



Carlo Lupi, Libero professionista - Roma;  
Giovanni Marsili, Giuseppe Viviano,  
Istituto Superiore di Sanità - Roma;  
Riccardo Corsi, Marco Barlettani, Gaetana Tatiana Torcivia,  
ERM Italia - Milano. marco.barlettani@erm.com

# EMISSIONE DI MATERIALE PARTICELLARE DA CENTRALI ALIMENTATE A GAS NATURALE

## Dati sperimentali ed effetti sulla salute

### Gli impianti a ciclo combinato alimentati a gas naturale

hanno un fattore di emissione medio di materiale particellare al camino assai inferiore agli impianti tradizionali alimentati a combustibili quali l'olio o il carbone. Sebbene dati epidemiologici confermino che l'esposizione a PM10 rappresenti un rischio per la salute, la sostituzione di impianti a olio o a carbone con la tecnologia in oggetto costituirà un miglioramento per la qualità dell'aria sia su scala locale sia regionale.

**N**egli ultimi mesi si è assistito ad un vivace dibattito incentrato sulle emissioni di materiale particellare fine da centrali termoelettriche (CTE) in ciclo combinato, dibattito reso più vivace dalla scarsità di informazioni e di dati sperimentali sulle emissioni di PM10 specifiche e da impianti italiani. I consumi di energia elettrica in Italia nel 2003 hanno raggiunto circa 319 milioni di MWh, con un incremento del 2,9% rispetto all'anno precedente. Tale richiesta è stata soddisfatta per circa l'84% con la produzione nazionale, che è cresciuta di oltre il 3% rispetto al 2002, e per il restante 16% dal saldo fra *import* ed *export* con l'estero, in lieve aumento (0,7%) sul 2002. Dal 1999 al marzo 2004 il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio (MATT) ha emanato 34 decreti di compatibilità ambientale, per la realizzazione di nuove centrali in ciclo combinato, per una potenza complessiva di circa 18.000 MWe (www.minambiente.it), potenzialmente in grado di produrre 144 milioni di MWh/anno. A questi deve sommarsi l'aumento di produttività ottenuta con la trasformazione in ciclo combinato di impianti Enel o ex Enel ad olio combustibile, stimabile in circa 15-20 milioni di MWh. Gli impianti autorizzati risulterebbero quindi in eccesso, rispetto all'ipotesi di copertura totale della domanda mediante produzione nazionale, anche considerando un incremento dei consumi dell'ordine dei 50 milioni di MWh nei prossimi 10 anni. Una

riduzione dell'importazione di energia elettrica nel breve-medio termine non appare verosimile, in quanto è prevista la realizzazione di nuovi elettrodotti di collegamento transalpini. Qualora detta produzione andrà, anche solo in parte, a sostituire l'energia elettrica prodotta con impianti ad olio combustibile e/o a carbone, la costruzione di dette centrali potrebbe portare ad una riduzione della quota globale di inquinanti emessi.

### Gli effetti sulla salute dell'esposizione a materiale particellare

A partire dagli anni Novanta, gli studi epidemiologici che confermano l'associazione tra effetti sanitari ed esposizioni al particolato atmosferico si sono intensificati. Due di essi, condotti rispettivamente in 20 città degli Usa e del Canada (Samet, 2000) ed in 29 città d'Europa (Katsouyanni, 2001), ad esempio, concordano nel segnalare un aumento della mortalità per tutte le cause, quantificabile in 0,5% e 0,6-0,7% in America ed in Europa rispettivamente, successivamente ad un incremento episodico di 10 µg/m³ della concentrazione media giornaliera del particolato. L'esposizione a lungo termine al materiale particellare appare anch'essa significativamente correlata con effetti avversi sulla salute. In particolare, uno studio condotto negli Usa suggerisce che in aree che si differenziano per una con-

centrazione media annuale del PM<sub>2,5</sub> di 10 µg/m³, sono attesi ratei di decesso per tutte le cause, per patologie cardiopolmonari (ICD-9 401-440 e 460-519) e per tumore del polmone (ICD-9 162) diversi per il 4%, 6% ed 8% rispettivamente (C.A. Pope, 2002). Per quanto riguarda il nostro Paese, una metanalisi degli studi sugli effetti a breve termine dell'inquinamento atmosferico, realizzati in 8 tra le maggiori città italiane, quantifica rispettivamente in 0,9%, 1,1% e 0,8% l'incremento della mortalità nello stesso giorno e nei due giorni successivi a quello in cui si è registrato un aumento di 10 µg/m³ della concentrazione media giornaliera di PM<sub>10</sub> (Misa, 2001). Recentemente, una significativa associazione tra esposizione a materiale particellare ed ospedalizzazione per infarto del miocardio è stata rilevata a Roma e quantificata in un incremento del 3,7% per aumenti della concentrazione media giornaliera di 10 µg/m³ (D'Ippoliti, 2003).

In assenza di certezze sul meccanismo di azione del fattore di rischio, l'associazione tra esposizione a materiale particellare in atmosfera ed effetti avversi per la salute, trova nella riproducibilità degli studi, condotti in aree e con modalità diverse, una dimostrazione della sua significatività. D'altra parte, la disomogeneità fisica e chimica del materiale particellare e la sua estrema variabilità, rendono difficile la caratterizzazione del fattore di rischio. Alcuni studi epidemiologici offrono però suggerimenti sulla pericolosità in funzione della sorgente di emissione. Uno studio realizzato a Roma quantifica in 0,38% l'incremento della mortalità associato ad un aumento di 10 µg/m³ della concentrazione del materiale particellare. Questa associazione è confermata quando si limita la rilevazione al centro storico (+0,66%), caratterizzato da un maggior volume di traffico automobilistico. Tale associazione non si evidenzia limitando lo studio alle aree periferiche. Un altro studio della qualità dell'aria in sei città degli Usa, in cui il particolato fine è stato classificando in funzione della sua origine da mezzi mobili, da carbone, da sorgenti naturali e da olio combustibile, stima che un aumento di 10 µg/m³ della concentrazione media giornaliera del PM<sub>2,5</sub> spieghi incrementi di 3,4% e di 1,1% della mortalità giornaliera, quando il materiale particellare origina, rispettivamente, da sorgenti mobili o da combustione di carbone.



Nessuna significativa associazione è stata osservata con il particolato di origine naturale e generato dalla combustione dell'olio combustibile (Laden, 2000). Questi risultati suggeriscono che, oltre alla quantità, le caratteristiche chimiche del materiale particellare presente in atmosfera e le modalità di esposizione umana abbiano un ruolo non trascurabile nella genesi degli effetti avversi. Il maggior rischio per la salute connesso alle emissioni da autoveicoli è prevedibile sia per la tipologia della combustione, sia per la vicinanza dell'emissione al luogo d'esposizione inalatoria.

### Misura delle emissioni in atmosfera di materiale particellare

La definizione di un limite alle emissioni in atmosfera, per una data tipologia di impianti industriali, deriva da considerazioni legate al ciclo tecnologico (uso materie prime, combustibili, modalità di conduzione ecc.), ai sistemi di abbattimento ed anche alle modalità di conduzione dell'impianto stesso. Queste considerazioni definiscono la *performance* del ciclo tecnologico, riprese dalle *best available technologies* (BAT), introdotte dalla direttiva 96/61. Le BAT, considerando anche la variazione della efficienza di abbattimento e/o di contenimento delle emissioni che possono determinarsi nel tempo (per esempio tra due periodi di manutenzione), identificano il limite "tecnologico" alle emissioni in atmosfera. I limiti alle emissioni (impositivi per legge) saranno quindi "ragionevolmente" superiori alle "migliori prestazioni" che può raggiungere l'impianto. Nel rilevamento di inquinanti alle emissioni in atmosfera, risulta essenziale tenere conto del tipo di sostanza da campionare e del metodo di analisi da adottare; il prelievo, la conservazione del campione ed il suo trattamento per l'analisi, devono essere considerati determinanti al fine della significatività e ripetibilità dell'indagine e rappresentano parti di un'unica operazione. Va ricordato che metodiche di prelievo e di analisi diverse possono fornire risultati non comparabili e questo aspetto risulta essenziale soprattutto nel caso di controlli che rivestano carattere fiscale. Disporre di metodi di prelievo e di analisi unificati per il rilevamento delle emissioni è quindi essenziale al fine della verifica di un limite e della omogeneità dei dati.

Le metodiche di campionamento delle emissioni, che necessitano di un costante aggiornamento (vedi "linee guida" alle emissioni), sono correlate alla normativa tecnica di settore ed all'evoluzione delle metodiche analitiche e strumentali. La normativa nazionale sulla limitazione delle emissioni prevede che alcuni inquinanti siano dosati nella stessa emissione sia come stato solido che come vapore. Ad esempio, i metalli che, in funzione della temperatura e/o della composizione dei fumi, possono essere presenti contemporaneamente allo stato solido ed areiforme, vengono dosati sia sul materiale particellare, sia sul vapore condensato, assorbito o adsorbito. Nelle determinazioni di emissioni da impianti di combustione, le alte temperature (in genere circa 100 °C per i cicli combinati, circa 150



°C per centrali ad olio combustibile o a carbone e circa 500 °C per centrali turbogas senza recupero di calore) condizionano lo stato fisico di alcuni inquinanti. La scelta del metodo di misura può portare quindi a risultati diversi; nel caso del parametro “polveri” si possono utilizzare sistemi che preraffreddano l’aeriforme prelevato (ad esempio mediante diluizione) o condensino alcune frazioni della emissione (ad esempio solfati) nella sezione di filtrazione. Questi possono portare ad una sovrastima del materiale particellare rispetto ai metodi previsti dalla normativa nazionale, basati su sistemi di filtrazione a temperature uguali o maggiori di quelle dell’emissione. Nella pratica il rilevamento del materiale particellare si avvale di metodi manuali (Unichim, Uni En) che prevedono sia una “sonda isocinetica”, sia un prelievo isocinetico con sonda semplice (sonda di prelievo e tubo di Pitot separati). Detti metodi utilizzano per il campionamento un sistema filtrante e consentono la determinazione gravimetrica di tutte le particelle filtrabili (polveri), mediante pesata differenziale. Questa procedura determina tutto il materiale filtrabile alla temperatura di prelievo (nel caso di sistema filtrante all’interno del camino) o a temperature superiori (nel caso di sistema filtrante riscalda-

to), senza discriminazioni chimiche o cristallografiche. Essa fornisce quindi la concentrazione (massa/volume) delle polveri emesse, intese come frazione di emissione filtrabile (nelle condizioni citate) presente nei fumi al momento della loro fuoriuscita dal camino in atmosfera. La frazione allo stato di gas o vapore o “condensabile”, che non viene campionata con la filtrazione, può essere costituita da molecole di sostanze organiche e inorganiche che possono essere “catturate” a valle del filtro, mediante sistemi di condensazione a bassa temperatura, di assorbimento o adsorbimento. Le considerazioni di cui sopra sottolineano che il contributo di un impianto al materiale particellare in atmosfera:

- può essere misurato e caratterizzato, per quanto riguarda la frazione emessa allo stato solido;
- può essere stimato, per quanto riguarda la frazione condensabile;
- non può essere scientificamente valutato, per quanto riguarda la frazione che potrebbe formarsi in atmosfera, per condensazione o per reazione chimica, lontano dalla sorgente di emissione, in condizioni meteorologiche diverse caso per caso (ora del giorno, stagione, area geografica ecc.).

Emissione e stima delle ricadute al suolo

Da alcuni rilevamenti effettuati su CTE turbogas a ciclo combinato, alimentate a gas naturale, effettuati in Italia (www.arpa.emr.it) risultano emissioni di polveri (rilevate con i metodi indicati dalla normativa nazionale) che vanno dal non rivelabile (<0,05 mg/Nm³ secchi al 15% di O₂ libero) al milligrammo metro cubo. Uno studio sulle emissioni di 11 centrali a ciclo combinato californiane, con potenza termica in ingresso di compresa tra 1,8 milioni di MJ e 1,9 milioni di MJ, è stato effettuato utilizzando diversi metodi di campionamento (EPA ed altri). Alcuni di questi consentivano anche la raccolta del materiale condensabile presente nella corrente di aeriforme emessa (Rubenstein, 2003). Ne è risultato che i valori di concentrazione alle emissioni di polveri presentavano differenze a seconda dei metodi utilizzati. Tali differen-

ze venivano imputate essenzialmente a: diversa selezione granulometrica, formazione di particelle di solfato, tempi di campionamento. Il fattore di emissione medio per le polveri è risultato di circa 0,94 mg/MJ (circa 1,8-1,9 kg/h). Le CTE proposte in Italia prevedono, generalmente, l’utilizzo di un turbogas di classe F con potenza termica in ingresso pari a circa 2,46 milioni di MJ/h. Utilizzando il fattore di emissione medio, riportato nel suddetto studio (0,94 mg/MJ), e una portata volumetrica media di emissione di 2 milioni di Nm³/h, si può stimare una emissione di polveri pari, in flusso di massa, a circa 2,3 kg/h e, in concentrazione, a 1,2 mg/Nm³. La possibilità dei contaminanti atmosferici di produrre effetti avversi sulla salute umana dipende interamente dalla loro capacità di penetrare nell’organismo umano e conseguentemente dalla loro concentrazione in aria. Per avere un’indicazione della capacità dispersiva dei camini delle CTE, alimentate a gas naturale, che saranno costruite in Italia, è stato calcolato il rapporto fra la concentrazione massima di polveri stimata al livello del suolo e quella attesa al camino di 18 impianti, costituiti da uno o più moduli da circa 380 MWe, 15 dei quali hanno già ottenuto parere positivo di compatibilità ambientale. Tale rapporto, riportato in Tabella, come inverso del logaritmo (-Log(R)), si distribuisce normalmente, con moda nell’intervallo 5,0-5,5, ed è affetto da un’incertezza principalmente riconducibile alle caratteristiche dei siti ed agli algoritmi utilizzati per la gestione delle calme di vento. Una valutazione generale degli effetti dell’altezza dei camini nella diluizione dei contaminanti emessi è stata condotta, avvalendosi del modello ISC3, per una CTE da 380 MWe. In tale stima è stata assunta una morfologia pianeggiante dell’area di ricaduta dei contaminanti ed una variabilità delle velocità del vento suggerita da una specifica analisi dei dati meteorologici delle principali aree climatiche italiane (padana, padano veneta, alto adriatica, appenninica e zona costiera). Mantenendo costanti i parametri d’emissione, le simulazioni hanno considerato quattro diverse altezze della ciminiera (50 m, 60 m, 70 m, 80 m) ed evidenziato la significativa importanza di questo parametro sulla concentrazione oraria massima. Comparando, ad esempio, due CTE localizzate in pianura Padana ed in un’area costiera del meridione, l’aumento dell’altezza del camino potrebbe ridurre le concentrazioni orarie al suolo dei contaminanti emessi dell’ordine del 10-25% e 14-35% rispettivamente-

te. Nelle stesse condizioni, le concentrazioni medie giornaliere ed annuali potrebbero rispettivamente variare dell’ordine del 10-25% e 5-15% nella pianura Padana e del 10-25% ed 8-20% nella zona costiera meridionale. Le diluizioni attese, espresse come inverso del log R, suggeriscono valori di 3,0-3,3 e 4,5-4,6 per le concentrazioni medie orarie ed annue rispettivamente. Queste osservazioni sottolineano l’ampia variabilità degli impatti di CTE anche molto simili e depongono a favore della specificità della valutazione degli effetti sull’ambiente e sull’uomo. Volendo stimare, anche solo indicativamente, gli ordini di grandezza delle concentrazioni medie orarie ed annue di materiale particellare che possono essere attese al suolo da questi impianti, è stata presa a riferimento una CTE da 380 MWe, operante in ciclo combinato, che utilizza una turbina a gas da 260 MWe, ed ha un’emissione di polveri di 1,16 mg/Nm³. Detto impianto, assumendo conservativamente fattori di diluizione (-log(R)) compresi fra 3-4 e 4-6 per le concentrazioni orarie ed annue rispettivamente, contribuisce alle concentrazioni medie annue ed orarie di polveri al suolo, con incrementi variabili fra 0,0012-0,12 µg/m³ e 0,12-1,16 µg/m³ rispettivamente.

Conclusioni

Le emissioni di polveri al camino indicate nello studio sulle 11 centrali californiane, citato in precedenza, rapportato alla potenza dei turbogas normalmente utilizzati negli impianti in ciclo combinato da 380 MWe proposti in Italia, possono essere quantificate in 2,3 kg/h, ovvero circa 1,2 mg/Nm³. Conseguentemente, si stima che una centrale a ciclo combinato da 380 MWe funzionante per 8 000 ore anno immetta in atmosfera circa 18,4 t/anno di polveri. Tale stima può essere considerata conservativa in quanto fattori di emissioni, derivati da rilevamenti al camino che considerano anche la frazione condensabile, indicano per lo stesso impianto una portata massica di circa 12,5 t/anno. Queste valutazioni concordano con le emissioni di polveri stimate dall’ARPA Emilia Romagna in <1 mg/Nm³ e 19 t/anno (www.arpa.emr.it). Sulla base dei coefficienti di diluizione descritti in precedenza, si possono quindi attendere al livello del suolo, nei punti di massima ricaduta, concentrazioni medie di polveri, oraria ed annue, rispettivamente comprese tra 0,12-1,16 µg/m³ e 0,0012-0,12 µg/m³. Anche assumendo che l’apporto delle emissioni sia relativo

| Fattori di diluizione calcolati per varie nuove centrali |      |                       |         |         |                         |     |                       |           |         |
|----------------------------------------------------------|------|-----------------------|---------|---------|-------------------------|-----|-----------------------|-----------|---------|
| Sito                                                     | MWe  | Altezza<br>camino (m) | Modello | -Log(R) | Sito                    | MWe | Altezza<br>camino (m) | Modello   | -Log(R) |
| Gissi                                                    | 800  | 65                    | ISC3    | 5,14    | Candela                 | 380 | 75                    | Dimula    | 5,01    |
| Ferrara                                                  | 800  | 60                    | ISC3    | 5,47    | S. Severo               | 400 | 60                    | Avacta II | 5,30    |
| Teverola                                                 | 400  | 50                    | ISC3    | 5,27    | Portogruaro             | 400 | 50                    | Dimula    | 4,33    |
| Casei Gerola                                             | 800  | 50                    | ISC3    | 5,92    | Altomonte               | 800 | 50                    | Dimula    | 4,12    |
| Voghera                                                  | 400  | 80                    | ISC3    | 5,25    | Orta di Atella          | 800 | 50                    | Dimula    | 4,74    |
| La Casella                                               | 1600 | 90                    | ISC3    | 5,70    | Pianopoli               | 800 | 50                    | ISC3      | 4,55    |
| Matera <sup>(1)</sup>                                    | 800  | 50                    | ADMS    | 5,00    | Simeri Crichi           | 800 | 50                    | Dimula    | 4,27    |
| Filago <sup>(1)</sup>                                    | 800  | 100                   | ISC3    | 5,70    | Torviscosa              | 800 | 50                    | Dimula    | 3,99    |
| Sparanise                                                | 800  |                       | ISC3    | 4,51    | Stezzano <sup>(1)</sup> | 433 | 60                    | ISC3      | 4,70    |

1) Questi impianti sono tuttora in procedura di valutazione di impatto ambientale. I dati relativi a tali impianti potrebbero quindi essere soggetti a revisione.

**Emissions of Particulate Matter from Combined Cycle Power Plants**

*Emissions of particulate matter, from combined cycle power plants fuelled by natural gas, are discussed in this paper.*

*The average emission rate of filterable particulate at the stack is near 1,2 mg/Nm³, resulting in a maximum concentration in the air of up to 0.12 µg/m³ (annual average) and 1.16 µg/m³ (hourly average), which appears to be very low if compared with the value of tenths of µg/m³ usually found in urban or even rural areas. The emission rate of TSP usually allowed for oil or coal-fired power plants in Italy is 20-50 mg/Nm³. Therefore, notwithstanding the fact that epidemiological data confirm PM<sub>10</sub> is a dangerous pollutant representing a risk for human health after both acute or long term exposure, the replacement of oil or coal-fired power with the new gas-fired combined cycle power plants may represent an improvement in air quality and people's health, both on a local and regional scale.*

ABSTRACT

esclusivamente al PM<sub>10</sub>, dette concentrazioni risultano molto piccole, se comparate con quelle dell'ordine delle decine di µg/m<sup>3</sup> osservate nelle aree urbane e/o industriali o con il limite annuale di 20 µg/m<sup>3</sup>, prescritto dal DM 60/2002 per il 2010. I rischi per la salute riconducibili alle citate ricadute al suolo di PM<sub>10</sub> risultano trascurabili per le esposizioni acute. Per le esposizioni croniche, facendo riferimento ai tassi italiani del 1998 ([www.iss.it](http://www.iss.it)), possono essere stimati rischi di decesso per tumore del polmone e per malattie degli apparati cardiocircolatorio e respiratorio, rispettivamente variabili tra 5x10<sup>-7</sup> e 75x10<sup>-9</sup>, e 3x10<sup>-6</sup> e 3x10<sup>-8</sup>. Tali stime sono molto conservative poiché:

- assumono che le polveri emesse siano, addirittura, interamente costituite da particelle con diametro aerodinamico inferiore a 2,5 µm;
- si riferiscono ad un teorico individuo posto per il 30% della sua vita nei luoghi di massima ricaduta del materiale particellare emesso dall'impianto;
- assumono un'estrapolazione lineare alle basse dosi della funzione dose/effetto sia per le patologie cancerogene che per quelle non cancerogene;
- ignorano che la tossicità delle particelle dipende, oltre che dal diametro aerodinamico, dalla loro composizione chimica.

Sebbene la tossicologia non sia ancora riuscita a dimostrare la casualità dell'associazione tra esposizione a PM<sub>10</sub> ed effetti sulla salute, né ad identificare il contributo agli effetti avversi dei diversi componenti del materiale particellare, molti autori concordano nell'attribuire un ruolo fondamentale alla capacità delle particelle di produrre radicali dell'ossigeno (Balduzzi, 2003).

Tale capacità si avvale dei metalli di transizione e dei composti organici a struttura chinonica adsorbiti sulla superficie delle particelle che, come noto, sono presenti in quantità significativamente maggiori nelle emissioni originate da combustibili liquidi e solidi piuttosto che da quelli gassosi. Stabilito che gli effetti sulla qualità dell'aria e sulla salute pubblica delle emissioni di polveri primarie di CTE turbogas alimentate a gas naturale, possono ragionevolmente essere considerati trascurabili, è necessario proporre una riflessione sul particolato che origina a distanza dalla sorgente di emissione, meglio noto come secondario. Le particelle che compongono tale frazione del particolato atmosferico (Marconi, 2003):

- originano dalla nucleazione omogenea di vapori sovrassaturi, dalla coagulazione di particelle ultrafini, dalla condensazione di gas su particelle preesistenti ecc.;
- sono costituite principalmente da solfati e nitrati di ammonio, da carbonio elementare ed organico, e da metalli in tracce provenienti da processi di combustione;
- hanno diametro aerodinamico compreso tra 0,1 e 2,5 µm ed appartengono quindi alla frazione del particolato denominata *fine*.

Dette particelle, troppo grandi per coagulare e troppo piccole per sedimentare, hanno un'emivita in aria dell'ordine dei giorni o delle settimane. Questo conferisce loro la possibilità di disperdersi su aree estremamente vaste (dell'ordine delle centinaia di chilometri), rendendole un contaminante ubiquitario.

La variabilità dei fenomeni fisici e chimici coinvolti nella formazione e dispersione del particolato secondario non consente una facile associazione tra la sua concentrazione e la sorgente di emissione. Per questi motivi, il controllo del contaminante è prioritariamente affidato ad un approccio sistemico di tutela della qualità dell'aria. Ne consegue, per quanto specificamente riguarda la produzione termica di energia elettrica, che la valutazione degli impatti debba essere condotta su una scala globale, e che un generico controllo dell'immissione nell'ambiente del particolato secondario possa essere operato esclusivamente gestendo l'emissione dei suoi precursori (ossidi di azoto e di zolfo, sostanze organiche volatili, ammoniac ecc.). In questo senso, la soddisfazione del fabbisogno termoelettrico del Paese con impianti a ciclo combinato alimentati a gas naturale, possibilmente operanti in cogenerazione, riduce le emissioni di precursori del particolato secondario perché, a parità di energia elettrica prodotta:

- rende trascurabili le emissioni degli ossidi di zolfo e dei composti organici volatili, e abbatte significativamente quelle degli ossidi di azoto;
- riduce il consumo di combustibili, poiché detti impianti raggiungono rese elettriche e termiche maggiori di impianti alimentati con altri combustibili.

**Ringraziamenti:** Gli autori sono grati alla dott.ssa M.E. Soggiu per l'utile contributo fornito nella stima della dispersione aerea degli inquinanti.

## Bibliografia

- (1) M. Balduzzi, *Ann. Ist. Sup. Sanità*, 2003, **39**(3), 411.
- (2) D. D'Ippoliti *et al.*, *Epidemiology*, 2003, **14**(5), 528.
- (3) G. Rubenstein, Gas Turbine Particulate Matter Emission - Update. Presented to ASME/GTI Turbo Expo, Atlanta(GA, Usa), June 18, 2003.
- (4) Italian MISA Group, 2001, Metanalisi Italiana degli studi sugli effetti a breve termine dell'inquinamento atmosferico, A. Buggeri *et al.* (Eds.), Epidemiologia e prevenzione; supplemento al. N. 25.
- (5) K. Katsouyanni *et al.*, *Epidemiology*, 2001, **12**(5), 521.
- (6) F. Laden *et al.*, *Environ. Health Persp.*, 2000, **108**(10), 941.

- (7) A. Marconi, *Ann. Ist. Sup. Sanità*, 2003, **39**(3), 329.
- (8) P. Michelozzi *et al.*, *Occup. Environ. Med.*, 1998, **55**, 605.
- (9) C. Nordenhall *et al.*, *Eur. Respir. J.*, 2001, **17**, 909.
- (10) J. Samet *et al.*, *N. Engl. J. Med.*, 2000, **343**, 1742.
- (11) C.A. Pope *et al.*, *JAMA*, 2002, **287**(9), 1132.
- (12) Da ultimo il 13284-1 che sostituisce il 10263, che, a sua volta, sostituiva i metodi Unichim 402 e 494.
- (13) [www.arpa.emr.it](http://www.arpa.emr.it)
- (14) [www.iss.it](http://www.iss.it)
- (15) [www.minambiente.it](http://www.minambiente.it)