

POLITECNICO DI MILANO

Facoltà di Ingegneria

Corso di Laurea Specialistica in Ingegneria per l'Ambiente ed il Territorio



**DIFFUSIONE DEL PARTICOLATO EMESSO DA
UNA RETE DI CENTRALI A BIOMASSA
MEDIANTE IL CODICE AERMOD**

Relatore: Prof. Giorgio Guariso

Tesi di laurea a cura di:

Riccardo Sparzagni Matr. 739989

Anno accademico 2010/2011

RINGRAZIAMENTI

Ringrazio il professor Giorgio Guariso per la grande disponibilità con cui mi ha affiancato durante il lavoro di Tesi

Ringrazio la mia famiglia per i sacrifici con cui mi ha permesso di conseguire questo obiettivo.

Ringrazio la mia ragazza Silvia e mio fratello Lele che mi sono sempre stati vicini per tutti questi anni di studio

Ringrazio tutte le persone speciali con cui ho condiviso questo cammino: gli amici di Podenzano, i parenti stretti, i pochi amici dell'università

Ringrazio il calcio, che mi ha fatto perdere del tempo, ma ne è valsa la pena

SINTESI

Il presente elaborato si propone di valutare la diffusione del PM_{10} emesso da una rete di centrali cogenerative a biomassa disposte in tredici comuni dell'Emilia Romagna. Lo studio diffusivo, condotto con il codice AERMOD, valuta le concentrazioni medie annuali e quella giornaliera di punta indotte dall'attività dell'impianto in 2600 recettori disposti regolarmente in una griglia quadrata di 5 Km per 5 Km incentrata su di esso. Per condurre l'analisi si sono utilizzati le rilevazioni meteorologiche orarie nei comuni interessati messe a disposizione dall'Arpa e si è effettuato lo studio sul periodo di un anno. La scelta dell'anno solare è basata sulla continuità e la completezza dei dati rilevati, in alcuni casi si sono utilizzati i dati del 2005, in altri quelli del 2008.

Le concentrazioni medie annuali stimate nei recettori sono da considerarsi valide per qualsiasi localizzazione dell'opera all'interno del comune di riferimento. Si sono utilizzati questi risultati per costruire in forma grafica corone di impatto, dove le diverse categorie di concentrazione rappresentano diverse classi di impatto sulla popolazione residente. Spostando le corone nello spazio, in funzione della localizzazione in cui si prevede di collocare la centrale, è possibile valutare come cambia l'impatto sulla popolazione residente. I risultati sono quindi un'utile strumento per valutare l'impatto ambientale dell'opera in funzione della sua localizzazione e individuare quella ottimale.

Le concentrazioni di punta stimate sono importanti al fine della valutazione dell'apporto di polveri indotto dall'opera nei giorni in cui la dispersione atmosferica è particolarmente ridotta. La distribuzione spaziale dei picchi è poco rilevante, poiché in genere sono dovuti a condizioni meteorologiche occasionali o a situazioni casuali, tuttavia i risultati ottenuti si sono riprodotti in grafici analoghi ai precedenti. La raffigurazione, infatti, ripropone con immediatezza le categorie di picchi registrate con maggior frequenza tra i recettori e quelle che invece sono più occasionali.

INDICE

RINGRAZIAMENTI	2
SINTESI	3
INDICE.....	4
CAPITOLO 1 INTRODUZIONE	7
1.1 CENTRALI COGENERATIVE.....	7
1.1.1 TELERISCALDAMENTO.....	8
1.1.2 IMPIANTI DI COGENERAZIONE ALIMENTATI A BIOMASSA.....	9
1.1.3 BIOMASSE UTILIZZATE IN COMBUSTIONE.....	10
1.2 ASPETTI AMBIENTALI	ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.
1.2.1 CONFRONTO TRA BIOMASSA E COMBUSTIBILI FOSSILI.....	11
1.2.2 IL PARTICOLATO E I SUOI EFFETTI SULL'UOMO E L'AMBIENTE	14
1.3 LO STRATO LIMITE PLANETARIO	15
1.3.1 TURBOLENZA E STABILITÀ ATMOSFERICA	16
1.3.2 IL CICLO DIURNO DEL PBL.....	17
1.3.3 LO STRATO LIMITE CONVETTIVO CBL E LO STRATO LIMITE STABILE SBL.....	17
1.3.4 LA TEMPERATURA POTENZIALE	18
CAPITOLO 2 LA STRUTTURA DI AERMOD E LO STUDIO DIFFUSIVO.....	ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.
IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.	
2.1 I PRINCIPALI PARAMETRI METEOROLOGICI RELATIVI ALLA TURBOLENZA	ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.
IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.	
2.2 IL CODICE AERMOD	ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.
2.2.1 STRUTTURA E FUNZIONAMENTO DEL CODICE.....	23
2.3 FINALITÀ DELLO STUDIO	ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.
2.2.1 LE LOCALITÀ OGGETTO DI STUDIO.....	25

2.2.1 L'APPROCCIO "KEYWORD" E I "RUNSTREAM FILE" PER CONFIGURARE LE ELABORAZIONI	27
2.4 IL PRE-PROCESSORE OOGRAFICO AERMAP	27
2.4.1 IMPLEMENTAZIONE DI AERMAP	28
2.4.2 CONFRONTO TRA ELABORAZIONI CONDOTTE CON AERMAP E ELABORAZIONI SENZA	28
2.5 LA CARATTERIZZAZIONE METEOROLOGICA CON AERMET	30
2.5.1 L'IMPOSTAZIONE DI AERMET TRAMITE I RUNSTREAM FILE.....	31
2.6 LO STUDIO DIFFUSIVO CONDOTTO CON AERMOD.....	33
2.6.1 IL RUNSTREAM FILE DI AERMOD.....	34
2.7 GLI EFFETTI CONSIDERATI NELL'ELABORAZIONE.....	35
2.7.1 LA LOCALIZZAZIONE IN AMBIENTE RURALE.....	36
2.7.2 GLI ALGORITMI DELL'EFFETTO DI SCIA DEL CAMINO.....	36
2.7.3 CALME DI VENTO E DATI MANCANTI.....	37
2.7.4 LA DEPOSIZIONE SECCA E UMIDA DEL PARTICOLATO.....	39
CAPITOLO 3 DATI UTILIZZATI NELL' ANALISI DIFFUSIVA	41
3.1 DATI METEOROLOGICI	41
3.1.1 PROFILO VERTICALE ATMOSFERICO.....	42
3.1.2 DATI METEOROLOGICI SUPERFICIALI.....	46
3.1.3 CONFRONTO TRA I DATI UTILIZZATI NELLE DIVERSE LOCALITÀ ESAMINATE	51
3.1.4 DATI SITO SPECIFICI.....	57
3.2 CARATTERISTICHE SUPERFICIALI DEL TERRITORIO	58
3.3 DATI EMISSIVI	59
3.3.1 CARATTERISTICHE DEL PARTICOLATO EMESSO.....	60
3.4 CONDIZIONI OPERATIVE DELL'IMPIANTO.....	62
3.4.1 VALORI ASSUNTI PER I PARAMETRI DI INTERESSE	63
CAPITOLO 4 LE CONCENTRAZIONI STIMATE.....	64
4.1 CONCENTRAZIONI MEDIE.....	64
4.2 CONCENTRAZIONI DI PICCO ANNUALI	66
CAPITOLO 5 L' EFFETTO ISOLA DI CALORE NELLE CITTÀ.....	68
5.1 ISOLA DI CALORE SUPERFICIALE	68
5.2 ISOLA DI CALORE ATMOSFERICA.....	69

5.3 L'INFLUENZA DEL FENOMENO SULLA DIFFUSIONE DEGLI INQUINANTI.....	70
5.4 ANALISI DIFFUSIVA IN AMBIENTE URBANO	71
5.4.1 CRITERI DI CLASSIFICAZIONE DI UN TERRENO COME URBANO/RURALE	72
5.4.2 STUDIO DIFFUSIVO NEL CONTESTO URBANO	72
5.4.3 CARATTERISTICHE SUPERFICIALI.....	73
5.5 CONCENTRAZIONI STIMATE IN CONTESTO URBANO	73
5.5.1 CONCENTRAZIONI MEDIE.....	74
5.5.2 CONCENTRAZIONI DI PUNTA.....	75
5.5.3 CONFRONTO TRA CONTESTO URBANO E CONTESTO RURALE.....	76
CAPITOLO 6 CONCLUSIONI	79
6.1 CONSIDERAZIONI SUI RISULTATI OTTENUTI	79
6.2 EMISSIONI DI PM ₁₀ IN EMILIA ROMAGNA	82
6.3 CORONE DI IMPATTO, STRUMENTO PER INDIVIDUARE LA LOCALIZZAZIONE OTTIMALE DEGLI IMPIANTI	84
6.3.1 INDIVIDUAZIONE DELLE LOCALIZZAZIONI OTTIMALI	84
6.4 LIMITI E ULTERIORI SVILUPPI.....	86
BICLIOGRAFIA	87
APPENDICE.....	90

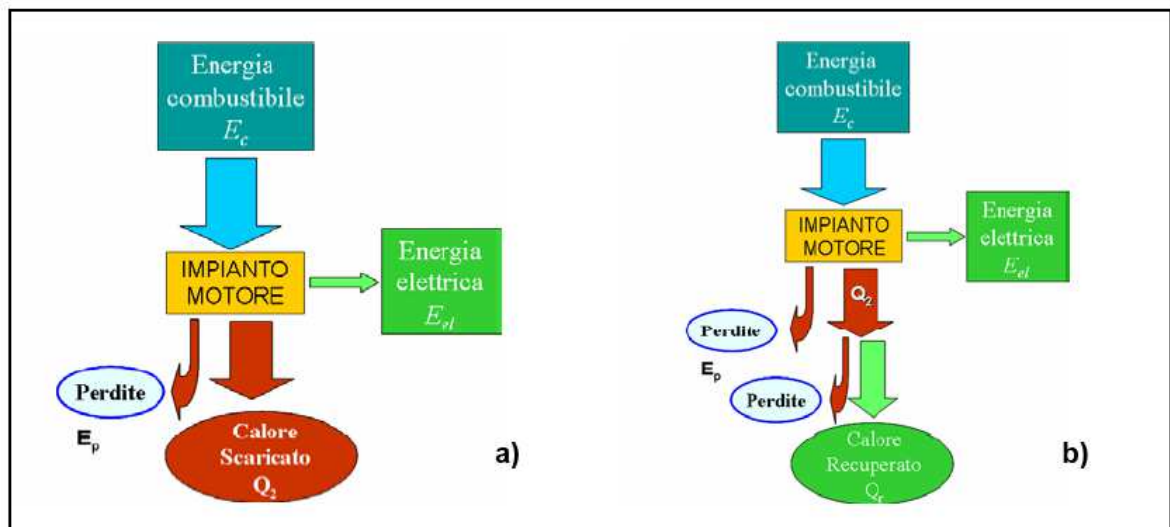
INTRODUZIONE

In questo capitolo si illustrano in sintesi gli aspetti teorici principali trattati nel presente elaborato di tesi, allo scopo di consentire una migliore comprensione del lavoro svolto e delle problematiche trattate.

1.1 CENTRALI COGENERATIVE

Gran parte dell'energia elettrica generata in Italia e nel mondo proviene da impianti motori termici, nei quali calore ad alta temperatura viene prima convertito in energia meccanica e quindi in energia elettrica per mezzo di generatori. Il calore proviene dalla combustione diretta di un combustibile che nel caso della centrale oggetto di studio è biomassa ligno cellulosa, ma più comunemente si tratta di combustibili fossili. La conversione del calore ad energia meccanica avviene attraverso un ciclo termodinamico e, come è noto dal secondo principio della termodinamica stessa, non tutto il calore fornito può essere convertito in lavoro; il massimo teorico della frazione di calore che può essere convertita è fissato dal rendimento del ciclo di Carnot. Quindi, per quanto un impianto possa essere efficiente, ci sarà sempre una frazione di calore scaricata senza alcun effetto utile. L'aspetto innovativo delle centrali cogenerative è la capacità di recuperare parte di questo calore sotto forma di energia termica, che può essere utilizzata da impianti industriali o da utenze domestiche. Così facendo si incrementa l'efficienza del ciclo e, sulla scala globale, si risparmia combustibile e si riducono le emissioni di CO₂. Gli impianti cogenerativi, quindi, convertono l'energia primaria contenuta nel combustibile in energia elettrica e termica.

Figura 1.1 a) Schema di un impianto motore a ciclo semplice b) Schema di un impianto motore a ciclo combinato



Va detto che un impianto di questo tipo, per essere classificato come impianto cogenerativo, deve soddisfare determinati criteri stabiliti dall' Autorità per l'Energia Elettrica ed il Gas, introdotti al fine di garantire che la produzione combinata di energia elettrica e calore porti ad un effettivo risparmio di energia primaria e che non sia troppo sbilanciata verso la produzione di sola energia elettrica, diversamente si parla solo di produzione combinata. L'opera, messa a confronto con i consumi che si avrebbero se la produzione della stessa energia avvenisse con gli impianti convenzionali di produzione separata termica e elettrica, deve consentire un risparmio di energia primaria superiore al 10%. Inoltre deve rispettare un limite termico minimo del 33%. Il limite termico è il rapporto tra l'energia termica utile prodotta dall'impianto e l'energia utile complessiva data dalla somma di quella termica e quella elettrica (Gambarotti A., Vaia I.,2005).

1.1.1 Teleriscaldamento

L'energia termica prodotta da centrali cogenerative può essere utilizzata in diversi modi: può essere destinata a consumi interni all'impianto, oppure a utenze domestiche o industriali. L'unico limite all'utilizzo di questa energia è la necessità di avere una certa vicinanza tra la centrale e l'utilizzatore finale del calore prodotto, al fine di contenere le dispersioni termiche in fase di trasporto e massimizzare l'efficienza energetica. Una configurazione impiantistica innovativa che va diffondendosi sempre più rapidamente è il teleriscaldamento. Si tratta di un

sistema di distribuzione di calore attraverso un vettore energetico (generalmente acqua surriscaldata o vapore), proveniente da centrali termiche o di cogenerazione, alimentate da fonti energetiche di vario tipo. Il fluido vettore viene distribuito agli utenti attraverso una rete che giunge a tutti gli edifici allacciati, e qui, tramite uno scambiatore, il calore è ceduto all'impianto condominiale consentendo di riscaldare gli ambienti e usufruire di acqua calda per usi domestici e igienico-sanitari, andando a sostituire i tradizionali impianti di produzione di calore dei singoli edifici (caldaie, bruciatori, serbatoi per combustibile, canne fumarie). Una volta ceduto il calore, l'acqua del teleriscaldamento ritorna in centrale per essere riportata alla massima temperatura e per ripercorrere la rete. L'ottimizzazione e l'efficienza energetica si raggiungono con impianti di piccola taglia, nell'ordine dei 5-6 MW_t e di 1 MW_e. È importante, infatti, che la rete allacci le utenze collocate nelle immediate vicinanze della centrale; impianti di taglia troppo grossa costringono ad ampliare l'area di approvvigionamento aumentando irragionevolmente costi economici e ambientali. Inoltre più ampia è l'area da rifornire, maggiori sono le dispersioni termiche nella rete. Il teleriscaldamento giustifica, anche da un punto di vista ambientale, la presenza di un impianto nelle vicinanze di un centro abitato, in questo modo si sostituiscono i tanti camini delle utenze domestiche con l'unico camino controllato della centrale, riducendo le emissioni anche per un effetto di scala che porta ad un miglioramento dell'efficienza energetica (www.fire-italia.it).

1.1.2 Impianti di cogenerazione alimentati a biomassa

Negli ultimi decenni si è accresciuto l'interesse per la produzione di energia a partire da biomasse. Questo perché la biomassa costituisce una fonte di energia rinnovabile e, utilizzata in alternativa a combustibili fossili, rappresenta un importante strumento per contrastare i cambiamenti climatici e ottenere la riduzione delle emissioni di gas serra prevista dal protocollo di Kyoto (Grosso M., Caserini S. et al., 2006). Studi LCA comparativi tra sistemi di combustione a Biomasse e i più tradizionali sistemi a combustibili fossili hanno dimostrato come, prendendo in considerazione l'intero processo, con i primi ci sia un sensibile risparmio nell'emissione di CO₂. La CO₂ emessa dalla combustione delle biomasse è teoricamente uguale a quella che viene assorbita dalle stesse piante per la riproduzione vegetale e per questo motivo il bilancio può considerarsi nullo. L'unico contributo positivo alle emissioni di CO₂ di questi sistemi è da imputarsi al trasporto della biomassa stessa, per questo motivo è fondamentale che la localizzazione dell'impianto sia tale da minimizzare i tragitti necessari

all'approvvigionamento. Gli impianti cogenerativi, che come già visto consentono già di per se un risparmio di combustibile e una riduzione delle emissioni di CO₂ sulla scala globale, portano un ulteriore beneficio ambientale se in sostituzione ai combustibili fossili vengono alimentati a biomassa. Oltre a un' ulteriore riduzione nelle emissioni di anidride carbonica, la sostituzione del combustibile consente di ridurre le emissioni di NO_x di COV e di annullare, o quasi, quelle di composti solforati. L'unico problema ambientale legato agli impianti cogenerativi a biomasse è legato alle emissioni di materiali particolato.

1.1.3 Biomasse utilizzate in combustione

Le biomasse da cui è possibile ottenere energia attraverso processi di tipo termochimico sono caratterizzate da un rapporto carbonio/azoto (C/N) superiore a 30 e da un contenuto di umidità inferiore al 30%. Secondo l'allegato X alla parte quinta del D. Lgs. 152/2006 (Testo unico in materia ambientale) sono destinabili a combustione i materiali vegetali prodotti da interventi selvicolturali, da manutenzione del verde e da potatura, gli scarti prodotti dalla lavorazione esclusivamente meccanica di legno vergine e di prodotti agricoli, e, sotto opportune condizioni, la sansa di oliva disoleata e il liquor nero ottenuto nelle cartiere dalle operazioni di lisciviazione del legno. A questi si aggiungono le coltivazioni dedicate di specie legnose, colture alternative a quelle alimentari, caratterizzate da un elevato potenziale produttivo di biomassa, producibili tramite tecniche di forestazione a turno breve (SRF, Short Rotation Forestry). L'utilizzo di queste colture contribuisce a ridurre l'erosione del suolo agricolo e il dilavamento dei nutrienti, preservando così la qualità delle acque superficiali e di falda. Alcuni esempi di biomasse ligno-cellulosiche coltivate al fine di essere utilizzate in processi termochimici sono la robinia, il pioppo, il sorgo e il miscanto (Giuliano M., Caserini S. et al, 2006).

1.2 ASPETTI AMBIENTALI

Si è già detto come, dal punto di vista dell'emissione di gas serra, gli impianti a biomassa abbiano un impatto nullo sulla scala globale in quanto la CO₂ emessa dal processo è la stessa assorbita dai vegetali durante il loro sviluppo. I principali inquinanti emessi dai sistemi alimentati a biomasse sono quelli tipici dei sistemi di combustione; quindi CO, COV e particelle carboniose da combustione incompleta, NO_x prodotti per via termica, da “prompt NO” e dalla presenza di azoto nel combustibile, e il particolato. Gli ossidi di zolfo, spesso presenti nei comuni sistemi di combustione, sono in concentrazioni molto basse nei gas di scarico dei sistemi alimentati a biomasse per l'assenza dell'elemento nella biomassa stessa. I fattori di emissione legati all'attività dell'impianto sono fortemente influenzati dalle caratteristiche e dal tipo di biomassa utilizzata, nonché dalla configurazione impiantistica e dai sistemi di abbattimento previsti (Giugliano M., Caserini S. et al., 2006).

1.2.1 Confronto tra biomassa e combustibili fossili

La sostituzione dei tradizionali combustibili fossili con la biomassa negli impianti centralizzati di produzione energetica porta una serie di benefici ambientali. Oltre all'abbattimento dell'anidride carbonica, già più volte citato, vengono ridotte le emissioni tipiche dei sistemi di combustione, fatta eccezione per le polveri per le quali l'apporto in atmosfera risulta maggiore. Per giustificare questa affermazione si sono riportati i risultati ottenuti da due studi che mettono a confronto le due tecnologie. Il primo è uno studio tecnico condotto dall'università di Pisa nel territorio comunale di Bagni di Lucca, nel quale si è valutato il confronto tra due configurazioni impiantistiche, una di produzione del tannino e della carta semichimica con centrale termoelettrica a gas naturale, olio combustibile denso e black liquor e l'altra, prevista in sostituzione della precedente, con la sola produzione del tannino abbinata ad una centrale alimentata a biomassa lignocellusica.

Tabella 1.1 Confronto tra le emissioni dell'impianto con centrale a gas naturale, olio combustibile denso e black liquor (attuale) e quelle dell'impianto con centrale a biomasse (futuro). L'impianto a biomasse produce 18 Mw in cogenerazione (Gabbrielli R., Di Marco P., 2010)

Inquinanti	SITUAZIONE ATTUALE		SITUAZIONE FUTURA		CONFRONTO
	mg/Nm ³	kg/h	mg/Nm ³	kg/h	kg/h
SOx	152	19,8	50	6,5	- 13,3 (-67%)
NOx	169	22	170	22,1	≈ 0
CO	193	25,1	90	11,7	- 13,4 (-53%)
Polveri TOT.	3,4	0,44	<5	<0,65	< 0,2 (+47%)

Dalla tabella risulta evidente il beneficio ambientale dovuto alla sensibile riduzione delle emissioni di SOx e di CO, mentre per gli NOx la situazione è sostanzialmente invariata. In genere nella combustione da biomassa la produzione di NOx per via termica e da “prompt NO” è trascurabile per le ridotte temperature di fiamma, mentre è più elevata quella dovuta all’azoto presente nel combustibile. La produzione di materiale particolato risulta maggiore (Giugliano M., Caserini S., et al.,2006). Il secondo studio preso come riferimento è una valutazione comparativa con tecniche LCA di diverse filiere di utilizzo energetico di biomasse legnose condotta dal Politecnico di Milano (Grosso M., Caserini S., et al., 2006). Lo studio considera diverse tipologie di utilizzo della biomassa, alcune in apparecchi di tipo domestico altre in impianti centralizzati di cogenerazione allacciati a una rete di teleriscaldamento. I risultati ottenuti sono espressi in relazione ai sistemi alimentati con i più tradizionali combustibili fossili. Per gli impianti residenziali si è presa come riferimento una tradizionale caldaia domestica alimentata a metano che produce lo stesso quantitativo di energia utile, mentre per gli impianti cogenerativi il confronto si è effettuato prendendo come riferimento una situazione in cui il calore utile è prodotto direttamente presso l’utenza civile, mentre l’energia elettrica è fornita dalla rete. Si sono considerati, quindi, gli impatti associati a una quantità di caldaie domestiche a metano in grado di produrre la stessa energia utile (nei riguardi della produzione termica) e gli impatti associati alla produzione di energia elettrica dal mix termoelettrico tipico del caso italiano al 2004. Nelle tabelle seguenti sono riportati i risultati ottenuti in riferimento ai sistemi appena menzionati.

Tabella 1.2 Risultati dell'analisi LCA in termini di emissioni per tonnellata di biomassa secca. I valori negativi indicano le emissioni evitate rispetto all'utilizzo dei combustibili fossili, quelli positivi indicano emissioni aggiuntive

FILIERA	CO ₂	PM ₁₀	CH ₄	N ₂ O	NMVOG	NH ₃	SO ₂	NO _x
	fossile							
	Kg/t _s	Kg/t _s	Kg/t _s	Kg/t _s	Kg/t _s	Kg/t _s	Kg/t _s	Kg/t _s
Camino aperto	-71,1	9,03	-0,51	2,68	100	0,81	0,35	2,68
Stufa innovativa	-869	3,03	-2,72	1,44	9,89	0,41	-0,17	1,44
Sistema BAT a pellet	-998	0,53	-3,09	2,79	0,91	0,11	0,08	2,79
Teleriscaldamento 8MW _t	-962	0,0002	-2,4	-1,3	-0,36	-0,006	-1,35	-1,3
Teleriscaldamento 8MW _t + SRF	-814	0,096	-2,207	0,0528	-0,2	0,02	0,05	0,54
Teleriscaldamento 100 MW _t	-896	0,003	-1,69	-0,8	-0,15	0,34	-2,41	-0,8

Tabella 1.3 Risultati della Tabella 1.2 raggruppati per categorie di impatto.

FILIERA	Effetto serra	Tossicità umana	Acidificazione	Smog fotochimico
	Kg CO ₂ eq/t _s	Kg 1,4-DBeq/t _s	Kg SO ₂ eq/t _s	Kg C ₂ H ₄ eq/t _s
Camino aperto	-80,4	2870	3,05	44,5
Stufa innovativa	-932	2782	1,17	5,17
Sistema BAT a pellet	-1080	96,30	1,63	0,762
Teleriscaldamento 8MW _t	-1020	-106	-2,28	-0,305
Teleriscaldamento 8MW _t + SRF	-850	-69	-1,26	-0,195
Teleriscaldamento 100 MW _t	-914	-116	-2,68	-0,227

Questo studio conferma che l'utilizzo delle biomasse in impianti centralizzati assicurano, oltre ad un risparmio di gas serra, anche modesti benefici in termini di tossicità umana, acidificazione e produzione di smog fotochimico rispetto all'impiego di combustibili fossili. Osservando i risultati si nota che lo stesso beneficio non si ha se la biomassa è utilizzata in impianti residenziali dove le emissioni sono più difficili da controllare e l'efficienza è minore. Come lo studio precedente, anche questo conferma come le polveri costituiscano un problema per le biomasse; in tutte le filiere considerate l'emissione di particolato è superiore a quella dei rispettivi sistemi a combustibile fossile.

1.2.2 Il particolato e i suoi effetti sull'uomo e l'ambiente

La documentazione presentata nel paragrafo precedente dimostra come la maggior criticità ambientale associata alla combustione di biomassa sia l'emissione di materiale particolato. Le polveri generate da questi sistemi sono composte da particelle di carbonio elementare, composti organici e sali inorganici, in frazioni che dipendono fortemente dall'efficienza del sistema di combustione. Nei caminetti il particolato è formato in prevalenza da composti organici e particelle carboniose, mentre i sali sono presenti in piccola percentuale. Nei sistemi più efficienti, dove la combustione è ottimizzata, le polveri sono per lo più costituite da Sali inorganici, in particolare Sali di potassio, mentre la componente organica risulta trascurabile (Giugliano M., Caserini S., et al, 2006). Negli ultimi anni il particolato è diventato un inquinante di particolare interesse a causa degli effetti che ha sul clima e sulla salute umana. Il particolato dei fumi e delle esalazioni provoca una diminuzione della visibilità atmosferica e diminuisce la luminosità assorbendo o riflettendo la luce solare. Negli ultimi 50 anni si è notata una diminuzione della visibilità del 50%, ed il fenomeno risulta tanto più grave quanto più ci si avvicina alle grandi aree abitative ed industriali. Le polveri sospese favoriscono la formazione di nebbie e nuvole, costituendo nuclei di condensazione per la formazione di gocce d'acqua. Di conseguenza favoriscono il verificarsi dei fenomeni delle nebbie e delle piogge acide, che comportano effetti di erosione e corrosione dei materiali e dei metalli. Il particolato inoltre danneggia i circuiti elettrici ed elettronici, insudicia gli edifici e le opere d'arte e riduce la durata dei tessuti. Le polveri, possono depositarsi sulle foglie delle piante e formare così una patina opaca che, schermando la luce, ostacola il processo della fotosintesi.

Gli effetti del particolato sul clima della terra sono, invece, piuttosto discussi. Sicuramente un aumento del particolato in atmosfera comporta una diminuzione della temperatura terrestre per un effetto di riflessione e schermatura della luce solare, in ogni caso tale azione è comunque mitigata dal fatto che le particelle riflettono anche le radiazioni infrarosse provenienti dalla terra. E' dimostrato che negli anni immediatamente successivi alle più grandi eruzioni vulcaniche di tipo esplosivo (caratterizzate dalla emissione in atmosfera di un'enorme quantità di particolato) sono seguiti degli anni con inverni particolarmente rigidi. Alcune ricerche affermano che un aumento di 4 volte della concentrazione del particolato in atmosfera comporterebbe una diminuzione della temperatura globale della terra pari a 3,5°C.

Le particelle che possono produrre degli effetti indesiderati sull'uomo sono sostanzialmente quelle di dimensioni più ridotte, infatti nel processo della respirazione le particelle maggiori di 15 micron vengono generalmente rimosse dal naso. Il particolato che si deposita nel tratto superiore dell'apparato respiratorio (cavità nasali, faringe e laringe) può generare vari effetti irritativi come l'infiammazione e la secchezza del naso e della gola; tutti questi fenomeni sono molto più gravi se le particelle hanno assorbito sostanze acide (come il biossido di zolfo, gli ossidi di azoto, ecc.). Per la particolare struttura della superficie, le particelle possono anche adsorbire dall'aria sostanze chimiche cancerogene; trascinandole nei tratti respiratori e prolungandone i tempi di residenza, ne accentuano gli effetti. Le particelle più piccole penetrano nel sistema respiratorio a varie profondità e possono trascorrere lunghi periodi di tempo prima che vengano rimosse, per questo sono le più pericolose. Queste polveri aggravano le malattie respiratorie croniche come l'asma, la bronchite e l'enfisema. Il particolato ultrafine, caratterizzato da un diametro inferiore a 0,1 micrometri, può addirittura entrare nel circolo sanguigno, con tutti i pericoli che questo può comportare. Le persone più vulnerabili sono gli anziani, gli asmatici, i bambini e chi svolge un'intensa attività fisica all'aperto, sia di tipo lavorativo che sportivo. Nei luoghi di lavoro più soggetti all'inquinamento da particolato l'inalazione prolungata di queste particelle può provocare reazioni fibrose croniche e necrosi dei tessuti che comportano una broncopneumite cronica accompagnata spesso da enfisema polmonare. I problemi maggiori legati alla presenza di particolato in atmosfera sono dovuti ad un'esposizione prolungata nel tempo a concentrazioni anche contenute della sostanza (www.nonsoloaria.com). Per i motivi citati la normativa impone un limite medio giornaliero della concentrazione del particolato nell'aria di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, al quale sono consentiti un massimo di 35 superamenti all'anno. Il limite annuo da rispettare è di $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

1.3 LO STRATO LIMITE PLANETARIO

Lo strato limite planetario (PBL) costituisce il limite inferiore della troposfera ed è caratterizzato da un intenso mescolamento turbolento. Gli agenti inquinanti emessi dalle sorgenti presenti sulla terra vengono intrappolati in questo strato, che è quello in cui l'essere umano trascorre la stragrande maggioranza della propria vita, e qui sono soggetti a fenomeni di trasporto e diffusione ad opera dei venti e delle turbolenze generate dai moti verticali. I

parametri relativi allo strato limite sono estremamente importanti per capire come avvengono questi movimenti e sono utilizzati come input per l'applicazione e la validazione dei modelli atmosferici. Lo strato limite si differenzia dalla parte più alta della troposfera perché è direttamente influenzato dalla morfologia della superficie terrestre, dai fenomeni che su di essa hanno luogo e da tutte le attività umane. Inoltre ha una risposta temporale piuttosto rapida, anche inferiore all'ora, alle sollecitazioni derivanti dalla superficie e che ne provocano una grande variabilità nello spazio e nel tempo (Nasti L., 2005).

1.3.1 Turbolenza e stabilità atmosferica

La stabilità atmosferica non è altro che un indicatore della turbolenza atmosferica responsabile dei mescolamenti dell'aria. La turbolenza può essere di natura meccanica o termica, ma trascurando la prima, che è più localizzata e di minor intensità, si può definire la stabilità atmosferica in base al criterio per cui una massa d'aria circostante la terra è considerata stabile se strati d'aria calda sovrastano tale massa rendendo impossibili ulteriori movimenti verticali di tipo convettivo, instabile in caso contrario, quando cioè la temperatura diminuisce all'aumentare della quota. La turbolenza meccanica è causata dall'attrito dell'aria col suolo e dalla viscosità dell'aria stessa. Questa turbolenza è particolarmente intensa in prossimità della superficie terrestre e va scemando procedendo verso le quote più alte. La turbolenza di origine termica, invece, è causata da significativi aumenti locali di temperatura prodotti dal riscaldamento della terra, che a sua volta favorisce il riscaldamento dal basso degli strati d'aria ad essa adiacenti. Questi strati si vengono a trovare al di sotto di strati più freddi e più densi che, per effetto del campo gravitazionale terrestre, discendono e spingono verso l'alto la zona più bassa e più calda della troposfera. Si stabilisce nella massa del fluido una circolazione continua e prevalentemente verticale, in cui masse di aria calda producono correnti ascendenti a cui sono associati moti discendenti di aria fredda. A questo fenomeno, che costituisce uno dei più importanti processi di trasporto nello strato limite, si attribuisce il nome di turbolenza convettiva; i suoi vortici hanno dimensioni comparabili con lo spessore dell'intero strato (Nasti L., 2005)

1.3.2 Il ciclo diurno del PBL

Lo strato limite planetario ha uno spessore che varia notevolmente nello spazio e nel tempo, anche se con una certa regolarità. Sul mare le sue variazioni sono più contenute poiché la temperatura marina varia lentamente durante il giorno. Questo accade per il grande mescolamento delle masse d'aria sopra di esso e perché il mare ha una grande capacità termica e può assorbire ingenti quantità di calore senza variare apprezzabilmente la temperatura superficiale dell'acqua. Sulla terra ferma, invece, lo strato limite ha una struttura ben definita e fortemente variabile, con regolarità, durante la giornata. Sia sulla terra che sul mare, lo strato limite risulta più sottile in zone ad alta pressione rispetto a quelle dove è più bassa. L'alta pressione crea uno schiacciamento delle masse d'aria contenute nello strato limite spingendole orizzontalmente verso regioni dove la pressione è più bassa; qui, attraverso moti convettivi, si spostano verso l'alto allontanandosi dalla superficie. Durante le ore del giorno la superficie terrestre, inizialmente fredda, è in grado di assorbire buona parte della radiazione solare incidente per poi trasferirla, sotto forma di calore sensibile o latente (attraverso i cambiamenti di stato dell'acqua), allo strato d'aria adiacente. Si sviluppa, così, uno strato convettivo turbolento al suolo dovuto al moto ascensionale di sottili pennacchi di aria calda. Al tramonto del sole l'azione radiativa non si arresta immediatamente e si ha una riduzione graduale delle correnti termiche risalenti dalla superficie. Di notte il suolo si raffredda e lo stesso accade all'aria a contatto con esso, che diventa più densa e arresta ogni processo convettivo. Lo strato limite ha quindi un tipico andamento giorno-notte. Le condizioni convettive iniziano circa mezz'ora dopo il sorgere del sole, l'altezza dello strato limite continua ad aumentare fino a raggiungere il suo massimo nel tardo pomeriggio, per diminuire via via dopo il tramonto (Nasti L., 2005).

1.3.3 Lo strato limite convettivo CBL e lo strato limite stabile SBL

Con strato limite convettivo si indica lo strato limite In condizioni di forte insolazione che generano vortici di natura convettiva con un forte aumento di turbolenza e un elevato rimescolamento dell'atmosfera. Quotidianamente, invece, poco prima del tramonto comincia a formarsi uno strato direttamente a contatto con la superficie e che è definito come strato limite stabile SBL. In assenza di radiazione solare la Terra si raffredda cedendo calore

all'atmosfera per irraggiamento, emettendo radiazioni infrarosse. Lo strato limite stabile raggiunge la sua massima profondità al sorgere del sole, dopodiché incomincia a ridursi dal basso. Generalmente questo strato è associato ad un'inversione termica al suolo che impedisce ogni movimento verticale.

1.3.4 La temperatura potenziale

Una grandezza fisica importante nello studio della stabilità atmosferica è la temperatura potenziale, un parametro che esprime la tendenza dell'atmosfera a favorire i moti convettivi. Rappresenta la temperatura che una massa d'aria, inizialmente a pressione P e temperatura T , assumerebbe se fosse portata alla pressione di riferimento, di 1 bar, attraverso una trasformazione adiabatica. Il suo logaritmo è proporzionale all'entropia dell'aria. In generale un'atmosfera con un gradiente di temperatura potenziale negativo favorisce i moti convettivi, una con gradiente negativo tende a inibirli (Nasti L., 2005).

LA STRUTTURA DI AERMOD

E LO STUDIO DIFFUSIVO

Il presente studio si propone di valutare la diffusione del particolato emesso da una centrale cogenerativa a biomassa da 20 MW. Per condurre l'analisi diffusiva si è utilizzato il modello AERMOD, si è condotta una simulazione annuale e si sono calcolate la concentrazione media e quella giornaliera di punta in una rete di recettori disposti nell'intorno dell'impianto. Le concentrazioni medie annuali stimate si sono utilizzate per ricostruire, con Excell, delle corone di impatto. A seguire si presentano i principali parametri utilizzati dal codice per ricostruire lo strato limite planetario. Si descrive la struttura di AERMOD e lo studio diffusivo condotto.

2.1 I PRINCIPALI PARAMETRI METEOROLOGICI RELATIVI ALLA TURBOLENZA

I moti turbolenti che avvengono nello strato limite planetario sono troppo complessi per essere descritti compiutamente da temperatura e velocità del vento. Di seguito vengono introdotte delle grandezze che descrivono le proprietà medie di questi moti, cercando di catturarne gli aspetti che maggiormente influenzano le proprietà diffusive dell'atmosfera. Si tratta di parametri per cui la determinazione del valore può non essere univoca anche se lo stato dell'atmosfera è conosciuto nel dettaglio. Solitamente queste grandezze non si riferiscono a una particolare proprietà misurabile in un dato istante, ma sono piuttosto delle

"grandezze di scala", cioè forniscono una stima della scala che assumono in media alcuni moti atmosferici. Questi parametri sono utilizzati dai principali modelli per valutare i fenomeni diffusivi all'interno dell'atmosfera. Condurne una stima è molto complesso, tuttavia esistono schemi, più o meno empirici, per individuarli a partire dalle grandezze meteorologiche standard; l'implementazione di questi schemi costituisce il nucleo dei pre-processor meteorologici (www.smr.arpa.emr.it).

- *Velocità verticale (w):* Componente verticale del vento, positiva se diretta verso l'alto
- *Intensità dell'inversione:* Quando nello stesso punto sono disponibili almeno due misure di temperatura ad altezze diverse, la loro differenza può dare un'indicazione di massima sulla stabilità atmosferica.
- *Altezza di rimescolamento (z_i):* Corrisponde all'altezza dello strato rimescolato, ed è forse il parametro più utilizzato per valutare la diffusione degli inquinanti in condizioni di strato limite instabile. Per definirla occorre individuare fino a quale quota sia verificata una condizione, scelta come caratteristica peculiare dello strato rimescolato; sono state proposte ad esempio: forte turbolenza, forte rimescolamento dell'aria, rapida diffusione degli inquinanti, presenza di forti flussi verticali di calore e momento (Seibert, Beyrich et al., 1988). La scelta della particolare definizione può portare a valori anche sensibilmente diversi di z_i .
- *Classe di stabilità:* E' un indicatore qualitativo dell'intensità della turbolenza atmosferica. Esistono diversi schemi di classificazione, che prevedono un diverso numero di classi e si basano sul valore di una (o più) grandezze meteorologiche collegate alla turbolenza: gradiente verticale di temperatura (classi di Pasquill-Gifford), deviazione standard della direzione del vento, rugosità e lunghezza di Monin-Obukhov.
- *Flusso di calore sensibile:* Flusso di calore scambiato per conduzione molecolare; in genere si considera quello superficiale, che misura gli scambi di calore tra suolo e atmosfera. I valori sono positivi se il flusso è diretto verso l'alto.
- *Flusso di calore latente:* Proporzionale al flusso di vapore acqueo; in genere si considera il flusso superficiale, che corrisponde alla quantità di acqua che evapora dal suolo nell'unità di tempo. I valori sono positivi se il flusso è diretto verso l'alto.
- *Flusso di momento:* In genere si considera il flusso verticale della componente orizzontale del momento, diviso per la densità dell'aria (flusso di momento

cinematico). Il suo valore alla superficie esprime l'effetto di freno che l'attrito al suolo ha sul flusso d'aria, ed è quindi sempre negativo.

- *Velocità di frizione (u^*):* E' una grandezza di scala che dà indicazioni sull'entità della turbolenza generata da fattori meccanici vicino alla superficie, principalmente l'aumento della velocità del vento con la quota nello strato superficiale.
- *Lunghezza di Monin Obukhov (L):* E' un parametro di scala utile nello strato superficiale, e corrisponde al rapporto tra l'intensità della turbolenza prodotta da fattori meccanici (*shear* del vento) e quella di origine convettiva (termiche). In condizioni di strato instabile (giorno) L è positiva, e $L/2$ è circa uguale all'altezza in cui le due sorgenti di turbolenza sono uguali. In condizioni di strato limite stabile (notte) L è negativa, perché la stratificazione stabile dell'atmosfera inibisce la convezione e il termine di produzione convettiva diventa negativo (Stull, 1988).
- *Velocità convettiva di scala (w^*):* E' una grandezza di scala utile in condizioni di strato limite convettivo, tanto più grande quanto maggiori sono l'altezza di rimescolamento e i flussi di calore dalla superficie. Dà un'indicazione sulle velocità verticali che possono essere generate dai moti convettivi dello strato limite.
- *Rugosità del terreno (z_0):* Indica fino a quale altezza sul terreno l'effetto degli ostacoli (alberi, edifici, ecc.) è dominante: al di sotto di tale quota il vento medio è sostanzialmente nullo. Dipende da altezza, forma e densità degli ostacoli, ma è sempre minore della loro altezza effettiva. Il suo valore determina il profilo dell'intensità del vento nello strato superficiale.
- *Displacement distance (d):* Su un terreno con ostacoli alti e fitti (un bosco, una città...), è possibile definire una superficie al di sopra della quale il profilo del vento ricalca quello che si avrebbe nello strato superficiale su un suolo senza ostacoli. Tale superficie, che corrisponde grosso modo all'involuppo degli ostacoli, agisce sul flusso atmosferico come un suolo "spostato"; d è la sua l'altezza rispetto al suolo reale.

2.2 IL CODICE AERMOD

Per studiare la diffusione del particolato emesso dalla centrale si è scelto di utilizzare il codice AERMOD. Si tratta di un modello di diffusione prodotto e reso disponibile dall' U.S. Environmental Protection Agency . Il modello è in grado di stimare gli impatti sul territorio di inquinanti emessi da diversi tipi di sorgenti industriali, utilizzando allo scopo gli algoritmi più

aggiornati. AERMOD è un modello di dispersione “steady-state”, in cui la diffusione in atmosfera dell’inquinante emesso da una sorgente viene simulata adottando una distribuzione gaussiana della concentrazione, sia nella direzione orizzontale che in quella verticale, se l’inquinante diffonde nello strato limite stabile SBL. Se invece l’inquinante diffonde nello strato limite convettivo CBL, il codice descrive la concentrazione in aria adottando una distribuzione gaussiana nella direzione orizzontale e una funzione densità di probabilità bi-gaussiana per la direzione verticale (Willis G.E., Deardorff J.W. et al., 1981; Briggs G.A., 1993). Il codice, in modo innovativo, incorpora inoltre un nuovo e semplice approccio per simulare la dispersione di un flusso in situazione di terreno complesso adottando il concetto di linea di flusso (Snyder W.H., Thompson R.S. et al., 1985). Tale approccio è basato su considerazioni energetiche che permettono di definire, per ogni punto del territorio sul quale diffonde l’inquinante, la quota alla quale è soddisfatto il bilancio energetico tra l’energia cinetica di una particella d’aria che si muove nel flusso e l’energia potenziale necessaria affinché la particella superi un ostacolo. L’utilizzo di questo approccio evita la necessità di distinguere il terreno in semplice, intermedio o complesso. L’attuale versione di AERMOD contiene particolari algoritmi in grado di tenere conto di determinate caratteristiche dello strato limite, ed è in grado di simulare il comportamento del pennacchio in diverse situazioni:

- calcola l’innalzamento del pennacchio e la spinta di galleggiamento;
- è in grado di simulare i cosiddetti “plume lofting” cioè le porzioni di massa degli inquinanti che in situazioni convettive prima di diffondersi nello strato limite, tendono ad innalzarsi e a rimanere in prossimità della fascia più elevata dello strato limite;
- tiene conto della penetrazione del pennacchio in presenza di inversioni in quota;
- può trattare lo strato limite in situazioni urbane;
- predispone un’analisi dei parametri meteorologici allo scopo di definire la struttura verticale dello strato limite e la sua evoluzione temporale. Inoltre può considerare recettori in tutti i tipi di terreno, ubicati sulla superficie o a quote superiori all’altezza del pennacchio; può venire applicato ad aree urbane e rurali, su terreni piani e complessi; può prendere in esame i rilasci di sorgenti singole o multiple, sia puntuali che areali o volumetriche, e le sorgente possono essere ubicate sia in superficie che in quota.

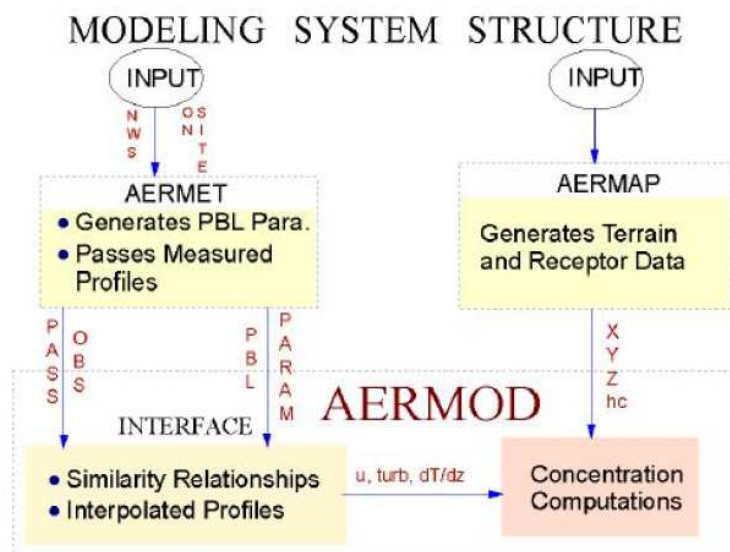
In successivi aggiornamenti e revisioni al modello è stato aggiunto l’algoritmo di “down wash”. Questo algoritmo (chiamato PRIME dal nome del modello in cui ebbe origine), permette di considerare due particolari aspetti collegati all’influenza della turbolenza

atmosferica nel trasporto al suolo dell'inquinante. Di fatto la turbolenza atmosferica tende da una parte ad aumentare la dispersione del pennacchio e quindi ad influire sui parametri diffusivi con i quali viene simulata la distribuzione della concentrazione in aria, dall'altra ad influenzare lo spostamento del pennacchio nella direzione verticale. Il sovra innalzamento del pennacchio è legato agli effetti di intrappolamento di quest'ultimo nei flussi turbolenti, sia di natura meccanica che convettiva, che tendono a manifestare una spinta discendente sottovento agli edifici eventualmente presenti vicino al camino e una spinta ascendente collegata ai flussi turbolenti diretti verso l'alto (Toppetti A.M., 2003).

2.2.1 Struttura e funzionamento del codice

L'utilizzo del codice AERMOD è articolato in tre distinte fasi operative ad ognuna delle quali è demandata una particolare funzione svolta da codici specifici. Le caratterizzazioni orografica e meteorologica degli scenari oggetto dello studio dispersivo vengono approntate rispettivamente dai codici AERMAP e AERMET che operano in modo disgiunto e autonomo e calcolano i parametri di tipo orografico e meteorologico che concorrono alla descrizione dello strato limite planetario nel quale diffondono gli inquinanti, che successivamente sono simulati con il codice di dispersione AERMOD. Nella figura seguente è riportato il flusso delle fasi operative nelle quali è articolato il funzionamento del codice.

Figura 2.1 Struttura di AERMOD e dei due pre-processori AEMAP e AERMET



Il codice AERMAP, che rappresenta il preprocessore orografico, dopo la lettura dei dati orografici e delle caratteristiche della griglia orizzontale dei recettori (x_r , y_r) assegnata dall'utente per il successivo calcolo delle concentrazioni, determina per ogni singolo recettore la quota z_r e calcola un parametro hc , detto "altezza scala" del terreno, che rappresenta l'altezza entro la quale si esplica l'influenza dei vicini rilievi orografici nel punto (x_r , y_r , z_r).

Il codice AERMET, che rappresenta il preprocessore meteorologico, prevede la lettura a livello orario di una serie di parametri meteorologici, quali velocità e direzione del vento, temperatura e copertura nuvolosa, misurati in una stazione al suolo rappresentativa del sito oggetto dello studio e la lettura giornaliera di un profilo della velocità e direzione del vento e della temperatura. I dati letti vengono poi utilizzati per calcolare il valore dei parametri, quali il flusso di calore sensibile, la velocità u^* , la lunghezza di Monin Obukhov L , la velocità convettiva di scala w^* , le altezze di mescolamento, sia meccanica Z_{im} sia convettiva Z_{ic} , che definiscono lo strato limite (PBL) nel quale diffondono gli inquinanti. Gli algoritmi utilizzati dal codice sono diversi a seconda delle condizioni di atmosfera stabile o convettiva. Il codice di dispersione AERMOD infine, dopo aver integrato le caratteristiche dello strato di rimescolamento nella fase detta di "interfaccia meteorologica", calcola le concentrazioni al suolo degli inquinanti emessi in atmosfera assumendo particolari ipotesi. Nel caso di atmosfera stabile il codice suppone che l'inquinante diffonda nello spazio mantenendo una forma sia nella direzione orizzontale che verticale assimilabile ad una distribuzione gaussiana, mentre nel caso di atmosfera convettiva la forma adottata dal codice per diffondere il pennacchio riflette la natura non gaussiana della componente verticale della velocità del vento (Toppetti A.M., 2003).

2.3 FINALITA' DELLO STUDIO

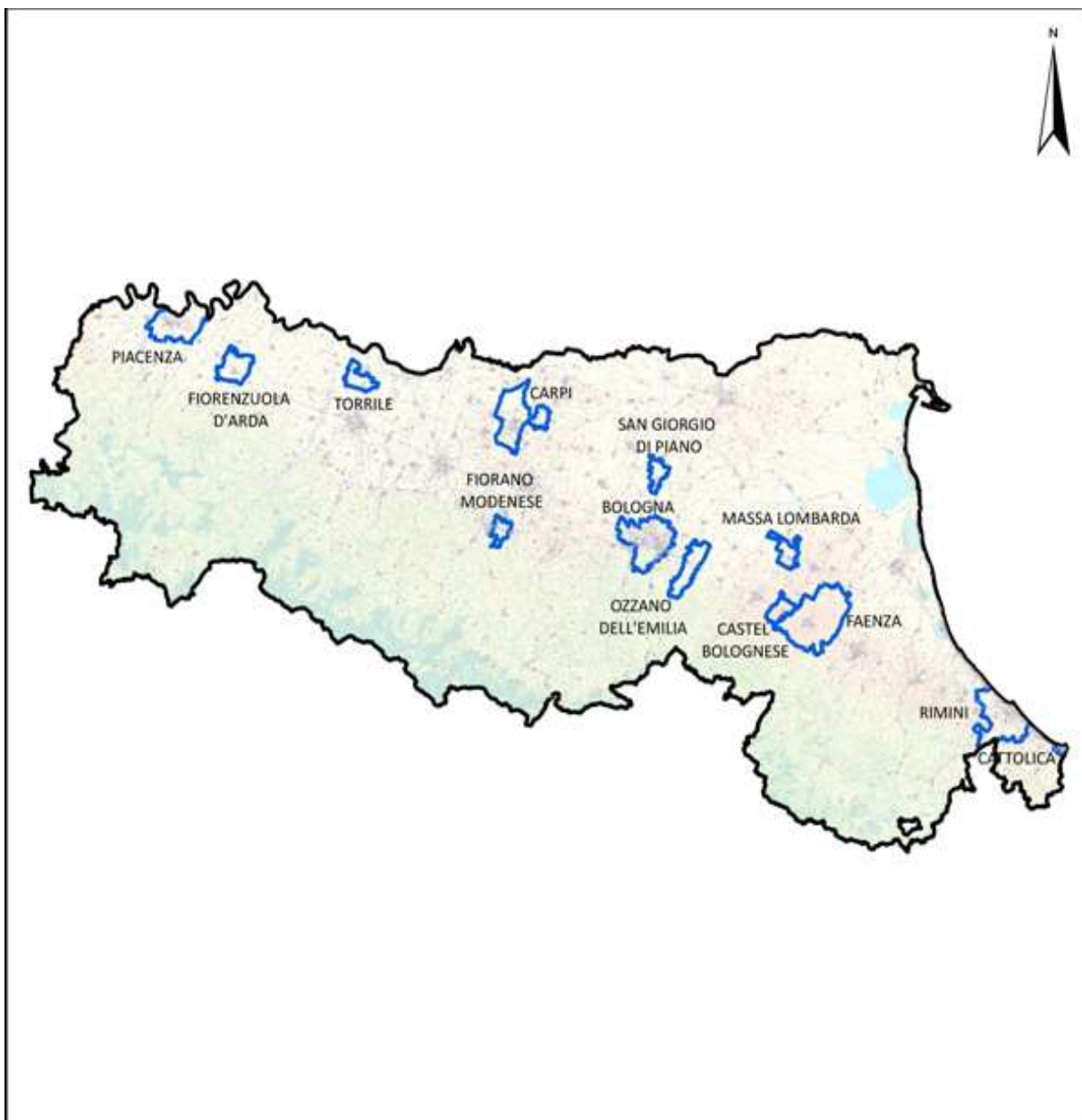
L'obiettivo dell'analisi è quello di studiare la diffusione atmosferica del particolato (PM_{10}) indotto dall'attività di una centrale cogenerativa a biomasse in una serie di località dell'Emilia Romagna. Lo studio si è svolto sul periodo di un anno, nel quale si sono calcolati, in una griglia di recettori dislocati attorno all'impianto, i valori delle concentrazioni medie e quelli di punta. L'obiettivo principale dell'elaborato è la realizzazione di corone di impatto attorno alla centrale a partire dalla media annuale delle concentrazioni simulate dal modello. Per ogni elaborazione si è calcolata anche la concentrazione massima giornaliera, al fine di valutare i picchi di concentrazione indotti. Lo studio è strutturato in modo da ottenere risultati diffusivi

validi per il comune di riferimento indipendentemente dalla localizzazione dell'impianto all'interno di esso. Questo è possibile perché le localizzazioni scelte si trovano tutte in pianura e l'orografia del territorio ha un'incidenza irrilevante sulla diffusione. In questo modo i risultati possono costituire un utile strumento per valutare come varia l'effetto della centrale sulla popolazione residente al variare della localizzazione scelta per l'impianto; possono essere utilizzati per fare confronti ambientali tra diverse localizzazioni possibili o anche per individuare aree ottimali, da un punto di vista ambientale, per la realizzazione dell'impianto.

2.3.1 Le località oggetto di studio

Si è condotto lo studio diffusivo in una serie di località della Pianura emiliano romagnola. Le località si sono individuate, in uno studio precedente, con lo scopo di massimizzare la produzione di energia da biomasse alla scala regionale e di contenere i tragitti per il trasporto del combustibile (Forese G., Guariso G., 2009). Si tratta dei comuni di Piacenza, Fiorenzuola d'Arda, Torrile, Fiorano Modenese, Bologna, Carpi, Castel Bolognese, Fiorano Modenese, San Giorgio di Piano, Faenza, Massa Lombarda, Cattolica e Rimini. Tutte le località si trovano all'interno della pianura emiliano-romagnola in una realtà decisamente omogenea da un punto di vista orografico.

Figura 2.2 Mappa dell'Emilia Romagna, con i comuni esaminati in evidenza



2.3.2 L'approccio “ KEYWORD ” e l'utilizzo dei “ runstream file ” per configurare le elaborazioni

I file di input ,utilizzati da AERMOD e dai due pre-processor , sono file di testo che sfruttano un particolare approccio basato su parametri e parole chiave per specificare le opzioni e i dati da utilizzare nelle elaborazioni. Si tratta di un vero e proprio linguaggio di comandi specifico con cui l'utente può impostare e personalizzare ogni singola corsa del modello. Attraverso la codificazione di questi file, denominati “runstream file”, si selezionano le opzioni del modello e si attribuiscono i valori ai parametri necessari ad ogni elaborazione (U.S. EPA, 2004a).

2.4 IL PRE-PROCESSORE OROGRAFICO AERMAP

Il preprocessore AERMAP effettua una caratterizzazione orografica dell'area oggetto di studio e calcola per sorgenti e recettori due parametri già descritti in precedenza: la quota, e l'altezza di scala. Nello studio in esame, tuttavia, l'utilizzo di AERMAP è inutile, infatti l'obiettivo è quello di determinare corone d'impatto che permettano di valutare l'effetto ambientale dell'impianto in funzione della localizzazione di questo all'interno dei comuni indicati in precedenza, minimizzando gli effetti negativi sulla popolazione indotti dal particolare. La localizzazione della centrale, quindi, non è nota a priori e la caratterizzazione orografica dei recettori non è possibile. Di conseguenza si è deciso di effettuare le analisi diffusive senza considerare le caratteristiche orografiche del territorio; si è proceduto utilizzando un'opzione speciale di AERMOD, FLAT, che consente di condurre le elaborazioni considerando un territorio piatto uniforme e trascurando le funzionalità di AERMAP. Questa assunzione è giustificata dal fatto che tutte le aree oggetto di studio sono situate all'interno della pianura padana, ragion per cui le differenze di quota tra i recettori sono minime e l'orografia del territorio ha un'influenza decisamente marginale sulla diffusione degli inquinanti. Al fine di valutare l'errore commesso con tale assunzione si è condotto uno studio diffusivo comparativo nel comune di Bologna. Si sono confrontate due elaborazioni, una condotta con AERMAP con una localizzazione specifica dell'impianti e una con l'opzione FLAT ; a seguire sono riportati i passi dell'analisi e i risultati ottenuti (U.S. EPA, 2004a).

2.4.1 Implementazione di AERMAP

Per utilizzare AERMAP è indispensabile disporre di un DEM del territorio in esame. I formati DEM compatibili con il codice sono il DEM USGS e il NED (National Elevation Dataset), formati tipici della realtà statunitense non disponibili per il territorio oggetto di studio. Con una ricerca approfondita è stato possibile trovare, al link www.freegis-italia.org, una versione di dati SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission) che coprono tutto il territorio italiano. I dati SRTM in formato GeoTiff sono assimilabili ai NED del territorio americano e quindi compatibili con il codice. Il territorio dell'Emilia Romagna è contenuto interamente in quattro file, georeferenziati in coordinate UTM, con una risoluzione di 3 arcosecondi (90mx90m). La risoluzione ottimale per le elaborazioni di AERMOD è di 1 arcosecondo, ma nel caso in esame, poiché la risoluzione spaziale della rete di recettori è di 100 m x 100 m, quella di 3 arcosecondi è più che sufficiente. L'impostazione delle elaborazioni avviene, come per tutti gli altri codici, mediante un runstream file che sfrutta uno specifico linguaggio di codificazione. Si è quindi definita la posizione della sorgente, assunta puntiforme, e dei recettori disposti attorno ad essa. Si è scelto di impostare una griglia cartesiana di recettori disposti attorno alla sorgente per un'area di 25 km quadrati (5km x 5km) con un passo di 100 metri tra ogni recettore. In definitiva una griglia di 2601 recettori, con quello localizzato al centro della griglia coincidente con la sorgente. AERMAP è in grado di ricavare dal file DEM quota e altezza di scala per la sorgente e per ogni recettore.

2.4.2 Confronto tra elaborazioni condotte con AERMAP e elaborazioni senza

A seguire si riporta la comparazione dello studio diffusivo condotto con e senza caratterizzazione orografica nella località di Bologna. Il fine dell'analisi è quello di giustificare l'esclusione del pre-processore dallo studio diffusivo. Si è scelto di effettuare il confronto a Bologna perché è una localizzazione geograficamente intermedia tra tutte quelle prese in esame. Entrambe le elaborazioni si sono condotte con le impostazioni di AERMOD e le assunzioni che verranno presentate in seguito. A titolo esemplificativo si sono riportati i risultati ottenuti nei recettori collocati in un km quadrato intorno alla sorgente.

Tabella 2.1 Matrice dei risultati ottenuti per Bologna utilizzando il pre-processor AERMAP, i metri riportati in rosso si riferiscono alla distanza dei recettori dalla centrale (i valori positivi si riferiscono alla direzione Nord sull'asse delle ordinate e est su quello delle ascisse)

Metri	-500	-400	-300	-200	-100	0	100	200	300	400	500
500	0,03896	0,04540	0,05424	0,06781	0,08114	0,08760	0,09244	0,10201	0,10978	0,10757	0,09793
400	0,04426	0,05133	0,05999	0,07243	0,08879	0,09777	0,10524	0,12122	0,12851	0,11890	0,10287
300	0,05050	0,05801	0,06642	0,07479	0,08656	0,09734	0,11623	0,14116	0,14113	0,12239	0,10178
200	0,05895	0,06697	0,07215	0,07340	0,07088	0,07418	0,10572	0,14375	0,14305	0,12127	0,10151
100	0,06786	0,07693	0,07960	0,06760	0,04090	0,02730	0,06248	0,11584	0,13580	0,12238	0,10427
0	0,07482	0,08493	0,08882	0,06831	0,02529	SORG	0,03458	0,10190	0,13149	0,12344	0,10604
-100	0,07856	0,09028	0,09743	0,08646	0,05462	0,03755	0,07112	0,11683	0,12997	0,11981	0,10248
-200	0,08164	0,09510	0,10691	0,11175	0,11323	0,11419	0,12847	0,13974	0,13090	0,11399	0,09651
-300	0,08192	0,09762	0,11420	0,13016	0,14256	0,15015	0,15003	0,14130	0,12489	0,10755	0,09022
-400	0,07942	0,09548	0,11347	0,13132	0,14279	0,14657	0,13984	0,13078	0,11577	0,09919	0,08352
-500	0,07551	0,08992	0,10582	0,11954	0,12766	0,12772	0,12220	0,11420	0,10261	0,08928	0,07656

Tabella 2.2 Risultati ottenuti per Bologna utilizzando l'opzione FLAT

Metri	-500	-400	-300	-200	-100	0	100	200	300	400	500
500	0,04032	0,04707	0,05684	0,07154	0,08612	0,09218	0,09680	0,10651	0,11386	0,11188	0,10150
400	0,04575	0,05318	0,06238	0,07616	0,09416	0,10371	0,11322	0,12894	0,13393	0,12371	0,10602
300	0,05220	0,06014	0,06866	0,07892	0,09442	0,10660	0,12586	0,14948	0,14713	0,12775	0,10642
200	0,05975	0,06798	0,07502	0,07745	0,07585	0,08193	0,11730	0,15005	0,14508	0,12568	0,10572
100	0,06786	0,07715	0,08157	0,07065	0,04127	0,02891	0,07097	0,12068	0,13550	0,12422	0,10637
0	0,07500	0,08607	0,09014	0,07070	0,02619	SORG	0,03827	0,10443	0,13163	0,12344	0,10604
-100	0,07997	0,09293	0,10020	0,08777	0,05263	0,03717	0,06981	0,11531	0,12964	0,11898	0,10211
-200	0,08232	0,09670	0,10901	0,11356	0,10883	0,10677	0,12280	0,13373	0,12808	0,11279	0,09623
-300	0,08194	0,09732	0,11393	0,13016	0,14035	0,14350	0,14458	0,13807	0,12321	0,10617	0,09003
-400	0,07956	0,09507	0,11260	0,12940	0,13996	0,14190	0,13776	0,12828	0,11408	0,09836	0,08354
-500	0,07581	0,08993	0,10524	0,11857	0,12582	0,12607	0,12130	0,11321	0,10200	0,08917	0,07677

Tabella 2.3 Scostamento percentuale dei valori della Tabella 2.2 rispetto alla Tabella 2.1. I valori positivi indicano una sovrastima delle concentrazioni calcolate con FLAT rispetto a quelli di AERMAP, quelli negativi una sottostima

Metri	-500	-400	-300	-200	-100	0	100	200	300	400	500
500	3,5	3,7	4,8	5,5	6,1	5,2	4,7	4,4	3,7	4,0	3,6
400	3,4	3,6	4,0	5,1	6,0	6,1	7,6	6,4	4,2	4,0	3,1
300	3,4	3,7	3,4	5,5	9,1	9,5	8,3	5,9	4,3	4,4	4,6
200	1,4	1,5	4,0	5,5	7,0	10,4	11,0	4,4	1,4	3,6	4,1
100	0,0	0,3	2,5	4,5	0,9	5,9	13,6	4,2	-0,2	1,5	2,0
0	0,2	1,3	1,5	3,5	3,6	SORG	10,7	2,5	0,1	0,0	0,0
-100	1,8	2,9	2,8	1,5	-3,6	-1,0	-1,8	-1,3	-0,3	-0,7	-0,4
-200	0,8	1,7	2,0	1,6	-3,9	-6,5	-4,4	-4,3	-2,2	-1,1	-0,3
-300	0,0	-0,3	-0,2	0,0	-1,6	-4,4	-3,6	-2,3	-1,3	-1,3	-0,2
-400	0,2	-0,4	-0,8	-1,5	-2,0	-3,2	-1,5	-1,9	-1,5	-0,8	0,0
-500	0,4	0,0	-0,5	-0,8	-1,4	-1,3	-0,7	-0,9	-0,6	-0,1	0,3

Dall'osservazione delle tabelle riportate si evince che lo scostamento tra i due risultati è molto contenuto, in termini percentuali il massimo scostamento è del 13,6 %, che corrisponde a $0,007 \mu\text{g}/\text{m}^3$, e in alcuni recettori i risultati sono addirittura coincidenti. La media degli scostamenti, misurata sui valori assoluti, è del 3,0 %. Si è dimostrato quindi che la caratterizzazione orografica, negli studi diffusivi in territorio pianeggiante e omogeneo, è praticamente ininfluenza.

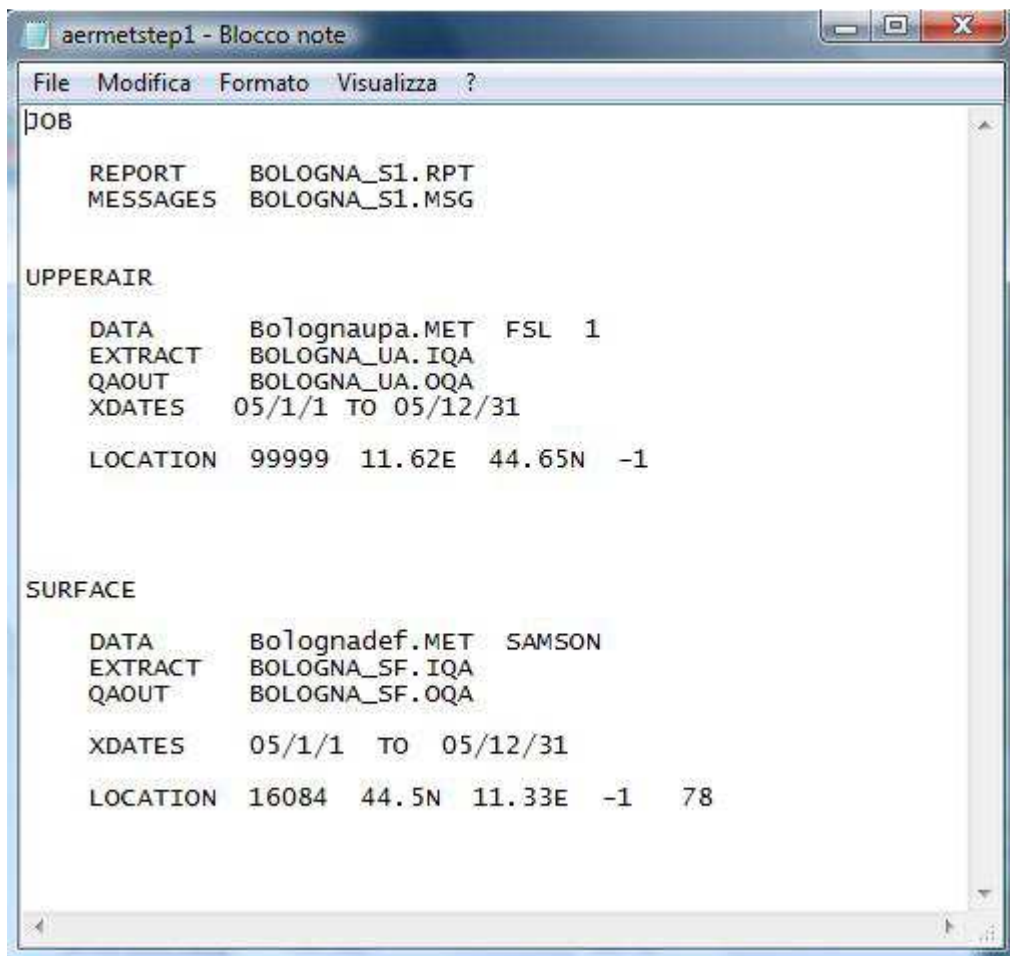
2.5 LA CARATTERIZZAZIONE METEOROLOGICA CON AERMET

La caratterizzazione meteorologica dello studio si è condotta attraverso il pre-processore AERMET. Come già spiegato, questo codice calcola i parametri principali per la ricostruzione dello strato limite a partire dai dati meteorologici forniti come input. Per le elaborazioni in esame si utilizzano due tipi di dati: dati meteorologici superficiali, campionati con frequenza oraria per tutto il periodo di interesse, e dati da radiosondaggi verticali dell'atmosfera, campionati con una frequenza di due rilevamenti al giorno nelle ore sinottiche. A seguire si riporta in dettaglio l'impostazione del codice insieme alle assunzioni effettuate, mentre i dati meteorologici saranno approfonditi in seguito in un capitolo specifico.

2.5.1 L'impostazione di AERMET tramite i runstream file

Come citato in precedenza, le impostazioni dei codici sono gestite dall'utente attraverso uno specifico linguaggio di codificazione. Le elaborazioni di AERMET si guidano attraverso tre "runstream file", che governano i tre passi in cui è suddiviso il processo. Nell'ordine si ha: l'estrazione e la valutazione della qualità dei dati, la combinazione tra i dati superficiali e quelli dell'alta atmosfera e, infine, l'elaborazione dei parametri caratteristici dello strato limite con la compilazione di un file meteorologico in formato ASCII che sarà l'input di AERMOD. Nel presente studio i "runstream file" sono stati rinominati come Aermestep1, Aermestep2 e Aermestep3. A titolo esemplificativo, nella figura sottostante, sono riportati i tre file utilizzati per settare le elaborazioni di Bologna. A meno dei parametri geografici e dei dati meteo di input, le elaborazioni di tutte le località si basano sulle stesse assunzioni. Le informazioni per comprendere e apprendere il linguaggio con cui è codificato AERMET sono contenute nell'"User's guide and Addendum" disponibili sul sito internet www.epa.gov

Figura 2.3 Codice Aermestep1

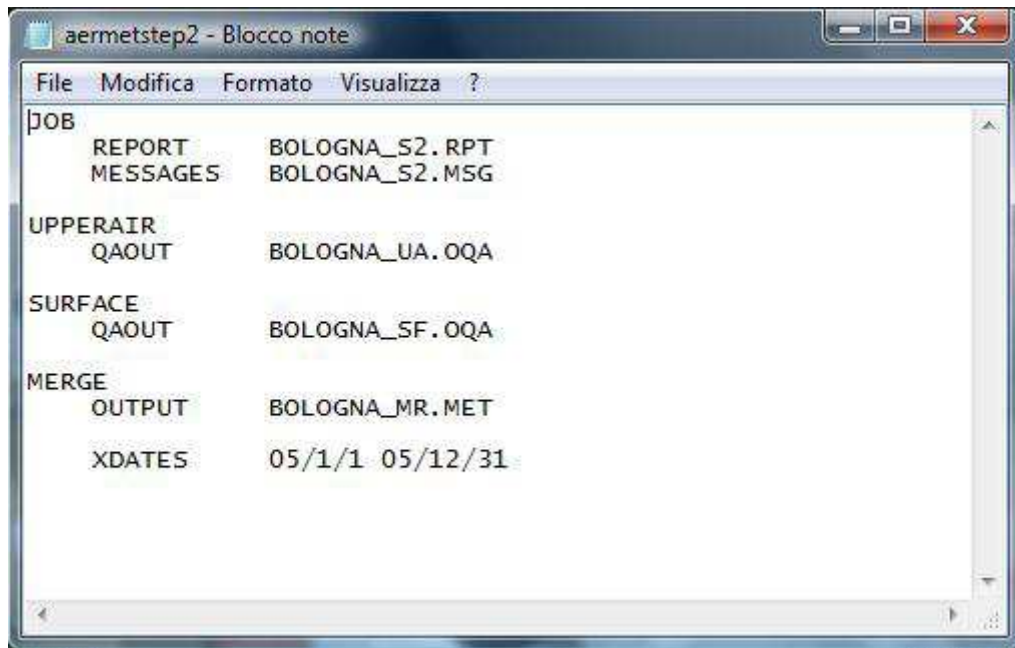


```
File Modifica Formato Visualizza ?
JOB
  REPORT      BOLOGNA_S1.RPT
  MESSAGES    BOLOGNA_S1.MSG

UPPERAIR
  DATA       Bolognaupa.MET  FSL  1
  EXTRACT     BOLOGNA_UA.IQA
  QAOUT       BOLOGNA_UA.OQA
  XDATES       05/1/1 TO 05/12/31
  LOCATION    99999  11.62E  44.65N  -1

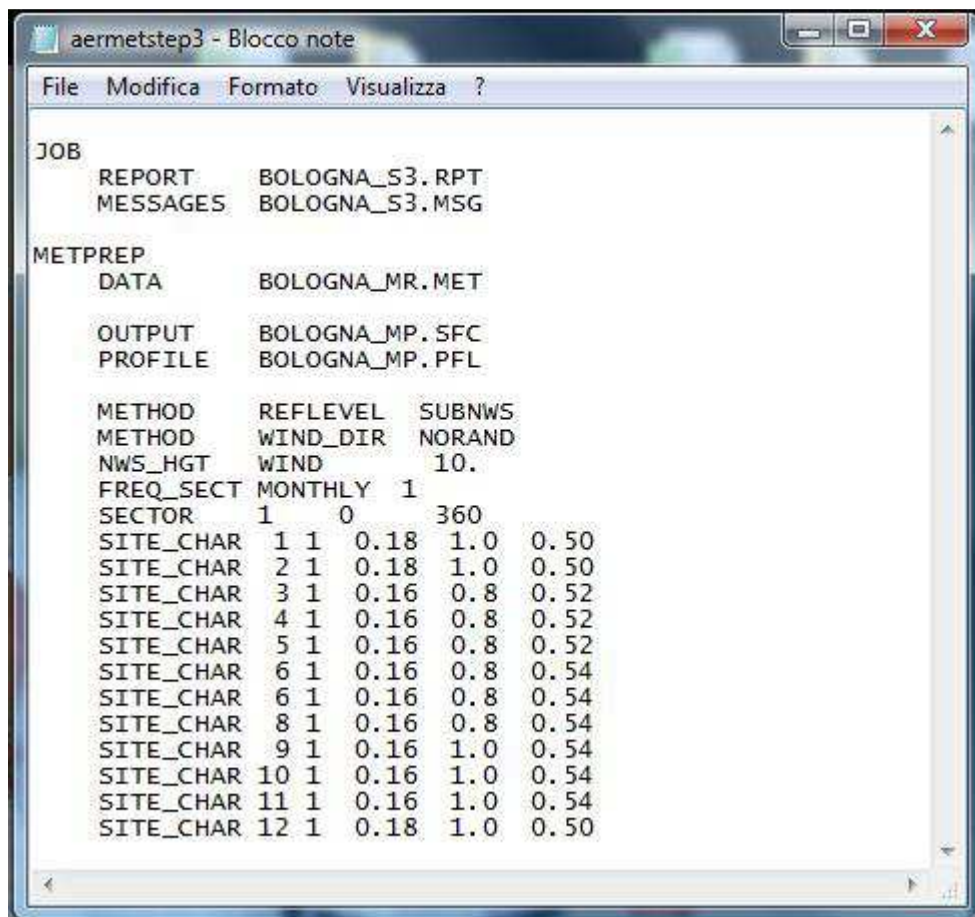
SURFACE
  DATA       Bolognadef.MET  SAMSON
  EXTRACT     BOLOGNA_SF.IQA
  QAOUT       BOLOGNA_SF.OQA
  XDATES       05/1/1 TO 05/12/31
  LOCATION    16084  44.5N  11.33E  -1  78
```

Figura 2.3 Codice Aermestep2



```
File  Modifica  Formato  Visualizza  ?
JOB
  REPORT      BOLOGNA_S2.RPT
  MESSAGES    BOLOGNA_S2.MSG
UPPERAIR
  QAOUT       BOLOGNA_UA.OQA
SURFACE
  QAOUT       BOLOGNA_SF.OQA
MERGE
  OUTPUT      BOLOGNA_MR.MET
  XDATES      05/1/1 05/12/31
```

Figura 2.4 Aermestep 3



```
File  Modifica  Formato  Visualizza  ?
JOB
  REPORT      BOLOGNA_S3.RPT
  MESSAGES    BOLOGNA_S3.MSG
METPREP
  DATA       BOLOGNA_MR.MET
  OUTPUT      BOLOGNA_MP.SFC
  PROFILE     BOLOGNA_MP.PFL
METHOD        REFLEVEL  SUBNWS
METHOD        WIND_DIR   NORAND
NWS_HGT       WIND        10.
FREQ_SECT    MONTHLY    1
SECTOR        1          0          360
SITE_CHAR     1 1        0.18    1.0    0.50
SITE_CHAR     2 1        0.18    1.0    0.50
SITE_CHAR     3 1        0.16    0.8    0.52
SITE_CHAR     4 1        0.16    0.8    0.52
SITE_CHAR     5 1        0.16    0.8    0.52
SITE_CHAR     6 1        0.16    0.8    0.54
SITE_CHAR     6 1        0.16    0.8    0.54
SITE_CHAR     8 1        0.16    0.8    0.54
SITE_CHAR     9 1        0.16    1.0    0.54
SITE_CHAR    10 1        0.16    1.0    0.54
SITE_CHAR    11 1        0.16    1.0    0.54
SITE_CHAR    12 1        0.18    1.0    0.50
```


Nella codificazione sono riportati i riferimenti per caricare i file meteorologici e i nomi dei file in cui viene riportato il risultato delle elaborazioni. I file .msg e .rpt sono dei report in cui vengono riportati eventuali errori di processo o eventuali incongruenze individuate nei dati. Attraverso questi file l'utente viene avvisato di qualsiasi anomalia riscontrata nell'elaborazione. Nell' Aermetstep3 è inserita l'assunzione delle caratteristiche superficiali Albedo, rapporto di Bowen e rugosità superficiale. Le caratteristiche di questi parametri saranno trattate in dettaglio nel capitolo specifico dedicato agli input del modello.

2.6 LO STUDIO DIFFUSIVO CONDOTTO CON AERMOD

Le elaborazioni di AERMET producono due file ASCII, un file .pfl e uno .sfc, specifici per essere processati da AERMOD. Dopo che si è effettuata la caratterizzazione meteorologica di ognuna delle aree in esame si è proceduto con lo studio diffusivo vero e proprio, al fine di valutare l'incremento di concentrazione media e quella massima dovute all'attività dell'impianto e la sua distribuzione. Per fare questo si è definita una griglia cartesiana di recettori distribuita ordinatamente attorno alla sorgente, assunta puntiforme, in un quadrato di 5 Km per 5 Km. I recettori sono distribuiti sull'area di studio a una distanza di 100 m l'uno dall'altro orizzontalmente e verticalmente, per un totale di 2601 recettori. Lo studio si limita a considerare l'incremento del particolato dovuto alle emissioni dirette, senza considerare il fatto che in realtà, l'attività della centrale se accoppiata a un' idonea rete di teleriscaldamento, può sostituirsi a buona parte di impianti domestici o a impianti termici industriali, andando ad evitare delle emissioni con un'incidenza positiva sul territorio circostante. La valutazione di questo beneficio esula dallo studio, tuttavia deve essere tenuta in considerazione. La quantificazione delle emissioni evitate dipende dalla tipologia degli impianti che si vanno a sostituire, nonché dalla tipologia dei combustibili utilizzati da questi impianti; per questo motivo non si è potuta valutare nello studio corrente, poiché non si fa riferimento ad un progetto specifico, ma ad un impianto generico.

2.6.1 Il “runstream file” di AERMOD

Come i codici presentati in precedenza, anche quello principale, AERMOD, dispone di un “runstream file” con cui l’utente può codificare le elaborazioni. Per tutte le località oggetto di studio si sono assunte le stesse impostazioni e gli stessi valori per i parametri di processo e per le caratteristiche del particolato. A titolo esemplificativo nell’immagine sottostante è riportato il “runstream file” configurato per l’analisi di Bologna, che è uguale a quello utilizzato per le altre località, a meno dei nomi dei file meteorologici citati e dei parametri geografici specifici di ogni comune.

Figura 2.6 Codice del runstream file di AERMOD nello studio diffusivo condotto per Bologna

```
CO STARTING
  TITLEONE Diffusione PM10 in Emilia-Romagna
  MODELOPT CONC DEPOS WDEP DDEP FLAT
  AVERTIME 24 PERIOD
  POLLUTID PM10
  RUNORNOT RUN
  ERRORFIL ERRORS.OUT
CO FINISHED

SO STARTING
  LOCATION STACK1 POINT 0.0 0.0 0.0
  SRCPARAM STACK1 1.1 50 400 15 2
  PARTDIAM STACK1 0.3 0.55 1 1.8 3 6.5 9.5
  MASSFRAX STACK1 0.01 0.03 0.08 0.23 0.39 0.23 0.03
  PARTDENS STACK1 2 2 2 2 2 2 2
  SRCGROUP STACK1 STACK1
SO FINISHED

RE STARTING
  GRIDCART CART1 STA
  CART1 XYINC -2500.0 51 100.0 -2500.0 51 100.0
  CART1 END
RE FINISHED

ME STARTING
  SURFFILE BOLOGNA_MP.SFC
  PROFFILE BOLOGNA_MP.PFL
  SURFDATA 16084 2005 Bologna
  UAIRDATA 99999 2005 sanPietroCapoFiume
  PROFBASE 78 METERS
ME FINISHED

OU STARTING
  OU RECTABLE 24 FIRST SECOND
OU FINISHED
```

La struttura del file si divide in cinque “pathway”, che sono le chiavi principali per configurare le corse del modello. La prima, la CONTROL pathway, consente di selezionare le opzioni e gli algoritmi da utilizzare per ogni elaborazione. La SOURCE pathway serve per inserire tutti i parametri relativi alle caratteristiche emissive della sorgente, all’esercizio della centrale, e alle caratteristiche del particolato emesso. Con RECEPTOR si identifica la pathway usata per definire la collocazione spaziale dei recettori e con METEOROLOGY quella necessaria per identificare i file di input meteorologici. Infine la OUTPUT pathway consente di selezionare gli output che il codice deve restituire al termine dell’indagine. Per ulteriori approfondimenti si rimanda a “AERMOD user’s guide & Addendum”(U.S. EPA, 2004a; U.S. EPA, 2012). I dati utilizzati per impostare le elaborazioni saranno trattati successivamente in un capitolo specifico, a seguire è riportata una breve trattazione con i principali fenomeni considerati.

2.7 GLI EFFETTI CONSIDERATI NELL’ELABORAZIONE

Le elaborazioni di AERMOD si impostano attraverso la CONTROL pathway. A seguire sono illustrati nel dettaglio i principali fenomeni considerati nel processo.

- Si sono utilizzati gli algoritmi di calcolo per la deposizione secca e umida del particolato.
- Si è considerato l’effetto scia del camino
- I dati mancanti sono trascurati dall’elaborazione, il modello sfrutta delle routine per calcolare i valori della concentrazione giornaliera mediando solo i dati orari validi
- Il modello è in grado di calcolare le concentrazioni anche per valori della velocità del vento molto bassi, tuttavia i valori nulli sono identificati come calme di vento e trattati alla stregua di dati mancanti
- Si è studiata la diffusione in ambiente rurale trascurando gli algoritmi per il calcolo dell’effetto dovuto all’isola di calore urbana; tale aspetto sarà approfondito in seguito con una elaborazione integrativa
- Non si sono considerate funzioni di decadimento esponenziale per il particolato

2.7.1 La localizzazione in ambiente rurale

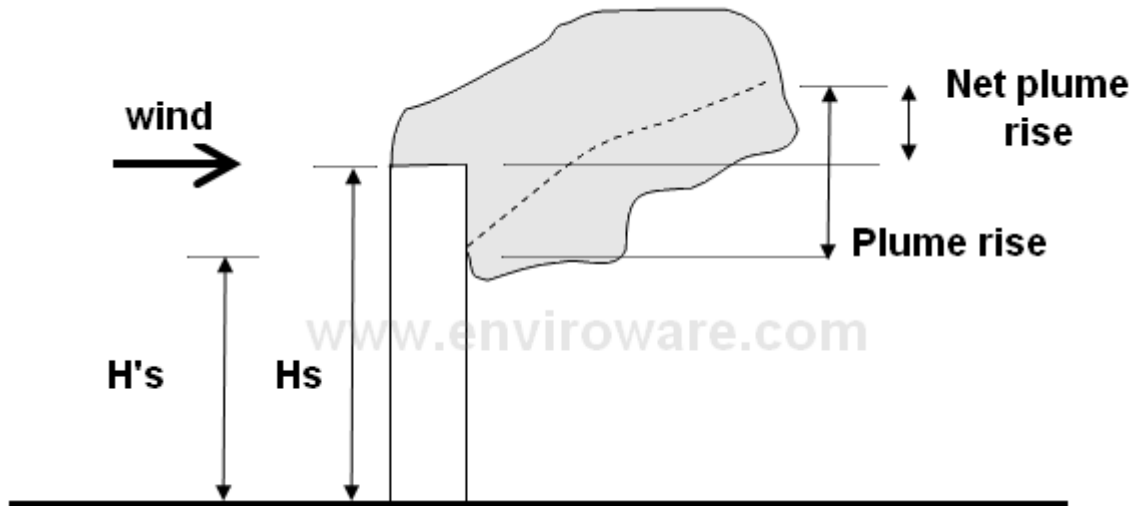
Si è condotto il presente studio considerando il contesto territoriale in cui si deve inserire l'opera come rurale. La scelta è motivata dal fatto che la localizzazione ottimale per una centrale, sia per motivi di carattere logistico che per motivi di carattere ambientale, si trova generalmente in una zona periferica rispetto al centro abitato. L'opera deve essere nei pressi delle principali arterie di comunicazione per evitare costi eccessivi, economici e ambientali, per il trasporto della biomassa. Inoltre, anche per una questione di accettazione sociale difficilmente una centrale con le caratteristiche considerate può essere realizzata a ridosso delle case. Per questo motivo si è scelto di condurre l'analisi diffusiva utilizzando gli algoritmi di AERMOD specifici per il contesto rurale. La differenza tra ambiente rurale e urbano, oltre alla differente densità abitativa, sta nella diversa destinazione d'uso dei territori e quindi nelle caratteristiche superficiali, Albedo, Rapporto di Bowen e rugosità. Inoltre il contesto urbano è caratterizzato dall'effetto isola di calore che influenza in maniera determinante la diffusione degli inquinanti. Poiché questo fenomeno ha un effetto su una scala che può interessare anche alcune aree periferiche intorno ai centri abitati maggiori, si è deciso, per le tre città principali considerate Piacenza, Rimini e Bologna, di condurre uno studio integrativo in contesto urbano che verrà presentato nel capitolo 5. Nello stesso capitolo si presenta anche una classificazione del territorio per distinguere, all'interno dei comuni considerati, le aree urbane da quelle rurali.

2.7.2 Gli algoritmi dell'effetto di scia del camino

Per la presente elaborazione si sono utilizzati gli algoritmi che ripropongono l'effetto di scia del camino. Si tratta di un fenomeno che può verificarsi quando la velocità di uscita dei fumi è più bassa rispetto alla velocità del vento all'altezza del camino stesso. In questi casi, la bassa pressione che si forma sottovento al camino può avere l'effetto di abbassare l'asse del camino stesso. La conseguenza di questo fenomeno è una diminuzione dell'innalzamento del pennacchio e un incremento della concentrazione sottovento. Il modello ricrea il fenomeno attraverso una riduzione dell'altezza fisica a cui avviene il rilascio. Va detto che nello studio

in esame le velocità del vento sono sempre molto contenute, e in pratica non superano mai la velocità di uscita dei fumi per cui il fenomeno non si verifica (Cimorelli A.J., Pery S.G. et al., 2004).

Figura 2.7 Esempio di effetto di scia del camino



2.7.3 Calme di vento e dati mancanti

In pianura padana le calme di vento sono una situazione piuttosto frequente e potrebbero costituire un problema per lo studio diffusivo condotto con AERMOD poiché i modelli “steady-state” non sono in grado di trattarle. In questi modelli la concentrazione è assunta inversamente proporzionale all'intensità del vento e, per velocità inferiori a 1 m/s, le stime possono diventare irrealistiche. Tuttavia AERMOD, a differenza degli altri modelli di questa famiglia, contiene algoritmi in grado di riprodurre le concentrazioni anche in casi in cui il vento è molto debole. Di conseguenza il numero di dati che vengono effettivamente identificati come calme di vento è estremamente ridotto. In generale, le misurazioni comprese tra 0,3 m/s e 0,5 m/s sono approssimate all'estremo superiore automaticamente da AERMET. I dati orari identificati come calme dal modello sono solo quelli inferiori alla sensibilità dello strumento con cui vengono misurati, cioè quelli con un valore di 0,0 m/s; il codice tratta questi alla stregua di dati mancanti e la concentrazione è valutata nulla. La procedura prevista dal modello in queste situazioni, sia per dati mancanti che per calme di vento, è la seguente: Il calcolo delle concentrazioni medie giornaliere viene condotto sommando le concentrazioni

delle diverse ore e dividendole per il numero di rilevamenti validi (depurati da eventuali dati mancanti e calme di vento). Nel caso in cui il numero di rilevazioni orarie valide nell'arco della giornata sia inferiore a 18, la media giornaliera si ottiene dividendo la somma per 18. La media annuale, invece, si ottiene dividendo la somma di tutte le concentrazioni orarie calcolate per il numero di dati validi utilizzati. I risultati delle elaborazioni di AERMOD sono da ritenersi attendibili per un numero di dati mancanti che non superi il 10% del totale (U.S. EPA, 2005).

Il problema delle calme di vento non è da trascurare poiché i dati tralasciati si riferiscono tutti a situazioni di vento assente, riconducibili a una diffusione ridotta. Tuttavia, come si può osservare nella tabella 3.3, i valori della velocità del vento nulli costituiscono mediamente il 2% delle rilevazioni, fatta eccezione per Piacenza dove si registrano 359 rilevamenti orari sui 8700 complessivi, per una percentuale pari al 4,5%. In ogni caso si tratta di una frazione di dati estremamente contenuta che incide in maniera trascurabile sul risultato finale, specialmente per quanto riguarda la media delle concentrazioni annuali. Per giustificare questa affermazione si è condotta un'elaborazione comparativa a Piacenza, la località più critica, al fine di valutare il fenomeno. Si sono resettati i valori nulli della velocità del vento assumendoli tutti pari a 0,3 m/s e si sono ridistribuite le rispettive direzioni, ovviamente non rilevate, in modo equo ogni 10°. In pratica si è diviso il numero di calme da resettare per 36; il risultato intero rappresenta il numero di calme attribuite ad ognuna delle 36 direzioni considerate, mentre il resto della divisione è stato ridistribuito tra un numero inferiore di direzioni principali. Per fare un esempio un resto di 18 calme, che è la metà di 36, verrebbe ridistribuito ogni 20°, un resto di 9 ogni 40°. Si è adottata questa soluzione con lo scopo di non favorire alcuna direzione sulle altre considerate. Le stime ottenute da questa elaborazione del modello si sono confrontate con quelle regolari, che come precedentemente spiegato non considerano i valori nulli del vento. Dal confronto è possibile concludere che non c'è differenza tra i risultati; l'implementazione delle calme con il metodo sopra indicato porta ad un'impercettibile sottostima delle concentrazioni medie. In qualche recettore la concentrazione si riduce del 2%, ma nella stragrande maggioranza la riduzione è inferiore all'1%. A fronte di questi valori si è deciso di condurre le analisi diffusive utilizzando le procedure previste di default dal modello, senza inutili forzature per considerare i pochi dati trascurati, che comunque non porterebbero a sensibili modifiche dei risultati finali.

2.7.4 La deposizione secca e umida del particolato

Nell'implementazione corrente di AERMOD, per la stima delle concentrazioni, si sono utilizzati sia gli algoritmi di deposizione umida che quelli di deposizione secca del particolato. La stima di questo fenomeno da parte del codice avviene a partire dalla densità delle polveri e dalla loro classificazione granulometrica richiesta come input dal modello e che sarà approfondita nel capitolo successivo. Al fine di valutare come, nelle proiezioni del modello, la deposizione incida sull'attenuazione delle concentrazioni medie stimate nei recettori, si è condotta un'analisi integrativa nella località di Bologna senza selezionare gli algoritmi di deposizione. Per fare questo è sufficiente inserire nella CONTROL pathway di AERMOD alla chiave MODELOPT, le chiavi secondarie NODRYDPLT e NOWETDPLT. Nella tabelle seguenti si sono riportate le riduzioni percentuali delle concentrazioni che si sono riscontrate confrontando le due elaborazioni.

Tabella 2.4 Riduzione % della concentrazione media stimata a Bologna nei recettori più prossimi alla sorgente per effetto della deposizione. Percentuali ottenute dal confronto tra l'elaborazione considerante i fenomeni di deposizione e quella in cui non sono implementati

METRI	-500	-400	-300	-200	-100	0	100	200	300	400	500
500	0,49	0,45	0,42	0,39	0,33	0,29	0,29	0,33	0,38	0,44	0,51
400	0,43	0,36	0,31	0,27	0,21	0,19	0,19	0,23	0,29	0,35	0,40
300	0,38	0,30	0,23	0,17	0,12	0,11	0,11	0,15	0,20	0,26	0,33
200	0,36	0,26	0,16	0,11	0,07	0,06	0,05	0,08	0,14	0,21	0,29
100	0,35	0,23	0,12	0,06	0,06	0,00	0,03	0,06	0,11	0,18	0,27
0	0,34	0,21	0,11	0,06	0,00	SORG	0,00	0,04	0,10	0,18	0,27
-100	0,36	0,22	0,12	0,06	0,02	0,03	0,04	0,06	0,11	0,19	0,27
-200	0,39	0,26	0,16	0,09	0,06	0,06	0,07	0,09	0,14	0,20	0,28
-300	0,43	0,32	0,24	0,17	0,12	0,12	0,13	0,14	0,19	0,25	0,30
-400	0,51	0,42	0,32	0,26	0,23	0,22	0,22	0,24	0,26	0,30	0,35
-500	0,58	0,49	0,43	0,38	0,34	0,32	0,31	0,33	0,34	0,36	0,40

Come si può vedere dalla tabella le attenuazioni sono estremamente contenute; nelle aree più prossime alla centrale, dove per altro le concentrazioni sono maggiori, la riduzione si mantiene inferiore allo 0,5%. Ovviamente, la riduzione delle concentrazioni aumenta

allontanandosi dalla centrale; questo a causa della deposizione secca. Le polveri escono dal camino e via via che si allontanano trasportate dal vento, si depositano al suolo in funzione della loro velocità di sedimentazione. Più si è lontano dalla sorgente e maggiori sono le particelle che si depositano senza poter raggiungere i recettori. Nella tabella seguente si riportano le riduzioni valutate in alcuni dei recettori più lontani dall'impianto.

Tabella 2.5 Riduzioni % della concentrazione media stimata nei recettori situati più lontano dalla sorgente, in direzione nord-est, per effetto della deposizione

METRI	2000	2100	2200	2300	2400	2500
2500	2,49	2,45	2,46	2,43	2,43	2,41
2400	2,39	2,39	2,39	2,37	2,36	2,33
2300	2,35	2,32	2,31	2,30	2,28	2,24
2200	2,26	2,26	2,24	2,23	2,20	2,18
2100	2,19	2,18	2,18	2,15	2,11	2,07
2000	2,12	2,10	2,08	2,08	2,01	2,01

Il risultato presentato dalla tabella è analogo a quello che si riscontra anche nei recettori più remoti collocati nelle altre direzioni. A fronte dell'analisi si può affermare che i fenomeni di deposizione considerati nello studio inducono riduzioni della concentrazione medie di polveri praticamente nulli in prossimità della centrale, dove tra l'altro le concentrazioni sono maggiori, ed estremamente contenute anche nelle zone più lontane, dove per altro la concentrazione è già molto bassa.

DATI UTILIZZATI

NELL'ANALISI DIFFUSIVA

In questo capitolo si illustrano nel dettaglio tutti i dati utilizzati nell'elaborato. Nell'ordine si presentano i dati meteorologici utilizzati insieme ad un'analisi delle loro caratteristiche principali, le caratteristiche superficiali, i dati emissivi e le condizioni operative assunte per l'impianto.

3.1 DATI METEOROLOGICI

Si riporta di seguito una breve trattazione dei dati meteorologici utilizzati nello studio diffusivo e si presenta un'analisi più approfondita delle caratteristiche meteorologiche dei diversi siti considerati. I dati meteorologici richiesti come input dal codice AERMET sono di tre tipologie differenti: dati superficiali, dati del profilo verticale dell'atmosfera e i cosiddetti dati on-site. Mentre le prime due tipologie di dati sono indispensabili per una qualsiasi elaborazione, i dati on-site sono opzionali e servono solamente per integrare le informazioni con dati aggiuntivi a diverse quote. Lo studio diffusivo si riferisce ad un periodo temporale di un anno solare.

3.1.1 Profilo verticale atmosferico

I cosiddetti dati “Upper Air” sono il risultato di radiosondaggi che analizzano il profilo verticale dell’atmosfera, ovvero il variare di alcuni parametri atmosferici in funzione della quota. I rilevamenti vengono effettuati con una frequenza di due sondaggi al giorno nelle cosiddette ore sinottiche. La rete italiana di stazioni che effettuano radiosondaggi atmosferici è costituita da sole otto stazioni, l’unica emiliana che mette a disposizione con continuità dati di questo genere è quella di San Pietro Capo Fiume in provincia di Bologna. La localizzazione di questa stazione è stata scelta, in maniera strategica, nel cuore dell’Emilia Romagna e della Pianura Padana. In questo modo i dati rilevati dai rispettivi radiosondaggi sono particolarmente rappresentativi della realtà regionale, per lo meno nella fascia di pianura, dove le caratteristiche atmosferiche si possono assumere piuttosto omogenee. Per i motivi sopracitati e considerando che tutte le aree prese in considerazione nel seguente studio appartengono alla pianura emiliano romagnola, si è condotto lo studio assumendo per tutti i comuni di interesse i dati rilevati dalla stazione di San Pietro Capo Fiume. L’assunzione è giustificata dal fatto che l’Arpa stessa ha condotto uno studio sull’inquinamento da particolato in Emilia Romagna basandosi sui soli dati di questa stazione per ricostruire una struttura dello strato limite da considerarsi valida per tutta la regione (Deserti M., Stortini M. et Al., 2002). La mancanza di una rete di radiosondaggi più fitta impedisce di approfondire lo studio con maggior precisione.

Il codice AERMET è in grado di leggere i dati solo nel formato standard in cui sono forniti dal NWS (National Weather Service) americano, il TD-6201 o nel formato reso disponibile dal NCDC (National Climate Data Center), il formato FSL. Si è scelto di condurre lo studio utilizzando i dati di San Pietro Capo Fiume in formato FSL reperiti in rete su un database della NOAA/ESRL. I file contengono pressione, temperatura, punto di rugiada, velocità e direzione del vento. Ogni sondaggio è formato da una settantina di misurazioni a quote differenti che coprono tutta la troposfera, fino ad una quota massima che non supera mai i 17 Km. Le informazioni sui diversi livelli dell’atmosfera sono utilizzate dagli algoritmi di AERMOD per ricostruire il profilo verticale di temperatura e calcolare l’altezza dello strato di mescolamento.

Caratteristiche dei dati utilizzati

La pianura padana è caratterizzata da un regime meteo climatico che non favorisce la dispersione degli inquinanti. In questa area sono infatti frequenti condizioni di stabilità atmosferica, calme di vento e inversioni termiche in quota. A seguire è riportato il profilo verticale di temperatura di quattro tra i sondaggi utilizzati nello studio, si è riportato un esempio di ciclo diurno invernale e uno estivo, e lo stesso si è fatto per le condizioni notturne. In ogni grafico si è riportata, come riferimento, una retta marrone passante per l'origine che ha come coefficiente angolare il gradiente adiabatico secco.

Grafico 3.1 Profilo verticale di temperatura di un giorno di gennaio. Il radiosondaggio effettuato all'ora 0.00 UTC , rappresenta un profilo invernale in condizioni notturne.

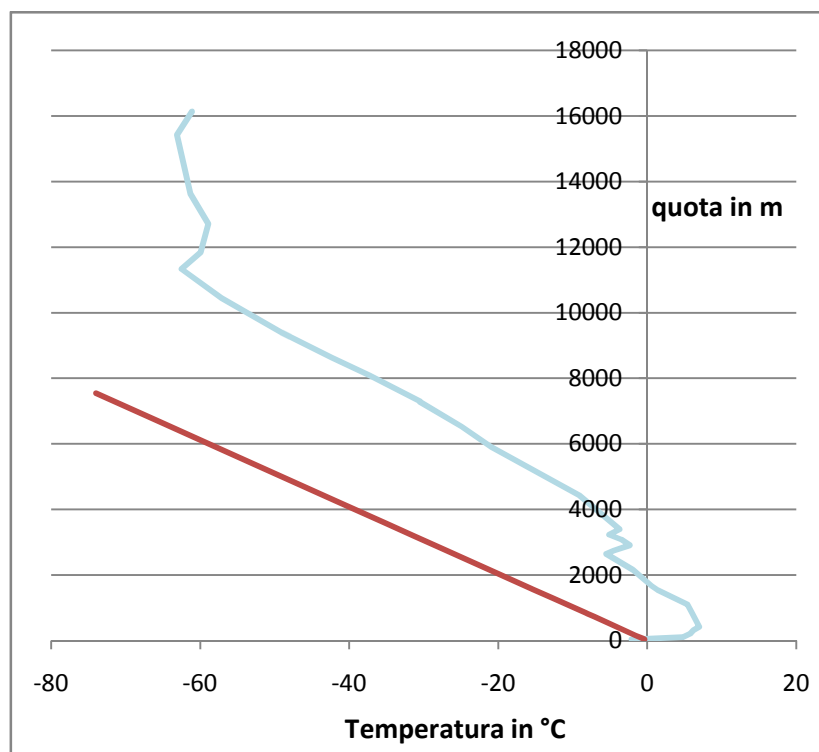


Grafico 3.2 Profilo verticale di temperatura di un giorno di gennaio. Il radiosondaggio effettuato all'ora 12.00 UTC , rappresenta un profilo invernale del ciclo diurno.

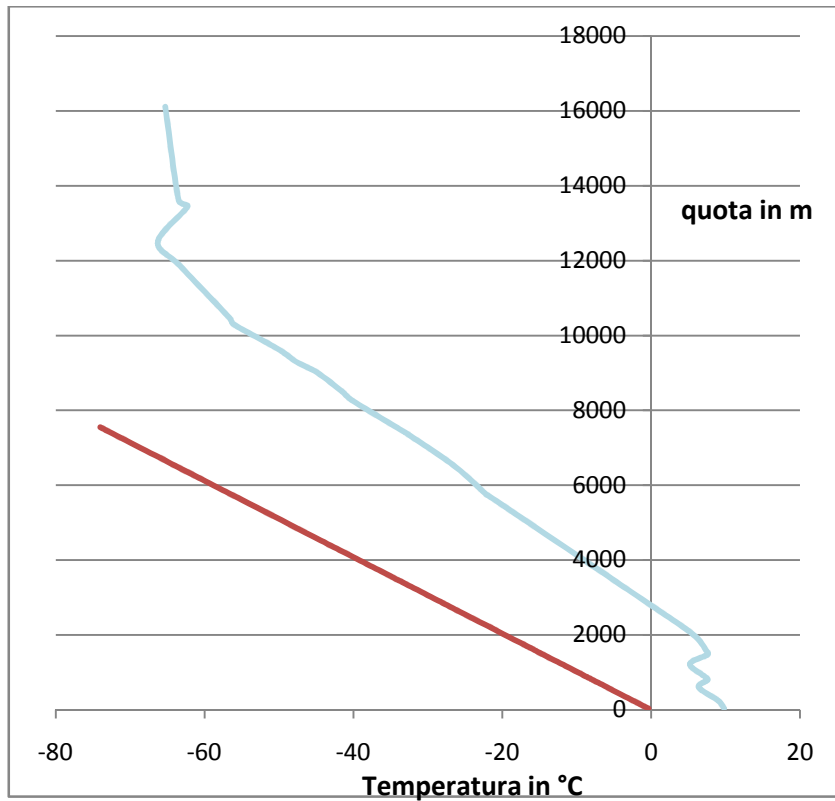


Grafico 3.3 Profilo verticale di temperatura di un giorno di Giugno. Il radiosondaggio effettuato all'ora 00.00 UTC , rappresenta un profilo estivo in condizioni notturne.

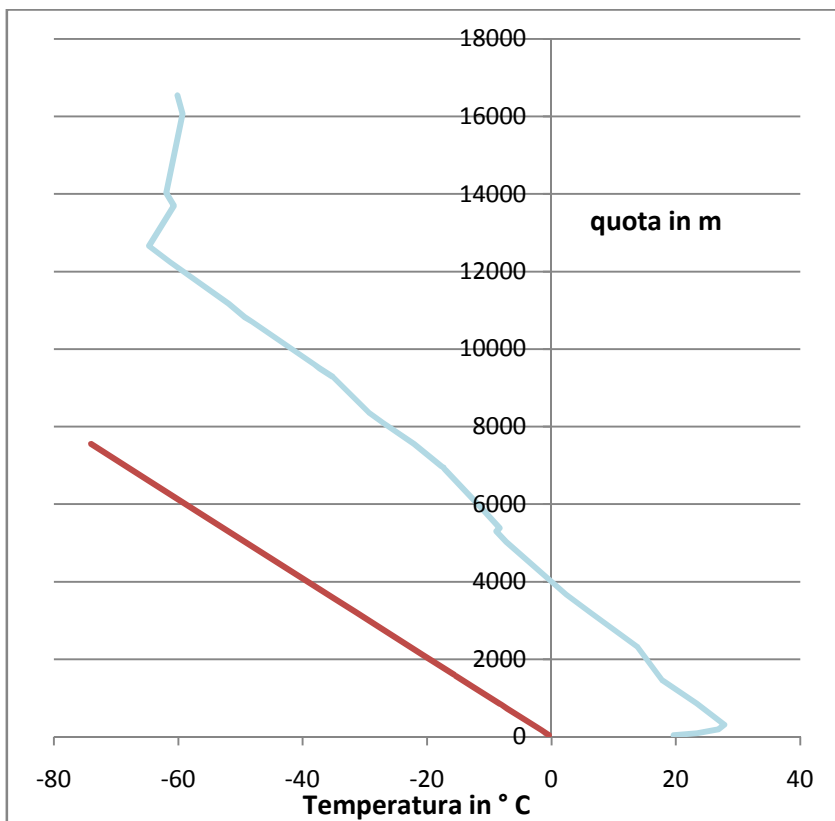
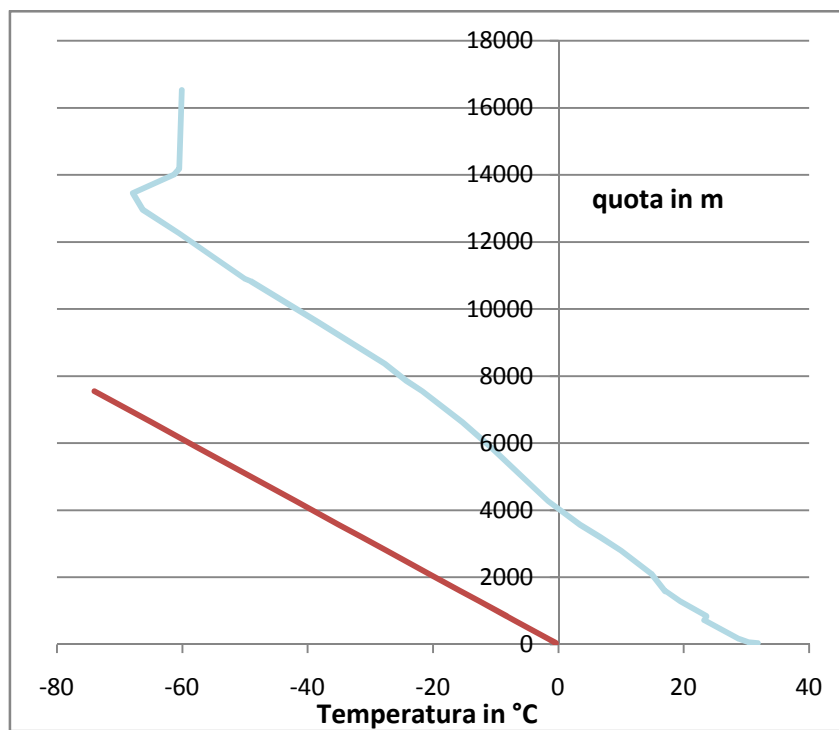


Grafico 3.4 Profilo verticale di temperatura di un giorno di Giugno. Il radiosondaggio effettuato all'ora 12.00 UTC , rappresenta un profilo estivo del ciclo diurno.



In tutti i grafici portati ad esempio è ben identificabile l'inversione in quota che rappresenta la tropopausa, e cioè il limite di passaggio tra la troposfera e la stratosfera. Dagli esempi portati si evidenzia come questa linea si trovi a quote leggermente più elevate d'estate rispetto all'inverno. Facendo un semplice confronto visivo tra i profili verticali e la retta che rappresenta il gradiente adiabatico secco, si nota immediatamente che in tutti e quattro le curve la pendenza è superiore al gradiente, il che è da interpretarsi come una condizione di stabilità atmosferica (Nasti L., 2005). L'inversione al suolo tipica delle condizioni notturne si può notare sia in figura 3.1 che in figura 3.3 e risulta più marcata nel periodo invernale, inoltre in figura 3.1 e in figura 3.2 si notano altre due inversioni termiche a quote tra i 1500 e i 2500 metri.

Dati mancanti

La copertura dei dati disponibili sul database del NOAA/ESRL è molto buona e supera in ogni annata l' 80%. Tuttavia esistono dei rilevamenti mancanti e, poiché la frequenza di misurazione è di due rilevamenti giornalieri, esistono diversi giorni privi di sondaggio. In queste situazioni il codice non ha i dati necessari per calcolare i parametri dello strato limite e per valutare la stabilità atmosferica e, di conseguenza, di condurre lo studio diffusivo. Tutti i relativi dati orari vengono registrati come mancanti e trascurati nell'elaborazione da AERMOD. Questo fatto non è accettabile poiché i risultati del modello sono da considerarsi attendibili per una percentuale di dati mancanti inferiori al 10%. È quindi consigliabile cercare, nel limite del possibile, di ridurre il numero di dati mancanti. A fronte di questo e in considerazione del comportamento tipico stagionale dei profili verticali si sono integrati i dati atmosferici mancanti con i rispettivi rilevamenti di altre annate, in modo da avere almeno una misurazione per ogni giorno. Nello specifico si sono integrati i dati del 2005 con quelli del 2008 e viceversa.

3.1.2 Dati meteorologici superficiali

Per effettuare una corretta ricostruzione dell'atmosfera , AERMOD necessita dei dati meteorologici misurati a livello della superficie nei siti di esame. AERMET è in grado di elaborare dati a partire da svariati formati: il formato CD-144 dell'NCDC, SCRAM, SAMSON e TD-3280. Si è effettuata una ricerca approfondita, ma tutti questi formati sono tipici del sistema statunitense e sono quindi difficili da reperire per i dati Italiani. Si è quindi deciso di recuperare tutti i dati orari dei parametri di interesse nelle aree oggetto di studio in un formato generico per poi convertirli, in un secondo tempo, in un formato idoneo all'utilizzo. Tutti i dati superficiali orari misurati dalle stazioni della rete dislocate sul territorio sono messe a disposizione dal sito regionale dell'Arpa dell'Emilia Romagna. I file sono scaricabili direttamente in formato Excell, utilizzando un software specifico chiamato Dexter, appositamente strutturato per l'acquisizione dei dati da parte di utenti esterni. Si sono recuperati tutti i dati orari necessari e si sono convertiti in un file di testo formato SAMSON. I

dati contenuti si riferiscono alla Temperatura di bulbo secco, alla velocità e alla direzione del vento, all'umidità relativa e alle precipitazioni. Oltre a questi parametri per effettuare un'elaborazione completa e realistica sono necessarie anche informazioni sulla copertura nuvolosa totale, che l'Arpa non mette a disposizione. I dati sulla copertura nuvolosa sono indispensabili al codice per una corretta ricostruzione dello strato limite. I rilevamenti orari della copertura nuvolosa totale si sono scaricati dal sito www.eurometeo.com, dove è riportata una classificazione qualitativa dei dati rilevati per osservazione diretta. Poiché il codice richiede la copertura nuvolosa in percentuale, si è effettuata una conversione utilizzando le assunzioni presentate nel paragrafo a seguire.

Copertura nuvolosa

I dati di copertura nuvolosa registrati nell'archivio di eurometeo sono classificati in cinque categorie: sereno, poco nuvoloso, nubi sparse, nuvoloso e molto nuvoloso. In genere la copertura del cielo si misura in ottavi, ma nel caso specifico il codice AERMET richiede che i dati siano forniti in percentuale. Utilizzando la classificazione in ottavi riportata sul sito www.meteoam.it, i dati presentati in una classificazione qualitativa si sono convertiti in ottavi. La conversione da ottavi a percentuale non è univoca, poiché alle classi qualitative sono attribuiti un intervallo di valori. Si è scelto un valore medio appartenente all'intervallo; si riportano le assunzioni effettuate nella tabella seguente.

Tabella 3.3 Fattori di conversione utilizzati per la copertura nuvolosa totale

Qualitativa	Ottavi	Percentuale %
Molto Nuvoloso	6-7/8	80
Nuvoloso	4-5/8	60
Nubi Sparse	3/8	40
Poco Nuvoloso	1-2/8	20
Sereno	0/8	0

Trattandosi di dati rilevati per osservazione visiva diretta, la qualità di questi è inferiore a quella dei dati rilevati dalle stazioni meteo, inoltre la conversione è chiaramente approssimata. In ogni caso il livello di precisione raggiunta è accettabile poiché AERMET richiede come input solamente i valori delle decine delle percentuali ottenute.

Dati meteorologici nelle località oggetto di studio

Per i tredici comuni oggetto di studio la disponibilità dei dati non è la stessa; la copertura è ottima nei capoluoghi di provincia, mentre negli altri comuni non sempre è presente una stazione meteorologica. Per questo motivo, in alcuni comuni, si è stati costretti ad appoggiarsi a dati provenienti da stazioni limitrofe o direttamente a quelle del corrispondente capoluogo di provincia e di conseguenza l'affidabilità dei risultati ottenuti non è la stessa per tutte le località in esame. A seguire si riporta la descrizione nel dettaglio della provenienza dei dati meteo utilizzati nelle diverse analisi.

- Piacenza, Bologna e Rimini: gli studi condotti nei tre capoluoghi di provincia hanno un elevato grado di affidabilità. I dati meteorologici utilizzati derivano tutti da rilevamenti diretti effettuati all'interno delle città. Attraverso un'accurata osservazione si è scelto di utilizzare i dati del 2005, poiché per tutte e tre le città si è individuata una completa disponibilità dei dati necessari.
- Faenza e Ozzano Dell'Emilia: per questi due comuni la rete dispone di stazioni che rilevano tutte le variabili di interesse. Per Faenza la stazione è collocata nella frazione di Granarolo Faentino, mentre per Ozzano nella frazione di Settefonti. Gli unici dati che non sono disponibili con la frequenza richiesta sono quelli relativi alla copertura nuvolosa, per i quali è stato necessario appoggiarsi ai relativi capoluoghi di provincia Forlì e Bologna. Va sottolineato che i comuni in questione sono entrambi confinanti con i rispettivi capoluoghi per cui l'assunzione è più che lecita, in considerazione al fatto che la copertura nuvolosa totale, rilevata per osservazione diretta, sarà approssimativamente la stessa. Anche per questi due comuni, quindi, l'affidabilità dello studio condotto è molto elevata. Per Faenza si sono utilizzati i dati orari dell'anno 2005, per Ozzano, invece, si è scelto di condurre lo studio con i dati del 2008 a causa di una serie di mancati rilevamenti non trascurabile per l'anno 2005.
- Per Torrile, situato al confine nord del comune di Parma, la rete ha una stazione collocata in frazione Gainago. Anche per Torrile si sono utilizzati i dati orari del 2005, tuttavia la stazione in loco rileva solamente umidità, precipitazioni e temperatura. Velocità e direzione del vento non sono misurate, quindi per queste variabili si è sfruttata una stazione meteo collocata nella fascia settentrionale del comune di Parma.

Lo stesso vale per la copertura nuvolosa totale, rilevata a Parma ma approssimativamente uguale, data la vicinanza, a quella di Torrile. Anche i risultati ottenuti per questa località hanno un elevato grado di affidabilità, poiché tutti i dati utilizzati sono riconducibili al comune stesso o alle immediate vicinanze.

- Carpi: per questo comune la rete prevede una stazione nella frazione di Cortile. A causa di una scarsa disponibilità di dati per il 2005, si è condotto lo studio sfruttando i dati del 2008. Precipitazioni, umidità e temperatura sono rilevate direttamente nella frazione di Cortile, mentre per direzione e velocità del vento, non misurate dalla stazione, si è stati costretti ad appoggiarsi al comune di Modena, situato a sud di Carpi e, per un brevissimo tratto, confinante. Per quanto riguarda i dati di copertura nuvolosa totale, data la mancanza di dati rilevati in loco o nelle immediate vicinanze, si sono utilizzati i dati di Bologna. La distanza tra i due comuni non è irrilevante, tuttavia considerando le caratteristiche meteorologiche piuttosto omogenee della pianura padana, è lecito pensare che gli scostamenti si compensino nell'arco dell'annata. I risultati ottenuti hanno un'approssimazione superiore a quelli dei comuni citati in precedenza, ma l'affidabilità è comunque accettabile per i motivi sopracitati. In ogni caso lo studio è condotto con la precisione massima ottenibile in relazione ai dati meteorologici a disposizione.
- Fiorano Modenese: Per il comune di Fiorano la rete non ha una stazione in loco, quindi si è condotto lo studio sfruttando i dati delle regioni limitrofe. Si è utilizzato come anno di riferimento il 2008 e precipitazioni, umidità e temperatura si sono recuperati dalla stazione meteo di Formigine, immediatamente a nord di Fiorano. Per quanto riguarda i dati del vento, i più vicini disponibili con continuità sono quelli di Modena, a una decina di chilometri dal comune. Così come è stato per Carpi, per la copertura nuvolosa totale si sono utilizzati i dati di Bologna, i più vicini a disposizione. I risultati così ottenuti sono attendibili, ma il grado di affidabilità è certamente inferiore rispetto alle prime località descritte.

Per le restanti località , a causa della mancata disponibilità di dati in sito, si è deciso di ritenere accettabili i risultati ottenuti per altri comuni già studiati e situati nelle vicinanze. L'accettabilità di questa assunzione è differente per ogni caso specifico ed è trattata nel dettaglio nel paragrafo seguente.

- Fiorenzuola d'Arda: Per questo comune, situato in pianura nella provincia di Piacenza, si è assunto come valido il risultato ottenuto per il capoluogo. L'Arpa non mette a

disposizione dati rilevati sul territorio e le uniche informazioni reperibili sono alcune medie giornaliere disponibili con scarsa continuità e prive della direzione del vento, parametro fondamentale per lo studio diffusivo. Data la vicinanza geografica tra Fiorenzuola e Piacenza (distanza una ventina di Kilometri in linea d'aria), i valori medi dei parametri di interesse nelle due località sono praticamente gli stessi. Alla luce di queste considerazioni si è ritenuto che tale assunzione fosse un risultato accettabile e sicuramente il migliore ottenibile, ovviamente la disponibilità di dati più prossimi al comune consentirebbe di ottenere un risultato più specifico.

- Cattolica: Per Cattolica vale lo stesso discorso fatto per Fiorenzuola. La mancanza di dati disponibili con una frequenza sufficiente ha obbligato a riferirsi alla località più vicina, che è Rimini. La distanza tra i due comuni è di una ventina di Km in linea d'aria. Sicuramente utilizzare dati in loco consentirebbe una valutazione più realistica, ma in ogni caso, con la disponibilità di dati attuale, assumere gli stessi risultati di Rimini è la via migliore percorribile.
- Castel Bolognese: Anche per questo comune la mancanza di dati in situ ha imposto l'esigenza di affidarsi ad una località vicina, ma a differenza dei due comuni sopraccitati, nel caso di Castel Bolognese è stato possibile appoggiarsi ai risultati di Faenza, che con quest'ultimo è confinante. Si è deciso, quindi, di assumere gli stessi risultati senza condurre un'analisi differenziata, l'assunzione è più che legittima data la prossimità delle due località in questione.
- Massa Lombarda: Situata immediatamente a nord di Faenza, vale lo stesso discorso fatto per Castel Bolognese.
- San Giorgio di Piano: Si tratta di un comune una decina di Km in linea d'aria a nord di Bologna. Per la mancanza di dati e la vicinanza col capoluogo, si sono assunti i medesimi risultati con un discreto grado di affidabilità.

Integrazione di dati mancanti

Come già citato in precedenza, affinché le proiezioni di AERMOD si possano considerare attendibili è necessario che il numero di rilevamenti orari mancanti sia inferiore al 10% del totale. In generale la copertura è ottima e i pochi dati mancanti sono distribuiti equamente tra le diverse stagioni considerate. Tuttavia per tre delle località considerate, Bologna, Piacenza e Faenza questo ragionamento non è da considerarsi valido. In questi casi si è notato un

numero di dati non rilevati ritenuto eccessivo (anche un'intera settimana) e , soprattutto, concentrato in un mese specifico. Tale mancanza potrebbe portare a proiezioni poco rappresentative del periodo dell'anno i cui dati sono trascurati. Per ovviare a questo problema si è intervenuti con un criterio di sostituzione seguendo le indicazioni dell'EPA (Environmental protection agency) contenute nel Meteorological Monitoring Guidance for Regulatory Modeling Applications. Per Bologna e Piacenza dove i dati dei mesi di Aprile e Giugno rispettivamente erano poco coperti, si è intervenuti integrandoli con i dati del 2006 e del 2008. Per Faenza, invece il problema si presentava solo per la ventosità del mese di novembre e si è intervenuti integrando i dati con quelli rilevati nello stesso periodo nel 2006. Un intervento è stato necessario anche per i dati di copertura nuvolosa di Piacenza e Torrile per le quali in alcuni casi non sono rilevate le condizioni notturne. In queste situazioni si è intervenuti facendo una correlazione tra i dati agli estremi dell'intervallo mancante. Questa è la soluzione migliore ottenibile, e consente di considerare molte stringhe di dati relativi alle condizioni notturne che diversamente sarebbero trascurate. Tolte queste eccezioni i dati sono disponibili con ottima continuità.

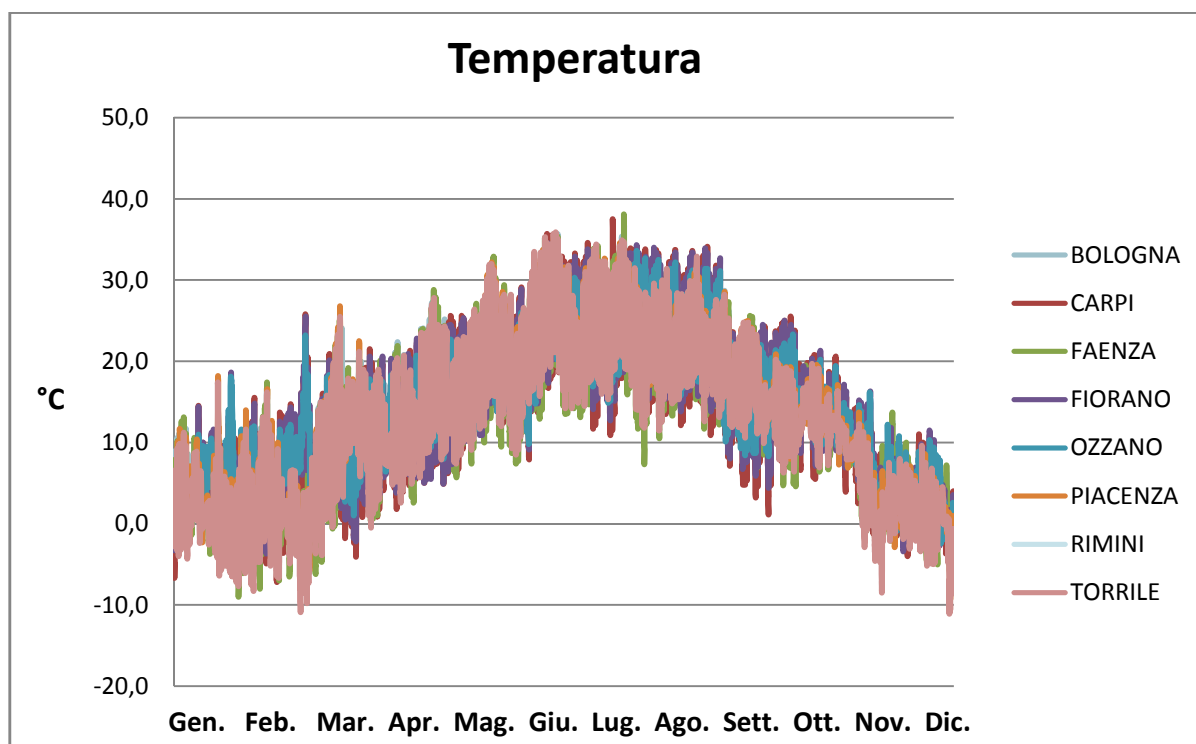
3.1.3 Confronto tra i dati utilizzati nelle diverse località esaminate

Le località esaminate sono tutte all'interno della pianura Padana, in un contesto che si presenta piuttosto omogeneo da un punto di vista meteorologico. A seguire si riporta una breve trattazione dei dati utilizzati. L'analisi condotta riguarda solamente le località per le quali si sono utilizzati dati rilevati in loco; ovviamente non si sono considerati quei comuni, citati in precedenza, per i quali ci si è appoggiati completamente ai risultati di località vicine a causa della mancanza di rilevamenti meteo specifici disponibili con una frequenza accettabile.

Temperatura

I comuni analizzati si trovano tutti ad una latitudine compresa tra il 44° e il 45° parallelo a nord dell'equatore (in realtà Piacenza si estende leggermente oltre il 45°) e la Temperatura presenta un andamento caratteristico assimilabile a tutte le realtà esaminate. Nel grafico seguente si riporta tale andamento.

Grafico 3.5 Andamento della Temperatura nell'anno di riferimento per tutti i comuni di interesse



Dal grafico è evidente come le temperature abbiano un andamento tipico durante l'anno che è lo stesso per tutte le aree esaminate; questo nonostante i dati considerati non facciano tutti riferimento allo stesso anno solare; per esempio i dati utilizzati per Piacenza sono quelli del 2005, per Bologna del 2008. Si nota che anche l'intervallo in cui è contenuta l'oscillazione giornaliera è approssimativamente lo stesso per le diverse aree. A completare la valutazione si sono riportate nella tabella sottostante una serie di statistiche.

Tabella 3.2 Statistiche riferite alle rilevamenti di temperatura utilizzati per i presenti studi diffusivi

° C	Bologna	Carpi	Faenza	Fiorano	Ozzano	Piacenza	Rimini	Torrile
Max	36,7	37,5	38,1	34,5	33,6	35,6	36,3	35,9
Min	-7,1	-7,7	-9	-5,7	-3,6	-9,9	-3,9	-11,1
Media	14,0	13,5	12,4	13,8	14	13,8	14,2	12,3
Mediana	14,1	13,2	13	13,5	13,7	14,2	14,6	12,6

Le medie e le mediane sono tutte comprese tra i 12° C e i 15° C; i valori più elevati si registrano per Rimini, mentre Faenza registra media e mediana più basse. Per quanto riguarda i massimi e i minimi Torrile registra un minimo di -11,1°C e ha ben sei registrazioni al di sotto dei -10° C, mentre nessuna delle altre località scende sotto a questa soglia. Al contrario Ozzano e Rimini fanno registrare temperature minime di -3,6° C e -3,9°C, rispettivamente. Tra le temperature massime spicca Faenza con 38,1 °C, seguita da Carpi e Bologna. Curioso il caso di Ozzano dell'Emilia che presenta l'intervallo di oscillazione delle

temperature annuali più contenute, facendo registrare il valore più alto tra i minimi (-3,6°C) e il più basso tra i massimi (33,6° C).

Velocità e direzione del vento

Le misurazioni del vento costituiscono un parametro fondamentale negli studi di diffusione atmosferica degli inquinanti, questo perché l'intensità del fenomeno esercita un'influenza determinante sul trasporto delle sostanze. La Pianura Padana è una delle aree meno ventilate di Italia; i venti sono estremamente deboli sia nel periodo estivo che in quello invernale. Inizialmente si illustrano alcune caratteristiche dei rilevamenti della velocità del vento utilizzati.

Tabella 3.3 Statistiche relative ai dati di velocità del vento utilizzati nel presente studio. Sono riportati anche il numero di rilevamenti al di sotto di una soglia indicata. I dati di input sono a frequenza oraria, quindi complessivamente 8760 misurazioni.

m/s	Bologna	Carpi	Faenza	Fiorano	Ozzano	Piacenza	Rimini	Torrile
Max	10,1	10,4	9,7	10,4	16	5,7	8,3	6,6
Media	2	2	1,9	2	2,9	1,3	1,8	1,4
Vel < 1m/s	1901	1614	2131	1614	678	3458	2001	2677
Vel <0,5 m/s	451	381	613	381	144	803	414	445
Vel = 0,00 m/s	178	174	289	174	62	359	181	198

Dall'osservazione della tabella è evidente come tutte le località abbiano velocità medie del vento estremamente contenute. Tra tutte spicca Piacenza, che ha sia la media che il valore massimo registrato inferiori a tutte le altre zone. Anche Rimini e Torrile hanno medie e valori massimi estremamente contenuti. Per quanto riguarda le calme di vento Piacenza e Faenza presentano un numero altissimo di rilevazioni sotto alle soglie indicate in tabella. Ozzano dell'Emilia, invece, risulta in assoluto il paese più ventilato, con valori elevati sia per la media che per il massimo e con un numero di calme di vento più contenuto rispetto agli altri comuni. Piacenza è in assoluto il comune con il numero maggiore di registrazioni nulle del vento, seguito da Faenza . A fronte dei risultati di questa analisi si è impostato il codice AERMOD in modo che nello studio diffusivo venissero trattate come calme di vento solo le registrazioni uguali a 0,00 m/s. Nei seguenti grafici sono posti a confronto gli andamenti delle due località con i venti più elevati, Fiorano e Ozzano dell'Emilia, con le due caratterizzate dalla minor ventosità, Piacenza e Torrile. Si sono riportati i confronti per una situazione estiva e per una invernale.

Grafico 4.6 Presenta l'andamento delle serie sopracitate nei primi dieci giorni di gennaio. L'andamento è da considerarsi rappresentativo delle condizioni invernali

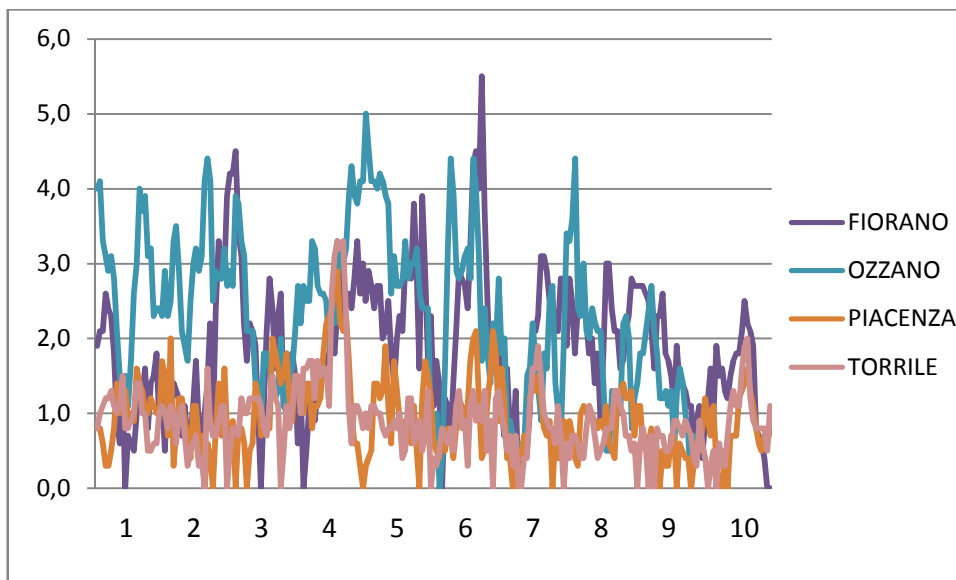
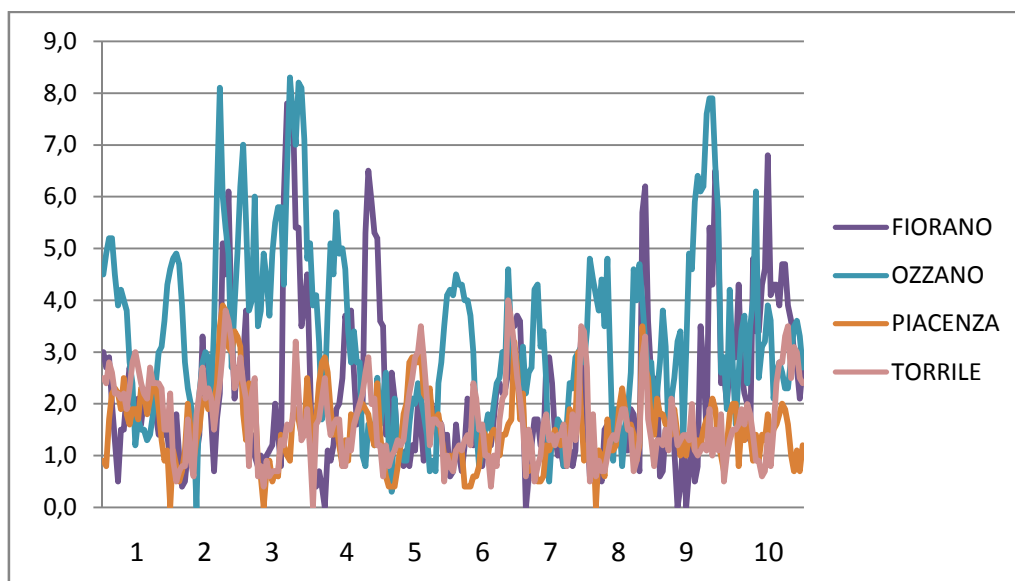


Grafico 3.7 Presenta l'andamento delle serie sopracitate nei giorni che vanno dal 5 al 15 di Luglio. L'andamento è da considerarsi rappresentativo delle condizioni estive



Dall'osservazione dei due grafici è evidente come l'andamento del vento a Ozzano dell'Emilia e Fiorano Modenese si mantenga sempre al di sopra dell'intensità registrate a Piacenza e Torrile. Anche le oscillazioni nelle prime due località risultano più ampie di quelle registrate nelle altre.

In riferimento alla direzione dei venti dominanti, si sono riportati i rilevamenti classificati in quattro direzioni principali.

Tabella 3.4 Percentuali dei rilevamenti del vento contenuti nell'intervallo indicato; per convenzione i gradi indicano la direzione di provenienza del vento

DIREZIONE	Bologna	Carpi	Faenza	Fiorano	Ozzano	Piacenza	Rimini	Torriale
N-E (0°-90°)	23	26	17	26	23	27	24	17
S-E (90°-180°)	17	16	24	16	17	26	17	27
S-W (180°-270°)	39	24	26	24	47	23	33	23
N-W (270°-360°)	21	34	33	34	13	24	26	33

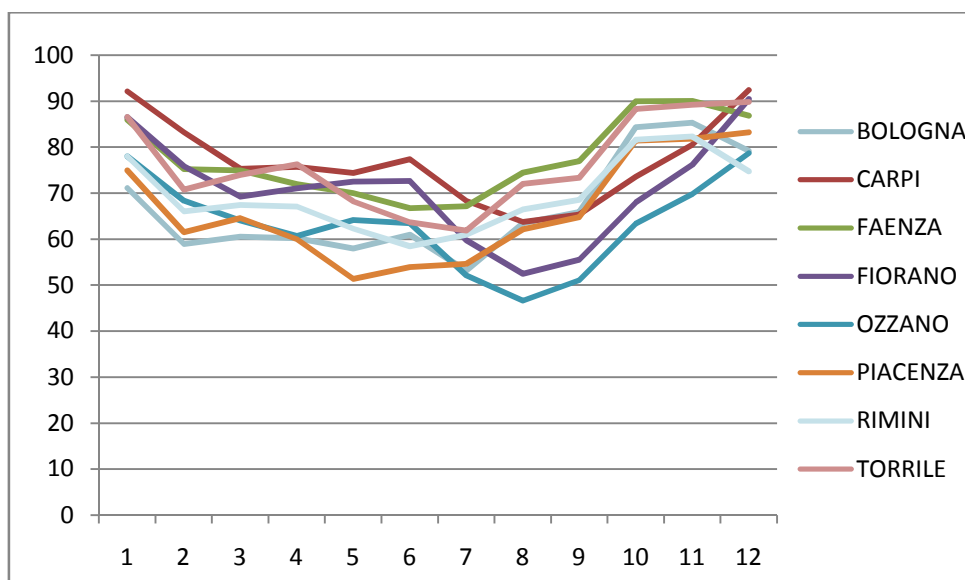
Umidità

In generale la pianura padana è caratterizzata da un'umidità piuttosto elevata; a seguire si presenta l'analisi dei dati utilizzati.

Tabella 3.5 Valori medi, annuali e mensili, dell'umidità relativa nell'anno di riferimento

Umidità Rel. Media %	Bologna	Carpi	Faenza	Fiorano	Ozzano	Piacenza	Rimini	Torriale
Annua	67	78	78	72	64	68	70	76
Gennaio	71	92	86	87	78	75	78	87
Febbraio	59	83	75	76	68	62	66	71
Marzo	61	75	75	69	64	65	67	74
Aprile	60	76	72	71	61	60	67	76
Maggio	58	74	70	73	64	51	62	68
Giugno	61	77	67	73	63	54	58	64
Luglio	53	68	67	60	52	55	61	62
Agosto	63	64	75	52	47	62	66	72
Settembre	66	65	77	56	51	65	69	73
Ottobre	84	74	90	68	63	81	82	88
Novembre	85	81	90	76	70	82	82	89
Dicembre	79	92	87	91	79	83	75	90

Grafico 3.8 Andamento della media mensile dell'umidità relativa lungo il periodo di studio. I mesi sono espressi con il rispettivo numero di riferimento.



Le curve risultano quasi inviluppate, è evidente che l'andamento dell'umidità relativa è approssimativamente lo stesso per tutte le aree in esame, anche se alcune curve stanno sopra alle altre; è il caso di Carpi, Faenza e Torriale. L'umidità cala in primavera per raggiungere i suoi minimi nel periodo estivo, poi ricresce e diventa massima nel periodo invernale, in generale si mantiene comunque alta. Nel grafico si sono riportati valori medi, in tutte le località l'umidità relativa raggiunge dei picchi superiori al 100% in alcuni rilevamenti orari.

Precipitazioni

La pianura emiliano romagnola è caratterizzata da quantitativi mediocri di precipitazioni che generalmente si aggirano tra i 650 mm/anno e gli 800 mm/anno. A seguito sono analizzati i dati utilizzati nel presente studio.

Tabella 3.6 Precipitazioni cumulate nelle località esaminate nell'anno di riferimento e i valori massimi di precipitazione nell'ora

PREC.	Bologna	Carpi	Faenza	Fiorano	Ozzano	Piacenza	Rimini	Torriale
Tot mm/anno	925	690	794	878	741	518	938	707
Max mm/ora	24,4	52,6	31,4	21,2	13,0	22,0	29,0	20,4

Dalla tabella emergono Rimini e Bologna come località con il valore maggiore di precipitazioni annue e Piacenza per quello minore. L'evento più intenso si registra a Carpi, a

fronte di un quantitativo di precipitazioni cumulate nell'anno piuttosto contenuto. Per capire come sono distribuite le precipitazioni nell'arco dell'anno considerato si riporta un'ulteriore tabella.

Tabella 3.7 Percentuale delle precipitazioni annue caduta nei diversi mesi.

%	Bologna	Carpi	Faenza	Fiorano	Ozzano	Piacenza	Rimini	Torrile
Gennaio	4	6	3	6	7	0	2	1
Febbraio	7	3	6	2	2	5	5	3
Marzo	3	1	3	6	11	2	2	4
Aprile	11	7	9	6	5	2	9	14
Maggio	8	13	0	17	16	0	4	5
Giugno	7	14	3	19	15	4	2	0
Luglio	2	11	6	3	3	7	8	5
Agosto	11	2	15	0	1	13	15	13
Settembre	14	2	15	2	3	11	14	9
Ottobre	16	8	20	7	9	26	19	32
Novembre	10	17	12	19	19	15	16	3
Dicembre	7	16	8	13	9	12	4	12

Le precipitazioni sono più copiose nei mesi che vanno da agosto a dicembre, questo vale per tutte le località fatta eccezione per Carpi, Fiorano Modenese e Ozzano dell'Emilia, tutte situate in centro Emilia, per le quali una frazione considerevole è compresa tra maggio e giugno. Alle precipitazioni è associata una riduzione della concentrazione atmosferica del particolato in conseguenza al fenomeno della deposizione umida.

3.1.4 Dati sito specifici

Una particolare funzionalità di AERMET consente di integrare i dati superficiali e quelli dell'alta atmosfera con dati sito specifici misurati in loco a quote differenti. L'utilizzo di questi dati è assolutamente opzionale e non è previsto nelle applicazioni di default, ma consente di integrare ulteriormente le informazioni fornite al modello sui parametri atmosferici in sito. Tuttavia le conoscenze di cui si dispone sono già sufficienti per un'analisi realistica, inoltre reperire dati di questo tipo per le aree interessate è praticamente impossibile, per lo meno con una certa continuità. Per questi motivi si è scelto di non utilizzare questa funzionalità, che, per lo studio in esame, si è valutata come un inutile aggravio computazionale.

3.2 CARATTERISTICHE SUPERFICIALI DEL TERRITORIO

Per le analisi condotte con AERMOD è necessario definire anche tre parametri relativi alle caratteristiche superficiali del sito in esame. Si tratta della rugosità superficiale (Z_0), dell'albedo (r) e del rapporto di Bowen (B_0). Z_0 rappresenta l'altezza a cui la velocità orizzontale del vento è zero sulla base di un profilo logaritmico, l'albedo è la frazione della luce solare incidente riflessa dalla superficie terrestre mentre B_0 è il rapporto tra il flusso di calore latente e il flusso di calore sensibile. Z_0 dipende dall'altezza degli edifici e degli ostacoli in generale, il rapporto di Bowen invece è un indice del mescolamento superficiale e viene utilizzato dal modello per determinare i parametri del PBL in condizioni convettive. AERMET consente di differenziare il valore dei parametri per le diverse direzioni in cui avviene la diffusione. Al fine delle elaborazioni condotte con AERMOD è importante scegliere dei valori che siano rappresentativi del territorio in esame. Innanzitutto si è scelto di procedere assumendo un territorio uniforme, con i parametri che non variano nelle diverse direzioni della diffusione. Per differenziare i parametri infatti servirebbero sopralluoghi, foto aeree del territorio, ma soprattutto dovrebbe essere nota a priori la localizzazione effettiva della centrale e, come spiegato in precedenza, non è così. Il territorio della Pianura Emiliano Romagnola è un alternarsi di campagna, capannoni e zone abitate. Non esistono metropoli o città con una forte densità abitativa, inoltre la centrale si troverà in una zona periferica, per minimizzare l'impatto ambientale, ma non troppo distante da un centro abitato o eventualmente da un complesso industriale, per sfruttare il calore prodotto in cogenerazione senza perdite eccessive durante il trasporto in rete. Per scegliere i valori dei parametri si è fatto riferimento ad una classificazione riportata nell'User's guide di AERSURFACE (uno strumento di AERMOD non utilizzato in questo progetto). Si sono utilizzati i valori indicati per la classe "Aree a bassa intensità abitativa", derivanti da una stima tra le differenti classi di uso del suolo tipiche di questi territori, già citate in precedenza per la pianura oggetto di studio. Si è utilizzata una differenziazione stagionale dei parametri, nella tabella seguente si riportano i valori utilizzati nello studio diffusiva per tutte le località esaminate.

Tabella 3.8 Valori delle caratteristiche superficiali assunti per lo studio in esame

MESE	r	B ₀	Z ₀
GENNAIO	0,18	1,0	0,50
FEBBRAIO	0,18	1,0	0,50
MARZO	0,16	0,8	0,52
APRILE	0,16	0,8	0,52
MAGGIO	0,16	0,8	0,52
GIUGNO	0,16	0,8	0,54
LUGLIO	0,16	0,8	0,54
AGOSTO	0,16	0,8	0,54
SETTEMBRE	0,16	1,0	0,54
OTTOBRE	0,16	1,0	0,54
NOVEMBRE	0,16	1,0	0,54
DICEMBRE	0,18	1,0	0,50

Le caratteristiche superficiali sono importanti per una corretta valutazione dei risultati diffusivi, perché il codice li utilizza nel calcolo dei parametri principali che influenzano l'evoluzione dello strato limite. Questi parametri sono la velocità di frizione superficiale u^* , il flusso di calore sensibile H , la lunghezza di Monin-Obukhov L , la velocità convettiva di scala w^* , l'altezza di rimescolamento diurna z_i e l'altezza dello strato superficiale notturno h (U.S. EPA, 2008).

3.3 DATI EMISSIVI

Il parametro principale dell'analisi presentata è quello legato alle emissioni di particolato della centrale. L'input richiesto dal modello è il carico di inquinante in uscita dall'impianto espresso in g/s; si è condotto lo studio con un valore emissivo di 1,1 g/s. La scelta del parametro è basata su di uno studio tecnico, già presentato in precedenza, condotto dall'università di Pisa su una centrale a Bagni di Lucca (Gabrielli R., Di Marco P., 2010) e su considerazioni di carattere normativo. Il limite imposto per legge alle emissioni di particolato, sia orario che giornaliero, è di 30 mg/Nm³ (D.lgs. 152/06). Va detto che interventi mirati in camera di combustione e tecnologie di abbattimento delle polveri (filtri a maniche, cicloni, elettrofiltri) consentono di raggiungere concentrazioni molto più basse, anche inferiori a 5

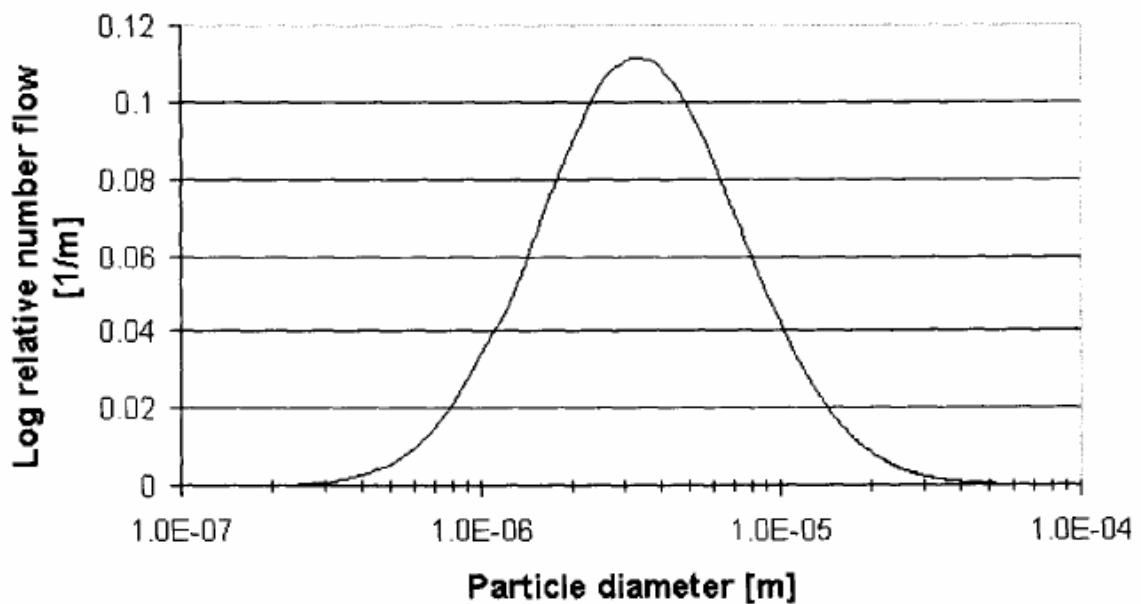
mg/Nm³. Tuttavia gli interventi di riduzione delle emissioni rappresentano un costo per l'impresa, di conseguenza per il presente studio si è assunto che le emissioni siano a ridosso dei limiti normativi. Si è calcolato il carico di particolato emesso facendo riferimento alla concentrazione limite prevista dalla legge e a una portata dei fumi in uscita del camino di 130000 m³/h (che è quella riportata nello studio tecnico di riferimento). Il risultato porta ad un'emissione di poco superiore a 1 g/s, e in considerazione del fatto che la centrale di Lucca è di poco inferiore rispetto a quella in esame, si è assunto per lo studio un valore arrotondato per eccesso a 1,1 g/s. Va specificato che, essendo il modello lineare, i risultati ottenuti sono proporzionali ai valori emissivi utilizzati. Per fare un esempio se si volessero ottenere le concentrazioni relative ad un'emissione di 2,2 g/s sarebbe sufficiente moltiplicare i risultati ottenuti in ogni recettore per un fattore 2 (ovviamente mantenendo inalterate tutte le altre ipotesi e assunzioni). Per quanto riguarda il periodo di funzionamento dell'impianto è estremamente variabile, nel caso della centrale di Bagni di Lucca nel progetto presentato in sede autorizzativa le ore di funzionamento sono 8100 all'anno, pari al 92,5 % della disponibilità. Ovviamente esistono anche impianti che funzionano per periodi minori, ma consultando gli studi di fattibilità e i dati relativi a centrali esistenti si trovano spesso centrali con tempi di funzionamento molto elevati (Antonaroli S., Coppa P. et al. 2005). Anche uno studio tecnico dell'università di Tor Vergata a Roma, presenta un funzionamento superiore alle 8000 ore per una centrale delle stesse dimensioni di quella in esame. Per questi motivi si è deciso, al fine di stare in sicurezza evitando di tralasciare qualsiasi impatto potenziale, di assumere per l'impianto in esame un funzionamento continuo lungo tutto l'anno.

3.3.1 Caratteristiche del particolato emesso

Per una corretta analisi diffusiva il modello richiede come input alcune caratteristiche delle polveri, nello specifico la granulometria e la densità. Questi parametri sono indispensabili per il calcolo della deposizione del materiale, sia secca che umida. Per quanto riguarda la densità delle polveri si è assunto un valore di 2 g/cm³. La densità è estremamente variabile in funzione della tipologia di biomassa utilizzata e delle caratteristiche operative dell'impianto, in particolare delle condizioni in cui viene condotta la combustione, ma i risultati dello studio sono scarsamente influenzati dal valore assunto. In generale la densità influenza la velocità di sedimentazione delle polveri e quindi la frazione di polveri che si depositano al suolo.

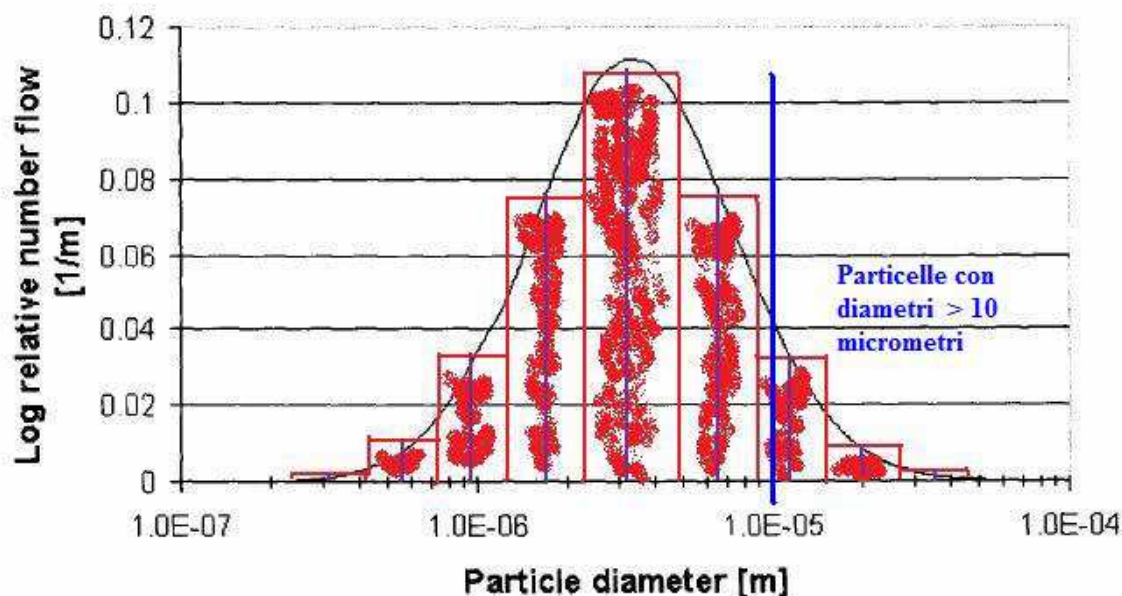
Per quanto riguarda la granulometria si è diviso il particolato in classi in funzione del loro diametro. Si è associata ad ogni classe granulometrica una frazione del particolato emesso in atmosfera. Per fare questo si è sfruttato una curva granulometrica delle polveri avviate al camino dopo la combustione. Chiaramente, a seconda dei sistemi di abbattimento specifici utilizzati in ogni impianto la curva può cambiare, a seconda che vengano abbattute con maggior efficienza tutte le particelle, o solo quelle più grossolane (il caso dei cicloni).

Grafico 3.9 Distribuzione ipotizzata granulometrica di polveri da combustione di biomassa



Si tratta di una curva a campana con un picco in prossimità dei 3 µm. La curva è ipotizzata e inoltre ci sono molte variabili che concorrono alla granulometria delle polveri, le stesse sopracitate per la loro densità. Per queste ragioni i valori immessi come input hanno una significatività relativa (Gabbrielli R., Di Marco P.,2010). Per ottenere una classificazione si è discretizzata la curva manualmente, si è eliminata la parte del grafico a destra dei 10 µm, poiché questa frazione di polveri grossolane non rientra all'interno del PM₁₀, e si sono messe a rapporto le aree di ogni scalino con quella del sottografico della parte di curva interessata. Tutto il calcolo si è condotto manualmente; il risultato ottenuto è molto approssimato, ma il livello di precisione raggiunto soddisfa le necessità del modello.

Grafico 3.5 Curva di distribuzione del particolato discretizzata



Nella tabella sottostante sono riportati le frazioni ottenute associate alle classi granulometriche considerate:

Tabella 3.9 Classificazione granulometrica utilizzata per il PM₁₀

Diametro μm	0,3	0,55	1	1,8	3	6,5	9,5
Frazione in %	1	3	8	23	39	23	3

3.4 CONDIZIONI OPERATIVE DELL' IMPIANTO

Per condurre uno studio diffusivo con AERMOD è necessario impostare il valore di alcune variabili di processo che incidono sul fenomeno diffusivo. Lo scopo dell'elaborato è quello di valutare la diffusione spaziale del particolato emesso da una centrale cogenerativa di media taglia (nell'ordine dei 20 Mw prodotti) in funzione dei suoi livelli emissivi. Il risultato deve essere attendibile indipendentemente dal progetto specifico, da come è ripartita la potenza prodotta tra termica e elettrica o dal contesto in cui si va a inserire l'opera. Per questo motivo si è implementata l'analisi assumendo valori medi per tutti le variabili di esercizio che incidono sulla diffusione del particolato.

3.4.1 Valori assunti per i parametri di interesse

Per quanto riguarda le condizioni di esercizio degli impianti cogenerativi della rete, le variabili di interesse sono l'altezza e il diametro del camino, la temperatura e la velocità dei fumi allo scarico. Per scegliere valori il più possibile attorno alla media si è condotta una valutazione su centrali esistenti e su studi già effettuati. In particolare si è fatto riferimento ad una valutazione tecnica sul progetto di una centrale termoelettrica cogenerativa a cippato di biomassa da installare presso il territorio comunale di bagni di Lucca condotta dall'università di Pisa. Per scegliere i valori da assumere per l'analisi si sono considerati tutti i parametri riportati nella valutazione tecnica. Considerando che l'impianto in esame produce 18 Mw in cogenerazione e che quindi è leggermente sottodimensionato rispetto a quella di riferimento. Nella tabella a seguire si sono riportati i valori scelti per i parametri richiesti dal modello (Gabbrielli R., Di Marco P., 2010)

Tabella 3.10 Valori assunti per i parametri di funzionamento degli impianti

H camino	50	M
D camino	2	M
Velocità uscita fumi	15	m/sec
Temperatura fumi	120	°C

La temperatura dei fumi è dimensionata al fine di ottimizzare la combustione, gas di scarico più caldi tendono a favorire la spinta di galleggiamento e l'innalzamento del pennacchio. Per la velocità dei fumi è importante che possibilmente si mantenga al di sopra della velocità del vento allo sbocco del camino per evitare l'effetto di scia. Per avere un'idea di come questi parametri influenzino i risultati diffusivi si sono condotte alcune elaborazioni comparative variando i loro valori. Dall'analisi si è evidenziato che temperature e velocità di uscita dal camino più elevate tendono a ridurre le concentrazioni nei recettori, mentre valori più contenuti tendono ad aumentarle. In ogni caso, per valori tecnicamente realistici dei parametri, si registrano variazioni delle concentrazioni stimate impercettibili. Nel caso della temperatura, per avere variazioni significative delle stime, superiori al 5%, è necessario incrementare o ridurre la variabile di 50°C, uscendo di fatto dall'intervallo ottimale del processo.

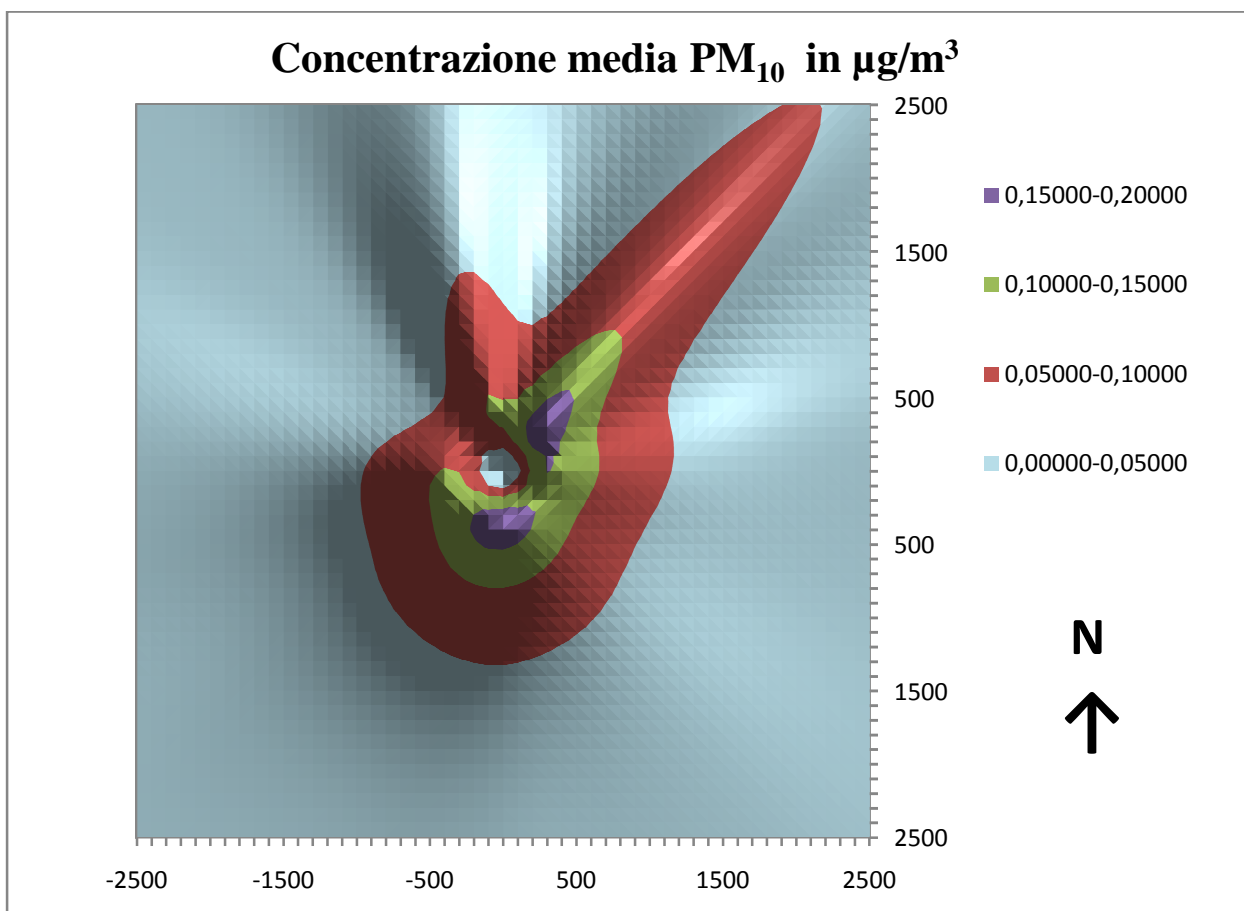
LE CONCENTRAZIONI STIMATE

A seguire si riporta una breve trattazione dei risultati ottenuti con un approfondimento del territorio bolognese. Tutti gli altri risultati grafici sono in appendice all'elaborato. Lo studio si limita a considerare l'incremento del particolato dovuto alle emissioni dirette, senza considerare il fatto che l'attività della centrale, se accoppiata a un' idonea rete di teleriscaldamento, può sostituirsi a buona parte di impianti domestici o a impianti termici industriali, andando ad evitare delle emissioni con un incidenza positiva sul territorio circostante. La valutazione di questo beneficio esula dallo studio, poiché la quantificazione delle emissioni evitate dipende dalla tipologia dei combustibili utilizzati dagli impianti sostituiti dalla centrale ed è funzione, quindi, del progetto specifico. In ogni caso nella valutazione dell'impatto è necessario tenere presente questo aspetto.

4.1 CONCENTRAZIONI MEDIE

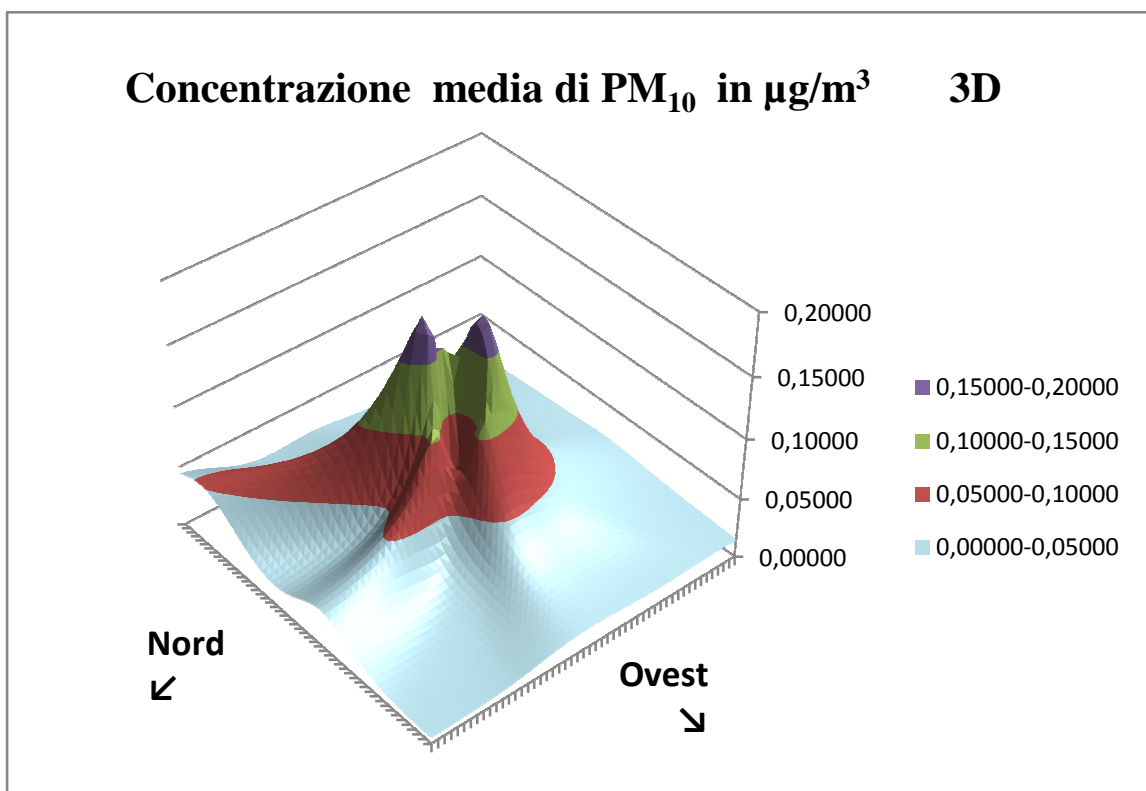
Il risultato principale dell'elaborazione è rappresentato dalla concentrazione media annuale calcolata in tutti i recettori. Utilizzando Excell si sono riordinati i valori in matrici e successivamente si sono realizzati dei grafici raffiguranti le corone d'impatto attorno all'impianto. Questi valori sono estremamente rappresentativi dell'effetto ambientale della centrale poiché raffigurano l'esposizione media a cui sono sottoposti annualmente i residenti. Come già presentato nel primo capitolo, gli effetti nocivi del particolato sono per la maggior parte di natura cronica e, quindi, da imputare ad esposizioni prolungate alle polveri. Il seguente risultato grafico rappresenta le concentrazioni raggruppate in categorie di impatto sulla popolazione. A seguire si riporta a titolo esemplificativo le corona d'impatto calcolata per Bologna.

Grafico 4.1 Rappresentazione sul piano delle concentrazioni medie annuali di PM_{10} nell'area circostante alla centrale. La centrale è collocata nel punto di coordinate (0,0)



Come risulta evidente si tratta di concentrazioni estremamente contenute, che non superano mai gli $0,2 \mu g/m^3$. Un contributo ancora più contenuto se si considera che nel presente studio non sono considerati gli eventuali benefici ambientali legati alla progettazione di un'eventuale rete di teleriscaldamento, con conseguente rimozione delle emissioni di impianti termici domestici. Se si restringe l'area di indagine a un quadrato di 1 Km per 1 Km incentrato sull'impianto, la media delle concentrazioni tra i recettori inclusi nella zona è di soli $0,079 \mu g/m^3$. Queste considerazioni permettono di dire che, a fronte di un limite normativo di $50 \mu g/m^3$ giornalieri, l'apporto di un'ipotetica centrale è praticamente irrilevante, specialmente in un contesto rurale. Per completare lo studio si è riportata a seguire anche una configurazione tridimensionale del grafico in figura 2.5. Non deve trarre in inganno la zona centrale presentata in rilievo, poiché presenta sì delle concentrazioni medie superiori rispetto alle aree periferiche in azzurro, ma il delta di concentrazione è nell'ordine di $0,1 \mu g/m^3$.

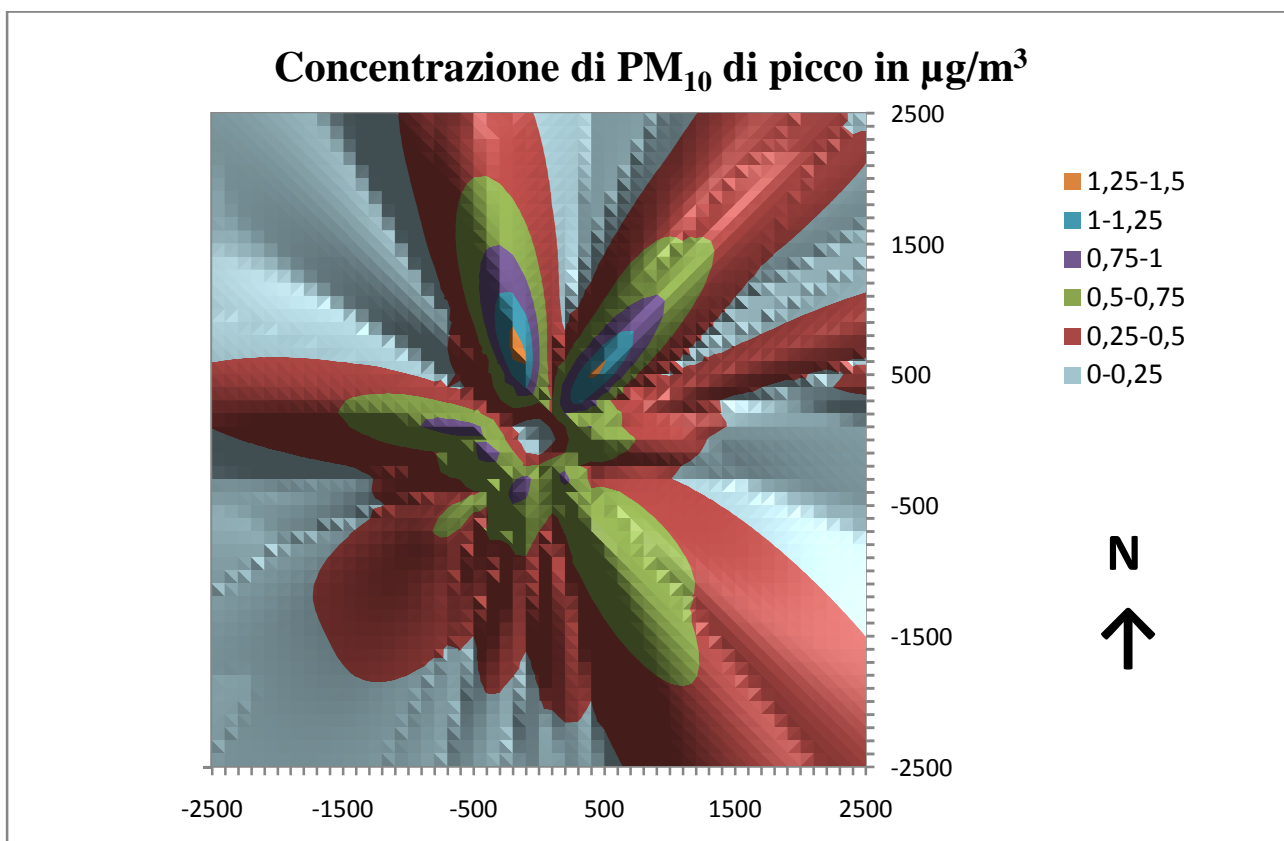
Grafico 4.2 Rappresentazione in 3D delle concentrazioni medie annuali di PM_{10} nell'area circostante alla centrale. La centrale è collocata nella depressione al centro del grafico. I punti cardinali aiutano a capire la prospettiva della visualizzazione



4.2 CONCENTRAZIONI DI PICCO ANNUALI

Unitamente al calcolo delle concentrazioni medie si è condotto anche uno studio sul picco di concentrazioni giornaliere. Per quanto riguarda l'impatto sulla popolazione, questi risultati hanno sicuramente una valenza minore rispetto a quelli medi, questo perché per il particolato interessano di più gli effetti cronici rispetto a quelli acuti. Tuttavia l'analisi dei picchi giornalieri di concentrazione è interessante ai fini legislativi; la normativa cogente prevede un limite alla concentrazione giornaliera di particolato di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a cui sono consentiti un massimo di 35 superamenti annui. A seguire si riportano sul piano i risultati ottenuti nei recettori di riferimento per Bologna. La distribuzione spaziale dei risultati ha valore puramente indicativo, in quanto la localizzazione dei picchi può essere dovuta a situazioni meteorologiche eccezionali; l'importanza della rappresentazione sta nel fatto che mostra con immediatezza la frequenza con cui si registrano i valori di punta divisi per classi.

Grafico 4.3 Rappresentazione sul piano delle concentrazioni di punta annuali di PM_{10} nell'area circostante alla centrale. La centrale è collocata nel punto di coordinate (0,0)



Dall'immagine riportata è evidente che in nessun punto il picco supera gli $1,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, più precisamente il valore massimo stimato è di $1,31 \mu\text{g}/\text{m}^3$. I valori che superano gli $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ interessano un'area molto ristretta, in grafico è segnata in blu e in giallo, e precisamente si tratta solamente di 31 recettori su 2601. Questo risultato dimostra come l'attività di una centrale sul territorio bolognese, non solo determina un incremento della concentrazione media di particolato estremamente contenuto, ma non provoca neppure fenomeni di punta particolarmente rilevanti. Per fare valutazioni in riferimento alla normativa è necessaria una conoscenza approfondita della realtà specifica in cui viene localizzato l'impianto. A fronte di valori così contenuti dei picchi si può dire che in generale la realizzazione dell'opera in un'area rurale non porta a superamenti giornalieri del limite. Il picco massimo annuale di $1,31 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in rapporto col limite di legge di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ne rappresenta solo il 2,6% e, inoltre, i contesti rurali, salvo situazioni di eccezionale criticità che vanno verificate specificamente, hanno delle concentrazioni di fondo di particolato contenute. Le realizzazioni di impianti in un contesto classificabile come urbano è approfondito nel prossimo capitolo.

L'EFFETTO ISOLA DI CALORE NELLE CITTA'

L'isola di calore è una particolarità climatica, ampiamente documentata, tipica degli ambienti urbani. Si tratta di un'anomalia per cui le città tendono ad avere valori di temperatura di qualche grado superiori rispetto all'ambiente rurale circostante. (Lora C., De Franceschi M. et al., 2006) Questo fenomeno influenza la diffusione degli inquinanti, all'interno di contesti urbani densamente popolati, a tal punto che si è deciso di effettuare un'analisi complementare per le tre città oggetto del presente studio: Rimini, Bologna e Piacenza. I comuni in questione sono caratterizzati sia da aree a forte densità abitativa che da aree classificabili come rurali. A seconda che la localizzazione dell'impianto avvenga in un'area o in un'altra i risultati della diffusione del particolato saranno sensibilmente differenti. Per queste città si è condotto uno studio con il codice AERMOD implementando gli algoritmi specifici per il contesto urbano, da affiancare ai risultati ottenuti per le aree rurali, già presentati in precedenza. Per analizzare il fenomeno più nel dettaglio lo si deve suddividere in due sottotipi: l'isola di calore superficiale e quella atmosferica.

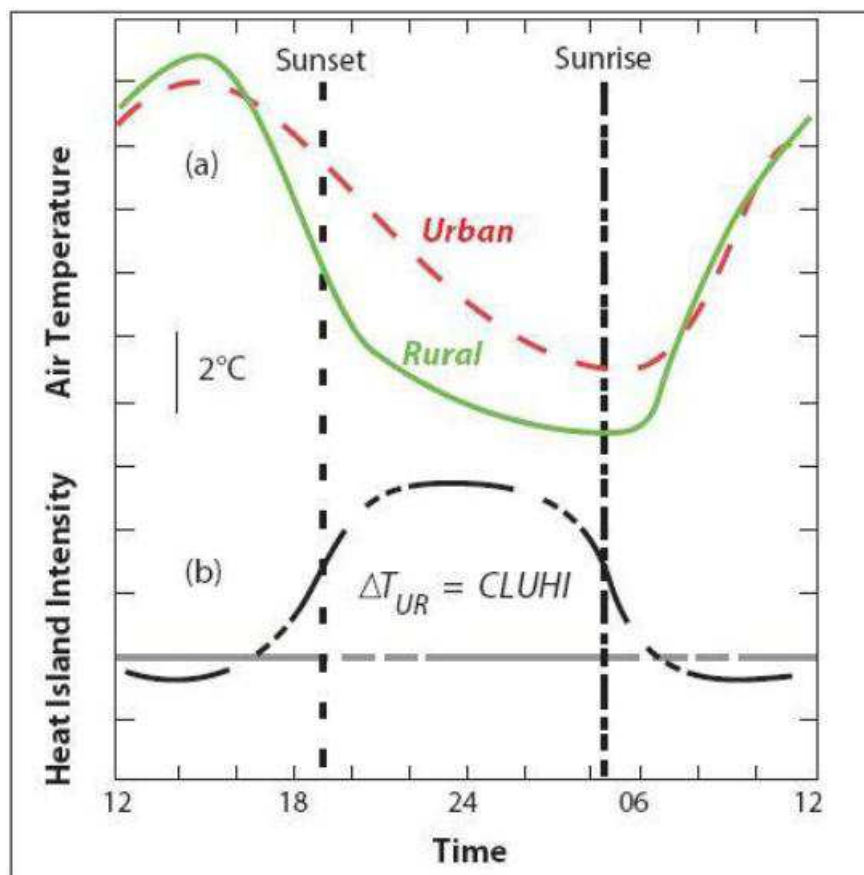
5.1 ISOLA DI CALORE SUPERFICIALE

Questo fenomeno è dovuto alle superfici orizzontali tipiche degli ambienti urbani come il manto stradale o i tetti degli edifici. Queste superfici, a differenza di quelle delle campagne, hanno un contenuto d'acqua pressoché nullo ed esposte direttamente ai raggi solari raggiungono temperature molto più elevate. Il fenomeno è massimo durante il giorno in cui il ΔT epidermico raggiunge i 10-15°C, mentre durante la notte non supera i 5-10°C. Le manifestazioni più acute di questo fenomeno si hanno nel periodo estivo (Dina A.,2011).

5.2 ISOLA DI CALORE ATMOSFERICA

L'interesse è qui rivolto alla temperatura dell'aria, che risulta anch'essa più calda nel contesto urbano rispetto a quello rurale. Questo fenomeno, che si manifesta più marcatamente nelle aree ad alta densità abitativa, è quello più osservato e studiato. Mediamente la differenza di temperatura è compresa tra gli 1 e i 3°C, ma durante i picchi estivi e invernali, in cui il fattore predominante diventa il calore di origine antropogenica, l'intensità del fenomeno può superare i 10°C. L'isola di calore atmosferica è meno intensa di giorno rispetto alle ore notturne, al tramonto, infatti, il calore rilasciato dalla città rallenta il raffreddamento dell'aria e di notte si ha il massimo ΔT tra le aree urbane e quelle rurali.

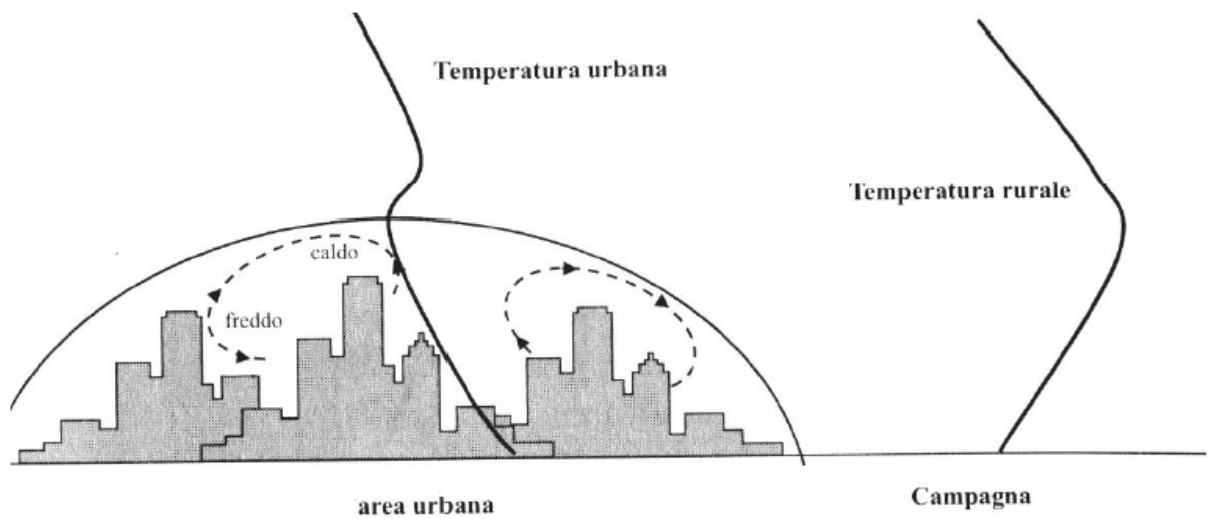
Grafico 5.1 Differenza di temperatura che si instaura tra aree urbane e rurali nel corso di una giornata



Il fenomeno può estendersi in verticale anche per qualche centinaio di metri e in orizzontale anche per alcuni chilometri. Immediatamente dopo il tramonto la campagna

comincia a raffreddarsi e si sviluppa un'inversione termica a partire dalla superficie. La città al contrario, a causa della temperatura e degli elementi di rugosità, conserva una turbolenza residua che genera una sorta di strato di rimescolamento notturno. L'inversione termica si sviluppa solo 2 o 4 ore dopo il tramonto a quote più elevate. Nelle ore successive lo spessore dello strato di inversione cresce, mentre lo strato di rimescolamento notturno si assottiglia (Dina A., 2011).

Figura 5.1 Profili termici notturni dell'isola di calore atmosferica e della campagna circostante



5.3 L'INFLUENZA DEL FENOMENO SULLA DIFFUSIONE DEGLI INQUINANTI

All'interno delle città la presenza degli edifici e in generale di elementi di rugosità rilevanti, determina un drastico calo della velocità del vento all'interno dei "canyon urbani" con un conseguente peggior raffreddamento e un minor ricambio d'aria rispetto alle campagne circostanti. Oltre ad aumentare la turbolenza, l'isola di calore ha effetto anche sui venti locali. Specialmente di notte si può sviluppare una circolazione toroidale: l'aria calda al centro della città abbassa la pressione richiamando flussi d'aria dai bassi strati delle aree suburbane e rurali circostanti, qui si sollevano e giunti ad una quota sufficiente divergono radialmente verso la periferia, scendendo gradualmente verso la superficie. Tali circolazioni indotte possono interagire con le circolazioni locali con effetti anche rilevanti sulla qualità dell'aria, ma che non possono essere noti a priori. Generalmente la presenza della turbolenza notturna

sovrastata da un'inversione termica in quota diluisce gli effetti locali delle emissioni distribuendole in tutta l'area urbana, inoltre lo strato turbolento favorisce il fenomeno della fumigazione, ridistribuendo sulla superficie pennacchi che erano confinati in quota. Tuttavia gli effetti dell'interazione tra l'isola di calore e la circolazione locali è estremamente specifica di ogni realtà e non si può generalizzare. Gli effetti sulla qualità dell'aria possono essere tra i più disparati, sia positivi che negativi, e richiedono uno studio specifico per ogni realtà. Per questo motivo si è deciso di condurre uno studio integrativo per le città incluse tra le località in esame nel presente elaborato, al fine di individuare in modo specifico come l'isola di calore interagisca con la diffusione del particolato in ognuno dei tre contesti. Le città in questione non sono densamente abitate, ma l'effetto isola di calore è particolarmente favorito da condizioni di alta pressione e soprattutto dalle calme di vento, decisamente frequenti in tutta l'Emilia Romagna (Dina A., 2011).

5.4 ANALISI DIFFUSIVA IN AMBIENTE URBANO

I comuni analizzati nel presente elaborato sono stati individuati secondo criteri logistici (Forese G., Guariso G., 2010). La localizzazione ottimale all'interno dell'area di interesse è quella che minimizza l'impatto del particolato sulla popolazione residente, di conseguenza sarà sicuramente in un'area periferica fuori dal centro abitato e per questo motivo l'analisi diffusiva presentata in precedenza si è condotta assumendo come riferimento un ambiente rurale. Tuttavia si deve considerare il fatto che la centrale produce anche calore destinato, a seconda del progetto, a una rete di teleriscaldamento domestico o ad un'utenza industriale. Questo fatto impedisce la collocazione della centrale ad una distanza eccessiva dal centro abitato (o industriale) di interesse, perché altrimenti la rete di trasporto del vettore termico sarebbe troppo lunga con un aumento delle perdite energetiche e un drastico calo dell'efficienza. Considerando il fatto che l'isola di calore è un fenomeno a scala regionale che interessa anche alcune aree periferiche non è da escludersi che l'opera possa essere realizzata in un'area influenzata dal fenomeno (U.S. EPA, 2009). Per questo motivo si è deciso di effettuare una valutazione integrativa nelle tre città più rappresentative oggetto di studio, Bologna, Piacenza e Rimini, per individuare le corone di impatto per localizzazioni dell'impianto classificabili come urbane.

5.4.1 Criteri di classificazione di un terreno come Urbano/Rurale

La “Guideline on Air quality models” (U.S. EPA, 2005) presenta due criteri di classificazioni da utilizzare per le aree periferiche a grossi centri urbani. Il primo criterio si basa sulla destinazione d’uso del suolo. Si deve considerare un area circolare centrata sull’impianto con un raggio di 3 Km. Se più del 50% dell’area esaminata ha una destinazione d’uso residenziale, industriale o che comunque ne prevede la cementificazione, allora è da considerarsi urbana, diversamente è rurale. Il secondo metodo prevede una valutazione in funzione della densità abitativa all’interno della stessa area sopraccitata. Si considerano urbane le aree con una densità superiore a 750 abitanti/Km², rurali tutte le altre. Tra i due metodi di classificazione, entrambi validi, il primo è considerato più corretto perché include anche i centri industriali che contribuiscono alla formazione del fenomeno dell’isola di calore, ma non sono considerati nel secondo criterio.

5.4.2 Studio diffusivo nel contesto urbano

Per le tre maggiori città considerate, che sono Bologna Piacenza e Rimini, si è condotta un’analisi integrativa inserendo nello studio gli algoritmi urbani che ricostruiscono l’effetto dell’isola di calore. In questo modo è possibile valutare gli effetti diffusivi nelle località in esame considerando i risultati presentati nel capitolo precedente per opere realizzate in aree classificabili come rurali, quelli che si presenteranno in seguito per aree classificabili come urbane. Lo studio diffusivo condotto con AERMOD è del tutto identico al precedente, semplicemente si è aggiunta la chiave URBANOPT nella CONTROL pathway inserendo il numero degli abitanti della città e si è aggiunta la chiave URBANSRC nella SOURCE pathway. L’unico parametro aggiuntivo necessario all’elaborazione è la popolazione della città analizzata; l’isola di calore ha un effetto proporzionale alla densità abitativa.

5.4.3 Caratteristiche superficiali

Per la presente analisi non si sono ritenute valide le assunzioni fatte nel capitolo precedente per le caratteristiche superficiali. I valori utilizzati, infatti, erano rappresentativi di una realtà rurale ed erano una media tra i valori tipici della campagna e quelli delle aree industriali e residenziali. Per la situazione attuale si è deciso, riferendosi alla stessa classificazione utilizzata in precedenza, di utilizzare i valori della rugosità superficiale, del rapporto di Bowen e dell'albedo indicati per il contesto urbano (U.S EPA, 2008). Se la localizzazione dell'impianto è in prossimità della città, in un contesto classificabile come urbano, le caratteristiche superficiali del territorio di riferimento saranno influenzate dalla maggior cementificazione. Nella tabella sottostante sono riportati i valori delle variabili utilizzate, per il contesto urbano la classificazione non prevede una variazione stagionale dei parametri che, per le caratteristiche del contesto urbano, tendono a mantenersi piuttosto costanti durante l'anno a differenza di quelle delle aree rurali.

Tabella 5.1 Caratteristiche superficiali assunte per lo studio diffusivo in ambiente urbano

Caratteristiche	r	B ₀	Z ₀
Valori annuali	0,18	1,5	1

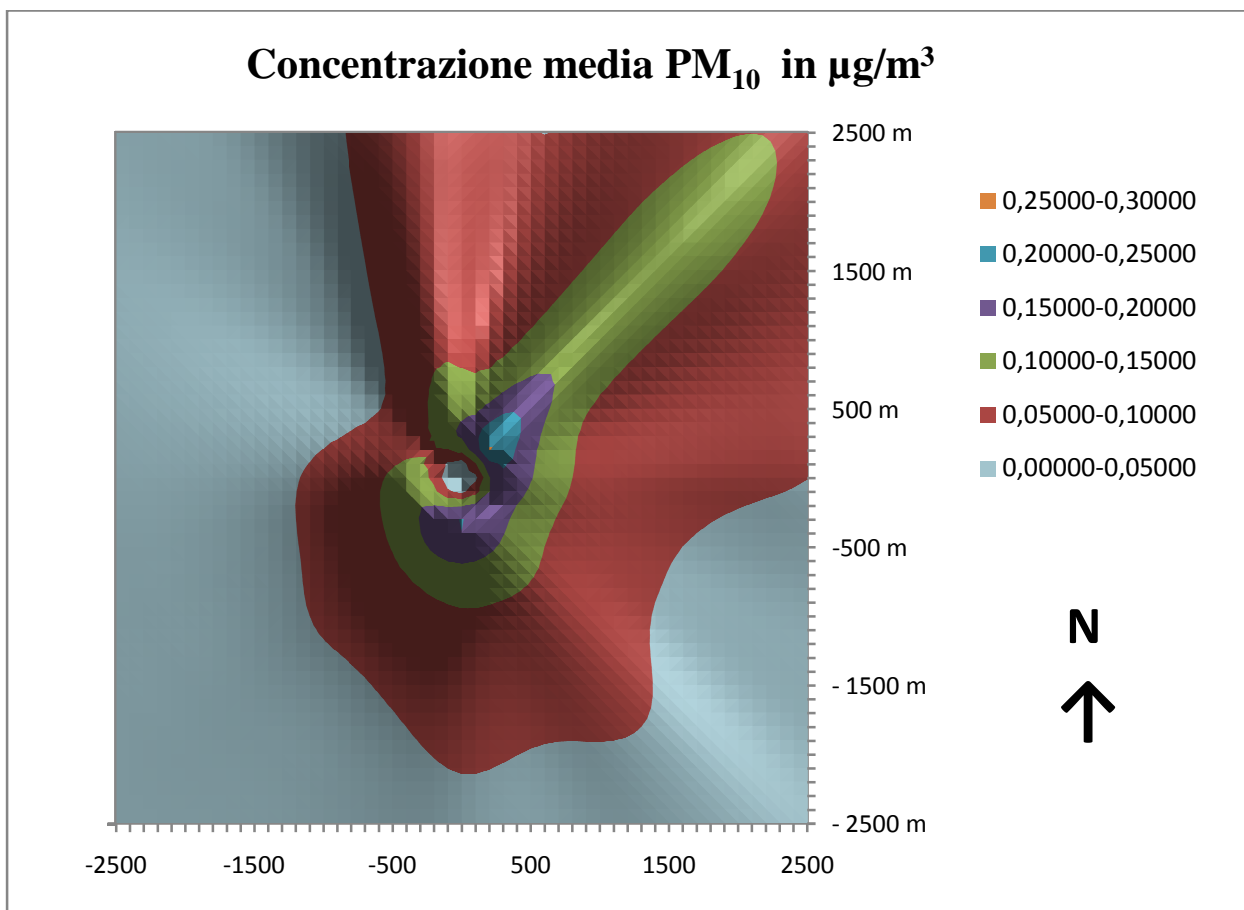
5.5 CONCENTRAZIONI STIMATE IN CONTESTO URBANO

La procedura utilizzata per il contesto urbano è la medesima utilizzata per l'ambiente rurale. Con il codice si sono calcolate la concentrazione media annua e quella giornaliera di picco nella stessa rete di recettori strutturata in precedenza. Analogamente allo studio effettuato in ambiente rurale, si sono riportate le concentrazioni stimate in grafici realizzati con Excell. A seguire si illustrano, a titolo esemplificativo, i risultati grafici ottenuti per Bologna. Tutti gli altri sono riportati in appendice.

5.5.1 Concentrazioni medie

Nel grafico seguente si riporta l'andamento della concentrazione media annua di particolato stimata dal modello per Bologna. È evidente che si tratta comunque di concentrazioni molto basse su tutta l'area di interesse, tuttavia l'effetto dell'isola di calore urbana si traduce in un incremento delle concentrazioni rilevabile su tutti i recettori considerati. Nel caso specifico di Bologna è evidente una direzione dominante per i venti considerati provenienti da sud-ovest.

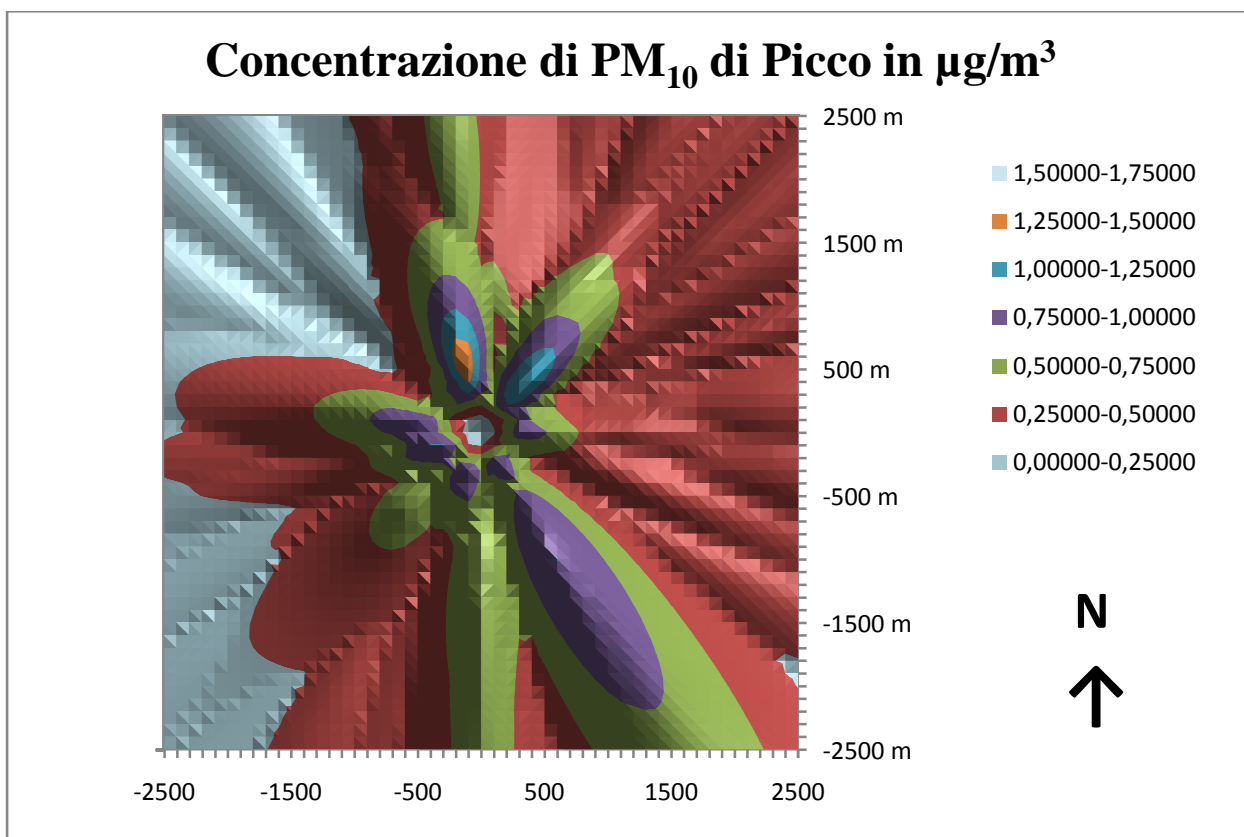
Grafico 5.2 Distribuzione spaziale della concentrazione media annua stimata per la località di Bologna, contesto urbano



5.5.2 Concentrazioni di punta

Le concentrazioni di punta risultano un poco più rilevanti di quelle misurate in ambiente rurale. Il valore massimo registrato è di $1,40 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mentre la media dei valori di punta relativi all'intera area di interesse è di $0,42 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Se si restringe l'area d'analisi ai recettori che hanno una distanza lineare dalla sorgente inferiore a 1 Km la media cresce a $0,61 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Trattandosi di valori di punta annuali, si tratta di valori modesti, tuttavia va considerato che il contesto urbano è spesso caratterizzato da concentrazioni di fondo critiche per le polveri, per richiede un approfondimento specifico della realtà considerata. I valori sono riportati in un grafico analogo a quello utilizzato per i valori medi, ma la valenza è completamente diversa. Non si tratta di vere e proprie corone di impatto poichè i valori e la loro localizzazione possono essere dovuti a situazioni meteorologiche critiche, occasionali o addirittura eccezionali. L'importanza della rappresentazione sta nel fatto che è immediata e aiuta a comprendere come sono distribuiti i valori di punta, facendo risaltare la loro entità.

Grafico 5.3 Distribuzione spaziale delle concentrazioni di picco stimate per la località di Bologna, contesto urbano



5.5.3 Confronto tra contesto urbano e contesto rurale

Nel presente paragrafo si riportano due confronti tra le corone di impatto ottenute per Bologna e per Piacenza in contesto rurale e in contesto urbano.

Grafico 5.4 Confronto tra le concentrazioni medie in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ in ambiente rurale e quella in ambiente urbano per Bologna

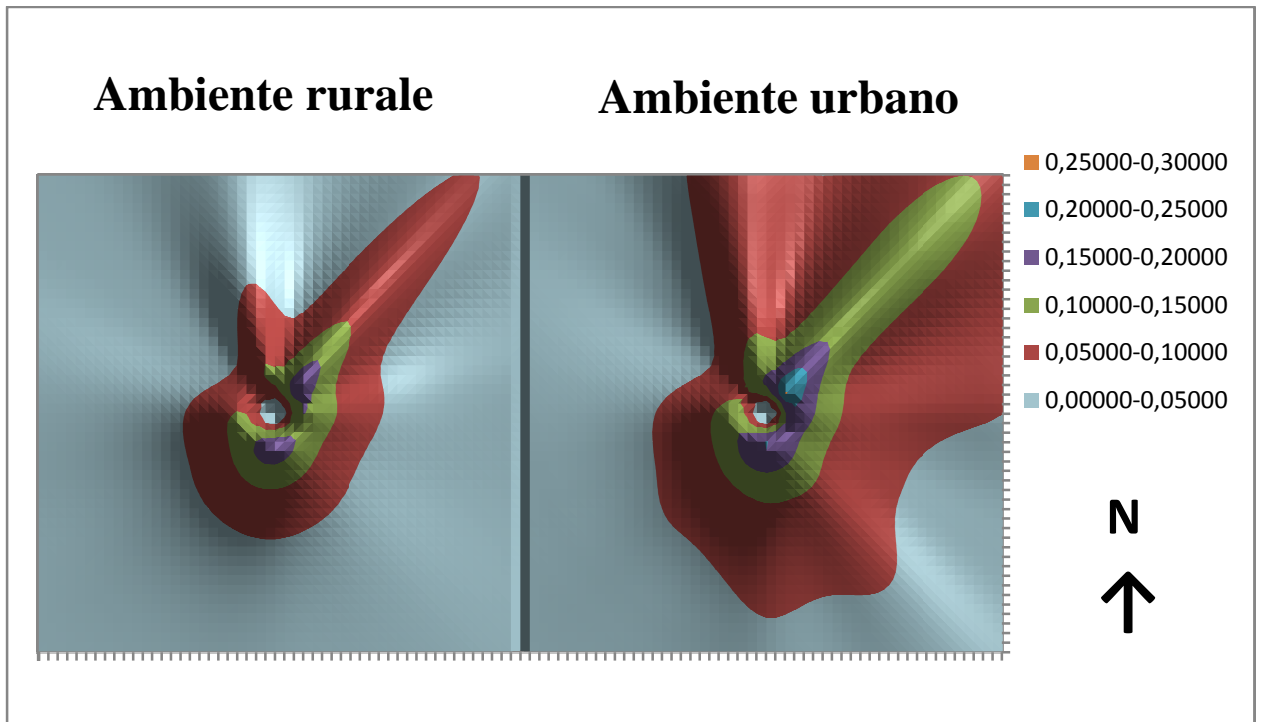


Grafico 5.5 Rappresentazione del grafico 5.4 da una prospettiva differente.

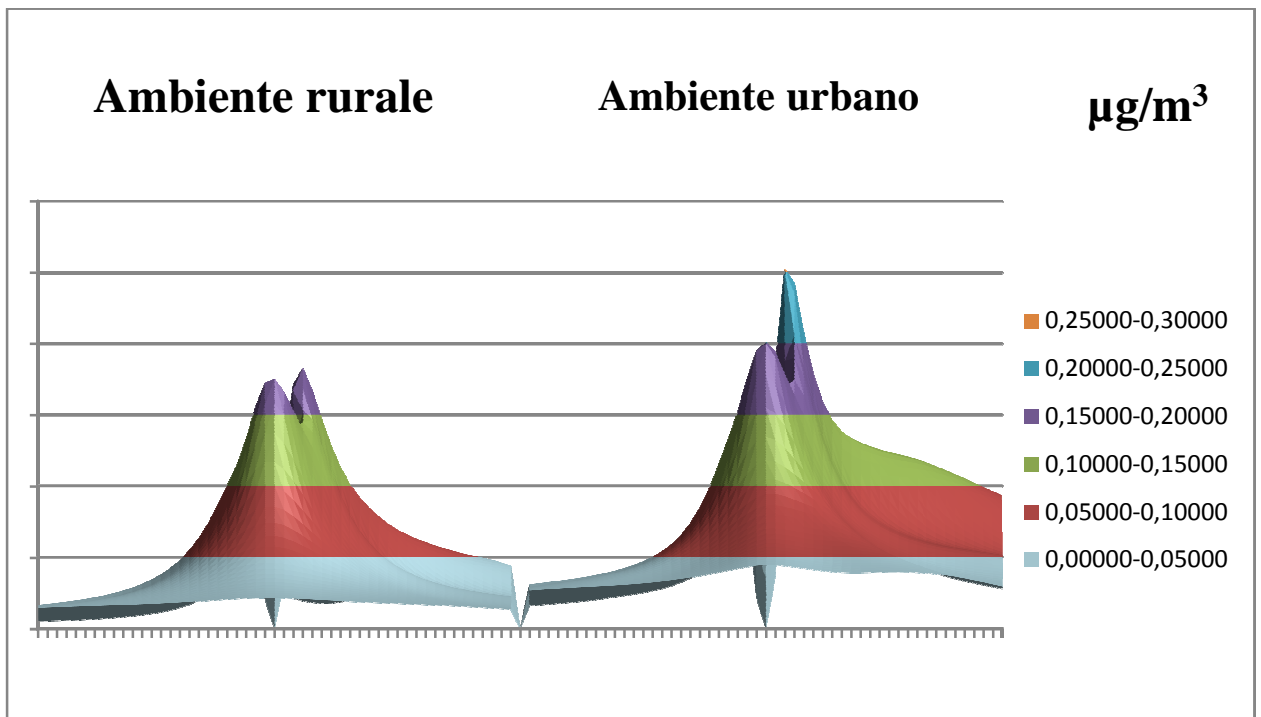


Grafico 5.6 Si presenta il confronto tra le concentrazioni medie in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ambiente rurale e quella in ambiente urbano per Piacenza

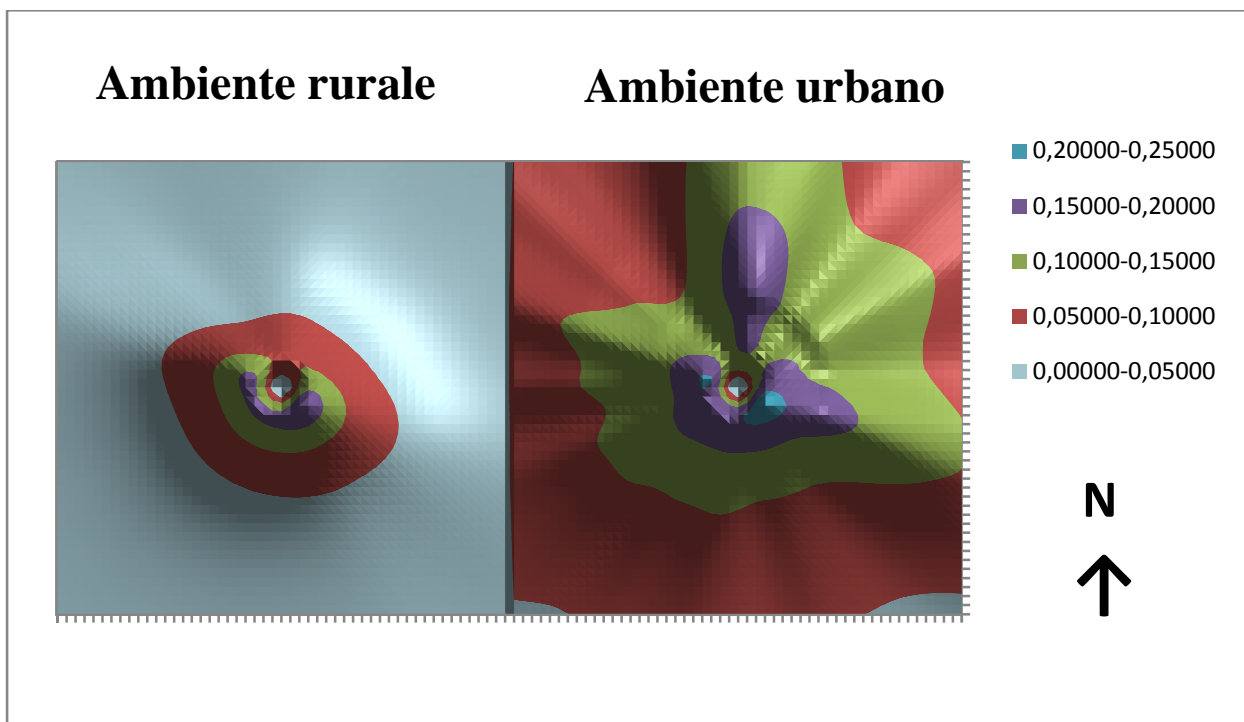
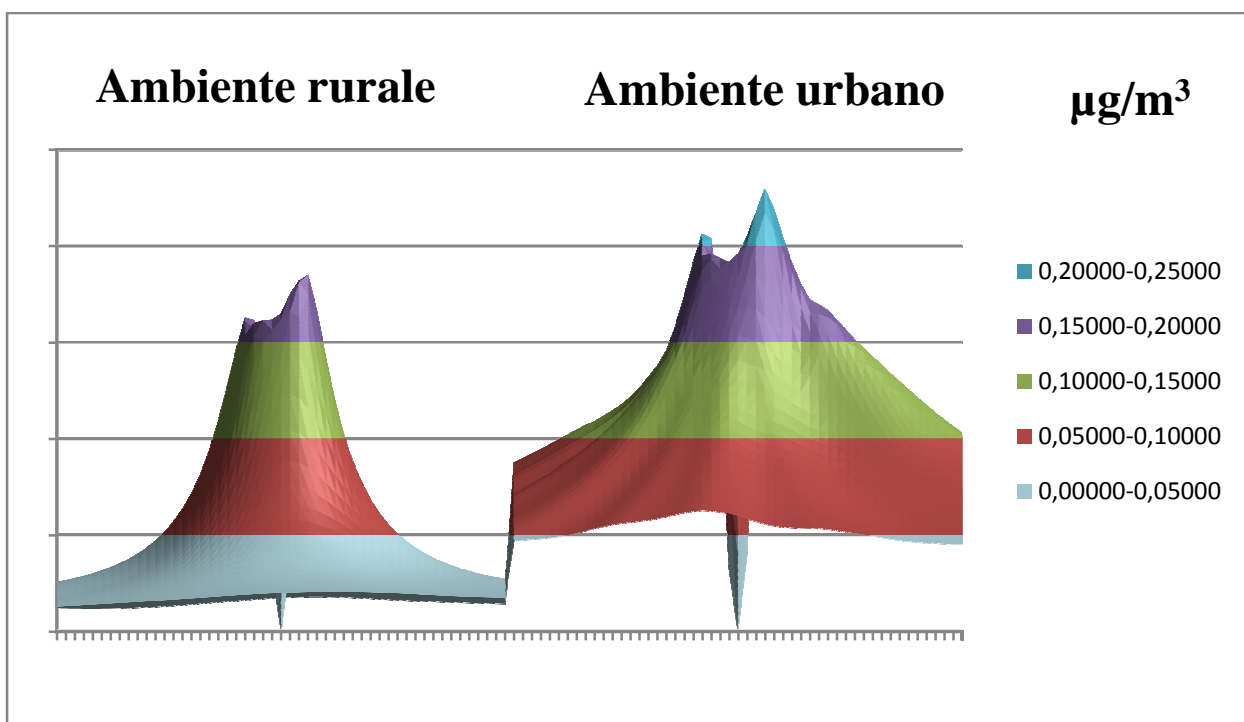


Grafico 5.7 Rappresenta il grafico 5.6 da una prospettiva differente.



Dal confronto delle due situazioni risulta particolarmente evidente come, sia per Piacenza che per Bologna, le concentrazioni medie risultino più rilevanti in contesto urbano rispetto a quello rurale. Nel caso di Piacenza la differenza, come si può notare nel grafico 4.7, è estremamente marcata. Per tutte le situazioni analizzate si è calcolata la media, tra tutti i

recettori considerati, delle concentrazioni medie annuali misurate dal modello. I risultati statistici sono riportati nella seguente tabella.

Tabella 5.2 Valori di concentrazione in ambiente urbano mediati sull'intera area di interesse

Conc media annuale $\mu\text{g}/\text{m}^3$	BOLOGNA	PIACENZA	RIMINI
Media ambiente rurale	0,036	0,034	0,031
Media ambiente urbana	0,060	0,101	0,075

È evidente che in tutte le località studiate l'effetto dell'isola di calore urbana fa registrare un netto incremento delle concentrazioni; per Piacenza, dove il vento ha un'intensità estremamente bassa, l'aumento risulta particolarmente marcato. In ogni caso i valori delle concentrazioni medie annuali sono contenuti, ma il netto incremento registrato obbliga ad una certa attenzione. I contesti urbani, infatti, sono quelli caratterizzati dalla maggior densità abitativa, di conseguenza il numero di persone esposte all'impatto è più elevato rispetto alle aree rurali. Inoltre le città sono in assoluto le aree con le concentrazioni di fondo di particolato più critiche, spesso a ridosso dei limiti consentiti dalla legge. Per questi motivi eventuali realizzazioni di impianti in aree urbane meritano approfondimenti specifici della realtà esaminata.

6

CONCLUSIONI

In questo capitolo sono presentate nel dettaglio le conclusioni tratte dallo studio effettuato, unitamente all'utilità e ai possibili utilizzi dei risultati ottenuti.

6.1 CONSIDERAZIONI SUI RISULTATI OTTENUTI

Per tutte le località oggetto di studio si sono stimate delle concentrazioni medie annuali estremamente basse, anche nelle zone più prossime all'impianto. Valori estremamente modesti si sono ottenuti anche per i valori di punta. A fronte di un limite giornaliero di concentrazione di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, i valori ottenuti rappresentano una frazione trascurabile. Nel caso delle tre città analizzate, Piacenza, Bologna e Rimini, nello studio condotto in ambiente urbano si registrano concentrazioni sensibilmente più elevate rispetto a quelle ottenute per i rispettivi ambienti rurali, ma comunque modeste. Nelle tabelle seguenti si riportano alcune statistiche riassuntive rappresentative delle concentrazioni stimate.

Tabella 6.1 Riporta una media delle concentrazioni medie annuali calcolata tra tutti i recettori presenti sull'area di interesse e una media che comprende solo i recettori compresi in un quadrato di 2 Km per 2 Km incentrato sull'opera, contesto rurale

$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Bologna	Carpi	Faenza	Fiorano	Ozzano	Piacenza	Rimini	Torrile
Conc. Media (25 Km ²)	0,036	0,034	0,032	0,034	0,037	0,034	0,031	0,032
Conc. Media (4 Km ²)	0,079	0,075	0,072	0,075	0,075	0,079	0,070	0,074

Tabella 6.2 Riporta il valore massimo registrato lungo tutto il periodo di analisi e tra tutti i recettori analizzati, contesto rurale

$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Bologna	Carpi	Faenza	Fiorano	Ozzano	Piacenza	Rimini	Torrile
Conc. Max	1,31	1,16	1,07	1,16	1,62	1,10	1,32	1,08

Tabella 6.3 Rappresenta gli stessi valori della tabella 6.1 , ma per lo studio condotto in ambiente urbano

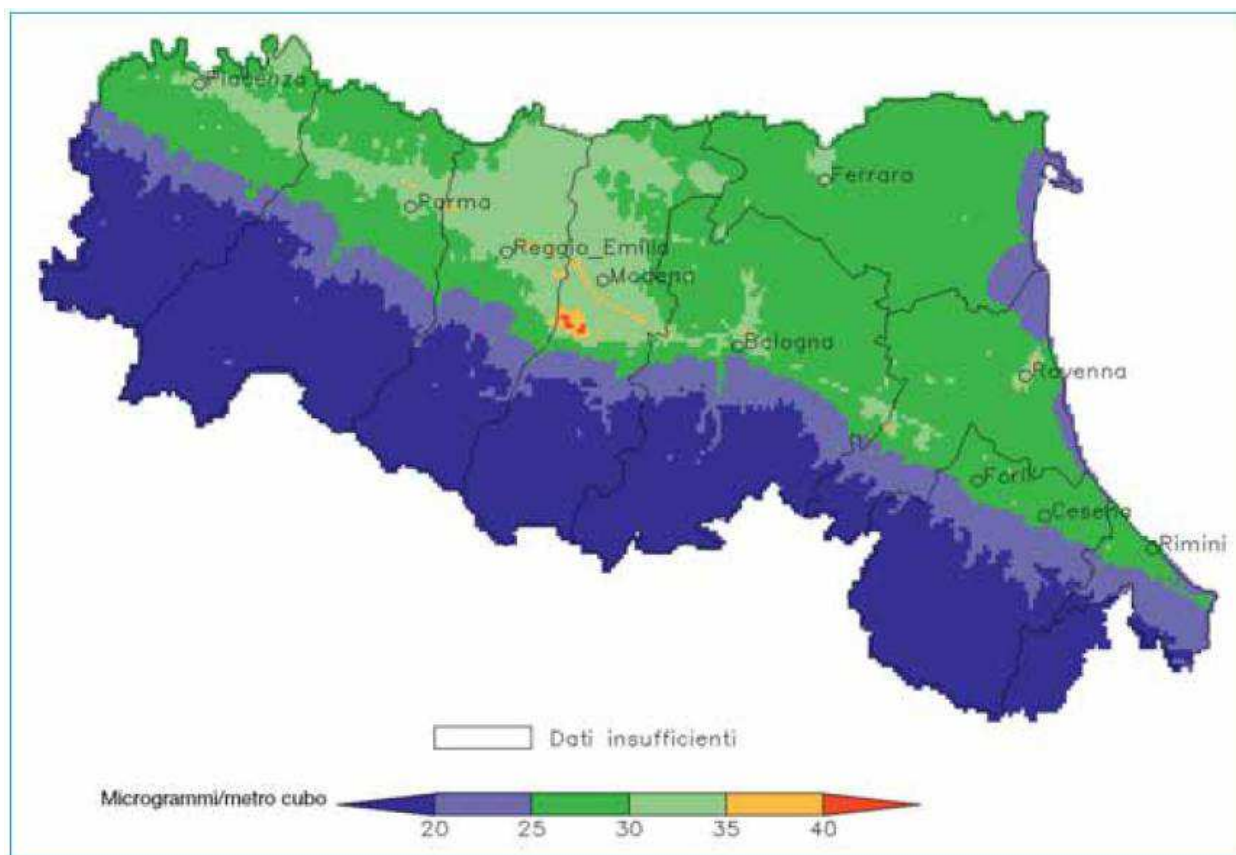
$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Bologna Urb.	Piacenza Urb.	Rimini Urb.
Conc. Media (25 Km²)	0,060	0,101	0,075
Conc. Media (4 Km²)	0,102	0,145	0,109

Tabella 6.4 Riporta il valore massimo registrato lungo tutto il periodo di analisi e tra tutti i recettori considerati per gli studi condotti in ambiente urbano

$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Bologna Urb.	Piacenza Urb.	Rimini Urb.
Conc. Max	1,41	1,19	1,39

Il particolato atmosferico costituisce un problema ambientale per tutta la Pianura padana, dove le condizioni atmosferiche non favoriscono la dispersione degli inquinanti, specialmente nel periodo invernale quando lo strato limite planetario è più basso. Le situazioni di maggior criticità si registrano all'interno delle città, principalmente a causa del traffico veicolare , mentre le aree rurali presentano concentrazioni un po' più contenute. Nella cartina a seguire si riportano le concentrazioni di fondo del particolato misurate nel 2009.

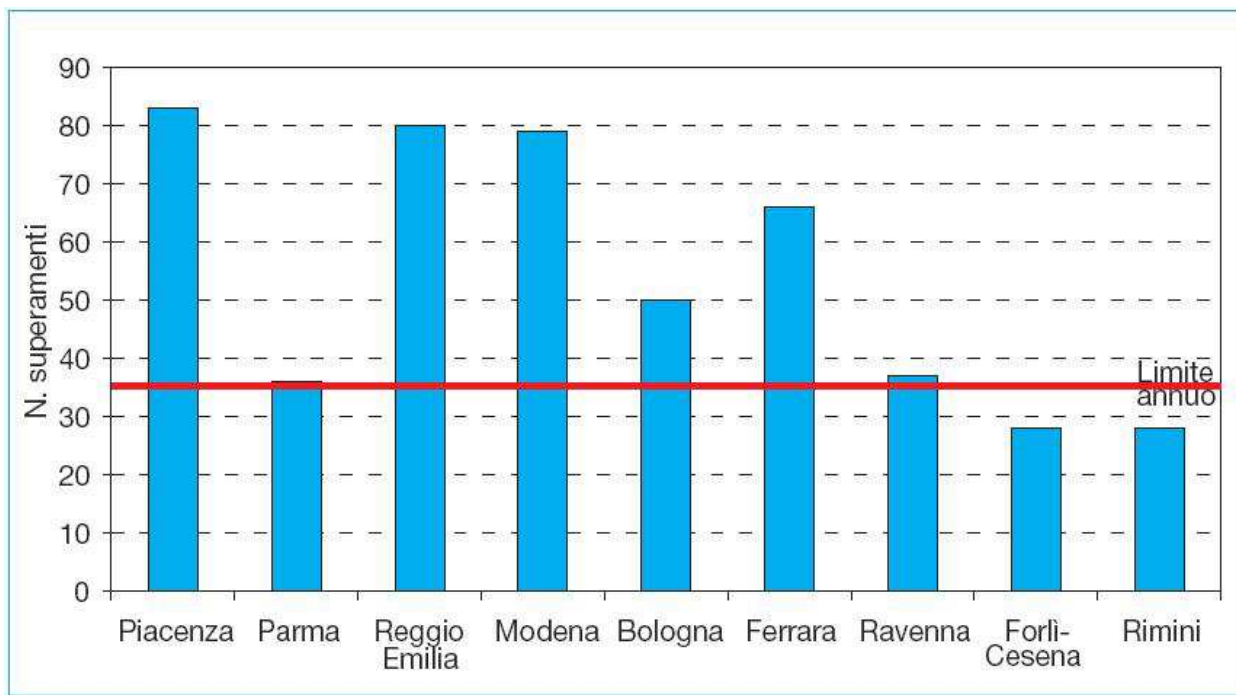
Figura 6.1 Mappa dell' Emilia Romagna raffigurante le concentrazioni medie di fondo del PM₁₀ stimate per l'anno 2009, fonte ARPA



Le concentrazioni medie annuali di fondo di PM₁₀ superano i 25 µg/m³ in tutta la pianura e in parte della fascia costiera. Si superano i 30 µg/m³ in tutti i capoluoghi, a eccezione di Rimini, Forlì e Cesena, e in gran parte della pianura occidentale. Dalla cartina è evidente che la concentrazione media annuale si mantiene sempre al di sotto del limite di legge di 40 µg/m³, l'unica eccezione si registra tra Modena e Reggio Emilia nel distretto delle Ceramiche situato sull'asse tra Sassuolo e Fiorano Modenese. La criticità della zona pone un problema sulla realizzazione di una centrale a Fiorano; i risultati ottenuti nello studio mostrano un impatto decisamente modesto, tuttavia il fatto che le concentrazioni in zona siano particolarmente critiche impone una particolare attenzione alla localizzazione sul territorio comunale per evitare di sovraccaricare aree critiche.

Le criticità maggiori in termini di polveri sono relative ai fenomeni acuti che determinano il superamento del valore limite giornaliero previsto per la protezione della salute umana (50 µg/m³). A seguire si presentano i superamenti del limite registrati nelle città emiliano romagnole nel 2009.

Grafico 6.1 Superamenti del limite di protezione della salute umana giornaliero nell'anno 2009 ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$)



Le aree più soggette ai superamenti sono quelle urbane caratterizzate da una concentrazione di fondo più elevata rispetto agli ambienti rurali, principalmente a causa del traffico veicolare. A Bologna, a Porta San Felice, a Marzo si sono già superati i 35 sfioramenti della concentrazione limite giornaliera concessi per il 2012 e ci sono diverse aree che hanno superato i 20 sfioramenti (Corriere di Bologna, 2012). Per questi motivi, anche se le concentrazioni stimate dal modello sono estremamente modeste, per localizzazioni degli impianti in aree urbane secondo la classificazione al paragrafo 5.4.1, sono consigliabili approfondimenti specifici della realtà locale.

6.2 EMISSIONI DI PM_{10} IN EMILIA ROMAGNA

Il particolato è un componente presente naturalmente nell'atmosfera in una concentrazione variabile tra 5 e $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, le concentrazioni in eccesso sono da attribuirsi all'attività antropica, cioè al particolato primario emesso direttamente in atmosfera dalle attività di combustione e a quello secondario che si genera a partire da reazioni chimiche tra alcuni precursori. Nella tabella seguente si riporta un inventario delle emissioni di particolato annuali sul territorio dell'Emilia Romagna.

Tabella 6.5 Emissioni di PM₁₀ per macrosettore in Emilia Romagna nell' anno 2007, fonte ARPA

	PM ₁₀	
	t/anno	%
M 1: Combustione - energia	72	0
M 2: Combustione - non industriale	4.175	28
M 3: Combustione - industria	2.154	14
M 4: Processi produttivi	1.789	12
M 5: Estraz. Distribuz. combustibili fossili		
M 6: Uso solventi		
M 7: Trasporti stradali	4.497	30
M 8: Altre sorgenti mobili	1.925	13
M 9: Trattamento e smaltimento rifiuti	7	0
M 10: Agricoltura	400	3
M 11: Altre sorgenti di emissione e assorbimento	54	0
	15.072	100

Le emissioni degli impianti considerati nel presente studio sono una frazione minima se equiparate al totale delle emissioni annue sul territorio emiliano romagnolo. Ogni centrale emette 34,7 t/a di PM₁₀ per un totale di 451 t/a per l'intera rete, una percentuale pari al 3% delle emissioni regionali. Questo giustifica le concentrazioni estremamente modeste stimate nell'intorno di ogni singola centrale. In merito si Per altro lo studio è condotto in sicurezza e , a fronte delle considerazioni fatte nel paragrafo 3.3, è possibile affermare con un elevato grado di confidenza che le emissioni reali degli impianti saranno sensibilmente inferiori a quelle utilizzate per la presente analisi diffusiva.

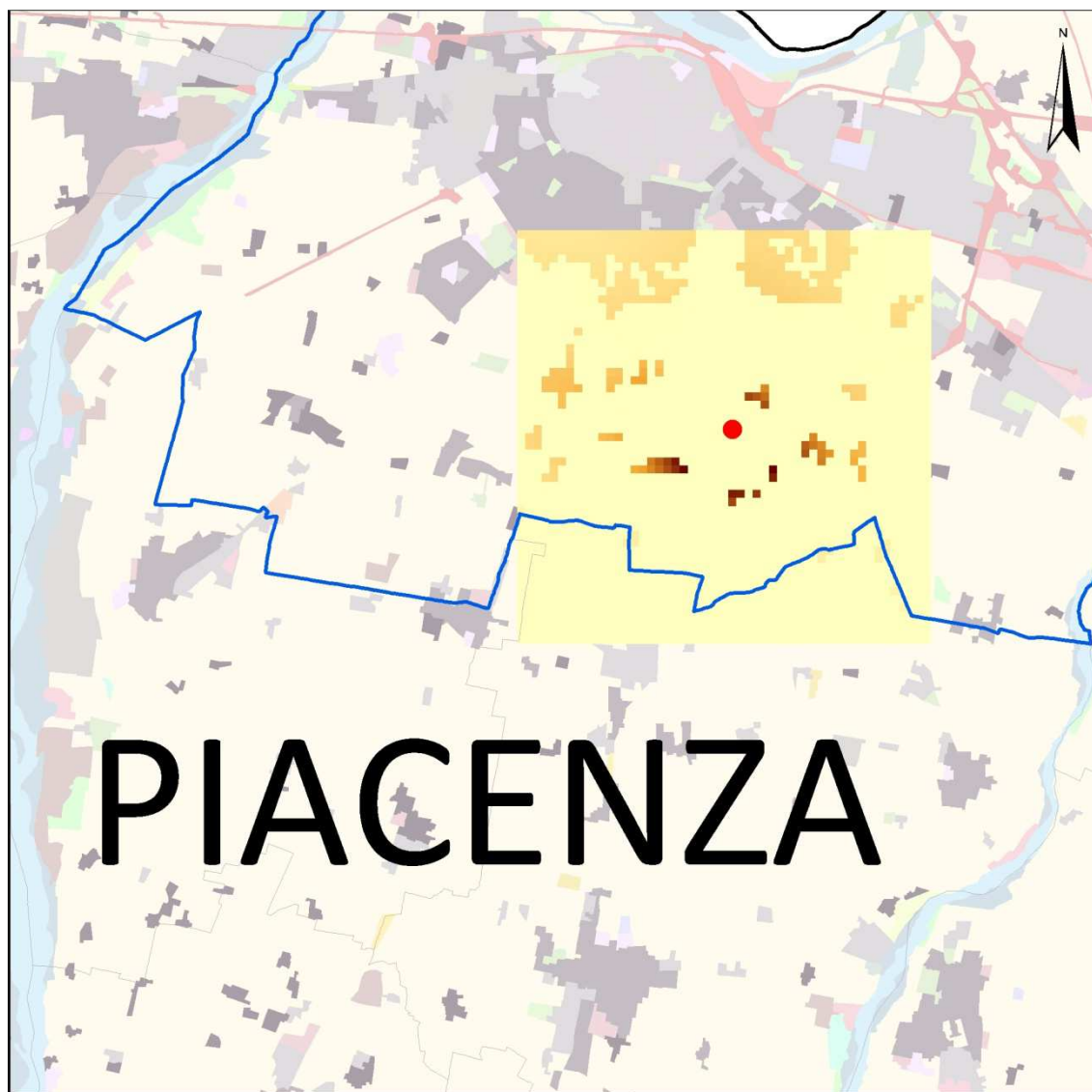
6.3 CORONE DI IMPATTO, STRUMENTO PER INDIVIDUARE LA LOCALIZZAZIONE OTTIMALE DEGLI IMPIANTI

Il risultato principale dello studio diffusivo è la realizzazione di corone di impatto a partire dalle concentrazioni medie di PM₁₀ stimate da AERMOD nelle varie località considerate. Questi risultati, i cui grafici sono riportati in Appendice all'elaborato, sono strumenti utili per individuare la localizzazione ottimale da un punto di vista ambientale nelle aree dei comuni esaminati. A seguire si presenta uno studio che si è servito delle corone di impatto realizzate nel presente elaborato al fine di individuare sul territorio dei tredici comuni di riferimento la localizzazione ottimale per gli impianti. (Gregorini M., 2012)

6.3.1 Individuazione delle localizzazioni ottimali

È stato effettuato uno studio sul territorio dei comuni esaminati con lo scopo di individuare la localizzazione degli impianti che consente di minimizzare l'impatto delle polveri sulla popolazione. Lo studio è stato condotto mediante GIS. Con una serie di considerazioni sono state individuate le aree dei comuni di interesse con una destinazione d'uso del suolo compatibili alla realizzazione di una centrale (aree industriali, agricole, dismesse etc.) e su queste i punti di localizzazione con un minor numero di abitanti nel raggio di 2,5 Km. Tra queste aree quelle caratterizzate da un basso numero di abitanti nell'intorno e da una distanza dai centri abitati non proibitiva per la realizzazione di una rete di teleriscaldamento sono state selezionate come idonee alla realizzazione dell'opera. A questo punto sono state utilizzate le corone di impatto calcolate nel lavoro sopra presentato al fine di individuare, per ogni comune, la localizzazione ottima tra quelle individuate come possibili. Inserendo le matrici del GIS è stato calcolato un indice di impatto per ognuna delle localizzazioni da controllare, moltiplicando punto per punto il numero di abitanti per la concentrazione di polveri stimata. Con questi indici è possibile fare considerazioni tra le localizzazioni identificate come fattibili e confrontarle tra di loro individuando quella ottimale, che consente di minimizzare l'impatto sulla popolazione residente. A seguire è riportata a titolo esemplificativo la mappa di Piacenza con la localizzazione ottimale individuata .

Figura 6.2 Mappa di Piacenza con individuazione della localizzazione ottima (Gregorini M., 2012). Il quadrato giallo rappresenta la matrice d'impatto calcolata nel presente elaborato



1:90000

Inquinamento x Popolazione

$g \ 10^{-6} / m^3 \cdot ab$

Value

High : 0,858977

Low : 0

Il quadrato in giallo rappresenta la matrice della corona di impatto individuata nel presente lavoro di tesi, le parti più scure sono quelle dove l'indice di impatto ottenuto dalla moltiplicazione della concentrazione per la popolazione residente è più elevato. (Gregorini M., 2012)

6.4 LIMITI E ULTERIORI SVILUPPI

I limiti principali del lavoro sono da imputarsi all'assunzione dei profili verticali atmosferici misurati nella stazione di San Pietro Capo Fiume per l'intera regione. La stazione è rappresentativa della Pianura Padana, tuttavia i profili verticali variano nello spazio e la disponibilità di una rete di radiosondaggi più fitta consentirebbe uno studio più preciso e adeguato, anche se le caratteristiche di stabilità atmosferiche sono le stesse in tutta l'area esaminata. Per alcune località come Massa Lombarda, Fiorenzuola, Cattolica, San Giorgio di Piano e Castel Bolognese la mancanza di dati storici messi a disposizione dall'Arpa ha obbligato a ritenere validi i risultati ottenuti per i comuni limitrofi. La vicinanza rende accettabile la soluzione, ma una miglior disponibilità di dati in sito consentirebbe un approfondimento. Inoltre lo studio avviene sul periodo di un anno solare; potrebbero esserci leggeri scostamenti considerando i dati di altri anni e studi condotti su periodi maggiori potrebbero portare a risultati ancor più soddisfacenti. Si era ritenuta interessante una valutazione ancora più dettagliata dei valori di punta, in funzione dei 35 superamenti al limite giornaliero di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ consentiti dalla legge, ma i valori estremamente contenuti individuati per i picchi massimi hanno reso inutili ulteriori approfondimenti. In riferimento a studi futuri, potrebbe essere interessante approfondire ulteriormente l'impatto delle centrali valutando, con analisi diffusive, anche tutti gli altri inquinanti, oltre al particolato, emessi dagli impianti. Si tratta di sostanze emesse in concentrazioni inferiori rispetto alle comuni centrali a combustibili fossili, presentate in Tabella 1.1 .

BIBLIOGRAFIA

- Antonaroli S., Coppa P., Cordiner S., Moretti A., Orefice G., Prezioso M., Raia P., Rota R., Santoni G., Stelitano R., Canini A., Rosatelli A., Romano A.M., Stucchi S., “*Studio di fattibilità: Impianto di generazione di energia a biomassa legnosa per l’università degli studi di Roma Tor Vergata*”, 2005
- Briggs, G. A. “*Plume dispersion in the convective boundary layer. Part II: Analysis of CONDORS field experiment data.*” J.Appl.Meteor., 32, 1388-1425, 1993
- Cimorelli A.J., Perry S.G., Venkatram A., Weil J.C., Paine R.J., Wilson R.B., Lee R.F., Peters W.D., Brode R.W., Paumier O.J.”*AERMOD: description of model formulation*”, U.S.EPA, 2004
- De Munari E., Cassoni F., Mazza D., Tugnoli S., Rumberti V., Deserti M., Bonafè G., Botarelli L., Renati L., Pratizzoli W.; “*ARPA Emilia Romagna – Annuario regionale dei dati ambientali 2010*”, www.arpa.emr.it, 2010
- Deserti M., Stortini M., Bonafè G., Minguzzi E., Frontero P., De Munari E., Mazza D., “*Inquinamento da polveri in Emilia Romagna. Analisi ai fini previsionali e comparazione con la situazione meteorologica a larga scala.*”Quaderno tecnico ARPA-SMR n° 10/2002, 2002
- Dina A. “*Isole di calore urbane: contributi antropogenici e valutazione annuale.*” Tesi di Laurea Magistrale, Facoltà di Ingegneria, Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Gestionale – Logistica e Produzione, Università degli studi di Padova, 2011
- Forese G., Guariso G., “*A GIS-based approach to evaluate biomass potential from energy crops at regional scale*”, Environmental Modelling & Software 25, 702-711, 2010
- Gabbrielli R, Di Marco Paolo, “*Valutazione tecnica sul progetto di una centrale termoelettrica cogenerativa a cippato di biomassa da installare presso il territorio comunale di Bagni di Lucca(Lu)*”, Dipartimento di Energetica L. Poggi, Facoltà di Ingegneria, Università di Pisa, 2010
- Gambarotta A., Vaja I., “*La cogenerazione.*”, redatto nell’ambito della campagna di informazione, comunicazione ed educazione a sostegno delle fonti rinnovabili, del risparmio e dell’uso efficiente dell’ energia, www.renael.net, 2005
- Giugliano M., Caserini S., Livio S. “*Le emissioni atmosferiche dalle attività di combustione di biomasse.*” Politecnico di Milano DIAR Sezione ambientale, 2006
- Gregorini M., “*Biomass power plants localization in Emilia Romagna region*” Facoltà di Ingegneria, Corso di laurea triennale in Ingegneria per l’Ambiente e per il Territorio, Politecnico di Milano, 2012

Grosso M., Caserini S., Livio S., Rigamonti L., “*Valutazione comparativa con diverse tecniche LCA di diverse filiere di utilizzo energetico di biomasse legnose*”, Politecnico di Milano DIIAR Sezione Ambientale, 2006

Jonsson A., Hillring B., “*Planning for increasing bioenergy use-Evaluating the impact on local air quality*”, Biomass & Bioenergy 30, 543-554, 2006

“*Le grandezze meteorologiche rilevanti ai fini della diffusione*”, www.smr.arpa.emr.it

Lora C., De Franceschi M., Sitta M., Zardi D., “*Determinazione dell’effetto Isola di calore urbana in una città alpina mediante utilizzo di reti di sensori a basso costo*”, Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, Università degli studi di Trento, 2006

Nasti L., “*Studio della struttura e dell’evoluzione dello strato limite planetario su Napoli e Pontecagnano con la tecnica lidar.*” Università degli studi di Napoli Federico II, Facoltà di fisica, Corso di laurea in fisica, www.corista.unina.it , 2005

“*Particolato atmosferico*”, www.nonsoloaria.com

“*PM₁₀, bonus 2012 già esaurito A porta San Felice 35 sforamenti*”, Corriere di Bologna, www.corrieredibologna.corriere.it, 2012

Seibert, Beyrich, Gryning, Joffre, Rasmussen, Tercier, “*Mixing height determination for dispersion modelling.*” Included in COST Action 710 - Final report, European Commission, 1988

Snyder W. H., Thompson R.S., Eskridge R.E., Lawson R.E., Castro I.P., Lee J.T., Hunt J.C.R., and Ogawa Y., “*The structure of the strongly stratified flow over hills: Dividing streamline concept.*” J.Fluid Mech., 152, 249-288, 1985

Stull, R.B., “*An introduction to boundary layer meteorology.*” Kluwer Academic Publishers, 1988

“*Teleriscaldamento a biomassa*”, www.fire-italia.it

Toppetti A.M., “*Acquisizione, analisi e applicazione del codice AERMOD*”, Rapporto - Ricerca di sistema CESI, B.U.AMB – Linea studi ambientali, 2003

U.S. EPA, “*Meteorological Monitoring Guidance for Regulatory Modeling Applications*”, www.epa.gov , 2000

U.S. EPA “*User’s guide for the AMS/EPA regulatory model – AERMOD*”, www.epa.gov , 2004a

U.S. EPA, “*User’s guide for the AERMOD terrain preprocessor (AEMRAP)*” www.epa.gov , 2004b

U.S. EPA, “*User’s guide for the AERMOD meteorological preprocessor (AERMET)*” , www.epa.gov , 2004c

U.S. EPA, "*Revision to the Guideline on Air Quality Models: Adoption of a Preferred General Purpose (Flat and Complex Terrain) Dispersion Model and Other Revisions*", 8.3.4 Treatment of Near-calms and calms, 2005

U.S. EPA, "AERSURFACE user's guide" www.epa.gov , 2008

U.S. EPA "*AERMOD implementation guide*", www.epa.gov , 2009

U.S. EPA, "*Addendum, User's guide for the AERMOD meteorological preprocessor (AERMET)*", www.epa.gov , 2011a

U.S. EPA, "*User's guide for the AERMOD terrain preprocessor (AEMRAP)*" www.epa.gov , 2011b

U.S. EPA "*Addendum, User's guide for the AMS/EPA regulatory model – AERMOD*" , www.epa.gov , 2012

Willis G. E., Deardorff J.W., "*A laboratory study of dispersion in the middle of the convectively mixed layer.*" *Atmos. Environ.*, 15, 109-117, 1981

APPENDICE

Si riportano in Appendice tutti i grafici ottenuti dallo studio condotto nelle diverse località, sia quelli relativi alle concentrazioni medie che quelli relativi alle concentrazioni di punta. Si ricorda che per alcune località in mancanza di dati sito specifici si sono ritenuti validi i risultati ottenuti dallo studio in ambiente rurale dei comuni limitrofi. Quindi per Fiorenzuola sono da ritenersi validi i risultati di Piacenza, per Cattolica quelli di Rimini, per San Giorgio di Piano quelli di Bologna e per Castel Bolognese e Massa Lombarda quelli di Faenza.

CONCENTRAZIONI MEDIE

Le concentrazioni medie annuali calcolate nella griglia di recettori analizzata sono servite per realizzare le corone di impatto attorno agli impianti. A seguire si riportano tutti i grafici realizzati sia quelli ottenuti dagli studi condotti in contesto rurale, che quelli ottenuti dallo studio in ambiente urbano per Piacenza, Bologna e Rimini. Le classi di concentrazioni rappresentate con colori diversi si devono interpretare come categorie di impatto sulla popolazione residente.

Grafico A.7 Concentrazioni medie stimate per Carpi, ambiente rurale

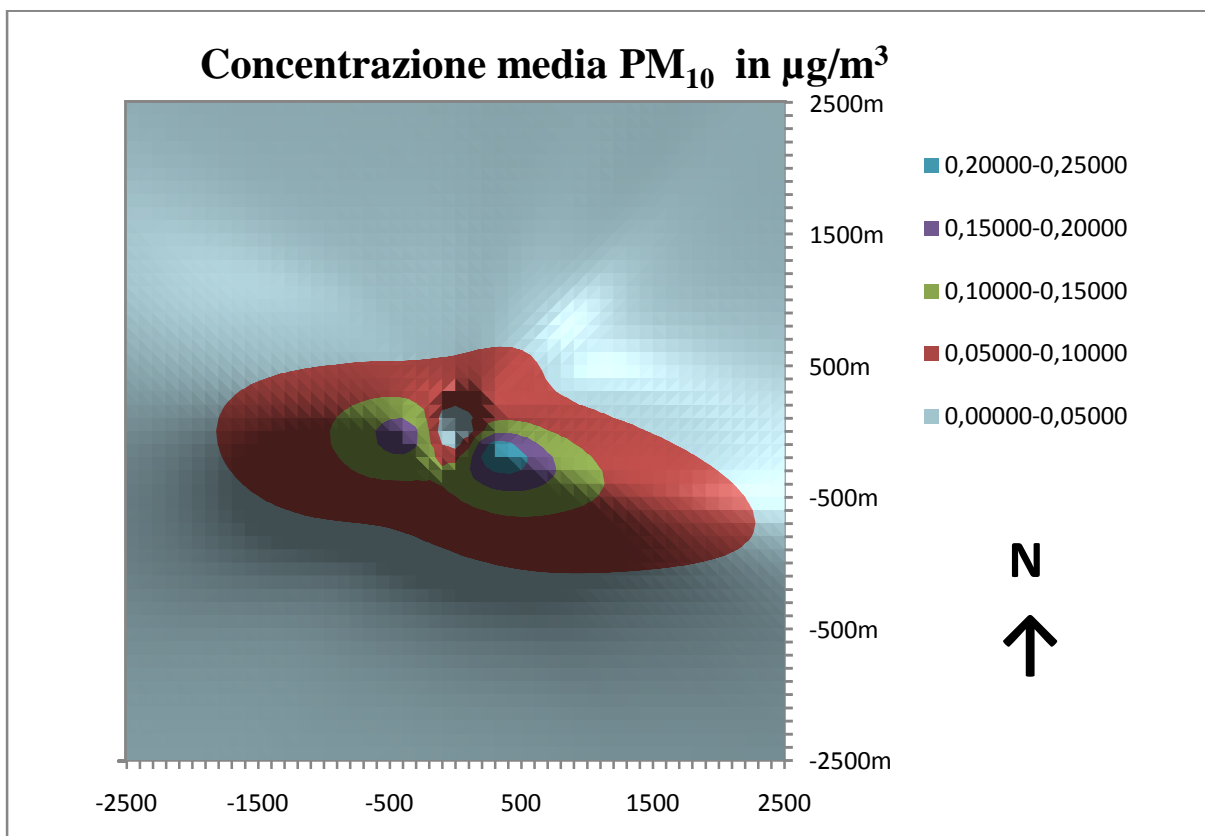


Grafico A.8 Concentrazioni medie stimate per Faenza, ambiente rurale

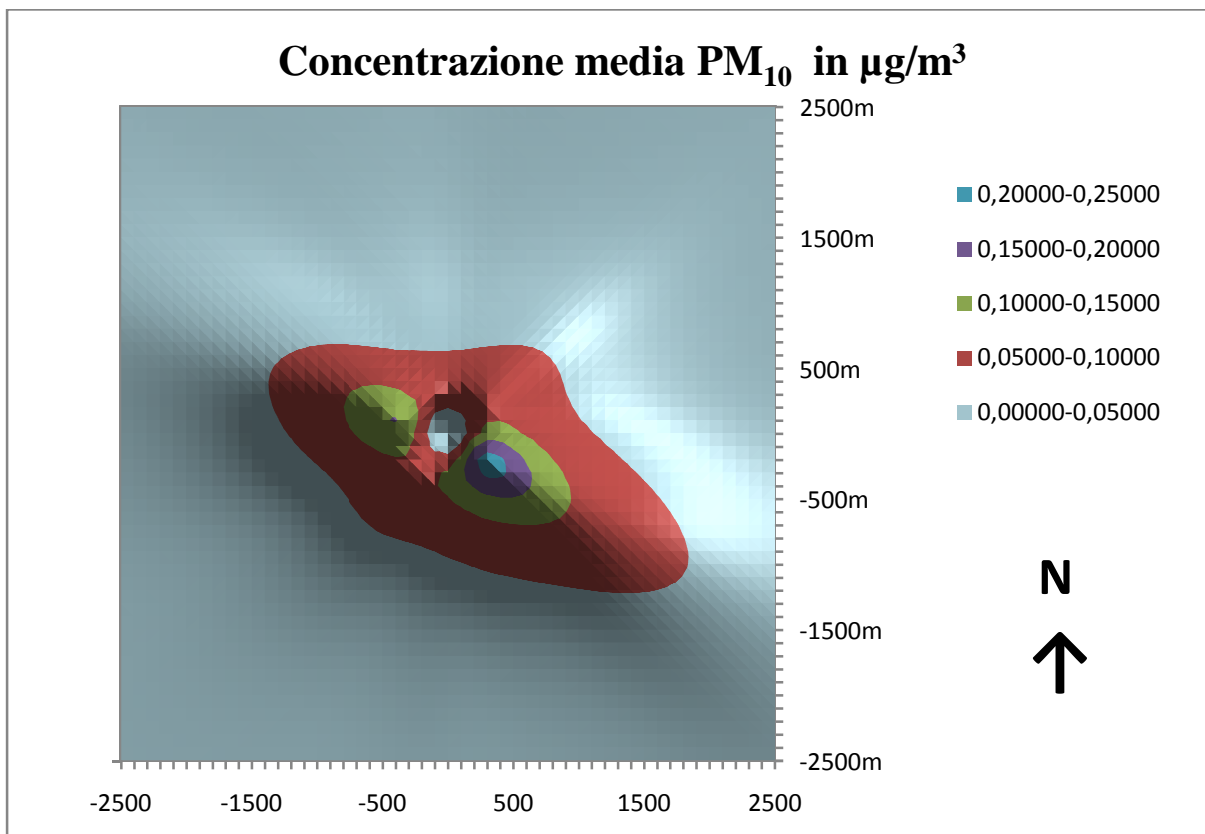


Grafico A.9 Concentrazioni medie stimate per Fiorano Modenese, ambiente rurale

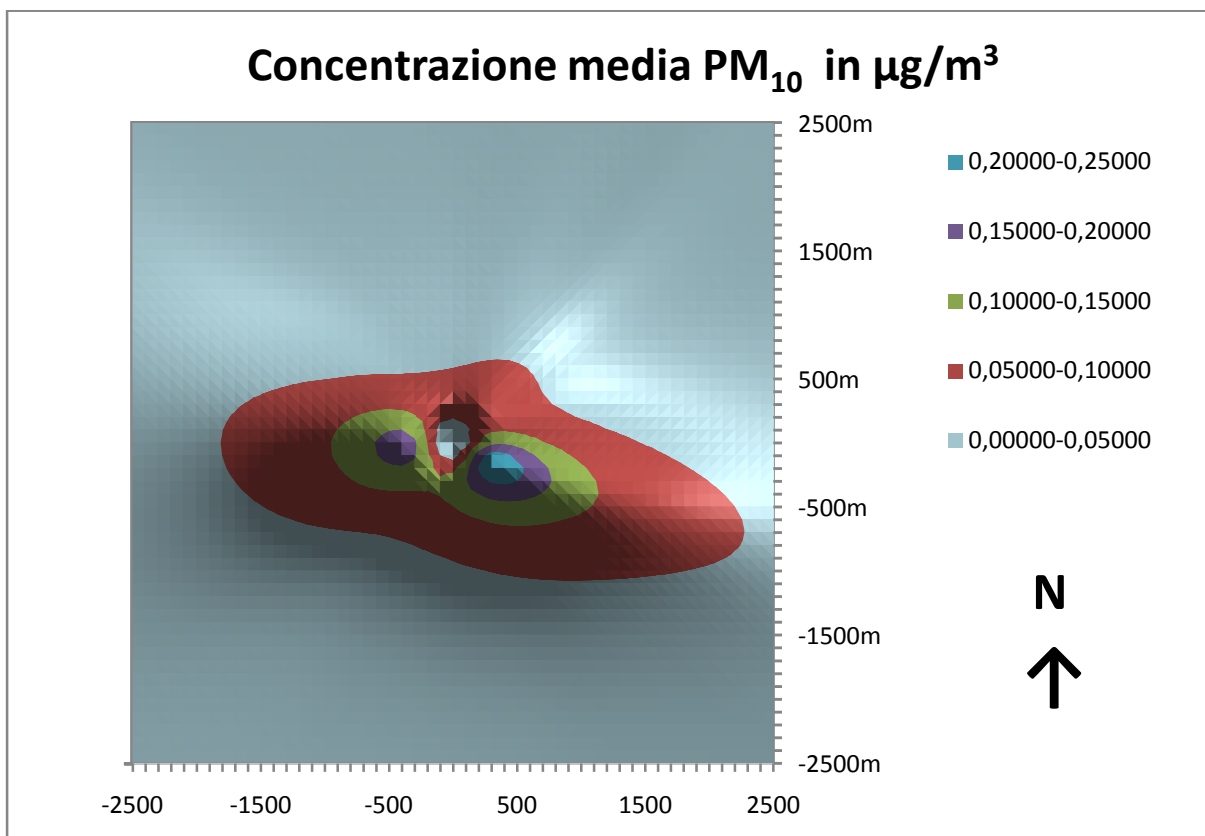


Grafico A.10 Concentrazioni medie stimate per Ozzano Dell'Emilia, ambiente rurale

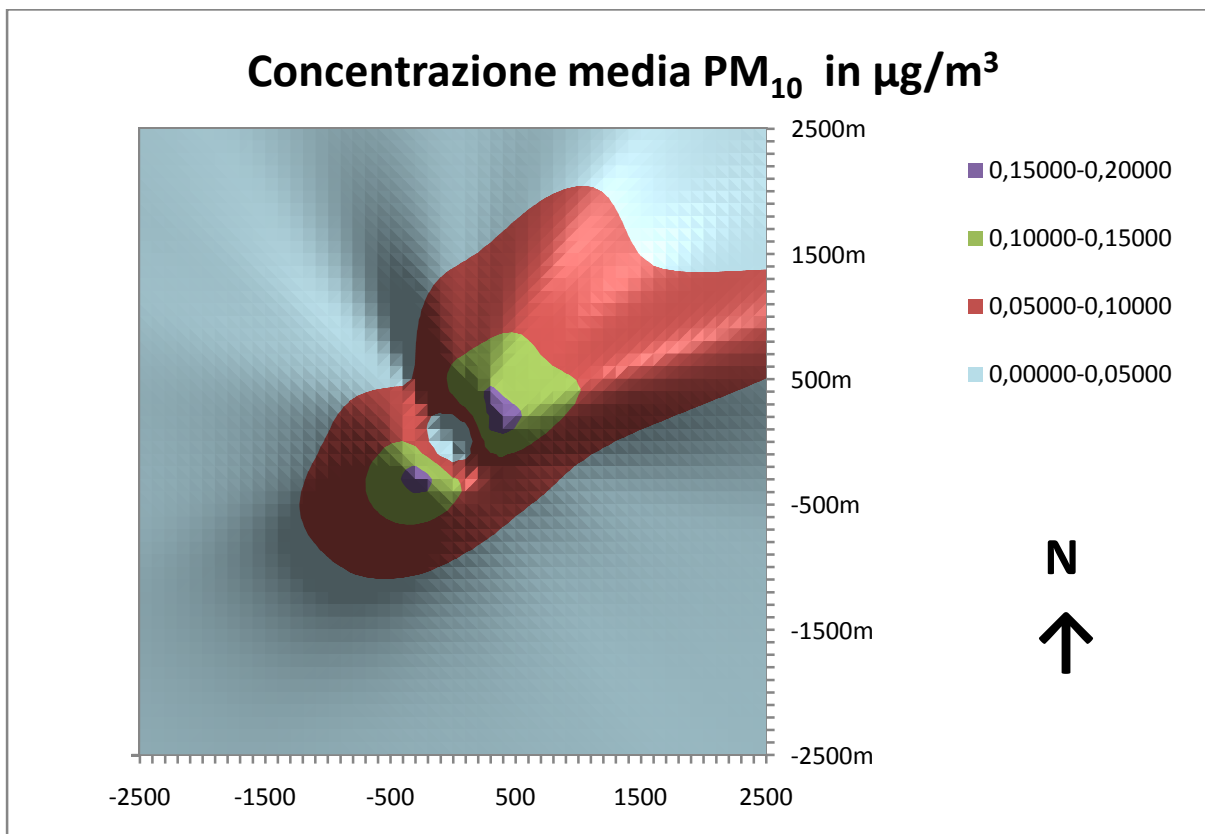


Grafico A.11 Concentrazioni medie stimate per Piacenza in ambiente rurale

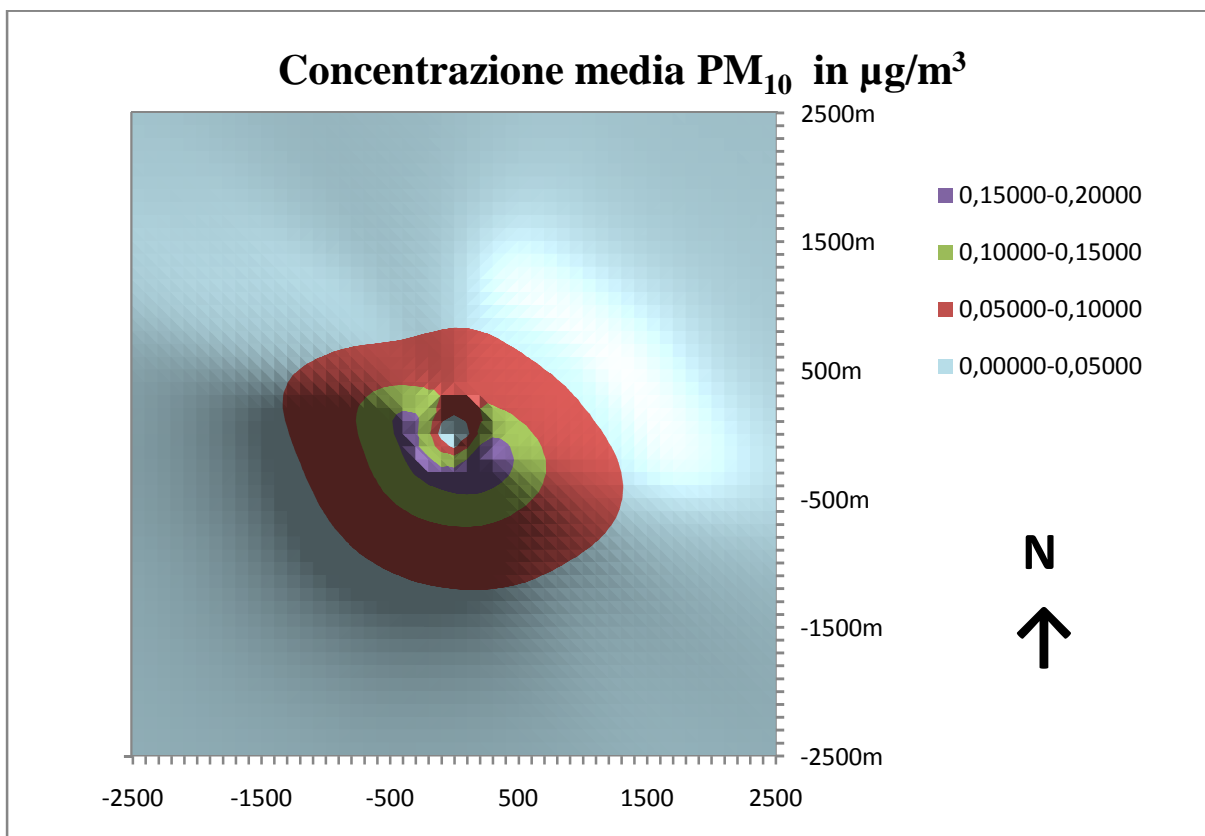


Grafico A.12 Concentrazioni medie stimate per Rimini in ambiente rurale

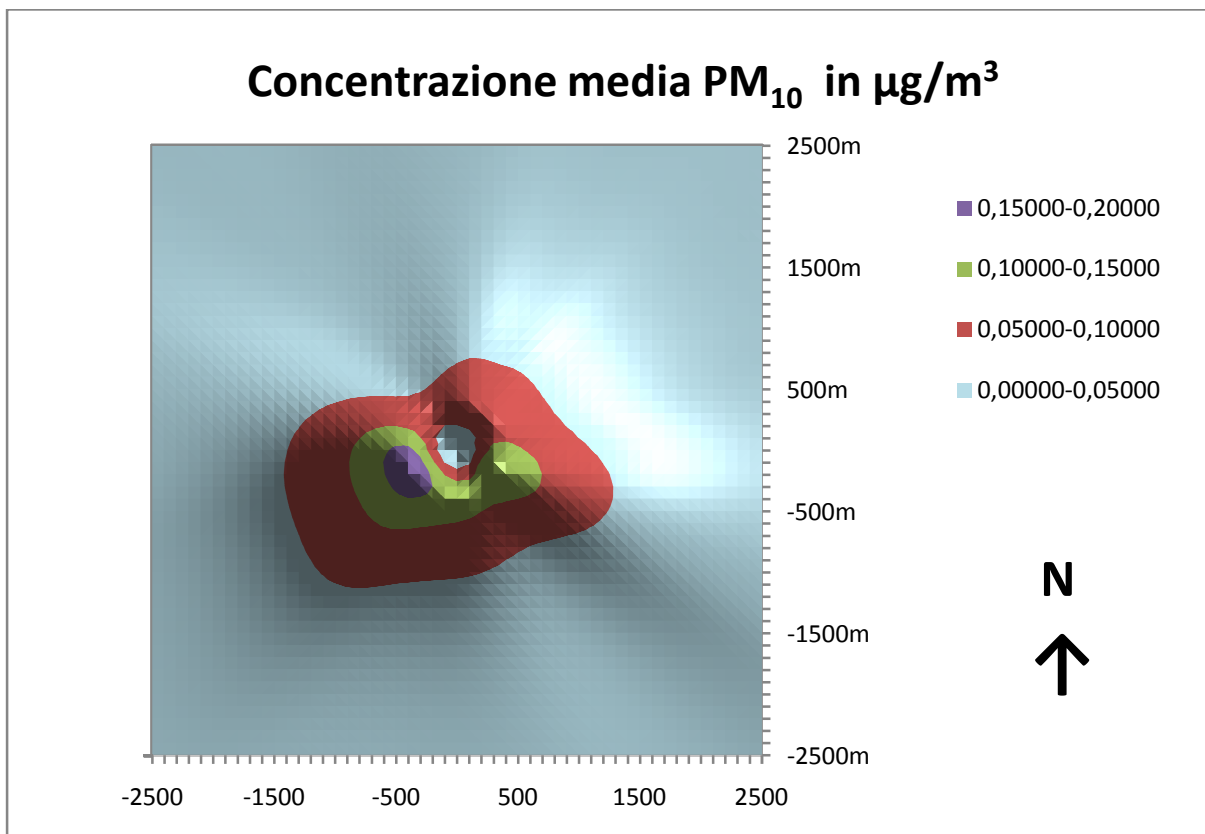


Grafico A.13 Concentrazioni medie stimate per Torrile, ambiente rurale

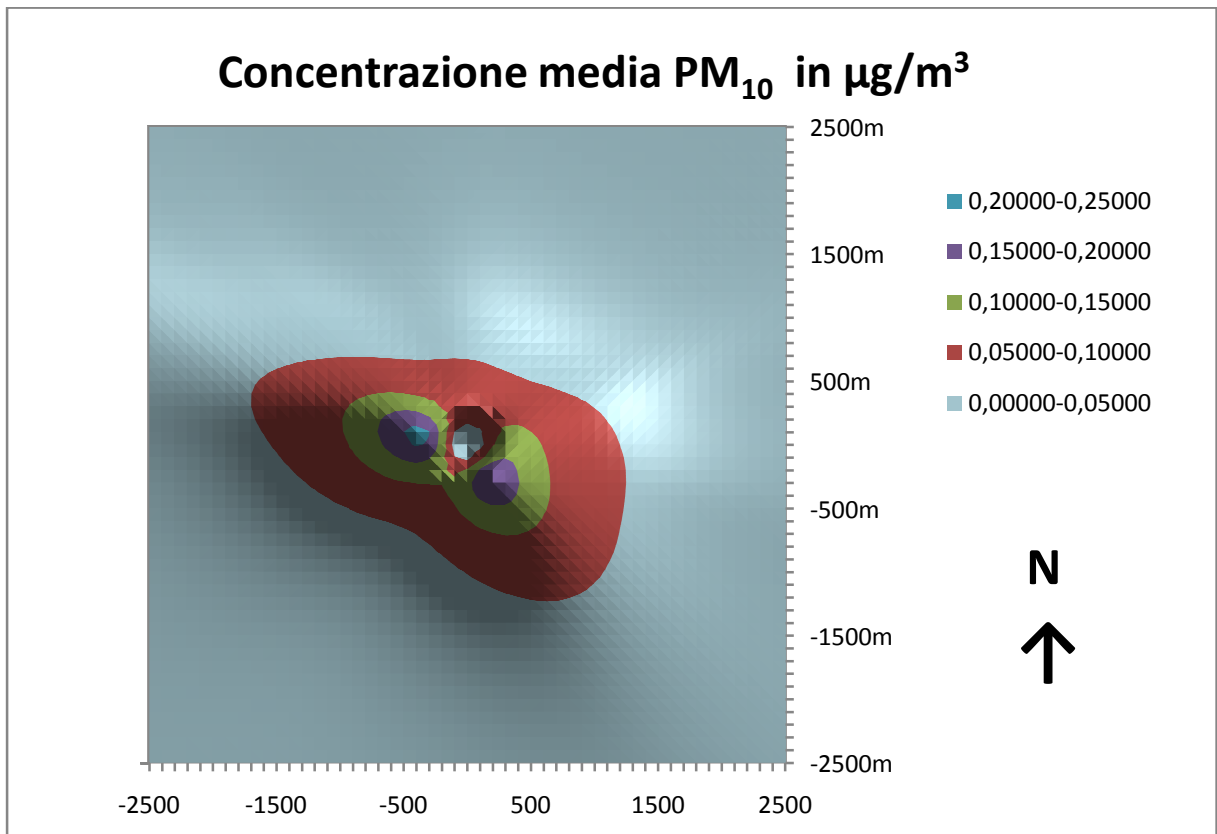


Grafico A.14 Concentrazioni medie stimate per Piacenza in contesto urbano

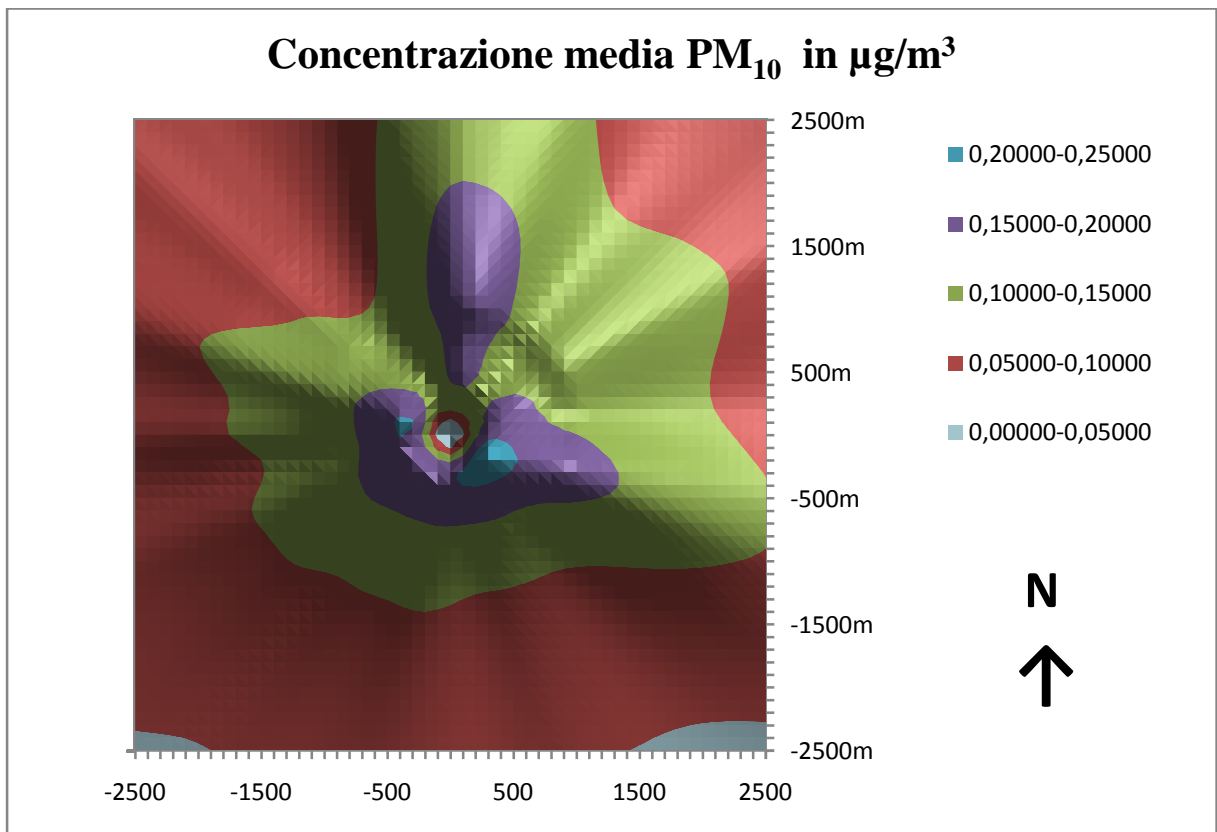
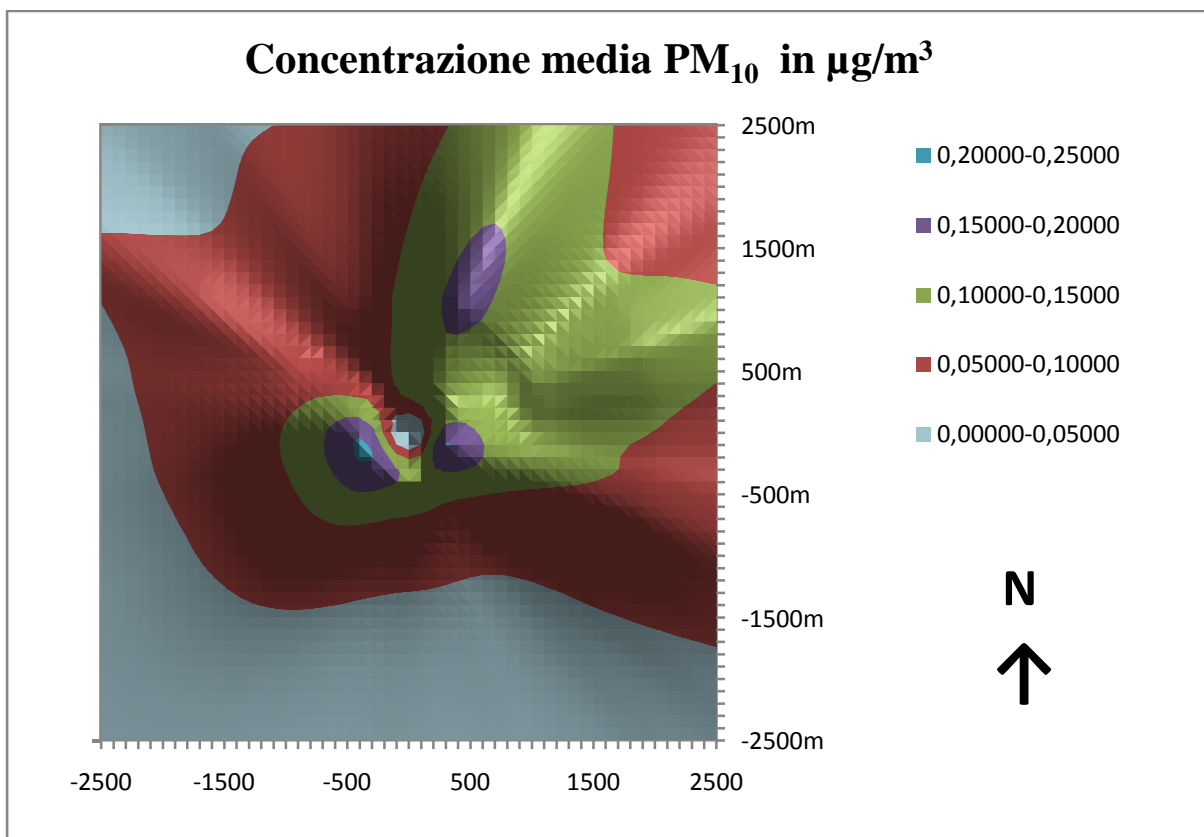


Grafico A.15 Concentrazioni medie stimate per Rimini in contesto urbano



CONCENTRAZIONI DI PICCO

Nell'elaborato si sono calcolate anche le concentrazioni di picco giornaliere stimate nei vari recettori. Questi risultati sono importanti per capire l'entità della concentrazione indotta dagli impianti nei giorni in cui la diffusione atmosferica è particolarmente ridotta. Si è deciso di riportare in forma grafica anche questi valori, anche se, a differenza dei grafici costruiti a partire dalle concentrazioni medie, non costituiscono delle corone di impatto. I valori massimi, infatti, sono dovuti a situazioni meteorologiche occasionali, a volte casuali o addirittura eccezionali, per cui può accadere che aree mediamente poco impattate abbiano picchi sensibilmente più elevati di altre più soggette a inquinamento. Tuttavia si ritiene che i grafici presentati abbiano importanza rilevante nel trasmettere in forma immediata la frequenza con cui le diverse categorie di concentrazioni massime, rappresentate con colori differenti, si presentano sul territorio. Risulta immediata l'identificazione dei picchi più tipici e di quelli che si registrano solo in pochi recettori.

Grafico A.16 Concentrazioni di picco stimate per Carpi, ambiente rurale

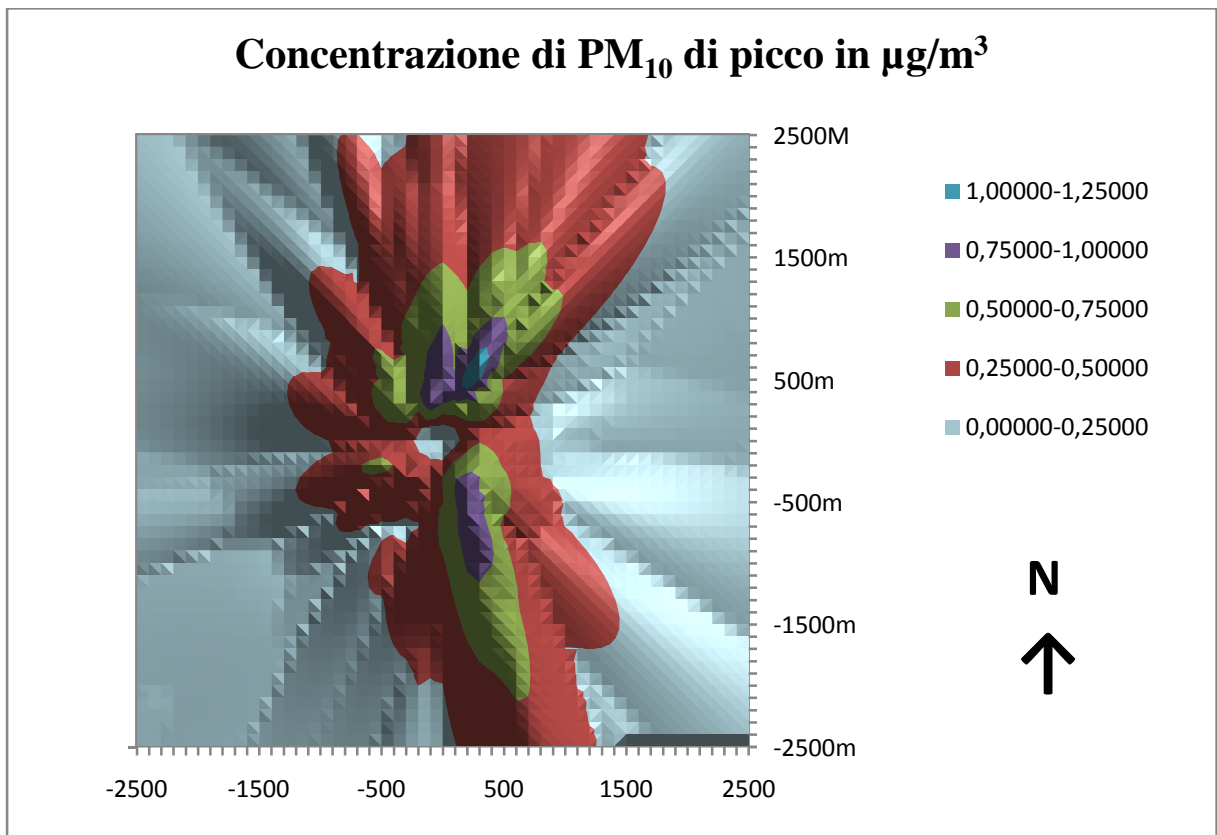


Grafico A.17 Concentrazione di picco stimate per Faenza, ambiente rurale

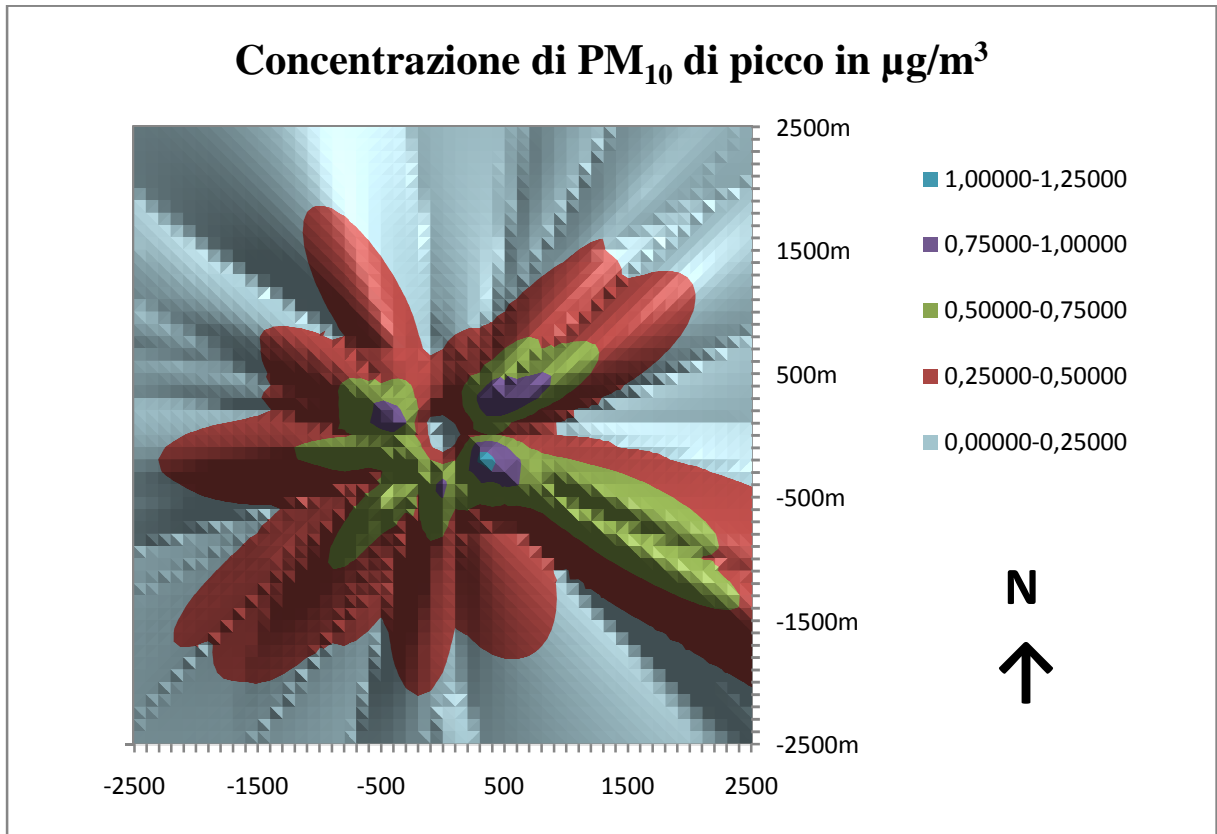


Grafico A.18 Concentrazioni di picco stimate per Fiorano Modenese, ambiente rurale

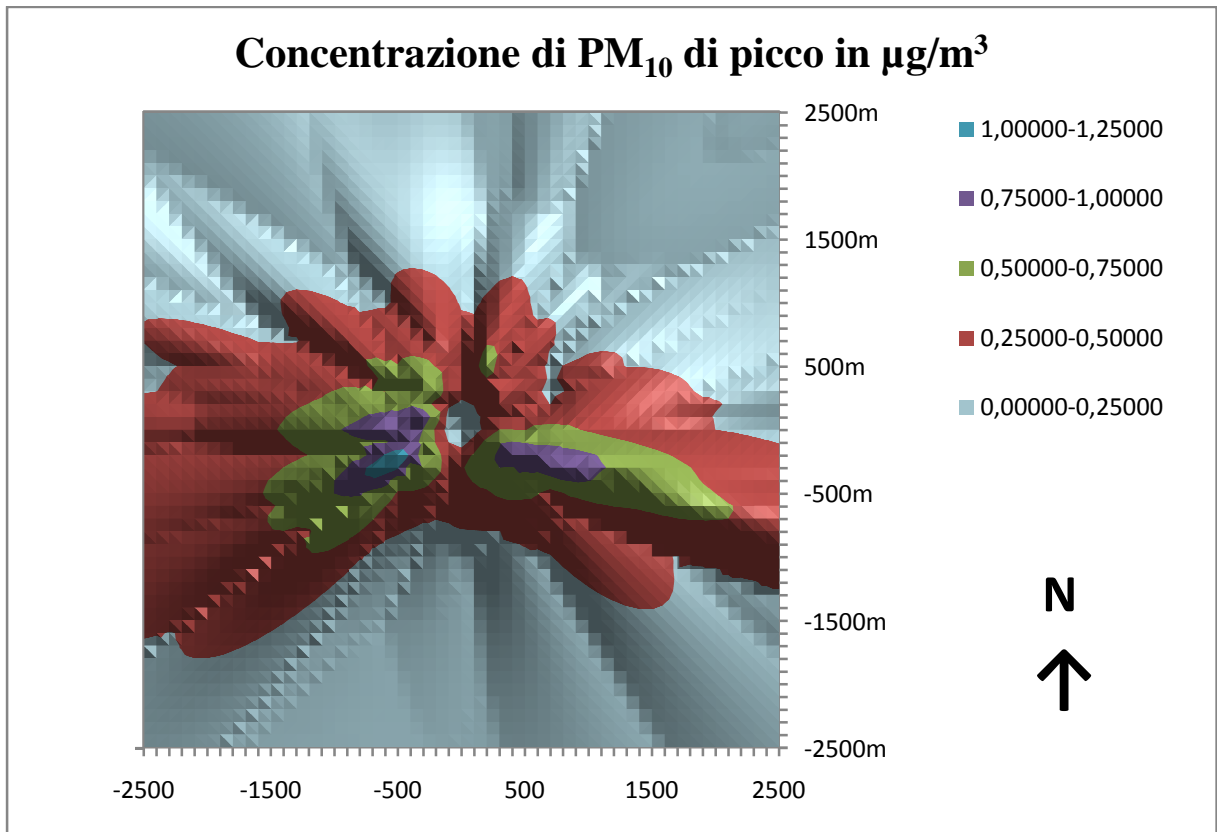


Grafico A.19 Concentrazioni di picco stimate per Ozzano dell'Emilia, ambiente rurale

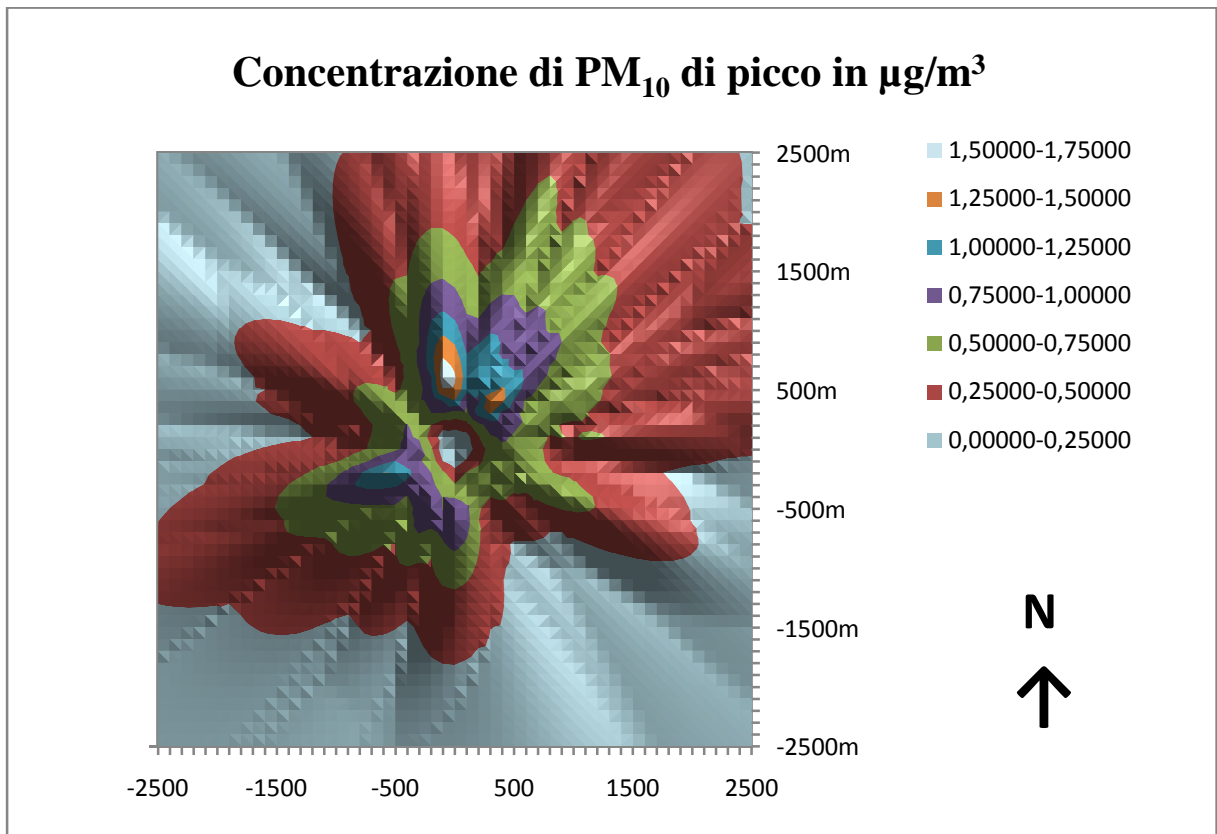


Grafico A.20 Concentrazioni di picco stimate per Piacenza in contesto rurale

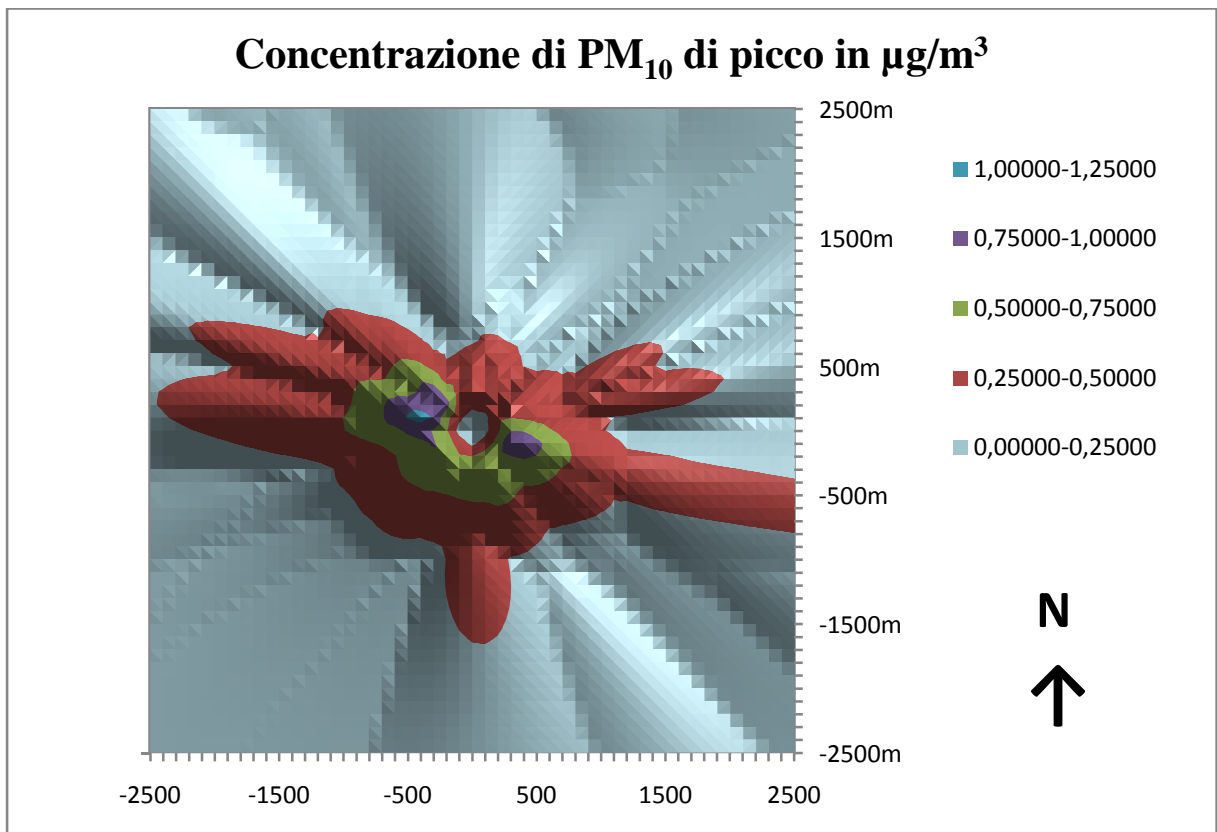


Grafico A.21 Concentrazione di picco stimate per Rimini in contesto rurale

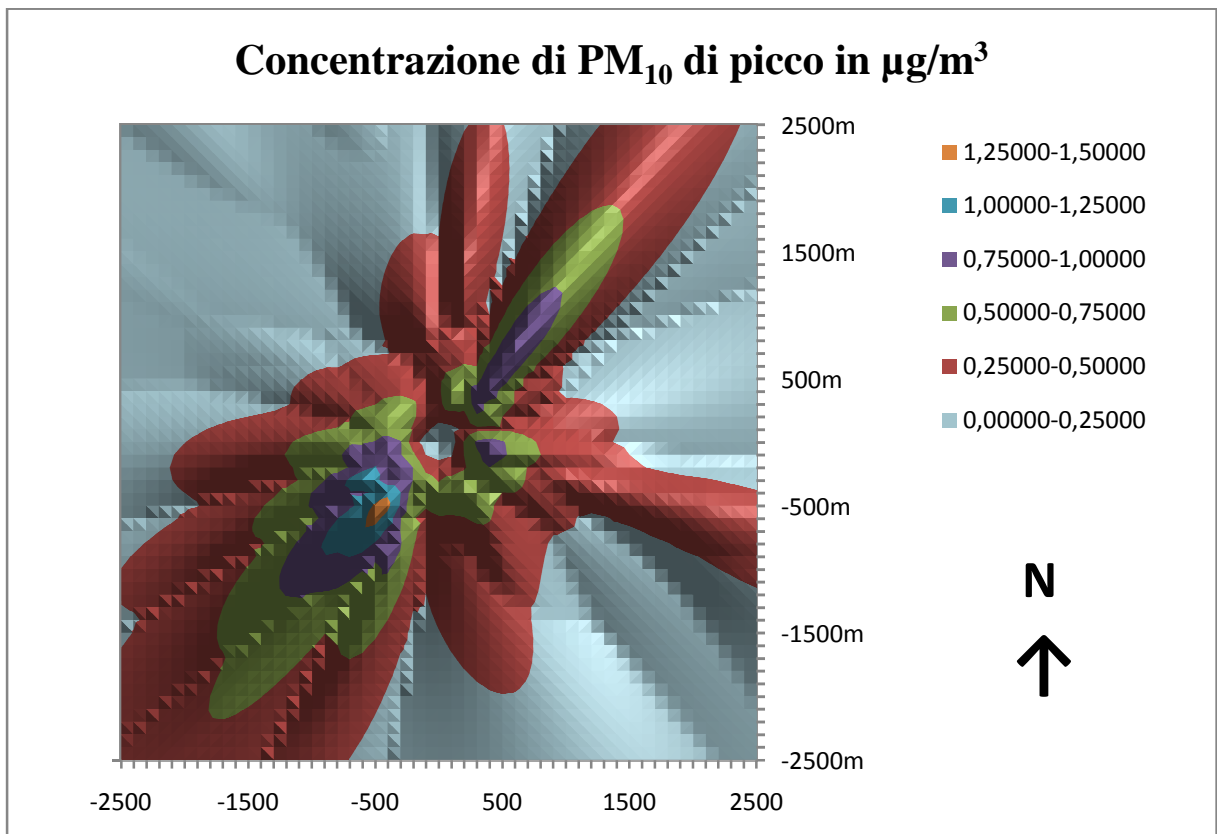


Grafico A.22 Concentrazione di picco stimate per Torrile, ambiente rurale

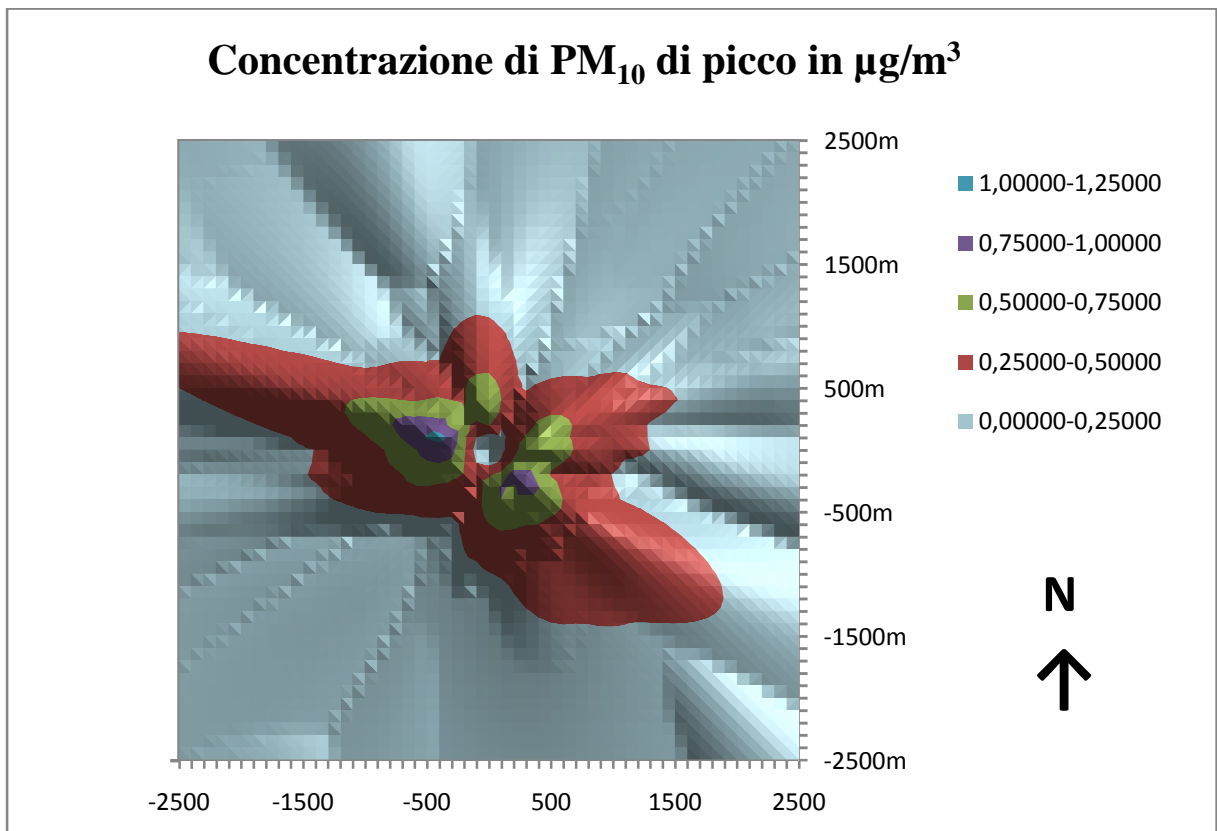


Grafico A.23 Concentrazioni di picco stimate per Bologna in contesto urbano

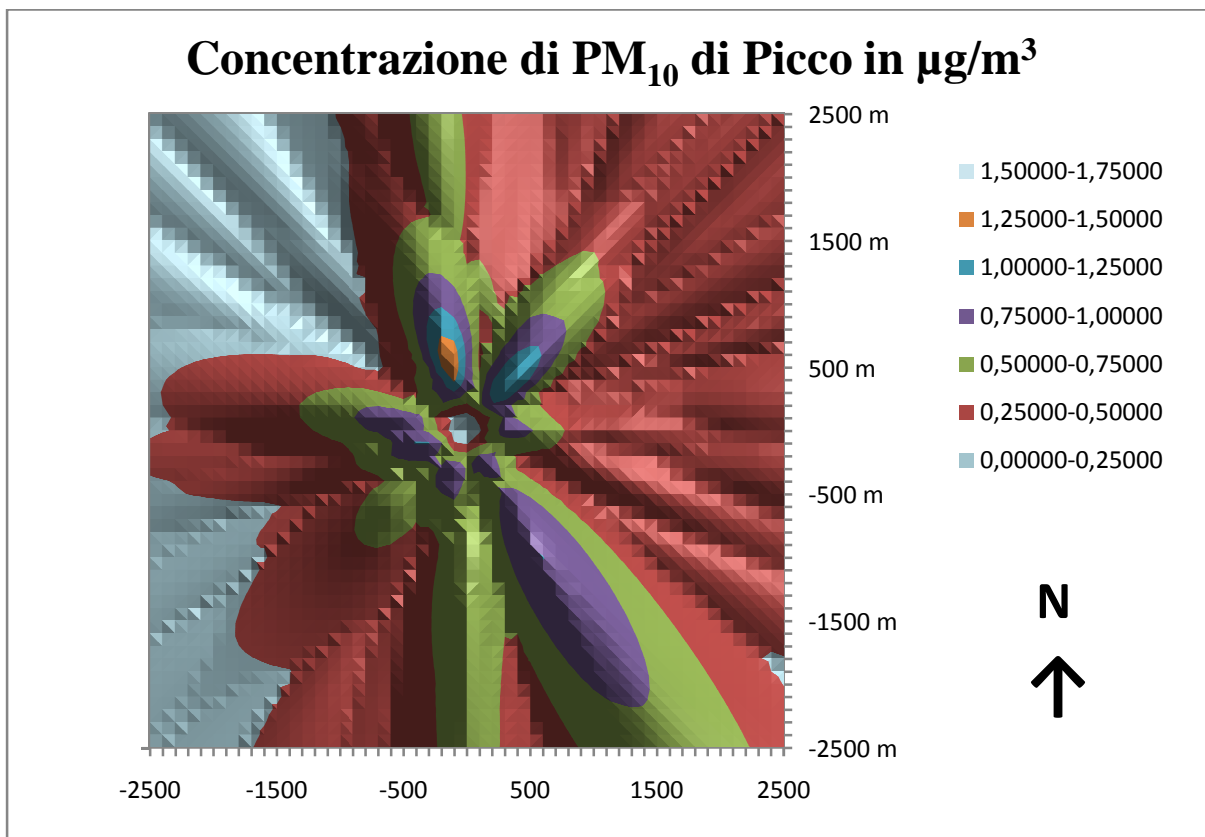


Grafico A.24 Concentrazioni di picco stimate per Piacenza in contesto urbano

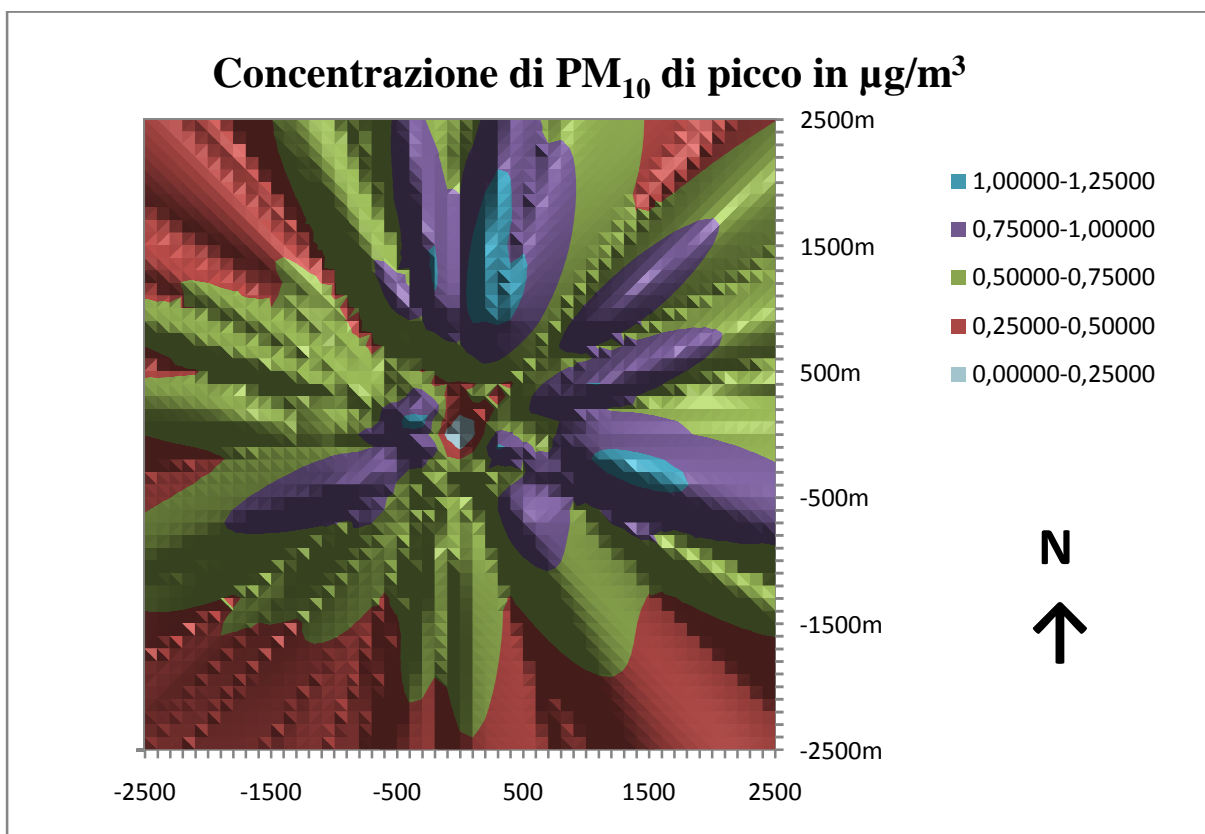


Grafico A.19 Concentrazione stimata per Rimini in contesto urbano

