

# Valutazione delle emissioni di particolato da centrali a ciclo combinato

Mauro Rotatori, Andrea Sbrilli, Ettore Guerriero, Ivo Allegrini - CNR, Istituto sull'Inquinamento Atmosferico, Monterotondo Scalo (RM)

## Sommario

L'Istituto sull'Inquinamento Atmosferico del CNR ha condotto una campagna di monitoraggio delle emissioni in una centrale a ciclo combinato alimentata a GNL, al fine di accertare l'entità del rilascio in atmosfera di materiale particolato (totale e frazione PM10) e di altri inquinanti rappresentativi della sorgente.

## 1. Introduzione

La produzione di massicce quantità di energia richieste dallo sviluppo dei Paesi avanzati porta necessariamente all'impiego di impianti di generazione sempre più efficienti e sempre più rispettosi dell'ambiente. Nell'ambito delle possibili opzioni in merito alle scelte che possono essere fatte in proposito, la valutazione dell'impatto ambientale degli impianti ha guadagnato un ruolo di primaria importanza. Infatti, negli impianti termoelettrici viene realizzata una combustione a carico di combustibili solidi liquidi e gassosi che necessariamente porta alla formazione, e quindi alla loro emissione nell'ambiente atmosferico, di sostanze in fase gassosa o particellare in grado di interagire negativamente con l'ambiente circostante e quindi di mettere a rischio la salute dei cittadini.

L'aumento consistente che è stato recentemente programmato in Italia della frazione di energia elettrica da impianti turbogas a ciclo combinato, oltre a consentire una maggiore diversificazione dei combustibili ed oltre ad assicurare un elevatissimo rendimento elettrico, superiore al 55%, consente anche di

prevedere un basso impatto ambientale. L'ovvia conseguenza di questa scelta è che le esigenze di diversificazione dei combustibili, di elevato rendimento e di basso impatto ambientale, troverebbero un'appropriata combinazione positiva nell'utilizzazione su vasta scala della tecnologia a ciclo combinato.

In una centrale di questo tipo, le emissioni sono caratterizzate dalla presenza degli inquinanti ossido di carbonio (CO) ed ossidi di azoto (NOx) sostanze che generalmente sono presenti a concentrazioni massime nei fumi secchi in uscita dall'impianto pari a qualche decina di mg/Nm<sup>3</sup>. Nelle emissioni di questi impianti è da escludere la presenza di biossido di zolfo (SO<sub>2</sub>) se non per la piccola quantità di composti solforati, impiegati come sostanze odorogene, nel gas naturale.

L'assenza di materiale particolato dalle emissioni di questo tipo di impianti è indirettamente, ma molto chiaramente, riportata dalla Direttiva 2001/80/CE del 23 ottobre 2001 concernente le "limitazioni delle emissioni in atmosfera di taluni inquinanti originati dai grandi impianti di combustione". Infatti, la Direttiva non prevede alcun limite per il particolato emesso dalle turbine a gas (Parte B, Allegato VII). È ovvio che una tale decisione non può che provenire dalla constatazione che le centrali turbogas non emettono particolato.

Tale affermazione può apparire in contrasto con alcune notizie apparse sulla stampa, anche tecnica, in merito a questo problema (Armaroli e Po, 2003). L'articolo si basa sull'affermazione che la buona parte dell'emissione di particolato è rappresentata dalla frazione

fine e che viene sottostimata la produzione di particolato secondario. In particolare nell'articolo citato è riportato un dato di emissione di polveri pari a 290 tonnellate/anno, ricavato a sua volta dallo studio di due ricercatori del National Renewable Energy Laboratory statunitense (P. Spath e M. Mann, 2000). Come evidenziato da una pubblicazione dell'Arpa Emilia Romagna [4], ciò comporterebbe una concentrazione in uscita dal camino di decine di  $\text{mg}/\text{Nm}^3$ , più verosimile per centrali a carbone [5]. Nel calcolo che gli autori hanno sviluppato per ottenere questo valore, il passaggio di trasformazione del fattore di emissione di polveri filtrabili (da  $\text{lb}/\text{Mbtu}$  a  $\text{kg}/\text{Gwh}$ ) ha prodotto un errore che sovrastima di un fattore 10 il risultato d'emissione. È ovvio quindi che la questione ha sollevato non poche polemiche sulla costruzione di nuove centrali di questo tipo.

Si è pertanto ritenuto utile presentare ulteriori dati sulle emissioni di inquinanti e microinquinanti atmosferici da parte delle centrali termoelettriche a GNL al fine di portare ulteriori elementi quantitativi alla discussione in atto sulla necessità e sul proposito di costruire nuove centrali a ciclo combinato.

L'Istituto sull'Inquinamento Atmosferico del CNR ha effettuato una serie di campionamenti delle emissioni nella centrale ENEL a ciclo combinato di Porto Corsini, su di un

gruppo da 400 MWe al fine di accertare l'entità e la natura delle emissioni di materiale particellare e degli altri macroinquinanti ( $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$ ) nonché di microinquinanti che normalmente non vengono monitorati, come i composti organici volatili (COV), il Mercurio e le Aldeidi.

## 2. Metodologie di campionamento e analisi

### 2.1. Materiale particellare

Sono stati eseguiti campionamenti in parallelo del Particolato totale (PTS) e della frazione  $\text{PM}_{10}$  adottando due linee di campionamento distinte.

Il prelievo del PTS è stato eseguito in accordo con il metodo Unichim 402, in condizioni isocinetiche, cioè ad una velocità di aspirazione alla sonda di prelievo uguale a quella del fluido all'interno del condotto. La sonda è stata posizionata in punti fluidodinamicamente corretti per il campionamento cioè in regime di laminarità dell'effluente gassoso.

La linea di campionamento per il PTS è costituita da una sonda di prelievo in titanio munita alloggiamento per filtro per la raccolta delle polveri, da un tubo di Pitot con termocoppia, da un raccogliore di condensa, da una colonna di adsorbimento con gel di silice e infine da un campionatore automatico AISS 900.

Una rappresentazione del treno di campionamento è riportata in Fig. 1.

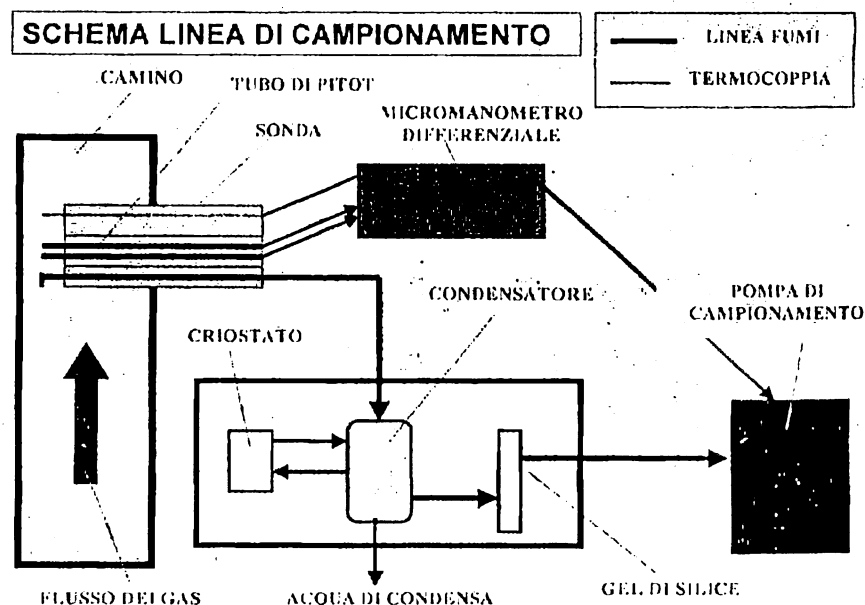


Fig. 1 - Schema linea di campionamento.

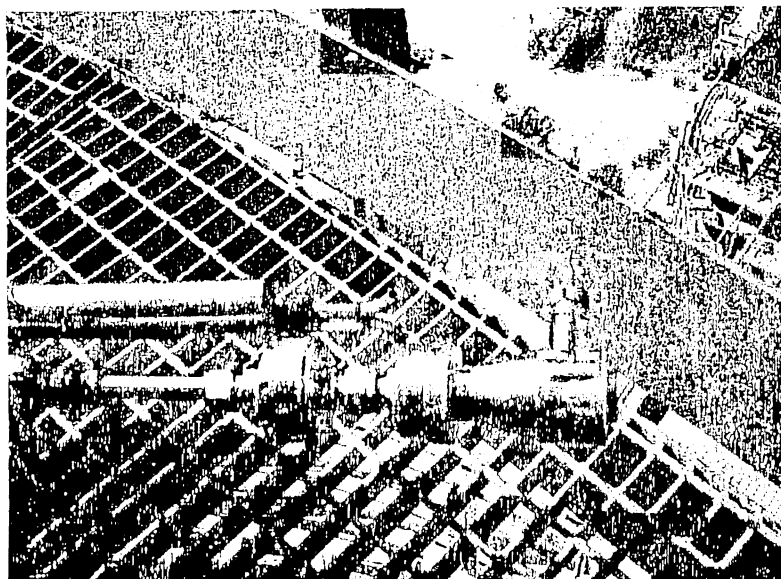


Fig. 2 - Ciclone PM10.

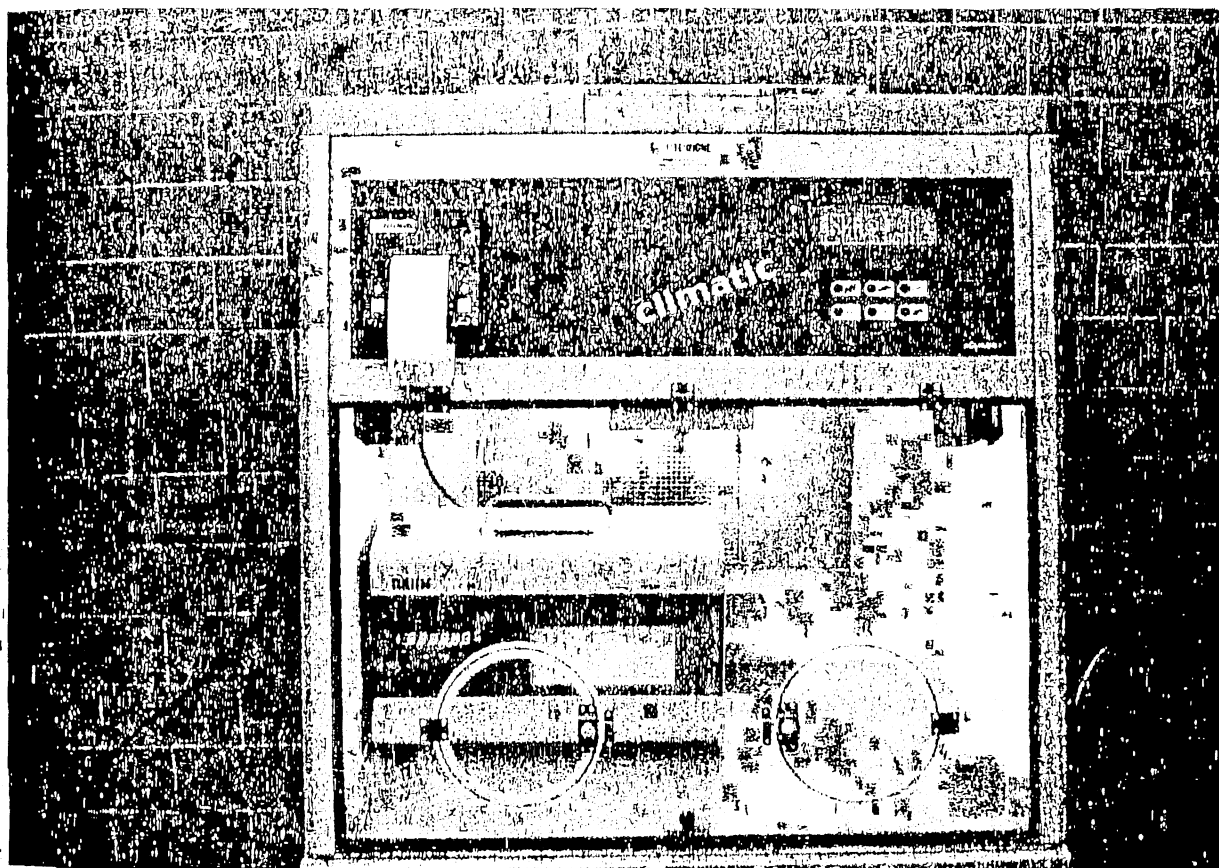


Fig. 3 - Microbilancia Thermo Cann.

Per il prelievo della frazione  $PM_{10}$  è stato impiegato il metodo EPA 201A che impiega un ciclone posizionato in testa alla linea di campionamento (Fig. 2). La possibilità di adottare un impattore a cascata è stata scartata in quanto questo sistema è ritenuto più critico nell'uso.

Per quanto riguarda la frazione raccolta su filtro sono stati utilizzati, per entrambe le linee, degli appositi filtri in Teflon con porosità  $0.2 \mu m$  e diametro di  $47 mm$ , in quanto il loro peso è inferiore a quello dei filtri in quarzo, tale da consentire un migliore apprezzamento della quantità captata. C'è da tenere presente che

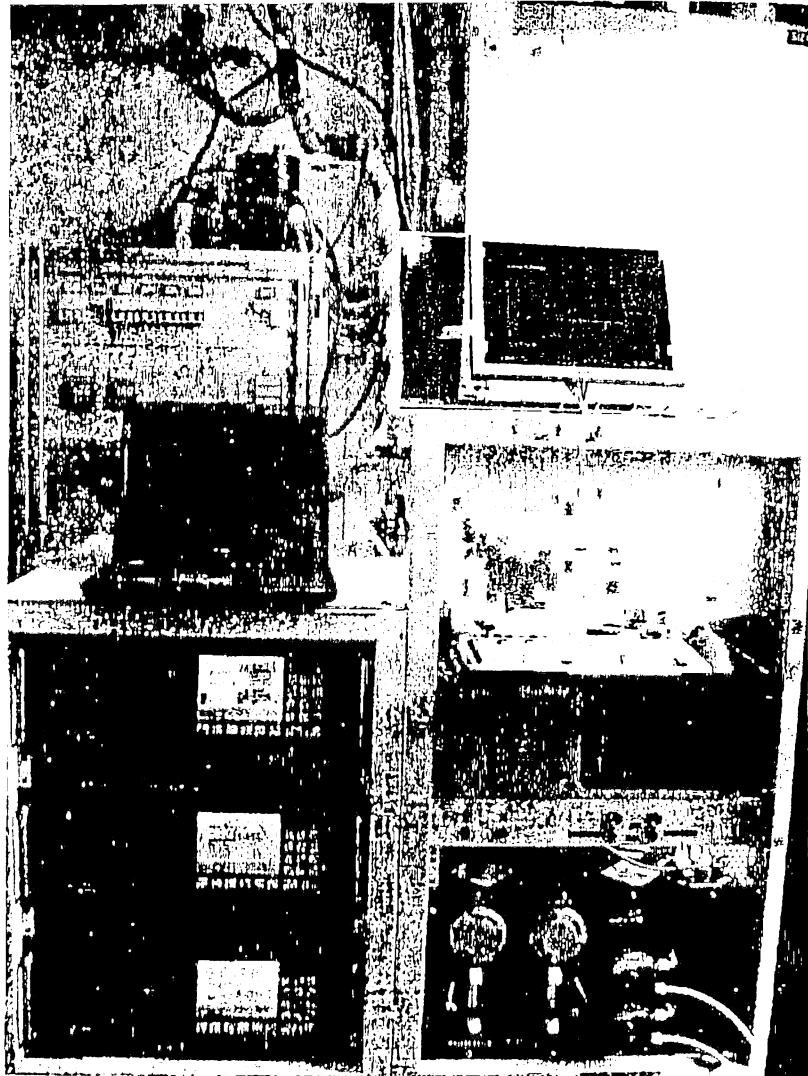


Fig. 4 – Il sistema di monitoraggio.

l'impiego dei filtri in teflon è stato possibile vista la bassa temperatura dei fumi in uscita dal camino (circa 100 °C). Il metodo EPA 210A consiglia di includere nel calcolo della frazione  $PM_{10}$  anche il particolato condensabile, misurabile tramite dei gorgogliatori riempiti con acqua. Nonostante l'uso dei filtri sopra riportati si è ritenuto comunque di valutare anche il contributo al peso di materiale particellare presente nell'acqua di condensa.

La determinazione ponderale dei filtri per il PTS e per il  $PM_{10}$  è stata effettuata secondo la procedura riportata nel metodo UNI 10263, usando una bilancia ThermoCann Modello C33 (Microbalance), con campo di misura 0,001–200 mg, sensibilità al microgrammo e temperatura di esercizio 15-30 °C. La bilancia è mantenuta a condizioni di temperatura

ed umidità definite all'interno di una camera termostata Activa Climatic (Fig. 3).

Dato che dai primi campionamenti è stata riscontrata visivamente una presenza trascurabile di particolato sui filtri, è stato deciso di campionare per periodi di tempo più lunghi, in modo da avere concentrazioni apprezzabili in fase di pesata dei filtri.

#### CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>

Le determinazioni delle concentrazioni di CO, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> e NO<sub>x</sub> è stata effettuata mediante analizzatori NDIR.

Le determinazioni delle concentrazioni di ossigeno è stata effettuata basandosi sulle proprietà paramagnetiche di tale elemento per mezzo dello strumento MAGNOS 16. In Fig. 4 è raffigurato il sistema di monitoraggio.

## 2.2. Composti Organici Volatili

Il prelievo è stato effettuato facendo concentrare i composti organici in tubi adsorbenti riempiti di carbone attivo aspirando con campionatori SKC. I campionatori sono stati poi eluiti con solfuro di carbonio ed analizzati per via gascromatografica, utilizzando una colonna J&W DB-1 30 m x 0,32 mm ed un rivelatore FID. La calibrazione è stata fatta con il metodo dello standard interno impiegando una soluzione a concentrazione nota di vari standard interni e miscele di calibrazione contenenti gli stessi standard interni e diverse classi di sostanze organiche volatili. I risultati sono espressi in mg/Nm<sup>3</sup> equivalenti di carbonio.

### Aldeidi

Sono stati effettuati dei campionamenti di aldeidi, mediante trappole specifiche (Water Sep-Pak) costituite da silice impregnata di 2,4-dinitrofenilidrazina (DNPH). In testa alla linea di campionamento è stato posto uno scrubber allo ioduro di potassio (KI) al fine di abbattere sostanze ossidanti come l'ozono, interferenti nella determinazione. Il campionamento è stato eseguito mediante pompe Personal Plus ad un flusso di circa 1-2 L/min. Tali dispositivi sono costituiti da una pompa aspirante a membrana con regolazione della portata e con un sistema di smorzamento delle fluttuazioni della pompa. In tale tipologia di pompe la portata di prelievo viene mantenuta costante al valore regolato mediante un circuito elettronico che provvede ad incrementare la tensione del motore ad ogni variazione del carico.

L'analisi dei composti aldeidici campionati si basa sulla reazione con la DNPH presente nelle cartucce. Ciò porta alla formazione di un derivato idrazonico stabile, che viene successivamente analizzato tramite HPLC con rivelatore UV a 360 nm. Il risultato è espresso come concentrazione di Formaldeide (essendo le altre aldeidi presenti in quantità trascurabili).

### Mercurio

Il campionamento è stato effettuato in condizioni isocinetiche mediante assorbimento su

due fiale in biossido di manganese poste in serie ad un flusso di circa 2 Litri/min.

La fiala è stata trattata con una soluzione 1:1 di acido cloridrico-acido nitrico concentrati. Analogamente le acque di condensa e le soluzioni di lavaggio della linea di campionamento sono state filtrate e mineralizzate con la stessa soluzione. L'analisi è stata effettuata mediante ICP-Massa. La concentrazione di Mercurio in emissione è espressa come sommatoria delle quantità di metallo riscontrate nel materiale adsorbente, nell'acqua di condensa e nei lavaggi del treno di campionamento.

## 3. Risultati

In Tab. 1 sono riportati i valori medi, minimi e massimi degli inquinanti oggetto di studio e dei parametri registrati nel corso della campagna di monitoraggio.

Le emissioni della centrale ENEL di Porto Corsini sono caratterizzate principalmente dalla presenza degli inquinanti ossido di carbonio (CO) ed ossidi di azoto (NO<sub>x</sub> espressi come NO<sub>2</sub>) sostanze che sono rispettivamente presenti in concentrazioni massime pari a 3 e 40 mg/Nm<sup>3</sup>.

Le emissioni di monossido di carbonio, non influenzano la qualità dell'aria in quanto i limiti previsti per questo inquinante sono dello stesso ordine di grandezza di quelli presenti nelle immissioni.

Gli ossidi di azoto, come noto, si formano dalla combinazione diretta di ossigeno ed azoto che sono i due costituenti fondamentali dell'atmosfera. La reazione chimica, che avviene ad elevata temperatura e quindi avviene in tutti i bruciatori di tutte le centrali termoelettriche, provoca la formazione degli ossidi di azoto (NO e NO<sub>2</sub>). Dunque la formazione degli ossidi di azoto è un elemento comune a tutte le centrali e non solo di quelle a turbogas. Per questa tipologia d'impianto, la Direttiva Europea prevede un limite in emissione di 75 mg/Nm<sup>3</sup>. I limiti presenti nelle recenti autorizzazioni rilasciate a questi impianti, fatti salvi i casi dove esistono specifici problemi ambientali, sono di 50 mg/Nm<sup>3</sup>, mentre le concentrazioni nell'impianto in oggetto variano in un intervallo tra i 22 e 43 mg/Nm<sup>3</sup>.

| Inquinante                              | Unità di misura           | Valore medio | Valore massimo | Valore minimo |
|---|---------------------------|--------------|----------------|---------------|
| PTS                                     | $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ | 79,5         | 118,4          | 52,9          |
| PM <sub>10</sub>                        | $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ | 63,7         | 85,5           | 48,6          |
| NO <sub>x</sub> (come NO <sub>2</sub> ) | $\text{mg}/\text{Nm}^3$   | 34,5         | 42,8           | 22,4          |
| SO <sub>2</sub>                         | $\text{mg}/\text{Nm}^3$   | n.r.         | n.r.           | n.r.          |
| CO                                      | $\text{mg}/\text{Nm}^3$   | 0,7          | 2,7            | 0,3           |
| CO <sub>2</sub>                         | %                         | 3,44         | 3,54           | 3,03          |
| O <sub>2</sub>                          | %                         | 14,36        | 15,21          | 14,20         |
| Mercurio                                | $\text{ng}/\text{Nm}^3$   | n.r.         | n.r.           | n.r.          |
| COV                                     | $\text{mg}/\text{Nm}^3$   | 0,54         | 0,93           | 0,29          |
| Aldeidi                                 | $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ | 1,0          | 1,5            | 0,3           |

Tab. 1 - Valori medi, minimi e massimi.

Nelle emissioni dell'impianto la presenza di biossido di zolfo (SO<sub>2</sub>) è risultata molto bassa, al di sotto del limite di rivelabilità dello strumento di misura. L'assenza o quasi di tale inquinante è dovuta alla piccola quantità di zolfo presente nel gas naturale impiegato.

La quantità di particolato emessa dalla centrale funzionante a piena potenza è come ci si aspettava, molto bassa (Tab. 2). La quantità di polveri PM<sub>10</sub>, problema ampiamente sollevato dall'articolo di Armaroli e Po, è risultata del tutto trascurabile. Infatti il valore medio del particolato PM<sub>10</sub> nelle emissioni (60  $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ ) risulta essere dello stesso livello di concentrazione in atmosfera riscontrato nei centri urbani del nostro paese.

Considerando che i valori descritti sono stati misurati al camino di uscita e che per una centrale come quella di Porto Corsini con un camino alto 90 metri, velocità dei fumi oltre 20 m/sec ed una temperatura dei fumi di circa 100 °C, la dispersione in atmosfera provoca una diluizione dei fumi stessi di un fattore medio di circa 1000, le concentrazioni ambientali che possono essere riscontrate in seguito alle attività di questo tipo di centrale risultano del tutto trascurabili. Ciò significa ad esempio che le concentrazioni in aria di particolato sottile sarebbero mediamente pari a circa 0,06  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

| Tipo polveri | Data       | $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$<br>(rif O <sub>2</sub> 15%) |
|--------------|------------|---|
| Totali       | 23/03/2004 | 118,4   |
| PM10         | 23/03/2004 | 84,6  |
| Totali       | 23/03/2004 | 57,5  |
| PM10         | 23/03/2004 | 49,6  |
| Totali       | 23/03/2004 | 52,9  |
| PM10         | 23/03/2004 | 48,6  |
| Totali       | 24/03/2004 | 101,7   |
| PM10         | 24/03/2004 | 85,5  |
| Totali       | 24/03/2004 | 67,2  |
| PM10         | 24/03/2004 | 50,7  |

Tab. 2 - Concentrazioni polveri.

Come atteso, la concentrazione di Mercurio presente nelle emissioni è inferiore al limite di rilevabilità di 10 ng/Nm<sup>3</sup> ed è quindi praticamente trascurabile.

Per quanto riguarda i composti organici volatili e la Formaldeide in particolare, il cui impatto insieme agli NO<sub>x</sub> potrebbe rappresentare uno dei principali problemi dovuti alle centrali a turbogas, sono state rilevate concentrazioni inferiori di due o tre ordini di grandezza rispetto ai limiti attualmente previsti dalla normativa vigente.

Per comprendere l'impatto ambientale della centrale a ciclo combinato è utile confrontare le emissioni con quelle di centrali convenzionali. A tal fine si riportano i dati ottenuti da un precedente studio effettuato in una centrale avente un gruppo da 660 MWe ed alimentata con tre diversi combustibili, Olio ATZ, Orimulsion e carbone [6]. La centrale in cui sono state effettuate le prove è dotata

dei seguenti sistemi di abbattimento, Precipitatore elettrostatico, DeNO<sub>x</sub> e DeSO<sub>x</sub>, gli impianti erano eserciti in maniera tale da rispettare i limiti fissati nell'atto autorizzativo. Inoltre si riportano i dati di una centrale da 320MWe alimentata a carbone in cui è presente un filtro a maniche per l'abbattimento delle polveri.

Nelle Tab. 3 e 4 sono riportati i flussi di massa annui calcolati a parità di ore di esercizio (7000 ore) e i fattori di emissione ricavati nel periodo di osservazione per i macroinquinanti ritenendo scontato che non può esservi confronto sui microinquinanti quali metalli pesanti e microinquinanti organici.

Come si evince nei fattori di emissione gli NO<sub>x</sub> presentano un fattore di emissione inferiore ma dello stesso ordine di grandezza degli altri combustibili, mentre per gli altri inquinanti è sempre di circa due ordini di grandezza inferiore.

| Inquinante       | Unità di misura | Valore medio | Valore medio | Valore medio | Valore medio |
|------------------|-----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|                  |                 | GNL          | Orimulsion   | Carbone      | ATZ          |
| Nox              | t/anno          | 455          | 1867         | 2796         | 1784         |
| CO               | t/anno          | 9,4          | 1174         | 730          | 475          |
| SO <sub>2</sub>  | t/anno          | n.r.         | 3281         | 4692         | 3596         |
| COV              | t/anno          | 7,1          | 1,2          | 1,7          | 1,3          |
| PTS              | t/anno          | 1,0          | 280          | 403   70*    | 218          |
| PM <sub>10</sub> | t/anno          | 0,84         | n.d.         | n.d.         | n.d.         |

n.d. = non disponibile

n.r. = non rilevabile

\* Centrale da 320 MWe

Tab. 3 - Flussi emissivi annui.

| Inquinante       | Unità di misura | Valore medio | Valore medio | Valore medio | Valore medio |
|------------------|-----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|                  |                 | GNL          | Orimulsion   | Carbone      | ATZ          |
| Nox              | Kg/MWe          | 0,21         | 0,46         | 0,61         | 0,44         |
| CO               | Kg/MWe          | 0,01         | 0,29         | 0,16         | 0,12         |
| SO <sub>2</sub>  | Kg/MWe          | -            | 0,81         | 1,03         | 0,88         |
| COV              | g/MWe           | 3,6          | 2,7          | 3,6          | 3,0          |
| PTS              | g/MWe           | 0,5          | 66,1         | 90,4   31,2* | 51,4         |
| PM <sub>10</sub> | mg/MWe          | 0,4          | -            | -            | -            |

\* Centrale da 320 MWe

Tab. 4 - Fattori emissione.

#### 4. Conclusioni

L'impiego su vasta scala delle centrali che utilizzano la tecnologia a ciclo combinato, consente un'opportuna diversificazione di combustibile, assicura un elevato rendimento ed un impatto ambientale modesto.

La quantità di materiale particolato emesso da una centrale a turbogas è trascurabile ed in linea con quanto stabilito dalla comunità europea che aveva ritenuto opportuno non fissare alcun limite. Il materiale particellare emesso è comunque formato essenzialmente da particelle fini e si deve tener conto che la massa è proporzionale al cubo del raggio della particella.

L'emissione di ossidi di azoto è conforme a quanto disposto dalla Direttiva Comunitaria in materia e, comunque la tecnologia dei bruciatori DNL consente attualmente di avere concentrazioni al di sotto dei 50 mg/Nm<sup>3</sup>.

Sulla base di quanto sopra esposto, si ritiene di affermare che attualmente le centrali a ciclo combinato rappresentano, fra quelle che utilizzano combustibili fossili, la tecnologia a minore impatto ambientale, precisando che non viene presa in esame nessuna valutazione sia di natura economica che strategica per l'approvvigionamento del combustibile.

#### Bibliografia

- [1] Draft Reference Document on Best Available Techniques for Large Combustion Plants; Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC), The European Commission, marzo 2001, p. 299.
- [2] N. ARMAROLI, C. PO, *Emissioni da centrali termoelettriche a gas naturale. La letteratura corrente e l'esperienza statunitense*. Chimica e Industria, 85(4), 45-50. 2003.
- [3] PAMELA L. SPATH, MARGARET K. MANN. *Life Cycle Assessment of a Natural Gas Combined-Cycle Power Generation System*, National Renewable Energy Laboratory, September 2000.
- [4] O. OLIVETTI SELMI, D. LE FRATERNALI, *Le emissioni di centrali a ciclo combinato, Analisi e confronto con impianti termoelettrici tradizionali* La Chimica e l'Industria 85, 1-4 Novembre 2003.
- [5] Emission Factor Documentation of AP-42 Section 3.1, Stationary Combustion Turbines, US Environmental Protection Agency, Alpha-Gamma Technologies Inc., Raleigh, North Carolina, 2000.
- [6] M. ROTATORI, E. GUERRIERO, A. SBRILLI, L. CONFESSORE, M. BIANCHINI, F. MARINO, L. PETRILLI, I. ALLEGRI, "Characterisation and evaluation of the emissions from the combustion of orimulsion-400, coal and heavy fuel oil in a thermoelectric power plant" Environmental technology, vol.24 pp 1017-1023 - 2003.