

La qualità dei dati OASI: applicazione nel campo del monitoraggio dell'inquinamento dell'aria

foto TI-press/Davide Agosta

Marco Andretta¹,
Angelo Bernasconi²,
Giovanni Bernasconi¹,
Nerio Cereghetti²,
Luca Colombo¹,
Antonella Realini²

Introduzione

Con l'Osservatorio Ambientale della Svizzera Italiana (OASI) la Sezione protezione aria, acqua e suolo (SPAAS) del Dipartimento del territorio si è dotata di uno strumento che completa l'osservazione ambientale permanente e introduce una gestione dei dati moderna e flessibile affiancata da un sistema informativo trasparente e di rapido accesso [1,2]. Il sistema informativo OASI offre agli specialisti notevoli facilitazioni nel reperire in un solo "luogo" tutti i dati necessari. Dati con un livello omogeneo di qualità e precisione (scelta dei sistemi di misura secondo standard nazionali e internazionali, monitoraggio e manutenzione degli strumenti, trattamento e correzione dei dati). Ma l'osservatorio ambientale non è unicamente al servizio del ricercatore, degli uffici cantonali incaricati del monitoraggio ambientale o del legislatore; esso permette di informare la popolazione con trasparenza e tempestività sull'evoluzione dei vari indicatori legati al carico ambientale [2]. Grazie ai tempi brevissimi che intercorrono tra la raccolta dei dati dalle stazioni di misura, le varie fasi di trattamento dei dati, e la pubblicazione di questi, sono possibili analisi "del giorno dopo" o addirittura "dell'ultima ora". Tuttavia per un simile impiego è importante dotare il sistema informativo OASI di un sistema di controllo della qualità dei dati in grado di identificare in maniera automatica i valori anomali, cioè tutti quei valori che hanno delle caratteristiche che differiscono



no di molto da quello che ci si poteva aspettare. In questo contributo presentiamo un concetto di controllo della qualità dei dati, che è stato completato e affinato per essere applicato al settore della protezione dell'aria in collaborazione con il Laboratorio Energia Ecologia Economia (LEEE) della Scuola Universitaria Professionale della Svizzera Italiana. Scopo dello studio è di approfondire e definire nel dettaglio le procedure di validazione e analisi dei dati per il settore aria sulla base sia dell'esperienza acquisita in 15 anni di rilevamenti, sia con l'analisi delle serie di dati storici (andamenti stagionali "normali" o situazioni straordinarie). In particolare il lavoro di analisi del LEEE ha evidenziato che il metodo dei cluster permette di definire "giornate tipo" per i vari inquinanti atmosfere-

rici e nei diversi luoghi di misura, che possono in seguito essere utilizzate per identificare andamenti sospetti nei parametri rilevati.

Concetto di controllo della qualità dei dati OASI

Il sistema informativo OASI gestisce dati ambientali provenienti da ambiti molto differenti (inquinamento atmosferico, inquinamento acustico, elettrosmog, meteorologia, traffico, etc.). Dati rilevati da molteplici reti di monitoraggio sull'arco di diversi anni, in alcuni casi anche decenni. Questa enorme quantità di dati rappresenta una sfida per quanto riguarda l'elaborazione dei dati, la loro gestione e l'assicurazione della loro qualità. Già a

¹ SPAAS, DT

² LEEE, DACD, SUPSI, Laboratorio Energia Ecologica Economia

A Diagramma delle procedure di controllo

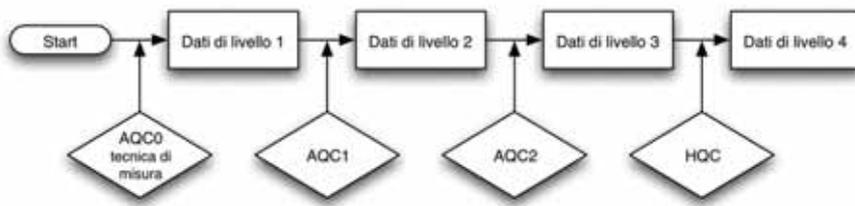


Diagramma rappresentativo delle procedure di controllo a cui vengono sottoposti i dati con i relativi livelli di qualità, per i quali sono definiti degli indicatori di stato.

partire dal 2002 il progetto OASI si è dotato di un concetto sull'assicurazione della qualità dei dati, basato in particolare su sistemi utilizzati da anni nel monitoraggio del clima e della meteorologia. Lo scopo è applicare un singolo sistema di controllo della qualità a tutti i dati gestiti tramite il sistema OASI, indipendentemente dal tipo dei dati (aria, rumore, etc.) e dal loro gestore. Allo stesso tempo, il sistema permette di approfittare dell'esperienza pluriennale delle persone responsabili dei dati nei vari servizi preposti all'osservazione ambientale.

In questo senso i servizi incaricati rimangono responsabili dei loro dati, e quindi anche della selezione (ottimizzata per gli scopi del monitoraggio) di luoghi, metodi di osservazione e sensori, della messa a punto e l'implementazione di procedure standard di manutenzione e calibrazione dei propri strumenti di misura (vedi articolo "Assicurazione della qualità dei dati aria: metodica dei controlli e precisione delle misure"); del controllo e la validazione finale dei propri dati; e infine dell'analisi e interpretazione dei risultati.

Per raggiungere tali scopi è stato implementato un sistema di controllo della qualità dall'architettura modulare (v. graf. A). Esso è composto da una successione di controlli automatici (automatic quality control - AQC) e da un controllo finale manuale (human quality control - HQC), eseguito dal responsabile dei dati che li controlla e ne fissa il livello di qualità definitivo. Le procedure automatizzate controllano i dati più recenti inseriti nella base di dati e utilizzando un sistema unificato di livelli e di indicatori di stato della misura avvisano il responsabile se questi non rispettano i requisiti prefissati. Le procedure automatizzate sono state concepite per fungere da rete di sicurezza. Nell'immediato esse allerta-

no il personale tecnico su possibili casi di malfunzionamento degli strumenti, riducendo quindi i tempi di intervento. A lungo termine servono da supporto, assieme ad altri mezzi (elenchi delle manutenzioni, parametri correlati, eventi particolari), per aiutare il responsabile dei dati, solitamente una persona con esperienza in quello specifico settore ambientale, a valutare se si tratta di problemi di strumentazione o semplicemente di misure insolite ma fisicamente plausibili.

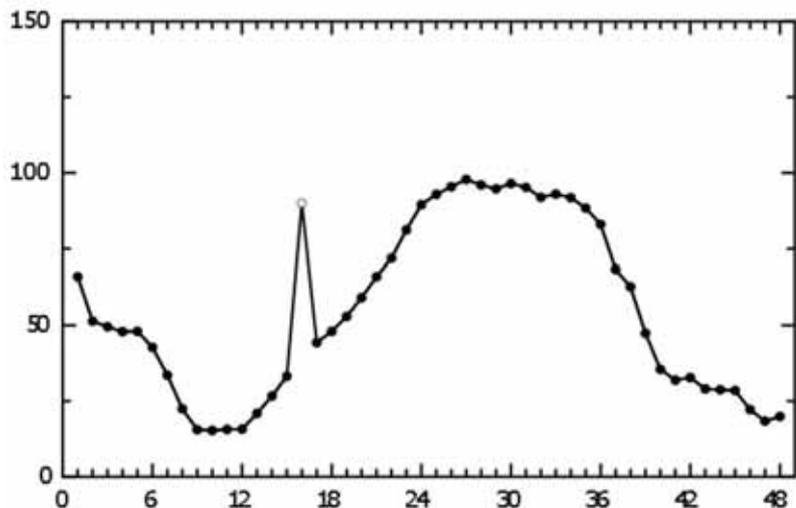
Un primo controllo della qualità (AQC0) si situa a livello di tecnica di misura, non si intendono quindi elaborazioni di dati, bensì il fatto che i dati vengono ripresi dagli strumenti sono spesso completati con eventuali segnali di stato, che indicano possibili malfunzionamenti delle apparecchiature (ad es.

intensità di una lampada insufficiente, cattivo funzionamento di una valvola pneumatica, etc.). Sui dati del livello 1 non è quindi stato effettuato alcun test statistico, ma esiste un'indicazione sullo stato dello strumento al momento della misura.

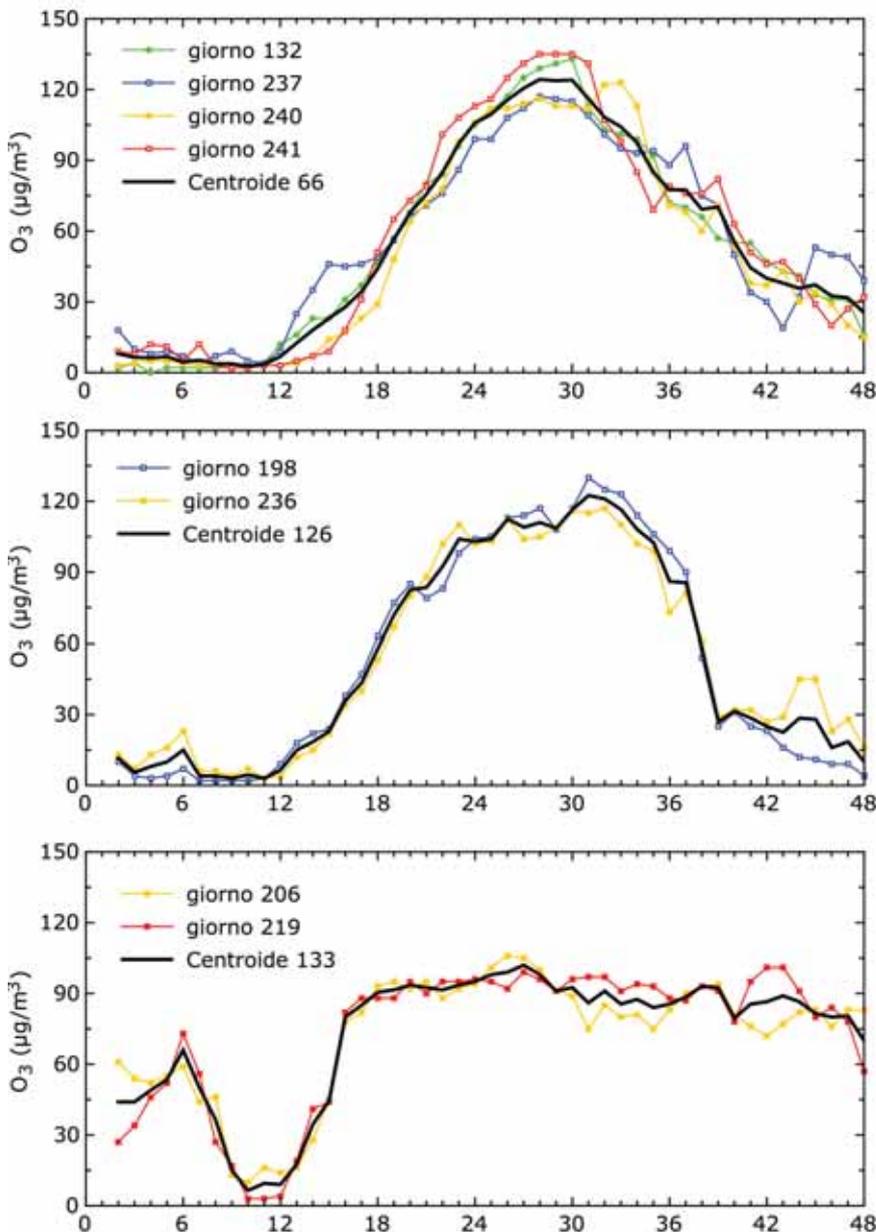
A partire dai dati del livello 1 (dati grezzi) vengono eseguiti diversi controlli della qualità: essi possono essere eseguiti sia automaticamente dal sistema informativo, che manualmente - con il supporto del sistema informativo - dalle risorse umane dei vari servizi. Queste procedure di verifica, abbinata ad un sistema uniforme di livelli e di indicatori di stato, consentono di ricostruire - in ogni momento - la qualità di un determinato dato in qualsiasi settore ambientale gestito dal sistema informativo OASI.

Una prima serie di procedure automatiche di controllo (AQC1) deve essere eseguita non appena un numero sufficiente di dati è stato aggiunto al data base. Nel caso di dati misurati su base semioraria - come avviene nel caso dell'inquinamento atmosferico - si

B Esempio ipotetico di andamento



Esempio ipotetico di andamento che, pur essendo poco plausibile, potrebbe superare le prime procedure di controllo.



Alcuni esempi di cluster per l'ozono ricavati dopo una prima iterazione dei dati. La curva in nero rappresenta il centroide del cluster. Le altre curve (colorate), invece, rappresentano i singoli giorni che si trovano nei 3 cluster.

tratta in genere di verificare serie di 48 valori sulla base dei seguenti test:

- **Disponibilità:** Verifica che la serie temporale di un determinato parametro raggiunga un livello minimo di completezza.
- **Intervallo (range):** Per ogni parametro e stazione di analisi vengono fissati dei valori minimi e massimi, determinati sulla base delle serie storiche di dati.
- **Salti (o step):** Si tratta di identificare per

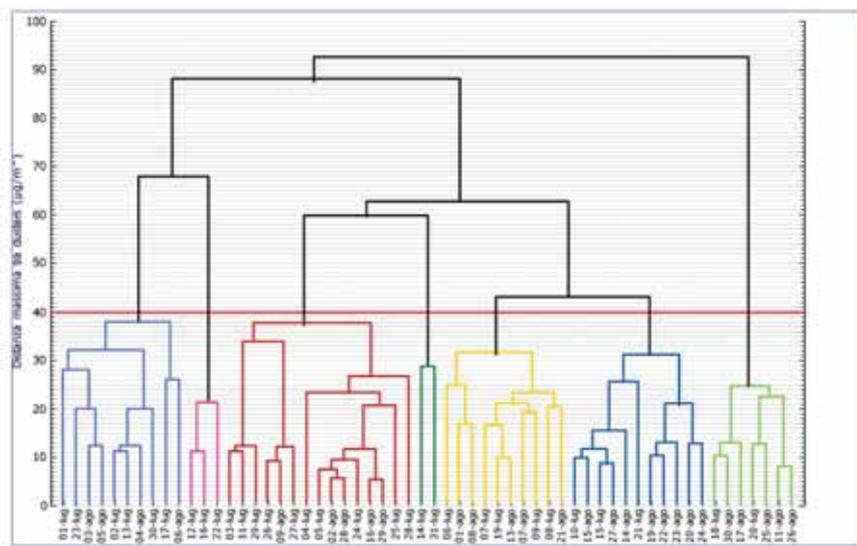
- ogni parametro il salto massimo (in valore assoluto) tra due misure consecutive.
- **Persistenza:** Questa funzione di test è stata introdotta per verificare se uno strumento continua a fornire un segnale stabile. Ciò potrebbe essere indice di cattivo funzionamento dello strumento e potrebbe verificarsi ad esempio quando la sensibilità di un sensore diventasse insufficiente.

La procedura di analisi AQC2 consiste in una routine automatica da applicare ogni qualvolta un certo numero di dati sia stato importato nella banca dati OASI, tipicamente ogni mese ossia una serie di ca. 1500 dati, se misurati su base semioraria. In generale queste procedure sono in grado di riconoscere se la fisionomia dell'andamento giornaliero di un determinato parametro mostra qualcosa di sospetto pur rientrando nei limiti previsti dall'AQC1. Evidentemente esistono diverse possibilità per individuare comportamenti anomali che potrebbero passare inosservati attraverso le prime procedure di controllo. Nell'ambito dell'OASI si considerano le seguenti procedure:

- **"Consistenza tra parametri":** verifica che non vi siano inconsistenze tra due parametri - solitamente correlati - rilevati nello stesso luogo.
- **"Consistenza tra diversi luoghi":** si controlla che non vi siano inconsistenze tra i valori di un parametro misurati in due luoghi che nelle serie storiche appaiono correlati.
- **"Consistenza topologica":** si convalidano i dati sulla base di un confronto con gli andamenti tipici ricavati dalle serie storiche.

Consistenza topologica: metodo dei cluster

In analogia a quanto farebbe un esperto, al fine di riconoscere possibili anomalie nei dati, si può fare ricorso "all'esperienza", confrontando un determinato andamento con le tipologie comportamentali, statisticamente significative, ricavate dalle serie di dati storici. Il sistema informativo OASI implementa una metodologia in grado di trattare un elevato numero di dati e di classificarli in base al comportamento giornaliero. Più precisamente la tecnica di classificazione si basa sull'analisi dei cluster, un metodo statistico a più variabili capace di studiare la struttura di sistemi complessi di oggetti e di stabilire delle somiglianze. Nel caso



Dendrogramma ottenuto dall'analisi dei cluster per i dati dell'ozono registrati a Brione s.M. nei mesi di luglio e agosto 1994 secondo la procedura descritta in [3,4]. La linea rossa mostra la distanza minima (40 µg/m³) esistente tra i gruppi.

dei dati di monitoraggio ambientale gli oggetti spesso sono rappresentati dai singoli giorni e le variabili che li descrivono sono i valori semiorari registrati durante una giornata (per una sostanza), ossia dei vettori 48-dimensionali.

La procedura si suddivide in 2 processi separati per consentire, al termine di ogni anno, di aggiornare la banca dati dei cluster analizzando soltanto l'ultimo anno di dati. Ciò consente di evitare lunghi periodi di calcolo, come potrebbe essere il caso per le serie storiche dei dati dell'inquinamento atmosferico che si estendono ormai su un ventennio, e di conservare anche dei comportamenti storici senza mischiarli con dati più recenti. In questo modo dal confronto di andamenti tipo ottenuti a distanza di anni si possono trarre anche delle importanti conclusioni sull'evoluzione dell'inquinamento.

Per raggruppare le giornate in base alla somiglianza dei comportamenti temporali delle concentrazioni di una determinata sostanza, occorre introdurre un indice del grado di similitudine. In generale la somiglianza è ben quantificata dalla distanza euclidea tra due vettori. Le distanze calcolate tra tutte le possibili coppie di giorni determinano la cosiddetta "similarity matrix". Su questa matrice opera un algoritmo di raggruppamento gerarchico. Nel secondo passo del

processo iterativo viene calcolata la distanza limite al di sotto della quale due vettori sono considerati simili. I vettori con una distanza inferiore a D vengono raccolti in cluster separati, dove nel caso in cui questa condizione fosse soddisfatta per più cluster, si opta per il più vicino. In un terzo passo, per ogni gruppo viene calcolato il vettore medio, il cosiddetto centroide (v. graf. C).

I 3 passi appena descritti vengono ripetuti più volte utilizzando i centroidi invece dei vettori dei singoli giorni, fino a che il numero di cluster non è inferiore a 20. Per ogni parametro e per ogni luogo di misura, partendo dall'anno 2000 si crea una lista di cluster caratteristici, raggruppando i set di dati giornalieri ed escludendo i cluster con meno di 5 giorni, perché considerati poco rappresentativi, i quali vengono inseriti e conservati nella banca dati.

Esistono diversi metodi per aggregare in maniera gerarchica dei vettori. Ad esempio, invece di introdurre un indice di affinità a ogni iterazione, ci si potrebbe limitare a raggruppare soltanto i 2 vettori più affini. Alla fine i cluster sono determinati dall'analisi dei cosiddetti dendogrammi (v. graf. D), nei quali la struttura dei cluster è mostrata con uno schema ad albero che unisce i singoli giorni e i cluster da essi progressivamente ricavati. L'altezza di ogni ramo è scelta in modo tale da

indicare sull'ordinata la distanza tra i 2 cluster che collega, che rappresenta la distanza minima esistente tra gruppi. È importante rilevare che questo modo di procedere - adottato da Lavecchia e collaboratori in [3,4] - richiede un maggior numero di operazioni rispetto a quello utilizzato per il presente lavoro, ma in generale si può affermare che il confronto ha evidenziato dei risultati molto simili, avvalorando il metodo proposto per il controllo della qualità dei dati dell'OASI, che non necessita di fissare una soglia massima per la distanza tra i membri di un cluster, che con ogni probabilità varierebbero da parametro a parametro.

Applicazione AQC1 al settore aria

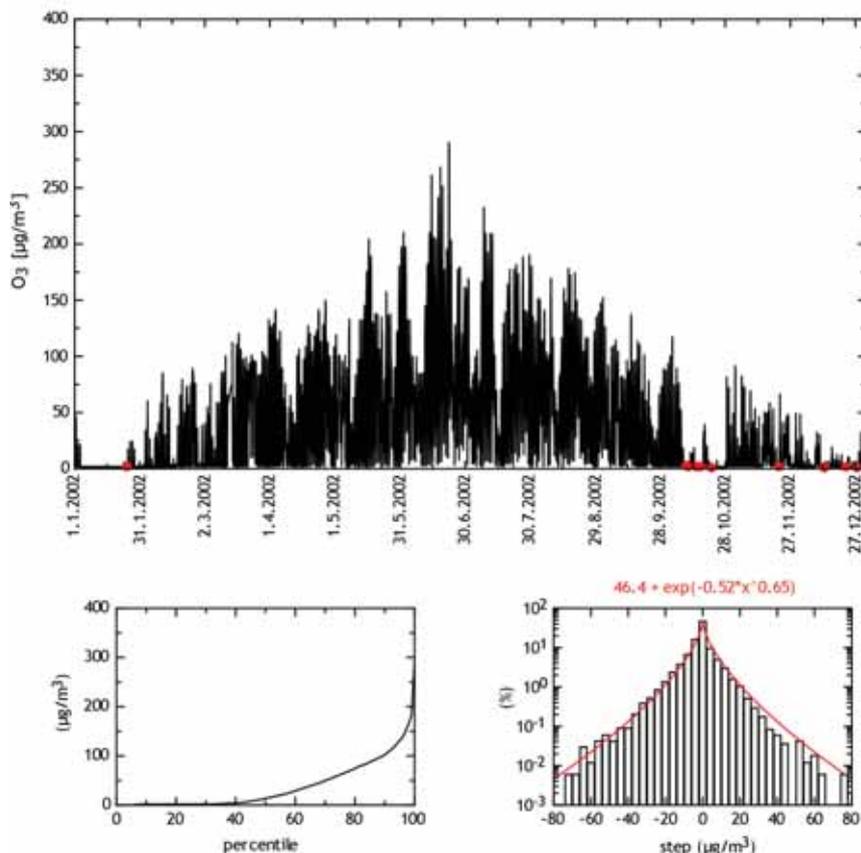
Le procedure per il controllo sono state applicate alle serie di dati misurati dalle stazioni di misura della rete di rilevamento dell'Ufficio protezione aria (vedi Figura nell'articolo "Inquinamento atmosferico e stato dell'aria 2005") per i seguenti parametri:

- Monossido di azoto (NO)
- Diossido di azoto (NO₂)
- Ossidi di azoto (NO_x=NO + NO₂)
- Monossido di carbonio (CO)
- Ozono (O₃)
- Diossido di zolfo (SO₂)
- Polveri fini (PM10)
- Polveri ultrafini (PM2.5)
- Numero di particelle
- Indice di fuliggine

È stata impostata una procedura automatica che per ogni parametro è in grado di produrre una serie di grafici e dati statistici. Sulla base di queste analisi eseguite per tutti i parametri (valori semiorari) sono state calcolate le soglie per i test dei "range", degli "step" e della persistenza, separatamente per gli anni 2000-2003.

I valori ottenuti per i diversi anni sono molto simili con la sola eccezione del diossido di zolfo i cui valori massimi semiorari pos-

E Output grafico della procedura automatica per determinare le soglie da utilizzare nei test AQC1



sono variare anche di un fattore 2 da un anno all'altro. Dall'analisi della statistica degli step si ottengono delle curve simmetriche. Ciò starebbe ad indicare che - perlomeno sull'arco di 30 min - i meccanismi di formazione e di rimozione degli inquinanti avvengono con la stessa velocità e frequenza. L'unica lieve eccezione a questa regola generale è rappresentata dai dati dell'ozono di Moleno, per i quali si constata un maggior numero di step negativi. Ciò potrebbe essere ricondotto al fatto che la formazione dell'ozono ha caratteristiche regionali, mentre la sua (temporanea) distruzione è determinata dagli ossidi di azoto emessi lungo l'autostrada A2, che nel caso della stazione di analisi di Moleno si fa particolarmente sentire essendo ubicata proprio a margine.

Si osserva una certa correlazione tra i valori dei massimi e quella degli step. Anche se ciò può sembrare un fatto normale, in quanto per un parametro che raggiunge valo-

ri più elevati rispetto ad un altro è lecito attendersi anche dei balzi più grandi. Una eccezione è rappresentata dall'ozono, per il quale lo step massimo diminuisce leggermente quando si registrano i valori più elevati. Ciò potrebbe suggerire, che negli anni con le punte più alte di ozono i salti diminuiscono, perché le concentrazioni tendono a restare elevate per lunghi periodi.

Sulla base dei valori ricavati per i singoli anni si sono potute stabilire le soglie da utilizzare per le procedure di controllo automatico AQC1. Esiste una difficoltà nell'implementare il test sulla persistenza dovuta al fatto che le serie temporali di alcuni parametri in determinate condizioni possono diventare persistenti senza essere "sbagliate": si pensi alle concentrazioni di ozono nei periodi invernali o a quelle di diossido di zolfo che, nei mesi caldi, che possono assumere per diverse giornate consecutive valori molto bassi, vicino a zero. In generale anche i mal-

funzionamenti degli strumenti hanno come conseguenza dei valori bassi.

Solitamente in relazione ai valori minimi, nel caso di misure delle concentrazioni di sostanze, si pone come condizione che essi non siano inferiori a zero, perché un valore negativo non avrebbe significato fisico. Ciò contrasta in parte con il fatto che gli strumenti di misura sfruttano dei principi fisici e/o chimici per trasformare le concentrazioni di sostanze presenti nell'atmosfera in un segnale elettrico, e che quando uno strumento è calibrato correttamente può assumere dei valori negativi che possono essere ritenuti validi se si situano all'interno del limite di risoluzione dell'elettronica (in generale ± 1 ppb).

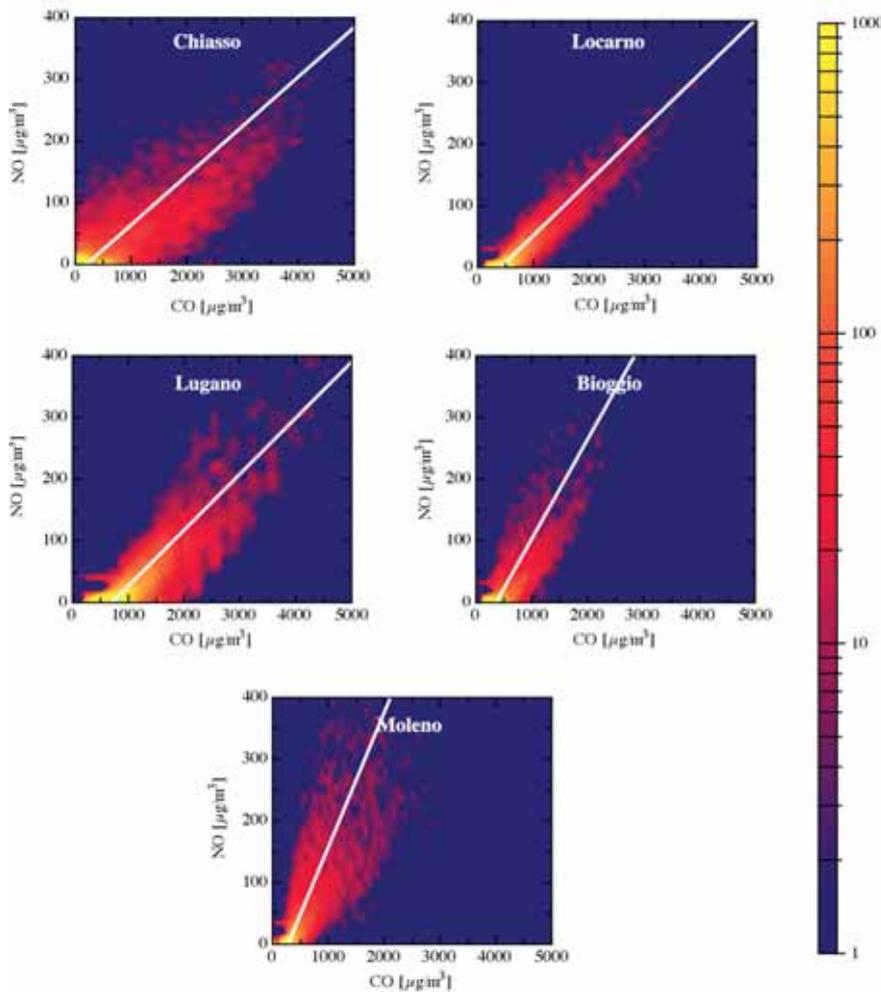
Correlazioni "intersito" e "interparametro" nell'inquinamento atmosferico

In alcuni casi possono esistere delle affinità tra gli andamenti temporali di due parametri di una stessa stazione (interparametro) o tra gli andamenti temporali ottenuti per un parametro in due diverse stazioni (intersito). Tale affinità può essere sfruttata per possibili dati probabilistici relativi ad uno dei 2 parametri o dei due siti. Sulla base delle analisi delle correlazioni tra diversi parametri misurati in uno stesso luogo (interparametro) e tra parametri uguali misurati in luoghi diversi (intersito) sono state determinate le coppie di serie di dati il cui andamento può essere confrontato per individuare possibili eventi straordinari da sottoporre al responsabile del controllo della qualità dei dati, oppure da utilizzare a supporto della procedura automatica AQC2.

Per le correlazioni tra le diverse sostanze misurate in una stessa località si possono trarre le seguenti principali conclusioni:

- ♦ Le correlazioni tra diverse sostanze non variano in modo significativo nel corso degli anni;
- ♦ In tutte le stazioni la correlazione tra CO e NO_x (e tra CO e NO) è molto forte;

F Concentrazioni di monossido di azoto (NO) in funzione di quelle di monossido di carbonio (CO) per diverse località.



I grafici sono suddivisi in un reticolo, dove all'interno di ogni cella è riportato il numero di punti (CO, NO) che vi si trovano secondo la scala colorimetrica indicata a lato.

- ♦ In tutte le stazioni la correlazione tra NO_x e NO è molto forte (con la sola eccezione di Brione dove la correlazione assume valori leggermente inferiori).

Per le correlazioni tra le serie di dati di una sostanza misurate in località diverse si possono trarre le seguenti principali conclusioni:

- ♦ Le correlazioni non variano in maniera significativa nel corso degli anni, con le eccezioni della SO_2 per il quale si osservano delle leggere fluttuazioni e dell' O_3 che nel 2002 mostra dei valori di correlazione inferiore a quelli degli altri anni;
- ♦ Le stazioni di Locarno, Bioggio e Chiasso

sono correlate per le sostanze CO, NO_x , NO e O_3 .

Applicazione analisi dei cluster al settore aria

Il numero di cluster, individuati per un anno, può variare molto da parametro a parametro e da località a località. Vengono analizzati in particolare i centroidi ottenuti per l'ozono e gli ossidi di azoto per le località di Chiasso e Brione, al fine di permettere un confronto tra località esposte direttamente all'inquinamento e non tra inquinanti prima-

ri (emessi direttamente dalle attività umane) e secondari (che si formano nell'atmosfera a seguito di reazioni chimiche). In generale si può osservare come la tipologia dei cluster sia molto numerosa e diversificata per l'ozono. Ciò vale sia per le misurazioni eseguite in centri urbani (11 cluster a Chiasso) per quelle effettuate in periferia (11 cluster a Brione) ed è da ricondurre al pronunciato comportamento stagionale e giornaliero che contraddistingue l'andamento di questo inquinante. Anche per il parametro NO_x si ottiene per entrambe le tipologie di stazioni di analisi un discreto numero di cluster (10 a Chiasso e 9 a Brione). Se si considera che il parametro NO_x è dato dalla somma del monossido di azoto (NO) con il diossido di azoto (NO_2), appare interessante osservare come il numero totale di cluster ottenuto per gli NO_x non corrisponda alla somma dei cluster ottenuti per NO e NO_2 . Ciò sta ad indicare che alcune tipologie molto simili per le due sostanze (v. ad esempio le situazioni con bassi valori dell'inquinamento) si fondono in unico cluster a livello di NO_x . Lontano dalle emissioni - a Brione - le modulazioni che caratterizzano le emissioni vengono filtrate dall'atmosfera, che si comporta un po' come un "low-pass filter", smussando alcuni comportamenti e spiegando il minor numero di cluster con tanti elementi a Brione rispetto a Chiasso, per NO, NO_2 e NO_x .

I centroidi dei cluster ottenuti per il monossido di carbonio (CO) a Chiasso sono simili a quelli ricavati per gli ossidi di azoto, parametro con il quale il CO è fortemente correlato (v. paragrafo precedente). Decisamente minore è il numero di andamenti tipici riscontrati per il diossido di zolfo, circa la metà di quelli ricavati per i composti dell'azoto. Tale differenza può essere spiegata tenendo conto che nei periodi di non riscaldamento la concentrazione di diossido di zolfo nell'atmosfera è molto bassa su tutto l'arco della giornata. Non a caso la maggior parte dei giorni si situano nel cluster con l'andamento più piatto.

Assicurazione della qualità dei dati aria: metodica dei controlli e precisione delle misure

Luca Colombo, Valerio Fumagalli

Le analisi della qualità dell'aria vengono effettuate dall'ufficio protezione dell'aria conformemente alle direttive federali ed alle raccomandazioni dell'Ufficio federale dell'ambiente, UFAM [1]. Le stazioni di analisi sono provviste di apparecchi automatici, che misurano in maniera continua le concentrazioni di diversi inquinanti atmosferici, come pure alcuni parametri meteorologici. I relativi dati sono inviati telematicamente ogni giorno all'unità centrale di elaborazione dati della SPAAS a Bellinzona. La dotazione delle diverse stazioni d'analisi è riportata nella tabella A.

Se da un lato questo metodo è molto pratico e permette un'analisi approfondita e continua della situazione dell'inquinamento, dall'altro canto esso è puntuale e le apparecchiature richiedono una manutenzione costante ed onerosa. Il sistema di acquisizione elettronico dei dati effettua giornalmente vari controlli automatici delle calibrazioni. I risultati di queste verifiche sono trasmessi, assieme ai dati rilevati, al server centrale a Bellinzona. Essi permettono di accertare ogni giorno il buono stato delle apparecchiature delle stazioni d'analisi.

Ad intervalli regolari, normalmente ogni due settimane, si realizzano la taratura ed i controlli delle apparecchiature secondo le direttive dell'Ufficio federale dell'ambiente, UFAM; queste calibrazioni vengono svolte dal personale dell'ufficio della protezione del-

l'aria. Annualmente le apparecchiature vengono calibrate da organismi di certificazione esterni. Le calibrazioni si concentrano in particolare sugli strumenti di misura dei parametri più sensibili e cioè, ozono, O₃, ossidi di azoto, NO_x, e polveri sottili, PM10.

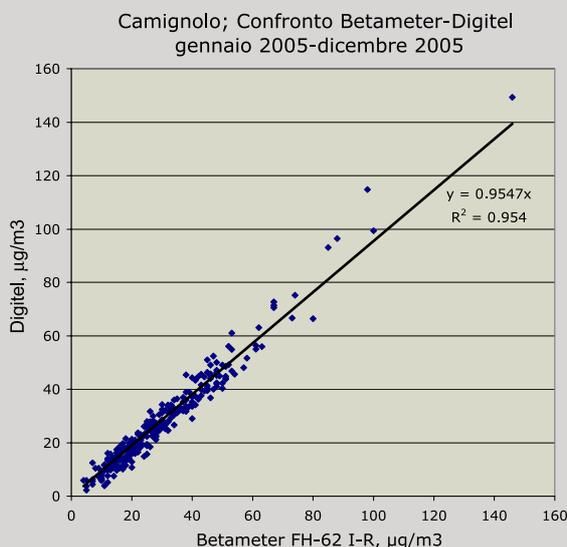
Per quanto riguarda l'ozono annualmente un generatore d'ozono di riferimento viene inviato all'ufficio federale di metrologia e accreditamento, METAS, per la sua calibrazione nell'intervallo di misura tra 0 e 200 ppb. A sua volta questo apparecchio permette poi di tarare e verificare gli strumenti della rete cantonale. L'ultima calibrazione è stata svolta nel novembre 2005 e questa metodica di controlli consente di garantire un errore di misura inferiore al 2%.

Gli apparecchi di misura degli NO_x sono stati sottoposti ad una calibrazione nell'ambito del monitoraggio delle misure fiancheggiatrici, settore ambiente, MfM-U, dell'UFAM, condotta da InNet, la rete di rilevamento dei dati della qualità dell'aria dei Cantoni della Svizzera centrale. In questo caso le verifiche si sono svolte direttamente presso la stazione di misura grazie ad un sistema di calibrazione portatile. Anche in questo caso le verifiche incrociate permettono di affermare che l'errore di misura è inferiore al 3,5% nell'intervallo tra 0 e 80 ppb.

Parametri analizzati nelle rispettive stazioni di rilevamento della rete cantonale gestita dall'Ufficio protezione aria

PARAMETRI	Chiasso	Pregassona	Bioggio	Camignolo	Locarno	Brione s.M.	Moleno	Bodio
Diossido di zolfo (SO ₂)			•		•			•
Ossidi d'azoto (NO _x , NO, NO ₂)	•	•	•	•	•	•	•	•
Ozono (O ₃)	•	•	•	•	•	•	•	•
Monossido di carbonio (CO)			•					
Polveri sottili (PM10)	•	•	•	•			•	•
Polveri ultrafini (PM2.5)				•			•	
Idrocarburi policiclici aromatici (IPA)				•			•	
Benzene, Toluene, Xileni (BTX)							•	
Numero di particelle				•			•	
Fuliggine (carbonio elementare)				•			•	
Temperatura	•		•	•	•	•	•	
Umidità		•	•	•	•	•	•	
Irraggiamento solare	•		•	•	•	•	•	
Vento (velocità e direzione)	•		•	•			•	
Precipitazioni			•	•			•	
Pressione				•			•	

Concentrazioni medie giornaliere di PM10 (periodo gennaio-dicembre 2005) ottenute a Camignolo con due metodi di misura diversi (Betameter e DIGITEL). La linea rappresenta la curva di regressione lineare.



Sulla base delle risultanze di queste verifiche che vengono svolte ormai da diversi anni si può quindi affermare, gli analizzatori elettronici per gli inquinanti gassosi garantiscono misure molto affidabili e precise, con errori di misura variabili tra il 2% e il 4%.

I parametri relativi alle polveri come PM10, PM2.5, fuliggine e numero di particelle, vengono per contro misurati sistematicamente presso diverse stazioni di misura solo da alcuni anni per cui le procedure di validazione di apparecchi e strumenti non sono ancora state codificate completamente.

Per ovviare a questo problema, le misurazioni delle polveri sottili PM10 sono effettuate parallelamente con due apparecchiature diverse, vale a dire Digitel e Betameter.

Il primo apparecchio è un campionatore ad alto flusso, Digitel. In questi apparecchi le polveri sottili - dopo essere state aspirate ad alta velocità (500 l/min) con l'ausilio di una speciale sonda - si depositano su un filtro che viene sostituito giornalmente. Le concentrazioni di PM10 sono poi determinate gravimetricamente nel laboratorio della SPAAS. Questo metodo è considerato come il sistema di riferimento secondo EN 12341, ma presenta lo svantaggio di dovere sostituire i filtri giornalmente e procedere alla sua analisi in laboratorio con la conseguenza di avere a disposizione i risultati dopo circa 3-4 settimane.

Il secondo sistema analitico aspira l'aria (16 l/min) con l'ausilio di una speciale sonda ed elimina le polveri più grandi grazie ad un sistema di separazione; l'aria così trattata raggiunge poi un filtro, dove le quantità di polveri sottili sono determinate istantanea-



Furgone su cui sono montati gli apparecchi e le dotazioni necessarie ad eseguire le calibrazioni: bombole con concentrazioni di gas certificate dal fabbricante, il generatore d'ozono, un generatore d'aria zero.

il grande vantaggio di avere i dati immediatamente a disposizione con una risoluzione temporale oraria e non giornaliera.

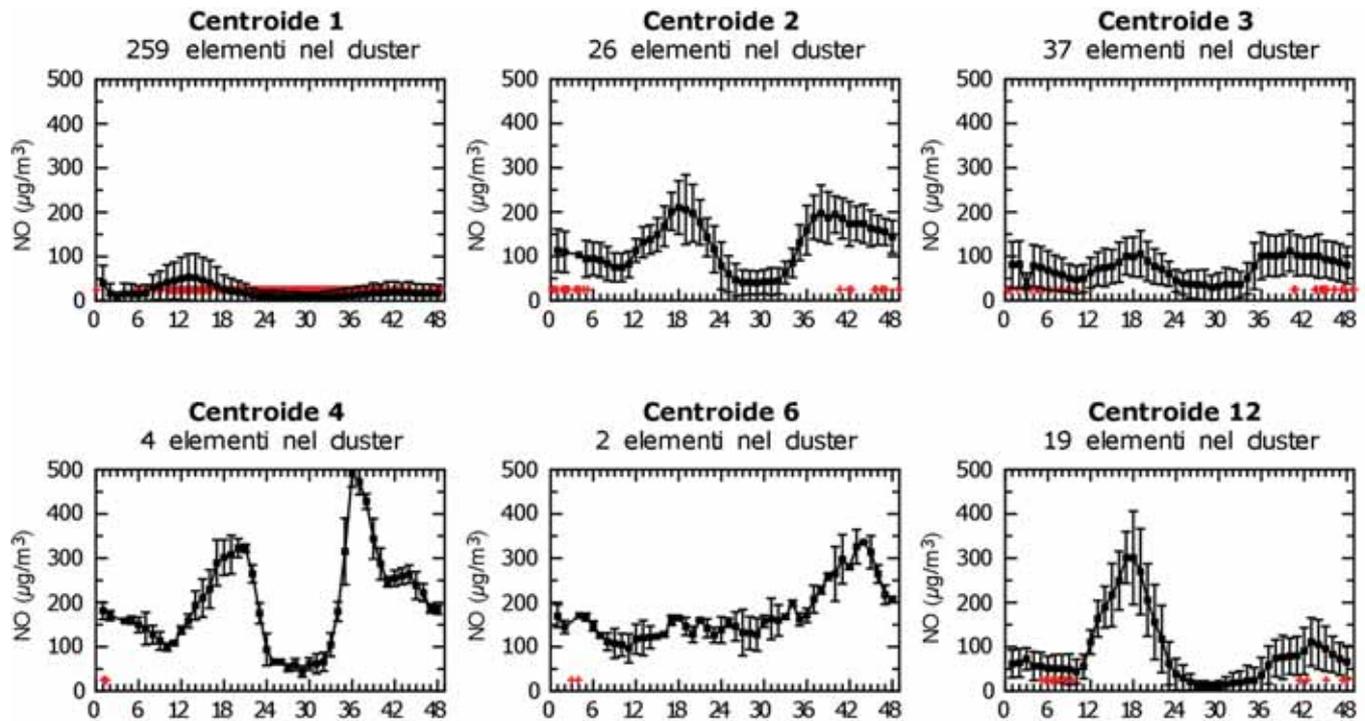
Dal 2003, nella stazione di Camignolo e Moleno sono in funzione simultaneamente sia un Digitel che un Betameter. La figura e riporta il confronto dei dati ottenuti con i due metodi. L'elevato coefficiente di correlazione tra le due serie di dati -0.95- e l'uniforme distribuzione dei punti rispetto alla bisettrice, confermano la validità dei due sistemi di misura. Nel caso specifico a Camignolo la differenza tra il metodo di riferimento, Digitel, e quello di monitoraggio, Betameter, è inferiore al 5%; A Moleno questa differenza si attesta sul 10%. Per quanto riguarda le polveri si può così affermare che l'errore di misura del metodo di monitoraggio in generale oscilla tra il 5% e il 10%.

Fino al 2004 annualmente venivano poi eseguiti dei test di calibrazione da parte dell'UPA con la consulenza e l'assistenza di un ufficio esterno specializzato. A partire dal 2005 l'UPA si è dotato di un mezzo mobile su cui sono montati gli apparecchi e le dotazioni necessarie ad eseguire le calibrazioni, come bombole con concentrazioni di gas certificate dal fabbricante, il generatore d'ozono, un generatore d'aria zero con cui eseguire regolarmente le calibrazioni tramite diluizione dei gas certificati (figura f). ■

Bibliografia

[1] UFAFP, Raccomandazioni sulle misure degli inquinanti atmosferici, 1.1.2004

G Esempio di centroidi dei cluster contenenti più di un elemento per il parametro monossido di azoto misurato nella località di Chiasso nel 2002.



Le barre verticali rappresentano le deviazioni standard calcolate per ogni semiora. La numerazione dei centroidi corrisponde a quella ricavata dall'algoritmo. I numeri mancanti sono quelli dei centroidi corrispondenti a cluster con 1 singolo elemento. Le crocette rosse (in basso) indicano i giorni appartenenti al cluster, ottenute suddividendo l'asse orizzontale in 365 unità.

Meno facile da spiegarsi è il comportamento delle polveri fini PM10 (a Chiasso), per il quale si trovano solo 3 gruppi, dei quali uno comprende solo 3 giorni. L'andamento del primo cluster - nel quale sono raggruppati 276 giorni - è praticamente piatto, tuttavia la media di PM10 di queste giornate (a differenza di quella che si riscontra per cluster simili di altre sostanze) risulta pari $29,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, vale a dire nettamente oltre il limite di $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ fissato dall'OIAI per la media annua. Questi risultati confermano la tesi secondo la quale, per combattere l'inquinamento da polveri, sono innanzitutto necessari provvedimenti duraturi di tipo strutturale.

Al fine di arricchire la banca dati dei cluster, i centroidi più rappresentativi (almeno 5 giorni) dei diversi anni sono stati raggruppati. I cluster individuati per gli ossidi di azoto rilevati presso la stazione di Chiasso durante gli anni 2000-2003 sono 8 e i centroidi dei cluster che raggruppano diverse giornate dei

mesi freddi invernali mostrano un'ampia gamma di picchi, che si riscontrano solo in misura minore a Brione dove i cluster per gli ossidi di azoto sono soltanto 6. Anche per le polveri fini PM10 - l'inquinante sul quale attualmente si concentra maggiormente l'attenzione - per il periodo 2000-2003 si ottiene un numero di cluster soddisfacente (12 per Chiasso e 11 per Moleno), per impostare una procedura di controllo. In relazione agli andamenti tipo ottenuti per le PM10 è interessante osservare che - in generale - sia a Chiasso che a Moleno non si riscontrano delle punte durante le ore di massima attività. I valori più elevati si raggiungono invece nelle ore notturne. Da rilevare in fine un caso particolare: il diossido di zolfo a Bodio, per il quale si riescono a determinare soltanto 3 cluster sull'arco dei 4 anni. Ciò è dovuto al fatto che i valori di questo parametro sono fortemente influenzati dalle attività di un'importante azienda locale, che non è caratterizzata

da un ciclo circadiano perfetto, ma mostra punte di attività e quindi di emissione di SO_2 che da un giorno all'altro possono essere sfasate di parecchie ore. ■

Bibliografia

- [1] M. Andretta, A. Bernasconi, G. Bernasconi, "Un OASI per l'ambiente" in *Dati* 3-2002, pp. 60-66.
- [2] sito web www.ti.ch/oasi
- [3] C. Lavecchia, La distribuzione degli ossidi di azoto nel territorio milanese, in *Studi monografici sulla qualità dell'aria*, Provincia di Milano, Milano, 1996, 17-23
- [4] C. Lavecchia, E. Angelino, C. Bosio, A. Musitelli e A. Bernasconi, Spatial and temporal characterization of tropospheric ozone in the Pre-Alpine region by cluster analysis, *Atti della conferenza Air Pollution 98*