazioni sopraelencate, mediante generazione delle relative *rose dei venti*.

Tab. 4 - Dati riassuntivi sul campo dei venti in superficie alle 12:00.

12:00 UTC			
Stazione di superficie	Direzione prevalente	Velocità Media (nodi)	Percentuale di calma
Grazzanise (CE)	WSW	7,88	14.60
Capri (NA)	W	4,55	4.12
Napoli	SW	3,23	27.77
Palinuro (SA)	S	7,99	1.85
Striano (NA)	SSE	6,36	6.54
Acerra (NA)	SW	6,26	5.04
Lago Patria (NA)	WSW	7,17	11.34
Terzigno (NA)	WSW	5,19	7.22
S.Maria a Vico (CE)	SW	4,81	11.65
Caianello (CE)	N	6,14	3.46
Cancello (CE)	SW	7,07	5.63
Mignano (CE)	SW	5,41	6.96
C.Campagnano (CE)	ENE	10,51	4.33
Villa Literno (CE)	WSW	8,43	1.05
Casalvelino (SA)	S	6,67	7.02
Baronissi (SA)	S	7,61	4.21
Agropoli (SA)	ESE	7,03	18.25
Gromola (SA)	WSW	7,66	1.74
Policastro (SA)	SSW	4,93	1.54
Buonabitacolo (SA)	SSW	6,34	11.53
S.Marzano (SA)	NW	6,35	9.83
Battipaglia (SA)	SW	7,01	5.99
Buccino (SA)	WNW	7,08	36.00
C.S.Lorenzo (SA)	SE	6,28	18.11

Analizzando i dati anemometrici (direzione del vento prevalente, velocità media e percentuale di calma) delle 24 stazioni di superficie si può notare come nelle ore diurne il vento abbia una direzione prevalentemente perpendicolare alla linea di costa, mentre per quelle più interne la direzione ruota da nordest a sud passando dall'area casertana a quella salernitana. Per le stazioni esterne la velocità media del vento è di circa 5 nodi ¹, con una percentuale di calma di circa il 33%,

mentre per le stazioni interne la velocità del vento è sempre di circa 5 nodi, con percentuale di calma del 27%.

La situazione si inverte nelle ore notturne, quando per la linea di costa la direzione del vento va da sud ad ovest con una velocità media di circa 6 nodi ed una percentuale di calma di circa il 9%, mentre per le stazioni interne la direzione ruota da nordovest a sud con una velocità media del vento di circa 6-8 nodi ed una percentuale di calma del 10%.

Dai dati anemometrici della stazione di radiosondaggio si osserva che nelle ore diurne il vento proviene in superficie da est (100 m) per ruotare fino ad ovest - sudovest in quota (2000 m), mentre nelle ore notturne ruota da sud-est a sud-ovest.

La velocità del vento, come prevedibile, aumenta con la variazione altimetrica, e per lo stesso motivo si osserva un decremento della percentuale di calma. Da notare è anche la rotazione in senso orario all'aumentare della quota, causata dall'effetto noto come *spirale di Ekman*, dovuto all'interazione fra il vento geostrofico e la frizione con la superficie della terra.

Tab. 5 - Dati riassuntivi sul campo dei venti in quota alle 00:00.

00:00 UTC			
Stazione di Pratica di Mare	Direzione prevalente	Velocità Media (nodi)	Percentuale di calma
100 m	E	7,91	18.57
500 m	SE	10,30	3.47
1000 m	SSE	11,58	1.55
1500 m	SW	12,69	1.53
2000 m	WSW	14,48	1.01

Tab. 6 - Dati riassuntivi sul campo dei venti in quota alle 12:00.

12:00 UTC			
Stazione di Pratica di Mare	Direzione prevalente	Velocità Media (nodi)	Percentuale di calma
100 m	SSE	8,85	4.63
500 m	SE	10,33	1.11
1000 m	SSE	11,69	1.33
1500 m	SW	12,06	1.20
2000 m	SW	13,84	0.75

Un altro parametro fondamentale ai fini della dispersione è l'andamento della temperatura con l'altezza. Solitamente la temperatura nei primi strati dell'atmosfera diminuisce con l'altezza, determinando condizioni di instabilità atmosferica dovuta alla presenza di masse fredde sovrastanti masse calde, situazione che genera moti convettivi verticali che favoriscono la dispersione degli inquinanti.

In alcuni casi però il gradiente di temperatura può invertirsi, ossia la temperatura può aumentare con l'altezza anziché diminuire.

In queste condizioni l'atmosfera risulta stabile, sovra-

stando le masse calde quelle fredde, e smorzando i moti convettivi verticali che disperdono gli inquinanti; questa condizione, nota come *"inversione termica"* determina spesso un peggioramento delle condizioni locali di qualità dell'aria.

Per la caratterizzazione delle *inversioni termiche* sono stati calcolati: lo spessore medio dello strato di mescolamento (DH), il gradiente medio di temperatura nello strato di mescolamento (γ), la differenza di temperatura media mensile nello strato di mescolamento e la distribuzione di frequenza dell'inversione mensile tra i 12 ed i 300 metri sul livello del suolo.

Questo intervallo di altezze è stato scelto in quanto corrisponde all'altezza entro cui si sviluppano le emissioni di superficie (includendovi anche quelle provenienti da impianti industriali le cui emissioni si localizzano intorno ai 100 m dal suolo) ed in cui avvengono i processi di dispersione più importanti per la scala urbana.

Nelle Tabelle 7 e 8 sono riportati i risultati delle elaborazioni effettuate.

Tab. 7 - Tabella riassuntiva dei dati sulle inversioni di temperatura relativi alle ore 00:00.

00:00 UTC				
Mese	ΔH (m)	ΔT (K)	γ (K/m)	% inv.
Gennaio	138.91	1.77	1.80	9.49
Febbraio	113.71	1.70	1.96	8.03
Marzo	109.00	1.68	1.89	8.66
Aprile	103.70	1.57	1.92	7.91
Maggio	138.17	1.92	1.90	8.27
Giugno	106.95	1.62	1.75	7.16
Luglio	119.77	1.25	1.28	7.83
Agosto	121.17	1.54	1.53	9.30
Settembre	101.80	1.46	1.84	8.23
Ottobre	104.71	1.46	1.77	9.14
Novembre	116.21	1.52	1.52	7.91
Dicembre	128.07	1.66	1.66	8.07

Tab. 8 - Tabella riassuntiva dei dati sulle inversioni di temperatura relativi alle ore 12:00.

12:00 UTC				
Mese	ΔH (m)	ΔT (K)	γ (K/m)	% inv.
Gennaio	106.36	0.57	1.07	7.79
Febbraio	82.73	1.07	2.15	7.14
Marzo	84.48	0.66	1.14	11.26
Aprile	69.87	0.48	1.08	6.49
Maggio	68.61	0.63	1.08	6.71
Giugno	73.38	0.55	1.03	6.93
Luglio	60.59	1.12	3.20	9.96
Agosto	63.96	0.79	1.92	11.69
Settembre	75.00	0.51	0.88	8.01
Ottobre	68.02	0.72	1.48	11.04
Novembre	68.88	0.70	1.63	6.93
Dicembre	87.11	0.86	3.87	6.06

In generale le inversioni di temperatura sono un fenomeno prevalentemente notturno, associato cioè ai fenomeni di raffreddamento degli strati bassi dell'atmosfera in contatto col suolo; dall'osservazione dei dati ottenuti si osserva infatti che lo spessore dello strato di inversione è leggermente più alto nel periodo notturno che in quello diurno.

Per tale motivo solitamente le inversioni notturne sono le più rilevanti ai fini dell'accumulo degli inquinanti negli strati bassi dell'atmosfera, pur estinguendosi col procedere del giorno.

I dati ottenuti per il periodo diurno e per il periodo notturno risultano essere però molto bassi, mantenendosi mediamente intorno ai 100 m; questo valore molto ridotto indica che le inversioni al suolo possono generare degli strati compatti nei quali gli inquinanti si accumulano in concentrazioni pericolose.

Le inversioni termiche possono presentarsi oltre che al suolo, anche in quota; in particolare si possono formare strati di aria calda che bloccano in quota la dispersione verticale degli inquinanti.

Per tale motivo è stato studiato l'andamento della temperatura alla quota di 850 hPa (corrispondenti a circa 1500 m dal suolo), come riportato nelle Figure 2 e 3 assieme alle relative deviazioni *standard*.

Dall'osservazione dei grafici riportati, risulta che gli andamenti delle temperature ad 850 hPa alle due diverse ore del giorno, risultano analoghi, con valori molto vicini tra di loro; ciò è dovuto al fatto che la temperatura in quota non risente dell'alternanza giorno-notte essendo gli strati alti dell'atmosfera troppo lontani dal suolo e dunque non influenzati dagli effetti di irraggiamento.

I valori assunti dalla temperatura a questa quota non risultano particolarmente alti, indicando una scarsa ricorrenza delle inversioni in quota per l'area presa in esame. Le grandezze finora presentate sono solitamente misurate dalle centraline meteorologiche classiche come quelle prime elencate; esistono però altre variabili meteorologiche usate per lo studio delle caratteristiche atmosferiche rispetto alla dispersione: l'altezza di mescolamento ed il coefficiente di ventilazione.

L' *altezza di mescolamento* è definita come lo spessore sopra il livello del suolo nel quale sono efficaci i moti di turbolenza atmosferica; in conseguenza di ciò l'altezza di mescolamento individua l'altezza entro la quale le masse emesse vengono disperse. Questo implica che maggiore è l'altezza dello strato di mescolamento e maggiore sarà l'efficacia della dispersione.

I fattori che influenzano l'estensione dell'altezza di mescolamento sono principalmente due: intensità della velocità del vento e intensità dei moti convettivi, ciascuno dei quali può essere il fattore dominante a seconda delle particolari condizioni.

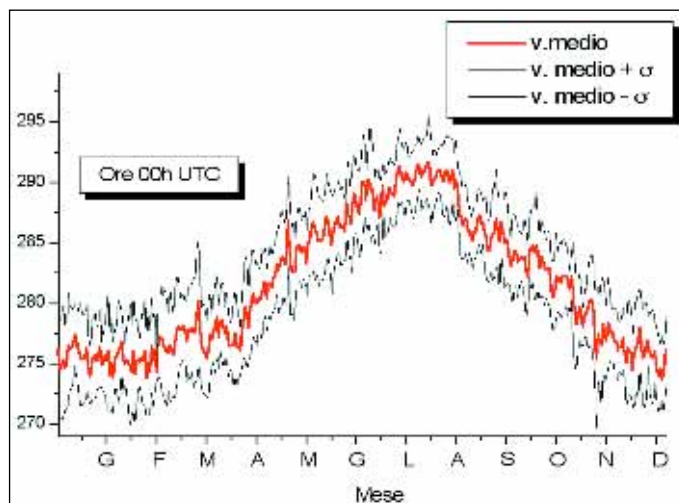


Fig. 2 - Andamento della temperatura a 850 hPa alle ore 00:00.

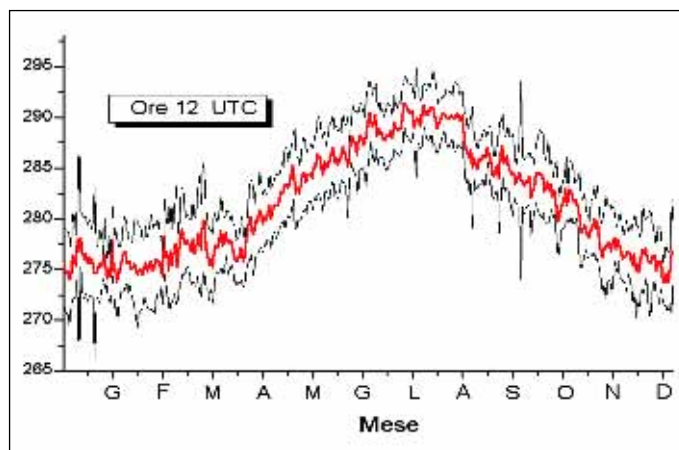


Fig. 3 - Andamento della temperatura a 850 hPa alle ore 12:00.

L'approccio qui usato per la stima dell'estensione dell'altezza dello strato di mescolamento e quello di Benkley e Schulman [6] secondo i quali in periodi notturni è dominante l'effetto di turbolenza meccanicamente indotta e dunque l'effetto dell'intensità del vento, mentre in periodi diurni risultano dominanti gli effetti dovuti alla convezione e dunque associati al gradiente verticale di temperatura.

In relazione a ciò l'equazione utilizzata per la stima dell'altezza di mescolamento notturna è:

$$H = 125u$$

dove u è la velocità; tale relazione viene ottenuta approssimando l'espressione:

$$H = 0.185 \frac{u^*}{f}$$

dove u^* è la velocità di frizione ed f è il fattore di Coriolis.

Quando invece sono dominanti i fenomeni di convezione, secondo l'approccio di Kassomenos e Kallos [5], l'altezza dello strato di mescolamento viene definita come l'altezza entro cui si raggiunge l'equilibrio tra il moto di una particella che si muove secondo il profilo reale di temperatura ed il moto della stessa particella che però si muove secondo un profilo adiabatico con temperatura al suolo uguale a quella di superficie registrata per quel giorno; per tale motivo essa viene calcolata numericamente come l'intersezione tra le curve rappresentanti i due diversi profili.

Poiché le emissioni si sviluppano in misura maggiore durante il periodo diurno, ai fini del lavoro qui presentato sono stati riportati i soli valori dell'altezza di mescolamento diurna riportati in Tabella 9.

Tab. 9 - Valori medi mensili dell'altezza di mescolamento e del coefficiente di ventilazione.

Mese	Altezza di mescolamento (m)	Coefficiente di ventilazione (m ² /s)
Gennaio	687	4343
Febbraio	643	3487
Marzo	789	4626
Aprile	649	4087
Maggio	474	2357
Giugno	502	2464
Luglio	506	2499
Agosto	567	2623
Settembre	941	5600
Ottobre	640	3385
Novembre	647	4826
Dicembre	700	4829

L'ultima variabile considerata è il *coefficiente di ventilazione*, parametro che misura l'intensità della turbolenza atmosferica indipendentemente dalle cause che l'abbiano determinata (sia turbolenza meccanica che moti convettivi).

Il coefficiente di ventilazione è, infatti, definito come il prodotto tra l'intensità della velocità del vento e il valore dell'altezza di mescolamento. Un suo valore elevato indica che i moti turbolenti sono intensi, dunque c'è una buona dispersione degli inquinanti, e può essere dovuto sia ad intensa convezione che ad un alto valore della velocità del vento.

I valori calcolati per il coefficiente di ventilazione sono riportati nella Tabella 9 come medie mensili.

Il valore giornaliero dell'altezza di mescolamento si mantiene nell'intervallo di valori che va da 100 fino a 2500 m dal suolo; sono valori tipici, registrati in molte altre regioni geografiche.

È importante notare che il valore climatologico medio dovrebbe essere maggiore nei periodi di transizione e nel periodo estivo rispetto al periodo invernale, in asso-

ciazione al fatto che la quantità di calore irradiato dalla superficie è maggiore in questi periodi (più secchi) rispetto al periodo invernale (più umido), durante il quale il calore di superficie è trasformato in calore latente, più che in calore sensibile, dalla superficie più umida e coperta di vegetazione. Sulla nostra Regione i valori delle altezze di mescolamento per il periodo invernale e per quello estivo sono invece paragonabili.

Per quanto concerne il coefficiente di ventilazione, per la nostra Regione il valore climatologico medio non è particolarmente alto; esso si mantiene infatti molto al di sotto di 6000 m²/sec, valore comunque considerato come indice di buone proprietà dispersive.

3. Confronto con i giorni di massimo inquinamento.

Per l'individuazione degli episodi di inquinamento è stata utilizzata, considerando i dati relativi agli ultimi sette anni, la rete di rilevamento della qualità dell'aria della Regione Campania, costituita dalle venti centraline (Tabella 2).

I giorni di maggiore inquinamento sono stati selezionati analizzando gli andamenti delle concentrazioni degli NO_x, del CO e dell'O₃; i primi due sono inquinanti tipici dell'inquinamento urbano invernale mentre l'O₃ è un inquinante tipico delle condizioni estive, essendo un inquinante secondario generato da reazioni fotochimiche e dunque abbondante in condizioni di forte insolazione. In base a questo criterio sono stati individuati 38 giorni di inquinamento acuto, per i quali sono stati calcolati i valori delle variabili meteorologiche qui usate come indici, al fine di confrontarli con gli andamenti tipici prima calcolati.

Nelle Figure 4 e 5 sono riportati gli andamenti della temperatura a 850 hPa alle 00:00 e alle 12:00.

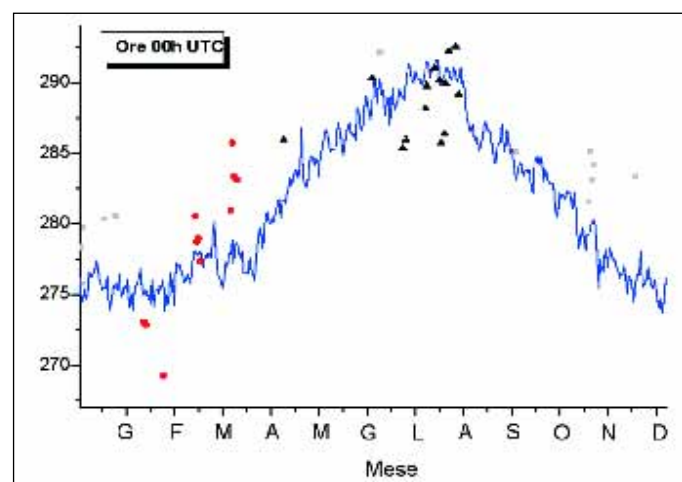


Fig. 4 - Andamento della temperatura a 850 hPa alle ore 00 UTC in blu e valori individuati nei giorni di massimo inquinamento per: CO (● rosso), NO₂ (■ grigio) e O₃ (▲ nero).

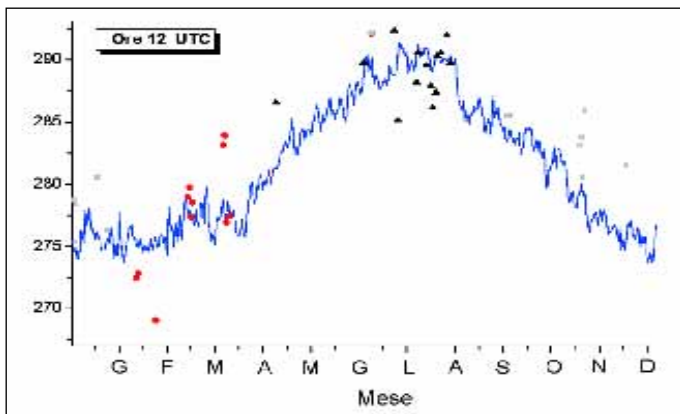


Fig. 5 - Andamento della temperatura a 850 hPa alle ore 12:00 UTC in blu e valori individuati nei giorni di massimo inquinamento per: CO (● rosso), NO₂ (■ grigio) e O₃ (▲ nero).

Si può notare che i valori relativi ai giorni di massimo inquinamento sono più alti rispetto al valore climatologico; in particolare ciò è vero nel caso degli episodi di inquinamento "invernale", associati cioè ad alti valori delle concentrazioni di CO ed NO_x, casi in cui il valore di tale parametro è anche molto più alto del valore climatologico per quel periodo.

È da notare che nei periodi di inquinamento "estivo" il valore della temperatura a 850hPa è in alcuni casi inferiore al valore climatologico; per questi casi possiamo supporre che gli episodi di inquinamento siano stati indotti da altri meccanismi, ad esempio da una maggiore produzione fotochimica, piuttosto che da un'inversione al suolo o in quota.

Nelle Figure 6 e 7 sono riportati gli andamenti dell'altezza di mescolamento e del coefficiente di ventilazione assieme ai valori valutati per i giorni di massimo inquinamento. I valori dell'altezza di mescolamento si mantengono intorno ai valori medi calcolati, come pure per il coefficiente di ventilazione, indicando che lo spessore dello strato in cui sono efficaci i moti turbolenti risulta ridotto, determinando quindi accumulo degli inquinanti negli strati bassi dell'atmosfera.

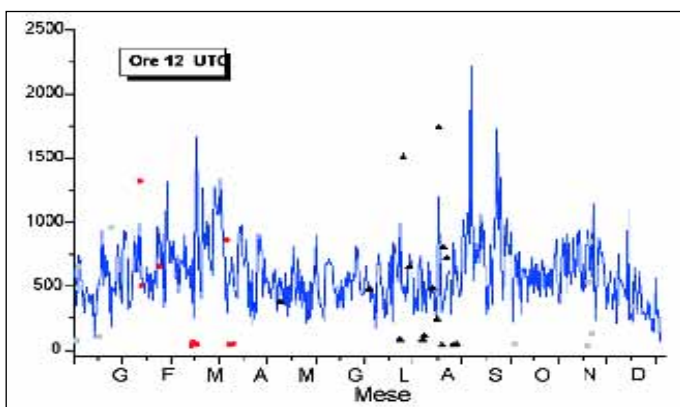


Fig. 6 - Andamento dell'altezza di mescolamento alle ore 12 UTC e valori individuati nei giorni di massimo inquinamento per: CO (● rosso), NO₂ (■ grigio) e O₃ (▲ nero).

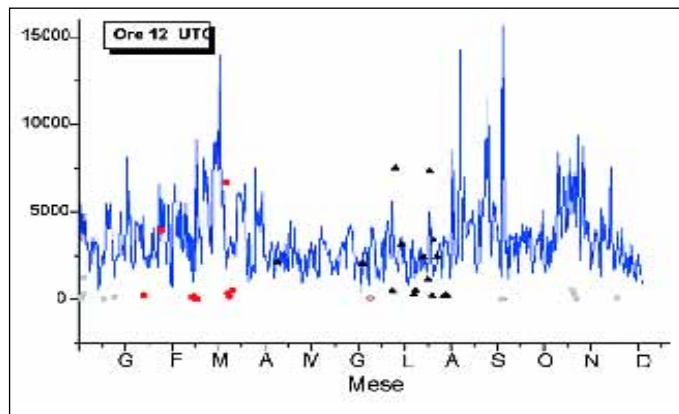


Fig. 7 - Andamento del coefficiente di ventilazione alle ore 12 UTC e valori individuati nei giorni di massimo inquinamento per: CO (● rosso), NO₂ (■ grigio) e O₃ (▲ nero).

4. Conclusioni

L'analisi degli andamenti degli indici meteorologici scelti mostra che la nostra atmosfera, in condizioni di forte inquinamento, non sembra avere proprietà dispersive eccellenti. Al contrario, le condizioni medie sembrano favorire poco la dispersione degli inquinanti, come risulta evidente dai bassi valori ottenuti per l'altezza di mescolamento e il coefficiente di ventilazione.

È stato inoltre possibile osservare che nelle situazioni di peggioramento delle condizioni di inquinamento i valori di tali variabili risultavano addirittura inferiori ai valori medi, mostrando quindi una significativa correlazione tra gli aspetti meteorologici e quelli di qualità dell'aria.

Note

1. 1 nodo = miglio marino/h = 0.5144 m/s

Bibliografia

- 1) Anfossi D., Bossa F., Richiardone R., (1979). La dispersione di inquinanti in atmosfera a scala locale. *Le Scienze*, **5**: 48-56.
- 2) Rodriguez S., Querol X., Alastuey A., Kallos G., Kakaliagou O., (2000). Saharan dust contributions to PM10 and TSP levels in Southern and Eastern Spain. *Atmos. Env.*, **35**: 2433-2447.
- 3) Palacios M., Kirchner F., Martilli A., Clappier A., Martin F., Rodriguez M.E., (2002). Summer ozone episodes in the Greater Madrid area. Analyzing the ozone response to abatement strategies by modelling. *Atmos. Env.*, **36**: 5323-5333.
- 4) Lalas D.P., Veirs V.R., Karras G., Kallos G., (1982). An analysis of the SO₂ concentration levels in Athens, Greece. *Atmos. Env.*, **16**: 531-544.
- 5) Kassomenos P., Kotroni V., Kallos G., (1995). Analysis of climatological and air quality observations from greater Athens area. *Atmos. Env.*, **24**: 3671-3688.
- 6) Benkley, C., W. Schulman, L., (1979). Estimating hourly mixing depths from historical meteorological data. *Journal of Applied Meteorology*, **1**: 772-780.