

ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

FACOLTÀ DI INGEGNERIA

**CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA PER L'AMBIENTE E IL
TERRITORIO**

DICMA

TESI DI LAUREA

in

Modellistica Ambientale M

**UTILIZZO DEL MODELLO CALPUFF
PER LA VALUTAZIONE DELLA QUALITÀ DELL'ARIA
DA EMISSIONI DI UN IMPIANTO DI PROCESSO**

CANDIDATO
Elena Negri

RELATORE
Prof. Ing. Giacomo Antonioni

CORRELATORE
Ing. Pamela Morra

Anno Accademico 2010/11

Sessione II

Indice

1. Introduzione.....	7
2. Inquinamento in aria.....	9
2.1. Introduzione	9
2.2. Emissione di inquinanti in aria: D.Lgs. 152/2006	10
2.3. Qualità dell'aria ambiente: D.Lgs. 155/2010	10
3. Modelli per la qualità dell'aria	12
3.1. Applicazioni e scala di utilizzo.....	12
3.1.1. Scala locale e urbana.....	13
3.1.2. Scala regionale	14
3.2. Rappresentazione grafica dei risultati.....	15
3.3. Modelli suggeriti dall'EPA.....	17
3.3.1. Modelli di dispersione.....	17
3.4. Calpuff Modeling System.....	19
3.4.1. Calmet	20
3.4.2. Calpuff	21
3.4.3. Calpost	22
4. Modello di Dispersione Calpuff	23
4.1. Modello a Puff	24
4.1.1. Effetto del terreno e di strati di inversione.....	25
4.2. Modello Calpuff.....	25
4.2.1. Rilascio istantaneo e continuo	25
4.2.2. Forma del puff.....	27
4.3. Dispersione turbolenta	28
5. Caso di studio	31
5.1. Introduzione	31
5.2. Emissione.....	33
5.2.1. Introduzione - pericolosità delle sostanze.....	33

5.2.2. Caratterizzazione della sorgente	35
5.3. Caratteristiche delle sostanze emesse	35
6. Modellazione	40
6.1. Configurazione di Calmet	40
6.1.1. Griglia di calcolo: GRID.CMN	40
6.1.3. Informazioni geofisiche GEO.DAT	41
6.1.4. Info Meteo in superficie: SURF.DAT	42
6.1.5. Info meteo in quota: UP.DAT	42
6.1.6. Opzioni di Simulazione e di Output	44
6.2. Configurazione di Calpuff	44
6.2.1. Opzioni di simulazione	44
6.2.2. Proprietà delle sostanze emesse	44
6.2.3. Sorgenti	47
6.2.4. Ricettori	48
6.2.5. Output	49
6.3. Configurazione di calpost	49
6.4. Simulazione considerando il building downwash	50
6.4.1. Il building downwash	50
6.4.2. BPIP - Building Profile Input Program	51
7. Analisi della simulazione	53
7.1. Introduzione	53
7.2. Confronto con mappe di concentrazione	53
7.2.1. Effetto Building Downwash	54
7.3. Confronto con andamento temporale	57
7.3.1. Effetto del Building Downwash	57
8. Conclusioni	61
Allegato A	63
Allegato B	66
Allegato C	80

C.1. grid.dat (definisce la griglia di calcolo)	80
C.2. geo.dat (quota e uso del terreno)	81
C.3. surf.dat (informazioni meteo al suolo)	82
C.4. up.dat (profilo verticale delle informazioni meteo)	85
Allegato D	88
Allegato E.....	89
Allegato F	90
F.1. Cloroetano.....	90
F.2. N-esano	91
Bibliografia.....	92

1. Introduzione

La legislazione europea e il suo recepimento nella normativa nazionale incoraggiano lo sviluppo e l'uso di sistemi modellistici di qualità dell'aria che sono considerati di primaria importanza nelle valutazioni preliminari di qualità e utili per completare il contenuto informativo delle misure dirette.

Il funzionamento dei modelli di dispersione consiste nel simulare gli effetti di una o più sorgenti di emissione in termini di concentrazione degli inquinanti emessi in corrispondenza di fissati recettori.

Il presente elaborato utilizza il sistema modellistico Calpuff (che è tra quelli raccomandati dall'EPA, l'agenzia statunitense per la protezione dell'ambiente) applicato ad un caso reale, in particolare all'impianto di processo dell'azienda chimica Lyondellbasell situato a Ferrara.

L'applicazione ad impianti di processo risulta insolita, spesso i modelli di analisi della dispersione di inquinanti in atmosfera simulano l'emissione da impianti di combustione, ad esempio termovalorizzatori, impianti termici, ecc.. Si sottolinea comunque l'utilità dell'applicazione in esame, sia in fase di progettazione che come base di partenza per la valutazione del rischio per la salute umana e per studi eco-tossicologici, studi utili anche se attualmente non richiesti dalla normativa italiana. che richiede il calcolo del rischio soltanto per i suoli contaminati.

Si è ottenuta una prima simulazione "base" che servirà come confronto rispetto ad altre simulazioni nelle quali si potranno testare diverse opzioni fornite dal modello. Nell'ambito di questa tesi si è valutata in particolare l'influenza che impianti industriali situati nell'intorno della sorgente hanno sulla distribuzione delle concentrazioni al suolo. Infatti gli impianti costituiscono ostacoli alla dispersione degli inquinanti in aria, in misura tanto maggiore quanto più sono alti, ampi e prossimi alla sorgente.

Nei primi due capitoli si è analizzata la normativa italiana sulla tutela dell'aria, dal punto di vista delle emissioni e delle immissioni, l'importanza della modellazione matematica e le sue applicazioni su diverse scale spaziali: dalla scala locale a quella regionale e sovraregionale.

Nel capitolo 4 si è analizzato il sistema modellistico Calpuff, le sue caratteristiche, le potenzialità e le equazioni principali su cui è basato.

Calpuff è un modello gaussiano a puff in grado di descrivere emissioni continue o istantanee, in regime stazionario o variabile nel tempo.

Il programma è ideato in tre componenti principali: il pre-processore dei dati meteo Calmet, il calcolo vero e proprio per ricavare le concentrazioni (Calpuff) e il post-processore Calpost per ricavare i dati sintetici di interesse.

Il capitolo 5 descrive l'applicazione al caso reale. L'impianto considerato è costituito da un camino che rilascia inquinanti in modo continuo e stazionario su di un territorio pianeggiante. Si sono svolte due simulazioni, le cui principali caratteristiche sono descritte nel capitolo 6, che si differenziano per l'aver considerato o meno gli impianti dell'azienda, i quali agiscono da ostacolo alla dispersione degli inquinanti.

Infine nel capitolo 7 si sono visualizzati su GIS i risultati delle simulazioni attraverso mappe di concentrazione, che mostrano l'andamento spaziale delle medie sull'intero periodo simulato, e profili che mostrano l'andamento temporale delle concentrazioni su singoli recettori.

2. Inquinamento in aria

2.1. Introduzione

L'inquinamento atmosferico può essere definito come la presenza nell'atmosfera di sostanze che causano un effetto negativo misurabile sulle componenti dell'ambiente in cui viviamo (sull'essere umano, sugli animali, sulla vegetazione o sui materiali).

L'inquinamento può essere di origine antropica, cioè causato dall'attività dell'uomo, come ad esempio impianti industriali, riscaldamento, traffico veicolare, oppure di origine naturale, ad esempio l'azione di erosione, esalazioni vulcaniche, ecc.

Gli inquinanti emessi in atmosfera possono essere suddivisi nelle seguenti principali categorie [1]:

- precursori delle piogge acide: prevalentemente anidride solforosa, ossidi di azoto, acido cloridrico;
- ossidanti: tra i quali ossidi di azoto;
- sostanze tossiche o potenzialmente tossiche: quali idrocarburi, anidride solforosa, metalli pesanti, acido fluoridrico, arsenico, selenio;
- sali neutri: ad esempio il sale marino, cloruro di sodio;
- elementi nutritivi per la vegetazione e la microflora: tra i quali calcio, magnesio, ione ammonio, ione nitrico, ione solfato.

I contaminanti atmosferici, possono anche essere suddivisi in “primari” cioè liberati nell'ambiente come tali (come ad esempio il biossido di zolfo ed il monossido di azoto) e secondari (come l'ozono) che si formano successivamente in atmosfera attraverso reazioni chimico-fisiche.

La qualità dell'atmosfera, nella normativa italiana, viene tutelata sia dal fronte delle emissioni (D.Lgs. 152/2006) [2], cioè attraverso limiti sulle concentrazioni di inquinanti nel momento in cui essi escono dalla sorgente ed entrano in contatto con l'atmosfera, sia dal punto di vista delle immissioni (D.Lgs. 155/2010) [3], cioè delle quantità di inquinanti in prossimità dei possibili ricettori, imponendo limiti di concentrazioni per la qualità dell'aria ambiente.

Il D.Lgs 152/2006, con le modifiche introdotte dal D.Lgs 4/2008, tratta l'inquinamento atmosferico nella parte V e in particolare si applica agli

impianti e alle attività che introducono sostanze inquinanti in atmosfera. In particolare esso stabilisce i valori di emissione, i metodi di campionamento e analisi delle emissioni e i criteri per la valutazione della conformità dei valori misurati rispetto ai valori limite [2].

2.2. Emissione di inquinanti in aria: D.Lgs. 152/2006

Il decreto, nella parte V, si applica alle attività che producono emissioni in atmosfera e stabilisce i valori di emissione, le prescrizioni, i metodi di campionamento e di analisi delle emissioni ed i criteri per la valutazione della conformità dei valori misurati ai valori limite.

Indica che gli stabilimenti che producono emissioni devono ottenere un'autorizzazione alle emissioni, che viene rilasciata con riferimento all'intero stabilimento e stabilisce i limiti e le modalità di rilascio delle sostanze in atmosfera.

Per le sostanze per cui non sono fissati valori di emissione, l'autorizzazione stabilisce appositi valori limite con riferimento a quelli previsti per sostanze simili sotto il profilo chimico e aventi effetti analoghi sulla salute e sull'ambiente.

L'autorizzazione inoltre cerca di convogliare le emissioni in un unico punto dell'impianto, solo se questo non è tecnicamente possibile o sicuro, l'autorità competente può autorizzare un impianto avente più punti di emissione, indicando in tal caso i valori limite riferiti al complesso delle emissioni, e le concentrazioni limite di ciascuna emissione.

I limiti all'emissione contenuti nel decreto, possono comunque essere sostituiti con limiti più restrittivi imposti dai piani e programmi di qualità dell'aria (previsti dal D.Lgs 155/2010) nel caso in cui questo sia necessario per il rispetto dei valori e degli obiettivi di qualità dell'aria.

2.3. Qualità dell'aria ambiente: D.Lgs. 155/2010

Per quanto riguarda l'aspetto delle immissioni in atmosfera, il D.Lgs. n.155 del 13 agosto 2010 [3] attua la direttiva 2008/50/CE e istituisce un quadro normativo unitario per la valutazione della qualità dell'aria ambiente, dove per aria ambiente si intende l'aria esterna ad esclusione di quella presente nei luoghi di lavoro (che è regolata dal D.Lgs. n.81/2008).

Il decreto 155/2010 è finalizzato a individuare obiettivi di qualità dell'aria che non danneggino la salute umana e l'ambiente e a individuare metodologie per la misurazione della qualità dell'aria che siano comuni su tutto il territorio nazionale.

In particolare la valutazione si basa sulla zonizzazione del territorio e sull'utilizzo di una rete di misura appropriata e definita nei dettagli.

Per quanto riguarda la zonizzazione del territorio nazionale: ogni zona ha specifiche ed omogenee modalità di valutazione, in modo da garantire standard qualitativi elevati su tutto il territorio, nel rispetto dei principi di efficienza, efficacia ed economicità. La classificazione delle zone avviene confrontando gli esiti delle misurazioni con i valori soglia inferiori e superiori imposti dal decreto e specifici per ciascun inquinante. La classificazione delle zone è riesaminata almeno ogni cinque anni.

Per quanto riguarda la rete di misura, essa è costituita da rilevamenti in punti fissi, con campionamento continuo o discontinuo e su tecniche di modellazione o di stima obiettiva. La scelta delle stazioni di misura e le metodologie per ottenere una buona qualità dei dati sono descritte in modo dettagliato negli allegati del decreto.

Per assicurare il rispetto dei limiti, e per gestire la qualità dell'aria, le Regioni adottano dei piani che vengono redatti assicurando la partecipazione degli enti locali e dei cittadini, mettendo loro a disposizione le informazioni durante le varie fasi di elaborazione. Questi piani si differenziano a seconda dell'entità dell'inquinamento e dell'area interessata dai superamenti.

Il decreto individua le tecniche di modellazione come utile supporto per i piani di qualità dell'aria, da integrare con le misurazioni effettuate nei punti fissi. La modellazione può infatti essere un utile strumento per:

- ottenere campi di concentrazione anche nelle aree all'interno delle zone ove non esistano stazioni di misurazione;
- comprendere le relazioni tra emissioni e immissioni e individuare i contributi delle diverse sorgenti alle concentrazioni in una determinata area (source apportionment);
- integrare e combinare le misurazioni effettuate tramite le stazioni di misurazione in siti fissi, in modo tale da ridurre il numero;
- indirizzare le azioni e valutare l'efficacia delle misure di contenimento delle emissioni in atmosfera.

3. Modelli per la qualità dell'aria

La simulazione della dispersione di emissioni tramite modelli permette di determinare l'impatto ambientale delle emissioni stesse sul territorio. Tramite l'applicazione di modelli è possibile simulare la dispersione in atmosfera delle sostanze inquinanti, intorno alla sorgente di emissione, e quindi è possibile procedere al calcolo della concentrazione in aria degli inquinanti emessi, per ogni intervallo di tempo del dominio considerato. Le concentrazioni così ottenute possono essere elaborate per ottenere dati sintetici come ad esempio medie annuali, giornaliere, percentuali di concentrazione, che possono essere confrontati con i limiti di riferimento di legge.

Le tecniche di modellazione sono quindi un importante strumento di aiuto per la valutazione della qualità dell'aria e rappresentano [4] uno strumento fondamentale per la stima preventiva dell'impatto su un territorio di sorgenti potenzialmente inquinanti e per la realizzazione di piani e programmi di miglioramento e mantenimento della qualità dell'aria che sono individuati nel D.Lgs. 155/2010. L'appendice III del decreto definisce le caratteristiche generali dei modelli, in particolare la scelta del modello deve essere effettuata in funzione della risoluzione spaziale e temporale della valutazione, delle caratteristiche delle sorgenti di emissione e degli inquinanti da considerare (*allegato A* della tesi).

3.1. Applicazioni e scala di utilizzo

Per quanto riguarda la risoluzione spaziale, sono state individuate 3 scale di riferimento [4] alle quali corrispondono altrettante tipologie di modelli in quanto sono differenti i processi atmosferici prevalenti di produzione, diffusione e trasformazione chimica degli inquinanti:

- scala locale: microscala, legata principalmente agli studi di impatto;
- scala urbana: per gli inquinanti primari in aree urbane, industriali e in grandi agglomerati;
- scala regionale: per gli inquinanti secondari su scala regionale e su tutto il territorio.

3.1.1. Scala locale e urbana

I modelli adottati a scala locale e urbana devono essere adatti al trattamento di inquinanti primari a supporto della valutazione della qualità dell'aria in aree urbane, metropolitane o in aree industriali, dove la qualità dell'aria risulta determinata principalmente dalle fonti di emissione vicine [4]. Numerose sono le esperienze di applicazione disponibili e il numero di modelli che è possibile utilizzare, tra questi il modello Calpuff che sarà analizzato in seguito.

I modelli a scala locale sono spesso utilizzati per la progettazione urbanistica e per la gestione del traffico. Altri usi sono la stima dell'esposizione ad inquinanti da parte degli abitanti o di particolari categorie professionali, le valutazioni di impatto ambientale e anche la progettazione di camini. Il dominio spaziale¹ ha il lato che varia da alcune centinaia di metri a qualche chilometro.

I modelli a scala urbana sono frequentemente applicati per descrivere la dispersione da camini, da traffico veicolare, da agglomerati urbani o discariche. Il dominio spaziale ha il lato che varia da qualche chilometro fino a varie decine di chilometri. Vengono considerati solo inquinanti primari con scarsa reattività o con processi di trasformazioni non rilevanti sul dominio di calcolo e per il loro tempo di permanenza. Possono comunque essere trattati i fenomeni di deposizione secca ed umida e le trasformazioni al primo ordine, cioè con decadimento espresso mediante una costante di tempo [5].

I dati di input necessari per questi modelli sono i dati meteorologici (velocità, direzione e profilo verticale del vento, temperatura e profilo verticale di temperatura, umidità, pressione, radiazione solare e precipitazione), dati emissivi (geometria della sorgente e concentrazione degli inquinanti emessi) e condizioni iniziali ed al contorno, provenienti da stazioni di qualità dell'aria o da un modello a scala regionale.

Nel caso di modelli a scala urbana, si può considerare la deposizione secca e umida, in questo caso sono necessari dati sul territorio come l'uso del suolo.

Dati cartografici del dominio sono invece utili per individuare eventuali zone sensibili.

¹ Dominio spaziale: si intende la superficie al suolo sulla quale si vanno a valutare le concentrazioni. Corrisponde quindi all'area di interesse per la simulazione.

3.1.2. Scala regionale

Descrivono i processi di inquinamento primario e secondario, ad esempio ozono ed ossidanti fotochimici che si producono in atmosfera per effetto di reazioni di inquinanti primari, detti precursori, immessi in un'area estesa e distribuiti dai sistemi atmosferici.

Gli scenari sono caratterizzati da una minore variabilità nello spazio della concentrazione di inquinanti rispetto agli scenari urbani e da un marcato ciclo diurno e stagionale [5]. Vengono applicati per la valutazione e la previsione a breve (quotidiana) e lungo termine (scenari) della qualità dell'aria.

Il dominio spaziale ha il lato che varia da qualche decina a qualche centinaia di chilometri e un'estensione verticale che si estende tipicamente fino a 1 o 2 km di altezza, in dipendenza dalle condizioni meteorologiche. Esempi relativi a questi scenari di inquinamento sono il bacino padano, aree di città metropolitane o città in zone prealpine o costiere (Genova, Palermo), ecc.

Per un adeguato modello su ampia scala i dati di input meteorologici sono campi tridimensionali che ricoprono tutto il dominio di applicazione, idonei a descrivere le proprietà dello strato limite planetario (PBL)² (vento, temperatura, turbolenza...).

L'input meteorologico può essere ottenuto applicando preprocessori meteorologici diagnostici o modelli meteorologici prognostici.

Altri dati necessari riguardano l'orografia, i dati di uso del suolo (in quanto modificano la deposizione), i dati emissivi e chimici (in genere le specie chimiche coinvolte sono 50 o più e i dati devono essere forniti su ciascuna cella del grigliato) e le condizioni iniziali ed al contorno, ad esempio provenienti da un modello fotochimico a scala superiore.

² Strato limite planetario: è lo strato più basso della troposfera, dove il vento risente della superficie terrestre.

3.2. Rappresentazione grafica dei risultati

Il risultato delle applicazioni modellistiche relative alla dispersione di inquinanti in atmosfera necessita di un'opportuna rappresentazione grafica che permetta, anche ai non addetti ai lavori, l'immediata percezione dell'informazione ricavata [5].

Il risultato di una simulazione modellistica è rappresentato, in generale, da un insieme di valori stimati di concentrazione C_i per un dato periodo t_j (media aritmetica su un periodo più o meno lungo, a seconda della finalità della simulazione). Ad ogni valore di concentrazione C_i sono associate le coordinate dei ricettori o dei punti griglia dello spazio bidimensionale (o tridimensionale) che rappresenta il dominio di calcolo utilizzato dal modello. Quello che si ottiene è pertanto una matrice di concentrazioni a tre o quattro dimensioni ($C_{x,y,t}$ o $C_{x,y,z,t}$) per ognuno degli inquinanti per i quali è stata effettuata la simulazione.

La scelta della modalità con la quale rappresentare graficamente le concentrazioni dipende dal tipo di informazione che deve essere evidenziata; in generale è possibile fornire:

- serie temporali per ricettore o punto griglia;
- istogrammi o distribuzioni di frequenza per ricettore o punto griglia;
- mappe istantanee aventi passo temporale coincidente con quello del modello o cumulative (in termini di concentrazione) di più passi temporali.

La rappresentazione con mappe può essere realizzata attraverso carte tematiche oppure con mappe riportanti campi di isoconcentrazione, come mostrato in *figura 1*.

Nel caso delle carte tematiche si tratta di attribuire il valore di concentrazione ad un'area che può essere predefinita (nel caso in cui il dominio di calcolo sia un grigliato regolare) oppure determinata attraverso criteri di omogeneità geometrica (dipendente dalla disposizione dei ricettori) o attraverso criteri derivanti dalla conoscenza del territorio oggetto di studio. Nel caso delle mappe di isoconcentrazione i risultati ottenuti dal modello di dispersione vengono elaborati da programmi in grado di fornire l'interpolazione dei dati, al fine di fornire rappresentazioni grafiche di più facile comprensione. È da ricordare però che l'ulteriore elaborazione dell'informazione può modificare lo scarto fra dato simulato dal modello di dispersione e dato misurato.

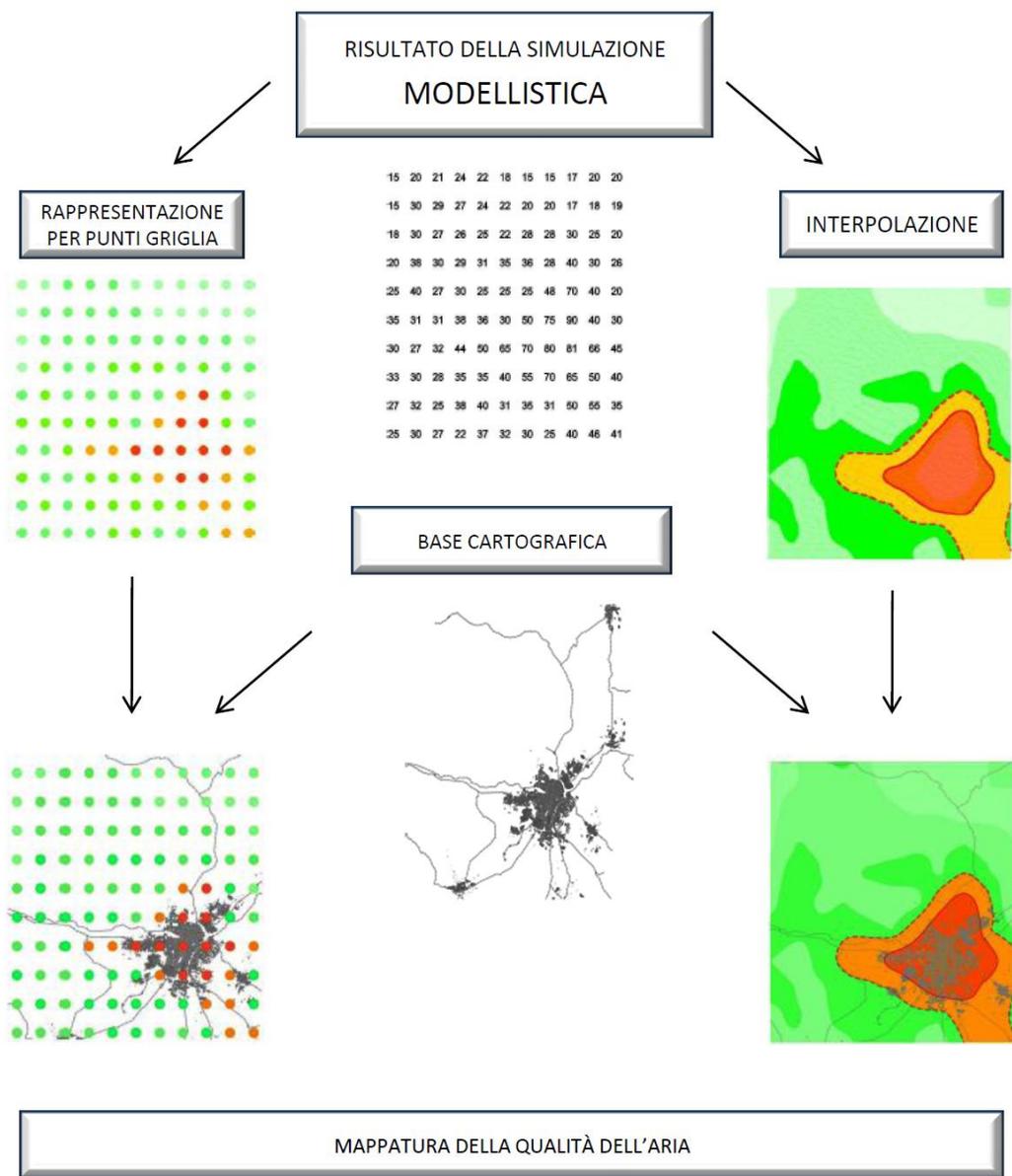


Figura 1: Rappresentazione grafica dei risultati di una simulazione

3.3. Modelli suggeriti dall'EPA

L'EPA (Environmental Protection Agency) è l'agenzia statunitense che si occupa della protezione dell'ambiente. È un'istituzione indipendente, creata nel 1970 e focalizza la sua azione nello stabilire e rinforzare gli standard di controllo sull'inquinamento, al fine di proteggere la salute umana e di salvaguardare l'ambiente naturale (aria, acqua e suolo).

L'EPA fornisce un ampio elenco di modelli liberamente scaricabili che costituiscono i modelli accettati per gli studi all'interno degli Stati Uniti. Tra questi modelli, alcuni sono indicati come "Preferred/Recommended", sono cioè modelli consigliati e raccomandati, modelli ritenuti più raffinati, su cui gli USA sono obbligati a basare alcuni piani e programmi interni. Molti Paesi, tra cui l'Italia, fanno riferimento ai modelli dell'EPA per i propri studi interni.

Per quanto riguarda i modelli per la qualità dell'aria, l'EPA suggerisce diverse classi di modelli [6], in base alla finalità dell'analisi:

- dispersion modeling: utilizzano i dati di emissione alla sorgente e dati meteorologici per la stima della concentrazione di inquinanti in corrispondenza di ricettori posti al livello del suolo nell'intorno della sorgente;
- photochemical modeling: utilizzati per simulazioni su vasta scala, considerano le trasformazioni che gli inquinanti subiscono nell'atmosfera e stimano l'effetto di deposizione da parte di sostanze sia inerti che reattive;
- receptor modeling: utilizzano dati rilevati in corrispondenza della sorgente e del ricettore per effettuare una valutazione qualitativa e quantitativa sull'influenza della specifica sorgente sulla concentrazione rilevata al ricettore (si basano quindi sulla disponibilità di dati in corrispondenza dei ricettori).

3.3.1. Modelli di dispersione

I modelli utilizzano formulazioni matematiche per caratterizzare i processi atmosferici che disperdono una sostanza inquinante emessa da una sorgente. Sulla base delle caratteristiche di emissione e di fattori meteorologici, un modello di dispersione può essere utilizzato per prevedere le concentrazioni in determinati punti sottovento.

I modelli raccomandati dall'EPA [6] in questo ambito sono i seguenti:

- Aermod: modello stazionario di tipo plume che descrive la dispersione in atmosfera basata sul concetto di strato limite planetario, può simulare l'effetto di sorgenti sia al suolo che in quota e su terreni semplici o complessi;
- Calpuff: modello gaussiano non stazionario di tipo puff che simula il trasporto, la trasformazione e i processi di rimozione degli inquinanti al variare delle variabili spaziali e temporali. Può inoltre simulare il trasporto a lungo raggio degli inquinanti e i terreni complessi;
- Blp: è un modello di dispersione gaussiano di tipo plume, progettato per gestire i problemi associati ad impianti industriali nei quali sono importanti fenomeni di effetto scia da parte di edifici (downwash);
- Caline3: è un modello di dispersione gaussiano di tipo stazionario, progettato per calcolare la concentrazione di inquinamento atmosferico in località sottovento rispetto a tratti stradali e che si trovano su terreni non molto complessi. Si trova incorporato nei modelli cal3qhc e cal3qhcr che sono più raffinati;
- Cal3qhc/ Cal3qhcr: sono modelli basati su caline3 ma che contengono modelli di traffico per il calcolo dei ritardi e delle code che si verificano in corrispondenza dei semafori. Cal3qhcr è ancora più raffinato e necessita anche di dati meteorologici locali;
- CTDMPlus (Complex Terrain Model Plus): è un modello gaussiano raffinato che simula l'effetto di sorgenti puntiformi in qualsiasi tipo di condizione atmosferica e di complessità del terreno;
- OCD (Offshore and Coastal Dispersion): è un modello gaussiano sviluppato per determinare l'impatto sulla qualità dell'aria di regioni costiere, provocato da emissioni in mare aperto da fonti puntuali, areali o lineari. Incorpora il trasporto e la dispersione del pennacchio sull'acqua e i cambiamenti che si verificano quando il pennacchio attraversa la linea di costa. Il modello richiede dati meteorologici per simulare entrambe le situazioni di offshore e onshore.

3.4. Calpuff Modeling System

In questa tesi è stato utilizzato il software Calpuff che, come detto, è un modello gaussiano non stazionario di tipo puff. I modelli a puff si basano sull'ipotesi che qualsiasi emissione di inquinante da parte di una sorgente puntuale può essere vista come l'emissione in successione di una sequenza di piccoli sbuffi di gas detti appunto puff, ciascuno indipendente dall'altro. Tali porzioni di fumo, una volta emesse, evolvono indipendentemente nello spazio e nel tempo in base alle caratteristiche di spinta acquisite all'emissione e in base alle condizioni meteorologiche medie e in base alla turbolenza che incontrano nel loro cammino [7].

Calpuff è un modello raccomandato dall'EPA [6] e realizzato dalla Earth Tech Inc. per conto del California Air Resources Board (CARB) e dell'EPA. È un modello avanzato che simula l'emissione di uno o più inquinanti. È un modello di tipo puff e descrive la dispersione, il trasporto e la rimozione di inquinanti in atmosfera al variare delle condizioni meteorologiche, fornendo come output l'andamento spazio-temporale delle concentrazioni al suolo. Può essere applicato su scala di decine o centinaia di chilometri e comprende algoritmi per tenere conto di effetti come l'impatto con il terreno, la rimozione degli inquinanti dovuti a deposizione secca e umida e a trasformazioni chimiche.

Il sistema di modellazione è ideato in tre componenti principali che costituiscono il pre-processore dei dati meteo, il calcolo vero e proprio e il post-processore, come mostrato in *figura 2*. I componenti principali del sistema di modellazione sono *Calmet* (modello meteorologico tridimensionale), *Calpuff* (modello di dispersione), e *Calpost* (un pacchetto di post processamento dei risultati). Ciascuno di questi programmi ha una semplice interfaccia grafica per l'utente (GUI). Oltre a questi componenti principali, possono essere utilizzati molti altri programmi di supporto, ad esempio per preparare dati geofisici (uso del suolo e morfologia del terreno) o meteorologici (vento, precipitazioni, ecc.).

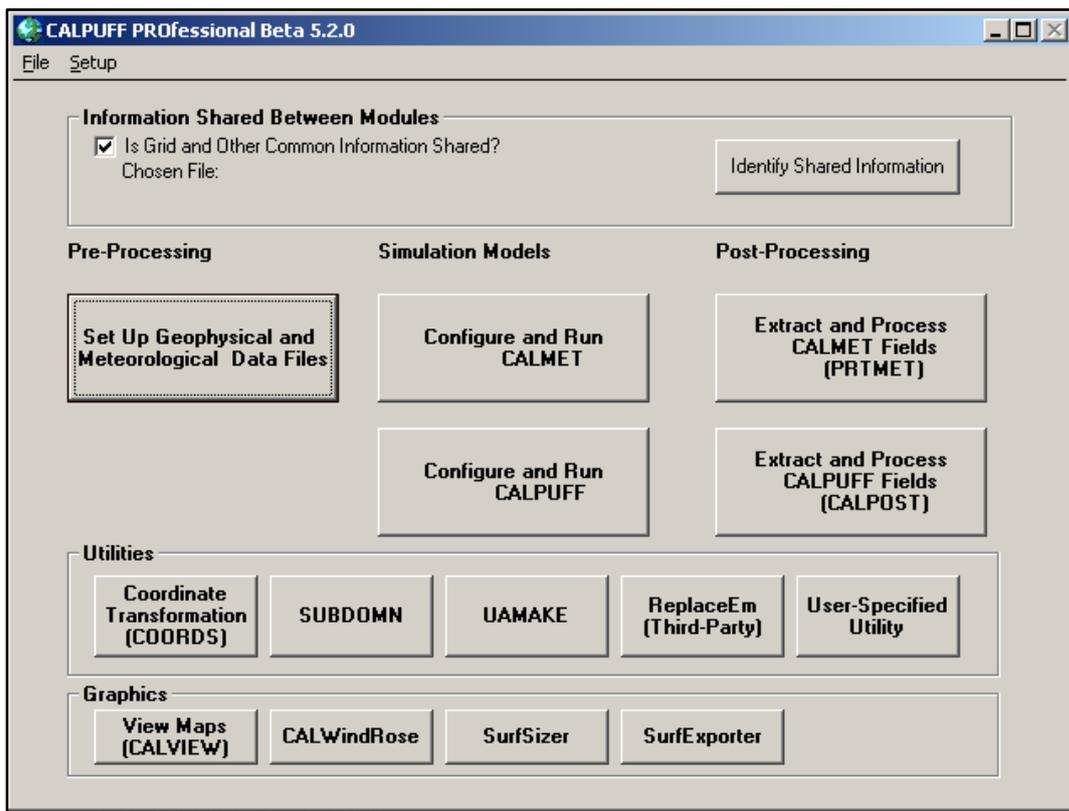


Figura 2: finestra principale del software

3.4.1. Calmet

Calmet è un modello meteorologico in grado di generare campi di vento variabili nel tempo e nello spazio, punto di partenza per il modello di simulazione vero e proprio [8].

I dati richiesti come input sono dati meteo al suolo e in quota (vento, temperatura, pressione...), dati geofisici per ogni cella della griglia di calcolo (altimetria, uso del suolo...), e dati al di sopra di superfici d'acqua, quando queste sono presenti (differenza di temperatura aria/acqua, vento, temperatura...).

In output, oltre ai campi di vento tridimensionali, si ottengono altre variabili come l'altezza di rimescolamento, la classe di stabilità, l'intensità di precipitazione, il flusso di calore e altri parametri per ogni cella del dominio di calcolo.

Calmet prende in considerazione i dati provenienti da diverse stazioni meteorologiche che si possono trovare in aria, al suolo o in corrispondenza di

superfici acquose e delle quali si indicano le coordinate all'interno della griglia di calcolo. Questi dati vengono utilizzati per creare un unico file meteorologico in cui le informazioni delle diverse stazioni vengono interpolate per ottenere valori che variano da cella a cella nella griglia meteorologica definita dall'utente. Questa elaborazione delle informazioni provenienti dalle stazioni meteo avrà effetti sulla successiva fase di simulazione della dispersione degli inquinanti, in particolare inciderà sul percorso seguito dal puff e quindi sulle concentrazioni al suolo.

Attraverso Calmet è possibile tenere conto di alcuni aspetti quali la pendenza del terreno, la presenza di ostacoli al flusso, la presenza di zone marine o corpi d'acqua. È dotato inoltre di un processore micrometeorologico, in grado di calcolare i parametri dispersivi all'interno dello strato limite (CBL), come altezza di miscelamento e coefficienti di dispersione.

Quando si utilizzano domini spaziali molto vasti, l'utente ha inoltre la possibilità di aggiustare i campi di vento per considerare la curvatura terrestre.

Il modello diagnostico per il calcolo dei campi di vento utilizza un algoritmo in due fasi [8]. Nella prima fase una stima iniziale del campo di vento viene modificata in base agli effetti cinematici del terreno, dei pendii presenti, degli effetti di bloccaggio. Successivamente, nella seconda fase, vengono introdotti i dati osservati dalle stazioni meteo all'interno del campo prodotto dalla fase 1, ottenendo così il campo di vento finale. Esiste comunque la possibilità di utilizzare come input campi di vento (generalmente a maglie più larghe) prodotti da modelli meteorologici di tipo prognostico, come ad esempio MM4-MM5 [8].

3.4.2. Calpuff

È il modello di dispersione vero e proprio. Calpuff è uno dei modelli puff più noti e impiegati e nel tempo si è arricchito di un alto numero di opzioni che, pur complicandone l'uso, ne fanno uno strumento estremamente versatile.

Il modello può utilizzare come dati in ingresso i campi meteorologici tridimensionali prodotti da Calmet o, in alternativa, dati provenienti da singole stazioni di monitoraggio dei parametri atmosferici in un formato compatibile con altri modelli gaussiani stazionari quali ISC3, AUSplume, CTDMplus, Aermod.

Le caratteristiche principali di Calpuff sono [9]:

- capacità di trattare sorgenti puntuali, lineari, areali, di volume, con caratteristiche variabili nel tempo (flusso di massa dell'inquinante, velocità di uscita dei fumi, temperatura, ecc.);
- notevole flessibilità relativamente all'estensione del dominio di simulazione, da poche decine di metri (scala locale) a centinaia di chilometri dalla sorgente (mesoscala);
- possibilità di trattare emissioni odorigene;
capacità di trattare situazioni meteorologiche variabili e complesse, come calme di vento, parametri dispersivi non omogenei, effetti globali quali rimozione di inquinanti, trasformazioni chimiche, venti di taglio verticali, brezze marine e interazioni mare-costa ed effetti vicino alla sorgente, come *transitional plume rise* (innalzamento del plume dalla sorgente), *building downwash* (effetti locali di turbolenza dovuti alla presenza di ostacoli lungo la direzione del flusso), *partial plume penetration* (parziale penetrazione del plume nello strato d'inversione).

3.4.3. Calpost

Calpost elabora l'output primario del modello, cioè il file con i valori orari della concentrazione di inquinante in corrispondenza dei recettori, per ottenere tabelle riassuntive con i parametri d'interesse per i vari casi di studio (ad esempio concentrazione massima o media per vari periodi, frequenze di superamento di soglie stabilite dall'utente).

Quindi, la funzione di questo post processore è quella di analizzare l'output di CALPUFF in modo da estrarre i risultati desiderati e schematizzarli in un formato idoneo ad una buona visualizzazione. Infatti, attraverso CALPOST, si ottengono matrici che riportano i valori di ricaduta calcolati per ogni nodo della griglia definita, relativi alle emissioni di singole sorgenti e per l'insieme di esse. Tali risultati possono essere elaborati attraverso un qualsiasi software di visualizzazione grafica dei risultati delle simulazioni (come ad es. il SURFER o sistemi GIS).

4. Modello di Dispersione Calpuff

Calpuff utilizza un modello matematico gaussiano di tipo puff. I modelli gaussiani sono modelli parametrici semplificati. Parametrici in quanto esprimono la concentrazione in funzione di un set di parametri di input, semplificati in quanto sono validi solo sotto una serie di ipotesi.

Il modello utilizzato da Calpuff si colloca ad un livello intermedio di complessità rispetto ai modelli disponibili sul mercato.

È più accurato rispetto al modello gaussiano tradizionale (a plume): il modello a puff è utilizzabile anche in condizioni di vento debole o di calma di vento in quanto la velocità del vento u non compare al denominatore nell'equazione che descrive il modello (*equazione 1*). Inoltre, al variare della direzione del vento, il modello a puff segue con maggiore precisione la traiettoria effettiva dell'emissione (*figura 3*) rispetto all'approccio tradizionale dove è l'intero plume a cambiare direzione insieme al vento. La differenza tra i due metodi è raffigurata nell'immagine seguente [10].

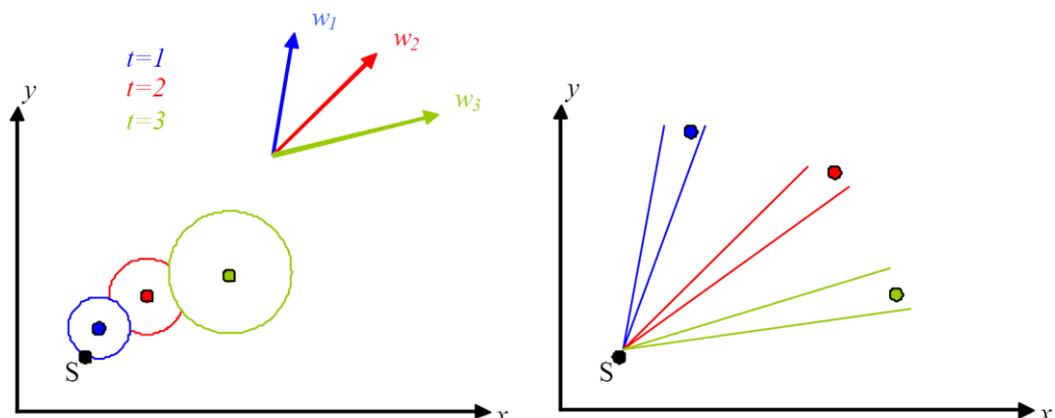


Figura 3: Differenze di dispersione fra modelli a puff (sinistra) e gaussiani tradizionali (destra)

4.1. Modello a Puff

L'equazione 1 rappresenta la concentrazione degli inquinanti (C) in un generico punto (x,y,z) del dominio di calcolo, dovuta ad un puff (k) centrato nel punto (x',y',z') e di massa m_k:

$$C_k(x, y, z, t) = \frac{m_k}{(2\pi)^{1,5} \sigma_x \sigma_y \sigma_z} \exp\left(-\frac{(x-x')^2}{2 \sigma_x^2}\right) \exp\left(-\frac{(y-y')^2}{2 \sigma_y^2}\right) \exp\left(-\frac{(z-z')^2}{2 \sigma_z^2}\right) \quad (1)$$

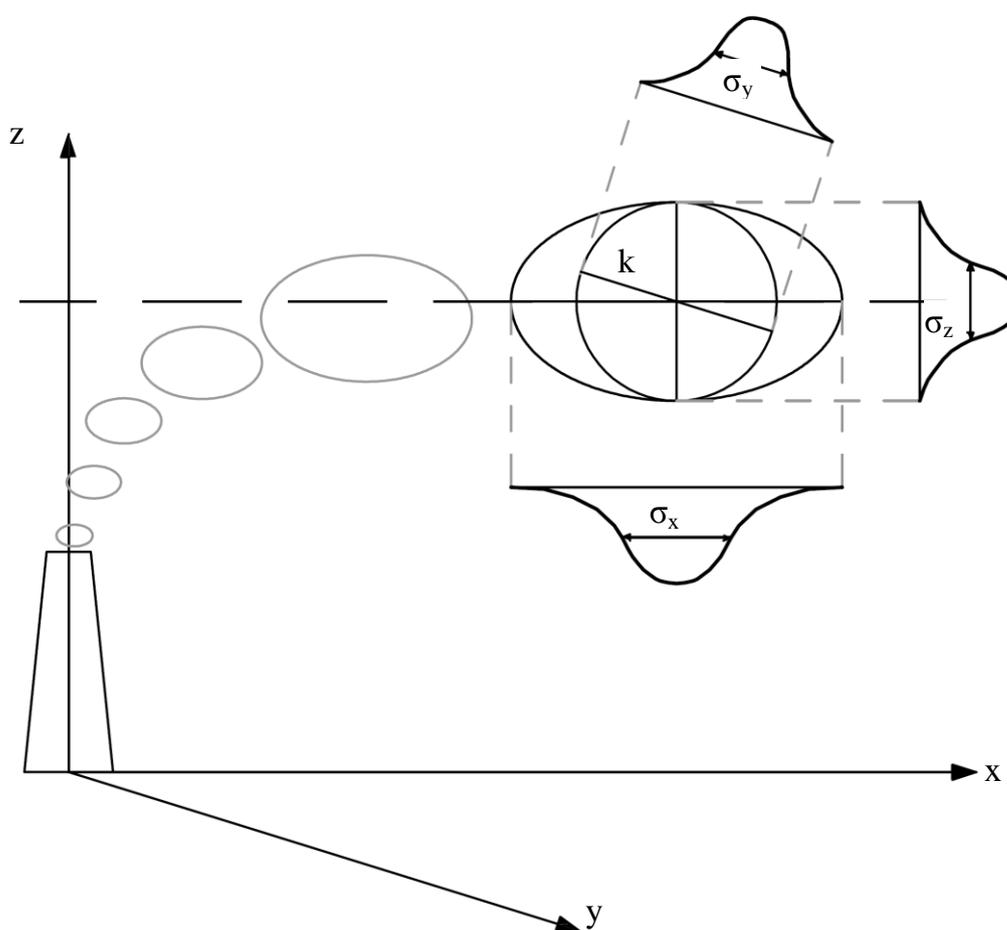


Figura 4: schema per un modello a puff con indicazione dei coefficienti di dispersione relativi al puff k

I puff emessi si muovono nel tempo sul territorio: il centro del puff viene trasportato dal campo di vento tridimensionale mentre la diffusione causata dalla turbolenza atmosferica provoca l'allargamento del puff ed è descritta dai coefficienti di dispersione istantanei ($\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$) che saranno approfonditi al *paragrafo 4.3*.

In generale, il puff k non sarà l'unico presente nel dominio di calcolo e quindi nel nodo di griglia che si sta considerando tutti gli altri puff presenti contribuiranno alla concentrazione totale. Attraverso la sovrapposizione degli effetti all'istante t la concentrazione istantanea totale di inquinante ad un generico nodo di griglia sarà pari a:

$$C_{TOT}(x, y, z, t) = \sum_k C_k(x, y, z, t) \quad (2)$$

4.1.1. Effetto del terreno e di strati di inversione

L'equazione 1 rappresenta una distribuzione gaussiana che evolve nel tempo e nello spazio, nel caso che non esistano ostacoli alla diffusione verticale. Nel caso invece il piano campagna e la sommità del PBL influenzino la dispersione, allora si tiene in considerazione l'effetto di riflessione causato da questi piani e l'equazione può essere scritta nella forma seguente [7]:

$$C(x, y, z, t) = \frac{m}{2\pi \sigma_x \sigma_y} g \exp\left(-\frac{(x-x')^2}{2\sigma_x^2}\right) \exp\left(-\frac{(y-y')^2}{2\sigma_y^2}\right) \quad (3)$$

dove la funzione g rappresenta la dispersione in senso verticale ed è il risultato delle riflessioni multiple del puff col suolo e con la sommità del PBL, posta ad un'altezza h :

$$g = \frac{2}{\sqrt{2\pi} \sigma_z} \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \exp\left(-\frac{(z'+2nh)^2}{2\sigma_z^2}\right) \quad (4)$$

Questa relazione è comunque valida solo quando il suolo è pressoché piano. In presenza di orografia più o meno marcata deve essere sostituita con relazioni più complesse.

4.2. Modello Calpuff

Calpuff utilizza l'equazione del modello a puff e la integra offrendo la possibilità di descrivere anche casi di orografia o di condizioni meteo complesse.

4.2.1. Rilascio istantaneo e continuo

Il modello è in grado di simulare emissioni istantanee e continue in situazioni stazionarie e anche non stazionarie.

Per poter tener conto della non stazionarietà dei fenomeni, l'emissione di inquinante (plume) viene suddivisa [9] in “pacchetti” discreti di materiale (puff).

Il contributo di ogni puff in un recettore viene valutato mediante un metodo “a foto”: ad intervalli di tempo regolari (sampling step), ogni puff viene “congelato” e viene calcolato il suo contributo alla concentrazione. Il puff può quindi muoversi, evolversi in forma e dimensioni fino all'intervallo successivo, seguendo un campo di vento tridimensionale variabile nello spazio e nel tempo.

Considerando l'intervallo temporale compreso tra t_1 e t_2 , si è indicata con q la portata emessa che caratterizza quell'intervallo temporale. La massa m_k di ciascun puff è allora data dalla formula [7]:

$$m_k = \frac{q(t_2 - t_1)}{N} \quad (5)$$

dove N il numero di puff (identici tra loro) generati nell'intervallo di tempo considerato.

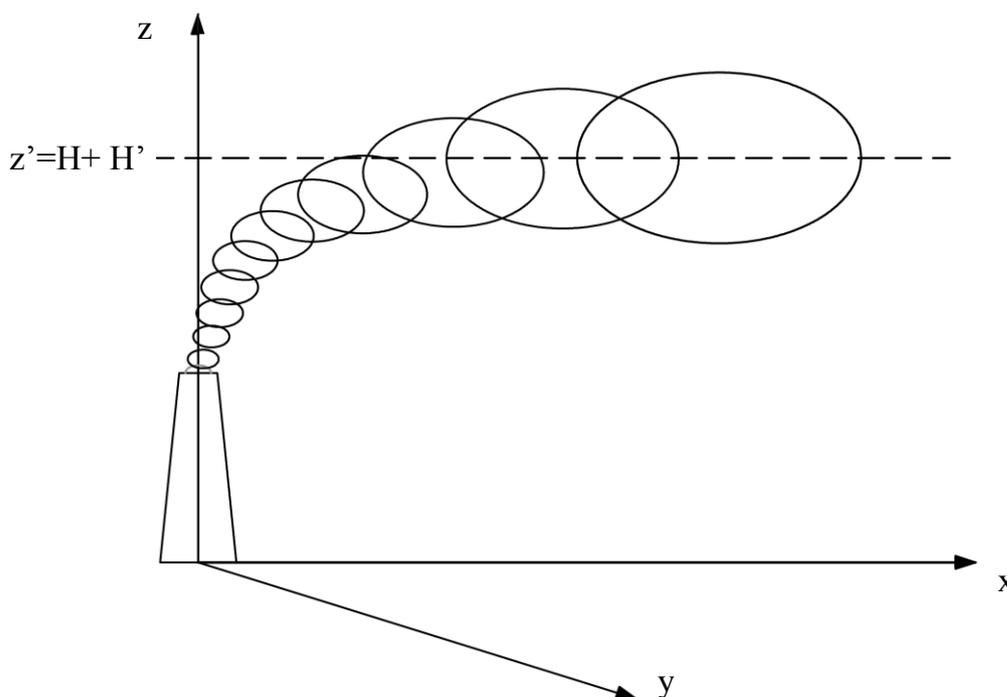


Figura 5 Rappresentazione di un plume attraverso una sequenza di puff.
Il plume si trova a quota z' che è somma dell'altezza della sorgente (H) e dell'innalzamento H' .

4.2.2. Forma del puff

In CALPUFF sono presenti due opzioni per la rappresentazione dei “pacchetti” (figura 6).

Si possono usare puff a simmetria radiale, in questo caso $\sigma_x = \sigma_y$, oppure “slugs”, cioè elementi non circolari allungati nella direzione del vento.

La formulazione a puff circolari consente di simulare accuratamente la dispersione anche in presenza di condizioni meteo molto variabili, anche se per una simulazione realistica è necessario utilizzare un numero di puff elevato, con conseguente aumento dei costi di calcolo. La formulazione a slug è invece utile nel caso di ridotta variabilità del campo meteorologico, permette infatti di ridurre la quantità di puff da generare, mantenendo una buona qualità della simulazione [9].

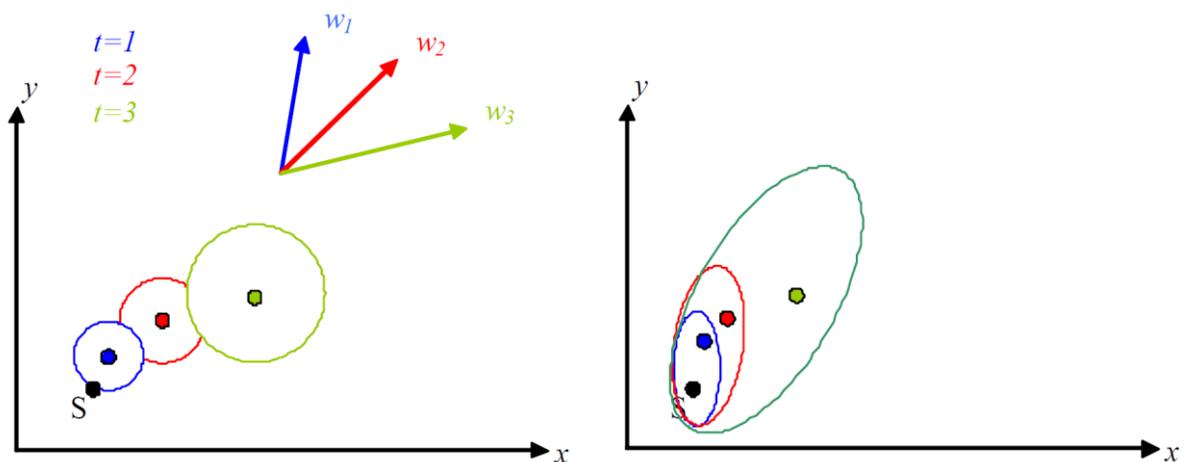


Figura 6: Differenza fra dispersione a puff (sinistra) e a slug (destra)

Per ogni step temporale (generalmente corrispondente ad 1 ora), i pacchetti sono aggiornati in funzione del trasporto, considerando gli spostamenti del baricentro dell'elemento e dei coefficienti di dispersione associati all'elemento stesso.

CALPUFF permette anche un uso “ibrido”, che sfrutta i vantaggi del modello a slug vicino la sorgente e quelli del modello a puff in zone più distanti. È compito dell'utente inserire il valore del seguente rapporto $\sigma_y/(u dt_e)$ che confronta il coefficiente di diffusione, cioè l'ampiezza della nube con la lunghezza dello slug. Lontano dalla sorgente, l'allungamento dello slug diventa irrilevante rispetto alla crescita nell'ampiezza della nube e quindi il

rapporto cresce. Quando il valore supera quello impostato dall'utente il modello passa dalla formulazione a slug a quella a simmetria radiale.

Col passare del tempo i puff sono inevitabilmente destinati ad assumere dimensioni sempre maggiori. Tale comportamento, pur essendo intrinseco nella formulazione del modello, non è fisicamente compatibile con un campo di vento e di turbolenza molto disomogenei (come spesso accade quando si considera la dispersione su territori di vaste proporzioni e con orografia significativa). Quando i campi meteorologici non sono omogenei, è utile attivare l'opzione "puff splitting" offerta da Calpuff che permette di suddividere il puff in parti libere di disperdersi, indipendentemente dalla posizione assunta dal baricentro dell'elemento.

Una volta abilitata la funzione puff splitting, i criteri secondo i quali essa agisce sono regolati da alcuni parametri. L'utente specifica il numero di puff risultanti che verranno generati, inoltre si devono verificare le seguenti due condizioni:

- l'altezza dello strato di miscelazione deve superare un valore di soglia (di default 100m);
- il rapporto tra la massima altezza dello strato di miscelazione verificatasi in tempi precedenti e l'altezza attuale deve essere inferiore a un valore di soglia (di default 0.25).

4.3. Dispersione turbolenta

I parametri chiave del modello gaussiano sono i coefficienti di dispersione (σ_x , σ_y e σ_z), detti anche funzioni sigma. Queste funzioni descrivono il progressivo inglobamento di aria all'interno del puff associata alla turbolenza, ciò determina una progressiva diminuzione della concentrazione di inquinante nel puff.

È consuetudine ipotizzare [9] che, una volta definito un sistema di coordinate cartesiane con origine coincidente col baricentro del puff, con l'asse x diretto nella direzione locale del vento medio, con l'asse y posto orizzontalmente e perpendicolare a x e l'asse z verticale, il processo di dispersione turbolenta è modellabile con una distribuzione della concentrazione di inquinante di forma gaussiana nelle tre direzioni coordinate. Per questo, l'elemento chiave della modellazione della dispersione turbolenta del puff è la deviazione standard σ_x , σ_y e σ_z (o varianze) delle tre distribuzioni gaussiane lungo i tre assi (*figura 4*) e dipende dalla turbolenza del PBL, dalla geometria della

sorgente e dalla “galleggiabilità” posseduta dal puff al momento della sua emissione.

La conoscenza attuale dei processi turbolenti del PBL non consente di accertare se la distribuzione rispetto ai due assi coordinati orizzontali sia veramente differente e quindi molto frequentemente si invoca l’ipotesi di simmetria orizzontale del puff e porta a dire che $\sigma_x = \sigma_y$.

Se ci si concentra inizialmente sul contributo dovuto alla turbolenza del PBL, si può ragionare come segue. Dato un puff con baricentro nel punto P del PBL, una forma generale per σ_y e σ_z derivanti dai moti turbolenti dell’atmosfera (Hanna e al, 1977) è la seguente:

$$\sigma_{yt}(t) = \sigma_v t f_y (t/t_{ly}) \quad \text{e} \quad \sigma_{zt}(t) = \sigma_w t f_z (t/t_{lz}) \quad (6)$$

dove:

- t è il tempo di volo del puff cioè il tempo trascorso dalla sua missione;
- σ_v e σ_w sono i coefficienti di dispersione trasversale e verticale rispetto al vento in P che quindi descrivono la deformazione del puff in termini di forma;
- f_y e f_z sono due funzioni dipendenti dal livello di convettività del PBL e dal tempo.

Dalle equazioni 6 si nota la proporzionalità diretta tra dispersione turbolenta e valori di deviazione standard delle componenti del vento, cosa del tutto prevedibile, visto che tali deviazioni standard rappresentano effettivamente la reale capacità disperdente dell’atmosfera. Le relazioni per determinare σ_v e σ_w si differenziano a seconda della stabilità atmosferica e della quota del puff (z) rapportata all’altezza dello strato di miscelazione (h):

- Nello strato superficiale ($z < 0,1$ h) si usa:

$$\sigma_v = u_* \left(4 + 0.6 \left(-\frac{h}{L} \right)^{\frac{2}{3}} \right)^{1/2} \quad \text{e} \quad \sigma_w = u_* \left(1.6 + 2.9 \left(-\frac{z}{L} \right)^{\frac{2}{3}} \right)^{1/2} \quad (7)$$

dove u_* è la velocità di frizione³ e L è la lunghezza di Monin Obukhov⁴.

- Nello strato di miscelazione (z compreso tra 0,1 h e 0,8 h) si usa:

³ Velocità di frizione: è una grandezza di scala che dà indicazioni sull’entità della turbolenza generata da fattori meccanici vicino alla superficie. [11]

⁴ Lunghezza di Monin Obukhov: è un parametro di scala utile nello strato superficiale, e corrisponde al rapporto tra l’intensità della turbolenza prodotta da fattori meccanici (shear del vento) e quella di origine convettiva (termiche). In condizioni di PBL stabile (notte) L è positiva, perché la stratificazione stabile dell’atmosfera inibisce la convezione e il termine di produzione convettiva diventa negativo. [11]

$$\sigma_v = (3.6 u_*^2 + 0.35 w_*^2)^{1/2} \quad \text{e} \quad \sigma_w = (1.2 u_*^2 + 0.35 w_*^2)^{1/2} \quad (8)$$

dove w_* è la velocità convettiva caratteristica⁵

- Nello strato neutro si usa:

$$\sigma_v = 1.8 \exp(-0.9 z/h) \quad \text{e} \quad \sigma_w = 1.3 \exp(-0.9 z/h) \quad (9)$$

- Nello strato stabile si usa:

$$\sigma_v = 1.6 u_* \left(1 - \frac{z}{h}\right)^{3/4} \quad \text{e} \quad \sigma_w = 1.3 u_* \left(1 - \frac{z}{h}\right)^{3/4} \quad (10)$$

Per quanto riguarda le funzioni f_y e f_z Irwin (1983) ha proposto le relazioni:

$$f_y = \left(1 + 0.9 \left(\frac{t}{1000}\right)^{1/2}\right)^{-1} \quad (11)$$

$$f_z = \begin{cases} \left(1 + 0.9 \left(\frac{t}{500}\right)^{1/2}\right)^{-1} & \text{se } L < 0 \\ \left(1 + 0.945 \left(\frac{t}{100}\right)^{1/2}\right)^{-1} & \text{se } L > 0 \end{cases}$$

Calpuff propone diverse opzioni per la determinazione dei coefficienti di dispersione:

- misura diretta di turbolenza σ_x , σ_y , σ_z per esempio con un anemometro sonico;
- utilizzando i parametri di scala micrometeorologici (lunghezza di Monin-Obukhov, velocità di frizione, velocità di scala convettiva, altezza dello strato limite) presenti nell'output di Calmet (cioè utilizzando le formule descritte sopra);
- uso dei coefficienti di dispersione di Pasquill-Gifford (1976) per le aree rurali e di McElroy-Pooler (1968) per quelle urbane: questa opzione tiene conto del tipo di terreno (categoria di land use) e della classe di stabilità a cui sono associati dei coefficienti che vengono inseriti nelle equazioni generali in funzione della distanza sottovento.

⁵ Velocità convettiva caratteristica: è una grandezza di scala utile in condizioni di PBL instabile, tanto più grande quanto maggiori sono l'altezza di rimescolamento e i flussi di calore dalla superficie. Dà un'indicazione sulle velocità verticali che possono essere generate dai moti convettivi del PBL. [11]

5. Caso di studio

5.1. Introduzione

La simulazione con Calpuff è stata applicata ad un caso reale, in particolare all'impianto dell'azienda LyondellBasell di Ferrara.

La LyondellBasell è la terza azienda chimica indipendente più grande del mondo [12]. La sua attività riguarda le seguenti tre principali categorie:

- chemicals: l'azienda produce composti come benzene, etilene, polipropilene glicole, ossido di polipropilene, ecc., utilizzati come base per la fabbricazione di innumerevoli beni che le persone utilizzano ogni giorno, come abbigliamento, packaging alimentare, arredamento per la casa, detersivi, cosmetici, parti di autoveicoli, edilizia e materiali da costruzione, vernici e rivestimenti e molto altro;
- carburanti e raffinazione: LyondellBasell possiede e gestisce due raffinerie di petrolio greggio. La raffineria di Houston, in Texas che è una delle più grandi del Nord America e la raffineria a Berre l'Etang, in Francia. Da queste raffinerie l'azienda ricava combustibili con diversi gradi di raffinazione utilizzati per il riscaldamento o come carburanti per i mezzi di trasporto.
- polimeri: l'azienda è il principale produttore mondiale di poliolefine avanzate, polipropilene e resine di polietilene. Per poliolefine si intende un gruppo di materie plastiche che comprende il polietilene (polietilene a bassa densità detto LDPE, polietilene lineare a bassa densità detto LLDPE e polietilene ad alta densità detto HDPE) e il polipropilene [13]. Le poliolefine si ottengono per polimerizzazione da petrolio o gas naturale, dove corte catene di monomeri si uniscono a formare, in presenza di un catalizzatore, lunghe catene di polimeri. Grazie alla loro versatilità, le poliolefine sono uno dei gruppi più famosi di materie plastiche utilizzate oggi; le loro applicazioni comprendono pellicole per alimenti, sacchetti, film per imballaggio industriale, bottiglie e serbatoi, giocattoli o oggetti domestici, tubi flessibili, ecc.

Il sito della Lyodellbasell di Ferrara comprende tre aree: il Centro Ricerche "Giulio Natta" con laboratori e impianti pilota, la produzione di catalizzatori (per la quale Ferrara rappresenta il più grande sito di Lyondellbasell) e la produzione di polimeri. I polimeri realizzati a Ferrara (polipropilene e resine

poliolefiniche avanzate) sono utilizzati in un'ampia varietà di applicazioni in diversi settori, dall'alimentare al medicale, dal tessile all'automobile.

La LyondellBasell a Ferrara è situata nel polo chimico e si trova a nord ovest dal centro, a circa 3km in linea d'aria (*figura 7*).



Figura 7 Centro di Ferrara e polo chimico

Nell'immagine seguente è mostrata una vista dall'alto della porzione di stabilimento considerata, al centro della quale si trova il camino oggetto di studio.



Figura 8 Vista dall'alto della porzione considerata di impianto

5.2. Emissione

5.2.1. Introduzione - pericolosità delle sostanze

Le sostanze pericolose vengono solitamente separate in base ai loro effetti sull'uomo, sugli altri organismi e sull'ambiente.

È detta nociva una sostanza o preparazione che, per inalazione, ingestione o assorbimento cutaneo, può implicare rischi per la salute di gravità limitata e non mortali, si definisce tossica al contrario una sostanza che può implicare rischi gravi, acuti o cronici, e anche la morte.

Per quanto riguarda la cancerogenicità della sostanza, diversi enti hanno elaborato delle classificazioni, alcune delle quali sono [14]:

- Classificazione CEE (direttiva 93/21/CEE): l'Unione Europea distingue tre categorie con cancerogenicità decrescente.
- Classificazione Commissione Consultiva Tossicologica Nazionale (Commissione CCTN) Commissione istituita presso il Centro Studi del Ministero della Sanità e prevede 5 categorie con cancerogenicità decrescente.
- Classificazione American Conference of Governmental Industrial hygienists (ACGIH) 4

La classificazione dell'ACGIH è suddivisa in cinque categorie:

- A1: cancerogeno riconosciuto per l'uomo
- A2: cancerogeno sospetto per l'uomo. L'agente è risultato cancerogeno in animali da esperimento, ma gli studi epidemiologici disponibili sono controversi o insufficienti per confermare un incremento del rischio di cancro per l'uomo esposto.
- A3: l'agente è risultato cancerogeno in animali da esperimento ad una dose relativamente elevata o per situazioni che sono valutate improbabili e non comuni per l'uomo.
- A4: non classificabile come cancerogeno per l'uomo. Attualmente non esistono dati o quelli esistenti sono inadeguati per classificare l'agente per quanto riguarda la cancerogenicità per l'uomo e/o gli animali.
- A5: non sospetto come cancerogeno per l'uomo. L'agente non è ritenuto essere cancerogeno per l'uomo sulla base di studi epidemiologici appositamente condotti sull'uomo.

Altre classificazioni sono fornite dall'International Agency for Research on Cancer (IARC) che suddivide le sostanze in gruppi dall'1 al 4, dall'Environmental Protection Agency (EPA) con 5 gruppi dal A al E e infine il National Toxicological Program ha preparato una classificazione in 5 categorie con cancerogenicità crescente.

5.2.2. Caratterizzazione della sorgente

Per quanto riguarda il caso reale preso come riferimento in questa tesi, si ha una sorgente puntuale, le cui caratteristiche sono indicate nella seguente tabella:

Sorgente	Valore	Unità di misura
Altezza del camino	25	m
Diametro interno del camino	100	mm
Temperatura della corrente in uscita dal camino	20	°C
Portata della emissione	200	Nm ³ /h

L'emissione è una corrente di azoto contenente le sostanze indicate nella seguente tabella:

Sostanza emessa	Valore	Unità di misura
Cloroetano (cloruro di etile)	3000	mg/Nm ³
Acido cloridrico	3	mg/Nm ³
Etilene	50	mg/Nm ³
Isobutano	5000	mg/Nm ³
Isoesano	2000	mg/Nm ³
N-esano	30	mg/Nm ³
N-eptano	20	mg/Nm ³

5.3. Caratteristiche delle sostanze emesse

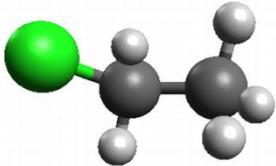
Le sostanze emesse dal camino analizzato non sono cancerogene per l'uomo. Alcune presentano caratteristiche di tossicità e per alcune sono definiti limiti alle emissioni (D.Lgs 152/06) o alle immissioni, in termini di valori limite di esposizione a breve e a lungo termine.

Come limite all'esposizione per i lavoratori si utilizzano i valori limite di soglia TLV, in particolare il TLV-TWA (time-weighted average) riguarda l'esposizione a lungo termine, quindi il rischio cronico, il TLV-STEL (short-term exposure limit) riguarda le esposizioni brevi (non oltre 15 minuti) ed occasionali (non oltre quattro esposizioni nelle 24 ore).

Per quanto riguarda la salute della popolazione civile, i valori massimi di esposizione sono indicati per alcune sostanze negli allegati del D.Lgs 155/10. Per le sostanze non indicate nel decreto si possono usare le RfC (Reference Concentrations) che sono concentrazioni introdotte dall'EPA [15] per gli effetti non cancerogeni e proteggono tutta la popolazione per l'intera durata della vita; sono quindi valori limite al di sotto dei quali l'aria è "sicura".

Un altro limite di esposizione molto utilizzato nelle valutazioni di rischio è il NOAEL che è il livello massimo di concentrazione al quale si può essere esposti senza che vengano rilevati effetti negativi.

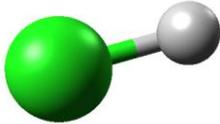
Nelle tabelle seguenti sono descritte le principali informazioni relative alle sostanze emesse, altre informazioni sono riportate le schede di sicurezza ICSC nell'allegato B.

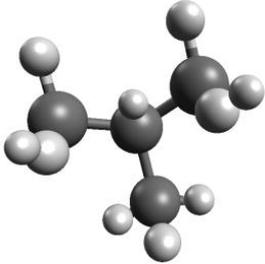
Nome sostanza	Cloroetano (cloruro di etile)	
Formula chimica	CH ₃ CH ₂ Cl	
CAS number	75-00-3	
Cancerogenicità	Cancerogeno per alcuni organismi Classificazione ACGIH: A3 Nocivo per l'uomo	
Limiti di esposizione occupazionale	TLV-TWA ⁶ : 100 ppm	
Limiti (database ecotossicologico ministero [16], IRIS dell'EPA)	Inalazione cronica: - NOAEL ⁷ : 4000 mg/m ³ - RfC ⁸ 10 mg/m ³	

⁶ TLV-TWA: Threshold Limit Value - Time Weighted Average esprime la concentrazione limite, calcolata come media ponderata nel tempo (8 ore/giorno; 40 ore settimanali), alla quale tutti i lavoratori possono essere esposti, giorno dopo giorno senza effetti avversi per la salute per tutta la vita lavorativa.

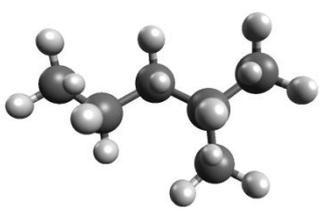
⁷ NOAEL: No Observed Adverse Effect Level, cioè il livello massimo al quale non si sono osservati effetti negativi.

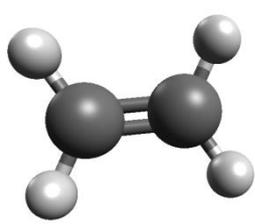
⁸ RfC: Reference Concentration: esposizione per inalazione continua a cui può essere esposta la popolazione umana senza che essa produca effetti dannosi nel corso dell'intera vita.

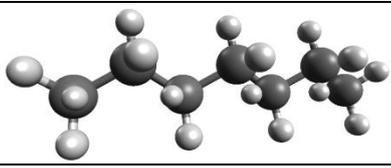
Nome sostanza	Acido cloridrico	
Formula chimica	HCl	
CAS number	7647-01-0	
Cancerogenicità	Classificazione ACGIH: A4 Tossico	
Limiti di esposizione occupazionale	In Italia (D.Lgs.2 Febbraio 2002, N° 25): TLV-TWA: 8 mg/m ³ , 5 ppm TLV-STEL ⁹ : 15 mg/m ³ , 10 ppm	
Limiti (database ecotossicologico ministero, IRIS dell'EPA)	Inalazione cronica - NOAEL : 6.1 mg/m ³ - RfC 2x10 ⁻² mg/m ³ Limite 152/06: Sostanze inorganiche che si presentano prevalentemente sotto forma di gas o vapore. L'HCl rientra nella classe III a cui corrisponde un valore di emissione di 30 mg/Nm ³ .	

Nome sostanza	Isobutano (2-metilpropano)	
Formula chimica	C ₄ H ₁₀	
CAS number	75-28-5	
Cancerogenicità	Non cancerogeno e non tossico	
Limiti di esposizione occupazionale	MAK: 1000 ppm; 2350 mg/m ³	

⁹ TLV-STEL (short-term exposure limit): è la concentrazione alla quale si ritiene che i lavoratori possono essere esposti per breve periodo senza che insorgano irritazione, danno cronico o irreversibile o effetti tossici. È il valore massimo consentito per esposizioni brevi - non oltre 15 minuti - ed occasionali - non oltre quattro esposizioni nelle 24 ore, intervallate almeno ad un'ora di distanza l'una dall'altra.

Nome sostanza	Isoesano (2-metilpentano)	
Formula chimica	C ₆ H ₁₄	
CAS number	107-83-5	
Cancerogenicità	Non cancerogeno e non tossico	
Limiti di esposizione occupazionale	TLV-TWA: 500 ppm TLV-STEL ¹⁰ : 1000 ppm MAK: 200 ppm, 720 mg/m ³ .	

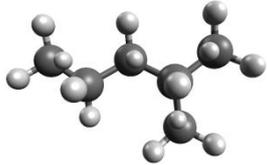
Nome sostanza	Etilene	
Formula chimica	C ₂ H ₄	
CAS number	74-85-1	
Cancerogenicità	Non cancerogeno e non tossico. Classificazione ACGIH: A4	
Limiti di esposizione occupazionale	TLV-TWA: 200 ppm	

Nome sostanza	n-eptano	
Formula chimica	C ₇ H ₁₆	
CAS number	142-82-5	
Cancerogenicità	Non cancerogeno per l'uomo Tossico per organismi acquatici Nocivo per l'uomo	
Limiti di esposizione occupazionale	TLV-TWA: 400 ppm, TLV- STEL: 500 ppm MAK ¹¹ : 500 ppm, 2100 mg/m ³ .	
Limiti (database ecotossicologico ministero, IRIS dell'EPA)	Limite 152/06: Composti organici sotto forma di gas, vapori o polveri. L'n-eptano rientra nella classe V a cui corrisponde un valore di emissione di 600 mg/Nm ³ .	

¹⁰ TLV-STEL (short-term exposure limit): è il valore massimo consentito per esposizioni brevi - non oltre 15 minuti - ed occasionali.

TLV-TWA (time-weighted average): è il valore limite, calcolato come media ponderata nel tempo (8 ore/giorno; 40 ore settimanali), alla quale tutti i lavoratori possono essere esposti, giorno dopo giorno senza effetti avversi per la salute per tutta la vita lavorativa.

¹¹ MAK: (Maximale Arbeitsplatz-Konzentration) concentrazioni massime ammissibili di origine tedesca per esposizioni di breve e lunga durata in ambienti di lavoro.

Nome sostanza	n-esano	
Formula chimica	C ₆ H ₁₄	
CAS number	110-54-3	
Cancerogenicità	Tossico per organismi acquatici Nocivo per l'uomo	
Limiti di esposizione occupazionale	TLV: 50 ppm, 176 mg/m ³ come TWA (cute) MAK: 50 ppm, 180 mg/m ³ .	
Limiti (database ecotossicologico ministero, IRIS dell'EPA)	Inalazione cronica: - RfC 0.7 mg/m ³ Limite 152/06: Composti organici sotto forma di gas, vapori o polveri. L'n-esano rientra nella classe III a cui corrisponde un valore di emissione di 150 mg/Nm ³ .	

Tutte le sostanze emesse, con esclusione dell'acido cloridrico sono classificate dal D.Lgs. 152/06 come Composti Organici Volatili cioè composti organici che alla temperatura di 293,15 K (20 °C) abbiano pressione di vapore uguale o superiore a 0,01 kPa. Il decreto stesso definisce un limite anche per quanto riguarda la loro emissione in quanto i composti, rilasciati in atmosfera, contribuiscono alla formazione di ozono troposferico (ozono nella bassa atmosfera). Questo ozono, in grandi quantità, può essere molto dannoso per gli esseri umani, per la vegetazione, per le foreste e per le coltivazioni. Sui soggetti più sensibili, può causare irritazione alla gola e agli occhi e difficoltà respiratorie. Inoltre l'ozono troposferico è un gas a effetto serra [17].

Le quantità emesse sono oggetto di autorizzazione provinciale. La provincia, prima di procedere con l'autorizzazione, accerta che le concentrazioni in uscita dal camino rispettino i limiti alle emissioni e che la qualità dell'aria ambiente sia conforme alla normativa sulle immissioni.

6. Modellazione

Dopo un'analisi del modello Calpuff, sia dal punto di vista delle potenzialità applicative (*capitolo 3*) che dal punto di vista matematico (*capitolo 4*), si procede ora ad un utilizzo pratico del programma.

In questo capitolo si applicherà Calpuff al caso reale descritto nel capitolo precedente, questo consentirà di disporre di una prima simulazione sulla quale andare a testare diverse opzioni fornite dal modello e potrà inoltre essere utile come base di partenza per la valutazione del rischio per la salute umana e per studi eco-tossicologici.

6.1. Configurazione di Calmet

Consiste nell'ottenere un file CALMET.INP che è l'output di Calmet. Per raggiungere questo scopo è necessario preparare una serie di file nel formato corretto per essere utilizzati dal software.

Questi file sono contenuti nell'*allegato C* e sono le seguenti:

- grid.dat (definisce la griglia di calcolo);
- geo.dat (quota e uso del terreno);
- surf.dat (informazioni meteo al suolo);
- up.dat (profilo verticale delle informazioni meteo).

6.1.1. Griglia di calcolo: GRID.CMN

Per definire la posizione della griglia si considerano le coordinate UTM-WGS84; secondo questo sistema di riferimento, l'impianto si trova nel fuso 32. La griglia è centrata in corrispondenza del camino dell'impianto, cioè nelle seguenti coordinate UTM: 704560.08 m E e 4970704.28 m N ed è un quadrato con lato 3km.

Le informazioni che definiscono la griglia sono contenute nel file GRID.DAT e sono:

- sistema di riferimento UTM, fuso 32, emisfero Nord e datum WGS-84 (globale);

- la griglia ha lato 3 km ed è costituita da 30 celle per lato di lunghezza 100m;
- le coordinate in UTM-WGS84 del vertice sud-ovest della griglia.

Nell'immagine seguente è rappresentata al centro la porzione di azienda in esame, mentre il quadrato esterno racchiude l'area di simulazione che, come si vede sulla destra, include le prime abitazioni.



Figura 9 Area oggetto di simulazione e al centro l'area di impianto

6.1.3. Informazioni geofisiche GEO.DAT

Le informazioni geofisiche necessarie per la simulazione sono l'andamento del terreno, cioè la quota del terreno e l'uso del suolo. Queste informazioni sono da fornire per ogni cella del dominio di calcolo e sono contenute in un file GEO.DAT (si veda *allegatoC*).

Il suolo è quasi completamente urbanizzato; per quanto riguarda i dati altimetrici, il territorio è pianeggiante e con una quota pari a 9 m sul livello del mare.

6.1.4. Info Meteo in superficie: SURF.DAT

Si hanno a disposizione i dati provenienti da una centralina meteo che si trova nei pressi dell'impianto in esame e situata a 11 m di altezza. I dati, disponibili con una frequenza di 5 minuti, sono stati mediati per ottenere dei valori orari e disposti in un formato adatto ad essere utilizzato da Calmet.

A questo scopo si è creato un programma che utilizza i dati della centralina per ottenere come output il file SURF.DAT che contiene i dati di velocità e direzione del vento, altezza delle nubi, copertura del cielo, temperatura, umidità relativa, pressione e tipologia di precipitazione. Una porzione del file è nell'allegato C.

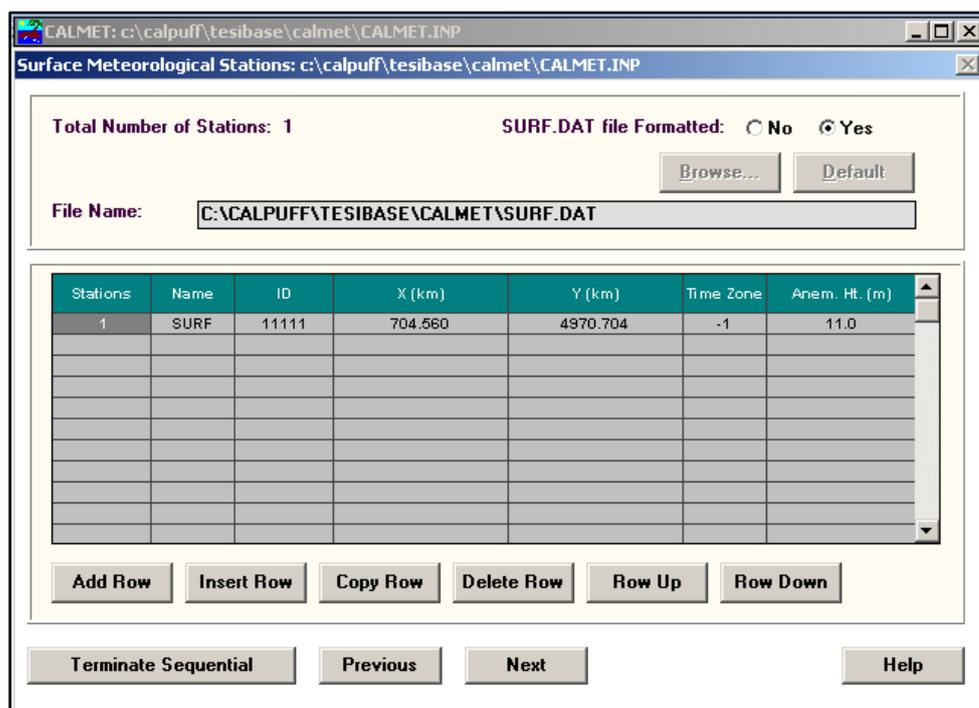


Figura 10: schermata di Calmet per la definizione della centralina e dei dati meteo al suolo.

6.1.5. Info meteo in quota: UP.DAT

In mancanza di sondaggi verticali, le informazioni meteorologiche in quota sono state calcolate a partire dai dati noti dalla centralina al suolo.

Attraverso le istruzioni riportate nell'*allegato C* si è ricavato il file UP.DAT che contiene i valori ogni 100 metri di quota di velocità e direzione del vento, temperatura e pressione, utilizzando i profili relativi a un'atmosfera tipica, come spiegato in dettaglio in seguito. I valori sono riportati con la frequenza di 2 volte al giorno. Nel caso di dati mancanti, si è utilizzato il valore dell'intervallo di tempo precedente.

Profilo di velocità del vento:

Le principali formule che descrivono l'andamento di velocità media in funzione della quota sono due: la legge esponenziale e la legge logaritmica. Tali leggi descrivono accuratamente l'andamento del profilo verticale della velocità media del vento nella parte più bassa dell'PBL, denominata Surface Layer SL, che può essere quantificato come il primo 10% del PBL.

Si è considerato per il PBL un'altezza pari a 3300m e fino alla quota di 300m si è definito il profilo di velocità del vento utilizzando la seguente legge esponenziale:

$v_z = v_{rif} \left(\frac{h_z}{h_{rif}} \right)^n$ dove n è funzione della classe di Pasquill e del tipo di territorio (rurale o urbano) [7].

Classe di stabilità	Situazione Rurale	Situazione Urbana
A	0.07	0.15
B	0.07	0.15
C	0.10	0.20
D	0.15	0.25
E	0.35	0.30
F	0.55	0.30

Dovendo utilizzare un valore costante indipendente dalla stabilità, si è scelto un valore di n pari a 0.25 in quanto cautelativo nel caso di territorio rurale. Per lo strato superiore del PBL si è considerato una velocità costante del vento e pari al valore corrispondente alla quota di 300m.

Profilo di pressione:

la pressione dell'aria diminuisce esponenzialmente con la quota:

$\log_{10} p = -0.06 h$ dove p è misurato in atmosfere e h in chilometri [18]. Questa è una relazione sperimentale, che comunque funziona piuttosto bene per descrivere la variazione di pressione con la quota.

Profilo di temperatura:

il gradiente termico verticale è la diminuzione della temperatura per una differenza di quota pari a 100 metri e per un'atmosfera standard, nei primi 10-15 chilometri è di $0,65^{\circ}\text{C}$ [19].

6.1.6. Opzioni di Simulazione e di Output

Altri dati richiesti dal software riguardano il periodo di simulazione. Nel caso in esame il periodo è l'anno 2010, per il quale si hanno a disposizione le informazioni meteo. Inizia l'1 gennaio e termina il 31 dicembre.

Infine l'ultimo step della preparazione del file CALMET.INP è quello di definire i file di output, quindi quali file si vogliono creare, il loro nome e la loro posizione su disco.

Una volta terminata la configurazione di Calmet si è avviata la simulazione ottenendo il file CALMET.DAT.

6.2. Configurazione di Calpuff

Una volta definito il campo meteorologico, si passa alla simulazione vera e propria, utilizzando Calpuff e importando nel software l'output di Calmet.

6.2.1. Opzioni di simulazione

Le opzioni che riguardano il periodo di simulazione e la griglia di calcolo per Calpuff sono state considerate coincidenti con quelle impostate in Calmet, il calcolo quindi riguarda l'intero anno 2010 ed è effettuato all'interno di una griglia di lato 3km.

6.2.2. Proprietà delle sostanze emesse

Nel caso di studio non si è considerata alcuna trasformazione chimica né deposizione secca o umida da parte delle sostanze emesse. Anche l'effetto della precipitazione è stato tralasciato. Questi effetti, anche se teoricamente presenti, possono essere trascurati, ciò si traduce in una sovrastima della

concentrazione di inquinanti in aria e quindi la qualità effettiva dell'aria sarà superiore a quella simulata con il presente modello.

Per ciascuna sostanza si sono inseriti i valori di:

- diffusività: misura l'abilità di un gas di miscelarsi spontaneamente con un altro gas. Il coefficiente è stato stimato utilizzando la seguente formula proposta dall'EPA [20].

$$D_{\text{air}} = 1.9 * M^{-2/3}$$

dove D_{air} è il coefficiente di diffusione, detto anche diffusività in cm^2/s e M la massa molecolare in g/mol .

Si sono ottenuti i seguenti valori:

Sostanza	Massa molecolare [g/mol]	Diffusività [cm ² /s]
Cloroetano	64.50	0.1181
Etilene	28.00	0.2061
Acido Cloridrico	36.50	0.1727
N-esano	86.20	0.0974
N-eptano	100.02	0.0882
Isoesano	58.12	0.1266
Isobutano	86.18	0.0974

- alpha star: parametro che misura l'aumento di solubilità dovuto alla dissociazione in fase acquosa della sostanza
- costante di Henry: quantifica la tendenza relativa di un composto trovarsi in fase gassosa o liquida: composti con elevati valori della costante (H_i) tendono a volatilizzarsi, composti con bassi valori tendono a condensarsi nel mezzo acquoso [21].

$$p_i = H_i * x_i \tag{12}$$

dove:

H_i = costante di Henry

p_i = pressione parziale

x_i = concentrazione molare del composto in fase acquosa

La costante richiesta da Calpuff è però adimensionale, si procede quindi con il calcolo di H'_i dividendo il valore dimensionale per il prodotto tra la costante dei gas (R) e la temperatura in Kelvin (T). Indicando con y_i la concentrazione molare di i in fase gas, si ha che:

$$H'_i = \frac{y_i}{x_i} = \frac{H_i}{R \cdot T} \quad (13)$$

dove:

R = costante dei gas perfetti ($R = 0.0821 \text{ Atm L mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$);

T = temperatura in Kelvin ($0^\circ\text{C} = 273.15 \text{ K}$);

H_i = costante di Henry (atm mc/mol);

H_i' = costante di Henry adimensionale.

Se non si conosce il valor di H_i , lo si può ricavare dalla seguente formula proposta dall'EPA [14]:

$$H_i = P \frac{M_i}{S_i} \quad (14)$$

dove:

P = pressione in atmosfere;

M = peso molecolare;

S = solubilità in acqua.

si procede poi con l'adimensionalizzazione della costante usando la (13) ottenendo i seguenti valori:

Sostanza	Massa molecolare [g/mol]	H_i [atm m ³ /mol]	H_i' [-]
Cloroetano	64.50	0.0111	0.4612
Etilene	28.00	0.2280	9.4733
Acido Cloridrico	36.50	non segue la legge di Henry	
N-esano	86.20	0.8100	33.6552
N-eptano	100.02	2.0600	85.5922
Isoesano	58.12	2.9060	120.7432
Isobutano	86.18	1.5959	66.3101

Per quanto riguarda il coefficiente di Henry e il parametro di dissociazione in acqua, non hanno effetto sulla simulazione in esame in quanto sono legati alla ripartizione degli inquinanti tra fase gassosa e fase acquosa.

Si sottolinea il fatto che inserendo coefficienti di dispersione specifici per ciascuna sostanza, si otterranno diversi andamenti di dispersione delle sostanze in aria. Dato che la differenza tra i coefficienti inseriti è modesta, sono modeste anche le differenze di concentrazione normalizzate, e quindi in questo caso non apprezzabili.

6.2.3. Sorgenti

La sorgente oggetto di studio è un camino situato alle coordinate UTM 704560.3 m in direzione Est e 4970704.9 m in direzione Nord (come mostrato in *figura 12*).

Si sono inseriti i dati relativi alla geometria del camino e all'emissione. I dati utilizzati sono i seguenti:

- Altezza del camino = 25 m
- Diametro interno del camino = 100 mm
- Temperatura della corrente in uscita dal camino = 20°C (193.15K)
- Portata della emissione = 200 Nm³/h

La velocità di uscita è stata calcolata come rapporto tra la portata e la sezione di uscita ed è pari a 7.60m/s. Per quanto riguarda l'emissione sono stati inseriti i valori indicati al *paragrafo 5.2.2*.

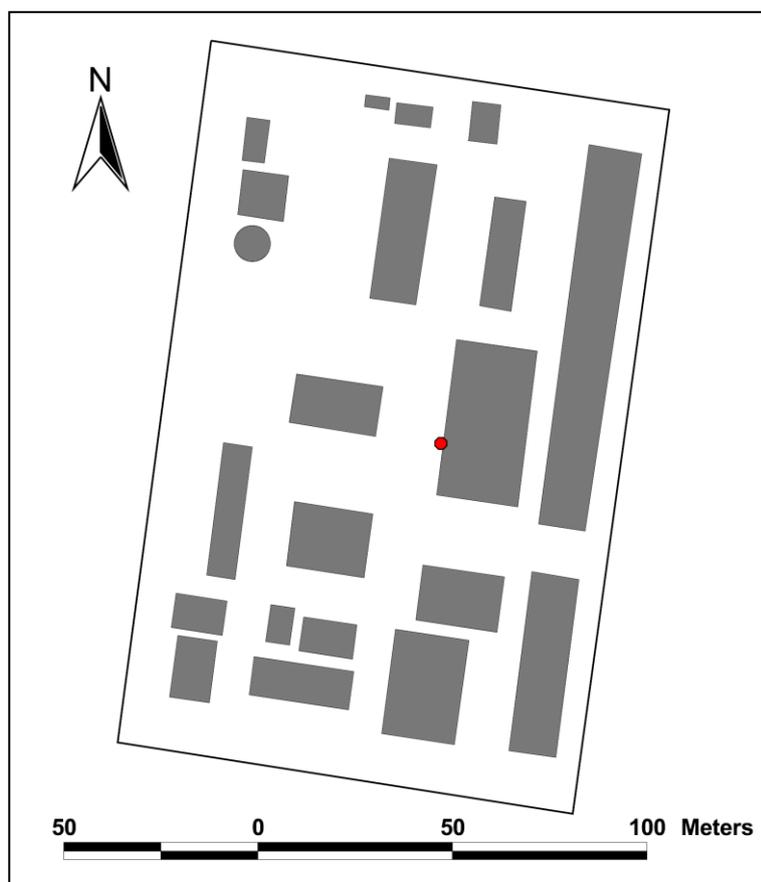


Figura 11: schema della porzione di impianto considerata. Al centro in rosso è evidenziata la sorgente di emissione

6.2.4. Ricettori

I recettori individuano i punti nei quali sarà possibile analizzare l'andamento temporale delle concentrazioni. Si è utilizzata una disposizione regolare dei recettori in corrispondenza dei nodi di una griglia con celle di lato 300m. Si è proceduto poi con un infittimento dei dintorni dell'impianto, introducendo recettori nei nodi di una griglia con celle di lato 100m.

In questo modo si sono utilizzati un totale di 330 recettori, disposti come indicato in *figura 13*.

I recettori sono stati disposti ad altezza d'uomo (1.5m) per ottenere l'effettiva concentrazione con cui la popolazione entra in contatto.

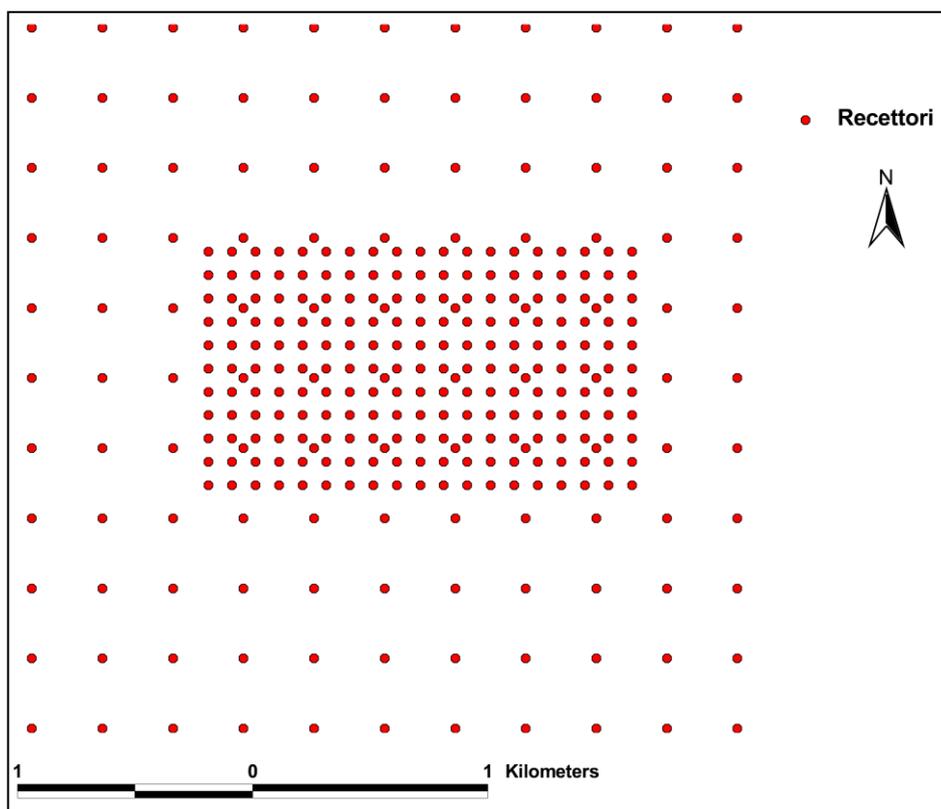


Figura 12: in rosso sono indicati i ricettori utilizzati per la simulazione

6.2.5. Output

Infine nell'ultimo passo della simulazione si definiscono le opzioni che regolano l'output, cioè nome e posizione dei file di output generati e unità di misura utilizzate.

Si è ottenuto un file CONC.DAT nel quale compaiono le concentrazioni espresse in microgrammi al metro cubo, in corrispondenza di ogni ricettore, con frequenza oraria e per ogni specie caratterizzante l'emissione. La quantità di dati e il loro formato testuale rendono difficile l'analisi delle concentrazioni, si è quindi utilizzato il software di postprocessamento Calpost.

6.3. Configurazione di calpost

Calpost è utile per leggere l'output di Calpuff e ottenere delle informazioni sintetiche, come massimi di concentrazione, superamenti di valori soglia,

medie di concentrazione per durate variabili impostabili dall'utente, e così via.

Nel caso in esame sono ottenute le medie sull'intera durata della simulazione, cioè sull'anno 2010. Questi valori medi sono forniti per la singola sostanza specificata in Calpost e per ciascun ricettore considerato.

Si sono anche analizzate le medie giornaliere per specifici recettori allo scopo di ricavare andamenti temporali che si sono potuti successivamente confrontare tra loro.

6.4. Simulazione considerando il building downwash

Quindi, dopo il caso "base" in cui il building downwash non è stato preso in considerazione, si procede ora con la modellazione del fenomeno.

Si sono analizzati gli edifici intorno al camino e sono stati selezionati quelli in grado di produrre un maggior effetto considerando la loro posizione e dimensione. Nella *figura 14* si notano gli edifici presenti e in colore più scuro quelli inseriti nella simulazione.

La simulazione consiste nell'utilizzo del software BPIP e poi di Calpuff introducendo in esso il file di output di BPIP.

6.4.1. Il building downwash

Il building downwash è l'effetto di disturbo causato da edifici, o da altre costruzioni che agiscono da ostacolo, sulla dispersione delle sostanze in aria. Nell'ambito di questa tesi si è voluto valutare quanto questo fenomeno influisce modificando le concentrazioni rispetto a un caso base senza ostacoli.

In generale un ostacolo crea delle turbolenze indotte dalla forza del vento che agisce su di esso, si ha quindi una modifica sulla naturale traiettoria del vento. La turbolenza locale richiama il pennacchio verso il basso e di conseguenza sottovento all'ostacolo si ha un aumento di concentrazione di inquinanti. Continuando ad allontanarsi, sempre in direzione sottovento, si ha che le differenze di concentrazione si attenuano e si può arrivare ad avere nel caso con ostacoli zone a concentrazione inferiore rispetto al caso senza ostacoli in quanto, globalmente, deve essere rispettato il bilancio di massa.

Per quanto riguarda la zona sopravento, l'ostacolo agisce sulle traiettorie del vento con una diminuzione locale di densità, e quindi di concentrazione di inquinanti.

6.4.2. BPIP - Building Profile Input Program

BPIP è un programma che calcola le dimensioni dell'ostacolo al variare della direzione del vento. Richiede come input i dati geometrici relativi agli ostacoli e alla sorgente di emissione. I dati inseriti sono l'altezza, il numero di piani e le coordinate dei vertici di ciascun ostacolo da modellare, l'altezza e le coordinate della sorgente. Il file di input è contenuto nell'*allegato D*.

Degli ostacoli inseriti, sono stati automaticamente esclusi quegli edifici ritenuti dal software ininfluenti e sono quelli che non raggiungono un'altezza pari al 40% dell'altezza della sorgente. Come distanza dalla sorgente, sono esclusi gli ostacoli che si trovano a più di 5 volte il valore minore tra l'altezza dell'ostacolo e la sua larghezza in direzione trasversale al vento [22]. In conclusione, gli ostacoli di cui si è considerata l'azione di downwash sono quelli raffigurati con una stellina gialla in *figura 14*.

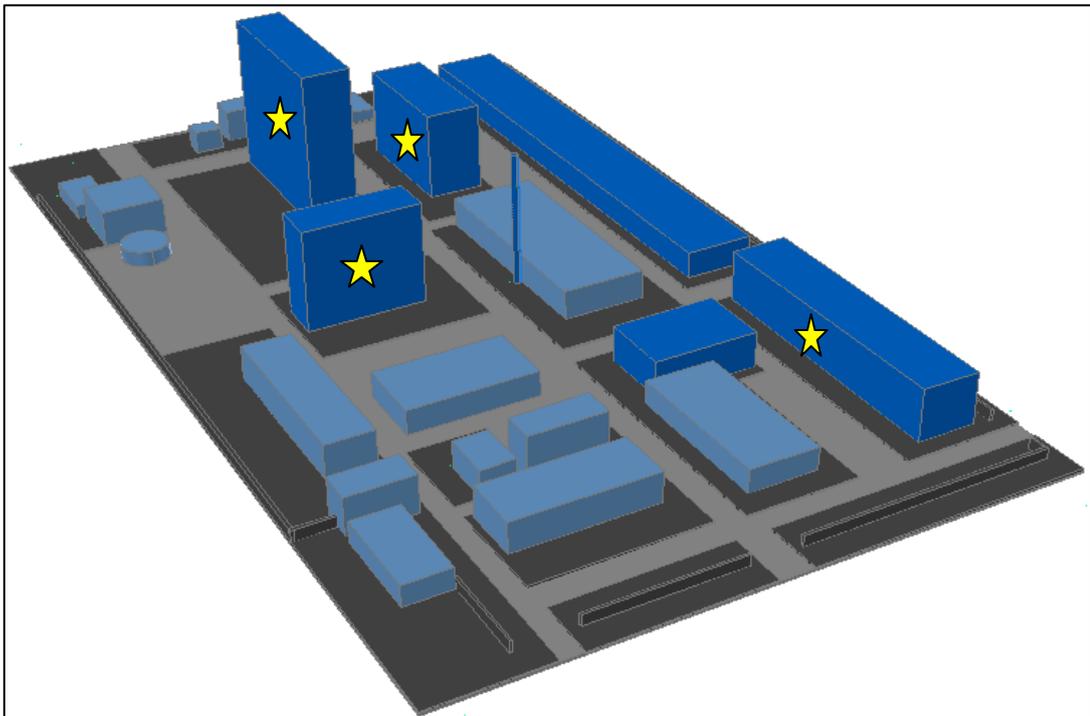


Figura 13: ostacoli presenti nell'area di impianto. In blu scuro quelli inseriti in BPIP, con la stella gialla quelli effettivamente considerati dal software.

Come output BPIP genera un file che contiene, per ogni settore di provenienza del vento, di ampiezza 10 gradi, due parametri che vengono successivamente utilizzati in Calpuff per simulare l'effetto downwash: l'altezza di un ostacolo o di un sistema di ostacoli che si presenta sulla stessa direzione di provenienza del vento e la massima proiezione della larghezza dell'ostacolo o di più ostacoli in quella direzione.

Si procede ora con il confronto tra caso con e senza ostacoli.

7. Analisi della simulazione

7.1. Introduzione

La simulazione condotta ha numerose applicazioni: in fase di progettazione dell'impianto, di autorizzazione alle emissioni o come supporto alla pianificazione territoriale. Sono analizzati in questo capitolo due aspetti:

- il confronto con mappe di concentrazione;
- il grafico temporale su singoli recettori.

7.2. Confronto con mappe di concentrazione

Il confronto con mappe permette di visualizzare l'andamento spaziale delle concentrazioni e di tracciare le isoplete, cioè le curve che uniscono i punti a uguale concentrazione.

Dal confronto della concentrazione simulata con concentrazioni limite imposte a livello legislativo per la tutela della salute, è possibile valutare il rischio da esposizione prolungata.

Per quanto riguarda le sostanze emesse dal camino in esame, esse non presentano particolari caratteristiche di pericolosità per la salute umana, e il decreto 155/2010 non impone limiti alle immissioni. Ciò nonostante, per alcune sostanze (cloroetano, acido cloridrico e n-esano) esistono valori di riferimento, come indicato nelle tabelle *al paragrafo 5.3*.

A livello di esempio si sono confrontate le mappe di concentrazione di cloroetano, acido cloridrico e n-esano con le RfC relative. Nella *figura 15* è riportato il caso del cloroetano, per le altre sostanze si veda l'*allegato E*.

Si nota che le concentrazioni simulate sono dell'ordine dei microgrammi su metro cubo, mentre i limiti di riferimento sono circa tre ordini di grandezza superiori, si è quindi ben lontani da avere problemi per esposizione a lungo termine.

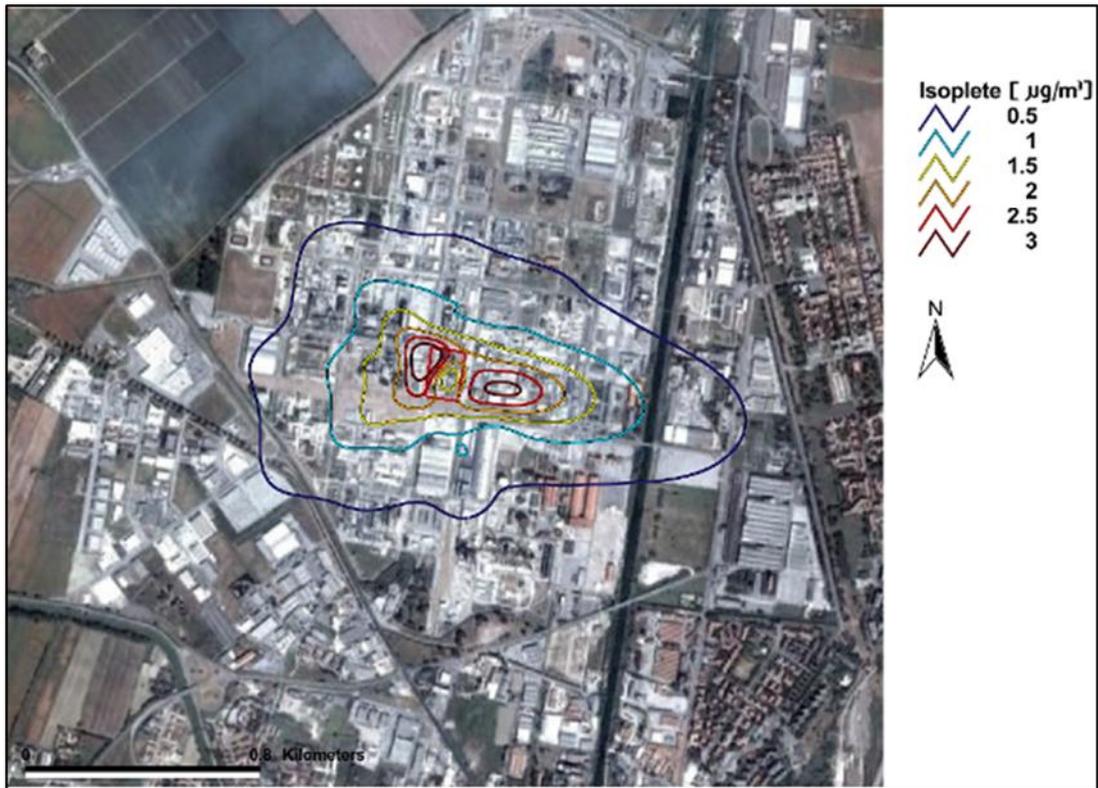


Figura 14: isoplete relative al cloroetano

7.2.1. Effetto Building Downwash

Si procede ora nella valutazione dell'influenza che gli ostacoli hanno sulle mappe di concentrazione. La *figura 16* confronta il caso con e senza ostacoli. Nonostante si notino alcune differenze, esse non permettono un facile confronto. Si è ottenuto un migliore risultato calcolando per ciascun recettore la differenza tra caso con e senza ostacoli. Questa differenza è stata rapportata al caso senza ostacoli, ricavando un valore relativo che è stato poi moltiplicato per cento ottenendo delle percentuali. Infine si è proceduto con l'interpolazione dei valori puntuali per ottenere la mappa in *figura 17*.

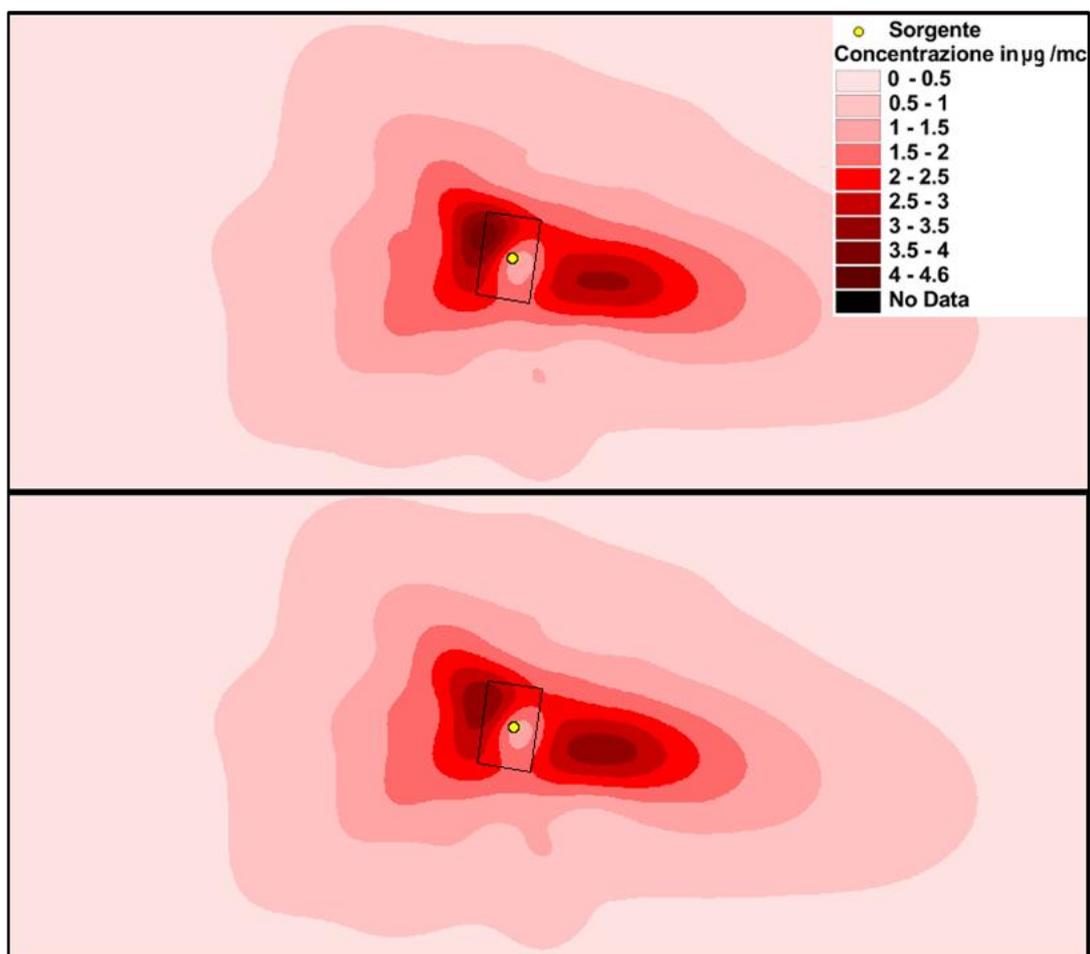


Figura 15: Confronto tra caso senza ostacoli (in alto) e con ostacoli (in basso) per il cloroetano

Quindi, come detto sopra, per meglio visualizzare la differenza tra le due mappe, si è calcolata la differenza relativa percentuale nel seguente modo:

$$\frac{\text{conc.con ostacoli} - \text{conc.senza ostacoli}}{\text{conc.senza ostacoli}} * 100 \quad (15)$$

La mappa risultante è quella in *figura 17*. L'andamento rispecchia ciò detto al *paragrafo 6.4.1*. Il colore verde significa che la concentrazione nel caso siano considerati gli ostacoli è inferiore rispetto a se essi non fossero considerati, al contrario il colore arancione indica una maggiore concentrazione causata dalla presenza degli ostacoli.

La *figura 18* mostra un ingrandimento nell'intorno dell'impianto, dal quale si nota meglio che le differenze si trovano proprio sottovento gli ostacoli oggetto di simulazione.

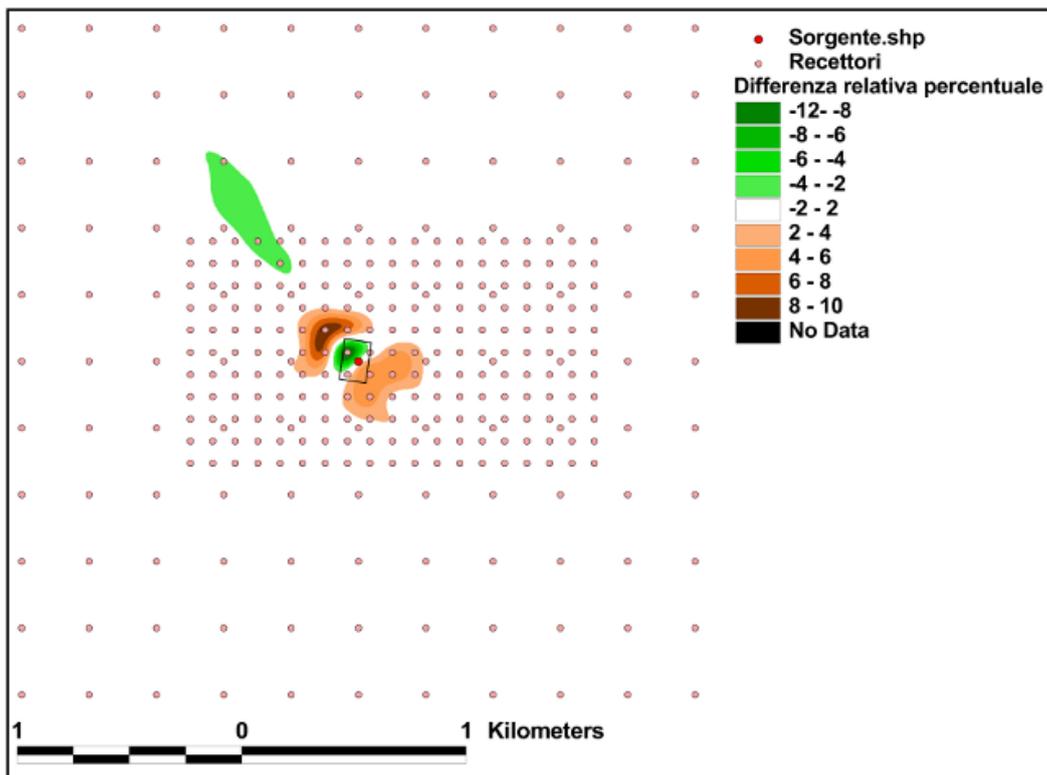


Figura 16: differenza relativa percentuale tra caso con e senza ostacoli per il cloroetano

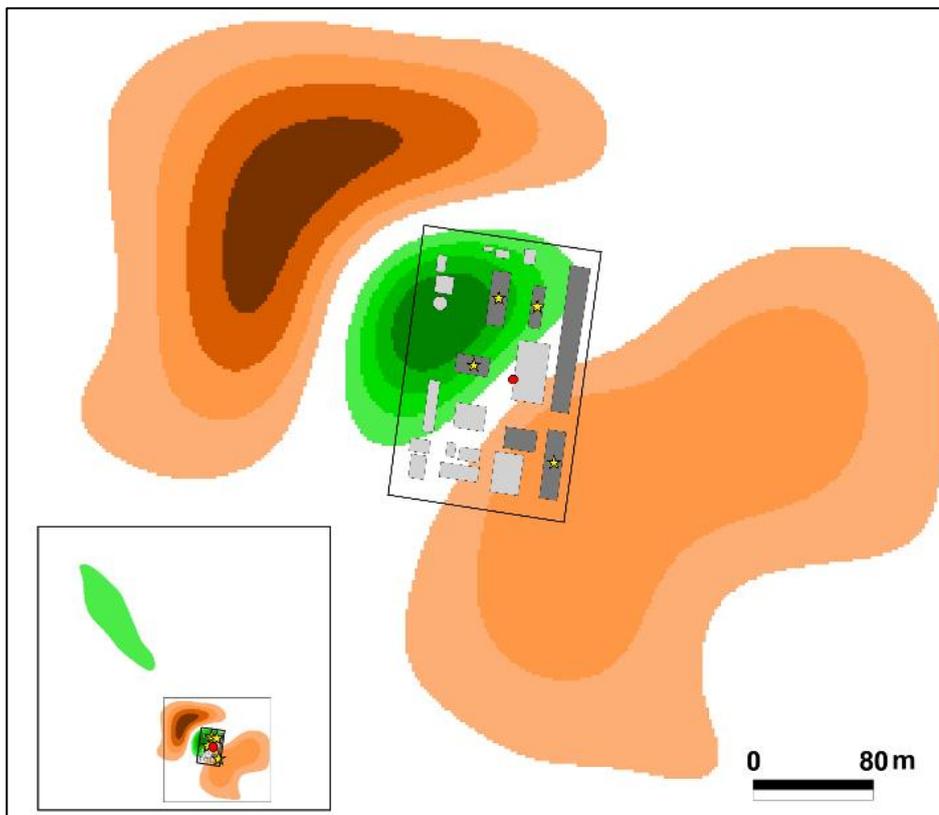


Figura 17: ingrandimento che mostra l'effetto degli edifici sulla differenza di concentrazione simulata

7.3. Confronto con andamento temporale

Se si analizzano i singoli recettori, è possibile ottenere da Calpost le medie giornaliere. Questi dati possono essere inseriti in grafici per visualizzare l'andamento nel tempo della concentrazione per la specifica sostanza emessa e per il singolo recettore.

L'andamento temporale permette di ricavare informazioni importanti ad esempio in fase di progetto di un nuovo impianto o di autorizzazione alle emissioni, come i massimi di concentrazione e il numero dei superamenti annuali di fissati valori di concentrazione.

Per quanto riguarda le sostanze emesse dal camino in esame, per esse il decreto 155/2010 non impone limiti alle immissioni. Ciò nonostante, a livello di esempio, si sono ricavati gli andamenti temporali per cloroetano, acido cloridrico e n-esano. Si riportano di seguito le immagini relative l'acido cloridrico, per le altre due sostanze si veda l'*allegato F*.

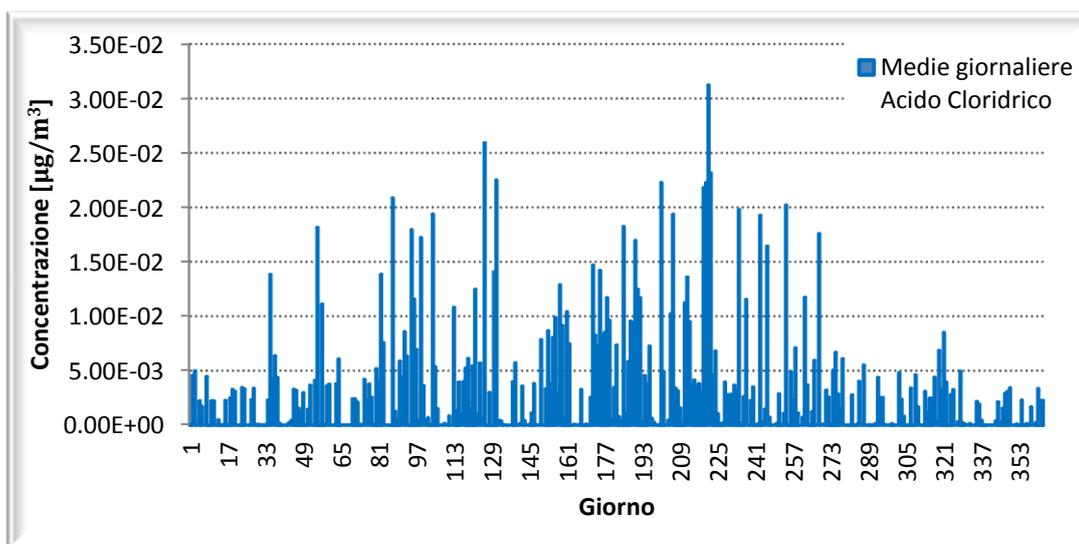


Figura 18: medie giornaliere di concentrazione per l'acido cloridrico in corrispondenza di un recettore

7.3.1. Effetto del Building Downwash

Si procede ora nella valutazione dell'influenza che gli ostacoli hanno sull'andamento temporale delle concentrazioni. Per meglio visualizzare lo scostamento si sono considerati i recettori che si trovano nei punti di massima e minima differenza relativa, cioè i recettori (a) e (b) indicati in *figura 20*.

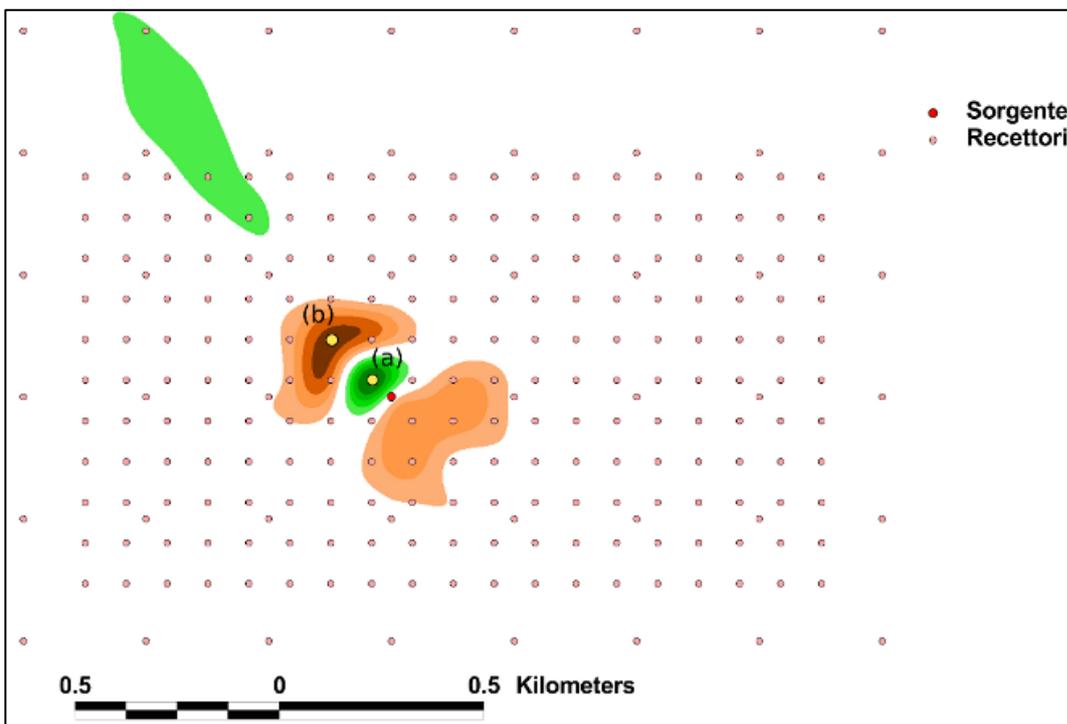


Figura 19: in giallo sono indicati i 2 recettori utilizzati per visualizzare l'effetto del downwash

Si sono calcolate le medie mensili di concentrazione relative all'acido cloridrico e, come si vede dai prossimi grafici, si sono confrontati i valori nel caso con e senza ostacoli, rispettivamente in blu e in rosso.

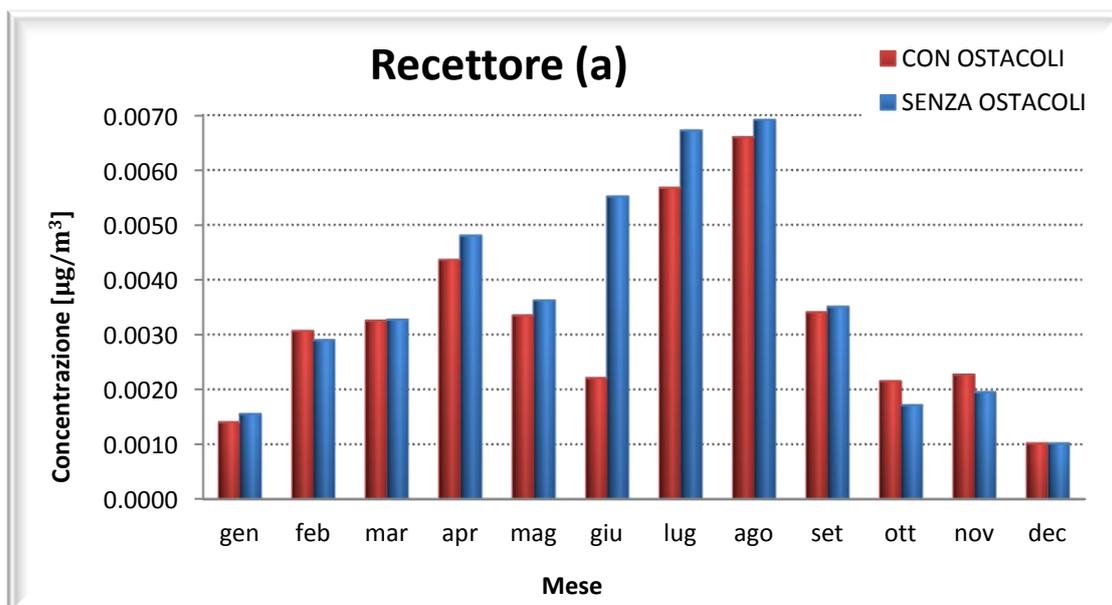


Figura 20: medie mensili relative all'acido cloridrico e al recettore (a)

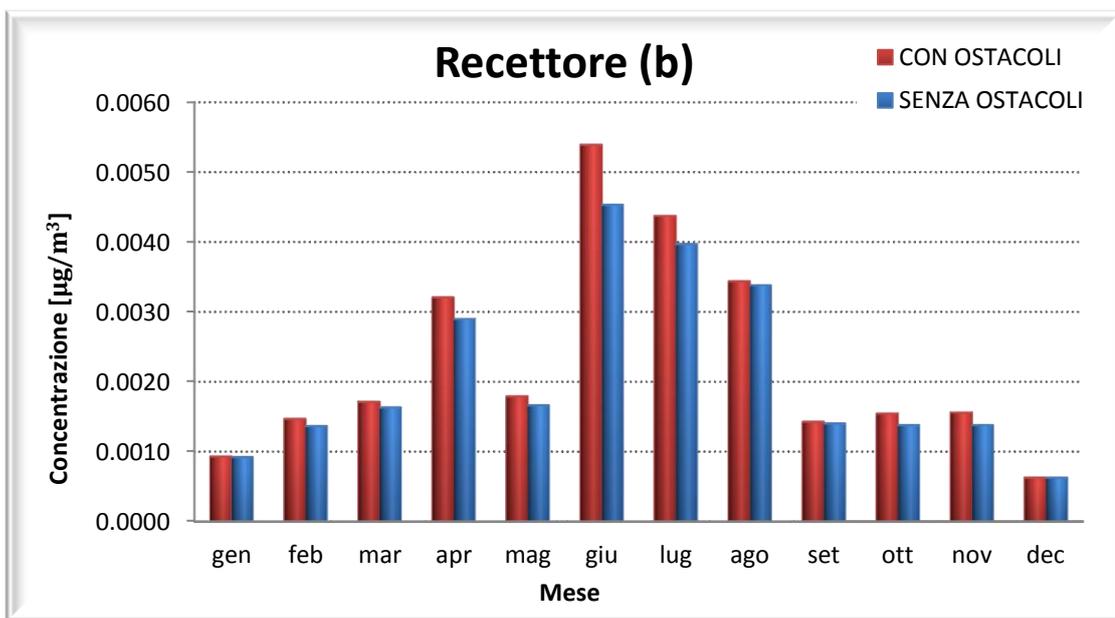


Figura 21: medie mensili relative all'acido cloridrico e al recettore (b)

Si è analizzata la differenza relativa percentuale nei due recettori, evidenziando i mesi in cui si hanno i maggiori scostamenti in senso positivo e negativo.

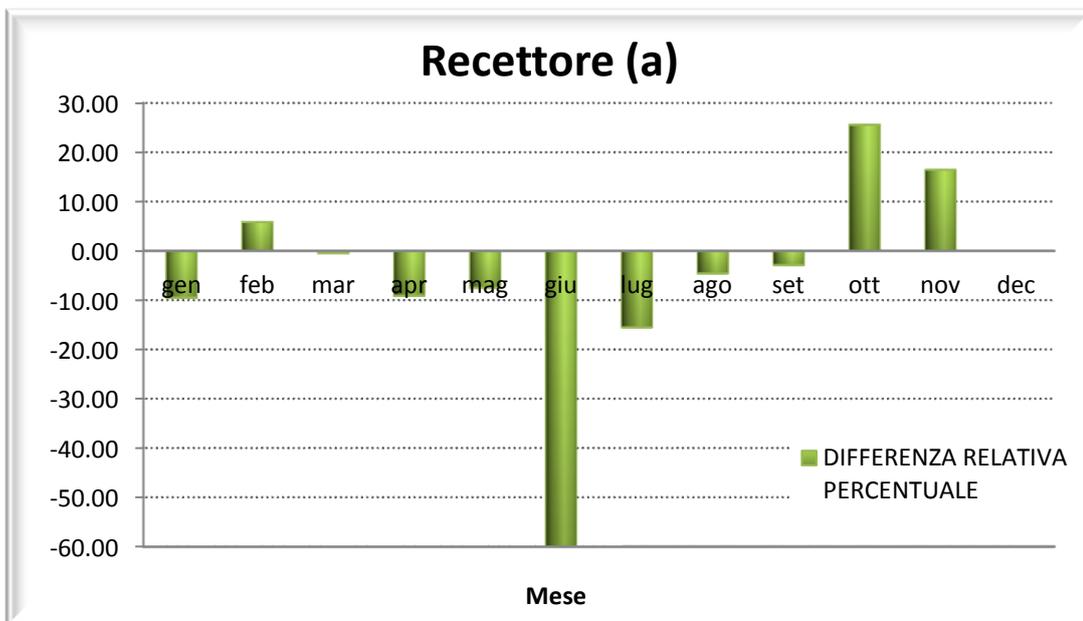


Figura 22

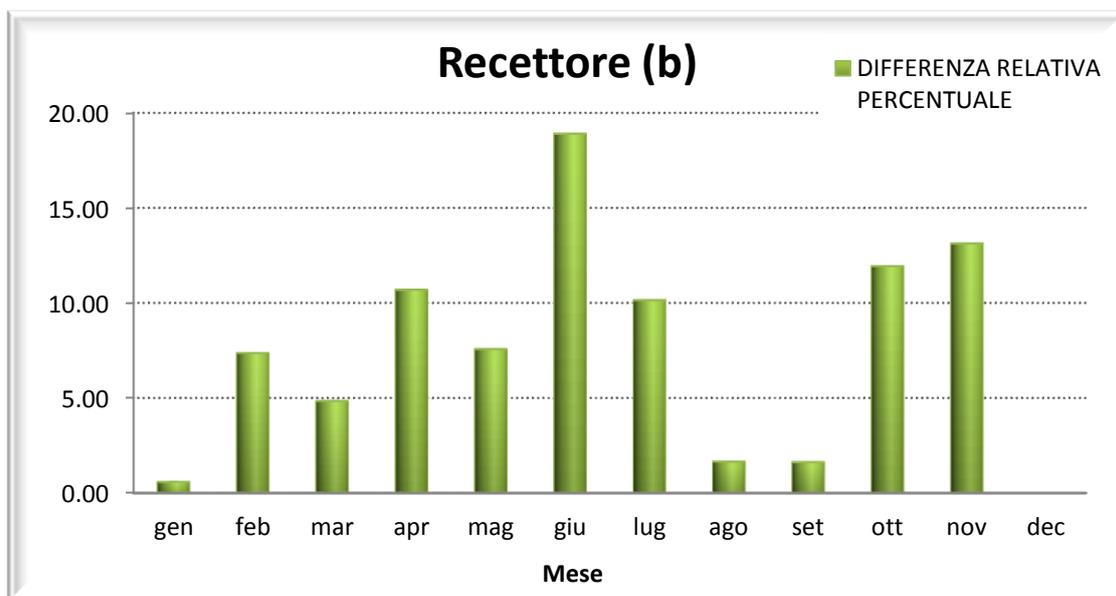


Figura 23

Se si analizzano le medie giornaliere si nota come i massimi scostamenti siano ancora maggiori.

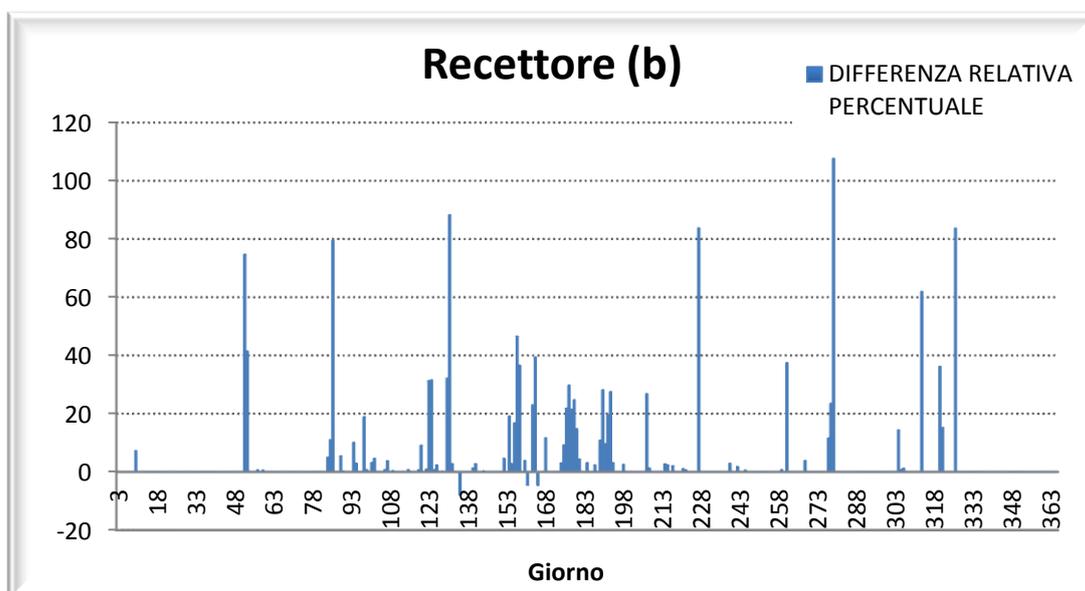


Figura 24

8. Conclusioni

Nella tesi si è utilizzato il modello Calpuff per l'analisi della dispersione delle sostanze emesse da un camino dell'azienda Lyondellbasell di Ferrara.

Calpuff è risultato particolarmente adatto alla meteorologia di Ferrara, data la capacità del modello di lavorare correttamente anche in casi di venti deboli o calme di vento. Questa caratteristica, unita ad altre peculiarità di Calpuff, come la capacità di calcolare campi di vento che tengano conto di orografie complesse, della presenza di ostacoli e della non stazionarietà dell'emissione, lo rendono uno strumento più accurato rispetto ad altri modelli utilizzati attualmente. Può, ad esempio, essere considerato un'evoluzione rispetto al software Aermod, anch'esso sviluppato dall'EPA e di ampio utilizzo in Italia.

Un altro aspetto innovativo di Calpuff è la possibilità di caratterizzare le diverse sostanze con coefficienti di dispersione specifici che tengano conto della diversa tendenza naturale delle sostanze a disperdersi in aria.

Dall'applicazione del modello si è potuto simulare l'effetto che la sorgente di emissione ha sul territorio circostante. In particolare si sono ottenute le concentrazioni ad altezza d'uomo in corrispondenza di punti noti, detti recettori, distribuiti nell'intorno del camino in una superficie di 3 km².

Dai dati ottenuti con la simulazione si è ricavato l'andamento spaziale, all'interno della griglia di calcolo, delle medie annue di concentrazione e l'andamento temporale delle concentrazioni in corrispondenza di alcuni recettori di esempio. Questi valori possono essere confrontati con livelli di riferimento per la qualità dell'aria e, dagli andamenti temporali si possono estrarre i massimi o la frequenza di superamento di determinate soglie, qualora esse siano definite a livello normativo.

Nel caso in esame, essendo le sostanze emesse non contemplate dal decreto legislativo 155/10 sulle immissioni, si è fatto riferimento alle reference concentrations (RfC) proposte dall'EPA nel database IRIS. Queste concentrazioni tutelano la salute umana da esposizione continuativa considerando l'intero arco della vita e sono utilizzate negli Stati Uniti per il calcolo del rischio.

I risultati ottenuti hanno evidenziato come le concentrazioni al suolo siano di diverso ordini di grandezza inferiori alle RfC.

Si è poi svolta una seconda simulazione che tiene conto dell'effetto di Building Downwash, cioè influenza da parte dei principali impianti industriali dell'azienda sulla concentrazione al suolo. Gli impianti agiscono infatti da ostacoli alla dispersione delle sostanze in aria, creando zone con maggiore o minore concentrazione rispetto alla simulazione su terreno piano. In particolare, considerando le medie annuali, dalla differenza tra le due simulazioni calcolata relativamente al caso senza ostacoli, si hanno differenze anche fino al 10% (in positivo e in negativo).

Se si considerano le medie mensili, queste differenze raggiungono anche il 60%. Questo è spiegato dal fatto che le differenze significative si hanno solo sporadicamente, quando si verificano particolari combinazioni di velocità e direzione del vento che accentuano l'effetto di building downwash. Si ha quindi un'attenuazione delle differenze con l'aumentare del periodo su cui esse sono mediate.

In generale con questa tesi si è impostata una simulazione che potrà essere sviluppata attraverso analisi di sensitività applicate allo stesso caso reale, ad esempio si è mostrato interesse nel valutare come variano le concentrazioni al suolo dopo una modifica del numero di sorgenti o delle quantità emesse.

Si evidenzia infine l'utilità del modello che può essere utilizzato anche come base di partenza per il calcolo del rischio per la salute umana o per studi ecotossicologici e di migrazione delle sostanze emesse in comparti ambientali diversi dall'aria.

Allegato A

La tabella 1 è estratta dall'appendice III del D.Lgs. 155/2010 e indica le caratteristiche dei modelli da utilizzare in funzione della scala spaziale della valutazione e del tipo di inquinante.

Tabella 1

Scala spaziale della valutazione			
Descrizione	Locale/hot spot (1-1000 m)	Urbana/agglomerato (1-300 Km)	Regionale (25- 10.000 Km)
Tipo di modello	Modelli parametrizzati gaussiani e non gaussiani Modelli statistici Modelli fluido dinamici con trattazione degli ostacoli Modelli Lagrangiani	Modelli parametrizzati gaussiani e non gaussiani Modelli chimici di trasporto Euleriano Modelli Lagrangiani	Modelli chimici di trasporto Euleriano Modelli chimici Lagrangiani
Meteorologia	Misure meteorologiche locali Modelli fluido dinamici con trattazione degli ostacoli Modelli meteorologici a mesoscala Modelli diagnostici per i campi di vento	Modelli meteorologici a mesoscala Misure meteorologiche localizzate Modelli diagnostici per i campi di vento	Modelli meteorologici sinottici/mesoscala
Chimica	Limitata o nessuna	Da nessuna a inclusa a seconda dei casi	Inclusa

Inquinanti	Locale/hot spot	Urbana/agglomerato	Regionale
PM10	No processi chimici	Deposizioni Formazione di particolato secondario inorganico	Deposizioni Formazione di particolato secondario inorganico ed organico Polveri sospese Sale marino
PM2,5	No processi chimici	Deposizioni Formazione di particolato secondario inorganico	Deposizioni Formazione di particolato secondario inorganico ed organico
NO₂	Chimica foto-ossidazione di base Relazioni statistiche/empiriche	Chimica foto-ossidazione limitata Schemi foto-stazionari Relazioni statistiche/empiriche	Deposizioni Chimica foto-ossidazione completa
NO_x	No processi chimici	No processi chimici	Chimica foto-ossidazione completa
O₃	Come per NO ₂	Come per NO ₂	Come per NO ₂
SO₂	No processi chimici	Deposizioni Formazione di particolato secondario inorganico	Deposizioni Formazione di particolato secondario inorganico Chimica foto-ossidazione completa
Pb	No processi chimici	Deposizioni No processi chimici	Deposizioni Schemi chimici specialistici
Benzene	No processi chimici		Deposizioni Chimica foto-ossidazione completa
CO	No processi chimici	No processi chimici	Chimica foto-ossidazione completa
Metalli pesanti	No processi chimici	Deposizioni Schemi chimici dedicati	Deposizioni Schemi chimici dedicati

La tabella 2, anch'essa estratta dall'appendice III del D.Lgs. 155/2010, indica la scala spaziale e temporale della valutazione da effettuare con il modello in funzione del tipo di inquinante e del periodo di mediazione del valore limite o obiettivo ed in funzione di una serie esemplificativa di tipologie di stazioni e di siti fissi.

Tabella 2

Inquinante	Scala spaziale e temporale della valutazione modellistica in funzione del tipo di inquinante considerato, del periodo di mediazione del valore e del tipo di stazione e di tipo di sito fisso			
	Periodo di mediazione	Tipo di stazione e di sito fisso	Risoluzione temporale del modello	Risoluzione spaziale del modello
PM10	Media annua Media giornaliera	Traffico Fondo urbano Fondo regionale	oraria	< 1 km 1-5 Km 10-50 km
PM2,5	Media annua	Fondo urbano Fondo regionale	oraria	1-5 Km 10-50 Km
Speciazione PM	-	Rurale	Oraria Giornaliera	- 10-50 Km
NO₂	Media oraria Media annua	Traffico Fondo urbano	oraria	< 1 km 1-5 Km
NO_x	Media annuale		oraria	
O₃	Media 8 ore	Suburbano Rurale	oraria	10-50 Km
SO₂	Media oraria Media giornaliera Media annua Media invernale	Tutti	oraria	Tutti
Pb	Media annua	Traffico Fondo urbano	Annuale	< 1 km 1-5 Km
Benzene	Media annua	Traffico Fondo urbano	Annuale	< 1 km 1-5 Km
CO	Media 8 ore	Traffico	Oraria	< 1 km
Metalli	Media annua	Traffico Fondo urbano	Annuale	< 1 km 1-5 Km

Allegato B

1-CLOROETANO		ICSC: 0132 Aprile 2000	
Etil cloruro Monocloroetano			
CAS #	75-00-3	C_2H_5Cl / CH_3CH_2Cl	 
RTECS #	KH7525000	Massa molecolare: 64.5	
UN #	1037		
EC #	602-009-00-0		
EINECS #	200-830-5		
TIPO DI RISCHIO / ESPOSIZIONE	RISCHI ACUTI / SINTOMI	PREVENZIONE	PRIMO SOCCORSO / MEZZI ESTINGUENTI
INCENDIO	Estremamente infiammabile. Nella combustione libera fumi (o gas) tossici o irritanti.	NO fiamme libere, NO scintille e NON fumare.	Interrompere l'alimentazione; se non è possibile e non ci sono rischi per l'ambiente circostante lasciare che l'incendio si estingua da solo; negli altri casi spegnere con polvere, anidride carbonica,
ESPLOSIONE	Miscele gas/aria sono esplosive.	Sistemi chiusi, ventilazione, materiale elettrico e impianto di illuminazione antideflagranti. Prevenire la formazione di cariche elettrostatiche (per es. con messa a terra) se allo stato liquido. Utilizzare utensileria manuale anti innesco.	In caso di incendio: mantenere fredde le bombole ecc., bagnandole con acqua.
ESPOSIZIONE		RIGOROSA IGIENE!	
Inalazione	Vertigine. Torpore. Mal di testa. Crampi addominali.	Ventilazione, aspirazione localizzata, o protezione delle vie respiratorie.	Aria fresca, riposo. Sottoporre all'attenzione del medico.
Cute	AL CONTATTO CON IL LIQUIDO: CONGELAMENTO.	Guanti isolanti dal freddo. Vestiario protettivo.	IN CASO DI CONGELAMENTO: sciacquare con abbondante acqua, NON rimuovere i vestiti. Sciacquare la cute con abbondante acqua o con una doccia. Sottoporre all'attenzione del medico.
Occhi	Arrossamento. Dolore. Vista offuscata.	Visiera, o protezione oculare abbinata a protezione delle vie respiratorie.	Prima sciacquare con abbondante acqua per alcuni minuti (rimuovere le lenti a contatto se è possibile farlo agevolmente), quindi contattare un medico.
Ingestione		Non mangiare, bere o fumare durante il lavoro.	
RIMOZIONE DI UN VERSAMENTO		IMBALLAGGIO E ETICHETTATURA	
Evacuare l'area pericolosa! Consultare un esperto! Ventilazione. (Protezione personale straordinaria: autorespiratore.) NON permettere che questo agente chimico contamini l'ambiente.		Bombola speciale coibentata. Raccordi speciali. Classificazione EU Simboli: <u>F+</u> , <u>Xn</u> R: <u>12-40-52/53</u> S: <u>(2-)9-16-33-36/37-61</u> Classificazione UN UN classe di rischio: 2.1	
RISPOSTA DI EMERGENZA		IMMAGAZZINAMENTO	
Transport Emergency Card: TEC (R)-20S1037 or 20G2F Codice NFPA: H2; F4; R0;		A prova di fuoco.	
IPCS International Programme on Chemical Safety    		Preparata nel contesto della cooperazione tra l'International Programme] on Chemical Safety & la Commissione della Comunità Europea (c) IPCS, CEC 1999 GUARDA LE INFORMAZIONI IMPORTANTI NEL RETRO	

1-CLOROETANO**ICSC: 0132****DATI IMPORTANTI****STATO FISICO: ASPETTO:**

GAS COMPRESSO LIQUEFATTO INCOLORE , CON ODORE CARATTERISTICO.

PERICOLI FISICI:

Il gas è più pesante dell'aria e può spostarsi lungo il suolo; è possibile una accensione a distanza .

PERICOLI CHIMICI:

La sostanza si decompone per forte riscaldamento o per combustione producendo gas tossici(acido cloridrico-vedere ICSC 0163, fosgene- vedere ICSC 0007).

LIMITI DI ESPOSIZIONE OCCUPAZIONALE:

TLV: 100 ppm come TWA (cute) A3 (cancerogeno riconosciuto per l'animale con rilevanza non nota per l'uomo); (ACGIH 2004). MAK: assorbimento cutaneo (H); Classe di cancerogenicità: 3B; (DFG 2004).

VIE DI ESPOSIZIONE:

La sostanza può essere assorbita nell'organismo per inalazione.

RISCHI PER INALAZIONE:

Causa una perdita, può essere raggiunta molto rapidamente una concentrazione dannosa di questo gas in aria.

EFFETTI DELL'ESPOSIZIONE A BREVE TERMINE:

La sostanza e' mediamente irritante per gli occhi la cute e il tratto respiratorio. Una rapida evaporazione del liquido può causare congelamento. La sostanza può determinare effetti sul sistema nervoso centrale.

L'esposizione molto superiore all'OEL può portare a stato di incoscienza, aritmia cardiaca e morte.

PROPRIETÀ FISICHE

Punto di ebollizione: 12.5°C
Punto di fusione: -138°C
Densità relativa (acqua=1): 0.918
Solubilità in acqua, g/100ml a 20°C: 0.574
Tensione di vapore, kPa a 20°C: 133.3
Densità di vapore relativa (aria=1): 2.22

Punto di infiammabilità: -50°C c.c.
Temperatura di auto-accensione: 519°C
Limiti di esplosività, vol % in aria: 3.6-14.8
Coefficiente di ripartizione ottanolo/acqua come log Pow: 1.54
Temperatura critica (NOT sulla scheda): 187°C

DATI AMBIENTALI

La sostanza è nociva per gli organismi acquatici.

NOTE

L'uso di bevande alcoliche esalta l'effetto dannoso. Risciacquare abbondantemente con acqua gli abiti contaminati (pericolo d'incendio). DA NON UTILIZZARSI in prossimità di fuochi o superfici calde o durante saldature. Capovolgere la bombola che perde nella parte superiore per prevenire fuoriuscita di gas liquefatto. La scheda è stata parzialmente aggiornata nell'Aprile del 2005. Vedi la sezione:Limiti di Esposizione Occupazionale, Risposta di Emergenza.

INFORMAZIONI SUPPLEMENTARI**NOTIZIA LEGALE**

Né la CEC né IPCS e neanche le persone che agiscono per conto della CEC o dell'IPCS sono responsabili per l'uso che verrà fatto di queste informazioni

(c) IPCS, CEC 1999

ACIDO CLORIDRICO		ICSC: 0163 Aprile 2000	
Cloruro di idrogeno anidro Acido cloridrico, anidro			
CAS #	7647-01-0	HCI	 
RTECS #	MW4025000	Massa molecolare: 36.5	
UN #	1050		
EC #	017-002-00-2		
EINECS #	231-595-7		
TIPO DI RISCHIO / ESPOSIZIONE	RISCHI ACUTI / SINTOMI	PREVENZIONE	PRIMO SOCCORSO / MEZZI ESTINGUENTI
INCENDIO	Non combustibile.		In caso di incendio nell'ambiente circostante: utilizzare appropriati mezzi antincendio.
ESPLOSIONE			In caso di incendio: mantenere fredde le bombole ecc., bagnandole con acqua.
ESPOSIZIONE		EVITARE OGNI CONTATTO!	IN OGNI CASO CONSULTARE UN MEDICO!
Inalazione	Corrosivo. Sensazione di bruciore. Tosse. Difficoltà respiratoria. Respiro affannoso. Mal di gola. I sintomi possono presentarsi in ritardo (vedi Note).	Ventilazione, aspirazione localizzata, o protezione delle vie respiratorie.	Aria fresca, riposo. Posizione semi eretta. Può essere necessaria la respirazione artificiale. Sottoporre all'attenzione del medico.
Cute	AL CONTATTO CON IL LIQUIDO: CONGELAMENTO. Corrosivo. Grave Ustioni cutanee. Dolore.	Guanti isolanti dal freddo. Vestiario protettivo.	Prima sciacquare con abbondante acqua, poi rimuovere i vestiti contaminati e sciacquare ancora. Sottoporre all'attenzione del medico.
Occhi	Corrosivo. Dolore. Vista offuscata. Gravi ustioni profonde.	Occhiali protettivi a mascherina, o protezione oculare abbinata a protezione delle vie respiratorie.	Prima sciacquare con abbondante acqua per alcuni minuti (rimuovere le lenti a contatto se è possibile farlo agevolmente), quindi contattare un medico.
Ingestione			
RIMOZIONE DI UN VERSAMENTO		IMBALLAGGIO E ETICHETTATURA	
Evacuare l'area pericolosa! Consultare un esperto! Ventilazione. Rimuovere il gas con un getto di acqua nebulizzata. Protezione personale: indumento protettivo munito di autorespiratore.		Classificazione EU Simboli: I, C R: 23-35 S: (1/2)-9-26-36/37/39-45 Classificazione UN UN classe di rischio: 2.3 UN Rischi supplementari: 8	
RISPOSTA DI EMERGENZA		IMMAGAZZINAMENTO	
Transport Emergency Card: TEC (R)-20S1050 Codice NFPA: H3; F0; R1;		Separato da sostanze infiammabili e riducenti, ossidanti forti, basi forti, metalli. Mantenere in un locale ben ventilato. Freddo. Asciutto.	
IPCS International Programme on Chemical Safety	  		Preparata nel contesto della cooperazione tra l'International Programme on Chemical Safety & la Commissione della Comunità Europea (c) IPCS, CEC 1999 GUARDA LE INFORMAZIONI IMPORTANTI NEL RETRO

DATI IMPORTANTI

STATO FISICO: ASPETTO:

GAS COMPRESSO LIQUEFATTO INCOLORE , CON ODORE PUNGENTE.

PERICOLI FISICI:

Il gas è più pesante dell'aria.

PERICOLI CHIMICI:

La soluzione in acqua è un acido forte, reagisce violentemente con le basi ed è corrosiva. Reagisce violentemente con ossidanti formando gas tossici (cloro - vedere ICSC 0126). In presenza di acqua attacca molti metalli formando gas combustibili (idrogeno - vedere ICSC 0001).

LIMITI DI ESPOSIZIONE OCCUPAZIONALE:

TLV: 2 ppm;
(valore Ceiling) A4 (non classificabile come cancerogeno per l'uomo); (ACGIH 2004). MAK: 2 ppm, 3.0 mg/m³;
Categoria limitazione di picco: I(2); Gruppo di rischio per la gravidanza: C; (DFG 2004).

VIE DI ESPOSIZIONE:

La sostanza può essere assorbita nell'organismo per inalazione.

RISCHI PER INALAZIONE:

Causa una perdita, può essere raggiunta molto rapidamente una concentrazione dannosa di questo gas in aria.

EFFETTI DELL'ESPOSIZIONE A BREVE TERMINE:

Una rapida evaporazione del liquido può causare congelamento. La sostanza è corrosiva per gli occhi, la cute ed il tratto respiratorio. Inalazione di elevate concentrazioni del gas può causare polmoniti e edema polmonare, causando la sindrome da disfunzione reattiva delle vie aeree (RADS) (vedere Note). Gli effetti possono essere ritardati. E' indicata l'osservazione medica.

EFFETTI DELL'ESPOSIZIONE RIPETUTA O A LUNGO TERMINE:

La sostanza può avere effetto sui polmoni , causando bronchite cronica. La sostanza può avere effetto sui denti, causando erosione.

PROPRIETÀ FISICHE

Punto di ebollizione: -85°C
Punto di fusione: -114°C
Densità: 1.00045 g/l(gas)
Solubilità in acqua, g/100ml a 30°C: 67
Densità di vapore relativa (aria=1): 1.3

Coefficiente di ripartizione ottanolo/acqua come log Pow: 0.25

DATI AMBIENTALI

NOTE

Il valore limite di esposizione non deve essere superato in alcun momento della esposizione lavorativa. I sintomi dell'edema polmonare spesso non si manifestano prima di alcune ore e sono aggravati dallo sforzo fisico. Sono pertanto essenziali il riposo e l'osservazione medica. Si deve prevedere l'immediata somministrazione di una appropriata terapia inalatoria da parte di un medico o personale da lui/lei autorizzato. Non spruzzare acqua su bombole che perdono (per prevenire la corrosione delle stesse). Capovolgere la bombola che perde nella parte superiore per prevenire fuoriuscita di gas liquefatto. Other UN numbers: 2186 (liquido refrigerato) classe di rischio: 2.3; rischio supplementare: 8; 1789 (acido odroclorico) clase di rischio: 8, gruppo di imballaggio II o III. la soluzione acquosa può contenere fino al 38% di acido cloridrico.

La scheda è stata parzialmente aggiornata nell'Aprile del 2005. Vedi la sezione:Limiti di Esposizione Occupazionale, Risposta di Emergenza.

INFORMAZIONI SUPPLEMENTARI

ITALIA VALORI LIMITE DI ESPOSIZIONE PROFESSIONALE

TLV calcolato sulle 8 ore:

8 mg/m³;

5 ppm;

TLV breve termine:

15 mg/m³;

10 ppm;

ai sensi del D.Lgs.2 Febbraio 2002, N°25.

NOTIZIA LEGALE

Né la CEC né IPCS e neanche le persone che agiscono per conto della CEC o dell'IPCS sono responsabili per l'uso che verrà fatto di queste informazioni

ETILENE		ICSC: 0475 Marzo 1996
Ethene		
CAS #	74-85-1	C_2H_4 / $CH_2=CH_2$
RTECS #	KU5340000	Massa molecolare: 28.0
UN #	1962	
EC #	601-010-00-3	
EINECS #	200-815-3	

TIPO DI RISCHIO / ESPOSIZIONE	RISCHI ACUTI / SINTOMI	PREVENZIONE	PRIMO SOCCORSO / MEZZI ESTINGUENTI
INCENDIO	Estremamente infiammabile.	NO fiamme libere, NO scintille e NON fumare.	Interrompere l'alimentazione; se non è possibile e non ci sono rischi per l'ambiente circostante lasciare che l'incendio si estingua da solo; negli altri casi spegnere con spruzzo d'acqua.
ESPLOSIONE	Miscela gas/aria sono esplosive.	Sistemi chiusi, ventilazione, materiale elettrico e impianto di illuminazione antideflagranti. Prevenire la formazione di cariche elettrostatiche (per es. con messa a terra). Utilizzare utensileria manuale anti innesco.	In caso di incendio: mantenere fredde le bombole ecc., bagnandole con acqua. Combattere l'incendio da una posizione riparata.

ESPOSIZIONE			
Inalazione	Sonnolenza. Stato d'incoscienza.	Ventilazione.	Aria fresca, riposo. Può essere necessaria la respirazione artificiale. Sottoporre all'attenzione del medico.
Cute			
Occhi			
Ingestione			

RIMOZIONE DI UN VERSAMENTO	IMBALLAGGIO E ETICHETTATURA
Evacuare l'area pericolosa! Ventilazione. Rimuovere tutte le sorgenti di accensione e, se possibile, chiudere il gas alla sorgente. Protezione personale: tuta di protezione da composti chimici munita di autorespiratore.	Classificazione EU Simboli: F+ R: 12-67 S: (2-)9-16-33-46 Classificazione UN UN classe di rischio: 2.1

RISPOSTA DI EMERGENZA	IMMAGAZZINAMENTO
Transport Emergency Card: TEC (R) - 20S1962. Codice NFPA: H1; F4; R2;	A prova di fuoco. Separato da ossidanti forti.

IPCS International Programme on Chemical Safety    	Preparata nel contesto della cooperazione tra l'International Programme on Chemical Safety & la Commissione della Comunità Europea (c) IPCS, CEC 1999 GUARDA LE INFORMAZIONI IMPORTANTI NEL RETRO
--	---

ETILENE**ICSC: 0475****DATI IMPORTANTI****STATO FISICO: ASPETTO:**

GAS COMPRESO INCOLORE , CON ODORE CARATTERISTICO.

PERICOLI FISICI:

Il gas è più leggero dell'aria. Per movimento, agitazione, etc, possono prodursi cariche elettrostatiche.

PERICOLI CHIMICI:

La sostanza può polimerizzare per formare composti aromatici sotto l'influenza di temperature sopra a 600°C. Reagisce con forti ossidanti causando pericolo di incendio e esplosione.

LIMITI DI ESPOSIZIONE OCCUPAZIONALE:TLV: 200 ppm come TWA;
A4 (non classificabile come cancerogeno per l'uomo); (ACGIH 2005). MAK: Classe di cancerogenicità: 3B; (DFG 2005).**VIE DI ESPOSIZIONE:**

La sostanza può essere assorbita nell'organismo per inalazione.

RISCHI PER INALAZIONE:

Causa una perdita il gas può causare asfissia abbassando il contenuto di ossigeno nell'aria di ambienti chiusi.

EFFETTI DELL'ESPOSIZIONE A BREVE TERMINE:

L'esposizione potrebbe provocare attenuazione della vigilanza.

PROPRIETÀ FISICHEPunto di ebollizione: -104°C
Punto di fusione: -169.2°C
Solubilità in acqua: insolubile
Tensione di vapore, kPa a 15°C: 8100
Densità di vapore relativa (aria=1): 0.98Punto di infiammabilità: Gas infiammabili
Temperatura di auto-accensione: 490°C
Limiti di esplosività, vol % in aria: 2.7-36.0**DATI AMBIENTALI****NOTE**

Elevate concentrazioni in atmosfera determinano carenza di ossigeno con rischio di perdita di conoscenza o morte. Controllare il contenuto di ossigeno prima di entrare nell'area.

La scheda è stata parzialmente aggiornata in Ottobre 2004 e in Ottobre 2005.

Vedi le sezioni: Limiti di Esposizione Occupazionale, classificazione EU, Risposta di Emergenza.

INFORMAZIONI SUPPLEMENTARI**NOTIZIA LEGALE**

Né la CEC né IPCS e neanche le persone che agiscono per conto della CEC o dell'IPCS sono responsabili per l'uso che verrà fatto di queste informazioni

(c) IPCS, CEC 1999

2-METILPENTANO		ICSC: 1262 Marzo 1995	
Dimetilpropilmetano Isoesano			
CAS #	107-83-5	C_6H_{14} / $CH_3CH(CH_3)(CH_2)_2CH_3$	
RTECS #	SA2985000	Massa molecolare: 86.2	
UN #	1208 (esani)		
EINECS #	203-523-4		
TIPO DI RISCHIO / ESPOSIZIONE	RISCHI ACUTI / SINTOMI	PREVENZIONE	PRIMO SOCCORSO / MEZZI ESTINGUENTI
INCENDIO	Altamente infiammabile.	NO fiamme libere, NO scintille e NON fumare.	Polvere, AFFF, schiuma, anidride carbonica.
ESPLOSIONE	Miscela vapore/aria sono esplosive.	Sistemi chiusi, ventilazione, materiale elettrico e impianto di illuminazione antideflagranti. Prevenire la formazione di cariche elettrostatiche (per es. con messa a terra). NON utilizzare aria compressa per riempire, versare o trattare. Utilizzare utensileria manuale anti innesco.	In caso di incendio: mantenere freddi i fusti, ecc., bagnandoli con acqua.
ESPOSIZIONE			
Inalazione		Ventilazione, aspirazione localizzata, o protezione delle vie respiratorie.	Aria fresca, riposo.
Cute		Guanti protettivi.	Rimuovere i vestiti contaminati. Sciacquare e poi lavare la cute con acqua e sapone.
Occhi		Occhiali di sicurezza.	Prima sciacquare con abbondante acqua per alcuni minuti (rimuovere le lenti a contatto se è possibile farlo agevolmente) poi contattare un medico.
Ingestione		Non mangiare, bere o fumare durante il lavoro.	Risciacquare la bocca.
RIMOZIONE DI UN VERSAMENTO		IMBALLAGGIO E ETICHETTATURA	
Ventilazione. Raccogliere il liquido sparso in contenitori sigillabili. Assorbire il liquido restante con sabbia o adsorbente inerte e spostare in un posto sicuro. NON eliminare in fognatura.		Classificazione UN UN classe di rischio: 3 UN gruppo di imballaggio: II	
RISPOSTA DI EMERGENZA		IMMAGAZZINAMENTO	
Transport Emergency Card: TEC (R)-30S1208 or 30GF1-I-II Codice NFPA: H 1; F 3; R 0; .		A prova di fuoco. Separato da ossidanti forti.	
IPCS International Programme on Chemical Safety    		Preparata nel contesto della cooperazione tra l'International Programme] on Chemical Safety & la Commissione della Comunità Europea (c) IPCS, CEC 1999 GUARDA LE INFORMAZIONI IMPORTANTI NEL RETRO	

2-METILPENTANO		ICSC: 1262
DATI IMPORTANTI		
<p>STATO FISICO: ASPETTO: LIQUIDO INCOLORE , CON ODORE CARATTERISTICO.</p> <p>PERICOLI FISICI: Il vapore è più pesante dell'aria e può spostarsi lungo il suolo; è possibile una accensione a distanza. Per movimento o agitazione, etc., possono prodursi cariche elettrostatiche.</p> <p>PERICOLI CHIMICI: Reagisce violentemente con ossidanti causando pericolo di incendio ed esplosione. Attacca la plastica.</p> <p>LIMITI DI ESPOSIZIONE OCCUPAZIONALE: TLV: (come isomeri dell'esano) 500 ppm come TWA; 1000 ppm come STEL; (ACGIH 2004). MAK: 200 ppm, 720 mg/m³; Categoria limitazione di picco: II(2); Gruppo di rischio per la gravidanza: IIc; (DFG 2004).</p>	<p>VIE DI ESPOSIZIONE: La sostanza può essere assorbita nell'organismo per inalazione dei suoi vapori e attraverso la cute.</p> <p>RISCHI PER INALAZIONE: Una contaminazione dannosa dell'aria può essere raggiunta assai rapidamente per evaporazione della sostanza a 20°C .</p>	
PROPRIETÀ FISICHE		
<p>Punto di ebollizione: 60°C Punto di fusione: -153°C Densità relativa (acqua=1): 0.65 Solubilità in acqua: insolubile Tensione di vapore, kPa a 20°C: 23 Densità di vapore relativa (aria=1): 3.0</p>	<p>Punto di infiammabilità: -32°C c.c. Temperatura di auto-accensione 264°C Limiti di esplosione, vol % in aria: 1.0-7</p>	
DATI AMBIENTALI		
NOTE		
La scheda è stata parzialmente aggiornata nell'Aprile del 2005. Vedi la sezione: Limiti di Esposizione Occupazionale, Risposta di Emergenza.		
INFORMAZIONI SUPPLEMENTARI		
NOTIZIA LEGALE	Né la CEC né IPCS e neanche le persone che agiscono per conto della CEC o dell'IPCS sono responsabili per l'uso che verrà fatto di queste informazioni	
(c) IPCS, CEC 1999		

ISOBUTANO		ICSC: 0901 Novembre 1998
2-Metilpropano 1,1-Dimetiletano Trimetilmetano		
CAS #	75-28-5	$C_4H_{10} / (CH_3)_2CHCH_3$ Massa molecolare: 58.1
RTECS #	TZ4300000	
UN #	1969	
EC #	601-004-00-0	
EINECS #	200-857-2	

TIPO DI RISCHIO / ESPOSIZIONE	RISCHI ACUTI / SINTOMI	PREVENZIONE	PRIMO SOCCORSO / MEZZI ESTINGUENTI
INCENDIO	Estremamente infiammabile.	NO fiamme libere, NO scintille e NON fumare.	Interrompere l'alimentazione; se non è possibile e non ci sono rischi per l'ambiente circostante lasciare che l'incendio si estingua da solo; negli altri casi spegnere con spruzzo d'acqua.
ESPLOSIONE	Miscela gas/aria sono esplosive.	Sistemi chiusi, ventilazione, materiale elettrico e impianto di illuminazione antideflagranti. Prevenire la formazione di cariche elettrostatiche (per es. con messa a terra) se allo stato liquido.	In caso di incendio: mantenere fredde le bombole ecc., bagnandole con acqua. Combattere l'incendio da una posizione riparata.

ESPOSIZIONE			
Inalazione	Respiro affannoso. Soffocamento.	Ventilazione, aspirazione localizzata, o protezione delle vie respiratorie.	Aria fresca, riposo. Sottoporre all'attenzione del medico.
Cute	AL CONTATTO CON IL LIQUIDO: CONGELAMENTO.	Guanti isolanti dal freddo. Vestiario protettivo.	IN CASO DI CONGELAMENTO: sciacquare con abbondante acqua, NON rimuovere i vestiti. Sottoporre all'attenzione del medico.
Occhi		Occhiali protettivi a mascherina, visiera.	Prima sciacquare con abbondante acqua per alcuni minuti (rimuovere le lenti a contatto se è possibile farlo agevolmente), quindi contattare un medico.
Ingestione		Non mangiare, bere o fumare durante il lavoro.	

RIMOZIONE DI UN VERSAMENTO	IMBALLAGGIO E ETICHETTATURA
Evacuare l'area pericolosa! Consultare un esperto! Ventilazione. Rimuovere tutte le sorgenti di accensione. MAI gettare acqua direttamente sul liquido. (Protezione personale: respiratore con filtro per vapori organici di composti a basso punto di ebollizione.)	Nota: C Classificazione EU Simboli: F+ R: 12 S: (2) 9-16 Classificazione UN UN classe di rischio: 2.1

RISPOSTA DI EMERGENZA	IMMAGAZZINAMENTO
Transport Emergency Card: TEC (R) - 501. Codice NFPA: H1; F4; R0;	A prova di fuoco. Freddo.

IPCS International Programme on Chemical Safety    	Preparata nel contesto della cooperazione tra l'International Programme on Chemical Safety & la Commissione della Comunità Europea (c) IPCS, CEC 1999 GUARDA LE INFORMAZIONI IMPORTANTI NEL RETRO
--	---

ISOBUTANO		ICSC: 0901
DATI IMPORTANTI		
<p>STATO FISICO: ASPETTO: GAS COMPRESSO LIQUEFATTO INCOLORE , CON ODORE CARATTERISTICO.</p> <p>PERICOLI FISICI: Il gas è più pesante dell'aria e può spostarsi lungo il suolo; è possibile una accensione a distanza. Per movimento o agitazione, etc., possono prodursi cariche elettrostatiche.</p> <p>PERICOLI CHIMICI: Reagisce con ossidanti forti, acetilene, alogeni e ossidi di azoto causando pericolo di incendio ed esplosione.</p> <p>LIMITI DI ESPOSIZIONE OCCUPAZIONALE: TLV non definito. MAK: 1000 ppm; 2350 mg/m³; IV (1998)</p>	<p>VIE DI ESPOSIZIONE: La sostanza può essere assorbita nell'organismo per inalazione.</p> <p>RISCHI PER INALAZIONE: Causa una perdita, può essere raggiunta molto rapidamente una concentrazione dannosa di questo gas in aria.</p> <p>EFFETTI DELL'ESPOSIZIONE A BREVE TERMINE: Una rapida evaporazione del liquido può causare congelamento. La sostanza può determinare effetti sul sistema cardiovascolare , causando alterazione delle funzioni e respiro affannoso. L'esposizione a elevata concentrazione può portare alla morte.</p>	
PROPRIETÀ FISICHE		
<p>Punto di ebollizione: -12°C Punto di fusione:-160°C Densità relativa (acqua=1): 0.6 (quando liquido) Solubilità in acqua, g/100ml a 20°C: insolubile Tensione di vapore, kPa a 20°C: 304 Densità di vapore relativa (aria=1): 2</p>	<p>Punto di infiammabilità: gas infiammabili Temperatura di auto-accensione: 460°C Limiti di esplosività, vol % in aria: 1.8-8.4 Coefficiente di ripartizione ottanolo/acqua come log Pow: 2.8 Temperatura critica (NON sulla scheda): 134.9°C @El ectrical conductivity (NOT on card): <10000pS/m @25</p>	
DATI AMBIENTALI		
NOTE		
Capovolgere la bombola che perde nella parte superiore per prevenire fuoriuscita di gas liquefatto. Le misure riportate nella sezione PREVENZIONE si applicano a produzione, riempimento delle bombole e stoccaggio del gas.		
INFORMAZIONI SUPPLEMENTARI		
NOTIZIA LEGALE	Né la CEC né IPCS e neanche le persone che agiscono per conto della CEC o dell'IPCS sono responsabili per l'uso che verrà fatto di queste informazioni	
(c) IPCS, CEC 1999		

n-ESANO		ICSC: 0279 Aprile 2000	
Idruro d'esile			
CAS #	110-54-3	C_6H_{14}	
RTECS #	MN9275000	Massa molecolare: 86.2	
UN #	1208		
EC #	601-037-00-0		
EINECS #	203-777-6		

TIPO DI RISCHIO / ESPOSIZIONE	RISCHI ACUTI / SINTOMI	PREVENZIONE	PRIMO SOCCORSO / MEZZI ESTINGUENTI
INCENDIO	Altamente infiammabile.	NO fiamme libere, NO scintille e NON fumare.	Polvere, AFFF, schiuma, anidride carbonica.
ESPLOSIONE	Miscela vapore/aria sono esplosive.	Sistemi chiusi, ventilazione, materiale elettrico e impianto di illuminazione antideflagranti. NON utilizzare aria compressa per riempire, versare o trattare. Utilizzare utensileria manuale anti innesco.	In caso di incendio: mantenere freddi i fusti, ecc., bagnandoli con acqua.

ESPOSIZIONE			
Inalazione	Vertigine. Sonnolenza. Torpore. Mal di testa. Nausea. Debolezza. Stato d'incoscienza.	Ventilazione, aspirazione localizzata, o protezione delle vie respiratorie.	Aria fresca, riposo. Sottoporre all'attenzione del medico.
Cute	Cute secca. Arrossamento. Dolore.	Guanti protettivi.	Rimuovere i vestiti contaminati. Sciacquare e poi lavare la cute con acqua e sapone. Sottoporre all'attenzione del medico.
Occhi	Arrossamento. Dolore.	Occhiali protettivi a mascherina, visiera, o protezione oculare abbinata a protezione delle vie respiratorie.	Prima sciacquare con abbondante acqua per alcuni minuti (rimuovere le lenti a contatto se è possibile farlo agevolmente), quindi contattare un medico.
Ingestione	Dolore addominale. (Inoltre vedi Inalazione).	Non mangiare, bere o fumare durante il lavoro.	Risciacquare la bocca. NON indurre il vomito. Riposo. Sottoporre all'attenzione del medico.

RIMOZIONE DI UN VERSAMENTO	IMBALLAGGIO E ETICHETTATURA
Consultare un esperto! Rimuovere tutte le sorgenti di accensione. Raccogliere il liquido fuoriuscito e sversato in contenitori sigillabili il più lontano possibile. Assorbire il liquido restante con sabbia o adsorbente inerte e spostare in un posto sicuro. NON eliminare in fognatura. NON permettere che questo agente chimico contamini l'ambiente. Protezione personale: respiratore con filtro per gas e vapori organici.	Classificazione EU Simboli: E, Xn, N R: 11-38-48/20-62-65-67-51/53 S: (2)-9-16-29-33-36/37-61-62 Classificazione UN UN classe di rischio: 3 UN gruppo di imballaggio: II
RISPOSTA DI EMERGENZA	IMMAGAZZINAMENTO
Transport Emergency Card: TEC (R) - 30S1208. Codice NFPA: H1; F3; R0;	A prova di fuoco. Separato da ossidanti forti. Ben chiuso.

IPCS International Programme on Chemical Safety    	Preparata nel contesto della cooperazione tra l'International Programme on Chemical Safety & la Commissione della Comunità Europea (c) IPCS, CEC 1999 GUARDA LE INFORMAZIONI IMPORTANTI NEL RETRO
--	---

n-ESANO		ICSC: 0279
DATI IMPORTANTI		
<p>STATO FISICO: ASPETTO: LIQUIDO INCOLORE VOLATILE , CON ODORE CARATTERISTICO.</p> <p>PERICOLI FISICI: Il vapore è più pesante dell'aria e può spostarsi lungo il suolo; è possibile una accensione a distanza.</p> <p>PERICOLI CHIMICI: Reagisce con forti ossidanti causando pericolo incendio e esplosione. Attacca alcune plastiche, gomma e rivestimenti.</p> <p>LIMITI DI ESPOSIZIONE OCCUPAZIONALE: TLV: 50 ppm, 176 mg/m³ come TWA; (cute); BEI pubblicato; (ACGIH 2004), MAK: 50 ppm, 180 mg/m³; Categoria limitazione di picco: II(8); Gruppo di rischio per la gravidanza: C; (DFG 2004).</p>	<p>VIE DI ESPOSIZIONE: La sostanza può essere assorbita nell'organismo per inalazione dei suoi vapori e per ingestione.</p> <p>RISCHI PER INALAZIONE: Una contaminazione dannosa dell'aria può essere raggiunta assai rapidamente per evaporazione della sostanza a 20°C .</p> <p>EFFETTI DELL'ESPOSIZIONE A BREVE TERMINE: La sostanza e' irritante per la cute Se il liquido viene ingerito, l'aspirazione nei polmoni può portare a polmonite chimica. L'esposizione ad elevate concentrazioni potrebbe provocare attenuazione della vigilanza.</p> <p>EFFETTI DELL'ESPOSIZIONE RIPETUTA O A LUNGO TERMINE: Contatti ripetuti o prolungati con la cute possono causare dermatiti. La sostanza può avere effetto sul sistema nervoso centralee specialmente sul sistema nervoso periferico , causando polineuropatia. Test su animali indicano la possibilità che questa sostanza possa causare tossicità per la riproduzione o lo sviluppo umano.</p>	
PROPRIETÀ FISICHE		
<p>Punto di ebollizione: 69°C Punto di fusione: -95°C Densità relativa (acqua=1): 0.7 Solubilità in acqua, g/100ml a 20°C: 0.0013 Tensione di vapore, kPa a 20°C: 17 Densità di vapore relativa (aria=1): 3.0</p>	<p>Densità relativa della miscela aria/vapore a 20°C (aria=1): 1.3 Punto di infiammabilità: -22°C c.c. Temperatura di auto-accensione: 225°C Limiti di esplosività, vol % in aria: 1.1-7.5 Coefficiente di ripartizione ottanolo/acqua come log Pow: 3.9</p>	
DATI AMBIENTALI		
La sostanza è tossica per gli organismi acquatici.		
NOTE		
In funzione del grado di esposizione, sono indicati esami clinici periodici. La scheda è stata parzialmente aggiornata in Ottobre 2005. Vedi le sezioni: Limiti di Esposizione Occupazionale, classificazione EU, Risposta di Emergenza.		
INFORMAZIONI SUPPLEMENTARI		
<p>NOTIZIA LEGALE Né la CEC né IPCS e neanche le persone che agiscono per conto della CEC o dell'IPCS sono responsabili per l'uso che verrà fatto di queste informazioni</p>		
(c) IPCS, CEC 1999		

n-EPTANO			ICSC: 0657 Novembre 1997
CAS #	142-82-5	C_7H_{16} / $CH_3(CH_2)_5CH_3$	  
RTECS #	MI7700000	Massa molecolare: 100.2	
UN #	1206		
EC #	601-008-00-2		
EINECS #	205-563-8		

TIPO DI RISCHIO / ESPOSIZIONE	RISCHI ACUTI / SINTOMI	PREVENZIONE	PRIMO SOCCORSO / MEZZI ESTINGUENTI
INCENDIO	Altamente infiammabile.	NO fiamme libere, NO scintille e NON fumare.	Polvere, schiuma, anidride carbonica. NO acqua.
ESPLOSIONE	Miscela vapore/aria sono esplosive.	Sistemi chiusi, ventilazione, materiale elettrico e impianto di illuminazione antideflagranti. Prevenire la formazione di cariche elettrostatiche (per es. con messa a terra). NON utilizzare aria compressa per riempire, versare o trattare.	In caso di incendio: mantenere freddi i fusti, ecc., bagnandoli con acqua.

ESPOSIZIONE			
Inalazione	Torpore. Mal di testa.	Ventilazione.	Aria fresca, riposo. Può essere necessaria la respirazione artificiale. Sottoporre all'attenzione del medico.
Cute	Cute secca.	Guanti protettivi.	Rimuovere i vestiti contaminati. Sciacquare e poi lavare la cute con acqua e sapone. Sottoporre all'attenzione del medico. Indossare guanti protettivi quando si presta il primo soccorso.
Occhi	Arrossamento. Dolore.	Occhiali protettivi a mascherina o protezione oculare abbinata a protezione delle vie respiratorie.	Prima sciacquare con abbondante acqua per alcuni minuti (rimuovere le lenti a contatto se è possibile farlo agevolmente), quindi contattare un medico.
Ingestione	Crampi addominali. Sensazione di bruciore. Nausea. Vomito.	Non mangiare, bere o fumare durante il lavoro.	Risciacquare la bocca. NON indurre il vomito. Riposo. Sottoporre all'attenzione del medico.

RIMOZIONE DI UN VERSAMENTO	IMBALLAGGIO E ETICHETTATURA
Raccogliere il liquido che fuoriesce in contenitori sigillabili. Assorbire il liquido restante con sabbia o adsorbente inerte e spostare in un posto sicuro. NON eliminare in fognatura. Protezione personale: respiratore con filtro per gas e vapori organici.	Nota: C Classificazione EU Simboli: E, Xn, N R: 11-38-50/53-65-67 S: (2)-9-16-29-33-60-61-62 Classificazione UN UN classe di rischio: 3 UN gruppo di imballaggio: II

RISPOSTA DI EMERGENZA	IMMAGAZZINAMENTO
Transport Emergency Card: TEC (R) - 30GF1-I+II. Codice NFPA: H1; F3; R0;	A prova di fuoco. Separato da ossidanti forti. Immagazzinare in un'area senza tombini o accesso alle fognie.

IPCS International Programme on Chemical Safety    	Preparata nel contesto della cooperazione tra l'International Programme on Chemical Safety & la Commissione della Comunità Europea (c) IPCS, CEC 1999 GUARDA LE INFORMAZIONI IMPORTANTI NEL RETRO
--	---

DATI IMPORTANTI

STATO FISICO: ASPETTO:

LIQUIDO INCOLORE VOLATILE , CON ODORE CARATTERISTICO.

PERICOLI FISICI:

Il vapore è più pesante dell'aria e può spostarsi lungo il suolo; è possibile una accensione a distanza. Per movimento, agitazione, etc, possono prodursi cariche elettrostatiche.

PERICOLI CHIMICI:

Reagisce violentemente con forti ossidanti. Attacca molte plastiche.

LIMITI DI ESPOSIZIONE OCCUPAZIONALE:

TLV: 400 ppm come TWA, 500 ppm come STEL; (ACGIH 2004).
MAK: 500 ppm, 2100 mg/m³; Categoria limitazione di picco: I(1);
Gruppo di rischio per la gravidanza: D; (DFG 2006).

VIE DI ESPOSIZIONE:

La sostanza può essere assorbita nell'organismo per inalazione dei suoi vapori e per ingestione.

RISCHI PER INALAZIONE:

Una contaminazione dannosa dell'aria sarà raggiunta abbastanza lentamente per evaporazione della sostanza a 20°C .

EFFETTI DELL'ESPOSIZIONE A BREVE TERMINE:

La sostanza e' irritante per gli occhi e la cute. Il vapore e' irritante per gli occhi, la cute e il tratto respiratorio. Se il liquido viene ingerito, l'aspirazione nei polmoni può portare a polmonite chimica. La sostanza può determinare effetti sul sistema nervoso centrale.

EFFETTI DELL'ESPOSIZIONE RIPETUTA O A LUNGO TERMINE:

Il liquido ha caratteristiche sgrassanti la cute. La sostanza può avere effetto sul fegato , causando ridotta funzionalità.

PROPRIETÀ FISICHE

Punto di ebollizione: 98°C
Punto di fusione: -91°C
Densità relativa (acqua=1): 0.68
Solubilità in acqua: insolubile
Tensione di vapore, kPa a 20°C: 4.6
Densità di vapore relativa (aria=1): 3.46

Punto di infiammabilità: -4°C
Temperatura di auto-accensione: 285°C
Limiti di esplosività, vol % in aria: 1.1-6.7
Coefficiente di ripartizione ottanolo/acqua come log Pow: 4.66

DATI AMBIENTALI

La sostanza è tossica per gli organismi acquatici. Può esserci bioaccumulo di questa sostanza chimica nei pesci. Si raccomanda vivamente che questa sostanza non sia immessa nell'ambiente.

NOTE

L'odore è un avvertimento insufficiente di superamento del limite d'esposizione. Skellysolve-C è un nome commerciale.

La scheda è stata parzialmente aggiornata in Ottobre 2005.

Vedi le sezioni: Limiti di Esposizione Occupazionale, classificazione EU, Risposta di Emergenza. La scheda è stata aggiornata parzialmente in Agosto 2007: vedi Mezzi estinguenti, Storage, Limiti di Esposizione Professionale, Dati Ambientali.

INFORMAZIONI SUPPLEMENTARI

NOTIZIA LEGALE

Né la CEC né IPCS e neanche le persone che agiscono per conto della CEC o dell'IPCS sono responsabili per l'uso che verrà fatto di queste informazioni

Allegato C

I seguenti file sono stati creati per eseguire Calmet.

C.1. grid.dat (definisce la griglia di calcolo)

```
-----  
                          GRID FILE  
-----  
!  
! IMAP = UTM                !  
! IUTMZN = 32              !  
! LSOHEM = N                !  
* LCCRLAT0 =                *  
* LCCRLON0 =                *  
* LCCRLAT1 =                *  
* LCCRLAT2 =                *  
* LCCFEAST =                *  
* LCCFNORTH =              *  
* TTMRLAT0 =                *  
* TTMRLON0 =                *  
* TTMFEAST =                *  
* TTMFNORTH =              *  
* PSRLAT0 =                 *  
* PSRLON0 =                 *  
* PSRLAT1 =                 *  
* EMRLAT0 =                 *  
* EMRLON0 =                 *  
* LZRLAT0 =                 *  
* LZRLON0 =                 *  
* LAZAFEAST =               *  
* LAZAFNORTH =              *  
! DATUM = WGS-84           !  
! XREFKM = 703.06008       !  
! YREFKM = 4969.20428     !  
! DGRIDKM = 0.1           !  
! NX = 30                  !  
! NY = 30                  !  
! NZ = 2                   !  
! XBTZ = -1                !  
! ZFACE = 0                 !  
! ZFACE = 20                !  
! ZFACE = 100               !
```

C.2. geo.dat (quota e uso del terreno)

```
GEO.DAT          2.0      Header structure with coordinate parameters
UTM
  32N
WGS-84  02-21-2003
          30          30          703.060          4969.204          0.100          0.100
```

```
KM  M
0      - LAND USE DATA - (0 = default categories)
10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10
10 10 10 10 10 10
10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10
10 10 10 10 10 10
10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10
10 10 10 10 10 10
10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10
10 10 10 10 10 10
```

queste sono 4 righe di esempio, per un totale di 30 righe

```
1.00000      -- Terrain heights - HTFAC - conversion to meters
  9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9
  9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9
  9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9
  9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9
```

queste sono 4 righe di esempio, per un totale di 30 righe

```
0      - default z0 field
0      - default albedo field
0      - default Bowen ratio field
0      - default soil heat flux parameters
0      - default anthropogenic heat flux field
0      - default leaf area index field
```

C.3. surf.dat (informazioni meteo al suolo)

Il file surf.dat è stato generato in automatico attraverso il seguente programma.

```
import sys
import math
def accumulaDati(arrayRiga):
    try:
        accumVal["T"]+=float(arrayRiga[2]) # Temperature, °C
        accumNumVal["T"]+=1;
    except ValueError:
        pass
    try:
        accumVal["h"]+=float(arrayRiga[3]) # Humidity, %
        accumNumVal["h"]+=1;
    except ValueError:
        pass
    try:
        accumVal["D"]+=float(arrayRiga[4]) # Dew point, °C
        accumNumVal["D"]+=1;
    except ValueError:
        pass
```

Accumulo i dati anche per pressione, mm di pioggia, intensità di pioggia, radiazione solare, energia solare, massima radiazione solare, mentre per quanto riguarda il vento, esso è un vettore, quindi accumulo anche le sue componenti.

```
    try:
        u=float(arrayRiga[5]) # wind speed, m/s
        d=float(direzioni[arrayRiga[6]]) # wind direction
        accumVal["w_x"]+=u*math.cos(d)
        accumVal["w_y"]+=u*math.sin(d)
        accumNumVal["w"]+=1;
    except ValueError:
        pass
mediePrec={} # dati medi di 1 ora prima
def eseguiMedie(data, ora, julianDay):
    #ora+=".00"
    if accumNumVal["T"]!=0:
        medie["T"]="{:.1f}".format(accumVal["T"]/accumNumVal["T"]+273.15)
    else:
        medie["T"]=-99999
    if accumNumVal["h"]!=0:
        medie["h"]="{:.1f}".format(int(round(accumVal["h"]/accumNumVal["h"])))
    else:
        medie["h"]=-99999
    if accumNumVal["D"]!=0:
        medie["D"]="{:.1f}".format(accumVal["D"]/accumNumVal["D"])
    else:
        medie["D"]=-99999
```

Cioè eseguo le medie nel caso in cui almeno 1 dato accumulato sia diverso da 0. Ripeto le istruzioni anche per pressione, mm di pioggia, intensità di pioggia, radiazione solare, energia solare, massima radiazione solare,

```
    if accumNumVal["w"]!=0:
        medie["w_x"]=accumVal["w_x"]/accumNumVal["w"] # media aritmetica della
componente x del vento
        medie["w_y"]=accumVal["w_y"]/accumNumVal["w"] # media aritmetica della
componente y del vento
        u=(medie["w_x"]**2+medie["w_y"]**2)**0.5 #elevamento a potenza: **
        d=math.degrees(math.atan2(medie["w_y"], medie["w_x"]))
        if d<0: # porto l'angolo dal range (-180;+180) al range [0;360)
            d=360+d
```

```

        medie["u"]="{:.1f}".format(u) #converto u in una stringa con formato f
e 1 decimale e la vado a mettere nella posizione u di medie
        medie["d"]="{:.1f}".format(d)

```

```

else:
    medie["u"]=-99999
    medie["d"]=-99999

```

Ora, dato che nel file non devono essere presenti valori nulli, sostituisco essi con la media calcolata al passo precedente.

```

if medie["T"]== -99999:
    medie["T"]=mediePrec["T"]
if medie["h"]== -99999:
    medie["h"]=mediePrec["h"]
if medie["D"]== -99999:
    medie["D"]=mediePrec["D"]
if medie["u"]== -99999:
    medie["u"]=mediePrec["u"]
if medie["d"]== -99999:
    medie["d"]=mediePrec["d"]

```

stessa cosa per pressione, mm e intensità di pioggia, radiazione ed energia solare, massima radiazione solare. Poi aggiorno i valori per preparare il lo step successivo di calcolo.

```

mediePrec["T"]=medie["T"]
mediePrec["h"]=medie["h"]
mediePrec["D"]=medie["D"]
mediePrec["u"]=medie["u"]
mediePrec["d"]=medie["d"]

```

stessa cosa per pressione, mm e intensità di pioggia, radiazione ed energia solare, massima radiazione solare. Poi stampo le medie così calcolate nel formato richiesto da Calmet

```

sys.stdout.write("{} {} {} \n {} {} {} {} {} {} {} {} \n".format("10",
julianDay, ora, medie["u"], medie["d"], "33", "5", medie["T"], medie["h"],
medie["P"], "0"))

```

```

# reimposto tutti gli accumulatori a zero
resetAccum(accumVal);
resetAccum(accumNumVal);

```

```

def resetAccum(accum):
    for k, v in accum.iteritems():
        accum[k]=0

```

INIZIO DEL PROGRAMMA

```

datiMeteo=open(sys.argv[1], "r")
direzioni={"N": math.pi* 0/8, "NNE": math.pi* 1/8, "NE": math.pi* 2/8, "ENE":
math.pi* 3/8,"E": math.pi* 4/8, "ESE": math.pi* 5/8, "SE": math.pi* 6/8, "SSE":
math.pi* 7/8,"S": math.pi* 8/8, "SSW": math.pi* 9/8, "SW": math.pi*10/8, "WSW":
math.pi*11/8,"W": math.pi*12/8, "WNW": math.pi*13/8, "NW": math.pi*14/8, "NNW":
math.pi*15/8,"---": "---" }

```

```

accumVal ={"T": 0, "h": 0, "D": 0, "w_x": 0, "w_y": 0, "P": 0, "mmrain": 0,
"irain": 0, "solarR": 0, "solarE": 0, "maxSolarR": 0}

```

```

accumNumVal={"T": 0, "h": 0, "D": 0, "w": 0, "P": 0, "mmrain": 0, "irain": 0,
"solarR": 0, "solarE": 0, "maxSolarR": 0}

```

```

medie={}

```

```

dataPrec=-1 # memorizzo la data dell'intervallo di righe precedente

```

```

oraPrec=-1 # memorizzo l'ora dell'intervallo di righe precedente

```

```

julianDay=1

```

```

numRiga=0

```

```

for riga in datiMeteo:

```

```

    numRiga+=1

```

```

    arrayRiga=riga.split("\t")

```

```

    if len(arrayRiga)!=15:

```

```

        raise Exception("Errore nei dati alla riga {}".format(numRiga))

```

```

if numRiga==1:
    continue
data=arrayRiga[0] # Date (nota: data è ancora una stringa)
oraMinuti=arrayRiga[1] # Time (anche questo è una stringa)
arrayOraMinuti=oraMinuti.split("."); # splitto (divido) l'orario in ore e
minuti
ora=arrayOraMinuti[0]; #ora è ancora una stringa
if data!=dataPrec or ora!=oraPrec:
    if numRiga!=2: # se non si tratta della prima riga di dati
        eseguiMedie(dataPrec, oraPrec, julianDay)
    if data!=dataPrec:
        julianDay+=1
    dataPrec=data # memorizzo la data dell'intervallo di righe corrente
    oraPrec=ora # memorizzo l'ora dell'intervallo di righe corrente
    accumulaDati(arrayRiga)
    eseguiMedie(dataPrec, oraPrec, julianDay)

```

Il file surf.dat generato ha la seguente forma:

```

SURF.DAT          2.0          Header structure with coordinate parameters
1
Produced by SMERGE Version: 5.3  Level: 030402
NONE
 2010 1  0  2010 365  23  -1  1
  11111
10 1 0
1.5 270.0 33 5 277.2 98 992.4 0
10 1 1
2.2 271.1 33 5 276.9 98 991.7 0
10 1 2
2.1 270.0 33 5 276.9 98 991.3 0
10 1 3
1.2 281.2 33 5 276.9 98 990.7 0
10 1 4
0.7 280.2 33 5 276.7 98 990.1 0
10 1 5
0.6 264.6 33 5 276.6 98 989.1 0
10 1 6
0.5 250.2 33 5 276.6 98 989.0 0
10 1 7
0.6 184.5 33 5 276.5 98 989.1 0
10 1 8
0.2 202.5 33 5 276.6 98 989.0 0
10 1 9
0.2 208.1 33 5 275.9 98 989.7 0
10 1 10
0.3 265.5 33 5 275.9 98 989.8 0

```

Queste sono 10 ore di esempio, il file prosegue per 8760 ore

C.4. up.dat (profilo verticale delle informazioni meteo)

Il file up.dat è stato generato in automatico attraverso il seguente programma.

```
import sys
import math
def accumulaDati(arrayRiga):
    try:
        accumVal["T"]+=float(arrayRiga[2]) # Temperature
        accumNumVal["T"]+=1;
    except ValueError:
    try:
        u=float(arrayRiga[5]) # Wind speed, m/s
        d=float(direzioni[arrayRiga[6]]) # Wind direction
        accumVal["w_x"]+=u*math.cos(d)
        accumVal["w_y"]+=u*math.sin(d)
        accumNumVal["w"]+=1;
    except ValueError:
        pass
    try:
        accumVal["P"]+=float(arrayRiga[9]) # Pressure, mbar
        accumNumVal["P"]+=1;
    except ValueError:
        pass

def eseguiMedie(data, ora, julianDay):
    if(ora<11):
        ora="00"
    else:
        ora="12"
    arrayData=data.split("/")
    giorno=arrayData[0]
    mese=arrayData[1]
    if accumNumVal["T"]!=0:
        medie["T"]=accumVal["T"]/accumNumVal["T"]+273.15
    else:
        medie["T"]=-99999
    if accumNumVal["w"]!=0:
        medie["w_x"]=accumVal["w_x"]/accumNumVal["w"]
        medie["w_y"]=accumVal["w_y"]/accumNumVal["w"]
        u=(medie["w_x"]**2+medie["w_y"]**2)**0.5
        d=math.degrees(math.atan2(medie["w_y"], medie["w_x"]))
        if d<0: # porto l'angolo dal range (-180;+180] al range [0;360)
            d=360+d
        medie["u"]=u
        medie["d"]=d
    else:
        medie["u"]=-99999
        medie["d"]=-99999
    sys.stdout.write(" {} {} {}{}{}{} {}" .format("9999", "22222", "10", mese, giorno, ora, "34", "34"))
    calcolaProfili()
    # reimposto tutti gli accumulatori a zero
    resetAccum(accumVal)
    resetAccum(accumNumVal)
    mediePrec={} # dati medi di 12 ore prima
def calcolaProfili():
    if medie["T"]== -99999:
        medie["T"]=mediePrec["T"]
    if medie["u"]== -99999:
```

```

        medie["u"]=mediePrec["u"]
    if medie["d"]== -9999:
        medie["d"]=mediePrec["d"]
    mediePrec["T"]=medie["T"]
    mediePrec["u"]=medie["u"]
    mediePrec["d"]=medie["d"]
    quota=100
    while quota<=3400:
        P=10**(-0.06*quota/1000)*1013.25
        T=medie["T"]-0.65*quota/100
        u=0
        if quota<=300:
            u=medie["u"]*(quota/10)**0.25
        else:
            u=medie["u"]*(300/10)**0.25
        sys.stdout.write("      {:6.1f}/{:4.0f}/{:5.1f}/{:3}/{:3}".format(P,
quota, T, int(medie["d"]), int(u)))
        if quota==3400:
            sys.stdout.write("\n")
        else:
            if (quota/100)%4==0:
                sys.stdout.write("\n")
            quota+=100
def resetAccum(accum):
    for k, v in accum.iteritems():
        accum[k]=0
# INIZIO DEL PROGRAMMA
datiMeteo=open(sys.argv[1], "r")
direzioni={"N": math.pi* 0/8, "NNE": math.pi* 1/8, "NE": math.pi* 2/8, "ENE":
math.pi* 3/8,"E": math.pi* 4/8, "ESE": math.pi* 5/8, "SE": math.pi* 6/8, "SSE":
math.pi* 7/8,"S": math.pi* 8/8, "SSW": math.pi* 9/8, "SW": math.pi*10/8, "WSW":
math.pi*11/8,"W": math.pi*12/8, "WNW": math.pi*13/8, "NW": math.pi*14/8, "NNW":
math.pi*15/8,"---": "---"}
accumVal ={"T": 0, "h": 0, "D": 0, "w_x": 0, "w_y": 0, "P": 0, "mmrain": 0,
"irain": 0, "solarR": 0, "solarE": 0, "maxSolarR": 0}
accumNumVal={"T": 0, "h": 0, "D": 0, "w": 0, "P": 0, "mmrain": 0,
"irain": 0, "solarR": 0, "solarE": 0, "maxSolarR": 0}
medie={}
dataPrec=-1
oraPrec=-1
julianDay=1
numRiga=0
for riga in datiMeteo:
    numRiga+=1
    arrayRiga=riga.split("\t")
    if len(arrayRiga)!=15:
        raise Exception("Errore nei dati alla riga {}".format(numRiga))
    if numRiga==1:
        continue
    data=arrayRiga[0]
    oraMinuti=arrayRiga[1]
    arrayOraMinuti=oraMinuti.split(".");
    ora=int(arrayOraMinuti[0]);
    if data!=dataPrec or (ora>11 and oraPrec<=11):
        if numRiga!=2:
            eseguiMedie(dataPrec, oraPrec, julianDay)
            if data!=dataPrec:
                julianDay+=1
        dataPrec=data
        oraPrec=ora
        accumulaDati(arrayRiga)
    eseguiMedie(dataPrec, oraPrec, julianDay)

```

Il file up.dat generato ha la seguente forma:

```

UP.DAT          2.0          Header structure with coordinate parameters
1
Produced by READ62 Version: 5.5 Level: 030402
NONE
10  1  0  11  1  12  642  1  1
   F  F  F  F
9999  22222  10010100  34  34
999.3/ 100./276.1/268/ 1  985.6/ 200./275.4/268/ 1  972.1/ 300./274.8/268/ 1  958.8/ 400./274.1/268/ 1
945.6/ 500./273.5/268/ 1  932.6/ 600./272.8/268/ 1  919.8/ 700./272.2/268/ 1  907.2/ 800./271.5/268/ 1
894.8/ 900./270.9/268/ 1  882.5/1000./270.2/268/ 1  870.4/1100./269.6/268/ 1  858.5/1200./268.9/268/ 1
846.7/1300./268.3/268/ 1  835.1/1400./267.6/268/ 1  823.6/1500./267.0/268/ 1  812.3/1600./266.3/268/ 1
801.2/1700./265.7/268/ 1  790.2/1800./265.0/268/ 1  779.3/1900./264.4/268/ 1  768.6/2000./263.7/268/ 1
758.1/2100./263.1/268/ 1  747.7/2200./262.4/268/ 1  737.4/2300./261.8/268/ 1  727.3/2400./261.1/268/ 1
717.3/2500./260.5/268/ 1  707.5/2600./259.8/268/ 1  697.8/2700./259.2/268/ 1  688.2/2800./258.5/268/ 1
678.8/2900./257.9/268/ 1  669.4/3000./257.2/268/ 1  660.3/3100./256.6/268/ 1  651.2/3200./255.9/268/ 1
642.3/3300./255.3/268/ 1  633.5/3400./254.6/268/ 1
9999  22222  10010112  34  34
999.3/ 100./276.1/284/ 2  985.6/ 200./275.4/284/ 2  972.1/ 300./274.8/284/ 3  958.8/ 400./274.1/284/ 3
945.6/ 500./273.5/284/ 3  932.6/ 600./272.8/284/ 3  919.8/ 700./272.2/284/ 3  907.2/ 800./271.5/284/ 3
894.8/ 900./270.9/284/ 3  882.5/1000./270.2/284/ 3  870.4/1100./269.6/284/ 3  858.5/1200./268.9/284/ 3
846.7/1300./268.3/284/ 3  835.1/1400./267.6/284/ 3  823.6/1500./267.0/284/ 3  812.3/1600./266.3/284/ 3
801.2/1700./265.7/284/ 3  790.2/1800./265.0/284/ 3  779.3/1900./264.4/284/ 3  768.6/2000./263.7/284/ 3
758.1/2100./263.1/284/ 3  747.7/2200./262.4/284/ 3  737.4/2300./261.8/284/ 3  727.3/2400./261.1/284/ 3
717.3/2500./260.5/284/ 3  707.5/2600./259.8/284/ 3  697.8/2700./259.2/284/ 3  688.2/2800./258.5/284/ 3
678.8/2900./257.9/284/ 3  669.4/3000./257.2/284/ 3  660.3/3100./256.6/284/ 3  651.2/3200./255.9/284/ 3
642.3/3300./255.3/284/ 3  633.5/3400./254.6/284/ 3

```

Questi sono i dati dei sondaggi di mezzogiorno e di mezzanotte del primo giorno. Il file prosegue per 365 giorni.

Allegato D

Il file di input per BPIP è il seguente:

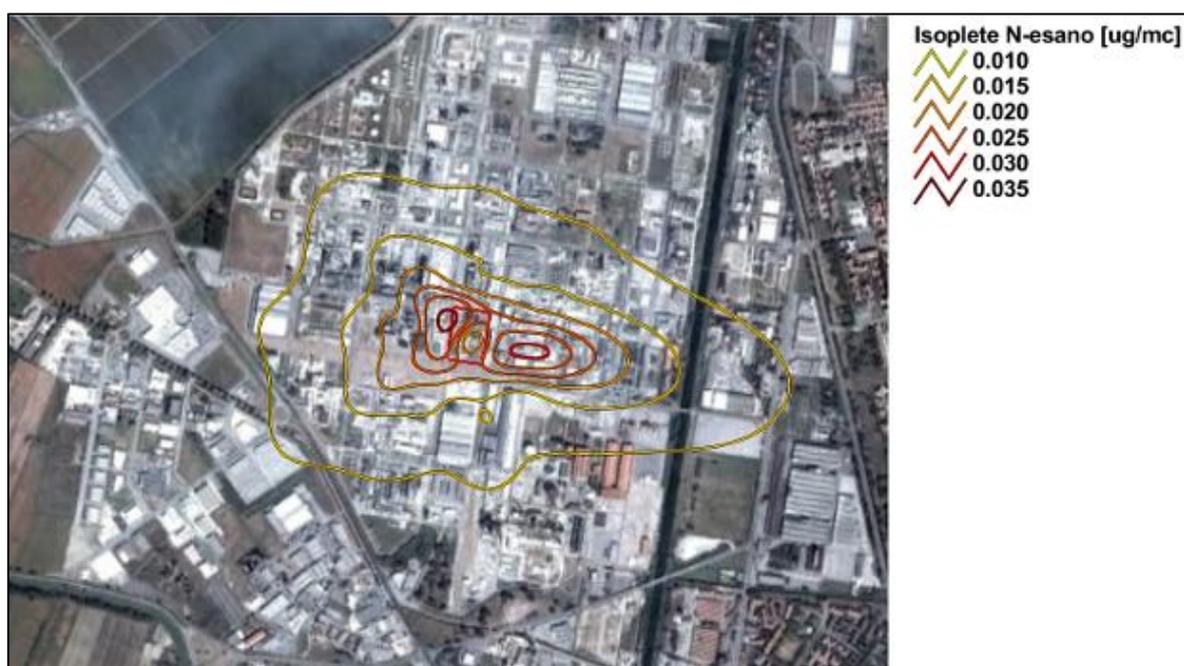
```
'Camino 3'  
'ST'  
'metres' 1  
'UTMY' 0  
6  
  'Edif.2' 1 0  
    4 17  
      704569.46 4970767.35  
      704580.03 4970766.05  
      704576.95 4970741.04  
      704566.38 4970742.34  
  'Edif.3' 1 0  
    4 5  
      704597.71 4970787.65  
      704610.51 4970786.08  
      704598.13 4970685.54  
      704585.33 4970687.11  
  'Edif.6' 1 0  
    4 9.6  
      704586.21 4970676.32  
      704596.83 4970675.02  
      704590.40 4970622.76  
      704579.78 4970624.07  
  'Edif.5' 1 0  
    4 6.5  
      704557.10 4970672.30  
      704576.26 4970669.94  
      704574.64 4970656.79  
      704555.48 4970659.15  
  'Edif.4' 1 0  
    4 19.12  
      704522.55 4970718.97  
      704544.33 4970716.29  
      704543.33 4970708.15  
      704521.55 4970710.84  
  'Edif.1' 1 0  
    4 30.1  
      704546.19 4970777.98  
      704555.32 4970776.85  
      704551.31 4970744.30  
      704542.18 4970745.42  
1  
'camino_3' 0 25 704560.08 4970704.28
```

Allegato E

Mappa di isoconcentrazione per l'acido cloridrico:

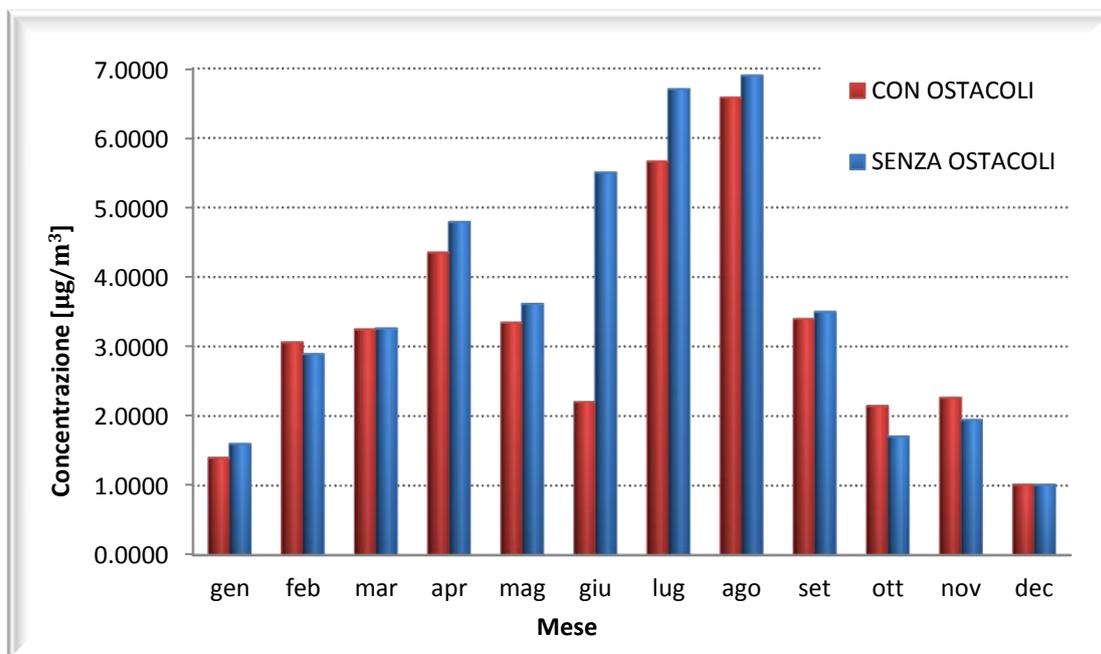


e per l'n-esano:

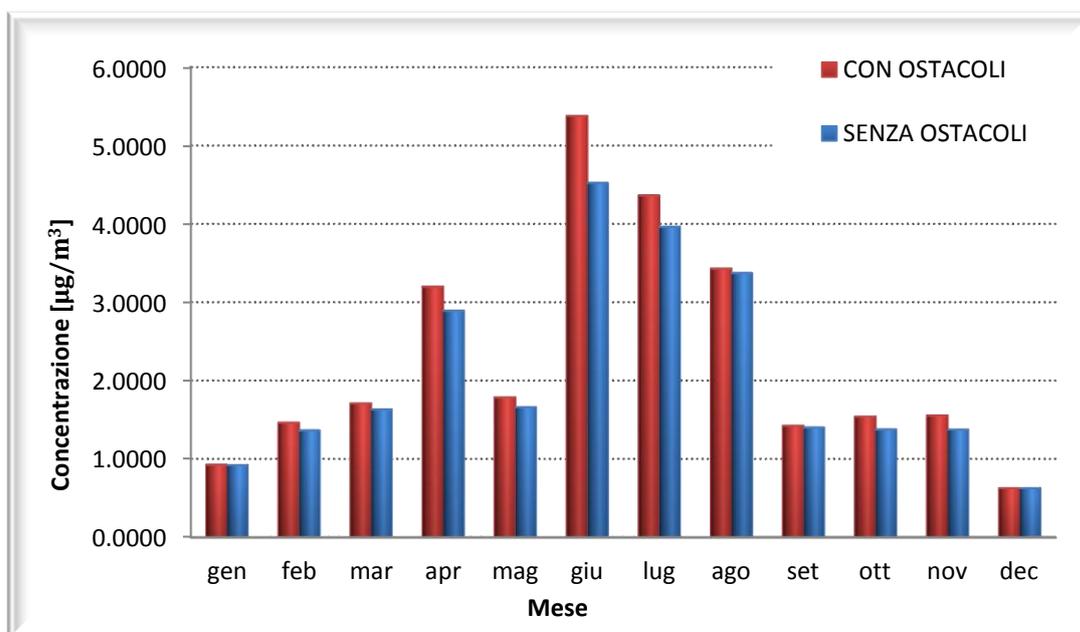


Allegato F

F.1. Cloroetano

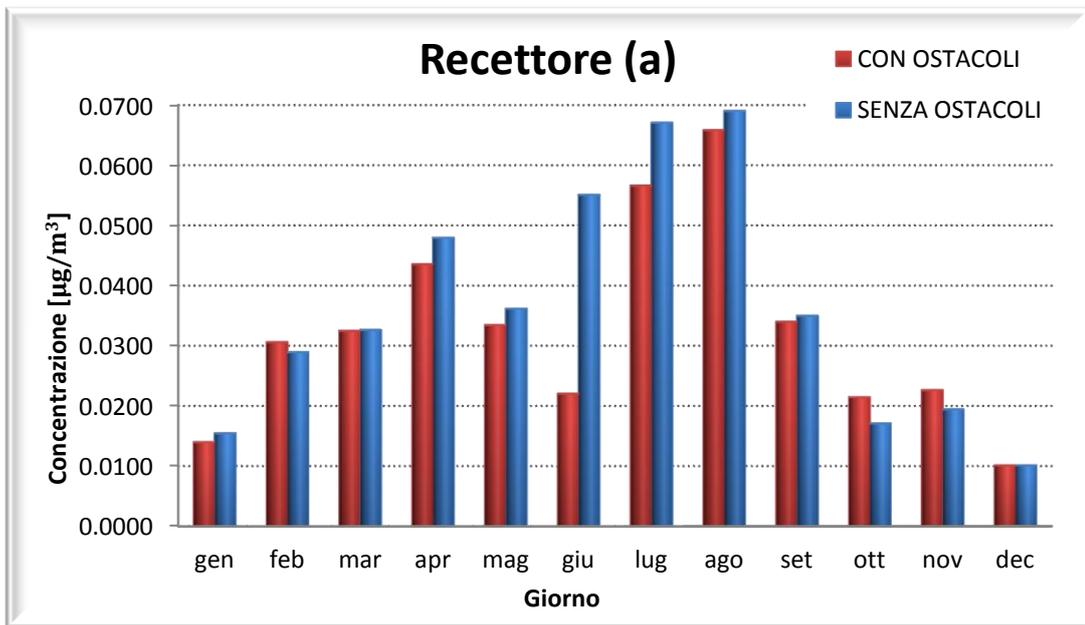


differenza di concentrazioni tra caso con e senza ostacoli in corrispondenza del recettore (a). Il grafico è relativo al cloroetano.

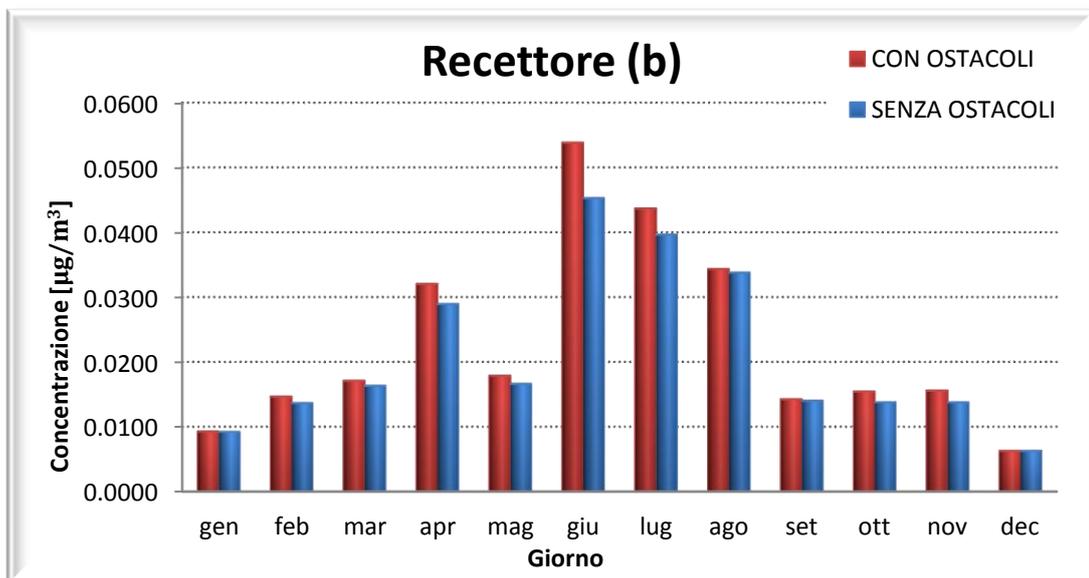


differenza di concentrazioni tra caso con e senza ostacoli in corrispondenza del recettore (b). Il grafico è relativo al cloroetano.

F.2. N-esano



differenza di concentrazioni tra caso con e senza ostacoli in corrispondenza del recettore (a). Il grafico è relativo al n-esano.



differenza di concentrazioni tra caso con e senza ostacoli in corrispondenza del recettore (b). Il grafico è relativo al n-esano.

Bibliografia

[01] ARPA Friuli Venezia Giulia, sezione aria - inquinamento atmosferico:
<http://www.arpa.fvg.it>

[02] D.Lgs. 152/2006 Norme in materia ambientale

[03] D.Lgs. 155/2010 Attuazione della direttiva 2008/50/CE relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa.

[04] I modelli per la valutazione e gestione della qualità dell'aria: normativa, strumenti, applicazioni - ARPA Emilia Romagna, Piemonte e Lombardia - 2004

[05] Linee guida per la selezione e l'applicazione dei modelli di dispersione atmosferica per la valutazione della qualità dell'aria -2001- ANPA Agenzia Nazionale Protezione dell'Ambiente

[06] US-EPA <http://www.epa.gov/ttn/scram/aqmindex.htm> - modelli per la qualità dell'aria.

[07] La micrometeorologia e la dispersione degli inquinanti in aria - Roberto Sozzi - APAT

[08] Calmet UserGuide - S. Shire, R.Robe, E. Fernau, J.Yamartino - 2000

[09] Calpuff UserGuide - S. Shire, R.Robe, E. Fernau, J.Yamartino - 2000

[10] Assessorato Territorio e Ambiente Regione Sicilia - Applicazione del modello Calpuff per la valutazione della qualità dell'aria - 2008

[11] Arpa Emilia Romagna SIM - descrizione del preprocessore Calmet

www.arpa.emr.it/smr/archivio/downloads/.../descrizione_calmet.pdf

[12] Lyondellbasell - Ferrara - <http://www.lyondellbasell.com>

[13] The plastic Portal - <http://www.plasticseurope.it/cose-la-plastica/tipi-di-plastica/poliiolefine.aspx>

[14] Università degli studi di Udine - centro studi e ricerche SPRINT - <http://safe.uniud.it/look.asp?ID=708>

- [15] US-EPA - Database IRIS - http://www.epa.gov/iris/help_gloss.htm
- [16] Database ecotossicologico sulle sostanze chimiche - Ministero dell'ambiente - <http://www.dsa.minambiente.it/sitodesc>
- [17] Europa - Sintesi della legislazione dell'UE - http://europa.eu/legislation_summaries/environment/air_pollution/128029b_it.htm#key
- [18] Marino Gatto e Renato Casagrandi - Dispense del corso di Ecologia (2003) - <http://olmo.elet.polimi.it/ecologia/dispensa/node10.html>
- [19] Il comparto Atmosfera- G.Perin - Ecotossicologia - Università Ca' Foscari di Venezia
- [20] IWAIR Technical Background Document - Section 2.0
- [21] I tool della ecotossicologia - G. Perin - Ecotossicologia, cap.2 A - 2004
- [22] US-EPA - Human Health Risk Assessment Protocol - Chapter 3: Air Dispersion and Deposition Modeling - 2005

Fine