

Allegato 1.1A
Studio sul Particolato Secondario

INDICE

1	PREMESSA	1
2	EMISSIONI ED IMMISSIONI DA UN CICLO COMBINATO E FORMAZIONE DEL PARTICOLATO SECONDARIO	2
2.1	EMISSIONI DI UNA CENTRALE A CICLO COMBINATO	2
2.1.1	Descrizione delle Emissioni	2
2.1.2	Emissioni di NO_x	4
2.2	IMMISSIONE DI NO_x E DI PARTICOLATO PRIMARIO DA UNA CENTRALE A CICLO COMBINATO	5
2.3	FORMAZIONE DEL PARTICOLATO SECONDARIO	6
2.3.1	Origine del Particolato Secondario	6
2.3.2	Formazione di Particolato Secondario a partire da precursori emessi da una centrale a ciclo combinato	6

1

PREMESSA

Nell'ambito del procedimento autorizzativo per la modifica del progetto autorizzato della centrale termoelettrica a ciclo combinato di Pianopoli (CZ), nel corso dell'incontro con il gruppo istruttore cella CTVIA dello scorso 29 settembre 2011, è emersa la necessità di fornire informazioni circa le caratteristiche delle emissioni della centrale e in particolare delle emissioni di particolato, primario e secondario.

La presente relazione intende descrivere il contesto emissivo proprio della Centrale con particolare riferimento alle emissioni di PM10 primario e secondario.

2 **EMISSIONI ED IMMISSIONI DA UN CICLO COMBINATO E FORMAZIONE DEL PARTICOLATO SECONDARIO**

Pare anzitutto opportuno approfondire quali siano le condizioni per le quali le emissioni delle centrali a ciclo combinato possano concorrere a determinare il superamento dei valori limite di qualità dell'aria, per quanto riguarda il contenuto di PM₁₀.

2.1 **EMISSIONI DI UNA CENTRALE A CICLO COMBINATO**

2.1.1 **Descrizione delle Emissioni**

Nelle centrali termoelettriche a ciclo combinato le emissioni sono originate dalla combustione del gas naturale che avviene nell'apposita camera delle Turbine a gas (per brevità: 'turbogas'). Tali emissioni, costituite principalmente da Azoto, Ossigeno e vapor acqueo, sono caratterizzate anche da una modesta presenza di Ossido di Carbonio (CO) e di Ossidi di Azoto (NO_x).

Nelle emissioni degli impianti a gas è assolutamente trascurabile la presenza di Biossido di Zolfo (SO₂), poiché il gas naturale contiene solo modeste tracce di zolfo. (15 mg/Smc max, come da Codice di Rete Snam Rete Gas); tale contenuto può generare, al massimo, emissioni di SO₂ di circa 1 mg/Nm³.

L'assenza virtuale di materiale particolato nelle emissioni di questo tipo di impianti è indirettamente confermata 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" che non prevede alcun limite per il particolato emesso dalle turbine a gas (Parte B, Allegato VII). Tale decisione non può che provenire dalla constatazione che le centrali a ciclo combinato non emettono particolato, se non in quantità assolutamente trascurabile.

Infatti, le emissioni di particolato primario filtrabile sono, in generale e prudenzialmente, stimate nell'ordine di 0,1 t/PJ dall'International Institute for Applied Systems Analysis (*Modelling Particulate Emissions in Europe, IIASA-Vienna*), ovvero 0,1 g/GJ.

La concentrazione media delle emissioni al camino, misurata presso centrali italiane gestite da diversi produttori, si attesta su valori ben inferiori a 1 mg/Nm³: (si vedano ad esempio il documento *Emissioni in Atmosfera da Turbogas* predisposto nel 2004 da ARPA Emilia Romagna, e la *Relazione tecnica – Determinazione di inquinanti emessi da fonti stazionarie* emesso nel 2004 da ARPA Veneto)

Le misurazioni di PM₁₀ effettuate, a partire dal 2006, da Edison, per mezzo di società terze qualificate, sul proprio parco di cicli combinati (equipaggiati con DLN), indicano emissioni di PM₁₀ variabili tra 0,022 e 0,03 mg/Nm³.

La relazione, inoltre, dei Dott. Ivo Allegrini, E. Guerriero, M. ..Rotatori, A. Sbrilli (dell'Istituto Inquinamento Atmosferico del CNR) - 2004 pag 689 e ss., riporta valori emissivi, risalenti al marzo 2004, relativi ad un monitoraggio di inquinanti avvenuto presso la centrale ENEL a ciclo combinato di Porto Corsini (RA), dello stesso ordine di grandezza di quelli misurati nelle Centrali Edison.

Lo scopo di questo monitoraggio era quello di determinare, per una moderna centrale a ciclo combinato, le emissioni di particolato totale (PTS), particolato fine (PM₁₀), Ossidi di Azoto (NO_x come NO₂), SO₂, CO, Mercurio, Sostanze Organiche (VOC, Volatile Organic compounds) e Aldeidi.

I valori rilevati, in collaborazione con il CESI, nel periodo di riferimento (ore 20.00 del 22/03/2004 – ore 14.00 del 25/3/2004) sono riportati nella seguente tabella.

Tabella 2.1.1a Valori Rilevati nel Monitoraggio della Centrale di Porto Corsini (ENEL)

Inquinante	Unità di Misura	Valore medio	Valore massimo	Valore minimo
PTS	µg/Nm ³	79.5	118.8	52.9
PM10	µg/Nm ³	63.7	85.5	48.6
NO _x (come NO ₂)	mg/Nm ³	34.5	42.8	22.4
SO ₂	mg/Nm ³	n. r.	n. r.	n. r.
CO	mg/Nm ³	0.7	2.7	0.3
Mercurio	ng/Nm ³	n. r.	n. r.	n. r.
VOC	mg/Nm ³	0.54	0.93	0.29
Aldeidi	µg/Nm ³	1.0	1.5	0.3
Limiti di rilevabilità: SO ₂ = 1 mg/Nm ³ , Mercurio = 10 ng/Nm ³				

Tali dati mostrano, da una parte, la buona qualità ambientale dei cicli combinati di nuova generazione e, dall'altra, l'ottima qualità del metano utilizzato in Europa (assenza, per quanto rilevabile, di zolfo e mercurio).

E' opportuno sottolineare che la competenza scientifica e la rigosità della metodologia utilizzata dal CNR e dal CESI per il campionamento e l'analisi fanno, di quest'ultima relazione un elemento conoscitivo di estrema importanza per il dimensionamento delle emissioni atmosferiche dei cicli combinati di ultima generazione.

Merita un'ulteriore considerazione il tenore di particolato proprio dell'aria aspirata come comburente del gas naturale, che contiene sicuramente del particolato sottile che subisce i seguenti destini:

- in parte viene trattenuto dai filtri posti sul circuito di aspirazione e quindi rimosso durante le operazioni di pulizia filtri, oppure viene combusto, nella sua componente organica, in camera di combustione;
- in parte va a costituire le emissioni al camino.

Qualunque sia il destino delle polveri aspirate, la loro quantità andrebbe correttamente sottratta alle emissioni misurate al camino per avere un'effettiva stima delle emissioni aggiuntive. Al fine del calcolo di tali emissioni aggiuntive non ha infatti rilevanza se le polveri aspirate siano rimosse dal sistema di filtri e

quindi sostituite da “nuove” emissioni oppure se esse transitino all’interno della camera di combustione e della turbina per essere ri-emesse al camino.

Pare utile segnalare, da ultimo, che anche le analisi qualitative del particolato emesso dai cicli combinati, confermano *“caratteristiche chimico-fisiche simili ai terreni e/o argille tipiche del luogo sede d’impianto, con assenza di particelle carboniose e di particelle contenenti metalli pesanti”*¹

Le emissioni di Monossido di Carbonio, che non influenzano significativamente la qualità dell’aria, in quanto i limiti previsti per questo inquinante sono molto elevati (circa 1.000 volte superiori rispetto alle ricadute al suolo delle emissioni dei turbogas), non concorrono in alcun modo alla formazione di particolato secondario.

Gli unici inquinanti che, potenzialmente, sono in grado di influenzare la qualità dell’aria nell’intorno delle centrali turbogas sono gli Ossidi di Azoto (NO_x).

2.1.2 Emissioni di NO_x

La reazione chimica di ossidazione di Azoto molecolare, che avviene ad elevata temperatura (e quindi avviene in tutti i processi di combustione), provoca la formazione di monossido di Azoto (NO) e di minori quantità di Biossido di Azoto (NO₂). Per i cicli combinati, la Direttiva sopra citata prevede una concentrazione massima in uscita (per impianti con rendimento $\eta > 55\%$) di 75 mg/Nm³; le concentrazioni massime oggi prescritte in Italia nei nuovi impianti a ciclo combinato sono più ridotte (30 mg/Nm³) e quelle ottenibili nell’effettivo esercizio, a regime, di nuovi impianti sono solo leggermente inferiori.

Il raggiungimento di questi livelli di emissione implica, comunque, l’adozione di dispositivi tecnici in grado di ridurre la formazione di ossidi di Azoto (NO_x). Il dispositivo usato nelle centrali in oggetto è costituito da particolari bruciatori denominati *Dry Low NO_x* (DLN) che assicurano condizioni termodinamiche e fluidodinamiche, in camera di combustione, tali da assicurare la formazione di Ossidi di Azoto in quantità compatibile con gli standard di emissione.

2.1.2.1 La composizione dell’NO_x e la sua chimica

Al fine di valutare l’impatto ambientale di queste emissioni, particolarmente per quanto riguarda la salvaguardia della salute umana, è opportuno specificare che la specie prevalente nelle emissioni di Ossidi di Azoto (NO_x) è costituita dal Monossido di Azoto (NO), specie questa non classificata come inquinante.

Successivamente al processo di emissione, le reazioni chimiche che avvengono in atmosfera possono trasformare il Monossido di Azoto in Biossido di Azoto (NO₂), che è considerata specie inquinante. A sua volta, il Biossido si può

¹ D. Cipriano – CESI - *Emissioni inquinanti – Studio sperimentale sulle emissioni di polveri sottili da gruppi termoelettrici turbogas* - Settembre 2005

trasformare in Acido Nitrico (HNO_3) e in Nitrato di Ammonio (NH_4NO_3), sotto forma di particolato (secondario).

La concentrazione di Biossido di Azoto in atmosfera sarà la risultante tra le velocità della sua formazione attraverso l'ossidazione del Monossido di Azoto, e quella della sua rimozione attraverso la successiva ossidazione ad Acido Nitrico e, infine, alla neutralizzazione a Nitrato Ammonico.

Le reazioni di formazione di Acido Nitrico sono ben note ed i valori delle velocità specifiche di formazione portano a concludere che esse non appaiono rilevanti ai fini dell'inquinamento a breve distanza. In altri termini, **la reazione di ossidazione totale dell'Azoto è relativamente lenta e quindi la massima concentrazione di NO_3 e di HNO_3 si riscontra a lunga distanza, in una situazione in cui il pennacchio delle emissioni viene ad essere estremamente diluito** così da essere praticamente trascurabile.

2.2

IMMISSIONE DI NO_x E DI PARTICOLATO PRIMARIO DA UNA CENTRALE A CICLO COMBINATO

Data l'altezza del camino (nel caso in esame 50 m) e la grande massa di fumi caldi che da esso fuoriescono, gli inquinanti tendono a portarsi a significative altezze.

In una Centrale termoelettrica, l'altezza a cui giunge normalmente il pennacchio può cautelativamente essere assunta pari a 500m (nei casi in cui l'altezza dello strato di miscelamento sia inferiore a 500m, il pennacchio ha generalmente sufficiente margine di galleggiamento per determinarne lo sfondamento con conseguenti concentrazioni trascurabili al suolo).

Per quanto riguarda la stima delle ricadute medie annue di particolato primario è necessario riferirsi a modelli matematici specifici e, tra questi, i modelli gaussiani (es. ISC3) e/o Lagrangiani (es. Calpuff oppure SPRAY) che, implementati con il database dei dati meteorologici, possono fornire i valori di ricadute medie annue e dei vari percentili.

Per la Centrale di Pianopoli, mediante il modello Calpuff è stato stimato che la concentrazione media annua al suolo di NO_x immessi, nelle zone di massima ricaduta, è dell'ordine di $0,1 \div 1,25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (con un valore massimo di 2,60 in una zona distante da centri abitati); tali valori sono originati da un'emissione di NO_x al camino di $30 \text{ mg}/\text{Nm}^3$. (si veda "Studio di Impatto Ambientale. Quadro Ambientale", para. 4.3.1.2c e fig. 4.3.1.2i).

Considerando il PM_{10} come un comune inquinante chimico, ed ipotizzando (molto cautelativamente, rispetto ai dati emissivi sopra riportati) un'emissione di PM_{10} di $0,1 \text{ mg}/\text{Nmc}$ si avrebbero, per analogia (fattore di proporzione relativo alle due emissioni: $0,1/30 = 0,0033$) e nelle zone di massima ricaduta, concentrazioni medie annue di particolato primario immesso pari a $0,003 \div 0,004 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (valori, come si vede, assolutamente trascurabili).

2.3 **FORMAZIONE DEL PARTICOLATO SECONDARIO**

2.3.1 **Origine del Particolato Secondario**

Il *Particolato Secondario* si forma attraverso processi di condensazione di sostanze a bassa tensione di vapore, precedentemente formatesi attraverso evaporazione ad alte temperature, o attraverso reazioni chimiche dei gas presenti in atmosfera che generano, a loro volta, particelle solide o aerosol attraverso processi di condensazione.

Le particelle solide o gli aerosol, dopo che si sono originati, crescono attraverso meccanismi di *coagulazione*, cioè attraverso la loro unione, o attraverso meccanismi di *condensazione*, cioè mediante la trasformazione in liquido di gas o particelle sotto forma di vapore sulla superficie di particelle solide già formate.

L'efficienza della coagulazione è maggiore in presenza di un'alta densità di particelle, quella della condensazione è maggiore in presenza di grandi quantità di superfici di condensazione. L'efficienza di entrambe, quindi, diminuisce con il crescere della dimensione delle particelle. Il limite superiore all'accrescimento delle particelle mediante questo processo è pari a circa 1 µm.

2.3.2 **Formazione di Particolato Secondario a partire da precursori emessi da una centrale a ciclo combinato**

Per il caso in esame, il Particolato Secondario è potenzialmente dovuto, come detto, alla formazione in atmosfera di nitrati (e, in misura assolutamente trascurabile, di solfati) a partire dagli ossidi che sono, in generale, gli inquinanti emessi dalle centrali e dagli altri impianti di combustione.

La concentrazione massima di Particolato Secondario si manifesta, come detto, a diversi chilometri dalla sorgente e assume valori assai limitati in ragione della grande diluizione che le emissioni subiscono a notevoli distanze dal camino (alcune decine di km).

Le emissioni di Ossidi di Azoto, per la centrale di Pianopoli da 817 MW, saranno al massimo (funzionamento a pieno carico per 8.170 ore/anno) pari a 1.070 ton/anno (si veda "Studio di Impatto Ambientale - Quadro Progettuale", para. 3.6, pag. 65).

E' opportuno sottolineare, già da ora, che il contributo specifico di NO_x per ogni Megawattora prodotto dalla Centrale di Pianopoli sarà molto modesto (165 g/MWh, in condizioni standard ed a pieno carico) e, quindi, di gran lunga inferiore rispetto alle emissioni medie del parco termoelettrico Italiano. Assolutamente trascurabile, come detto, sarà invece il contributo in termini di SO₂ emesso.

Non è tuttavia possibile indicare la percentuale di conversione, in un determinato istante, dell'Ossido di Azoto in Nitrati (polveri sottili) in quanto questa trasformazione dipende da diversi fattori: irraggiamento solare al momento

dell'emissione/trasporto, presenza di ozono, di ioni ossidrilici, di umidità e di eventuali altri precursori nell'atmosfera.

Il processo di formazione dei nitrati è molto complesso ed avviene sicuramente in un intervallo di tempo considerevole (si stima, nelle varie condizioni climatiche, che la trasformazione totale di NOx in Nitrati possa avvenire in un lasso di tempo variabile tra 24 e 72 ore, dal momento dell'emissione).

Si sintetizzano, qui di seguito i principali elementi di valutazione qualitativa di detto fenomeno²:

- la formazione di particolato dipende in maniera preponderante dalla continua disponibilità in atmosfera di O₃ (necessario per l'ossidazione di NO a NO₂ e a NO₃): disponibile in maggiori quantità durante i mesi estivi;
- dipende altresì dall'intensità di radiazione UV, necessaria per la formazione di OH⁻ onde poter ossidare NO₂ ad HNO₃: più frequente/intensa nei mesi estivi;
- dipende, ovviamente, dalla disponibilità di NH₃ (in generale disponibile a seguito di trasporto atmosferico dei composti ammoniacali dalla campagna ai centri abitati ed anche a motivo dell'emissione, pur modesta, di ammoniaca dalle marmitte catalitiche delle autovetture);
- l'umidità relativa (per valori tra il 90 e il 100%) sposta l'equilibrio gas/solido verso la formazione delle specie solide poiché, a loro volta, si dissolvono nelle goccioline di nubi/nebbie;
- l'irraggiamento solare ha una notevole influenza anche sulla dispersione dei precursori a motivo delle correnti ascensionali che induce negli strati bassi dell'atmosfera (quindi: grande diluizione dei precursori durante i mesi estivi);
- la formazione concorrente di solfati (ad esempio solfato di ammonio) è più lenta e quindi avviene a maggior distanza dalle sorgenti; tuttavia i solfati sono meno solubili e quindi permangono più a lungo, rispetto ai nitrati, in atmosfera³;
- da ultimo: la concentrazione di particolato secondario negli strati bassi dell'atmosfera sarà, ovviamente, la risultante tra il quantitativo di particolato generatosi, in una unità di volume, dai precursori ed il particolato depositato al suolo e su altre superfici nella stessa unità di volume.

² La presente sintesi è tratta da uno studio, in data NOV. 2005, del CNR - Istituto di Inquinamento Atmosferico - autori: I. Allegrini, F. Vichi e A. Pietrodangelo- per Roma Energia " IMPATTO AMBIENTALE PER LA QUALITA' DELL'ARIA CENTRALE TURBOGAS, ROMA, PANTANO di GRANO"

³ La *solubilità* è la quantità di sostanza che può essere sciolta in un litro di soluzione acquosa; la solubilità del nitrato di ammonio, a 20°C è di 192 g/l, contro i soli 75,4 g/l del solfato di ammonio (*Robert H. Perry et alii, Perry's Chemical engineers' handbook*).

Sinteticamente si può affermare che il particolato secondario trova nei periodi estivi le condizioni chimiche e di irradiazione più favorevoli per la sua formazione, ma trova altresì, negli stessi mesi, le condizioni per una maggior diluizione/dispersione a motivo del grande rimescolamento verticale dell'atmosfera.

I fenomeni, invece, di inquinamento acuto da PM₁₀ (particolarmente frequenti in pianura padana) durante i mesi invernali sono da attribuirsi, principalmente, al ristagno di una molteplicità di inquinanti (e, tra questi, diversi radicali liberi, e tra questi i perossidici, che possono attivare la trasformazione di una notevole quantità di precursori in particolato), negli strati dell'atmosfera prossimi al suolo, là dove vengono emessi dalle varie sorgenti (o risollepati dal traffico veicolare), a motivo della particolare condizione climatica di assenza di venti sia nelle componenti orizzontali che in quelle verticali.

Per quanto riguarda le emissioni di una centrale a ciclo combinato si deve invece considerare che sia la quota assoluta di rilascio (+50 mt sopra il p.c.) sia la velocità di espulsione (circa 20 m/sec) che, infine, la temperatura dei fumi (circa 100 °C) provocano un notevole innalzamento del pennacchio (di norma superiore ai 500 m). Tale elevazione consente di sfondare, durante i mesi invernali, lo strato di rimescolamento (normalmente basso) con conseguenti concentrazioni praticamente nulle al suolo e, durante i mesi estivi, di seguire, con ulteriore spinta, le correnti ascensionali/convettive che si instaurano, in modo naturale, a motivo dell'irraggiamento solare e, quindi, del maggior riscaldamento degli strati bassi dell'atmosfera.

Alle quote di innalzamento del pennacchio le velocità dei venti sono ovviamente maggiori e maggiore sarà quindi sia la diluizione, cui vanno incontro, sia la distanza di ricaduta degli inquinanti.

Volendo tuttavia valutare, almeno per ordine di grandezza, la dimensione del fenomeno dell'immissione di particolato secondario causato dalla Centrale a Ciclo combinato nell'area vasta di pertinenza, a partire dalla ricaduta media annua di NO_x, stimata come detto, nelle zone di massima ricaduta, nell'ordine di 0,1÷1,25 µg/m³ (e fatta salva unicamente la cella col dato peggiore, distante comunque da centri abitati) si possono proporre le seguenti semplificazioni, assolutamente cautelative (nel senso che sovrastimano abbondantemente il dato immissivo):

- il tempo di trasformazione di NO_x in particolato secondario sia compreso nel tempo trascorso tra l'emissione di NO_x e la rispettiva immissione al suolo; nella realtà, come detto, tale tempo è di gran lunga superiore e quindi il dato immissivo al suolo di NO_x (che si concretizza in tempo relativamente veloce) non può essere assunto come base di calcolo per la valutazione dell'immissione di PM₁₀ in quanto il quantitativo di NO_x depositato in una qualsiasi cella del territorio viene spostato dal vento a distanze ben maggiori, e quindi diluito, nel lasso di tempo necessario per la sua trasformazione in PM₁₀;

- il rapporto di trasformazione, in peso, di NO_x in Nitrati, come valutato da APAT (2004)⁴, sia pari all'88% del peso degli NO_x emessi (si può assumere che la restante parte di NO_x non reagisca oppure venga depositata su pareti/suolo come HNO₃). Tale valore di conversione (che già include il fattore di conversione dovuto ai differenti pesi molecolari) è assunto da APAT come valore massimo della trasformazione (ma, come noto, con una tempistica molto ampia).

Pertanto la concentrazione media annua di particolato secondario, che si potrà formare a partire dal precursore NO_x, potrà, al massimo e nei punti di maggior ricaduta, relativamente prossimi alla nuova centrale, essere pari a $0,09 \div 1,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Valori, come si vede, che, pur sovrastimando largamente il fenomeno, sarebbero trascurabili.

Al fine di meglio chiarire l'influenza della Centrale sulla qualità dell'aria nella sua area di influenza a scopo di esempio sono di seguito presentati i dati ottenuti calcolando le ricadute di PM₁₀ e Ossidi di azoto in un raggio di 60 km delle emissioni dei camini della Centrale Edison di Presenzano da 810 MWe, dunque e di caratteristiche analoghe a quella di Pianopoli.

I contributi delle centrali termoelettriche alla formazione di PM₁₀ sono stati calcolati sia considerando i fattori di conversione sopra richiamati che utilizzando il modello MESOPUFF II (Scire et al., 1984b) incluso nel sistema di modelli CALPUFF. Questo codice di calcolo è capace di modellare il meccanismo di reazione chimica per la conversione di NO_x in particolato secondario formato da un aerosol di NH₄NO₃ e HNO₃. e tiene conto dei parametri ambientali maggiormente significativi sulle velocità di trasformazione sia dal punto di vista spaziale che temporale. In particolare il modello MESOPUFF II è in grado di simulare le reazioni fotochimiche che avvengono in fase gassosa tra gli NO_x e l'O₃, che portano alla formazione dell'HNO₃ e quelle tra quest'ultimo composto e l'NH₃ che portano alla formazione dell'NH₄NO₃.

I valori di media annua restituiti dal modello MESOPUFF II, nel dominio di calcolo di 130 x 130 km, sono compresi tra 0,002 e 0,008 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. I valori maggiori sono ovviamente quelli relativi alle aree più vicine al sito di centrale.

In generale, i valori relativi alle celle di territorio più vicine alla nuova centrale indicano una minor incidenza di almeno 4-5 volte rispetto all'applicazione, tout-court, del rateo di trasformazione di 0,88, proposto da APAT. Alla periferia del

⁴ **EMISSIONI IN ATMOSFERA NELLE AREE URBANE**
R.DE LAURETIS, R.LIBURDI (APAT 2004 - pag. 60)

"In considerazione dell'importanza che può avere la formazione di particolato secondario sui valori di qualità dell'aria, sulla base di quanto proposto dall'Agenzia Europea per l'ambiente (EEA, 2003), si sono stimate per ogni città, a titolo indicativo, le emissioni di particolato secondario assegnando un differente peso alle emissioni di SO_x, NO_x e NH₃, sostanze precursori del PM. In particolare le emissioni di SO_x vengono moltiplicate per un fattore pari a 0.54, le emissioni di NO_x per 0.88 e quelle di NH₃ per 0.64. Questi pesi rappresenterebbero il contributo che danno tali sostanze alla formazione di particolato secondario".

dominio di calcolo i valori di particolato sono man mano decrescenti e ciò indica la tendenza all'annullamento dell'immissione di PM10 a distanze ancora maggiori.

Le simulazioni effettuate forniscono anche elementi, ricavati dallo stesso modello (CALPUFF) col quale sono stati stimati i dati di immissione degli NOx, in merito alla valutazione delle distanze alle quali si trovano approssimativamente gli inquinanti (NOx) dopo un tempo di 48 e 72 ore dall'emissione nelle condizioni meteorologiche che determinano i valori statistici massimi. Orbene tali distanze sono notevolmente superiori (di due ordini di grandezza) rispetto a quelle esistenti tra la Centrale e le celle maggiormente "impattate". Pertanto trova adeguata motivazione il giudizio di non congruità dell'applicazione, tout court, del rateo di trasformazione di NOx in particolato secondario, proposto da APAT, anche nel caso di esame delle medie annuali.

In merito alla stima delle **concentrazioni critiche** di particolato secondario immesso dalla Centrale, è opportuno fare anzitutto alcune precisazioni di carattere qualitativo:

- i valori medi orari non sono, in sé, significativi per la normativa vigente che indica, come limite, un numero massimo di superamenti annui del valore limite di media giornaliera ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$);
- per l'eventuale stima dei valori critici della media giornaliera di particolato immesso a partire dall'immissione di precursori, occorre tener presente quanto segue:
 - il valore limite, a fronte del quale vengono conteggiati gli eventi di superamento, è, come detto, quello della media giornaliera; ora è noto che periodi di mediazione dell'intera giornata portano ad eliminare i possibili picchi (dovuti a particolari transitori atmosferici) all'interno delle 24 medie orarie; pertanto già il passaggio da una media oraria ad una giornaliera è in grado di ridurre sensibilmente i valori più alti di tali dati numerici;
 - è noto che le condizioni atmosferiche per le quali, di solito, si riscontrano i valori più alti di immissione di NOx sono tipiche di un vento teso (che deprime il plume) tale da immettere, nell'immediata area di interesse, un valore di NOx significativamente superiore alla media annua. Ma è altrettanto noto che tali condizioni di vento rimuovono, o diluiscono sensibilmente, sia gli NOx, che il particolato e gli altri precursori presenti in atmosfera. Non risultano, infatti, statistiche di superamento dei valori limite della media giornaliera di PM10, in condizioni di vento teso o, in generale, di turbolenza atmosferica. In tali casi, il tempo che trascorre tra l'emissione e il verificarsi dell'immissione relativa ai valori massimi di NOx, non potrà essere che di una frazione di ora. Pertanto, in quel modesto lasso di tempo, la trasformazione di NOx in particolato secondario sarà sicuramente estremamente bassa, e la diluizione/dispersione cui il particolato, eventualmente formatosi, andrà incontro, a motivo della turbolenza/trasporto, sarà sicuramente molto elevata.
 - nei casi, invece, di calma di vento (durante i quali sono possibili fenomeni di addensamento degli inquinanti emessi negli strati di atmosfera prossimi

al suolo, ove ristagnano o vengono risollevati dai mezzi di trasporto) valgono le considerazioni fatte in merito all'innalzamento del pennacchio; tale innalzamento e il conseguente sfondamento dello strato di rimescolamento, è in grado di produrre una grande diluizione/trasporto degli inquinanti negli strati superiori dell'atmosfera. Pertanto in tali condizioni atmosferiche, l'immissione di NOx e di particolato secondario da parte delle Centrali a ciclo combinato sarà sicuramente trascurabile e, in ogni caso, riscontabile, con bassissime concentrazioni, a distanze di qualche decina di km dal punto di emissione.

Pertanto nei due casi estremi considerati (vento teso e calma di vento con basse quote dello strato di rimescolamento) non sussistono le condizioni per una formazione consistente di particolato secondario e la stima dei valori massimi delle relative immissioni sarà di ordini di grandezza inferiore a quella stimata per l'immissione di NOx.

Le reali condizioni atmosferiche e i meccanismi di trasformazione dei precursori in particolato secondario non consentono, quindi, l'immissione di apprezzabili quantità di particolato secondario nell'area vasta di pertinenza della Centrale.

Concludendo: pare ancora opportuno sottolineare che le emissioni specifiche di NOx attese dalla Centrale di Pianopoli, (meno della metà di quelle proprie del parco termoelettrico italiano) e quindi anche le ricadute di particolato secondario risulteranno assolutamente trascurabili, non essendo stata riscontrata, ad oggi, alcuna documentata situazione di inquinamento da particolato imputabile alle emissioni di centrali a ciclo combinato, né a livello italiano né a quello europeo.

Il fenomeno di formazione del particolato secondario, dovuto a Centrali a ciclo combinato, non può quindi avere rilevanza né su scala locale né su quella interregionale. Per considerazioni su scala ancor più vasta valgono le considerazioni fatte in merito alla bassa emissione specifica di NOx dei moderni cicli combinati e alla sostanziale assenza di ossidi di zolfo rispetto alle tecnologie convenzionali che utilizzano altri combustibili, contribuendo quindi al miglioramento generale, su scala nazionale, della qualità dell'aria.