

■ Che cosa sta succedendo?

■ ■ Introduzione

La vita di tutti gli organismi viventi risente in maniera determinante della composizione di uno strato relativamente piccolo dell'atmosfera terrestre, detto strato limite planetario. L'altezza di questo strato può variare da qualche centinaio di metri a qualche Km, a seconda della stagione e dell'ora del giorno. Gli elementi principali che lo compongono sono l'azoto (78%) e l'ossigeno (21%) a cui si affiancano in percentuali ridotte altri gas quali argon, neon, elio, xeno e idrogeno. La qualità dell'aria che respiriamo è però determinata dalla presenza di altri microcostituenti, la cui concentrazione è estremamente variabile nel tempo e nello spazio quali i cosiddetti gas serra e i clorofluorocarburi, due famiglie di inquinanti la cui presenza in atmosfera è in grado di alterare i processi fisici che regolano i meccanismi di equilibrio atmosferico e di produrre fenomeni a scala planetaria. Un altro insieme di composti che ha un effetto diretto sulla vita degli organismi viventi e possono essere presenti in quantità rilevanti in prossimità del suolo è rappresentato da: ossidi di zolfo, ossidi di azoto, composti del carbonio e particolato.

La presenza di questi microcostituenti è strettamente legata all'attività antropica ed alla meteorologia. Nella provincia di Verona si possono distinguere tre zone: la zona montana e pedemontana caratterizzata da una relativamente scarsa pressione antropica, la zona di pianura centrale caratterizzata dall'asse di sviluppo Est-Ovest, Milano-Venezia, e dalla presenza di centri urbani ed industriali rilevanti, e la zona di pianura a Sud caratterizzata ad insediamenti abitativi e industriali diffusi, in cui si pratica un'agricoltura di tipo intensivo. La diffusione degli inquinanti rispecchia questa suddivisione territoriale: nelle zone maggiormente urbanizzate e lungo i principali assi viari la concentrazione di inquinanti supera spesso i limiti stabiliti dalla normativa attuale, favoriti da situazioni meteorologiche che soprattutto in inverno favoriscono l'accumulo degli inquinanti. Nella zona Nord la minor presenza di strade ad alto traffico, e le condizioni meteorologiche più favorevoli fanno sì che non si verifichino superamenti dei limiti.

Per meglio descrivere lo stato attuale della situazione dell'inquinamento atmosferico in provincia si tratteranno nel seguito i singoli inquinanti. Si analizzeranno, inoltre, singoli episodi acuti di inquinamento.

Figura 1: emissione di inquinanti (a sinistra), il cielo invernale sopra Verona (a destra)



■ ■ L'ozono troposferico

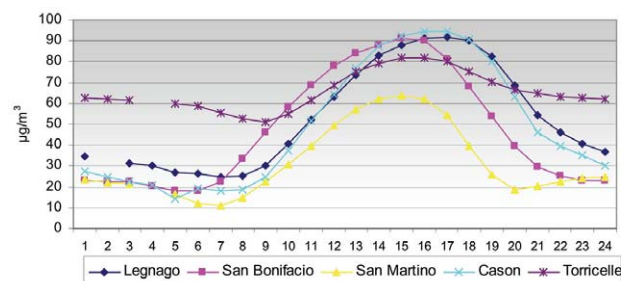
Due sono i tipi di ozono: nella stratosfera, ad un'altezza compresa fra 15 e 50 Km dalla superficie terrestre l'ozono forma uno strato protettivo che diminuisce la quantità di radiazioni ultraviolette che raggiungono la terra. Nella troposfera, lo strato atmosferico più vicino al suolo, l'ozono è un inquinante dannoso per la salute umana e per la vegetazione.

Le elevate concentrazioni di ozono che ogni anno si registrano nella pianura Padana ed in ampie zone dell'Europa sono causate dalle reazioni fotochimiche che coinvolgono numerose specie gassose presenti nello strato limite inquinato compreso fra la superficie terrestre ed un'altezza variabile da 300 m a qualche chilometro. L'ozono si forma in seguito all'ossidazione dei composti organici volatili (COV) e monossido di carbonio (CO) in presenza di ossidi di azoto (NOx) (che fungono da catalizzatori) e radiazione solare.

L'aria L'aria L'aria

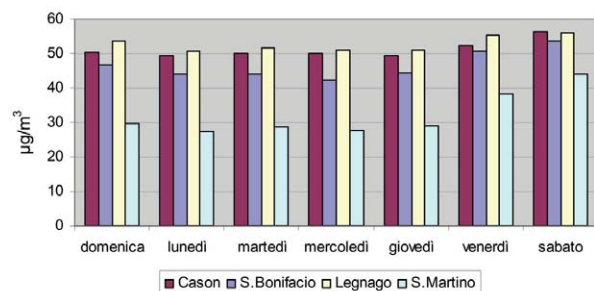
La concentrazione di ozono troposferico è, quindi, legata all'intensità della radiazione solare e mostra un andamento giornaliero tipico con un minimo nelle ore notturne ed un massimo nelle ore centrali della giornata (Figura 2). Nello strato limite sono i COV le sostanze più reattive, che costituiscono il principale carburante nel processo di formazione, mentre nelle zone rurali la reazione avviene soprattutto a causa della presenza di metano e CO, sempre in presenza di NO che funge da catalizzatore.

Figura 2 giorno tipo delle concentrazioni di ozono rilevate nell'anno 2003 presso le postazioni di Verona-Torricelle, Verona-Cason, Legnago, San Bonifacio e San Martino.



La formazione di ozono è un processo estremamente complesso: senza un'adeguata comprensione dei meccanismi coinvolti i provvedimenti volti alla diminuzione della concentrazione di questo inquinante possono avere effetti opposti: nell'ambiente urbano la diminuzione di ossidi di azoto può provocare un aumento locale della concentrazione di ozono, come avviene ad esempio nei fine settimana in cui il traffico, principale sorgente di NOx diminuisce (Figura 3). In questo caso determinante è la presenza di COV. In zone meno inquinate il processo di formazione dell'ozono è più legato alla presenza di NOx. È, quindi, evidente, che per ridurre efficacemente le concentrazioni di ozono è necessario agire su ambedue le classi di composti: sia i COV che gli ossidi di azoto ad una scala più ampia di quella locale visto che gli ossidanti vengono trasportati a lunghe distanze, oltre i confini nazionali.

Figura 3: settimana tipo delle concentrazioni di ozono per l'anno 2003 a Verona-Cason, San Bonifacio, Legnago, San Martino B.A. Si noti l'aumento delle concentrazioni rilevate nelle giornate di sabato e domenica.



La forte correlazione fra presenza di ossidi di azoto e produzione di ozono influenza la rappresentatività delle stazioni di monitoraggio, che dipende dalla presenza nelle vicinanze di sorgenti locali di ossidi di azoto. In termini generali si può affermare che le concentrazioni misurate da stazioni di traffico, poste nelle vicinanze di arterie trafficate sono rappresentative della situazione locale, quelle misurate dalle stazioni di background possono descrivere la situazione di aree vaste anche decine di Km. La rete di monitoraggio provinciale dell'ozono è costituita da tre stazioni collocate nel comune di Verona, Torricelle, Cason e via Roveggina e da tre stazioni collocate nei comuni di San Bonifacio, San Martino Buon Albergo e Legnago. Le stazioni di via

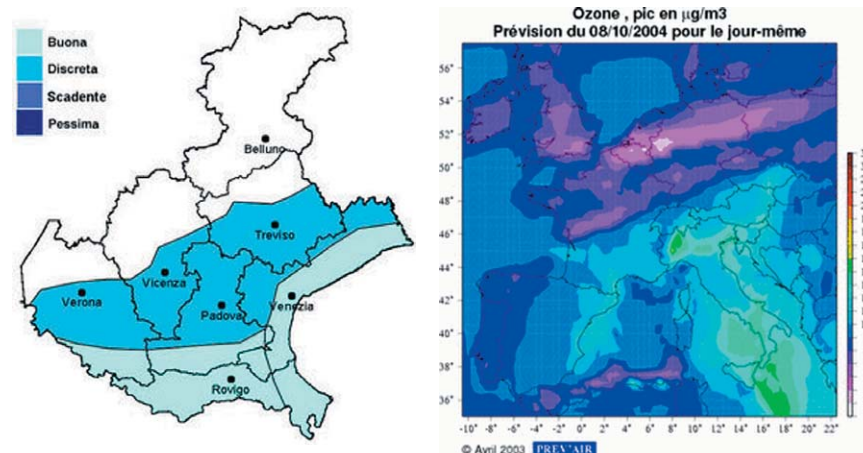
L'aria L'aria L'aria

Roveggina e di San Martino sono collocate nei pressi di strade di alto traffico e in zone fortemente urbanizzate, i dati rilevati sono quindi riferibili a situazioni locali. La stazione di Cason è situata in una zona di campagna ai margini della città di Verona lontana da sorgenti di NOx e fornisce quindi un'informazione sui livelli di fondo di ozono e così la centralina di Torricelle situata ad una quota di 250 m s.l.m. sulle colline nei pressi di Verona. Anche la stazione di Legnago, situata in zona periferica può essere considerata rappresentativa della zona Sud della provincia. La stazione di San Bonifacio è, invece, situata in ambiente urbano.

Le conseguenze principali dell'esposizione ad ozono sono legate a difficoltà respiratorie fra le persone sensibili e a danni agli ecosistemi, in particolare la diminuzione della resa e produzione di semi, danni fogliari. La presenza di ozono nella troposfera influisce anche sui cambiamenti climatici: si calcola, infatti che l'ozono troposferico aggravi del 16% l'effetto di riscaldamento climatico dovuto ai principali gas serra di origine antropica emessi fino ad oggi¹.

Le concentrazioni di ozono possono essere previste sulla base delle previsioni meteorologiche e grazie a modelli matematici su macroscale. Nella Figura 4 vengono riportate come esempio le previsioni della concentrazioni di ozono per il giorno 8 ottobre 2004 effettuate dal Centro meteorologico di Teolo dell'ARPA Veneto e le previsioni su scala europea effettuate dall'istituto francese PREV'AIR².

Figura 4: previsioni della concentrazione di ozono su scala locale (Veneto) e su macroscale (Europa) (fonte: ARPAV Centro Meteo Teolo, Prev'air www.prevair.org)



¹ "L'ambiente in Europa: seconda valutazione" EEA

² Prévvisions et observations de la qualité de l'air en France et en Europe - www.prevair.org

La normativa

Recentemente è stata recepita la direttiva 2002/3/CE (cosiddetta direttiva Ozono) e di conseguenza sono decaduti i precedenti decreti che disciplinavano la materia. Attualmente i limiti per la concentrazione nell'aria ambiente di ozono sono i seguenti:

Tabella 1: limiti di concentrazione di ozono stabiliti dalla normativa vigente.

Protezione della salute umana: esposizione acuta

Tipologia	Parametro	Valore	Note	Entrata in vigore
Soglia di informazione	Media di 1 ora	180 mg/m ³	-----	Dalla data di entrata in vigore del decreto
Soglia di allarme	Media di 1 ora	240 mg/m ³	Ai fini dell'adozione di azioni a breve termine per la protezione della popolazione il superamento di tale soglia deve essere misurato o previsto per tre ore consecutive.	Dalla data di entrata in vigore del decreto

Protezione della salute umana: esposizione cronica

Tipologia	Parametro	Valore	Note	Entrata in vigore
Valore bersaglio per la protezione della salute umana	Media su 8 ore massima giornaliera	120 mg/m ³	Da non superare per più di 25 giorni per anno civile come media su 3 anni. Se non è possibile calcolare la media su 3 anni, in quanto non è disponibile un insieme completo di dati, è possibile utilizzare i dati validi relativi ad un anno.	Dal 2010. La verifica del conseguimento del valore bersaglio è effettuata la prima volta nel 2013 per i tre anni precedenti.
Obiettivo a lungo termine per la protezione della salute umana	Media su 8 ore massima giornaliera nell'arco di un anno civile	120 mg/m ³	-----	Dalla data di entrata in vigore del decreto

Protezione degli ecosistemi

Tipologia	Parametro	Valore	Note	Scadenza
Valore bersaglio per la protezione della vegetazione	AOT40, calcolato sulla base dei valori di 1 ora da maggio a luglio	18000 mg/m ³ h	Da calcolare come media su 5 anni. Se non è possibile calcolare la media su 5 anni, in quanto non è disponibile un insieme completo di dati, è possibile utilizzare i dati validi relativi a 3 anni	Dal 2010. La verifica del conseguimento del valore bersaglio è effettuata la prima volta nel 2015 per i cinque anni precedenti.
Obiettivo a lungo termine per la protezione della vegetazione	AOT40, calcolato sulla base dei valori di 1 ora da maggio a luglio	6000 mg/m ³ h	-----	Dalla data di entrata in vigore del decreto

Significativa è l'introduzione di un nuovo parametro, AOT40, per la protezione degli ecosistemi definito come la somma delle eccedenze il valore orario di concentrazione di 40 µg/m³, nel periodo estivo. Nel seguito, nel valutare gli indicatori di stato relativi alla concentrazione di ozono si farà sempre riferimento ai parametri introdotti dal nuovo decreto, anche per gli anni antecedenti il 2004.

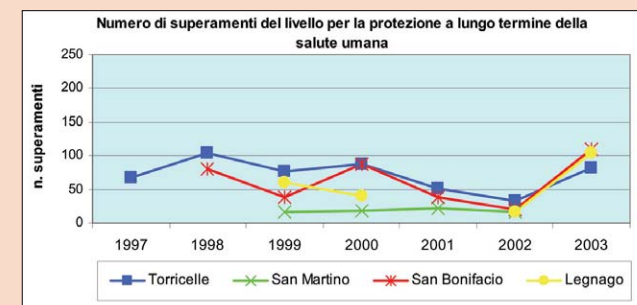
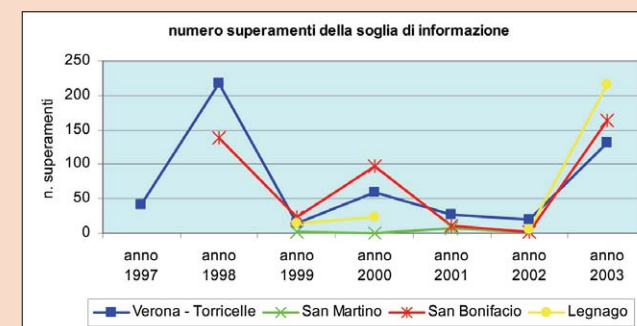
NOME INDICATORE: LIVELLO DI OZONO

TIPO DI INDICATORE: DRIVER - PRESSIONE - STATO - IMPATTO - RISPOSTA

DISPONIBILITÀ DATI: SCARSA - SUFFICIENTE - OTTIMA

Descrizione dell'indicatore: viene rappresentato il numero annuale di superamenti orari della soglia di informazione (180 mg/m³) previsto dal D.M. 25.11.1994, nel periodo 1997-2003, registrati nelle stazioni di monitoraggio di Verona e provincia. In seguito al recepimento della direttiva 2002/3/CE sono abrogate le disposizioni concernenti l'ozono contenute nel DPCM 28/03/83, DM 20/05/91, DM 06/05/92, DM 15/04/94, DM 25/11/94, DM 16/05/96. Il decreto prevede l'introduzione di nuovi valori limite (soglie di allarme e informazione, valori bersaglio e obiettivi a lungo termine) sia per la valutazione dell'esposizione della popolazione che della vegetazione e delle foreste. Si è quindi voluto rappresentare anche l'andamento negli anni 1997-2003 dell'obiettivo a lungo termine per la protezione della salute umana, pari a 120 mg/m³, inteso come media su 8 ore massima giornaliera nell'arco di un anno civile.

Rappresentazione dell'indicatore: sono rappresentati in diversi colori gli andamenti del numero di superamenti della soglia di informazione e il valore massimo della media di otto ore registrati presso le stazioni di Verona-Torricelle (azzurro), San Bonifacio (rosso), San Martino Buon Albergo (verde) e Legnago (giallo).



Commento del risultato: negli ultimi 6 anni si sono avuti in media più di 50 superamenti l'anno del livello per la protezione della salute umana pari a 120 µg/m³.

■ ■ Le polveri sottili (PM10)

Con il termine PM10 si indica la frazione del particolato con diametro aerodinamico inferiore a 10 µm. Il particolato non è un composto elementare semplice, bensì un insieme di elementi di diverse specie chimiche e proprietà fisiche: le particelle possono trovarsi sia sotto forma solida che liquida, con granulometria molto diversa da cui un diverso tempo di permanenza in atmosfera e quindi la possibilità di trasporto a lungo raggio. La concentrazione di polveri fini misurata nell'atmosfera è il risultato di fenomeni complessi che coinvolgono sia le fonti antropogeniche primarie (traffico, industria), sia fonti naturali (l'erosione, i pollini, il trasporto di polveri a lunga distanza), sia reazioni chimiche fra specie diverse. A determinare la concentrazione di PM10 contribuisce una parte cosiddetta primaria direttamente emessa dalle diverse fonti di emissione ed una parte secondaria dovuta in prevalenza all'ossidazione in atmosfera di solfati, nitrati e composti organici volatili.

Fra le fonti di emissione di PM10 primario rivestono importanza alcune sorgenti di tipo naturale quali la sospensione del particolato, la produzione di polveri da attività di scavo, l'estrazione e la lavorazione di materiali lapidei. La frazione secondaria del PM10 è dovuta a reazioni fotochimiche che avvengono in atmosfera fra i precursori, rappresentati principalmente da SO₂, ammoniacale e NO_x. Le reazioni fotochimiche ed i processi di nucleazione che portano alla crescita del PM10 in atmosfera sono ancora in parte poco noti. In particolare la componente secondaria originata dall'ossidazione dei composti organici volatili è difficile da misurare e rappresentare tramite modelli di calcolo. In termini molto generali si può dire che in ambiente urbano il traffico stradale, in particolare i veicoli diesel, rappresenta una sorgente significativa sia di PM10 secondario che primario. La composizione chimica delle polveri PM10 comprende sostanze tossiche e/o cancerogene come metalli pesanti (piombo, cadmio, etc.) e idrocarburi policiclici aromatici. Il diametro delle particelle in sospensione è indicativamente correlato anche alla fonte di provenienza come indicato nella Tabella 2.

I principali meccanismi di rimozione dall'atmosfera sono la sedimentazione, che però è lenta e riguarda principalmente le particelle di dimensioni maggiori di 10 µm, e il dilavamento da parte delle piogge, efficace per particelle maggiori di 2 µm; particelle di dimensioni ancora minori vengono rimosse per coagulazione in particelle di dimensioni maggiori, che subiscono poi uno dei due processi precedenti. L'andamento meteorologico gioca un ruolo essenziale nel determinare le concentrazioni di particolato che si misurano al suolo: la presenza di precipitazioni e il rimescolamento degli strati d'aria più vicini al suolo, operato da ventilazione di tipo termico (breeze) o dinamico (vento di gradiente), influiscono direttamente sui processi di rimozione. Situazioni di calma dovuta a situazioni di blocco anticiclonico, cioè un prolungato periodo anche oltre ai 30 giorni caratterizzato da alta pressione, determinano condizioni di scarso rimescolamento e conseguente progressivo accumulo delle polveri e degli inquinanti in genere.

Gli effetti nocivi sull'uomo si riscontrano sia a carico dell'apparato respiratorio, sia a carico del sistema cardiocircolatorio. Le particelle più grosse (> 5 µm) sono in parte trattenute nelle cavità nasali e nella gola, quelle con diametro inferiore a 5 µm possono sfuggire alle ciglia arrivando fino ai bronchi, quelle di dimensioni comprese fra 0.1-1.1 µm raggiungono gli alveoli polmonari. Quest'ultima frazione può essere assorbita dal sangue e provocare intossicazione, mentre le frazioni più grosse possono provocare fenomeni irritativi nei tratti delle vie respiratorie dove si depositano. Gli effetti dell'esposizione nel lungo periodo comprendono tosse e catarro, diminuzione della capacità polmonare, bronchite, tumore polmonare, aggravamento di problemi respiratori e cardiaci, asma.

Tabella 2: principali fonti di provenienza dei diversi particolati.

Diametro	Provenienza
> 10 µm	Processi meccanici (erosione, macinazione, etc.), polverizzazione di materiali da parte di autoveicoli
1-10 µm	Particolari tipi di terreno, polveri prodotte da industrie, sali marini, traffico veicolare
0.1-1 µm	Combustione e aerosol fotochimica
< 0.1 µm	Particelle non sempre identificabili chimicamente, originate quasi interamente da processi di combustione

La normativa

Il decreto ministeriale n. 60 dell'aprile 2002 ha recepito la Direttiva CEE 69/2000 che fissa per il PM10 valori limiti per la protezione della salute umana, distinguendo fra due tipi di esposizione, acuta e cronica. L'entrata in vigore dei limiti è graduale, avverrà attraverso varie fasi entro il 2010. Si riportano nella tabella seguente (Tabella 3) i valori limite per l'esposizione acuta e cronica ed i valori limite da rispettare nelle fasi intermedie.

Tabella 3: limiti di concentrazione di PM10 stabiliti dalla normativa vigente.

Esposizione acuta			
Inquinante	Tipologia	Valore	Riferimento legislativo
PM10 Fase 1	Limite di 24 h da non superare più di 35 volte per anno civile	1 gennaio 2002: 65 µg/m³	DM 60/02
		1 gennaio 2003: 60 µg/m³	
		1 gennaio 2004: 55 µg/m³	
		1 gennaio 2005: 50 µg/m³	
PM10 Fase 2**	Limite di 24 h da non superare più di 7 volte per anno civile	1 gennaio 2010: 50 µg/m³	DM 60/02
Esposizione cronica			
Inquinante	Tipologia	Valore	Riferimento legislativo
PM10 Fase 1	Valore limite annuale Anno civile	1 gennaio 2002: 44.8 µg/m³	DM 60/02
		1 gennaio 2003: 43.2 µg/m³	
		1 gennaio 2004: 41.6 µg/m³	
		1 gennaio 2005: 40.0 µg/m³	
PM10 Fase 2**	Valore limite annuale Anno civile	1 gennaio 2005: 30 µg/m³	DM 60/02
		1 gennaio 2006: 28 µg/m³	
		1 gennaio 2007: 26 µg/m³	
		1 gennaio 2008: 24 µg/m³	
		1 gennaio 2009: 22 µg/m³	
		1 gennaio 2010: 20 µg/m³	
** valori limite indicativi, da rivedere con successivo decreto sulla base della futura normativa comunitaria; margine di tolleranza da stabilire in base alla fase 1.			

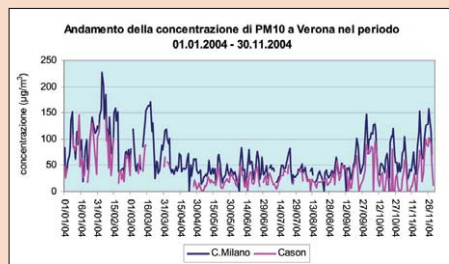
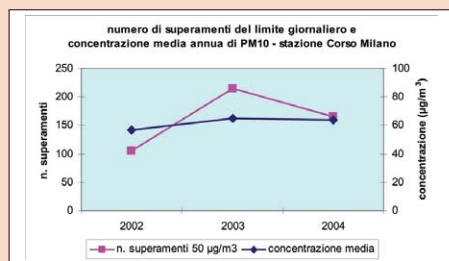
NOME INDICATORE: LIVELLO DI POLVERI SOTTILI IN AMBITO URBANO

TIPO DI INDICATORE: DRIVER - PRESSIONE - **STATO** - IMPATTO - RISPOSTA

DISPONIBILITÀ DATI: SCARSA - SUFFICIENTE - **OTTIMA**

Descrizione dell'indicatore: È stato considerato l'andamento del numero di superamenti del limite giornaliero per l'esposizione acuta pari a $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e la concentrazione media annua registrata presso la stazione di monitoraggio di Corso Milano a Verona nel periodo 2002 - 2004. L'anno 2004 non è completo: al momento della redazione di questo rapporto erano disponibili i dati fino al giorno 1 dicembre 2004. Per l'anno 2004 è riportato anche l'andamento della concentrazione giornaliera misurata in Corso Milano e nella postazione di background urbano di Cason.

Rappresentazione dell'indicatore: viene rappresentato l'andamento del valore medio della concentrazione giornaliera di PM10 e l'andamento annuale del numero di superamenti del limite giornaliero pari a $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ misurati presso la stazione di Corso Milano a Verona nel periodo 2002-2004.



Commento del risultato: Il numero di superamenti del valore limite giornaliero per l'esposizione acuta eccede di gran lunga i 35 previsti come massimo dal DM 60/02. La concentrazione media annua supera il valore limite di $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in tutti gli anni considerati. Anche nel 2004 in cui si hanno a disposizione l'88% dei dati il numero di superamenti è elevato. In particolare si sottolinea come nell'anno 2004 è stato misurato il valore massimo di concentrazione pari a $227 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Dal novembre 2003 è in funzione la stazione di misura del PM10 a Cason ai margini della cerchia urbana di Verona: è così disponibile un dato riferibile al valore di fondo urbano delle polveri sottili. Nel grafico a destra viene rappresentato l'andamento della concentrazione di PM10 misurata a Cason e in Corso Milano: nella postazione di fondo i valori di PM10 sono in genere inferiori a quanto rilevato nella stazione di traffico di Corso Milano. Nei periodi di prolungata stabilità anticiclonica, come quelli che si verificano nei periodi invernali in cui non vi è dispersione degli inquinanti, la concentrazione di PM10 rilevata nelle due stazioni non differisce significativamente.

NOME INDICATORE: LIVELLO DI POLVERI SOTTILI IN PROVINCIA DI VERONA

TIPO DI INDICATORE: DRIVER - PRESSIONE - **STATO** - IMPATTO - RISPOSTA

DISPONIBILITÀ DATI: SCARSA - SUFFICIENTE - **OTTIMA**

Descrizione dell'indicatore: nel corso degli anni 2002-2004 sono state effettuate numerose campagne di misura della qualità dell'aria con la stazione mobile. Vengono posti a confronto i risultati delle misure di PM10 in diverse località della provincia con quanto rilevato nello stesso periodo presso la stazione di Verona Corso Milano e, quando disponibili, con i dati di Verona - Cason. Le campagne di misura hanno riguardato i comuni della cintura urbana di Verona, comuni molto popolosi come Legnago e comuni situati in aree "remote" della provincia quali Boscochiesanuova, Vestenanova, Roverchiara. Sono previste in ogni comune due campagne di monitoraggio della durata di circa 15 giorni: una in periodo estivo ed una in periodo invernale. È stato riportato il valore di PM10 anche per quei comuni in cui è stata completata una sola campagna.

Rappresentazione dell'indicatore: nella tabella viene riportato il valore medio misurato nelle campagne di monitoraggio e la percentuale di giorni di superamento del valore limite di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ rispetto al totale dei giorni di misura. Sono riportati, inoltre, gli stessi dati relativi alle stazioni di Verona Corso Milano e, ove disponibili, Verona - Cason (l'asterisco indica che sono disponibili solo i dati relativi alla campagna del 2004). Nella colonna "Rischio PM10" è riportato un giudizio sintetico relativo alla qualità dell'aria nel comune. Il simbolo su sfondo bianco indica che sono disponibili i dati relativi ad un solo periodo (estivo o invernale) e quindi il giudizio dovrà essere confermato dalla successiva campagna di misura.

PROVINCIA DI VERONA							
COMUNI MONITORATI Campagne 2003/2004	RISCHIO PM10	periodo	Valore medio periodo	%giorni sup/ giorni mon.	Valore medio periodo Corso Milano VR	%giorni sup/ giorni mon. Corso Milano VR	Valore medio periodo Cason VR
Boscochiesan.	☺	9/2 - 23/3/04 6/8 - 21/8/04	23	0	67	49%	37
San Giovanni Lupatoto	☹	19/5 - 2/6/04	33	6%	39	27%	25
Caldiero	☹	08/8 - 22/8/04	46	40%	48	47%	28
Sona	☹	10/9 - 1/10/04	65	15%	66	12%	-
Castel d'Azzano	☹	18/12/03 - 4/1/04 15/7 - 5/8/04	48	30%	53	37%	31*
Villafranca	☹	9/9 - 1/10/04	64	57%	67	50%	49
Buttapietra	☹	7/5 - 19/5/04	35	15%	38	15%	17
Legnago	☹	27/3 - 9/4/04	44	48%	75	64%	39
Montecchia di Corsara	☹	8/1 - 23/1/04	67	80%	83	67%	70
Vestenanova	☹	14/11 - 29/11/03 14 - 18/8/04 25/9 - 10/10/04	59	57%	79	64%	52*
San Giovanni Ilarione	☹	10/12 - 24/12/03 2/9 - 17/9/04	43	31%	64	55%	39*
Vago	☹	9/7 - 23/7/04	39	20%	45	27%	24
Roverchiara	☹	10/4 - 24/4/04	33	0%	51	33%	20
Sanguinetto	☹	13/10 - 28/10/04	58	38%	69	80%	38

Commento del risultato: la concentrazione di PM10 nei comuni della cintura di Verona raggiunge in genere valori di poco inferiori a quanto rilevato presso la stazione di traffico di Verona - corso Milano. Solo nel comune di Boscochiesanuova è stato rilevato un valore di concentrazione di PM10 inferiore anche a quanto rilevato nella stazione di fondo urbano di Verona-Cason.

■ ■ Il biossido di azoto (NO_2)

Con il termine ossidi di azoto si indica una famiglia di composti i più caratteristici dei quali sono il monossido (NO) ed il biossido di azoto (NO_2). Il monossido di azoto (NO) è un gas incolore e inodore che si forma in tutti i processi di combustione. Nei processi di combustione si forma anche una piccola quantità di biossido (circa il 5%). Quest'ultimo è considerato un inquinante secondario perché deriva principalmente dall'ossidazione dell'ossido di azoto (NO), favorita dalla presenza di ossidanti quali l'ozono. Gli ossidi di azoto permangono in atmosfera per pochi giorni (4-5) e sono rimossi in seguito a reazioni chimiche che portano alla formazione di acidi e di sostanze organiche.

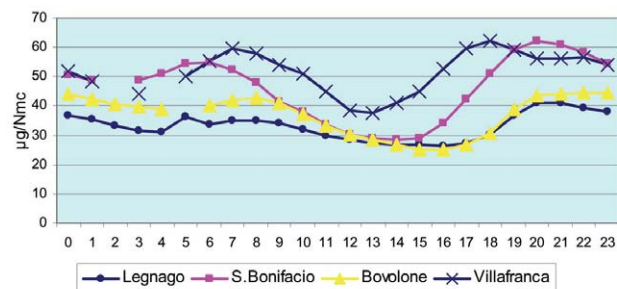
Gli effetti negativi sull'ambiente dovuti ad alte concentrazioni di NO_2 sono legati alla formazione di smog fotochimico in presenza di irraggiamento solare, alla acidificazione delle piogge ed alla riduzione dell'ozono stratosferico.

Il biossido di azoto (NO_2) è un gas dal colore rosso-bruno e dall'odore pungente, molto più tossico dell'NO, a causa della sua azione ossidante sul ferro contenuto nell'emoglobina, che rende quest'ultima incapace di trasportare l'ossigeno. Inoltre, sempre a causa delle sue proprietà ossidanti, può provocare infiammazione delle vie aeree, in particolare in soggetti asmatici o con malattie croniche dell'apparato respiratorio.

Gli ossidi di azoto sono rilevati dalle stazioni fisse di monitoraggio della rete urbana e provinciale di qualità dell'aria. In provincia di Verona le stazioni di rilevamento degli ossidi di azoto sono posizionate a Bovolone, Villafranca, San Bonifacio, San Martino Buon Albergo e Legnago.

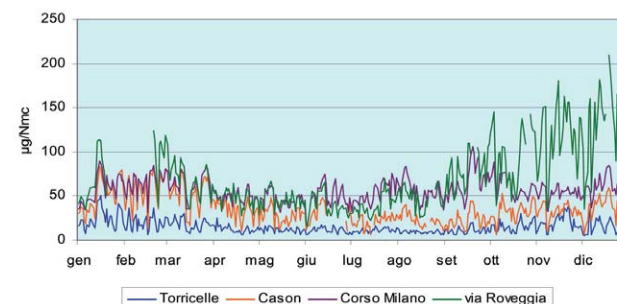
In ambiente urbano una delle fonti principali di ossidi di azoto è rappresentata dai motori a combustione delle automobili. L'andamento giornaliero delle concentrazioni di biossido di azoto mostra due picchi caratteristici in corrispondenza delle ore di maggior traffico, come si può vedere nel grafico di Figura 5. I due massimi sono particolarmente pronunciati presso le stazioni di misura di San Bonifacio e Villafranca poste in prossimità di una strada e sono meno evidenti presso le stazioni di Legnago e Bovolone situate in una zona residenziale, interessata dal solo traffico locale.

Figura 5: andamento giornaliero (giorno tipo) del biossido di azoto rilevato in alcune stazioni di misura nell'anno 2003



In inverno in condizioni di inversione termica si hanno degli episodici aumenti nelle concentrazioni di questo inquinante negli strati più freddi e vicini al suolo dell'atmosfera, come si può notare dall'andamento delle concentrazioni medie giornaliere riportate in Figura 6: questo non è collegato ad una variazione nelle fonti emissive quanto piuttosto ad una diversa diffusione dell'inquinamento.

Figura 6: andamento della concentrazione media giornaliera di NO_2 rilevata presso alcune stazioni di monitoraggio della città di Verona



La normativa

L'entrata in vigore del Decreto Ministeriale n. 60, il 28 aprile 2002 ha modificato i valori dei limiti di concentrazione nell'aria ambiente per numerosi inquinanti fra cui il biossido di azoto. In particolare dal 28 aprile 2002 sono in vigore i nuovi limiti aumentati del margine di tolleranza, riportati in Tabella 4.

Tabella 4: limiti di concentrazione di biossido di azoto stabiliti dalla normativa vigente.

Esposizione acuta				
Inquinante	Tipologia	Valore	Riferimento legislativo	Scadenza
NO_2	Soglia di allarme	400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	DM 60/02	
NO_2	Limite orario da non superare più di 18 volte per anno civile	1 gennaio 2002: 280 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 1 gennaio 2003: 270 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 1 gennaio 2004: 260 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 1 gennaio 2005: 250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 1 gennaio 2006: 240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 1 gennaio 2007: 230 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 1 gennaio 2008: 220 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 1 gennaio 2009: 210 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 1 gennaio 2010: 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	DM 60/02	
Esposizione cronica				
NO_2	98° percentile delle concentrazioni medie di 1h rilevate durante l'anno civile	200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	DPCM 28/03/83 e succ.mod.	Fino 31/12/2009
NO_2	Valore limite annuale per la protezione della salute umana Anno civile	1 gennaio 2002: 56 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 1 gennaio 2003: 54 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 1 gennaio 2004: 52 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 1 gennaio 2005: 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 1 gennaio 2006: 48 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 1 gennaio 2007: 46 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 1 gennaio 2008: 44 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 1 gennaio 2009: 42 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 1 gennaio 2010: 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	DM 60/02	
Protezione degli ecosistemi				
NO_2	Limite protezione ecosistemi Anno civile	30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dal 19 luglio 2001	DM 60/02	

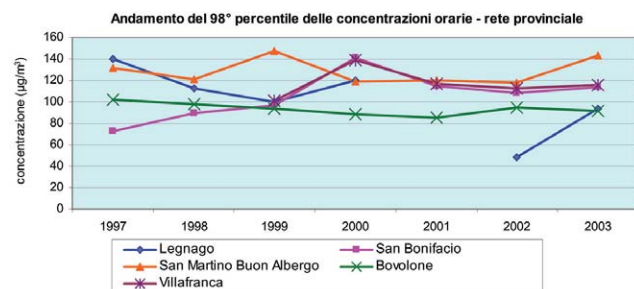
Per l'esposizione acuta, il valore limite orario è $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$, pari alla soglia di attenzione stabilita dal DM 25.11.1994 ora abrogato. Tale limite entrerà in vigore dal 1 gennaio 2010, nel frattempo il riferimento è dato dal valore limite aumentato del margine di tolleranza, che diminuisce progressivamente di anno in anno fino a raggiungere lo zero.

Parallelamente fino alla data di entrata in vigore dei valori limite "puri" (quelli non aumentati del margine di tolleranza) restano in vigore anche i valori limite stabiliti dal DPCM 28/03/83, e successive modifiche, ciò significa che il 98° percentile delle concentrazioni medie di 1 ora di NO_2 misurate nell'anno civile non deve superare i $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Per quanto riguarda la protezione degli ecosistemi il valore limite è $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ da valutare sull'anno civile.

Se si analizzano gli andamenti della concentrazione di NO_2 rilevata dalle stazioni delle reti di monitoraggio provinciale e della città di Verona si nota che il valore limite relativo al 98° percentile delle concentrazioni medie di 1h viene sempre rispettato (si veda Figura 7). Il valore medio delle concentrazioni orarie è, invece, sempre superiore al valore limite di $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$, in quasi tutte le postazioni della provincia con l'eccezione di Bovolone e Legnago. Nella città di Verona viene rispettato solo presso le stazioni di fondo di Cason e Torricelle.

Figura 7: andamento del 98° percentile delle concentrazioni orarie di NO_2 rilevate dalla rete provinciale di controllo della qualità dell'aria negli anni 1997-2003



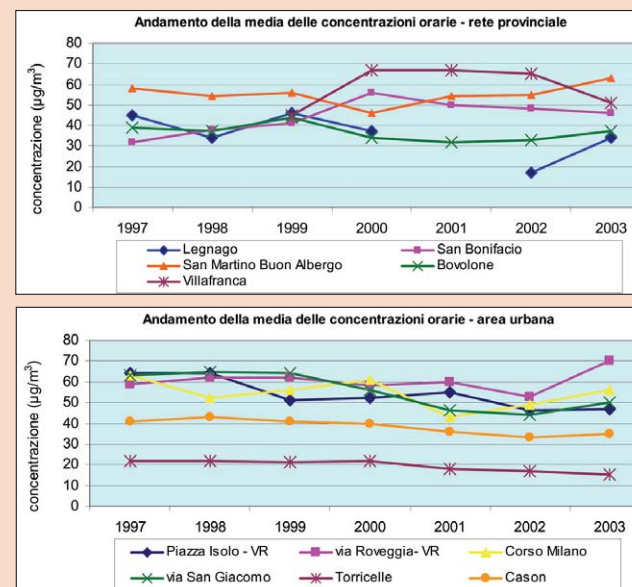
NOME INDICATORE: LIVELLO DI BISSIDO DI AZOTO (NO_2)

TIPO DI INDICATORE: DRIVER - PRESSIONE - STATO - IMPATTO - RISPOSTA

DISPONIBILITÀ DATI: SCARSA - SUFFICIENTE - OTTIMA

Descrizione dell'indicatore: è stato considerato l'andamento delle medie annuali e del 98° percentile della concentrazione oraria di NO_2 rilevata dalle stazioni di misura della rete provinciale di qualità dell'aria.

Rappresentazione dell'indicatore: sono rappresentati in diversi colori gli andamenti della media annuale e del 98° percentile delle concentrazioni orarie misurati presso le stazioni di Legnago (azzurro), San Bonifacio (viola), San Martino Buon Albergo (arancione), Villafranca (marrone) e Bovolone (verde) e nell'area urbana.



Commento del risultato: il trend degli ultimi 6 anni non mostra diminuzioni né in area urbana, né nelle località di provincia monitorate. Il valore limite pari a $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$, che entrerà in vigore il 1 gennaio 2010, viene rispettato solo presso le stazioni di monitoraggio di Bovolone e Legnago e presso la stazione di Torricelle - Verona, classificata come stazione di fondo urbano. Nell'anno 2003, il limite per la protezione della salute umana, più il margine di tolleranza, pari a $54 \mu\text{g}/\text{m}^3$ fino al 31 dicembre 2003, viene superato solo presso la stazione di San Martino Buon Albergo.

Il limite per la protezione degli ecosistemi viene superato in tutte le stazioni, con l'eccezione della stazione di Torricelle a Verona. Nonostante la riduzione nelle emissioni dei precursori di questo inquinante che si è avuta nell'ultimo decennio grazie all'introduzione di macchine meno inquinanti, ad un maggior controllo delle emissioni industriali, ad una diffusione del metano come combustibile per riscaldamento, è necessario quindi un ulteriore sforzo per riportare le concentrazioni di NO_2 all'interno dei limiti previsti.

■ ■ Il monossido di carbonio (CO)

Qualsiasi processo di combustione incompleta provoca la produzione di monossido di carbonio (CO), un gas incolore ed inodore che a concentrazioni molto elevate, normalmente non riscontrabili nell'aria ambiente, è fortemente dannoso per la salute. Una quota notevole di CO deriva da processi naturali connessi all'ossidazione atmosferica di metano e di altri idrocarburi normalmente emessi nell'atmosfera, dalle emissioni degli oceani e paludi, da incendi forestali, da acqua piovana e tempeste elettriche.

Le fonti antropiche di monossido di carbonio sono rappresentate da tutte le attività che comportano l'utilizzo di combustibili fossili, in particolare il traffico stradale (motori a benzina) è la sorgente principale (60% circa su scala nazionale), seguito dall'industria metallurgica (16% circa) e dall'uso domestico e commerciale (14% circa).

Nelle aree urbane i trasporti incidono per oltre il 90% delle emissioni di monossido di carbonio: questo, accompagnato dal fatto che i veicoli emettono praticamente a livello del suolo (per cui le alte concentrazioni degli inquinanti emessi si fanno sentire soprattutto nelle immediate vicinanze dei punti di emissione), li rende le fonti di impatto più importanti su scala locale.

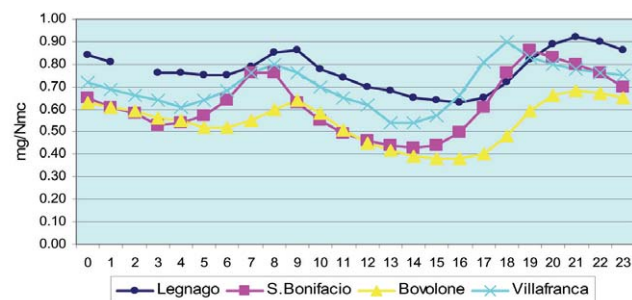
Grazie ad un migliore controllo delle emissioni degli autoveicoli le emissioni di CO sono diminuite del 25% dal 1990 al 1998. Il CO è un inquinante primario che solo lentamente viene ossidato a CO₂; il tempo di permanenza in atmosfera può arrivare a sei mesi.

Il monossido di carbonio ha effetti trascurabili sull'ambiente, mentre può essere estremamente dannoso per l'uomo. Viene assorbito rapidamente negli alveoli polmonari, nel sangue la sua affinità con l'emoglobina è 200 volte più grande di quella dell'ossigeno, quindi sostituisce l'ossigeno già a basse concentrazioni. Questo riduce la capacità del sangue di trasportare l'ossigeno, poiché al posto di ossiemoglobina si forma carbossiemoglobina (COHb): si possono avere effetti significativi anche a concentrazioni di qualche per cento di COHb in tessuti che sono già privati di ossigeno, magari a causa di uno scarso apporto di sangue. I sintomi progressivi di avvelenamento da CO sono mal di testa, vomito e, nei casi più gravi, perdita di coscienza e morte.

In individui sani, non fumatori, gli effetti dell'esposizione a CO appaiono già a concentrazioni di COHb nel sangue pari al 5%. In individui con problemi circolatori già a concentrazioni pari al 2.5% si possono notare effetti sull'attività elettrica del cuore. Alle concentrazioni che si rilevano normalmente nell'aria ambiente non si hanno effetti acuti, bensì si sospettano danni a carico del sistema cardiocircolatorio.

La concentrazione di CO nell'aria ambiente viene monitorata dalla rete di qualità dell'aria provinciale (postazioni di Legnago, Villafranca, Bovolone, San Martino e San Bonifacio) e dalla rete di monitoraggio della qualità dell'aria di Verona (postazioni di Piazza Isolo, ora Piazza Bernardi, via Roveggia, via San Giacomo, corso Milano e Torricelle).

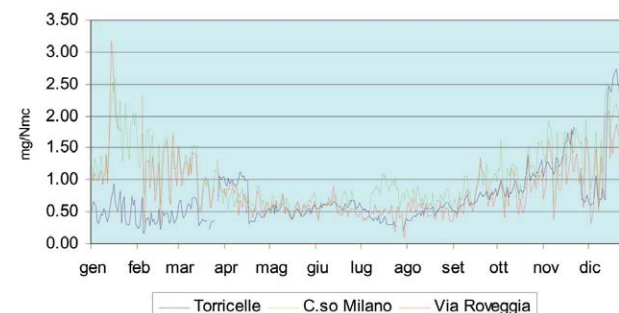
Figura 8: andamento giornaliero (giorno tipo) del monossido di carbonio rilevato in alcune stazioni di misura nell'anno 2003



La concentrazione di CO varia giornalmente secondo un andamento caratterizzato da due massimi in corrispondenza dei momenti di maggior flusso veicolare: al mattino fra le 8 e le 9 ed alla sera tra le 18 e le 20 (Figura 8).

Durante il periodo invernale la diminuzione dell'altezza dello strato di rimescolamento fa sì che le concentrazioni di monossido di carbonio aumentino, a parità di emissione. Nella Figura 9 è riportato l'andamento delle concentrazioni giornaliere durante l'anno 2003 in alcune stazioni di rilevamento della città di Verona: si nota un aumento, in particolare a gennaio e dicembre, associato a situazioni di calma anemologica con conseguente inibizione della diffusione degli inquinanti. Soprattutto nel caso delle rilevazioni effettuate presso la stazione di misura di Verona - Torricelle, stazione di fondo lontana da fonti di emissione, l'aumento nei mesi invernali è da collegare alla variazione dei parametri meteorologici.

Figura 9: andamento della concentrazione media giornaliera di CO rilevata presso alcune stazioni di monitoraggio della città di Verona durante l'anno 2003



La normativa

Dal 28 aprile 2002 è entrato in vigore il DM n.60 che recepisce la direttiva CEE 69/2000 e stabilisce per il CO un valore limite giornaliero pari a 10 mg/m³ inteso come valore massimo della media mobile sulle otto ore. Fino al 1 gennaio 2005 il valore limite è fissato a 10 mg/m³ più il margine di tolleranza: tale margine di tolleranza viene diminuito di anno in anno fino a raggiungere lo zero il 1 gennaio 2005.

Parallelamente, fino alla data di entrata in vigore dei valori limite "puri" (quelli non aumentati del margine di tolleranza), restano in vigore anche i valori limite di cui all'allegato I, tabella A del DPCM 28/03/83. I limiti di concentrazione per il monossido di carbonio sono sintetizzati nella Tabella 5.

Tabella 5: limiti di concentrazione di monossido di carbonio stabiliti dalla normativa vigente

Inquinante	Tipologia	Valore	Riferimento legislativo	Scadenza
CO	Massimo giornaliero della media mobile di 8 h	1 gennaio 2002: 16 mg/m ³	DM 60/02	
		1 gennaio 2003: 14 mg/m ³		
		1 gennaio 2004: 12 mg/m ³		
		1 gennaio 2005: 10 mg/m ³		
CO	Media 8 h	10 mg/m ³	DPCM 28/03/83	Fino 31/12/2004
CO	Media 1 h	40 mg/m ³	DPCM 28/03/83	Fino 31/12/2004

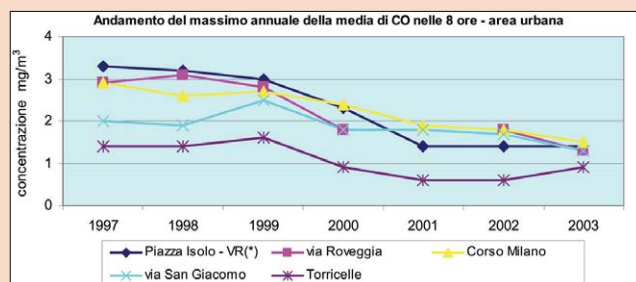
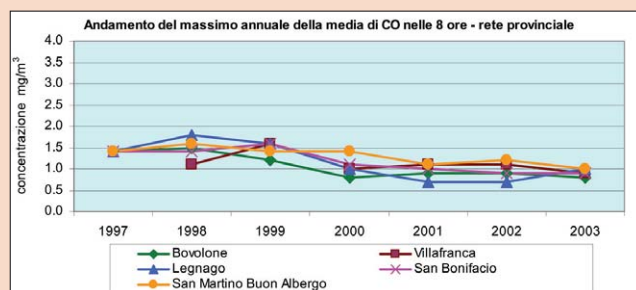
NOME INDICATORE: LIVELLO DI MONOSSIDO DI CARBONIO (CO)

TIPO DI INDICATORE: DRIVER - PRESSIONE - STATO - IMPATTO - RISPOSTA

DISPONIBILITÀ DATI: SCARSA - SUFFICIENTE - OTTIMA

Descrizione dell'indicatore: è stato considerato l'andamento del valore massimo della media mobile sulle otto ore dal 1997 al 2003 come rilevato dalle stazioni di misura della rete provinciale di qualità dell'aria.

Rappresentazione dell'indicatore: sono rappresentati in diversi colori gli andamenti del valore massimo della media di 8 ore. Nel grafico superiore le stazioni di città: Piazza Isolo (blu), via Roveggia (magenta), Corso Milano (giallo), via San Giacomo (azzurro), Torricelle (viola); nel grafico inferiore le stazioni di provincia: Legnago (giallo), San Bonifacio (azzurro), San Martino Buon Albergo (viola), Villafranca (magenta) e Bovolone (blu)



Commento del risultato: Il valore medio della media su otto ore non deve superare il valore limite giornaliero di 10 mg/m³. Tale valore è rispettato in tutte le stazioni di rilevamento. Inoltre, l'andamento degli ultimi 7 anni mostra una generale tendenza alla diminuzione, più significativa nelle stazioni urbane di Verona dove il massimo annuale della media mobile calcolata su 8 ore passa dai 3.3 mg/m³ rilevati a Piazza Isolo nell'anno 1997, a 1.5 mg/m³ nel 2003. Nelle stazioni di provincia la diminuzione è più contenuta, ma comunque significativa.

Il biossido di zolfo (SO₂)

Il biossido di zolfo (SO₂) a temperatura ambiente si trova sotto forma di gas dall'odore acre e pungente. Le fonti naturali sono rappresentate essenzialmente dalle eruzioni vulcaniche, quelle antropiche sono legate alla combustione di combustibili fossili contenenti zolfo: carbone, olio pesante. In particolare le fonti industriali sono rappresentate dalle centrali termoelettriche in cui si utilizza olio pesante o carbone come combustibile, da tutti i processi industriali che utilizzano combustibili contenenti zolfo. A livello urbano, in zone non industrializzate, la maggiore sorgente è rappresentata dal riscaldamento domestico non metanizzato, mentre il contributo dei mezzi di trasporto è legato in particolare ai motori diesel.

Gli effetti sull'ambiente sono molteplici: l'anidride solforosa provoca danni su alcuni materiali, aumentandone, ad esempio, la velocità di corrosione; il biossido di zolfo, combinandosi con il vapore acqueo, origina acido solforico (H₂SO₄), uno dei maggiori responsabili delle piogge acide. Gli ossidi di zolfo svolgono un'azione indiretta nei confronti della fascia di ozono stratosferico in quanto fungono da substrato per i clorofluorocarburi, principali responsabili del "buco" dell'ozono. Nel contempo si oppongono al fenomeno dell'effetto serra in quanto hanno la capacità di riflettere le radiazioni solari producendo un raffreddamento del pianeta. Sui metalli, sui materiali da costruzione e sulle vernici si riscontrano degli effetti corrosivi dovuti all'azione dell'acido solforico che trasforma i carbonati insolubili, presenti nei monumenti, in solfati solubili che quindi vengono trascinati via dalla pioggia.

Le piante esposte ad alte concentrazioni, anche per tempi limitati, manifestano uno scolorimento ed un'atrofia delle foglie con conseguente necrosi.

Il biossido di zolfo è tossico per l'uomo: già alla concentrazione di 0,3 ppm (circa 0,8 mg/m³) l'SO₂ comincia a non essere più tollerabile. L'esposizione prolungata può danneggiare la funzionalità respiratoria, soprattutto perché le fonti di SO₂ sono fonti anche di particolato aero-disperso, il quale è in grado di veicolare il biossido di zolfo fino alle vie respiratorie profonde.

Fra gli effetti acuti imputabili all'esposizione ad alti livelli di SO₂, tutti legati alla sua azione irritante, sono compresi l'aumento della resistenza al passaggio dell'aria a seguito dell'inturgidimento delle mucose delle vie aeree, l'aumento delle secrezioni mucose, bronchite, tracheite, spasmi bronchiali e/o difficoltà respiratoria negli asmatici. Fra gli effetti cronici vi sono le alterazioni della funzionalità polmonare e l'aggravamento delle bronchiti croniche, dell'asma e dell'enfisema. I gruppi della popolazione più sensibili sono costituiti dagli asmatici e dai bronchitici.

La concentrazione di biossido di zolfo viene misurata dalla rete di qualità dell'aria a Verona, nelle stazioni di monitoraggio di Corso Milano, via Roveggia, Torricelle, via San Giacomo, Piazza Bernardi. Nella Figura 10 è riportato il giorno tipo, ossia l'andamento delle concentrazioni orarie mediate su tutto l'anno, della concentrazione di SO₂ in alcune stazioni di Verona.

Figura 10: andamento giornaliero (giorno tipo) del biossido di zolfo rilevato in alcune stazioni di monitoraggio della città di Verona nell'anno 2003

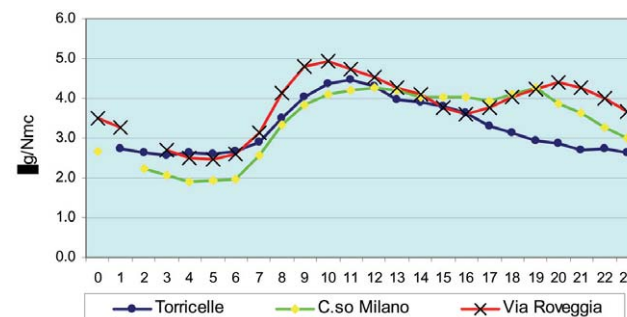
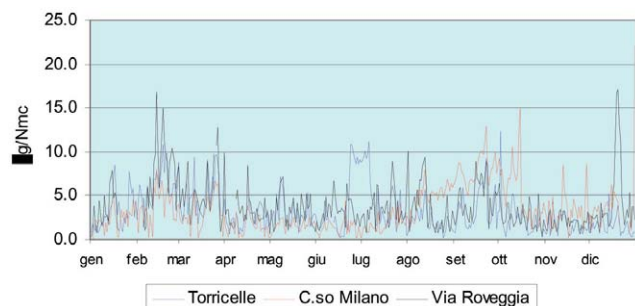


Figura 11: andamento della concentrazione media giornaliera del biossido di zolfo rilevato presso alcune stazioni di monitoraggio della città di Verona durante l'anno 2003



La normativa

Il Decreto ministeriale n. 60 entrato in vigore il 28 aprile 2002, recepisce le disposizioni delle Direttive 99/30/CE e 00/69/CE e stabilisce per biossido di zolfo, i nuovi valori limite con i rispettivi margini di tolleranza. In particolare stabilisce le soglie d'allarme ed i valori limite di concentrazione per la protezione della salute umana e degli ecosistemi. Inoltre, sono ancora in vigore in via transitoria i limiti previsti dalla normativa precedente (DM 203/88 e seguenti). Nella Tabella 6 viene riportato un quadro riassuntivo dei valori di riferimento suddivisi per tipo di esposizione (acuta o cronica) ed in base all'oggetto della tutela (se salute umana o ecosistemi).

Tabella 6: limiti di concentrazione di biossido di zolfo stabiliti dalla normativa vigente.

Esposizione acuta				
Inquinante	Tipologia	Valore	Riferimento legislativo	Scadenza
SO ₂	Soglia di allarme*	500 µg/m ³	DM 60/02	
SO ₂	Limite orario da non superare più di 24 volte per anno civile	1 gennaio 2002: 440 µg/m ³	DM 60/02	
		1 gennaio 2003: 410 µg/m ³		
		1 gennaio 2004: 380 µg/m ³		
		1 gennaio 2005: 350 µg/m ³		
SO ₂	Limite di 24 h da non superare più di 3 volte per anno civile	Dal 1 gennaio 2005: 125 µg/m ³	DM 60/02	
Esposizione cronica				
SO ₂	Mediana delle medie giornaliere nell'arco di 1 anno (ecologico)	80 µg/m ³	DPCM 28/03/83 e succ.mod.	Fino 31/12/2004
SO ₂	98° percentile delle medie giornaliere nell'arco di 1 anno (ecologico)	250 µg/m ³	DPCM 28/03/83 e succ.mod.	Fino 31/12/2004
SO ₂	Mediana delle medie giornaliere in inverno (01/10 – 31/03)	130 µg/m ³	DPCM 28/03/83 e succ.mod.	Fino 31/12/2004
Protezione degli ecosistemi				
SO ₂	Limite protezione ecosistemi Anno civile e inverno (01/10 – 31/03)	20 µg/m ³ dal 19 luglio 2001	DM 60/02	

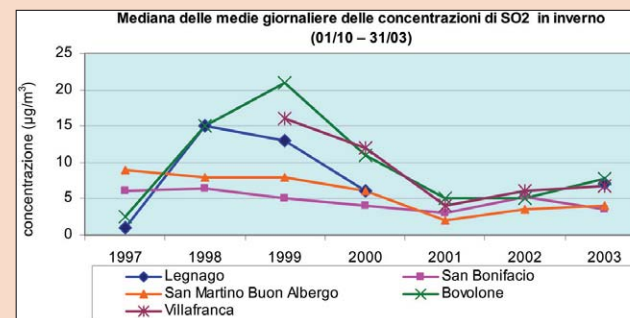
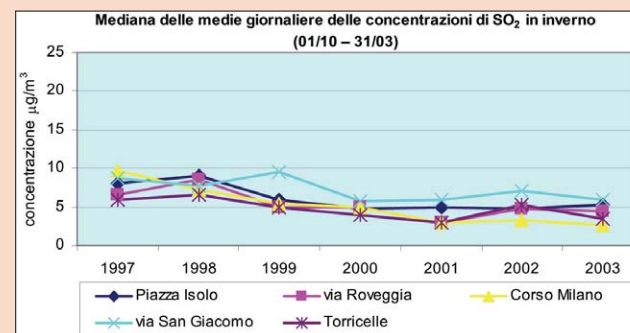
NOME INDICATORE: LIVELLO DI BISSIDO DI ZOLFO (SO₂)

TIPO DI INDICATORE: DRIVER - PRESSIONE - STATO - IMPATTO - RISPOSTA

DISPONIBILITÀ DATI: SCARSA - SUFFICIENTE - OTTIMA

Descrizione dell'indicatore: Si è preso in esame l'indicatore relativo all'esposizione cronica calcolando, come prevede la normativa, la mediana delle medie giornaliere durante il periodo invernale che va dal 01 Ottobre al 31 Marzo dell'anno successivo;

Rappresentazione dell'indicatore: sono rappresentati in diversi colori gli andamenti della mediana delle medie giornaliere in inverno (01/10 – 31/03) misurate per le stazioni di città (grafico superiore) a Piazza Isolo (blu), via Roveggia (magenta), Corso Milano (giallo), via San Giacomo (azzurro), Torricelle (viola) e per le stazioni di provincia (grafico inferiore) quelle di Legnago (blu), San Bonifacio (magenta), San Martino Buon Albergo (arancione), Villafranca (viola) e Bovolone (verde)



Commento del risultato: l'andamento degli ultimi 7 anni mostra una generale tendenza alla diminuzione, più significativa nelle stazioni urbane di provincia ove si passa da valori oltre i 20 µg/m³ di Bovolone nel 1999 fino a valori inferiori ai 10 µg/m³. Nel 2001 sono stati rilevati i valori più bassi da collegare alle condizioni atmosferiche favorevoli alla dispersione degli inquinanti. Nelle stazioni di Verona la diminuzione è più contenuta, ma continua, passando da valori compresi tra i 6 e 8 µg/m³ del 1997 a valori tra 2.5 e 6 µg/m³ del 2003.

■ Benzene

Il benzene (formula chimica C_6H_6) è il più semplice dei composti organici aromatici: è un liquido incolore dal caratteristico odore pungente che diventa irritante a concentrazioni elevate e che volatilizza facilmente a temperatura ambiente. Il benzene è utilizzato in numerosi processi industriali come materia prima per la produzione di composti secondari, che a loro volta rappresentano i costituenti di plastiche, resine, detergenti, pesticidi.

Il benzene presente nell'aria ambiente è prevalentemente di origine antropica e deriva principalmente da processi di combustione incompleta (emissioni industriali, veicoli a motore, incendi). La maggiore fonte emissiva è rappresentata dai veicoli a motore alimentati a benzina, i quali emettono benzene oltre che dal tubo di scappamento, dal serbatoio e dal carburatore. In questi ultimi due casi si tratta di perdite dovute all'evaporazione legate alla volatilità del combustibile ed ai fenomeni fisici che la favoriscono. La legge italiana prevede che il contenuto di benzene nei combustibili non superi l'1% in volume.

In specifici studi è stato evidenziato come motori costruiti con diverse tecnologie emettono un volume variabile di composti organici volatili non metanici (COVNM), fra cui il benzene. La distribuzione relativa delle specie chimiche emesse allo scarico rimane invece la stessa. Questo significa che la percentuale di benzene emessa, rispetto al totale dei COVNM, non varia significativamente al variare del tipo di motore, mentre è strettamente legata alla formulazione della benzina³.

L'introduzione della marmitta catalitica (direttiva 91/441/EEC) ha comportato un'importante diminuzione delle emissioni di composti organici non metanici. Un altro dato importante è il notevole contributo emissivo dei ciclomotori con cilindrata inferiore a 50 cl e delle autovetture a benzina non catalizzate.

Esposizioni a concentrazioni elevate di benzene comportano danni rilevanti alla salute quali:

- > danni ematologici (anemie)
- > danni genetici (alterazioni cromosomiche e geniche)
- > effetti oncogeni.

Il benzene è stato classificato dalla IARC (International Agency for Research on Cancer) fra le sostanze i cui effetti cancerogeni sono certi (gruppo 1). Gli effetti di esposizioni prolungate a concentrazioni relativamente basse (come quelle che si misurano nell'atmosfera dei centri urbani) non sono, però, ancora stati chiariti, in particolare la relazione fra esposizione al benzene e rischio di leucemia.

Gli organismi scientifici nazionali ed internazionali ritengono sia opportuno adottare un approccio cautelativo, viene quindi accettato il cosiddetto modello lineare senza soglia, cioè si suppone che a qualsiasi concentrazione, seppur bassa, sia associato un rischio, e che il rischio aumenti linearmente all'aumentare dell'esposizione. Queste considerazioni sono alla base della determinazione del valore limite per la protezione della salute posto pari a 5 mg/m³.

La presenza di benzene è un problema rilevante in tutti i grandi centri urbani e nelle zone caratterizzate da un'elevata industrializzazione e da arterie stradali intensamente frequentate.

Il problema è stato affrontato a livello comunitario sia con direttive, adottate dagli stati membri fra cui l'Italia, volte a ridurre il contributo del traffico veicolare (imposizione della marmitta catalitica, riduzione del tenore del benzene nei combustibili), sia con i programmi Auto Oil. L'efficacia di tali disposizioni è stata parzialmente inficiata dal progressivo aumento del parco auto circolante. Dai dati pubblicati dal Rapporto ambientale n.12 dell'Agenzia Europea dell'Ambiente si nota come il problema del superamento delle soglie di concentrazione per il benzene sia diffuso in tutta Europa, in particolare nei paesi del Sud Europa, fra cui l'Italia, la Spagna e parte della Francia. Si stima che la percentuale di popolazione europea esposta a valori di concentrazione di benzene superiori allo standard sia pari al 50%.

Il dipartimento di Verona dell'ARPA Veneto conduce già dal 1996 campagne di misura, sia nella città di Verona che in diversi siti della Provincia. In questo capitolo verranno descritti i risultati di queste campagne, in particolare verranno evidenziate le criticità e le problematiche ad esse connesse.

³ "Le emissioni in atmosfera da trasporto stradale" ANPa - serie stato dell'ambiente n. 12 - 2000

La normativa

Il decreto ministeriale n. 60 dell'aprile 2002 ha recepito la Direttiva CEE 69/2000 che fissa per il benzene un valore limite per la protezione della salute umana pari a 5 mg/m³ come concentrazione media annua. Tale limite deve essere raggiunto progressivamente entro il 1 gennaio 2010. Fino al 31 gennaio 2005 il limite in vigore è pari a 10 mg/m³, esso viene ridotto progressivamente fino a raggiungere il valore di 5 mg/m³ al 1 gennaio 2010.

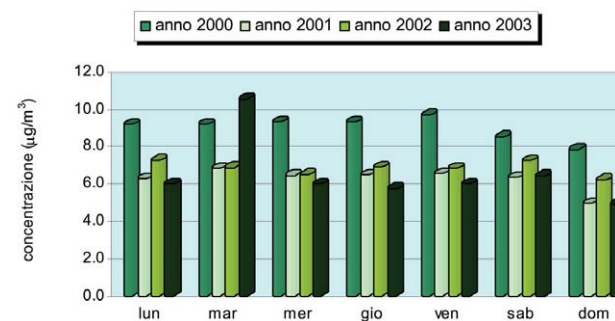
Le metodiche di misura

Campionatori attivi

Presso la stazione di rilevamento situata a Verona, in Corso Milano, viene effettuato il prelievo dell'aria con campionatori attivi (fiale di carbone attivo) con cadenza di campionamento di 24 ore. La concentrazione di benzene viene poi determinata in laboratorio tramite analisi gascromatografica con rivelatore FID. Le concentrazioni più elevate si riscontrano nei mesi invernali, in cui le particolari condizioni meteorologiche impediscono la dispersione degli inquinanti.

La relazione fra emissioni da traffico veicolare e concentrazione di benzene emerge dal grafico di Figura 12 in cui sono riportate le concentrazioni medie giornaliere riferite al medesimo giorno della settimana, calcolate su base annuale. Tale rappresentazione dei dati, denominata settimana tipo, permette di evidenziare i giorni "più critici", in cui si rilevano i livelli maggiori di benzene. Tali giorni sono tipicamente il giovedì ed il venerdì, mentre la domenica, caratterizzata da un minor traffico veicolare, si rilevano valori inferiori di benzene.

Figura 12: settimana tipo delle concentrazioni di benzene rilevate negli anni 2000-2003 presso la postazione di Verona - Corso Milano. Con il termine "domenica" si indicano anche i giorni festivi infrasettimanali



Campionatori passivi (Radielli)

Dal 2000 sono iniziate campagne di misura delle concentrazioni di benzene tramite l'utilizzo di campionatori passivi denominati "Radielli". Tali campionatori sono costituiti da un corpo diffusivo cilindrico in policarbonato e polietilene nel quale è inserita una cartuccia assorbente, in rete di acciaio inossidabile, contenente carbone attivo. Il campionario viene esposto all'aria ambiente per un periodo variabile (10-20 giorni), successivamente le sostanze organiche volatili assorbite sul carbone sono estratte con solfuro di carbonio ed analizzate in laboratorio con metodi gascromatografici. L'utilizzo di tale metodica permette di studiare la distribuzione del benzene su aree vaste, senza i vincoli creati dalla necessità di disporre di un luogo di posizionamento riparato e della disponibilità dell'allacciamento alla rete elettrica.

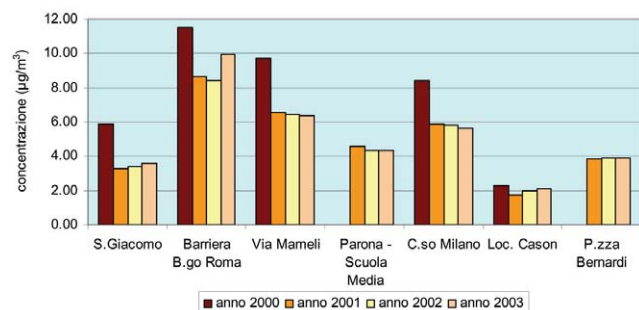
Nel corso dell'anno 2000 è stata analizzata la distribuzione del benzene sull'area urbana di Verona. Sono stati posizionati 23 rivelatori in diversi luoghi del Comune, sia in prossimità di arterie di grande traffico che in zone residenziali, per un totale di 35 settimane di rilevamento e di 515 campioni prelevati ed analizzati.

Nell'anno 2001 è stata ripetuta la campagna di misura in alcune delle postazioni ed inoltre sono state estese le misure anche all'ambito provinciale, nei comuni a più alta densità abitativa e con zone industriali svilup-

pate. Il periodo di monitoraggio non ha coperto tutto l'arco dell'anno: in particolare è stato monitorato solo in parte il periodo invernale, il più critico dal punto di vista dell'accumulo degli inquinanti negli strati più bassi dell'atmosfera.

Nell'anno 2002 la campagna di misura ha interessato la città di Verona e la provincia. In particolare sono state ripetute le misure in alcune stazioni cittadine quali Piazza Bernardi, via San Giacomo, via Mameli, Corso Milano, Cason, sono state aggiunte alcune nuove stazioni in quartieri residenziali periferici quali Montorio, Avesa, San Massimo. In provincia sono state scelte postazioni in prossimità delle centraline fisse di monitoraggio della rete di qualità dell'aria. Nell'anno 2003 la campagna di misura è continuata in alcune postazioni della città e nelle postazioni della provincia. I risultati complessivi di questi quattro anni di monitoraggio sono stati riportati nei grafici che seguono e nell'indicatore "Livello di benzene".

Figura 13: andamento della concentrazione di benzene misurata tramite rivelatori passivi negli anni 2000, 2001, 2002, 2003, in alcune postazioni del comune di Verona.



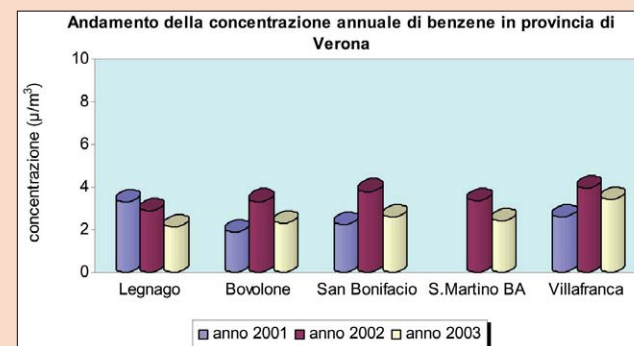
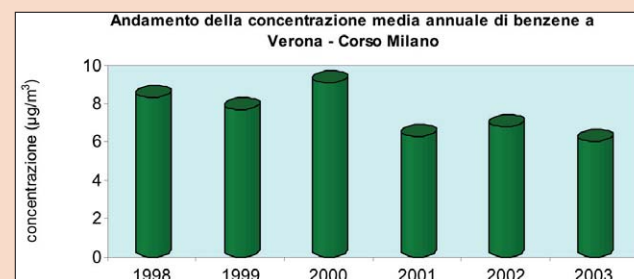
NOME INDICATORE: LIVELLO DI BENZENE (C_6H_6)

TIPO DI INDICATORE: DRIVER - PRESSIONE - STATO - IMPATTO - RISPOSTA

DISPONIBILITÀ DATI: SCARSA - SUFFICIENTE - OTTIMA

Descrizione dell'indicatore: è stato considerato l'andamento delle medie annuali della concentrazione giornaliera di benzene rilevata dalla stazione di misura sita in Corso Milano e l'andamento delle medie annuali rilevate tramite rilevatori passivi presso le centraline della rete provinciale di qualità dell'aria.

Rappresentazione dell'indicatore: nel primo grafico è rappresentato l'andamento della media annuale della concentrazione giornaliera di benzene rilevata presso la stazione di Borgo Milano negli anni 1998-2003. Nel secondo grafico è riportato l'andamento della concentrazione annuale di benzene rilevata presso le stazioni di rilevamento della qualità dell'aria in provincia di Verona nel periodo 2001-2003.



Commento del risultato: La concentrazione media annuale rilevata presso la stazione di Corso Milano è al di sotto del valore limite di 10 µg/m³. Nel corso degli ultimi tre anni, si è assistito ad una diminuzione dei valori medi di concentrazione, al di sotto dei 7 µg/m³. La causa principale di questa diminuzione può essere ricercata nell'introduzione obbligatoria della benzina verde ed in un progressivo ammodernamento del parco macchine circolante che in questa arteria è costituito prevalentemente da auto e veicoli leggeri a benzina. I valori rimangono, però al di sopra dei 5 µg/m³, valore limite che entrerà in vigore a partire da gennaio 2010.

Nei centri minori della provincia di Verona le concentrazioni annue di benzene si mantengono al di sotto dei 5 µg/m³.

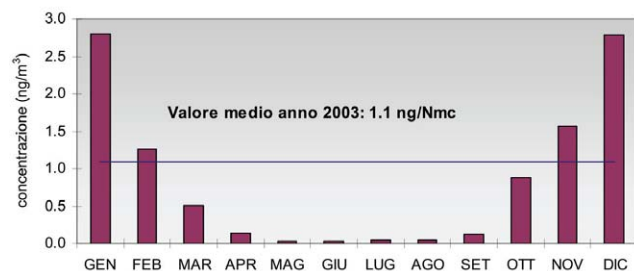
■ ■ Idrocarburi policiclici aromatici (IPA)

Sono costituiti da due o più anelli aromatici condensati e derivano dalla combustione incompleta di numerose sostanze organiche. Fra le fonti di origine antropica si annoverano le emissioni veicolari, le centrali termoelettriche e gli inceneritori. Nelle aree rurali, anche i fuochi di sterpaglie e resti di potature contribuiscono in misura rilevante all'emissione di IPA. Le concentrazioni ambientali medie nell'aria sono state stimate in un intervallo variabile tra 1-10 ng/m³. Gli idrocarburi policiclici aromatici sono molto spesso associati alle polveri sospese, in quanto prodotti dalle stesse sorgenti, tanto che risulta che il particolato atmosferico sia una delle principali fonti di esposizione a IPA (Ist. Sup. Sanità, 1991). Poiché è stato evidenziato che la relazione tra benzo(a)pirene (BaP) e gli altri IPA, detto profilo IPA, è relativamente stabile nell'aria delle diverse città, la concentrazione di BaP viene spesso utilizzata come indice del potenziale cancerogeno degli IPA totali.

Nell'aerosol urbano sono generalmente associati alle particelle con diametro aerodinamico minore di 2 micron e quindi in grado di raggiungere facilmente la regione alveolare del polmone e da qui il sangue e i tessuti. Oltre ad essere irritanti per naso, gola ed occhi, sono riconosciuti per le loro proprietà mutagene e cancerogene. Essendo accertato il potere cancerogeno di tutti gli IPA a carico delle cellule del polmone, sono stati inseriti nel gruppo 1 della classificazione IARC. È possibile che favoriscano anche lo sviluppo dell'arteriosclerosi. (OMS, 1996).

Il Dipartimento ARPAV Provinciale di Verona misura la concentrazione di IPA, intesa come concentrazione di benzo(a)pirene, dall'anno 1997 sui filtri di polveri totali sospese, campionati presso la postazione di Corso Milano. Le concentrazioni di questo inquinante mostrano un andamento stagionale con valori più elevati nei mesi invernali dovuti alle caratteristiche scarsamente dispersive dello strato limite planetario, come si può vedere dal grafico di Figura 14.

Figura 14: andamento della concentrazione mensile di BaP misurata presso la stazione di rilevamento di Corso Milano nell'anno 2003.



La normativa

La normativa vigente (DM 25/11/94) non stabilisce un limite per gli IPA (benzo-a-pirene), ma un "obiettivo di qualità", corrispondente ad un valore della media mobile annuale di 1 ng/Nm³.

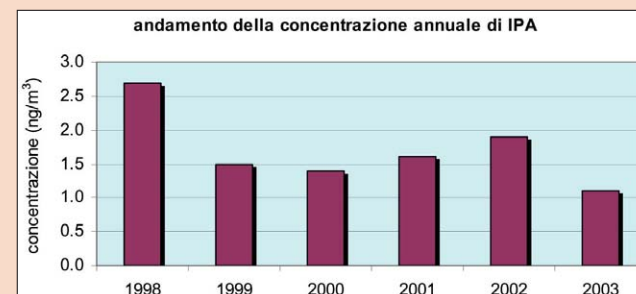
NOME INDICATORE: LIVELLO DI IPA (BAP)

TIPO DI INDICATORE: DRIVER - PRESSIONE - STATO - IMPATTO - RISPOSTA

DISPONIBILITÀ DATI: SCARSA - SUFFICIENTE - OTTIMA

Descrizione dell'indicatore: è stato considerato l'andamento delle medie annuali della concentrazione di benzo(a)pirene rilevata dalla stazione di misura sita in Corso Milano.

Rappresentazione dell'indicatore: è rappresentato l'andamento della media annuale della concentrazione di benzo(a)pirene rilevata presso la stazione di Borgo Milano negli anni 1998-2003. Nella tabella sottostante sono riportate le concentrazioni medie misurate.



concentrazioni medie di benzo (a)pirene rilevate presso la stazione di Corso Milano negli anni 1998 - 2003

	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Concentrazione media (ng/m³)	2.7	1.5	1.4	1.6	1.9	1.1

Commento del risultato: La concentrazione media annuale rilevata presso la stazione di Corso Milano supera il valore obiettivo di qualità stabilito dal DM 25/11/94, pari a 1 ng/m³.

■ Perché sta succedendo?

■ Introduzione

La concentrazione degli inquinanti in aria dipende da molteplici fattori, uno dei quali è rappresentato dalla componente emissiva. Sia le caratteristiche delle fonti di inquinamento, intensità e loro distribuzione sul territorio, sia l'urbanistica delle città, l'orografia del territorio contribuiscono a determinare la qualità dell'aria che respiriamo. Infine le condizioni meteorologiche determinano il grado di dispersione degli inquinanti e la loro diluizione con aria più pulita dopo che le emissioni hanno avuto luogo.

Le attività antropiche che costituiscono le principali fonti di pressione sulla qualità dell'aria possono essere raggruppate in tre macrosettori: lavorazioni industriali ed artigianali, impianti di riscaldamento e mezzi di trasporto. Durante gli ultimi decenni il quadro emissivo è profondamente mutato. In particolare si è passati dalle emissioni dovute all'utilizzo di derivati del petrolio e di carbone caratterizzate da alte quantità di biossido di zolfo e di particolato, oltre che di ossidi di azoto e di carbonio, alle emissioni causate dalla combustione del gas naturale e dal traffico veicolare, caratterizzate da piccole quantità di biossido di zolfo, con emissioni di particolato quantitativamente e qualitativamente differenti, e significative emissioni di ossidi di azoto e, per il traffico, anche di monossido di carbonio.

Le emissioni di ossidi di zolfo, ossidi di azoto e carbonio, nonché di particolato fine sono diminuite nell'ultimo decennio. Nonostante ciò il superamento dei valori limite, in particolare per l'ozono, il particolato fine (PM10) e in alcune zone anche per il biossido di azoto è un fenomeno frequente, che interessa in particolare la popolazione residente nelle zone urbane.

■ Le emissioni industriali

Ogni comune, in base alla propria pianificazione urbanistica, può destinare parte del territorio alle attività artigianali ed industriali. Nella provincia di Verona circa il 3% del territorio è occupato da aree a destinazione artigianale-industriale (si veda l'indicatore "Uso del territorio-estensione delle zone industriali.") La maggior parte di queste aree è concentrata sulla direttrice Est-Ovest, nella zona del marmo e nella zona del mobile. In queste zone l'attività manifatturiera assume connotazioni di sistema diffuso, in cui spesso non è facile distinguere fra tessuto urbano e tessuto industriale. Questi ed altri fattori, fra cui la crescente richiesta di mobilità, fanno sì che le emissioni da attività industriali rappresentino nella provincia di Verona una fonte non trascurabile di inquinamento atmosferico.

Oltre ai "macroinquinanti" tradizionali quali biossido di zolfo, composti organici volatili diversi dal metano, monossido di carbonio, particelle sospese, vanno considerate le sostanze alogenate, i metalli pesanti, i composti organici persistenti e gli alogeni tal quali. Non vanno dimenticate infine le sostanze odorogene che, a fronte di concentrazioni talvolta prossime ai limiti di rilevanza analitica, deteriorano l'ambiente e producono grave disagio ai lavoratori ed alla popolazione residente nell'intorno del sito industriale.

È possibile stimare le emissioni industriali, in modo cautelativo, calcolando i flussi di massa dei differenti inquinanti sulla base delle portate volumetriche autorizzate dalla Provincia di Verona, ente competente al rilascio delle autorizzazioni alle emissioni in atmosfera.

Il quadro normativo di riferimento per le emissioni in atmosfera del comparto produttivo si basa sul DPR 203/88, che prevede per gli impianti esistenti al 1 luglio 1988, la presentazione di una domanda per la continuazione delle emissioni in atmosfera e un'autorizzazione preventiva per la costruzione di nuovi impianti, le modifiche o il trasferimento di impianti esistenti.

I dati seguenti sono stati estratti dall'archivio delle emissioni realizzato dalla Provincia di Verona e da ARPAV e si riferiscono a 1720 ditte autorizzate alle emissioni in atmosfera per complessivi 2067 impianti e 8767 camini.

Per una stima della pressione sulla matrice atmosfera determinata dal settore produttivo le sostanze autorizzate sono state divise in quattro macrocategorie ossia polveri inerti, sostanze organiche volatili, sostanze inorganiche e prodotti della combustione. L'impatto delle emissioni industriali sul territorio provinciale è stato rappresentato su una mappa, riportando, per ogni comune, il flusso complessivo di sostanze autorizzate per ogni singolo camino. Tale rappresentazione, anche se risulta essere una stima probabilmente in eccesso rispetto alla realtà poiché riporta i limiti massimi autorizzati, limiti che non dovrebbero essere mai superati nelle fasi di esercizio degli impianti, è tuttavia un utile strumento di raffronto per rilevare le zone del territorio dove sono più pressanti gli effetti delle emissioni produttive.

Nella Figura 15 è rappresentato, comune per comune, il flusso di massa complessivo autorizzato di prodotti della combustione.

Nel territorio provinciale è autorizzato, ai sensi del DPR 203/88, un flusso di massa complessivo di 2743 Kg/ora di sostanze prodotte dalla combustione quali ossidi di azoto, ossidi di zolfo ed ossidi di carbonio. I comuni che ospitano il maggior numero di aziende autorizzate ad emettere in atmosfera prodotti della combustione sono Verona, Gazzo, Dolcè, Domegliara. Concentrazioni significative di aziende si trovano anche nei comuni quali San Martino Buon Albergo, Villafranca. Nei comuni rappresentati in colore bianco non vi sono concentrazioni significative di aziende che emettono in atmosfera. Questi comuni sono concentrati in particolare nella zona del Lago di Garda e dei Lessini.

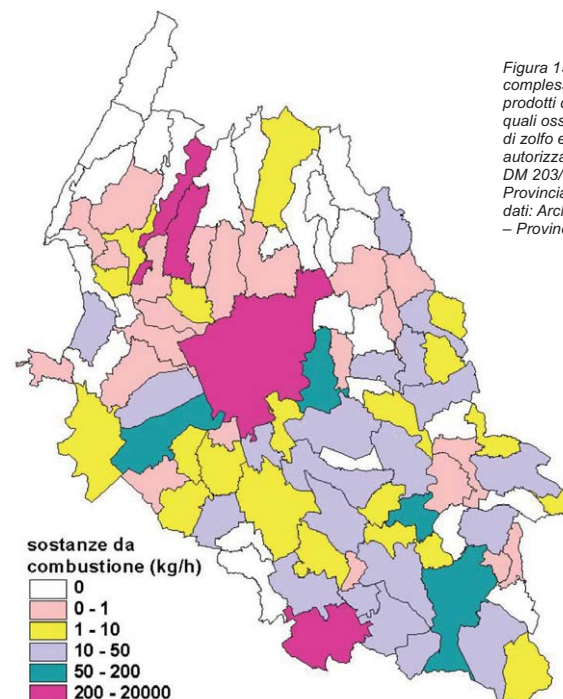
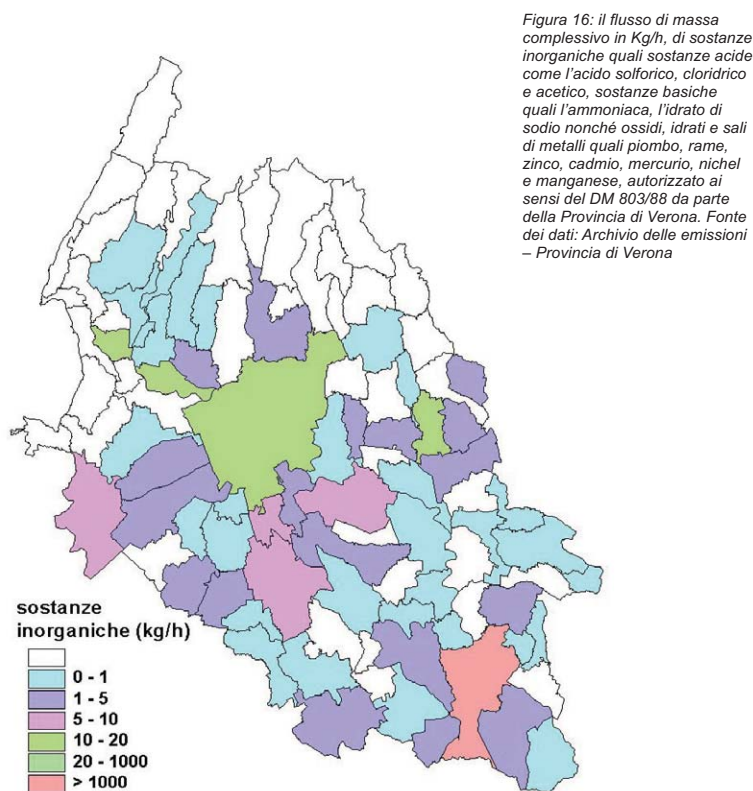


Figura 15: il flusso di massa complessivo in Kg/h, di prodotti della combustione quali ossidi di azoto, ossidi di zolfo ed ossidi di carbonio, autorizzato ai sensi del DM 203/88 da parte della Provincia di Verona. Fonte dei dati: Archivio delle emissioni – Provincia di Verona

L'aria L'aria L'aria

Se si considera il flusso di massa di sostanze inorganiche, autorizzato ai sensi del DM 203/88 da parte della Provincia di Verona, il quadro cambia leggermente. Con il termine di sostanze inorganiche, che risultano essere più di 80 diversi tipi di molecole, si intendono sostanze acide come l'acido solforico, cloridrico e acetico, sostanze basiche quali l'ammoniaca, l'idrato di sodio nonché ossidi, idrati e sali di metalli quali piombo, rame, zinco, cadmio, mercurio, nichel e manganese.

Nella rappresentazione grafica (Figura 16) è riportata la mappa dei flussi di massa complessivi di sostanze inorganiche, per ogni singolo comune, dovuti agli impianti autorizzati alle emissioni in atmosfera dalla Provincia di Verona. Sono stati colorati in maniera diversa i comuni caratterizzati da flussi di massa autorizzati (in Kg/h) di diversa entità. Complessivamente nel territorio provinciale è autorizzata l'emissione, espressa come flusso di massa, di 1227 Kg/ora di sostanze inorganiche. Il comune con il maggiore flusso di massa di sostanze inorganiche autorizzato è Legnago, seguito poi da Verona. Nei comuni rappresentati in colore bianco non vi sono concentrazioni significative di aziende che emettono in atmosfera. Questi comuni sono concentrati in particolare nella zona del Lago di Garda e dei Lessini.



L'aria L'aria L'aria

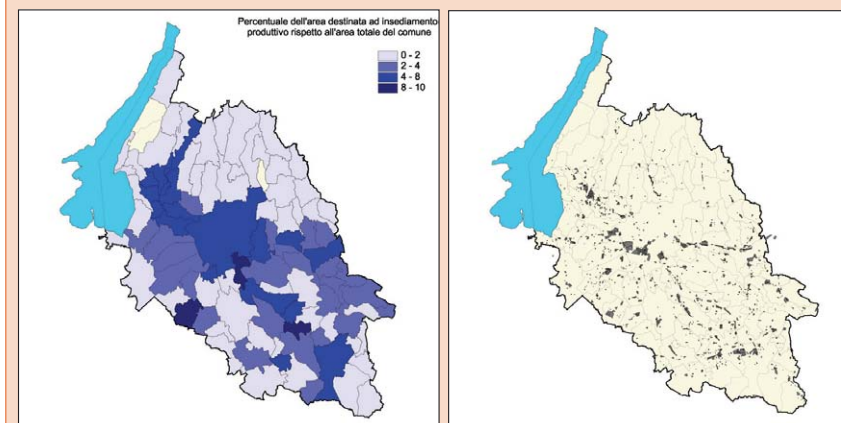
NOME INDICATORE: USO DEL TERRITORIO – ESTENSIONE DELLE ZONE INDUSTRIALI

TIPO DI INDICATORE: DRIVER - PRESSIONE - STATO - IMPATTO - RISPOSTA

DISPONIBILITÀ DATI: SCARSA - SUFFICIENTE - OTTIMA

Descrizione dell'indicatore: si è considerata l'estensione delle zone artigianali ed industriali per ogni comune della provincia.

Rappresentazione dell'indicatore: nella mappa a sinistra sono stati colorati in maniera diversa i comuni in base alla percentuale di territorio destinata a aree industriali. A destra è riportata cartograficamente l'estensione e la distribuzione delle aree industriali



Commento del risultato: L'estensione totale della provincia di Verona è pari a 82240 Km² di cui 3006, pari al 2.7 %, sono destinati a zona industriale. I comuni con l'estensione maggiore occupata da insediamenti industriali sono Bussolengo (8.2%), Nogarole Rocca (8.8%), San Giovanni Lupatoto (9.5%), San Pietro di Morubio (9.3%). Gli insediamenti industriali sono prevalentemente localizzati lungo la direttrice Est-Ovest (Peschiera – San Bonifacio) e Nord – Sud lungo la Valle dell'Adige e la direttrice Verona-Bo-logna

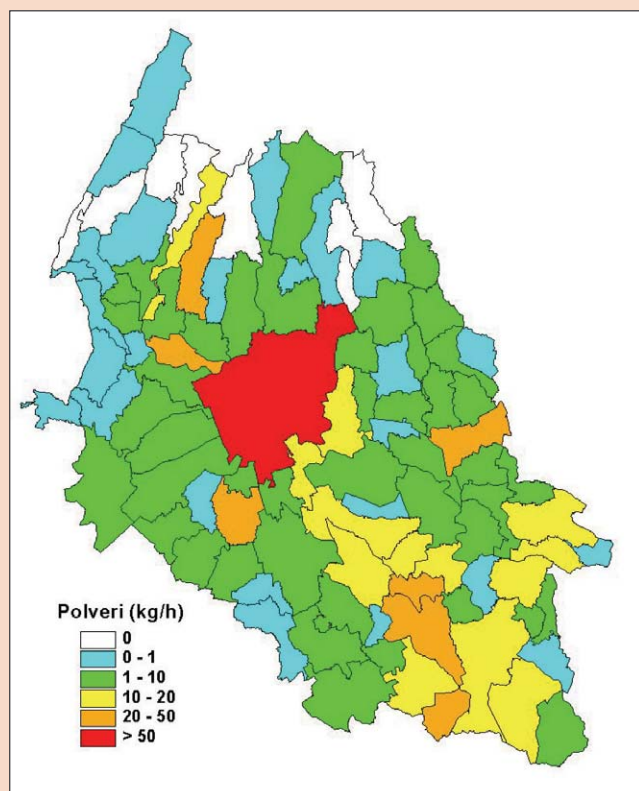
NOME INDICATORE: EMISSIONI DI POLVERI DA IMPIANTI INDUSTRIALI

TIPO DI INDICATORE: DRIVER - **PRESSIONE** - STATO - IMPATTO - RISPOSTA

DISPONIBILITÀ DATI: SCARSA - **SUFFICIENTE** - OTTIMA

Descrizione dell'indicatore: è stato considerato il flusso di massa complessivo di polveri, autorizzato ai sensi del DM 803/88 da parte della Provincia di Verona.

Rappresentazione dell'indicatore: nella rappresentazione grafica è riportata la mappa dei flussi di massa complessivi di polvere, per ogni singolo comune, dovuti agli impianti autorizzati alle emissioni in atmosfera dalla Provincia di Verona. Sono stati colorati in maniera diversa i comuni caratterizzati da flussi di massa autorizzati (in Kg/h) di diversa entità.



Commento del risultato: nel territorio provinciale è autorizzato, come emissione da camini di insediamenti produttivi, un flusso di massa complessivo di polvere pari a 666 Kg/ora. Verona è il comune in cui il flusso di massa autorizzato di polveri è maggiore, seguito dai comuni della zona del marmo e del mobile.

Fonte dei dati: Archivio delle emissioni – Provincia di Verona

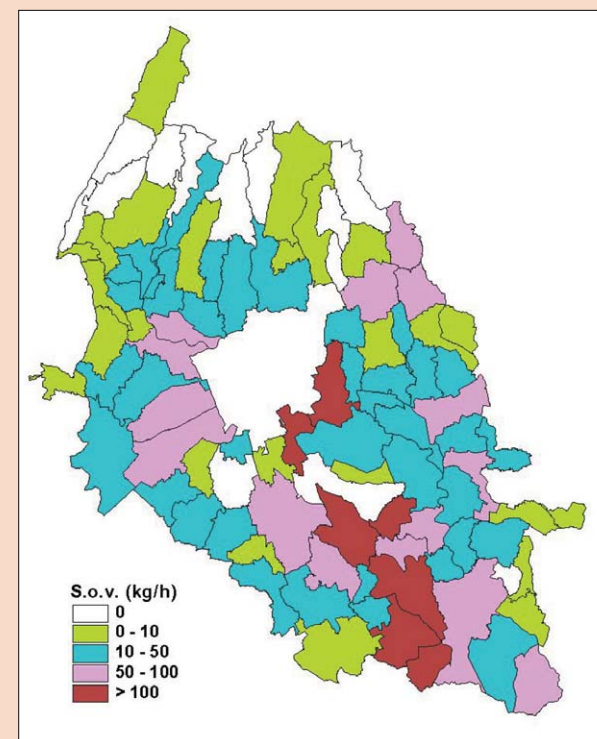
NOME INDICATORE: EMISSIONI DI SOSTANZE ORGANICHE VOLATILI DA IMPIANTI INDUSTRIALI

TIPO DI INDICATORE: DRIVER - **PRESSIONE** - STATO - IMPATTO - RISPOSTA

DISPONIBILITÀ DATI: SCARSA - **SUFFICIENTE** - OTTIMA

Descrizione dell'indicatore: è stato considerato il flusso di massa complessivo di sostanze organiche volatili autorizzato ai sensi del DM 803/88 da parte della Provincia di Verona.

Rappresentazione dell'indicatore: nella rappresentazione grafica è riportata la mappa dei flussi di massa complessivi di SOV, per ogni singolo comune, dovuti agli impianti autorizzati alle emissioni in atmosfera dalla Provincia di Verona. Sono stati colorati in maniera diversa i comuni caratterizzati da flussi di massa autorizzati (in Kg/h) di diversa entità.



Commento del risultato: Con il termine sostanze organiche volatili (SOV) si sono in realtà sommati i flussi massa complessivi di più sostanze diverse, tra le quali figurano idrocarburi alifatici ed aromatici, chetoni, esteri, alcoli, ammine ed aldeidi. Complessivamente nel territorio provinciale è autorizzata l'emissione, espressa come flusso di massa, di 4615 Kg/ora di sostanze organiche. I comuni in cui sono state rilasciate il maggior numero di autorizzazioni sono quelli appartenenti alla zona del mobile (Cerea, Sanguinetto...) e quelli situati nella cintura di Verona come San Martino Buon Albergo e San Giovanni Lupatoto.

Fonte dei dati: Archivio delle emissioni – Provincia di Verona

■ ■ Il contributo del riscaldamento domestico

La pressione esercitata dagli impianti termici sia industriali che civili è legata essenzialmente all'emissione di ossidi di zolfo (SO_x), ossidi di azoto (NO_x), biossido di carbonio (CO_2) e metalli pesanti, mentre risulta minore l'impatto di sostanze quali i solventi organici volatili (S.O.V.), monossido di carbonio (CO), ossido di azoto (NO_x) ed ammoniacia.

Tra gli inquinanti sopra menzionati vi sono gli ossidi di zolfo che, a seguito della combinazione con l'umidità dell'aria sono responsabili tra l'altro della formazione delle cosiddette piogge acide. La causa principale della formazione della SO_2 è lo zolfo presente nei combustibili, soprattutto nei carboni e negli oli combustibili. La graduale sostituzione delle caldaie alimentate a carbone con caldaie alimentate a gas metano e l'utilizzo di combustibili a sempre più basso tenore di zolfo ha portato ad una drastica riduzione delle emissioni di SO_2 , riduzione che risulta anche nelle misure di qualità dell'aria effettuate dalle centraline. Un esempio di questa riduzione dell'utilizzo di combustibili a basso tenore di zolfo si ha analizzando le vendite a Verona dal 1997: la quota di olio a basso tenore di zolfo (olio definito BTZ e caratterizzato da una concentrazione di zolfo inferiore dell'1%) rispetto all'olio combustibile totale è passata dal 89% del 1997 al 97% del 2002. I quantitativi di inquinanti emessi dagli impianti termici dipendono dal tipo e dalla quantità di combustibile nonché dalla tipologia dell'impianto.

Relativamente ai consumi di combustibile, se si analizzano i consumi di gasolio da riscaldamento e di olio combustibile negli ultimi 10 anni in provincia di Verona si nota una costante tendenza ad una limitazione del loro consumo (per il dettaglio dell'andamento delle vendite si veda il cap. 5 Energia - Vendita dei principali vettori energetici in Provincia). Per quanto riguarda l'andamento delle vendite di metano in provincia, dopo un rapido aumento negli ultimi anni 90, il consumo si è stabilizzato attorno ai 1100 milioni di m^3 .

■ ■ Il teleriscaldamento

Il teleriscaldamento consiste essenzialmente nella distribuzione a distanza di energia termica, prodotta da una fonte centralizzata, verso più utenti finali mediante una rete di distribuzione. Se abbinato alla cogenerazione costituisce un valido contributo alla riduzione dei consumi energetici primari ed alla riduzione dell'inquinamento atmosferico derivante dal riscaldamento degli edifici civili.

La cogenerazione, produzione combinata di energia elettrica e calore, consente un notevole risparmio energetico rispetto alla produzione separata delle medesime quantità di energia ed una sostanziale riduzione delle emissioni di inquinanti nell'atmosfera.

A Verona la prima centrale di teleriscaldamento, situata a Forte Procolo, risale al 1975 e serviva una volumetria di 0,2 milioni di metri cubi. Ora le centrali per la produzione di calore sono dislocate in 5 zone diverse della città e la volumetria scaldata è salita a 9 milioni di metri cubi.

L'acqua calda viene immessa nella rete di distribuzione e diretta verso le utenze finali, dove mediante scambiatori di calore si riscaldano i singoli condomini. Il combustibile utilizzato alle centrali di produzione è il metano, ciò minimizza le emissioni in atmosfera in particolare per quanto riguarda le polveri e gli ossidi di zolfo. Nella Tabella 7 sono riportati i diversi impianti di cogenerazione, la produzione lorda di calore, il tipo di combustibile usato e le emissioni dovute alle caldaie ausiliarie. Come si vede l'emissione annua di ossidi di azoto è pari a circa 26.000 Kg/anno.

Tabella 7: impianti di cogenerazione a Verona per la produzione di calore per il teleriscaldamento. Tipologia di impianto, combustibile, produzione lorda ed emissioni.

Nome impianto	Tipologia di impianto	Tipo di combustibile	Produzione lorda Mcal	Emissioni CO (Kg/anno)	Emissioni NOx (Kg/anno)
Cogenerazione	Ciclo combinato	Gas metano	76,587,538	218	9012
Borgo Trento	Caldaie ausiliarie	Gas metano	34,759,971		
Cogenerazione	Cogeneratori	Gas metano	-	20	535
Forte Procolo	Caldaie ausiliarie	Gas metano	2,919,245		
Cogenerazione	Cogeneratori	Gas metano	38,727,677	122	6965
Centro Città	Caldaie ausiliarie	Gas metano	24,009,622		
Cogenerazione	Cogeneratori	Gas metano	13,121,005	115	1788
Golosine	Caldaie ausiliarie	Gas metano	7,975,441		
Cogenerazione	Cogeneratori	Gas metano	16,536,445	269	7973
Banchette	Caldaie ausiliarie	Gas metano	32,331,475		

Sulla base dei dati riportati in Tabella 7 abbiamo stimato il contributo all'inquinamento atmosferico nella città di Verona delle centrali di cogenerazione tramite il modello di dispersione degli inquinanti ADMS -URBAN: nella Figura 18 è riportata la valutazione della dispersione a livello del suolo di biossido di azoto dovuto alle centrali di cogenerazione di Basso Acquar e di via Po nel periodo invernale novembre 2003 - marzo 2004.



Figura 17: camini di una centrale per il teleriscaldamento

Nel punto di massima ricaduta si hanno $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ circa: il valore medio giornaliero rilevato nel medesimo periodo dalla stazione di rilevamento di via Roveggia è pari a $82 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

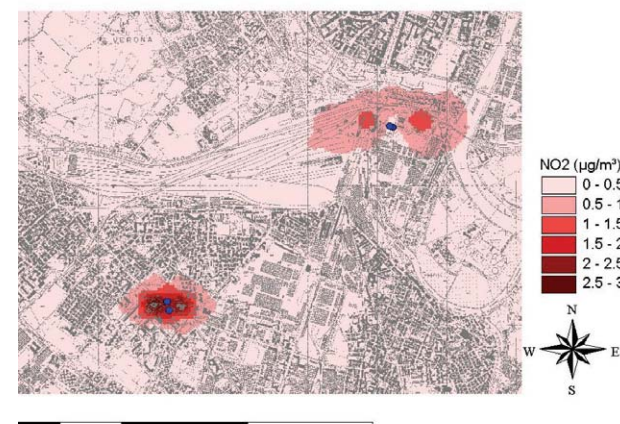


Figura 18: concentrazione giornaliera (in $\mu\text{g}/\text{m}^3$) a livello del suolo di biossido di azoto dovuto alla combustione di metano nelle centrali di cogenerazione di Basso Acquar e via Po. Periodo di riferimento: novembre 2003-marzo 2004

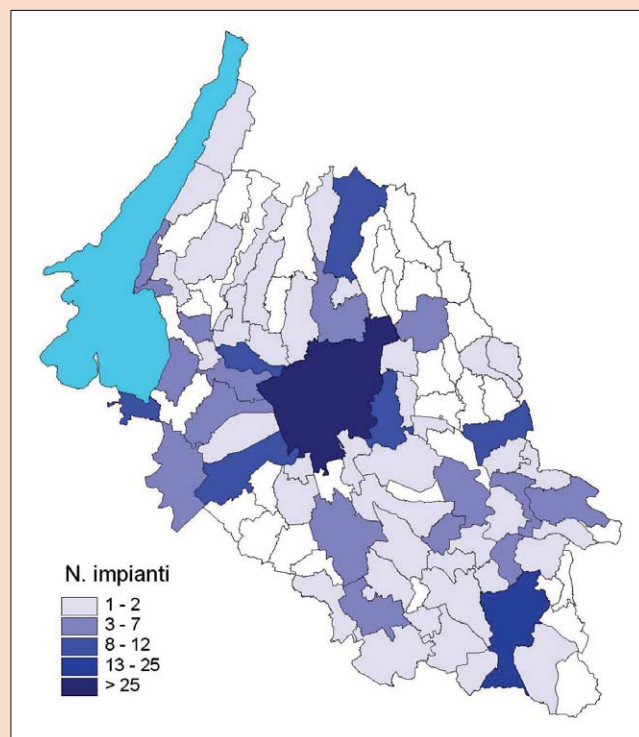
NOME INDICATORE: NUMERO DI IMPIANTI DI RISCALDAMENTO CON POTENZA SUPERIORE A 116 KW

TIPO DI INDICATORE: DRIVER - PRESSIONE - STATO - IMPATTO - RISPOSTA

DISPONIBILITÀ DATI: SCARSA - SUFFICIENTE - OTTIMA

Descrizione dell'indicatore: sono stati presi in considerazione gli impianti termici con potenza superiore a 116 kW e la loro distribuzione sul territorio.

Rappresentazione dell'indicatore: per ogni comune è stata riportata la distribuzione relativa degli impianti di riscaldamento, con potenza superiore ai 116 KW, soggetti a verifiche quinquennali sulla loro funzionalità.



Commento del risultato: il maggior numero di impianti termici con potenza superiore a 116 kW si trova nel comune di Verona e nel comune di Legnago.

Fonte dei dati: Dipartimento Provinciale ARPAV - Verona

NOME INDICATORE: TELERISCALDAMENTO

TIPO DI INDICATORE: DRIVER - PRESSIONE - STATO - IMPATTO - RISPOSTA

DISPONIBILITÀ DATI: SCARSA - SUFFICIENTE - OTTIMA

Descrizione dell'indicatore: sono state prese in considerazione le volumetrie in milioni di metri cubi riscaldate tramite teleriscaldamento nella città di Verona dal 1975 al 2003.

Rappresentazione dell'indicatore: nel grafico è riportato l'incremento delle volumetrie servite dal teleriscaldamento nella città di Verona.



Commento del risultato: il teleriscaldamento abbinato alla cogenerazione rappresenta una soluzione ottimale dal punto di vista della efficienza energetica. Ad una riduzione complessiva dei consumi energetici primari si associa una riduzione delle emissioni inquinanti e di CO₂. A Verona la rete di teleriscaldamento è gestita da AGSM, che con oltre 1000 edifici collegati, rappresenta il quarto operatore italiano.

Fonte: AGSM

Il contributo del traffico veicolare

Già nel precedente rapporto era stata evidenziata la crescente domanda di mobilità in provincia di Verona. In particolare negli ultimi 12 anni, dal 1991 al 2002, i flussi veicolari sulle autostrade A4 ed A22 sono aumentati del 50%. Verona si trova, infatti in una posizione strategica, nodo di scambio fra Nord e Sud della penisola e fra Est ed Ovest. La provincia è attraversata da due arterie di importanza nazionale: l'autostrada del Brennero, che rappresenta il collegamento principale fra il Sud della penisola e la Germania, e l'autostrada Brescia – Padova che è un tronco dell'asse di attraversamento della pianura Padana che collega l'Est Europeo con la Francia passando per centri di grande importanza economica quali Milano, Torino, e la stessa Verona.

La viabilità principale della provincia comprende, inoltre, le strade statali con un'estensione pari a 326 Km, che attraversano 47 comuni della provincia, e le strade provinciali con un'estensione di 1610 Km. Nella Tabella 8 è riportata la lunghezza dei tratti autostradali e delle strade statali e provinciali che interessano il territorio della nostra provincia.

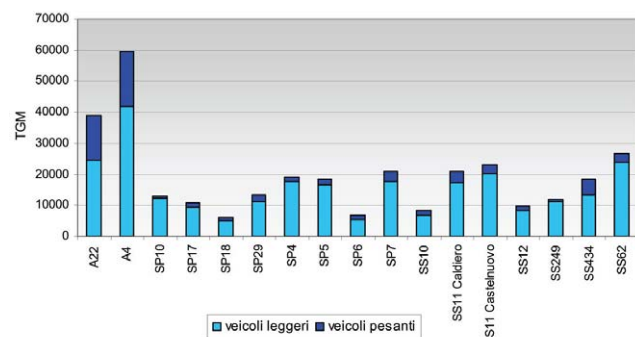
Tabella 8: lunghezza complessiva delle strade provinciali, statali e autostrade che interessano il territorio provinciale di Verona (fonte: PTP Provincia di Verona)

	Lunghezza (Km)
Autostrade	125
Strade statali e regionali	326
Strade provinciali	1512

I nuovi tratti stradali ed autostradali in progetto prevedono un incremento della rete stradale di circa il 15%; questo servirà sicuramente a migliorare gli spostamenti sul territorio provinciale, è necessario però sottolineare come un aumento dell'offerta di mobilità tramite automobile, non accompagnato da un adeguato potenziamento dell'offerta del servizio pubblico, provochi sul lungo periodo un aumento del volume di traffico e la conseguente congestione anche delle nuove arterie.

La Provincia di Verona – Servizio Viabilità ha sviluppato, negli anni compresi tra il 1999 e il 2002, un programma di monitoraggio del traffico sulla rete stradale extraurbana. Per ogni arteria interessata dallo studio è stato scelto uno o più siti di rilevamento: nella Figura 19 è rappresentato il flusso giornaliero medio, nei giorni feriali, sopportato dalle autostrade e dalle strade statali e provinciali oggetto di studio da parte della Provincia di Verona.

Figura 19: traffico giornaliero medio (numero di veicoli), suddiviso in veicoli leggeri e pesanti, relativo ai soli giorni feriali, sulle autostrade, strade provinciali e statali che attraversano la provincia di Verona (fonte: Provincia di Verona, Società Autostrade Brescia-Padova, Autostrada del Brennero). Periodo di riferimento: anno 2002



I dati relativi al flusso di traffico sulle autostrade sono stati forniti dalla società Autostrade Brescia-Padova e da Autostrada del Brennero S.p.A.; è stato poi calcolato il traffico giornaliero medio nei giorni feriali, nel semestre estivo e nel semestre invernale: i dati rappresentati nel grafico di Figura 19 si riferiscono al flusso medio nei giorni feriali. Poiché il conteggio del traffico effettuato per conto della Provincia di Verona si riferisce al periodo 1999 – 2002 si è considerato per omogeneità anche per l'autostrada il dato riferito all'anno 2002. Si può osservare come il flusso di traffico dovuto ai veicoli leggeri (automobili e furgoncini per il trasporto merci) su alcune strade statali e provinciali sia rilevante e confrontabile a quello riscontrato ad esempio sull'autostrada A22 del Brennero. Il traffico pesante interessa invece principalmente gli assi autostradali dove è pari a circa 5 volte quello mediamente osservato sulle strade statali e provinciali.

La composizione del parco macchine influenza in modo determinante la quantità e la qualità degli inquinanti immessi nell'atmosfera: si pensi che una macchina, a benzina, catalizzata, di cilindrata compresa fra 1400 cc e 2000 cc, compatibile con la normativa Euro 3, emette il 76% in meno di ossidi di azoto e l'86% in meno di composti organici volatili rispetto ad un'automobile catalizzata realizzata secondo la normativa Euro 1. Analogamente un mezzo commerciale pesante realizzato secondo la direttiva Euro 1 produce il 30% in meno di ossidi di azoto ed il 35% in meno di polveri rispetto ad uno convenzionale. Come si vede dai dati riportati nell'indicatore relativo alla composizione del parco macchine della provincia di Verona, sulle nostre strade circolano ancora un notevole numero di mezzi pesanti non catalizzati, circa 8000, e 177.000 vetture non catalizzate. La situazione nelle altre province del Veneto è analoga.

I risultati dell'indagine sui flussi veicolari delle strade statali e provinciali hanno costituito la base di partenza per la stima delle emissioni da traffico e il calcolo della dispersione degli inquinanti. La stima delle emissioni è stata effettuata tramite il programma EMIT, considerando la composizione del parco veicolare della provincia di Verona fornitaci dall'ACI ed i fattori di emissione EMEP – CORINAIR. Sono stati presi in considerazione solo i tratti delle strade provinciali e statali a cui potevano essere attribuiti i flussi rilevati: nell'indicatore "emissioni da traffico" sono rappresentate le emissioni, in g/Km/s, nei tratti stradali considerati dei due inquinanti più direttamente correlabili al traffico veicolare, benzene e di monossido di carbonio.

In Figura 20 e Figura 21 sono posti a confronto le emissioni di PM10 primario e ossidi di azoto dovute al traffico stradale nelle diverse arterie considerate: la differenza è dovuta sia al numero ed alla tipologia di veicoli che transitano sulle arterie considerate, sia alla velocità media di percorrenza. Per quanto riguarda le polveri sottili (PM10) è stata valutata solo l'emissione della componente primaria, cioè di quella componente direttamente attribuibile ai processi di combustione che avvengono nei motori degli autoveicoli. Altre fonti importanti di PM10 primario, non considerate in questo studio, sono quelle legate all'usura di freni e pneumatici ed alla risospensione delle polveri dal suolo. Vi è, inoltre, una componente secondaria dovuta alla condensazione in atmosfera di altri inquinanti gassosi quali ammoniaca, ossidi di azoto e di zolfo. Il contributo maggiore all'emissione di polveri sottili è dato dalle autostrade e dalle strade statali e provinciali maggiormente interessate dal traffico pesante. Analogamente per quanto riguarda le emissioni di ossidi di azoto.

Figura 20: contributo delle diverse arterie stradali alle emissioni di PM10 primario (in tonnellate per anno e per chilometro) (elaborazioni ARPAV, fonte dei dati: Provincia di Verona, Società Autostrada Brescia – Padova, Autostrada del Brennero)

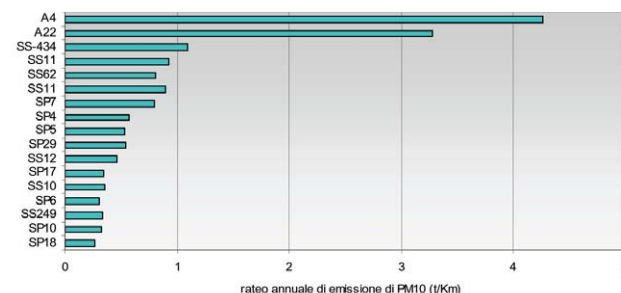
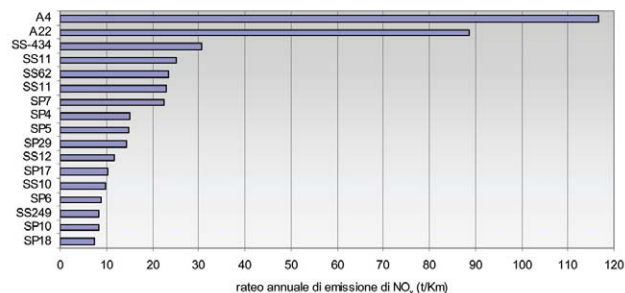


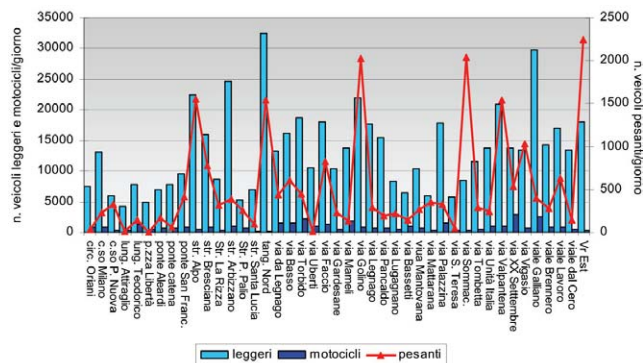
Figura 21: contributo delle diverse arterie stradali alle emissioni di ossidi di azoto (in tonnellate per anno e per chilometro) (elaborazioni ARPAV, fonte dei dati: Provincia di Verona, Società Autostrada Brescia – Padova, Autostrada del Brennero)



In ambito urbano il traffico veicolare è la maggior fonte di inquinamento atmosferico, in particolare per quanto riguarda inquinanti come il benzene direttamente prodotti dalla combustione delle benzine nei veicoli a motore.

Nell'ambito della città di Verona il Centro Responsabilità Mobilità e Traffico del Comune di Verona ha condotto un censimento del flusso veicolare sulle principali arterie cittadine nei mesi di maggio, novembre e dicembre 2002, in alcuni giorni feriali della settimana, ed il sabato. ARPAV ha elaborato i dati relativi ai soli giorni feriali, in modo da calcolare il traffico medio giornaliero diurno (TGM diurno feriale). In Figura 22 è riportata la composizione del flusso veicolare sulle strade oggetto di questo studio: le arterie che sopportano il maggior flusso di veicoli pesanti sono la Strada dell'Alpo, via Somaticampagna, via Golino e Vr Est. Il flusso maggiore di veicoli leggeri si registra su viale Colonnello Galliano, la tangenziale Nord, la Strada per Arbizzano

Figura 22: composizione del traffico veicolare sulle principali strade di Verona (veicoli/giorno) (fonte: Centro di Responsabilità Mobilità e Traffico Comune di Verona)



Nei grafici di Figura 23 e Figura 24 sono riportate le emissioni annuali dei principali inquinanti dovute al traffico veicolare sulle principali arterie cittadine, calcolate sulla utilizzando il programma EMIT della CERC, che utilizza fattori di emissioni basati sulla metodologia EMEP – CORINAIR.

Le emissioni maggiori di particolato fine (Figura 23) si hanno su quelle arterie che sopportano un forte flusso di veicoli pesanti (camion, autoarticolati e bus) quali la Strada dell'Alpo, tangenziale Nord, via Somaticampagna, VR Est, via Golino e via Vigasio). Le emissioni più elevate di benzene si hanno in strade cittadine quali viale Galliano, via Mameli, via XX Settembre in cui il traffico è costituito in prevalenza da mezzi leggeri.

Figura 23: stima delle emissioni annuali di benzene e PM10 primario (in Kg/anno/Km) dovute al traffico veicolare sulle principali arterie cittadine, calcolate col modello matematico EMIT (fonte dei dati di traffico: Centro di Responsabilità Mobilità e Traffico Comune di Verona)

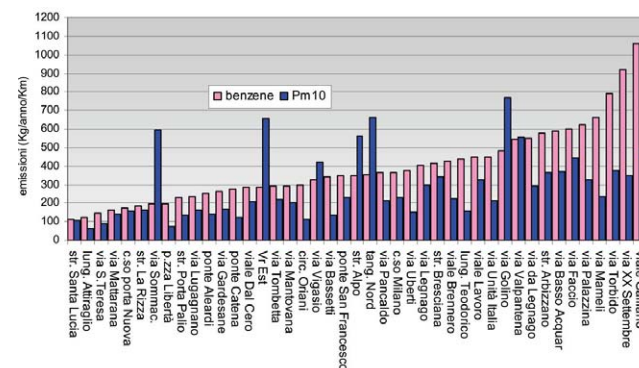
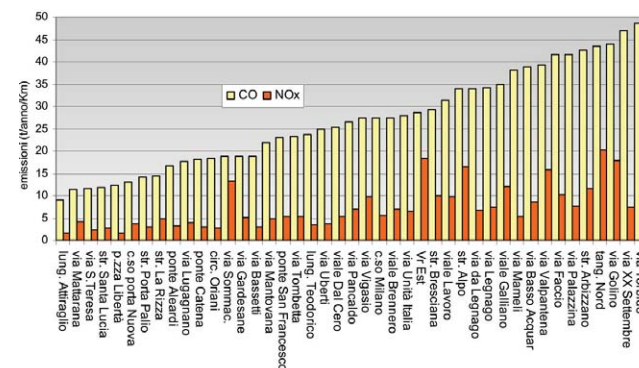


Figura 24: stima delle emissioni annuali di monossido di carbonio (CO) e ossidi di azoto (NOx) (in tonnellate/anno/Km) dovute al traffico veicolare sulle principali arterie cittadine, calcolate col modello matematico EMIT (fonte dei dati di traffico: Centro di Responsabilità Mobilità e Traffico Comune di Verona)



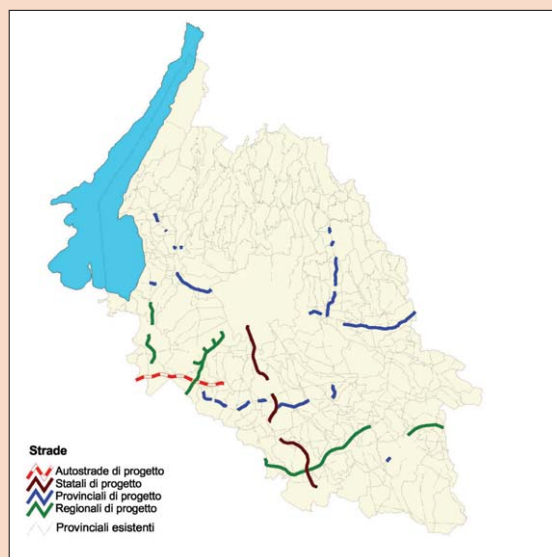
NOME INDICATORE: ESTENSIONE DELLA RETE VIARIA

TIPO DI INDICATORE: DRIVER - PRESSIONE - STATO - IMPATTO - RISPOSTA

DISPONIBILITÀ DATI: SCARSA - SUFFICIENTE - **OTTIMA**

Descrizione dell'indicatore: sono stati considerati i Km complessivi delle arterie extraurbane suddivise in autostrade, strade statali, provinciali, regionali, sia esistenti che in progetto.

Rappresentazione dell'indicatore: nella mappa viene riportato il tracciato delle arterie in progetto. I colori si riferiscono alle diverse tipologie di strade (autostrada, strada statale ecc.). Nella tabella è riportata la lunghezza complessiva per le diverse tipologie di strade e l'incremento dovuto ai progetti della nuova viabilità.



Tipologia strade	km esistenti	km in progetto	Incremento %
Autostrade	125	16	13
Statali	141	29	20
Regionali	194	58	30
Provinciali	1512	60	4

Commento del risultato: La provincia di Verona è attraversata da Nord a Sud e da Est a Ovest dalle due principali vie di comunicazione che attraversano rispettivamente la pianura Padana e la penisola da Nord a Sud. Di particolare importanza è il progetto della nuova autostrada (la cosiddetta TIBRE) che collegherà il Brennero con la costa Tirrenica, la provincia di Verona è interessata da un tratto di lunghezza pari a 16 Km.

Fonte dei dati: Settore Pianificazione della Provincia di Verona.

NOME INDICATORE: COMPOSIZIONE DEL PARCO MACCHINE

TIPO DI INDICATORE: DRIVER - PRESSIONE - STATO - IMPATTO - RISPOSTA

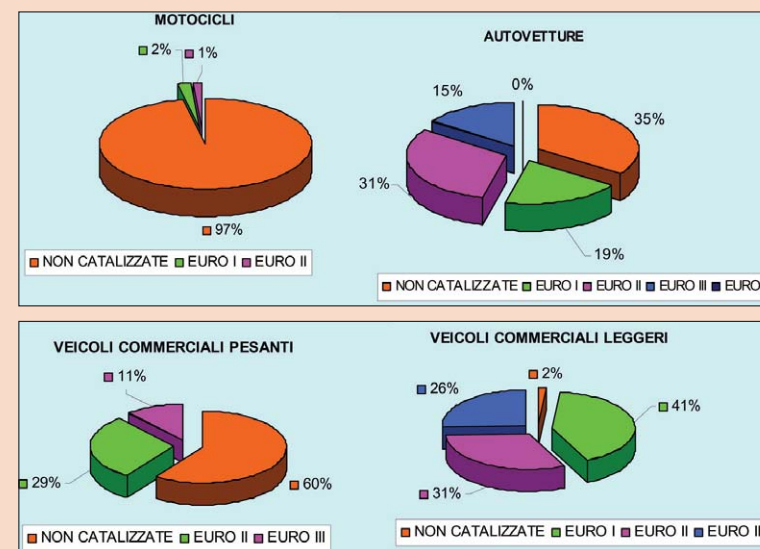
DISPONIBILITÀ DATI: SCARSA - SUFFICIENTE - **OTTIMA**

Descrizione dell'indicatore: i veicoli immatricolati in provincia di Verona sono stati suddivisi in tre o quattro classi in base alla rispondenza o meno delle Direttive Europee sulla limitazione delle emissioni dei veicoli motore: non catalizzati, Euro 1, Euro 2 ed Euro 3

Rappresentazione dell'indicatore: i veicoli sono stati suddivisi in

- > motocicli: in questa categoria sono stati inclusi i ciclomotori di cilindrata inferiore a 50 cm³, i motoveicoli a due tempi e a quattro tempi
- > autovetture: veicoli alimentati a gasolio e a benzina
- > veicoli commerciali leggeri: veicoli alimentati a benzina e a gasolio adibiti al trasporto di persone e merci
- > veicoli commerciali pesanti: camion di portata fino a 12 tonnellate alimentati a gasolio, autoarticolati di portata fino a 32 t ed oltre alimentati a gasolio. In questa categoria sono stati inseriti anche i pullman, bus e corriere

Per ognuna di queste quattro categorie è riportata la suddivisione nelle classi, non catalizzati, EURO 1, EURO 2 ed EURO 3.



Commento del risultato: il parco macchine immatricolato in provincia di Verona è costituito da 4,154,028 veicoli. Numerosa è ancora la quota di veicoli non catalizzati che circolano sulle strade della provincia. In particolare i motocicli non catalizzati rappresentano il 97% del totale, ed i veicoli commerciali pesanti non catalizzati costituiscono una quota pari al 60% del totale di questa categoria.

Fonte: ACI

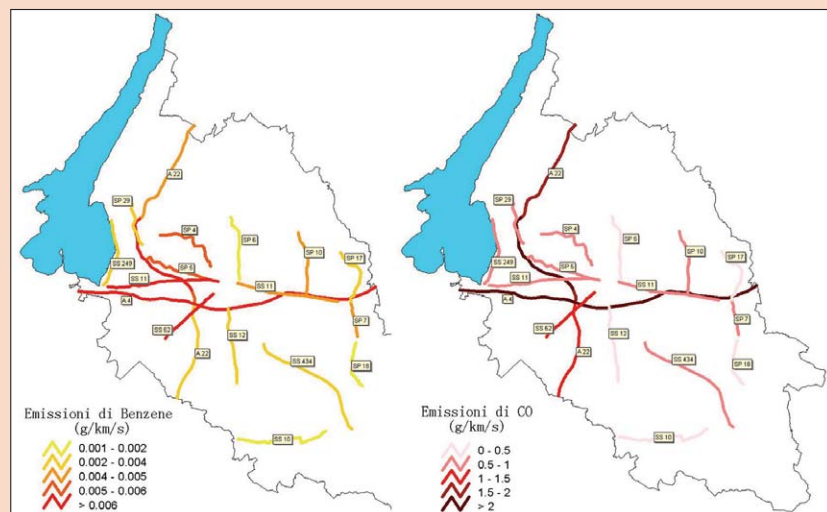
NOME INDICATORE: EMISSIONI DA TRAFFICO STRADALE

TIPO DI INDICATORE: DRIVER - PRESSIONE - STATO - IMPATTO - RISPOSTA

DISPONIBILITÀ DATI: SCARSA - SUFFICIENTE - OTTIMA

Descrizione dell'indicatore: sono state considerate le emissioni di benzene e monossido di carbonio dovuto al traffico veicolare sulle principali arterie provinciali. Le emissioni sono state stimate utilizzando il programma EMIT prodotto dalla CERC (Cambridge), che si basa sulla metodologia EMEP – CORINAIR ovvero sulla metodologia di riferimento in ambito europeo.

Rappresentazione dell'indicatore: nella mappa viene riportato con colori diversi il tracciato delle arterie oggetto di studio, in funzione delle emissioni unitarie di inquinanti. Le emissioni sono espresse in grammi per ogni chilometro e per ogni secondo



Commento del risultato: gli inquinanti considerati sono benzene e monossido di carbonio, quelli più strettamente correlati al flusso veicolare. Nello stimare le emissioni si è ipotizzato che i veicoli viaggiassero ad una velocità costante e che il flusso di traffico fosse costante sui tratti stradali studiati. Le arterie autostradali che attraversano la provincia da Est a Ovest e da Nord a Sud danno il contributo maggiore all'inquinamento atmosferico: si consideri che l'emissione di 0.001 g/Km/s corrisponde all'emissione di 31,5 Kg all'anno per ogni chilometro considerato. Significativa è anche l'emissione di monossido di carbonio e benzene che caratterizza la strada statale 11 che collega Peschiera a Verona e a San Bonifacio. (elaborazioni ARPAV, fonte dei dati: Provincia di Verona, Società Autostrada Brescia – Padova, Autostrada del Brennero)

Il trasporto delle merci

L'analisi dei fattori di pressione ambientale dovuti al traffico veicolare non può trascurare il trasporto merci. La modalità prevalente, in Italia, è su gomma e la provincia di Verona non fa eccezione.

L'autotrasporto assorbe quasi interamente il traffico a distanze inferiori a 50 km ed integra quasi tutte le operazioni di trasporto marittime, ferroviarie ed aeree. Nel 2001 i veicoli italiani adibiti al trasporto merci hanno realizzato 186 miliardi e 509 milioni di tonnellate-chilometro, con un aumento rispetto all'anno 2000 del 0,8%⁴. Le cause del prevalere del trasporto su gomma sono sia di tipo strutturale, legate sia ad una presenza insufficiente dell'infrastruttura ferroviaria ed alla scarsità di collegamenti marini e fluviali, sia alla distribuzione della popolazione e delle imprese sul territorio. L'incremento della domanda di trasporto, in particolare su strada, non è una tendenza solo italiana: anche a livello europeo si è assistito negli ultimi anni ad un aumento della domanda di trasporto maggiore del prodotto interno lordo. Ciò è legato a fattori macroeconomici e di globalizzazione che influenzano anche la realtà italiana sia a livello nazionale che a livello regionale e provinciale quali:

- > realizzazione di strategie di localizzazione diversificata dei processi produttivi con conseguente movimentazione di capitali, uomini e tecnologie;
- > strategie di approvvigionamento che comprendono magazzini a scorta zero o minima e quindi la necessità di avere rifornimenti veloci caratterizzati da un alto livello di sicurezza per garantire l'integrità dei carichi e da una valutazione dell'incidenza del fattore costo/tempo;
- > processi distributivi localizzati su base mondiale.

Come indicatore del traffico merci in provincia di Verona sono stati presi in considerazione le entrate e le uscite di mezzi pesanti dai caselli autostradali della provincia veronese. Un altro dato significativo per stimare il fattore di pressione ambientale dovuto al traffico di veicoli pesanti in provincia di Verona è fornito dal volume di traffico stradale da e per il Quadrante Europa. I dati disponibili fino al 1998 mostrano un significativo incremento del numero di mezzi sia da e per l'Estero sia nazionali che confermano il ruolo strategico di Verona quale nodo di scambio.

L'aeroporto Valerio Catullo di Villafranca ha visto nel corso degli anni un aumento continuo del numero di voli in partenza ed in arrivo: si è passati dai 11000 voli circa del 1990 ai 40.000 del 2003, con una leggera flessione nel 2002 e una netta ripresa nel 2003. Oggi è al secondo posto in Italia per il traffico charter. Per quanto riguarda le merci, come si vede dalla Tabella 9, il numero di tonnellate trasportate per via aerea è diminuito dal 1999 al 2003 del 70%, mentre è incrementata drasticamente la merce movimentata via terra.

Tabella 9: movimento merci presso l'Aeroporto Valerio Catullo per via terra e via aerea

Anno	Merce movimentata via terra (tonnellate)	Merce movimentata via aerea (tonnellate)	Totale (tonnellate)
1999	5048	1666	6715
2000	6477	1548	8026
2001	7029	1321	8350
2002	9646	1293	10940
2003	10530	630	11160

fonte: Aeroporto Valerio Catullo – CCIA

Verona è anche sede di un importante nodo ferroviario: dalla stazione di Porta Nuova si dipartono le linee che collegano la città con il nord Europa attraverso il Brennero ed il Sud Italia attraverso il nodo di Bologna; le linee di collegamento fra Est ed Ovest (il cosiddetto corridoio 5 Lione – Lubiana); le linee Verona – Mantova e Verona – Rovigo. Il trasporto su rotaia rappresenta, forse, l'unica valida alternativa, al trasporto su strada. In alcuni settori quali il trasporto ad alta velocità sulla lunga e media distanza, il trasporto merci intermodale si è assistito negli ultimi anni ad una crescita. Per quanto riguarda il trasporto merci si sono avute profonde modificazioni negli ultimi anni: in particolare il trasporto "a collettame" e a "carro diffuso" è stato sempre più sostituito dal servizio a treno completo. I dati degli ultimi due anni, riportati nell'indicatore "trasporto merci su rotaia", riferiti alle principali stazioni della provincia fotografano una realtà estremamente differenziata.

⁴ Annuario statistico italiano 2003

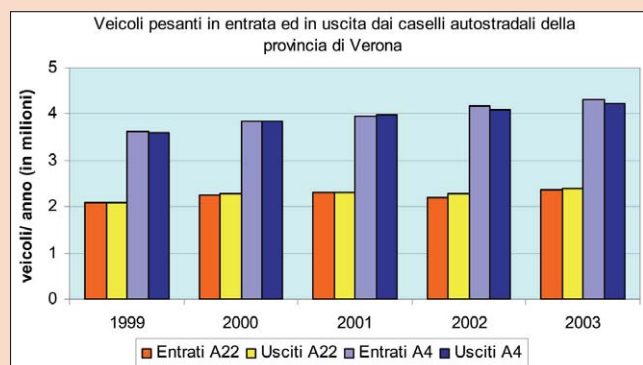
NOME INDICATORE: MERCI TRASPORTATE - MODALITÀ GOMMA

TIPO DI INDICATORE: DRIVER - PRESSIONE - STATO - IMPATTO - RISPOSTA

DISPONIBILITÀ DATI: SCARSA - SUFFICIENTE - OTTIMA

Descrizione dell'indicatore: Il traffico di veicoli pesanti a livello provinciale non può essere valutato direttamente ma attraverso i dati provenienti da alcuni poli attrattori o riferiti a grandi direttrici di traffico, fra i quali abbiamo individuato il Quadrante Europa e le Autostrade A4 e A22. Per stimare il peso del traffico pesante sulla provincia di Verona sono stati utilizzati i dati relativi ai veicoli pesanti in entrata ed in uscita dai caselli autostradali della provincia. Si è inoltre considerato il traffico stradale da e per l'interporto Quadrante Europa, che soprattutto negli ultimi anni ha ampliato notevolmente l'attività. I dati delle autostrade si riferiscono agli anni 1999-2003.

Rappresentazione dell'indicatore: per ogni modalità di trasporto vengono riportati le tonnellate di merci trasportate e/o il numero di mezzi in transito su base annuale.



Traffico stradale nell'interporto QE

	1994	1995	1996	1997	1998
N°mezzi					
Estero	30.417	35.957	40.451	53.682	85.093
Nazionale	4.255	5.203	5.504	6.252	15.950
TOTALE	34.672	41.160	45.955	59.934	101.043
fonte consorzio ZAI					

Commento del risultato: l'incremento del flusso di veicoli pesanti in entrata ed in uscita dal 1999 al 2003 è stato del 17% per l'autostrada A4 e del 14% per l'autostrada del Brennero. Questo comporta un flusso autostradale pari a 24.000 veicoli pesanti sull'A4 e a 11.000 sull'A22. Dal 1991 al 2002 l'incremento dei flussi sull'A4 è stato pari al 56%.

Fonti dei dati: AUTOSTRADA Brescia Verona Vicenza Padova S.p.A. - AUTOSTRADA DEL BRENNERO S.p.A., Consorzio ZAI, CCIA

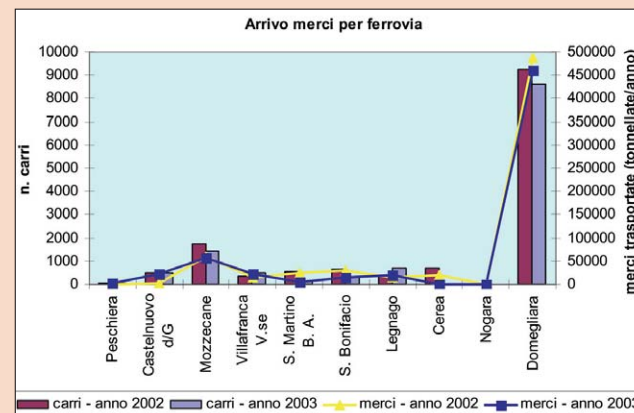
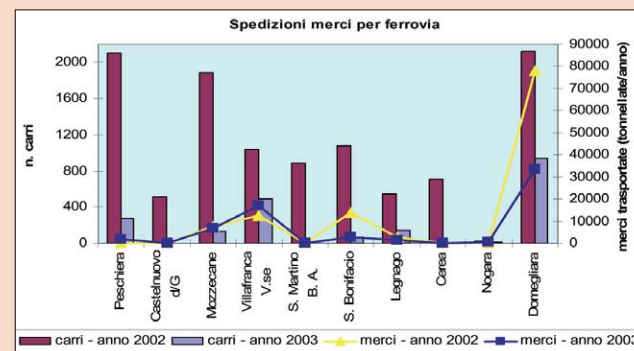
NOME INDICATORE: MERCI TRASPORTATE - MODALITÀ FERRO

TIPO DI INDICATORE: DRIVER - PRESSIONE - STATO - IMPATTO - RISPOSTA

DISPONIBILITÀ DATI: SCARSA - SUFFICIENTE - OTTIMA

Descrizione dell'indicatore: sono stati considerati gli arrivi e le spedizioni di merci (in numero di carri e tonnellate) da e per le principali stazioni della provincia, negli anni 2002 e 2003. (Fonti dei dati: Trenitalia S.p.A. Divisione Cargo)

Rappresentazione dell'indicatore: per ogni stazione vengono riportati le tonnellate di merci spedite ed arrivate ed il numero di carri su base annuale.



Commento del risultato: tra il 2002 ed il 2003 si assiste ad una diminuzione dei carri e delle tonnellate di merci in partenza dalle stazioni veronesi. Gli arrivi rimangono, invece, praticamente costanti. Questo può essere in parte spiegato dal fatto che il traffico ferroviario non è un traffico bilanciato: può accadere che arrivino in stazione dei carri vuoti o che non siano immediatamente disponibili le tipologie di carro richieste (piano anziché chiuso o viceversa). Anche eventuali lavori sulla linea concorrono a diminuire il traffico merci.

■ ■ Il trasporto pubblico

La rete di servizio pubblico extraurbano, gestita dall'Azienda trasporti Provinciali di Verona (APTV S.p.A) è costituita da 81 linee. La lunghezza della rete è stimata in km 4572.3, dato che non ha subito modificazioni rispetto a dieci anni fa. Attualmente non è previsto nessun progetto di estensione della stessa rete. (fonte: APTV S.p.A).

Per caratterizzare il servizio offerto si riportano nella tabella seguente (Tabella 10) le percorrenze annuali e i posti per Km offerti dagli autobus, ottenuti moltiplicando il dato della percorrenza delle linee in un anno per il numero di posti medio di un autobus (80).

Dal 1999 al 2003 si osserva una diminuzione del 6% delle percorrenze e del 9% dei posti per Km offerti.

Tabella 10: percorrenze annuali in Km e posti per Km offerti dalle linee interregionali e regionali

	1999	2000	2001	2002	2003
Percorrenze km/anno	13.299.897	12.860.944	13.392.007	12.557.859	12.514.156
Posti * km offerti	1.054.681.832	1.019.872.859	982.686.155	995.613.689	954.830.102

E' stata commissionata dall'azienda nel dicembre 2003 un'interessante indagine comportamentale riguardante l'utenza che si serve dei mezzi pubblici dell'APTV. (Fonte: APTV)

E' emerso che oltre l'80% degli intervistati considera il mezzo di trasporto pubblico come "indispensabile" per lo spostamento anche se, per diversi utenti, l'utilizzo ha una frequenza non giornaliera. C'è una componente consistente di passeggeri che percorre distanze medio-lunghe, per cui l'assenza di bus comporterebbe soluzioni alternative non banali e con problemi logistici e impatti ambientali estesi a gran parte del territorio provinciale.

In caso di interruzione provvisoria del servizio di trasporto pubblico, ad esempio per sciopero, il 48% ha dichiarato che rinunciarebbe al viaggio, il 40% utilizzerebbe un mezzo privato motorizzato, la restante quota utilizzerebbe servizi pubblici alternativi. Ipotizzando il caso di sospensione prolungata del servizio di trasporto, il 52% utilizzerebbe un mezzo privato motorizzato, mentre rimane elevata (anche se scende al 25%) la componente che rinunciarebbe al viaggio. In questo caso si avrebbe uno scenario ad impatto ambientale elevato, causato appunto dal massiccio impiego del mezzo privato.

L'Azienda APTV ha attuato o ha in fase di attuazione diverse iniziative volte a incentivare l'utilizzo del mezzo pubblico, ad esempio fidelizzando il cliente (introduzione dell'abbonamento plurimensile) o ancora offrendo un servizio di trasporto integrato, come nel caso del "Bus & Bike", ossia il viaggio in bus con bici a seguito. Si tratta di un vero e proprio servizio di linea, attivo sulle direttrici della Lessinia e del Lago di Garda che dà la possibilità di percorrere in bici i sentieri ed è anche un servizio di tipo turistico a noleggio per comitive in gita, con bici al seguito ospitate su rimorchio. In quest'ultimo caso si è riscontrato un notevole interesse per il servizio non solo tra gli appassionati, ma anche nel mondo della scuola e del tempo libero.

Inoltre, la collaborazione con l'Azienda FS e l'Aeroporto Catullo ha consentito di realizzare un'efficace integrazione tra i diversi modi di trasporto: il servizio Aerobus collega, con un frequenza di 20 minuti, l'Aeroporto con la Stazione Ferroviaria di Porta Nuova, l'Autostazione APTV e la Fiera. L'impegno per sinergie e combinazioni di viaggio con altri mezzi di trasporto, amministrazioni ed enti, pubblici e privati, si è concretizzato nell'abbonamento unico APTV/FS, oltre che nel trasporto combinato "Bus & Bike" in collaborazione con la Provincia di Verona ed alcuni comuni scaligeri, sopra citato. Alcune delle limitazioni che l'utenza imputa al servizio pubblico sono legate ai tempi di attesa e di percorrenza. Nella Tabella 11 sono riportati i tempi di percorrenza e le velocità commerciali per lacune delle linee APTV. Questi dati sono stati estrapolati utilizzando le direttrici più importanti della provincia servite dai mezzi dell'APTV, scelte sulle 81 autolinee complessive che interessano l'intero bacino di traffico veronese e si estendono anche alle vicine province di Brescia, Trento, Mantova, Rovigo, Padova e Vicenza con collegamenti stagionali alla riviera adriatica.

Il rapporto tra la velocità commerciale e il tempo di percorrenza medio è correlato sia alla lunghezza del percorso, sia al tipo di traffico che si trova concentrato soprattutto su determinate direttrici ed a determinate ore. Rispetto agli anni passati, i valori della velocità commerciale sono rimasti invariati. Quello che si è riscontrato nell'ultimo decennio è stata la sempre maggior difficoltà a rispettare i tempi di percorrenza programmati nelle ore di punta, difficoltà comunque non tali da costringere l'Azienda ad ampliare i tempi di percorrenza delle corse.

Tabella 11: velocità commerciali e tempi di percorrenza delle principali linee APTV

diretrice	linea	Velocità commerciale (km/h)	tempo di percorrenza (minuti)
Valpolicella	VR - Domegliara	30,8	50
Valpantena	VR - Boscochiesanuova	27	80
SS 11 Vicenza	VR - San Bonifacio	33,2	55
Borgo Roma	VR - Zevio - Albaredo	34,6	60
Borgo Roma	VR - Cerea - Legnago	41,6	70
Borgo Roma	VR - Cadividav- Isola della Scala	34,9	38
Borgo Roma	VR - Azzano - Mantova	34	80
Santa Lucia	VR - Villafranca	37,4	30
Borgo Milano	VR - Bussolengo - Garda	34,8	62

L'utenza servita dal trasporto pubblico extraurbano è analizzata nell'indicatore "numero di utenti annui del trasporto pubblico locale". La maggior parte dei viaggiatori è abbonato e fra questi l'80% è costituito da studenti.

NOME INDICATORE: NUMERO DI UTENTI ANNUI DEL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE

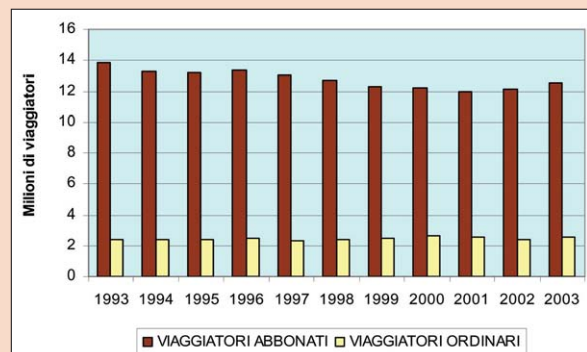
TIPO DI INDICATORE: DRIVER - PRESSIONE - STATO - IMPATTO - RISPOSTA

DISPONIBILITÀ DATI: SCARSA - SUFFICIENTE - OTTIMA

Descrizione dell'indicatore: è stato considerato il numero di abbonamenti venduti fra il 1993 e il 2003 a studenti e lavoratori ed il numero di utenti ordinari nello stesso periodo.

Rappresentazione dell'indicatore: i dati sono riportati sia nella tabella, sia nel grafico sottostante.

ANNO	VIAGGIATORI ABBONATI	VIAGGIATORI ORDINARI
1993	13.823.830	2.382.058
1994	13.241.400	2.378.866
1995	13.235.199	2.421.360
1996	13.366.893	2.458.865
1997	12.989.979	2.344.146
1998	12.681.587	2.381.174
1999	12.307.683	2.466.404
2000	12.170.348	2.649.486
2001	11.956.746	2.560.001
2002	12.104.082	2.379.594
2003	12.530.188	2.556.046



Commento del risultato: il numero di abbonati è diminuito dal 1993 ad oggi del 9% circa, mentre i viaggiatori con titolo di viaggio ordinario sono aumentati del 7%. L'anno in cui si è avuto il maggior calo nelle vendite degli abbonamenti è stato il 2001, con una riduzione del 13% rispetto al 1993. Nel 2000 e nel 2001 sono leggermente aumentate le vendite dei titoli di viaggio ordinari. I viaggiatori abbonati, costituiti per l'80% da studenti sono aumentati nel 2003 del 5% circa rispetto al 2001, anche grazie all'introduzione di nuove tipologie di abbonamento, come ad esempio gli abbonamenti plurimensili, con 3.059 titoli venduti rispetto ai 1.659 del 2002 ed ai 473 del 2001.

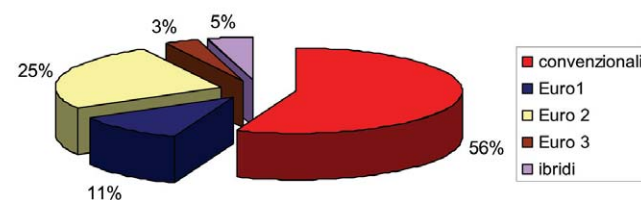
Per quel che riguarda i viaggiatori ordinari, la quantità si è mantenuta sull'ordine dei due milioni di viaggiatori l'anno, seppur con un andamento oscillatorio. L'analisi di questo movimento denota una domanda dei passeggeri con biglietto in crescita del 7,42%.

Il trasporto pubblico nell'ambito urbano della città di Verona

Nell'ambito urbano della città di Verona il servizio pubblico di trasporto è gestito dall'Azienda Municipale Trasporti (AMT) ed è costituito da 30 linee di cui 21 diurne e 9 serali e festive, per una lunghezza complessiva di circa 320 Km. La flotta di veicoli in uso è costituita da 177 mezzi di cui 118 non rispondenti agli standard di emissione EURO2, 45 conformi allo standard Euro 2 e 6 ibridi; 59 mezzi hanno il pianale ribassato consentendo un migliore accesso e comfort all'utilizzatore.

I mezzi a gasolio utilizzano un emulsione di gasolio ed acqua composta all'88% da gasolio e all'11% di acqua che consente di ridurre le emissioni di ossidi di azoto e polveri in particolare.

Figura 25: composizione del parco macchine dell'Azienda Municipalizzata Trasporti – anno di riferimento 2003 (fonte : AMT)



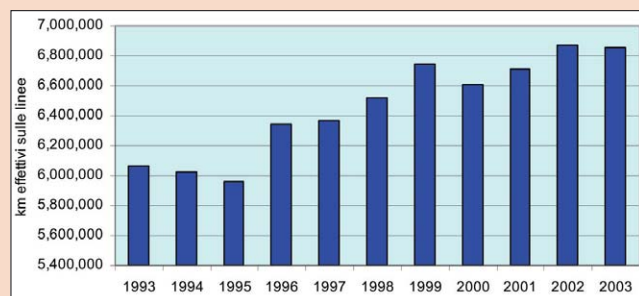
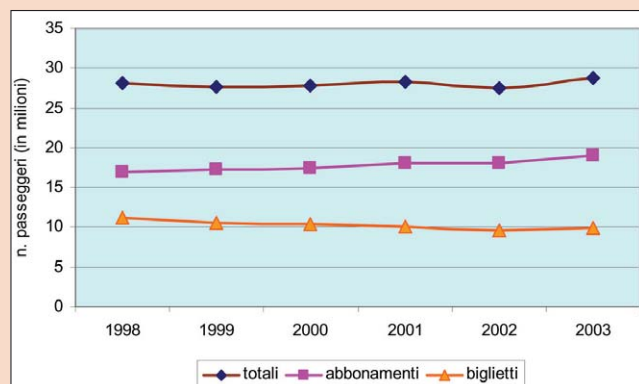
NOME INDICATORE: TRASPORTO PUBBLICO URBANO

TIPO DI INDICATORE: DRIVER - PRESSIONE - STATO - IMPATTO - RISPOSTA

DISPONIBILITÀ DATI: SCARSA - SUFFICIENTE - OTTIMA

Descrizione dell'indicatore: sono stati presi in considerazione il numero di viaggi effettuati sulle linee urbane della AMT nel periodo 1998-2003 ed i KM effettivi percorsi dai mezzi nel periodo 1993-2003.

Rappresentazione dell'indicatore: nei grafici seguenti sono riportati il numero di passeggeri trasportati dalle linee AMT suddivisi fra abbonati e biglietti. Nel caso dei passeggeri abbonati sono stati considerati il numero di viaggi stimati. Nel grafico successivo è riportato l'andamento delle percorrenze complessive sulla rete urbana dal 1993 al 2003.



Commento del risultato: il numero di passeggeri che utilizzano le linee urbane è rimasto pressoché costante dal 1998 al 2003; i passeggeri con abbonamento hanno visto un incremento leggero, ma costante negli ultimi anni. I chilometri effettivi percorsi nel decennio 1993-2003 sono aumentati del 12%

Fonte: AMT

L'impatto sull'ambiente

L'inquinamento atmosferico influenza negativamente non solo la salute umana ma anche l'intero ecosistema: un esempio è dato dalla progressiva acidificazione dei laghi del Nord Europa con pesanti conseguenze sull'intero ecosistema lacustre o l'acidificazione delle piogge che ha compromesso intere foreste del centro e Nord Europa. Questi fenomeni hanno dato origine ai primi accordi extraterritoriali per il controllo dell'inquinamento.

La modifica dell'habitat può essere investigata anche a scala più piccola, studiando le alterazioni di organismi viventi particolarmente sensibili all'inquinamento atmosferico, come ad esempio i licheni. Tramite le metodiche di biomonitoraggio è possibile definire il grado di alterazione o di naturalità di un dato ambiente: viene, infatti stimato il grado di alterazione dalle condizioni normali e tradotto in giudizio sulla qualità dell'ambiente. In questo modo si evidenzia la sinergia dei diversi inquinanti nel modificare le componenti reattive dell'ambiente.

Nel Dipartimento di Verona è attivo dal 1999 un gruppo di lavoro che si occupa di biomonitoraggio utilizzando le metodiche di bioindicazione e bioaccumulo.

Biomonitoraggio

Il biomonitoraggio si basa sostanzialmente sullo studio e l'interpretazione degli effetti prodotti dall'inquinamento sugli organismi viventi e sulle loro comunità. Gli organismi utilizzati sono definiti "**indicatori biologici**". In presenza di determinate concentrazioni di inquinanti subiscono variazioni facilmente rilevabili e quantificabili. Tali indicatori biologici devono comunque possedere alcune caratteristiche fondamentali:

- > essere distribuiti ubiquitariamente, facilmente reperibili ed individuabili, stazionari o con scarsa mobilità;
 - > essere capaci di reagire alle alterazioni antropiche ambientali;
 - > essere caratterizzati da un lungo ciclo vitale;
 - > non devono presentare sensibilità troppo elevata qualora siano utilizzati come bioaccumulatori.
- Devono, al contrario, esibire una sensibilità graduale all'inquinamento e resistere agli stress ambientali naturali;
- > presentare un accrescimento lineare e continuo.

Con il biomonitoraggio ambientale gli indicatori biologici vengono utilizzati come bioindicatori oppure come bioaccumulatori.

Per definizione un **bioindicatore** è un organismo che interagisce con l'ambiente in presenza di determinate concentrazioni di inquinanti e subisce variazioni facilmente rilevabili e quantificabili. Larga applicazione trovano i licheni. La presenza di gas fitotossici influenza sia la diminuzione del numero di specie licheniche presenti, sia la diminuzione della loro copertura e frequenza. La ricchezza floristica e la frequenza delle specie presenti su forofiti idonei (tiglio, quercia, ciliegio ecc..) permettono di ricavare un indice di qualità ambientale. I rilievi delle specie licheniche vengono eseguiti con l'ausilio di un apposito retino a maglie definite per delimitare sul tronco l'area di indagine.

Un **bioaccumulatore** invece è un organismo in grado di assorbire ed accumulare al suo interno le sostanze presenti nell'aria compresi gli inquinanti chimici, senza subire danni, per periodi più o meno lunghi. E' una vera centralina naturale di rilevamento. L'analisi chimica del loro contenuto permette di identificare precise sostanze inquinanti e di ricostruire i "patterns" di deposizione. Come organismo bioaccumulatore possono essere utilizzati muschi o licheni. Il DAP di Verona ha utilizzato muschio *Hypnum cupressiforme* (presenta buone capacità di accumulo ed è facilmente reperibile nell'ambiente). La procedura prevede l'allestimento di "moss bags" (circa 500 mg di muschio racchiuso in una apposita retina) e successivo posizionamento nelle stazioni individuate. Tali moss bags vengono esposti otto settimane in un'area completamente libera da coperture. I campioni raccolti devono poi essere mineralizzati e sottoposti ad analisi per la ricerca di metalli pesanti.

Bioindicazione - biodiversità lichenica

Nel corso del 2003 è stata condotta una campagna su scala regionale basata sulla valutazione della biodiversità lichenica. I punti di monitoraggio scelti sono quelli che costituiscono la rete nazionale, proposta da APAT, basata su un insieme di siti di campionamento individuati con criterio statistico ed una densità di 18 x 18 Km. Questa rete risulta sovrapposta alla rete europea EU-UN/ECE per il rilevamento dei danni forestali dovuti all'inquinamento atmosferico. La metodologia seguita è quella definita dalle "Linee guida per la bioindicazione lichenica"⁵. I risultati della campagna sono descritti nell'indicatore "Biodiversità lichenica in provincia di Verona" e sono espressi come valori di biodiversità lichenica (BL).

Tabella 12: Scala di naturalità/alterazione

Livello	BL	giudizio
1	0	Alterazione molto alta – deserto lichenico
2	1-15	Alterazione alta
3	16-30	Alterazione media
4	31-45	Alterazione/ naturalità bassa
5	46 – 60	Naturalità media
6	61- 75	Naturalità medio alta
7	>76	Naturalità alta

La bioindicazione costituisce un valido contributo al monitoraggio strumentale: permette, infatti, di individuare zone critiche in cui eseguire indagini più approfondite, di monitorare lo stato degli ecosistemi in zone remote e poco antropizzate in cui normalmente non vengono svolte campagne di misura. Non ultimo, fornisce un dato importante per la verifica dei modelli di dispersione degli inquinanti.

Per questi motivi si è scelto di analizzare il territorio circostante il nuovo impianto di termovalorizzazione di AGSM in località Ca' del Bue nel comune di Verona tramite la metodica della bioindicazione e del bioaccumulo. Sono state condotte tre campagne per rilevare il valore di biodiversità lichenica: nel 1999 prima dell'avvio dell'impianto, nel 2002 e nel 2004 con l'impianto in funzione. E' stata applicata la metodica proposta da Nimis⁶ in uso prima della pubblicazione del manuale ANPA. Quest'ultima metodica si diversifica per due aspetti fondamentali: le stazioni sono individuate in funzione della presenza degli alberi, il reticolo per il rilievo presenta un diverso numero di maglie e viene posizionato nell'area del tronco più ricca di specie licheniche.

Nella Figura 27 è riportata la localizzazione delle 13 stazioni individuate per lo studio della zona interessata dall'eventuale impatto ambientale derivante dal funzionamento del termovalorizzatore di Ca' del Bue. Nella Tabella 13 sono riportati i valori di biodiversità lichenica rilevati nelle campagne del 1999, 2002 e 2004.

Le mappe in Figura 28, Figura 29 e Figura 30 riportano in forma cartografica i valori di biodiversità lichenica rilevati nelle tre campagne del 1999, 2002 e 2004.

Figura 26: licheni epifiti raccolti nell'area di Ca' del Bue



⁵ Manuale e linee Guida « I.B.L. Indice di Biodiversità Lichenica » ANPA 2/2001

⁶ Nimis et al. Atti del Workshop « Biomonitoraggio della qualità dell'aria sul territorio nazionale » ANPA Atti 2/1999

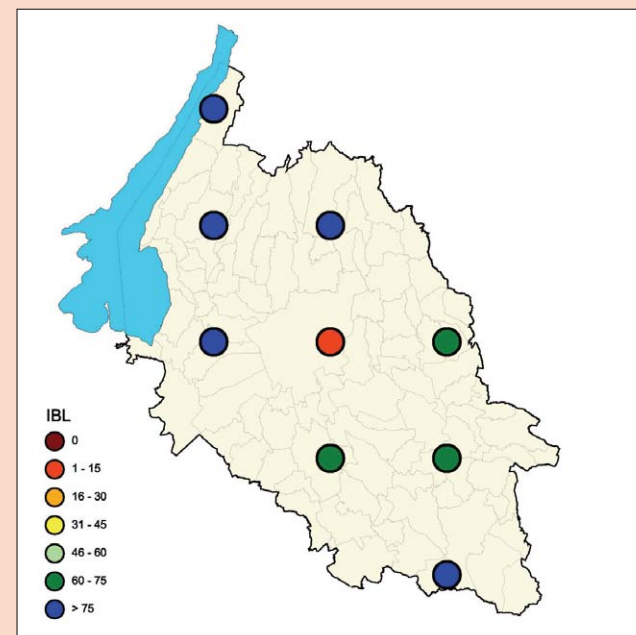
NOME INDICATORE: BIODIVERSITÀ LICHENICA IN PROVINCIA DI VERONA

TIPO DI INDICATORE: DRIVER - PRESSIONE - STATO - **IMPATTO** - RISPOSTA

DISPONIBILITÀ DATI: SCARSA - SUFFICIENTE - **OTTIMA**

Descrizione dell'indicatore: sono stati rappresentati i valori dell'indice di biodiversità lichenica nei punti della rete di rilevamento costituita da una maglia di dimensioni 18 x 18 Km.

Rappresentazione dell'indicatore: sulla mappa sono segnati i punti di rilevamento in colore diverso a seconda del grado di naturalità o alterazione rilevato.



Commento del risultato: i punti della rete di rilevamento ricadono nei seguenti comuni della provincia:

- | | |
|------------------------|---------------------|
| 1. Albaredo d'Adige | 2. Cerea |
| 3. Roverè Veronese | 4. Malcesine |
| 5. Monteforte d'Alpone | 6. Caprino Veronese |
| 7. Isola della Scala | 8. Sona |
| 9. Verona | |

I comuni in cui è stato riscontrato un valore di naturalità elevato (>75 nella scala IBL) sono Malcesine, Caprino, Sona e Albaredo d'Adige. A Verona si è riscontrato un grado di alterazione elevato. Nei restanti comuni il grado di naturalità è medio/alta

Tabella 13: Valore dell'indice IBL ricavato con il metodo della bioindicazione nelle 3 campagne attorno al sito di Ca' del Bue. Sono sottolineati i valori relativi ai punti di monitoraggio in cui nell'ultima campagna è stato rilevato un valore più alto di IBL, tale da passare da una categoria a maggiore alterazione/minore naturalità ad una di minore alterazione/maggiore naturalità

Codifica stazione	Stazione	Indice IBL Anno 1999	Indice IBL Anno 2002	Indice IBL Anno 2004
1	Casa Nuove (San Martino Buon Albergo)	30.50	33.5	32
2	Ca' del Bue (Verona)	23.00	12.25	14.5
3	Via Mattozze (Verona)	14.33	15.00	17
4	Villa Bernini Buri (Verona)	10.75	17.50	18.75
5	Brazze di Sopra (Verona)	0.00	3.66	6.66
6	Via Sasse (Verona)	15.75	28.75	34
7	Via Cartiera n 10-12 (San Giovanni Lupatoto)	36.75	47.00	47.25
8	Via Porto, (San Giovanni Lupatoto)	12.66	34.00	40.25
9	Via Lugo, 29 – Palazzina (Verona)	14.50	----	32.5
10	Ponte Campalto (San Martino Buon Albergo)	31.25	36.00	42
11	Viale del Lavoro (San Martino Buon Albergo)	27.50	29.75	27.75
12	Strada Rodigina, 102 (San Giovanni Lupatoto)	32.00	----	
13	Via Cà Nova Zampieri (San Giovanni Lupatoto)	4.25	9.00	20.75
14	Porto San Pancrazio (Verona)	----	18.63	30.33

In nessuna stazione è stato rilevato un indice di biodiversità lichenica superiore a 45: questo indica che il territorio attorno all'impianto di Ca' del Bue è un territorio caratterizzato da una naturalità bassa e da un grado di alterazione da medio ad alto. In alcune stazioni si è però riscontrato un netto miglioramento dal 1999 al 2004. In particolare:

- Stazione 4 (Villa Bernini Buri): questa stazione era già stata monitorata dalla Regione Veneto nel '90 e nel '95 ed erano stati registrati risultati pessimi. Con le indagini successive del 1999 e del 2002 si è evidenziato un trend positivo del valore di I.B.L., confermato dall'indagine del 2004.
- Stazione 5 (Brazze di sopra): nel 2002 si incominciano ad evidenziare alcuni piccoli talli di *Phaeophyscia orbicularis* e *Candelariella reflexa*, l'andamento positivo è confermato nel 2004 anche se l'indice IBL rimane inferiore a 15 (alterazione alta)
- Stazione 13 (via Ca' Nova Zampieri): rispetto alla situazione del 1999 con il monitoraggio del 2002 si è evidenziato un incremento dell'indice I.B.L. dovuto alla presenza di piccoli nuovi talli che probabilmente hanno colonizzato recentemente il tronco dei tigli. Ciò è da attribuire al fatto che è stata definitivamente aperta la tangenziale e il traffico si è notevolmente ridotto. Nel 2004 l'indice I.B.L. è passato da 9 a 20, si è quindi passati da uno stato di alterazione alta ad uno di alterazione media.
- Stazione 14 (Porto San Pancrazio): Questo valore di indice I.B.L. se confrontato con la scala di valutazione si attesta su "molto basso", è quindi ben lontano dalla situazione altamente negativa riscontrata nella stazione limitrofa n. 5 di Via Brazze. Nel 2004 l'indice è pari a 30, corrispondente ad uno stato di alterazione media. È da sottolineare che dal 2003, il traffico all'interno del quartiere Porto San Pancrazio è fortemente diminuito in seguito alla chiusura di un passaggio a livello.

Nella Stazione 2 (Ca' del Bue) si è riscontrato dal 1999 al 2002 una riduzione delle specie del 50% circa. Sono sparite l'*Hyperphyscia adglutinata* e la *Lecanora chlorotera* mentre la *Candelaria concolor* malgrado

ancora presente ha subito una notevole riduzione e la specie *Phaeophyscia orbicularis* presenta una modesta riduzione. Nel 2004 l'indice I.B.L. è risultato leggermente superiore a quello rilevato nel 2002, confermando un grado di alterazione elevata.

Figura 27: Localizzazione delle stazioni di monitoraggio utilizzate per determinare l'indice IBL, distribuite attorno alla località del Ca' del Bue

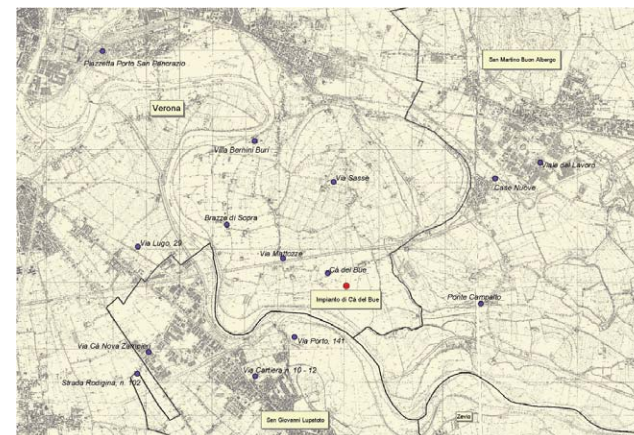


Figura 28: valori di IBL rilevati nell'anno 1999 nelle stazioni di misura situate attorno all'impianto di Ca' del Bue

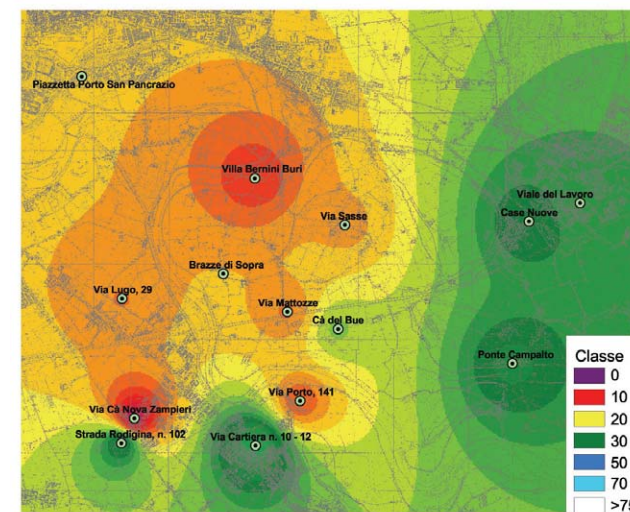


Figura 29: valori di IBL rilevati nell'anno 2002 nelle stazioni di misura situate attorno all'impianto di Ca' del Bue

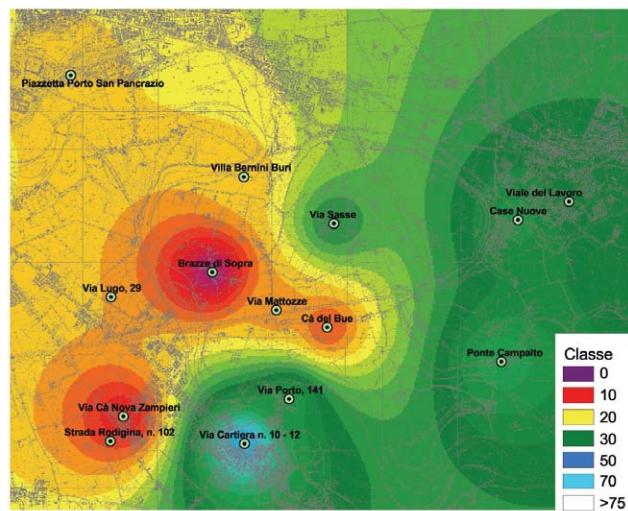
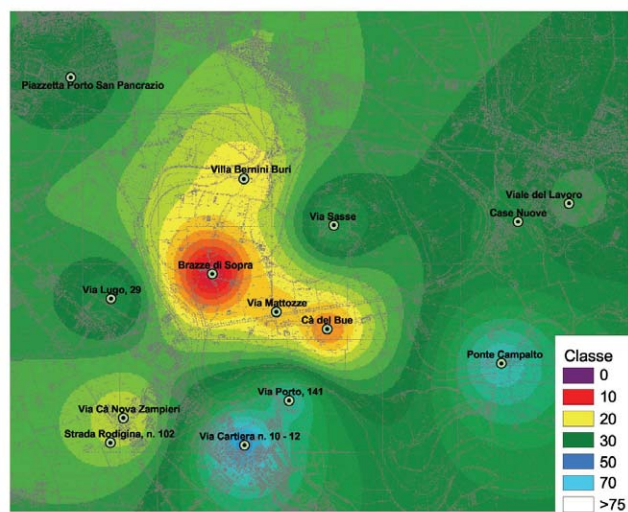


Figura 30: valori di IBL rilevati nell'anno 2004 nelle stazioni di misura situate attorno all'impianto di Ca' del Bue



La campagna di biomonitoraggio di Ca' del Bue tramite bioaccumulo con muschi trapiantati

Nelle stesse postazioni in cui è stato valutato l'indice I.B.L. sono stati posizionati, nell'autunno del 2004, i muschi trapiantati ("moss bags") per ottenere indicazioni riguardanti le deposizioni atmosferiche di metalli avvenute nel periodo di esposizione. Il muschio esposto appartiene alla specie *Hypnum cupressiforme* che bene si presta ad intrappolare il particolato atmosferico. I muschi trapiantati sono stati collocati ad un'altezza di 1,5-2 m dal suolo in aree ben esposte evitando coperture di alberi, edifici, ecc. La concentrazione di metalli è stata determinata con la tecnica analitica di spettrofotometria di assorbimento atomico in fornetto di grafite e in fiamma.

Tabella 14: Concentrazioni di metalli (mg kg⁻¹ peso secco) presenti in *Hypnum cupressiforme* prelevato nelle stazioni attorno a Ca' del Bue

Codifica stazione	Stazione	Cadmio	Cromo	Nichel	Piombo
1	Casa Nuove (San Martino Buon Albergo)	0.06	1.68	0.83	3.51
2	Cà del Bue (Verona)	0.10	8.57	4.41	12.11
3	Via Mattozze (Verona)	0.04	3.68	2.01	6.51
4	Villa Bernini Buri (Verona)	0.06	0.58	0.41	1.91
5	Brazze di Sopra (Verona)	0.10	2.07	1.01	4.89
6	Via Sasse (Verona)	0.06	0.95	0.68	3.53
7	Via Cartiera n 10-12 (San Giovanni Lupatoto)	0.00	0.48	0.27	1.11
8	Via Porto, (San Giovanni Lupatoto)	0.06	2.08	1.21	3.49
9	Via Lugo, 29 – Palazzina (Verona)	0.04	0.88	0.40	2.09
10	Ponte Campalto (San Martino Buon Albergo)	0.06	0.98	0.61	2.80
11	Viale del Lavoro (San Martino Buon Albergo)	0.06	2.07	1.20	3.49
13	Via Cà Nova Zampieri (San Giovanni Lupatoto)	0.06	1.10	0.64	4.88
14	Porto San Pancrazio (Verona)	0.02	0.48	0.01	1.11

Nella Tabella 14 sono riportati i valori di concentrazione di alcuni metalli pesanti, scelti fra quelli ritenuti indicativi di un inquinamento dovuto ad attività antropiche. Con il metodo del bioaccumulo con muschi trapiantati si ottengono informazioni relative alla presenza di metalli pesanti dovuta all'immissione nell'ambiente nel periodo di esposizione dei muschi. Nelle figure seguenti (n. 31-34) sono riportati in forma grafica i risultati dell'indagine condotta con questa metodica. Se si confrontano i livelli di concentrazione di cromo, piombo e nichel nella zona attorno a Ca' del Bue (stazioni n. 2, 3 e 5) con quelli rilevati in zone non contaminate si nota in generale un livello di contaminazione diffusa.

In due stazioni (la n. 2 di Ca' del Bue e la n. 13 di via Cà Nova Zampieri) era stata effettuata nel 2000 un'indagine con la stessa metodologia utilizzata nel 2004. È quindi possibili confrontare i risultati ottenuti a distanza di quattro anni (tabella 15)

Tabella 15: concentrazioni (in mg kg⁻¹ peso secco) di cromo, nichel, cadmio e piombo rilevate nelle campagne condotte con il metodo del bioaccumulo in muschi trapiantati negli anni 2000 e 2004 nelle stazioni n. 2 e n. 13

Stazione	Cromo		Nichel		Cadmio		Piombo	
	2002	2004	2002	2004	2002	2004	2002	2004
n. 2 Ca' del Bue	0.89	8.75	1.05	4.4	0.11	0.10	18.66	12.11
n. 13 via Ca' Nova Zampieri	2.98	1.10	2.24	0.64	0.23	0.06	15.10	4.88

Nella stazione n. 2 di Ca' del Bue si nota un aumento della concentrazione di nichel e cromo nei muschi: quest'ultimo è un elemento estremamente tossico, immesso dall'ambiente principalmente da impianti di cromatura, concerie, vernici, cartiere, tintorie industriali, lavorazioni dell'acciaio e altri metalli. Il nichel è presente in maniera ubiquitaria negli ecosistemi naturali, in genere non è tossico per le piante ed è poco tossico per gli animali sui quali però ha effetti cancerogeni. Le principali fonti antropiche di nichel sono legate alla combustione di carbone e petrolio, inceneritori, fonderie ed acciaierie.

Già nel 1999 una campagna di misura condotta con il metodo del bioaccumulo in muschi indigeni (Hypnum cupressiforme in particolare) in una zona di raggio 10 Km intorno all'impianto di Ca' del Bue aveva rivelato una concentrazione di cromo elevata in una stazione ad 1 Km dall'impianto, in località Ca' Vecchia. Le concentrazioni di nichel rilevate non si discostavano, invece, significativamente da quelle rilevate negli altri punti di misura. Solo ulteriori campagne di misura permetteranno di capire se l'aumento della concentrazione di questi due elementi, cromo e nichel, è occasionale o dovuto alla presenza di una sorgente di emissione. La concentrazione di piombo è diminuita in ambedue le stazioni: questo coincide con un andamento generale legato alla variazione di composizione dei carburanti e, nel caso specifico della stazione di via Ca' Nova Zampieri, alla diminuzione del flusso di traffico, legato a modifiche della viabilità.

Figura 31: mappa della concentrazione di cadmio rilevata nelle postazioni attorno a Ca' del Bue con la metodica del bioaccumulo – muschi trapiantati – anno 2004.

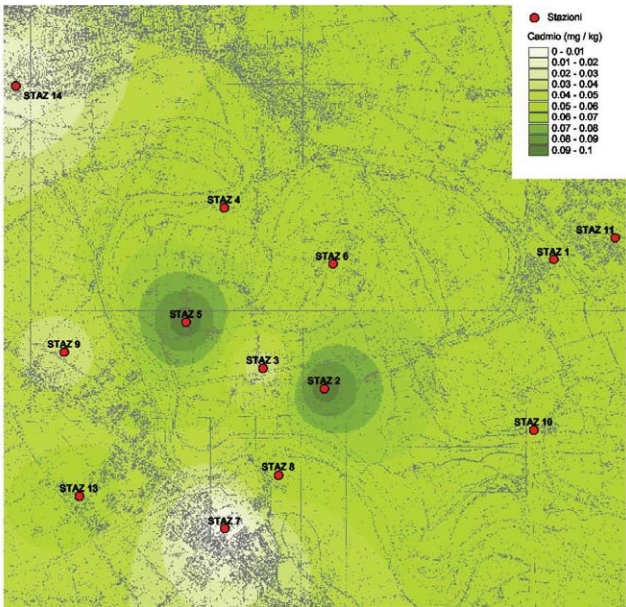


Figura 32: mappa della concentrazione di cromo rilevata nelle postazioni attorno a Ca' del Bue con la metodica del bioaccumulo – muschi trapiantati – anno 2004.

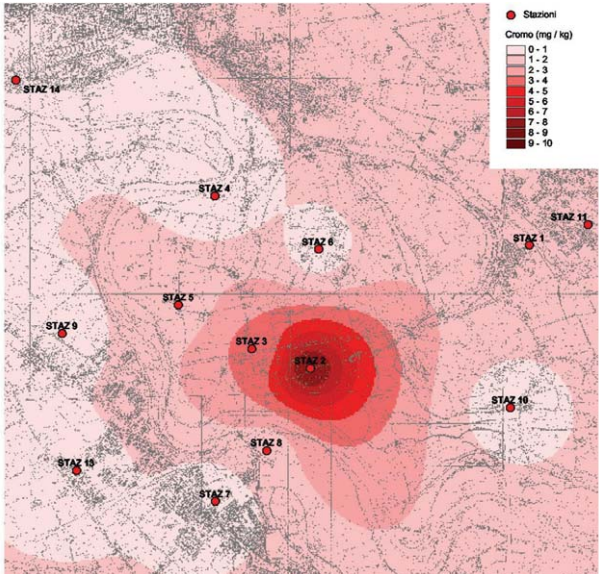
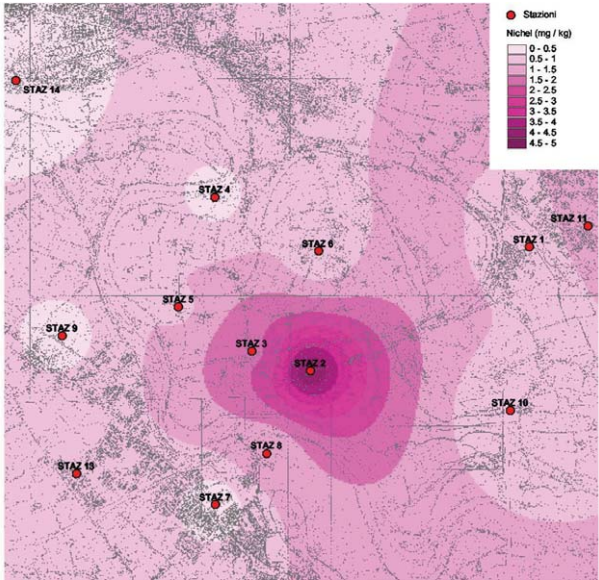


Figura 33: mappa della concentrazione di nichel rilevata nelle postazioni attorno a Ca' del Bue con la metodica del bioaccumulo – muschi trapiantati – anno 2004.



L'aria L'aria L'aria

Figura 34: mappa della concentrazione di piombo rilevata nelle postazioni attorno a Ca' del Bue con la metodica del bioaccumulo – muschi trapiantati – anno 2004.

