



CENTRALE DI SAN SEVERO

ISTANZA DI
AUTORIZZAZIONE INTEGRATA AMBIENTALE

ALLEGATO D5

Relazione sui dati meteorologici

INDICE

1	Climatologia.....	3
2	Modelli di dispersione degli inquinanti.....	6
2.1	Modello AVACTA II.....	6
2.1.1	Stima del campo di vento.....	6
2.1.2	Stima delle concentrazioni nel modello di dispersione di AVACTA II.....	8
2.1.3	Ipotesi di lavoro.....	10
2.2	Applicazione del modello di dispersione.....	13
2.3	Confronto con le simulazioni effettuate con altri modelli.....	13
2.4	Il modello SCREEN 3.....	14
2.5	Altezza effettiva del camino.....	15
3	Considerazioni generali sull'effetto <i>downwash</i>	15

1 Climatologia

La zona in esame si trova ai limiti del Tavoliere della Puglia. Il clima di questa zona è di tipo “Adriatico Meridionale”, presentando una spiccata continentalità rispetto ad altre aree costiere: inverni rigidi con due massimi di precipitazione in autunno ed in primavera ed estati secche. L’escursione termica annua supera i 20°C, con un aumento rilevante dell’umidità nel passare dalla fascia costiera alle zone pedemontane.

Le isoterme delle medie diurne assumono una forma fortemente allungata e compressa, parallela al mare ed alla catena appenninica. Le temperature estive sono relativamente elevate, con oltre 70 giorni/anno di tipo “tropicale” (temperatura superiore a 30° C).

Nella classificazione delle aree climatiche della Puglia contenuta nello studio “Monitoraggio della Qualità dell’Aria” all’interno del Programma Operativo Plurifondo della Regione Puglia (1994-99), l’area di San Severo è inserita nella 4a zona, denominata “Pianura Foggiana”, e comprendente Foggia, San Severo, Lucera, Orta Nova, Cerignola, S. Ferdinando di Puglia.

In prossimità di San Severo, la “Pianura Foggiana” confina con la zona delle Alture Garganiche (comprendente ad esempio Monte S. Angelo) e la zona delle Coste Adriatiche settentrionali (comprendente tra l’altro Vieste).

Le caratteristiche meteorologiche della “Pianura Foggiana” sono desunte dai dati rilevati dalla Stazione di Foggia Amendola.

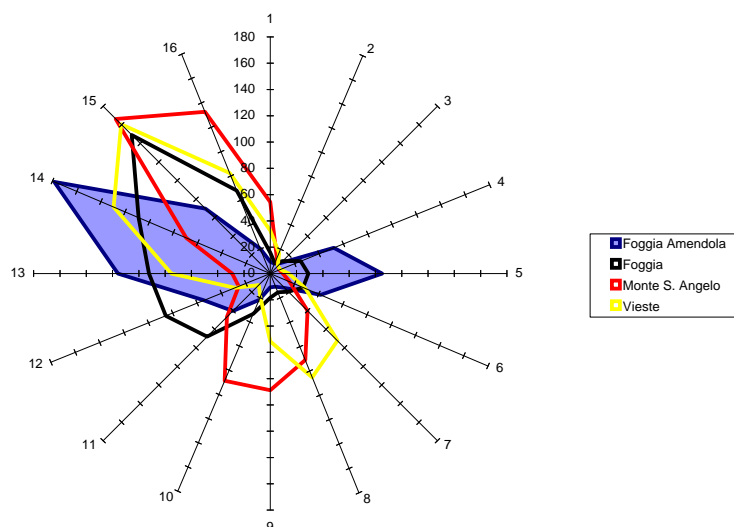
Vicino all’area vasta definita per questo studio, sono state rilevate quattro stazioni meteorologiche che coprono tempi di misura sufficientemente rappresentativi e che rilevano i parametri necessari alla dispersione atmosferica degli inquinanti (in particolare velocità e direzione del vento e stabilità atmosferica). La localizzazione delle stazioni ed il periodo di tempo di misura sono riportate nella Tabella 1.1.

Tabella 1.1 Stazioni Meteorologiche Situate in Prossimità dell'Area di Studio

Località	Altitudine (m)	Periodo
Foggia	81	1951 – 58
Foggia Amendola	60	1969 – 91
Vieste	67	1952 – 77
Monte S. Angelo	844	1952 - 91

La Figura 1.1 evidenzia le rose dei venti misurate nelle varie stazioni: si nota una generale uniformità delle direzioni prevalenti del vento (dominanti sono le provenienze da Nord – Ovest e da Sud – Est).

Figura 1.1 Rose dei Venti al Suolo per Diverse Stazioni



Nel seguito del presente documento si farà riferimento ai dati meteorologici misurati nella stazione di Foggia Amendola per i seguenti motivi:

- Le stazioni di Foggia e di Foggia Amendola si trovano nella stessa zona climatica di San Severo, come evidenziato precedentemente;

- La stazione di Foggia Amendola copre un periodo di misura ben superiore a quella di Foggia.

I dati misurati nella stazione di Foggia Amendola sono raccolti nelle pubblicazioni del Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare e dall'ENEL.

L'analisi statistica dei dati riportati nelle pubblicazioni sopra citate evidenzia che:

- La temperatura media annuale è di circa 15°C;
- La piovosità media annuale del periodo è di circa 500 mm.

Nello studio della dispersione degli inquinanti, particolare importanza assumono inoltre i dati relativi alla stabilità atmosferica ed alle inversioni termiche.

La stabilità atmosferica è di norma definita attraverso il gradiente termico verticale esistente, ovvero attraverso le variazioni della temperatura dell'aria con la quota: da essa dipendono le modalità della dispersione nello strato limite atmosferico.

Solitamente si qualifica tale parametro introducendo le cosiddette classi di stabilità di Pasquill; esse comprendono tre classi per l'instabilità (A, B e C), una classe per la neutralità (D) e due classi per la stabilità (E ed F).

Per la stazione di Foggia Amendola si rileva la predominanza delle classi neutra (41,4%) e stabile (26,6%).

Con il termine inversione termica si indica quel fenomeno che si riscontra nell'atmosfera caratterizzata da un aumento anziché da una diminuzione della temperatura con il crescere dell'altezza.

Nello studio del comportamento atmosferico degli effluenti, e quindi della dinamica degli inquinamenti, il fenomeno delle inversioni termiche nei bassi strati atmosferici acquista una particolare importanza; ciò perché i bassi strati d'inversione in alcuni casi rappresentano un ostacolo nella diluizione degli agenti inquinanti, mentre in altri possono costituire una protezione.

Questo parametro meteorologico è misurato in pochissime stazioni in Italia. La stazione più vicina al sito che riporta questo tipo di dati è la stazione di Brindisi, i cui dati saranno utilizzati nello studio della dispersione.

2 Modelli di dispersione degli inquinanti

2.1 Modello AVACTA II

Il codice AVACTA II consente di calcolare la concentrazione in aria, al livello del suolo od in quota, dovuta all'emissione di inquinanti sia da sorgenti puntiformi che da sorgenti areali (una generica sorgente areale viene simulata come una sorgente puntuale virtuale posta sopravvento rispetto a quella reale).

La simulazione della dispersione prevede due fasi successive:

- Stima del campo di vento;
- Stima delle concentrazioni di inquinante calcolate a partire dal campo di vento precedentemente definito.

2.1.1 Stima del campo di vento

Il modello di creazione del campo di vento è del tipo denominato a divergenza nulla. Tali modelli semplificano le equazioni di Navier Stockes del moto dei fluidi nella sola equazione di conservazione della massa ed ipotizzano quindi che la densità dell'aria sia costante nel dominio di calcolo. In tali ipotesi la conservazione della massa d'aria trasportata dal vento può esprimersi mediante la seguente formula:

$$\text{div} \cdot \vec{v} = 0 \quad [1]$$

che indica l'annullamento della divergenza della velocità del vento in ogni punto dello spazio (div è l'operatore divergenza, v il vettore velocità del vento).

Dal punto di vista numerico, il dominio di calcolo di AVACTA II è un parallelepipedo suddiviso in celle, pure parallelepipedo, generate a partire da una suddivisione della base del dominio in celle rettangolari. Ogni cella rettangolare definisce una sovrastante colonna, che si estende dalla base sino al tetto del dominio. Ogni colonna è quindi suddivisa in strati orizzontali di eguale altezza.

L'orografia viene simulata assegnando ad ogni colonna un valore di quota al di sotto della quale la colonna stessa è occupata dal suolo, mentre al di sopra si trova l'atmosfera. In genere il valore della quota non è un multiplo intero dell'altezza di ogni singola cella, per cui alcune celle sono solo parzialmente occupate dal suolo. Alla quota minima viene

successivamente riassegnato il valore nullo, mentre le rimanenti quote sono espresse in termini differenziali rispetto alla quota minima.

Per il calcolo del campo di vento il codice richiede velocità e direzione del vento in alcuni punti, localizzati al suolo oppure in quota. In un primo momento il codice provvede ad interpolare tali valori su tutto il dominio di calcolo. Se la velocità del vento u è nota solamente al suolo od alla quota z_0 , il codice provvede a calcolare la velocità alla quota z .

Sempre con riferimento alla Figura 1.1, si ammetta che, a seguito dell'interpolazione iniziale, il vento presente nella cella in basso a sinistra sia parallelo al piano del foglio, con verso da sinistra verso destra. Poiché la cella di destra risulta parzialmente occupata dal suolo (a causa di un rilievo orografico), se la velocità del vento in uscita dalla cella di sinistra fosse uguale a quella in ingresso nella cella stessa, il principio di conservazione della massa risulterebbe violato: il flusso entrante è infatti dato dal prodotto della velocità del vento in ingresso per la larghezza e per l'altezza della cella; il flusso in uscita è invece dato dal prodotto della velocità del vento in uscita per la larghezza e per la parte di altezza della cella non occupata dal suolo.

La conservazione della massa si ottiene quindi mediante:

- Incremento della velocità in uscita;
- Deviazione del flusso, con componenti non nulle verso l'alto oppure in senso ortogonale al foglio;
- Combinazione delle due precedenti eventualità.

AVACTA II stima l'incremento della velocità ovvero la deviazione del flusso sulla base della stabilità atmosferica, indicativa del rapporto tra energia cinetica posseduta dall'aria e forze di galleggiamento cui è soggetta una particella di aria spostata dalla sua posizione di riposo. In atmosfera stabile, una particella di aria spostata in senso verticale dalla sua posizione di riposo tende a tornare nella posizione di origine. In aria instabile, le particelle perturbate tendono a galleggiare nell'aria circostante, perdendo definitivamente il loro equilibrio.

Se una massa di aria instabile incontra un ostacolo, ne derivano turbolenze meccaniche con spostamento delle particelle dalla loro posizione di equilibrio, che determinano l'innalzamento complessivo della massa di aria. Ne consegue che l'ostacolo è fondamentalmente superato mediante innalzamento dell'aria al di sopra di esso: il vento è fortemente deviato in senso verticale, e poco deviato sul piano orizzontale. Viceversa, in

caso di atmosfera stabile il vento è prevalentemente deviato sul piano orizzontale a causa della forte inerzia alla deviazione verticale del moto, causata dalla stratificazione termica. La piccola frazione di massa che fluisce al di sopra degli ostacoli è fortemente accelerata, raggiungendo velocità superiori al doppio della media delle zone circostanti.

2.1.2 Stima delle concentrazioni nel modello di dispersione di AVACTA II

Il modello di dispersione di AVACTA II è una versione modificata del modello di dispersione gaussiano classico.

In tali modelli:

- L'atmosfera viene considerata come un mezzo diffusivo dinamicamente omogeneo;
- Le condizioni di equilibrio termodinamico si basano sul concetto di atmosfera in moto laminare (condizioni stabili) o in moto turbolento, ma con vortici di dimensioni regolari ed uniformi (condizioni instabili), o in rigorosa struttura adiabatica (condizioni neutre);
- L'effluente si sposta come un sistema rigido tridimensionale in un campo dinamico, stazionario come quantità di moto, nel quale il profilo verticale del vento è funzione delle condizioni di stabilità;
- Le emissioni delle sorgenti sono rigorosamente uniformi e continue in portata volumetrica ed in contenuto di inquinanti.

Tornando alle assunzioni sopra accennate, in riferimento ai presupposti teorici della struttura generale dei modelli gaussiani, ricordiamo che, in particolari condizioni, è possibile effettuare la risoluzione analitica dell'equazione generale della diffusione.

L'equazione base dei modelli gaussiani che esprime una relazione tra la concentrazione in un punto di coordinate spaziali $P(x,y,z)$ e l'intensità di emissione di una sorgente puntiforme di inquinamento di altezza geometrica "h", nonché i fattori climatici che influenzano il trasporto degli effluenti è:

$$C(x, y, z) = \left(\frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \right) * e^{\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2} \right)} * \left\{ e^{\left[-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2} \right]} + e^{\left[-\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2} \right]} \right\} \quad [2]$$

dove si è posto:

$C(x,y,z)$:	concentrazione dell'inquinante in aria	[massa/m ³]
Q :	emissione nell'unità di tempo	[massa/s]
u :	velocità media del vento all'altezza h	[m/s]
s_y :	parametro di dispersione laterale	[m]
s_z :	parametro di dispersione verticale	[m]
x :	distanza sottovento dal punto di emissione	[m]
y,z :	distanza laterale dal centro del pennacchio ed altezza dal livello del suolo del punto nel quale si calcola la concentrazione	[m]
H :	altezza effettiva del pennacchio sul livello del suolo	[m]

L'equazione [2] tiene conto implicitamente delle due principali fasi che schematizzano il processo di trasporto e diffusione degli effluenti in atmosfera quali:

- Fase aerodinamica, che si ha all'uscita dell'effluente dalla sorgente (camino) e che dipende dalle caratteristiche dell'emissione (temperatura, velocità di uscita dei gas, diametro allo sbocco), attraverso l'altezza effettiva del pennacchio che è la somma dell'altezza geometrica della sorgente e dell'innalzamento dovuto alle condizioni di emissione;
- Fase meteorologica, la quale si ha quando l'asse del pennacchio tende a diventare orizzontale ed inizia (teoricamente) la fase di trasporto e diffusione atmosferica propriamente detta; tale fase è descritta attraverso i parametri della dispersione s_y , s_z e la velocità del vento.

Per la determinazione dell'innalzamento dei pennacchi e dei parametri della dispersione, funzioni entrambi delle condizioni di turbolenza, sono state sviluppate diverse metodologie di calcolo (in funzione delle condizioni meteo) che sono utilizzate all'interno dei modelli sopra descritti.

In AVACTA II l'equazione di base [2] è stata modificata, per tenere conto della diversa velocità del vento nei diversi punti del dominio e della traiettoria non rettilinea del

pennacchio. La traiettoria è approssimata da una spezzata di cui ogni segmento rappresenta il percorso che il pennacchio, a partire dalla sorgente, compie in un lasso di tempo predeterminato (ad esempio 60 secondi). Dato il vettore velocità del vento u_0 nel punto P_0 , ove ammettiamo il pennacchio si trovi al tempo t_0 , la posizione del pennacchio al tempo $t_1=t_0+\Delta t$ è ovviamente data da $P_1=P_0+u_0 \times \Delta t$.

Durante l'intervallo di tempo Δt l'inquinante diffonde come previsto dalla [2]. Al denominatore di tale formula compare il modulo di u_0 , calcolato nel punto P_0 . Al momento in cui il pennacchio raggiunge la posizione P_1 , la velocità del vento per effetto dello spostamento del pennacchio durante il successivo intervallo $[t_1; t_2]$ diviene $u_1 = u(P_1)$. Il modulo di tale vettore è inserito a denominatore della [2].

Procedendo in modo analogo, intervallo dopo intervallo, si ottiene la completa ricostruzione della forma del pennacchio.

La [2] è poi modificata, sempre nell'ambito dei suoi limiti di applicabilità, al fine di consentire la simulazione del trasporto e diffusione atmosferica in particolari condizioni relative sia alla tipologia delle sorgenti e dei contaminanti da essi emessi, che a fattori ambientali esterni.

2.1.3 Ipotesi di lavoro

I fenomeni che rivestono particolare importanza, ai fini delle valutazioni previsionali delle concentrazioni in aria, sono:

- Deposizione secca e umida;
- Condizioni di calma di vento;
- Inversione termica.

Nel caso in esame la concentrazione è calcolata nell'ipotesi di assenza di deposizione, ipotesi senz'altro cautelativa dal punto di vista del calcolo delle concentrazioni in aria.

Le calme di vento sono trattate come venti deboli, con distribuzione di frequenza uguale a quella della più bassa classe di velocità del vento.

Le inversioni termiche, ossia la presenza di strati di atmosfera all'interno dei quali la temperatura cresce al crescere della quota, limitano la dispersione degli inquinanti verso l'alto ed in particolari condizioni possono contribuire ad aumentare significativamente le concentrazioni al suolo. In altri casi, quando l'emissione inquinante avviene al di sopra di uno

strato di inversione, l'inquinante non raggiunge il suolo e l'inversione funge quindi da protezione.

La particolare posizione del sito in esame vicino alla costa pone una serie di problemi caratteristici.

Sono noti infatti i cosiddetti fenomeni di brezza derivanti dalla diversa capacità termica dell'acqua rispetto al terreno: il mare, infatti, tende durante l'arco della giornata a variare poco la sua temperatura (difficilmente più di 2°C tra il giorno e la notte), mentre la terra subisce escursioni termiche tra il giorno e la notte anche superiori a 10°C.

Questo implica che durante il giorno, in particolare nei pomeriggi molto assolati, la terra ha una temperatura molto più elevata del mare: si instaura quindi una forte corrente ascensionale di aria calda sulla terra, che viene sostituita da aria fredda proveniente dal mare (brezza di mare). Di notte si instaura invece il fenomeno opposto, con la corrente di aria fredda che dal terreno si sposta verso il mare (brezza di terra).

Le correnti di aria fredda in prossimità del suolo determinano condizioni di stabilità atmosferica diurna talvolta sino a decine di chilometri dalla costa ed hanno spessori che, in particolare durante il giorno, raggiungono anche alcune centinaia di metri.

Superiormente all'aria fredda ed umida marina fluisce, in direzione opposta, aria calda con l'instaurarsi quindi di una inversione termica caratterizzate da uno spessore di circa 200 – 300 metri.

Per analizzare il comportamento dei pennacchi uscenti da un camino in situazioni di inversione termica può essere applicato l'approccio proposto da Turner. Secondo Turner, pennacchi di grandi dimensioni possono avere energia di galleggiamento sufficiente a sfondare eventuali strati di inversione. In questi casi parte o tutta la massa dell'inquinante penetra al di sopra del ginocchio termico, disperdendosi in lontananza dal suolo.

In dettaglio, la procedura di Turner si basa sui seguenti passi:

- Calcolo dell'innalzamento termico del pennacchio tenendo conto del gradiente termico (stabilità atmosferica) al di sotto dello strato di inversione;
- Se l'altezza della base dell'inversione è superiore a 1,5 volte la somma dell'altezza geometrica del camino e dell'innalzamento termico del pennacchio, si ammette che

tutto l'inquinante si disperda al di sotto dell'inversione, con una riflessione completa del pennacchio al limite superiore dello strato di miscelamento;

- Se l'altezza della base dell'inversione è inferiore a 0,5 volte la somma dell'altezza geometrica del camino e dell'innalzamento termico del pennacchio, si ammette che tutto l'inquinante si disperda al di sopra dello strato di inversione, con concentrazioni al suolo praticamente nulle;
- Nei casi intermedi tra i due precedenti, si ammette che la massa residua al di sotto dell'inversione possa essere ottenuta per interpolazione fra i due casi limite.

Tramite una serie di prove, condotte con il codice SCREEN, è stato stimato il comportamento del pennacchio in situazioni caratterizzate da inversioni. La metodologia utilizzata è la seguente:

- E' stato calcolato, come da standard EPA, l'innalzamento del pennacchio del camino nelle varie condizioni meteorologiche;
- L'innalzamento è stato confrontato con l'altezza di inversione ipotizzabile nelle medesime condizioni ($h=200$ metri in caso di atmosfera stabile e $h=1.000$ metri in caso di atmosfera neutra);
- La percentuale di inquinante che ci si aspetta ricada al suolo (cioè la frazione di pennacchio che rimane al di sotto dello strato di mescolamento) è stata calcolata secondo la metodologia di Turner sopra citata.

In conclusione, in caso di venti deboli e bassi strati di miscelamento, la percentuale di inquinante residuo è molto bassa: quasi tutto l'inquinante si disperde negli strati alti dell'atmosfera senza giungere al suolo.

All'aumentare della velocità del vento l'innalzamento termico del pennacchio diminuisce (e conseguentemente la parte di inquinante che rimane intrappolato all'interno dello strato di miscelamento aumenta gradualmente) e solo per velocità dell'ordine dei 4 m/s la percentuale di inquinante che raggiunge il suolo raggiunge il valore del 100%.

Si può concludere che nel caso in esame, trattandosi di un grosso camino posto nelle vicinanze del mare e quindi caratterizzato da inversioni di bassa altezza dovute al fenomeno della brezza, è cautelativo non considerare le inversioni termiche poste a bassa altezza nella valutazione delle concentrazioni al suolo.

Al di sopra dello strato di prima inversione, determinato dalle brezze, è generalmente presente un secondo strato (seconda inversione), che in ambienti di pianura è solitamente posto tra i 1.000 ed i 2.000 metri dal suolo. Nelle ore notturne è presente una inversione alle basse quote, che si smantella nelle ore diurne e le cui caratteristiche sono state ampiamente discusse in precedenza. Al di sopra di una certa altezza è sempre presente la seconda inversione. A Brindisi (una delle poche stazioni in cui viene misurata l'altezza della seconda inversione), l'inversione è posta tra 1.000 e 2.000 metri per quasi il 60% del tempo e a quote ancora superiori per un altro 10% del tempo. Viceversa non è praticamente mai presente a quote inferiori a 500 metri.

Questa seconda inversione è troppo alta perché il pennacchio di inquinante emesso dalla centrale riesca a superarla, per cui è considerata sempre presente nelle simulazioni effettuate con i modelli di dispersione.

2.2 Applicazione del modello di dispersione

Nell'ambito della procedura di Valutazione di Impatto Ambientale, per lo studio della dispersione atmosferica è stato definito un dominio di calcolo di 40x40 km, centrato sulla centrale di San Severo.

L'orografia della zona è stata considerata piatta, in considerazione dei minimi dislivelli nell'area in esame.

In corrispondenza di ogni classe di stabilità atmosferica e di ogni velocità del vento, per ognuno dei 16 settori di provenienza del vento sono state svolte due simulazioni, dividendo il settore in due parti più piccole. La risoluzione angolare è quindi salita da 22,5° a 11,25°. Ad ogni sottosettore così definito è stata attribuita una frequenza pari a quella del settore di partenza divisa per 2.

Per ogni cella la concentrazione è stimata come media della concentrazione calcolata in 4 punti interni alla cella distanti tra loro 200 metri. La concentrazione è quindi rappresentativa di quella media presente all'interno della cella.

2.3 Confronto con le simulazioni effettuate con altri modelli

Le simulazioni effettuate con il modello AVACTA II sono state confrontate con i risultati ottenuti applicando il modello ISC3 dell'EPA, nella versione climatologica.

Tale codice di calcolo è un modello gaussiano classico e che utilizza dunque la formula [2] per il calcolo delle concentrazioni al suolo. E' interessante notare che mentre AVACTA considera l'emissione in modo discontinuo, considerando appunto dei puff emessi dal camino, ISC considera l'emissione in modo continuo.

Proprio per questo motivo mentre il campo di vento considerato in AVACTA dipende dall'orografia, ISC considera direzione e velocità del vento uniforme su tutto il dominio di calcolo e pari a quelle misurate nella stazione meteorologica di riferimento.

Senza entrare nei dettagli del modello ISC3, che d'altra parte sono per molti aspetti uguali a quelli relativi a AVACTA II, per il calcolo delle concentrazioni al suolo derivanti dall'esercizio della centrale di San Severo sono state fatte le seguenti ipotesi:

- Utilizzo dei dati meteorologici relativi alla stazione di Foggia Amendola;
- Orografia del territorio in esame piatta;
- Altezza dello strato di inversione sempre uguale a 1.000 metri.

I risultati delle simulazioni effettuate utilizzando il modello ISC3 sono riportati nell'Allegato D6.

2.4 Il modello SCREEN 3

Il modello di calcolo SCREEN 3, certificato dall'EPA, consente di calcolare la concentrazione media in aria al livello del suolo dovuta all'emissione di inquinanti sia da sorgenti puntiformi che da sorgenti areali. Questo modello calcola la concentrazione per brevi periodi, riferiti ad un'ora o ad un giorno, relativa alle sei classi di stabilità e per velocità del vento non inferiori ad 1 m/s.

Il modello identifica le condizioni meteorologiche nelle quali possono risultare più alte le concentrazioni dell'elemento inquinante simulato anche in presenza di morfologia complessa. In quest'ultimo caso sfrutta l'approccio utilizzato nel modello Valley, anch'esso certificato dall'EPA. Il modello SCREEN 3 esegue infatti una semplice modellazione del pennacchio gaussiano combinando tutte le diverse classi di vento, direzione e stabilità. Si individuano perciò le ricadute al suolo attribuibili ad una determinata sorgente puntiforme nelle condizioni assolutamente più sfavorevoli anche se queste condizioni non si dovessero mai verificare.

2.5 Altezza effettiva del camino

Come detto in precedenza, il calcolo delle ricadute al suolo degli inquinanti è effettuato tenendo conto di un'altezza effettiva del camino.

L'altezza effettiva è definita come l'altezza reale del camino più un termine che tiene conto della velocità di uscita dei fumi dal camino e della differenza di temperatura tra i fumi e l'aria circostante.

Evidentemente maggiore è l'altezza effettiva, minori saranno le concentrazioni al suolo calcolate, sia perché gli inquinanti si distribuiranno su un'area più grande, sia perché sarà più facile che il pennacchio superi gli strati di inversione termica che, come detto, rappresentano degli impedimenti alla diffusione degli inquinanti.

Un particolare fenomeno è indotto dalla vicinanza degli aerotermi rispetto al camino della centrale: difatti queste apparecchiature emettono una notevole quantità di aria più calda di quella ambiente, che va a modificare il normale innalzamento del pennacchio uscente dal camino.

La quantificazione esatta dell'influenza degli aerotermi sulla dispersione degli inquinanti è complessa. Comunque è possibile una valutazione qualitativa, come proposto in *Hanna, Briggs "Handbook on Atmospheric Diffusion"*. Il pennacchio uscente dal camino sarà "circondato" dall'aria calda proveniente dagli aerotermi. In questo modo risulterà più lento il mescolamento con l'aria ambiente e quindi il raffreddamento dei fumi stessi: per questo motivo aumenterà la spinta di galleggiamento e quindi l'altezza effettiva del camino. Si può quindi dedurre una concentrazione di inquinanti al suolo minore rispetto all'assenza degli aerotermi.

Vista la difficoltà di tener conto di questo fenomeno e considerando che il modello di calcolo considerato tiene conto solo della differenza di temperatura tra fumi ed ambiente, si è preferito non considerare la presenza degli aerotermi. La scelta è sicuramente conservativa, e dunque le concentrazioni calcolate saranno sicuramente più alte rispetto a quelle reali.

3 Considerazioni generali sull'effetto downwash

La dispersione degli inquinanti dai camini industriali può essere disturbata dalla presenza di ostacoli (edifici o rilievi orografici) posti nelle vicinanze del punto di emissione. Il fenomeno, noto con il nome di "effetto edificio" oppure "*downwash*", è rilevante in quanto è possibile che

il pennacchio dei fumi emessi dal camino venga richiamato al suolo dalle turbolenze indotte dalla forza del vento sugli ostacoli, con una conseguente elevata concentrazione di inquinanti presso il suolo.

Due documenti datati ma ancora di riferimento per lo studio del fenomeno sono “*Guideline for Determination of Good Engineering Practice Stack Height (technical Supporto document for the stack height regulation)*” edito da EPA (Agenzia Federale per la Protezione dell’Ambiente) 1985 e “*Handbook on Atmospheric Diffusion*” edito dal Technical Information Center dell’U.S. Department of Energy, 1982.

Nel primo documento viene prima svolta un’analisi del flusso di aria al di sopra degli edifici, in caso di vento costante. Le principali conclusioni sono:

- Sottovento all’edificio, sino ad una quota pari a circa 1,5 volte l’altezza dell’edificio, si ha una zona denominata “*cavity*”, turbolenta ed in depressione, tale da richiamare verso il basso parte della massa d’aria circolante in tale zona;
- Sempre sottovento all’edificio ma sino ad un’altezza pari all’altezza dell’edificio sommata a circa 1,5 volte la dimensione inferiore tra altezza o larghezza dell’edificio stesso, si ha una zona turbolenta, che si estende in orizzontale sino ad una distanza di circa 5 volte la dimensione dell’edificio stesso.

La *Guideline* riporta quindi alcune prove sperimentali e simulazioni al calcolatore che dimostrano come le emissioni prive di *plume rise* poste all’interno della zona di turbolenza o della *cavity* possano dar luogo a rilevanti concentrazioni al suolo, superiori al 40% del valore atteso in assenza dell’edificio.

Nel caso l’emissione avvenga sopravento all’edificio ad una distanza superiore a 2 volte l’altezza dell’edificio, un’altezza del camino pari all’altezza dell’edificio è già sufficiente ad evitare che l’inquinante venga richiamato a terra.

Viceversa, se il camino è posto sull’edificio o immediatamente sottovento ad esso, dalle precedenti valutazioni semi empiriche deriva la regola generale di dimensionamento dell’altezza di un camino: l’altezza H_s deve risultare pari a:

$$H_s = H + 1,5 \cdot S \quad [3]$$

dove H è l’altezza dell’edificio ed S la più piccola tra l’altezza e la larghezza dell’edificio. L’altezza minima H_s richiesta al camino per evitare l’effetto edificio diminuisce all’aumentare

della distanza dall'edificio, sino a divenire teoricamente nulla per distanze superiori a 5 volte l'altezza dell'edificio stesso.

L'altezza H_s può essere nettamente ridotta in caso di edifici stretti (altezza superiore alla larghezza) oppure a ridotta resistenza aerodinamica per la presenza di penetrazioni oppure per un'accurata progettazione della forma.

Se l'emissione è caratterizzata da un elevato *plume rise*, la regola dettata dalla [3] è cautelativa: in questo caso, un'altezza del camino pari a 1,5 l'altezza dell'edificio (ovvero un camino più alto della *cavity*) è spesso già sufficiente ad evitare l'effetto *downwash*, sebbene il minimo valore esatto dipenda dalle condizioni specifiche del sito.

Poiché il minimo innalzamento del pennacchio si ha con vento molto forte, le referenze bibliografiche indicano che la condizione meteorologica critica che occorre considerare per valutare la minima altezza utile del camino è quella di vento forte con (conseguente) classe di stabilità atmosferica neutra.

In ogni caso, si ammette che per camini medi l'effetto edificio sia trascurabile per velocità di uscita superiori a 5 volte la velocità del vento, mentre per grandi camini l'effetto è spesso trascurabile già per velocità di uscita pari a 1,5 volte la velocità del vento. Il valore esatto della minima velocità di uscita tale da garantire il non manifestarsi della condizione di *downwash* dipende dalle condizioni specifiche del sito, ma per un camino di grandi dimensioni un valore 2 volte la velocità del vento appare ragionevole (vedi *Guideline for Determination of Good Engineering Practice Stack Height (technical Supporto document for the stack height regulation)*).