

## Filtri e filtrazione dell'aria

Questo dossier presenta lo stato attuale della normativa sui filtri il cui sviluppo, in seno al CTI, è affidato al GL 502 "Materiali, componenti e sistemi per la depurazione e la filtrazione di aria, gas e fumi", coordinato dal prof. Paolo Tronville (Politecnico di Torino). Oltre ad essere impegnato sul fronte nazionale, il GL segue anche molto da vicino l'evoluzione della normativa internazionale, con particolare attenzione rivolta all'ISO/TC 142 "Cleaning equipment for air and other gases" e al CEN/TC 195 "Air filters for general air clearing", alle attività dei quali il CTI, infatti, contribuisce attivamente, tanto da gestirne, ormai da alcuni anni, la segreteria, unitamente a quella del CEN/TC 195/WG 4 "Filter face dimension of air filters for general ventilation" e del CEN/TC 195/WG 6 "Execution of Mandate M/461".

Gli articoli che seguono costituiscono, quindi, un approfondimento sugli argomenti di principale interesse trattati dal GL, fornendo insieme anche una panoramica sulle soluzioni disponibili sul mercato e sulla loro applicabilità.

### FILTRI PER VENTILAZIONE GENERALE

**Riccardo Romanò** – Lombarda Filtri S.r.l. –  
Coordinatore del GL 502/SG 05 CTI "Filtri per la ventilazione generale e applicazioni turbogas"

Come è noto, la UNI EN 779 "Filtri d'aria antipolvere per ventilazione generale - Determinazione della prestazione di filtrazione" costituisce la principale norma di riferimento per la prova e la classificazione di filtri per ventilazione generale. La nuova versione della norma è stata pubblicata lo scorso anno, pur con qualche perplessità che il Gruppo di Lavoro del CTI non ha mancato di sottolineare mediante l'appello presentato al Bureau Technique (BT) del CEN in quanto, a giudizio degli esperti italiani, la classificazione proposta, che include ancora l'efficienza media, non rende giustizia alle reali prestazioni dei filtri.

È vero che, come è detto anche nella norma, il sistema di classificazione serve solo a confrontare tra loro diversi prodotti, ma è anche vero che, per correttezza nei confronti degli utenti che non sempre conoscono i dettagli della normativa, si dovrebbe fare tutto quanto è possibile per fornire dati che descrivano le prestazioni tenendo conto di quanto avviene nella realtà. L'efficienza media calcolata col metodo previsto dalla EN 779 sovrastima l'effettiva efficienza raggiunta in opera. Si deve anche tener conto che, per la determinazione della efficienza media, la norma prevede di raggiungere una perdita di carico di 450 Pa, che non ha riscontro con le perdite di carico normalmente raggiunte in condizioni operative.

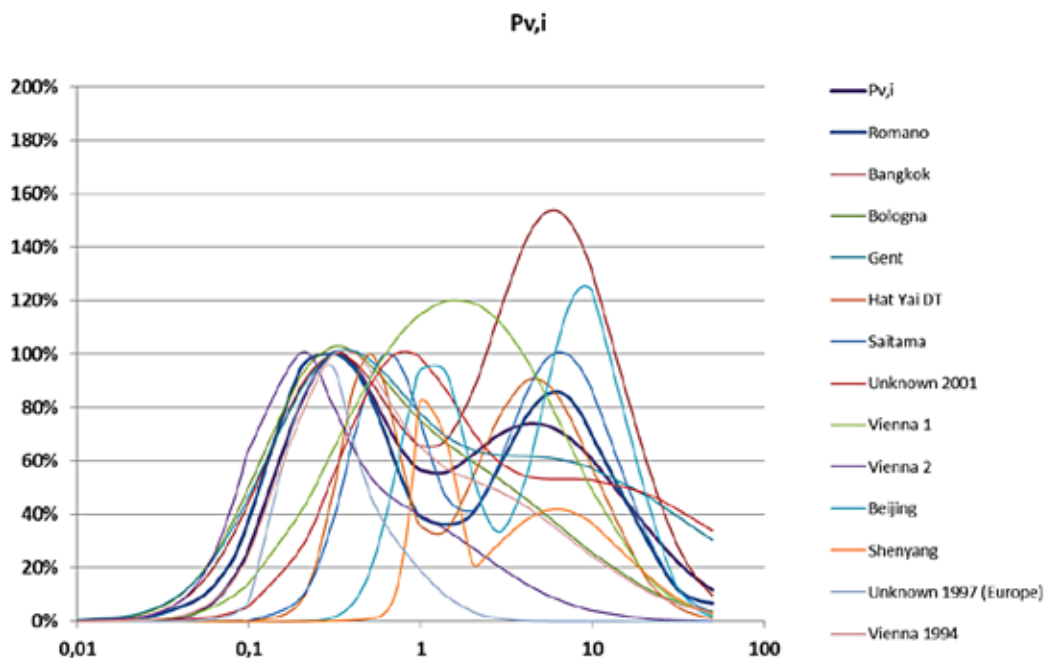
Il CEN/BT ha riconosciuto il merito tecnico dell'appello italiano e, tuttavia, ha chiesto di pubblicare quanto finora fatto, chiedendo però una rapida revisione della EN 779 alla luce dei commenti dell'UNI.

Dato che in ambito ISO/TC 142 erano già iniziati i lavori per la definizione di una norma per i filtri per ventilazione generale è prevalsa l'idea di effettuare la revisione della EN 779:2012, mediante lo sviluppo della serie delle ISO 16890 destinate a sostituirla.

La ISO 16890, attualmente in corso di elaborazione nell'ambito del WG 3 dell'ISO/TC 142, è divisa in quattro parti:

- Parte 1: Specifiche tecniche, requisiti e sistema di classificazione dell'efficienza basato sul particolato (PM).
- Parte 2: Misura dell'efficienza frazionaria e della resistenza al flusso dell'aria.
- Parte 3: Determinazione dell'efficienza gravimetrica e della resistenza al flusso dell'aria in funzione della massa di polvere di prova trattenuta.
- Parte 4: Metodo di condizionamento per determinare l'efficienza frazionaria minima.

Le prima parte, basata su una proposta avanzata dagli esperti italiani nel competente gruppo di lavoro ISO, è in una fase di sviluppo abbastanza avanzato e si stanno discutendo i commenti alla sua prima



stesura.

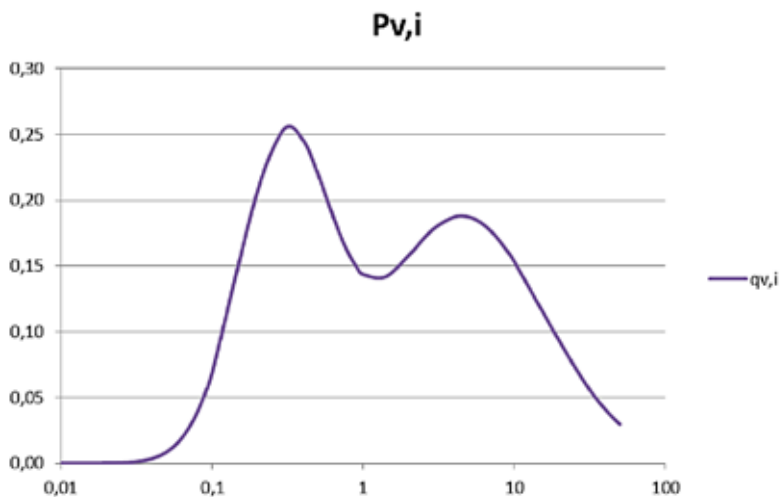
Il metodo di classificazione proposto si basa sul fatto che la distribuzione di aerosol in atmosfera dipende dalla loro velocità di sedimentazione, che a sua volta dipende dalle proprietà fisiche delle particelle come la massa, il diametro la densità del gas, ecc.

La distribuzione di massa o volume delle particelle è generalmente caratterizzata da due modi: "accumulation mode", da 0,1 a circa 2 µm e "coarse mode" da 2 a 50 µm.

Nel primo caso le particelle sono risultato di emissioni primarie, condensazione di solfati, nitrati o composti organici da fase gassosa e coagulazione di piccole particelle; nel coarse mode le particelle sono prodotte da processi meccanici quali vento ed erosione (polveri, sali, pollini). Si ha quindi

una prima suddivisione delle particelle: quelle con diametro maggiore di 2,5 µm sono definite grossolane, quelle con diametro inferiore sono definite fini. Quelle con diametro inferiore a 0,1 µm sono spesso dette ultrafini.

Naturalmente per diverse tipologie di aree abbiamo diverse distribuzioni di aerosol: nelle aree urbane



gli aerosol hanno alte concentrazioni di emissioni da industrie, trasporti, ecc. (circa 0,2-0,5 micron) e le concentrazioni di massa sono paragonabili per la maggior parte delle aree urbane; nelle zone rurali gli aerosol sono invece principalmente di origine naturale, con una moderata influenza di fonti antropogeniche e la distribuzione di massa è dominata dalla modalità grossolana (circa 7 micron).

Il problema, per poter avere una norma e relativa classificazione ragionevolmente valida, è quindi dover determinare una distribuzione accettabile in tutti i contesti.

Un gruppo di esperti giapponesi ha mediato dati relativi alla distribuzione del PM di diverse località ottenendo così una "distribuzione standard".

Possiamo introdurre l'efficienza riferita al materiale particolare come:

$$\frac{\sum E_i * PV_i * \Delta_i}{\sum PV_i * \Delta_i}$$

dove  $E_i$ , è l'efficienza per particelle di dimensioni  $d_i$  e  $(PV_i \times \Delta_i)$  è proporzionale al volume delle particelle con dimensioni comprese tra  $(d_i - \Delta_i/2)$  e  $(d_i + \Delta_i/2)$ .

Anche per la ISO 16890 si è deciso di tener conto della possibile carica elettrostatica che caratterizza alcuni materiali filtranti. In questa fase si ipotizza di utilizzare ai fini della classificazione la media tra il valore dell'efficienza del filtro pulito e del filtro (o media) scaricato.

A tal proposito, al fine di evitare possibili danneggiamenti dei materiali filtranti causati dall'immersione in alcool isopropilico, il Gruppo di lavoro competente per i filtri per turbogas ha sviluppato un metodo di scarica basato sull'esposizione degli stessi a vapori di alcool isopropilico.

Questo metodo offre anche il vantaggio di poter scaricare filtri interi ed è supportato dai buoni risultati ottenuti da prove di laboratorio (round robin test).

La definizione del metodo di scarica sarà oggetto della parte 4 dello standard.

La prima proposta di classificazione è riassunta dalla tabella in basso.

Come si può notare non si fa più riferimento alla Efficienza Media e i valori di efficienza sono riferiti ai diversi tipi di particolato normalmente utilizzati per la definizione dell'inquinamento.

Per filtri con efficienza, rispetto al PM 10, inferiore al 50% la classificazione sarà in base all'efficienza gravimetrica.

I metodi di prova per i filtri "medio-fini" e "grossolani" sono oggetto rispettivamente delle parti 2 e 3 dello standard.

Lo sviluppo di queste parti tiene conto delle diverse necessità di Europei e Americani in merito a aerosol e circuito di prova attualmente in uso. Si è comunque definito di utilizzare come "aerosol di riferimento" un aerosol liquido (DEHS) per particelle tra 0,3 e 1 micrometri e aerosol solido (KCl) per particelle di di-

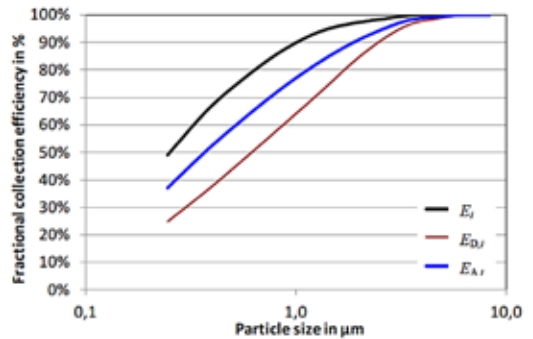
Class	Group	Requirement					
		$E_{min}(PM_{10})$	$E(PM_{10})$	$E_{min}(PM_{2,5})$	$E(PM_{2,5})$	$E(PM_{10})$	Init. grav. Arrestance $A_i$
ISO 1	Coarse	—	—	—	—	—	< 50%
ISO 2		—	—	—	—	—	≥ 50%
ISO 3		—	—	—	—	—	≥ 75%
ISO 4	PM10	—	—	—	—	≥ 50%	≥ 85%
ISO 5		—	—	—	—	≥ 75%	—
ISO 6	PM2,5	—	—	≥ 40%	≥ 50%	—	—
ISO 7		—	—		≥ 75%	—	—
ISO 8	PM1	≥ 50%	≥ 75%	—	—	—	—
ISO 9			≥ 85%	—	—	—	—
ISO 10			≥ 95%	—	—	—	—

mensioni superiori al micrometro.

A titolo di esempio si riportano i calcoli di efficienza relativi a un filtro a tasche sintetiche F7 secondo EN 779 e MERV-A 14 secondo ASHRAE 52.2.

$i$	$d_i$ in $\mu\text{m}$	$d_{i-1}$ in $\mu\text{m}$	$\bar{d}_i$ in $\mu\text{m}$	$\Delta d_i$ in $\mu\text{m}$	$E_i$	$E_{D,i}$	$E_{A,i}$
1	0,3	0,5	0,39	0,2	66,0%	37,0%	51,5%
2	0,5	0,7	0,59	0,2	78,0%	49,0%	63,5%
3	0,7	1,0	0,84	0,3	86,3%	59,0%	72,7%
4	1,0	1,3	1,14	0,3	92,0%	68,0%	80,0%
5	1,3	1,6	1,44	0,3	95,0%	75,0%	85,0%
6	1,6	2,2	1,88	0,6	96,9%	83,0%	90,0%
7	2,2	3,0	2,57	0,8	98,4%	91,0%	94,7%
8	3,0	4,0	3,46	1,0	99,7%	96,5%	98,1%
9	4,0	5,5	4,69	1,5	100%	98,6%	99,3%
10	5,5	7,0	6,20	1,5	100%	100%	100%
11	7,0	10,0	8,37	3,0	100%	100%	100%

in considerazione delle diverse caratteristiche dell'aria da trattare e del tipo di impianto considerato. È in fase di sviluppo anche la ISO 15957 "contaminanti di prova" volta a definire le proprietà delle pol-



$i$	$\bar{d}_i$ in $\mu\text{m}$	$\Delta d_i$ in $\mu\text{m}$	$q_v(\bar{d}_i)$	$q_v(\bar{d}_i) \cdot \Delta d_i$	$E_{D,i} \cdot q_v(\bar{d}_i) \cdot \Delta d_i$	$E_{A,i} \cdot q_v(\bar{d}_i) \cdot \Delta d_i$	$E_{\text{min}}(\text{PM}_{10})$	$E(\text{PM}_{10})$
1	0,39	0,2	24,813%	0,049626	0,018362	0,025557	$E_{\text{min}}(\text{PM}_{10})$	$E(\text{PM}_{10})$
2	0,59	0,2	19,665%	0,039330	0,019272	0,024975		
3	0,84	0,3	15,522%	0,045565	0,027474	0,033830		
<b>Σ line 1-3</b>			<b>0,135522</b>	<b>0,065107</b>	<b>0,084362</b>	<b>0,084362</b>	<b>48%</b>	<b>62%</b>
4	1,14	0,3	13,998%	0,041993	0,028555	0,033594	$E_{\text{min}}(\text{PM}_{2,5})$	$E(\text{PM}_{2,5})$
5	1,44	0,3	14,252%	0,042755	0,032066	0,036342		
6	1,88	0,6	15,437%	0,092625	0,076879	0,083316		
7	2,57	0,8	17,193%	0,137545	0,125166	0,130255		
<b>Σ line 1-7</b>			<b>0,450439</b>	<b>0,327773</b>	<b>0,367869</b>	<b>0,367869</b>	<b>73%</b>	<b>82%</b>
8	3,46	1,0	18,430%	0,184298	—	0,180796	$E(\text{PM}_{10})$	$E(\text{PM}_{10})$
9	4,69	1,5	18,787%	0,281810	—	0,279837		
10	6,20	1,5	18,183%	0,272738	—	0,272738		
11	8,37	3,0	16,822%	0,498661	—	0,498661		
<b>Σ line 1-11</b>			<b>1,687945</b>	<b>—</b>	<b>—</b>	<b>1,599901</b>	<b>—</b>	<b>95%</b>

veri sintetiche attualmente utilizzate per le prove. L'obiettivo è individuare polveri sintetiche che possano essere in grado di simulare artificialmente l'intasamento dei filtri.

Per quanto riguarda le tematiche relative alla sostenibilità ambientale si sta lavorando alla ISO 12249 parti da 1 a 3.

La prima parte "metodo di calcolo per il life cycle cost", basata attualmente su un documento EUROVENT è allo stato preliminare mentre sono

Si è già detto della non corrispondenza tra i valori di efficienza determinata secondo la EN 779 (o altri standard) e le prestazioni in opera dei filtri.

A questo proposito è stata pubblicata la EN ISO 29462:2013 "Misura in campo di elementi e sistemi filtranti per la normale ventilazione per la determinazione in situ dell'efficienza in funzione della dimensione della particella e della resistenza al moto dell'aria". La norma fornisce una procedura di misura per valutare le prestazioni di elementi o sistemi filtranti, durante il loro effettivo funzionamento negli impianti di climatizzazione.

La EN ISO 29462:2013 si propone di fornire agli utenti finali e ai produttori informazioni in merito all'effettivo comportamento in opera dei filtri, anche

in stand-by le parti 2 "Metodo di calcolo delle prestazioni Energetiche dei filtri e classificazione" e 3 "Life Cycle Assessment".

*Filtri ad alta efficienza*

Nel 2009 è stata pubblicata la nuova versione della EN 1822 con alcune modifiche rispetto alla precedente del 1998.

Innanzitutto sono state rinominate alcune classi creando così dei gruppi omogenei per tipologia di test, in particolari le classi da H10 a H12 sono diventate E10, E11 ed E12 a rimarcare la differenza tra le classi per cui non è previsto il test individuale e le altre per cui questo è previsto.

Altra novità è l'introduzione della prova di efficienza

Classe edizione 1998	Classe edizione 2009	Valore globale		Valore locale	
		Efficienza (%)	Penetrazione (%)	Efficienza (%)	Penetrazione (%)
H 10	E 10	≥ 85	≤ 15	—	—
H 11	E 11	≥ 95	≤ 5	—	—
H 12	E 12	≥ 99,5	≤ 0,5	—	—
H 13	H 13	≥ 99,95	≤ 0,05	≥ 99,75	≤ 0,25
H 14	H 14	≥ 99,995	≤ 0,005	≥ 99,975	≤ 0,025
U 15	U 15	≥ 99,9995	≤ 0,0005	≥ 99,9975	≤ 0,0025
U 16	U 16	≥ 99,99995	≤ 0,00005	≥ 99,99975	≤ 0,00025
U 17	U 17	≥ 99,999995	≤ 0,000005	≥ 99,9999	≤ 0,0001

sul materiale filtrante scaricato per quei filtri costruiti con materiale sintetico. La procedura di scarica è la stessa descritta nella EN779:2002 lasciando però la possibilità di utilizzare metodi con risultati equivalenti nei casi in cui l'immersione in IPA potrebbe danneggiare il materiale filtrante.

Nel 2011 è stata pubblicata la ISO 29463, derivata, come dice l'introduzione alla norma stessa, dalla EN 1822 con alcune modifiche introdotte per venire incontro alle necessità dei Paesi non Europei, quali la possibilità di utilizzare il fotometro per il "leak test". Come si può notare, la classificazione della ISO 29463:2011 è sostanzialmente paragonabile a quella della EN 1822 pur con un maggiore dettaglio che contempera le esigenze del mercato europeo e di

quello americano.

In occasione della riunione plenaria del TC195 del CEN dello scorso anno si è deciso di effettuare la revisione della EN 1822 correggendo eventuali errori nella ISO 29463 e, quindi, adottandola successivamente come norma europea (con il processo noto come Vienna Agreement).

### Filtri per inquinanti gassosi

Infine il WG 8 "Gas-phase air cleaning devices" ha elaborato la norma EN ISO 10121-2 "Metodi di prova per la determinazione delle prestazioni di materiali e dispositivi per la normale ventilazione atti a rimuovere inquinanti aeriformi. Dispositivi per la depurazione dell'aria da inquinanti aeriformi (GPACD)".

Classe EN 1822	Classe ISO 29463	Valore globale		Valore locale	
		Efficienza (%)	Penetrazione (%)	Efficienza (%)	Penetrazione (%)
E 10		≥ 85	≤ 15	—	—
E 11	ISO 15 E	≥ 95	≤ 5	—	—
	ISO 20 E	≥ 99	≤ 1		
E 12	ISO 25 E	≥ 99,5	≤ 0,5	—	—
	ISO 30 E	≥ 99,90	≤ 0,1		
H 13	ISO 35 H	≥ 99,95	≤ 0,05	≥ 99,75	≤ 0,25
	ISO 40 H	≥ 99,99	≤ 0,01	≥ 99,95	≤ 0,05
H 14	ISO 45 H	≥ 99,995	≤ 0,005	≥ 99,975	≤ 0,025
	ISO 50 U	≥ 99,999	≤ 0,001	≥ 99,995	≤ 0,005
U 15	ISO 55 U	≥ 99,9995	≤ 0,0005	≥ 99,9975	≤ 0,0025
	ISO 60 U	≥ 99,9999	≤ 0,0001	≥ 99,9995	≤ 0,0005
U 16	ISO 65 U	≥ 99,99995	≤ 0,00005	≥ 99,99975	≤ 0,00025
	ISO 70 U	≥ 99,99999	≤ 0,00001	≥ 99,9999	≤ 0,0001
U 17	ISO 75 U	≥ 99,999995	≤ 0,000005	≥ 99,9999	≤ 0,0001

Si tratta della prima norma EN in assoluto che tratta della misura delle prestazioni dei filtri per inquinanti gassosi. Colma una lacuna sentita sul mercato perché finora i dispositivi per la rimozione degli inquinanti gassosi sono stati venduti sulla base di prestazioni non verificabili in modo attendibile e puntuale. La disponibilità di questa norma potrà anche consentire lo sviluppo di questo mercato proprio grazie alla possibilità di misurare le prestazioni di componenti che promettono di migliorare la qualità dell'aria interna. Infatti, l'assenza di un metodo normalizzato di prova ha finora impedito la piena comprensione e verifica delle potenzialità dell'applicazione dei dispositivi che promettono di rimuovere i contaminanti gassosi allo scopo di ricircolare l'aria climatizzata e consentire un risparmio energetico.

Tra non molto dovrebbe essere disponibile anche la EN ISO 10121-1, che si occupa della caratterizzazione dei materiali filtranti usati per la rimozione di inquinanti gassosi e che potrà anche essere usata per scegliere i materiali da usare per sostituire quelli esausti nei sistemi con materiale granulare sfuso.

## COME ORIENTARSI NELLA SCELTA DEI FILTRI D'ARIA PER IMPIANTI DI CLIMATIZZAZIONE DI EDIFICI RESIDENZIALI/UFFICI AD ELEVATA CLASSE DI RISPARMIO ENERGETICO

**Ivan Franzi** – Vokes-Air S.r.l. – Membro GL 502 CTI  
"Materiali, componenti e sistemi per la depurazione e la filtrazione di aria, gas e fumi"

### **Premessa: le norme di riferimento**

Nel progettare un moderno edificio climatizzato con elevata classe di efficienza energetica e, auspicabilmente, con una buona qualità dell'aria interna (IAQ) occorre considerare come reale opportunità l'oculata selezione di filtri d'aria adatti a fornire il livello voluto di qualità dell'aria interna e, allo stesso tempo, a ridurre alcuni sprechi energetici.

Si dovrebbe iniziare con l'informarsi circa il livello dell'inquinamento locale dell'aria, in base al quale potrà essere definito il tipo di filtro da utilizzare.

In tal senso la revisione della norma UNI 10339:1995 "Impianti aerulici a fini di benessere. Generalità, classificazione e requisiti. Regole per la richiesta d'offerta, l'offerta, l'ordine e la fornitura", attualmente in corso, fornisce utili indicazioni.

Riprendendo, infatti, l'impostazione della UNI EN 13779 "Ventilazione degli edifici non residenziali - Requisiti di prestazione per i sistemi di ventilazione e di climatizzazione" ed estendendola anche ad applicazioni residenziali, la revisione della UNI 10339 definisce un'apposita tabella in cui, in funzione della destinazione d'uso, della qualità dell'aria esterna e del livello qualitativo dell'aria interna che si vuole ottenere, è indicata la classe di filtro che è opportuno utilizzare; per esemplificare: per una casa privata situata in un bosco in alta collina può essere sufficiente un filtro G4, mentre per un centro di elaborazione dati situato nel centro di Milano sarà necessario un filtro di classe F9.

La classificazione dei filtri è riportata nella UNI EN 779: 2012 "Filtri d'aria antipolvere per ventilazione generale - Determinazione della prestazione di filtrazione".

### **Cenni sull'acquisizione di dati sull'inquinamento atmosferico locale**

È utile spendere qualche parola a proposito della raccolta di informazioni sui livelli di inquinamento atmosferico locale, un passo che deve logicamente precedere la successiva scelta dei filtri d'aria più adatti.

Per le aree urbane possiamo oggi reperire agevolmente sulla rete tabulati storici, grafici, etc. relativi all'evoluzione stagionale e diurna, della concentrazione del PM10 e degli altri principali inquinanti, misurati nei luoghi dove è attiva una centralina di misurazione, solitamente gestita dalla locale ARPA (Agenzia Regionale per l'Ambiente).

Le ARPA delle diverse Regioni aggiornano periodicamente i loro siti web con i dati misurati dalle varie centraline di cui dispongono, primo tra tutti il valore del PM10.

Attualmente va pure diffondendosi la misurazione del PM 2,5 (particolato atmosferico con diametro aerodinamico fino a 2,5 µm) che viene percepito, ormai

anche oltre l'ambito medico, come la frazione più temibile della contaminazione atmosferica, sia perché esso permane a lungo in sospensione nell'aria, anche a notevoli altezze dal suolo, sia perché può penetrare in profondità nel nostro sistema respiratorio, favorendo disturbi cardiocircolatori e polmonari. La Direttiva Europea 2008/50/EC (Parlamento Europeo, 2008) del 21 maggio 2008 si occupa in modo approfondito del PM<sub>2,5</sub>. Al suo interno si trova il testo "Il materiale particolato sottile (PM<sub>2,5</sub>) ha impatto molto negativo sulla salute umana. Finora, inoltre, non esiste una soglia identificabile al di sotto della quale il PM<sub>2,5</sub> non rappresenti un rischio".

L'OMS (Organizzazione Mondiale della Sanità), basandosi su uno studio condotto nel 2000 in otto città del mondo, ha stimato che le polveri sottili siano responsabili dello 0,5% dei decessi registrati in un anno.

In effetti, sarebbe importante che gli addetti ai lavori facessero opera di sensibilizzazione perché gli edifici urbani di oggi, o quantomeno di domani, prevedano soluzioni impiantistiche adeguate a proteggere veramente la salute dei residenti dai rischi tangibili che si corrono per l'inhalazione di materiale particellare contenuto nell'aerosol atmosferico (soprattutto PM<sub>1</sub> e PM<sub>2,5</sub>).

### **Come agire per scegliere i filtri più adatti a un dato impianto?**

I cosiddetti filtri fini sono il mezzo elettivo e molto ben collaudato per rimuovere dall'aria le particelle, che le ARPA controllano tramite le ripetute misure di concentrazione di PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> e PM<sub>1</sub> eseguite all'esterno. A sua volta la norma EN 779, nella sua versione aggiornata (datata 2012), individua tre distinte classi di filtri fini: F7, F8, F9. Ciascuna di queste tre classi fa riferimento a una soglia minima e massima di efficienza media (particellare), che viene determinata tramite strumenti cosiddetti "conta-particelle", calibrati per misurare concentrazione e dimensioni della particelle facenti parte dell'aerosol di prova, con particolare attenzione a quelle con diametro 0,4 µm.

Tuttavia la stessa norma afferma nella premessa che i dati ricavati dalle prove sono unicamente utili a con-

frontare tra di loro filtri diversi. Di conseguenza, vale la pena sottolineare che una data efficienza misurata in laboratorio non implica che lo stesso filtro possa conseguirla anche nell'impiego pratico, in condizioni diverse da quelle di laboratorio.

Quando si prova a misurare l'efficienza in situ di un filtro, magari con l'ausilio di uno strumento conta-particelle e confrontando le concentrazioni, rispettivamente a monte ed a valle, di particelle di ciascun intervallo di dimensioni, accade che, normalmente, si ottengano dati disomogenei rispetto a quelli ottenuti in laboratorio e, spesso, inferiori alle attese. L'efficienza in campo nei confronti del particolato atmosferico, risulta inferiore rispetto a quella misurata in laboratorio. Va quindi ribadito che la classe di un filtro (fine, medio o grossolano) viene ricavata in funzione della sua efficienza media fra più letture effettuate in laboratorio durante la fase di invecchiamento artificiale con polvere sintetica. La prima misura di efficienza avviene sul filtro nuovo, mentre le successive dopo una o più fasi di intasamento con polvere artificiale dello stesso filtro; la procedura, infine, si conclude quando la caduta di pressione a cavallo del filtro in prova raggiunge i 450 Pa, valore mai raggiunto dai filtri montati sugli impianti di climatizzazione.

L'intasamento artificiale viene ottenuto iniettando, in fasi successive, nel circuito di prova la cosiddetta polvere sintetica per la prova dei filtri, composta da:

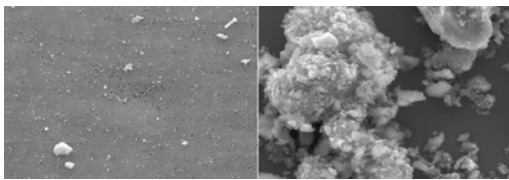
- 72% in massa di polvere silicea, nota anche come polvere ISO "fine" (rif: ISO 12103 Tipo A2);
- 23% in massa di nerofumo, un pigmento prodotto da industrie nel settore dei coloranti;
- 5% in massa di fibrille (linters) di cotone.

È probabile che l'intenzione originaria degli estensori della norma fosse simulare una condizione operativa vicina a quella reale. Purtroppo tale obiettivo non è stato conseguito per vari motivi, tra cui il modo in cui la polvere viene iniettata nel condotto in cui viene alloggiato il filtro in prova, ad una concentrazione in aria di ben 70 mg/m<sup>3</sup> (cioè ~ 2000 volte i livelli di concentrazione reale dell'atmosfera urbana) e a breve distanza dal filtro in prova. In questo modo le particelle di cui la polvere sintetica è composta non riescono a disperdersi in aria completamente ed

uniformemente e, piuttosto, finiscono per depositarsi sul filtro in prova sotto forma di agglomerati, più o meno coesi, che vanno a formare uno strato poroso, fatto di corpuscoli e fibre. Tale strato si comporta, esso stesso, come un filtro supplementare di notevole efficacia (su questo principio di funzionamento sono basati filtri di tessuto).

Ciò contribuisce a migliorare, spesso in modo sostanziale, le prestazioni del filtro, rispetto alla condizione di filtro pulito.

L'ingrandimento di sinistra mostra normale particolato atmosferico depositato su membrana filtrante; quello di destra: come appare la polvere sintetica di prova filtri, una volta depositata su membrana filtrante.



Inoltre la perdita di carico finale di 450 Pa, per la quale si conclude la prova secondo EN 779 sui filtri "fini", è, di fatto, un valore eccessivo" e irraggiungibile per i filtri installati a bordo di quasi tutte le attuali Unità Trattamento Aria UTA, specialmente oggi, quando tutti cercano di tagliare i costi.

Infine, l'aerosol DEHS di prova, in pratica una finissima nebbiolina oleosa generata da un ugello atomizzatore ad aria compressa, non rappresenta in modo diretto il PM atmosferico. Ciò vale per la sua composizione chimica, stato fisico, concentrazione e forma delle particelle.

La Norma EN 779, pur se con il parere negativo formalmente espresso dall'UNI-CTI a causa dell'uso dell'efficienza media per la classificazione dei filtri, è

stata aggiornata nel 2012.

La stessa Norma impone che, nel rapporto di prova dei filtri "fini" (classi F7, F8, F9), venga dichiarato il valore dell'efficienza minima, vale a dire il dato peggiore misurato dal laboratorio, tra i seguenti:

- Efficienza iniziale (a filtro nuovo) con DEHS.
- Efficienza iniziale misurata su una campione di materiale filtrante dopo la rimozione "artificiale" delle eventuali cariche elettrostatiche presenti sul materiale filtrante.
- Minima efficienza fra quelle misurate sul filtro sporco.

La classificazione dei filtri fini, pur rimanendo agganciata all'efficienza media misurata in laboratorio di cui si è detto ampiamente, ora si presenta come nella tabella a fondo pagina. La novità sta all'ultima colonna della tabella di classificazione, che ora riporta anche i valori soglia di efficienza minima tollerata per ciascuna classe dei filtri del gruppo F, i quali sono rispettivamente:  $\geq 35\%$  (classe F7),  $\geq 55\%$  (classe F8),  $\geq 70\%$  (classe F9). In altre parole la norma in vigore ammette, per un dato filtro, poniamo, di classe certificata F7 (al quale si attribuisce un'efficienza media da 80% a 90%) un valore minimo compatibile  $\geq 35\%$ .

È facile rendersi conto che la attuale EN 779:2012, pur se migliorata rispetto alla precedente edizione, tuttora non dà alcuna certezza su cui fare affidamento in merito al raggiungimento effettivo di un dato livello pulizia dell'aria, a valle di questa o quella classe di filtri finali.

**A proposito degli sviluppi futuri in ambito normativo**

In molti ritengono auspicabile una nuova prova di efficienza dei filtri, eseguita facendo riferimento di-

Categoria del filtro	Classe	$\Delta P$ di termine prova Pa	Efficienza in massa (Am) di polvere sintetica di prova %	Efficienza media (Em) % (particelle con dimensione 0,4 $\mu m$ )	Efficienza minima* % (particelle con dimensione 0,4 $\mu m$ )
intermedio	M5	450	-	40 $\leq$ Em < 60	n.a.
	M6	450	-	60 $\leq$ Em < 80	n.a.
fine	F7	450	-	80 $\leq$ Em < 90	$\geq 35$
	F8	450	-	90 $\leq$ Em < 95	$\geq 55$
	F9	450	-	95 $\leq$ Em	$\geq 70$



rettamente al PM atmosferico, sia in laboratorio che in situ. Tale approccio potrebbe venire usato sia per effettuare collaudi oppure durante specifiche campagne di misurazione. Tuttavia non è stato ancora possibile realizzare in modo economicamente sostenibile un aerosol sintetico che riproduca le caratteristiche del PM, così che lo stesso diventi, come ogni altro reagente da laboratorio, un tracciante di composizione, granulometria etc., certa, stabile e ripetibile, che consenta misure ripetibili, e ragionevolmente assimilabili a quelle effettuabili in situ, facendo riferimento al PM del luogo.

Il Comitato Tecnico ISO/TC142 "Cleaning equipment for air and other gases" ha attualmente in cantiere una bozza (la serie delle norme 16980) per la futura caratterizzazione di filtri d'aria che dovrebbe rimanere strettamente agganciata alla efficienza nei confronti del PM atmosferico.

Chi scrive si augura che questo progetto progredisca e si concluda rapidamente, così da poter finalmente colmare il divario attuale tra prova in laboratorio ed efficienza letta "sul campo", eliminando dal sistema di classificazione l'efficienza media.

### Per una valutazione preventiva dei costi gestionali per la filtrazione dell'aria

Vediamo infine brevemente come si possono stimare a priori i costi della filtrazione, con particolare attenzione all'impatto economico delle perdite di carico dei filtri sui consumi energetici e, in senso lato, sui costi gestionali degli impianti di climatizzazione.

La raccomandazione Eurovent 4/11 fornisce la quantità di energia (W) occorrente perché una determinata portata (costante nel tempo) d'aria (qv) attraverso un filtro, di perdita di carico  $\Delta p$ , durante un intervallo di tempo (h) tramite la formula:

$$W = \frac{\Delta p \times q_v \times h}{1000 \times \eta}$$

W = Consumo energetico (kWh);

$\eta$  = efficienza del ventilatore

$\Delta p$  = perdita di carico media sui filtri (Pa);

$q_v$  = portata volumetrica (m<sup>3</sup>/s);

h = tempo (ore)

Si prenda in considerazione, a titolo esemplificativo, il caso di un edificio situato in zona urbana, con atmosfera di qualità bassa (classe ODA 3) e si ipotizzi un livello di filtrazione finale con un filtro di classe F8 secondo UNI-EN 779:2012 dell'aria esterna, finalizzato ad ottenere un elevato livello qualitativo (IDA1) dell'aria interna.

Considerando di adottare una configurazione standard della UTA e dei filtri in dotazione, si ottiene, nel caso la portata valga 3400 m<sup>3</sup>/h (0,944 m<sup>3</sup>/s):

- N°1 Prefiltro, con dim. frontali: 592x592 mm e classe di filtrazione M5 (EN779:2012); Classe energetica del filtro dichiarata dal produttore: C (livello medio).

- N°1 Filtro fine, con dimensioni frontali: 592x592 mm e classe di filtrazione F8; Classe energetica del filtro dichiarata dal produttore: C (livello medio).

La sopracitata raccomandazione Eurovent 4/11 a questo punto ci permette di ricavare la perdita di carico media dei due stadi filtranti suddetti, corrispondente a ~ 265 Pa; il relativo consumo energetico pertanto sarà:

$$W = \frac{0,944 \times 265 \times 6000}{1000 \times 0,5} \cong 3000 \text{ kWh / anno}$$

Per un'ipotetica tariffa elettrica di 0,15 €/kWh, la spesa energetica riferibile ad una sezione filtrante comprendente 1+1 elementi standard, entrambi funzionanti alla portata d'aria di 3400 m<sup>3</sup>/h (0,944 m/s) per 6000 ore/anno di funzionamento, sarà: 3000 x 0,15 = 450 €/anno

Prevedendo di sostituire entrambi gli elementi filtranti a cadenza annuale, con una spesa indicativamente stimata in 80 €, avremo che, nel caso prospettato, la filtrazione dell'aria esterna (di rinnovo) inciderà, in questo caso, per un totale di 530 €/anno.

Si può notare che, in questo caso, la sola spesa energetica copre ben l'85% del costo totale della filtrazione.

Volendo studiare un'alternativa atta a conseguire la medesima qualità dell'aria interna, però con un misurabile risparmio sulla bolletta energetica potremmo ad esempio fare a meno del prefiltro e optare per l'impiego di un filtro fine (di ultima generazione), che sia classificato in classe energetica "A" e, inoltre,

adeguatamente dimensionato per funzionare senza saturarsi per almeno un intero anno, anche senza prefiltro posto a protezione.

Filtri fini di questo genere, con classe di efficienza F8 e classe energetica "A" si trovano già in commercio e la loro perdita di carico media è, in questo caso, pari a 141 Pa.

Applicando ancora la medesima formula e tariffa elettrica a questa soluzione alternativa avremo che la spesa energetica e la quantità di CO2 emessa in atmosfera si ridurranno così del 46%:

$$W = \frac{0,944 \times 141 \times 6000}{1000 \times 0,5} = 1600 \text{ kWh / anno} = 240 \text{ € / anno}$$

Stimando in 90 €, il costo annuale di rimpiazzo di quel filtro fine, la spesa totale sarà di 330 €/anno, con un risparmio gestionale del 38% rispetto alla precedente soluzione.

È chiaro che determinate esigenze tecniche o funzionali possono vincolare il progettista ed imporre soluzioni con più stadi filtranti, che sono magari svantaggiose dal punto di vista energetico ma, per altri versi, sono obbligate dalle circostanze; un solo esempio: impianto con terminali diffusori a soffitto completi di allungamento dei filtri finali.

### Conclusioni

Il progetto di norma ISO 16890 potrebbe in futuro colmare certe lacune della normativa europea in vigore al riguardo della classificazione dei filtri fini per ventilazione generale.

Occorre frattanto impegnarsi nel lavoro di collegamento tra le efficienze teoriche in laboratorio dei filtri d'aria per ventilazione generale e quelle effettive negli impianti, magari mettendo a punto nuovi metodi di misura che siano più strettamente agganciati alle concentrazioni di PM 10, PM2,5 e PM1, misurabili indifferentemente in laboratorio piuttosto che all'esterno o all'interno di edifici climatizzati.

Occorre che la futura normativa sui filtri e sulla progettazione dei sistemi di climatizzazione venga integrata con una efficace e non cosmetica classificazione energetica dei filtri, in modo da sollecitare i costruttori di filtri a realizzare prodotti più efficienti e

performanti, come pure i progettisti di impianti aerulici a compiere scelte meglio ponderate e tali da consentire un concreto miglioramento del livello medio di IAQ, tale da proteggere davvero i nostri polmoni da tutto quanto è presente in atmosfera, ad esempio il particolato.

Non ultimo, anche nel tema filtrazione aria esistono tuttora ampi spazi inesplorati di risparmio energetico e relativo minore inquinamento da CO2.

### Bibliografia:

- 1) *Bozza revisione UNI 10339 "Impianti aerulici per la climatizzazione - Classificazione e requisiti prestazionali per la progettazione e la fornitura"*
- 2) *UNI-EN 13779:2008 "Ventilazione degli edifici non residenziali - Requisiti di prestazione per i sistemi di ventilazione e di climatizzazione"*
- 3) *UNI-EN 779:2012 "Filtri d'aria antipolvere per ventilazione generale - Determinazione della prestazione di filtrazione Eurovent 4/11 "Energy efficiency classification for air filters for general ventilation purposes"*
- 4) *ASHRAE Std 62.1-2007: Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality*
- 5) *EPA; Energy Star: 9-4-09: A guide to energy efficient heating and cooling*
- 6) *Dario Zucchelli: Filtri di nuova generazione per la purificazione dell'aria e il risparmio energetico; ASCA News, Ott.2006*
- 7) *R. Rivers & D. Murphy: Air filter testing, current status and future prospects (ASTM, STP 975)*

## FILTRAZIONE DELLE EMISSIONI IN ATMOSFERA DELLE CENTRALI DI COGENERAZIONE

**Cristiano Vergani** – Responsabile R&S Deparia Engineering Srl – Coordinatore del GL 502/SG 04 CTI "Pulizia di aria e gas in ambito industriale"

L'assetto normativo vigente incentiva in modo particolare le centrali alimentate con biocombustibili di seconda e terza generazione (da sottoprodotti e/o rifiuti) in grado di rispettare dei limiti di emissione decisamente restrittivi: un'opportunità da non

trascurare per il bene dell'ambiente e... del conto economico d'esercizio.

Il quadro nazionale di incentivazione energetica è in fase di radicale cambiamento: come è noto, il recente decreto D.M. 06 Luglio 2012 stabilisce dei parametri particolarmente favorevoli per gli impianti di cogenerazione alimentati con biogas, biocombustibili derivati da sottoprodotti di origine vegetale ed animale o da rifiuti (es. gas di discarica o una certa percentuale di particolari rifiuti di tipo consentito), che rispettino i limiti massimi di emissione in atmosfera previsti nell'Allegato V, inferiori a quelli generalmente stabiliti in sede di autorizzazione. Si tratta di un premio (in aggiunta alla incentivazione di base) di entità non trascurabile (30 €/MWh), che può permettere di recuperare i costi del trattamento in tempi brevi e costituire in seguito una voce importante di profitto, senza dimenticare gli indiscutibili vantaggi ottenibili sul fronte ambientale.

Tuttavia, allo stato attuale delle migliori tecnologie disponibili per l'abbattimento delle emissioni, si tratta di una sfida da non prendere alla leggera, vista la tipologia degli inquinanti emessi dai com-

**FIGURA 1 - I reattori DeNOx-SCR per l'impiego su combustione di biomasse devono essere dotati di ampi portelli d'accesso per facilitare le frequenti operazioni di manutenzione al catalizzatore e di sistemi ad alta efficienza per la rimozione automatica delle polveri (SCR su motogeneratore da 8MWe alimentato con miscela di grassi animali e olio vegetale di recupero)**



bustibili utilizzati. Infatti, i biocombustibili sono certamente più "virtuosi" dal punto di vista del bilancio globale dei gas serra e del rispetto delle aree coltivate a fini alimentari e di forestazione ma, allo stesso tempo, presentano talvolta dei problemi non indifferenti nei riguardi delle emissioni in atmosfera: si tratta, infatti, di combustibili scarsamente o per nulla raffinati, caratterizzati dalla presenza di quantità elevate di elementi contaminanti responsabili di un aumento degli inquinanti nei gas di combustione e del rapido deterioramento dei catalizzatori utilizzati per il trattamento.

### Gli inquinanti coinvolti

Le emissioni inquinanti prodotte comprendono principalmente l'anidride carbonica (CO<sub>2</sub>, attualmente non soggetta a trattamenti), il monossido di carbonio (CO), il biossido di zolfo (SO<sub>2</sub>), gli ossidi di azoto (NO<sub>x</sub>), gli idrocarburi incombusti (HC, nei motori a biogas rappresentano un parametro critico), il particolato (PM) e l'ammoniaca (NH<sub>3</sub>, la cui presenza può anche dipendere da residui del reagente impiegato per la riduzione degli NO<sub>x</sub> nei sistemi di trattamento). Le emissioni di questi inquinanti possono essere innanzi tutto contenute attraverso un'accurata progettazione della macchina termica ed un controllo delle condizioni di combustione. Al di fuori degli interventi di tipo primario, le tecniche di riduzione impiegate consistono essenzialmente nel trattamento delle emissioni per mezzo di particolari convertitori o reattori catalitici selettivi riducenti ed ossidanti, la cui installazione è divenuta pressoché indispensabile, vista l'entità restrittiva dei limiti di emissione da rispettare.

### Strategie di intervento per ridurre le emissioni

In genere i piccoli impianti di cogenerazione sono equipaggiati all'origine con catalizzatori di tipo ossidativo, in grado di assicurare l'abbattimento del CO; per ridurre invece gli NO<sub>x</sub> si impiegano per lo più soluzioni di tipo SCR (con iniezione di ammoniaca o di suoi precursori come l'urea, nei gas di scarico, a monte di un convertitore catalitico).

Nelle caldaie è possibile ricorrere ad un sistema di riduzione selettiva degli NOx di tipo non catalitico (SNCR), caratterizzato da minori costi di installazione e di gestione, che prevede l'iniezione del reagente direttamente nella camera di combustione. L'efficienza dei sistemi SNCR (50-60%) è inferiore a quella raggiungibile dai reattori SCR (85-98%) ma, in diversi casi, può risultare sufficiente al rispetto dei limiti di emissione.

Per quanto riguarda il particolato, per ridurre la concentrazione si dovrà ricorrere all'impiego di particolari tecniche basate sulla combustione delle particelle, le quali, una volta trattenute su un substrato ceramico o metallico, potranno essere ossidate termicamente per mezzo di un bruciatore ausiliario. Se necessario, il processo può essere integrato dall'impiego di appositi catalizzatori e reagenti ossidanti, utili anche per l'abbattimento degli idrocarburi incombusti. Il ruolo del particolato deve essere attentamente preso in considerazione, perché la presenza di notevoli quantità di contaminanti nel combustibile peggiora la qualità della combustione e determina un aumento sensibile nell'emissione di particelle, che possono rapidamente ricoprire la superficie dei catalizzatori causando l'innalzamento delle perdite di carico ed il mascheramento dei siti attivi catalitici che non possono più essere raggiunti dai gas di reazione. Inoltre la presenza dello strato di polveri facilita la migrazione dei contaminanti nel supporto ceramico dei catalizzatori, aggravando lo stato di avvelenamento. Per questo motivo, negli impianti attuali, diventa essenziale l'adozione di un sistema automatico di pulizia periodica delle superfici catalitiche, con intervalli che, in alcuni impianti, non possono andare oltre alcuni minuti di funzionamento.

Elementi come S, P, Ca, K, presenti in varia concentrazione in tutti i combustibili di origine biologica, possono inibire rapidamente e permanentemente la funzionalità dei catalizzatori. Nelle condizioni attuali, è purtroppo necessario convivere con quantità relativamente elevate di questi contaminanti; ciò comporta l'indispensabile adozione di varie misure per mitigare il problema, a partire dal di-



**FIGURA 2 - Skid completo di pompe, riserva NH<sub>4</sub>OH e quadro elettrico di gestione per il dosaggio del reagente necessario per la riduzione selettiva degli NO<sub>x</sub>, apparecchiatura utilizzata per i sistemi SNCR installati su caldaie alimentate a biomassa solida e reattori SCR per motogeneratori alimentati a biomassa liquida**

mensionamento iniziale del catalizzatore, che deve essere molto più "abbondante", per finire con un protocollo di manutenzione con intervalli molto più ravvicinati di pulizia approfondita delle superfici catalitiche ed eventuali trattamenti di rigenerazione del catalizzatore presso appositi service.

Nonostante le difficoltà evidenziate, grazie all'evoluzione tecnologica degli impianti di abbattimento messa in atto dopo prolungate esperienze su impianti pilota, è oggi possibile garantire il funzionamento degli impianti alimentati a biomasse grezze o di recupero nel pieno rispetto degli attuali limiti di emissione più stringenti.