autostrade per l'italia

# NODO STRADALE E AUTOSTRADALE DI GENOVA

## Adeguamento del sistema
## A7 – A10 – A12

## PROGETTO DEFINITIVO
## Progetto Infrastrutturale

# STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE

# ATMOSFERA – MODELLO DI SIMULAZIONE

| IL RESPONSABILE PROGETTAZIONE SPECIALISTICA | IL RESPONSABILE INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE | IL DIRETTORE TECNICO |
|---|---|---|
| Ing. Ferruccio Bucalo<br>Ord. Ingg. Genova N. 4940<br>**RESPONSABILE UFFICIO MAM** | Ing. Orlando Mazza<br>Ord. Ingg. Pavia N. 1496<br>**RESPONSABILE AREA DI PROGETTO GENOVA** | Ing. Maurizio Torresi<br>Ord. Ingg. Milano N. 16492<br>**RESPONSABILE FUNZIONE STP** |

| WBS | RIFERIMENTO ELABORATO | | | | DATA: | REVISIONE | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | DIRETTORIO | | FILE | | FEBBRAIO 2011 | n. | data |
| | codice commessa | N.Prog. | unita' | n. progressivo | | | |
| | 1107 1204 | | MAMI | AMBXATM0002 | SCALA: – | | |

| | | | |
|---|---|---|---|
| spea autostrade ingegneria europea | COORDINATORE OPERATIVO DI PROGETTO<br>Ing. Ilaria Lavander | ELABORAZIONE PROGETTUALE A CURA DI : | Dott. Francesco Cipolli |
| | | IL RESPONSABILE ATTIVITA' SPECIALISTICA: | Ing. Sara Frisiani |
| CONSULENZA A CURA DI : | | COORDINAMENTO SCIENTIFICO | Ing. Mauro Di Prete |

| VISTO DEL COORDINATORE GENERALE SPEA | VISTO DEL COMMITTENTE | VISTO DEL CONCEDENTE |
|---|---|---|
| DIREZIONE OPERATIVA<br>PROGETTAZIONE ED ESECUZIONE LAVORI ASPI<br>Ing. Alberto Selleri | autostrade per l'italia<br>Ing. Giorgio Fabriani | |

IL PRESENTE DOCUMENTO NON POTRA' ESSERE COPIATO, RIPRODOTTO O ALTRIMENTI PUBBLICATO, IN TUTTO O IN PARTE, SENZA IL CONSENSO SCRITTO DELLA SOC. AUTOSTRADE PER L'ITALIA S.P.A.. OGNI UTILIZZO NON AUTORIZZATO SARA' PERSEGUITO A NORMA DI LEGGE.
THIS DOCUMENT MAY NOT BE COPIED, REPRODUCED OR PUBLISHED, EITHER IN PART OR IN ITS ENTIRETY, WITHOUT THE WRITTEN PERMISSION OF SOC. AUTOSTRADE PER L'ITALIA S.P.A.. UNAUTHORIZED USE WILL BE PROSECUTED BY LAW.

# INDICE

1. La modellistica di riferimento ..... 1

1.1 Quadro della modellistica utilizzata ..... 1

1.2 La catena modellistica CALMET/CALPUFF/CALPOST ..... 1

**1.2.1** Il modello meteorologico CALMET ..... 1

**1.2.2** Il modello previsionale CALPUFF ..... 4

**1.2.3** Il post processore per la gestione dei risultati CALPOST ..... 8

1.3 Il modello di simulazione ISC3 ..... 9

1.4 Il modello di simulazione CALINE 4 ..... 11

# 1. La modellistica di riferimento

## 1.1 Quadro della modellistica utilizzata

La modellistica applicata nello svolgimento delle analisi, di cui al capitolo Atmosfera dello SIA del Progetto Infrastrutturale e dello SIA del Progetto di Cantierizzazione, consiste di tre modelli differenti per complessità e precisione:

- Catena modellistica Calmet/Calpuff/Calpost per il Progetto Infrastrutturale;
- Industrial Source Complex ISC3 per il Progetto di cantierizzazione relativamente allo studio delle ricadute delle emissioni derivanti dalle attività di cantiere;
- Caline 4 per il Progetto di cantierizzazione relativamente allo studio delle ricadute delle emissioni allo scarico dei mezzi di cantiere transitanti sulle viabilità interessate.

## 1.2 La catena modellistica CALMET/CALPUFF/CALPOST

### 1.2.1 *Il modello meteorologico CALMET*

CALMET è un modello meteorologico, sviluppato dalla Sigma Research Corporation per il California Air Resource Board (CARB), utilizzato per la simulazione delle condizioni atmosferiche su scale che vanno dall'ambito locale alla mesoscala (per approfondimenti cfr. il manuale utente "A user's guide for the CALMET meteorological model - EPA - 454/B - 95 - 002, March, 1995").

Il modello si compone di due moduli:

- un modulo meteorologico per la ricostruzione, sul dominio di calcolo, della struttura del campo di vento tridimensionale su orografia complessa;
- un modulo micrometeorologico per la stima dei parametri diffusivi dello strato limite planetario.

Nel modulo meteorologico la ricostruzione del campo di vento viene attuata con una procedura a due fasi.

Nella prima fase dalle condizioni medie a grande scala viene stimato il campo di vento medio sul dominio che viene quindi corretto con una serie di formule empiriche che tengono conto degli effetti locali indotti dall'orografia prendendo in considerazione i seguenti fenomeni: effetti cinematici dell'orografia, flussi di drenaggio ed effetti di blocking termodinamico.

❖ Effetti cinematici dell'orografia

Dal vento medio sul dominio di calcolo viene stimata la componente verticale della velocità del vento indotta dall'orografia; tale componente è massima in prossimità del suolo e viene fatta decadere, procedendo in quota, con una funzione esponenziale dipendente dalle condizioni di stabilità dell'atmosfera. Le modifiche alle componenti orizzontali della velocità del vento vengono valutate con uno schema di minimizzazione della divergenza, in modo da conservare la massa totale.

❖ Flussi di drenaggio

I flussi di drenaggio, cioè quelli indotti dalla pendenza dell'orografia, vengono stimati con lo schema empirico di Allwine & Whiteman: il flusso è descritto da formule parametriche che tengono conto della pendenza e della quota dell'orografia, del profilo verticale della temperatura sul dominio, del bilancio termico locale stimato internamente dal modello.

❖ Blocking termodinamico

Gli effetti di blocking termodinamico dell'orografia vengono parametrizzati in funzione del valore locale del numero di Froude, definito come:

$$F_r = \frac{V}{N\Delta h}$$

con

V = modulo della velocità del vento

$N = \sqrt{\frac{g}{\vartheta}\frac{\partial \vartheta}{\partial z}}$ = frequenza di Brunt Väisälä

$\Delta h$ = altezza effettiva dell'ostacolo orografico

Se il numero di Froude è inferiore ad un valore critico definibile in input (valore di default = 1) ed il vento locale ha componente nel verso del gradiente orografico, la direzione del vento viene posta parallela a tale gradiente, mentre non viene modificato il modulo della velocità.

Se il valore del numero di Froude è superiore al valore critico, non viene fatta alcuna correzione.

Nella seconda fase viene effettuata un'analisi obiettiva delle misure al suolo ed in quota disponibili nell'area in esame, che vengono combinate con il vento stimato nella prima fase per ottenere il vento finale sul dominio di calcolo.

Tale analisi obiettiva è costituita da diversi passi:

- il vento stimato nella prima fase ed il vento osservato nelle stazioni di misura vengono interpolati sui nodi della griglia di calcolo con una funzione peso, proporzionale all'inverso del quadrato della distanza;
- eventuali discontinuità nel vento interpolato vengono rimosse con una procedura di smoothing;
- la componente verticale della velocità del vento viene stimata dalle componenti orizzontali, imponendo la conservazione della massa (per fluido incompressibile);
- la conservazione globale della massa sul dominio di calcolo viene garantita da una procedura iterativa di minimizzazione della divergenza, applicata al vento stimato.

Nel modulo micrometeorologico il modello stima il valore delle variabili caratteristiche dello strato limite planetario necessarie per la valutazione della diffusione di inquinanti:

- il flusso di calore alla superficie Qh;
- il flusso di momento $-\rho\langle u' w'\rangle = -\rho u_*^2$;
- l'altezza dello strato limite h.

Da tali variabili vengono calcolati gli altri parametri rilevanti, quali la velocità di attrito u*, la scala della velocità convettiva w* e la lunghezza di Monin Obukhov L.

Per stimare tali grandezze dalle misure al suolo sono comunemente impiegati due approcci:

- il primo - definito metodo dei profili - richiede come minimo la misura della velocità del vento ad un livello e della temperatura a due livelli in prossimità del suolo e fa quindi uso delle leggi di similarità per stimare i parametri dello strato limite;
- il secondo metodo - chiamato metodo del bilancio energetico - fa uso della relazione di bilancio dell'energia in prossimità del suolo; i termini non noti in tale relazione di bilancio vengono stimati sulla base di formule parametriche.

Il modello CALMET utilizza un approccio basato sul metodo dei profili per lo strato limite su superfici liquide (laghi, mari) e il metodo del bilancio energetico sul suolo.

In ingresso il modello CALMET richiede:

- la caratterizzazione del dominio di calcolo (andamento orografico, tipologia di utilizzo del suolo);

- misure meteorologiche orarie in almeno una stazione al suolo nel dominio di calcolo. Le misure richieste comprendono: velocità e direzione del vento; temperatura dell'aria; entità e quota della copertura nuvolosa; entità delle precipitazioni;

- misure meteorologiche di almeno un sondaggio in quota. Per ogni quota sono richieste: pressione atmosferica; quota di misura; temperatura; velocità e direzione del vento.

L'uscita del modello è costituita da due file:

- un file (editabile) che riporta le opzioni di input selezionate e il valore delle principali variabili calcolate per ogni ora di simulazione;

- un file (non editabile) che contiene - per ogni ora di simulazione - le grandezze meteorologiche e i parametri diffusivi dello strato limite richiesti per la valutazione dei processi diffusivi di inquinanti, in un formato immediatamente utilizzabile dal modello di dispersione CALPUFF.

### **1.2.2** *Il modello previsionale CALPUFF*

CALPUFF è un modello che utilizza il metodo dei puff gaussiani per la simulazione della dispersione di inquinanti atmosferici su scale che vanno dall'ambito locale alla mesoscala, in condizioni meteorologiche non stazionarie e non omogenee.

Il modello si compone di diversi moduli che consentono di tenere conto - nel processo di diffusione e di rimozione degli inquinanti - degli effetti orografici, dell'eventuale presenza di superfici acquose nel dominio di calcolo, degli effetti di prossimità degli edifici, dei fenomeni di deposizione secca ed umida e di reazioni chimiche semplici.

CALPUFF è stato sviluppato dalla SIGMA Research Corporation per il California Air Resource Board (CARB) ed è inserito in una catena di modelli che comprende anche il modello meteorologico diagnostico CALMET, precedentemente descritto, ed il modello fotochimico Euleriano CALGRID.

Nell'ambito della schematizzazione, la nube di inquinante viene descritta con un numero discreto di puff, ciascuno dei quali trasportato in modo indipendente dal vento locale. All'interno di ciascun puff si assume una distribuzione gaussiana della concentrazione dell'inquinante.

Il contributo di ciascun puff alla concentrazione di inquinante in un recettore al suolo è esprimibile con la formula:

$$C = \frac{Q}{2\pi\sigma_x\sigma_y} g \exp\left[-\frac{d_a}{2\sigma_x{}^2}\right]\exp\left[-\frac{d_c{}^2}{2\sigma_y{}^2}\right]$$

con

$$g = \frac{2}{\sqrt{2\pi}\sigma_z}\sum_{b=-\infty}^{+\infty}\exp\left[-\frac{-He+2nh}{2\sigma_2^2}\right]$$

dove:

- C è la concentrazione al recettore;
- Q è la massa di inquinante all'interno del puff;
- $d_a$ e $d_c$ sono le componenti della distanza tra il centro del puff ed il recettore;
- He è la quota del centro del puff rispetto al suolo;
- h è l'altezza dello strato limite.

La sommatoria nel termine che descrive la distribuzione verticale dell'inquinante tiene conto degli effetti di riflessione al suolo e alla sommità dello strato limite.

Uno degli aspetti critici nella modulazione a puff è dato dalla definizione delle deviazioni standard $\sigma_x;\sigma_y$ e $\sigma_z$. In CALPUFF si assume una distribuzione omogenea orizzontalmente, cioè $\sigma_x = \sigma_y$.

Le deviazioni standard orizzontali e verticali sono formalmente definite dalle relazioni:

$$\sigma_y^2 = \sigma_{y,t}^2 + \sigma_{y,s}^2 + \sigma_{y,b}^2$$
$$\sigma_z^2 = \sigma_{z,t}^2 + \sigma_{y,b}^2$$

dove:

- il suffisso $_{,t}$ indica il contributo dovuto alla turbolenza;
- il suffisso $_{,b}$ indica il contributo di buoyancy;
- il suffisso $_{,s}$ indica il contributo dello shear del vento.

Il contributo di turbolenza viene descritto in base alle forme generali suggerite da Hanna:

$$\sigma_{y,t} = \sigma_v t f_y\left(\frac{t}{T_{Ly}}\right)$$

$$\sigma_{z,t} = \sigma_w t f_z\left(\frac{t}{T_{Lz}}\right)$$

dove:

- $\sigma_v$ e $\sigma_w$ sono le derivazioni standard orizzontali e verticali della velocità del vento;
- t è il tempo;
- $f_y$ ed $f_z$ sono arbitrarie funzioni adimensionali;
- $T_{Ly}$ e $T_{Lz}$ sono le scale lagrangiane dei tempi, orizzontale e verticale rispettivamente.

Per la definizione di $\sigma_v$ e $\sigma_w$ in termini di parametri macroscopici, CALPUFF utilizza una formulazione notevolmente elaborata, dipendente dalle variabili caratteristiche dello strato limite $(h, u_*, w_*, L)$, per la cui descrizione si rimanda al manuale utente ("A user's guide for the CALPUFF dispersion model - EPA - 454/B - 95 - 006, July 1995").

Per le funzioni $f_y$ e $f_z$ si utilizza la parametrizzazione di Draxel (1976):

$$f_y = \left[1 + 0.9\left(\frac{t}{1000}\right)^{1/2}\right]^{-1}$$

$$f_z = \begin{cases} \left[1 + 0.9\left(\frac{t}{500}\right)^{1/2}\right]^{-1} & L < O \\ \left[1 + 0.945\left(\frac{t}{100}\right)^{0.806}\right]^{-1} & L > O \end{cases}$$

Le componenti di Buoyancy vengono definite in base all'innalzamento del plume come:

$$\sigma_{y,b} = \sigma_{z,b} = \frac{\Delta H}{3.5}$$

Gli effetti di prossimità degli edifici vengono descritti tramite formule che incrementano i coefficienti di diffusione $\sigma_y$ e $\sigma_z$. A tale scopo il modello implementa sia la procedura di Huber & Snyder che quella di Shulman & Scive.

CALPUFF è in grado di trattare sia sorgenti puntuali che lineari, areali e volumetriche. Nel caso di sorgenti puntuali, l'innalzamento iniziale del pennacchio viene descritto in base alla classica formulazione di Briggs, a cui vengono applicati dei termini correttivi per tenere conto degli effetti di prossimità degli edifici, dello shear del vento e della penetrazione parziale del pennacchio al di sopra dello strato limite. I meccanismi di rimozione dell'inquinante simulati in CALPUFF sono i fenomeni di deposizione secca ed umida e alcune reazioni chimiche.

La deposizione secca viene schematizzata con un modello a resistenza: la velocità di deposizione, che formalmente è definita della relazione $V_d = \frac{F}{X_s}$

dove F è il flusso di deposizione ed $X_s$ la concentrazione dell'inquinante, viene parametrizzata come inverso della somma di 3 resistenze: $V_d \frac{1}{r_a + r_d + r_c}$

dove $r_a$ rappresenta la resistenza dello strato limite superficiale, dove dominano gli effetti turbolenti, $r_d$ è la resistenza dello strato di deposizione, dove dominano gli effetti viscosi, $r_c$ è la resistenza dovuta alla vegetazione. Gli effetti di deposizione umida vengono descritti applicando una formula di decadimento esponenziale della concentrazione di inquinante:

$$C(t + \Delta t) = C(t) \exp[-\Lambda \Delta t]$$

dove $\Lambda = \lambda \left(\frac{R}{R_1}\right)$, in cui $\lambda$ è un coefficiente dipendente dal tipo di inquinante e dal tipo di precipitazione, R è l'entità di precipitazione in $\frac{mm}{h}$ e $R_1$ rappresenta una precipitazione di riferimento.

Infine CALPUFF include alcuni semplici meccanismi per valutare la trasformazione degli ossidi di zolfo in solfati e degli ossidi di azoto in nitrati. Come parametri di input il modello richiede la descrizione delle caratteristiche delle sorgenti, delle condizioni meteorologiche e delle caratteristiche diffusive dell'atmosfera, che, nell'utilizzo standard del modello, vengono valutate da CALMET. L'output del modello viene solitamente elaborato con il post processore CALPOST, che consente di ottenere le concentrazioni medie nei punti recettori su diversi intervalli temporali, selezionabili dall'utente.

### **1.2.3** *Il post processore per la gestione dei risultati CALPOST*

CALPOST è il post processore dell'insieme dei dati orari di concentrazione calcolati da CALPUFF su tutti i punti del grigliato.

Con CALPOST si elaborano i dati ottenuti da CALPUFF (per ciascun punto una serie temporale completa di valori di concentrazione orari) selezionando a scelta, per ciascun punto, un elemento statistico della serie temporale (il valore massimo o il valore medio su un particolare arco temporale o un percentile) e si predispone la mappa delle ricadute riportando, in ciascun punto e indipendentemente dalla loro contemporaneità, i valori richiesti calcolati sull'intera durata della simulazione. In tal modo non viene ricostruita la distribuzione delle concentrazioni relative a una particolare ora ma la distribuzione, per una stima certamente più conservativa, dei valori selezionati (i massimi, i valori medi, i percentili) delle concentrazioni orarie al suolo determinatesi sull'intero periodo dello scenario meteorologico predefinito.

Tra le funzioni di CALPOST si ricordano:

- ⇒ Seleziona periodi temporali di interesse, all'interno dell'anno di riferimento, di cui stampare i valori di concentrazione orari calcolati
- ⇒ Calcola valori medi di concentrazione all'interno del periodo di riferimento (medie giornaliere, mensili, ecc)
- ⇒ Gestisce punti di calcolo aggiuntivi (recettori sia discreti che equispaziati)
- ⇒ Seleziona un sottoinsieme di recettori (discreti o equispaziati) all'interno della griglia di calcolo di cui stampare i valori di concentrazione calcolati
- ⇒ Seleziona valori statistici delle concentrazioni orarie calcolate, da sottoporre a stampa o mappatura (mediane, percentili, soglie, intervalli, ecc.)
- ⇒ Seleziona serie temporali su recettori scelti
- ⇒ Trasforma i valori calcolati secondo scale diverse (modifica delle unità di misura, ecc.)
- ⇒ Aggiunge a tutti i valori orari calcolati un valore indicato (valore di fondo)

## 1.3 Il modello di simulazione ISC3

ISC3 (Industrial Source Complex, versione 3) è uno dei modelli più utilizzati per lo studio della dispersione degli inquinanti primari, cioè sostanze che non vengono formate da reazioni chimiche in atmosfera (come ad esempio l'ozono) ma vengono esclusivamente emesse dalle sorgenti.

E' un modello di riferimento dell'EPA (Environmental Protection Agency) per lo studio della dispersione e della deposizione degli inquinanti gassosi e particolati emessi da un'ampia gamma di sorgenti; grazie alla sua attendibilità questo modello è definito di I° livello, cioè utilizzato per effettuare uno screening di una situazione in esame verificandone gli standard di qualità dell'aria.

Le caratteristiche tecniche salienti di ISC3 sono le seguenti:

- Tipo di sorgenti considerate: puntiforme, lineare, areale, volumetrica;
- Calcolo del contributo di sorgenti multiple;
- Applicazione sia in ambito urbano sia rurale, in presenza di terreno sia pianeggiante sia leggermente complesso;
- Considerazione delle caratteristiche fisiche dei gas emessi;
- Riproduzione degli effetti della dispersione entro un raggio di 50 km dalla sorgente.

I dati di input

Per eseguire una corretta applicazione del modello è necessario inserire tutti i dati di input richiesti dal software, quali:

- Tipologia dell'inquinante studiato;
- Caratteristiche delle sorgenti inquinanti;
- Condizioni meteorologiche caratterizzanti il sito;
- Caratteristiche orografiche della zona in esame.

Sorgenti

La prima cosa da definire è l'inquinante di cui si vuole stimare la dispersione o la deposizione, sia secca che umida, specificando anche le unità di misura da utilizzare nello studio e l'arco temporale su cui si desiderano mediare le concentrazioni restituite dal modello; in questo studio si sono stimate le medie orarie per gli

inquinanti che hanno limiti normativi indicanti misure mediate su 60 minuti e la media giornaliera per il PM10 che ha limiti mediati sulle 24 ore.

Successivamente bisogna caratterizzare le sorgenti presenti nello scenario rappresentato.

Nello studio in oggetto il modello ISC3 è stato utilizzato per studiare la dispersione dei fumi uscenti dalle condutture verticali realizzate per fornire la galleria di uno sfogo diretto attraverso cui diluire le alte concentrazioni di inquinanti che inevitabilmente si formano al suo interno.

Questo tipo di sorgente è stata schematizzata come un camino posto sul rilievo sotto il quale è presente la galleria in esame, e caratterizzata dalle seguenti informazioni richieste dal software:

- posizione della sorgente;
- altezza relativa e diametro del camino;
- fattore di emissione per l'inquinante studiato;
- velocità di fuoriuscita dei gas;
- temperatura dei fumi.

Parametri meteorologici

Per una corretta stima della dispersione è inoltre indispensabile fornire al modello i parametri meteorologici utili a definire i parametri matematici utilizzati nell'equazione della dispersione degli inquinanti precedentemente illustrata.

Per fare questo è necessario costruire un file di testo, con estensione .met, caratterizzante meteorologicamente il territorio esaminato e successivamente importato come input nel modello. Il file è composto da tante righe quante sono le ore descritte, ed ogni riga deve essere costruita come mostrato in figura:

| DATA | ORA | DIR.VENTO | VEL.VENTO | TEMP. | STAB | Hlimite |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 04 5 3 | 12 | 007.0000 | 0.5000 | 301.2 | 4 | 855.0 |
| 04 5 3 | 13 | 358.0000 | 0.5000 | 301.2 | 4 | 855.0 |
| 04 5 3 | 14 | 349.0000 | 0.5000 | 301.2 | 4 | 855.0 |

Le prime otto caselle di ogni stringa rappresentano la data e l'ora a cui si riferiscono i dati successivi (nell'esempio 3/5/2004 dalle ore 12 alle ore 14), che rappresentano, in ordine:

- caselle 9-15: direzione del vento, espressa in gradi Nord;

- caselle 19-23: velocità del vento, espressa in m/s;
- caselle 25-28: temperatura, espressa in Kelvin;
- casella 30: stabilità atmosferica (1-6);
- caselle 33-36: altezza dello strato limite, espressa in metri.

Il modello ISC3 consente inoltre di tener conto dell'orografia della zona studiata permettendo di importare diversi formati di file contenenti l'andamento delle relative curve di livello.

Ricettori

L'ultimo dato da inserire riguarda le coordinate dei punti recettori, quei punti cioè in cui si vuole che il modello restituisca la concentrazione dell'inquinante studiato. ISC3 fornisce una vasta gamma di metodologie per inserire i recettori nel modo più opportuno, permettendo di scegliere tra recettori puntuali, lineari, griglie rettangolari e circolari fino ad arrivare a forme geometriche più complesse facilmente adattabili ad ogni esigenza che il caso può richiedere

Il modello ISC3 utilizzato presenta un interfaccia grafica messa a punto dalla Lakes Environmental Software che oltre a semplificare l'immissione dei dati richiesti analizza i dati di output restituiti fornendo, oltre ai valori puntuali registrati in un file di testo, delle mappe con curve di isoconcentrazione che rendono immediata la comprensione della dispersione stimata.

## 1.4 Il modello di simulazione CALINE 4

Il modello di dispersione CALINE4 (A dispersion model for predicting air pollutant concentrations near roadways) della FHWA, è un modello ufficiale EPA riconosciuto in sede internazionale.

L'utilizzo del codice è stato migliorato attraverso l'impiego del software CALRoads View della Lakes Environmental Software, che costituisce interfaccia grafica per una gestione semplificata del suddetto modello sia in fase di input che per la gestione completa (tabellare e grafica) dei dati di output.

Il codice CALINE4 è l'ultimo ed il più aggiornato (verifica del giugno 1998) di una serie di modelli di qualità dell'aria per sorgenti lineari sviluppati dal California Department of Transportation (Caltrans).

Infatti esso costituisce l'ultimo stadio di una catena evolutiva di modelli di diffusione iniziata nel 1972 con la pubblicazione da parte del Caltrans del primo modello di dispersione di gas inerte da sorgente lineare. In particolare il modello raccoglie l'eredità dei predecessori CALINE2 (1975) e CALINE3 (1979), contenendo i miglioramenti richiesti dalla validazione di tali modelli.

Lo scopo del modello è la verifica della qualità dell'aria in prossimità di infrastrutture stradali fino ad una distanza di 500 metri dall'asse, conoscendo le proprietà della sorgente, la meteorologia che caratterizza il sito e la geometria del territorio. CALINE4 consente di calcolare le concentrazioni sia per inquinanti relativamente inerti quali il monossido di carbonio (CO) sia per il biossido di azoto (NO2) e il particolato sospeso.

I dati di input

Gli input richiesti dal modello possono essere schematizzati come segue:

- Caratteristiche delle sorgenti;
- Parametri meteorologici;
- Posizionamento dei recettori.

Le sorgenti

Il tratto di strada studiato viene rappresentato attraverso singoli tratti (link) aventi caratteristiche omogenee sia dal punto di vista del traffico circolante sia riguardo le caratteristiche fisiche che una strada può presentare.

L'insieme dei dati di tipo fisico richiesti dal modello sono i seguenti:

- coordinate degli estremi del tratto stradale;
- larghezza della strada;
- altezza della strada rispetto al piano di campagna;
- tipologia del tracciato (trincea, rilevato, viadotto, ecc.).

Per caratterizzare le emissioni della sorgente lineare studiata è necessario inserire:

- numero dei veicoli circolanti in un ora;
- fattore di emissione caratterizzante tale traffico, espresso in grammi per miglio-veicolo.

Per la stima delle emissioni dal settore dei trasporti su strada, nell'ambito del progetto europeo CORINAIR (COoRdination INformation AIR), è stato messo a punto un programma di calcolo, che viene periodicamente

implementato, denominato COPERT III (Computer Programme for calculating Emissions from Road Transport).

Il metodo di calcolo delle emissioni si basa sul concetto di “fattore di emissione” definito come quantità in grammi di inquinante emessa per km percorso da ciascuna tipologia di veicolo esaminata. A tal fine è necessario definire la composizione del parco veicolare circolante lungo l’infrastruttura stradale esaminata disaggregato per:

- tipo di alimentazione ( benzina, diesel, GPL);
- cilindrata;
- anzianità.

L’anzianità dei veicoli viene presa in considerazione perché nel corso degli anni si sono succedute una serie di normative europee che hanno imposto restrizioni sempre più severe per le emissioni veicolari.

Per tutte le categorie di veicoli (eccetto i ciclomotori e i veicoli pesanti a benzina) i fattori di emissione degli inquinanti principali (monossido di carbonio (CO), ossidi di azoto (NOx), composti organici volatili non metanici (NMVOC), materia particolato (PM10)) vengono definiti in funzione della velocità.

Inoltre per tutte le categorie di veicoli vengono distinti tre tipi di percorsi:

- Percorso urbano;
- Percorso extrarbuna;
- Percorso autostradale.

Secondo la metodologia che sta alla base del programma di calcolo le emissioni da traffico veicolare vengono suddivise in tre tipi:

- Emissioni a caldo;
- Emissioni a freddo;
- Emissioni evaporative.

Le emissioni a caldo (temperatura dell’acqua del radiatore maggiore di 70°C) sono quelle generate dai motori a combustione interna quando la temperatura del motore ha raggiunto il normale regime di funzionamento. Le emissioni a freddo sono quelle che si verificano quando il motore opera ad una temperatura inferiore a quella di regime. Ciò provoca da un lato un extra-consumo di combustibile e dall’altro una diversa modalità di combustione; ambedue i fenomeni provocano un aumento delle emissioni per tutti i

tipi di veicoli e per tutte le modalità di guida, ma è preponderante nei percorsi urbani e pertanto solo questo tipo di percorso viene preso in considerazione nel programma di calcolo. Esistono infine le emissioni evaporative di composti organici volatili non metanici (COVNM), rilevanti soprattutto per gli autoveicoli a benzina.

Pertanto il calcolo dei fattori di emissione per ogni singolo inquinante richiede la conoscenza dei seguenti parametri di input:

- Categoria del veicolo (alimentazione e cilindrata);
- Anno di produzione;
- Velocità media (tipologia di strada percorsa).

I parametri meteorologici

L'input meteorologico del modello è costituito dai valori orari dei seguenti parametri:

- velocità del vento;
- direzione di provenienza del vento;
- temperatura media;
- classe di stabilità atmosferica;
- altezza dello strato di mescolamento.

Il modello ipotizza che sull'intera area di studio e nell'arco temporale di calcolo risultino costanti i parametri meteorologici forniti.

La classe di stabilità rappresentativa del grado di turbolenza dell'atmosfera, in quanto esprime la sua capacità di disperdere gli inquinanti, deve essere indicata attraverso le classi di stabilità di Pasquill che individuano sette classi di stabilità (A,B,C,D,E,F,G) ricavate in base a diverse classi di vento in superficie, all'insolazione e alle classi di nuvolosità durante le ore notturne. Le classi A, B, e C rappresentano situazioni di instabilità dell'atmosfera e quindi situazioni in cui è facilitata la dispersione degli inquinanti, le classi da E a G rappresentano condizioni di stabilità ovvero situazioni in cui gli inquinanti rimangono confinati. Infine la classe D costituisce una situazione di neutralità dell'atmosfera, situazione intermedia rispetto alle due precedenti.

L'altezza dello strato di mescolamento è il parametro che determina la quota massima cui possono giungere le concentrazione degli inquinanti prodotte dalle sorgenti in relazione all'ostacolo alla diffusione verticale

(verso l'alto) posto da eventuali strati di aria calda, che le emissioni dovessero incontrare nel loro moto ascensionale. All'interno dello strato di mescolamento avvengono fenomeni di turbolenza meccanica generati dal movimento dei veicoli lungo il percorso stradale e fenomeni di turbolenza termica prodotti dagli scarichi gassosi a temperatura elevata. Da questa definizione emerge l'importanza dell'identificazione spaziale del volume di aria all'interno del quale avviene la miscelazione dei gas per caratterizzare il processo di dispersione degli inquinanti.

I recettori

Il software permette di inserire recettori puntuali, lineari e griglie più o meno fitte di nodi recettori.

Per ogni punto indicato il modello restituisce il valore delle concentrazioni stimate dell'inquinante in esame salvando tale risultato in un file di testo.

L'utilizzo del software CALRoads View permette anche una restituzione grafica degli output mediante mappe con curve di isoconcentrazione in cui ad ogni intervallo di concentrazione definito viene associato un differente colore in modo da rendere immediatamente visualizzato l'andamento degli inquinanti prodotti in relazione alla distanza dalla sorgente.

L'utilizzo dei recettori lineari risulta particolarmente utile per stimare l'impatto che una sorgente lineare come una strada provoca su eventuali recettori posti all'interno di fasce poste a determinate distanze dal ciglio della strada.

È quindi consigliabile posizionare più linee di recettori posti a distanze variabili dai 5 metri dal ciglio della strada sino a circa 250 metri al fine di avere un output che mostri chiaramente l'andamento della concentrazione in relazione alla distanza dalla sorgente.