

POLITICHE DI SVILUPPO TERRITORIALE E MODELLISTICA AMBIENTALE: CENSIMENTO, ANALISI E VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI POTENZIALI DI FONTI INQUINANTI SU SCALA COMUNALE

Marina Campolo^{1,*}, Filippo Valdevit², Paolo Pivato²

¹Università degli Studi di Udine, Dipartimento Politecnico di Ingegneria e Architettura, Udine.

²Consorzio per il Nucleo di Industrializzazione della Provincia di Pordenone, Maniago (PN).

Sommario

Questo studio descrive il progetto implementato dal Comune di Maniago (Pordenone) per censire, strutturare e analizzare i dati relativi alle fonti emissive di tipo industriale presenti nel territorio. I dati sono stati acquisiti esaminando documenti autorizzativi di pubblico accesso e rapporti di prova relativi alle misure di emissione. L'analisi dei dati ha permesso di sviluppare una base di dati contenente l'elenco dei punti emissivi (identificati come rilevanti in fase di autorizzazione) completi di portata autorizzata e concentrazione limite ammessa allo scarico. Queste quantità permettono di definire il flusso emissivo corrispondente allo "scenario di massima emissione autorizzata", ovvero la peggiore condizione di emissione compatibile con l'autorizzazione ambientale in essere. Analizzare l'impatto in queste condizioni è conservativo per la valutazione dello stato della qualità dell'aria, perché non possono verificarsi, a norma di legge, condizioni peggiori. Questo scenario è stato adottato come riferimento per valutare il "marginale ambientale" per la sostenibilità di nuovi insediamenti. Per questo, è stato sviluppato un modello a scala locale della dispersione e trasporto degli inquinanti, che permette di mettere in relazione emissioni autorizzate (attuali e future) e impatti. Il modello fornisce un'architettura che potrà essere utilizzata anche per mettere in relazione emissioni reali (valorizzate sulla base di misure effettuate in occasione dei monitoraggi periodici) e livello di qualità dell'aria: il modello potrà essere interrogato in modo sistematico per valutare l'opportunità/i rischi legati all'insediamento di nuove aziende; potrà anche servire per identificare le migliori azioni da implementare per gestire criticità ambientali come il superamento di soglie critiche di concentrazione per alcuni inquinanti.

Parole chiave: *inquinamento aria, dispersione, modello, censimento delle fonti, scala locale.*

LOCAL DEVELOPMENT POLICIES AND ENVIRONMENTAL MODELING: SURVEY, ANALYSIS AND ASSESSMENT OF THE POTENTIAL IMPACTS OF POLLUTING SOURCES AT A MUNICIPAL SCALE

Abstract

This study describes the project developed by the Municipality of Maniago (Pordenone) to survey, organize and analyze data on local industrial emissions. Data have been gathered by examining open-access authorization documents and emission test reports. These data have been used to build a database including the list of relevant emission sources (those regulated by law) and their consistency (maximum allowed flow rate and pollutant concentration emission limit). These quantities are used to define the scenario of "maximum authorized emission", which is the worst emission condition compatible with the environmental authorization in place. Analyzing the environmental impact under these conditions is conservative for air quality evaluation because, by law, worse conditions cannot occur. This scenario has been adopted as a reference to evaluate the "environmental gap left" for the sustainability of new settlements. A local scale, pollutant transport and dispersion model has been implemented to link (present and future) maximum emissions permitted by law with impacts produced. The same model also provides a framework to link actual emissions (valued based on periodic monitoring activities) and air quality levels; it can be routinely used to assess the opportunities/risks associated with settling up new companies and to identify the best strategies to manage environmental problems such as the exceedance of critical thresholds by specific pollutants.

Keyword: *air pollution, dispersion, modelling, pollutant sources, local scale.*

* Per contatti: Via delle Scienze 204, 33100 Udine. Tel. 0432.558822; fax 0432 558800. E-mail marina.campolo@uniud.it

Ricevuto il 14-4-2023. Modifiche sostanziali richieste il 19-5-2023. Accettazione il 6-7-2023.

1. Introduzione

L'inquinamento dell'aria è responsabile di centinaia di migliaia di morti premature in Europa (Lelieveld et al., 2019). Il mantenimento di un adeguato livello di qualità dell'aria è quindi essenziale per garantire salute e benessere della popolazione. Da più di 40 anni l'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) raccoglie dati e pubblica rapporti per identificare e promuovere l'implementazione di azioni utili a ridurre e gestire il rischio di esposizione ad agenti inquinanti (Air Quality Guidelines for Europe, 2000). Con la Direttiva 2008/50/CE, l'Europa ha identificato nelle emissioni generate dall'industria, dal riscaldamento domestico e dai trasporti i principali elementi di pressione ambientale; ha fissato obiettivi di qualità dell'aria per migliorare la salute dell'uomo e la qualità dell'ambiente, indicando la serie di azioni che è necessario implementare per raggiungerli.

In recepimento della Direttiva, l'Italia ha affidato alle Regioni le attività di valutazione e di pianificazione ambientale finalizzate a conoscere il contesto territoriale, identificare le misure più efficaci per il rispetto dei valori di qualità dell'aria ed assicurare l'attuazione. Nella Regione Friuli-Venezia Giulia sono state attribuite competenze e responsabilità ai diversi Enti Locali (Regione, Province e Comuni) distinguendo tra gestione della qualità dell'aria emergenziale (che deve produrre effetti immediati nel breve termine) e strutturale (che deve produrre effetti duraturi nel lungo termine). I Comuni sono chiamati a redigere i piani comunali di classificazione della qualità dell'aria e a individuare (per conto della Regione) le zone che necessitano di interventi mirati per il miglioramento/la tutela della qualità dell'aria; sono tenuti a gestire il livello di qualità dell'aria nel breve periodo, quando la concentrazione di uno o più inquinanti è prossima al superamento dei valori limite e delle soglie di allarme (p.es. con provvedimenti di limitazione del traffico o della temperatura degli impianti di riscaldamento); nel più lungo termine, agiscono identificando direttive sostenibili per lo sviluppo sociale, economico e ambientale del territorio (e.g. azioni per il rinnovo del parco veicolare circolante, protocolli per la progressiva riduzione delle emissioni delle attività produttive, azioni di efficientamento energetico finalizzate ad un miglioramento stabile della qualità dell'aria) e implementando politiche di sviluppo locale coordinate con gli indirizzi nazionali e regionali.

L'organizzazione "a cascata" delle competenze e delle responsabilità in tema di qualità dell'aria deriva dalla natura "multi-scala" del problema del trasporto, dispersione e trasformazione degli inquinanti in atmosfera. La circolazione atmosferica globale che

ha origine dal non uniforme irraggiamento solare e determina il trasporto di inquinanti su larga scala, interagendo con le caratteristiche locali del terreno innesca moti su scala ridotta, responsabili del trasporto degli inquinanti a scala locale; d'altra parte, emissioni alla scala locale possono manifestare i loro effetti su aree molto estese quando entrano a far parte della circolazione globale.

In questo contesto, il Comune di Maniago ha ritenuto opportuno censire e organizzare le informazioni relative alle fonti inquinanti che incidono sul suo territorio per sviluppare nuovi strumenti per l'indagine e il controllo ambientale.

La raccolta e l'organizzazione dei dati di emissione permette di classificare le sorgenti per tipologia e rilevanza: in caso di episodi di inquinamento, è possibile identificare potenziali responsabilità e implementare misure di mitigazione efficaci. I dati sono anche la base per lo sviluppo di strumenti modellistici per mettere in relazione emissioni inquinanti, ambiente locale e impatto generato; permettendo di impostare "analisi di scenario", consentono di valutare l'effetto di decisioni alternative sulla qualità dell'aria (p.es. verificare la sostenibilità ambientale di nuovi insediamenti).

La modellistica della dispersione degli inquinanti in atmosfera è considerata uno strumento affidabile (deterministico e fisicamente basato) per ottenere informazioni sulla qualità dell'aria.

I modelli di dispersione risolvono l'equazione di trasporto, dispersione e reazione per le specie inquinanti sulla base del campo di vento locale ed istantaneo (velocità di trasporto e turbolenza) e delle caratteristiche delle sorgenti emmissive, permettendo di ricostruire l'evoluzione del campo di concentrazione nel dominio di interesse. Utilizzati in modo diretto, cioè considerando l'emissione nota, i modelli permettono di valutare gli impatti generati (Abdul-Wahab et al., 2016, Curci et al., 2012); utilizzati in modo inverso, partendo dalla concentrazione rilevata, consentono invece di identificare la sorgente responsabile dell'impatto o di determinare la percentuale di contribuzione all'impatto in un punto in presenza di molte potenziali sorgenti (Ghannam and El-Fadel, 2013, Xu et al., 2019).

L'applicazione di modelli di dispersione rappresenta un approccio consolidato per la valutazione d'impatto per singole aziende (Krishna et al., 2005; Ghannam e El-Fadel, 2013; Chen et al., 2018); l'applicazione dello stesso approccio per un numero di punti emissivi consistente, tipico di realtà territoriali complesse, non è stato particolarmente esplorato.

Obiettivo di questo studio è sviluppare un modello di dispersione di inquinanti a scala locale sulla base

dei dati di emissione censiti per il Comune di Maniago, in modo da analizzare la relazione tra emissioni ed impatti generati all'interno del territorio del Comune. Un simile strumento, capace di quantificare in modo oggettivo l'impatto atteso dalle emissioni già presenti sul territorio, permette di definire il "margine ambientale" come la quota parte di emissioni ancora ammissibili prima che l'impatto sul territorio possa diventare critico per qualche inquinante. Secondo il principio di precauzione, il riferimento alla massima emissione autorizzata identifica lo scenario peggiore rispetto al quale misurare questo margine. Il modello di dispersione fornisce anche uno schema interpretativo valido per mettere in relazione emissioni reali (valorizzate sulla base di misure effettuate in occasione dei monitoraggi periodici) e livello di qualità dell'aria: interrogato sistematicamente, aiuterebbe a valutare opportunità e rischi legati all'insediamento di nuove realtà industriali e a selezionare sia strategie per gestire situazioni incidentali che politiche di gestione e pianificazione per lo sviluppo del territorio.

2. Materiali e metodi

Il progetto riguarda l'implementazione su scala locale di un modello di dispersione utile per valutare e prevedere l'evoluzione della qualità dell'aria nel territorio del comune di Maniago.

Il modello si basa su una suite di programmi (CalPuff, California Puff modelling system) sviluppati dalla Environmental Protection Agency americana (US-EPA) e ufficialmente approvati per la valutazione della dispersione degli inquinanti a scala locale (Scire et al., 2000a). I programmi principali sono CALMET (Scire et al., 2000b), un modello meteorologico tridimensionale diagnostico, CALPUFF, un modello Lagrangiano a puff di dispersione della qualità dell'aria, e CALPOST, un pacchetto di post-elaborazione.

2.1 Analisi di contesto

2.1.1 Descrizione del territorio

Il Comune di Maniago è un importante distretto industriale che comprende piccole e medie imprese artigiane e industriali che realizzano sia produzioni storiche, come quella dei coltelli (Consorzio Coltellinai), che aziende specializzate nella componentistica e nelle lavorazioni meccaniche (distretto della Componentistica e Termoelettromeccanica, COMET). L'area conta 11,708 abitanti (www.maniago.it).

In Figura 1 sono rappresentate la collocazione del Comune di Maniago rispetto ai comuni limitrofi (linee rosse) e l'estensione dell'area comunale (linea azzurra, 69,46 km² di superficie). L'area è collocata nella



Figura 1. Localizzazione del Comune di Maniago (contorno azzurro) rispetto ai comuni limitrofi (contorni rossi) e area industriale NIP (grigio chiaro): i contorni verde e giallo identificano le aree 10 km x 10 km e 20 km x 20 km su cui si focalizza lo studio. I simboli gialli identificano la posizione delle stazioni meteorologiche.

zona collinare tra il fiume Cellina e il torrente Colvera, nella parte occidentale del Friuli-Venezia Giulia ad una distanza di 25 km da Pordenone, 42 km da Udine e a circa 80 km dal Mar Adriatico.

Il territorio è caratterizzato da ambienti molto diversi che determinano una grande varietà di flora e fauna. Nella parte settentrionale del Comune, a quote altimetriche maggiori, si trovano boschi di latifoglie (querce, castagni, faggi, acacie e aceri) con un rigoglioso sottobosco; tra le zone delimitate dal Cellina e dal torrente Colvera si estende la porzione di territorio urbanizzata e ad uso industriale circondata da aree di interesse agricolo; nella zona meridionale si trova invece la Zona di Protezione Speciale (ZPS) dei Magredi, un'area pianeggiante caratterizzata da una forte permeabilità del suolo in cui le acque di Cellina e Meduna sprofondano nella falda acquifera.

All'interno del territorio comunale coesistono attività artigianali, attività produttive del settore siderurgico, metalmeccanico, della lavorazione della plastica, ma anche attività di allevamento e produzione agricola oltre che aziende di servizio per il territorio (p.es. trattamento, smaltimento e recupero energetico dai rifiuti).

La zona considerata per l'implementazione del modello è l'area di estensione 20 km x 20 km delimitata dal contorno giallo in Figura 1, per la quale è stata ricostruita la meteorologia. L'analisi della dispersione degli inquinanti si è invece focalizzata sull'area interna (10 km x 10 km) delimitata dal contorno verde.

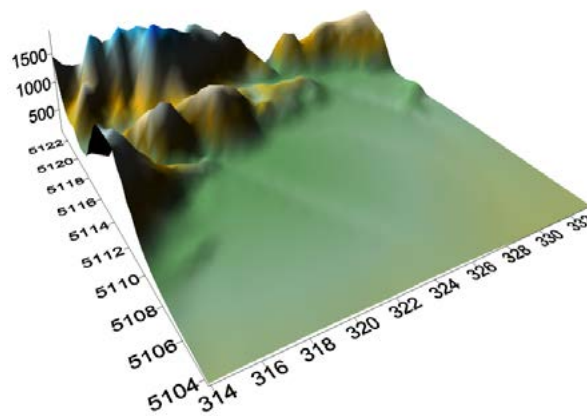
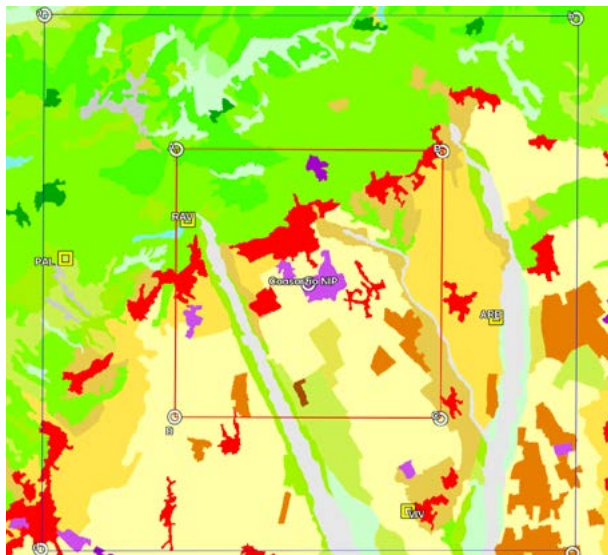


Figura 2. Uso del suolo estratto dal database Corine Land Cover (sinistra) e altimetria dell'area di interesse (destra): aree abitate (in rosso), aree industriali (in viola), aree arabili/coltivate (in giallo), aree con vegetazione (verde) e zone ghiaiose/sabbiose del letto del torrente Colvera (al centro), del fiume Meduna (a destra) e Cellina (a sinistra) (grigio/verde chiaro).

La consultazione di banche dati ad accesso libero ha permesso di acquisire e analizzare dati altimetrici e di uso del suolo per l'area di interesse. In Figura 2, i dati di uso del suolo permettono di evidenziare l'area del Consorzio NIP (Nucleo di Industrializzazione della provincia di Pordenone, zona centrale in viola, a sud del centro abitato di Maniago) dove sono insediate le principali realtà produttive, e la posizione di alcuni centri abitati (aree in rosso). L'altimetria del suolo evidenzia la presenza dei rilievi a Nord e colloca le aree urbane, industriale e agricola nella pedemontana e nella zona di pianura.

2.1.2 Meteorologia

Per ricostruire la meteorologia si è utilizzato il modello CALMET che sulla base dell'orografia, dei dati di uso del suolo e della serie temporale di misure di vento disponibili in superficie e in quota, genera per interpolazione il campo di vento/dispersione per punti discreti del dominio (griglia meteorologica tridimensionale, passo orizzontale 500 m, passo verticale crescente da 20 m al livello del suolo con progressione geometrica fino a 2500 m di altezza). In questa fase, sono stati abilitati i diversi algoritmi che permettono di incorporare l'effetto dell'orografia correggendo il campo di moto in funzione delle pendenze locali e degli effetti cinematici e minimizzando la divergenza del campo ricostruito. La consultazione della banca dati regionale (Osservatorio Meteorologico Regionale, OSMER) e di banche dati ad accesso libero ha permesso di acquisire dati anemometrici al suolo e in quota per l'anno 2017, in-

dicato dall'Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale (ARPA) come anno rappresentativo della variabilità meteorologica annua. In Figura 3 sono riportate le rose dei venti annuali misurate in alcuni punti del territorio (VIV, Vivaro, PDA, Pala d'Altei e RAV, Ravedis). La quarta rosa dei venti è invece stata estratta a valle dell'esecuzione del modello meteorologico per caratterizzare il campo di vento ricostruito in corrispondenza dell'area industriale di Maniago.

Il vento soffia prevalentemente da Nord e Nord-Nord-Est con intensità media intorno a 1.8 m/s nella stazione di Vivaro; nella valle tra i rilievi a Nord (Ravedis Invaso), l'intensità del vento aumenta (2.5 m/s) soprattutto in corrispondenza dei settori di provenienza Sud-Ovest e Sud-Sud-Ovest; in corrispondenza della stazione a quota più elevata (Pala d'Altei), il vento soffia prevalentemente da Ovest-Nord-Ovest e Nord-Ovest con intensità media intorno ai 3.4 m/s. La frequenza delle calme di vento è stabile (compresa tra 5-8%) indipendentemente dalla posizione della stazione. La rosa NIP è molto simile per forma a quella misurata a Ravedis, anche se la velocità del vento risulta ridotta nei valori massimi.

2.1.3 Qualità dell'aria

Nel periodo 2012-2018, l'ARPA ha realizzato monitoraggi mirati della qualità dell'aria nella zona di interesse utilizzando una stazione di rilevamento mobile. I dati acquisiti riguardano le concentrazioni di biossido di zolfo (SO_2), ossidi di azoto (NO_x), monossido di carbonio (CO), materiale particolato (PM_{10} e $\text{PM}_{2.5}$), ozono (O_3) e benzene (C_6H_6). Le mi-

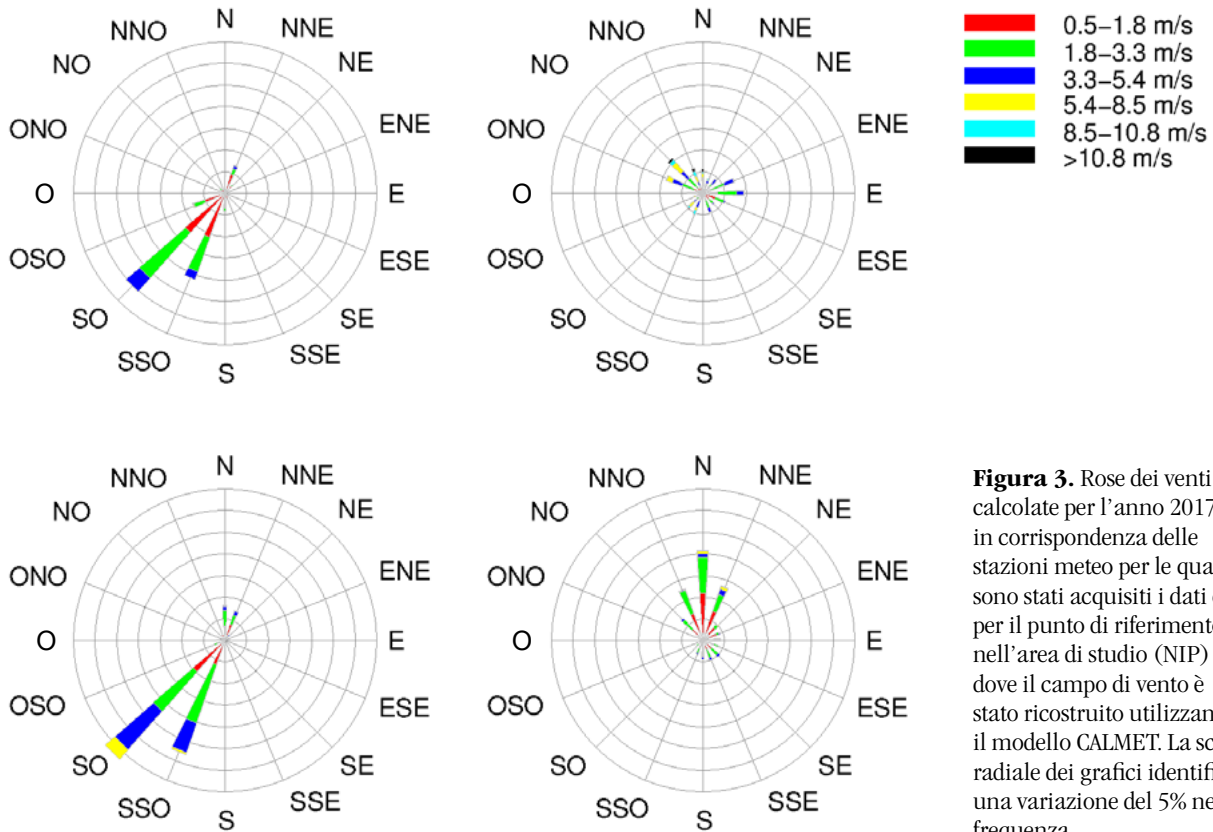


Figura 3. Rose dei venti calcolate per l'anno 2017 in corrispondenza delle stazioni meteo per le quali sono stati acquisiti i dati e per il punto di riferimento nell'area di studio (NIP) dove il campo di vento è stato ricostruito utilizzando il modello CALMET. La scala radiale dei grafici identifica una variazione del 5% nella frequenza.

sure sono state realizzate in quattro periodi specifici, modificando la posizione della stazione mobile: a Luglio 2012 – Giugno 2013, con posizionamento in località Campagna, a Sud-Est rispetto al perimetro dell'area industriale di Maniago (SQA1); ad Agosto 2013 – Luglio 2014, con posizionamento nella parte Nord della zona Industriale di Maniago, via Venezia, presso l'asilo nido consortile (SQA2); a Luglio 2017 – Dicembre 2017, con posizionamento nella Zona Industriale, via Venezia (SQA3); a Gennaio 2018 – Giugno 2018, con posizionamento in località Campagna, via Pocioi, presso la scuola elementare, a Est rispetto al perimetro dell'area industriale di Maniago (SQA4).

Le misure più recenti (2017-2018), limitate ad un periodo semestrale, hanno solo valore "indicativo" per la valutazione della qualità dell'aria nel sito. Tuttavia, secondo uno studio pubblicato dall'ARPA, le misure locali risultano più significative dei valori registrati nello stesso periodo dell'anno in corrispondenza delle stazioni fisse di Pordenone (stazione urbana di traffico) e di Morsano al Tagliamento (stazione suburbana di fondo) che fanno parte della Rete Regionale di Monitoraggio della Qualità dell'Aria. Il confronto diretto tra i dati locali e i dati delle stazioni, realizzato da ARPA, mostra infatti significative differenze nei valori, anche se i trend sono abbastanza simili. In particolare, le concentrazioni di in-

quinanti rilevati presso l'area industriale di Maniago risultano sistematicamente più bassi di quelli rilevati in continuo presso le centraline di monitoraggio di Pordenone.

In Tabella 1 sono riportati i dati misurati localmente che sono stati utilizzati in questo studio. I dati rappresentano valori medi mensili, mediati nel periodo di rilevamento. Anche se la finestra di rilevazione per il 2017 è di sei mesi, i dati sono stati assimilati a valori medi annui rappresentativi della concentrazione di fondo, a cui sovrapporre il risultato della simulazione d'impatto generato dalle emissioni delle aziende insediate. In particolare, si è fatto riferimento ai dati evidenziati in grassetto, relativi alla campagna SQ3, realizzata all'interno dell'area NIP; per il dato di NO_x , non disponibile per quella campagna, è stato utilizzato quello della campagna SQ2, realizzata in diverso anno ma sempre all'interno dell'area NIP.

2.2 Definizione e analisi dello scenario emissivo

2.2.1 Censimento delle fonti industriali

Per censire le diverse aziende insediate nell'area di studio (comune di Maniago e comuni limitrofi) è stata consultata la documentazione, accessibile al pubblico, relativa alle Autorizzazioni Ambientali in essere per l'esercizio delle varie attività.

Tabella 1. Qualità dell'aria nel comune di Maniago

	SQA1 07/12-06/13	SQA2 08/13-07/14	SQA3 07/17-12/17	SQA4 01/18-06/18*	Valore di riferimento
PM ₁₀ [mg/m ³]	19.7	15.7	15.0	19.0	40
PM _{2,5} [mg/m ³]	13.9	12.0	11.0	15.0	25 (20)
SO ₂ [mg/m ³]	3.7	2.4	13	45	20
NO _x [mg/m ³]	19.7	12.7	-	-	30
NO _{x,max,1h} [mg/m ³]	102.2	-	-	-	200, max 18 sup
NO _x +NO ₂ [mg/m ³]	30	17.9	11.0	12.0	40
CO _{max,8h} [mg/m ³]	11.2	0.8	1.9	1.0	10
C ₆ H ₆ [mg/m ³]	0.9	0.6	0.6	0.9	5

L'elenco delle aziende considerate, la tipologia di autorizzazione ambientale, gli estremi del documento autorizzativo e la classificazione dell'azienda secondo i codici Ateco sono riportati nel foglio "lista aziende" del data base allegato in formato Excel; in

Figura 4 è riportata la distribuzione delle aziende nel territorio.

Le aziende sono state suddivise in tre gruppi: aziende insediate nell'area industriale NIP con prescrizioni relative alle emissioni in atmosfera, aziende insediate all'esterno nell'area NIP con prescrizioni relative alle emissioni in atmosfera e aziende senza prescrizioni relative alle emissioni in atmosfera. Delle 57 aziende censite, 42 sono soggette ad autorizzazioni che prevedono prescrizioni rispetto alle emissioni in atmosfera; alcune di queste aziende hanno più di una sede nel territorio comunale; 20 sono insediate all'interno dell'area NIP.

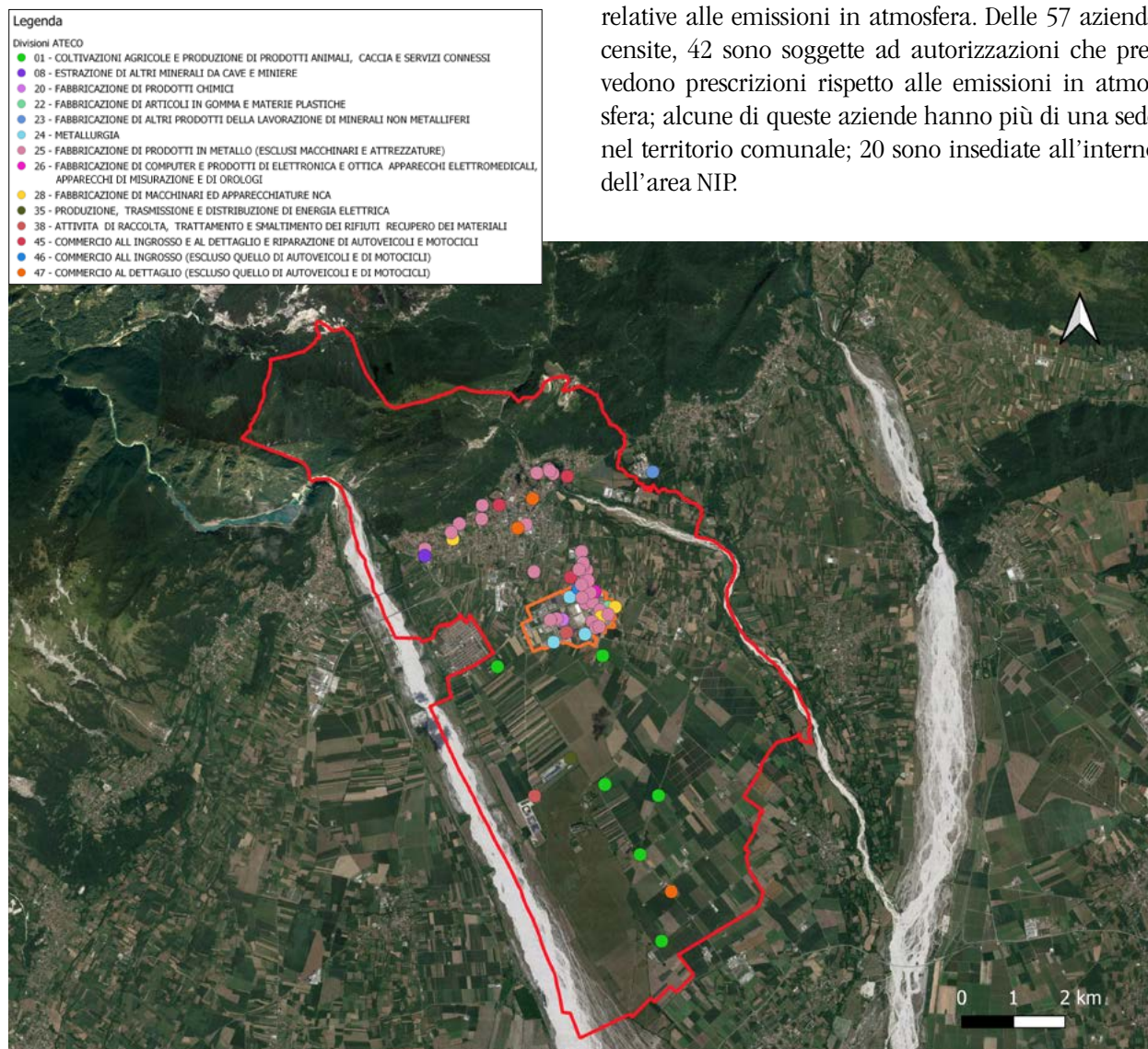


Figura 4. Distribuzione territoriale delle aziende: il colore identifica il settore Ateco.

Rispetto alle tipologie di attività produttiva, più del 50% delle attività (29/57) appartengono al settore Ateco 25 (Fabbricazione di prodotti in metallo – esclusi macchinari e attrezzature) che comprende sia la fabbricazione di utensili e coltelli che la lavorazione pesante del metallo (fucinatura, imbutitura, stampaggio...) mentre circa il 10% sono attività di coltivazione agricola o allevamento (settore 01).

Le autorizzazioni all'emissione delle varie aziende sono gestite con diversa documentazione in funzione della tipologia (e pericolosità) degli inquinanti emessi e della taglia dell'azienda (produzione artigianale o industriale) che ha effetto sulla entità delle emissioni prodotte. Delle aziende censite nel territorio di Maniago, il 21% è autorizzato in regime di Autorizzazione Integrata Ambientale (AIA), il 65% in Autorizzazione Unica Ambientale (AUA) e il rimanente 14% in Autorizzazione Generale (AG).

La Figura 4 mostra che le attività produttive si concentrano nell'area NIP e nella zona pedemontana,

mentre le attività di coltivazione agricola e allevamento sono localizzate nella zona pianeggiante tra Cellina e Meduna.

2.2.2 Analisi delle fonti

I documenti autorizzatori contengono l'elenco dei punti emissivi (identificati come rilevanti in fase di autorizzazione) completi di portata autorizzata e concentrazione limite ammessa allo scarico. Il prodotto tra queste quantità permette di definire il flusso emissivo corrispondente allo "scenario di massima emissione autorizzata", ovvero la peggiore condizione di emissione compatibile con l'autorizzazione. Analizzare l'impatto in queste condizioni è conservativo per la valutazione dello stato della qualità dell'aria perché non possono verificarsi, a norma di legge, condizioni peggiori. Questo scenario è stato adottato come riferimento per valutare il margine ambientale per la sostenibilità di nuovi insediamenti.

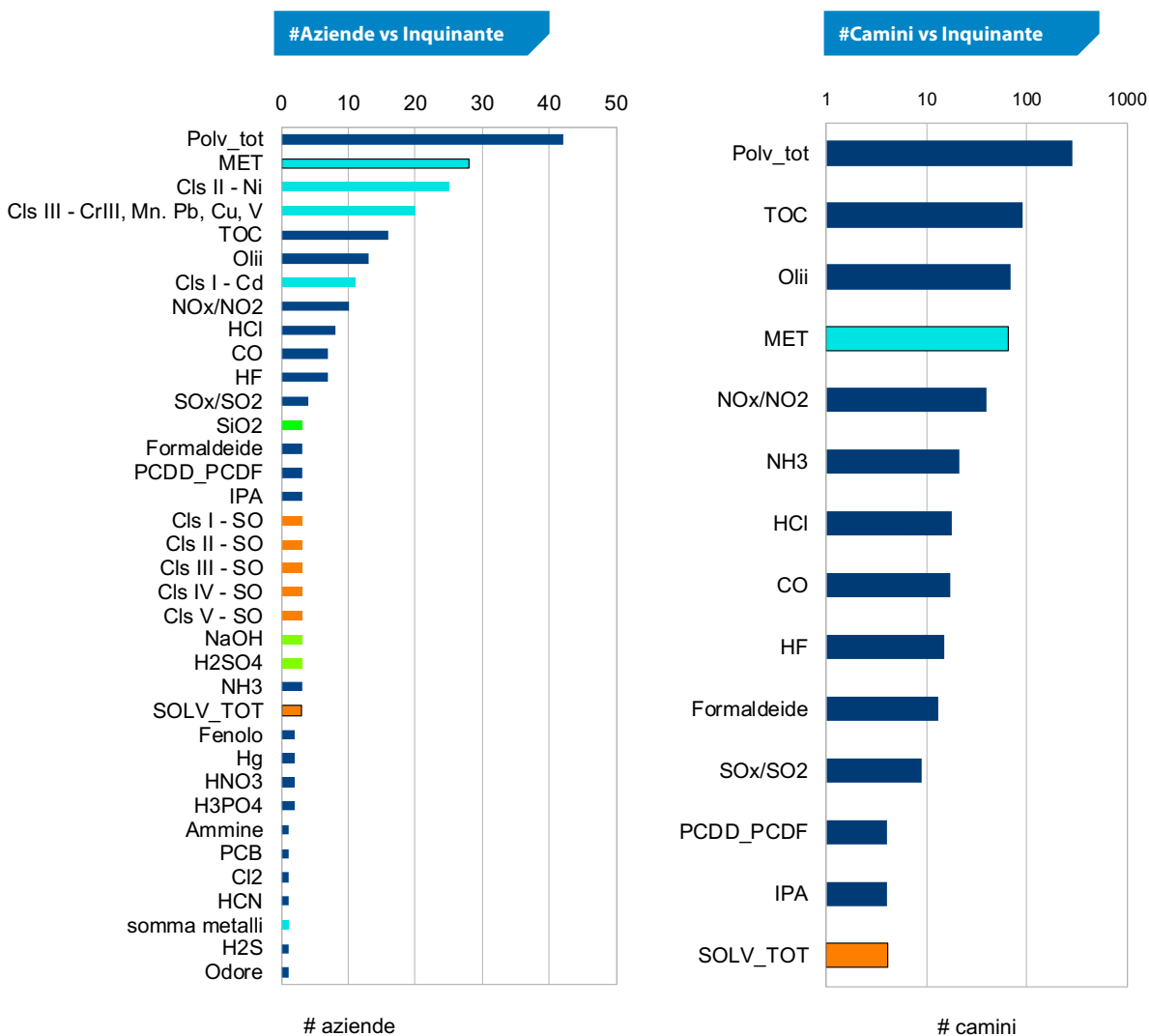


Figura 5. Numero di Aziende (sinistra) e numero di punti emissivi (destra) con prescrizione di monitoraggio per la specie inquinante (database globale).

Il modulo utilizzato per la raccolta sistematica dei dati relativi alle caratteristiche delle fonti emissive contiene tutti i dati necessari per l'implementazione del modello di dispersione, come posizione, altezza, diametro dei camini e ratei emissivi delle specie inquinanti rilevanti. In fase di compilazione, è stato necessario risolvere alcune criticità legate alla mancanza di dati nelle autorizzazioni (p.es. portata autorizzata o temperatura dell'emissione non specificate); quando possibile, i dati mancanti sono stati estratti dalla consultazione di rapporti di prova o altra documentazione aziendale (relazioni non tecniche) a supporto dei documenti autorizzativi.

Per consolidare il database, sono stati eliminati i punti emissivi non attivi o non significativi (non soggetti ad autorizzazione, con flussi emissivi inferiori alla soglia di rilevanza, impianti di combustione e termici civili a metano di potenzialità totale inferiore ai 3 MW, ricambi d'aria ambiente, ...), ottenendo un sotto-insieme di sorgenti (309 su 518 censite) caratterizzate da flusso significativo e completamente caratterizzato.

In Figura 5 è rappresentata una sintesi grafica dei dati raccolti. Il grafico a sinistra mostra il numero di aziende (asse orizzontale) con prescrizione di limite emissivo rispetto a specifico inquinante (asse verticale) secondo quanto risulta da autorizzazione. Per i metalli (in azzurro in Figura 5), la prescrizione sul limite emissivo può essere indicata come dato di dettaglio, distinguendo tra le diverse classi di metalli (Ta-

bella B, Allegati alla parte Quinta, Allegato I, Parte II, del D.Lgs. 152/06) o in forma aggregata, come metalli totali; analogamente, per i composti organici (in arancione) può essere indicata in termini di classi distinte (Tabella D, Allegati alla parte Quinta, Allegato I, Parte II, del D.Lgs. 152/06) o come Carbonio Organico Totale (COT o TOC, Total Organic Carbon). Per queste specie, si è deciso di aggregare classi distinte in un'unica categoria (rispettivamente Metalli e Solventi totali in Figura 5, a destra), in modo da omogeneizzare i dati censiti.

L'aggregazione dei dati è stata fatta conformemente a quanto previsto dal D.Lgs. 152/06, indicando come limite per i metalli totali e per i solventi totali la concentrazione associata alla classe più alta di quelle autorizzate.

Gli istogrammi mostrano che alcuni inquinanti sono oggetto di autorizzazione per un numero ridotto di aziende: limiti di emissione per ammine, PCB, Cl_2 , HCN, H_2S e sostanze osmogene sono previsti solo per singole aziende; SiO_2 , NaOH, H_2SO_4 , fenolo, Hg, NaOH, H_2SO_4 , HNO_3 , NH_3 e H_3PO_4 sono oggetto di autorizzazione per tre aziende (e pochi punti emissivi). Tutti questi inquinanti, sporadicamente autorizzati, risultano emessi in quantità limitata e non sono stati considerati significativi (e dunque simulati con il modello di dispersione) per la valutazione delle qualità dell'aria del territorio.

In Figura 5, parte destra, è riportato il numero di punti emissivi che contribuiscono al rilascio degli

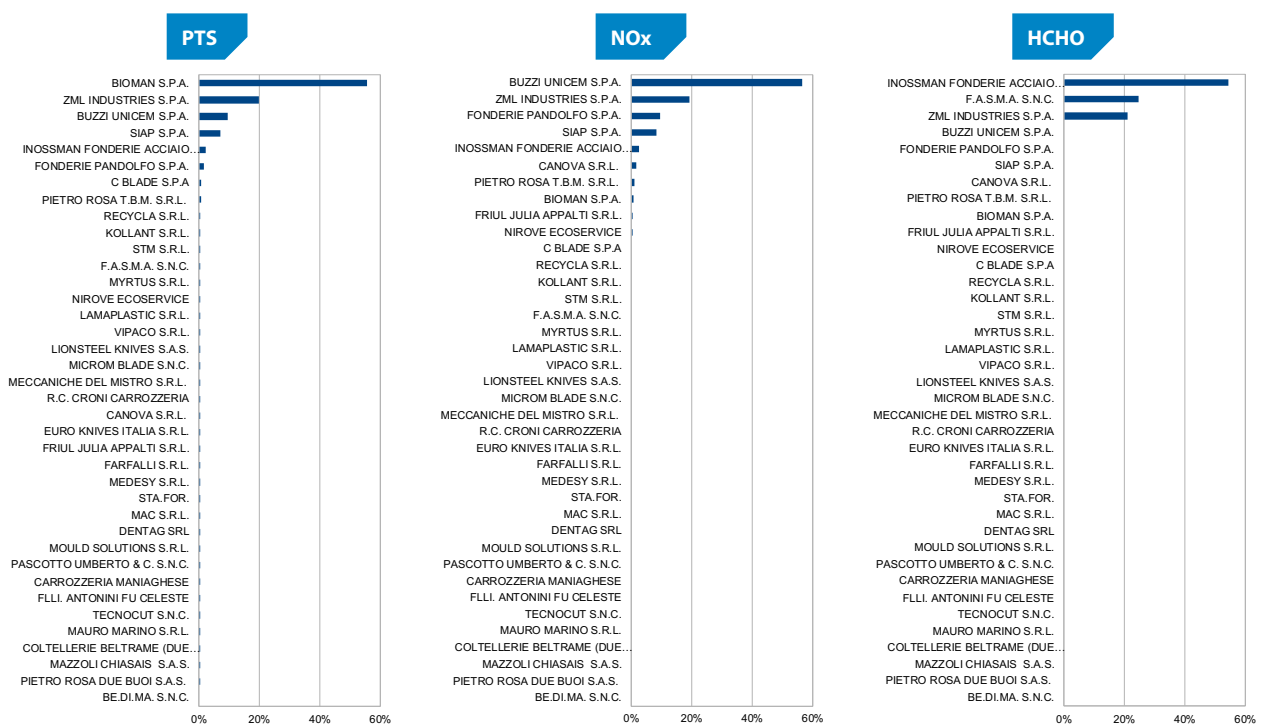


Figura 6. Contribuzione percentuale all'emissione di inquinanti: polveri totali, ossidi di azoto e formaldeide.

inquinanti significativi (lista ridotta a 14 specie). L'uso della scala logaritmica per rappresentare il numero dei punti emissivi indica che, mentre le polveri sono un inquinante "trasversale", comune alla maggior parte delle aziende e a molti punti emissivi, altri inquinanti (come gli ossidi di zolfo, le diossine, gli idrocarburi policiclici aromatici, la formaldeide e i solventi totali) risultano molti più specifici e possono essere considerati "traccianti" per specifiche aziende/camini.

2.2.3 Flussi emissivi

Il flusso emissivo corrispondente allo scenario massimo autorizzato è stato quantificato moltiplicando la portata autorizzata per la concentrazione limite a camino. I valori risultanti rappresentano una pesante sovrastima dell'emissione reale, dal momento che nelle condizioni di normale operatività degli impianti sia la portata dei fumi che la concentrazione degli inquinanti sono generalmente inferiori ai valori autorizzati. I flussi emissivi sono stati aggregati a livello di singola azienda e poi sommati considerando il contributo delle varie aziende per calcolare l'emissione totale. Questo valore è stato utilizzato per normalizzare i flussi riportati in Tabella 2. I dati contenuti in ogni colonna della Tabella 2 contengono la percentuale di emissione per un inquinante specifico (percentuali di contribuzione); i dati contenuti in ogni riga identificano invece il contributo in emissione delle diverse specie inquinanti imputabile ad una singola azienda (impronta inquinante).

Le percentuali di contribuzione all'emissione di polveri totali, ossidi di azoto e di formaldeide sono rappresentate in Figura 6. Le aziende (asse verticale) sono ordinate per contribuzione decrescente, evidenziando nella parte alta del grafico quelle con emissione maggiore. Per ogni specie inquinante, cambia il numero e il tipo di aziende che contribuiscono all'emissione.

I grafici in Figura 6 indicano una emissione trasversale di polveri (280 punti emissivi appartenenti a 42 aziende). Quattro aziende (Bioman, ZML, Buzzi e Siap) sono responsabili del 91.83% dell'emissione totale autorizzata; considerando anche la quarta e quinta azienda (Inossman e Fonderie Pandolfo) si arriva al 95% dell'emissione massima autorizzata. Se la qualità dell'aria fosse critica per le polveri, imporre limiti di emissione più restrittivi per queste aziende potrebbe risolvere il problema; data la numerosità dei punti emissivi, i limiti dovrebbero essere imposti sui punti emissivi più rilevanti all'interno di ogni azienda. Anche l'emissione di ossidi di azoto è trasversale (37 punti emissivi appartenenti a 10 azien-

de), ma il numero di punti emissivi è molto minore. La principale emissione autorizzata (Buzzi, 56.47%) è quella di un cementificio. Considerando ulteriori tre aziende (ZML, Fonderie Pandolfo e Siap), del settore lavorazione metalli, si arriva al 93% di contribuzione.

L'emissione di formaldeide, soggetta ad autorizzazione per 13 camini di 3 sole aziende (Inossman, Fasma e ZML), è prevalentemente dovuta alla prima azienda (Inossman, 54.26% di contribuzione). Se si rilevassero condizioni critiche per la qualità dell'aria per questa specie, sarebbe relativamente facile identificare i punti emissivi su cui indirizzare monitoraggio mirati o su cui implementare interventi di mitigazione.

L'impronta inquinante per quattro diverse aziende è mostrata in Figura 7. La percentuale di contribuzione dei vari inquinanti è rappresentata come grafico polare: ogni posizione angolare corrisponde ad un inquinante e inquinanti "simili" sono collocati in posizioni adiacenti (polveri, metalli e olii rappresentano fasi disperse; acido cloridrico e fluoridrico rappresentano composti acidi; ossidi di carbonio, azoto e zolfo sono associati a processi di combustione). La coordinata radiale del grafico, valorizzata dai numeri in rosso, indica la percentuale di contribuzione all'emissione totale (nello scenario massimo autorizzato) per quella specie. La forma che risulta dalla spezzata è specifica per ogni azienda e permette di visualizzare in modo immediato il tipo e l'entità del contributo inquinante. Aziende dello stesso tipo emettono gli stessi inquinanti, producendo impronte di forma simile; se sono di taglia diversa, questo si riflette nella scala radiale dell'impronta. La forma dell'impronta inquinante è molto diversa per le quattro aziende rappresentate in Figura 7: per l'attività di fonderia, gli inquinanti rilevanti sono i prodotti derivanti dalla combustione; per l'azienda che realizza recupero di energia dalle frazioni organiche del rifiuto con produzione di biogas e compost, gli inquinanti prevalenti sono polveri, ammoniaca e carbonio organico totale; per l'azienda che produce cemento, gli inquinanti prevalenti sono ossidi di azoto, zolfo e carbonio e composti acidi, derivanti dai processi di essiccazione e cottura; per la ditta che realizza fusioni in ghisa e alluminio, gli inquinanti prevalenti sono carbonio organico totale, formaldeide, olii, polveri e composti acidi: i prodotti tipici della combustione, come gli ossidi di azoto, sono presenti solo in quantità ridotta essendo i forni di fusione di tipo elettrico.

2.3 Sviluppo del modello di dispersione atmosferica

Il modello di dispersione implementato (CALPUFF) è un modello Lagrangiano "a puff". L'emissione da

ogni sorgente è modellata come una sequenza di rilasci discreti di inquinante (puff) trasportati e dispersi in ambiente dall'azione del vento e dalla turbolenza. Ogni puff si muove in modo indipendente rispetto a puff rilasciati in istanti diversi o da posizioni diverse; secondo il principio della sovrapposizione degli effetti, ad ogni istante tutti i puff presenti nel dominio di calcolo contribuiscono alla valutazione della ricaduta inquinante in ogni punto di interesse (p.es. un recettore al livello del suolo) in base alla quantità di inquinante contenuto nel e trasportato dal puff e alla distanza tra punto in cui si valuta la ricaduta e puff. Tutte le specie inquinanti simulate sono state considerate conservative, cioè non reagenti e non soggetti a fenomeni di deposizione secca/umida. Il calcolo del trasporto/dispersione in caso di calme di vento (velocità del vento <0.5 m/s) è direttamente gestito dagli algoritmi implementati nel codice: in assenza di vento, la dispersione del puff è

controllata dal valore dei coefficienti di dispersione calcolati dal modulo meteorologico CALMET.

La qualità dell'aria nel territorio di Maniago dipende dalla presenza di diverse specie inquinanti emesse da una molteplicità di sorgenti emissive. La simulazione della dispersione può essere realizzata seguendo due approcci alternativi: nel primo, ogni azienda, in base alle caratteristiche del suo processo, genera emissioni responsabili di una parte dell'impatto; l'impatto globale dipende dalla sovrapposizione degli effetti prodotti dalle diverse aziende (approccio "process or company-driven"); nel secondo, un sottoinsieme di punti emissivi di varie aziende contribuisce all'emissione di uno specifico inquinante; l'impatto globale è dovuto alle ricadute generate dai diversi inquinanti rilevanti per il territorio (approccio "impact or pollutant-driven").

Entrambi gli approcci hanno dei meriti quando si voglia sviluppare uno strumento modellistico

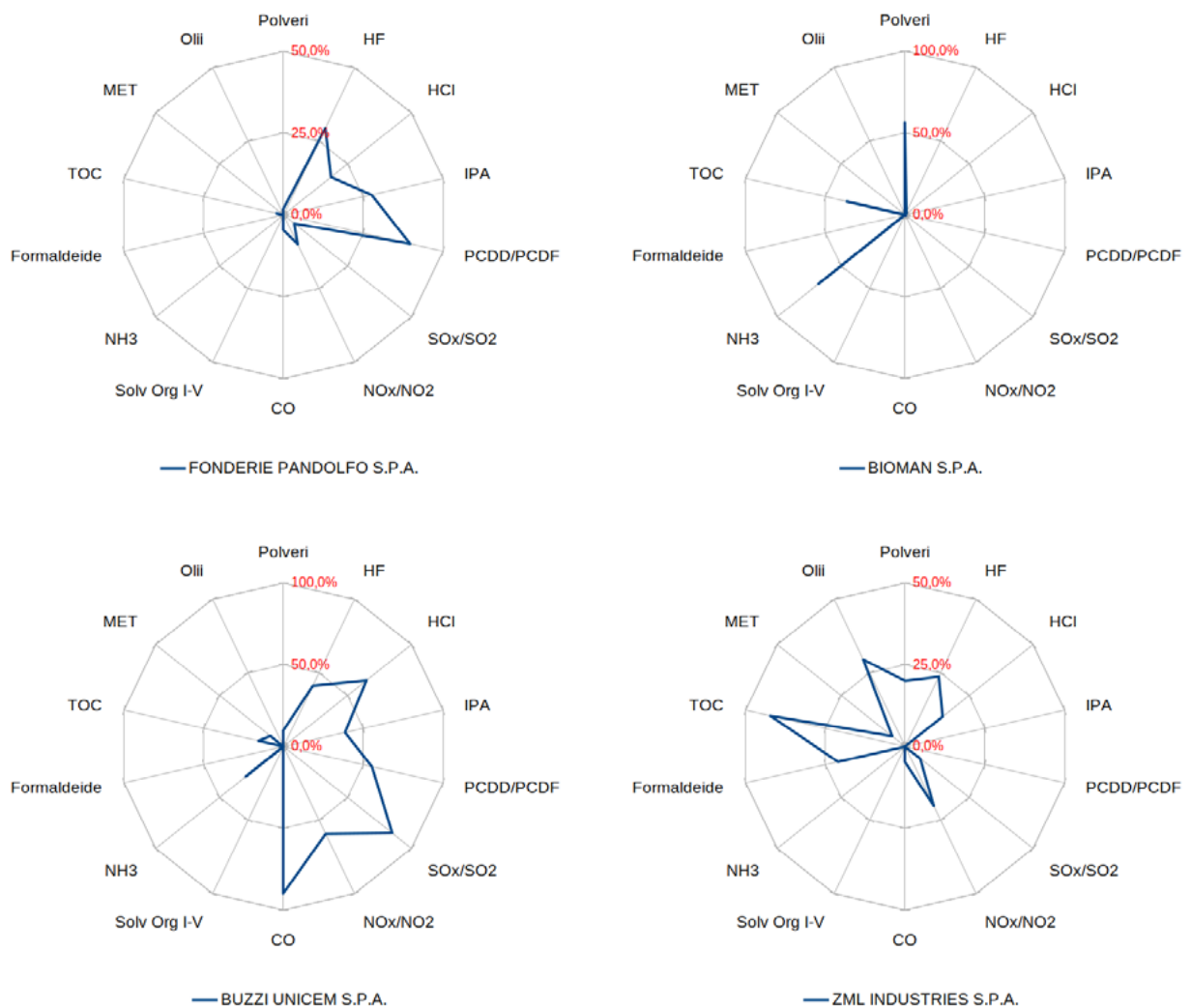


Figura 7. Impronta inquinante di quattro aziende con diversa attività (Fonderie Pandolfo s.p.a., settore siderurgico, Bioman s.p.a., trattamento di rifiuti, Buzzi Unicem s.p.a., produzione di cemento e ZML Industries s.p.a., produzione di fusioni in ghisa e alluminio).

Tabella 2. Contributo percentuale al flusso di inquinante da parte delle diverse aziende.

Nome Azienda	PM _{tot}	Olii	TOC	CO	NO _x /NO ₂	SO _x /SO ₂	CH ₂ O	PCDD/PCDF	IPA	HCl	HF	H ₂ SO ₄	NH ₃	M _{tot}	SO _{tot}
BE.DI.MA S.N.C.	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
BIOMAN S.P.A.	56,42%	0,00%	36,66%	0,00%	0,89%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	1,09%	1,39%	0,00%	67,84%	0,00%	0,00%
BUZZI UNICEM S.P.A.	9,67%	0,00%	15,70%	90,03%	59,36%	85,00%	0,00%	55,45%	38,56%	64,84%	41,19%	0,00%	29,69%	10,31%	0,00%
C BLADE S.P.A.	0,84%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	2,98%	0,00%
CANOVA S.R.L.	0,06%	0,00%	0,86%	0,00%	1,65%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	1,39%	0,00%	0,00%	2,65%	0,00%
CARROZZERIA MANIAGHESE	0,00%	0,00%	0,03%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
COLTELLERIE BELTRAME MARCELLO (DUE ANCORE)	0,00%	0,02%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,01%	0,00%
DENTAG S.R.L.	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	2,58%	0,00%	0,00%	0,00%
EURO KNIVES ITALIA S.R.L.	0,05%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,40%	0,00%
F.A.S.M.A. S.N.C.	0,21%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	24,69%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
FARFALLI S.R.L.	0,02%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,72%	0,00%
FLLI. ANTONINI FU CELESTE	0,00%	0,00%	0,03%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
FONDERIE PANDOLFO S.P.A.	1,73%	0,00%	2,25%	4,55%	9,89%	4,21%	0,00%	39,69%	27,60%	18,56%	29,48%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
FRIUL JULIA APPALTI S.R.L.	0,03%	0,00%	0,33%	0,21%	0,37%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,45%	0,58%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
INOSMAN FONDERIE ACCIAIO MANIAGO S.P.A.	2,39%	12,12%	0,60%	0,02%	2,84%	4,92%	54,26%	4,87%	33,84%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	38,92%	0,00%
KOLLANT S.R.L.	0,49%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	10,49%	0,00%
LAMAPLASTIC S.R.L.	0,10%	0,00%	0,34%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
LIONSTEEL KNIVES S.A.S.	0,09%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	2,39%	0,00%
MAC S.R.L.	0,01%	0,19%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,08%	0,05%
MAURO MARINO S.R.L.	0,00%	0,03%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,06%	0,00%
MAZZOLI CHIASAIS di MARTINI GIORGIO & C. S.A.S.	0,00%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
MECCANICHE DEL MISTRO S.R.L. via Divisione Julia	0,07%	0,66%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	1,54%	3,75%
MEDESY S.R.L.	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,34%	0,00%
MICROM BLADE S.N.C.	0,09%	1,81%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	2,05%	0,00%
MOULD SOLUTIONS S.R.L.	0,00%	0,00%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
MYRTUS S.R.L.	0,20%	0,00%	0,65%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,09%	0,00%	4,40%	0,00%	0,91%	0,00%
NIROVE ECOSERVICE	0,16%	0,00%	0,00%	0,02%	0,06%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	93,02%	0,00%	0,28%	0,00%
PASCOTTO UMBERTO & C. S.N.C.	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,24%	0,00%
PIETRO ROSA DUE BUOI S.A.S. via dell'Industria 5	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
PIETRO ROSA T.B.M. S.R.L. via Petrarca	0,77%	0,00%	0,06%	0,00%	1,23%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,29%	2,28%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
R.C. CRONI CARROZZERIA	0,06%	0,00%	0,15%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
RECYCLA S.R.L.	0,55%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	96,20%
SIAP S.P.A.	5,54%	49,61%	0,00%	0,00%	3,52%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	2,47%	12,53%	0,00%
STA.FOR.	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,33%	0,00%
STM S.R.L.	0,22%	3,81%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	7,67%	0,00%
TECNOCUT S.N.C.	0,00%	0,04%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,01%	0,00%
VIPACO S.R.L.	0,10%	2,20%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
ZML INDUSTRIES S.P.A.	20,08%	29,51%	42,34%	4,68%	20,19%	5,87%	21,05%	0,00%	0,00%	14,67%	23,70%	0,00%	0,00%	5,07%	0,00%
TOTALE	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%

utile per supportare le decisioni ambientali di competenza del Comune. L'approccio "process or company-driven" permette di responsabilizzare la singola realtà produttiva riguardo agli impatti ambientali della produzione, stimolando l'implementazione di efficaci politiche IPPC (Integrated Pollution Prevention and Control); l'approccio "impact or pollutant-driven", permette di corresponsabilizzare le diverse aziende rispetto ad uno specifico effetto ambientale prodotto, identificando responsabilità precise quando siano necessari interventi di mitigazione e controllo. Per questo studio, è stato adottato un approccio "process or company-driven", realizzando la simulazione dell'impatto prodotto da ogni singola azienda e costruendo l'impatto per l'area per so-

vrapposizione degli effetti, sommando il contributo delle singole realtà produttive.

Gli inquinanti considerati per la simulazione sono 13 dei 14 utilizzati per caratterizzare l'impronta inquinante: comprendono le fasi aerodisperse (Polveri, Olii e Metalli Totali), i composti organici variamente misurati (TOC, Formaldeide e Solventi Organici Totali), gli ossidi della combustione (CO, NO_x/NO₂ e SO_x/SO₂), i microinquinanti (PCDD/PCDF e IPA) e i composti acidi (HCl e HF). L'ammoniaca, NH₃, invece non è stata simulata.

A valle dell'esecuzione del modello, è possibile realizzare mappe di ricaduta per valutare l'impatto sul territorio delle emissioni censite, oppure estrarre serie temporali rappresentative dell'evoluzione della qualità dell'aria in corrispondenza di punti specifici.

A questi risultati è possibile aggiungere l'effetto delle sorgenti non esplicitamente simulate sommando ai valori calcolati il dato di concentrazione corrispondente al livello di concentrazione di fondo. In questo lavoro, il dato di fondo, disponibile al più come valor medio annuo, è stato aggiunto in fase di post-processing (modulo CALPOST).

Questi risultati, calcolabili facendo riferimento a diversi scenari emissivi, possono essere utilizzati come base di supporto per prendere decisioni riguardo alla gestione della qualità dell'aria.

3. Risultati

3.1 Emissioni considerate

I punti emissivi censiti e caratterizzati in modo completo presenti all'interno del database sono 309. La valutazione degli impatti è stata realizzata considerando i flussi emissivi corrispondenti all'emissione massima autorizzata: questo scenario, pur non rappresentando le condizioni di normale operatività delle aziende insediate nel Comune di Maniago, permette di valutare se c'è margine per autorizzare ulteriori insediamenti sulla base degli impatti attesi, nel caso peggiore, dalle autorizzazioni già concesse.

3.2 Polveri

In Figura 8 sono rappresentati gli isocontorni della concentrazione di polveri; i valori, espressi in $\mu\text{g}/\text{m}^3$, corrispondono alla media annua della concentrazione di polveri calcolata al livello del suolo (dominio $10 \text{ km} \times 10 \text{ km}$) calcolata al netto del valore di fondo (pari a $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ secondo i dati della campagna del 2017); considerato che il limite di legge per la concentrazione media annua di polveri è pari a $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (D.Lgs. 155/2010), i valori indicano che esistono zone del territorio dove risulterebbe superato se i livelli emissivi fossero pari a quelli massimi autorizzati. In particolare, le emissioni di polveri attualmente autorizzate determinano elevati valori di ricaduta nella zona occupata dall'azienda (Bioman) che risulta essere la massima contributrice all'emissione totale. Per le altre porzioni del territorio, la concentrazione media annua prevista nello scenario di massima emissione indica concentrazioni al più pari a $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sovrapponendo il contributo del fondo), inferiori al limite. Ci sarebbe quindi margine per autorizzare l'insediamento di altre aziende che emettono polveri, ma non nell'area prossima alla Bioman.

3.3 Metalli totali

In Figura 9 sono rappresentati gli isocontorni della concentrazione di metalli totali emessi dalle aziende insediate nel Comune di Maniago; i valori, espressi

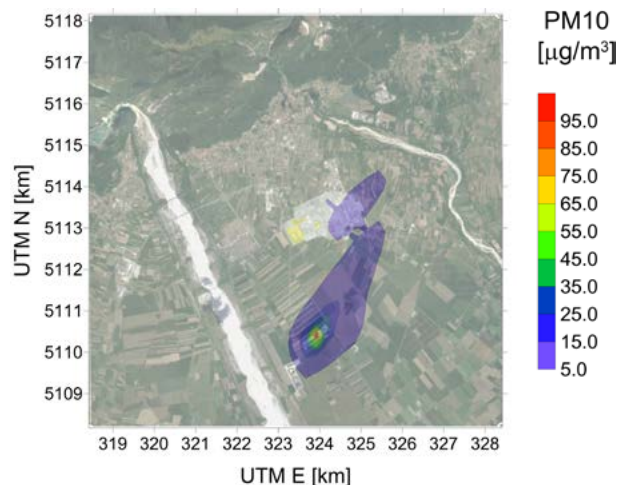


Figura 8. Concentrazione al suolo di polveri corrispondente allo scenario di massima emissione autorizzata: valore medio annuo. I valori di concentrazione appartengono all'intervallo $[0.905 \cdot 10^{-1} \div 99.9 \mu\text{g}/\text{m}^3]$ al netto del livello di fondo, e all'intervallo $[15.1 \div 114 \mu\text{g}/\text{m}^3]$ comprensivo del fondo. Il limite di riferimento per la concentrazione media annua di polveri, pari a $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$, risulta superato in un'area circoscritta intorno a Bioman.

in $\mu\text{g}/\text{m}^3$, corrispondono al valor medio annuo calcolato al livello del suolo. I risultati sono stati ottenuti al netto del valore di fondo (pari a $0.5 \text{ ng}/\text{m}^3$ per l'arsenico, $0.2 \text{ ng}/\text{m}^3$ per il cadmio, $1.1 \text{ ng}/\text{m}^3$ per il nichel e $3.2 \text{ ng}/\text{m}^3$ per il piombo secondo quanto rilevato presso la stazione di Udine, via Cairoli). Il D.Lgs. 155/2010 non prevede un valore limite di riferimento per i metalli totali mentre sono specificati i limiti per singolo metallo (arsenico, $6 \text{ ng}/\text{m}^3$; cadmio, $5.0 \text{ ng}/\text{m}^3$; nichel, $20 \text{ ng}/\text{m}^3$ e piombo, $500 \text{ ng}/\text{m}^3$). Gli isocontorni indicano che nello scenario di massima emissione autorizzata la concentrazione media annua di metalli è pari a $0.673 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in corrispondenza del punto di massima ricaduta, situato in prossimità della Inossman. Questo valore di concentrazione è maggiore dei limiti previsti per le singole specie metalliche, e indica una potenziale criticità per le emissioni di metalli, se i livelli emissivi fossero pari a quelli massimi autorizzati.

3.4 Formaldeide

In Figura 10 sono rappresentati gli isocontorni al livello del suolo della concentrazione di formaldeide autorizzata in emissione per le aziende insediate nel Comune di Maniago; i valori medi annui, espressi in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e al netto del valore di fondo (non disponibile), indicano che, nello scenario di massima emissione autorizzata, la concentrazione media annua di HCHO sarebbe pari a $0.661 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nel punto di massima ricaduta. Questi valori, pur non essendo direttamente confrontabili con un valore limite

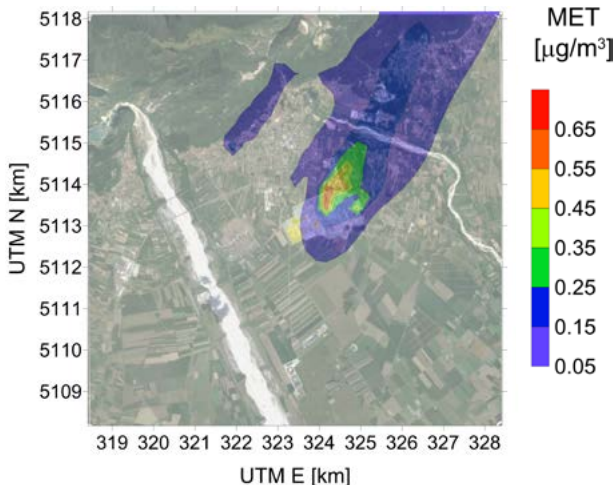


Figura 9. Concentrazione al suolo di MET nello scenario di massima emissione autorizzata per le aziende insediate nel Comune di Maniago: valore medio annuo. I valori di concentrazione appartengono all'intervallo $[0.190 \cdot 10^{-2} \div 0.673 \mu\text{g}/\text{m}^3]$ al netto del livello di fondo.

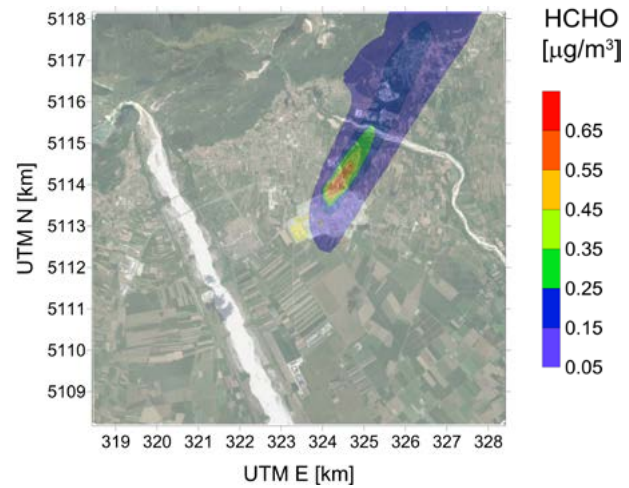


Figura 10. Concentrazione al suolo di formaldeide, HCHO, nello scenario di massima emissione autorizzata per le aziende insediate nel Comune di Maniago: valore medio annuo. I valori di concentrazione appartengono all'intervallo $[0.168 \cdot 10^{-2} \div 0.661 \mu\text{g}/\text{m}^3]$ (al netto del valore di fondo, non disponibile).

(non previsto dal D.Lgs. 155/2010), indicano livelli di concentrazione relativamente più bassi di quelli rilevati in corrispondenza di altre aree di insediamento industriale in Friuli Venezia Giulia (Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente del Friuli Venezia Giulia, Relazione sui monitoraggi della qualità dell'aria nella Zona Industriale di Rivoli di Osoppo, anni 2015-2018); l'insediamento di aziende che potrebbero aumentare la quantità di formaldeide emessa nel territorio non rappresenta un aspetto critico per il mantenimento di adeguati livelli di qualità dell'aria.

3.5 Ossidi di azoto

In Figura 11 sono rappresentati gli isocontorni di ricaduta calcolati per gli ossidi di azoto, rappresentati al netto del valore di fondo (pari a $12.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ secondo i dati della campagna del 2013-2014). I risultati indicano che non esistono zone del territorio in cui il limite di legge per la concentrazione media annua di ossidi di azoto ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$, D.Lgs. 155/2010) risulterebbe superato. I valori maggiori di concentrazione al suolo si rilevano nell'area industriale NIP, in corrispondenza delle tre aziende (ZML, Fonderie Pandolfo e Siap) seconde contributrici all'emissione autorizzata. Intorno alla prima azienda contributtrice (Buzzi), l'impatto in ricaduta risulta minore, pur essendo maggiore il flusso in emissione, grazie alle caratteristiche del camino (sorgente elevata). Ci sarebbe quindi margine per autorizzare l'insediamento di altre aziende che emettono ossidi di azoto nel territorio.

3.6 Idrocarburi Policiclici Aromatici, IPA

In Figura 12 sono rappresentati gli isocontorni corrispondenti al valor medio annuo della concentrazione di IPA calcolata al livello del suolo. I valori, espressi in $\mu\text{g}/\text{m}^3$, sono rappresentati al netto del fondo non essendo disponibili valori di concentrazione ambiente per gli idrocarburi policiclici aromatici dalle campagne di monitoraggio realizzate nel territorio comunale. Gli isocontorni indicano che il valore medio annuo di concentrazione nel punto di massima ricaduta è pari a $1.10 \text{ ng}/\text{m}^3$. Il D.Lgs. 155/2010 fissa un limite pari a $1 \text{ ng}/\text{m}^3$ per il valore medio annuo di concentrazione di benzo(a)pyrene (BaP) (uno dei principali composti appartenenti alla classe degli IPA). Se gli IPA massimi ammessi in emissione dalle aziende insediate fossero BaP, considerato che il valor medio annuo di concentrazione di BaP misurato a Pordenone (via Marconi) nell'anno di riferimento (2017) è pari a $0.5 \text{ ng}/\text{m}^3$, la concentrazione media annua comprensiva del fondo risulterebbe pari a $1.60 \text{ ng}/\text{m}^3$ nel punto di massima ricaduta, al di sopra del limite di legge.

4. Discussione

Il censimento delle fonti emissive realizzato attraverso l'analisi dei documenti autorizzativi pubblicamente accessibili ha permesso di costruire un database utile per localizzare, caratterizzare e quantificare i flussi di inquinanti immessi in atmosfera nel territorio comunale di Maniago (area industriale e non) e nelle aree limitrofe. Le fonti industriali che contribuiscono all'emissione sono numerose (309 punti censiti) e abba-

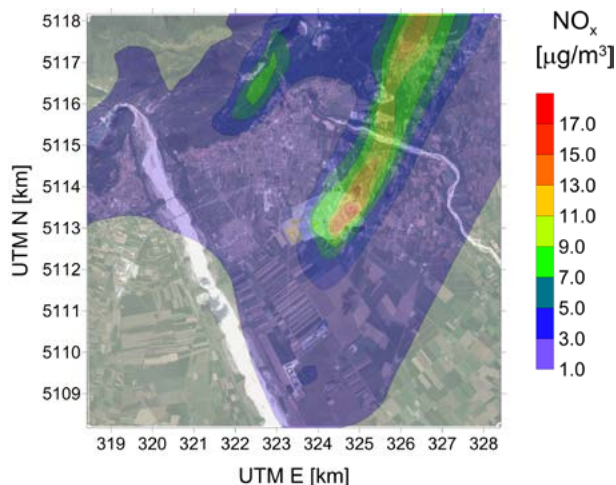


Figura 11. Concentrazione al suolo di ossidi di azoto corrispondente allo scenario di massima emissione autorizzata: valore medio annuo. I valori di concentrazione appartengono all'intervallo $[0.353 \cdot 10^{-1} \div 4.17 \mu\text{g}/\text{m}^3]$ al netto del livello di fondo, e all'intervallo $[12.7 \div 16.9 \mu\text{g}/\text{m}^3]$ comprensivo del fondo. Il limite di riferimento per la concentrazione media annua di ossidi di azoto, pari a $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$, non risulta superato.

stanza diversificate in termini di tipologia di inquinanti autorizzati. Dalle autorizzazioni all'emissione esistenti, rilasciate in un arco temporale molto ampio, sono stati estratti i limiti di emissione relativi ad una serie di inquinanti specifici e i valori di portate autorizzate ai camini. Questi dati hanno permesso di ricavare i flussi emissivi attualmente autorizzati ("scenario emissivo di massima emissione autorizzata"), sostanzialmente diversi da quelli associati all'emissione reale, ma utili per identificare i margini ambientali disponibili per autorizzare l'insediamento di ulteriori aziende.

I dati raccolti nel database forniscono una visione aggregata su base comunale delle emissioni già autorizzate, con la possibilità di identificare la distribuzione spaziale dei punti emissivi e l'entità del contributo in emissione di singole aziende.

In questo lavoro, è stato anche sviluppato un modello di dispersione a scala locale per valutare l'impatto delle fonti censite: il modello può essere utilizzato dal Comune di Maniago per guidare le scelte autorizzative e analizzare problematiche ambientali.

I dati di emissione autorizzata, utilizzati in ingresso al modello di dispersione, permettono di valutare gli impatti e la loro variazione a fronte di modifiche dello scenario emissivo.

Il modello di dispersione può essere facilmente adattato per modellare l'attuale livello di qualità dell'aria (utilizzando i reali flussi emissivi piuttosto che quelli massimi autorizzati) o per valutare l'impatto a fronte di emissioni incidentali (aumentando il flusso emissivo in corrispondenza di sorgenti critiche).

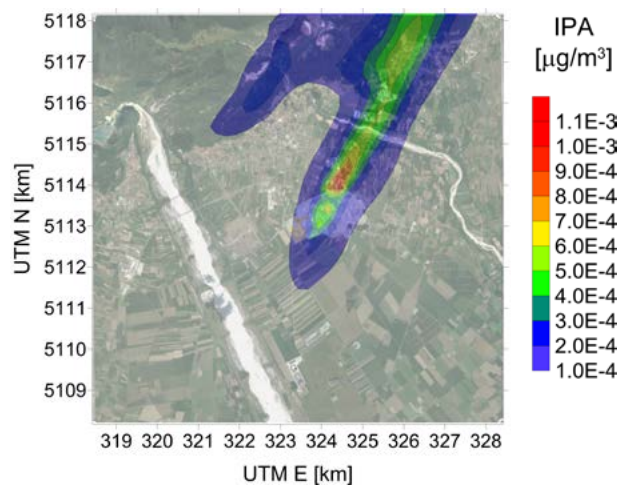


Figura 12. Concentrazione al suolo di IPA corrispondente allo scenario di massima emissione autorizzata per le aziende insediate nel Comune di Maniago: valore medio annuo. I valori di concentrazione appartengono all'intervallo $[0.118 \cdot 10^{-4} \div 0.110 \cdot 10^{-2} \mu\text{g}/\text{m}^3]$ al netto del livello di fondo.

L'analisi del database delle emissioni e i risultati ottenuti dall'esecuzione del modello di dispersione hanno permesso di evidenziare che, sulla base dei dati censiti:

- l'emissione massima ammessa di polveri risulta controllata da quattro aziende, Bioman, ZML Industries, Buzzi Unicem e Siap, responsabili rispettivamente del 55.68%, 19.78%, 9.52% e 6.95% dell'emissione totale; l'impatto generato da queste emissioni determina il superamento del limite di concentrazione giornaliera di polveri ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) per più di 35 volte nell'anno in un'area circoscritta dal perimetro della ditta Bioman. Considerando la media sull'anno della concentrazione di polveri (che non dovrebbe superare i $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$), le mappe di ricaduta indicano il superamento del limite all'interno del perimetro della Bioman. La concentrazione media annua nel punto di massima ricaduta risulta pari a $115 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Una elevata emissione di polveri potrebbe quindi rappresentare un aspetto critico per l'insediamento di nuove aziende all'interno dell'area del Comune di Maniago soprattutto se gli insediamenti fossero previsti nell'area prossima alla Bioman;
- l'emissione massima ammessa di metalli totali risulta controllata da quattro aziende, Inossman, Siap, Kollant e Buzzi Unicem, responsabili rispettivamente del 38.9%, 12.5%, 10.4% e 10.3% dell'emissione totale; l'impatto generato da queste emissioni determina il raggiungimento di una concentrazione media annua di metalli totali pari a $0.673 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in corrispondenza del punto di massima ricaduta, situato in prossimità della Inossman. Un secondo massimo di ricaduta è localizzato in prossimità della STM. Nell'area estesa da SE a NO che interessa la porzione nord-orientale dell'area NIP e i territori circostanti,

la concentrazione media annua di metalli totali si attesta intorno a $0.05 \mu\text{g}/\text{m}^3 = 50 \text{ ng}/\text{m}^3$; questo valore risulta dieci volte inferiore del valore obiettivo di concentrazione media annua fissato per il Piombo, e superiore (di 8 volte, 10 volte e 2.5 volte) rispetto ai valori obiettivo fissati per Arsenico, Cadmio e Nichel; l'insediamento di nuove aziende all'interno dell'area comunale potrebbe quindi risultare critico in presenza di emissioni consistenti di specifiche tipologie di metalli (Arsenico, Cadmio e Nichel);

- l'emissione massima ammessa di formaldeide risulta determinata da tre aziende, Inossman, Fasma e ZML, responsabili rispettivamente del 54.3%, 24.7% e 21.0% dell'emissione totale; l'impatto generato da queste emissioni determina il raggiungimento di una concentrazione media annua di formaldeide pari a $0.661 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in corrispondenza del punto di massima ricaduta, situato in prossimità della Inossman. La concentrazione media annua di formaldeide risulta superiore a $0.05 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nell'area estesa da SE a NO che interessa la porzione nord orientale dell'area NIP e i territori circostanti in direzione di Fanna. Non disponendo di un valore di riferimento utile per valutare il valore di fondo e l'importanza relativa di questa ricaduta, non è possibile dire se una elevata emissione di formaldeide potrebbe rappresentare un aspetto critico per l'insediamento di nuove aziende all'interno del territorio comunale di Maniago;
- l'emissione di Ossido di Azoto risulta determinata da quattro aziende, Buzzi Unicem, ZML, Fonderie Pandolfo e Siap, responsabili rispettivamente del 56.5%, 19.2%, 9.41% e 8.20% dell'emissione totale; l'impatto generato da queste emissioni determina il raggiungimento di una concentrazione media annua di NO_x in corrispondenza del punto di massima ricaduta, situato presso Siap, pari a $16.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ al netto del valore di fondo e a $29.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ tenendo conto del valore di fondo. Questo valore è abbastanza prossimo al valore limite ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$) medio annuo di NO_x da indicare una potenziale criticità per ulteriori insediamenti. La concentrazione oraria di NO_x raggiunge un valore massimo orario pari a $2923.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ al netto del fondo; il limite di legge orario, pari a $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ da non superarsi più di 18 volte nell'anno, non risulta rispettato in un'area circoscritta all'interno dell'area NIP che comprende la zona di insediamento di ZML e nell'area boschiva a Nord dell'abitato di Maniago. L'emissione di NO_x sembra quindi rappresentare un aspetto critico per l'insediamento di nuove aziende all'interno del territorio comunale di Maniago;
- l'emissione di Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA) risulta determinata da tre aziende, Buzzi Unicem,

Inossman e Fonderie Pandolfo, responsabili rispettivamente del 38.6%, 33.8% e 27.6% dell'emissione totale; l'impatto generato da queste emissioni determina il raggiungimento di una concentrazione media annua di IPA in corrispondenza del punto di massima ricaduta, situato presso Inossman, pari a $1.10 \text{ ng}/\text{m}^3$ (al netto del valore di fondo, non disponibile). Prendendo come riferimento il livello di fondo di BaP rilevato a Pordenone, via Marconi ($0.5 \text{ ng}/\text{m}^3$) e il limite di legge per la concentrazione media annua di BaP ($1 \text{ ng}/\text{m}^3$), l'impatto dovuto agli IPA risulta significativo all'interno dell'intera area NIP di Maniago ed in una fascia di territorio circostante estesa in direzione SO-NE. L'emissione di IPA rappresenta, nello scenario di emissione attualmente autorizzato, un fattore potenzialmente critico per l'insediamento di altre aziende.

I risultati del modello indicano che, sulla base delle emissioni già autorizzate, gli insediamenti esistenti sono potenzialmente in grado di generare pressioni critiche sull'ambiente rispetto ad alcune specie inquinanti (polveri, ossidi di azoto e IPA). L'autorizzazione di ulteriori contributi emissivi di questi inquinanti dovrebbe quindi essere valutata con estrema cautela dagli enti preposti.

Lo studio realizzato rappresenta il primo passo per lo sviluppo di modelli avanzati per la gestione degli impatti ambientali. È necessario procedere al consolidamento e alla convalida del database delle emissioni industriali censite, ottenibile attraverso il coinvolgimento diretto della Aziende insediate nel territorio comunale, in modo da verificare puntualmente la corrispondenza tra le caratteristiche censite e reali delle sorgenti emissive; la compilazione del database relativo ai ratei emissivi attesi nelle normali condizioni di funzionamento degli impianti industriali (dati di portata e concentrazione riportati nei rapporti di prova periodicamente prodotti secondo le prescrizioni autorizzatorie per l'esercizio delle attività produttive), permetterebbe di arrivare ad una caratterizzazione delle sorgenti emissive rappresentativa delle condizioni di normale operatività degli impianti, decisamente utile per prevedere l'evoluzione della qualità dell'aria locale nel breve termine. ■

Riferimenti bibliografici

- Abdul-Wahab S.A., Al-Rawas G.A., Ali S., Al-Dhamri H. (2016) Assessment of greenhouse CO_2 emissions associated with the cement manufacturing process, *Environmental Forensics*, 17(4): 338-354.
- Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale del Friuli-Venezia Giulia, SOC Stato dell'Ambiente, SOS Qualità dell'Aria, CRMA - Centro Regionale di Modellistica Ambientale, Relazione sulla Qualità

- dell'Aria nella Regione Friuli-Venezia Giulia - Anno 2017, 7 Giugno 2018.
- Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente del Friuli-Venezia Giulia, Relazione sui monitoraggi della qualità dell'aria nella Zona Industriale di Rivoli di Osoppo (anni 2015-2018).
 - Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente del Friuli-Venezia Giulia, Dipartimento Provinciale di Pordenone, Monitoraggio della qualità dell'aria ambiente – Zona industriale NIP, Maniago-Campagna (Luglio 2012 – Giugno 2013).
 - Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente del Friuli-Venezia Giulia, Relazione sulla qualità dell'aria, Zona industriale NIP, Maniago-Campagna (sito di monitoraggio Asilo nido consortile, vale Venezia) (Agosto 2013 – Luglio 2014).
 - Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente del Friuli-Venezia Giulia, SOC Stato dell'Ambiente, SOC Qualità dell'aria, CRMA– Centro Regionale di Modellistica Ambientale, Relazione sulla qualità dell'aria presso le zone industriali della pedemontana pordenonese, Parte I: Maniago, Travesio e Vivaro, Luglio 2017–Giugno 2019.
 - Chen S.P., Wang C.H., Lin W.D., Tong Y.H., Chen Y.C., Chiu C.J., Chiang H.C., Fan C.L., Wang J.L. (2018) Air quality impacted by local pollution sources and beyond - Using a prominent petro-industrial complex as a study case. *Environmental pollution*, 236: 699-705.
 - Curci G., Cinque G., Tuccella P., Visconti G., Verdecchia M., Iarlori M., Rizi V. (2012), Modelling air quality impact of a biomass energy power plant in a mountain valley in Central Italy *Atmospheric Environment*, 62:248-255.
 - Ghannam K., El-Fadel M. (2013) A framework for emissions source apportionment in industrial areas: MM5/CALPUFF in a near-field application. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 63(2): 190-204.
 - Ghannam K., El-Fadel M. (2013) Emissions characterization and regulatory compliance at an industrial complex: An integrated MM5/CALPUFF approach, *Atmospheric Environment*, 69: 156-169.
 - Krishna T.V.B.P.S.R., Reddy M.K., Reddy R.C., Singh R.N. (2005) Impact of an industrial complex on the ambient air quality: Case study using a dispersion model. *Atmospheric Environment*, 39 (29): 5395-5407.
 - Lelieveld J., Klingmüller K., Pozzer A., Pöschl U., Fnais M., Daiber A., Münzel T. (2019) Cardiovascular disease burden from ambient air pollution in Europe reassessed using novel hazard ratio functions. *European Heart Journal*, 40 (22): 1590–1596.
 - Scire, J.S., Strimaitis, D.G., Yamartino, R.J. (2000a) A User's Guide for the Calpuff dispersion model, Earth Tech Inc.
 - Scire, J.S., Robe, F.R., Fernau, M.E., Yamartino, R.J. (2000b) A User's Guide for the Calmet meteorological model, Earth Tech Inc.
 - World Health Organization. Regional Office for Europe (2000) Air quality guidelines for Europe, 2nd ed., <https://apps.who.int/iris/handle/10665/107335>
 - Xu H., Zhu Y., Wang L., Lin C.J., Jang C., Zhou Q., Yu Bi., Wang, S.X., Xing, J., Yu L. (2019) Source contribution analysis of mercury deposition using an enhanced CALPUFF-Hg in the central Pearl River Delta, China, *Environmental Pollution*, 250: 1032-1043.

Ringraziamenti

Si ringrazia l'Amministrazione Comunale di Maniago per il supporto al progetto.





INGEGNERIA DELL'AMBIENTE

per il 2023 è sostenuta da:

