



UNIVERSITA' POLITECNICA DELLE MARCHE

FACOLTA' DI INGEGNERIA

Corso di laurea triennale in:

Ingegneria Civile e Ambientale

Dipartimento di Ingegneria Industriale e Scienze Matematiche

ANALISI DEI RISCHI DA ESPOSIZIONE AGLI INQUINANTI AERIFORMI

RISK ANALYSIS FROM EXPOSURE TO AIRBORNE POLLUTANTS

Relatore:

Prof. Ing. Giorgio Passerini

Tesi di laurea di:

Mattia Esposito

Correlatore:

Ing. Simone Virgili

Anno Accademico 2018-2019

Sommario

Introduzione	3
1 Inquinamento Atmosferico	4
1.1 Descrizione di inquinante atmosferico	4
1.1.1 Inquinanti principali	5
1.2 Atmosfera terrestre	7
1.2.1 Composizione.....	8
1.2.2 Strati atmosferici	8
1.3 Strato Limite Planetario (PBL).....	10
1.3.1 Causa del gradiente del vento superficiale.....	11
1.3.2 Tipi principali.....	11
1.3.3 Turbolenza atmosferica.....	12
1.4 Orografia	13
1.5 Classi di stabilità atmosferica.....	13
2 Studio degli inquinanti nell'atmosfera.....	14
2.1 Diffusione degli inquinanti.....	14
2.2 I modelli diffusivi.....	15
2.2.1 Obiettivi e utilità dei modelli	18
2.2.2 L'integrazione dei modelli con le misure	19
2.2.3 Scelta del modello.....	19
2.2.4 I modelli gaussiani	22
2.3 Il Modello AERMOD.....	23
2.3.1 Il preprocessore AERMET.....	24
2.3.2 Il preprocessore AERMAP	24
3 Caso di studio.....	25
3.1 Utilizzo del modello	27
3.2 Simulazioni eseguite.....	32
4 Confronti dei risultati	50
4.1 Valutazioni conclusive	63
Conclusione.....	64
Bibliografia / Sitografia	65

Introduzione

L'inquinamento atmosferico risulta oggi uno dei problemi più importanti quando si parla di ambiente, di sostenibilità ambientale o di benessere dell'uomo. Nel passare degli anni, lo studio di impatto ambientale o comunque studi relativi alla sostenibilità ambientale, hanno acquistato sempre più importanza e sono diventati necessari ed obbligatori per legge se si intende realizzare una particolare opera oppure una semplice opera ma che ricade in una particolare zona definita sensibile.

Abbiamo bisogno dunque di stilare un inventario delle emissioni presenti in una determinata zona per poi valutare come queste si disperdano nell'atmosfera in funzione di fattori climatici, orografici, geometrici o fisici.

La diffusione e/o dispersione degli inquinanti (nel caso specifico PM_{10}) in atmosfera si valuta tramite dei modelli matematici deterministici che attraverso dei dati di input (ed eseguendo delle dovute approssimazioni) sono in grado di restituirci delle mappe chiamate di isoconcentrazione. Queste ci rappresentano in maniera molto chiara e di facile intuizione (attraverso delle zone che assumono una colorazione in base al valore della concentrazione) l'andamento delle concentrazioni degli inquinanti. Esistono vari tipi di modelli però non tutti possono essere utilizzati per ogni situazione poiché ognuno di loro ha bisogno di determinati dati di input, perché lavorano solo su determinati tipi di territorio, perché uno rispetto ad un altro è più sensibile alla situazione in esame.

Occorre dunque effettuare uno studio preliminare della situazione che dobbiamo analizzare e valutare quale modello è più adatto utilizzare per avere una risposta che al meglio rappresenti la realtà.

Nella prima parte di questo elaborato sono stati trattati i concetti di atmosfera e sua composizione, inquinamento atmosferico, inquinanti atmosferici ed è stato introdotto il concetto Strato Limite Planetario; è stato dunque introdotto quello che si presenta come il "problema".

Nella seconda parte della tesi invece sono stati introdotti quelli che sono i modelli per lo studio della dispersione degli inquinanti con annesse tutte le caratteristiche e le problematiche relative alla scelta e all'utilizzo di essi. Sono poi state eseguite numerose simulazioni con l'obiettivo di arrivare a trarre delle conclusioni ed avanzare delle ipotesi sui fattori che maggiormente influenzano la diffusione degli inquinanti.

1 Inquinamento Atmosferico

L'inquinamento atmosferico è una delle varie forme di inquinamento, ovvero l'insieme di tutti gli agenti fisici, chimici e biologici che modificano le caratteristiche originali dell'atmosfera terrestre.

I fenomeni di inquinamento atmosferico sono il risultato di una complessa concorrenza tra fattori che portano ad un accumulo degli inquinanti ed altri che invece determinano la loro rimozione e la loro diluizione nell'atmosfera (Wark, 1976).

L'entità e le modalità di emissione (sorgenti puntiformi, diffuse, altezza di emissione ecc.), i tempi di persistenza degli inquinanti e il grado di mescolamento dell'aria sono alcuni dei principali fattori che producono variazioni spazio-temporali della composizione dell'aria.



Figura 1: Inquinamento atmosferico

1.1 Descrizione di inquinante atmosferico

L'inquinante atmosferico è un fattore o una sostanza che determina l'alterazione di una situazione stazionaria attraverso:

La modifica dei parametri fisici e/o chimici e biologici;

- La variazione di rapporti quantitativi di sostanze già presenti;
- L'introduzione di composti estranei direttamente o indirettamente.

L'aria è una miscela eterogenea formata da gas e particelle di varia natura e dimensioni. La sua composizione si modifica nello spazio e nel tempo per cause naturali ed è per questo che risulta difficile definirne le caratteristiche di qualità.

L'impossibilità di individuare le proprietà di un ambiente incontaminato di riferimento porta ad introdurre il concetto di inquinamento atmosferico stabilendo uno standard convenzionale per la qualità dell'aria. Si ritiene dunque inquinata l'aria la cui composizione ecceda limiti stabiliti per legge allo scopo di evitare effetti nocivi sull'uomo, sugli animali, sulla vegetazione, sui materiali o sugli ecosistemi in generale.

Il fatto che gli inquinanti reagiscano porta a distinguere tra inquinante:

- **Primario:** per inquinanti primari si intendono quegli inquinanti che vengono emessi direttamente in atmosfera tali e quali, cioè non subiscono altre modifiche una volta emessi, la loro immissione nell'ambiente deriva dal rilascio di sostanze o particelle prodotte dal comparto;
- **Secondario:** per inquinanti secondari si intendono tutti gli inquinanti che si formano in atmosfera tramite delle reazioni chimiche tra le varie sostanze presenti.

Esistono inoltre inquinanti, come il particolato fine, in cui, secondo molti studi, si equivalgono numericamente le componenti primarie e secondarie.

1.1.1 Inquinanti principali

Di ogni inquinante si riportano le principali caratteristiche chimico-fisiche, le fonti di emissione e gli effetti sulla salute (ARPAV, 2020):

Ossidi di zolfo (SO_x): sono costituiti essenzialmente da biossido di zolfo (SO_2) e in minima parte da anidride solforosa (SO_3). L'(SO_2) reagisce facilmente con tutte le classi principali di biomolecole: in vitro sono state dimostrate interazioni con le proteine, gli acidi nucleici e varie altre componenti biologiche. Rappresentano i tipici inquinanti delle aree urbane e industriali dove l'elevata densità degli insediamenti ne favorisce l'accumulo soprattutto in condizioni metereologiche di debole ricambio di masse d'aria. Le emissioni di origine antropica sono dovute soprattutto all'utilizzo di combustibili solidi e liquidi e correlate al contenuto di zolfo, sia come impurezze e sia come costituenti nella formulazione molecolare del combustibile. A causa della elevata solubilità in acqua l' SO_2 viene assorbito facilmente dalle mucose del naso e dal tratto superiore dell'apparato respiratorio. Fra gli effetti imputabili all'esposizione ad alti livelli di SO_2 sono compresi: aumento delle secrezioni mucose, bronchite, tracheite e difficoltà respiratorie negli asmatici.

Ossidi di azoto (NO_x): comprendono il monossido (NO) e il biossido di azoto (NO_2). L'ossido di azoto è un gas inodore e incolore che costituisce il componente principale delle emissioni di ossido di azoto nell'aria e viene gradualmente ossidato in NO_2 . Rappresentano i tipici inquinanti delle aree ad elevato traffico veicolare caratterizzato da scarso ricambio d'aria. Le fonti antropiche, rappresentate da tutte le reazioni di combustione, comprendono principalmente gli autoveicoli, le centrali termoelettriche e il riscaldamento domestico. Gli effetti imputabili all'esposizione di NO_2 sono: infiammazione delle mucose, decremento della funzionalità polmonare e edema polmonare.

Monossido di carbonio (CO): gas prodotto dalla combustione incompleta delle sostanze contenenti carbonio. Le zone di più probabile accumulo sono quelle in prossimità delle sorgenti di traffico. Le fonti antropiche sono costituite dagli scarichi delle automobili, soprattutto a benzina, dal trattamento e smaltimento rifiuti, dalle industrie e raffinerie di petrolio. Gli effetti sanitari sono essenzialmente riconducibili ai danni causati all'ipossia a carico del sistema nervoso, cardiovascolare e muscolare. Comprendono i seguenti sintomi: diminuzione della capacità della concentrazione, confusione mentale, alterazione della pressione sanguigna e accelerazione del battito cardiaco.

Particolato Atmosferico (PM_{10}): il particolato è costituito da un insieme estremamente eterogeneo di particelle la cui origine può essere primaria o secondaria. Una caratterizzazione esauriente del particolato sospeso si basa oltre che sulla misura della concentrazione e dell'identificazione delle specie chimiche coinvolte, anche sulla valutazione della dimensione media delle particelle. Il PM_{10} identifica una delle numerose frazioni in cui viene classificato il particolato, il cui diametro aerodinamico è uguale o inferiore a $10\ \mu m$, ovvero 10 millesimi di millimetro. È costituito da polvere, fumo e aerosol. Le principali fonti di PM_{10} sono sorgenti legate all'attività umana come processi di combustione (nei motori a scoppio, negli impianti di riscaldamento, in molte attività industriali), usura degli pneumatici, freni ed asfalto oppure sorgenti naturali come l'erosione del suolo, incendi boschivi, eruzioni vulcaniche e dispersione di pollini. Ai fini degli effetti sulla salute è molto importante la determinazione delle dimensioni e della composizione chimica delle particelle. Le dimensioni determinano il grado di penetrazione all'interno del tratto respiratorio mentre le caratteristiche chimiche determinano la capacità di reagire con altre sostanze inquinanti. Gli effetti imputabili all'esposizione di particolato atmosferico sono: effetti irritativi locali quali secchezza e infiammazione, riduzione della capacità epurativa dell'apparato respiratorio e aggravamento delle malattie respiratorie croniche.

Ozono (O_3): è un gas bluastrastro dall'odore leggermente pungente che non viene direttamente emesso come tale dalle attività umane. Le zone di più probabile accumulo sono le aree rurali, lontano dalle sorgenti di emissione degli NO_x . Le concentrazioni ambientali di O_3 tendono ad aumentare durante i periodi caldi dell'anno. Nell'arco della giornata, i livelli sono bassi al mattino, raggiungono il massimo nel primo pomeriggio e si riducono progressivamente nelle ore serali. È un tipico inquinante che si forma nell'atmosfera in seguito alle reazioni fotochimiche a carico di inquinanti precursori prodotti dai processi di combustione. Il bersaglio principale dell' O_3 è l'apparato respiratorio; gli effetti acuti comprendono secchezza della gola e del naso, tosse, faringiti, dolori toracici e irritazione degli occhi.

1.2 Atmosfera terrestre

L'atmosfera terrestre è l'involucro di gas che riveste il pianeta Terra, tenuto in equilibrio dalla forza di gravità, partecipando in massima parte alla sua rotazione. Data la varia composizione chimica, l'atmosfera terrestre possiede una struttura piuttosto complessa e suddivisa in più strati, chiamati sfere, ricavata in base all'inversione del suo gradiente termico verticale, che partendo dal basso sono: troposfera, stratosfera, mesosfera, termosfera, ionosfera ed esosfera, con la superficie di discontinuità tra due strati dove avviene l'inversione del segno chiamata "pausa".



Figura 2: Atmosfera Terrestre

1.2.1 Composizione

Tralasciando la presenza nell'atmosfera terrestre di polveri, aerosol e inquinanti di origine antropogenica, essa può essere considerata come una miscela di gas avente la seguente composizione chimica media al suolo (A. Wilkinson, 1997):

- Azoto (N_2): 78,084%
- Ossigeno (O_2): 20,946%
- Argon (Ar): 0,934%
- Anidride Carbonica (CO_2): 0,0407% (407 ppm)
- Neon (Ne): 0,0018% (18 ppm)
- Elio (He): 0,000524% (5 ppm)
- Metano (CH_4): 0,00016% (2ppm)
- Krypton (Kr): 0,000114% (1,1 ppm)
- Idrogeno (H_2): 0,00005% (0,5 ppm)
- Xenon (Xe): 0,0000087% (0,08ppm)

A tali gas si aggiunge il vapore acqueo (H_2O) la cui percentuale è piuttosto variabile (dallo 0% al 6%) e l'ozono (O_3), con una concentrazione intorno allo 0,000004% (0,04 ppm). Sono anche presenti, in tracce, ossidi di azoto (NO, NO_2), monossido di carbonio (CO), ammoniaca (NH_3), biossido di zolfo (SO_2) e solfuro di idrogeno (H_2S).

Non tutti gli strati hanno le stesse concentrazioni di gas: ad esempio il vapore acqueo è presente quasi soltanto nella troposfera ed è praticamente assente nella termosfera e nell'esosfera, che viceversa contengono quasi tutto l'elio e l'idrogeno. L'ozono è contenuto in massima parte nella stratosfera in cui costituisce un importante strato: l'ozonosfera.

1.2.2 Strati atmosferici

Si è soliti suddividere l'atmosfera terrestre in base all'andamento in funzione della quota dei suoi parametri principali, in particolar modo la temperatura.

Troposfera: è la fascia aeriforme che si trova a diretto contatto con la superficie terrestre, di spessore variabile in base alla latitudine: ai poli è spessa 8 km mentre raggiunge i 16-20 km all'equatore. In essa sono concentrati i 3/4 dell'intera massa gassosa e quasi tutto il vapore acqueo dell'atmosfera. È lo strato dove avviene la maggior parte dei fenomeni meteorologici; la maggior parte degli inquinanti emessi rimane confinata nella troposfera. La troposfera è riscaldata dal basso ovvero dalla terra che a sua volta è scaldata dalla radiazione solare. La troposfera è inoltre il luogo della vita.

Stratosfera: è caratterizzata da un gradiente termico verticale positivo piccolo (la temperatura aumenta leggermente con la quota). Questo aumento di temperatura è dovuto alla dissociazione delle molecole di ozono presenti nella stratosfera. La dissociazione di queste molecole produce due effetti: la produzione di calore, tanto più grande quanto maggiori sono le dissociazioni, e l'arresto dei raggi ultravioletti che sono dannosi per la vita. La stratosfera termina ad una altitudine di circa 50 km.

Mesosfera: nella mesosfera la temperatura dell'aria diminuisce all'aumentare della quota. I confini esatti superiori della mesosfera variano con la latitudine e con la stagione, ma il limite superiore lo possiamo collocare ad altezze nei pressi di 100 km. È caratterizzata da una accentuata rarefazione degli elementi gassosi. Milioni di meteore entrano nell'atmosfera: all'interno della mesosfera, la maggior parte si scioglie o vaporizza, risultato delle numerose collisioni con le particelle di gas presenti nella nostra atmosfera.

Termosfera: nella termosfera la temperatura torna a crescere con la quota (alcuni dati sperimentali affermano che a circa 300 km di altezza la temperatura sarebbe di 1000°C). È in grado di raggiungere un'altezza pari a 500 km. In questo strato cominciano ad incendiarsi e a disintegrarsi le meteore.

Ionosfera: è lo strato dell'atmosfera in cui i gas sono fortemente ionizzati: è composta dagli strati esterni dell'atmosfera, esposti alla radiazione solare diretta che strappa gli elettroni agli atomi e alle molecole. Contiene una frazione minima di massa gassosa atmosferica, ma ha uno spessore di alcune centinaia di km e assorbe buona parte delle radiazioni ionizzanti provenienti dallo spazio. La temperatura in questo strato aumenta con l'altitudine.

Esosfera: è la parte più esterna dell'atmosfera e la composizione chimica cambia totalmente. L'esosfera non ha un definito limite superiore ma si sfuma verso lo spazio interplanetario. All'interno di essa si può individuare una linea ideale come confine gravitazionale: in corrispondenza di questa linea un oggetto quando privo di forza cinetica rimane stazionario; oltrepassata invece questa linea, l'oggetto sale verso lo spazio e si allontana dalla Terra.

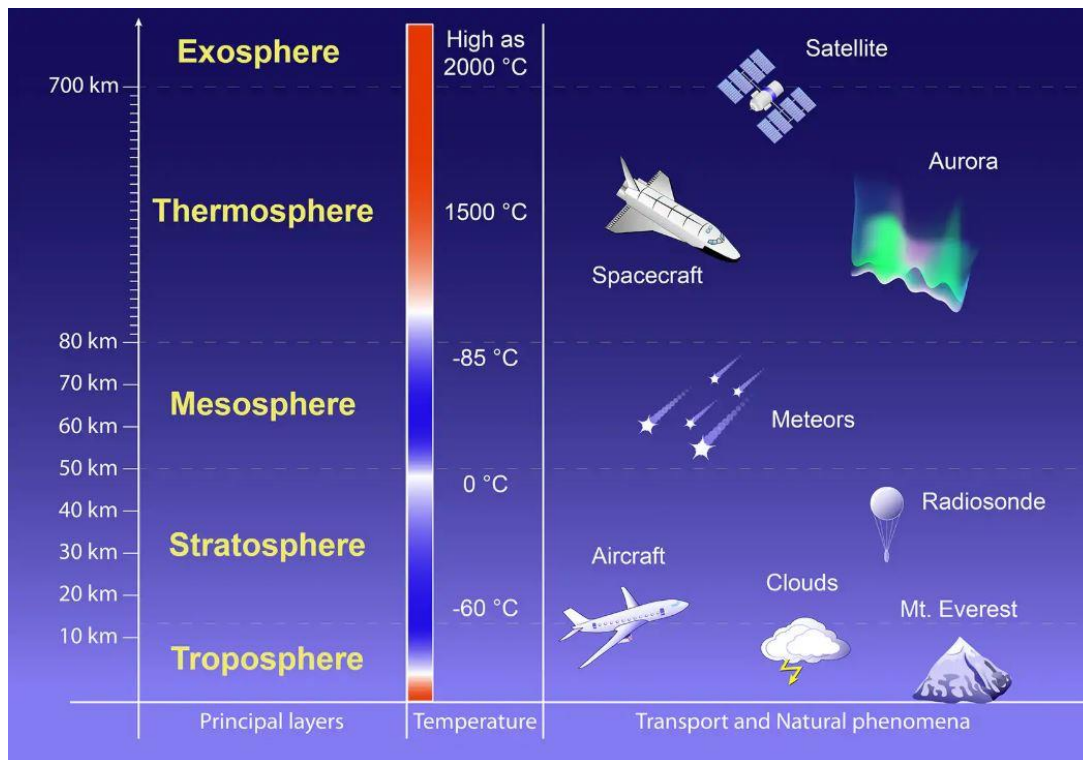


Figura 3: Struttura dell'atmosfera

1.3 Strato Limite Planetario (PBL)

Lo Strato Limite Planetario (PBL) o anche chiamato Strato Limite Atmosferico (ABL), è la parte più bassa dell'atmosfera e il suo comportamento è direttamente influenzato dalla presenza della superficie terrestre e risponde ai cambiamenti indotti dalla superficie terrestre in breve tempo (circa un'ora o meno). L'interazione fra atmosfera e superficie terrestre può avvenire attraverso diversi meccanismi come attrito meccanico, evaporazione e traspirazione, trasferimento di calore, emissione di sostanze inquinanti e variazioni della circolazione atmosferica dovuta alla conformazione del terreno. In questo strato quantità fisiche come la velocità di flusso, temperatura e umidità mostrano fluttuazioni rapide (turbolenza) e la miscelazione verticale è forte. Sopra il PBL è presente lo strato di "atmosfera libera", dove il vento è parallelo alle isobare, mentre all'interno del PBL è influenzato dalla resistenza superficiale e ruota intorno alle isobare.

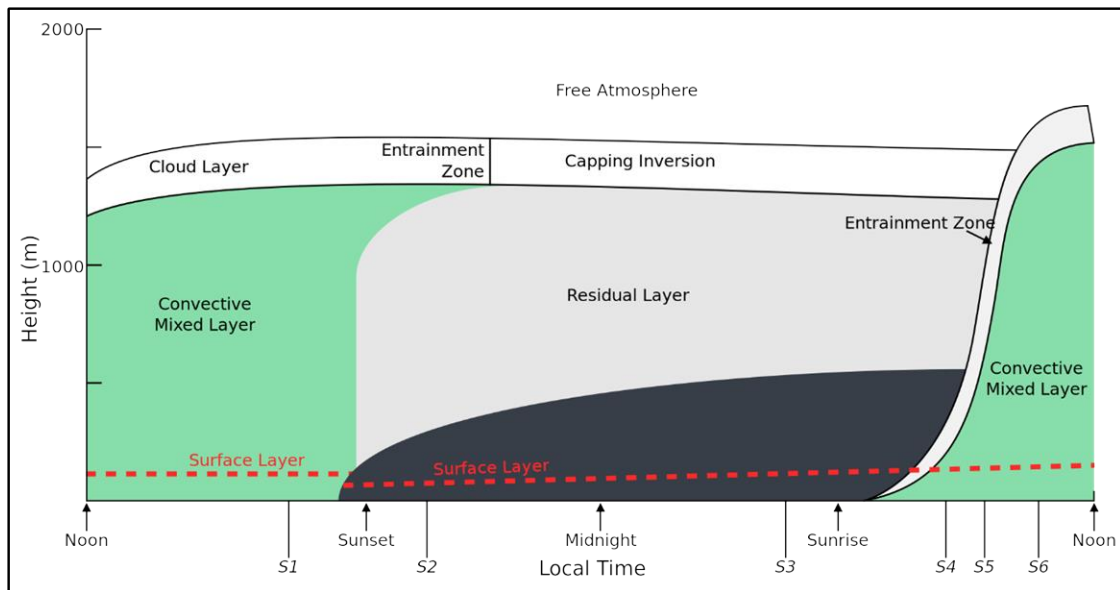


Figura 4: Evoluzione del PBL nell'arco della giornata

1.3.1 Causa del gradiente del vento superficiale

Tipicamente, a causa della resistenza aerodinamica, alcune centinaia di metri sopra la superficie terrestre, abbiamo un gradiente di velocità del vento; la velocità del vento aumenta proporzionalmente all'aumento dell'altezza dal suolo, a partire da zero. Il flusso di vento vicino alla superficie incontra ostacoli che ne riducono la velocità e introducono componenti casuali di velocità verticale e orizzontale ad angolo retto rispetto alla direzione principale del flusso. Questa turbolenza provoca una miscelazione verticale tra l'aria che si muove in direzione orizzontale ad un certo livello e l'aria immediatamente sopra o sotto a quei livelli e questo fenomeno è molto importante nella dispersione degli inquinanti.

La riduzione della velocità nei pressi della superficie è funzione della rugosità superficiale, quindi i profili di velocità del vento sono abbastanza diversi per i differenti tipi di terreno.

1.3.2 Tipi principali

Strato limite planetario convettivo (CBL): è lo strato limite planetario in cui il flusso di galleggiamento positivo sulla superficie crea un'instabilità termica e quindi genera ulteriori turbolenze o addirittura maggiori. Uno strato limite convettivo è tipico nelle zone tropicali e medie latitudini durante il giorno. Il riscaldamento solare insieme al calore rilasciato dalla condensazione del vapore acqueo, potrebbe creare una turbolenza convettiva talmente forte che lo strato convettivo libero comprende l'intera troposfera fino alla tropopausa.

Strato limite planetario stabile (SBL): è lo strato limite planetario in cui la turbolenza è prodotta dal gradiente del vento ed è smorzata dalla stratificazione stabile di densità. Il vento presenta di solito elevati gradienti verticali di velocità; ai livelli inferiori si possono creare massimi locali di velocità, la cui presenza è segno del parziale disaccoppiamento tra l'atmosfera e il suolo.

Strato residuale (RL): è formato da ciò che rimane dello strato convettivo dopo il tramonto, al di sopra dello strato stabile che si sviluppa al contatto con il terreno. All'interno di questo strato la turbolenza decade nel tempo, essendo venuta meno la forzatura termica. Si noti che lo strato residuale non è un vero e proprio strato limite, poiché la sua evoluzione non è direttamente influenzata dai flussi di energia al suolo.

1.3.3 Turbolenza atmosferica

La turbolenza atmosferica si definisce come movimenti caotici di masse d'aria dell'atmosfera terrestre determinati dai gradienti di temperatura e dalle trasformazioni termodinamiche cui le masse d'aria sono soggette. Si tratta in genere di movimenti termici convettivi verticali o scorrimenti laminari, che avvengono su varie scale. Il concetto di turbolenza atmosferica è di notevole importanza quando si parla di osservazione astronomica effettuata con i telescopi terrestri: le rapide variazioni di densità, e quindi di indice di rifrazione, degli strati turbolenti di aria deformano l'immagine di un oggetto celeste osservato (Censori, 2008).

I parametri che maggiormente influiscono sul fenomeno della turbolenza atmosferica sono:

Velocità del vento: l'intensità del vento influisce in modo rilevante sulle dinamiche di dispersione in atmosfera poiché venti intensi favoriscono l'allontanamento delle sostanze emesse dalla sorgente, mentre venti molto deboli, favoriscono l'accumulo degli inquinanti.

Intensità della radiazione solare: la climatologia terrestre è quasi completamente regolata dall'assorbimento e emissione di energia radiativa da parte della terra e dell'atmosfera. Nel caso di condizioni di instabilità abbiamo spinte di galleggiamento dovute a moti convettivi originati da flussi di calore.

Copertura nuvolosa: le condizioni di stabilità atmosferica capitano di solito di notte; in questo caso il terreno è freddo e lo strato d'aria superficiale è più freddo di quello soprastante. La copertura nuvolosa in un certo senso rappresenta la condizione notturna.

1.4 Orografia

L'orografia ha un forte impatto sia a livello locale che a livello globale. Un esempio dell'influsso dell'orografia su porzioni più limitate di territorio, sono le nubi orografiche, che si sviluppano a ridosso delle catene montuose (APAT, 2014). L'orografia influenza in particolar modo il campo di vento: le masse d'aria circolano indisturbate in una zona con un'orografia poco pronunciata, mentre potrebbero subire delle variazioni in una zona dove l'orografia è accentuata.

1.5 Classi di stabilità atmosferica

Le classi di stabilità atmosferica sono un metodo di classificazione della stabilità atmosferica creato da Frank Pasquill-Gifford nel 1961 (Pasquill, 1961). Questo metodo per molti anni è stato il più comunemente usato per suddividere in categorie la turbolenza atmosferica. La turbolenza atmosferica viene suddivisa in sei categorie di stabilità chiamate A, B, C, D, E e F, dove la categoria A è la più instabile e la categoria F la più stabile (o meno turbolenta).

Sono riportate di seguito due tabelle: la tabella 1 elenca le sei categorie, mentre la tabella 2 fornisce le circostanze meteorologiche che definiscono ogni categoria.

Classi di stabilità	Definizione	Classi di stabilità	Definizione
A	Molto instabile	D	Neutrale
B	Instabile	E	Leggermente stabile
C	Leggermente instabile	F	Stabile

Tabella 1: Tabella classi di stabilità di Pasquill

Velocità del vento in superficie		Intensità della radiazione solare			Copertura nuvolosa notturna	
m/s	mi/h	Forte	Moderata	Leggera	> 50%	< 50%
< 2	< 5	A	A-B	B	E	F
2, 3	5, 7	A-B	B	C	E	F
3, 5	7, 11	B	B-C	C	D	E
5, 6	11, 13	C	C-D	D	D	D
> 6	> 13	C	D	D	D	D

Nota: la classe D si applica a cieli molto coperti, a qualsiasi velocità del vento, giorno o notte.

Tabella 2: Condizioni metereologiche che descrivono le classi di stabilità atmosferica di Pasquill

2 Studio degli inquinanti nell'atmosfera

2.1 Diffusione degli inquinanti

La concentrazione degli inquinanti nell'aria è determinata da diversi fattori:

- Dalla qualità dei contaminanti presenti nelle emissioni;
- Dal numero delle sorgenti inquinanti;
- Dalla distanza dai punti di emissione;
- Dalle trasformazioni chimico-fisiche alle quali sono sottoposte le sostanze emesse;
- Dalla situazione morfologica delle aree interessate;
- Dalle condizioni metereologiche locali e su grande scala;

Su scala locale il fattore che maggiormente influenza il trasporto e la diffusione atmosferica degli inquinanti è l'intensità del vento; inoltre un ruolo notevole è svolto dalle precipitazioni atmosferiche che contribuiscono letteralmente a dilavare l'aria dai contaminanti presenti.

Generalmente le zone più soggette ai fenomeni di inquinamento sono le zone urbane ed industriali, soprattutto se si trovano in aree dove sono presenti dei naturali impedimenti della circolazione dell'aria: ad esempio le valli "chiuse" da montagne, che presentano sempre problemi di ristagno per la ridotta ventilazione atmosferica (Benassi A., 2011).

Altri fattori che rivestono una notevole importanza negli episodi di inquinamento acuto sono l'intensità della luce solare e l'alta temperatura.

In generale le concentrazioni dei contaminanti dell'aria sono minori quando il vento è moderato e l'atmosfera è instabile nei bassi strati. Al contrario, le concentrazioni degli inquinanti sono elevate in presenza di nebbia oppure in assenza di vento o quando si è in presenza di inversioni termiche. Le inversioni termiche sono dei fenomeni atmosferici che impediscono il normale rimescolamento delle masse d'aria: in genere, la temperatura dell'aria decresce man mano che aumenta l'altezza e per questo fa sì che le masse d'aria più calde, essendo meno dense, salgano e prendano il posto dell'aria più fredda che scende. Dato che quest'aria calda è anche quella più inquinata perché si trova nella zona delle maggiori emissioni inquinanti, ne risulta un rimescolamento dei vari strati della troposfera che porta ad una diminuzione della concentrazione dei contaminanti atmosferici.

In alcuni casi però si possono formare degli strati d'aria più calda a qualche decina o centinaia di metri (inversione termica) per cui lo strato sottostante non sale e ristagna al suolo.

Le inversioni termiche si generano solitamente nelle notti limpide subito dopo il tramonto, a causa del rapido raffreddamento del terreno (che a sua volta causa un rapido raffreddamento dell'aria con cui è a contatto).

2.2 I modelli diffusivi

L'inquinamento atmosferico è basato essenzialmente su tre fenomeni: le emissioni (emanazioni di sostanze nocive alla fonte), trasmissione (diffusione e in parte trasformazione delle sostanze nocive nell'aria) e immissioni (concentrazione o dispersione di inquinanti atmosferici nel luogo d'azione).

Un fenomeno è in genere studiato tramite modelli che consistono nel semplificare e ridurre il fenomeno alle sue caratteristiche essenziali, per produrre una rappresentazione semplice mediante una traduzione in equazioni matematiche risolubili. La corrispondenza del modello sussiste, quando la risoluzione delle equazioni è in accordo con i dati sperimentali.

I modelli matematici sono molto utili per individuare le strategie ambientali più efficaci, in quanto considerano molto dettagliatamente le variazioni spazio-temporali delle emissioni e delle condizioni meteorologiche. Sono inoltre capaci di valutare l'impatto delle sorgenti emissive e di distinguere i contributi.

I modelli si differenziano tra di loro per come descrivono la realtà ed è molto importante per ogni data situazione trovare i modelli più adatti per simularla e descriverla, come è pure importante capire quanto questi siano affidabili e se possano essere implementati o migliorati (Finzi G.).

I principali requisiti che si richiedono ad un modello sono tre:

- Deve poter predire l'andamento di un fenomeno tenendo conto delle eventuali perturbazioni che lo hanno indotto;

- Deve includere ogni conoscenza a priori;
- Deve essere coerente con la teoria che presiede alla sua costruzione.

I modelli matematici si dividono in due classi principali:

- I modelli *stocastici*;
- I modelli *deterministici*.

I modelli *stocastici* si basano su misure precedenti in punti stabili e solo per quei punti è possibile prevedere il valore futuro della concentrazione di inquinanti. Sono impiegati dove è possibile avere a disposizione delle misure, generalmente in contesti urbani o industriali, in cui si necessita un controllo in tempo reale dei livelli di attenzione e di allarme.

I modelli *deterministici* sono i più utilizzati e si basano sulle relazioni fisiche di tipo causa-effetto. Le loro variabili di input assumono valori fissi ed i risultati ottenuti non tengono conto di eventuali fattori di incertezza. I modelli di tipo deterministico ricostruiscono in maniera quantitativa fenomeni che determinano l'evoluzione spazio-temporale della concentrazione d'inquinanti in aria.

In funzione del diverso modo di osservare e descrivere le proprietà di un fluido distinguiamo due classi di modelli deterministici: *modelli euleriani* e *modelli lagrangiani*.

I *modelli euleriani* hanno un sistema di riferimento con coordinate fisse e sono basati sull'integrazione dell'equazione differenziale della diffusione, ricavata dal bilancio di massa applicato ad un volumetto infinitesimo d'aria (considerando determinate ipotesi).

A seconda della diversa risoluzione dell'equazione differenziale si possono definire modelli *analitici* (a puff e gaussiani), modelli *a box* e modelli *a griglia*.

I *modelli analitici a puff* rappresentano un'estensione dei modelli gaussiani e permettono di ricostruire valori di concentrazione non omogenee e non stazionarie. Il valore della concentrazione in un punto si ottiene sommando i contributi delle concentrazioni dei vari puff all'interno del dominio, considerando che la dispersione per ogni puff segue sempre una legge di tipo gaussiano.

I *modelli analitici a box* dividono il dominio d'indagine in una o più celle in cui gli inquinanti sono considerati perfettamente mescolati. Questo permette di riscrivere l'equazione del bilancio di massa in modo facilmente risolvibile e di calcolare immediatamente la concentrazione, una volta noti alcuni parametri (concentrazione di fondo, velocità del vento, velocità di deposizione ecc.)

I *modelli analitici a griglia* dividono anch'essi il dominio di calcolo in celle tridimensionali all'interno delle quali la soluzione dell'equazione di diffusione atmosferica è ottenuta tramite le tecniche alle differenze finite, restituendo per ogni punto della griglia il valore della concentrazione. Generalmente la dimensione orizzontale delle celle è di qualche chilometro mentre quella verticale è in funzione degli strati atmosferici che devono essere studiati.

I *modelli analitici gaussiani* sono in grado di descrivere l'andamento al suolo della concentrazione sottovento dovuta ad una sorgente continua puntiforme, ipotizzando per la dispersione una legge di tipo gaussiano. Sono modelli abbastanza facili da utilizzare perché adottano una serie di semplificazioni restrittive: stazionarietà e omogeneità delle condizioni metereologiche, velocità orizzontale del vento non nulla nella direzione del vento e mediamente nulla sul piano ortogonale ad essa, terreni piani, assenza di trasformazioni chimiche.

I *modelli lagrangiani* hanno un sistema di riferimento con coordinate mobili che segue gli spostamenti delle masse d'aria di cui si vuole riprodurre il comportamento. In questa categoria si possono distinguere modelli *a traiettoria* e *a particelle*.

Nei modelli *a traiettoria* viene simulata l'evoluzione di una colonna d'aria che si muove sotto l'azione della componente media della velocità del vento (per ipotesi orizzontale e uniforme con la quota).

Nei modelli *a particelle* si simula l'emissione degli inquinanti con la generazione di un certo numero di particelle emesse ad ogni nuovo passo temporale: il campo di concentrazione ad ogni passo è riconosciuto in funzione direttamente proporzionale al numero di particelle che attraversano un certo volume di spazio.

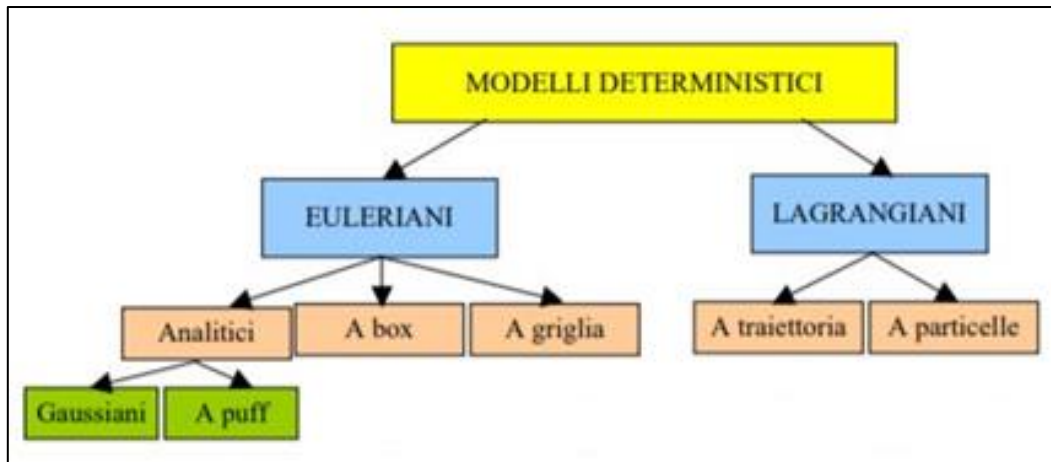


Figura 5: Schema riassuntivo dei modelli

2.2.1 Obiettivi e utilità dei modelli

La valutazione della qualità dell'aria, secondo i requisiti indicati dalla Direttiva Quadro, determina quindi essenzialmente:

- La necessità di estendere le azioni di valutazione dell'inquinamento a tutto il territorio degli Stati Membri;
- La necessità di combinare varie tecniche di valutazione che includono la misurazione diretta in stazioni fisse e tramite laboratori mobili;
- La necessità di predisporre di inventari delle emissioni fisse e mobili aggiornati in continuo e ad alta risoluzione spaziale e temporale;
- L'applicazione di modelli di dispersione e trasformazione chimica degli inquinanti;

La combinazione di queste tecniche costituisce l'approccio ottimale al problema della valutazione e gestione della qualità dell'aria e la modellistica rappresenta lo strumento principale di sintesi del processo conoscitivo; essa infatti ingloba tutti i principali aspetti del fenomeno e fornisce informazioni sulle relazioni fra emissioni e concentrazioni o disposizione degli inquinanti primari o secondari, tenuto conto dei processi di dispersione, trasporto, trasformazione chimica e rimozione.

In particolare, i modelli di dispersione sono utili per:

- Ottenere campi di concentrazione anche in porzioni di territorio ove non esistono punti di misura;
- Ottenere informazioni sulle relazioni tra emissioni e immissioni;
- Valutare l'impatto di inquinanti non misurati dalla rete di monitoraggio;
- Studiare scenari ipotetici di emissioni alternativi rispetto al quadro attuale o passato.

Il risultato della modellazione è caratterizzato da un grado di incertezza dovuta alla incapacità di descrivere perfettamente i fenomeni fisici e dell'incertezza associata ai dati d'ingresso.

Una corretta applicazione modellistica necessita di una procedura rigorosa di confronto con le misure, che consenta la verifica e la taratura del modello. Questo punto presuppone un disegno ottimale della rete di monitoraggio, sufficiente affidabilità, accuratezza e rappresentatività delle misure, e buona conoscenza delle emissioni delle sostanze inquinanti che influenzano la qualità dell'aria.

2.2.2 L'integrazione dei modelli con le misure

I modelli sono molto apprezzabili perché sono in grado di estendere il dato di concentrazione puntuale a porzioni di territorio ove non esiste la misurazione, tenuto conto della distribuzione spazio-temporale delle emissioni e delle caratteristiche meteo-diffusive del sito. È pertanto importante definire un metodo di assimilazione dei dati provenienti dalle misure e dai modelli, al fine di produrre campi di concentrazione georeferenziati (mappe).

La valutazione delle conseguenze del rilascio di inquinanti aeriformi in aria implica la considerazione dei fenomeni di dispersione atmosferica, al fine di determinare l'andamento spaziale della concentrazione dell'inquinante nell'area circostante la sorgente di questo.

A seconda della natura delle sostanze inquinanti, queste permangono in atmosfera per periodi più o meno lunghi.

2.2.3 Scelta del modello

È importante individuare il modello più idoneo per descrivere la situazione in esame e utilizzarlo in modo corretto ed efficiente. Per fare ciò è necessario due aspetti fondamentali: gli *elementi caratteristici del problema* e i *vincoli presenti*.

Gli *elementi caratteristici* in grado di descrivere il problema sono:

- Scala spaziale: i modelli possono riprodurre l'andamento degli inquinanti atmosferici su differenti scale spaziali, a seconda del tipo di fenomeno che si vuole analizzare. Le scale prese in considerazione sono mostrate nella figura seguente:

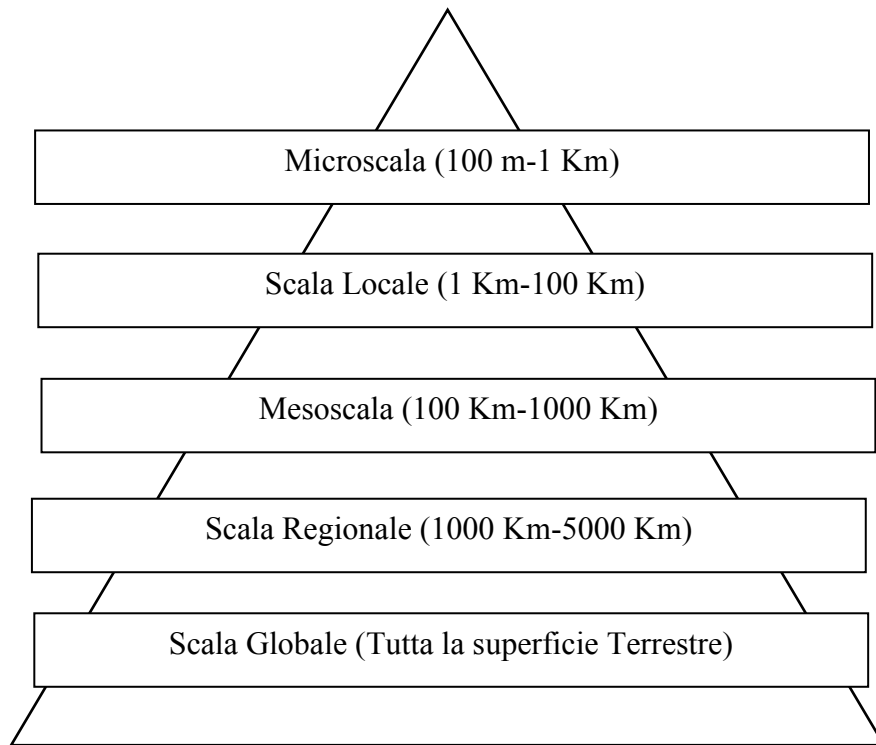


Figura 6: Schema delle scalde dei modelli

- Scala temporale: si possono distinguere:
 - applicazioni di breve periodo o short-term (per lo studio di episodi critici);
 - applicazioni di lungo periodo o long-term (per lo studio di esposizioni cumulate).
- Dominio: è importante identificare il dominio di applicazione della simulazione, in quanto il tipo di area geografica influenza sia i fenomeni atmosferici che la dispersione degli inquinanti. Si possono distinguere:
 - terreni piani: quei domini totalmente pianeggianti oppure su cui è presente un singolo rilievo o una valle isolata;
 - terreni complessi: tutti gli altri domini.
 Si può anche parlare di:
 - terreni urbani: per il calcolo delle concentrazioni di inquinanti in aree urbane densamente edificate;
 - terreni rurali: se si considera l'aperta campagna.

Un altro aspetto importante che va preso in considerazione e definito nell'impiego del modello sono le discontinuità del tipo terra-mare, città-campagna, sistemi acquiferi interni e disomogeneità superficiali.

➤ Inquinante: si distingue in:

- Gas
- Aerosol
- Particolato

Può essere *inerte* o *reattivo*. Un inquinante *reattivo* può subire delle reazioni in fase omogenea gassosa, reazioni in fase eterogenea, idrolisi e reazioni in fase acquosa, reazioni e processi che coinvolgono aerosol e particolato. È conveniente quindi includere nel modello un modulo di trasformazione chimica se si deve analizzare il comportamento di inquinanti reattivi in atmosfera o la formazione di inquinanti secondari. È conveniente includere anche i processi di deposizione secca ed umida.

➤ Meteorologia: i fenomeni principali che influenzano la distribuzione delle concentrazioni sono due: il trasporto ad opera del *campo di vento* e la *diffusione turbolenta*. Questi fenomeni possono essere considerati omogenei e stazionari oppure possono avere un'evoluzione spaziotemporale. Il campo dipende dall'orografia dell'area considerata e dalla presenza di particolari sistemi di circolazione, mentre la diffusione turbolenta è sia funzione del campo di moto (turbolenza meccanica) sia degli scambi di calore con la superficie (turbolenza convettiva). La turbolenza quindi nel suo complesso dipende dal campo di vento, dai bilanci radiativi e dalle caratteristiche geofisiche del terreno (rugosità superficiale, inclinazione ecc.).

Se le condizioni sono molto semplificate, le caratteristiche dispersive possono essere descritte sulla base di semplici parametri; in condizioni più complesse la ricostruzione dei campi meteorologici richiede l'utilizzo di modelli veri e propri.

➤ Sorgenti emissive: la tipologia delle sorgenti di emissione determina la categoria dei modelli. Solitamente le sorgenti sono classificate come:

- sorgenti puntuali singole e multiple (camini degli impianti industriali);
- sorgenti lineari (emissioni lungo tratti stradali);
- sorgenti areali o volumetriche (un'area industriale, fonti da riscaldamento domestico, il traffico in un quartiere urbano, zone agricole).

➤ Regime: si può classificare come:

- regime stazionario → i fenomeni sono costanti nel tempo;
- regime evolutivo → presenza di una variabile temporale.

Per quanto riguarda invece i *vincoli*, di cui è bene tener conto per le verifiche della reale applicabilità di un modello, si devono considerare:

➤ Il budget;

- Le risorse di calcolo disponibili;
- La disponibilità e la qualità dei dati di input (dati di emissione, dati meteorologici, dati della qualità dell'aria);
- Il grado di complessità del problema;
- Il livello di dettaglio e di accuratezza richiesta ai dati di output;
- Le competenze necessarie per poter applicare il modello in maniera corretta.

Nel seguito si parlerà in maniera più approfondita di una sola tipologia di modello di dispersione (gaussiano), e se ne valuterà le peculiarità e le modalità di lavoro.

2.2.4 I modelli gaussiani

Il modello gaussiano, a coefficienti variabili o costanti, appartiene alla famiglia dei modelli analitici, così chiamati perché basati sull'integrazione, in condizioni semplificate, dell'equazione generale del trasporto e della diffusione.

Nei modelli gaussiani si assume un sistema di riferimento in cui l'asse delle X è sempre orientato lungo la direzione media del trasporto del vento (costante in direzione e modulo); è tuttavia possibile introdurre informazioni sul profilo di vento lungo la verticale.

I modelli gaussiani possono essere utilizzati a partire da una certa distanza e non in prossimità della sorgente.

Questo tipo di modello risulta di semplice implementazione ed è utile in casi relativamente semplici, nonché in casi in cui è richiesto un calcolo delle concentrazioni in termini statistici (tramite sovrapposizione di numerose mappe dello stesso tipo calcolate in differenti condizioni).

Si possono ad ogni modo simulare delle situazioni più complesse:

- Eventuali inversioni di quota;
- Effetti scia (downwash) dovuti al camino o ad altri edifici, in grado di intrappolare il pennacchio;
- Trasformazioni chimiche;
- Fenomeni di deposizione;
- Applicazioni su terreni complessi e terreni urbani
- Discontinuità superficiali (come la presenza di siti costieri).

L'approssimazione di un processo evolutivo nel tempo può essere fatta solo tramite una successione di stati stazionari.

Questo tipo di modello è adatto ad un sito pianeggiante; tuttavia può essere adottato con opportune modifiche ad un sito con orografia complessa, tenendo conto che l'approssimazione determina un minore grado di accuratezza.

2.3 Il Modello AERMOD

AERMOD è un modello diffusivo gaussiano che è possibile applicare in aree urbane e rurali ad orografia semplice ma anche ad orografia complessa, che utilizza due preprocessori per elaborare i dati di input: il processore meteorologico AERMET, e quello orografico AERMAP.

Il modello AERMOD è uno “steady-state plume model”, ovvero un modello che considera le emissioni come se fossero stazionarie in un intervallo temporale di un'ora.

La distribuzione di concentrazione nello stable boundary layer (SBL) segue la curva Gaussiana sia verticalmente che orizzontalmente. Nel convective boundary layer (CBL) invece la distribuzione verticale è descritta da una funzione di densità di probabilità bi-Gaussiana e quella orizzontale da una semplice curva Gaussiana. Inoltre, nel CBL, AERMOD tratta quello che si chiama “Plume lofting”, per il quale una porzione di massa del pennacchio, rilasciata da una sorgente “sospesa”, sale e rimane nella parte superiore del boundary layer prima di essere mescolata dalla turbolenza del CBL.

Una peculiarità molto importante del modello è la sua capacità di ricostruire i profili verticali delle variabili meteorologiche utilizzate come ad esempio vento, temperatura, turbolenza ecc., utilizzando i dati rilevati al suolo e in quota.

I dati di superficie si riferiscono a misure effettuate ad un'altezza di circa 10 metri per il vento, temperatura e copertura nuvolosa, che sono i parametri principali. Oltre a questi si introducono parametri riguardanti l'uso del suolo nella zona d'interesse come albedo e rugosità superficiale. Per le misure in quota, queste riguarderanno dati di vento, temperatura, umidità relativa, pressione e altezza geopotenziale.

Con questi input AERMET calcola tutti quei parametri necessari ad AERMOD per estrapolare i profili verticali delle variabili meteorologiche più importanti.

Il processore AERMAP, invece, attraverso l'utilizzo di un grigliato suddivide il territorio e si calcola un'altezza di influenza h_c (terrain height scale) definita per ciascun recettore. Le informazioni che poi saranno fornite ad AERMOD saranno la posizione di ciascun recettore, la sua altezza rispetto al livello del mare e l'altezza di scala h_c .

In sostanza si introduce una morfologia iniziale che verrà poi trasformata in una efficace dipendente dall'altitudine e dalla distanza dal recettore (EPA).

2.3.1 Il preprocessore AERMET

Il preprocessore AERMET elabora i dati meteorologici, caratteristici della zona studiata, al fine di parametrizzare il PBL ed estrapolare i profili verticali delle variabili meteorologiche (Alan J. Cimorelli, 2005).

I dati di input sono raccolti e immagazzinati in file con formati particolari per consentirne una facile estrapolazione da parte dei modelli di origine soprattutto americana. Infatti il NWS (National Weather Service) ha raccolto per molte località rappresentative degli Stati Uniti questi dati in tre principali categorie:

- Dati orari di superficie (vento, temperatura, copertura nuvolosa più ulteriori dati);
- Rilevamenti in quota effettuati due volte al giorno (alle dodici e a mezzanotte);
- Dati on-site opzionali con informazioni su turbolenza, pressione atmosferica e misura della radiazione solare.

2.3.2 Il preprocessore AERMAP

AERMAP è il preprocessore utilizzato da AERMOD per fornire gli input relativi all'orografia del territorio. Questo processore consentirà di inserire la morfologia dell'area studiata rendendo così AERMOD un modello capace di analizzare situazioni sia ad orografia complessa sia pianeggiante.

Il processo di inserimento dei dati relativi all'altimetria della zona non è semplice perché prima di tutto le mappe che devono essere codificate da AERMAP hanno un formato molto particolare: USGS DEM file (Digital Elevation Model). Le mappe digitalizzate in tale formato non sono molto diffuse né in Europa né in Italia, mentre si ha una vasta raccolta, messa a disposizione dell'USGS (United States Geological Survey), per gli Stati Uniti.

Le operazioni svolte da AERMAP nella rielaborazione dei dati sul territorio rendono necessario l'utilizzo del formato digitalizzato, infatti ci si avvale del concetto del "dividing streamline" cioè un'altezza caratteristica H_c che divide il flusso di inquinante in due parti. Nota questa altezza il territorio verrà caratterizzato per ciascun recettore in maniera differente rielaborando i dati dal punto di vista del singolo recettore: ad ogni recettore verrà associata una morfologia differente. Il formato digitale ci aiuta perché per ogni punto dell'area considerata mette a disposizione un vettore che sarà riempito di volta in volta con le altezze di tutti i recettori (Lee R., 1998).

Inizialmente si stabilisce un'"altezza di scala" H_c che rappresenta l'altezza del territorio circostante al recettore con più influenza nel trasporto e dispersione degli inquinanti (non è detto che coincida con il valore più alto dell'area considerata). L'utilizzo di H_c e h_c consentirà poi di definire un fattore peso f utilizzato per il calcolo della concentrazione.

Per calcolare h_c è necessario fornire al programma il valore dell'altitudine del territorio considerato, suddiviso in una griglia di punti, e la distanza di questi dal recettore. Dopo aver localizzato il recettore (x_r, y_r, z_r) si ricava la sua altezza relativa di scala mediante queste considerazioni:

- Gli effetti dell'orografia sul flusso degli inquinanti si fanno sentire in maniera decrescente in base alla distanza dal recettore;
- Gli stessi effetti, invece, saranno più evidenti quanto più l'altezza del territorio aumenta.

Il primo passo da effettuare per arrivare alla determinazione dell'altezza di scala h_c è quello di ricostruire una nuova morfologia del territorio tenendo conto delle considerazioni precedenti.

Per ogni recettore si definisce h_{eff} cioè un'altezza effettiva del terreno all'interno del nostro dominio. Per tanto ad ogni recettore verrà associata una nuova superficie, idealizzata. Per questo motivo è preferibile utilizzare come input per i dati relativi alle altezze un formato che contenga informazioni digitalizzate del territorio (DEM).

Definita la superficie effettiva è possibile ricavare h_c , altezza di scala, come la quota più alta di tale nuova superficie.

3 Caso di studio

Si è deciso di eseguire una serie di simulazioni di dispersione degli inquinanti con l'ausilio del modello diffusivo gaussiano AERMOD, andando a modificare per ogni simulazione, dei parametri di tipo geometrico, fisico e di tipo orografico.

Si è scelta una zona che poteva risultare interessante da studiare almeno dal punto di vista dell'orografia e dalle caratteristiche del territorio: nello specifico parliamo della zona rurale della contrada Barcaglione nel Comune di Ancona.

Il centro di riferimento, il quale è stato anche adottato come punto di collocazione di una ipotetica sorgente puntale di emissione delle sostanze inquinanti e come centro della griglia dei recettori, ha coordinate UTM: 373369.95 E, 4828915.71 N collocato nella zona 33.

Si sono eseguite delle simulazioni in condizioni "FLAT" e in condizioni "ELEVATED" al fine di eseguire poi dei confronti e dare delle valutazioni dal punto di vista tecnico.

Per ognuna di queste due configurazioni, i parametri che sono stati cambiati volta per volta sono stati:

- Emission Rate
- Gas Exit Velocity
- Gas Exit Temperature
- Release Height
- Stack Inside Diameter

La nomenclatura che è stata adottata per caratterizzare le singole simulazioni è composta da lettere e numeri dove le lettere stanno ad indicare le condizioni adottate (F= Flat, E= Elevated) ed i numeri esprimono la sorgente con le varie caratteristiche: riportiamo un codice da esempio

IE001, dove I sta per Input, E sta per Elevated e 1 sta per Caso 1.

I file meteo che sono stati presi in considerazione appartengono alla centralina di Camerano (non ricade nel nostro dominio di interesse però può essere utilizzata comunque dato che non dista molto dalla nostra zona di studio) e comprendono il periodo che va dal 01/01/2015 al 31/12/2015. L'elevazione dell'anemometro è pari a 150 m (il programma si crea poi il profilo verticale).

Il tipo di inquinante che si è preso in considerazione è stato il particolato PM10.

Andiamo a questo punto a vedere nel dettaglio come si inseriscono questi dati sul modello per poi valutare il lavoro che è stato fatto con l'ausilio di alcune immagini illustrative.

Sorgenti	Orografia "Flat"	Orografia "Elevated"	
		Risoluzione 90 metri	Risoluzione 900 metri
I001	IF001	IE001	IEE1
I002	IF002	IE002	IEE2
I003	IF003	IE003	IEE3
I004	IF004	IE004	IEE4
I005	IF005	IE005	IEE5

Tabella 3: Tabella riassuntiva delle simulazioni eseguite

Casi di studio	I001	I002	I003	I004	I005
Emission Rate (g/s)	1	1	3	1	1
Gas Exit Temperature (K)	313,15	313,15	313,15	313,15	313,15
Stack Inside Diameter (m)	1	1	1	1	2
Gas Exit Velocity (m/s)	1	1	1	3	1
Release Height (m)	10	30	10	10	10

Tabella 4: Parametri delle varie sorgenti

3.1 Utilizzo del modello

La modellizzazione tramite AERMOD consiste in alcuni passaggi fondamentali che verranno riportati e spiegati di seguito in dettaglio:

- Definizione del Dominio: AERMOD come prima cosa necessita di un dominio da prendere in considerazione;

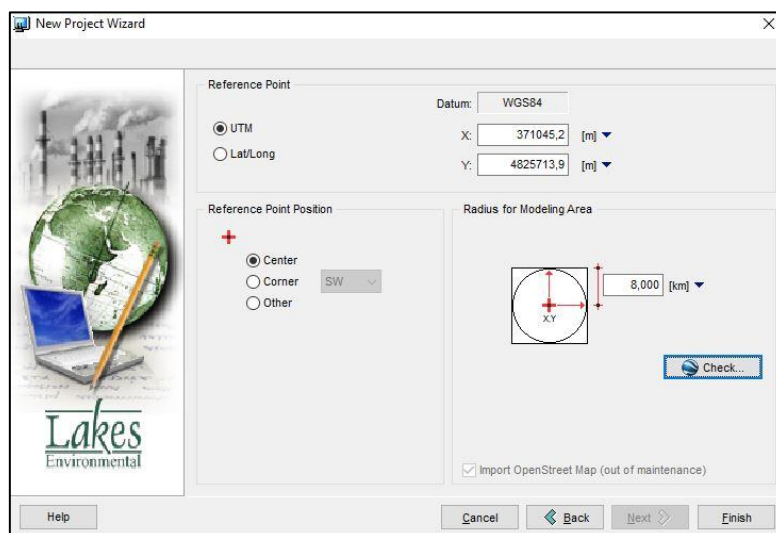


Figura 7: Definizione del dominio

Sono dunque state scelte le coordinate UTM (coordinate del centro) ed è stato poi scelto un raggio di 8 Km per descrivere l'area di modellizzazione.

- Inserimento dei File Meteo: come sopra descritto è stato preso in considerazione l'anno 2015 come anno di riferimento (1 gennaio 2015 – 31 dicembre 2015) ed i dati inseriti provenivano dalla centralina di Camerano.
- Terreno: bisogna ora scegliere le opzioni del terreno e il tipo di mappa e nel nostro caso si è adottato una volta il terreno in condizioni FLAT e una volta in condizioni ELEVATED, mentre per quanto riguarda il tipo di mappa è stata scelta GTOPO 30 con risoluzione SRTM a 90 metri.

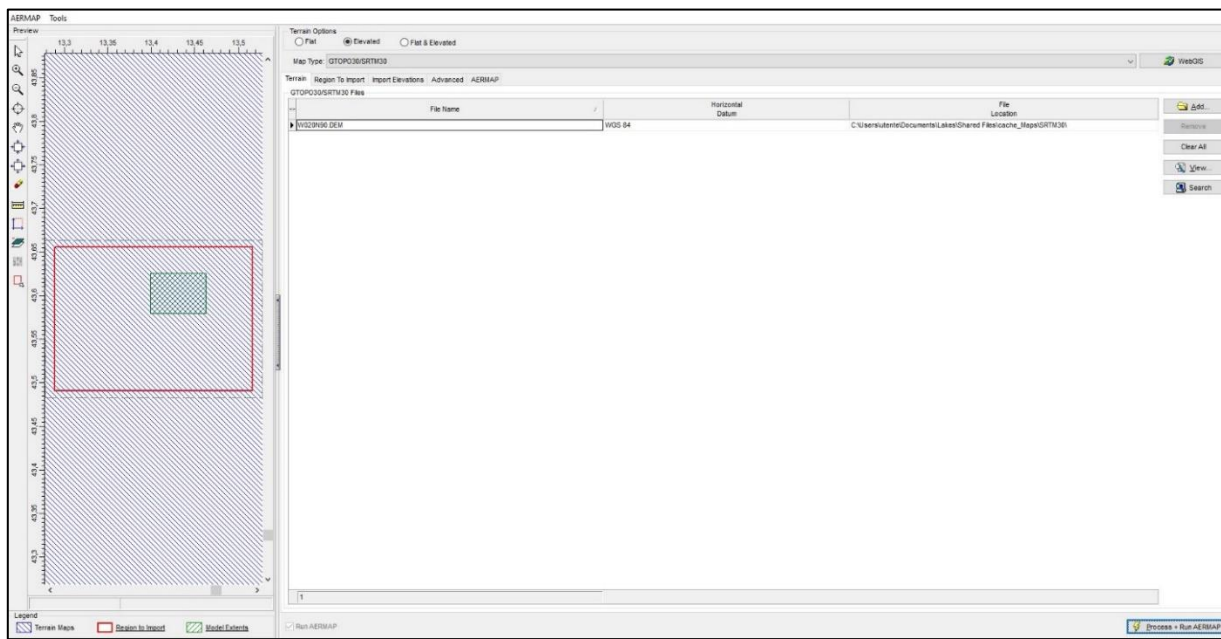


Figura 8: Scelta tipologia di mappa GTOPO30/SRTM30

Nella figura 8, si può osservare che la tipologia di mappa è GTOPO30/SRTM30 con risoluzione a 90 metri (parliamo di una risoluzione che entra abbastanza nel dettaglio dell'orografia); il file che è stato caricato per rappresentare l'orografia del territorio è un file DEM riferito al WGS 84 e nello specifico denominato W020N90.DEM.

- Definizione Griglia dei Recettori: è stata scelta una “Uniform Polar Grid” ovvero una griglia polare uniforme con il centro corrispondente al centro del dominio della modellizzazione.

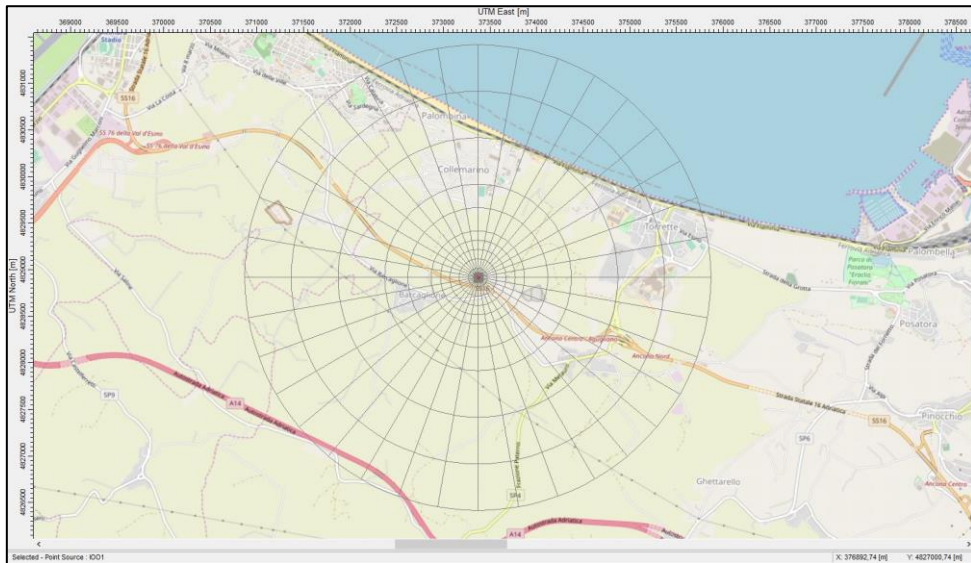


Figura 9: Uniform Polar Grid

Come si può notare dalla figura 9, la griglia è composta da 10 circonferenze concentriche ed è suddivisa in “spicchi”. Ogni circonferenza ha un raggio diverso dalle altre partendo da un valore di 100 metri fino ad arrivare a 2500 metri. Per quanto riguarda gli spicchi abbiamo 36 direzioni radiali di 10° ciascuna.

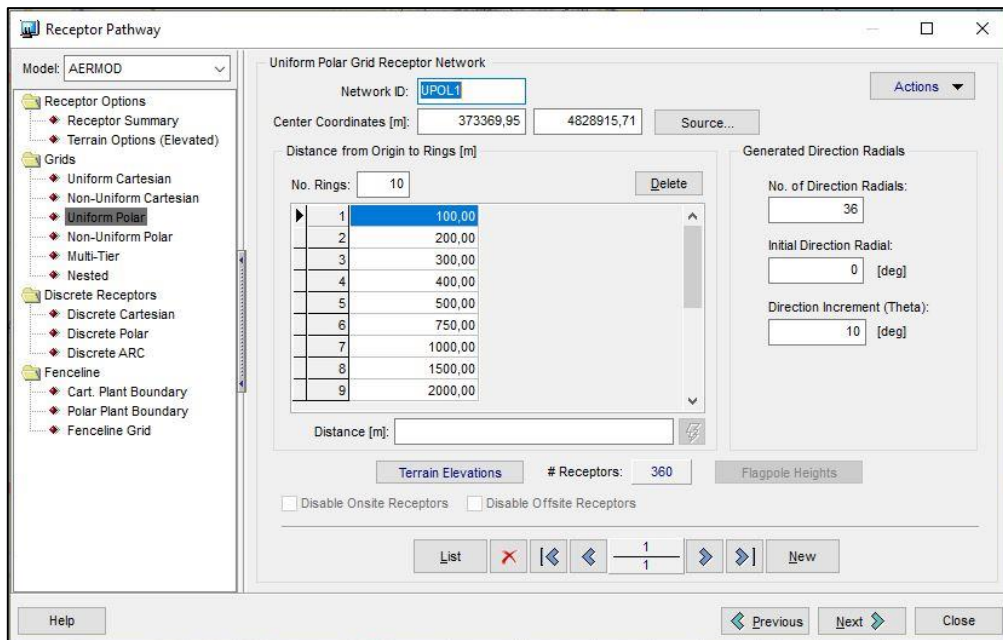


Figura 10: Caratteristiche della Polar Grid

Nella figura 10, si possono osservare in dettaglio le caratteristiche della griglia di recettori; innanzitutto il codice identificativo (in questo caso è stato lasciato quello di default), abbiamo poi le coordinate del centro che come sopra descritto, corrispondono al centro del dominio della modellizzazione, successivamente troviamo il numero di circonferenze concentriche (10 in questo caso) con tutti i valori dei raggi (distanze tra il centro e la circonferenza considerata) e per concludere troviamo il numero di direzioni radiali (36 nello specifico) e l'angolo di inclinazione Theta (10 deg).

- Definizione della Sorgente: per quanto riguarda il sistema di sorgenti, nel nostro caso si è deciso di inserirne soltanto una puntuale a rappresentanza del problema. La sorgente puntuale che è stata inserita rappresenta il camino di un sito industriale ed ha delle caratteristiche fisiche e geometriche che sono state attribuite in maniera casuale e sono state successivamente cambiate per vedere come cambia l'andamento della dispersione in funzione di tali parametri.

Figura 11: Sorgente I001

Come si può osservare nella figura 11, la sorgente è una sorgente puntuale contrassegnata con il codice I001, avente un profilo di rilascio verticale. La coordinata X e la coordinata Y rappresentano la posizione della sorgente e la Release Height (altezza di rilascio) in questo caso è assunta pari a 10 metri. Per quanto riguarda i parametri di rilascio della sorgente abbiamo: Emission Rate (tasso di emissione) assunto pari a 1 g/s, la Gas Exit Temperature (temperatura in uscita del gas) assunta pari a 313,15 K, il Stack Inside Diameter (diametro interno) assunto pari ad 1 m, la Gas Exit Velocity

(velocità di uscita del gas) assunta pari a 1 m/s ed infine abbiamo un parametro chiamato Gas Exit Flow Rate (portata di uscita del gas) che viene calcolato dal modello in funzione degli altri parametri.

- A questo punto definita la griglia dei recettori e stabilito il sistema di sorgenti (in questo caso soltanto una), il passaggio successivo consiste nel “riprocessare il terreno” ovvero si torna nella schermata “Terrain” e si fa girare nuovamente AERMAP.

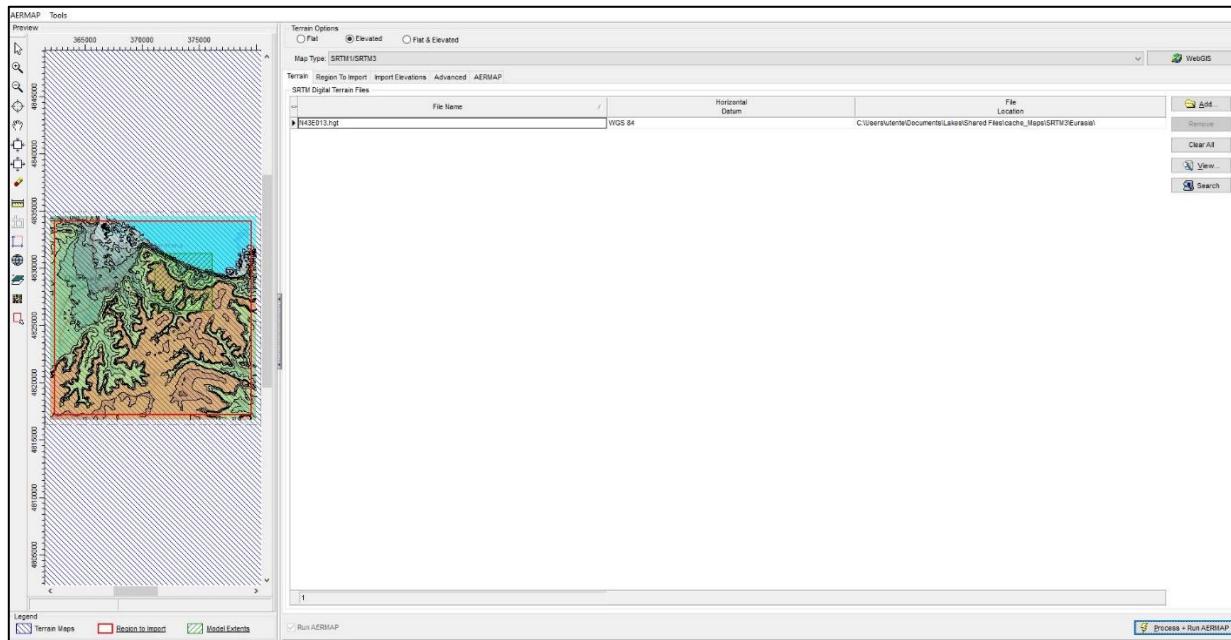


Figura 12: Schermata "terrain"

Per riprocessare il terreno è sufficiente cliccare in basso a destra su “Process + Run AERMAP”; il preprocessore AERMAP modellerà di nuovo il terreno tenendo conto però questa volta anche delle caratteristiche della sorgente.

- Siamo arrivati ora all'ultimo punto nel quale si fa girare il modello AERMOD; abbiamo definito il dominio, abbiamo processato i file meteo grazie all'utilizzo del preprocessore AERMET, abbiamo definito il terreno inserendo il file digitalizzato e scegliendo la risoluzione, abbiamo definito la griglia dei recettori, abbiamo definito il sistema di sorgenti, abbiamo riprocessato il terreno grazie all'utilizzo del preprocessore AERMAP e siamo dunque pronti a far girare il modello. Come risultato otterremo una mappa di iso-concentrazione riferita al periodo medio.

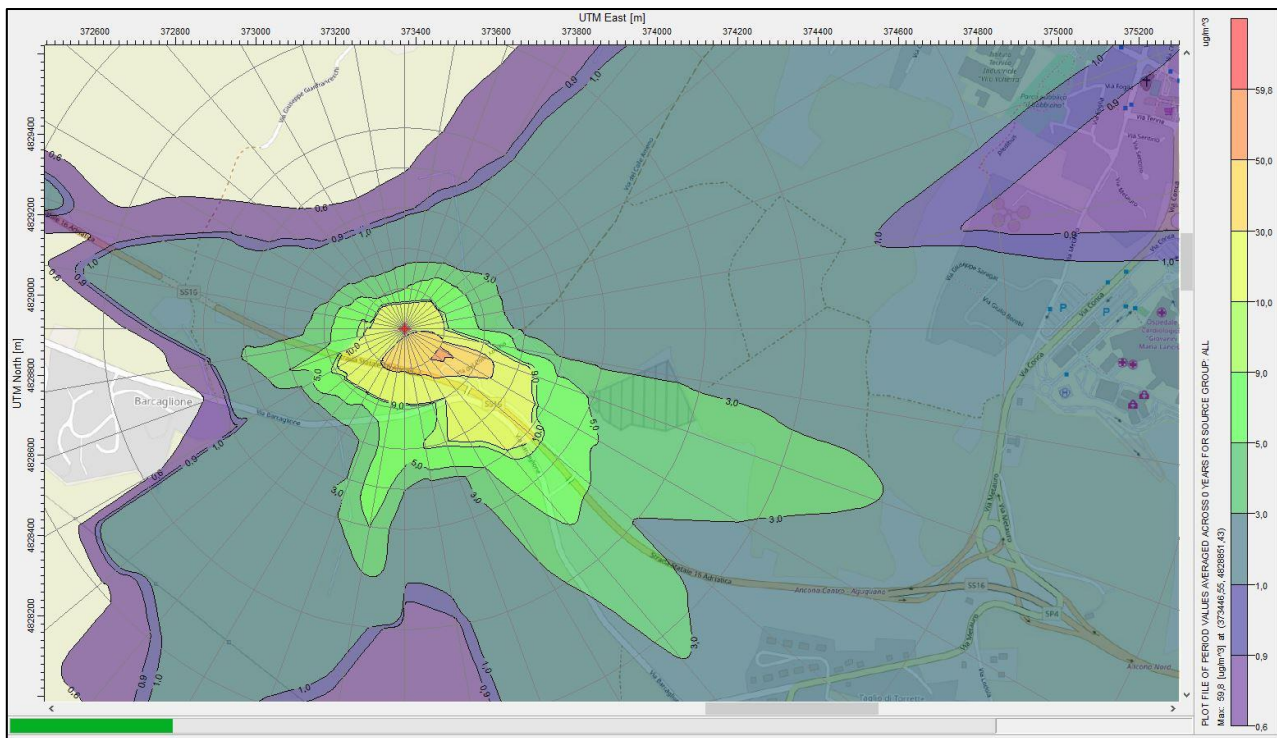


Figura 13: File output IE001

Come si può notare dalla figura 13, la distribuzione delle sostanze inquinanti tenderà a svilupparsi verso sud-est con il picco di concentrazione (colore arancione) ad una distanza di circa 100 metri dalla sorgente caratterizzato da un valore di $59,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$. La concentrazione minima dell'inquinante invece la troviamo a diverse distanze dalla sorgente (colore viola) ed è pari a $0,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

3.2 Simulazioni eseguite

Come anticipato all'inizio del capitolo 3, lo scopo del lavoro è quello di eseguire dei confronti tra situazioni simili variando un solo parametro alla volta, per poi trarre delle conclusioni e avanzare delle ipotesi di tipo tecnico sulla variazione della dispersione degli inquinanti. Verranno dunque riportate di seguito tutte le altre simulazioni eseguite mettendo in evidenza la descrizione dei soli passaggi che hanno subito delle variazioni rispetto a quelli svolti nella prima simulazione.

- Nella seconda simulazione si è adottato il terreno in condizioni FLAT lasciando inalterato tutto il resto quindi l'unico passaggio che cambia è quello del processo del terreno poiché per le condizioni FLAT il terreno non va riprocessato.

Possiamo dunque analizzare i risultati:

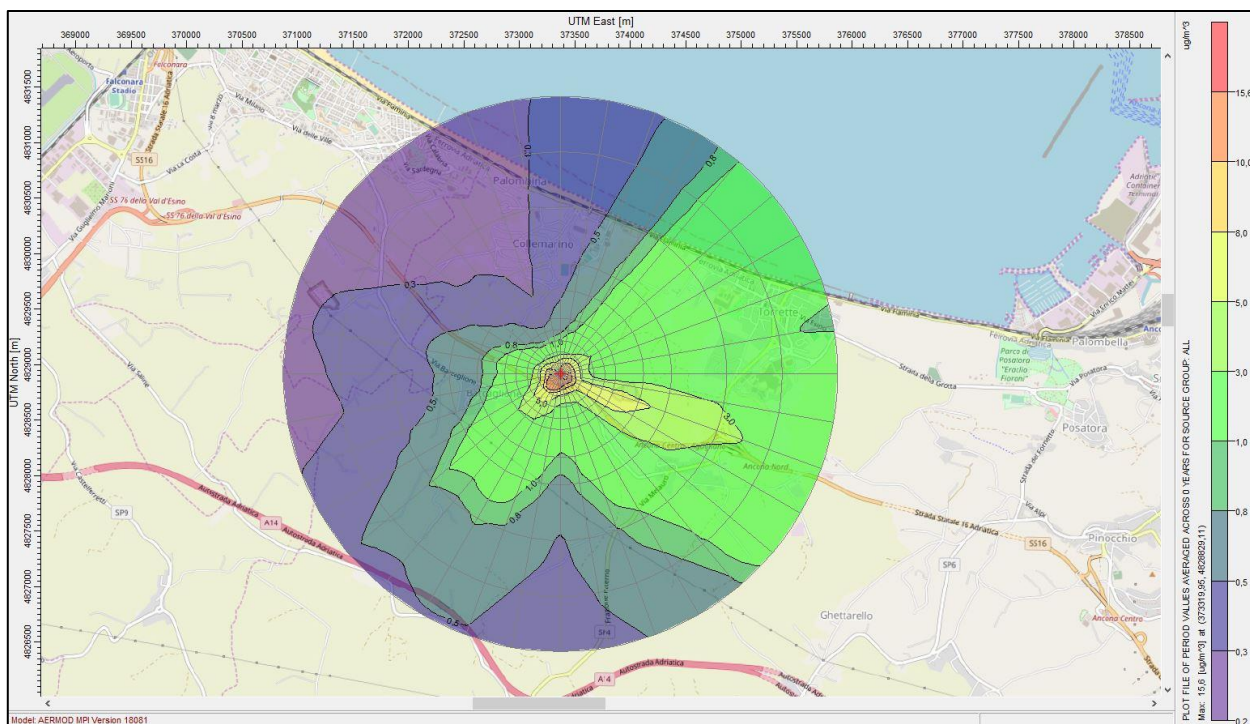


Figura 14: File output IF001

Come si può notare dalla figura 14, la distribuzione delle sostanze inquinanti con concentrazioni maggiori tenderà a svilupparsi verso sud con il picco di concentrazione (colore arancione) in corrispondenza della sorgente caratterizzato da un valore di $15,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$. La concentrazione minima dell'inquinante (colore viola) invece la troviamo a nord della sorgente ad una distanza di circa 2500 metri con un valore di $0,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

- Nella terza simulazione, rispetto alla prima, si è cambiato il parametro “Release Height” lasciando inalterato tutto il resto: abbiamo dunque ipotizzato di avere un camino molto più elevato rispetto a quello della prima simulazione e che quindi la sostanza inquinante venga rilasciata ad un'altezza superiore.

Source Inputs

Source Type: Type: POINT Source ID: I002 Release Type: Vertical

Description: (Optional)

Source Location

X Coordinate: 373369,95 [m]
 Y Coordinate: 4828915,71 [m]
 Base Elevation: 83,92 [m]
 Release Height: 30,0 [m]

Source Release Parameters

Emission Rate: 1 [g/s]
 Gas Exit Temperature: 313,15 [K] Fixed Ambient Above Ambient
 Stack Inside Diameter: 1,0 [m]
 Gas Exit Velocity: 1,0 [m/s]
 Gas Exit Flow Rate: 0,7854 [m³/s]

Help [Icons] New [Icons] Close

Figura 15: Sorgente I002

Come sopra anticipato l'unico parametro che è cambiato rispetto alla sorgente I001 è la Release Height che è passata da 10 metri a 30 metri.

Possiamo dunque analizzare i risultati di questa simulazione:

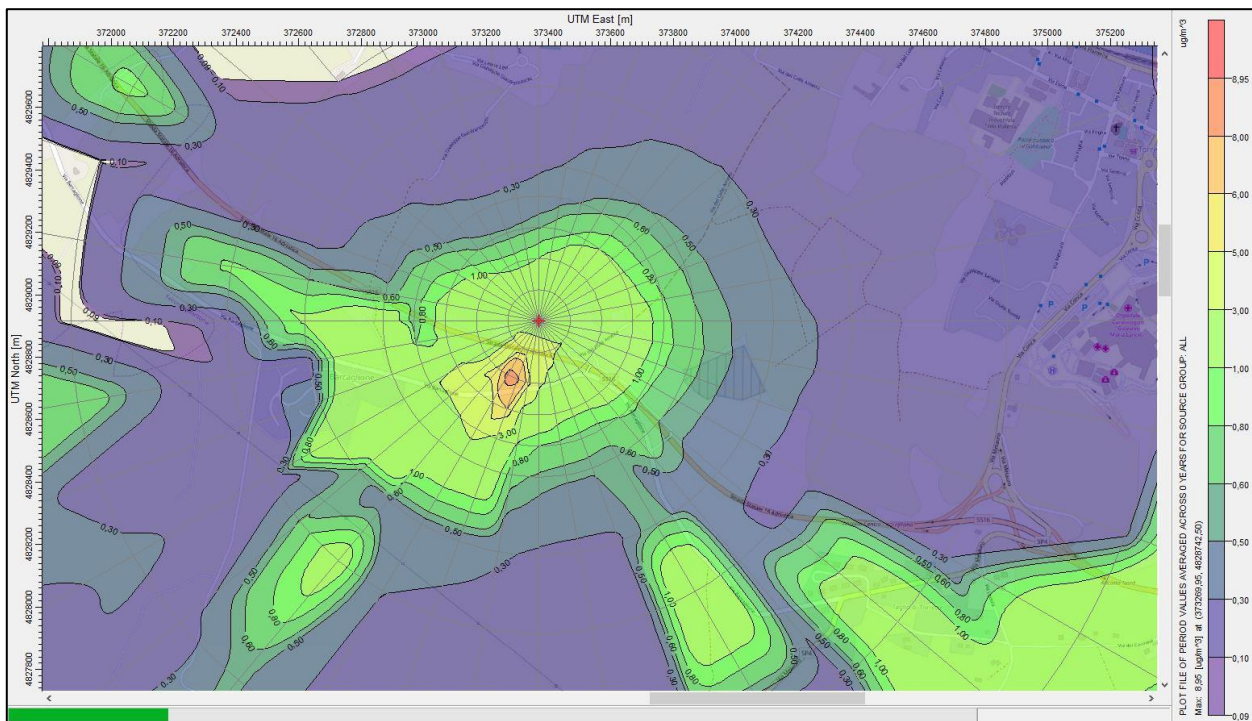


Figura 16: File output IE002

Come si può notare dalla figura 16, la distribuzione delle sostanze inquinanti con concentrazioni maggiori tenderà a svilupparsi verso sud-ovest con il picco di concentrazione (colore arancione) ad una distanza di circa 200 metri dalla sorgente caratterizzato da un valore di $8,95 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

La concentrazione minima dell'inquinante (colore viola) la troviamo nella zona a sud-est della sorgente con un valore di $0,09 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

- Nella quarta simulazione, rispetto alla terza si è adottato il terreno in condizioni FLAT lasciando inalterato tutto il resto quindi l'unico passaggio che cambia è quello del processo del terreno poiché per le condizioni FLAT il terreno non va riprocessato.

Possiamo dunque analizzare i risultati:

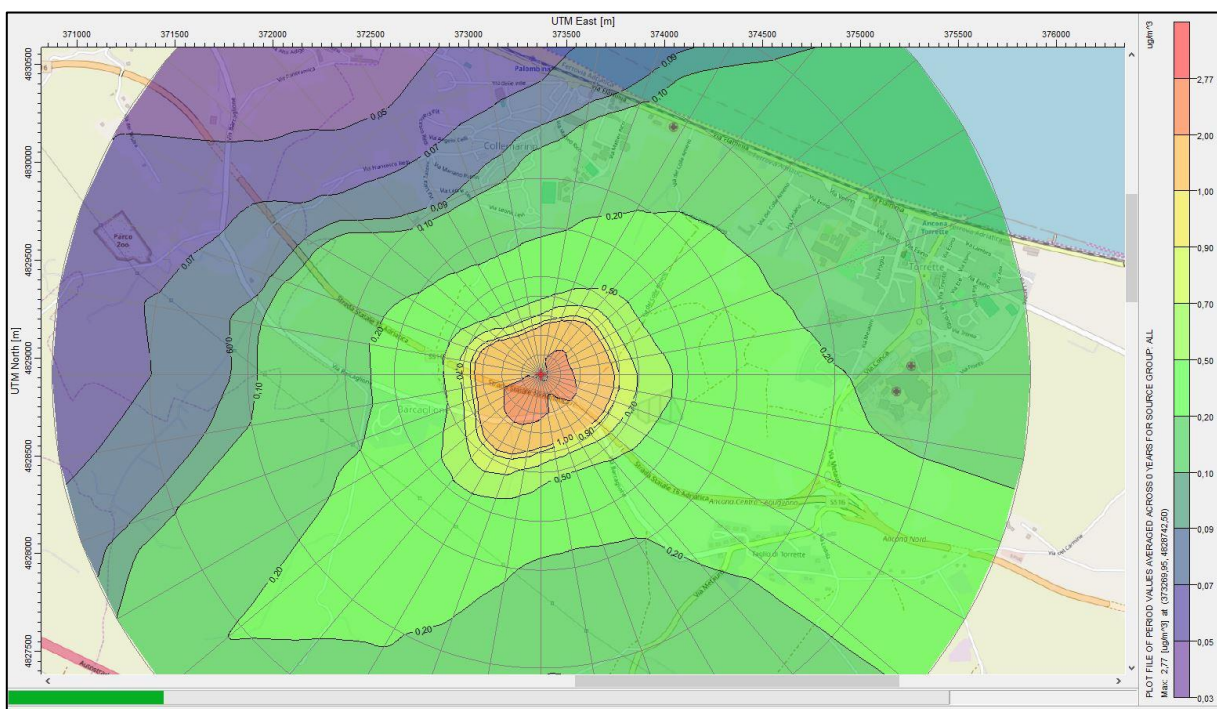


Figura 17: File output IF002

Come si può notare dalla figura 17, la distribuzione delle sostanze inquinanti con concentrazioni maggiori tenderà a svilupparsi verso sud-est, con il picco di concentrazione (colore arancione) circa in prossimità della sorgente (verso sud) fino ad una distanza di 300 metri dalla sorgente caratterizzato da un valore di $2,77 \mu\text{g}/\text{m}^3$. La concentrazione minima dell'inquinante (colore viola) la troviamo nella zona a nord-est della sorgente con un valore di $0,03 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

- Nella quinta simulazione, rispetto alla prima, si è cambiato il parametro “Emission Rate” lasciando inalterato tutto il resto: abbiamo dunque ipotizzato di avere un tasso di emissione molto più grande rispetto a quello della prima simulazione.

Source Inputs

Source Type: Type: POINT Source ID: I003 Release Type: Vertical

Description: (Optional)

Source Location

X Coordinate: 373369,95 [m]
Y Coordinate: 4828915,71 [m]
Base Elevation: [m]
Release Height: 10,0 [m]

Source Release Parameters

Emission Rate: 3,0 [g/s]
Gas Exit Temperature: 40,0 [C] Fixed Ambient Above Ambient
Stack Inside Diameter: 1,0 [m]
Gas Exit Velocity: 1,0 [m/s]
Gas Exit Flow Rate: 0,7854 [m³/s]

Help [Icons] New [Icons] Close

Figura 18: Sorgente I003

Come sopra anticipato l'unico parametro che è cambiato rispetto alla sorgente I001 è l'Emission Rate che è passato da 1 g/s a 3 g/s.

Possiamo dunque analizzare i risultati di questa simulazione:

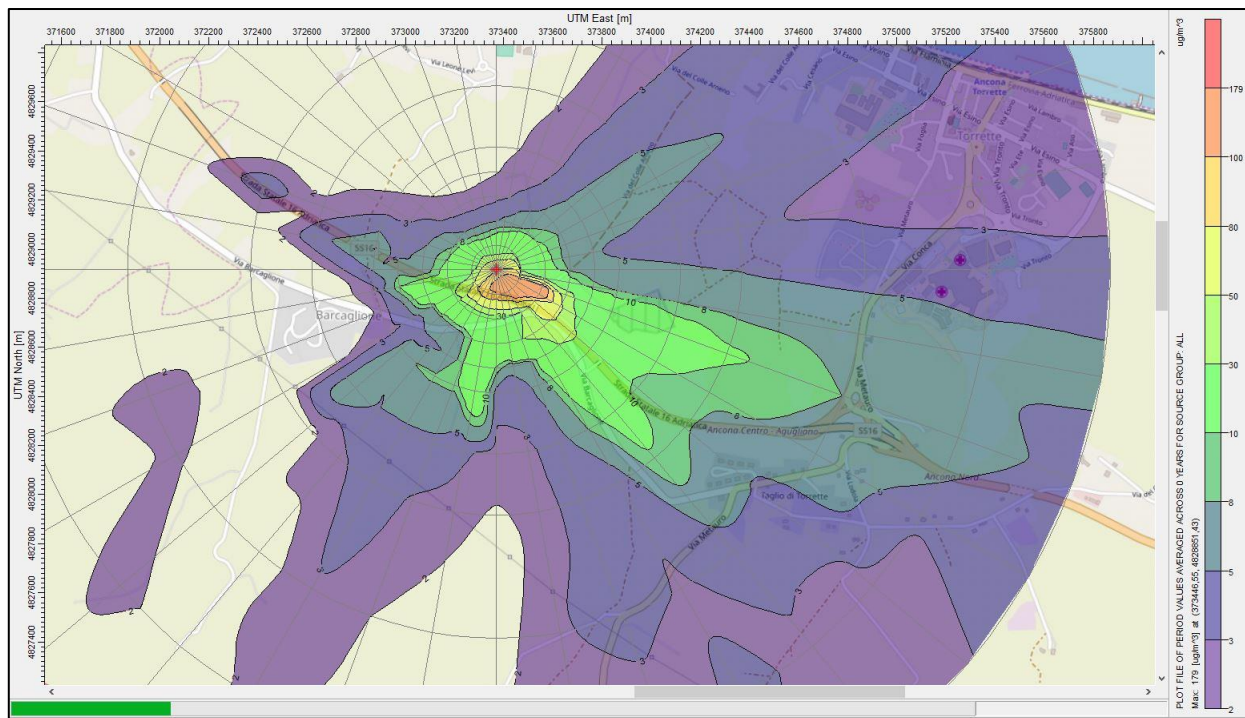


Figura 19: File output IE003

Come si può notare dalla figura 19, la distribuzione delle sostanze inquinanti con concentrazioni maggiori tenderà a svilupparsi verso sud, con il picco di concentrazione (colore arancione) circa in prossimità della sorgente (verso sud) fino ad una distanza di 200 metri dalla sorgente caratterizzato da un valore di $179 \mu\text{g}/\text{m}^3$. La concentrazione minima dell'inquinante (colore viola) la troviamo nella zona a sud-ovest della sorgente con un valore di $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

- Nella sesta simulazione, rispetto alla quinta si è adottato il terreno in condizioni FLAT lasciando inalterato tutto il resto quindi l'unico passaggio che cambia è quello del processo del terreno poiché per le condizioni FLAT il terreno non va riprocessato.

Possiamo dunque analizzare i risultati:

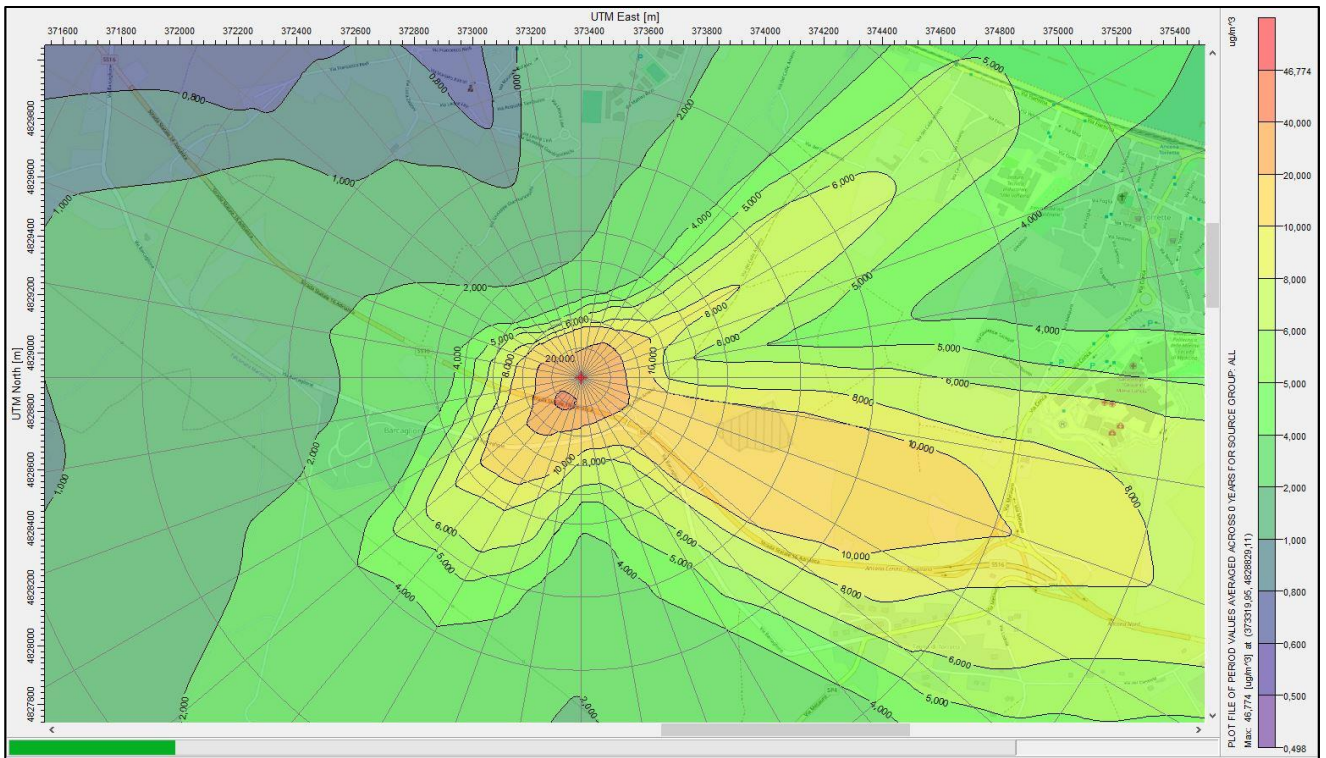


Figura 20: File output IF003

Come si può notare dalla figura 20, la distribuzione delle sostanze inquinanti con concentrazioni maggiori tenderà a svilupparsi verso sud, con il picco di concentrazione (colore arancione) ad una distanza di 100 metri circa dalla sorgente verso ovest, caratterizzato da un valore di $46,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

La concentrazione minima dell'inquinante (colore viola) la troviamo nella zona a sud-est della sorgente con un valore di $0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

- Nella settima simulazione, rispetto alla prima, si è cambiato il parametro “Gas Exit Velocity” lasciando inalterato tutto il resto: abbiamo dunque ipotizzato di avere una velocità di uscita del gas molto più grande rispetto a quella della prima simulazione.

Source Inputs

Source Type
 Type: POINT Source ID: I004 Release Type: Vertical

Description: (Optional)

Source Location
 X Coordinate: 373369,95 [m]
 Y Coordinate: 4828915,71 [m]
 Base Elevation: [m]
 Release Height: 10,0 [m]

Source Release Parameters
 Emission Rate: 1 [g/s]
 Gas Exit Temperature: 40,0 [C] Fixed Ambient Above Ambient
 Stack Inside Diameter: 1,0 [m]
 Gas Exit Velocity: 3,0 [m/s]
 Gas Exit Flow Rate: 2,3562 [m³/s]

Help [Icons] New [Icons] Close

Figura 21: Sorgente I004

Come sopra anticipato l'unico parametro che è cambiato rispetto alla sorgente I001 è la Gas Exit Velocity che è passata da 1 m/s a 3 m/s.

Possiamo dunque analizzare i risultati di questa simulazione:

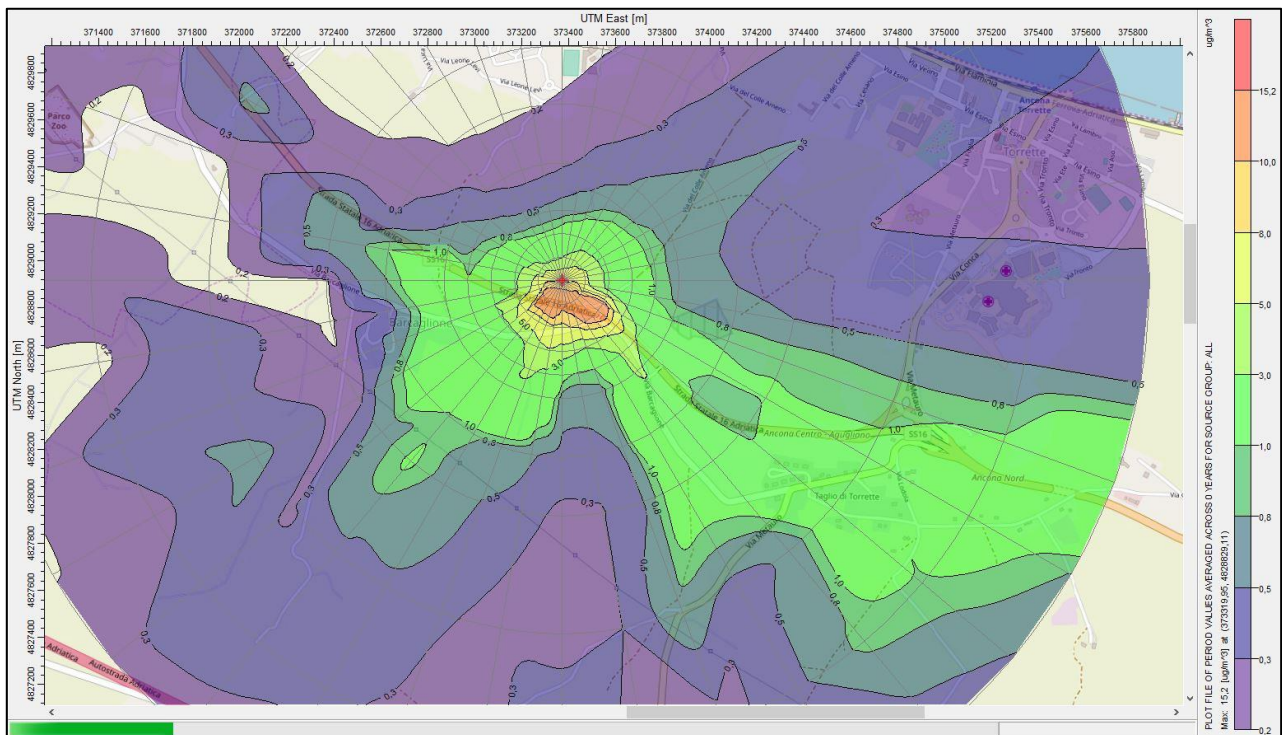


Figura 22: File output IE004

Come si può notare dalla figura 22, la distribuzione delle sostanze inquinanti con concentrazioni maggiori tenderà a svilupparsi verso sud, con il picco di concentrazione (colore arancione) circa in prossimità della sorgente (verso sud-ovest) fino ad una distanza di 200 metri, caratterizzato da un valore di $15,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$. La concentrazione minima dell'inquinante (colore viola) la troviamo nella zona a sud-ovest e nord-est della sorgente con un valore di $0,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

- Nell'ottava simulazione, rispetto alla settima si è adottato il terreno in condizioni FLAT lasciando inalterato tutto il resto quindi l'unico passaggio che cambia è quello del processo del terreno poiché per le condizioni FLAT il terreno non va riprocessato.

Possiamo dunque analizzare i risultati:

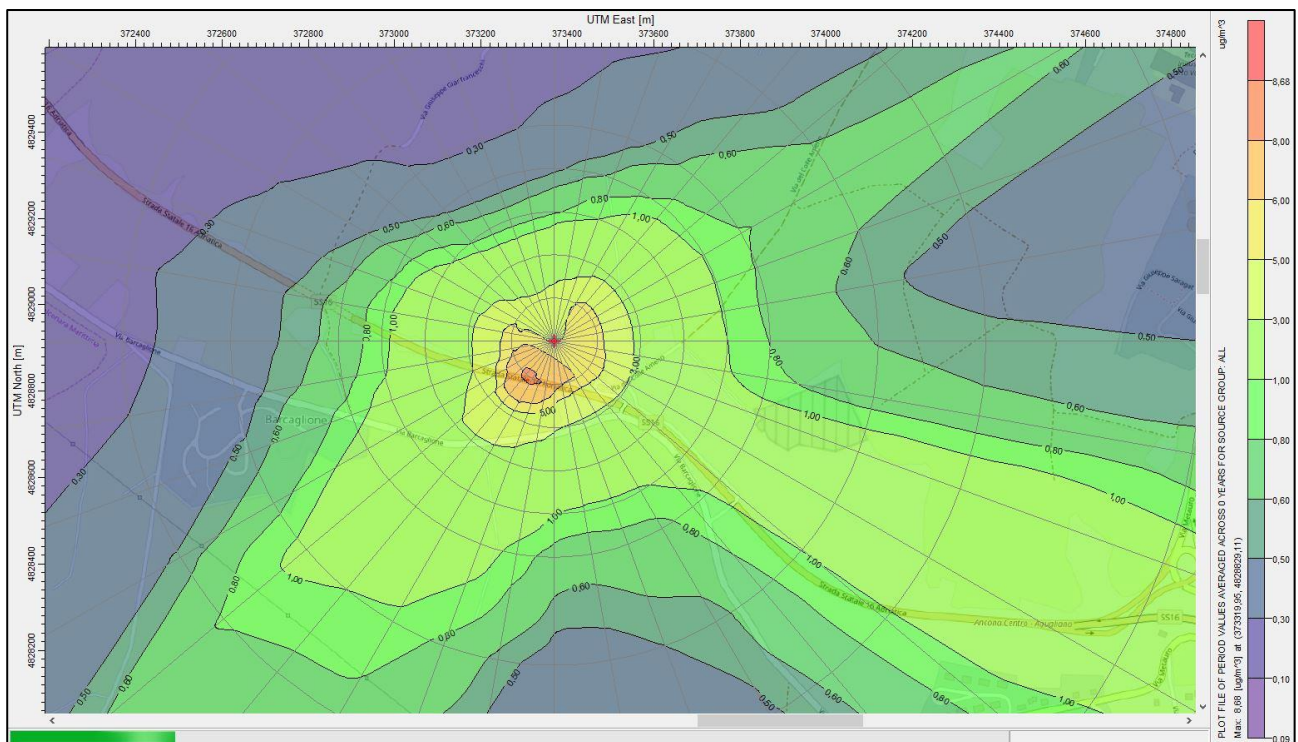


Figura 23: File output IF004

Come si può notare dalla figura 23, la distribuzione delle sostanze inquinanti con concentrazioni maggiori tenderà a svilupparsi verso sud, con il picco di concentrazione (colore arancione) ad una distanza di 100 metri circa dalla sorgente (verso sud-ovest), caratterizzato da un valore di $8,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$. La concentrazione minima dell'inquinante (colore viola) la troviamo principalmente nella zona a nord-ovest della sorgente con un valore di $0,09 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

- Nella nona simulazione, rispetto alla prima, si è cambiato il parametro “Stack Inside Diameter” lasciando inalterato tutto il resto: abbiamo dunque ipotizzato di avere un valore del diametro interno del camino molto più grande rispetto a quello della prima simulazione.

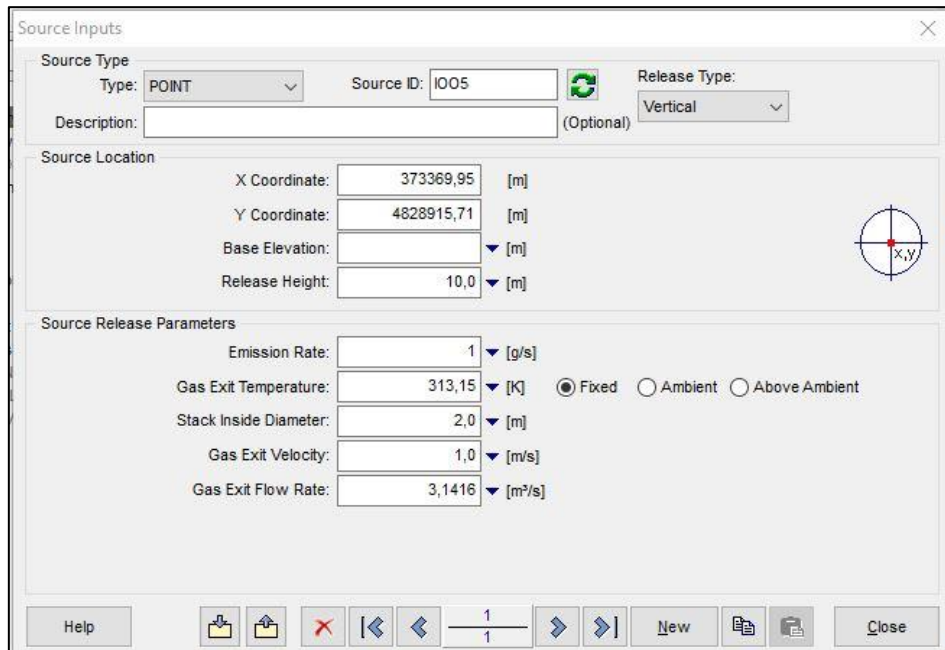


Figura 24: Sorgente I005

Come sopra anticipato, l'unico parametro che è cambiato rispetto alla sorgente I001 è lo Stack Inside Diameter che è passato da 1 metro a 2 metri.

Possiamo dunque analizzare i risultati di questa simulazione:

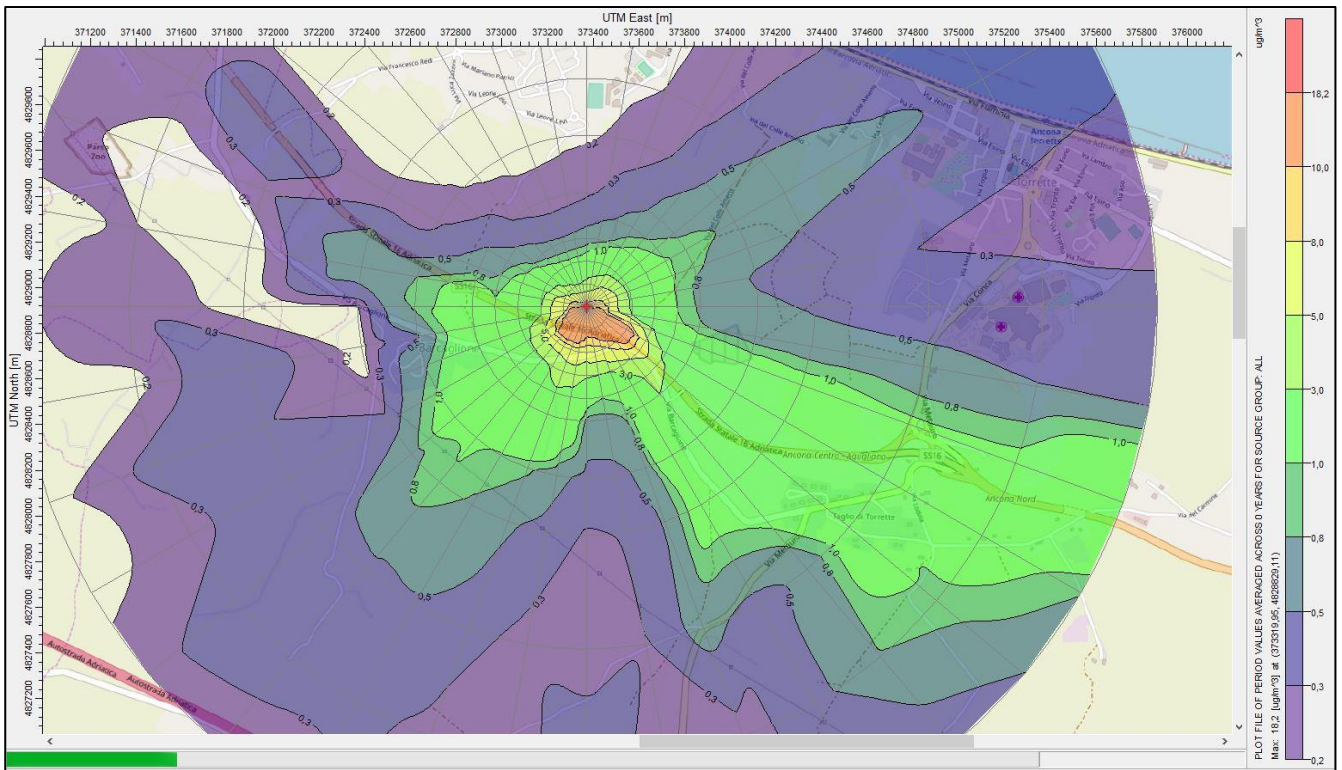


Figura 25: File output IE005

Come si può notare dalla figura 25, la distribuzione delle sostanze inquinanti con concentrazioni maggiori tenderà a svilupparsi verso sud, con il picco di concentrazione (colore arancione) in prossimità della sorgente fino ad una distanza di 200 metri dalla sorgente (verso sud-ovest), caratterizzato da un valore di $18,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$. La concentrazione minima dell'inquinante (colore viola) la troviamo principalmente nella zona a sud-ovest della sorgente con un valore di $0,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

- Nella decima simulazione, rispetto alla nona si è adottato il terreno in condizioni FLAT lasciando inalterato tutto il resto quindi l'unico passaggio che cambia è quello del processo del terreno poiché per le condizioni FLAT il terreno non va riprocessato.

Possiamo dunque analizzare i risultati:

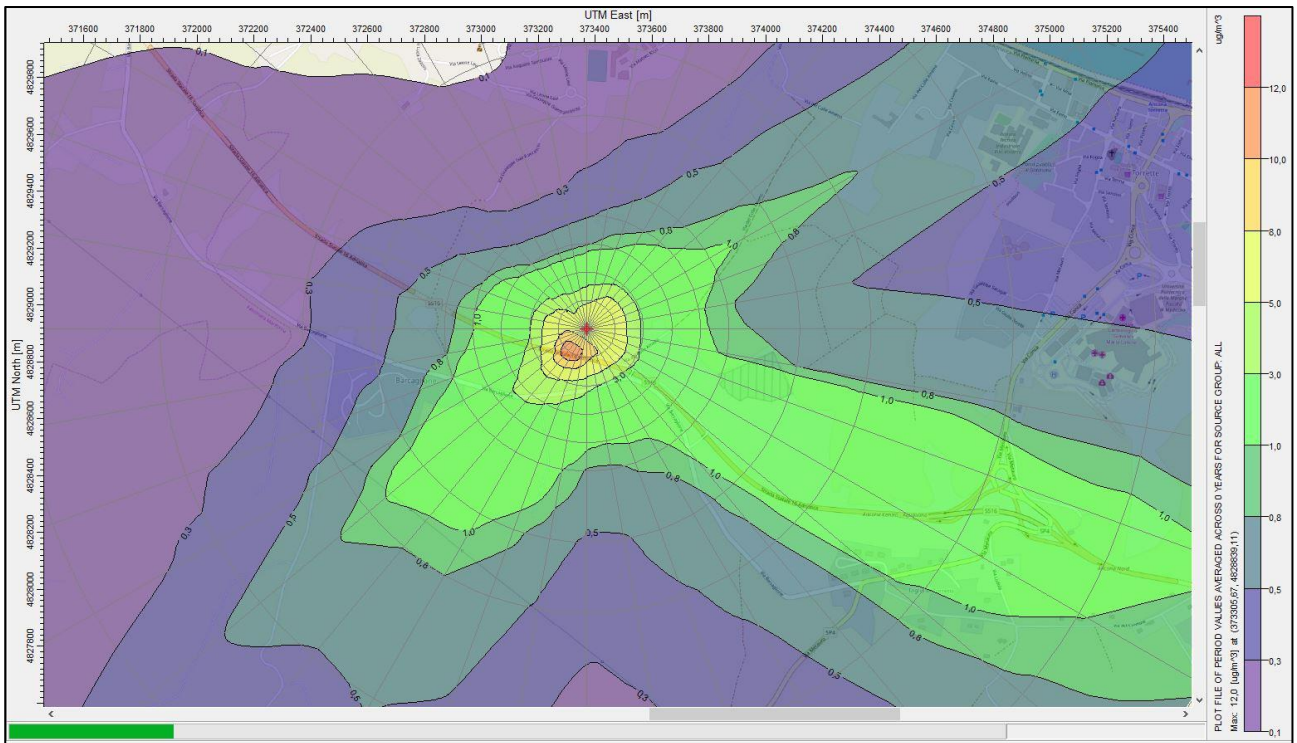


Figura 26: File output IF005

Come si può notare dalla figura 26, la distribuzione delle sostanze inquinanti con concentrazioni maggiori tenderà a svilupparsi verso sud, con il picco di concentrazione (colore arancione) ad una distanza di circa 100 metri dalla sorgente (verso ovest), caratterizzato da un valore di $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

La concentrazione minima dell'inquinante (colore viola) la troviamo principalmente nella zona a nord-est e nord-ovest della sorgente con un valore di $0,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Dopo aver eseguito queste dieci simulazioni, si è deciso di svilupparne altre 5 adottando però per quanto riguarda il terreno, una tipologia di mappa SRTM1/SRTM3 con risoluzione a 900 metri in condizioni Elevated.

Tutto il resto rimane inalterato: le sorgenti saranno sempre le stesse cinque, con gli stessi cambiamenti adottati per le simulazioni precedenti.

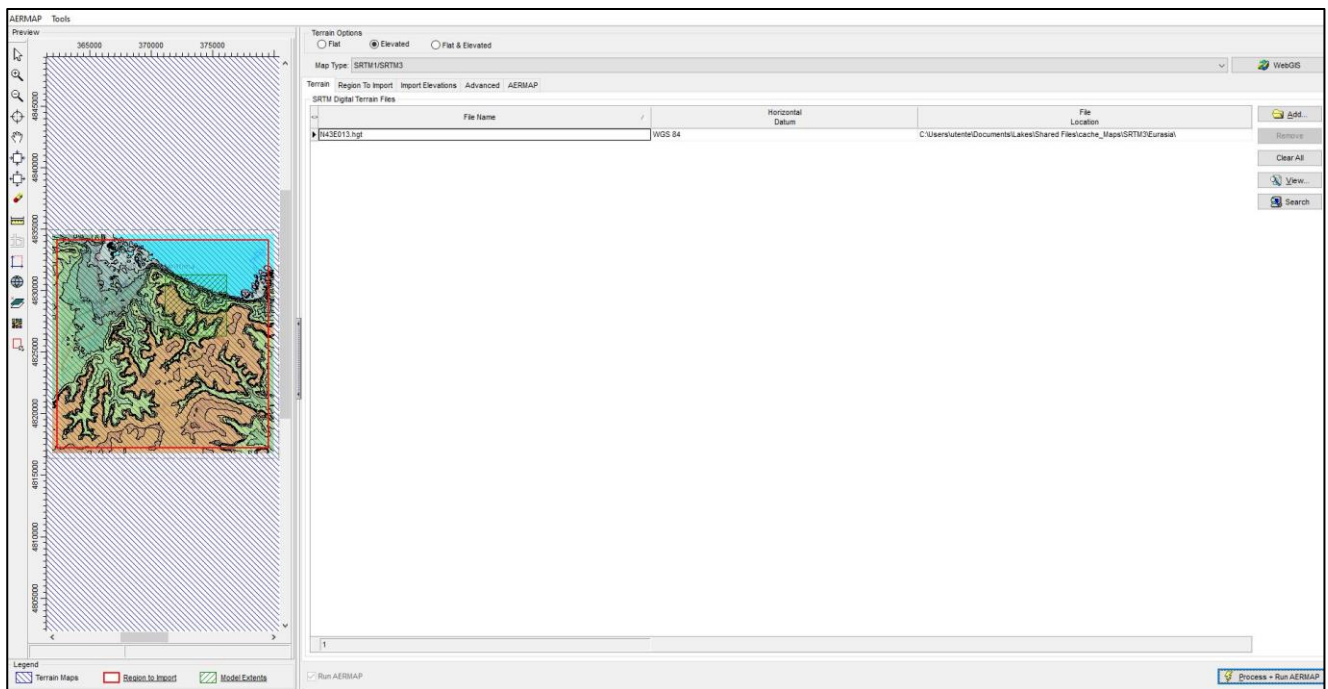


Figura 27: Scelta tipologia di mappa SRTM1/SRTM3

Nella figura 27, si può notare che la tipologia di mappa è SRTM1/SRTM3 con risoluzione a 900 metri (parliamo di una risoluzione molto ampia dove nella maggior parte dei casi non entra più in gioco il concetto di Elevated poiché con tale risoluzione è come se parlassimo di condizione Flat); il file che è stato caricato per rappresentare l'orografia del territorio è un file hgt riferito al WGS 84 e nello specifico denominato N43E013.hgt.

Verranno riportati dunque di seguito i risultati di queste ultime cinque simulazioni, ovvero le mappe di iso-concentrazione e verranno riportate delle brevi considerazioni dal punto di vista della distribuzione delle sostanze inquinanti.

- Nell'undicesima simulazione, rispetto alla prima, si è cambiata solo la tipologia di mappa del terreno lasciando inalterato tutto il resto: abbiamo dunque ipotizzato di adottare una risoluzione del terreno molto più grande rispetto a quella della prima simulazione.

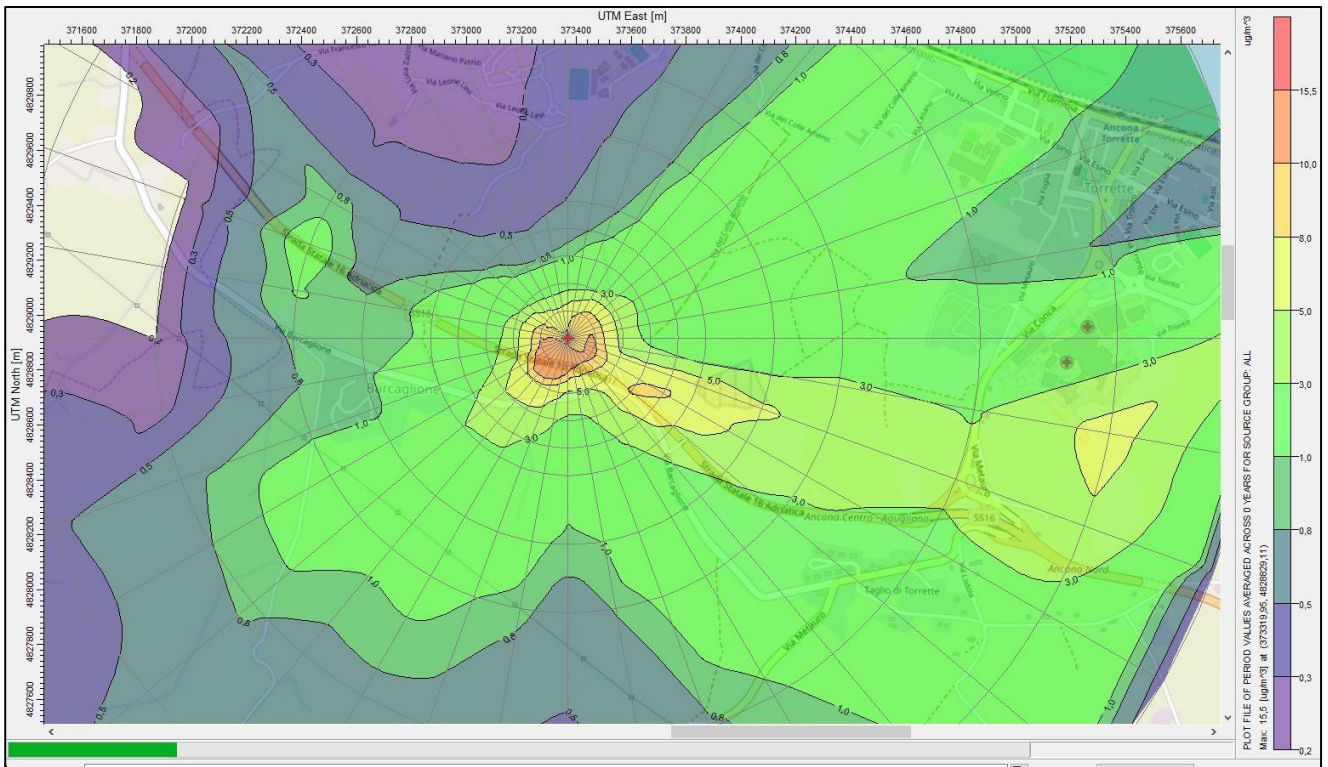


Figura 28: File output IEE1

Come si può notare dalla figura 28, la distribuzione delle sostanze inquinanti con concentrazioni maggiori tenderà a svilupparsi verso sud-est, con il picco di concentrazione (colore arancione) in prossimità della sorgente fino ad una distanza di circa 200 metri dalla sorgente (verso sud-ovest), caratterizzato da un valore di $15,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

La concentrazione minima dell'inquinante (colore viola) la troviamo principalmente nella zona a nord-est della sorgente con un valore di $0,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

- Nella dodicesima simulazione, rispetto alla seconda, si è cambiata solo la tipologia di mappa del terreno lasciando inalterato tutto il resto: abbiamo dunque ipotizzato di adottare una risoluzione del terreno molto più grande rispetto a quella della prima simulazione.

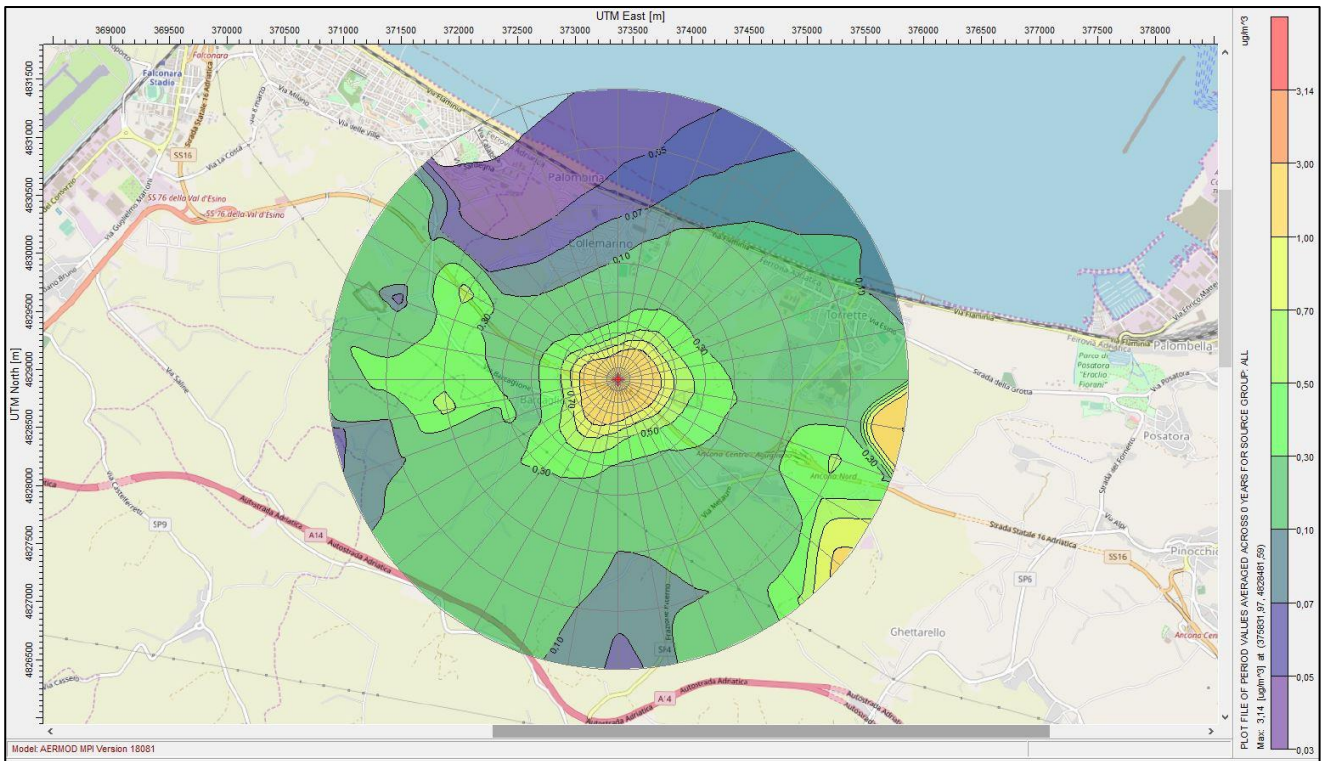


Figura 29: File output IEE2

Come si può notare dalla figura 29, la distribuzione delle sostanze inquinanti con concentrazioni maggiori tenderà a svilupparsi principalmente verso sud-ovest e nord-ovest, con il picco di concentrazione (colore arancione) in prossimità della sorgente fino ad una distanza di 400 metri circa dalla sorgente in tutte le direzioni, caratterizzato da un valore di $3,14 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

La concentrazione minima dell'inquinante (colore viola) la troviamo principalmente nella zona a nord-est della sorgente con un valore di $0,03 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

- Nella tredicesima simulazione, rispetto alla terza, si è cambiata solo la tipologia di mappa del terreno lasciando inalterato tutto il resto: abbiamo dunque ipotizzato di adottare una risoluzione del terreno molto più grande rispetto a quella della prima simulazione.

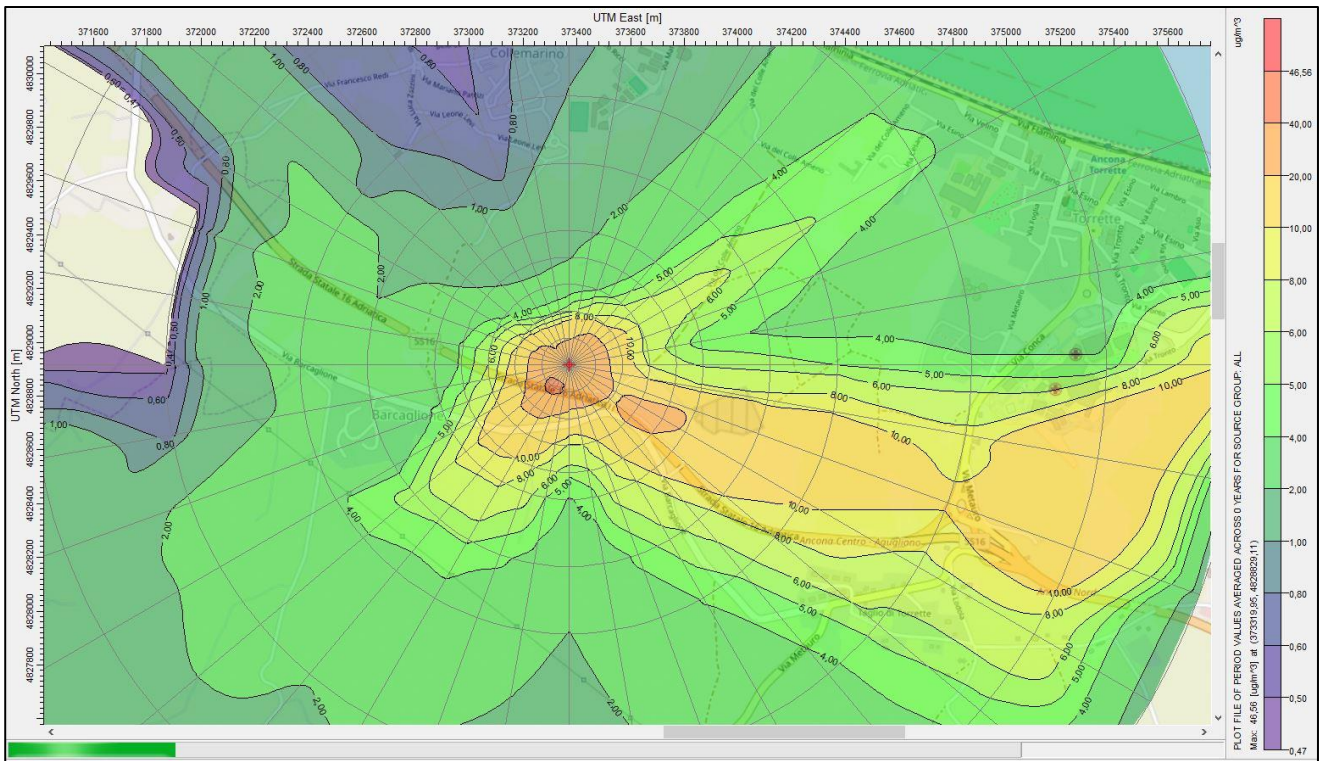


Figura 30: File output IEE3

Come si può notare dalla figura 30, la distribuzione delle sostanze inquinanti con concentrazioni maggiori tenderà a svilupparsi principalmente verso sud, con il picco di concentrazione (colore arancione) circa in prossimità della sorgente fino ad una distanza di 200 metri circa dalla sorgente in tutte le direzioni, caratterizzato da un valore di $46,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

La concentrazione minima dell'inquinante (colore viola) la troviamo principalmente nella zona a nord-est della sorgente con un valore di $0,47 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

- Nella quattordicesima simulazione, rispetto alla quarta, si è cambiata solo la tipologia di mappa del terreno lasciando inalterato tutto il resto: abbiamo dunque ipotizzato di adottare una risoluzione del terreno molto più grande rispetto a quella della prima simulazione.

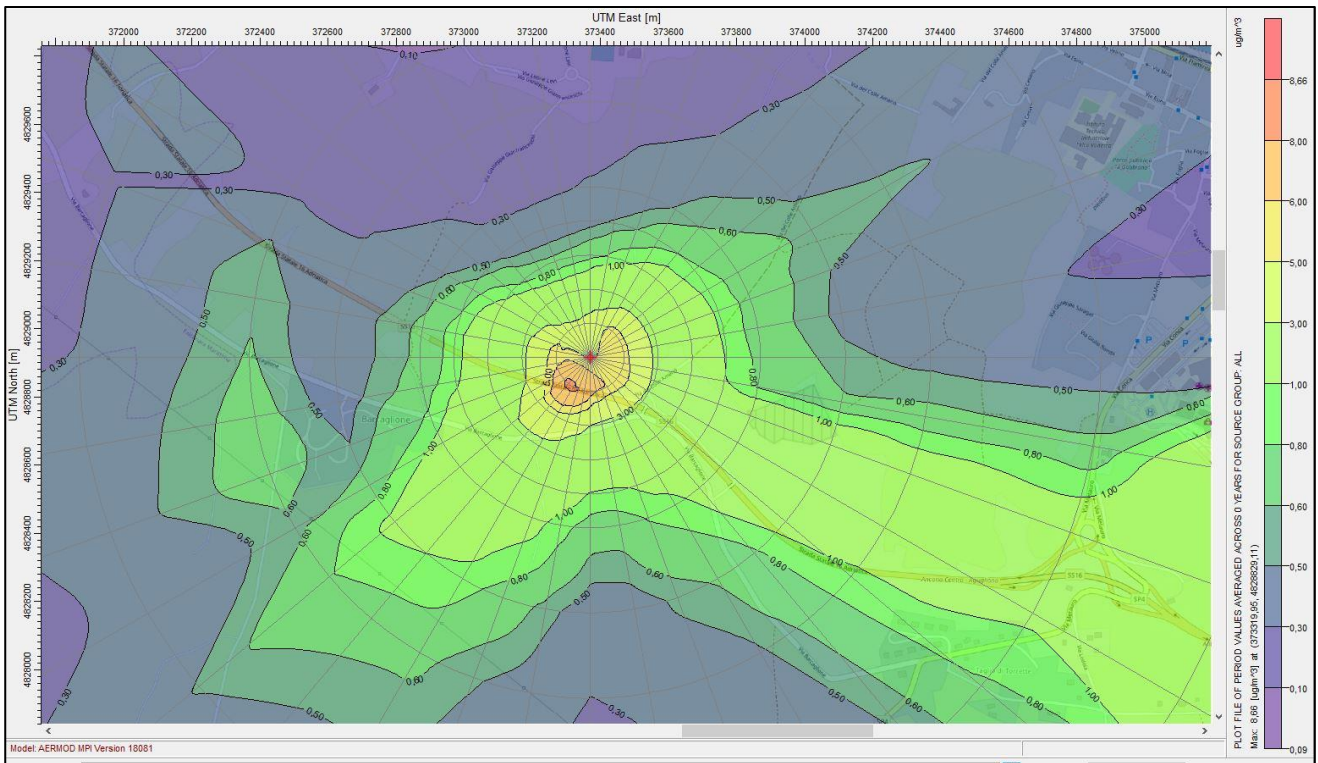


Figura 31: File output IEE4

Come si può notare dalla figura 31, la distribuzione delle sostanze inquinanti con concentrazioni maggiori tenderà a svilupparsi principalmente verso sud, con il picco di concentrazione (colore arancione) ad una distanza di 100 metri circa dalla sorgente (verso ovest), caratterizzato da un valore di $8,66 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

La concentrazione minima dell'inquinante (colore viola) la troviamo principalmente nella zona a nord-ovest e nord-est della sorgente con un valore di $0,09 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

- Nella quindicesima simulazione, rispetto alla quinta, si è cambiata solo la tipologia di mappa del terreno lasciando inalterato tutto il resto: abbiamo dunque ipotizzato di adottare una risoluzione del terreno molto più grande rispetto a quella della prima simulazione.

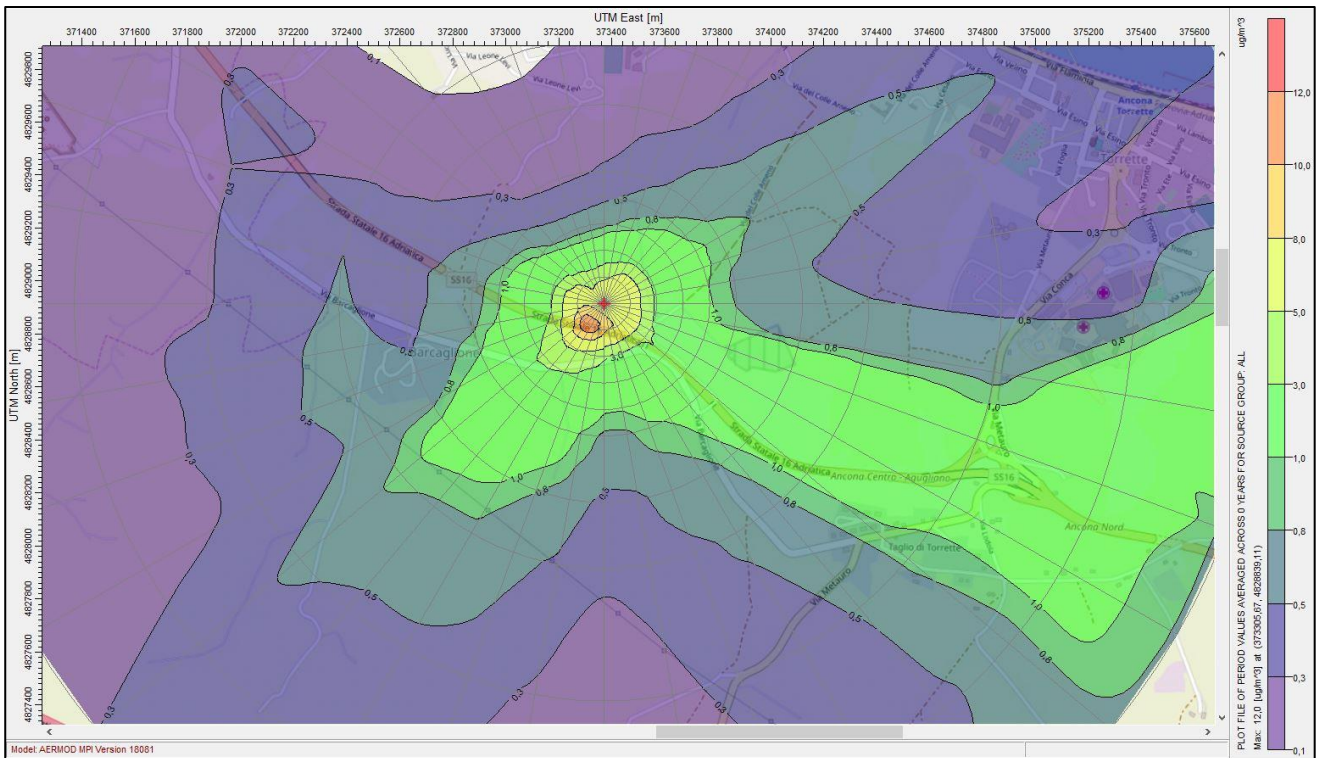


Figura 32: File output IEE5

Come si può notare dalla figura 32, la distribuzione delle sostanze inquinanti con concentrazioni maggiori tenderà a svilupparsi principalmente verso sud, con il picco di concentrazione (colore arancione) ad una distanza di 100 metri circa dalla sorgente (verso ovest), caratterizzato da un valore di $12,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

La concentrazione minima dell'inquinante (colore viola) la troviamo principalmente nella zona a nord-ovest della sorgente con un valore di $0,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

4 Confronti dei risultati

In questo capitolo effettueremo dei confronti tra i risultati ottenuti nelle simulazioni, ovvero le mappe di isoconcentrazione. Ogni confronto si baserà sulla valutazione qualitativa e quantitativa della distribuzione delle emissioni al variare dei parametri fisici e geometrici e al variare dell'orografia.

L'obiettivo finale di questi confronti è quello di stabilire quali sono i parametri che influiscono maggiormente sulla quantità di emissione della sorgente e sulla distribuzione dell'inquinante nell'area circostante la sorgente, oltre che a valutare l'importanza dell'orografia del territorio e come essa entra in gioco nella dispersione degli inquinanti.

- **Confronto IE001-IEE1-IF001:** in questo primo confronto metteremo a paragone tre mappe di isoconcentrazione derivanti da simulazioni che hanno come input gli stessi parametri interni della sorgente **I001** (Emission Rate, Gas Exit Temperature, Stack Inside Diameter, Gas Exit Velocity) al fine di andare a valutare come incide la condizione del terreno (Flat ed Elevated) sulla dispersione della sostanza inquinante.

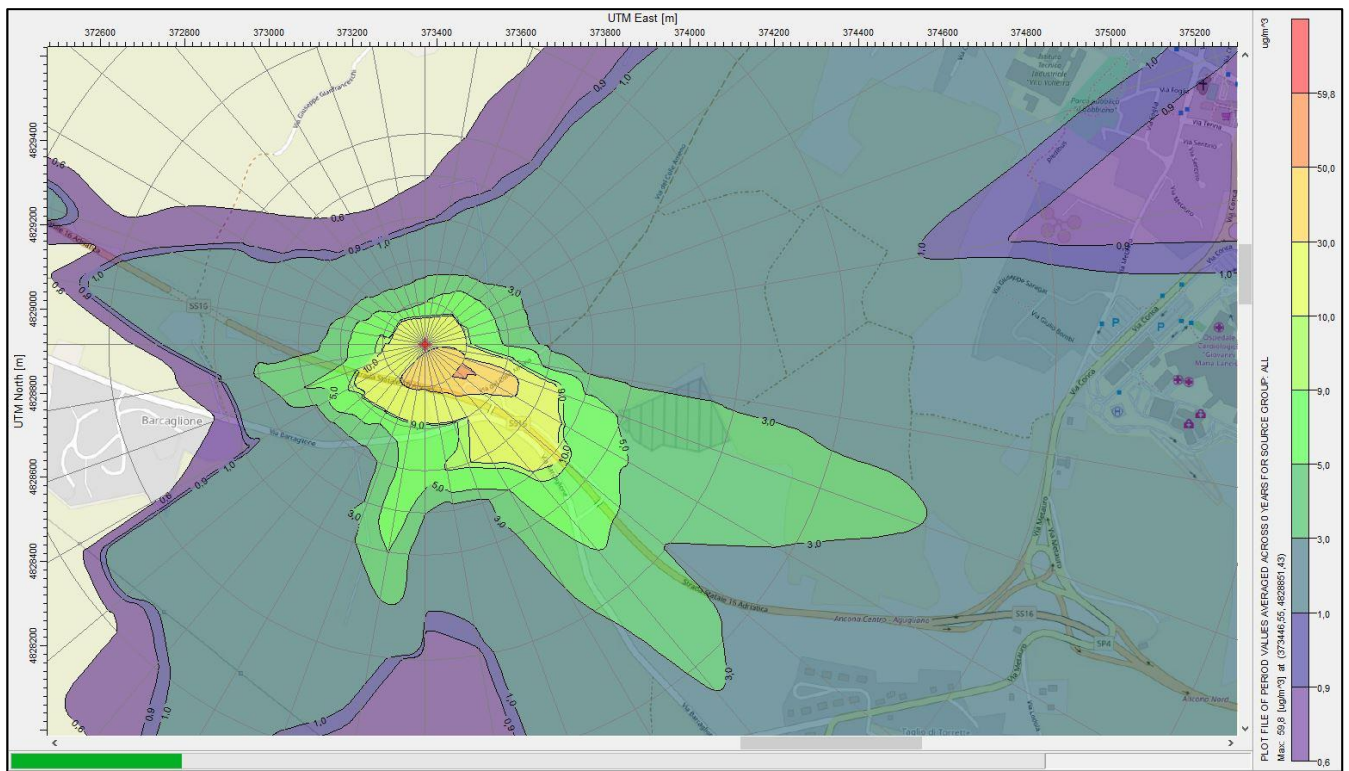


Figura 33: File output IE001

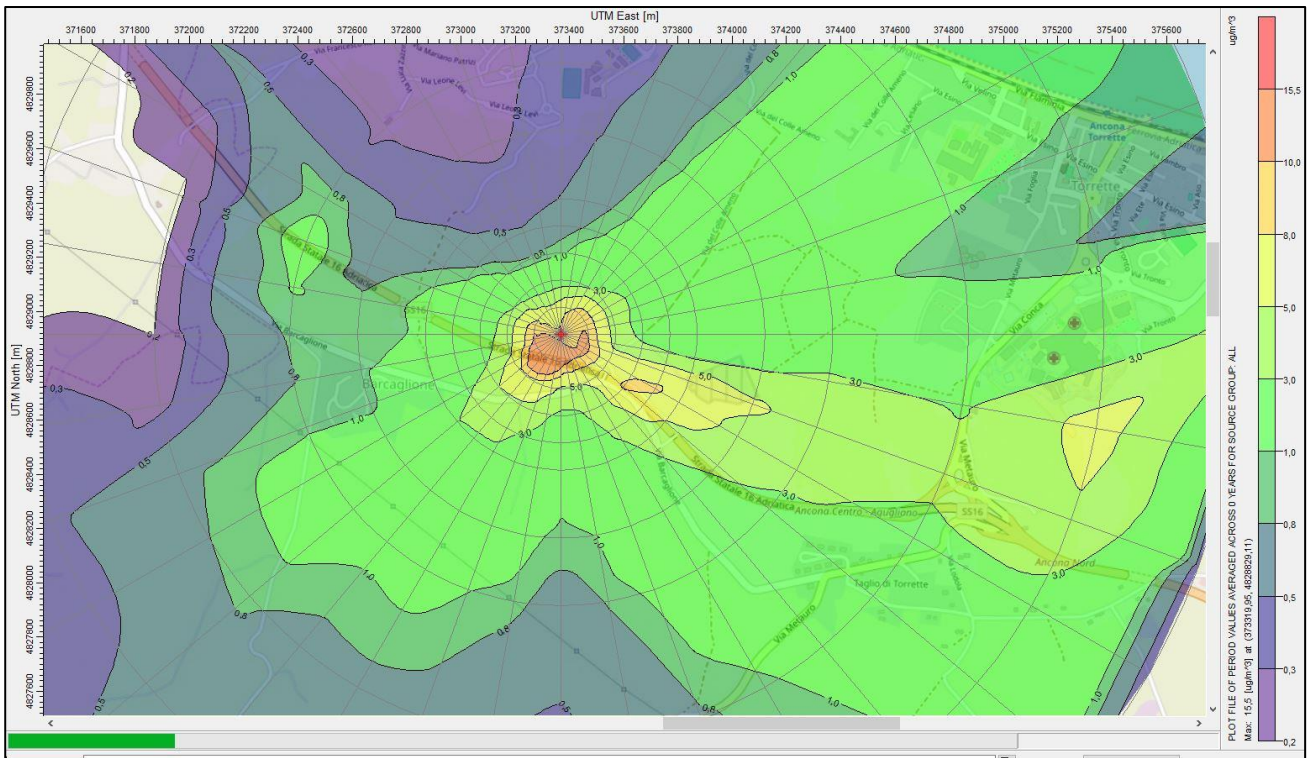


Figura 34: File output IEE1

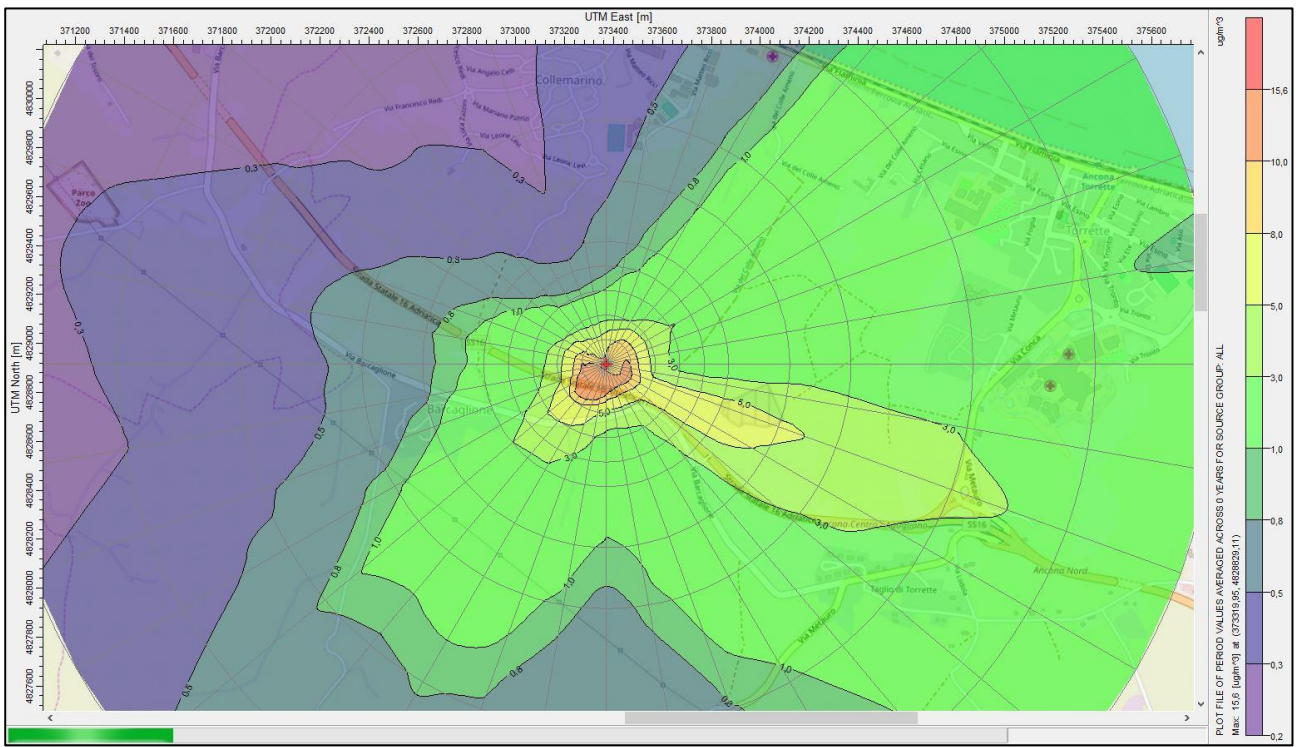


Figura 35: File output IF001

La sorgente di input di queste tre mappe di isoconcentrazione è la sorgente I001 (tabella 4); la prima differenza tra le tre mappe che salta all'occhio, è la posizione del picco di concentrazione (colore arancione) che nella condizione “elevated 90 m” (figura 33) si trova ad una distanza di circa 150 metri dalla sorgente verso sud e interessa una zona molto ridotta. Nella condizione “elevated 900 m” (figura 34) lo troviamo quasi in prossimità della sorgente e si estende fino ad una distanza di circa 200 metri verso sud-ovest interessando un'area più vasta rispetto al precedente.

Nella condizione “flat” (figura 35) il picco di concentrazione occupa una posizione analoga alla condizione “elevated 900 m”.

Per quanto riguarda il valore del picco di concentrazione, per la condizione “elevated 90 m” (figura 33) abbiamo $59,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$, nella condizione “elevated 900 m” (figura 34) abbiamo $15,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e nella condizione “flat” (figura 35) invece abbiamo $15,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Come possiamo notare dalle figure e dai valori numerici dei picchi di concentrazione, l'orografia complessa del terreno rispetto alla condizione pianeggiante, genera l'accumulo della concentrazione dell'inquinante in una zona circoscritta alla sorgente e di conseguenza il valore del picco sarà molto più grande. Allontanandoci dalla sorgente possiamo notare che nella condizione “elevated 90 m” (figura 33) la concentrazione della restante parte della zona indagata si estende fino a circa 1000 metri verso sud-ovest conservando valori di circa pari al 20% del picco registrato. Nella condizione “elevated 900 m” (figura 34) la diffusione dell'inquinante si estende a tutta la griglia dei recettori con direzione principale verso sud/sud-est conservando valori tra $3-8 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Nella condizione “flat” (figura 35) si osserva la diffusione sul territorio dell'inquinante analoga alla condizione “elevated 900 m”, con piccole variazioni nei valori medi.

- **Confronto IE002-IEE2-IF002:** in questo secondo confronto metteremo a paragone tre mappe di isoconcentrazione derivanti da simulazioni che hanno come input gli stessi parametri interni della sorgente **I002** (Emission Rate, Gas Exit Temperature, Stack Inside Diameter, Gas Exit Velocity) al fine di andare a valutare come incide la condizione del terreno (Flat ed Elevated) sulla dispersione della sostanza inquinante.

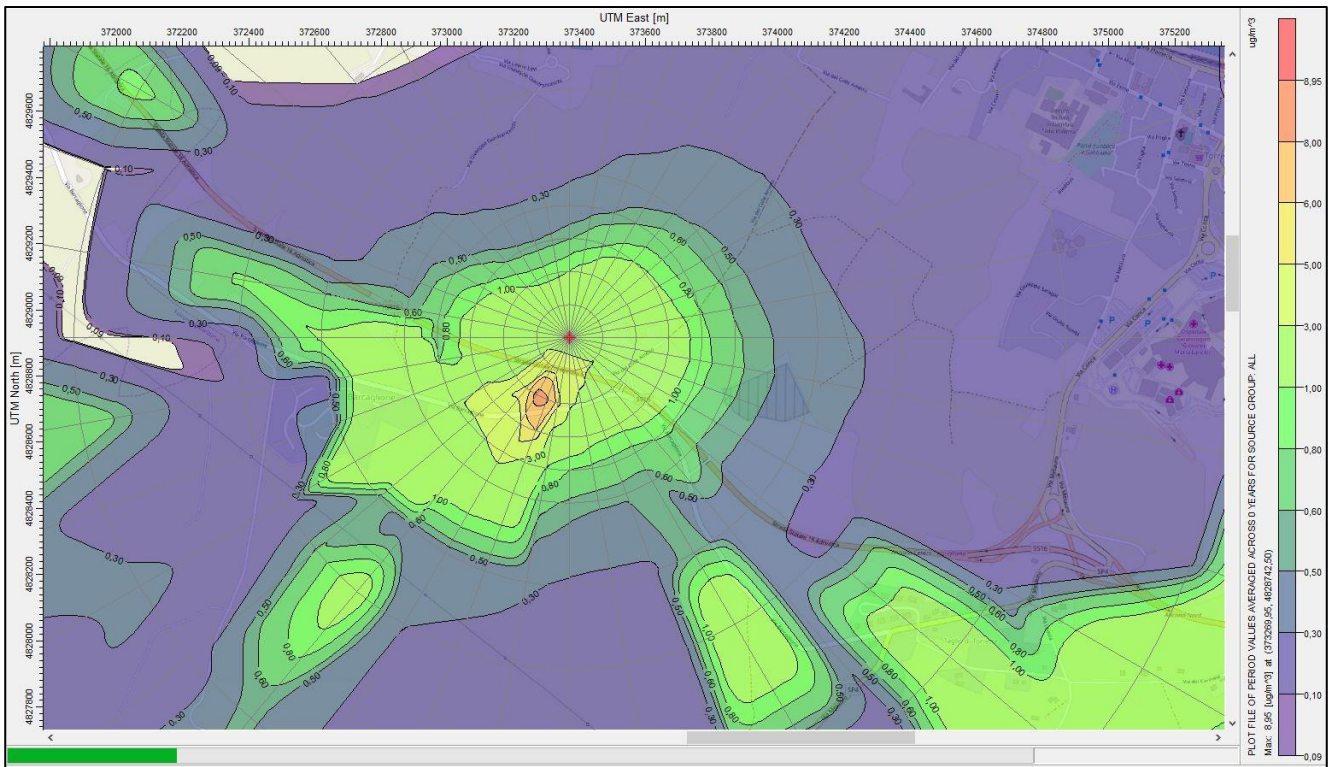


Figura 36: File output IE002

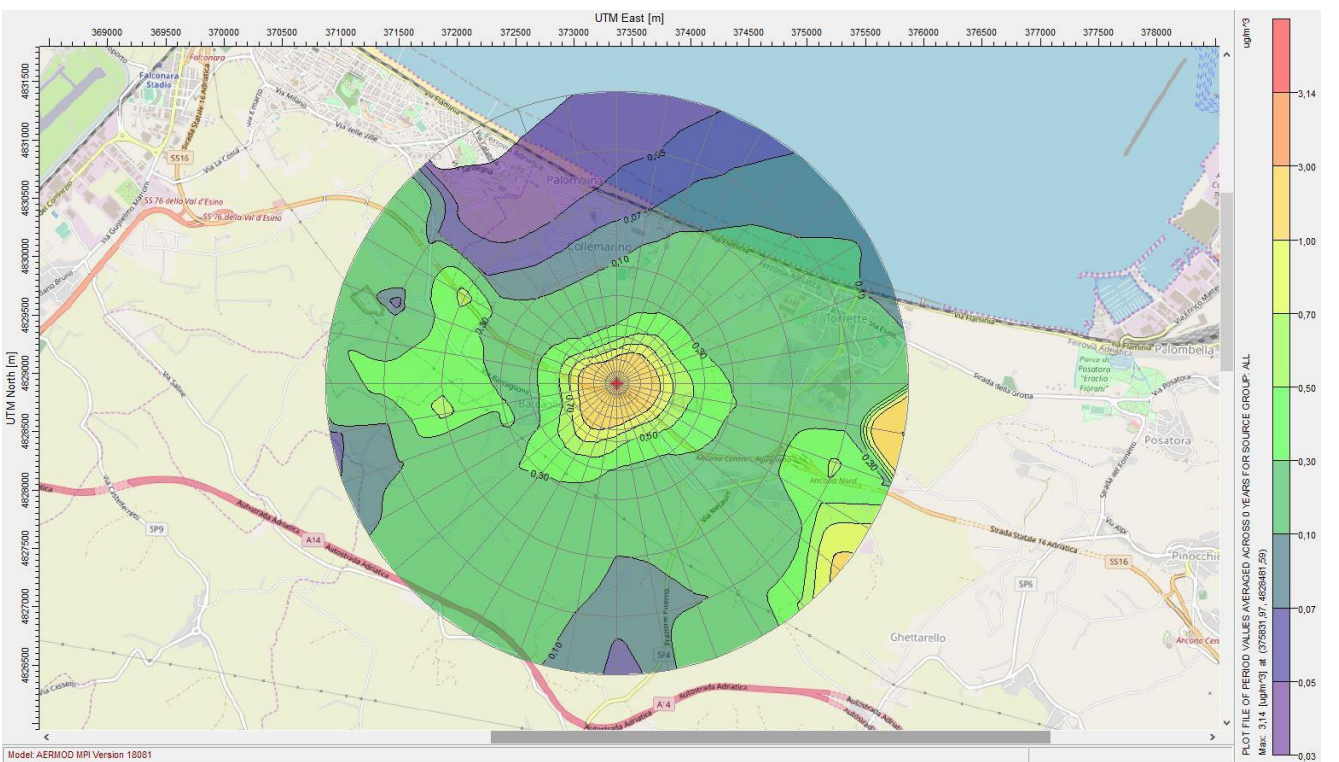


Figura 37: File output IEE2

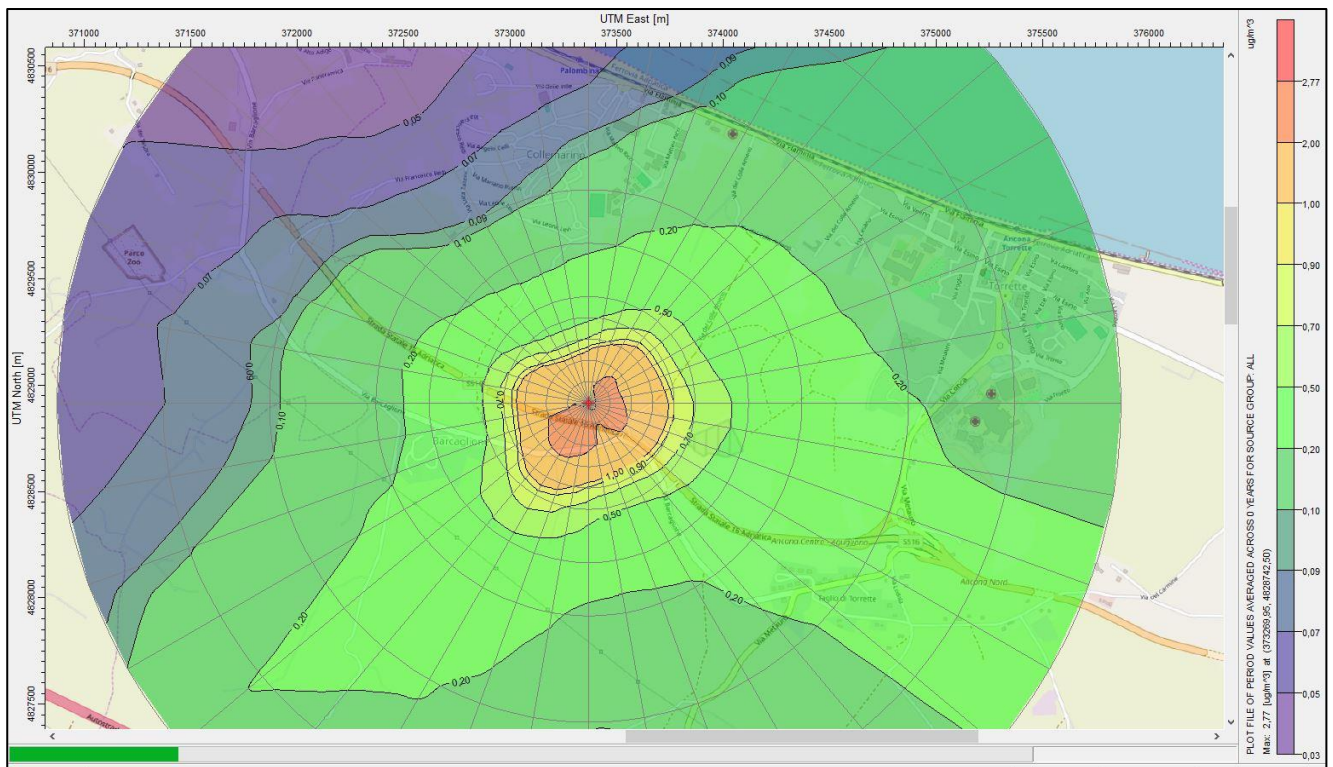


Figura 38: File output IF002

La sorgente di input di queste tre mappe di isoconcentrazione è la sorgente I002 (vedi tabella 4); la prima differenza tra le mappe che si nota immediatamente, è la posizione del picco di concentrazione (colore arancione) che nella condizione “elevated 90 m” (figura 36) si trova ad una distanza di circa 250 metri dalla sorgente verso sud-ovest ed interessa una zona abbastanza ridotta. Nella condizione “elevated 900 m” (figura 37) lo troviamo quasi in prossimità della sorgente e si estende fino ad una distanza di circa 300 metri verso sud-ovest interessando un’area più vasta rispetto al precedente.

Nella condizione “flat” (figura 38) il picco di concentrazione è collocato in prossimità della sorgente e si sviluppa fino ad una distanza di circa 300 metri in direzione est e in direzione ovest.

Per quanto riguarda il valore del picco di concentrazione, per la condizione “elevated 90 m” (figura 36) abbiamo $8,95 \mu\text{g}/\text{m}^3$, nella condizione “elevated 900 m” (figura 37) abbiamo $3,14 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e nella condizione “flat” (figura 38) invece abbiamo $2,77 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Come si evince dalle figure e dai valori numerici dei picchi di concentrazione, l’orografia complessa del terreno rispetto alla condizione pianeggiante, genera l’accumulo della concentrazione dell’inquinante in una zona circoscritta alla sorgente e di conseguenza il valore del picco sarà molto più grande. Man mano che ci allontaniamo dalla sorgente possiamo notare che nella condizione “elevated 90 m” (figura 36) la concentrazione della restante parte della zona presa in esame si estende principalmente fino a circa 1000 metri verso nord-ovest (con degli accenni anche in altre zone della mappa) conservando valori tra $1-5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Nella condizione “elevated 900 m” (figura 37) la diffusione

dell'inquinante si estende a quasi tutta la griglia di recettori con direzione principale verso sud-est e sud-ovest conservando dei valori pari a circa il 30% del picco registrato.

Nella condizione "flat" (figura 38) si osserva la presenza del picco di concentrazione in prossimità della sorgente in maniera quasi analoga alla condizione "elevated 900 m", con variazioni poco significative dei valori medi che nella condizione "flat" assume valori tra 0,2-0,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

- **Confronto IE003-IEE3-IF003:** in questo terzo confronto metteremo a paragone tre mappe di isoconcentrazione derivanti da simulazioni che hanno come input gli stessi parametri interni della sorgente **I003** (Emission Rate, Gax Exit Temperature, Stack Inside Diameter, Gas Exit Velocity) al fine di andare a valutare come incide la condizione del terreno (Flat ed Elevated) sulla dispersione della sostanza inquinante.

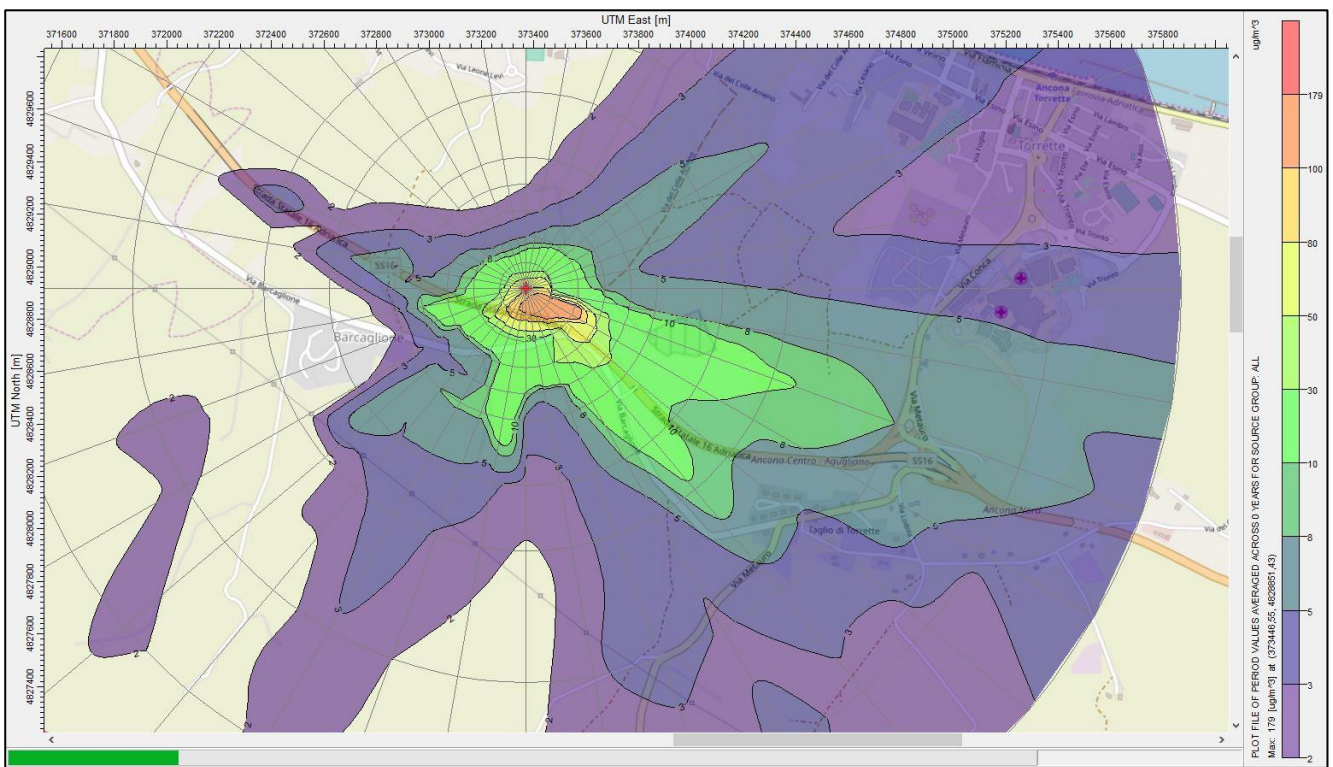


Figura 39: File output IE003

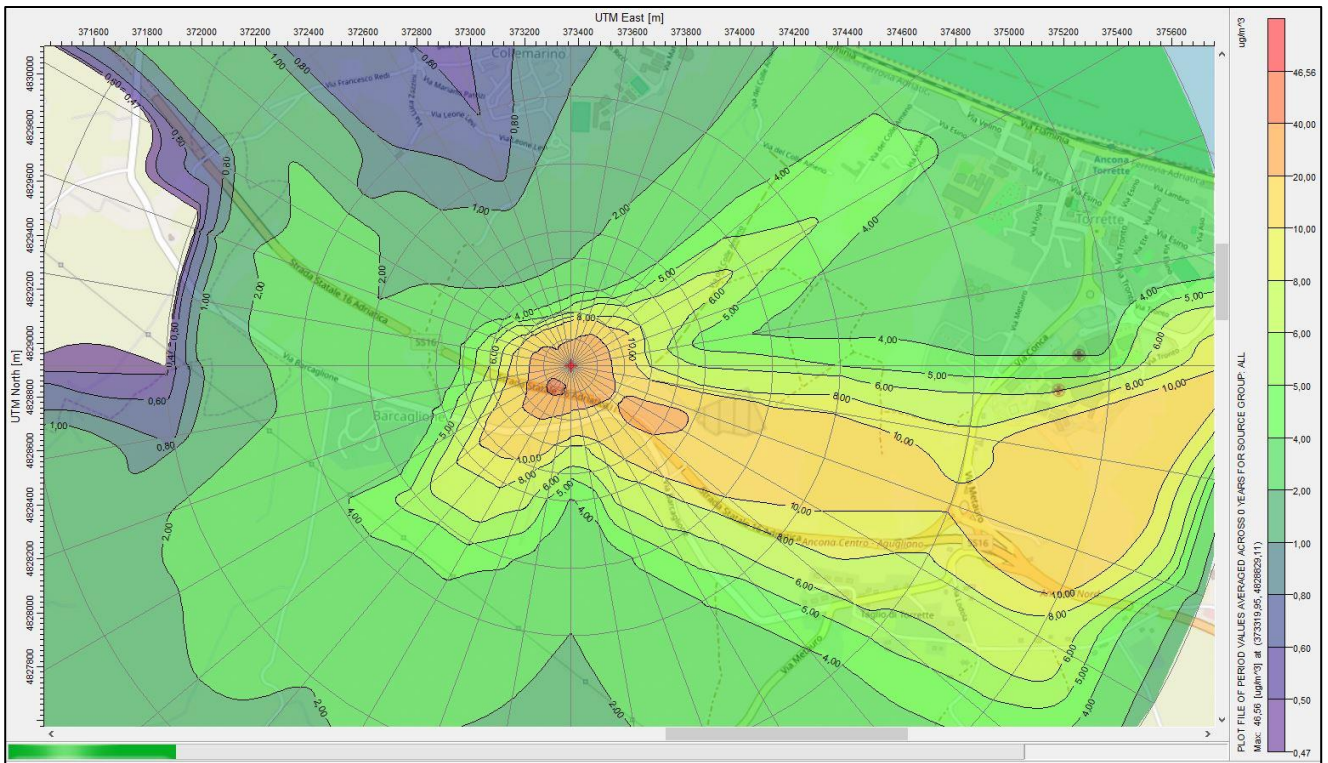


Figura 40: File output IEE3

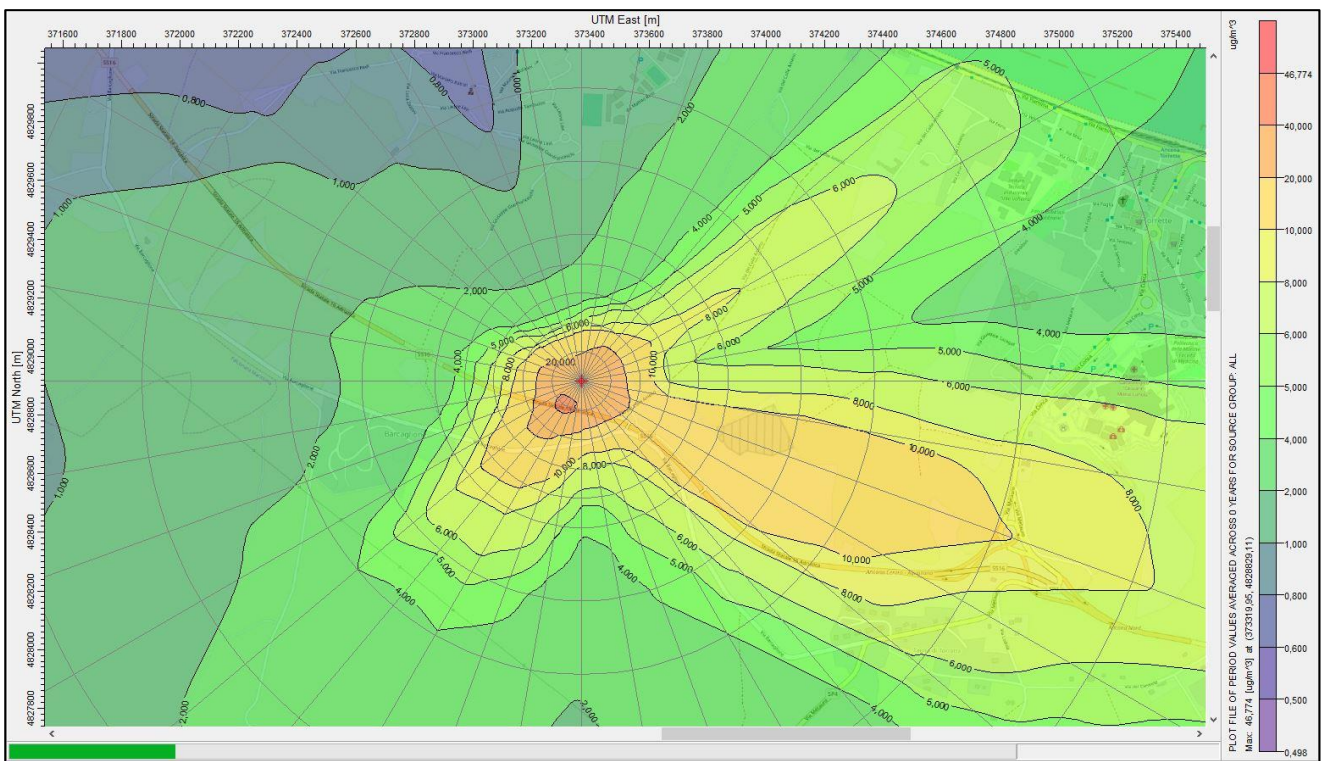


Figura 41: File output IF003

La sorgente di input di queste tre mappe di isoconcentrazione è la sorgente I003 (vedi tabella 4); la prima differenza tra le mappe che si nota immediatamente, è la posizione del picco di concentrazione (colore arancione) che nella condizione “elevated 90 m” (figura 39) si trova in prossimità della sorgente e si estende per circa 250 metri verso sud ed interessa una zona relativamente ampia.

Nella condizione “elevated 900 m” (figura 40) lo troviamo ad una distanza di circa 100 metri dalla sorgente verso ovest e ricade in un’area di piccole dimensioni. Nella condizione “flat” (figura 41) il picco di concentrazione è collocato ad una distanza di circa 150 metri dalla sorgente verso ovest ed occupa un’area relativamente piccola.

Per quanto riguarda il valore del picco di concentrazione, per la condizione “elevated 90 m” (figura 39) abbiamo $179 \mu\text{g}/\text{m}^3$, nella condizione “elevated 900 m” (figura 40) abbiamo $46,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e nella condizione “flat” (figura 41) abbiamo $46,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Come possiamo notare dalle figure e dai valori numerici dei picchi di concentrazione, l’orografia complessa del terreno rispetto alla condizione pianeggiante, genera l’accumulo della concentrazione dell’inquinante in una zona circoscritta alla sorgente e di conseguenza il valore del picco sarà molto più grande. Allontanandoci dalla sorgente possiamo notare che nella condizione “elevated 90 m” (figura 39) la concentrazione della restante parte della zona indagata si estende fino a circa 1000 metri verso sud conservando valori intorno al 30% del picco rilevato. Nella condizione “elevated 900 m” (figura 40) la diffusione dell’inquinante si estende a quasi tutta la griglia dei recettori con direzione principale verso sud/sud-est/sud-ovest, conservando dei valori tra $5\text{-}10 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Nella condizione “flat” (figura 41) si osserva la diffusione dell’inquinante sul territorio quasi del tutto analoga alla condizione “elevated 900 m”, con piccole variazioni dei valori medi della concentrazione che in quest’ultima condizione si aggirano tra 4 e $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

- **Confronto IE004-IEE4-IF004:** in questo quarto confronto metteremo a paragone tre mappe di isoconcentrazione derivanti da simulazioni che hanno come input gli stessi parametri interni della sorgente **I004** (Emission Rate, Gas Exit Temperature, Stack Inside Diameter, Gas Exit Velocity) al fine di andare a valutare come incide la condizione del terreno (Flat ed Elevated) sulla dispersione della sostanza inquinante.

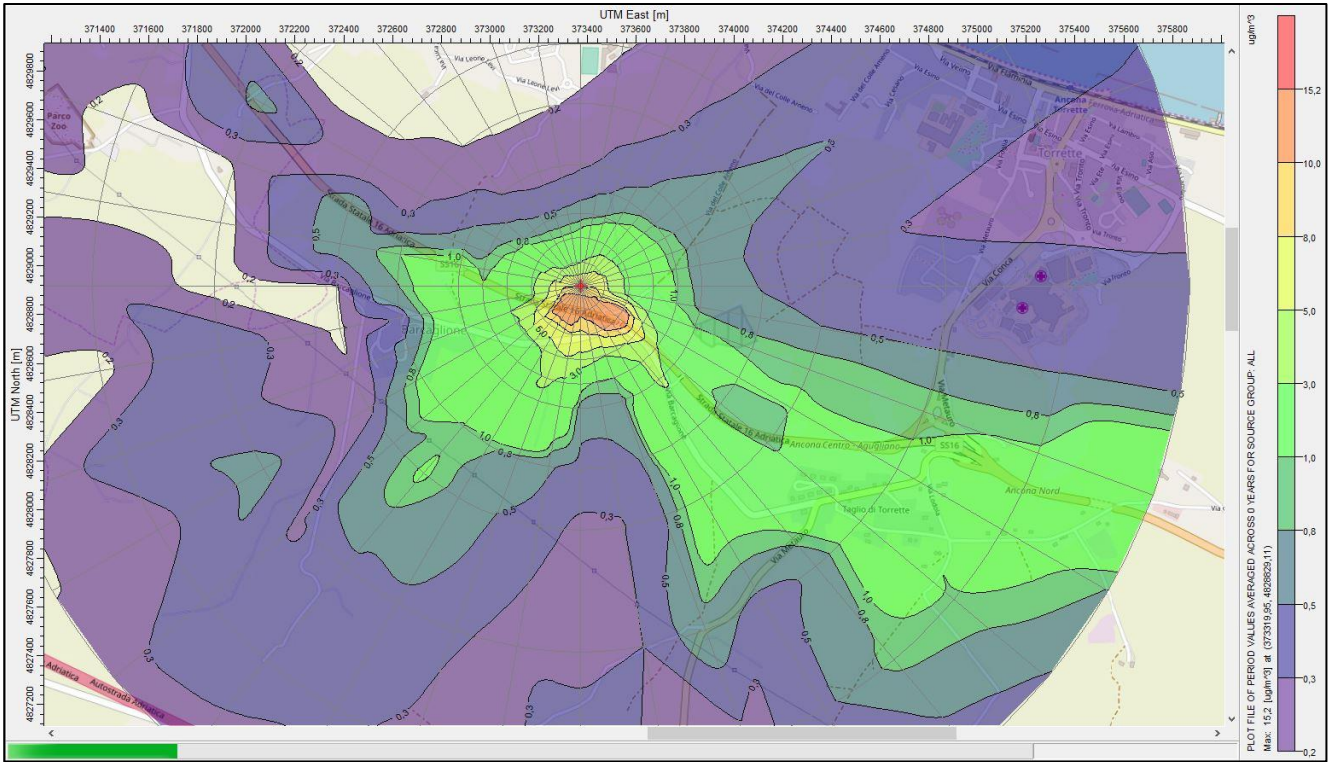


Figura 42: File output IE004

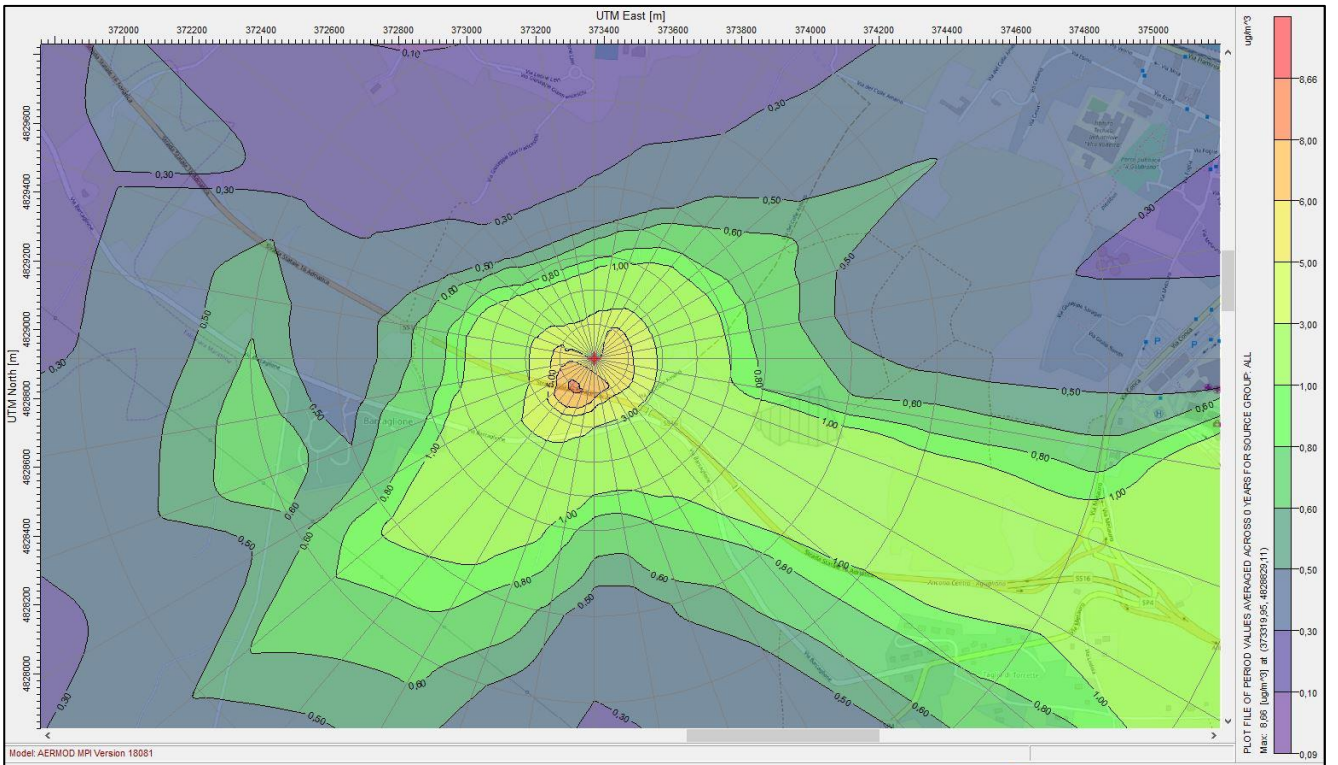


Figura 43: File output IEE4

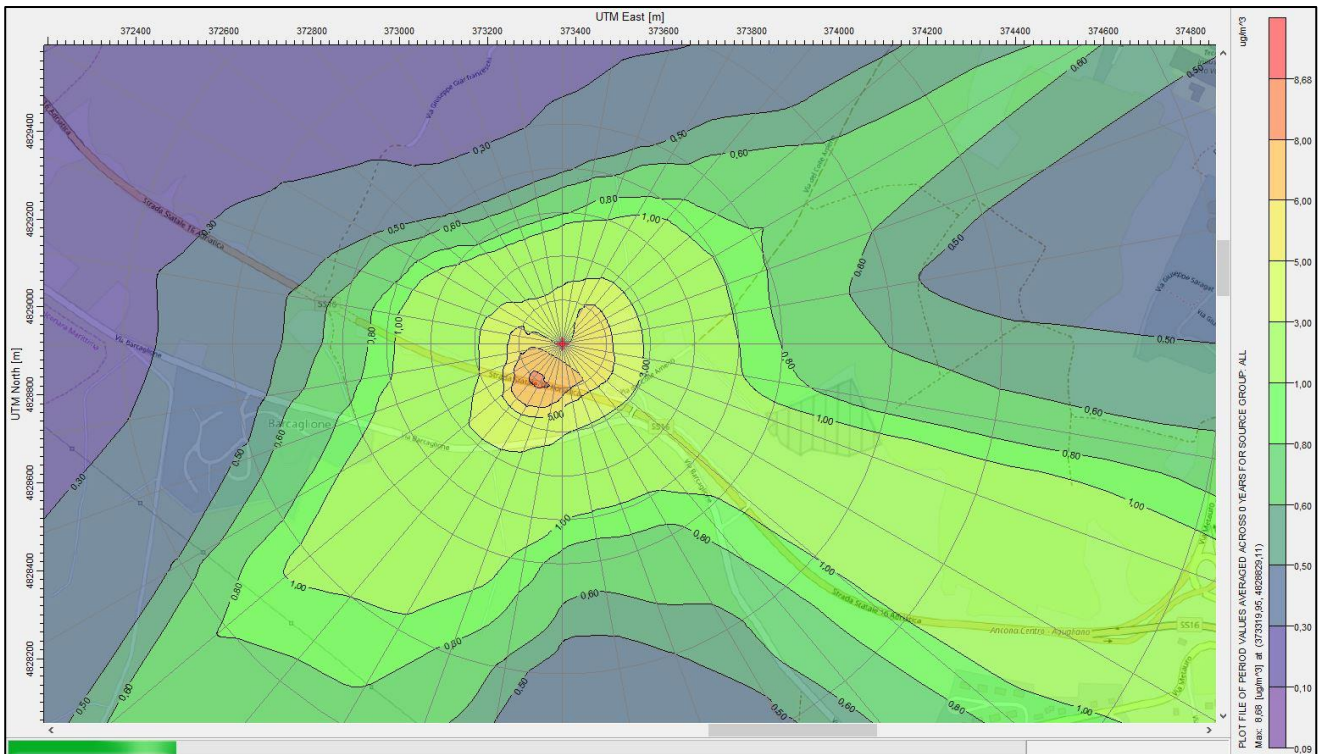


Figura 44: File output IF004

La sorgente di input di queste tre mappe di isoconcentrazione è la sorgente I004 (vedi tabella 4); la prima differenza tra le tre mappe che salta all'occhio, è la posizione del picco di concentrazione (colore arancione) che nella condizione "elevated 90 m" (figura 42) si trova in prossimità della sorgente e si estende per circa 250 metri verso sud-ovest ed interessa una zona relativamente ampia. Nella condizione "elevated 900 m" (figura 43) lo troviamo ad una distanza di circa 100 metri dalla sorgente verso ovest ed investe un'area di piccole dimensioni. Nella condizione "flat" (figura 44) il picco di concentrazione è collocato ad una distanza di circa 100 metri dalla sorgente verso sud-ovest ed occupa un'area di piccole dimensioni.

Per quanto riguarda il valore del picco di concentrazione, per la condizione "elevated 90 m" (figura 42) abbiamo $15,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, nella condizione "elevated 900 m" (figura 43) abbiamo $8,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e nella condizione "flat" (figura 44) abbiamo $8,68 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Come si evince dalle figure e dai valori numerici dei picchi di concentrazione, l'orografia complessa del terreno rispetto alla condizione pianeggiante, genera l'accumulo della concentrazione dell'inquinante in una zona circoscritta alla sorgente e di conseguenza il valore del picco sarà molto più grande. Allontanandoci dalla sorgente possiamo notare che nella condizione "elevated 90 m" (figura 42) la concentrazione della restante parte della zona indagata si estende fino a 2500 metri verso sud conservando valori tra $1-5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Nella condizione "elevated 900 m" (figura 43) la

diffusione dell'inquinante si sviluppa fino a 2500 metri dalla sorgente verso sud-est conservando dei valori di circa pari al 25% del valore del picco registrato.

Nella condizione “flat” (figura 44) si osserva la presenza del picco di concentrazione ad una distanza di circa 100 metri dalla sorgente in direzione ovest, in maniera quasi analoga alla condizione “elevated 900 m”, con variazioni poco significative dei valori medi che nella condizione “flat” assume valori tra 0,8-3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

- **Confronto IE005-IEE5-IF005:** in questo quinto confronto metteremo a paragone tre mappe di isoconcentrazione derivanti da simulazioni che hanno come input gli stessi parametri interni della sorgente **I005** (Emission Rate, Gax Exit Temperature, Stack Inside Diameter, Gas Exit Velocity) al fine di andare a valutare come incide la condizione del terreno (Flat ed Elevated) sulla dispersione della sostanza inquinante.

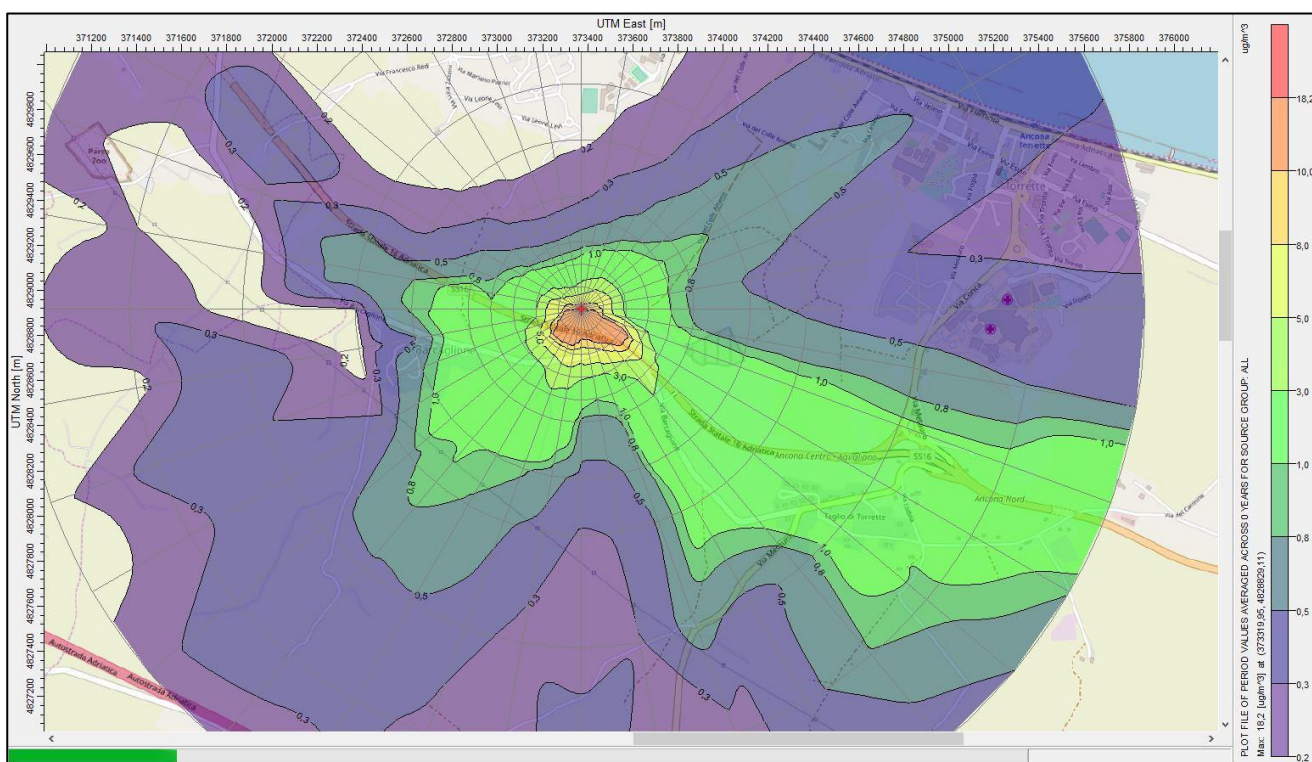


Figura 45: File output IE005

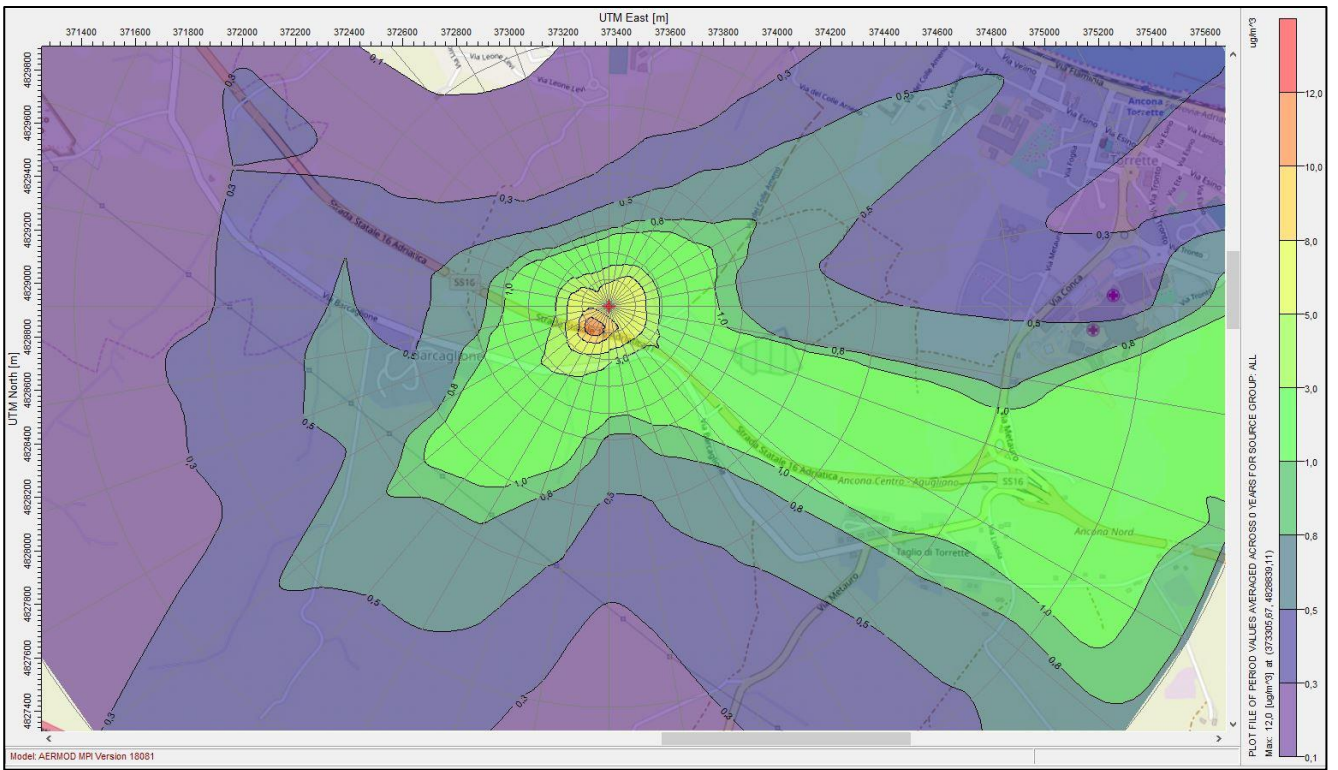


Figura 46: File output IEE5

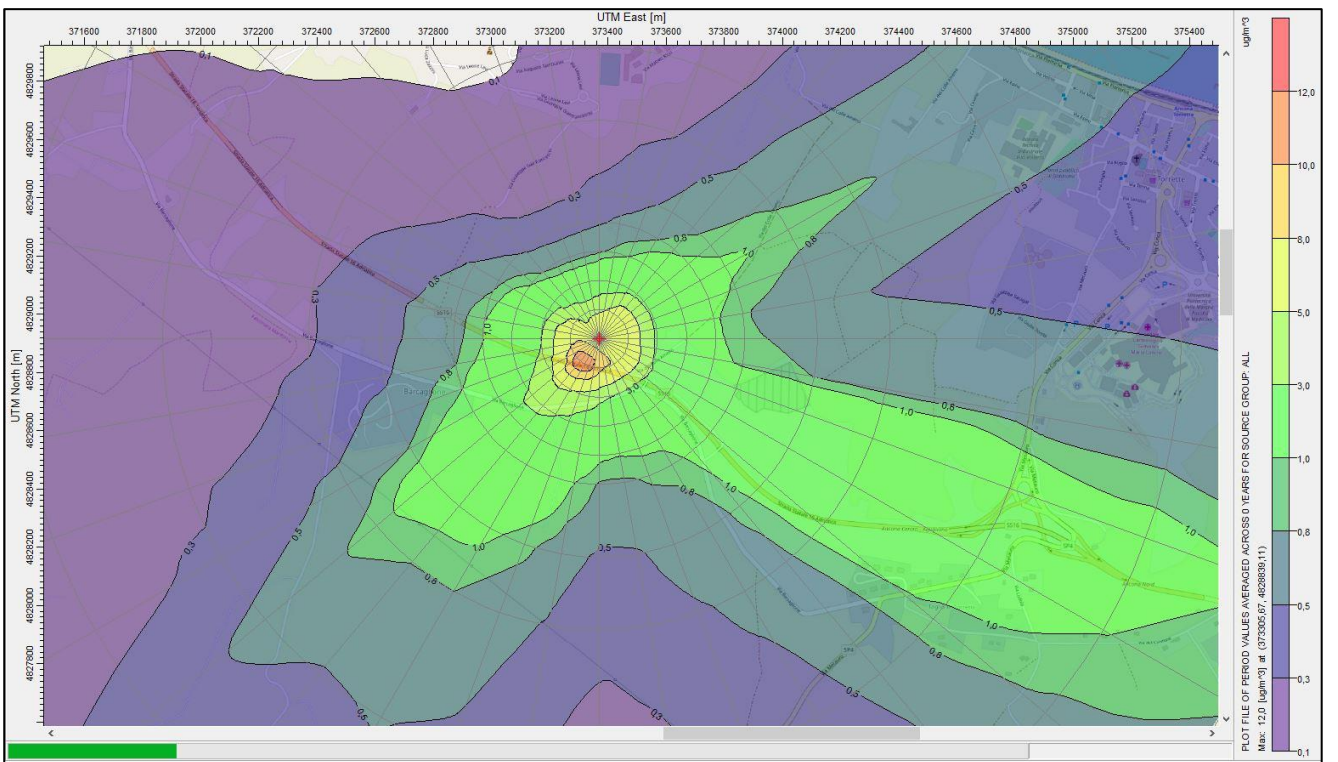


Figura 47: File output IF005

La sorgente di input di queste tre mappe di isoconcentrazione è la sorgente I005 (vedi tabella 4); la prima differenza tra le mappe che si nota immediatamente, è la posizione del picco di concentrazione (colore arancione) che nella condizione “elevated 90 m” (figura 45) si trova in prossimità della sorgente e si sviluppa per circa 250 metri verso sud-ovest ed occupa una zona relativamente ampia. Nella condizione “elevated 900 m” (figura 46) lo troviamo ad una distanza di circa 100 metri dalla sorgente verso ovest ed interessa una porzione di territorio di piccole dimensioni.

Nella condizione “flat” (figura 47) il picco di concentrazione è collocato ad una distanza di circa 100 metri dalla sorgente in direzione ovest ed occupa una zona molto piccola rispetto al dominio considerato.

Per quanto riguarda il valore del picco di concentrazione, per la condizione “elevated 90 m” (figura 45) abbiamo $18,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, nella condizione “elevated 900 m” (figura 46) abbiamo $12,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e nella condizione “flat” (figura 47) abbiamo $12,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Come possiamo notare dalle figure e dai valori numerici dei picchi di concentrazione, l’orografia complessa del terreno rispetto alla condizione pianeggiante, genera l’accumulo della concentrazione dell’inquinante in una zona circoscritta alla sorgente e di conseguenza il valore del picco sarà molto più grande. Man mano che ci allontaniamo dalla sorgente possiamo notare che nella condizione “elevated 90 m” (figura 45) la concentrazione della restante parte della zona presa in esame si estende principalmente fino a circa 2500 metri in direzione sud conservando dei valori tra $1-5 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Nella condizione “elevated 900 m” (figura 46) la diffusione dell’inquinante si sviluppa su tutta la griglia dei recettori verso sud, conservando dei valori di circa pari al 25% del picco rilevato.

Nella condizione “flat” (figura 47) si osserva la diffusione dell’inquinante sul territorio quasi analoga alla condizione “elevated 900 m”, con piccole variazioni dei valori medi.

4.1 Valutazioni conclusive

In questo capitolo sono stati eseguiti diversi confronti tra mappe di isoconcentrazione e quello che si è notato è che nella maggior parte dei casi l'orografia del territorio è parte determinante della diffusione degli inquinanti atmosferici.

Nei casi di studio, il picco di concentrazione assoluto lo troviamo sempre quando consideriamo il terreno in condizioni "elevated 90 m" (con risoluzione a 90 metri) ovvero quando adottiamo una risoluzione relativamente alta e si può notare come la dispersione degli inquinanti sia influenzata da un'orografia più complessa poiché la ricaduta dell'inquinante la troviamo ad una distanza relativamente bassa dalla sorgente.

Inserendo invece come parametro di input un'orografia "elevated 900 m" (con risoluzione a 900 metri) oppure in condizioni "flat" (assunzione del terreno pianeggiante) si è notato che non sono presenti importanti differenze tra le due condizioni.

In determinate situazioni la scelta dell'orografia più opportuna risulta determinante ai fini dello studio perché come dimostrato nei casi di studio precedenti, un'orografia con risoluzioni molto basse ("elevated 900 m"), in particolare situazioni, può produrre risultati analoghi a quelli prodotti da una situazione "flat" (in assenza di orografia).

Ciò dimostra come la risoluzione orografica adottata svolge un ruolo chiave ai fini della valutazione della dispersione degli inquinanti sul territorio.

Nei casi sopra proposti si nota come la condizione "elevated 90 m" sia quella maggiormente rappresentativa per l'area analizzata.

Conclusione

La valutazione della dispersione degli inquinanti sul territorio si dimostra essere uno strumento valido per la riduzione degli impatti sul territorio ma soprattutto nei confronti della prevenzione della salute umana.

Abbiamo osservato che è possibile valutare la dispersione degli inquinanti atmosferici grazie all'utilizzo di modelli deterministici e nello specifico il modello diffusivo gaussiano AERMOD che attraverso dati di input (dati meteorologici, dati di orografia, griglia di recettori e sistema di sorgenti) è in grado di restituirci una mappa di isoconcentrazione che descrive come la concentrazione dell'inquinante si dispone nella zona presa in esame.

Nello studio eseguito in questo elaborato di tesi, è stata valutata la dispersione del particolato atmosferico PM_{10} sfruttando le proprietà e le caratteristiche del modello AERMOD.

Si può affermare che questo modello ha risposto bene per quanto riguarda la valutazione della dispersione del PM_{10} su griglie di recettori caratterizzate da piccola scala.

Di rilevante importanza risulta la scelta della risoluzione orografica che deve essere quella più idonea per lo specifico caso di studio.

Bibliografia / Sitografia

A. Wilkinson, A. M. (1997). *Compendio di Terminologia Chimica*. Oxford: Blackwell Scientific Publications.

Alan J. Cimorelli, S. G. (2005). *AERMOD: a Dispersion Model for Industrial Source Application. Part I: General Model Formulation and Boundary Layer Characterization*.

APAT. (2014). *La micrometeorologia e la dispersione degli inquinanti in aria*.

ARPAV. (2020). *Inquinanti atmosferici*.

Benassi A., D. F. (2011). *A one-year application of the Veneto air quality modelling system*.

Censori, C. (2008). *Turbolenza atmosferica*.

EPA. (s.d.). *AERMOD Tech Guide*.

Finzi G., P. G. (s.d.). *Gestione della qualità dell'aria: modelli di previsione e revisione*.

Lee R., P. A. (1998). *Development and Evaluation of the AERMOD Dispersion Model*.

Pasquill, F. (1961). *The estimation of the dispersion of windborne material*.

Wark, K. e. (1976). *Inquinamento dell'aria*. New York, Londra.

<https://www.arpa.veneto.it/temi-ambientali/aria/qualita-dellaria/approfondimenti/metodi-di-misura-inquinanti-atmosferici>

<https://www.epa.gov/scram/modeling-applications-and-tools>

<https://pselab.chem.polimi.it/wp-content/uploads/2014/03/SDCEDT/Emissione-e-dispersione-di-sostanze-pericolose.pdf>

<http://www.isprambiente.gov.it/contentfiles/00001100/1176-michela-sinesi.pdf>

<https://www.arpa.marche.it/comunicazione/prima-pagina/387-comunicato-stampa-polveri-sottili>