



PROVINCIA AUTONOMA DI TRENTO

**AGENZIA PROVINCIALE PER LA
PROTEZIONE DELL'AMBIENTE**

U.O. Tutela dell'aria ed agenti fisici



**PIANO PROVINCIALE DI TUTELA
DELLA QUALITÀ DELL'ARIA**

ALLEGATO C

LE CONDIZIONI TERRITORIALI E METEOCLIMATICHE LOCALI

Con la collaborazione di



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TRENTO
Dipartimento di Ingegneria Civile
e Ambientale

ALLEGATO C

LE CONDIZIONI TERRITORIALI E METEOROLOGICHE LOCALI

Indice

Indice	2
C.1 Descrizione generale delle caratteristiche del territorio provinciale	3
C.1.1 Orografia.....	3
C.1.2 Clima	6
C.1.3 Popolazione	7
C.1.4 Agricoltura e foreste	9
C.1.5 Industria e artigianato	12
C.1.6 Turismo	13
C.2 Analisi statistica dei dati provenienti dalla rete di rilevamento provinciale meteorologica con riferimento alle stazioni significative da individuarsi sulla base della loro distribuzione sul territorio.....	15
C.2.1 Analisi dei dati meteorologici	18
C.2.2 Stazioni di misura della rete di primo livello utilizzate.....	21
C.3 Individuazione e caratterizzazione delle condizioni meteorologiche tipiche e/o frequenti sfavorevoli alla dispersione degli inquinanti.	25
C.3.1 Condizioni meteorologiche sfavorevoli alla dispersione degli inquinanti	26
C.4 Individuazione e caratterizzazione delle condizioni meteorologiche tipiche e/o frequenti favorevoli alla formazione di inquinanti secondari.....	34

C.1 Descrizione generale delle caratteristiche del territorio provinciale

C.1.1 Orografia

Il Trentino si colloca sul versante sud della parte nord-orientale dell'arco alpino italiano e confina a nord con la Provincia di Bolzano, a ovest con la Regione Lombardia, in particolare con le province di Sondrio e Brescia e a sud-est con la Regione Veneto, in particolare con le province di Verona, Belluno e Vicenza.

PROVINCIA AUTONOMA DI TRENTO



Fig. 1: Rappresentazione del territorio provinciale (tratto dal sito della Camera di Commercio: www.tn.camcom.it).

La Provincia Autonoma di Trento è caratterizzata da una superficie di 6.206,88 km², che corrisponde a circa il 2,1% del territorio nazionale (www.statistica.provincia.tn.it) ed è prevalentemente montuosa, con una superficie boschiva che ne occupa oltre il 50%.

Un'alta percentuale della superficie provinciale si trova al di sopra dei 2.000 m di altitudine, per questo vi è un'elevata superficie non utilizzabile/non utilizzata per fini agricoli. Circa il 70% dell'area provinciale si trova ad altitudini superiori ai 1.000 m e in particolare il 27,58% della superficie si trova tra i 1.000 e i 1.500 m.

Sotto il profilo orografico il Trentino si trova, con le province di Belluno e Bolzano, nel cuore del sistema dolomitico, originato da insediamenti corallini sui fondali marini risalenti a circa 10 milioni di anni fa. Nella parte occidentale del Trentino si trova il gruppo del Brenta, mentre in quella orientale vi sono i massicci del Latemar, del Catinaccio e della Marmolada. Di natura e origini diverse invece sono i gruppi dell'Ortles-Cevedale, della Presanella e del Lagorai.

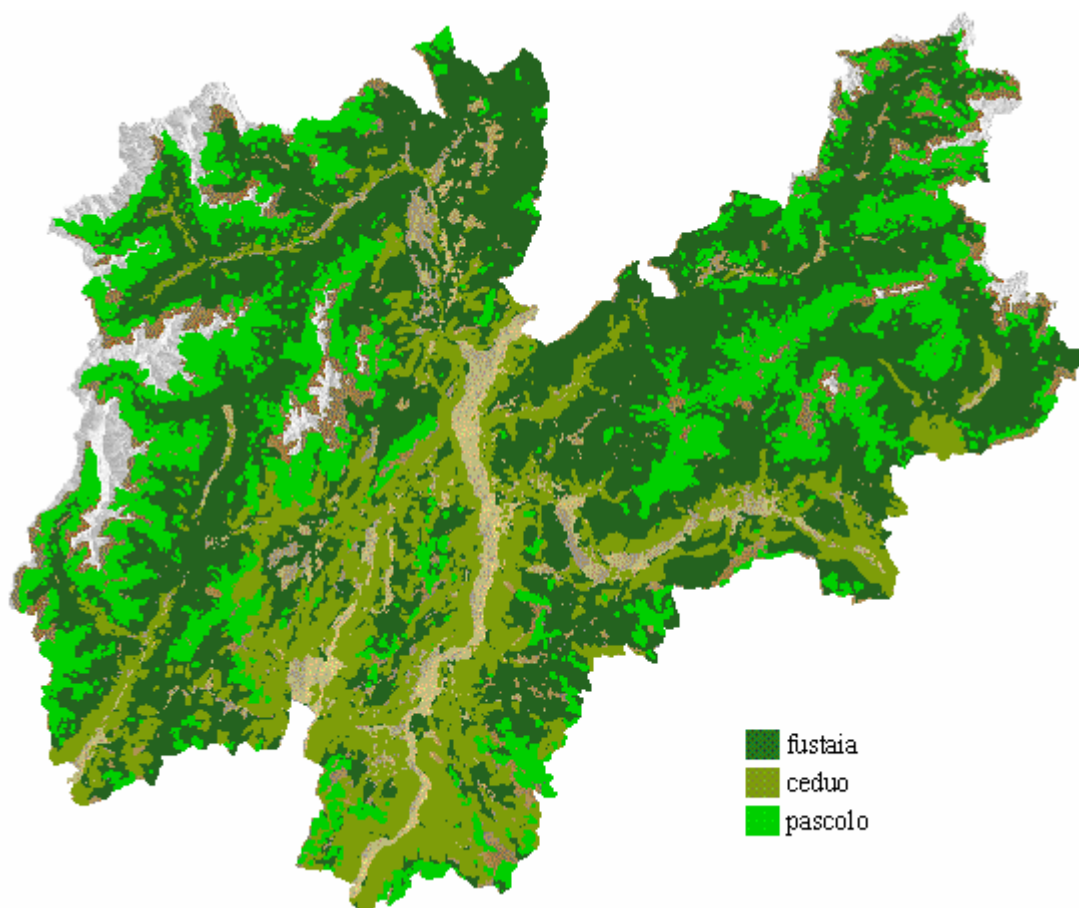


Fig. 2: Mappa della copertura forestale del Trentino
(P.A.T. Sistema Informativo Ambiente e Territorio <http://mapserver.ing.unitn.it/webgis>)

L'orografia è varia e movimentata: dai massicci metamorfici del piano basale, si passa ai gruppi delle rocce cristalline intrusive della zona occidentale, ai complessi effusivi del plateau porfirico del settore nord-orientale, al complesso delle rocce sedimentarie organogene delle cime dolomitiche e, infine, ai tavolati calcarei della parte meridionale. Inoltre i depositi morenici e alluvionali, derivati dalla escavazione glaciale e dall'erosione alluvionale nella successione dei cicli climatici, concorrono a modellare la variabilità morfologica del territorio.

L'imponente insieme dei vari gruppi montuosi è diviso da numerosi solchi vallivi, la cui trama è determinante per la rete dei collegamenti e per la distribuzione degli insediamenti.

La valle dell'Adige attraversa il territorio provinciale in posizione centrale, lungo la direttrice nord-sud, è percorsa da arterie di comunicazione autostradale e ferroviaria di valenza internazionale ed ospita i centri urbani più importanti: Trento e Rovereto.

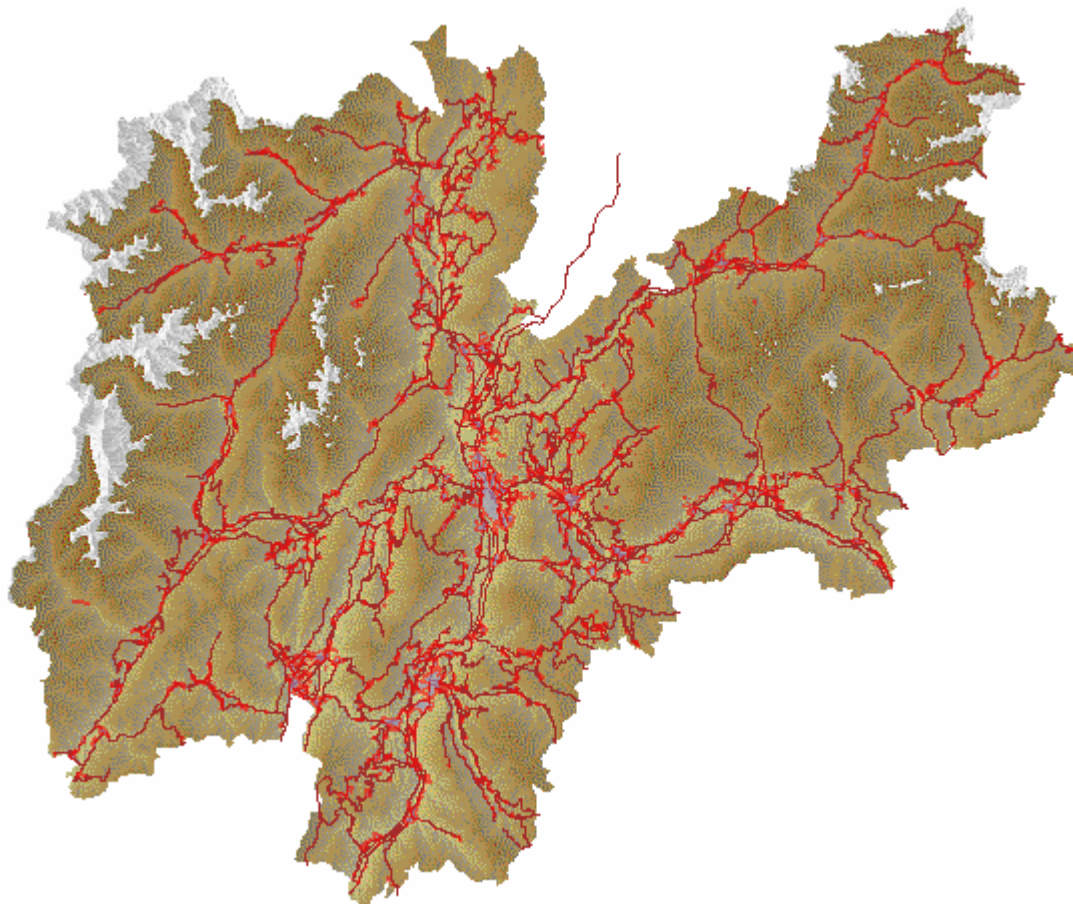


Fig. 3: Mappa degli insediamenti e delle principali linee stradali del Trentino
(P.A.T. Sistema Informativo Ambiente e Territorio <http://mapserver.ing.unitn.it/webgis>)

L'idrografia del Trentino è costituita da un complesso reticolo, che si modifica con il clima, l'altimetria e la natura geologica.

Secondo l'*Annuario Statistico 2004*, pubblicato nel febbraio 2006 dal Servizio Statistica della Provincia Autonoma di Trento, il 16,5% del territorio trentino, corrispondente a 102.653 ettari, è soggetto a tutela ambientale. Tra le tipologie di area protetta vi sono i parchi (16,1%), le riserve naturali (0,2%) e i biotopi (0,3%), che rappresentano la forma di protezione più recente.

Questi ultimi sono aree protette di piccole dimensioni, che tutelano ambienti particolari, un tempo molto diffusi ma divenuti oggi assai rari a causa delle alterazioni causate dalle varie attività dell'uomo. L'individuazione ufficiale dei biotopi risale al 1987, quando, in occasione della revisione ventennale del Piano Urbanistico Provinciale, ne vennero individuati cartograficamente 287, di cui 68 di interesse provinciale.

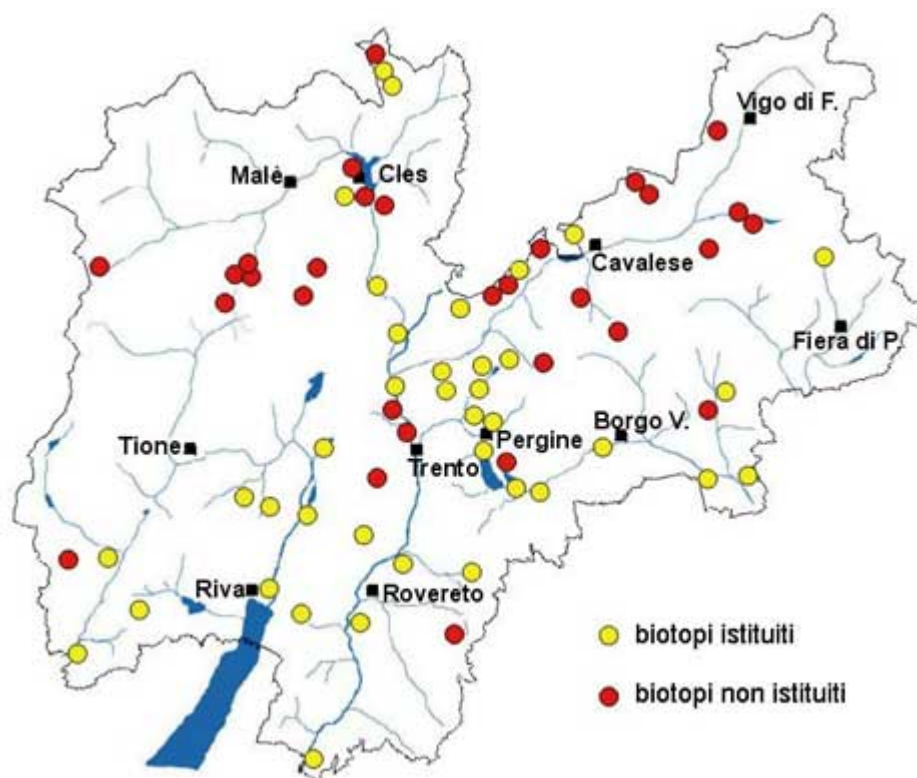


Fig. 4: Mappa dei biotipi provinciali (tratta dal sito: www.areeprotette.provincia.tn.it)

C.1.2 Clima

Il clima è prevalentemente di tipo continentale ma, a causa di un'orografia con profili altimetrici molto variabili, si rilevano all'interno della provincia forti differenziazioni climatiche.

In particolare le influenze submediterranee mitigano leggermente le temperature invernali attraverso il grande solco vallivo dell'Adige e quello pressoché parallelo del Sarca, che si getta nel lago di Garda. Questo fenomeno è invece trascurabile nelle valli trasversali, che presentano un andamento est-ovest.

Si alternano, in ogni caso, estati calde (luglio è il mese più caldo) e piuttosto umide, a inverni freddi (gennaio è il mese più freddo), con relativamente scarse precipitazioni; il minimo stagionale delle precipitazioni si verifica infatti in inverno, mentre le altre stagioni sono abbastanza piovose.

Le precipitazioni inoltre decrescono generalmente andando verso nord, poiché i venti umidi provenienti dalla Val Padana si scaricano progressivamente risalendo le valli del Brenta, dell'Adige e del Sarca. L'innevamento nella valle principale è modesto, ma sugli altipiani e nelle valli trasversali può essere notevole e permanere a lungo.

C.1.3 Popolazione

Secondo l'*Annuario Statistico 2004*, la popolazione residente in Trentino risulta essere pari a 497.546 abitanti e rappresenta quindi lo 0,85% della popolazione italiana.

Ne risulta una densità abitativa di 80,16 abitanti per km², minore rispetto al valore caratteristico del territorio nazionale, che è pari a 194: la Provincia di Trento risulta essere infatti tra le aree europee con la minor densità di abitanti.

La popolazione trentina inoltre, che è distribuita in modo non uniforme nel territorio provinciale, è aumentata del 4,3% rispetto al precedente Censimento del 2001, per un totale di 20.529 unità.

La maggior parte della popolazione risiede in località di altitudine inferiore ai 500 metri, lungo l'asta dell'Adige e nelle zone di fondovalle, mentre il numero dei comuni sotto questa quota rappresenta appena il 23% del totale.

Il territorio provinciale è organizzato in 223 comuni e 11 comprensori che verranno di seguito elencati:

Comprensori	Abitanti Anno 2001	Abitanti Anno 2004	Variazione in unità
C. 1 Valle di Fiemme	18.398	18.990	592
C. 2 Primiero	9.795	9.959	164
C. 3 Bassa Valsugana e Tesino	25.583	26.167	584
C. 4 Alta Valsugana	45.653	48.342	2.689
C. 5 Valle dell'Adige	158.739	166.394	7.655
C. 6 Valle di Non	36.510	37.832	1.322
C. 7 Valle di Sole	14.987	15.235	248
C. 8 Giudicarie	35.442	36.282	840
C. 9 Alto Garda e Ledro	42.233	44.288	2.055
C. 10 Vallagarina	80.552	84.781	4.229
C. 11 Ladino di Fassa	9.125	9.276	151
PROVINCIA	477.017	497.546	20.529

Tab. 1: Popolazione residente censita nel 2001 e nel 2004
(Annuario Statistico 2004)

1. Comprensorio C1 della Valle di Fiemme

Capriana, Carano, Castello-Molina di Fiemme, Cavalese, Daiano, Panchià, Predazzo, Tesero, Valfloriana, Varena, Ziano di Fiemme;

2. Comprensorio C2 di Primiero

Canal San Bovo, Fiera di Primiero, Imer, Mezzano, Sagron Mis, Siror, Tonadico, Transacqua;

3. Comprensorio C3 della Bassa Valsugana e del Tesino

Bieno, Borgo Valsugana, Carzano, Castello Tesino, Castelnuovo, Cinte Tesino, Grigno, Ivano-Fracena, Novaledo, Ospedaletto, Pieve Tesino, Roncegno, Ronchi Valsugana, Samone, Scurelle, Spera, Strigno, Telve, Telve di Sopra, Torcegno, Villa Agendo;

4. Comprensorio C4 dell'Alta Valsugana

Baselga di Pinè, Bedollo, Bosentino, Calceranica al Lago, Caldonazzo, Centa San Nicolò, Civezzano, Fierozzo, Fornace, Frassilongo, Lavarone, Levico Terme, Lucerna, Palù del Fersina, Pergine Valsugana, Sant'Orsola Terme, Tenna, Vattaro, Vignola-Falesina, Vigolo Vattaro;

5. Comprensorio C5 della Valle dell'Adige

Albiano, Aldeno, Andalo, Calavano, Cavedago, Cavedine, Cembra, Cimone, Faedo, Fai della Paganella, Faver, Gamiga Terme, Giovo, Grauno, Grumes, Lasino, Lavis, Lisignago, Lona-Lases, Mezzocorona, Mezzolombardo, Molveno, Nave San Rocco, Padergnone, Roveré della Luna, San Michele all'Adige, Segonzano, Sover, Spormaggiore, Terlago, Trento, Valda, Vezzano, Zambiana;

6. Comprensorio C6 della Valle di Non

Amblar, Bresimo, Brez, Cagnò, Campodenno, Castelfondo, Cavareno, Cis, Cles, Cloz, Coredo, Cuneo, Dambel, Denno, Don, Flavon, Fondo, Livo, Malosco, Nanno, Revò, Romallo, Romeno, Ronzone, Ruffrè, Rumo, Sanzeno, Sardonico, Sfruz, Smarano, Sporminore, Taio, Tassullo, Terres, Ton, Tres, Tuenno, Vervò;

7. Comprensorio C7 della Valle di Sole

Caldes, Cavizzana, Commezzadura, Croviana, Dimaro, Malè, Mezzana, Monclassico, Ossana, Peio, Pellizzano, Rabbi, Terzolas, Vermiglio;

8. Comprensorio C8 delle Giudicarie

Bersone, Bleggio Inferiore, Bleggio Superiore, Bocenago, Bolbeno, Bondo, Bondone, Breguzzo, Brione, Caderzone, Carisolo, Castel Condino, Cimego, Condino, Daone, Darè, Dorsino, Fiavè, Giustino, Lardaro, Lomaso, Massimeno, Montagne, Pelago, Pieve di Bono, Pinzolo, Praso, Preore, Prezzo, Ragoli, Roncone, San Lorenzo in Banale, Spiazzo, Stenico, Storo, Strembo, Tione di Trento, Vigo Rendena, Villa Rendena, Zuclò;

9. Comprensorio C9 dell'Alto Garda e Ledro

Arco, Bezzecca, Concei, Drena, Dro, Molina di Ledro, Nago-Torbole, Pieve di Ledro, Riva del Garda, Tenno, Tiano di Sopra, Tiano di Sotto;

10. Comprensorio C10 della Vallagarina

Ala, Avio, Besenello, Brentonico, Calliano, Folgaria, Isera, Mori, Nogaredo, Nomi, Pomarolo, Ronzo-Chienis, Rovereto, Terragnolo, Trambileno, Vallarsa, Villa Lagarina, Volano;

11. Comprensorio C11 della Valle di Fassa

Campitello di Fassa, Canazei, Mazzin, Moena, Pozza di Fassa, Soraga, Vigo di Fassa.

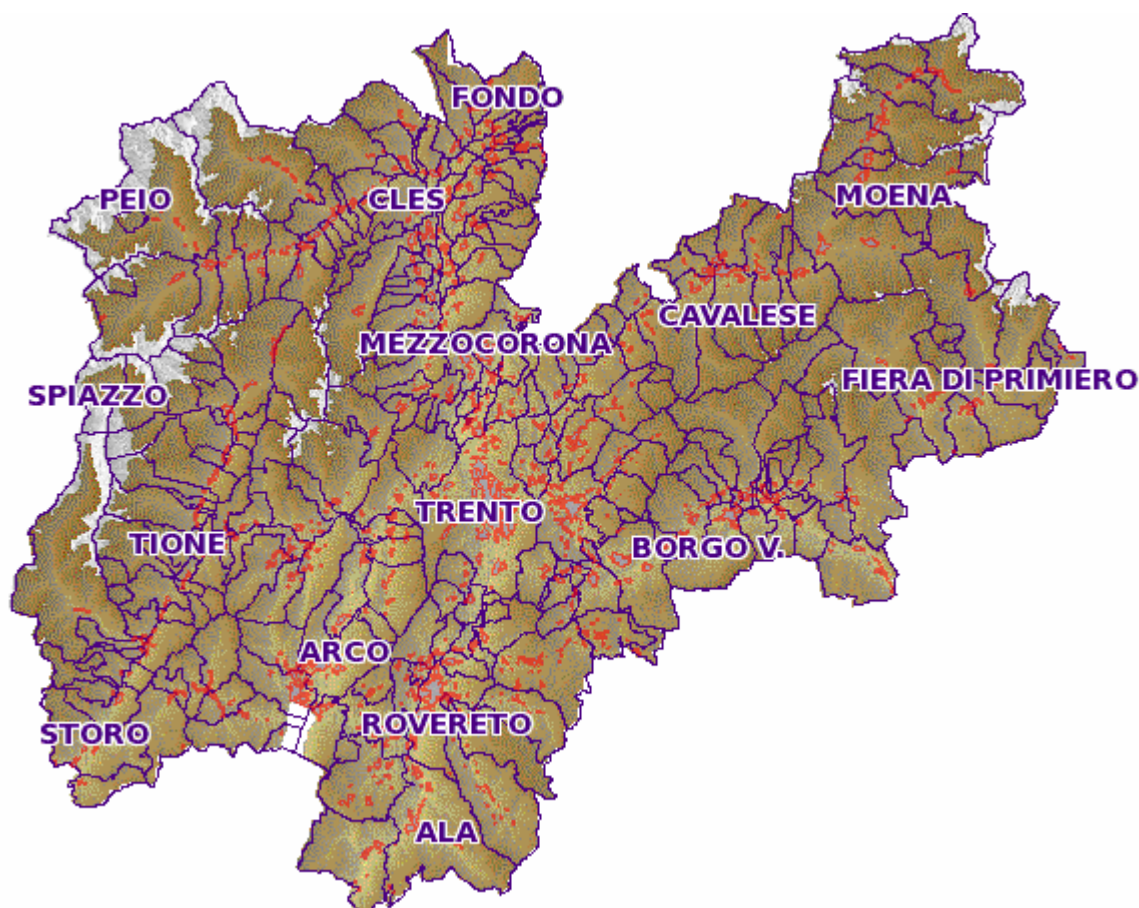


Fig. 5: Mappa dei comuni del Trentino
(P.A.T. Sistema Informativo Ambiente e Territorio <http://mapserver.ing.unitn.it/webgis>)

C.1.4 Agricoltura e foreste

I dati di utilizzazione del suolo riportati nell'*Annuario Statistico 2004*, riferiti all'anno 2000, mostrano che oltre il 70% della superficie provinciale è adibito ad uso agricolo e forestale. Le zone di rocce e di litosuoli improduttivi che caratterizzano le cime sono infatti seguiti, in basso, dalle fasce delle conifere e dei prati d'alta montagna, fino ad arrivare alle alluvioni di fondovalle, coltivate prevalentemente a frutteto e a vigneto.

Descrizione	Superficie [ha]	%
Superficie delle aziende censite	467.503,73	76,10
Terreni agrari e forestali non costituenti aziende	48.596,05	7,90
Terreni abbandonati	46.305,98	7,50
Orti familiari (esclusi quelli considerati parte integrante di un'azienda agricola)	1.071,36	0,20
Parchi e giardini ornamentali	953,51	0,20
Altri (biotopi)	265,20	0,00
Superficie improduttiva	98.414,75	16,00
Acque	9.999,50	1,60
Fabbricati	9.807,91	1,60
Infrastrutture di urbanizzazione (strade, ferrovie, ecc.)	7.678,37	1,30
Terreni sterili per natura (nude rocce, ghiacciai, ecc.)	68.936,18	11,20
Terreni improduttivi dal punto di vista agrario (saline, torbiere, cave, ecc.)	1.992,79	0,30
Superficie provinciale	614.514,53	100,00

Tab. 2: Suddivisione della superficie provinciale relativa all'anno 2000
(Annuario Statistico 2004)

Le aree coperte da boschi rappresentano circa il 66% delle aree agricole e il 50% del territorio provinciale, costituendo una componente fondamentale del quadro territoriale e ambientale trentino. Il bosco svolge infatti un ruolo molto importante non solo dal punto di vista paesaggistico, ma anche dal punto di vista economico, sia per la materia prima che fornisce, sia indirettamente per la qualificazione dei luoghi dal punto di vista turistico.

Nelle aree di fondovalle è presente una agricoltura altamente specializzata nella viticoltura e nella frutticoltura, mentre l'attività zootecnica è insediata nelle valli laterali e interessa i prati e i pascoli.

Dall'analisi della Tab. 5, in cui è riportata la consistenza del bestiame per tipologia e per i diversi anni, si può osservare un aumento dell'11% circa dei capi tra gli anni 2000 e 2004. In particolare vi è una consistente crescita del numero di equini (50%) e ovini (29%), mentre si registra una diminuzione del 7% circa per caprini e suini.

Comprensorio	Seminativi [ha]	Coltivazioni legnose agrarie [ha]	Pascoli [ha]	Prati permanenti [ha]
della Valle di Fiemme	18,68	2,56	7.766,25	2.180,18
di Primiero	6,95	1,12	5.251,04	1.435,33
della Bassa Valsugana e del Tesino	557,36	476,96	11.435,46	3.809,39
Alta Valsugana	700,85	1.492,77	3.623,04	2.820,47
della Valle dell'Adige	668,42	7.492,55	5.335,04	2.536,28
della Valle di Non	73,55	6.877,68	7.302,72	3.100,03
della Valle di Sole	17,61	360,81	11.678,97	1.712,73
delle Giudicarie	1.159,60	265,86	23.661,32	5.223,67
Alto Garda e Ledro	253,00	1.804,06	2.346,31	1.975,06
della Vallagarina	668,26	3.970,68	7.497,26	3.244,49
Ladino di Fassa	0,85	-	4.872,53	1.311,46
Provincia	4.125,13	22.745,05	90.769,94	29.349,09
% superficie	0,88	4,84	19,33	6,25

Tab. 3: Utilizzazione dei terreni per comprensorio (censimenti 2000)
(Annuario Statistico 2004)

Comprensorio	Boschi [ha]	Superficie agraria non utilizzata [ha]	Altro [ha]	Totale [ha]
della Valle di Fiemme	24.792,80	1.904,38	292,46	36.957,31
di Primiero	15.640,79	718,26	52,98	23.106,47
della Bassa Valsugana e del Tesino	32.011,47	942,65	145,61	49.378,90
Alta Valsugana	21.400,81	784,65	273,36	31.095,95
della Valle dell'Adige	40.638,43	2.159,66	503,01	59.333,39
della Valle di Non	32.906,48	640,19	348,04	51.248,69
della Valle di Sole	24.447,75	376,28	97,36	38.691,51
delle Giudicarie	49.955,26	976,37	515,57	81.757,65
Alto Garda e Ledro	22.239,65	393,78	247,38	29.259,24
della Vallagarina	33.642,43	2.084,53	216,36	51.324,01
Ladino di Fassa	11.072,99	139,16	107,49	17.504,48
Provincia	308.748,86	11.119,91	2.799,62	469.657,60
% superficie	65,74	2,37	0,60	100,00

Tab. 4: Utilizzazione dei terreni per comprensorio (censimenti 2000)
(Annuario Statistico 2004)

Anni	Bovini	Di cui da latte	Ovini	Caprini	Equini	Suini	Totale
2000	46.500	24.500	20.000	8.300	2.000	6.700	83.500
2001	46.500	24.500	20.000	9.000	2.000	6.700	84.200
2002	46.000	24.500	25.000	7.000	2.050	3.150	83.200
2003	50.164	27.519	23.969	7.418	2.812	3.220	87.583
2004	49.994	24.989	25.710	7.717	3.010	6.211	92.642

Tab. 5: Consistenza del bestiame (Annuario Statistico 2004)

C.1.5 Industria e artigianato

Nella Provincia Autonoma di Trento, che è caratterizzata da una realtà economica e territoriale molto varia e frammentata, il maggior numero di imprese attive riguarda il settore dell'agricoltura, caccia e silvicoltura che però dà impiego a solo il 5% circa degli occupati. I successivi rami economici con il maggiore numero di imprese sono il commercio (18,8%) e le costruzioni (14,3%), a cui corrispondono nell'insieme circa il 22% degli occupati. Una frazione importante degli occupati, inoltre, è relativa al settore industriale (28,6%).

Ramo di attività economica	Imprese attive	%
Agricoltura, caccia e silvicoltura	14.143	29,6
Pesca, piscicoltura e servizi connessi	37	0,1
Estrazione di minerali	84	0,2
Attività manifatturiere	4.814	10,1
Produzione e distribuzione di energia elettrica, gas e acqua	133	0,3
Costruzioni	6.833	14,3
Commercio all'ingrosso e al dettaglio, riparazione di beni personali e per la casa	8.987	18,8
Alberghi e ristoranti	3.983	8,3
Trasporti, magazzinaggio e comunicazioni	1.511	3,2
Intermediazione monetaria e finanziaria	810	1,7
Attività immobiliari, noleggio, informatica e ricerca	4.221	8,8
Istruzione	120	0,3
Sanità e altri servizi sociali	101	0,2
Altri servizi pubblici, sociali e personali	1.786	3,7
Servizi domestici presso famiglie e convivenze	-	-
Imprese non classificate	144	0,3
Totale	47.707	100,0

Tab. 6: Numero delle imprese attive per settore nel 2004 (Annuario Statistico 2004)

Rispetto ai risultati dell'8° Censimento Generale dell'Industria e dei Servizi dell'anno 2001, nel 2004 il Trentino possiede un numero maggiore di imprese attive e precisamente il 9,3% in più rispetto al precedente controllo.

Settore di attività economica	Occupati in complesso	Occupati alle dipendenze	%
Agricoltura	11.111	2.694	5,1
Industria	61.925	47.820	28,6
- in senso stretto	43.039	36.415	19,9
- costruzioni	18.886	11.405	8,7
Commercio	29.847	19.169	13,8
Altre attività	113.539	92.922	52,5
Totale	216.422	162.605	100,0

Tab. 7: Indagine sulle forze di lavoro: occupati per settore di attività economica e posizione nella professione (Annuario Statistico 2004)

C.1.6 Turismo

Dall'Annuario Statistico 2004, sono state tratte le informazioni riguardanti sia la struttura, e quindi la consistenza degli esercizi ricettivi, che il movimento ossia gli arrivi e le presenze di italiani e stranieri nella Provincia di Trento.

	Numero	Letti
ESERCIZI ALBERGHIERI	1.569	93.462
Esercizi complementari	1.015	62.999
affittacamere, C.A.V., B&B	360	11.210
campeggi	69	28.275
agritur e agricampeggi	150	1.677
altri esercizi	436	21.837

Tab. 8: Consistenza degli esercizi ricettivi nella Provincia di Trento (Annuario Statistico 2004)

Rispetto all'anno 2001 si è registrata una diminuzione degli esercizi alberghieri di circa l'1% mentre, al contrario, gli esercizi complementari sono aumentati del 2,8%.

Il 51% degli alberghi della Provincia risulta concentrato nei soli sedici comuni elencati in Tab. 10.

	Arrivi	Presenze	Permanenza media	
italiani	1.725.558	9.108.570	5,3	totale esercizi ricettivi
stranieri	1.022.197	4.740.185	4,6	
totali	2.747.755	13.848.755	5,0	
italiani	1.434.082	7.241.187	5,0	esercizi alberghieri
stranieri	776.718	3.353.278	4,3	
totali	2.210.800	10.594.465	4,8	
italiani	291.476	1.867.383	6,4	esercizi complementari
stranieri	245.479	1.386.907	5,6	
totali	536.955	3.254.290	6,1	

Tab. 9: Arrivi, presenze e permanenza media degli italiani e stranieri nella Provincia di Trento
(Annuario Statistico 2004)

Comuni	Numero	Letti
Canazei	86	4.518
Pinzolo	85	5.620
Riva del Garda	70	5.617
Andalo	59	4.406
Moena	55	3.301
Folgaria	52	3.211
Levico Terme	50	3.904
Nago-Torbole	48	2.873
Pozza di Fassa	43	2.396
Siror	43	3.115
Molveno	38	2.474
Vigo di Fassa	38	2.087
Campitello di Fassa	37	2.254
Dimaro	35	3.170
Trento	33	2.809
Cavalese	28	1.838

Tab. 10: Consistenza degli esercizi alberghieri per comune nel 2004
(Annuario Statistico 2004)

C.2 Analisi statistica dei dati provenienti dalla rete di rilevamento provinciale meteorologica con riferimento alle stazioni significative da individuarsi sulla base della loro distribuzione sul territorio.

Sono stati analizzati i dati meteorologici delle stazioni della rete di 1° livello della PAT per il quinquennio 2001-2005, con riferimento ai seguenti parametri meteorologici: velocità e direzione del vento, radiazione solare, pioggia, temperatura. È stata inoltre dedotta per le stazioni più rappresentative il valore della stabilità atmosferica come indicatore della capacità diluitiva dell'atmosfera. Sono stati prodotti grafici di analisi statistica per tutte le grandezze analizzate, unitamente alle rose dei venti e della stabilità.

Allo scopo di evidenziare le possibili criticità relative alla qualità dell'aria, si è effettuato un inquadramento climatologico del territorio della provincia di Trento. Si sono dunque analizzati i dati meteo-climatici raccolti dall'Istituto Agrario di S. Michele all'Adige riservando particolare attenzione alle grandezze meteorologiche prescritte dalla WMO (World Meteorological Organization) come parametri standard:

- velocità e direzione del vento;
- temperatura;
- pressione atmosferica;
- radiazione solare globale e netta;
- pioggia;
- umidità relativa.

È molto importante fornire una descrizione del clima della zona interessata all'analisi della qualità dell'aria: infatti ad esempio sia i venti che le precipitazioni sono parametri fondamentali nel determinare la dispersione e l'abbattimento degli inquinanti in atmosfera così come le temperature sono in grado di influenzare le reazioni chimiche che avvengono in atmosfera e che sono responsabili della formazione degli inquinanti secondari.

Vento

Esso è descritto mediante due sue caratteristiche fondamentali, la direzione, che indica il luogo di provenienza della massa d'aria e l'intensità, nella sua componente orizzontale. La misura dell'intensità del vento è data dalla misura della componente orizzontale del moto dell'aria, le cui variazioni risultano però molto irregolari ed interessano la velocità sia in intensità che in direzione. Lo strumento per la misurazione dell'intensità del vento è l'*anemometro* e l'unità di misura utilizzata è il *metro al secondo (m/s)*. Essendo la direzione del vento un parametro fortemente variabile, istante per istante, per avere la direzione prevalente è necessario eseguire la media di un elevato numero di valori istantanei. Lo strumento utilizzato per la sua misurazione è l'*anemoscopio*. L'unità di misura è il *grado*. Avere misure accurate di intensità e direzione del vento può risultare difficoltoso in ambiente urbano, in quanto gli ostacoli rappresentati dagli edifici creano alterazioni nel vento medio e

nella turbolenza, inducendo una marcata variabilità, sia spaziale che temporale. In ambiente rurale le misure di vento sono effettuate nelle stazioni della rete di 1° livello a 10 m dal suolo, ad una distanza orizzontale dagli ostacoli superiore ad almeno 10 volte l'altezza dell'ostacolo più alto. L'analisi dei dati di vento risulta importante proprio perché il vento influisce in modo molto rilevante sulle dinamiche degli inquinanti in atmosfera nonché sul trasporto del particolato all'esterno dei centri abitati. Questo parametro risulta fondamentale nel determinare la stabilità atmosferica che verrà descritta in seguito. È utile inoltre stabilire se esistono direzioni preferenziali per il vento dovute alla morfologia e all'orografia del terreno che possano determinare dispersione preferenziale in una data direzione.

Temperatura

Un'altra grandezza presa in esame è la temperatura dell'aria, che è molto significativa soprattutto per la sua influenza sulla cinetica delle reazioni chimiche che avvengono in atmosfera e che determinano la presenza di inquinanti secondari. Essa è direttamente influenzata dalla radiazione solare nonché da molti altri fattori, diretti e indiretti, sia di natura astronomica, sia di natura geografica, sia di natura fisica, come ad esempio la latitudine, l'altitudine, influenza dei monti etc.

La temperatura dell'aria viene misurata con il *termometro* e si misura in gradi Celsius (°C). La misura della temperatura dell'aria pone diversi problemi. Il posizionamento troppo vicino a superfici calde può falsare le misure, così come il mascheramento ad opera di edifici elevati.

Pressione atmosferica

La pressione atmosferica può variare in un certo punto dell'atmosfera per effetto di una variazione della massa d'aria contenuta nella colonna di sezione unitaria sovrastante quel punto. Essa mostra una variabilità spaziale molto minore rispetto a quella della temperatura, dell'umidità relativa e del campo di vento e fornisce dunque informazioni su scala più vasta. Per misurarla si utilizza il *barometro* e l'unità di misura adottata è l'*ettopascal* (*hPa*). Conoscere l'andamento di questo parametro può essere importante; infatti le variazioni temporali di pressione sono uno degli indici principali su cui si basa la previsione sull'evoluzione dei fenomeni meteorologici che sono fondamentali per la previsione dell'evoluzione dell'inquinamento atmosferico.

Umidità relativa

Un altro parametro analizzato utile per caratterizzare il clima è l'umidità, cioè la quantità di vapore acqueo contenuta nell'atmosfera. La sua concentrazione in aria è estremamente variabile nel tempo e nello spazio e deriva dall'evaporazione dell'acqua dei mari, dei laghi e dei fiumi, del terreno, della vegetazione e dalle superfici gelate. La concentrazione del vapore acqueo nell'atmosfera può essere espressa secondo diverse grandezze igrometriche ma la più utilizzata è l'umidità relativa, che esprime in forma percentuale lo stato di saturazione di una

massa d'aria essendo il rapporto percentuale tra la quantità di vapore contenuta in un certo volume e la quantità massima di vapore ammessa in quel volume e a quella determinata temperatura. Quando si misura questa grandezza, nel caso di strumenti posizionati in prossimità del suolo, va verificato che sia presente una ventilazione forzata in quanto l'intensità del vento è solitamente bassa. L'umidità relativa può influenzare significativamente la dinamica di alcune tipologie di inquinanti in quanto può determinare trasferimenti di massa dalla fase gassosa a quella acquosa.

Precipitazione

Le precipitazioni si originano dal raffreddamento del vapor acqueo fino al raggiungimento del punto di rugiada con conseguente condensazione; si possono caratterizzare descrivendone la quantità, l'intensità, la durata o la frequenza. Normalmente si considera la quantità di precipitazione caduta in un determinato intervallo temporale che viene espressa in *millimetri*; il *pluviometro* è lo strumento utilizzato per misurarla. I dati a disposizione in questa analisi sono misure orarie ed esprimono la quantità di pioggia caduta in un'ora. Specialmente nel caso di eventi temporaleschi intensi, si pone la questione della rappresentatività spaziale della misura; inoltre va verificata l'eventuale misura dell'altezza della neve (o della neve convertita in acqua tramite pluviometro riscaldato). Le precipitazioni influenzano enormemente l'abbattimento degli inquinanti presenti in atmosfera e inoltre la loro proprietà di "cattura" degli inquinanti, in particolar modo di SO₂ e NO₂, produce il fenomeno delle piogge acide che a loro volta sono causa di problemi per la vegetazione e per il deterioramento del patrimonio storico-artistico.

Radiazione solare

La radiazione solare è un parametro significativo nel determinare il grado di stabilità atmosferica; in generale ad elevate intensità della radiazione solare corrisponde un'elevata turbolenza convettiva che favorisce il rimescolamento degli inquinanti. Essa funge da catalizzatore per molte reazioni chimiche che coinvolgono gli inquinanti presenti in atmosfera e favorisce lo sviluppo dell'inquinamento secondario di origine fotochimica, come nel caso dell'ozono che raggiunge le concentrazioni maggiori proprio durante i mesi di massima radiazione solare. In particolare si è analizzato il valore di radiazione globale, definita come la somma delle componenti misurate a terra su un piano orizzontale, della radiazione solare diretta e diffusa per effetto delle nubi e di altri costituenti atmosferici. La sua intensità dipende dalla stagione, dalla nuvolosità e dalla posizione del sole sull'orizzonte rispetto al punto d'osservazione. Per la sua misurazione si utilizza uno strumento chiamato *radiometro globale*. L'unità di misura dei flussi di radiazione è il W/m^2 . Nella collocazione del radiometro è necessario evitare, tenendo conto della rotazione del sole nel corso del periodo diurno, che la presenza di ostacoli possa agire da schermo nei confronti della radiazione solare e che nessuna ombra venga proiettata sullo strumento durante la misura. Non devono essere

inoltre presenti oggetti riflettenti ed illuminazione artificiale. Il valore massimo giornaliero di radiazione solare si realizza intorno a mezzogiorno, mentre di notte i valori scendono a zero; la presenza di riduzioni sistematiche del valore misurato - alla stessa ora del giorno - può essere sintomo di un non corretto posizionamento dello strumento, a causa di ostacoli che proiettano la loro ombra sul sensore.

Stabilità atmosferica

La classe di stabilità è un indicatore qualitativo dell'intensità della turbolenza atmosferica, che può avere origine convettiva e quindi indotta dall'irraggiamento solare o natura meccanica se dovuta all'interazione tra il campo di vento e la superficie terrestre. Questo parametro testimonia quindi la capacità dell'atmosfera di disperdere gli inquinanti. Esistono diversi schemi di classificazione, che prevedono un diverso numero di classi e si basano sul valore di una (o più) grandezze meteorologiche collegate alla turbolenza. In generale si adottano 6 classi che dalla A alla F caratterizzano situazioni atmosferiche da estremamente instabili a stabili.

C.2.1 Analisi dei dati meteorologici

La scelta di considerare le stazioni di primo livello è stata dettata dal fatto che esse sono in grado di misurare un elevato numero di grandezze e garantiscono allo stesso tempo una buona copertura del territorio provinciale e una buona rappresentatività delle condizioni meteorologiche per diverse tipologie di morfologia del territorio.

Tutti i dati sono campionati con un intervallo di acquisizione di 60'. La statistica è stata effettuata considerando un periodo di 5 anni, dal 2001 al 2005. Dallo studio è stata esclusa la stazione di Ala in quanto i dati sono disponibili soltanto a partire dal novembre 2003 e quindi il campione statistico risulta essere poco rappresentativo. Altre stazioni in cui il campione non era del tutto completo non sono state escluse dall'analisi allo scopo di mantenere una buona rappresentatività del territorio.

Prima di procedere con l'analisi statistica, si è provveduto ad un'attenta verifica dei dati per eliminare quelli non validi e quelli ritenuti poco affidabili. I "dati non validi" sono segnalati da stringa "NULL". Anzitutto sono stati eliminati i dati con valori molto lontani dai valori medi tipici della stazione. Quindi sono state eliminati i dati ritenuti poco probabili, come le serie consecutive di valori si ripetono uguali per periodi piuttosto lunghi; inoltre si è provveduto ad eliminare i dati senza significato fisico (es. valori di insolazione o radiazione solare globale negativi).

Per ogni stazione si è analizzata statisticamente ogni singola grandezza misurata.

I parametri statistici utilizzati per descrivere il campione sono la media aritmetica e la mediana, che rappresenta quel valore che bipartisce la distribuzione ordinata dei dati; entrambe sono indici di posizione che permettono di dare delle informazioni sull'ordine di

grandezza dei dati. Oltre agli indici di posizione che forniscono un'espressione sintetica del fenomeno osservato, è importante utilizzare degli indici di dispersione per avere una misura della variabilità e della dispersione dei dati rispetto al valore medio. In particolare si è utilizzato lo scarto quadratico medio, che è definito come la radice quadrata della media dei quadrati degli scostamenti dei dati dalla media; tanto più grande è il suo valore, tanto più i dati saranno sparsi rispetto alla media. Inoltre si sono calcolati i valori massimi e minimi, che danno un'indicazione dell'intervallo di variazione; in questo modo si ha un ulteriore controllo sui valori di picco che può rivelarsi utile per evidenziare dati palesemente non validi.

Anzitutto si sono calcolate la media, la mediana, lo scarto quadratico medio e i valori massimi e minimi sull'intero periodo di 5 anni preso in esame allo scopo di identificare i valori medi tipici della stazione. Va precisato che nel caso della direzione del vento, il valore medio è ottenuto non semplicemente facendo la media aritmetica dei valori della direzione, ma seguendo il cosiddetto metodo "weighted vector"; esso fa riferimento alla definizione del concetto di componente del vettore. Infatti il vettore velocità viene scomposto nelle due componenti, si calcola la media aritmetica di ciascuna componente e infine si calcola la direzione del vettore risultante; essa sarà dunque la direzione media della nostra serie di dati.

Le stesse statistiche sono state calcolate per ogni singolo anno allo scopo di rilevare le differenze tra le diverse annate; dall'analisi di questi parametri, ad esempio, è possibile evidenziare mediamente una maggiore piovosità durante l'anno 2002 mentre nel 2003 si osserva una temperatura con valori massimi più elevati e un'umidità relativa mediamente più bassa.

Quindi si sono calcolate media, mediana, valori massimi e minimi e scarto quadratico medio di ogni grandezza corrispondente a ciascuna stagione dell'anno per identificare possibili cicli stagionali; anche in questo caso è possibile trarre alcune considerazioni generali che valgono nella maggioranza delle stazioni: come è logico aspettarsi la temperatura e la radiazione solare sono mediamente più elevate in primavera ed estate, dove spesso si nota anche una maggiore intensità del vento. L'inverno appare come la stagione meno piovosa mentre in autunno si registrano i valori più elevati dei picchi di pioggia e valori di umidità relativa mediamente più alti.

L'analisi è stata ripetuta per ciascun mese dell'anno ottenendo le stesse considerazioni ottenute dall'analisi dei cicli stagionali; si può mediamente affermare che i valori di pioggia più intensi si hanno in ottobre e novembre, mentre la temperatura e la radiazione solare maggiore si hanno in giugno, luglio e agosto.

Calcolando questi indici statistici per ciascun giorno della settimana, si può verificare l'assenza di cicli settimanali, come è logico attendersi per i dati meteorologici; questo controllo diventa quindi un ulteriore elemento di verifica della correttezza dei dati.

Se invece si analizzano i valori per ciascun ora della giornata, si nota come alcune grandezze, come la temperatura e la radiazione solare, siano caratterizzate da cicli giornalieri molto netti: nelle ore centrali e nel primo pomeriggio si misurano valori più elevati di temperatura e

radiazione solare. Lo stesso si può dire per l'intensità della velocità del vento nella maggior parte delle stazioni esaminate. Viceversa l'umidità relativa è caratterizzata da un comportamento opposto ed è minore proprio nelle ore più calde della giornata.

Si è quindi passati ad analizzare le correlazioni tra le diverse grandezze misurate allo scopo di individuare i possibili legami tra loro; dall'analisi delle correlazioni ottenute è possibile dedurre come in alcuni casi esista un legame piuttosto netto tra due grandezze (ad esempio tra temperatura e radiazione solare) mentre in altri casi non sia possibile determinare alcuna relazione (ad esempio nel caso della pressione atmosferica che risulta piuttosto scorrelata dalle altre grandezze misurate).

Successivamente è stato derivato l'indicatore di stabilità atmosferica, utile per la comprensione della capacità potenziale di diffusione turbolenta di una massa d'aria. Sulla base del valore dell'intensità del vento e della radiazione solare, viene assegnata una determinata classe di stabilità atmosferica.

In Fig. 6 è mostrata la mappa delle stazioni di misura meteorologiche di primo livello e delle stazioni di misura di qualità dell'aria presenti in provincia.

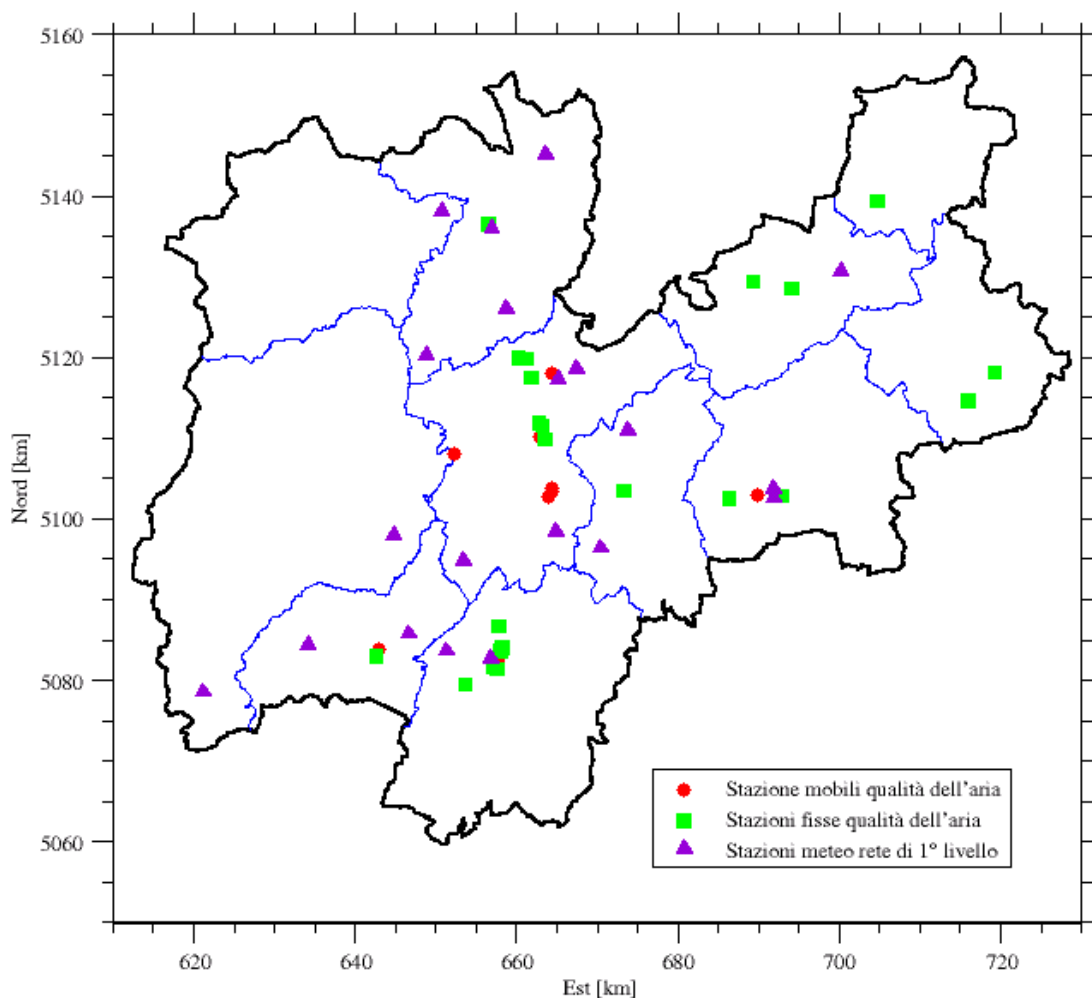


Fig. 6: Mappa delle stazioni di misura meteorologiche di primo livello e delle stazioni di misura qualità dell'aria in provincia

C.2.2 Stazioni di misura della rete di primo livello utilizzate

Arco

Si sono analizzate le seguenti grandezze misurate: velocità e direzione del vento, temperatura, umidità relativa, pressione atmosferica, pioggia totale, insolazione, radiazione globale. I dati sono disponibili dal 1/1/2001 al 13/05/2001 e a partire dal 02/09/2002, per cui le statistiche dei primi due anni risultano incomplete. Si osserva un'intensità del vento maggiore durante le prime ore pomeridiane della giornata con provenienza da Sud. Prevalenza di piogge nella stagione autunnale.

Baselga di Piné

Si sono analizzate le seguenti grandezze misurate: velocità e direzione del vento, temperatura, umidità relativa, pressione atmosferica, pioggia totale, insolazione, radiazione globale. Si tratta di una stazione a circa 1000 m di quota; l'intensità del vento è piuttosto bassa, maggiore nelle prime ore pomeridiane con provenienza principalmente da N- NE. Piogge minori nella stagione invernale. Valori di umidità relativa elevati durante tutto il corso dell'anno con l'eccezione dei valori invernali.

Bezzecca

Si sono analizzate le seguenti grandezze misurate: velocità e direzione del vento, temperatura, umidità relativa, pressione atmosferica, pioggia totale, insolazione, radiazione globale. I dati sono disponibili dal 22/10/2001, quindi la statistica del 2001 risulta incompleta. Si tratta di una stazione a circa 700 m di quota; il vento è caratterizzato da intensità maggiore e direzione proveniente da Sud nelle prime ore pomeridiane mentre nel resto della giornata la direzione prevalente è Nord; mediamente risulta più intenso nella stagione primaverile ed estiva. Piogge più intense in primavera e in autunno.

Borgo Valsugana

Si sono analizzate le seguenti grandezze misurate: velocità e direzione del vento, temperatura, umidità relativa, pressione atmosferica, pioggia totale, insolazione, radiazione globale. Il vento è caratterizzato da intensità piuttosto bassa, maggiore nelle prime ore pomeridiane e in generale nei mesi primaverili ed estivi. Si registrano valori di umidità relativa elevati durante tutto il corso dell'anno. Piogge meno intense durante la stagione invernale.

Caldes

Si sono analizzate le seguenti grandezze misurate: velocità e direzione del vento, temperatura, umidità relativa, pressione atmosferica, pioggia totale, insolazione, radiazione globale. I dati sono disponibili dal 22/10/2001, quindi la statistica del 2001 risulta incompleta. Si tratta di una stazione a circa 700 m di quota; l'intensità del vento è più elevata nelle prime ore pomeridiane e la direzione prevalente è quella NE-E; nel resto della giornata la direzione prevalente è SW-W.

Cavedine

Si sono analizzate le seguenti grandezze misurate: velocità e direzione del vento, temperatura, umidità relativa, pressione atmosferica, pioggia totale, insolazione, radiazione globale. I dati sono disponibili dal 19/10/2001, quindi la statistica del 2001 risulta incompleta. Si tratta di una stazione di fondovalle a circa 500 m di quota; l'intensità del vento risulta più intensa nelle prime ore pomeridiane con direzione prevalente SW-W, mentre nel resto della giornata la direzione prevalente è SE-S.

Cles

Si sono analizzate le seguenti grandezze misurate: velocità e direzione del vento, temperatura, umidità relativa, pressione atmosferica, pioggia totale, insolazione, radiazione globale. Si tratta di una stazione di fondovalle a circa 650 m di quota. L'intensità del vento risulta più intensa nelle prime ore pomeridiane con direzione prevalente S, mentre nel resto della giornata la direzione prevalente è N-NE. In generale si nota un'intensità maggiore nelle stagioni primaverili ed estive.

Denno

Si sono analizzate le seguenti grandezze misurate: velocità e direzione del vento, temperatura, umidità relativa, pioggia totale, insolazione, radiazione globale. L'intensità del vento risulta più intensa nelle ore pomeridiane con direzione prevalente SW-S-SE, mentre nel resto della giornata la direzione prevalente è W-NW. In generale si nota un'intensità maggiore soprattutto nella stagione primaverile ed anche estiva.

Faedo - Maso Togn

Si sono analizzate le seguenti grandezze misurate: velocità e direzione del vento, temperatura, umidità relativa, pioggia totale, insolazione, radiazione globale. L'intensità del vento risulta più intensa nelle ore pomeridiane con direzione prevalente E-SE, mentre nel resto della giornata la direzione prevalente è SW. Si registrano valori di umidità relativa elevati durante tutto il corso dell'anno.

Fondo

Si sono analizzate le seguenti grandezze misurate: velocità e direzione del vento, temperatura, umidità relativa, pressione atmosferica, pioggia totale, insolazione, radiazione globale. I dati sono disponibili dal 22/10/2001, quindi la statistica del 2001 risulta incompleta. Si tratta di una stazione in zona montuosa a circa 1000 m di quota. La stazione è caratterizzata da vento di intensità piuttosto elevata e con direzioni prevalenti NE-E e SW-W; l'intensità è

leggermente minore nelle ore della mattina e non si notano grandi variazioni nell'arco dell'anno con modesta eccezione dei mesi autunnali.

Lomaso

Si sono analizzate le seguenti grandezze misurate: velocità e direzione del vento, temperatura, umidità relativa, pressione atmosferica, pioggia totale, insolazione, radiazione globale. L'intensità del vento risulta sensibilmente più intensa nelle ore pomeridiane e la direzione prevalente è S. In generale l'intensità è maggiore in primavera e anche in estate. Si registrano valori di umidità relativa elevati durante tutto il corso dell'anno.

Malga Flavona

Si sono analizzate le seguenti grandezze misurate: velocità e direzione del vento, temperatura, umidità relativa, pioggia totale, insolazione, radiazione globale. I dati sono disponibili dal 27/05/2003, quindi le statistiche del 2001, 2002 e 2003 risultano incomplete. La stazione si trova in zona montuosa, a circa 2000 m, ed è caratterizzata da una temperatura piuttosto bassa; l'intensità del vento risulta piuttosto intensa senza manifestare evidenti variazioni nel corso della giornata e dell'anno. Le direzioni prevalenti sono NE e SW. Si può notare che la temperatura è piuttosto bassa durante tutto il corso dell'anno.

Predazzo

Si sono analizzate le seguenti grandezze misurate: velocità e direzione del vento, temperatura, umidità relativa, pressione atmosferica, pioggia totale, insolazione, radiazione globale. I dati sono disponibili dal 05/12/2001, quindi la statistica del 2001 risulta incompleta. Si tratta di una stazione di fondovalle a circa 1000 m di quota, l'intensità del vento risulta più intensa nelle ore pomeridiane e direzioni prevalenti NE-E e S-SW. Si può notare che la temperatura è piuttosto bassa durante tutto il corso dell'anno.

Ronzo Chienis

Si sono analizzate le seguenti grandezze misurate: velocità e direzione del vento, temperatura, umidità relativa, pressione atmosferica, pioggia totale, insolazione, radiazione globale. La stazione è situata a una quota di circa 1000 m con temperatura piuttosto bassa durante tutto il corso dell'anno. L'intensità del vento ha valore medio senza manifestare evidenti variazioni nel corso della giornata. Le direzioni prevalenti sono N e S-SW.

Rovereto

Si sono analizzate le seguenti grandezze misurate: velocità e direzione del vento, temperatura, umidità relativa, pioggia totale, insolazione, radiazione globale. L'intensità del vento risulta sensibilmente più intensa nelle ore pomeridiane con direzione prevalente S mentre nelle altre ore della giornata la direzione prevalente è quella da N. Si registrano valori di umidità relativa piuttosto elevati durante tutto il corso dell'anno.

S. Michele all'Adige

Si sono analizzate le seguenti grandezze misurate: velocità e direzione del vento, temperatura, umidità relativa, pressione atmosferica, pioggia totale, insolazione, radiazione globale. L'intensità del vento risulta più intensa nelle ore pomeridiane con direzione prevalente S-SW mentre nel resto della giornata domina la direzione N-NE; mediamente il vento è maggiore nelle stagioni primaverili ed estive.

Storo

Si sono analizzate le seguenti grandezze misurate: velocità e direzione del vento, temperatura, umidità relativa, pressione atmosferica, pioggia totale, insolazione, radiazione globale. I dati sono disponibili dal 12/08/2002, quindi le statistiche del 2001 e del 2002 risultano incomplete. L'intensità del vento risulta sensibilmente più intensa nelle ore pomeridiane con direzione prevalente SW mentre nel resto della giornata domina la direzione N-NE. Le piogge sono decisamente prevalenti nella stagione autunnale.

Telve

Si sono analizzate le seguenti grandezze misurate: velocità e direzione del vento, temperatura, umidità relativa, pioggia totale, insolazione, radiazione globale. I dati sono disponibili dal 15/08/2002, quindi le statistiche del 2001 e del 2002 risultano incomplete. L'intensità del vento risulta maggiore nelle ore pomeridiane e la direzione prevalente è quella E, mentre nel resto della giornata prevale vento da W. Le piogge sono prevalenti nella stagione autunnale.

Trento Sud

Si sono analizzate le seguenti grandezze misurate: velocità e direzione del vento, temperatura, umidità relativa, pressione atmosferica, pioggia totale, insolazione, radiazione globale. L'intensità del vento risulta sensibilmente più intensa nelle ore pomeridiane con direzione prevalente S mentre nel resto della giornata domina la direzione N-NE.

Vigolo Vattaro

Si sono analizzate le seguenti grandezze misurate: velocità e direzione del vento, temperatura, umidità relativa, pressione atmosferica, pioggia totale, insolazione, radiazione globale. I dati sono disponibili dal 04/11/2002, quindi le statistiche del 2001 e del 2002 risultano incomplete. Si tratta di una stazione a circa 700 m di quota. Si registra una maggiore intensità del vento nelle ore centrali e pomeridiane della giornata in cui la direzione prevalente è SE, mentre nel resto del giorno domina la direzione W. Le piogge sono prevalenti nella stagione autunnale.

C.3 Individuazione e caratterizzazione delle condizioni meteorologiche tipiche e/o frequenti sfavorevoli alla dispersione degli inquinanti.

Sono state individuate le condizioni meteorologiche tipiche per ogni stazione rappresentativa di una porzione o tipologia di territorio. Sono inoltre state individuate le condizioni sfavorevoli alla dispersione di inquinanti, che si verificano in netta prevalenza nel periodo invernale su tutto il territorio provinciale a prescindere dalla conformazione morfologica delle varie zone. Allo scopo di verificare l'influenza dell'apporto di inquinanti dalle regioni contigue si è analizzato in dettaglio un trimestre invernale ritenuto rappresentativo (gennaio – marzo 2004).

I dati di questo periodo di tempo delle stazioni di Trento Gardolo, Riva del Garda e Rovereto sono stati analizzati con lo stesso metodo e confermano la tesi sopra esposta.

Successivamente si è proseguito studiando i rapporti NO_2/NO_x e $\text{PM}_{10}/\text{NO}_x$ delle stazioni di Monte Gaza e di Trento (via Veneto). Come si nota dal grafico successivo si è verificato un comportamento anomalo rispetto alla media nei giorni che vanno dal 19/03/2004 al 22/03/2004 che riveste un certo interesse al fine di verificare l'ipotesi di trasporto di inquinanti su scala regionale. In questi giorni, infatti, il rapporto $\text{PM}_{10}/\text{NO}_x$ risulta molto maggiore del rapporto NO_2/NO_x e fa registrare un picco elevato.

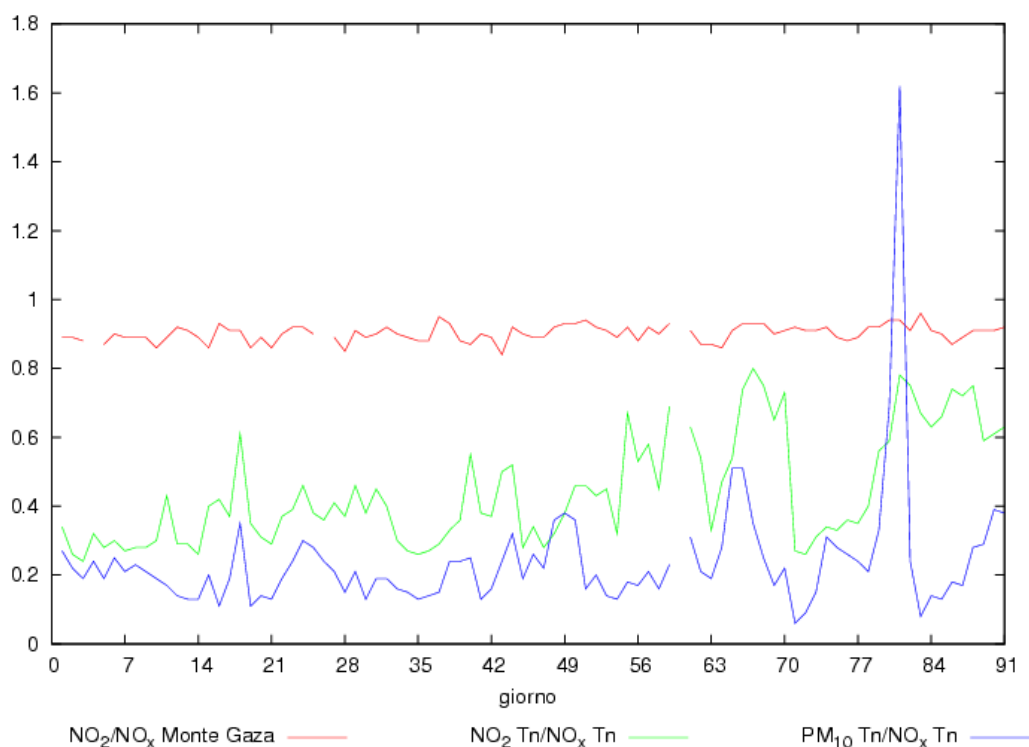


Fig. 7: Rapporto NO_2/NO_x per le stazioni di Trento e Monte Gaza e rapporto $\text{PM}_{10}/\text{NO}_x$ per la stazione di Trento – media giornaliera

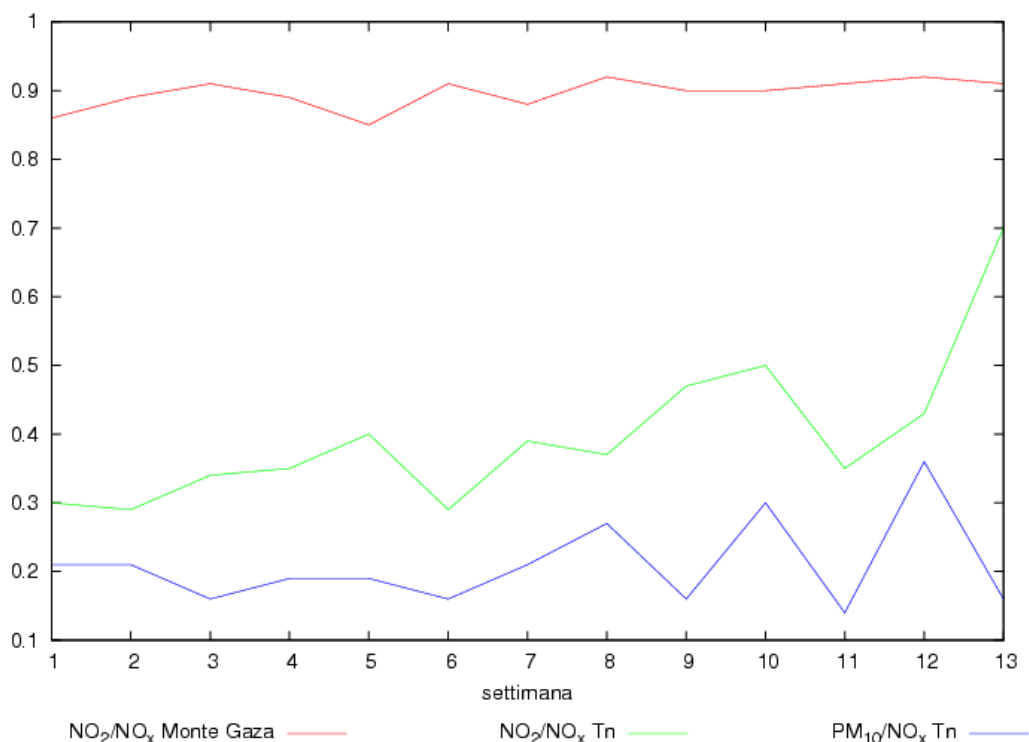


Fig. 8: Rapporto NO₂/NO_x per le stazioni di Trento e Monte Gaza e rapporto PM₁₀/NO_x per la stazione di Trento – media settimanale

C.3.1 Condizioni meteorologiche sfavorevoli alla dispersione degli inquinanti

L'esame dei dati si è concentrato sui rilevamenti di NO_x (e PM₁₀ dove presente) nel periodo 2001-2005 in tutte stazioni delle reti di rilevamento della qualità dell'aria della provincia. La scelta è basata sulla considerazione che il biossido di azoto è uno degli inquinanti più critici rispetto ai limiti di legge.

Così come tipicamente si osserva nelle aree caratterizzate da clima alpino, si rileva la presenza di episodi di inquinamento invernale, che si distinguono per intensità e durata dei periodi caratterizzati da concentrazioni elevate, dai livelli di concentrazione osservati durante i rimanenti periodi dell'anno. Gli episodi più acuti si verificano durante il periodo freddo (dicembre-marzo).

Spesso, ma in maniera non generalizzabile, durante situazioni di inquinamento superiore alla media, si riscontra una permanenza di condizioni di alta pressione. Va comunque ricordato che la condizione “alta pressione” è condizione necessaria ma non sufficiente per l'aumento nei valori di inquinamento: esistono infatti periodi durante i quali la pressione al suolo risulta elevata, ma non si osservano episodi di inquinamento acuto e generalizzato. Tali condizioni si verificano nel caso in cui un aumento della pressione ai bassi livelli determina l'instaurarsi di un flusso di masse d'aria dense da Sud. Flussi d'aria dalla Pianura Padana lungo la valle dell'Adige determinando un deciso calo delle temperature e condizioni sfavorevoli all'accumulo degli inquinanti in atmosfera, che si somma all'effetto di trasporto di inquinanti.

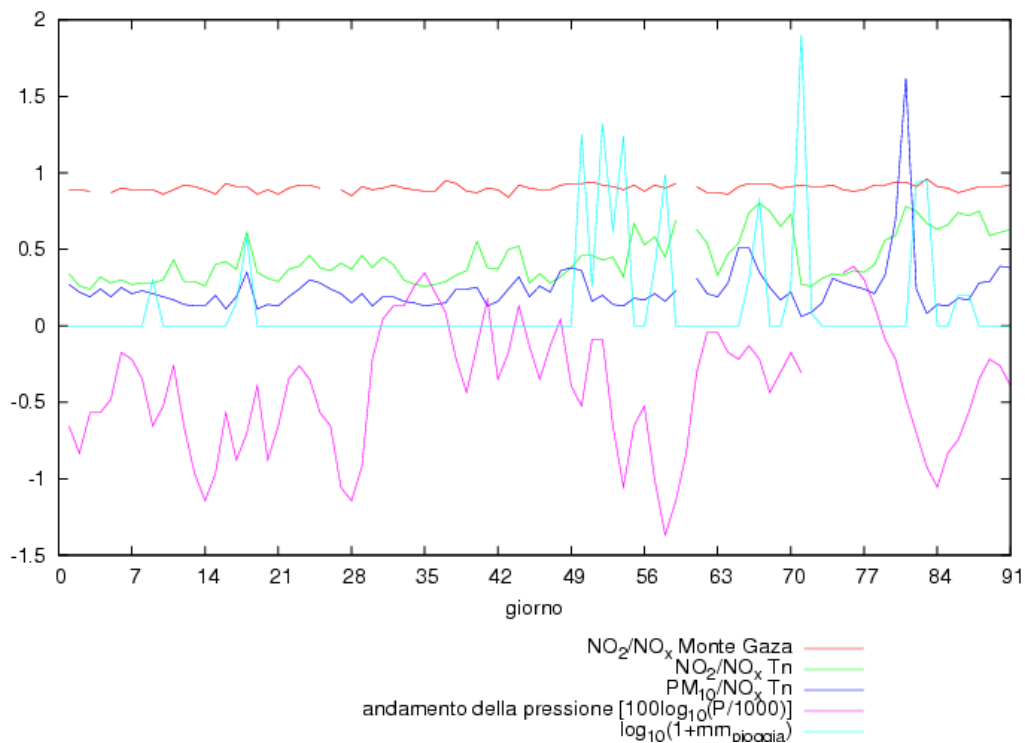


Fig. 9: Parametri di inquinamento e meteorologici adimensionalizzati per le stazioni di Trento e Monte Giza – media giornaliera

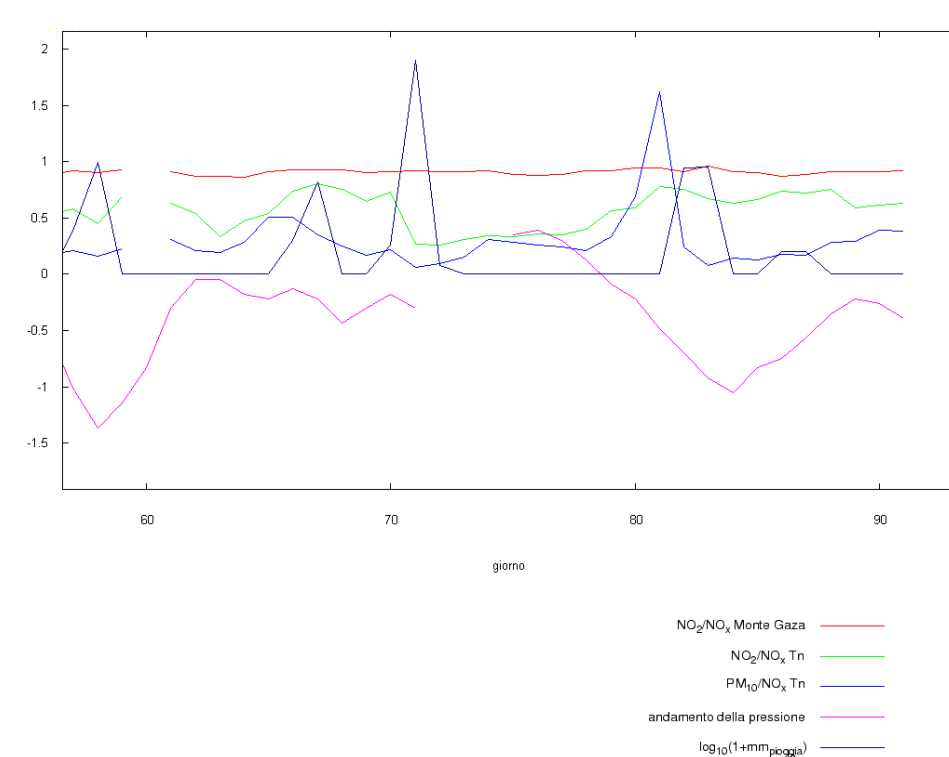


Fig. 10: Parametri di inquinamento e meteorologici adimensionalizzati per le stazioni di Trento e Monte Giza – media settimanale

Nei grafici precedenti (Fig. 9 e Fig. 10) sono riportati gli andamenti dei rapporti NO_2/NO_x nelle due stazioni e del rapporto $\text{PM}_{10}/\text{NO}_x$ della stazione di Trento. Inoltre nello stesso grafico sono riportati l'andamento della pioggia (cumulata giornaliera) e della pressione atmosferica (media giornaliera); si noti che per favorire la lettura è stata usata la scala logaritmica per queste due ultime grandezze.

Dai grafici risulta evidente come il picco nel rapporto $\text{PM}_{10}/\text{NO}_x$ che si registra il giorno 81 (22/03/2004) non dipenda né dalle precipitazioni né da situazioni di permanenza di alta pressione, le quali avrebbero favorito il ristagno delle polveri sottili e quindi l'accumulo delle stesse.

Da ciò si deduce che il fenomeno sia attribuibile all'azione di trasporto su lunga distanza (transregionale) esercitata dal vento. A supporto di tale tesi si sono studiati gli stessi rapporti tra inquinanti nelle stazioni di Gardolo, Riva del Garda e Rovereto (largo Posta). Tutte le stazioni presentano il medesimo comportamento. I primi tre grafici riportati in seguito mostrano l'andamento giornaliero degli inquinanti in tutte le stazioni, i successivi mostrano anche per le stazioni di Trento Gardolo e Rovereto (largo Posta) il comportamento anomalo del rapporto $\text{PM}_{10}/\text{NO}_x$ già riscontrato per la stazione di Trento (via Veneto). L'ultimo mostra invece che tutti i picchi anomali delle varie stazioni si verificano nello stesso giorno.

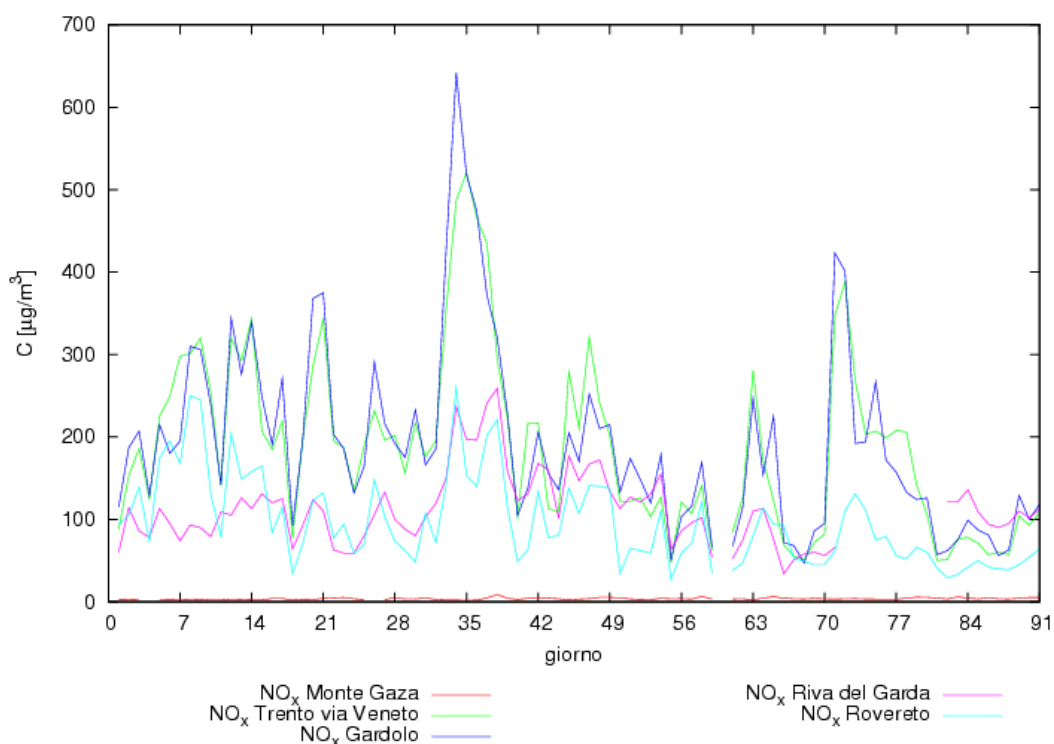


Fig. 11: Concentrazioni di NO_x per le stazioni di Trento, Monte Gaza, Gardolo, Riva del Garda e Rovereto – media giornaliera

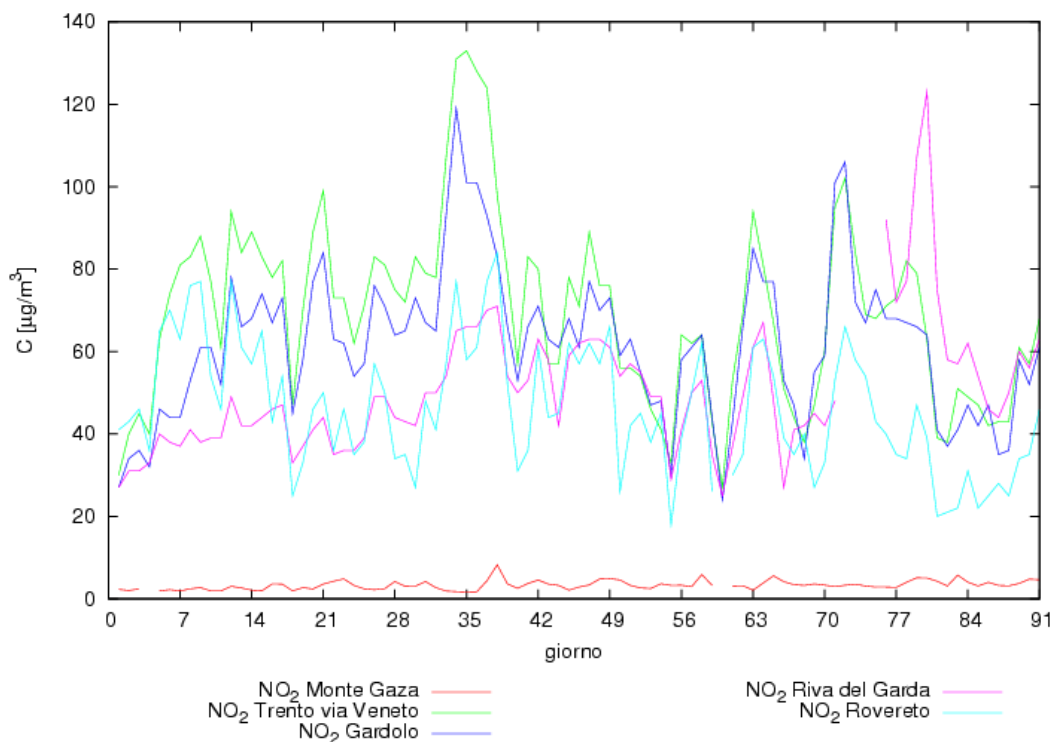


Fig. 12: Concentrazioni di NO₂ per le stazioni di Trento, Monte Gaza, Gardolo, Riva del Garda e Rovereto – media giornaliera

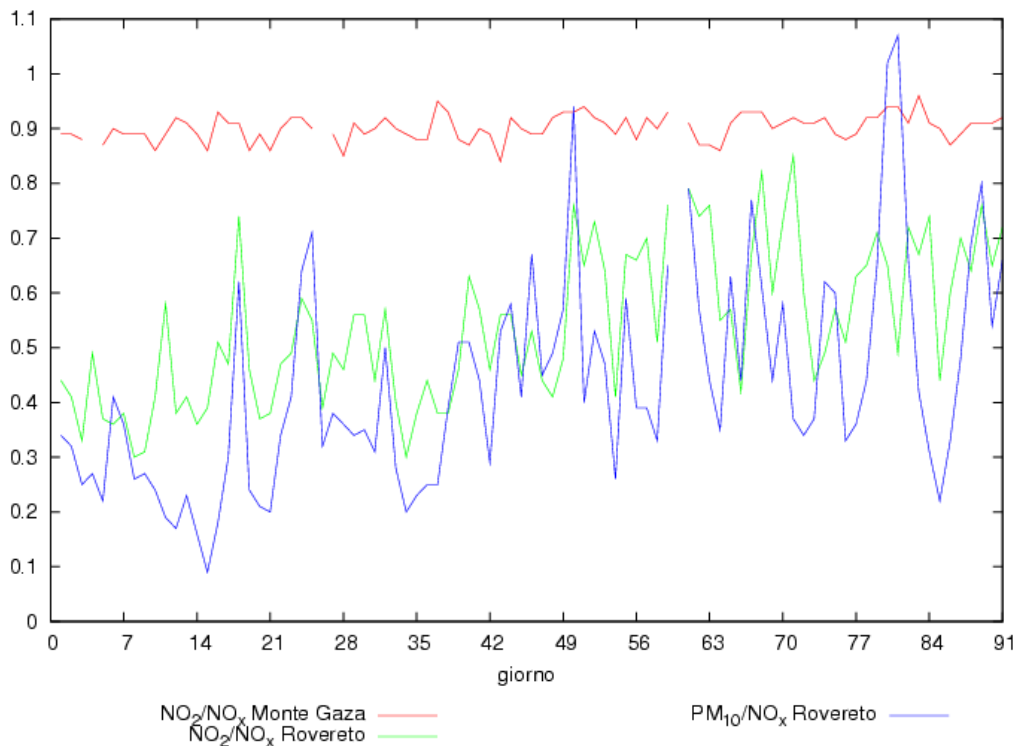


Fig. 13: Rapporto NO₂/NO_x per le stazioni di Monte Gaza e Rovereto e rapporto PM₁₀/NO_x per la stazione di Rovereto – media giornaliera

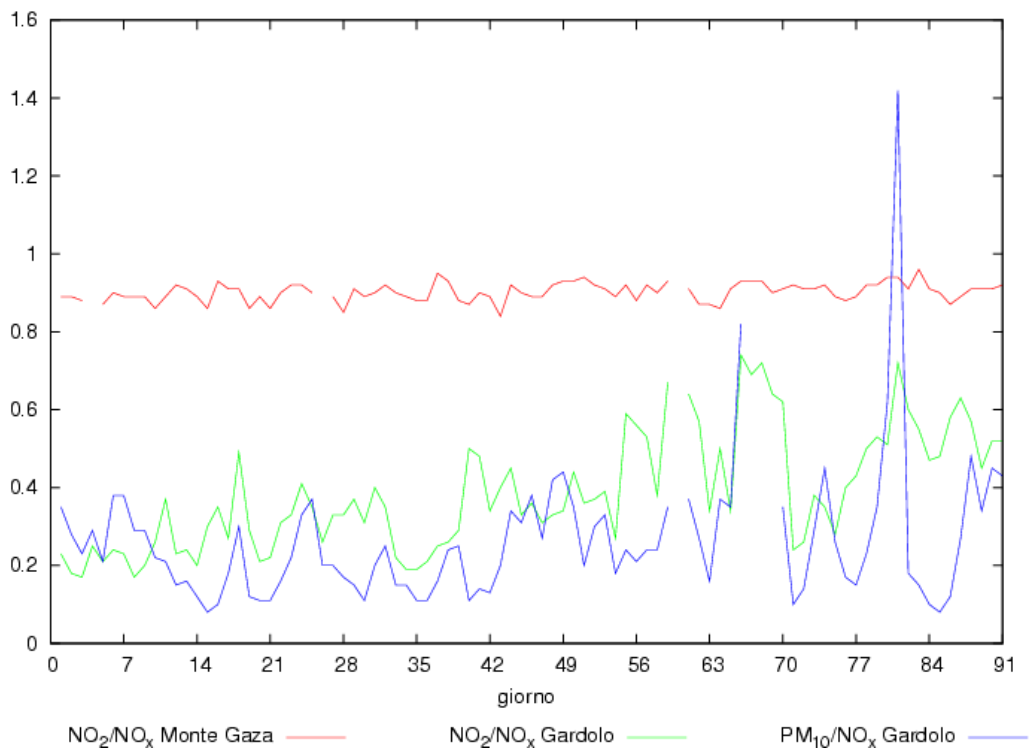


Fig. 14: Rapporto NO_2/NO_x per le stazioni di Monte Gaza e Gardolo e rapporto $\text{PM}_{10}/\text{NO}_x$ per la stazione di Gardolo – media giornaliera

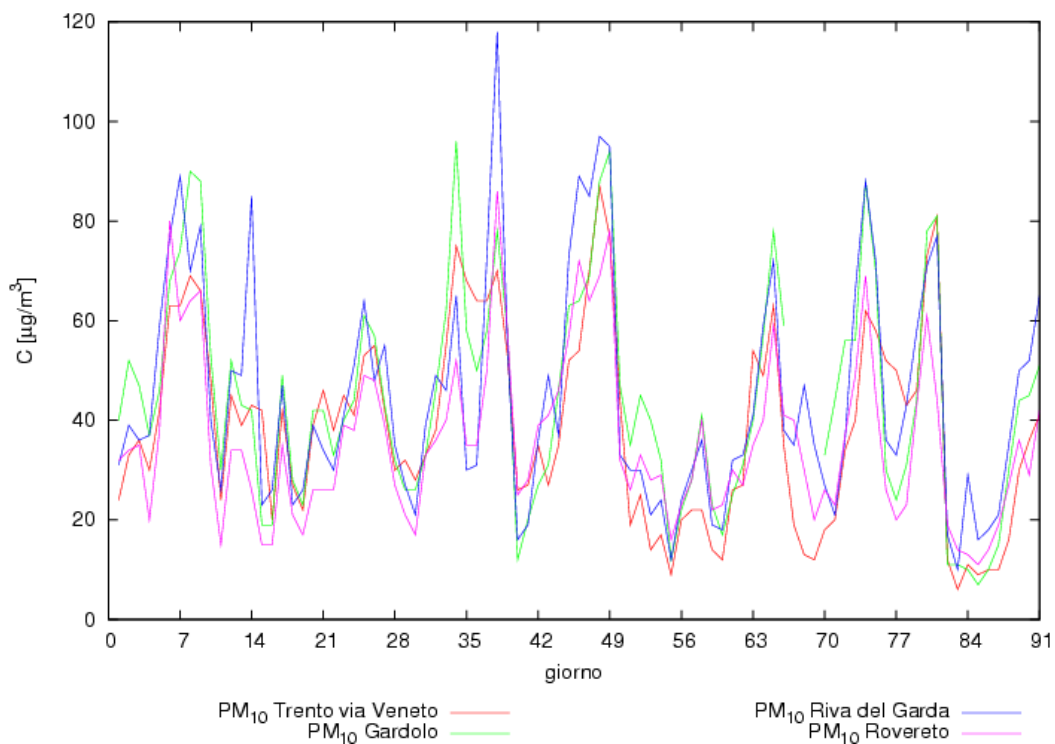


Fig. 15: Concentrazioni di PM_{10} per le stazioni di Trento, Gardolo, Riva del Garda e Rovereto – media giornaliera

Dal successivo esame dell'andamento dei venti si nota che il vento, nei giorni in cui si verifica il picco nel rapporto tra PM_{10} e NO_x , spira soprattutto da Sud e raggiunge velocità superiori ai 5 m/s. L'ulteriore prova a supporto della tesi del trasporto transregionale è la concentrazione di PM_{10} nella città di Verona, che nei giorni dal 15/3 al 21/3 fa registrare un livello elevato, con concentrazioni circa 3 volte superiori alla media del periodo. I grafici seguenti mostrano il picco molto elevato della concentrazione di PM_{10} nella città di Verona insieme all'andamento giornaliero delle concentrazioni delle polveri nelle stazioni in esame.

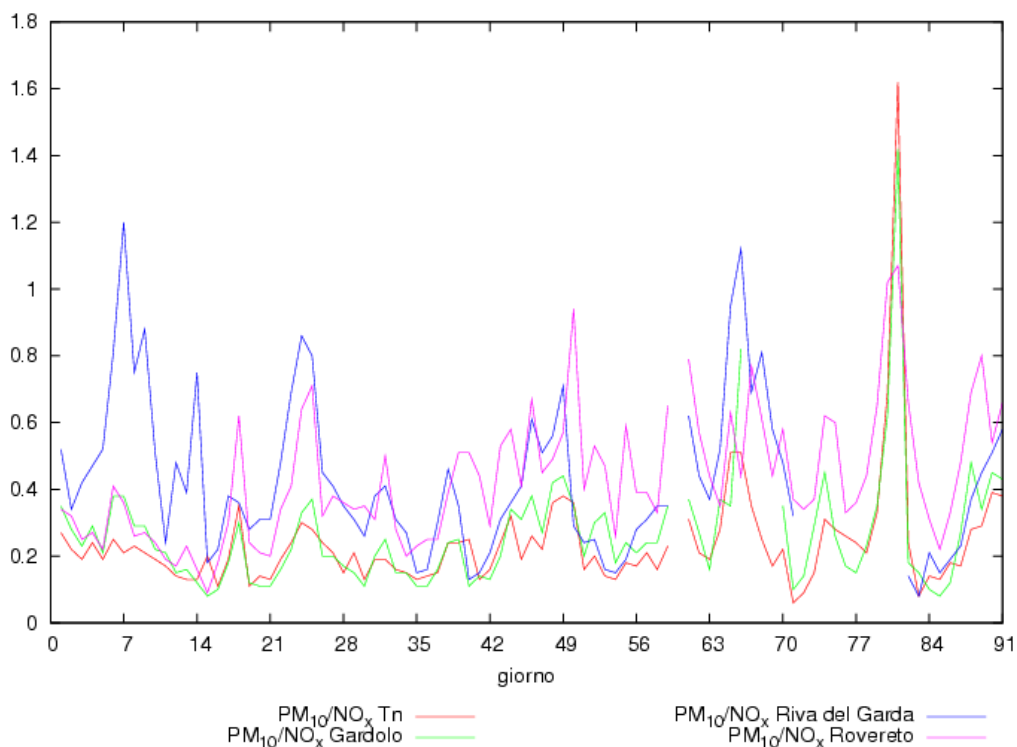


Fig. 16: Rapporto PM_{10}/NO_x per le stazioni di Trento, Gardolo, Riva del Garda e Rovereto – media giornaliera

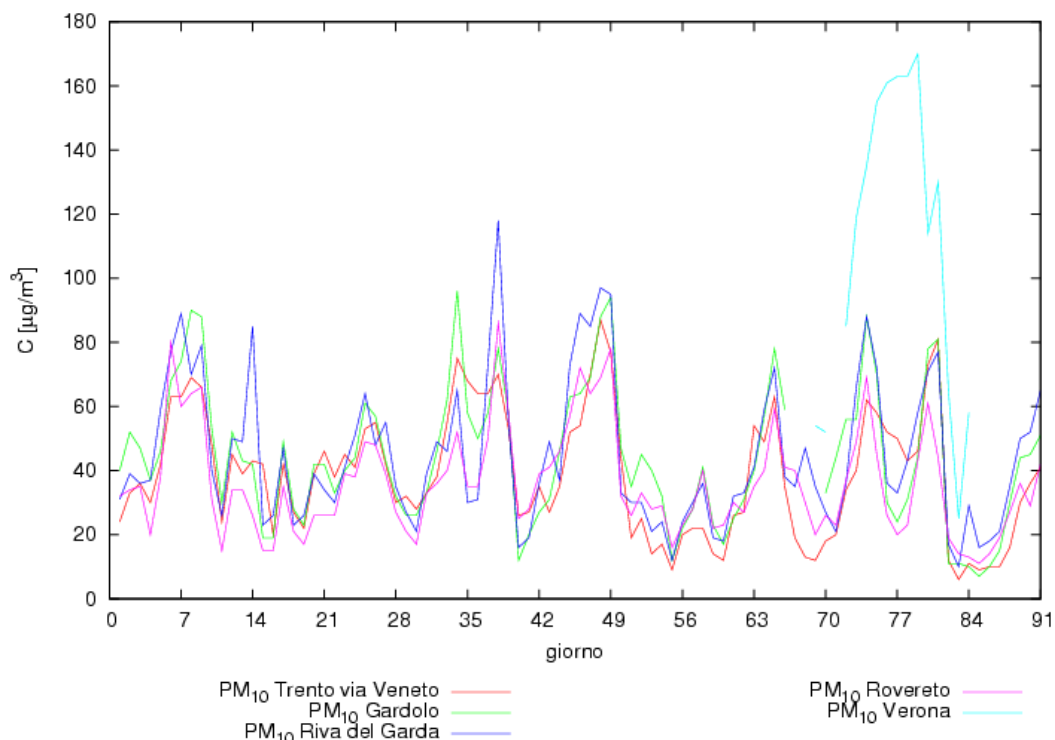
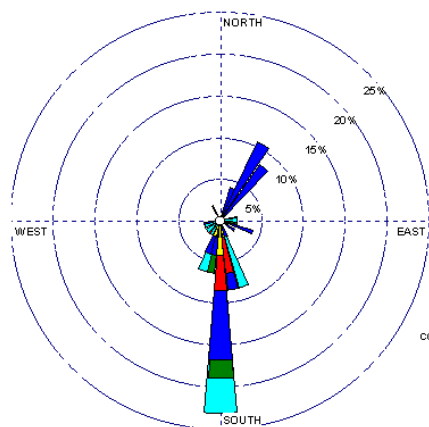


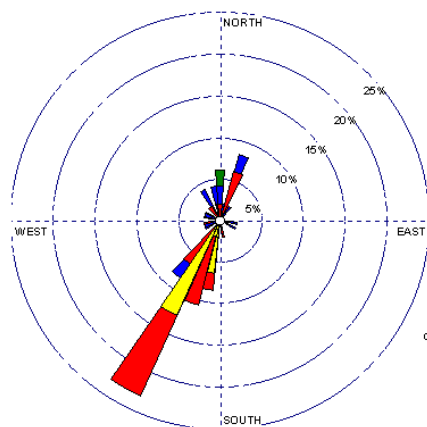
Fig. 17: Concentrazioni di PM₁₀ per le stazioni di Trento, Gardolo, Riva del Garda, Rovereto e Verona – media giornaliera

L'andamento delle concentrazioni del PM₁₀ rispetto alla direzione del vento nei giorni 20/03 e 21/03 in tutte le quattro stazioni in esame è riportato in Fig. 18 e fornisce ulteriore conferma all'ipotesi fatta. I grafici esposti riportano i livelli di concentrazione (statistica su base oraria) in funzione della direzione di provenienza del vento. La concentrazione è suddivisa in 6 classi di pari ampiezza; la lunghezza dei raggi, così come nelle classiche rose dei venti, rappresenta la percentuale di accadimento dell'evento.

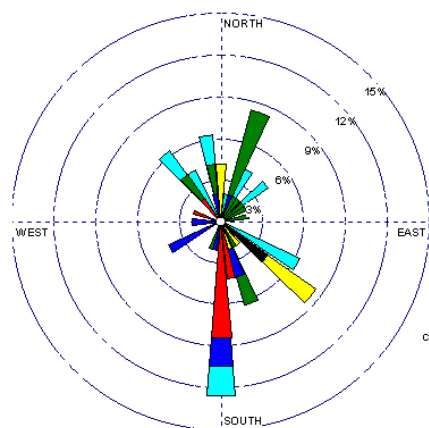
Dall'analisi effettuata emergono quindi delle possibili correlazioni fra la qualità dell'aria della provincia di Trento, e più in particolare dei comuni nella bassa valle dell'Adige e dei comuni dell'alto Garda, e la situazione presente nella pianura padana in presenza di venti forti che spirano da Sud.



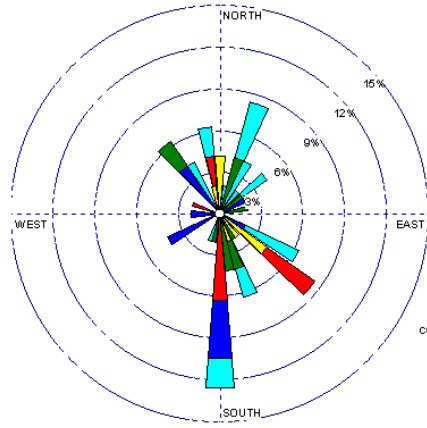
stazione: Riva del Garda



stazione: Rovereto, Largo Posta



stazione: Trento, via Veneto



stazione: Trento, Gardolo

Fig. 18: Correlazione tra direzione del vento e concentrazione di PM₁₀ – stazioni di Riva del Garda, Rovereto, Trento e Gardolo

C.4 Individuazione e caratterizzazione delle condizioni meteorologiche tipiche e/o frequenti favorevoli alla formazione di inquinanti secondari.

Allo scopo di verificare l'influenza dell'apporto di inquinanti dalle regioni contigue e contemporaneamente eseguire una stima dei tempi scala di formazione del particolato secondario, si è analizzato in dettaglio un trimestre invernale ritenuto rappresentativo (gennaio – marzo 2004).

È stato eseguito lo studio dell'andamento delle concentrazioni di NO_2 , NO_x e PM_{10} e dei rapporti tra le concentrazioni di NO_2 e NO_x e tra le concentrazioni di PM_{10} e NO_x registrate nel periodo compreso tra l'01/01 e il 31/03/2004.

I grafici seguenti presentano gli andamenti di questi parametri per le stazioni di Trento (via Veneto) e Monte Gaza, da considerarsi rispettivamente come stazione urbana e stazione di fondo. I primi due grafici presentano l'andamento giornaliero dei valori di concentrazione dei singoli inquinanti in ognuna delle due stazioni. La seconda coppia mostra l'andamento settimanale dei singoli inquinanti mentre gli ultimi due presentano l'andamento dei rapporti inquinante su inquinante sia dal punto di vista della media giornaliera, sia dal punto di vista della media settimanale.

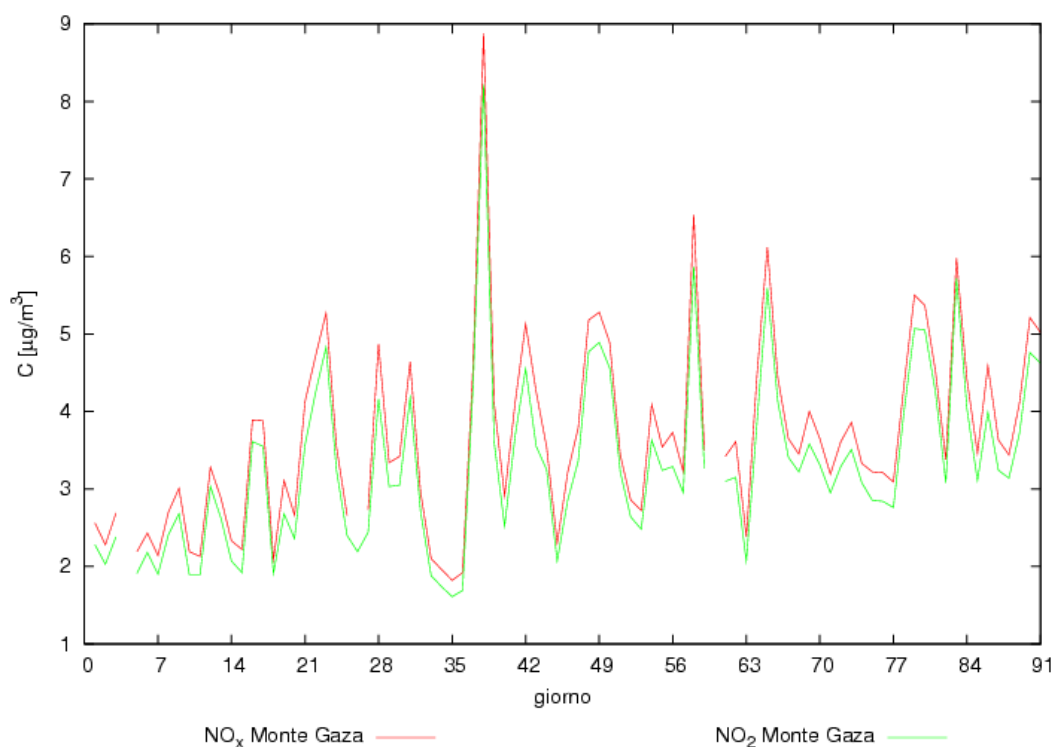


Fig. 19: Concentrazioni di NO_2 e NO_x per la stazione di Monte Gaza - media giornaliera

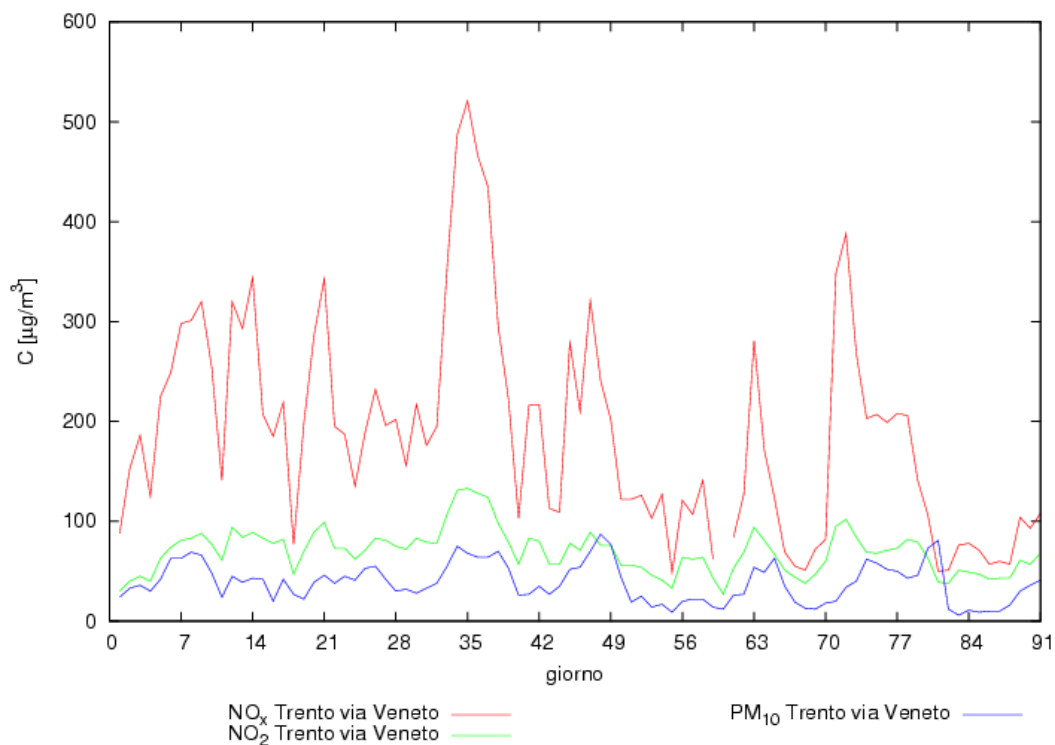


Fig. 20: Concentrazioni di NO_x, NO₂ e PM₁₀ per la stazione di Trento - media giornaliera

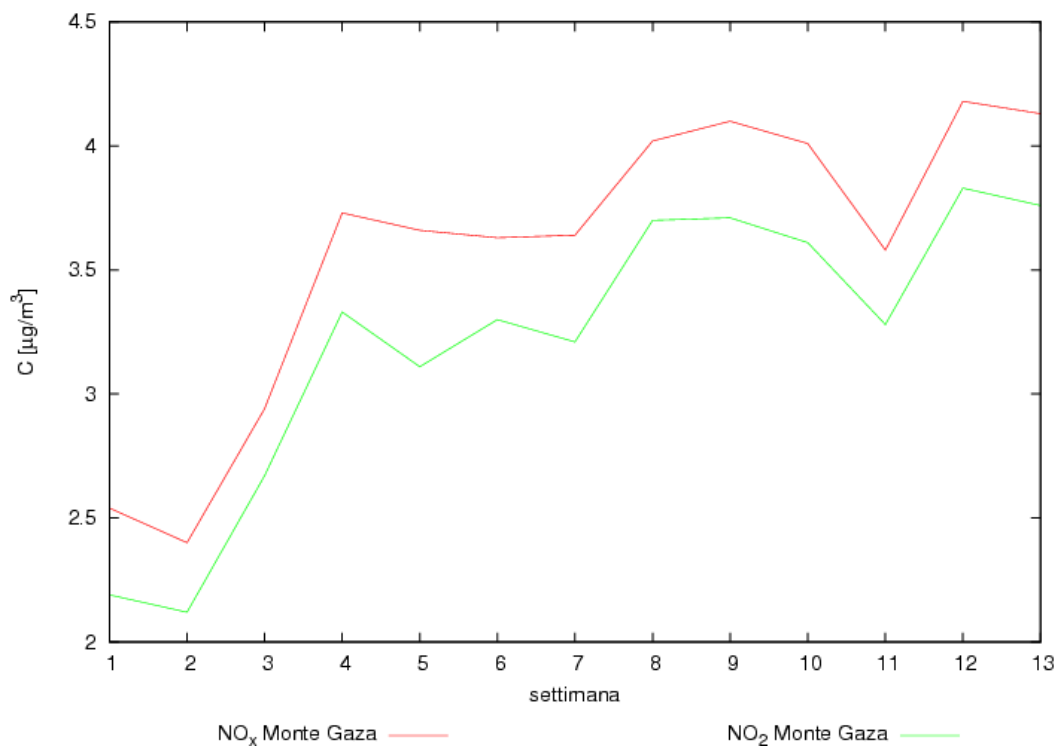


Fig. 21: Concentrazioni di NO_x e NO₂ per la stazione di Monte Gaza - media settimanale

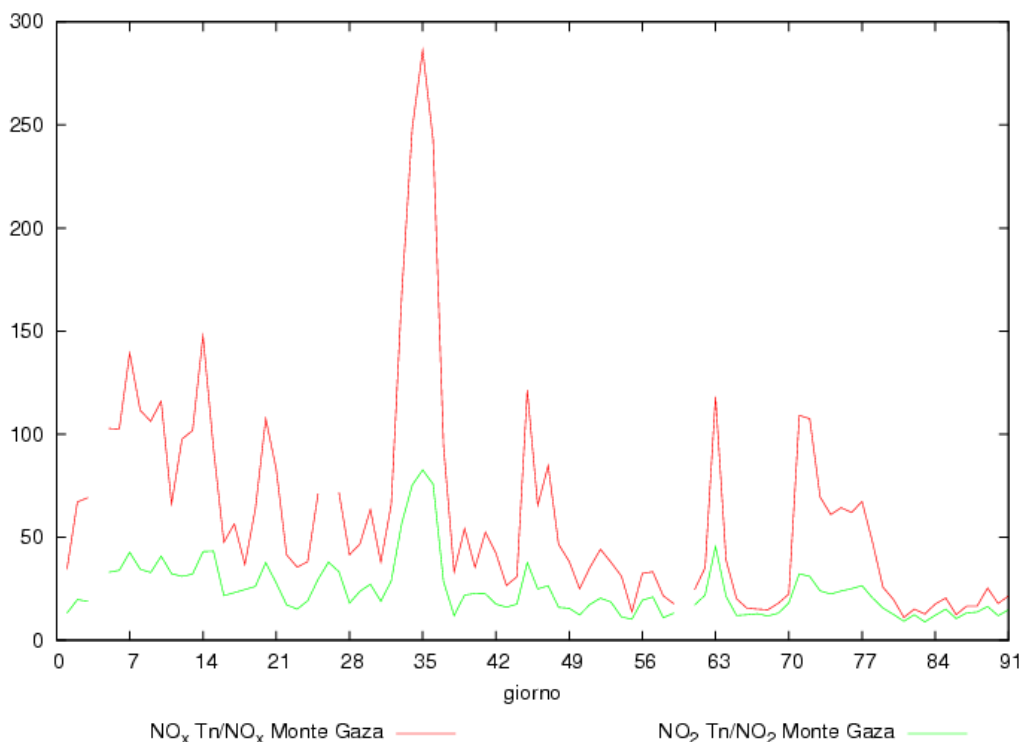


Fig. 22: Rapporto tra NO_x a Trento e Monte Gaza e tra NO_2 a Trento e Monte Gaza - media giornaliera

Come si può notare dai grafici, nella stazione di fondo la quasi totalità degli ossidi di azoto è data dall' NO_2 , la curva rossa e quella verde sono infatti molto vicine. Al contrario nella stazione urbana la maggior parte degli NO_x è data dall' NO , inquinante di prima formazione. Inoltre in alcuni momenti è molto marcata la differenza tra i rapporti $\text{NO}_x \text{ Trento} / \text{NO}_x \text{ Monte Gaza}$ e $\text{NO}_2 \text{ Trento} / \text{NO}_2 \text{ Monte Gaza}$, con il primo molto più elevato del secondo. Ciò sta ad indicare un effetto di accumulo di inquinante primario nei pressi della zona di emissione, con un effetto di "carico" che ha durata dell'ordine della settimana.

I grafici successivi mostrano l'andamento giornaliero e settimanale degli NO_x delle due stazioni considerate contemporaneamente. Per rendere i valori confrontabili si è reso necessario moltiplicare il valore degli NO_x della stazione di fondo per un fattore costante pari a 50. Dai grafici si nota un andamento concorde fra le due stazioni nel caso di media settimanale, per quanto con valori medi ovviamente diversi. Si può invece verificare come vi sia un ritardo dell'ordine di qualche giorno in alcuni picchi di concentrazione di NO_x e PM_{10} della stazione di fondo rispetto a quella di Trento. Questo è indizio di un tempo scala per i fenomeni di trasporto e trasformazione degli ossidi di azoto (per nucleazione eterogenea ed accrescimento) siano dell'ordine di qualche giorno.

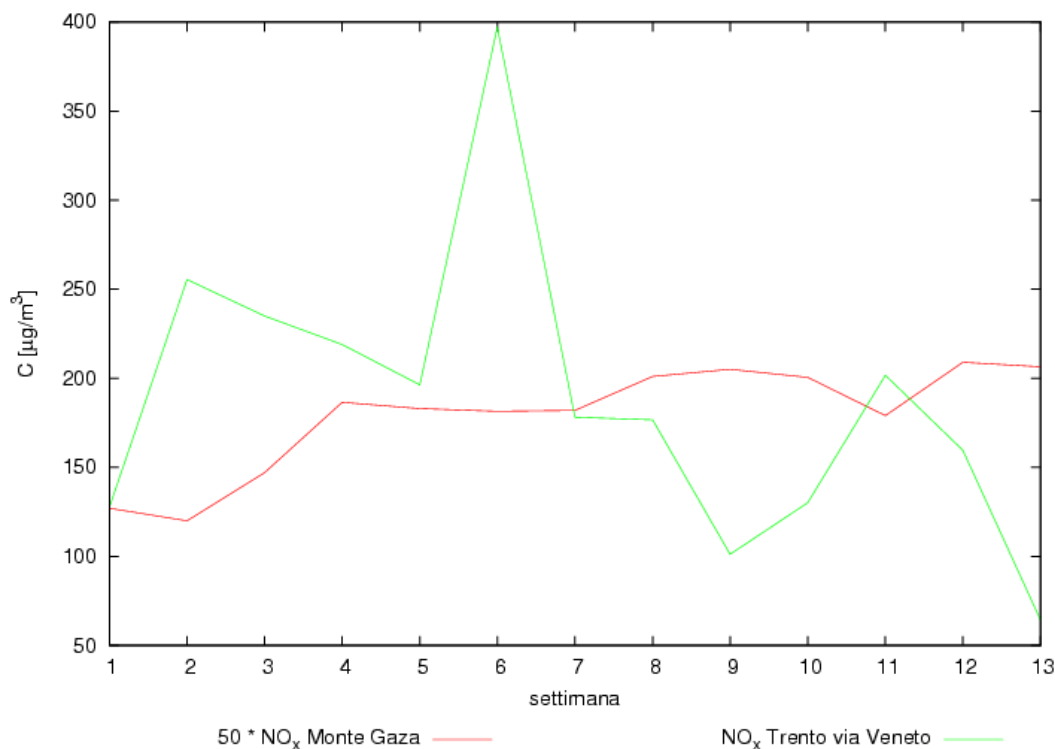


Fig. 23: Concentrazioni di NO_x a Monte Gaza (moltiplicate per un fattore pari a 50) e a Trento – media settimanale

Per quello che riguarda i rilevamenti di ozono, altro inquinante secondario, l'analisi dei dati orari e relativa analisi statistica, ha messo in evidenza quanto segue:

- l'analisi dei dati orari mensili evidenzia per tutti gli anni e per tutte le stazioni una bimodalità dell'andamento orario dell'ozono nel corso della giornata, con un massimo assoluto nelle ore centrali della giornata, intorno alle 15, correlato con la produzione fotochimica, ed un massimo relativo più basso durante le ore notturne, prima dell'alba, legato probabilmente al trasporto di ozono su scala regionale;
- i valori orari più elevati in tutti gli anni sono rilevati, come prevedibile, nei mesi estivi, mentre i valori più contenuti durante i mesi invernali, andamento piuttosto tipico dovuto alla produzione fotochimica legata alla radiazione solare e ai precursori dell'ozono;
- si riscontra una tendenza alla lieve diminuzione dei valori medi annuali di ozono, nel corso del periodo esaminato (2001-2005);
- sono evidenziabili alcuni casi di accumulo "fotochimico" tipico dei periodi estivi; le condizioni meteorologiche associate a tali eventi sono caratterizzate dalla presenza di strutture anticicloniche persistenti, con aumento della temperatura a tutte le quote e subsidenza sia a scala sinottica che locale. In tali condizioni i processi antagonisti alla formazione di ozono durante la notte non risultano efficaci; ne consegue che la produzione fotochimica durante il dì si aggiunge al quantitativo di ozono non distrutto durante la notte, determinando il fenomeno di accumulo.

L'andamento ed il trasporto di ozono nel periodo estivo è legato anche ai regimi di brezza, dominanti a scala locale nel periodo estivo, e caratterizzati dall'alternanza giornaliera tra la circolazione di valle e di monte. L'andamento orario bimodale della concentrazione di ozono nell'arco della giornata descritto poc'anzi, risente di questa variazione nel regime anemologico, come testimoniano i dati di Monte Gaza (stazione di fondo) posti a confronto con quelli delle zone urbane di Trento e Rovereto. Per un'analisi più approfondita di tale fenomeno, andranno individuate alcune stazioni ritenute più rappresentative della reale circolazione delle masse d'aria sul capoluogo e sulla bassa valle dell'Adige, anche attraverso un'attenta analisi della morfologia, fattore che in Trentino gioca un ruolo molto importante nella concentrazione e dispersione degli inquinati.