

D.5 Relazione tecnica su dati e modelli meteorologici

I dati meteorologici necessari a condurre le simulazioni matematiche del trasporto e diffusione degli inquinanti aerodispersi dal camino della centrale sono stati ottenuti a seguito di approfondita analisi dei dati raccolti dalle cabine di monitoraggio della qualità dell'aria ubicate nel comune di Benevento. Tali stazioni fanno parte della rete di Monitoraggio dell'Aria della Regione Campania gestita dal Centro Regionale Inquinamento Atmosferico (CRIA) dell'ARPAC. I dati fanno riferimento ad un periodo temporale compreso tra il 1994, anno in cui è stata realizzata la rete di monitoraggio, ed il 2003.

La disponibilità di serie storiche sufficientemente lunghe (1994 – 2001) ha permesso di ottenere una caratterizzazione meteorologica sito specifica e statisticamente valida, tale da consentire una corretta valutazione dei processi di diffusione e trasporto atmosferico degli inquinanti rilasciati dall'impianto in oggetto nell'area di riferimento.

Il quadro conoscitivo è stato integrato e completato con una campagna di monitoraggio della qualità dell'aria (29/01/03 - 7/02/03) condotta nei pressi del lotto della Centrale Luminosa in cui sono stati rilevati oltre ai principali inquinanti anche i principali parametri meteorologici.

I dati orari della serie storica sono stati opportunamente elaborati per ottenere i parametri meteorologici nel forma richiesta per le simulazioni "long term".

In particolare sono state calcolate:

- le frequenze medie di accadimento del vento per classi di velocità e per classi di direzione di provenienza (6 classi di velocità e 16 classi di direzione);
- la distribuzione stagionale delle classi di stabilità atmosferica (classi di Pasquill);
- le temperature medie stagionali associate alle classi di stabilità atmosferica;
- le frequenze congiunte di accadimento stabilità atmosferica - velocità vento - direzione vento;
- l'altezza dello strato di mescolamento in funzione della stabilità atmosferica e della velocità del vento.

Le classi di stabilità atmosferica sono state determinate col metodo SRDT (Solar radiation/delta-T)¹ a partire dalle misure di radiazione solare. Per la valutazione delle classi di stabilità nel periodo notturno è richiesta la conoscenza delle temperatura a due differenti quote. Non essendo disponibile tale informazione, ponendosi in condizioni conservative, è sempre stata assunta la presenza di un gradiente verticale positivo per la temperatura.

L'altezza dello strato di mescolamento in condizioni di instabilità atmosferica e di neutralità è stata calcolata con la metodica NSW-EPA² che basa la quantificazione su una valutazione dell'altezza dello strato di mescolamento meccanico a partire dalla lunghezza di Monin-Obukhov in funzione della velocità del vento e della stabilità atmosferica.

Per le condizioni di stabilità atmosferica, come usuale nelle simulazioni climatologiche³, si è imposto uno strato di mescolamento illimitato (5000 m).

¹ US-EPA - Meteorological Monitoring Guidance for Regulatory Modelling Applications - EPA-454/R-99-005, 2000

² NSW-EPA - Approved Methods and Guidance for the Modelling and Assessment of Air Pollutants in New South Wales - EPA 2001/57, 2001

³ US-EPA - User's Guide for the Industrial Source Complex (ISC3) Dispersion Models - EPA-454/B-95-003a/b, 1995

Le quantificazioni delle concentrazioni attese al suolo degli inquinanti rilasciati dal camino della Centrale sono state realizzate utilizzando diversi apparati simulativi a crescente grado di raffinatezza e complessità, in modo da approfondire, con simulazioni mirate, le eventuali situazioni di criticità evidenziate preliminarmente tramite l'utilizzo di modelli simulativi meno complessi e più conservativi.

In primo luogo e su scala generale le simulazioni sono state effettuate con l'utilizzo integrato del modello ISC3 e del modello CALPUFF (modulo per le calme di vento) in modo da ottenere corrette quantificazioni sia in situazioni meteorologiche caratterizzate da presenza di vento (modello gaussiano ISC3), sia in condizioni di assenza di vento (modello a "puff" non stazionario CALPUFF).

Rispetto alla formulazione standard del modello ISC3 le simulazioni sono state effettuate tenendo conto della penetrazione parziale degli inquinanti aerodispersi oltre lo strato di mescolamento

Le simulazioni sono state effettuate sia in modalità "long term" sia in modalità "short term" in modo da valutare gli impatti sia sul lungo periodo (anno), sia sul breve periodo (ora) prendendo in questo caso a riferimento condizioni meteorologiche critiche.

Nell'area vasta le simulazioni hanno tenuto conto dell'effettivo andamento topografico del terreno mentre per le simulazioni nell'ambito locale si sono tenuti in considerazione, mediante opportune opzioni presenti nel programma di calcolo, gli effetti sui processi di trasporto e diffusione determinati dagli edifici circostanti la fonte di emissione.

Un dominio di simulazione di 40 x 40 km centrato sull'area di insediamento della Centrale è stato utilizzato per documentare nell'area vasta possibili scadimenti nella qualità dell'aria correlati all'esercizio della Centrale. Entro tale area le concentrazioni attese al suolo (1,5 m dal piano di campagna) sono state valutate ai vertici di un reticolo a maglie quadrate di 250 m di lato, per un totale di 25'921 punti di calcolo.

Inoltre per avere una rappresentazione di maggior dettaglio della situazione attesa nell'immediato intorno della Centrale le simulazioni "long term" condotte sull'area vasta sono state ripetute anche su un dominio più ristretto di 2.000 x 2.000 m (area locale) con il calcolo delle concentrazioni al suolo ai vertici di un reticolo a maglie quadrate di 50 m di lato (1'681 punti di calcolo)

Le simulazioni sono state condotte per i due principali inquinanti rilasciati dal camino (NO_x e CO) assumendo emissioni corrispondenti ai valori limite (valori garantiti dai costruttori delle turbine a gas), come riportato nella seguente tabella unitamente alle caratteristiche geometriche di progetto del camino utilizzate nelle simulazioni.

Caratteristiche geometriche del Camino	
Altezza dal piano di campagna	60 m
Diametro interno	6,6 m
Emissioni inquinanti⁴	
NO _x	40 mg/Nm ³
CO	30 mg/Nm ³

⁴ Concentrazioni riferite ai fumi secchi e rapportate ad un contenuto di ossigeno pari al 15%.

Nelle simulazioni "long term" si è inoltre imposto un coefficiente di utilizzo di 8000 ore/anno

Sulla base dei bilanci termici eseguiti in sede di progettazione per condizioni operative nominali a diverse temperature ambiente e della conseguente composizione dei fumi, sono stati calcolati i parametri emissivi da utilizzare nei modelli per ogni condizione di stabilità atmosferica e, quindi per la temperatura ambiente associata a questa ultima. Tali dati sono esplicitati, suddivisi per stagione, nella seguente tabella

Stabilità atmosferica	Portata fumi (m ³ /s)	Velocità fumi (m/s)	Emissioni (g/s)	
			NO _x	CO
INVERNO				
Instabilità	655,20	19,15	23,55	17,66
Neutralità	673,25	19,68	34,02	18,01
Stabilità	689,57	20,16	24,43	18,92
PRIMAVERA				
Instabilità	623,95	18,24	22,75	17,06
Neutralità	647,56	18,93	23,760	17,52
Stabilità	668,05	19,53	23,89	17,92
ESTATE				
Instabilità	587,84	17,18	21,83	16,37
Neutralità	617,35	18,05	22,58	16,94
Stabilità	644,09	18,83	23,27	17,45
AUTUNNO				
Instabilità	618,74	18,09	22,62	16,97
Neutralità	643,74	18,82	23,26	17,45
Stabilità	663,88	19,40	23,78	17,83

In sede di integrazione del SIA è stata effettuata una simulazione finalizzata alla valutazione degli incrementi che le concentrazioni orarie di NO_x avrebbero subito nel corso del 2003 se fosse stata presente la centrale. Nella simulazione "short term" è stata utilizzata la sequenza di dati meteorologici orari per tutto il 2003 forniti da ARPAC/CRIA a fronte delle emissioni attese per la centrale come sopra riportate, le risultanze della simulazione sono state la sequenza oraria delle concentrazioni (incrementi) di NO_x attesi a seguito dell'esercizio della centrale.

La completa sequenza di dati orari necessari al modello è stata ricostruita quantificando:

- le classi di stabilità col metodo SRDT (Solar radiation/delta-T);

- l'altezza dello strato di mescolamento in condizioni di instabilità e di neutralità con la metodica NSW-EPA, mentre per condizioni di stabilità è stato assunto uno strato di mescolamento illimitato (5000 m).

Inoltre essendo disponibili solo dati di temperatura giornaliera, alle varie classi di stabilità, come suggerito da US-EPA⁵, è stata associata una temperatura ambiente corrispondente:

- alla massima temperatura giornaliera per condizioni di instabilità atmosferica;
- alla temperatura giornaliera media per le condizioni di neutralità atmosferica;
- alla temperatura giornaliera minima per le condizioni di stabilità atmosferica.

Le simulazioni in questo caso sono state effettuate utilizzando l'algoritmo di modellazione del comportamento di un pennacchio in presenza di orografia complessa adottato dal modello AERMOD.

Ciò in considerazione:

- delle note problematiche legate all'utilizzo del modello simulativo ISC3 in situazioni caratterizzate da un andamento orografico complesso;
- del fatto che dal novembre 2005 US-EPA ha incluso il modello AERMOD tra quelli raccomandati in sostituzione di ISC3.

E' noto che il modello ISC3 applicato ad ambiti territoriali ad orografia complessa, quale quello circostante la Centrale Luminosa, può portare a sopravvalutazioni delle concentrazioni al suolo in corrispondenza di rilievi. Tali valutazioni possono sovente risultare eccessive e non realistiche⁶. Anche per ovviare a tale limitazione è stato sviluppato il modello AERMOD quale evoluzione migliorativa del modello ISC3, con un processo di implementazione modellistica, prove e confronti durato circa 10 anni.

Infine per le tre situazioni caratterizzate dalle più alte concentrazioni è stato applicato il sistema modellistico CALMET/CALPUFF. Una tale linea modellistica è infatti in grado di assicurare una affidabile valutazione delle concentrazioni attese, anche attraverso un'accurata quantificazione della distribuzione dei campi di vento, specialmente in un'area ad orografia complessa quale quella d'ubicazione della Centrale. Le simulazioni sono state condotte per tre casi critici, caratterizzati da alte concentrazioni in corrispondenza di un rilievo posto a circa 7 km dalla centrale in direzione NW e quindi in una direzione interessata da venti da non trascurabile frequenza. Scopo di tale attività è stato quello di verificare se l'utilizzo di un più raffinato sistema modellistico, nonché più appropriato alle caratteristiche orografiche dell'area, comporti significative variazioni nelle concentrazioni con particolare riferimento alle condizioni meteorologiche critiche verificatesi in tre giornate del 2003.

Di seguito si riportano l'elenco dei dati meteorologici da fornire ai modelli per le varie tipologie di simulazioni.

Simulazioni "long term"

- frequenza delle classi di stabilità atmosferica (dati stagionali e annuali);

⁵ US-EPA - User's Guide for the Industrial Source Complex (ISC3) Dispersion Models - EPA-454/b.88-003a/b, 1995.

⁶ W.D. Peters, R.B. Wilson, A.J. Cimorelli, S.G. Perry, J.C. Weil, A. Venkatran - Comparison of regulatory Design Concentration, AERMOD versus ISC3 and CTDMPLUS - April 1999

UU-EPA - AERMOD: Latest features and Evaluation Results - EPA-434/R-03-003. June 2003.

- distribuzione delle frequenze del vento per classi di velocità e direzione per ciascuna classe di stabilità atmosferica (dati stagionali e mensili);
- altezza a cui è misurato il vento;
- temperatura aria per le classi di stabilità atmosferica (dati stagionali ed annuali);
- altezza dello strato di mescolamento per classe di stabilità atmosferica e velocità del vento (dati stagionali ed annuali);
- frequenze cumulate della persistenza delle calme di vento (dati stagionali ed annuali utilizzati dal modello CALPUFF - modulo per le calme di vento);

Simulazioni "short term"

Sequenza di dati orari relativi al periodo oggetto di simulazione relativi a:

- velocità del vento;
- direzione del vento;
- altezza a cui è misurato il vento;
- temperatura aria;
- classe di stabilità atmosferica;
- altezza dello strato di mescolamento.

Di seguito si riportano le modalità adottate per l'utilizzo integrato dei modelli ISC3 e CALPUFF (modulo per le calme di vento), nonché le modalità e gli algoritmi di calcolo utilizzati per rendere omogenee le simulazioni.

Il modello ISC3, come tutti i modelli gaussiani non è in grado di trattare situazioni di calma di vento. Per ovviare a questo inconveniente, seguendo le prescrizioni US-EPA⁷, le calme di vento sono assimilate a venti con la minima intensità trattata dal modello (1 m/s alla quota del rilascio).

Tuttavia condizioni di stagnazione protratte per lunghi periodi possono provocare elevate concentrazioni di cui le simulazioni con ISC3 non rendono conto.

Per ovviare a ciò è stato implementato l'utilizzo congiunto del modello ISC3 e del modulo per le calme di vento del modello CALPUFF.

Al fine di ottenere una migliore valutazione delle concentrazioni degli inquinanti aerodispersi in tutte le condizioni meteorologiche ed ovviare alla incapacità del modello ISC3 di trattare situazioni di calma di vento, tali situazioni vengono trattate dal modello CALPUFF (modello a "puff" non stazionario) realizzando un impiego integrato delle due risorse simulative.

I venti con velocità compresa tra 0.5 e 1.0 m/s, o il 50% dei venti registrati come "calme di vento" vengono assimilati a venti di 1.0 m/s (assegnando alla "calme di vento" la stessa distribuzione delle direzioni della classe di velocità in cui vanno in tal modo a ricadere) e vengono trattati dal modello ISC3.

I venti con velocità minore di 0.5 m/s o il 50% delle "calme di vento" vengono assimilati a vento con velocità nulla e vengono trattati con il modulo per le calme di vento del modello CALPUFF.

Combinando le risultanze dei due modelli si ottengono infine, per ogni ricettore, le concentrazioni attese (valori medi stagionali e annuali, sequenza delle concentrazioni orarie).

Per rendere omogenee le simulazioni il modello ISC3 utilizza i seguenti algoritmi di calcolo, utilizzati anche dal modello CALPUFF:

⁷ US-EPA - Guideline on Air Quality Models - 40 CFR, Chapter I, part 51, Appendix W, 2001

- salita degli effluenti trattati utilizzando le equazioni di Briggs del 1975⁸;
- penetrazione parziale oltre lo strato di mescolamento secondo lo schema proposto da Manins⁹:

Il trattamento del terreno è effettuato nel modello ISC3 utilizzando l'algoritmo COMPLEX 1. Nel modello CALPUFF per il trattamento del terreno viene attivata l'opzione che, nelle situazioni di calma di vento, è comparabile all'algoritmo implementato in ISC3.

Di seguito si riporta una sintetica descrizione dell'algoritmo utilizzato da AERMOD per trattare il comportamento di un pennacchio in presenza di orografia complessa. AERMOD modella il pennacchio di dispersione in atmosfera come una combinazione di due casi limite: un pennacchio orizzontale e un pennacchio che segue l'andamento del terreno. La concentrazione in corrispondenza dei ricettori è quindi calcolata come somma pesata delle concentrazioni associate con queste due tipologie di pennacchio:

$$C_T = f C_H + (1-f) C_F$$

dove C_T è la concentrazione totale, C_H è la concentrazione del pennacchio orizzontale, C_F è la concentrazione del pennacchio che segue l'andamento del terreno e f è il fattore di ripartizione.

Il fattore di ripartizione f è pari a:

$$f = 0.5 (1 + \Phi_p)$$

$$\Phi_p = M_b / (M_a + M_b)$$

dove M_b ed M_a sono rispettivamente la massa del pennacchio orizzontale sotto e sopra la quota H_c a sua volta funzione della velocità del vento, della frequenza di Brunt-Vaisala e della quota del terreno in corrispondenza del ricettore.

L'utilizzo di CALPUFF per la verifica di tre casi critici ha comportato il preventivo utilizzo del preprocessore meteorologico CALMET al fine di quantificare su una griglia tridimensionale estesa a tutto il dominio della simulazione la sequenza temporale dei parametri meteorologici di governo e controllo dei processi di trasporto e diffusione degli inquinanti aerodispersi.

CALMET è stato applicato sul dominio di 50x50 km con un reticolo di 500 m di lato. Tale risoluzione ha consentito la ricostruzione delle brezze monte-valle e degli incanalamenti dovuti alle strutture orografiche.

La struttura verticale dell'atmosfera è stata replicata mediante l'utilizzo di 10 livelli verticali, dal livello del suolo fino a raggiungere i 3500 m, consentendo così la simulazione delle condizioni sinottiche generali verificatesi nell'area nei periodi di tempo considerati.

La costruzione dei campi di vento tri- e bi-dimensionali ha richiesto l'integrazione delle misure al suolo, già utilizzate nelle altre simulazioni, con quattro profili verticali del modello a scala globale ECMWF di Reading e di due stazioni al suolo del Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare.

L'insieme dei dati meteorologici così ricostruiti è stato applicato al modello lagrangiano a "puff" non stazionario CALPUFF che simula i processi di trasporto e dispersione cui sono

⁸ G.A. Briggs . Plume rise prediction - Lectures on Air Pollution and Environmental Impact Analysis - A.M.S., Boston, 1975

⁹ J.S. Scire, D.G. Strimaitis, R.J. Yamartino - A User Guide for the CALPUFF Dispersion Model (Version 5) - Earth Tech, Inc., 2000

sottoposte le emissioni continue di sbuffi (puff) d'inquinante rilasciate in atmosfera da una o più sorgenti.

Al variare della direzione ed intensità del vento nel tempo e nello spazio la traiettoria di ogni puff cambia in modo da seguire la nuova direzione del vento in quel punto del dominio tridimensionale. La dispersione della massa inquinante, rappresentata dalle componenti della turbolenza atmosferica (σ_{yt} e σ_{zt}), è valutata mediante parametri di turbolenza (σ_v e σ_w) calcolati tramite i campi di CALMET delle variabili micrometeorologiche (L, u^* , w^* , ecc.). CALPUFF è stato applicato su un sottodominio 20x30 km centrato sul dominio utilizzato da CALMET e le concentrazioni al suolo sono state calcolate su una griglia regolare di passo 250 m