

EMISSIONI DI INQUINANTI ATMOSFERICI NELLA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA IN RELAZIONE AI DIVERSI COMBUSTIBILI ED ALLE TECNOLOGIE.

Luciano Morselli*, Giovanni Marsili°, Gaetano Settimo°, Giuseppe Viviano°, Ivano Vassura*, Fabrizio Passarini*

*Dipartimento di Chimica Industriale e dei Materiali, Università di Bologna, viale Risorgimento 4, Bologna

°Istituto Superiore di Sanità, dip. Ambiente e Connessa Prevenzione Primaria, Viale Regina Elena 299, Roma

SOMMARIO

Gli inquinanti atmosferici emessi da combustioni dell'industria energetica costituiscono una significativa quota delle emissioni dell'intero paese. Le tecnologie impiantistiche ed i combustibili sono i principali determinanti della qualità e quantità delle emissioni e, conseguentemente, dell'entità degli impatti sull'ambiente e sulla salute delle popolazioni.

Il progresso tecnologico nel campo delle turbine, delle caldaie e dei sistemi di trattamento fumi consente oggi la realizzazione di impianti supercritici alimentati a carbone e di cicli combinati alimentati a gas capaci di raggiungere alti rendimenti elettrici. Ciò provoca una continua variazione del mix di combustibili utilizzati evidenziando, negli ultimi vent'anni, un trend decrescente per i solidi ed i liquidi e rapidamente crescente per i gas. Sul piano sociale altre variabili influiscono nel determinare l'accettabilità di questi impianti, primi fra tutti i rischi per la salute, i costi dell'energia prodotta, il rispetto delle convenzioni internazionali sul clima, la percezione dei rischi, l'interazione con la qualità dell'aria dei siti in cui sono o dovranno collocarsi. La valutazione di impatto ambientale, la valutazione ambientale strategica e le pianificazioni energetica e territoriale, necessitano di approcci integrati di valutazione capaci di cogliere la complessità delle problematiche rifuggendo da approssimative analisi che possano distorcere la percezione del rischio delle popolazioni.

PREMESSA

La produzione di energia nel nostro Paese, considerando l'assenza del nucleare, viene effettuata per la quasi totalità mediante l'utilizzo di combustibili fossili e gas naturale in centrali termoelettriche (CTE). Questo si riflette anche sulle quote di emissioni di inquinanti che, per il settore produzione di energia, vengono annualmente stimate a livello nazionale. La scelta dei diversi combustibili viene diversificata e subisce variazioni negli anni, legate sostanzialmente a problemi economici e di aggiornamento tecnologico degli impianti; si veda a tale proposito la costruzione di numerosi impianti turbogas a ciclo combinato ad alto rendimento e la conversione di alcune centrali esistenti al funzionamento a carbone.

Di seguito, in Tabella 1, si riassumono, per la situazione nazionale, le tipologie di combustibili utilizzate e le relative produzioni di energia (anno 2002) (GRTN 2002, ripreso dal BREF nazionale sui grandi impianti di combustione [1]).

Lo scenario nazionale per quanto riguarda i consumi di energia elettrica evidenzia un continuo incremento; nel 2003

detti consumi hanno raggiunto circa 319 milioni di MWh, con un aumento del 2,9 % rispetto all'anno precedente. La produzione nazionale ha consentito di soddisfare circa l'84 % dei consumi e per il restante si è fatto ricorso ad importazione dall'estero; anche tale importazione ha subito un incremento (+0,7 % nel 2003 rispetto al 2002).

Nel periodo dal 1999-2004 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, potenzialmente in grado di produrre 144 milioni di MWh/anno. Va considerato, inoltre, che l'aumento di produttività, ottenuta con la trasformazione in ciclo combinato di impianti ENEL o ex ENEL ad olio combustibile, si può valutare approssimativamente in 15-20 milioni di MWh. Tale potenzialità risulterebbero 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. Tuttavia non sembra ipotizzabile una riduzione dell'importazione di energia elettrica per fattori economici.

Un aspetto positivo da considerare è che questa produzione potrà anche se in parte, sostituire l'energia elettrica prodotta con impianti ad olio combustibile e/o a carbone, consentendo una riduzione di inquinanti emessi, con evidenti vantaggi ambientali e sanitari. Infatti le caratteristiche del combustibile e le tecnologie impiantistiche utilizzate determinano qualità e quantità delle emissioni e costituiscono importanti parametri da considerare nella determinazione dei possibili impatti.

EMISSIONI DA CENTRALI TERMOELETTRICHE

L'attenzione alle emissioni da centrali termoelettriche

Tabella 1 Tipologie di combustibili e produzioni di energia

combustibile	energia elettrica netta (GWh)	consumo combustibile	
solidi	32.362,3	13.088	Mt
gas naturale	95.414,7	22.362	Gm ³
gas derivati	4.843,4	10.034	Gm ³
prodotti petroliferi	72.059,2	17.694	Mt
altri combustibili solidi	12.073,9	10.686	Mt
altri combustibili gassosi	889,9	769	Gm ³

(CTE), sia a carbone che in ciclo combinato, è tuttavia accompagnata da una scarsità di informazioni e di dati sperimentali sulle emissioni di microinquinanti e di polveri a minore granulometria o di precursori di inquinanti secondari. Questo evidenzia una necessità di approfondire queste tematiche strettamente legate alle valutazioni ambientali e sanitarie anche per proporre una corretta informazione alla popolazione interessata.

Va sottolineato che negli ultimi anni le scelte sulla produzione di energia elettrica si sono indirizzate da un lato su tecnologie che consentissero una maggiore efficienza in termini di resa, quali quelle che prevedono l'adozione dei cicli combinati a gas naturale ad alto rendimento, e dall'altro sull'utilizzo di combustibili a minore costo quali orimulsion e carbone. Le emissioni atmosferiche da CTE, a seconda del combustibile utilizzato, contengono qualità e quantità diverse di inquinanti quali: incombusti (sotto forma di materiale particellare, gas o vapori) e prodotti non combustibili o generati durante il processo di combustione. La maggiore quantità di tali emissioni è costituita dai cosiddetti macroinquinanti dovuti alla ossidazione degli elementi presenti nel combustibile (es.: CO_x, NO_x, SO_x) e dalla ossidazione dell'azoto dell'aria utilizzata come comburente (NO_x). Oltre a questi si hanno i microinquinanti che rivestono un particolare interesse dal punto di vista igienico sanitario; microinquinanti inorganici (es.: metalli pesanti) ed organici (es.: IPA, PCDD/PCDF), alcuni di questi definibili come POP (*persistent organic pollutant*).

Per quanto riguarda i composti metallici la loro presenza nei combustibili, e di conseguenza nelle emissioni, dipende dalla tipologia e provenienza degli stessi combustibili; dati reperibili in letteratura riportano, per petroli greggi, le concentrazioni di massima di **Tabella 2**, in mg di inquinante per kg di greggio.

Tabella 2 Metalli pesanti in petroli greggi.

Nichel, Vanadio	< 350 mg/kg
Ferro, Zinco	< 120 mg/kg
Mercurio	< 30 mg/kg
Cobalto	< 15 mg/kg
Antimonio, Bario, Cadmio, Cromo, Alluminio, Rame, Piombo, Manganese, Molibdeno, Selenio, Stagno, Calcio, Bario	< 1 mg/kg

In seguito alle lavorazioni alle quali è sottoposto il greggio, al fine di produrre i diversi combustibili, una quantità pari circa al 90% di questi metalli rimane, durante le operazioni di distillazione, nelle frazioni più pesanti (oli combustibili) in cui la concentrazione di metalli può raggiungere i valori riportati in **Tabella 3**.

Tabella 3 Metalli pesanti in oli combustibili.

Vanadio	< 500 mg/kg
Nichel	< 100 mg/kg
Ferro	< 60 mg/kg
Cadmio, Piombo, Alluminio	< 10 mg/kg
Arsenico e altri	< 1 mg/kg

Per quanto riguarda la presenza di metalli nei carboni si possono avere considerevoli quantità di: alluminio, ferro, titanio, calcio, magnesio, sodio e potassio. Nelle emissioni da combustione la presenza di microinquinanti metallici si presenta prevalentemente sottoforma di particolato fine, dell'ordine del micrometro o frazione di micrometro. Di seguito si riportano alcuni metalli che rivestono maggiore interesse igienico sanitario, presenti nei carboni in mg di metallo per kg di carbone (**Tabella 4**)

Tabella 4 Metalli pesanti nel carbone.

Zinco	0,5 - 6 000 mg/kg
Manganese	0,7 - 250 mg/kg
Piombo	0,7 - 200 mg/kg
Cadmio	0,01 - 300 mg/kg
Cromo (totale)	1 - 100 mg/kg
Arsenico	0,3 - 95 mg/kg
Vanadio	0,1 - 25 mg/kg
Rame	1 - 40 mg/kg
Mercurio	0,01 - 1 mg/kg
Antimonio, Selenio	0,1 - 10 mg/kg
Berillio	0,1 - 1 000 mg/kg

Le emissioni da impianti che utilizzano gas naturale, gli inquinanti che destano maggiore interesse dal punto di vista sanitario, per quanto riguarda l'inquinamento dell'aria, sono: il monossido di azoto (NO) in quanto precursore di inquinanti secondari quali il biossido di azoto (NO₂) ed il monossido di carbonio (CO). Va tuttavia precisato che il CO essendo emesso ad una notevole altezza non può ragionevolmente presentare problemi diretti, tuttavia il suo destino ambientale finale è quello di trasformarsi in massima parte in CO₂ contribuendo all'incremento di biossido di carbonio nell'atmosfera.

L'adeguamento alla attuale normativa delle emissioni delle CTE esistenti, comporta la messa in atto di una serie di soluzioni tecnologiche per l'abbattimento degli inquinanti che, a seconda del combustibile utilizzato, possono essere riassunte come riportato in **Tabella 5**.

Tabella 5 Metalli pesanti in oli combustibili.

Inquinante da abbattere	Combustibile	
	carbone:	olio combustibile:
SO ₂	- desolforatori	- desolforatori - utilizzo mix con metano - BTZ, STZ
NO _x	- modifiche combustione - denitrificatori	- modifiche combustione - denitrificatori
Polveri	- adeguamento elettrofiltri - utilizzo filtri a maniche	- adeguamento elettrofiltri - utilizzo mix con metano

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 techniques* (BAT), introdotte dalla Direttiva 96/61. Le BAT definiscono quindi il limite "tecnologico" alle emissioni in atmosfera, considerando anche aspetti gestionali quali la variazione della efficienza di abbattimento e/o di contenimento delle emissioni che possono determinarsi nel tempo (es. periodi di manutenzione). I limiti alle emissioni (impositivi per legge) rappresentano quindi un valore "ragionevolmente" superiore alle "migliori prestazioni" che la specifica tecnologia può raggiungere al meglio delle prestazioni.

La **Tabella 6** riporta, le quote di emissioni di inquinanti relative alla produzione di energia, riferite all'anno 1990 e 2002 e la percentuale che rappresentano rispetto al totale emesso a livello nazionale ([2], ripreso da [1]).

Tabella 6 Metalli pesanti in oli combustibili.

inquinante		emissioni		% emissione	
		anno 1990	anno 2002	1990	2002
CO ₂	t	105.575.839	117.012.379	24,5	25,0
NO _x	t	408.630	108.205	21,2	8,5
SO _x	t	769.282	277.770	43,4	41,8
COVnm	t	3.816	4.079	0,2	0,3
CO	t	21.617	27.011	0,3	0,6
CH ₄		9.759	14.054	0,5	0,8
N ₂ O		4.935	5.511	3,8	3,7
NH ₃	t	147	164	0,0	0,0
polveri	t	37.800	12.000	15,1	6,5
Pb	kg	3.924	4.141	0,1	1,8
Cd	kg	171	162	1,7	2,3
Hg	kg	981	992	9,1	10,2
As	kg	4.216	3.456	11,3	8,2
Cu	kg	6.581	5.551	10,4	11,0
Cr	kg	35.250	14.851	40,4	32,0
Ni	kg	26.463	22.402	14,7	12,7
Se	kg	2.515	2.922	3,5	3,2
Zn	kg	5.793	5.570	0,7	0,7
IPA	kg	809	691	0,9	0,6
PCDD + PCDF	g TEQ	21	17	4,9	6,0

ASPETTI AMBIENTALI E SANITARI

La presenza di inquinanti dell'aria pericolosi (*hazardous air pollutant* - HAP) nelle emissioni di CTE, che utilizzano combustibili fossili, comporta un'attenta valutazione e una costante sorveglianza della possibile esposizione della popolazione generale che viene a trovarsi nell'area di influenza di detti impianti. Per molti di questi HAP il meccanismo di assunzione predominante è quello ingestivo, piuttosto che quello inalatorio; va tuttavia considerato che la sorgente di contaminazione è comunque l'emissione della CTE che può comportare fenomeni di bioaccumulo grazie alla persistenza ambientale.

Uno studio condotto sui rischi per la salute da HAP da impianti termoelettrici che considerava il rischio cancerogeno inalatorio ha evidenziato una forte differenziazione a seconda del combustibile utilizzato. Per gli impianti che utilizzavano

gas, il rischio cancerogeno risultava inferiore ad un caso su un milione e non venivano identificati rischi per gli inquinanti non cancerogeni [3]. Lo stesso studio identificava per gli impianti a carbone (424 su 426 esaminati) un rischio cancerogeno inferiore a 1×10^{-6} , dovuto a esposizione inalatoria (intero arco di vita); per due impianti tale rischio è risultato maggiore (5×10^{-6}), arsenico e cromo contribuivano maggiormente a tale rischio. Sempre lo stesso studio, rilevava per gli impianti ad olio combustibile che 22 sui 137 esaminati presentavano rischio maggiore di 1×10^{-6} (19 impianti tra 1×10^{-6} e 1×10^{-5} , 3 impianti tra 1×10^{-5} e 1×10^{-4}); nichel, arsenico, radionuclidi, cromo e cadmio fornivano i contributi maggiori.

Un aspetto che attualmente desta molta attenzione anche in relazione alle emissioni delle CTE, è dovuto alla associazione tra effetti sanitari ed esposizioni al materiale particolato definito fine (PM₁₀, PM_{2,5}, ultrafine). Infatti numerosi studi hanno associato incrementi di mortalità nello stesso giorno e nei due giorni successivi a quello in cui si è registrato un aumento di $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ della concentrazione media giornaliera di PM₁₀ [4] e una significativa associazione tra esposizione a materiale particolato ed ospedalizzazione per infarto del miocardio. Per la città di Roma si è rilevato un incremento del 3,7 % per aumenti della concentrazione media giornaliera di $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ [5]. Un altro studio condotto 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, ha stimato che un aumento di $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ della concentrazione media giornaliera del PM_{2,5} spiegava incrementi di 3,4 % e di 1,1 % della mortalità giornaliera, quando il materiale particolato origina, rispettivamente, da sorgenti mobili o da combustione di carbone. Nessuna significativa associazione veniva osservata con il particolato di origine naturale e generato dalla combustione dell'olio combustibile (Laden 2000).

Recentemente si sono avute numerose discussioni sulle emissioni di materiale particolato fine da CTE in ciclo combinato, rese difficili anche dalla scarsità di informazioni e di dati sperimentali sulle emissioni di PM₁₀ da impianti italiani e dalla scarsa disponibilità di dati relativi ai fattori di emissione specifici. La disomogeneità fisica e chimica del materiale particolato e la sua estrema variabilità rendono difficile la caratterizzazione del fattore di rischio.

Rilevamenti effettuati su CTE turbogas a ciclo combinato, alimentate a gas naturale, effettuati in Italia [7] risultano emissioni di polveri (rilevate con i metodi indicati dalla normativa nazionale) che vanno dal non rivelabile ($< 0,05 \text{ mg}/\text{Nm}^3$ secchi al 15 % di O₂ libero) al milligrammo metro cubo. Considerando i dati di 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 (Rubenstein 2003) il fattore di emissione medio per le polveri risultava di circa $0,94 \text{ mg}/\text{MJ}$ (circa 1,8-1,9 kg/h). Utilizzando tali dati e considerando un turbogas del tipo di quelli in funzione in Italia (potenza termica in ingresso pari a circa 2,46 milioni di MJ/h) si può stimare una emissione di polveri pari, in flusso di massa, a circa 2,3 kg/h e, in concentrazione, a $1,2 \text{ mg}/\text{Nm}^3$ [8].

CONCLUSIONI

La scelta della tipologia di combustibile e della tecnologia di CTE è alla base del possibile carico inquinante che può venire a determinarsi nell'area di interesse dell'impianto.

Considerando che 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, non ci si deve limitare a considerare i soli macroinquinanti. Infatti devono essere considerati principalmente i microinquinanti pericolosi (sia cancerogeni che non cancerogeni e quelli persistenti che possono causare bioaccumulo). Questo aspetto assume un carattere prioritario in particolare nel caso di combustibili quali carbone, oli combustibili, orimulsion. Va inoltre considerato anche l'aspetto della cocombustione con CDR o biomasse che ancora non si è sviluppato nel nostro Paese, ma che presenta interessanti prospettive oltre che preoccupazioni ambientali aggiuntive.

In una valutazione degli effetti, l'altezza della emissione (geometrica ed efficace) è importante in quanto determina una diluizione dei contaminanti emessi. Mantenendo costanti i parametri d'emissione e considerato quattro diverse altezze della ciminiera (50 m, 60 m, 70 m, 80 m), sono stati comparate due ipotetiche CTE a diversa localizzazione (pianura Padana e area costiera meridionale). Ne è risultato che l'aumento dell'altezza del camino potrebbe ridurre le concentrazioni orarie al suolo dei contaminanti emessi dell'ordine del 10-25 % e del 14-35 % rispettivamente. 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 [8]. Questo a conferma dell'ampia variabilità dei possibili impatti di CTE anche molto simili; la valutazione degli effetti sull'ambiente e sull'uomo deve derivare da studi specifici.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

1. Commissione ex art. 3, c. 2, del DL 372/99, BREF nazionale sui "Grandi impianti di combustione, linee guida per le migliori tecnologie disponibili", 2004.
2. APAT, "Annuario dati ambientali", Roma, 2004.
3. C. French, W. Peters, B. Maxwell, G. Rice, A. Colli, R. Bullock, J. Cole, E. Heath, J. Turner, B. Hetes, D.C. Brown, D. Goldin, H. Behling, D. Loomis, C. Nelson, Assessment of health risks due to hazardous air pollutant emissions from electric utilities, *Drug and chemical toxicology*, vol. 20(4), pp. 375-386, 1997.
4. Italian MISA Group, Metanalisi italiana degli studi sugli effetti a breve termine dell'inquinamento atmosferico 1996-2002, A. Biggeri, P. Bellini e B. Terracini eds., *Epidemiologia e prevenzione* – suppl. n. 4-5, 2004.
5. D. D'Ippoliti, F. Forastiere, C. Ancona, N. Agabiti, D. Fusco, P. Michelozzi, C.A. Perucci, Air pollution and myocardial infarction in Rome – a case crossover analysis, *Epidemiology*, vol. 14 (5), pp. 528-535, 2003.
6. F. Laden, L.M. Neas, D.W. Dockery, J. Schwartz, Association of fine particulate matter from different sources with daily mortality in six U.S. cities, *Environmental Health Perspectives*, vol. 108 (10); pp. 941-947, 2000.
7. www.arpa.emr.it
8. C. Lupi, G. Marsili, G. Viviano, R. Corsi, M. Barlettani, G.T. Torcivia, Emissione di materiale particolato da centrali alimentate a gas naturale, *La Chimica e l'Industria*, vol. 5, pp. 32-36, 2004.