



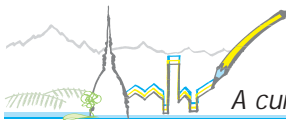
Qualità dell'aria

I pollini come bioindicatori

Le sorgenti emissive

Aria





Le polveri inalabili, più comunemente note con il termine PM10, hanno caratterizzato con concentrazioni elevate i mesi iniziali e finali del 2003 determinando diffusi e netti superamenti dei limiti in analogia a quanto successo in gran parte della pianura padana. Di converso nei mesi caldi, con una intensità del tutto

inusuale dovuta ai valori di temperatura molto elevati e persistenti, le concentrazioni dell'ozono hanno determinato condizioni di diffusi e ripetuti superamenti dei limiti normativi sia a protezione della salute sia a protezione della vegetazione.

Indicatore / Indice	DPSIR	Unità di misura	Livello territoriale	Disponibilità dei dati	Situazione attuale	Trend
CO - sup. media 8 ore	S	numero	Provincia	+++	☺	☺
CO - massima media 8 ore	S	mg/m ³	Provincia	+++	☺	☺
NO ₂ - sup. limite orario	S	numero	Provincia	+++	☺	☺
NO ₂ - media annua	S	µg/ m ³	Provincia	+++	☺	☺
O ₃ - sup. limite orario	S	µg/ m ³	Provincia	+++	☹	☺
O ₃ - sup. limite prot. vegetazione	S	numero	Provincia	+++	☹	☺
PM10 - media annua	S	µg/ m ³	Provincia	+++	☹	☺
PM10 - sup. limite giornaliero	S	numero	Provincia	+++	☹	☺
Benzene - media annua	S	µg/ m ³	Provincia	+	☺	☺
Rapporto di mutagenicità (test di Ames)	I	MR/ m ³	Puntuale	+	☺	☺
Emissioni NOx	P	t/km ²	Comune	+++	☺	☺
Emissioni PM10	P	t/km ²	Comune	+++	☹	☺

3.1 QUALITÀ DELL'ARIA

Il trasporto su strada, le attività produttive industriali e artigianali, gli impianti termici per generazione di calore ed energia elettrica continuano a rappresentare le sorgenti principali degli inquinanti primari e dei precursori di quelli secondari. E' inevitabile che solo un marcato miglioramento qualitativo e, soprattutto, quantitativo sia in grado di determinare ulteriori miglioramenti oltre a quelli conseguiti nei decenni scorsi.

La riduzione delle emissioni deve rappresentare un impegno prioritario per le pubbliche amministrazioni, gli imprenditori e i privati cittadini che, sia nelle grandi decisioni come nel quotidiano, devono operare le proprie scelte tenendo in considerazione gli effetti indotti sull'ambiente.

Per gli indicatori utilizzati è utile fare riferimento ai criteri illustrati nel precedente rapporto; per il dettaglio sui parametri considerati e sull'ubicazione delle relative stazioni fisse, si rinvia al CD o al sito internet.

L'anno considerato è il 2003, compatibilmente con la disponibilità dei dati; e i dati prodotti sono disponibili presso le Province territorialmente competenti. I dati prodotti dalle reti private non sono considerati nel presente rapporto.

Nel seguito sono invece brevemente descritte alcune attività di approfondimento su particolari aspetti

della qualità dell'aria, in relazione anche all'inventario delle emissioni e al biomonitoraggio, i cui esiti saranno disponibili per le prossime edizioni del Rapporto Stato Ambiente.

Dal 2003 è stata introdotta la misurazione del biossido di carbonio, parametro di interesse scientifico e non caratterizzato in immissione da limiti di legge, presso una stazione collocata nell'area centrale di Torino ed i cui dati saranno utilizzati in futuro per confronti con i valori di concentrazione di altri inquinanti atmosferici.

Nell'ultimo trimestre dello stesso anno ha avuto inizio la sperimentazione di una metodologia di stima obiettiva che fornisce mappature giornaliere dello stato della qualità dell'aria estese a tutto il territorio regionale in relazione a ozono, biossido di azoto e PM10, i tre inquinanti più critici sul territorio piemontese. Nel 2004 le mappature verranno rese disponibili al pubblico

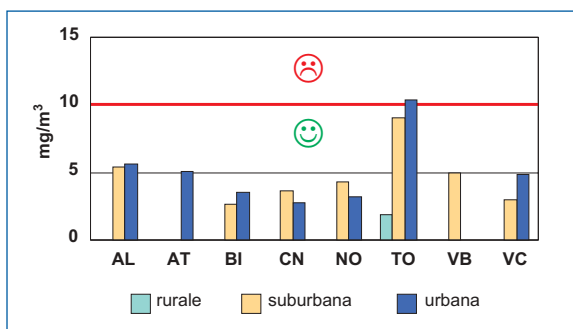
Nell'anno 2003 è stato inoltre attivato un progetto biennale "INTERREG III B MEDOCC - For. Med. Ozono" a cui hanno aderito Italia, Spagna e Francia e che ha visto la Regione Piemonte in qualità di capofila. Arpa Piemonte e IPLA (Istituto Piante da Legno e Ambiente, Torino) hanno partecipato a tale attività progettuale monitorando, in aree remote piemontesi, i popolamenti vegetazionali al fine di evidenziare la presenza di lesioni "ozone-like" a carico della vegetazione arborea, arbustiva ed erbacea. Sono

inoltre previste misurazioni dei livelli di ozono con l'ausilio di campionatori passivi per tutto il periodo fotochimico, da maggio a settembre, relativo agli anni 2003-2004. L'Arpa ha focalizzato tali attività in una zona di particolare pregio e rilevanza naturalistica rappresentata dal Parco Nazionale del Gran Paradiso (Valli Orco e Val Soana), mentre l'IPLA ha monitorato la collina di Torino e le Valli Susa, Stura (TO) e Borbera (AL). L'Arpa effettua inoltre simulazioni, mediante catene modellistiche tridimensionali, che permettono di ricostruire la distribuzione spaziale e l'evolversi temporale delle concentrazioni di ozono su tutto il territorio regionale.

3.1.1 Monossido di carbonio (CO)

L'indicatore statistico utilizzato ha come riferimento normativo nazionale il DM n° 60 del 2/4/2002 ed è rappresentato dal massimo della media mobile delle 8 ore, overosia il valore massimo assoluto della media mobile delle 8 ore (24 gruppi giornalieri). Questo indicatore evidenzia la buona situazione presente nelle aree non metropolitane; le concentrazioni sono in fase di riduzione, anche se sono possibili temporanee situazioni di peggioramento dovute a periodi invernali caratterizzati da marcate condizioni anticicloniche.

Figura 3.1 - CO: massimo della media mobile delle 8 ore - anno 2003



Fonte: Arpa Piemonte

- Le stazioni collocate in zone urbane o suburbane presentano valori superiori rispetto a quelle inserite in un contesto rurale ma comunque non superiori a 11 mg/m³; ciò è evidente nella provincia di Torino dove sono disponibili le diverse tipologie di zona. Nell'anno in esame in tutto il territorio regionale vi sono stati solo due superamenti del limite di 10 mg/m³ nella sola stazione di piazza Rivoli, ubicata in una stazione di traffico della città di Torino in prossimità dei cantieri della metropolitana.

Nella maggior parte delle province i valori sono comunque bassi, quale che sia la zona di collocamento della stazione.

3.1.2 Biossido di azoto (NO₂)

Gli indicatori statistici utilizzati hanno come riferimento normativo nazionale il DM n° 60 del 2/4/2002 e sono rappresentati da:

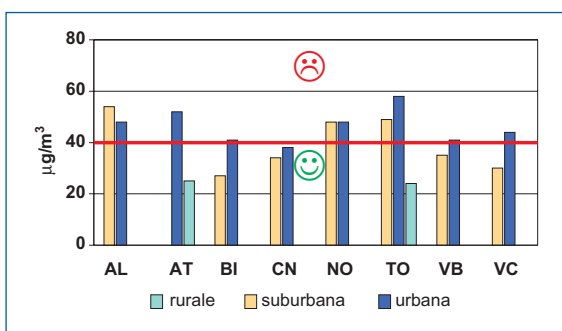
- media del numero di superamenti del limite orario di 200 µg/m³ (da non superare più di 18 volte l'anno)
- media annua (limite 40 µg/m³ da raggiungere entro il 2010), overosia la media dei valori delle medie annue.

FIGURA 3.2 - NO₂: superamenti medi del limite orario - anno 2003



Fonte: Arpa Piemonte

FIGURA 3.3 - NO₂: medie annue - anno 2003



Fonte: Arpa Piemonte

In conclusione le concentrazioni del biossido di azoto non mostrano marcati segni di diminuzione, anzi a Torino si nota un lieve rialzo della media annua dovute alle condizioni meteorologiche, anche se su base quinquennale nella città capoluogo regionale si è assistito ad un lieve miglioramento della situazione. Per le zone del territorio piemontese caratterizzate da livelli più elevati, il rispetto del limite annuale è ancora lontano.

- Sono riportate solo le province nelle quali sono stati misurati dei superamenti dell'indicatore orario (valore limite 200 µg/m³) ovvero dove il contributo delle sorgenti emissive è particolarmente rilevante anche in relazione alla collocazione delle stazioni.

- Si osserva che nelle zone urbane sono presenti valori medi annui superiori a quelli misurati nelle zone suburbane e rurali (valore limite 40 µg/m³); questo è evidente in quasi tutte le province e in modo particolare in quella di Torino dove sono disponibili i diversi tipi di zona. I valori più bassi sono misurati nelle zone rurali.

3.1.3 Ozono (O₃)

Gli indicatori statistici utilizzati (DM 16/5/1996) sono:

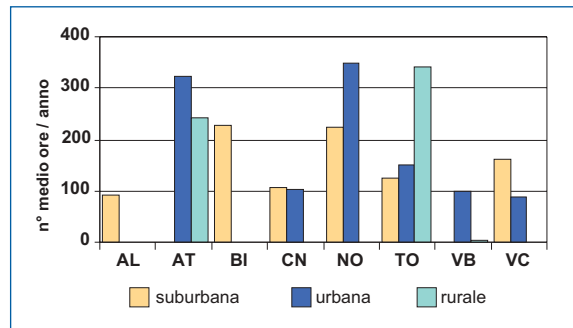
- i superamenti del limite orario, overosia il numero medio dei superamenti del limite orario (180 µg/m³);
- i superamenti del limite giornaliero, overosia il numero medio dei superamenti del limite giornaliero per la protezione della vegetazione (65 µg/m³).

Il primo indicatore rappresenta una stima degli episodi di picco orario, preminentemente di interesse sanitario, della concentrazione di tale inquinante mentre il secondo indicatore, di tipo ambientale, è riferito ai potenziali danni per la vegetazione esposta.

Le situazioni critiche si riscontrano praticamente in tutti i tipi di zona anche se alcune province, presentano una situazione più tranquilla, almeno nei siti oggetto di monitoraggio.

- La presenza di sorgenti puntuali e diffuse di precursori della sintesi fotochimica dell'ozono troposferico (ossidi di azoto e composti organici volatili) fa sì che in varie province si rilevino valori particolarmente elevati e si oltrepassino, come media fra i tipi di zona, i 100 superamenti annui.

Figura 3.4 - O₃: superamenti del limite orario - anno 2003

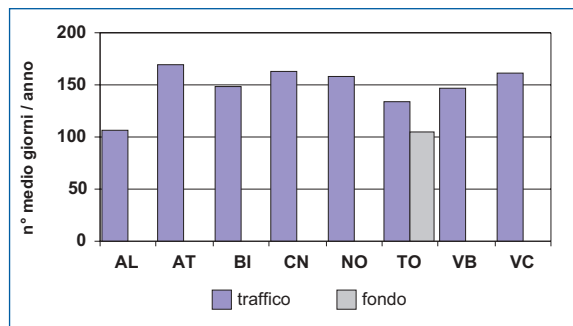


Fonte: Arpa Piemonte

Il secondo indicatore, riferito alla protezione della vegetazione, evidenzia la consistenza dei superamenti del limite e la presenza di una elevata omogeneità, nelle differenti province, dovuta all'espressione statistica dell'indicatore che è meno episodico della media oraria.

- Il superamento del limite interessa, in alcuni casi, oltre 120 giorni all'anno nel periodo primaverile - estivo. Questo effetto riguarda in modo particolare le zone rurali e suburbane, dove la maggiore omogeneità degli andamenti orari durante l'intero giorno determina valori medi giornalieri più elevati rispetto alle zone urbane.

Figura 3.5 - O₃: superamenti del limite giornaliero - anno 2003



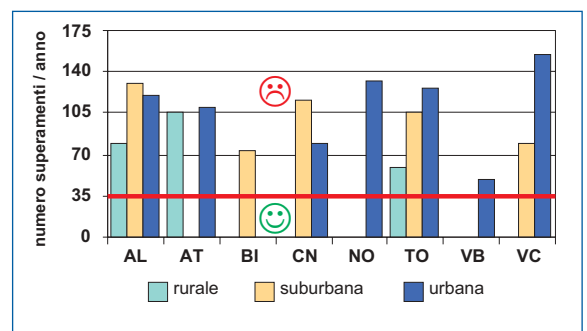
Fonte: Arpa Piemonte

3.1.4 Polveri inalabili (PM10)

Gli indicatori statistici utilizzati hanno come riferimento normativo nazionale il DM n° 60 del 2/04/02 e sono rappresentati da:

- superamenti del limite giornaliero, overosia il numero medio dei superamenti del limite orario (50 µg/m³ da non superare più di 35 volte all'anno);
- media annua, overosia il valore medio delle medie annue (il limite è di 40µg/m³).

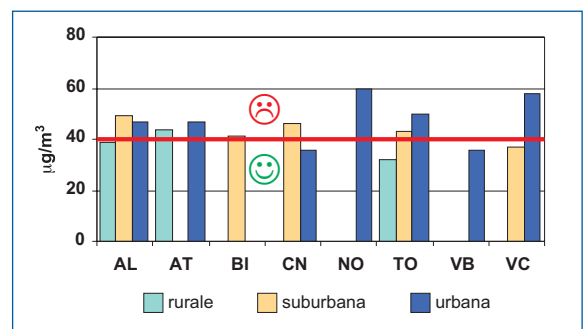
Figura 3.6 - PM10: superamenti del limite giornaliero - anno 2003



Fonte: Arpa Piemonte

- Questo indicatore fornisce una misura degli episodi di picco, calcolati su base giornaliera, della concentrazione di polveri inalabili. La situazione più critica si riscontra nelle principali aree urbane dove i superamenti del limite raggiungono valori decisamente elevati (oltre cinque volte il numero ammesso). La criticità del fenomeno è evidenziata dalla presenza di numerosi casi di superamento anche nelle zone rurali.

Figura 3.7 - PM10: medie annue - anno 2003



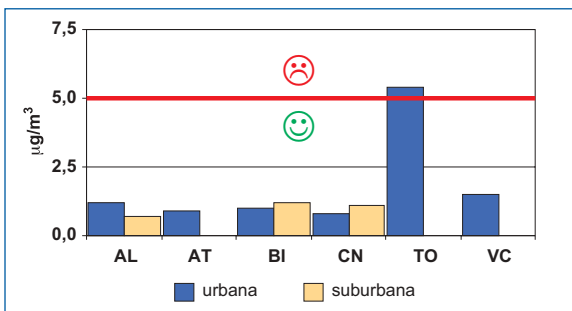
Fonte: Arpa Piemonte

- In generale la situazione sul territorio regionale si rivela piuttosto omogenea e generalmente le concentrazioni nelle stazioni urbane o suburbane sono maggiori di quelle rilevate nelle aree rurali - nelle province ove sono presenti - e sovente superano il limite.

3.1.5 Benzene

Come indicatore statistico è stata utilizzata la media annua il cui limite, secondo il *DM n° 60 del 2/4/2002*, è $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ da rispettare entro il 2010.

Figura 3.8 - Benzene: medie annue - anno 2003



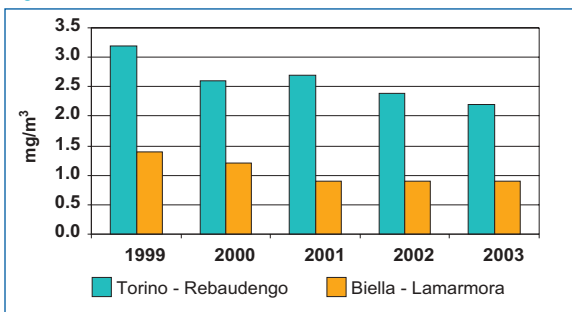
Fonte: Arpa Piemonte

Le concentrazioni nella città di Torino sono nettamente più elevate di quelle misurate nelle città di altre province. La serie storica disponibile a Torino indica una spiccata tendenza verso la diminuzione dei valori, ancora tuttavia superiori al limite normativo, grazie al costante aumento delle auto dotate di sistemi catalitici di abbattimento delle emissioni.

3.1.6 Tendenze storiche di alcuni inquinanti

Il **monossido di carbonio**, caratteristico inquinante primario, ha evidenziato a Torino nell'ultimo ventennio un netto calo delle concentrazioni; in particolare nell'ultimo quinquennio le concentrazioni medie annue hanno via via raggiunto valori decisamente modesti. Il decremento dei valori è dovuto al costante sviluppo della tecnologia dei motori per autotrazione ad accensione comandata e, a partire dai primi anni '90, al trattamento dei gas esausti tramite i convertitori catalitici a tre vie.

Figura 3.9 - CO: medie annue a Torino e Biella

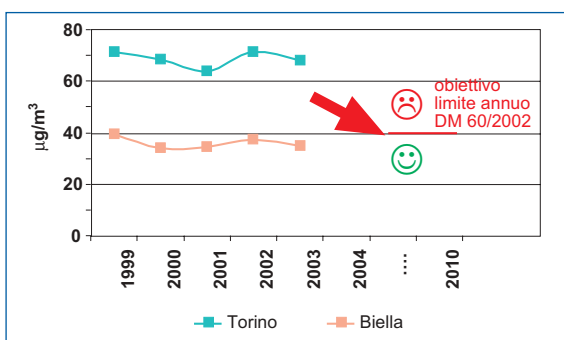


Fonte: Arpa Piemonte

Come si può notare la diminuzione della concentrazione annuale presso la stazione di monitoraggio sita a Torino in p.zza Rebaudengo, caratterizzata da elevati flussi veicolari, è stata circa del 30% complessivamente nel quinquennio considerato. I dati misurati a Biella risultano essere come valore medio circa la metà di quelli della stazione torinese.

Situazione molto meno pronunciata nell'ultimo quinquennio per il **biossido di azoto** che ha evidenziato una sostanziale omogeneità, anche se i valori misurati nell'area metropolitana superano ampiamente il limite normativo. Come per il monossido di carbonio, i valori misurati nella città di Biella sono nettamente inferiori a quelli torinesi ma mostrano lo stesso andamento nell'ultimo quinquennio.

Figura 3.10 - NO₂: media annua nelle città di Torino e Biella (tutte le stazioni)

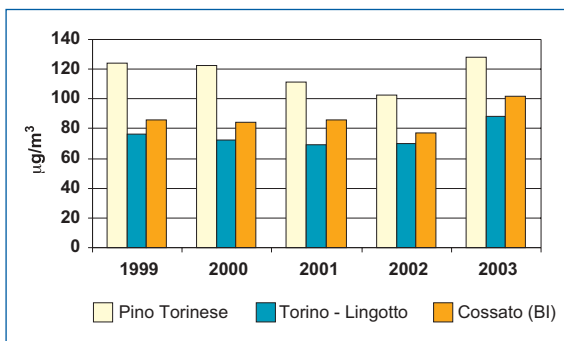


Fonte: Arpa Piemonte

Per quanto riguarda l'**ozono**, inquinante secondario, si nota una sostanziale stabilità nel quinquennio, ed in particolare nel 2003 si è assistito ad un aumento, dovuto alle particolari condizioni meteorologiche verificatesi nei mesi estivi, dei valori misurati sia nella stazione di Cossato (BI) sia nella stazione collinare ospitata presso l'Osservatorio Astronomico di Pino Torinese (TO).

In altre realtà piemontesi l'andamento è simile e rispetta generalmente l'andamento meteorologico locale del periodo primaverile - estivo (maggio - settembre).

Figura 3.11 - O₃: media estiva nelle province di Biella e Torino

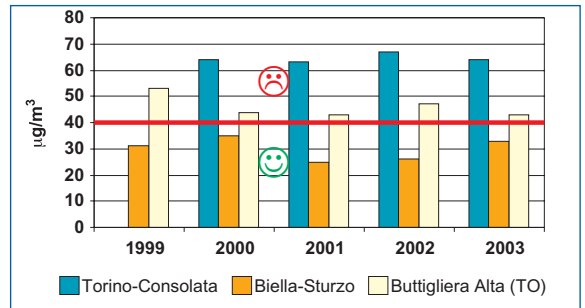


Fonte: Arpa Piemonte

Le polveri **PM10** mostrano una sostanziale omogeneità dei valori misurati nel quinquennio che in molte stazioni della pianura piemontese sono prossimi o

superano il limite annuale previsto ($40\mu\text{g}/\text{m}^3$). Nelle stazioni di Torino - Consolata, Biella e Buttigliera Alta (TO) si è registrata una sostanziale stabilizzazione dei valori. La serie storica di Biella è stata ottenuta con uno strumento che sottostima i risultati di concentrazione misurati durante la stagione invernale.

Figura 3.12 - PM10: media annuale a Biella, Torino e Buttigliera Alta



Fonte: Arpa Piemonte

Rete di monitoraggio della qualità dell'aria

Responsabile progetto: Mauro Maria Grosa
 Responsabili dipartimentali: Alessandria: Giuseppe Caponetto; Asti: Massimo Marucchi; Biella: Marco Vincenzi; Cuneo: Silvio Cagliari; Vercelli: Massimo Varalda; Novara: Giuseppina Annovazzi.

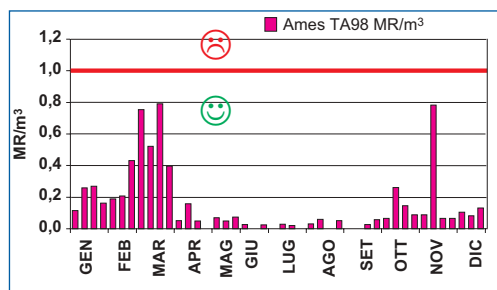
BOX 1 - Monitoraggio genotossico del particolato atmosferico PM10 in provincia di Torino - anni 1999-2003

A cura di:
 AnnaMaria D'Agostino, Daniele Marangon, Gabriella Passarino, Agostino Profeta - Arpa Piemonte

Il particolato atmosferico PM10, costituito da particelle aerodisperse comprese in un range con diametro aerodinamico da $0.1\mu\text{m}$ a $10\mu\text{m}$, rappresenta la quota inalabile delle polveri sospese in atmosfera; questa frazione caratterizza un rischio espositivo in quanto veicola sostanze (adsorbite sul particolato) tossiche, mutagene e cancerogene. Nel quinquennio 1999-2003 è stata effettuata una valutazione genotossica su campioni di PM10 prelevati presso tre stazioni di campionamento della rete fissa di Monitoraggio della Qualità dell'Aria, individuate per l'indagine: Torino, Carmagnola e Buttigliera Alta. Per questa valutazione sono stati utilizzati il test di Ames e l'SOS Chromotest.

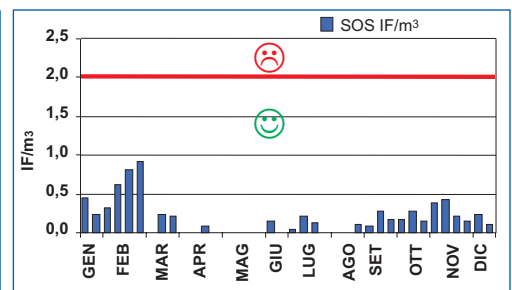
Il confronto delle medie annuali dei test mette in risalto la netta discesa dei valori di MR (rapporto

Test di Ames - Stazione di Carmagnola - anno 2003



Fonte: Arpa Piemonte

SOS Chromotest - Stazione di Buttigliera Alta - anno 2003



Fonte: Arpa Piemonte

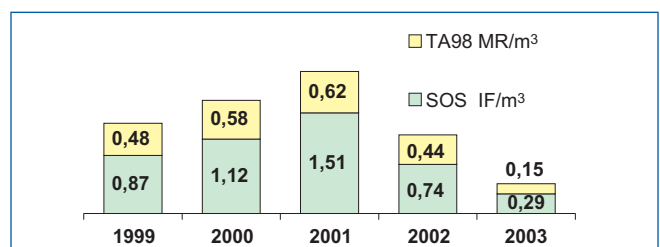
di mutagenicità) per il test di Ames e di IF (fattore di induzione) per l'SOS Chromotest, ben al di sotto della soglia di rischio, decremento già riscontrato nel corso del 2002 e quindi un netto miglioramento della qualità dell'aria nell'ultimo biennio dal punto di vista della genotossicità. L'andamento in discesa della genotossicità del PM10, esteso a tutti i siti di campionamento, può essere spiegato con il miglioramento della qualità delle emissioni sia puntiformi che diffuse.

Le indagini proseguiranno nel corso del 2004 come controllo

dello stato di qualità raggiunto. L'Area Analitica Ecotossicologia e Mutagenesi del Dipartimento di Torino, insieme alla Specialità di Mutagenesi Ambientale e Occupazionale della Sezione di Parma dell'ARPA Emilia Romagna (www.arpa.emr.it/parma) costitui-

scono le uniche strutture agenziali presenti sul territorio nazionale che si occupano di mutagenesi ambientale. Per maggiori dettagli sullo studio in atto si rimanda al Rapporto Stato Ambiente 2003 (www.arpa.piemonte.it)

Medie annuali per tipo di test. Stazione di Torino



Fonte: Arpa Piemonte

3.2 I POLLINI COME BIOINDICATORI

A cura di **Maria Rita Cesare, Antonella Bari, Daniele Nardin, Paola Buzio, Giuseppe Crivellaro** - Arpa Piemonte

In questi ultimi anni si stanno sempre più diffondendo studi volti ad analizzare lo stato di naturalità-alterazione dell'ambiente aereo utilizzando organismi viventi come bioindicatori.

Tra le tecniche di biomonitoraggio dell'aria più diffuse si citano gli studi della biodiversità lichenica, l'utilizzo dei licheni e briofite come bioaccumulatori di metalli, l'uso di foglie di piante vascolari come tabacco (O₃), erba medica (SO₂), tulipano o gladiolo (fluoruri), l'impiego di *Apis mellifera* per il monitoraggio dei prodotti fitosanitari. Accanto a queste metodiche, la cui validità e affidabilità sono comprovate da numerosi studi, si va diffondendo la ricerca e sperimentazione di nuovi bioindicatori tra cui il polline. I pochi studi esistenti hanno riconosciuto nel polline un sensibile bioindicatore dell'inquinamento atmosferico e hanno affiancato al tradizionale approccio della valutazione della qualità dell'aria nuove metodiche che impiegano i granuli pollinici di entità considerate sensibili (Gottardini *et al.*, 2003; Comtois e Perfetto, 1996; Alaimo *et al.*, 1996).

L'Area di Epidemiologia in collaborazione con il Dipartimento di Torino, il Dipartimento di Alessandria e quello di Cuneo, parallelamente al monitoraggio pollinico, ha svolto nel corso dell'anno 2003 alcune attività legate all'utilizzo del polline come bioindicatore.

Nei mesi di giugno e di ottobre è stato sperimentato, rispettivamente su polline di *Pinus sp.* e di *Cedrus sp.*, il test di attività redox mediante l'utilizzo del sale di tetrazolio (TTC). La scelta di utilizzare il polline di pino e di cedro è stata determinata dal fatto che queste essenze vegetali presentano caratteristiche adatte all'analisi, facile raccolta dei coni maschili, elevata produzione di polline e buona distribuzione sul territorio; sono inoltre generi differenziati dal periodo di fioritura: primaverile per il *Pinus* e tardo autunnale per il *Cedrus*. I punti di prelievo del polline sono stati scelti in funzione della contemporanea presenza di stazioni fisse di rilevamento della qualità dell'aria, in modo da consentire un confronto tra lo stato della qualità dell'aria e l'attività biologica dei pollini raccolti.

Sono state individuate quattro stazioni nella provincia di Torino (Parco Regionale La Mandria, Lingotto, piazza Rebaudengo, via Gaidano), due nella provincia di Alessandria (Fassini e Castello a Tortona) e una a Cuneo (piazza Il Reggimento Alpini): per ognuna sono stati controllati lo stato di salute e l'età delle piante, al fine di utilizzare individui sani e con lo stesso livello di

sviluppo vegetativo.

La comparazione dei risultati delle misure di vitalità pollinica e d'inquinamento dell'aria ha consentito di valutare la correlazione tra la sensibilità delle specie arboree utilizzate e la presenza di contaminanti atmosferici in stazioni a diverso impatto antropico.

Figura 3.13 - Percentuali di pollini vitali e non vitali di *Pinus sp.* al test TTC - maggio 2003

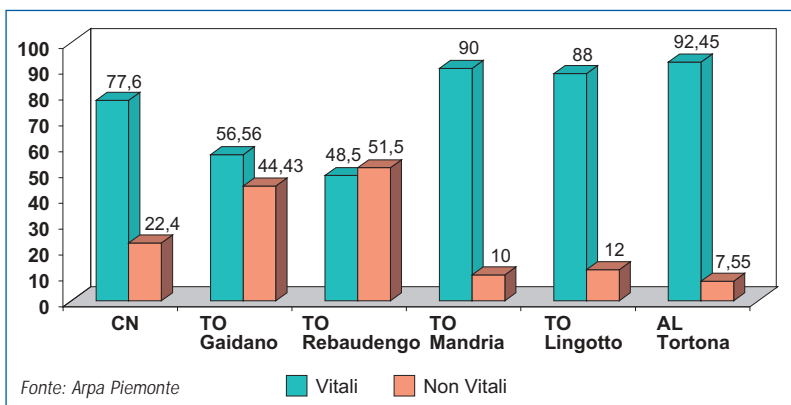
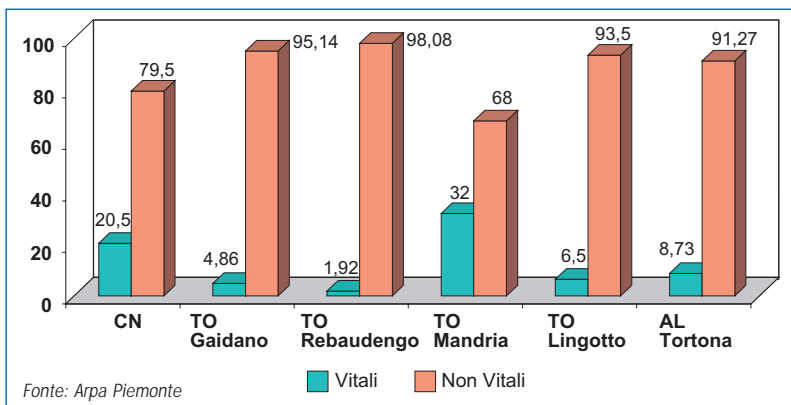


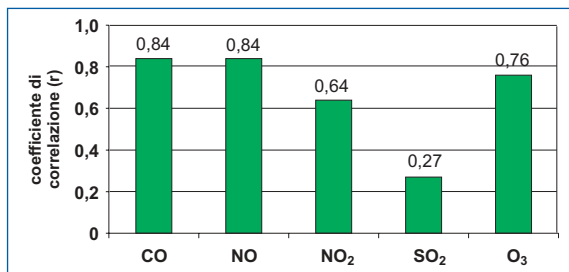
Figura 3.14 - Percentuali di pollini vitali e non vitali di *Cedrus sp.* al test TTC - ottobre-novembre 2003



In figura 3.13 sono rappresentati i valori percentuali di pollini vitali di *Pinus sp.*, relativi al test del tetrazolio (TTC test) per le stazioni campionate. Si evidenzia come per i siti torinesi le percentuali di vitalità pollinica più elevate corrispondano alle stazioni a più basso livello di inquinamento atmosferico (TO Mandria e TO Lingotto). Una situazione analoga si riscontra per la stazione Fassini a Tortona. Per valutare l'esistenza di una correlazione significativa tra la vitalità del polline di *Pinus* e la concentrazione degli inquinanti atmosferici rilevati mediante stazioni fisse, si è applicato ai dati il test parametrico di Pearson. La vitalità pollinica di *Pinus* ha mostrato una buona correlazione con CO, NO e O₃. L'impiego di questo polline come bioindicatore sembrerebbe quindi, da questi primi risultati, indicato a segnalare situazioni di inquinamento atmosferico legato a tali composti.

- La risposta di *Cedrus sp.* non coincide con quanto rilevato utilizzando il polline di *Pinus*. La percentuale di pollini non vitali è molto alta in tutte le stazioni monitorate ed in particolare non si evidenziano differenze significative nelle stazioni caratterizzate da una discreta qualità dell'aria (TO Mandria; TO Lingotto).

Figura 3.15 - Correlazione tra vitalità pollinica di Pinus sp. e concentrazione degli inquinanti atmosferici (Pearson $p < 0.05$)



Al fine di confermare i risultati ottenuti, ma anche di verificare eventuali correlazioni con altri inquinanti

sarebbero necessarie ulteriori indagini che prevedano un numero maggiore sia di campionamenti sia di stazioni. Analogamente sarebbe utile sperimentare altre essenze arboree per valutarne l'idoneità a rappresentare, attraverso la vitalità, la situazione dell'ambiente circostante in termini di qualità dell'aria. L'attività potrebbe proseguire nell'ambito del Centro Tematico Nazionale – Atmosfera Clima Emissioni in aria (CTN-ACE), che attualmente sta predisponendo le linee guida per l'allestimento di una rete nazionale di monitoraggio con utilizzo di pollini come bioindicatori.

BOX 2 - Rete di monitoraggio regionale di pollini e spore aerodiffusi

A cura di **Anna Armitano** - Arpa Piemonte

Nell'anno 2002 è stata creata la rete regionale piemontese di monitoraggio dei pollini e delle spore fungine aerodispersi.

La rete, concepita come strumento volto al monitoraggio e alla previsione delle concentrazioni polliniche e fungine presenti in atmosfera, permette di redigere un bollettino pollinico settimanale, aggiornato il mercoledì di ogni settimana, in base alle concentrazioni giornaliere espresse in granuli pollinici per metro cubo d'aria. I Dipartimenti Provinciali coinvolti nel progetto si occupano del monitoraggio e della lettura dei pollini mentre l'Area di Epidemiologia Ambientale elabora e diffonde i dati a livello regionale tramite il bollettino presente sul sito web

dell'Arpa (Bollettino dei Pollini <http://www.arpa.piemonte.it>).

Dall'autunno del 2002 sono rilevati anche i valori delle spore fungine di *Alternaria* e *Cladosporium*.

Per rendere più fruibili le informazioni, il bollettino riporta una tabella di confronto in cui le concentrazioni delle diverse famiglie sono suddivise in livelli, in base alle attuali conoscenze botaniche sulla produzione di polline.

Nella sezione del sito dedicata al monitoraggio pollinico, è anche possibile eseguire la consultazione delle serie storiche delle famiglie d'interesse, selezionando un intervallo temporale da febbraio 2002 ad oggi. Il monitoraggio continuo delle componenti fungine e dei pollini permette di individuare i picchi di concentrazione e le variazioni della carica totale nel mese o nell'anno; mensilmente e annual-

mente, le letture polliniche sono riportate su grafici riassuntivi che consentono un immediato confronto dei monitoraggi, relativi ad una o più stazioni e le variazioni annue di pollinazione dovute alle condizioni meteorologiche del periodo in studio.

Correlando i dati meteorologici con i dati aerobiologici storici dei periodi principali di pollinazione e i cambiamenti climatici ad essi collegati, sarà possibile elaborare un bollettino previsio-

nale per la settimana successiva al monitoraggio.

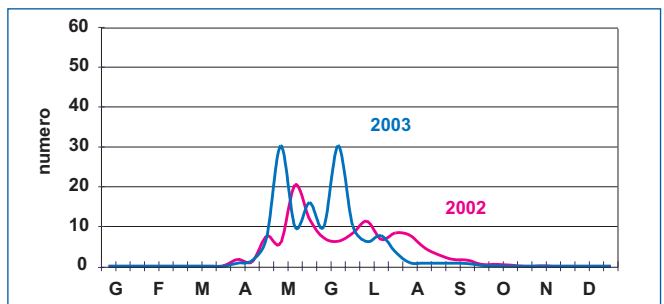
Responsabile progetto: Anna Armitano

Coordinamento: Maria Rita Cesare

Responsabili dipartimentali:
Alessandria: Paola Buzio; Cuneo: Daniele Nardin; Novara: Maria Maddalena Calciati; Torino: Luana Seta; Verbanus Ossola: Mario Cavallaro

Realizzazione programma per bollettino: Salvatore Varveri

Gramineae - Torino: concentrazioni polliniche per m³ di aria



3.3 LE SORGENTI EMISSIVE

A cura di **Monica Clemente, Roberta De Maria, Francesco Lollobrigida** - Arpa Piemonte

La conoscenza delle fonti di inquinamento e della loro distribuzione sul territorio risulta indispensabile ai fini della predisposizione, ai vari livelli di governo, di piani di azione e di programmi di miglioramento o conservazione dell'aria ambiente.

Le sorgenti emissive degli impianti produttivi costituiscono un caso di particolare rilievo in una realtà indu-

strializzata come quella piemontese, anche alla luce dei numerosi progetti di insediamento di nuove centrali termoelettriche.

A livello di analisi dei fattori di pressione relativi all'inquinamento atmosferico occorre considerare che, in funzione delle caratteristiche emissive di ogni singolo impianto, le ricadute possono interessare in misura significativa territori diversi da quello del comune sede dell'impianto. L'attribuzione del dato di pressione sul territorio in base alla sola collocazione amministrativa di un impianto, come avviene comunemente a livello di inventari di emissione, costituisce quindi

in alcuni casi una approssimazione non trascurabile. Per affrontare questo problema è stata effettuata una elaborazione dei dati relativi alle sorgenti puntuali più significative dell'inventario regionale delle emissioni, i cui risultati sono riportati nelle figure 3.16 - 3.19.

L'Inventario delle emissioni della Regione Piemonte – realizzato secondo la metodologia CORINAIR, messa a punto dalla *European Environment Agency (EEA)* – fornisce la stima delle emissioni totali annue di macro e microinquinanti, disaggregate per attività emissiva ai vari livelli di classificazione SNAP (*Selected Nomenclature for Air Pollution*) e ripartite spazialmente su scala comunale.

In base alla classificazione SNAP tutte le attività antropiche e naturali che possono dare origine a emissioni in atmosfera sono ripartite in undici macrosettori:

1	Combustione - Energia e industria di trasformazione
2	Combustione non industriale
3	Combustione nell'industria
4	Processi produttivi
5	Estrazione e distribuzione di combustibili fossili, geotermia
6	Uso di solventi e altri prodotti
7	Trasporto su strada
8	Altre sorgenti mobili e macchinari
9	Trattamento e smaltimento rifiuti
10	Agricoltura
11	Altre sorgenti di emissione ed assorbimenti

Ai fini della presente trattazione sono stati presi in considerazione i macrosettori da 1 a 6, che comprendono tutte le emissioni degli impianti produttivi. Per una corretta interpretazione delle cartografie tematiche è opportuno sottolineare che l'indicatore utilizzato non è la quantità assoluta di inquinante emessa ma la massa emessa per unità di superficie comunale (t/km^2). Ciò permette di fornire da un lato un'informazione direttamente collegata alla pressione esercitata sul territorio, dall'altro un immediato confronto tra comuni con diversa estensione territoriale.

Nelle figure 3.16 e 3.18 è rappresentata, rispettivamente per gli ossidi di azoto e il PM10, la distribuzione spaziale dei fattori di pressione nel caso in cui, per tutti gli impianti produttivi, si attribuisca l'intera emissione dello specifico inquinante al solo comune sede dell'impianto.

Nelle figure 3.17 e 3.19 è rappresentata invece, per

gli stessi inquinanti, un'analogia cartografia tematica in cui, per una serie di impianti produttivi opportunamente selezionati, il contributo emissivo complessivo è stato ridistribuito anche sui comuni circostanti quello sede dell'impianto.

La metodologia utilizzata ai fini di tale ridistribuzione ha comportato innanzitutto un esame dei punti di emissione di rilevanza regionale identificati all'interno dell'inventario delle emissioni, tra i quali sono stati selezionati, sulla base dei parametri emissivi (diametro e altezza del punto di emissione, temperatura e velocità dei fumi in uscita dal camino, flusso di massa) quelli le cui ricadute possono interessare il territorio di più comuni. Sono stati selezionati 16 impianti produttivi, per un totale di 104 punti di emissione per ossidi di azoto e/o PM10.

Per ognuno dei punti di emissione selezionati è stata effettuata una applicazione modellistica a scala locale conforme alle Linee guida APAT (Lollobrigida *et al.*, 2001) ai fini della definizione quantitativa delle ricadute medie annuali.

Ad ogni territorio comunale interessato è stato quindi assegnato un valore di ricaduta media annuale (espresso in $\mu g/m^3$) attraverso un processo basato sulla rappresentatività comparata delle porzioni di territorio caratterizzate da una particolare ricaduta, visualizzata attraverso curve di isoconcentrazione.

Tali ricadute medie annuali sono state infine trasformate in contributo emissivo virtuale ($t/anno/km^2$) per ognuno dei comuni interessati, mediante l'utilizzo delle rette di regressione di cui alla DGR 109-6941 del 5 agosto 2002 (che riportano il potenziale emissivo di un territorio comunale espresso come $t/anno/km^2$ in funzione della concentrazione media annuale di un determinato inquinante sul territorio stesso) a meno del contributo di fondo rappresentato dall'intercetta della retta di regressione stessa. Il confronto tra le cartografie tematiche mostra che in numerose situazioni le ricadute di impianti con flussi di massa rilevanti vanno ben al di là dei confini del comune in cui l'impianto ha sede. I fattori di pressione aggiuntivi nei comuni circostanti l'impianto sono tuttavia di norma minoritari rispetto a quelli legati alle fonti di inquinamento locali.

Impianti di questo genere sono caratterizzati da elevati flussi di massa, da quote di emissione dell'ordine delle decine di metri e da temperature e velocità di uscita dei fumi relativamente elevate. Esempi tipici sono le centrali termoelettriche e i cementifici. Nella cartografia tematica relativa agli ossidi di

azoto è evidente, ad esempio, come le ricadute della centrale termoelettrica di Trino Vercellese interessino solo in parte il territorio del comune stesso, per

cui, a valle della redistribuzione delle ricadute (figura 3.17) il comune in questione passa dalla quarta alla prima classe.

FIGURA 3.16 - Ossidi di azoto. Emissioni per unità di superficie macrosettori 1-6

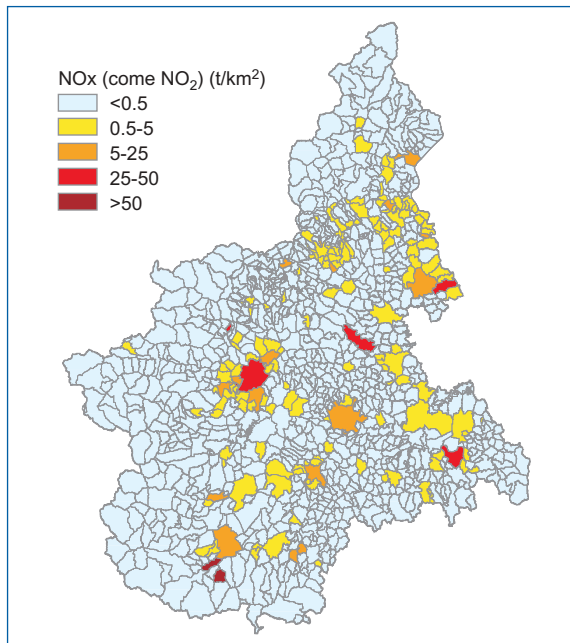


FIGURA 3.17 - Ossidi di azoto. Emissioni per unità di superficie macrosettori 1-6 con redistribuzione sorgenti puntuali

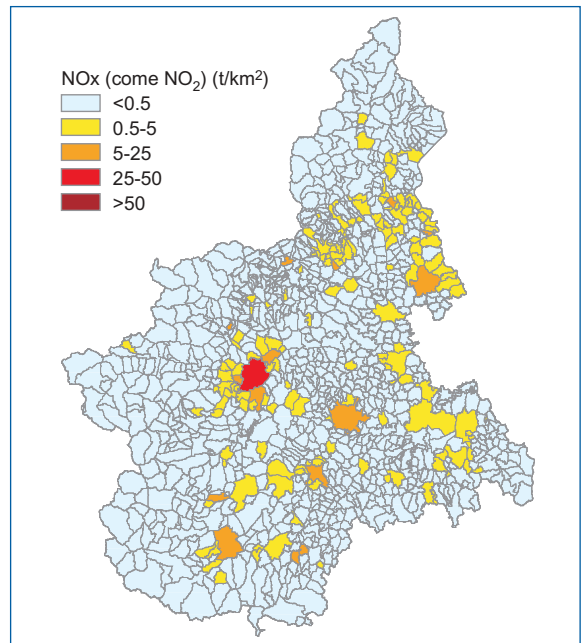


FIGURA 3.18 - PM10. Emissioni per unità di superficie macrosettori 1-6

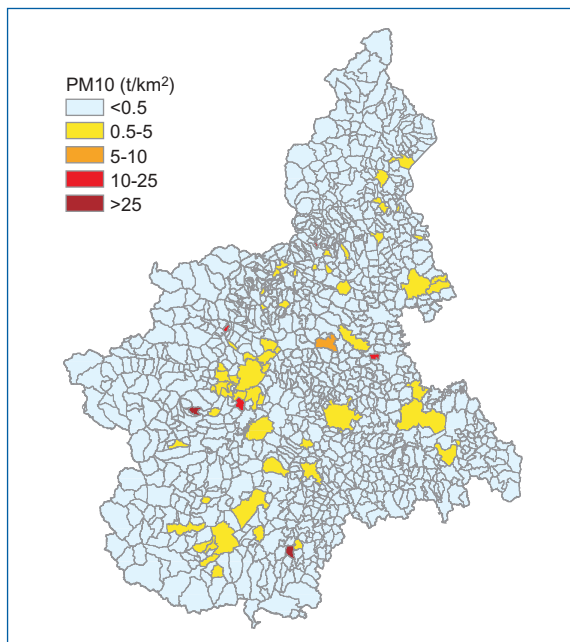
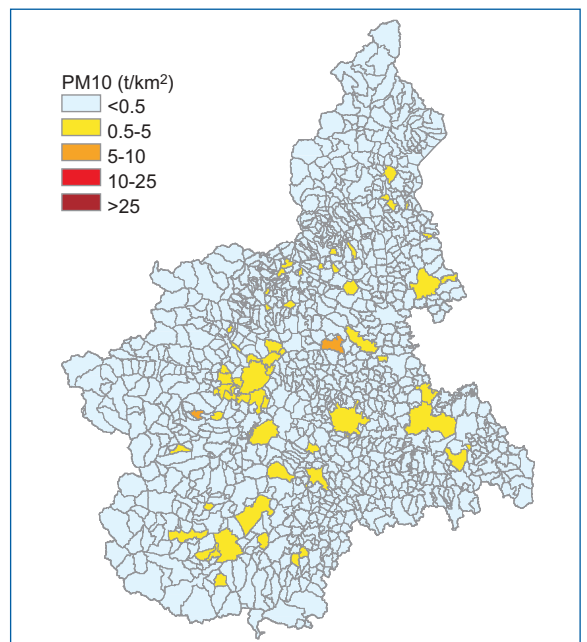


FIGURA 3.19 - PM10. Emissioni per unità di superficie macrosettori 1-6 con redistribuzione sorgenti puntuali



Fonte: Arpa Piemonte

• Nelle figure 3.17 e 3.19 il contributo emissivo complessivo è stato redistribuito anche sui comuni circostanti la sede dell'impianto.

BOX 3 - Il degrado dei monumenti da inquinamento atmosferico

*A cura di Francesco Pernice -
Soprintendente per i Beni Architettonici e
per il Paesaggio del Piemonte*

A partire dagli anni '40, in Italia, agli effetti di un degrado naturale causato da un ciclo fisiologico di invecchiamento dei materiali si sono sovrapposti, con un'accelerazione di tipo esponenziale, gli effetti antropici: primo fra tutti l'inquinamento atmosferico.

Tra gli inquinanti atmosferici devono considerarsi i gas acidi, le goccioline acide o le particelle solide provenienti dai processi di combustione che, depositandosi sulle superfici architettoniche, soprattutto lapidee, ne deturpano l'aspetto e la composizione e, se sono di carattere acido, le aggrediscono, oppure, se sono formate da carbone o da ossidi metallici, costituiscono i catalizzatori ideali nelle successive reazioni di ossidoriduzione.

Con particolare riferimento alla pietra esposta ad un ambiente inquinato, il grado di pericolosità dei singoli inquinanti è legato alle condizioni ambientali: ad esempio in presenza di un'elevata umidità relativa dell'aria circostante, viene favorita la dissoluzione degli inquinanti gassosi e il conseguente assorbimento, per condensazione, della soluzione acida formata dalla struttura lapidea. Quasi mai, come peraltro nel caso del degrado naturale, un singolo inquinante agisce isolatamente: la loro pericolosità è aumentata proprio perché spesso si verificano reazioni chimiche tra i diversi inquinanti. Gli inquinanti più pericolosi per una superficie architettonica sono costituiti da anidride solforosa, anidride carbonica, ossidi di azoto, acido cloridrico, acido fluoridrico, acido solforico, ozono ed ossidanti, materiale particellare, soprattutto aerosoli acidi o contenenti sali solubili quali solfati, cloruri e nitrati. Essi derivano soprattutto dall'intensificazione dell'utilizzo di combustibili fos-

sili, nel riscaldamento domestico e nei processi industriali, e dai processi industriali di fabbricazione di alluminio, acciaio, vetro, fertilizzanti, mattoni, agendo così direttamente sui materiali, perlopiù calcarei.

Alle cause esterne si devono aggiungere le cause interne della superficie architettonica, cioè l'uso che si è avuto nel tempo dell'edificio. Ad esempio, se un complesso monumentale è stato utilizzato per anni quale stalla è molto probabile che nelle murature possano essere presenti sali solubili quali cloruri e solfati che possono accentuare il fenomeno di degrado.

Spesso si nota sulla parte esterna di superfici lapidee la formazione di croste nere, al di sotto delle quali il materiale è ormai ridotto allo stato polverulento. In alcune pietre, quali ad esempio le arenarie - la cui caratteristica è l'elevata porosità - tale degrado avviene in profondità: la polverizzazione interessa uno strato di parecchi centimetri al di sotto della crosta che, spesso, è in forma di sfoglie: queste tendono a staccarsi facilmente, mettendo a nudo una nuova porzione di superficie, su cui riprende il ciclo di degrado. La difesa e la tutela dei Beni Culturali passa per interventi conservativi mirati a proteggere le superfici dall'azione

distruttiva dovuta al degrado. In passato gli interventi erano deliberati in presenza di forte degrado conclamato, con il risultato di ottenere, a fine lavori, superfici snaturate e a volte anche menomate nella materia. Oggi, grazie all'esperienza e anche agli errori del passato, si tende a monitorare scientificamente, mediante specifiche e puntuali indagini diagnostiche, lo stato di conservazione dei materiali. In linea di massima gli interventi devono avere i seguenti requisiti:

- interventi di pulitura compatibili con il tipo di degrado e la natura dei materiali stessi
- interventi di pulitura e rimozione dei prodotti precedentemente applicati e che nel tempo, sia per un loro naturale invecchiamento che per interazione con l'ambiente, hanno perso la loro efficacia.
- scelta di prodotti mirati per gli interventi di consolidamento e protezione, tenendo ben presente, per quanto possibile, l'aspetto della reversibilità e soprattutto della compatibilità con i materiali da trattare.

In questi ultimi anni la ricerca applicata ha dimostrato che pochi sono i prodotti che ben si prestano a tale scopo e che non esistono interventi di restauro destinati ad avere una durata





illimitata nel tempo.

Le tipologie di intervento per la difesa dei Beni Culturali dall'attacco dell'ambiente devono prevedere una scelta accurata di prodotti tecnologicamente avanzati e compatibili e limitare gli errori in fase esecutiva dei progetti, avendo cura di realizzare un attento monitoraggio preventivo finalizzato a manutenzioni a medio e lungo termine.

Tale impostazione è stata seguita per l'intervento di recupero del complesso della Reggia di Venaria Reale, considerato ad oggi il più grande cantiere di restauro d'Europa.

Il complesso ha una vita di oltre 350 anni, nel corso dei quali è stato costruito, modificato, rimaneggiato. Per la progettazione e la conduzione del cantiere la Soprintendenza ha realizzato, in collaborazione con laboratori privati e pubblici, una procedura diagnostica conoscitiva innovativa, unica nel suo genere per la multidisciplinarietà. Tale attività ha permesso di conoscere i materiali impiegati, la tipologia degli stessi per periodo storico, tecniche costruttive e di decoro, ecc. In parallelo a questi studi sono stati sviluppati i livelli di conoscenza sul degrado, stabilendone cause ed effetti.

È stata così creata una particolare banca dati che ha permesso ai progettisti e ai restauratori di operare scelte mirate e puntuali, tenendo conto anche del degrado dovuto all'ambiente e nell'ottica di considerare il restauro e recupero del comples-

so della Reggia di Venaria Reale anche come un cantiere sperimentale.

In particolare si è valutata la protezione delle superfici architettoniche esterne, che sono costituite da materiali diversi quali intonaci, stucchi, mattoni, materiali lapidei. Per ogni tipologia di materiale presente è stata redatta una mappatura chimico-fisica-petrografica-biologica che ha evidenziato la tipologia di degrado, le sostanze inquinanti, il processo di alterazione dei materiali e infine la ricerca dei materiali di alterazione. I dati emersi hanno evidenziato che le sostanze più pericolose sono presenti nell'ambiente principalmente mediante piogge (particolarmente importanti per i primi 20 minuti di precipitazione), nebbie acide e gelo. Di conseguenza risulta evidente che la protezione delle superfici è importantissima ai fini di allontanare e comunque diminuire l'incidenza diretta di tutti quei fenomeni che tendono ad alterare e quindi a degradare i materiali architettonici. I protettivi prescelti devono avere le seguenti caratteristiche:

- compatibilità chimico fisica con i materiali su cui devono essere applicati
- altissima traspirabilità
- forte potere idrorepellente, anche a livello di nebbie
- struttura non filmogena
- nessuna ritenzione verso i depositi di particolato atmosferico pesante
- nessuna modificazione cromatica dei supporti
- elevata resistenza a pH acido

- elevata resistenza ai raggi UV
- elevata resistenza ai cicli stagionali (caldo freddo- gelo disgelo)
- nessuna interazione con i materiali dovuta al naturale invecchiamento dei protettivi.

Attraverso una attenta valutazione e test funzionali in laboratorio, sono stati approntati dei protettivi specifici che rispondono alle caratteristiche sopra richiamate. In particolare i principi attivi dei protettivi risultano a base di speciali silossani e silani, che vengono impiegati come impregnanti ad alto potere di penetrazione e, grazie alla loro conformazione molecolare, non formano "pellicola" lasciando inalterata la traspirabilità e l'aspetto estetico. Queste tecnologie risultano essere compatibili e si differenziano tantissimo dai protettivi a base di resine di silicone del tipo filmogene, in voga negli anni '70 - '80. Anche la durata nel tempo risulta essere maggiore ma, soprattutto, nel loro normale invecchiamento non presentano il collasso del principio attivo, evitando degradi connessi all'invecchiamento del protettivo.

È già pronto un programma di controlli che sarà effettuato sulle superfici oggetto dei predetti trattamenti: si verificheranno lo stato di salute dei materiali, l'efficacia e il comportamento nel tempo dei prodotti utilizzati. In particolare sarà monitorato l'effetto diretto ambiente-degrado, sulla scorta dei dati analitici ottenuti durante le indagini diagnostiche inerenti al progetto di restauro e conservazione, e verranno fornite le indicazioni per la manutenzione programmata del complesso della Reggia di Venaria Reale.

Foto: Catarina Chersi

BIBLIOGRAFIA

ALAIMO M.G., MELATI M.R., ORECCHIO S., DE VITA F., 1996. *Effetti fitotossici da metalli pesanti sui pollini di piante forestali*. Abstracts VII Congresso Nazionale dell'Associazione Italiana di Aerobiologia, Firenze: 174.

BINI G., MAGISTRO S., ANGELINO E., FOSSATI G., PERONI E., DE LAURETIS R., LIBURDI R., DEL CIELLO R., NEGRENTI E., 2001. *Linee Guida agli inventari locali di emissione in atmosfera*. Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente, RTI CTN_ACE 3/2001.

COMTOIS P., PERFETTO A., 1996. *Airborne pollen viability: meteorological and air pollution determinants*. Atti del VII Congresso Nazionale. dell'Associazione Italiana di Aerobiologia, Firenze: 97.

DECRETO 1 OTTOBRE 2002 N. 261. *Regolamento recante le direttive tecniche per la valutazione preliminare della qualità dell'aria ambiente, i criteri per l'elaborazione del piano e dei programmi di cui agli articoli 8 e 9 del Decreto Legislativo 351/99 – allegato 2*.

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY, 2003. *Air pollution by ozone in Europe in summer 2003*. Topic report N° 3/2003.

GOTTARDINI E., LAZZERI P., PEPPONI G., CRISTOFOLINI F., CARLI E., 2003. *Vitalità e caratterizzazione fisico-chimica dei pollini come indicatori di inquinamento atmosferico*. *Biologia Ambientale*, 17 (2):45-52.

LOLLOBRIGIDA F., BRUSASCA G., CLEMENTE M., DE MARIA R., DESERTI M., DESIATO F., LENA F., TINARELLI G., ZANINI G., 2001. *Linee guida per la selezione e l'applicazione dei modelli di dispersione atmosferica per la valutazione della qualità dell'aria*. RTI CTN_ACE 4/2001.

REGIONE PIEMONTE, 2002. *Valutazione della qualità dell'aria nella Regione Piemonte*. Bollettino Uff. della Regione Piemonte, supplemento al n° 35 del 29/08/2002.

REGIONE PIEMONTE, 2002. *Aggiornamento dell'assegnazione dei Comuni piemontesi alle Zone 1, 2 e 3. Indirizzi per la predisposizione e gestione dei Piani di Azione*. Bollettino Uff. della Regione Piemonte n° 47 del 21/11/2002.