

ECO & GEO TECHNICAL SERVICE SRL

Servizi e Consulenza Tecnico-Ambientale
Sistemi di Gestione Aziendali UNI-EN-ISO
Sicurezza sul Lavoro e Prevenzione Incendi
Formazione Professionale

Piazza Caduti Civili di Guerra n°1 — 84123 — Salerno P.IVA: 04530200650

PROVINCIA DI SALERNO

COMUNE DI BUCCINO

INTERVENTO PROGETTUALE PROPOSTO

IMPIANTO DI TRATTAMENTO RIFIUTI

di cui al p.to 5.3, lettera b) dell'Allegato VIII alla Parte II del D.Lgs. n°152/06 e ss.mm.ii

VALUTAZIONE EMISSIONI IN ATMOSFERA

effettuata ai sensi degli artt. 269 del D.Lgs. 152/06 e ss.mm.ii.

E 04.1

MODELLO DISPERSIONI EMISSIONI

PROPONENTE

BUONECO SRL

Sede Legale: Via Nunziante n°30 – 84087 – Sarno (SA)
Impianto: Zona ASI Salerno Lotto 18 – 84021 – Buccino (SA)
P.IVA: 05164840653

IL TECNICO	IL PROPONENTE
Dott. Ing. Giuseppe Vitale	<i>per presa visione</i>

STATO ELABORATO	
Revisione N°	01
Data Emissione	25.01.2017

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 al costruendo impianto di trattamento biologico di tipo aerobico dei rifiuti a matrice organica che la **"BUONECO SRL"** intende realizzare al Lotto n°18 nell'Agglomerato Industriale ASI Salerno del Comune di Buccino (SA).

L'applicazione ad impianti di processo risulta insolita, in quanto tali modelli abitualmente vengono utilizzati per l'analisi della dispersione di inquinanti in atmosfera simulando l'emissione da impianti di combustione, ad esempio termovalorizzatori, impianti termici, etc. 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.

Nell'ambito della presente simulazione si è valutata in particolare l'influenza che ha la sorgente considerata sulla distribuzione delle concentrazioni degli inquinanti dalla stessa emessi al suolo. I risultati delle simulazioni sono stati poi visualizzati attraverso mappe di concentrazione, che mostrano l'andamento spaziale delle medie sull'intero periodo simulato e profili che mostrano l'andamento temporale delle concentrazioni sui singoli recettori presi in considerazione.

INQUINAMENTO DELL'ARIA

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 *(ad esempio impianti industriali, riscaldamento, traffico veicolare)* oppure di origine naturale *(ad esempio l'azione di erosione, esalazioni vulcaniche, etc)*.

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

- 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 in atmosfera attraverso reazioni chimico-fisiche.

La qualità dell'atmosfera, nella normativa italiana, viene tutelata sia dal fronte delle emissioni (D.Lgs. n°152/2006), 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. n°155/2010), cioè delle quantità di inquinanti in prossimità dei possibili ricettori, imponendo limiti di concentrazioni per la qualità dell'aria ambiente.

A: 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 n°155/2010) nel caso in cui questo sia necessario per il rispetto dei valori e degli obiettivi di qualità dell'aria.

B: QUALITÀ DELL'ARIA AMBIENTE: D.LGS. 155/2010

Per quanto riguarda l'aspetto delle immissioni in atmosfera, il D.Lgs. n°155/2010 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, viceversa, dal D.Lgs. n°81/2008.

Il D.Lgs. n°155/2010 è finalizzato a individuare obiettivi di qualità dell'aria che non danneggino la salute umana e l'ambiente e ad 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 D.Lgs. stesso.

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 D.Lgs. n°155/2010 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.

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 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.

A: APPLICAZIONI MODELLI E SCALA DI UTILIZZO

Per quanto riguarda la risoluzione spaziale, sono state individuate dalla legislazione vigente in materia n°03 scale di riferimento, 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.

A.1: SCALA LOCALE E URBANA

I modelli adottati su 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. Numerose sono le esperienze di applicazione disponibili e il numero di modelli

che è possibile utilizzare, tra questi il modello CALPUFF è quello che sarà analizzato in seguito.

I modelli su 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 spaziale (*si intende la superficie al suolo sulla quale si vanno a valutare le concentrazioni corrispondenti all'area di interesse per la simulazione*) ha il lato che varia da alcune centinaia di metri a qualche chilometro.

I modelli su 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.

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 e/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.

A.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. 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 2 km di

altezza, in dipendenza delle 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), etc.

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 (*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 circa 50 o più i cui 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*).

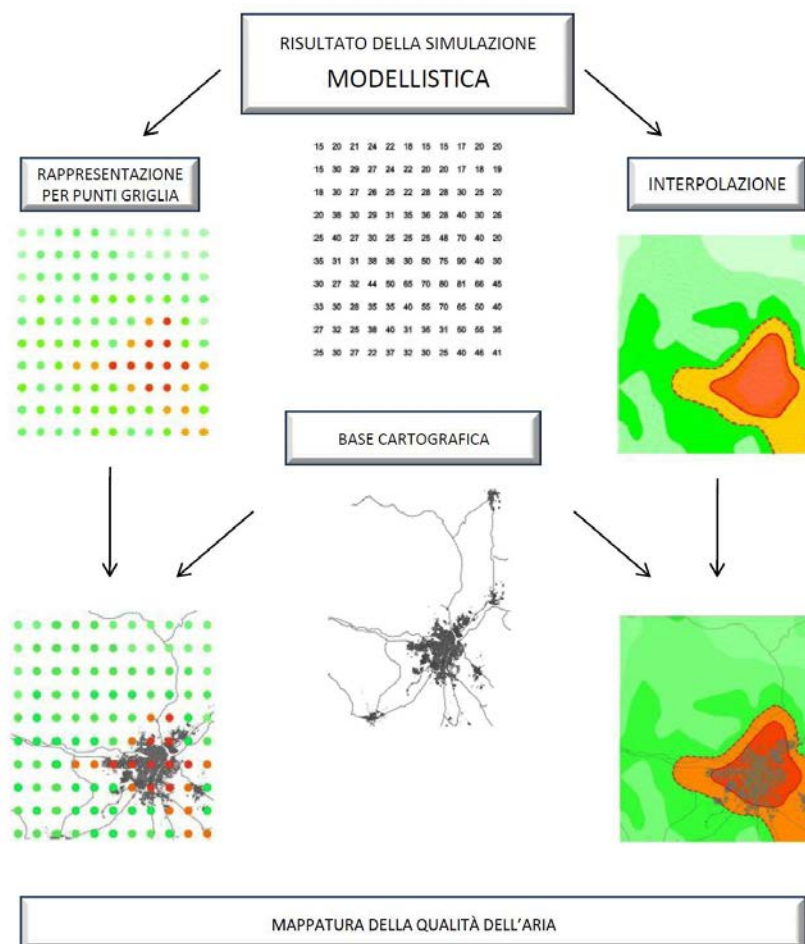
B: RAPPRESENTAZIONE GRAFICA DEI RISULTATI

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 delle informazioni ricavate. 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 quattro dimensioni ($C_{x,y,z,t}$) 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. 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.



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, 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 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 trovino su terreni non molto complessi;

- 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;
- CTDMPPLUS (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 simulazione 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.

Il CALPUFF è un modello raccomandato dall'EPA 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. 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*). 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, etc.).

3.4.1 CALMET

Il 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.

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. 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.

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 utilizza 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:

- 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-coste 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).

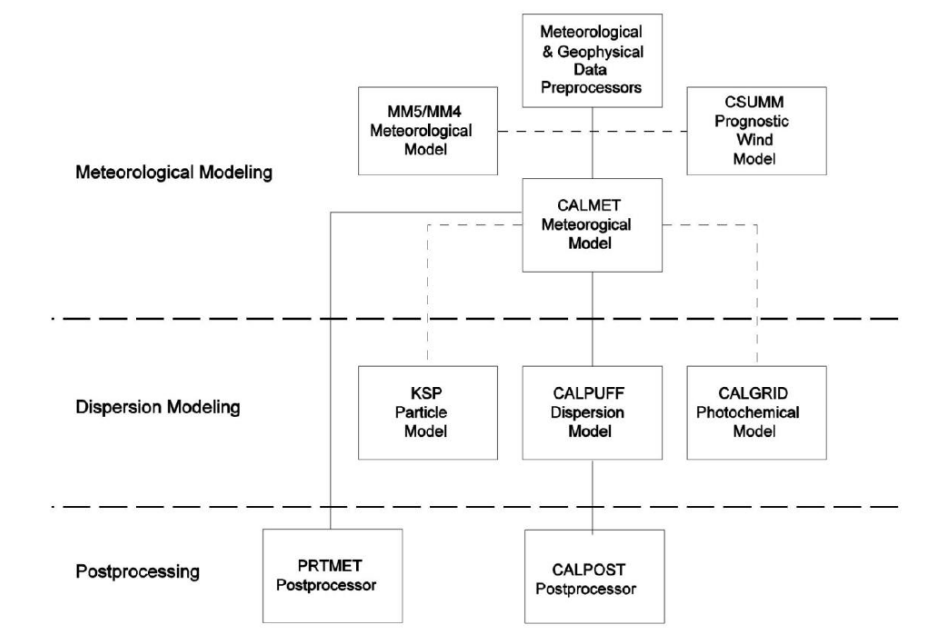
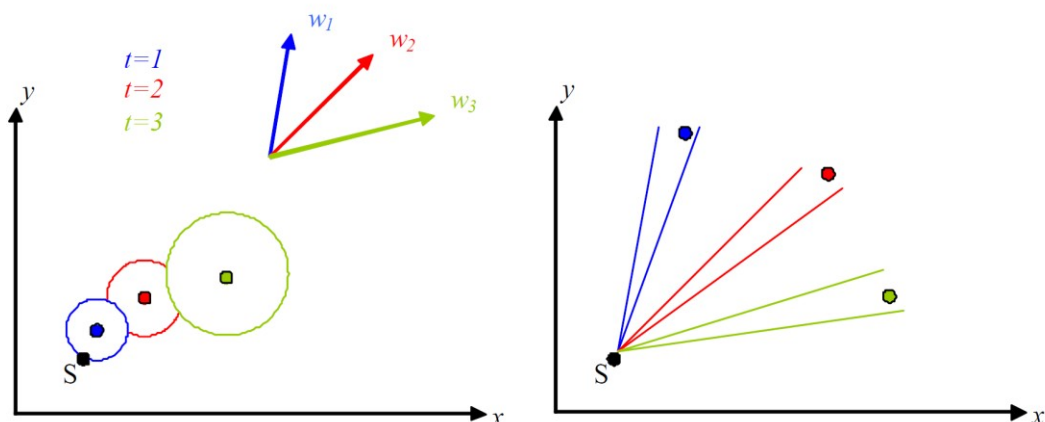


Figura 1: Schema degli elementi della catena modellistica CALMET/CALPUFF (Fonte Calpuff Users guide, 2000)

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.



DIFFERENZE DI DISPERSIONE FRA MODELLI A PUFF (SINISTRA) E GAUSSIANI TRADIZIONALI (DESTRA)

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 rispetto all'approccio tradizionale dove è l'intero plume a cambiare direzione insieme al vento.

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 :

$$C_k(x, y, z, t) = \frac{m_k}{(2\pi)^{1.5} \sigma_x \sigma_y \sigma_z} \exp\left(-\frac{(x-x')^2}{2\sigma_x^2}\right) \exp\left(-\frac{(y-y')^2}{2\sigma_y^2}\right) \exp\left(-\frac{(z-z')^2}{2\sigma_z^2}\right)$$

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 che saranno approfonditi al *paragrafo 4.3*.

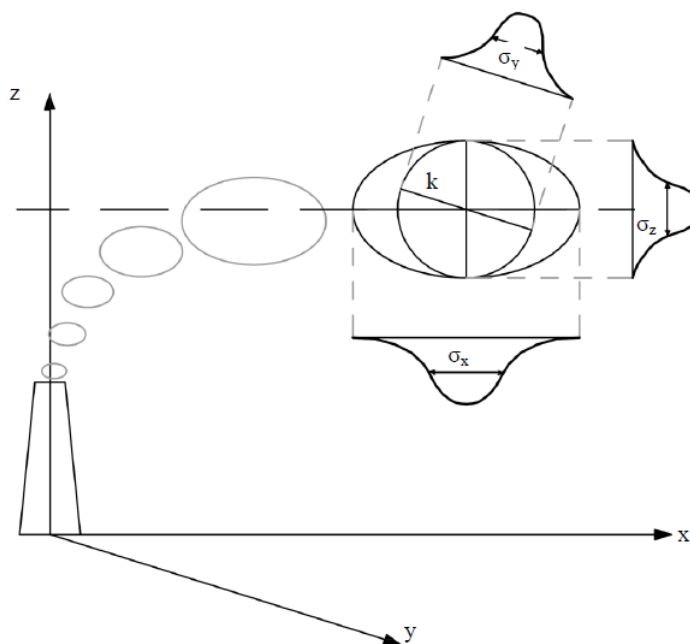


Figura 4: schema per un modello a puff con indicazione dei coefficienti di dispersione relativi al puff k

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.

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:

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

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:

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

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 :

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

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 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:

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

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

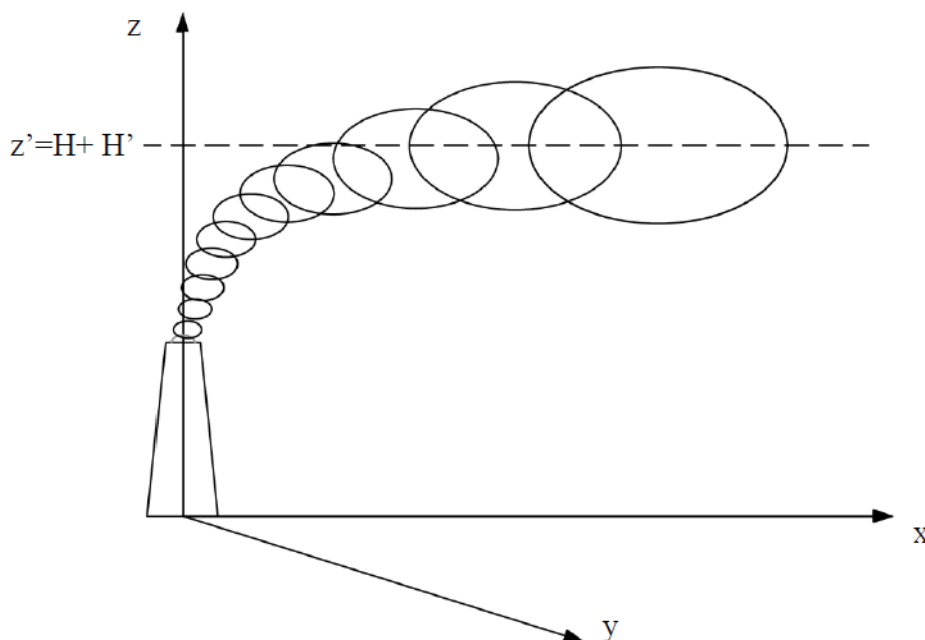


Figura 5 Rappresentazione di un plume attraverso una sequenza di puff.
Il plume si trova a quota z' che è somma dell'altezza della sorgente (H) e dell'innalzamento H' .

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, 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.

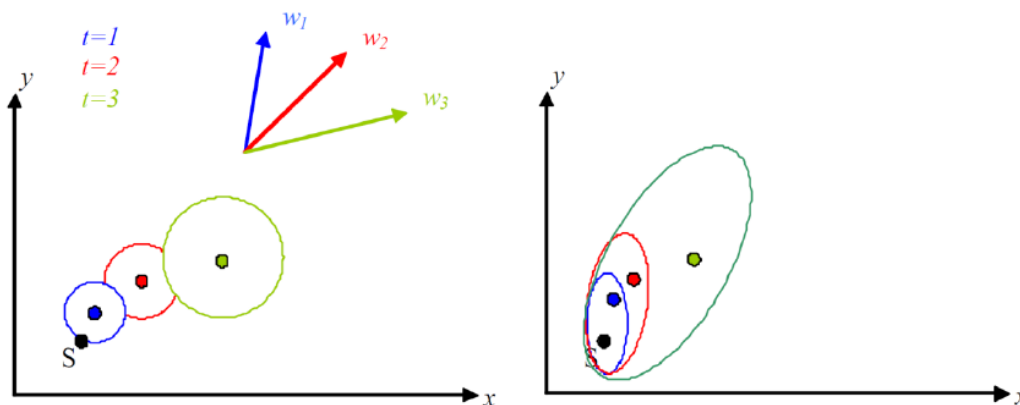


Figura 6: Differenza fra dispersione a puff (sinistra) e a slug (destra)

Per ogni step temporale (corrispondente ad 1h), 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 rapporto 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*).

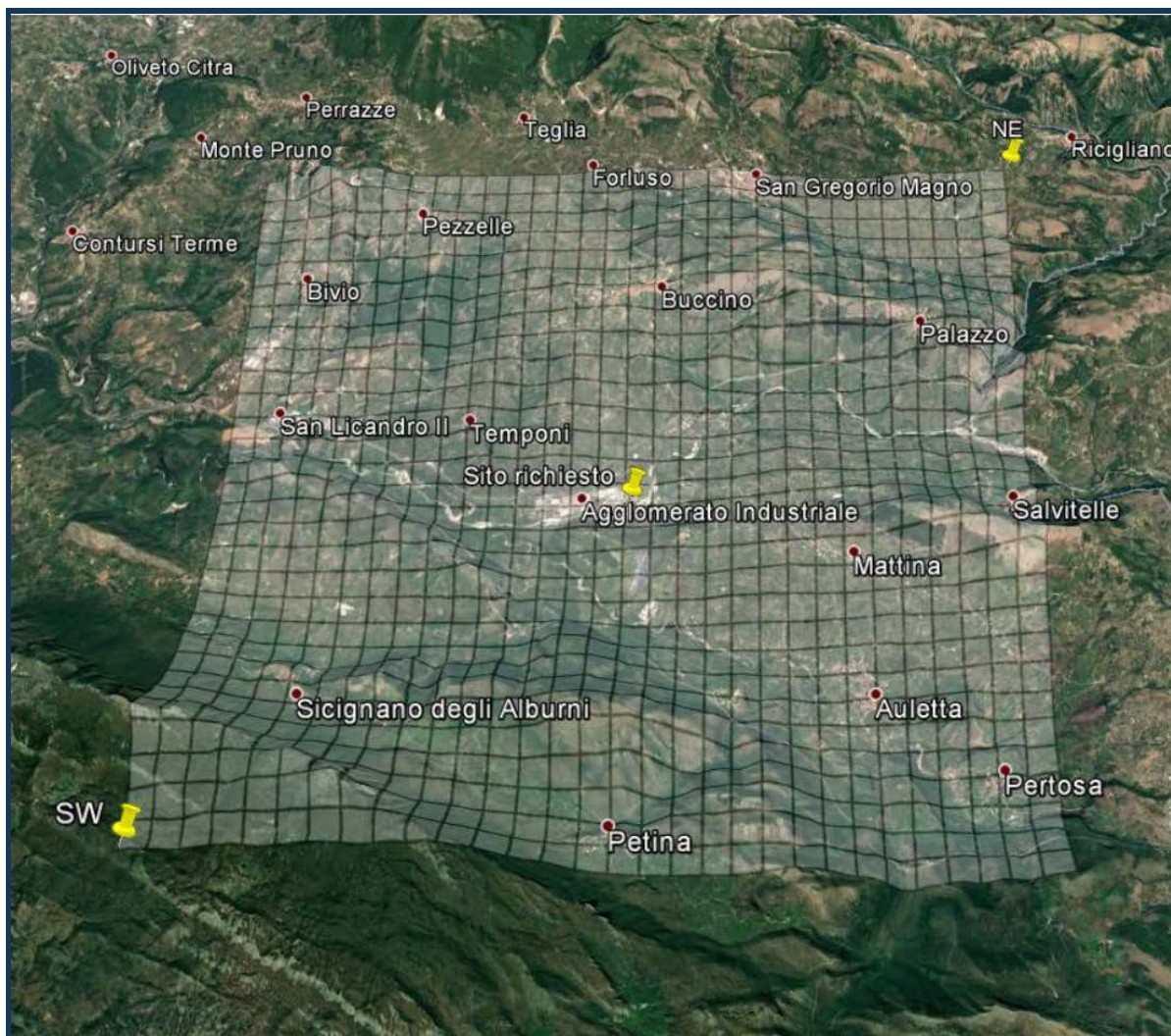
5. DATI DI INPUT PER LE SIMULAZIONI MODELLISTICHE

Nel presente paragrafo sono descritti i dati in ingresso al modello: intervallo temporale di simulazione; assunzioni di calcolo; dominio computazionale e relativo passo di griglia; descrizione orografica dell'area e selezione dei parametri meteorologici. La tabella che segue illustra un quadro sintetico della configurazione modellistica utilizzata nelle simulazioni eseguite con la catena modellistica CALMET CALPUFF:

Effetto Building Downwash	non considerato in quanto non significativo nel caso specifico;
Reazioni chimiche e deposizioni al suolo	Moduli non attivati: nessun impoverimento del plume per reazioni chimiche e depositi al suolo;
Meteorologia	Anno di Riferimento: 2015; ricostruzione tridimensionale del campo meteo orario; dati orari da stazioni meteo SYNOP-ICAO presenti sul territorio nazionale; estensione dominio spaziale per il calcolo dei parametri meteo climatici 15kmx15km con risoluzione orizzontale (dimensioni griglia) dx=dy= 500 mt e risoluzione verticale (quota livelli verticali) 0-20-50-100-200-500-1500-3500 mt sul livello del suolo
Orografia	Effetto considerato attraverso il processamento dei dati meteo con CALMET ;
Emissioni	BF1: Biofiltro Emissioni Composti Ammoniacali; BF2: Biofiltro Emissioni Composti Ammoniacali; BF3: Biofiltro Emissioni Composti Ammoniacali;
Dominio Meteorologiche	Griglia 0.500kmx0.500km Estensione 15.00kmx15.00km Coordinate Origine SW x = 524132.00 mE; y = 4486269.00 mN UTM fuso 33-WGS84

Dominio Calcolo	Griglia 0.500kmx0.500km Estensione 15.00kmx15.00km Coordinate Origine SW x = 524132.00 mE; y = 4486269.00 mN UTM fuso 33-WGS84
OUTPUT	Concentrazioni in $\text{g/m}^3 \text{NH}_3$

DOMINIO METEOROLOGICO

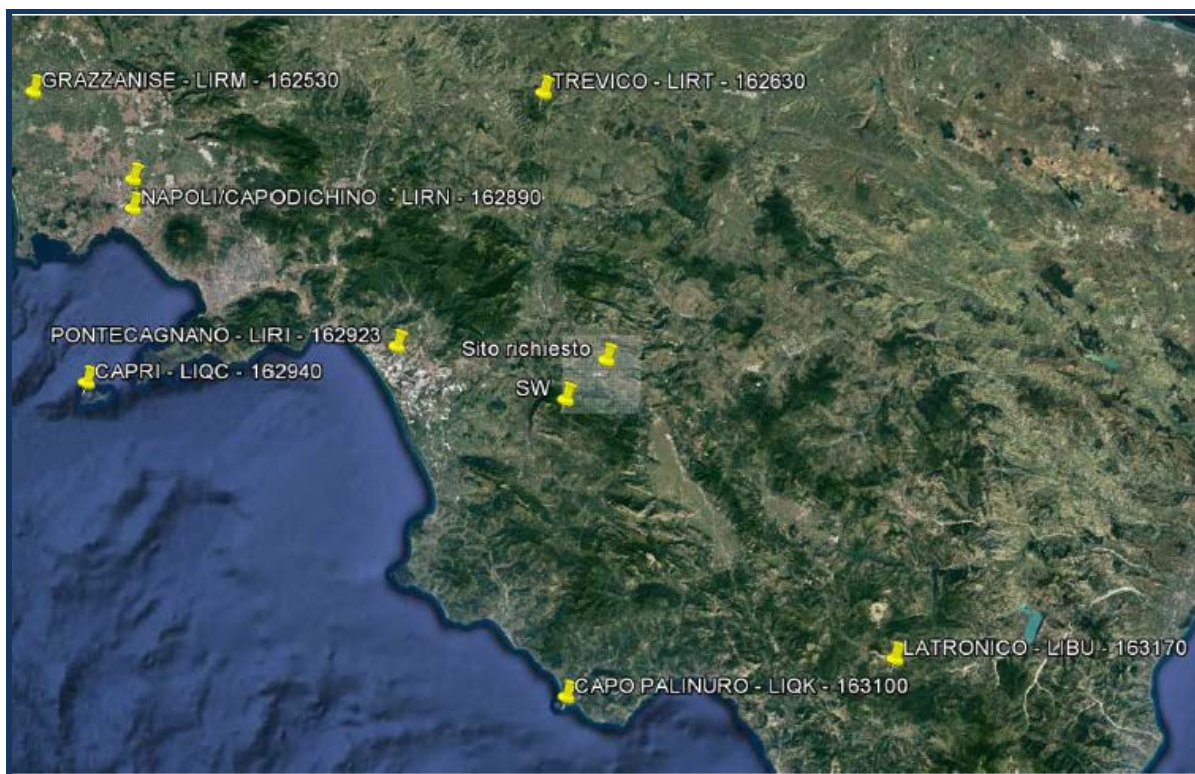


5.1 PARAMETRI METEO CLIMATICI

I dati meteo della banca dati di riferimento sono stati elaborati con il metodo CALMET, un preprocessore meteo di tipo diagnostico che ha il compito di ricostruire i campi di vento 3D, ovvero i valori sia per il grigliato orizzontale che verticale del dominio, per ciascuna ora simulata, e tutti i parametri micro meteorologici 2D, ovvero per ciascun punto della griglia orizzontale, fondamentali per la simulazione della dispersione in atmosfera. I dati sono stati ricostruiti per l'area descritta

attraverso un elaborazione “mass consistent” effettuata con il modello meteorologico CALMET con risoluzione 1000 mt per l’area richiesta utilizzando in input i dati rilevati nelle stazioni SYNOP ICAO presenti sul territorio nazionale.

STAZIONI SYNOP ICAO PRESENTI NELL’AREA INTERESSATA DALL’INTERVENTO PROGETTUALE



Con riferimento all’anno 2015, per ogni cella del dominio di calcolo sono state ricostruite le serie orarie delle seguenti variabili:

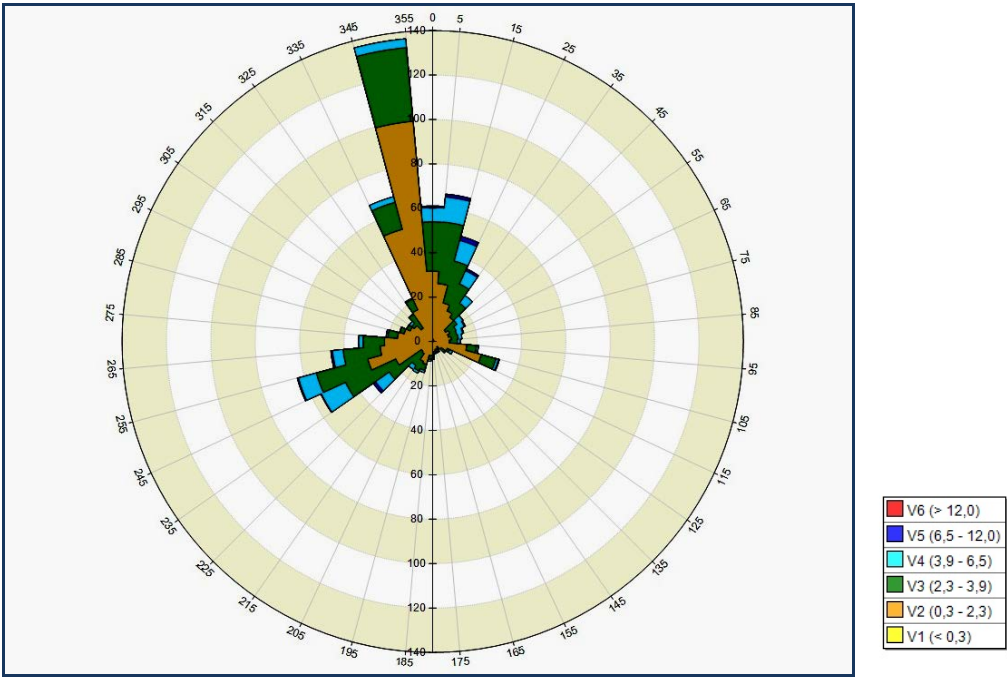
- **DI SUPERFICIE (QUOTA DI RIFERIMENTO 10 MT SUL SUOLO):** velocità orizzontale del vento (m/s); velocità verticale del vento (cm/s); direzione del vento (gradi da N); temperatura (°K); umidità relativa (%); precipitazioni (mm/h); altezza di miscelamento (m); fiction velocity orizzontale u^* (m/s); fiction velocity verticale w^* (cm/s); lunghezza di Monin-Obuchov (m).
- **PROFILOMETRICHE (ALLE QUOTE 0-20-50-100-200-500-1000-2000-4000 MT SUL LIVELLO DEL SUOLO):** velocità orizzontale del vento (m/s); velocità verticale del vento (cm/s); direzione del vento (gradi da N); temperatura (°K);

La ricostruzione tridimensionale del campo meteo orario è stata condotta considerando le caratteristiche orografiche e morfologiche dell’area in esame.

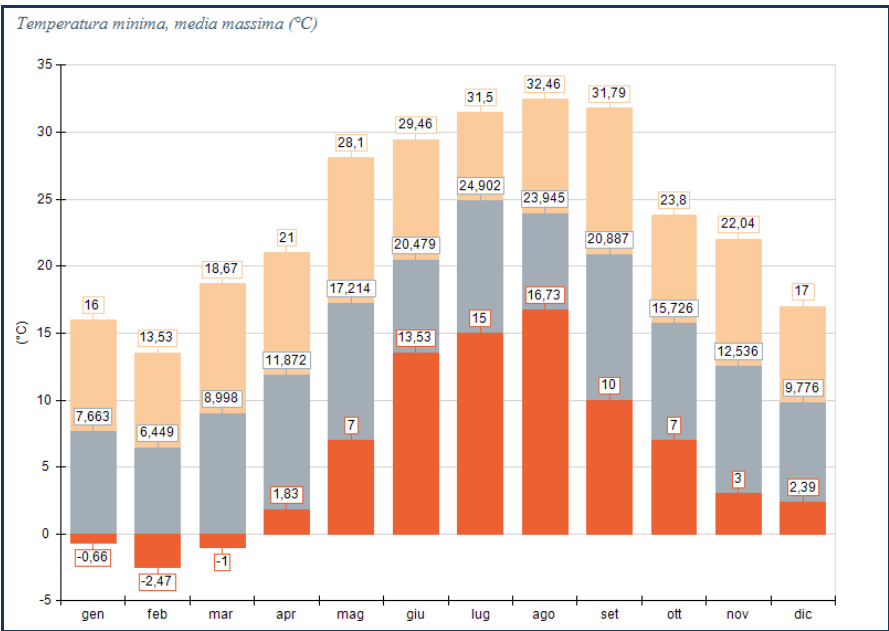
Prendendo come riferimento la piattaforma di trattamento rifiuti oggetto del presente studio, di seguito si riporta la distribuzione annuale della direzione di

provenienza del vento con i relativi valori massimi di velocità per settore angolare di provenienza:

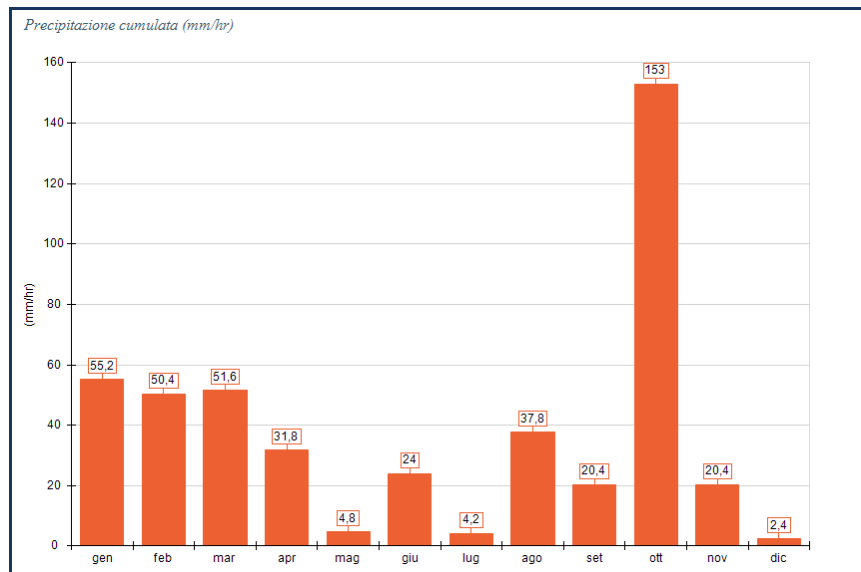
ROSA DEI VENTI



ANDAMENTO ANNUALE TEMPERATURA – DATI METEO ANNO 2015



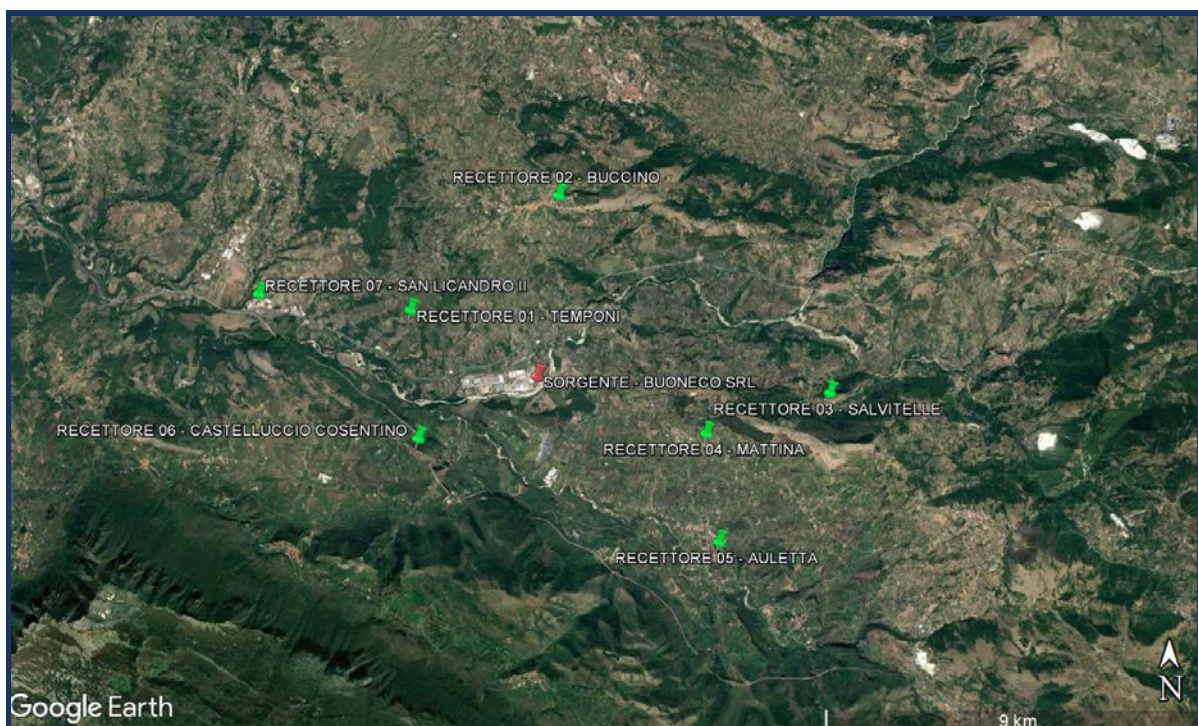
ANDAMENTO ANNUALE PRECIPITAZIONI METEOROLOGICHE – DATI METEO ANNO 2015



5.2 SORGENTI DI EMISSIONE E RECETTORI SENSIBILI

Le sorgenti di emissione che saranno presenti nella costruenda piattaforma di trattamento rifiuti oggetto del presente studio saranno tutte di tipo puntuale (Biofiltri). Di seguito si riporta una mappatura con le relative distanze dei recettori sensibili (centri urbani) dalla sorgente emissiva di cui trattasi.

MAPPATURA DELLA SORGENTE EMISSIVA E DEI RECETTORE SENSIBILI



ID RECETTORE	DESCRIZIONE	DISTANZA (KM)
RECETTORE 01	CONTRADA TEMPONI	3,500
RECETTORE 02	BUCCINO CENTRO	4,400
RECETTORE 03	SALVITELLE CENTRO	7,000
RECETTORE 04	CONTRADA MATTINA	4,300
RECETTORE 05	AULETTA CENTRO	5,900
RECETTORE 06	CASTELLUCCIO COSENTINO CENTRO	3,300
RECETTORE 07	SAN LICANDRO II	7,100

5.2 RISULTATI DELLE SIMULAZIONI MODELLISTICHE

Nelle pagine che seguono si riportano i modelli matematici elaborati per le dispersioni in atmosfera degli effluenti aeriformi provenienti dalle sorgenti che saranno presenti nella costruenda piattaforma di trattamento rifiuti oggetto del presente studio.

In particolare, tali simulazioni emissive, possono essere utilizzate come strumento di orientamento per la valutazione delle emissioni odorigene provenienti dalla piattaforma oggetto del presente studio, atteso che i composti ammoniacali sono tra quelli che principalmente compongono gli odori.

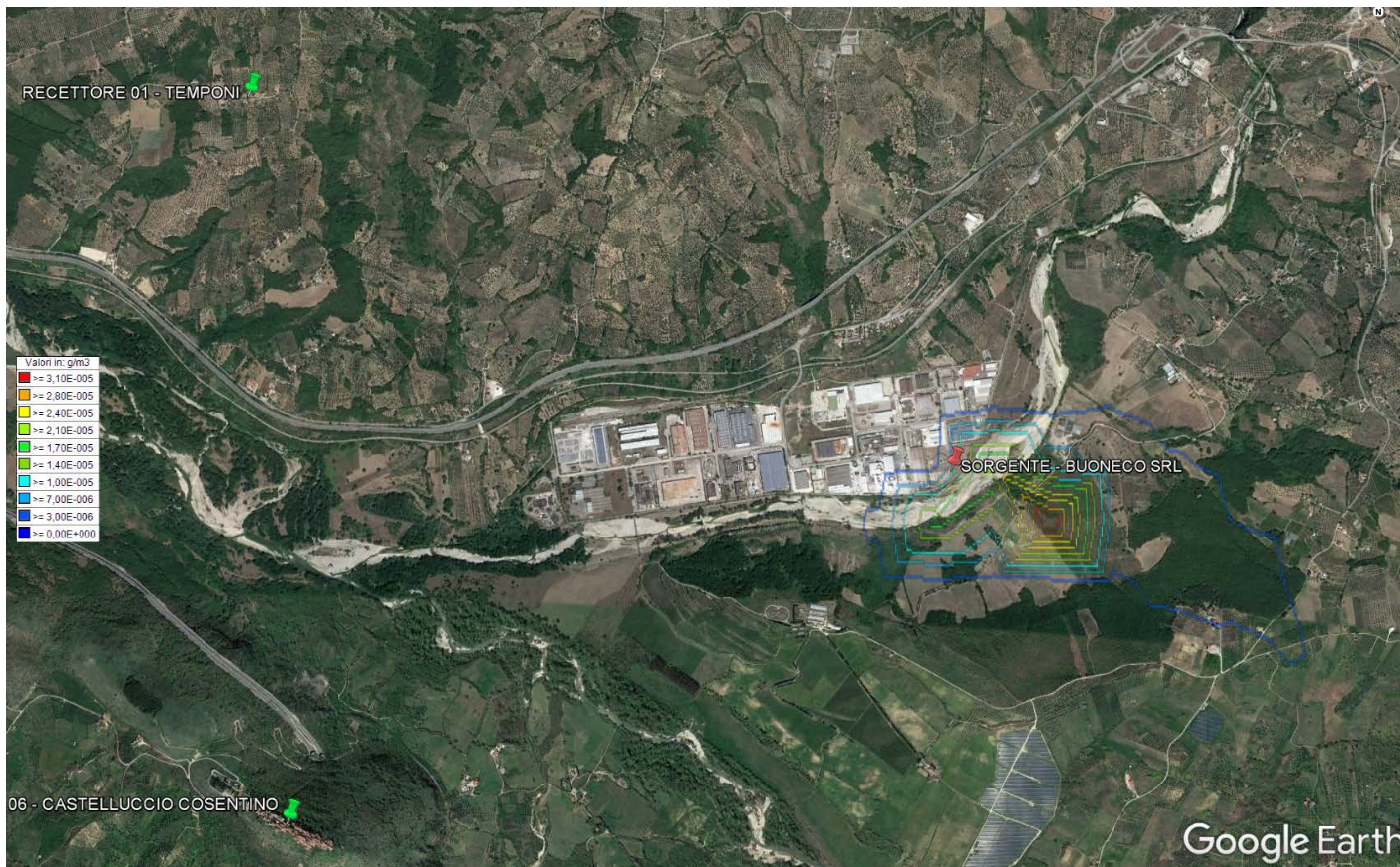
Le isolinee delle concentrazioni massime e medie per l'inquinante preso a riferimento (NH_3) mostrano in modo inconfutabile che lo stesso si disperderà nell'atmosfera ovvero ricadrà al suolo su aree urbanisticamente destinate a zona industriale e/o agricola senza interessare minimamente neppure i centri urbani più prossimi al costruendo impianto di trattamento rifiuti quali "Castelluccio Cosentino" e la "Contrada Temponi", posti rispettivamente ad una distanza in linea d'aria dalla sorgente emissiva di circa 3,300 Km e 3,500 Km.

Buccino (SA), 25.01.2017

IL TECNICO VALUTATORE

Dott. Ing. Giuseppe Vitale

MODELLO DIFFUSIONI EMISSIVE DELLE CONCENTRAZIONI MEDIE DI NH₃



MODELLO DIFFUSIONI EMISSIVE DELLE CONCENTRAZIONI MASSIME DI NH_3

