

# Impatto ambientale di centrali termoelettriche

## Risposta ad una proposta fuorviante

di Severino Zanelli

Armaroli e Po hanno recentemente pubblicato due articoli sulle emissioni di sostanze inquinanti da centrali termoelettriche a ciclo combinato alimentate a gas. In entrambi i lavori non è chiara l'impostazione metodologica e sono assenti alcune precisazioni necessarie. È apparso perciò utile richiamare il contesto generale nel quale i temi affrontati si collocano e inserire tutte le considerazioni nel quadro di riferimento degli studi di impatto ambientale definiti dalle norme per evitare interpretazioni fuorvianti.



Il "black out" elettrico del 28 settembre 2003 ha fatto sapere a tutti i cinquantasette milioni di italiani che in Italia per soddisfare la domanda di energia elettrica siamo costretti ad acquistarne una frazione non trascurabile in Francia, in Svizzera ed in misura minore in Austria e Slovenia, mentre la Sardegna (unica regione non investita dal black out) esporta energia elettrica in Corsica. La Figura 1, che riassume la domanda energetica nelle singole regioni, è stata redatta nel 2001 dal Gestore della Rete di Trasmissione Nazionale (Grtn) e riflette anche la situazione attuale.

Un altro elemento di riflessione, emerso nella stessa occasione, è costituito dai tempi di riattivazione del sistema di distribuzione dell'energia elettrica nelle diverse regioni. Con l'eccezione della Sicilia, dove, pur essendo il sistema produttivo ben sviluppato, la normalizzazione è stata ritardata, il tempo di riattivazione della distribuzione nelle diverse regioni è stato tanto più breve quanto più sviluppato, articolato e flessibile è il sistema produttivo. Indipendentemente dalle cause dirette dell'episodio, alcune cose sono apparse evidenti:

- 1) la produzione di energia elettrica in Italia è insufficiente per soddisfare la domanda;
- 2) l'approvvigionamento dall'estero costituisce un elemento di debolezza del sistema di distribuzione per vari motivi, non ultimo le difficoltà di comunicazione;
- 3) la presenza di un sistema produttivo poco articolato, poco flessibile e con scarse riserve di capacità produttiva non consente di superare agevolmente situazioni critiche.

Tale situazione si è andata creando ed aggravando negli ultimi dieci anni perché non si è investito denaro per migliorare gli impianti di produzione, adeguandoli alla domanda.

Una conseguenza non trascurabile di ciò è che l'Italia il costo dell'energia elettrica per l'utente è più alto che nel resto d'Eu-

ropa. I provvedimenti legislativi di liberalizzazione del mercato dell'energia elettrica e l'alto prezzo di vendita associati alle condizioni produttive deficitarie hanno spinto molte imprese a presentare progetti di costruzione di centrali elettriche che riequilibrassero la domanda e l'offerta di energia elettrica in Italia, che rendessero il paese indipendente dalle importazioni e che aumentassero la flessibilità del sistema.

La situazione particolarmente critica, prima richiamata e messa in evidenza dal "black out" del 28 settembre 2003, ha sconsigliato di risolvere il problema con l'impiego di tipologie produttive che impiegano fonti rinnovabili (energia eolica, solare, biomasse) perché quei tipi di impianto attualmente realizzabili sono di così piccole dimensioni che, per avere un contributo poco più che marginale al ripianamento del deficit produttivo, sarebbe necessario moltiplicarne il numero con conseguente prevedibile allungamento incontrollabile dei tempi della loro completa realizzazione. Tutte le imprese hanno scelto impianti a ciclo combinato alimentati a gas naturale, che costituisce oggi il miglior tipo di impianto per produrre energia elettrica impiegando combustibili fossili.

### L'impianto a ciclo combinato alimentato a gas naturale

L'impianto a ciclo combinato è l'evoluzione concettualmente più avanzata di cicli che producevano energia da vapore o da gas. La Figura 2 illustra gli schemi di principio dei tre sistemi di produzione. L'impianto a ciclo combinato è costituito da un compressore che alimenta l'aria ai miscelatori dove arriva anche il gas naturale.

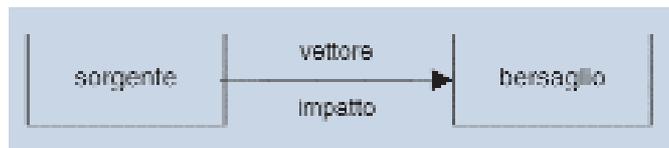
La miscela attraverso i bruciatori è alimentata alla camera di combustione. I fumi passano attraverso la turbina a gas dove cedono energia raffreddandosi in parte. Il resto del calore contenuto nei fumi è recuperato in una caldaia che produce vapore, il quale è impiegato in una turbina a vapore.

S. Zanelli, Dipartimento di Ingegneria Chimica, Chimica Industriale e Scienza dei Materiali - Università di Pisa. s.zanelli@ing.unipi.it

I fumi sono emessi in atmosfera attraverso un camino. Il vapore, dopo l'espansione in turbina, è condensato con recupero dell'acqua e suo riutilizzo nel ciclo. L'energia elettrica è prodotta da generatori collegati alla turbina a gas e alla turbina a vapore.

## Lo studio e la valutazione di impatto ambientale

Gli impianti a ciclo combinato alimentati a gas hanno la capacità di generare impatti sull'ambiente, che vengono valutati seguendo una procedura stabilita dalla legge 55 del 9 aprile 2002, la cui applicazione è limitata agli impianti di produzione di energia elettrica. La valutazione di impatto ambientale è eseguita seguendo uno schema concettuale (sotto riportato) che si applica ai diversi sistemi: una sorgente genera un vettore impatto che va a colpire un bersaglio, che può sopportare senza conseguenze l'azione esterna o esserne danneggiato in varia misura. Fra la sorgente ed il bersaglio



Schema

saggio il vettore si trasforma secondo una funzione di trasferimento che dipende dalle caratteristiche del mezzo che attraversa. Nel caso di Valutazione di Impatto Ambientale (Via) eseguita su un progetto di impianto, la conoscenza del vettore impatto generato dalla sorgente è dedotta dalla conoscenza delle caratteristiche della sorgente, mentre il valore del vettore sul bersaglio è calcolato dal precedente mediante l'applicazione di una funzione di trasferimento, consistente spesso in un modello fisico-matematico. Il bersaglio è in grado di sopportare senza danno l'azione del vettore impatto che lo colpisce, a seconda della sua vulnerabilità, di cui spesso è data una misura fissando limiti di accettabilità per vettori (o fattori) fisici o chimici. Sono stati richiamati, in modo un po' pedante, gli schemi concettuali seguiti negli studi di valutazione di impatto ambientale, per mettere in evidenza come il lavoro di N. Armaroli e C. Po, apparso nel maggio 2003 in questa rivista [1], proponga un metodo a tre stadi del tutto diverso non condivisibile.

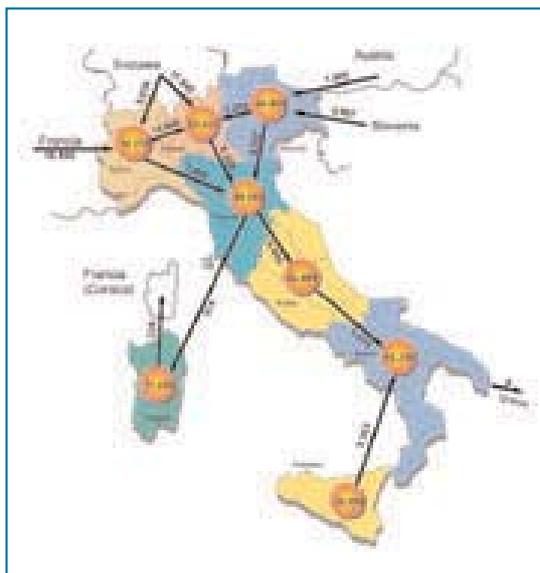


Figura 1 - Flussi bilanciati 2001 in GWh da/per macroregione (dati Grtn)

## Il metodo proposto

Nel lavoro citato, Armaroli e Po, riferendosi esclusivamente all'impatto sulla qualità dell'aria, propongono di condurre l'istruttoria preparatoria per la Via in tre stadi:

- 1) stima iniziale del tipo e della quantità di inquinanti emessi dall'impianto, impiegando i fattori di emissione di turbine alimentate a gas naturale;
- 2) esame dell'impianto oggetto del Via e confronto fra la stima iniziale, di cui al punto precedente, e i dati dichiarati;
- 3) valutazione delle emissioni dell'impianto durante tutto il ciclo di vita (Life Cycle Assessment, Lca).

## La stima iniziale

Le stime iniziali delle sostanze inquinanti emesse da centrali termoelettriche sono fatte sulla base dei fattori di emissione stabiliti e pubblicati da Epa (Environmental Protection Agency) negli Usa [2]. Tali fattori di emissione, ognuno dei quali è riferito ad una singola sostanza e ad una tipologia di impianto, sono espressi in quantità di sostanza emessa per unità di prodotto e sono stati stabiliti sulla base dei risultati di campagne di misura eseguite su impianti operativi negli Stati Uniti. La qualità dei fattori di emissione è strettamente correlata alla qualità dei dati distinti in quattro classi:

- A) prove multiple condotte sulla stessa sorgente usando una metodologia consolidata, riportando dettagli sufficienti per un'adeguata convalida. Tali prove non sono necessariamente conformi in modo esatto alla metodologia specificata nei metodi sperimentali riportati da Epa, ma almeno seguono i metodi Epa nella forma e nella funzione;
- B) prove condotte con una metodologia sostanzialmente consolidata, ma carenti di dettagli sufficienti per un'adeguata convalida;
- C) prove condotte con una metodologia non convalidata o nuova, oppure mancanti di un numero significativo di dati di base;
- D) prove basate su un metodo sostanzialmente inaccettabile, ma utile per avere valori dell'ordine di grandezza della sorgente.

Se si esamina il caso dell'impianto trattato nel lavoro di Armaroli e Po e si prendono a riferimento due sostanze inquinanti, formaldeide e particolato solido, consi-

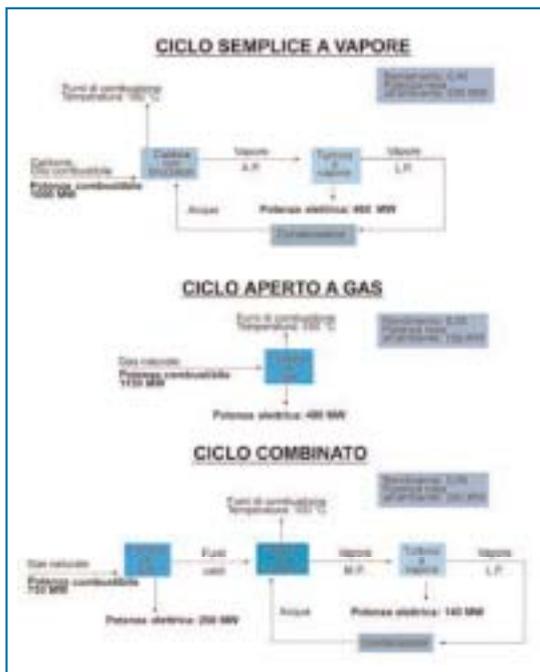


Figura 2 - Cicli di produzione di energia da vapore e/o da gas

derate dagli autori importanti ed invece ignorate negli studi di impatto ambientale, si rileva che i fattori di emissione indicati da Epa nel rapporto citato [2] sono stati desunti dai risultati di misure sperimentali diverse in numero e in qualità di sperimentazione, come riportato in Tabella, riguardante la sperimentazione su turbine a gas alimentate a gas naturale:

- per la formaldeide sono stati esaminati 8 rapporti che riferivano misure sperimentali, tutti riferiscono di campagne di misura effettuate con tecniche approvate da Epa e considerate affidabili;
- per il particolato solido sono stati esaminati 3 rapporti che riferivano misure sperimentali, tutte sono effettuate con tecniche non approvate da Epa e non considerate affidabili.

Epa stabilisce i fattori di emissione, cioè la quantità massima di sostanza inquinante per unità di prodotto che può essere emessa, in modo che tale limite possa essere rispettato dagli impianti funzionanti più moderni. La procedura seguita è: esame delle misure sperimentali, formulazione di una proposta, attesa dei commenti degli interessati, adozione dei fattori di emissione, loro revisione con frequenza stabilita. Appare evidente che i fattori di emissione stabiliti da Epa:

- rappresentano la realtà degli Usa;
- riflettono la media delle prestazioni di un certo tipo d'impianto, nel caso in esame turbogas;
- hanno significatività diversa a seconda dell'accuratezza delle misure dalle quali sono stati desunti.

Un aspetto non trascurabile riguarda la qualità del gas naturale impiegato negli Usa e

in Italia, in particolare il contenuto di prodotti solforati nel gas distribuito in Italia è trascurabile, non così negli Usa. I fattori di emissione devono tener conto anche di ciò e propongono valori non trascurabili per le emissioni di SO<sub>2</sub>. La valutazione delle emissioni di un impianto a ciclo combinato alimentato a gas progettato per funzionare in Italia non può essere fatta sulla base dei fattori di emissione pubblicati da Epa. Il confronto effettuato in Tabella 2 del lavoro più volte citato [1] è fuorviante perché i dati riferiti all'impianto proposto a Minerbio (BO) sono specifiche di progetto verificabili in sede di collaudo, mentre i dati desunti dalla letteratura, derivano dall'impiego dei fattori di emissione, come dichiarato dalle autrici del rapporto originale da cui Armaroli e Po hanno tratto i dati [3].

Il confronto fra i dati di letteratura e le specifiche di progetto è utile per constatare come il progetto proposto avrà prestazioni migliori di quelle medie riscontrate negli impianti funzionanti negli Usa, rappresentati dai fattori di emissione Epa. Un'attenta lettura dei lavori citati [1, 3], eseguita da Fraternali e Olivetti Selmi [4], ha messo anche in evidenza che il calcolo delle emissioni di particolato solido ricavato dai fattori di emissione non dà come risultato 290 t/anno, bensì 28 t/anno, cioè dieci volte inferiore. In sintesi l'impiego dei fattori di emissione per il calcolo delle quantità di sostanze inquinanti emesse da un

certo tipo di impianto, può essere utilizzato, senza sbagliare i calcoli, per valutare in prima approssimazione le prestazioni degli impianti attualmente in esercizio e per orientare il progetto del nuovo impianto in modo da migliorarle.

## L'esame dell'impianto

L'esame dell'impianto proposto deve essere eseguito prendendo a riferimento prioritariamente le caratteristiche dichiarate dai progettisti, che potranno essere verificate durante l'esercizio, a cominciare dal periodo di collaudo. Gli autori non compiono un'azione corretta, prendendo a riferimento per le loro valutazioni un impianto analogo a quello di Minerbio, ma con rendimento elettrico del 48,8%, mentre quello proposto ha un rendimento previsto superiore al 55,0%. Gli autori rilevano che i progettisti

non dichiarano la presenza nei fumi emessi in atmosfera di alcune sostanze, che invece sono prese in considerazione da Epa nel definire i fattori di emissione relativi alle turbine a gas alimentate a gas naturale. In particolare l'attenzione è posta sulla formaldeide, sul particolato solido e sui composti organici, che non sono considerati dai progettisti dell'impianto di Minerbio, in modo analogo a quanto fatto dai progettisti di altri impianti simili proposti in varie parti del Paese.

**Turbine a gas: numero di rapporti e qualità dei dati impiegati per definire i fattori di emissione**

	Numero totale	Qualità A	Qualità B	Qualità C	Gas naturale	Olio	Biogas
CO <sub>2</sub>	4	4					
CO	58	45	11	2			
NO <sub>x</sub>	60	47	11	2			
Hap	28	28					
Voc	2	1		1			
formaldeide	8	8			8		
benzene	6	6					
Nmhc	14	13		1			
SO <sub>2</sub>	6	6			1	1	5
Thc	4	3		1			
PM	3			3	3	3	
Metalli	2	2				2	2

Hap: Hazardous Air Pollutants; Voc: Volatile Organic Compounds; Nmhc: Non Methane Hydrocarbon Compounds; Thc: Total Hydrocarbon Compounds.

La causa di tale differenza va ricercata nella disomogeneità dei due dati che si confrontano: le caratteristiche dei fumi dichiarate dai progettisti si riferiscono all'impianto funzionante nel suo miglior assetto, con potenza prodotta compresa fra 80 e 100% di quella nominale; i fattori di emissione tengono conto anche dei periodi transitori di funzionamento a bassa potenza oppure successivi ad una riaccensione dell'impianto. È noto che in un processo di combustione di gas la non completa combustione del metano con formazione di ossido di carbonio, formaldeide, altri composti organici, nonché particolato solido si ha quando in camera di combustione il miscelamento fra gas ed aria non è soddisfacente e quando si hanno fenomeni oscillatorii nella fiamma. Tali condizioni sono tipiche dei fenomeni transitori prima richiamati.

Negli impianti italiani alimentati a gas naturale si considera trascurabile l'emissione di biossido di zolfo, data la sua sostanziale assenza nel gas impiegato; così non è negli Usa, tanto che il fattore di emissione non è nullo.

Nel corso del presente lavoro è usato il concetto di trascurabilità, che è opportuno definire quando esso è riferito a sostanze inquinanti emesse da un impianto in atmosfera. L'atmosfera contiene in concentrazione variabile a seconda del luogo, del tempo e delle condizioni meteorologiche le sostanze in-

quinanti considerate dagli autori [1]. È possibile determinare in ogni punto o meglio in ogni zona la concentrazione media nel tempo di ogni sostanza e la sua varianza o scarto quadratico medio. Tale valore è assunto come valore di fondo. Se il contributo delle emissioni del nuovo impianto alla concentrazione di una sostanza è inferiore allo scarto quadratico medio, tale contributo e quindi l'emissione della sostanza considerata, dovuta al nuovo impianto, è considerata trascurabile. Tale definizione può essere messa in discussione per le sostanze che non subiscono processi di trasformazione e per le quali è dimostrata la bioaccumulazione.

Se si esaminano le sostanze inquinanti rilevate nelle emissioni di turbine a gas alimentate dal gas naturale distribuito in Italia le uniche che sono introdotte nell'atmosfera in quantità non trascurabile sono:

- ossidi di azoto;
- monossido di carbonio.

Nei periodi transitori si devono considerare:

- formaldeide;
- particolato solido;
- composti organici totali, in particolare metano.

## Emissioni nel ciclo di vita dell'impianto

La proposta di introdurre la valutazione delle emissioni nel ciclo di vita dell'impianto nello studio di impatto ambientale relativo ad uno specifico impianto, di cui si propone la realizzazione, introduce numerosi elementi di incertezza e di incongruenza. Il primo e forse più rilevante elemento di incertezza è stabilire i confini del sistema che si esamina.

Nell'esercizio che è stato preso a riferimento nel lavoro di Armaroli e Po [1], tratto dal lavoro di Spath e Mann [3], si considerano anche le emissioni di metano in atmosfera collegate al suo trasporto via condotta dal punto di origine all'impianto di utilizzo. Nel caso italiano dovrebbe essere eseguita una media ponderata delle perdite stimate nei due gasdotti algerini, in quelli siberiano ed olandese, nelle navi che trasportano gas naturale criogenico e negli impianti di vaporizzazione.

L'esercizio è compiuto su un impianto a ciclo combinato dotato di un sistema catalitico per l'abbattimento degli ossidi di azoto con ammoniaca. I confini dell'analisi di sistema sono stati così allargati che si considerano anche le emissioni collegate alla produzione e al trasporto di ammoniaca, ma si trascurano le emissioni collegate alla preparazione del catalizzatore o al sistema di raffreddamento.

Molti dei dati riguardanti le emissioni durante il periodo di costruzione e di demolizione hanno una precisione molto diversa da quelli relativi al normale esercizio: unirli per avere una valutazione complessiva fa perdere l'accuratezza che hanno i dati di progetto riferiti al normale esercizio. Inoltre qualsiasi allargamento dei confini del sistema non garantisce la completezza e compromette l'accuratezza.

Le linee guida pubblicate da numerose autorità pubbliche per la compilazione degli studi di impatto ambientale prevedono la valutazione della fase di costruzione e di demolizione dell'impianto, oltre a quella di normale esercizio, ma tendono a definire i confini del sistema all'impianto produttivo, alle infrastrutture e ai servizi ad esso collegati o asserviti. Appare ragionevole confermare quelle linee guida, che non prevedono l'applicazione di tecniche più o meno definite di Life Cycle Assessment (Lca).

## Il particolato fine

In un secondo lavoro Armaroli e Po [5], non tenendo in alcun conto che i fattori di emissione riguardanti il particolato solido emesso da centrali elettriche a gas naturale, come è già stato messo in luce, sono basati su misure sperimentali scarse e di qualità non soddisfacente, e che le valutazioni numeriche sulle quantità emesse riportate nel precedente lavoro [1] erano sbagliate, affermano che "le  $PM_{10}$  sono un inquinante rilevante per questi impianti".

In tutto il lavoro, è sviluppata un'interessante trattazione sui diversi effetti sulla salute provocati dal particolato a seconda delle sue dimensioni, non sono forniti tuttavia nuovi riferimenti sperimentali, che avvalorino i fattori di emissione del particolato solido da centrali termoelettriche alimentate a gas. È messa ben in evidenza l'importanza che il particolato diviso nelle sue diverse frazioni ha sul sistema respiratorio, ma non vi è alcun contributo all'individuazione dell'origine del particolato che si trova in atmosfera.

Si citano elencandole le possibili diverse sorgenti civili, industriali, naturali, ma non è fatto alcuno sforzo per individuarne l'origine attraverso per esempio la composizione della polvere, che generalmente contiene composti o elementi che possono essere assunti come traccianti utili per risalire alla sorgente delle particelle.

Un'analisi della composizione del particolato poteva rendere più incisiva anche la valutazione sugli effetti sanitari della sua inalazione, perché questi dipendono non solo dalle dimensioni, ma anche dalla presenza di sostanze nocive e dalla loro bioaccumulazione.

## Commento finale

Non vi è alcun dubbio che i lavori di Armaroli e Po mettano in evidenza problemi importanti per chiunque voglia valutare l'impatto ambientale di centrali a ciclo combinato alimentate a gas. Il metodo in tre fasi, da loro proposto per lo studio di impatto ambientale, non è condivisibile perché privilegia valutazioni e considerazioni sull'ambiente in generale o sugli impianti produttivi omogenei presi nel loro insieme rispetto all'analisi specifica delle caratteristiche verificabili del singolo impianto progettato.

È facile prevedere che i lavori citati e la discussione che ne sta seguendo saranno uno stimolo per estendere la sperimentazione che deve far da supporto all'approfondimento delle analisi e valutazioni.

## Bibliografia

- [1] N. Armaroli, C. Po, *Chimica e Industria*, 2003, **85**(4), 45.
- [2] Environmental Protection Agency, Emission Factor Documentation for AP-42 Section 3.1. Stationary Gas Turbines, Research Triangle Park, North Carolina Usa, aprile 2000.
- [3] P.L. Spath, M.K. Mann, Life Cycle Assessment of a Natural Gas Combined-Cycle Power Generation System, National Renewable Energy Laboratory, Golden, Colorado Usa, TP-570-27715, 2000.
- [4] D. Fraternali, O. Olivetti Selmi, *Chimica e Industria*, 2003, **85**(9), 53.
- [5] N. Armaroli, C. Po, *ibid.*, 2003, **85**(9), 45.