

*Indicazioni per l'utilizzo di tecniche modellistiche
per la simulazione della dispersione in atmosfera e
presentazione dei risultati*



Immagini generate con IA da Imagen 3 per Gemini.

Autori

La redazione di questi Indirizzi Tecnici è stata curata dal GdL “P-13 Modellistica” di Arpae, coordinato da Francesca Di Nicola (DT-SITRA) e Chiara Agostini (DT-CTR QA).

Alla stesura del documento hanno contribuito:

<i>Francesca Di Nicola</i>	<i>SITRA</i>
<i>Chiara Agostini</i>	<i>CTR Qualità dell’Aria</i>
<i>Elena Manzini</i>	<i>APA Ovest</i>
<i>Antonella Sterni</i>	<i>APA Centro</i>
<i>Sabina Bellodi</i>	<i>APA Centro</i>
<i>Pamela Ugolini</i>	<i>APA Metropolitana</i>
<i>Samuele Marinello</i>	<i>APA Est</i>
<i>Elisa Pollini</i>	<i>ST FC</i>
<i>Cristina Marconi</i>	<i>ST PR</i>
<i>Alessio Del Carlo</i>	<i>PTR Emissioni industriali</i>

Il documento è stato condiviso con i Servizi delle Aree di Prevenzione Ambientale di Arpae che si ringraziano per i contributi.

Indice

1. Scopi e campi di applicazione	4
2. Principali riferimenti tecnico-normativi	4
3. Introduzione	5
4. Impostazioni studio modellistico e set up modello	8
4.1. Dominio di studio	8
4.2. Meteorologia	10
4.3. Scenari Emissivi	14
4.4. Caratterizzazione delle sorgenti emissive	17
4.5. Scelta e definizione degli inquinanti oggetto dello studio	21
5. Presentazione dei risultati modellistici	24
6. Contenuti minimi della relazione	26
7. Valutazione di Studi Modellistici	27
8. Riferimenti bibliografici	29
A. Allegati	30
A.1. Applicazioni particolari	30
A.2. Formule di conversione	34
A.3. Input	35
A.4. Output	39
A.5. Modelli per la simulazione della dispersione di inquinanti in atmosfera	40
A.6. Indicazioni per dati di base e stima dei flussi emissivi	43

1. Scopi e campi di applicazione

Il presente documento intende fornire agli operatori di settore le indicazioni tecnico-operative per la redazione di studi modellistici sulla componente atmosferica mediante simulazione di dispersione degli inquinanti chimici e di odore (espresso in termini di concentrazione in conformità alla norma tecnica UNI EN 13725:2022) emessi da sorgenti di vario tipo.

Quanto riportato nel presente documento si applica nell'ambito delle valutazioni d'impatto ambientale, per il rilascio delle autorizzazioni o per il loro rinnovo o riesame, per ulteriori provvedimenti a carattere puntuale o pianificatorio, adottati dalla regione o dagli enti locali o per specifici studi ambientali sul tema. Tutte le indicazioni tecnico-pratiche riportate fanno riferimento a situazioni riferibili alla scala locale.

2. Principali riferimenti tecnico-normativi

- UNI 10796:2000 "Valutazione della dispersione in atmosfera di effluenti aeriformi. Guida ai criteri di selezione dei modelli matematici"
- UNI 10964:2001 "Studi di impatto ambientale. Guida alla selezione dei modelli matematici per la previsione di impatto sulla qualità dell'aria"
- D.Lgs. 152/2006 "Norme in materia ambientale"
- D.Lgs. 155/2010 "Attuazione della direttiva 2008/50/CE relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa" (Appendice III, All. XI e XIII)
- Linee Guida SNPA 28 2020 "Valutazione di impatto ambientale. Norme tecniche per la redazione degli studi di impatto ambientale"
- UNI EN 13725:2022 "Determinazione della concentrazione di odore mediante olfattometria dinamica e rateo di emissione odorigena"
- Decreto Direttoriale n. 309 del 28/06/2023: "Indirizzi per l'applicazione dell'articolo 272-bis del D.Lgs. 152/2006 in materia di emissioni odorigene di impianti e attività"

3. Introduzione

Le tecniche di modellazione sono un importante strumento di supporto nella valutazione della qualità dell'aria e delle ricadute odorigene, fornendo stime delle concentrazioni e della loro variabilità spazio-temporale. L'output della simulazione (i valori di concentrazione e/o deposizione degli inquinanti organizzati in una struttura reticolare a griglia) è ovviamente caratterizzato da un certo grado di incertezza determinato dalla composizione dell'incertezza intrinseca al modello (dovuta alla incapacità di descrivere in modo esatto tutti i fenomeni fisici) e di quella associata ai dati di ingresso allo stesso. Per descrivere il comportamento di un inquinante con un adeguato grado di approssimazione, i modelli devono essere in grado di rappresentare fenomeni di tipo:

- **fisico:** ad esempio il trasporto, la diffusione, l'innalzamento del pennacchio, ecc.,
- **chimico:** reazioni tra le varie sostanze presenti in atmosfera.

Il campo di applicabilità di un modello numerico comprende, oltre alla tipologia di problema oggetto dello studio, anche il rispetto di vincoli specifici quali:

- le risorse di calcolo necessarie e quelle disponibili,
- la disponibilità, la tipologia e la qualità dei dati di input necessari,
- il livello di dettaglio richiesto come output,
- il grado di complessità del fenomeno analizzato,
- la competenza necessaria per la sua applicazione,
- il budget.

I modelli di dispersione necessitano di un numero considerevole di dati di input tra cui:

- dati per la ricostruzione del campo di vento e del fenomeno dispersivo,
- dati necessari a caratterizzare le emissioni nello spazio e nel tempo,
- dati sulla morfologia del sito (orografia, uso del suolo, presenza di edifici, ecc.).

È necessario riportare nella relazione di presentazione dei risultati che accompagna lo studio modellistico tutti i dati e le informazioni utili per valutare i risultati ed eventualmente replicare le simulazioni presentate, impiegando lo stesso modello di dispersione o altro modello. A tal fine, si raccomanda la presentazione degli input secondo l'Allegato A3.

Selezione della tipologia di modello

La selezione del modello numerico più adeguato per condurre lo studio modellistico rappresenta un aspetto cruciale dell'intero lavoro. I criteri che concorrono alla definizione della problematica oggetto di studio e che guidano la scelta del modello sono descritti di seguito. Ciascuno di questi costituisce, inoltre, un aspetto necessario all'impostazione della simulazione modellistica, così come descritto nel capitolo 4.

Dominio di studio: in ordine di complessità crescente, i domini possono essere caratterizzati da terreni piani (aree totalmente pianeggianti oppure aree in cui è presente un singolo rilievo o una valle isolata) oppure da terreni complessi (tutti gli altri domini). Inoltre, il dominio può essere di tipo urbano (aree urbane densamente edificate), rurale (aree in aperta campagna), oppure caratterizzato dalla presenza di particolari morfologie e/o condizioni.

Scala spaziale: in ordine crescente, il modello può rappresentare fenomeni che si sviluppano su microscala (fino a 1 km), scala locale (fino a 10-20 km), scala intermedia (fino a 100-200 km) oppure su grande scala (fino a 1000-2000 km). In questo documento ci si riferisce a situazione alla scala locale (fino a 10-20 km).

Scala temporale: si distingue fra applicazioni di breve periodo o *short-term* (per lo studio di episodi critici limitati nel tempo) oppure di lungo periodo o *long-term* (per lo studio di esposizioni cumulative).

Inquinanti: possono essere di tipo gassoso o particolato e possono essere inerti o reattivi. Questi ultimi possono essere soggetti a reazioni chimiche. Anche i processi di rimozione degli inquinanti per effetto della deposizione secca ed umida contribuiscono a determinare le concentrazioni inquinanti in atmosfera. In questi casi, i modelli che intendono simulare la formazione di inquinanti secondari e la deposizione secca e umida devono includere un adeguato modulo per trattare questi processi.

Meteorologia: l'effetto della meteorologia sulla dispersione degli inquinanti in atmosfera può essere rappresentato da due fenomeni predominanti: il trasporto ad opera del campo di vento e la diffusione turbolenta. Tali fenomeni, in funzione delle caratteristiche del dominio di studio, devono essere opportunamente considerati e valutati dal modello di simulazione impiegato.

Sorgenti emissive: tipicamente, le tipologie di sorgenti maggiormente analizzate sono di tipo puntuale singole o multiple (camini degli impianti industriali), lineare (emissioni lungo i tratti stradali), areali e volumetriche (un'area industriale, fonti da riscaldamento domestico, il traffico in un quartiere urbano, zone agricole). Uno studio modellistico può considerare una singola tipologia di sorgente emissiva per volta oppure più sorgenti nell'ambito dello stesso scenario.

Regime: si parla di regime stazionario se i fenomeni sono costanti nel tempo. Al contrario, in presenza della variabile temporale, il regime si dirà evolutivo.

Individuate le caratteristiche dell'oggetto dello studio, la scelta della tipologia di modello numerico si effettua nell'ambito di famiglie di modelli, per poi identificare il codice specifico ritenuto maggiormente adatto a rappresentare l'oggetto dello studio. Per approfondimenti sui modelli di dispersione si rimanda all'Allegato A.5.

La norma UNI 10796:2000 fornisce una classificazione degli scenari di applicazione dei modelli di dispersione e descrive un approccio metodologico utile ad identificare la tipologia di codice più idonea da utilizzare. La norma, attraverso i criteri che concorrono alla definizione della problematica oggetto di studio descritti in precedenza, definisce ed articola diversi scenari di applicazione dei modelli e, per ciascuno, identifica la tipologia (famiglia) di software più idonea, i requisiti, le risorse e la tipologia di output che il suo utilizzatore può ottenere. A queste indicazioni si aggiunge quanto descritto dalla norma UNI 10964:2001 che fornisce una guida per la scelta dei modelli matematici per la valutazione della dispersione di inquinanti in atmosfera ai fini degli studi di impatto ambientale.

Pertanto, le schede riportate in appendice dalla norma UNI 10796:2000 (Schema 2 per la scala locale, schede 4, 5, 7, 9, 11) e le indicazioni della norma UNI 10964:2001 sono strumenti organizzati e rilevanti che contribuiscono in modo significativo al processo di identificazione della tipologia di modello da impiegare ai sensi del presente documento.

In generale, dato che la scala spaziale del dominio di calcolo è quella locale e che i dati meteorologici sono generalmente su base oraria, si rivela spesso adeguato, per gli inquinanti chimici, un modello di tipo gaussiano, come previsto dal D.Lgs. 155/2010 (Appendice III, Tabella 1). Vi sono, tuttavia, alcune importanti valutazioni preliminari che possono portare ad una differente scelta del modello da utilizzare (lagrangiano a “puff” o a particelle). Si riportano di seguito alcune situazioni che richiedono modelli con caratteristiche specifiche:

- simulazioni su domini spaziali caratterizzati da terreni complessi (ad esempio terreni non pianeggianti),
- presenza di un numero elevato di calme di vento (velocità del vento <0.5 m/s),
- nel caso di sorgenti verticali, il modello deve trattare l’innalzamento del pennacchio (plume rise), tenendo conto della componente sia meccanica che termica,
- nei casi specifici di presenza, alla sorgente, di deflettori, cappelli, camini orizzontali, etc., si prevede anche la possibilità aggiuntiva di una gestione della modifica della spinta di tipo meccanico. L’utilizzo di tale opzione di calcolo dovrà comunque essere opportunamente segnalata, argomentata e giustificata nella relazione di presentazione dei risultati. Tali caratteristiche del modello devono essere documentate tramite riferimenti bibliografici e letteratura tecnico-scientifica di settore.

Per le simulazioni di impatto odorigeno la scelta del modello di simulazione deve essere orientata rispetto alle seguenti tipologie, coerentemente a quanto indicato dal Decreto Direttoriale n.309 del 28/06/2023: lagrangiani a particelle, a puff e, in via residuale, modelli di tipo gaussiano evoluto, previa giustificazione della loro applicabilità rispetto al contesto ambientale di studio (presenza o meno di terreno complesso, calme di vento, ecc.).

Scelta del software specifico

Identificata la categoria di modello, è necessario scegliere il software specifico da applicare, e quando disponibili, sono preferibili i modelli “open source”. Di seguito sono riportate alcune condizioni che devono essere adottate dal proponente per la scelta del codice ritenuto più idoneo. Queste scelte devono essere adeguatamente descritte nello studio, così come le caratteristiche tecnico-scientifiche del modello selezionato.

Come viene indicato nell’appendice III del D.Lgs. 155 “tecniche di modellizzazione”, il modello deve essere di documentabile qualità scientifica ed essere stato sottoposto ad uno o più tra i metodi di valutazione in condizioni analoghe o confrontabili con i casi in cui si intende applicarlo (in riferimento al tipo di inquinante, alla risoluzione spaziale e temporale ed al tipo di orografia). Pertanto, nello studio presentato devono essere discusse e documentate le proprietà del modello con un’adeguata bibliografia tecnico-scientifica.

4. Impostazioni studio modellistico e set up modello

In questo capitolo vengono fornite indicazioni su come impostare i parametri del modello ed i dati di input necessari al software selezionato, al fine di restituire le stime previsionali della dispersione in atmosfera degli inquinanti chimici e degli odori.

La relazione descrittiva dello studio modellistico deve contenere un'analisi *ante operam* (scenario base, prima delle variazioni) ed una *post operam* (dopo le variazioni) per ciascun scenario eventualmente oggetto di valutazione. In ogni caso, la simulazione dello scenario *post operam* dovrà essere effettuata utilizzando i massimi emissivi o produttivi autorizzati per l'impianto o per impianti analoghi. In generale, l'intero studio modellistico deve essere condotto assumendo sempre le ipotesi maggiormente cautelative.

4.1. Dominio di studio

Il dominio spaziale di simulazione deve estendersi in modo tale da contenere tutte le sorgenti ed i massimi assoluti di concentrazione ad esse associati, tutti i recettori individuati e possibilmente almeno una delle eventuali postazioni di misura (meteorologica e di qualità dell'aria) impiegate nello studio. Per le valutazioni di impatto odorigeno, il dominio spaziale di simulazione deve estendersi in modo tale da comprendere almeno la curva di iso-concentrazione dell'odore pari a $1 \text{ ou}_E/\text{m}^3$ corrispondente al 98° percentile delle concentrazioni di picco orario su base annuale.

Griglia di calcolo

Il passo della griglia di calcolo deve essere minore o uguale alla distanza fra il recettore e il punto più prossimo del confine di pertinenza dell'impianto. In generale, se l'area di ricaduta di interesse è locale, si consiglia un passo di griglia dell'ordine dei 100 metri (o inferiore). Nella presentazione dello studio devono essere specificati:

- dimensioni del dominio di simulazione e coordinate geografiche dell'origine (vertice sud-ovest),
- passo della griglia di calcolo,
- quota della simulazione rispetto al suolo (quota a cui si riferiscono i risultati, solitamente livello del suolo o 2 m).

Si precisa che tutti gli elementi notevoli dello studio di impatto (sorgenti, recettori, griglia di calcolo, edifici, punti di monitoraggio, ecc.) devono essere georeferenziati nello stesso sistema di coordinate. **Si raccomanda fortemente il sistema di riferimento ETRS89 UTM 32 (EPSG 25832).** Per maggiori dettagli sulle specifiche tecniche del sistema di riferimento di coordinate (CRS), si rimanda a quanto riportato in <https://spatialreference.org/>.

Recettori

I recettori corrispondono a punti di particolare sensibilità o interesse presso i quali quantificare puntualmente il contributo degli inquinanti atmosferici e/o dell'odore. Questi devono essere selezionati secondo i seguenti criteri:

- recettori potenzialmente più impattati dall'opera, intesi anche come siti isolati adibiti ad uso abitativo temporaneo o potenziale,
- i recettori devono comprendere tutti i locali ad uso collettivo (scuole, ospedali, ecc.) ricadenti nel dominio di simulazione, anche se isolati,
- almeno un recettore deve essere individuato presso ciascuno dei centri abitati (come definito dall'art. 3 del D.Lgs. n. 285 del 30/04/1992 e s.m.i.) e presso le aree destinate a futura espansione residenziale dagli strumenti di pianificazione territoriale, se presenti, ricadenti nelle zone maggiormente impattate dall'opera,
- in caso sia presentata la proposta di un Progetto di Monitoraggio Ambientale (PMA), devono essere inclusi nell'elenco dei recettori anche i punti dove sono previste le misure del PMA,
- se all'interno del dominio di calcolo sono presenti stazioni della Rete Regionale di rilevamento della Qualità dell'Aria (RRQA), i dati rilevati da queste dovranno essere presi in considerazione.

Nella relazione di presentazione dei risultati è necessario indicare, per ciascun recettore identificato, le coordinate geografiche, la quota, la destinazione d'uso, la distanza dalla sorgente ed una loro breve descrizione ed inquadramento nel contesto territoriale con rappresentazione su mappa.

Nelle valutazioni di impatto odorigeno, per i recettori sensibili dovranno essere specificati anche i riferimenti utilizzati (in primis il vigente strumento di pianificazione urbanistica comunale) per l'attribuzione delle classi di sensibilità (Tabella 3 - DD n.309 del 28/06/2023).

Presenza di orografia complessa

Nei casi in cui il territorio incluso nel dominio spaziale risulti caratterizzato dalla predominanza di elementi orografici (valli, colline, montagne) o di variazione del tipo di suolo (linea di costa, area urbana/area rurale) tali da renderlo un terreno complesso, il modello impiegato deve essere in grado di valutare adeguatamente l'effetto di queste condizioni non omogenee sulla dispersione degli inquinanti in atmosfera. In tal caso, il proponente dovrà descrivere opportunamente i seguenti elementi:

- l'approccio del modello per il trattamento dell'orografia complessa,
- la risoluzione del modello digitale del terreno (DTM: Digital Terrain Model) da cui sono estratti i dati di input al processore che gestisce l'orografia, indicando la fonte e la quota del terreno per ciascuno dei recettori.

I dati orografici, inoltre, risultano necessari per la costruzione del campo di vento e delle caratteristiche superficiali (lunghezza di rugosità o *roughness length*) che influenzano la dispersione e la deposizione al suolo.

4.2. Meteorologia

I dati meteorologici usati per la simulazione con il modello di dispersione dovranno essere rappresentativi del dominio di studio. Questa condizione può essere difficile da ottenere e occorrerà valutare attentamente caso per caso se i dati possano o meno essere considerati rappresentativi, motivo per cui sarà cura del proponente fornire tutti gli elementi in suo possesso per questa valutazione.

L'entità e la tipologia dei dati meteorologici richiesti dal modello dipendono dalla complessità del modello stesso. In generale, i dati richiesti, indipendentemente dal modello utilizzato, sono velocità e direzione del vento al suolo, temperatura al suolo e gradiente termico verticale, umidità dell'aria, pressione atmosferica, tasso di precipitazione. Da questi dati, i modelli che predispongono gli input meteorologici per la simulazione della dispersione sono in grado di calcolare alcuni parametri micrometeorologici come l'altezza dello strato di rimescolamento, classe di stabilità, lunghezza di Monin-Obukhov, velocità di attrito con la superficie, ecc.. A seconda del tipo di modello utilizzato potranno essere sufficienti dati alla superficie, ovvero potranno essere necessari anche dati in quota (ad esempio il profilo verticale della temperatura). I parametri più critici, a cui dovrà essere dedicata la massima attenzione, sono velocità e direzione del vento alla superficie.

Le stazioni meteo al suolo utilizzate devono preferibilmente provenire dalla rete di monitoraggio regionale gestita dalla rete delle Agenzie afferenti a SNPA (Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente) o dalle Regioni, oppure dalla rete internazionale di stazioni meteorologiche WMO (World Meteorological Organization). A quest'ultima si dovrà fare riferimento per i dati delle stazioni in quota (radiosondaggi). Altre fonti dati diverse da quelle sopra descritte potranno essere ammesse solo se debitamente supportate da documentazione attestante l'origine e la validità delle misure.

L'anno di riferimento per le simulazioni dovrà essere scelto tra i cinque più recenti rispetto alla data della simulazione, escludendo gli anni caratterizzati da una meteorologia particolarmente dispersiva. A tal fine l'anno peggiore sarà individuato in riferimento alla media annuale per il PM_{10} misurato nella/e stazione/i più vicina/e al dominio di studio.

Al fine di effettuare il confronto con i limiti normativi previsti per gli indicatori annuali di qualità dell'aria e con i valori di accettabilità dell'odore, le simulazioni dovranno essere effettuate su un anno civile (1 gennaio - 31 dicembre).

Input Meteorologici

Se i dati provengono da una stazione di misura, questa dovrà in tutti i casi rispettare i seguenti requisiti minimi:

- l'anemometro dovrà essere posto ad almeno 2 m di altezza,
- l'anemometro dovrà essere posto più in alto di tutti gli ostacoli circostanti,
- non dovranno essere presenti ostacoli nella direzione di provenienza dei venti prevalenti.

La soluzione ottimale è l'impiego di dati di una stazione meteorologica posta a meno di 10-15 km di distanza, che rispetti i criteri WMO (WMO, 2023 - [CIMO guide, cap. 5¹](#)), in particolare:

- tutti gli ostacoli devono trovarsi a una distanza pari ad almeno 10 volte la loro altezza,
- se l'anemometro è situato sul tetto di un edificio, deve essere posto ad un'altezza rispetto al tetto pari almeno alla larghezza dell'edificio,
- se l'anemometro è agganciato ad una torre o traliccio, deve sporgere da questo per una distanza pari almeno a 3 volte la larghezza della torre.

In condizioni di terreno complesso (non pianeggiante) si richiede, inoltre, che la stazione sia posta in una situazione orografica simile a quella dell'impianto oggetto di valutazione: nella stessa valle e in un punto in cui le caratteristiche topografiche siano le stesse del sito oggetto della valutazione.

Se i dati provengono da una stazione che rispetta i requisiti minimi, ma non quelli WMO, sarà necessaria un'analisi approfondita dei dati e sarà cura del proponente fornire gli elementi che permettano di verificare se i dati possano essere considerati rappresentativi del dominio della simulazione. Ad esempio:

- confronto qualitativo con stazioni che rispettino i criteri WMO poste a distanza maggiore e in un contesto orografico simile,
- qualora si utilizzi una stazione posta a distanza maggiore di 10-15 km, confronto con campagne di misura limitate nel tempo, compiute nel sito dell'impianto,
- i periodi di misura devono essere rappresentativi delle diverse condizioni meteorologiche che si verificano nel corso dell'anno,
- confronto con i dati di un modello numerico.

In caso di assenza di stazioni meteo rappresentative, sarà possibile utilizzare dati provenienti da fonti diverse (ad esempio: velocità e direzione del vento da una stazione e i rimanenti parametri da una diversa stazione, oppure dati superficiali da una stazione e dati in quota da un modello numerico).

L'input meteorologico può essere ricavato dall'output numerico di un modello di tipo prognostico anche a completamento dei dati forniti direttamente dalla stazione meteorologica. L'uso di un modello meteorologico prognostico e/o diagnostico deve essere sempre supportato da documentazione e da riferimenti bibliografici che ne descrivano dettagliatamente l'origine e ne attestino la validità scientifica. Nel caso in cui i dati provengano da un modello numerico questo dovrà essere opportunamente validato. In terreno complesso, il modello dovrà, inoltre, avere una risoluzione adeguata a descrivere le caratteristiche topografiche rilevanti del dominio di studio. In situazioni di orografia complessa, il campo di vento nel dominio di simulazione dovrà essere ricostruito con un modello meteorologico diagnostico (mass consistent) o prognostico.

Qualora siano richiesti dati meteorologici in quota, questi potranno provenire da:

- osservazioni in loco (profilatori di temperatura, etc.),

¹ <https://library.wmo.int/viewer/68695/?offset=#page=230&viewer=picture&o=bookmark&n=0&q=>

- dati stimati con un modello meteorologico, eventualmente integrati con quelli misurati alla superficie,
- dati di radiosondaggio, integrati con quelli misurati alla superficie, a condizione che il radiosondaggio possa essere considerato rappresentativo delle condizioni meteorologiche in quota del sito dell'impianto.

Se il dominio di calcolo ha dimensioni ridotte (minore di 15x15 km²), sarà possibile impiegare i dati relativi a un unico punto. In caso contrario, i dati meteorologici dovranno essere definiti su una griglia.

La frequenza originaria di registrazione dei dati meteo deve essere almeno oraria, coerentemente con la scansione richiesta per le simulazioni di dispersione. Nel caso in cui la frequenza originaria di registrazione dei dati meteo sia superiore a quella oraria, dovrà essere riportato nello studio il metodo di calcolo utilizzato per ottenere i dati su base oraria. Per ciascun parametro, la percentuale ammessa di dati assenti/invalidi dovrebbe essere inferiore al 10% su base annua e al 25% su base mensile; non deve comunque essere superiore al 20% su base annua e al 50% su base mensile.

Il proponente, nella relazione di presentazione dei risultati, a seconda dei casi, dovrà riportare le seguenti informazioni:

- coordinate delle stazioni meteo impiegate nello studio,
- quota dell'anemometro rispetto al suolo,
- coordinate, numero di nodi, passo e livelli verticali griglia modello prognostico,
- coordinate, numero di nodi, passo e livelli verticali griglia di calcolo modello diagnostico,
- dati meteorologici di input,
- rosa dei venti relativa al periodo di simulazione,
- descrizione statistica delle velocità del vento,
- principali statistiche descrittive relative ai parametri micrometeorologici di riferimento (LMO, Hmix, etc.).

Nella relazione di presentazione dei risultati dovrà essere illustrato il processore meteorologico impiegato per ottenere i parametri micrometeorologici (altezza dello strato limite atmosferico Hmix, lunghezza di Monin Obukhov LMO, velocità di attrito superficiale, velocità convettiva di scala, ecc.). È fortemente sconsigliato, e deve pertanto essere giustificato, l'impiego alternativo delle classi di stabilità discrete (ad esempio classi di Pasquill – Gifford-Turner), in luogo dei parametri continui di turbolenza.

Per caratterizzare in modo più completo la robustezza e la bontà della simulazione modellistica dovranno essere presentate le seguenti informazioni:

- percentuale dei dati validi di velocità e direzione del vento sul totale delle ore di simulazione,
- percentuale dei dati di velocità del vento con valori inferiori a 0.5 m/s, sul totale dei dati validi,

- statistiche descrittive della velocità del vento, sempre riferita alla quota di riferimento di 10 m rispetto al suolo, sull'intero periodo di simulazione: minimo, massimo, media, moda, mediana, 25° percentile, 75° percentile.

Inoltre, Arpae potrà richiedere in formato digitale:

- l'intero set di dati meteo grezzi (a monte di qualunque elaborazione),
- l'intero set di dati utilizzati in input alle simulazioni di dispersione (a valle di tutte le elaborazioni eseguite, incluse le elaborazioni del pre-processore meteorologico).

I dataset in input dei modelli saranno utilizzati da Arpae per le sole finalità di verifica. L'Agenzia si impegna a non consentire l'accesso ai dati a soggetti non autorizzati e a non diffondere i dati, anche in forma parziale.

Trattamento delle calme di vento

L'analisi meteorologica che deve essere condotta attraverso l'elaborazione statistica di misure rilevate da una o più stazioni meteorologiche ritenute rappresentative delle condizioni meteo del dominio di studio, deve prevedere una valutazione dedicata al fenomeno delle calme di vento (casi con velocità del vento < 0.5 m/s). A tal fine occorre fare riferimento alla misura del vento alla quota di riferimento di 10 m rispetto al suolo. Se si utilizzano stazioni con sensore a una quota inferiore occorre calcolare il vento a 10 m utilizzando la seguente formula che descrive il profilo logaritmico della velocità del vento in condizioni di stabilità atmosferica neutra:

$$V_{10} = V_H \frac{\ln\left(\frac{10}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{H}{z_0}\right)} \quad \text{Equazione 1}$$

dove z_0 è la rugosità superficiale ("roughness length" espressa in m) e H è l'altezza di misura (in metri).

Qualora si determini una percentuale significativa di eventi di calma di vento (superiore al 20% su base annuale), è necessario impiegare un modello che dispone di un metodo dedicato al trattamento dei fenomeni di calma di vento. Infatti, i modelli meno evoluti e complessi rimuovono dal campo meteorologico le ore con velocità del vento inferiore ad un valore soglia, oppure approssimano le calme di vento a situazioni con una velocità media oraria uguale a 0.5 m/s. Questo approccio, se applicato ad un numero significativo di ore nel corso di una annualità, determina una valutazione della dispersione degli inquinanti meno rappresentativa delle reali condizioni dell'area studio.

Pertanto, nello studio modellistico il proponente dovrà specificare e descrivere la frequenza (su base annuale) degli eventi di calma di vento all'interno del dominio di studio ed il metodo adottato dal modello per il loro trattamento.

4.3. Scenari Emissivi

4.3.1. Impianti Produttivi

La simulazione dovrà prendere in esame tutte le sorgenti di emissione dell'impianto oggetto dello studio, caratterizzate da un regime regolare e continuativo nel tempo. L'eventuale esclusione di una o più sorgenti di emissione deve essere opportunamente motivata. Sono escluse dall'elaborazione le emissioni fuggitive (fuoriuscite irregolari e transitorie), ad eccezione dell'odore, per il quale la fattibilità di inserire o meno all'interno di un modello di dispersione atmosferica sorgenti di tipo fuggitivo viene determinata da valutazioni caso specifiche che tengono conto dei margini tecnici di caratterizzazione a livello olfattometrico.

Per la stima dell'impatto olfattivo devono essere considerate tutte le sorgenti di emissione dell'impianto oggetto dello studio. In generale, si considerano significative le sorgenti per le quali la portata di odore sia maggiore di 500 ou_E/s, ad eccezione delle sorgenti con concentrazione di odore massima inferiore a 80 ou_E/m³, indipendentemente dalla portata volumetrica emessa. In ogni caso deve essere data evidenza, almeno in forma riassuntiva e tabellare, di tutte le fonti di emissione odorigena presenti, indipendentemente dalla loro effettiva modellizzazione. L'esclusione dal calcolo modellistico di eventuali sorgenti non significative è condizionata dalla presentazione di elementi di giudizio di tipo oggettivo che ne giustifichino la scelta. Un insieme di sorgenti può essere ritenuto trascurabile se corrispondente ad un rateo emissivo di odore inferiore al 10% di quello complessivo dello stabilimento e comunque contemporaneamente non superiore a 500 ou_E/s, ferma restando la possibilità di richiederne comunque l'inserimento nella modellizzazione qualora l'Autorità competente lo ritenga necessario.

Per alcuni contesti, anche su richiesta dell'Autorità competente o di Arpa, occorrerà modellizzare uno scenario cumulativo che comprenda le principali fonti emissive di tipologia analoga per gli inquinanti studiati. Poiché gli impatti non significativi se valutati singolarmente, possono diventare significativi se combinati con altri impatti, lo studio cumulativo aiuterà a indagare i contesti critici nei quali più sorgenti contribuiscono allo scadimento della qualità dell'aria.

In base all'obiettivo dello studio modellistico si possono individuare diversi scenari emissivi da modellizzare, che possono essere ricondotti alle seguenti casistiche:

1. Nuovi impianti:

In questo caso dovranno essere considerate tutte le emissioni per cui viene richiesta l'autorizzazione, associate ai pertinenti limiti previsti dalla normativa nazionale, regionale o contenuti nelle BAT (Best Available Techniques) conclusions di settore (BAT-AEL).

Per gli odori, si dovrà condurre la valutazione modellistica relativa all'impatto odorigeno per gli impianti e/o attività aventi un potenziale impatto odorigeno (Tabella 1 - DD n.309 del 28/06/2023). In assenza di limiti definiti dalle BAT (Best Available Techniques) conclusions di settore (BAT-AEL) è opportuno avvalersi di dati empirici

riferiti ad impianti simili o di bibliografia tecnico-scientifica, cautelativamente maggiorati in modo da considerare il ‘caso peggiore’ (ad esempio, il più elevato dei livelli di concentrazione prodotti nelle diverse condizioni di funzionamento dell’impianto).

Il proponente ha facoltà di eseguire anche simulazioni, in aggiunta a quella relativa ai valori massimi autorizzati, per valutare uno scenario emissivo più aderente alle reali condizioni di esercizio. Per tali simulazioni potranno essere utilizzati dati sperimentali tratti da monitoraggi eseguiti su impianti simili o da pubblicazioni scientifiche riportando le fonti e le considerazioni fatte.

2. Modifiche di impianti esistenti:

In questo caso dovrà essere svolta una valutazione dello scenario emissivo esistente (*ante operam*) utilizzando, per i parametri di interesse, i limiti autorizzati (per gli odori potranno essere utilizzati i valori obiettivo o riferimenti funzionali) ed una valutazione dello scenario di progetto (*post operam*), con il quale saranno valutate le sorgenti già autorizzate e le sorgenti di progetto (con le emissioni specificate al punto 1).

La valutazione modellistica dell’impatto odorigeno dovrà essere condotta nel caso di installazione di impianti e/o avvio di attività aventi un potenziale impatto odorigeno, in caso di modifiche ritenute significative dall’Autorità competente e in presenza di pregresse segnalazioni verificate.

Al fine di valutare uno scenario emissivo più aderente alle condizioni reali di esercizio, oltre alla simulazione con i limiti autorizzati si potrà, sulla base dell’opportunità valutata dal proponente, condurre una simulazione con le emissioni derivate dal sistema di monitoraggio in continuo (SME), se presente, o con le concentrazioni desunte da controlli e/o autocontrolli rappresentativi della situazione prima della modifica richiesta.

Eventuali scelte diverse da queste indicazioni dovranno essere opportunamente giustificate.

4.3.2. Infrastrutture stradali

In base all’obiettivo dello studio modellistico si possono individuare diversi scenari emissivi da modellizzare riferibili sia al caso di realizzazione di nuove infrastrutture stradali sia di modifiche di quelle esistenti. Oltre allo scenario emissivo *ante operam* e lo scenario *post operam* (con le variazioni), si dovrà valutare la necessità anche di uno scenario *post operam* a lungo termine senza la nuova infrastruttura. Le sorgenti emissive da considerare devono comprendere le tratte di interesse, ma anche le principali arterie stradali ad esse connesse con particolare riferimento a quelle nuove o esistenti che risentono di una variazione dei flussi di traffico.

Si evidenzia che uno scenario emissivo potrebbe anche essere collegato alla sola modifica del contesto in esame, ad esempio una variazione (incremento) del traffico, senza una effettiva modifica delle infrastrutture presenti.

I flussi veicolari necessari alle stime emissive dovranno essere desunti dalle risultanze dello studio del traffico associato che conterrà, come minimo, i flussi veicolari distinti per tipologia (almeno automobili, veicoli commerciali e pesanti) nell'ora di punta, individuata tra quella più critica tra la mattutina e la pomeridiana/serale del giorno ferial medio. Questo approccio è preferibile nel caso di situazioni particolarmente complesse, quali ad esempio: infrastrutture stradali, poli logistici, centri commerciali. Nel caso di interventi più contenuti si faccia riferimento al carico urbanistico, ai rilievi stradali o a dati progettuali. In riferimento a questi metodi siano esplicitate le modalità di elaborazione dei dati.

Per ogni scenario emissivo individuato dovrà essere esplicitata la metodologia di valutazione utilizzata, specificando:

- i fattori di emissione espressi in g/km/veicolo,
- l'anno di riferimento,
- la tipologia di guida considerata,
- le distanze percorse, espresse in km,
- le emissioni totali giornaliere o annuali per ciascun inquinante indagato suddivisi per categoria di veicoli,
- i flussi emissivi per ciascun inquinante, espressi in g/h/km e riferiti all'ora di punta scelta,
- le modulazioni temporali (orarie, settimanali e mensili o stagionali) rispetto all'ora di punta stessa.

Per la caratterizzazione del parco veicolare dovrà essere indicata la fonte dei dati. Le emissioni da trasporto su strada possono essere calcolate utilizzando preferibilmente i fattori di emissione derivanti dalla [banca dati dei fattori di emissione medi del trasporto stradale in Italia di ISPRA](#)² elaborati secondo la metodologia descritta nell' EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook³. Altri fattori di emissione applicati dal proponente, elaborati secondo la stessa metodologia, dovranno essere opportunamente descritti.

Per la caratterizzazione delle sorgenti lineari si rimanda al paragrafo 4.4.2..

4.3.3. Attività che generano polverosità diffusa

Lo studio modellistico per le attività che generano polverosità diffusa, generalmente legate a lavorazioni in cava o in cantieri, deve prevedere la stima delle emissioni provenienti dalle principali operazioni imputabili a tali attività, come ad esempio: la produzione, la manipolazione, il transito dei mezzi su strada sterrata, il carico/scarico o lo stoccaggio di

² <https://fetransp.isprambiente.it/#/>

³ verificare ultimo aggiornamento Guidebook su [EEA](#)

materiali polverulenti, valutando anche, se significative, le emissioni allo scarico di tutti i mezzi utilizzati (autocarri e macchine operatrici).

Dovranno essere quindi valutati gli scenari emissivi delle attività aventi un impatto esteso e durevole sul territorio o caratterizzate da movimentazioni significative di materiale. Altre stime potranno essere richieste in fase integrativa, sulla base delle condizioni sito specifiche (ad esempio presenza di recettori sensibili).

La stima dei quantitativi di particolato emesso può essere sviluppata seguendo la metodologia US-EPA AP42⁴, di cui è reperibile una versione italiana, solo per alcune attività e operazioni, nelle linee guida di Arpa Toscana (Arpa Toscana, 2009). Per la stima delle emissioni exhaust dei mezzi off road è possibile riferirsi al capitolo relativo al “Non road mobile machinery” di EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook³. Per i camion si rimanda a quanto indicato al paragrafo 4.3.2.

Nel caso siano presenti operazioni non riconducibili o non presenti nella metodologia AP42 o nelle linee guida, è necessario fornire ragguagli e motivare eventuali esclusioni. Qualora si utilizzino metodologie diverse, la stima delle emissioni dovrà essere dettagliata, includendo il metodo di calcolo ed i fattori di emissione utilizzati.

In ogni caso, nello studio dovranno essere riportate tutte le informazioni necessarie alla ricostruzione delle stime, nonché le modalità con cui queste sorgenti sono state caratterizzate nella simulazione ed i relativi parametri (sorgenti puntuali, lineari, areali, volumetriche).

4.4. Caratterizzazione delle sorgenti emissive

In questo paragrafo sono illustrate le indicazioni che dovranno essere inserite nella relazione di presentazione dei risultati relative alle sorgenti emissive ed alle modalità di quantificazione delle relative emissioni. Per facilitare la ricostruzione delle sorgenti si richiede la fornitura di un file vettoriale in formato shapefile. **Si raccomanda fortemente il sistema di riferimento ETRS89 UTM 32 (EPSG 25832).**

4.4.1. Sorgente Convogliata Puntuale

Rientrano tra queste tipologie di sorgenti ad es.i camini industriali. Per ogni sorgente puntuale si richiede di riportare nella relazione:

- le coordinate di georeferenziazione,
- l'orientazione della sezione di sbocco del camino (orizzontale/verticale),
- la portata volumetrica normalizzata, nelle condizioni reali di esercizio e a 20°C (solo odori) riferita ai fumi secchi,
- la concentrazione (normalizzata e nelle condizioni reali di esercizio) ed il tenore di ossigeno. Per l'odore la concentrazione è espressa in ou_E/m^3 (riferita a 20°C come da norma UNI 13725/2022),
- il rateo emissivo e portata di odore espressa in ou_E/s ,

⁴ verificare ultimo aggiornamento Guidebook su [AP-42: Compilation of Air Emissions Factors from Stationary Sources | US EPA](#)

- l'altezza del punto di emissione rispetto al suolo,
- l'altezza della base del camino rispetto al livello del mare,
- il diametro della sezione di sbocco,
- la temperatura e la velocità dei fumi in uscita,
- ore giornaliere e numero di giorni di funzionamento se non continuo.

Si chiede, inoltre, di specificare se sono stati attivati trattamenti specifici (quali a titolo di esempio: *stack tip downwash*, *building downwash*, *partial plume penetration*).

In Allegato A.2. si riportano le formule di conversione della portata (volumetrica) e della concentrazione tra le condizioni normali di temperatura e pressione (0°C e 1013 hPa) relative ai livelli standard di tenore di umidità e di ossigeno e le condizioni reali di esercizio.

Per ogni inquinante, il flusso di massa e/o la portata di odore da inserire in input al modello vanno calcolati moltiplicando la portata volumetrica e la concentrazione, entrambe normalizzate alle stesse condizioni, oppure entrambe riferite alle condizioni di esercizio.

4.4.2. Sorgente Lineare

Rientrano tra queste tipologie di sorgenti i tratti stradali. Per ogni sorgente lineare si richiede di riportare nella relazione:

- la tipologia di strada (indicare il ciclo di guida),
- le coordinate di georeferenziazione,
- la larghezza e la lunghezza della sorgente,
- l'altezza media rispetto al piano campagna,
- i flussi veicolari distinti per tipologia (almeno automobili, commerciali e pesanti) nell'ora di punta e le modulazioni temporali (orarie, settimanali e stagionali) rispetto all'ora di punta stessa,
- i fattori di emissione utilizzati,
- il rateo emissivo, nell'ora di punta, per ogni inquinante per chilometro di percorrenza,
- la presenza di street canyon, barriere antirumore o di tunnel stradali, per la cui trattazione si rimanda al paragrafo "applicazioni particolari".

4.4.3. Sorgente Convogliata Areale attiva

Rientrano tra queste tipologie di sorgenti ad es. i biofiltri. Per ogni sorgente convogliata areale si richiede di riportare nella relazione:

- le coordinate di georeferenziazione come utilizzate nella simulazione (ad esempio, se la sorgente convogliata areale è simulata come tale, devono essere fornite le coordinate dei vertici, se è simulata come la giustapposizione di un numero di sub-sorgenti puntiformi, devono essere fornite le coordinate e le dimensioni di ciascuna sub-sorgente),
- la portata volumetrica normalizzata nelle condizioni reali di esercizio ed a 20°C (solo odori) misurata a monte della sorgente,
- la concentrazione normalizzata e nelle condizioni reali di esercizio dell'inquinante; per l'odore la concentrazione è espressa in ou_E/m^3 (riferita a 20°C come da norma UNI 13725:2022),

- il rateo emissivo e la portata di odore,
- la quota altimetrica del suolo alla base della sorgente,
- l'altezza del punto di emissione rispetto al suolo (per un biofiltro è il colmo della struttura di contenimento del letto biofiltrante che è maggiore dell'altezza della superficie superiore del letto biofiltrante),
- l'area della sezione di sbocco,
- la velocità e la temperatura dell'effluente nella sezione di sbocco.

Per ogni inquinante il flusso di massa e/o la portata di odore da inserire in input al modello vanno calcolati moltiplicando la portata volumetrica e la concentrazione, entrambe normalizzate alle stesse condizioni oppure entrambe riferite alle condizioni di esercizio.

4.4.4. Sorgente Areale passiva

Rientrano tra queste tipologie di sorgenti ad es. le vasche di trattamento reflui, i cumuli di materiale e le discariche. Per ogni sorgente areale passiva o priva di flusso proprio, si richiede di riportare nella relazione:

- le coordinate di georeferenziazione, come inserite nella simulazione (si vedano le considerazioni fatte per le sorgenti convogliate areali),
- l'area della superficie emissiva effettivamente esposta all'atmosfera (ad esempio, per le superfici liquide è l'area della superficie stessa, per i cumuli di materiale è la superficie esposta in funzione della geometria del cumulo, solitamente maggiore dell'area di base del cumulo in planimetria),
- la quota altimetrica del suolo alla base della sorgente,
- l'altezza del punto di emissione rispetto al suolo (per una vasca è il colmo della struttura di contenimento del liquido che è maggiore dell'altezza del pelo libero del liquido stesso; per un cumulo essa è posta convenzionalmente pari alla metà dell'altezza del colmo del cumulo stesso),
- la velocità e la temperatura dell'effluente, se applicabili e/o rilevanti per la simulazione di dispersione,
- il flusso specifico di odore (portata superficiale di odore, SOER), espresso in $ou_E/(m^2 \cdot s)$,
- il rateo emissivo e la portata di odore (espressa in ou_E/s), calcolata come prodotto fra SOER e superficie emissiva (cfr. par. 3.5 dell'Allegato A1 del DD n.309 del 28/06/2023).

4.4.5. Sorgente Diffusa Volumetrica

Rientrano tra queste tipologie di sorgenti ad es. le finestre di capannoni, locali con ricambio naturale dell'aria. Per ogni sorgente diffusa volumetrica, si richiede di riportare nella relazione:

- le coordinate di georeferenziazione della sorgente o del sistema di sorgenti che simula l'emissione,
- il volume interno del locale da cui l'aeriforme diffonde all'esterno e la metodologia utilizzata per calcolare il flusso di massa,

- la portata di odore (espressa in ou_E/s), tenendo conto dell'eventuale variabilità temporale,
- la velocità e le temperatura dell'effluente all'emissione,
- la quota altimetrica del suolo alla base della sorgente,
- l'altezza del punto di emissione rispetto al suolo.

In riferimento alle sorgenti di tipo volumetrico e fuggitivo, sebbene sussistano notevoli difficoltà di adeguata rappresentazione e modellazione, si ritiene che non possano essere escluse a priori dalla valutazione di impatto olfattivo, soprattutto qualora siano presenti in numero significativo. Indipendentemente dalla loro effettiva possibilità di caratterizzazione modellistica, tali sorgenti devono comunque essere censite e, quando possibile, quantificate, almeno in termini di portata di odore. In sede di valutazione, l'Autorità competente può richiedere esplicitamente la modellizzazione sulla base di valutazioni caso specifiche. Si richiede, pertanto, che per tali sorgenti siano riportate le seguenti informazioni, eventualmente da stimare in caso di difficoltà nel reperimento dei dati.

Per lavorazioni effettuate in ambienti confinati, indicare se ci sono o meno sistemi di aspirazione dell'aria:

- se sono presenti sistemi di aspirazione, indicare la portata dell'aspirazione (questa casistica rientra nelle emissioni convogliate, che vanno trattate secondo le indicazioni fornite nel presente documento) o se sono presenti sistemi di reintegro con trattamento dell'aria di reintegro,
- se non sono presenti sistemi di aspirazione, indicare:
 - il tipo di lavorazione effettuata in questi ambienti,
 - il numero di portoni industriali dell'ambiente non aspirato.

Sia nel caso in cui gli ambienti siano aspirati, sia che non lo siano, indicare:

- il numero di aperture all'ora (media) o al giorno (media) dei portoni industriali e durata (media) di ciascuna apertura (si consideri che anche gli ambienti aspirati riducono le emissioni dai portoni, ma non le bloccano totalmente),
- tipologia di portone industriale, modalità di apertura (manuale, con sensore tipo radar) e di chiusura (manuale o automatica temporizzata),
- il tempo di ritardo della chiusura automatica del portone industriale.

Per le vasche di trattamento coperte, indicare:

- se le vasche sono in depressione,
- il tipo di copertura della vasca,
- il numero di eventuali aperture al giorno della vasca,
- l'area della vasca che potrebbe essere interessata da perdite.

Per gli sfiati di serbatoi, indicare per ciascun serbatoio soggetto a sfiato:

- la sostanza contenuta nel serbatoio soggetto a sfiati periodici,
- il numero di sfiati medi giornalieri,
- la durata media di ciascun sfiato,
- la portata stimata dello sfiato,

- la presenza di sistemi di abbattimento degli sfiati (guardia idraulica o altro).

4.5. Scelta e definizione degli inquinanti oggetto dello studio

4.5.1. Inquinanti

I principali inquinanti chimici oggetto del calcolo delle ricadute sono riportati nel D.Lgs. 155/2010. I valori limite e di riferimento per i diversi inquinanti sono riportati nelle tabelle seguenti.

INQUINANTE	PERIODO DI MEDIAZIONE	VALORE LIMITE	
Biossido di zolfo	Orario (non più di 24 volte all'anno)	350	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
	Giornaliero (non più di 3 volte all'anno)	125	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
Biossido di azoto	Orario (per non più di 18 volte all'anno)	200	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
	Annuo	40	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
Benzene	Annuo	5	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
Monossido di carbonio	Media max giornaliera su 8 ore	10	mg/m^3
Particolato PM_{10}	Giornaliero (non più di 35 volte all'anno)	50	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
	Annuo	40	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
Particolato $\text{PM}_{2.5}$			
	Annuo - Valore limite indicativo	20	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
Piombo	Anno	0.5	$\mu\text{g}/\text{m}^3$

Tabella 1 - Valori limite (VL): Livello che non deve essere superato

INQUINANTE	PERIODO DI MEDIAZIONE	Livelli critici per la vegetazione	
Biossido di zolfo	Annuale	20	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
	Invernale (1 ott.- 31 mar.)	20	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
Ossidi di azoto (NO_x)	Annuo	30	$\mu\text{g}/\text{m}^3$

Tabella 2 - Livelli critici per la vegetazione: Livello oltre il quale possono sussistere rischi o danni per ecosistemi e vegetazione, non per gli esseri umani

INQUINANTE	PERIODO DI MEDIAZIONE	Soglia di Allarme	
Biossido di zolfo	Per 3 ore consecutive in una stazione con rappresentatività $> 100 \text{ km}^2$	500	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
Biossido di azoto	Per 3 ore consecutive in una stazione con rappresentatività $> 100 \text{ km}^2$	400	$\mu\text{g}/\text{m}^3$

Tabella 3 - Soglie di allarme per biossido di zolfo e di azoto

Il D.Lgs. 155/2010 fissa anche valori obiettivo (riportati nella tabella seguente) della concentrazione nell'aria ambiente di arsenico, cadmio, nichel e benzo(a)pirene per evitare, prevenire o ridurre gli effetti nocivi di tali inquinanti sulla salute umana e sull'ambiente nel suo complesso. Il valore obiettivo del benzo(a)pirene ($1,0 \text{ ng}/\text{m}^3$) viene usato come marker per il rischio cancerogeno degli idrocarburi policiclici aromatici (IPA).

Inquinante	Parametro	Valori Obiettivo	
Arsenico	Tenore totale di ciascun inquinante presente nella frazione PM_{10} del materiale particolato, calcolato come media su un anno civile	$6,0 \text{ ng}/\text{m}^3$	
Cadmio		$5,0 \text{ ng}/\text{m}^3$	
Nichel		$20,0 \text{ ng}/\text{m}^3$	
Benzo(a)pirene		$1,0 \text{ ng}/\text{m}^3$	

Tabella 6 - Valori obiettivo per arsenico, cadmio, nichel e benzo(a)pirene

L'esclusione dallo studio di uno o più di questi inquinanti, seppur emessi dalle sorgenti oggetto di valutazione, deve essere adeguatamente motivata nella relazione di presentazione

dei risultati. Potrà essere richiesta, anche a seguito di confronto con le Autorità Sanitarie competenti (AUSL, Comune, Regione) la modellizzazione di ulteriori inquinanti non inclusi nel D.Lgs. 155/2010, ma emessi in atmosfera dalla sorgente in esame, le cui concentrazioni in aria andranno confrontate con specifiche soglie da concordare.

Per quanto riguarda l'odore, dal punto di vista modellistico, deve essere assimilato ad una generica pseudo-specie gassosa, in base alla norma UNI EN 13725:2022. I riferimenti dei livelli ambientali di accettabilità dell'odore sono contenuti nel DD n. 309 del 28/06/2023.

In generale, lo studio modellistico deve essere impostato in modo da effettuare una simulazione che copra un periodo di un anno (si rimanda al cap. 4.2 per i criteri di scelta dell'anno di riferimento per la simulazione modellistica), così da poter confrontare i risultati della simulazione modellistica con i limiti normativi o con i valori di riferimento.

Per il confronto con i limiti di concentrazione in aria ambiente degli indicatori di qualità dell'aria definiti dal D.Lgs. 155/2010, i calcoli con il modello di dispersione saranno svolti con periodo di mediazione, dove previsto, inferiore o uguale al periodo di mediazione dell'indicatore. In particolare se la normativa prevede un limite di emissione semi-orario od orario, si utilizzi tale valore per calcolare l'indicatore di qualità dell'aria su base oraria, qualora previsto dal D.Lgs. 155/2010. È questo, ad esempio, il caso degli impianti di incenerimento per i quali il D.Lgs. 152/2006 prevede, per gli ossidi di azoto, un limite semiorario ed uno giornaliero, mentre il D.Lgs. 155 prevede, per il biossido di azoto, un valore limite sia orario che come media annuale. Si utilizzi, quindi, il limite emissivo semiorario per il confronto con il limite orario di concentrazione in aria ambiente e il limite emissivo giornaliero per il confronto con l'indicatore della media annuale.

Eventuali scelte diverse devono essere adeguatamente motivate nella relazione di presentazione dei risultati.

Inoltre, nella relazione, deve essere specificato lo stato fisico di ogni inquinante considerato nello studio di dispersione (gas o particolato) e, in caso di modifiche a sorgenti già esistenti, lo studio dovrà includere due scenari, uno per la valutazione dello scenario emissivo esistente ed uno per la valutazione dello scenario di progetto.

4.5.2. Indicazioni specifiche per alcuni inquinanti

Biossido d'azoto (NO₂)

Per la trattazione del biossido d'azoto (NO₂) possono essere impiegati diversi metodi di seguito riportati:

- linee guida EPA (US-EPA, 2010; US-EPA, 2011): impiego di ratei standard NO₂/NO_x pari a 0.75 per la media annuale e 0.8 come valore orario (metodo "ARM": Ambient Ratio Method);
- serie temporale di misure NO₂-NO_x di una centralina rappresentativa dell'area di dispersione da cui derivare una funzione di regressione per calcolare la

concentrazione oraria di NO₂ in funzione della concentrazione di NO_x (esempi in Environment Agency of England and Wales, 2007);

- speciazione di NO_x in NO₂ e NO considerando i processi di foto-ossidazione attraverso schemi chimici di base (Allegato A.1.), e utilizzo delle concentrazioni ambientali di NO_x, NO₂ e ozono;
- considerare tutti gli ossidi di azoto come NO₂ (approccio più cautelativo).

Particolato

La valutazione modellistica ha lo scopo di quantificare le ricadute del solo particolato primario PM₁₀ e della frazione fine PM_{2.5} emessi dalle sorgenti di emissione in esame. Nei casi in cui l'emissione della frazione fine PM_{2.5} non sia disponibile, la stima di ricaduta del PM_{2.5} può essere cautelativamente equiparata a quella del PM₁₀. Mentre, qualora l'emissione sia espressa in termini di polveri totali, cautelativamente tutte le polveri possono essere considerate PM₁₀.

Somme di inquinanti

In caso siano presenti flussi di massa riferiti a somme di sostanze inquinanti (ad esempio somma di più metalli o la somma di IPA) e nel caso non sia possibile ipotizzare una suddivisione del flusso tra le varie sostanze, in via cautelativa, la concentrazione totale simulata dovrà essere confrontata con il valore limite/valore obiettivo del singolo inquinante previsto nel D.Lgs. 155/2010 e presente nella somma all'emissione. Se nel suddetto D.Lgs. sono presenti limiti per più sostanze del flusso di massa complessivo, si consideri il valore limite più basso (ad esempio confronto tra concentrazione simulata di IPA e limite del B(a)P, confronto tra concentrazione simulata per la somma di metalli e limite dell'Arsenico, se presente nella somma).

Odori

Il calcolo delle concentrazioni orarie di picco di odore (valutate sul breve periodo di 5 – 10 minuti), prevede che le concentrazioni medie orarie siano moltiplicate per il fattore di conversione pari a 2,3 (peak-to-mean ratio, DD n.309 del 28/06/2023). L'utilizzo di altri metodi di calcolo del picco di odore dovrà essere adeguatamente descritto.

5. Presentazione dei risultati modellistici

I risultati dello studio modellistico devono essere presentati attraverso l'utilizzo di tabelle riassuntive e di mappe di concentrazione, opportunamente analizzate e discusse. In particolare, per ogni inquinante simulato e normato, per ciascun punto recettore e per il punto di massimo assoluto, devono essere riportati in formato tabellare i valori restituiti dal modello secondo lo schema dell'Allegato A.4, comprensivi dei valori di fondo utilizzati per il confronto con i limiti normativi.

Per quanto riguarda l'impatto odorigeno, i valori di accettabilità (espressi come concentrazioni orarie di picco di odore al 98° percentile, calcolate su base annuale) che devono essere rispettati presso i recettori sensibili sono fissati in funzione delle classi di sensibilità dei recettori come descritto nella Tabella 3 del DD n.309 del 28/06/2023. La presentazione dei risultati dovrà avvenire mediante tabelle di semplice ed immediata lettura che riportano il 98° ed il 100° percentile delle concentrazioni orarie di picco di odore.

Per ogni inquinante e/o relativo indicatore normativo di qualità dell'aria deve essere predisposta una mappa di concentrazione, che rappresenti adeguatamente tutto il dominio di studio. I risultati devono essere rappresentati attraverso una *heatmaps* (mappa di concentrazione di tipo raster) a colori, corredata di una legenda che permetta di distinguere agevolmente le aree a diverse concentrazioni, oppure con isoplete ben visibili ed etichettate.

Per le emissioni odorigene la mappa (a *heatmaps* o isoplete) del 98° percentile delle concentrazioni orarie di picco di odore dovrà rappresentare i valori di concentrazione equivalenti ad 1 ou_E/m³, 2 ou_E/m³, 3 ou_E/m³, 4 ou_E/m³, 5 ou_E/m³. Inoltre, dovrà essere evidenziata la prima isopleta relativa a qualsiasi valore di concentrazione di odore che risulta non completamente racchiusa nel perimetro dello stabilimento.

Nella mappa di concentrazione, che deve essere di facile lettura, devono essere visibili anche:

- la Carta Tecnica Regionale o ortofoto contenenti il perimetro del dominio spaziale di simulazione,
- la posizione e la geometria delle sorgenti di emissione considerate,
- l'eventuale confine di pertinenza dell'impianto, esclusi eventuali terreni non funzionali all'impianto,
- la posizione dei recettori,
- la posizione di eventuali centraline meteorologiche e di misura della qualità dell'aria.

Nel caso in cui l'area di ricaduta interessi anche il territorio di un comune limitrofo a quello in cui si trova la sorgente, si richiede di riportare sulla mappa anche un tematismo con i confini comunali.

Le tabelle e le tavole grafiche con i risultati ottenuti nelle simulazioni devono essere predisposte per tutti gli inquinanti oggetto dello studio. Per gli inquinanti non inclusi nel D.Lgs.155/2010, si richiede il confronto con eventuali valori di riferimento riferiti all'aria ambiente, riportati in letteratura (si veda paragrafo 4.5).

La discussione dei risultati dello studio di dispersione deve tener conto, oltre che dei valori delle ricadute, anche delle caratteristiche delle zone su cui esse insistono (ad es. i limiti di protezione della salute umana hanno maggiore peso sulle zone abitate, mentre i limiti di protezione della vegetazione pesano di più sulle zone di pregio naturalistico o caratterizzate da ampie aree verdi).

Confronto di due scenari

Nel caso di confronto di due scenari (ad esempio stato di fatto e stato di progetto), oltre alla predisposizione delle tabelle dei recettori e delle mappe dei singoli scenari, è necessario prevedere l'elaborazione di una tabella in cui sono riportate le differenze fra le concentrazioni puntuali stimate per ciascun scenario in corrispondenza dei punti recettori. Analogamente, devono essere previste le mappe rappresentative della differenza tra le concentrazioni con l'evidenza dell'incremento/decremento.

6. Contenuti minimi della relazione

Lo studio modellistico deve essere descritto in una relazione di presentazione dei risultati che contenga:

1. l'inquadramento dell'opera, indicando il tipo di impianto o di processo oggetto dello studio, l'inquadramento nel contesto territoriale di riferimento, come esplicitato nei paragrafi 4.3. e 4.4.
2. la caratterizzazione dell'area studio dal punto di vista:
 - a. meteorologico - analisi statistica dei dati (utilizzati per la simulazione) da effettuare per l'anno di riferimento scelto per la simulazione, almeno per campo di vento, temperatura, precipitazioni. Fare riferimento al paragrafo 4.2. Indicare sempre la fonte dati utilizzata (open data Arpae disponibili sul [Portale open data di Arpae](#)),
 - b. dello stato di qualità dell'aria - individuazione di un valore di fondo ambientale caratteristico dell'area indagata, relativo all'anno di riferimento della simulazione (open data Arpae disponibili sul [Portale open data di Arpae](#)),
 - c. dello stato emissivo - descrizione dello stato emissivo insistente sull'area considerando le emissioni comunali e/o provinciali dell'inventario regionale INEMAR più recente (open data Arpae disponibili sull'[Inventario Emissioni INEMAR - Arpae](#)); fare riferimento al paragrafo 4.3.
3. la descrizione di tutti i parametri caratterizzanti le impostazioni dello studio modellistico condotto. In particolare:
 - a. il modello di dispersione utilizzato ed i criteri per la sua selezione (paragrafo 3.1),
 - b. definizione del dominio di calcolo e scelta dei recettori (paragrafo 4.1),
 - c. input meteorologico (paragrafo 4.2),
 - d. scenari emissivi e caratterizzazione delle sorgenti (paragrafi 4.3, 4.4 e 4.5),
 - e. descrizione delle applicazioni particolari utilizzate (Allegato A.1),
 - f. presentazione dei risultati sulla base di quanto indicato nel capitolo 5.
4. dati e informazioni di input (vedi tabella 7 di seguito).

CONTENUTO	INFORMAZIONI	Dettagli/Formato
Dominio	- Dimensioni - Coordinata geografica dell'origine (vertice sud-ovest)	- mappa in formato grafico .jpg - file geografico in formato .shp
Griglia di calcolo	- Coordinata geografica dell'origine (vertice sud-ovest) - Passo della griglia - Quota della simulazione rispetto al suolo	
Recettori	- Coordinate geografiche - Quota - Destinazione d'uso - Distanza dalla sorgente ed una loro breve descrizione	- mappa in formato grafico .jpg - file geografico in formato .shp
Orografia complessa	- Approccio per il trattamento modellistico - Risoluzione del modello digitale del terreno (DTM)	
Meteorologia	- Coordinate stazioni meteo - Quota anemometro rispetto al suolo - Coordinate, numero di nodi, passo e livelli verticali griglia modello prognostico	I dati meteorologici di input devono essere forniti in formato .csv e nel formato utilizzato dal modello se richiesti dall'Autorità competente

CONTENUTO	INFORMAZIONI	Dettagli/Formato
	- Coordinate, numero di nodi, passo e livelli verticali griglia di calcolo modello diagnostico - Dati meteorologici di input	
Sorgenti	- Descrizione della tipologia di sorgente - Inquinanti considerati - Coordinate di ciascuna sorgente emissiva - Caratteristiche fisiche della sorgente - Dati emissivi di input (temperatura, concentrazioni, velocità delle emissioni, portate o ratei o altro dato emissivo) - Eventuali modulazioni temporali	Il dettaglio dei dati richiesti per tipologia di sorgente è descritto nel paragrafo 4.4. I dati emissivi di input devono essere forniti in formato .csv
File di input al modello	- File di input al modello	Fornire l'eventuale file di dati di input al modello utilizzato

Tabella 7 - Sintesi dei dati e delle informazioni di input da inserire nella relazione di presentazione dei risultati e relativo dettaglio e/o formato richiesto.

Si raccomanda fortemente il sistema di riferimento ETRS89 UTM 32 (EPSG 25832).

7. Sintesi delle verifiche effettuate da Arpae per la valutazione degli studi modellistici

Nella valutazione dello studio modellistico, Arpae verifica la completezza delle informazioni e dei dati forniti secondo quanto riportato nel presente documento, con particolare attenzione a quanto indicato nel capitolo 6. Nelle simulazioni devono essere considerate tutte le sorgenti di emissione dello scenario oggetto dello studio, caratterizzate da un regime regolare e continuativo nel tempo. L'eventuale esclusione di uno o più sorgenti di emissione deve essere opportunamente motivata.

Nel caso di carenze, Arpae può richiedere opportune integrazioni, così come i file di input utilizzati nello studio al fine di verificarne la completezza e per condurre ulteriori simulazioni di controllo e confronto. Inoltre, Arpae si riserva la facoltà di effettuare simulazioni con i propri applicativi e a tal fine potrà richiedere i dati di input nel formato specificato.

A partire dalle informazioni presentate, Arpae valuta gli effetti ambientali dello studio modellistico secondo gli step rappresentati nel diagramma seguente e attraverso criteri che saranno esplicitati nel contributo rilasciato nell'ambito del procedimento istruttorio.

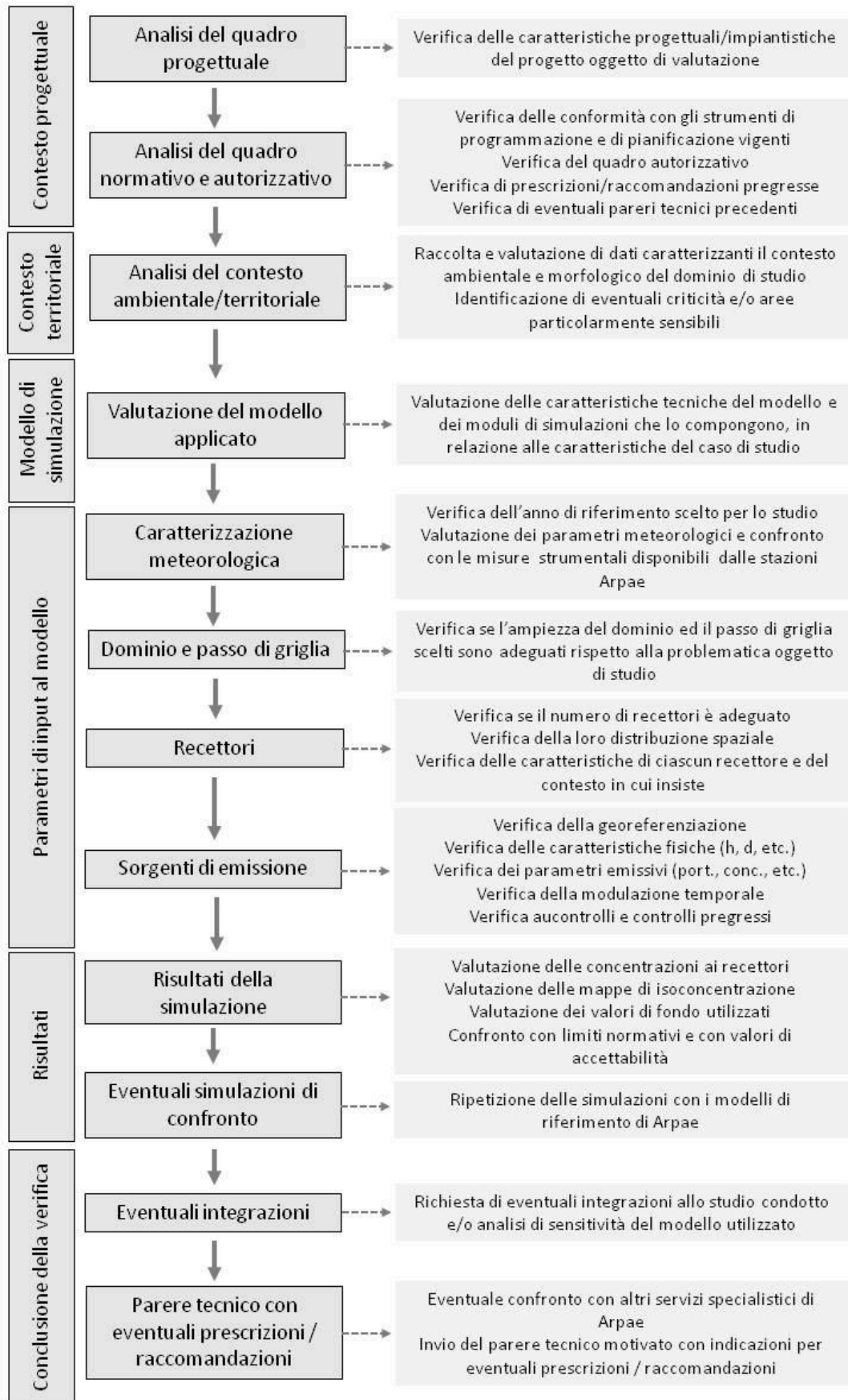


Figura 1 - Diagramma sintetico del flusso seguito da ArpaE nella valutazione degli studi modellistici.

8. Riferimenti bibliografici

APAT, 2003. La micrometeorologia e la dispersione degli inquinanti in aria

Arpa Lombardia, 2018: Indicazioni relative all'utilizzo di tecniche modellistiche per la simulazione della dispersione di inquinanti negli studi di impatto sulla componente atmosfera.

Arpa Toscana, 2009. Linee guida di Arpa Toscana per le emissioni di polveri provenienti da attività di manipolazione di materiali polverulenti.
https://www.arpas.toscana.it/documentazione/catalogo-pubblicazioni-arpas/linee-guida-per-intervenire-sulle-attivit%C3%A0-che-producono-polveri/attachment_download/pubblicazione

Arpa Veneto, 2021. Indicazioni per l'utilizzo di tecniche modellistiche per la simulazione della dispersione di inquinanti in atmosfera

Environment Agency of England and Wales, 2007. Review of methods for NO to NO₂ conversion in plumes at short ranges.

European Environment Agency, 2023. EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023 -Technical guidance to prepare national emission inventories

Holmes Air Sciences, 2008. Air quality assessment: upgrade of the Pacific Highway from Tintenbar to Ewingsdale.

ISPRA, 2024. La banca dati dei fattori di emissione medi del trasporto stradale in Italia

Larssen S., Iversen T. et al., 1990., Car exhaust emissions and dispersion from tunnel portals in Oslo, Norway. Verification of a prediction model, Seminar on tunnel management: economics, environment, safety.

Ministry for the Environment, Wellington, New Zealand. 2004. Good Practice Guide for Atmospheric Dispersion Modelling (Recommendation 21).

Thongzunhor H. and Pochai N., 2022. Environment and Ecology Research, 10(1):107-115

US-EPA, 1985. Guideline for determination of good engineering practice stack height (technical support document for the stack height regulations).

US-EPA, 2010. Applicability of Appendix W Modeling Guidance for the 1-hour NO₂ National Ambient Air Quality Standard.

US-EPA, 2011. Additional Clarification Regarding Application of Appendix W Modeling Guidance for the 1-hour NO₂ National Ambient Air Quality Standard.

World Meteorological Organization, 2023. Guide to instruments and methods of observation – Volume I.

Oettl, D., Strum P., Almbauer R., Okamoto S., Horiuchi K., 2003. Dispersion from road tunnel portals: comparison of two different modeling approaches, Atmospheric Environment, Vol.37, pp.5165-5175.

Okamoto,S., Sakai, K., Matsumoto, K., Horiuchi, K., Kobayashi, K., 1998. Development and application of a three-dimensional Taylor-Galerkin numerical model for air quality simulation near road tunnel portals, J. Appl. Meteor., Vol. 37, pp.1010-1025.

Ginzburg, H. and Schattanek, G., 1997. Analytical Approach to Estimate Pollutant Concentrations from a Tunnel Portal Exit Plume. Presented at A&WMA 90th Annual Meeting, Toronto, Canada.

A. Allegati

A.1. Applicazioni particolari

In questo allegato vengono presentate alcune principali opzioni particolari dei modelli di simulazione che non sono normalmente necessarie, ma che potrebbero essere utili in alcuni casi per migliorare e completare lo studio di impatto. L'utilizzo degli algoritmi deve essere valutato caso per caso e indicato nella Relazione di presentazione dei risultati.

Reazioni chimiche

Alcuni modelli di dispersione includono schemi chimici per il calcolo della dispersione di inquinanti reattivi. Questi, se utilizzati, devono essere indicati nella relazione, specificando le opzioni e gli input addizionali utilizzati dal modello. Le simulazioni di odori devono essere eseguite disattivando il modulo delle reazioni chimiche.

Deposizione secca e umida

Seppur sia preferibile una simulazione senza l'attivazione dell'algoritmo per il calcolo delle deposizioni secca e umida, è facoltà del proponente effettuare la simulazione col modulo attivato. In tal caso, occorre riportare nella relazione tutti i relativi parametri di controllo inseriti (ad esempio lo stato fisico gassoso o particolato, la costante di Henry, il coefficiente di *scavenging*, la distribuzione dimensionale del particolato, ecc.).

Per quanto riguarda gli odori, si suggerisce cautelativamente la disattivazione di questi algoritmi di calcolo. L'eventuale attivazione dovrà essere adeguatamente segnalata e motivata.

Building downwash (sorgenti puntuali)

Gli algoritmi che trattano l'effetto scia degli edifici possono essere attivati se la sorgente ricade in un'area definita nelle vicinanze di un edificio, sia sopravento che sottovento. Tuttavia, l'attivazione di tali algoritmi deve essere effettuata caso per caso nell'ottica di migliorare la stima degli inquinanti sui recettori più prossimi alla sorgente. Per determinare se la presenza degli edifici influisce sul pennacchio si suggerisce l'utilizzo delle linee guida fornite dall'EPA (US-EPA, 1985).

L'algoritmo di *building downwash* utilizzato per il calcolo dovrà essere adeguatamente illustrato, fornendo i riferimenti della letteratura tecnico/scientifica. Per ogni edificio considerato nell'algoritmo di *building downwash*, dovranno essere riportate le coordinate dei vertici in pianta dell'edificio, l'altezza rispetto al suolo e tutte le informazioni necessarie per ripercorrere il calcolo.

Emissioni variabili (sorgenti puntuali)

I modelli di dispersione generalmente permettono la modulazione temporale delle emissioni attraverso dei profili su base oraria, giornaliera e mensile. Nel caso in cui le emissioni delle sorgenti trattate nello studio risultino sostanzialmente costanti nel tempo, si può utilizzare un'emissione pari al valore medio, annullando eventualmente l'emissione in corrispondenza

delle ore o periodi di inattività. Nel caso si valuti di introdurre una modulazione temporale si richiede di fornire i dettagli.

Nella valutazione delle variazioni temporali, soprattutto in presenza di eventi accidentali, è opportuno assumere ipotesi cautelative, tali da condurre ad una sovrastima piuttosto che a una sottostima dell'impatto delle emissioni sul territorio.

È inoltre opportuno, soprattutto nel caso di nuovi impianti, al fine di produrre valutazioni di impatto massimamente cautelative, ipotizzare valori alle emissioni costanti pari a quelli attesi in condizioni di massimo carico.

Camino equivalente

Quando i camini hanno caratteristiche simili (diametro, altezza e portata volumetrica) e distano meno di 3 volte il loro diametro si può utilizzare un camino equivalente (Ministry for the Environment, Wellington, New Zealand, 2004) con le seguenti caratteristiche (esempio per 2 camini):

Portata	$P = P_1 + P_2$	m_3/s
Flusso di massa	$F = F_1 + F_2$	g/s
Area della sezione di sbocco	$A = A_1 + A_2$	m^2
Diametro	$D = 2 \sqrt{A/\pi}$	m
Velocità di uscita	$V = P/A$	m/s
Temperatura effluente	$T = p_1/P T_1 + p_2/P T_2$	K

Sorgenti lineari da traffico (street canyon, turbolenza indotta veicoli, barriere antirumore, tunnel stradale)

Per le sorgenti lineari da traffico si utilizzano preferibilmente modelli in grado di calcolare, per ciascuna stringa oraria di dati meteo, la diffusione degli inquinanti emessi da sorgenti lineari con tratti stradali associati a corrispondenti valori emissivi.

Tali modelli dovrebbero tenere espressamente conto della forma lineare della sorgente e della turbolenza indotta dal moto degli autoveicoli.

I dati di ingresso richiesti riguardano in genere le caratteristiche geometriche dei tratti stradali (coordinate degli estremi, larghezza, quota al di sopra del suolo), la tipologia di ogni tratto stradale (a raso, interrato, in barriera, ponte) e del dominio di calcolo (posizione e quota dei recettori in corrispondenza dei quali si calcolano le concentrazioni). Tali informazioni dovranno essere esplicitate nella descrizione dei dati di input.

“Canyon” Urbano

La presenza di edifici a ridosso delle strade, in particolar modo se di altezza significativa, influenza in modo considerevole la dispersione degli inquinanti attraverso un effetto di confinamento delle emissioni inquinanti. Una configurazione stradale con edifici alti su entrambi i lati viene definita “street canyon” (Figura 2). Negli *street canyon* la dispersione degli inquinanti e, quindi, la loro concentrazione, non dipendono più dalle caratteristiche

dell'atmosfera, ma solo dalla geometria dello *street canyon* e necessitano di un trattamento specifico. Per tenere conto di questo effetto è quindi opportuno utilizzare un modello che richieda in input le informazioni geometriche del canyon (l'altezza media H degli edifici lungo il *canyon* e la dimensione trasversale W e longitudinale L del canyon). Pertanto, nelle applicazioni modellistiche per lo studio degli *street canyon* si dovrà fare riferimento a modelli in grado di ricostruire la distribuzione dell'inquinamento entro i canyon urbani, specificando il tipo di modello utilizzato e le sue principali caratteristiche.

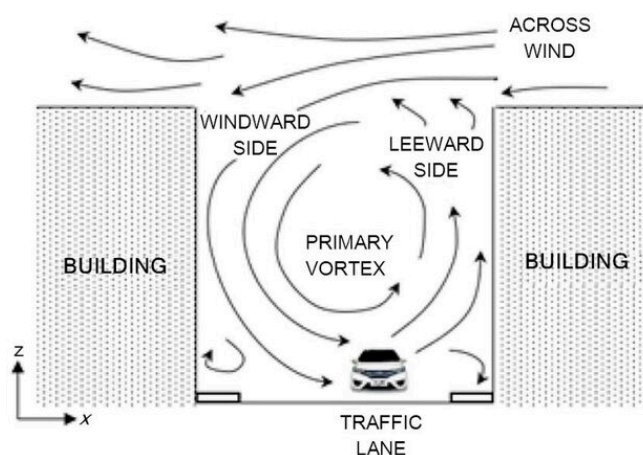


Figura 2 - Struttura e area di ricircolo in uno *street canyon* (Thongzunhor H. and Pochai N., 2022)

Barriere antirumore

Nel caso in cui si sia stimato o si debba stimare l'effetto della presenza di barriere antirumore (o altre barriere solide) sulle concentrazioni inquinanti nelle aree vicine ad un'arteria stradale, è necessario specificare se, e in che modo, il modello di simulazione scelto rappresenta questa condizione. Dovranno quindi essere fornite tutte le informazioni necessarie a comprendere la formulazione dello schema geometrico e la sua elaborazione all'interno del modello, specificando queste informazioni: presenza di due barriere parallele o una sola barriera dotata o meno di aggetto, altezza della barriera dal piano stradale e dal piano campagna, distanza della barriera dalla linea di mezzzeria.

La dispersione agli imbocchi delle gallerie

Gli inquinanti emessi dal traffico veicolare all'interno delle gallerie, dopo una rapida miscelazione vengono convogliati verso gli imbocchi e liberati nei bassi strati dell'atmosfera. La galleria agisce come un camino orizzontale o a pendenza contenuta, all'interno del quale gli inquinanti vengono spinti verso l'uscita in direzione concorde alla direzione di percorrenza del flusso veicolare (effetto pistone) o dagli apparati di ventilazione. Il flusso d'aria in uscita da un imbocco si comporta come un getto d'aria libera caratterizzato da una scarsa "cattura" di aria esterna tale da ridurre il fenomeno di diluizione degli inquinanti e di riduzione della loro concentrazione. Quando il getto in uscita perde velocità, si ha la transizione dalla fase *jet* alla fase *plume* (Larssen and Iversen, 1990), con ulteriore diluizione

a seguito dei fenomeni di turbolenza dell'atmosfera, tale da ridurre le concentrazioni inquinanti.

Esistono modelli matematici commerciali sviluppati specificatamente per simulare l'impatto di un tunnel stradale sulla qualità dell'aria esterna alla galleria (i più noti sono GRAL, sviluppato presso la Graz University of Technology (Oettl et al., 2003; Ministry for the Environment, Wellington, New Zealand, 2004) e JH, sviluppato da Japan Highway Public Corporation (Okamoto et al., 1998; Arpa Lombardia, 2018). In alternativa è possibile riferirsi a metodi proposti in letteratura per la modellazione di tali emissioni, di cui nel presente paragrafo viene riportata la più nota.

Al fine di valutare la lunghezza del plume dall'imbocco della galleria è possibile applicare il metodo proposto da Ginzburg e Schattanek (1997), derivato da una serie di test condotti in galleria del vento, che fornisce le lunghezze stimate del *plume* per differenti velocità del vento, configurazioni del portale e velocità di transito dei veicoli (Holmes Air Sciences, 2008). Poiché la concentrazione degli inquinanti diminuisce con la distanza dal portale di galleria, l'approccio riportato di seguito indica anche come le emissioni derivanti dalla galleria si ripartiscono nel *plume* in funzione della velocità dei veicoli (Tabella 8).

Velocità veicoli (km/h)	Configurazione portale	Velocità del vento		
		1 m/s	3m/s	6 m/s
		Lunghezza del <i>plume</i> (m)		
8	senza muro	110-120	45-50	40-45
8	con muro	90-190	40-45	30-40
24	senza muro	250-320	110-250	50-110
24	con muro	230-300	130-220	40-110
48	senza muro	235-300	150-270	60-125
48	con muro	225-260	90-200	60-100

Tabella 8 - Stima della lunghezza del plume (Holmes Air Sciences, 2008)

Il pennacchio in uscita dal portale è modellato come sorgente lineare e suddiviso in tre parti nelle quali la distribuzione delle emissioni decresce allontanandosi dalla galleria come descritto in Holmes Air Sciences, 2008. Se le velocità medie di percorrenza nel tratto interessato sono superiori ai valori massimi riportati, per stabilire la distribuzione percentuale nelle tre sezioni, si suggerisce di assumere una relazione lineare con la velocità del vento. In questo caso si chiede di esplicitare la distribuzione ottenuta.

A.2. Formule di conversione

Di seguito si riportano le formule di conversione da condizioni normali a condizioni reali di esercizio. Il suffisso “N” si riferisce alle condizioni normali di temperatura ($T_N = 273.16 \text{ K}$), pressione ($P_N = 1013 \text{ hPa}$), tenore di umidità ($U_N=0\%$ “fumi secchi”) e tenore di riferimento dell’ossigeno (O_{2N} , differente a seconda dell’attività), ed “R” alle condizioni reali di esercizio.

PORTATA (Q)

- Conversione rispetto alla temperatura (T) $Q_R = Q_N \frac{T_R}{T_N}$
- Conversione rispetto alla pressione (P) $Q_R = Q_N \frac{P_N}{P_R}$
- Conversione rispetto al tenore di umidità (U) $Q_R = Q_N \frac{100}{100 - U_R}$
- Conversione rispetto al tenore di ossigeno (O_2) $Q_R = Q_N \frac{21 - O_{2N}}{21 - O_{2R}}$

CONCENTRAZIONE (C)

- Conversione rispetto alla temperatura (T) $C_R = C_N \frac{T_N}{T_R}$
- Conversione rispetto alla pressione (P) $C_R = C_N \frac{P_R}{P_N}$
- Conversione rispetto al tenore di umidità (U) $C_R = C_N \frac{100 - U_R}{100}$
- Conversione rispetto al tenore di ossigeno (O_2) $C_R = C_N \frac{21 - O_{2R}}{21 - O_{2N}}$

A.3. Input

Si riporta di seguito il format della tabella degli Input relativa alle sorgenti. La presentazione degli input utilizzati nel formato sintetico indicato deve essere allegata alla relazione di presentazione dei risultati. Il foglio elettronico compilabile è scaricabile dal sito Arpae.

La tabella deve essere compilata in tutte le sue parti. La tab “Generale” con i principali input della catena modellistica utilizzata, e le successive tab in base alle tipologie di sorgenti oggetto di valutazione.

ALLEGATO A3 - INPUT					Anno di riferimento	
Presentazione sintetica delle informazioni e i principali input della catena modellistica utilizzata						
INFORMAZIONI MODELLO E CATENA MODELLISTICA						
Modello	Versione SW	Modulo chimico	Deposizione	Building downwash	Plume rise	Orografia complessa
		☐	☐	☐	☐	☐
Catena modellistica						
Processore meteorologico						
Modalità di trattazione delle calme di vento						
Metodo calcolo coefficienti di dispersione						
Metodo di calcolo del Peak to mean						
SETUP MODELLO						
EPSG (indicare il sistema di coordinate utilizzato)						
	Dimensioni	Coord X vertice sw	Coord Y vertice sw	Quota rispetto al suolo		
Dominio	Tipologia griglia	Passo griglia	Numero celle (nx, ny)			
Griglia di calcolo						
Recettori (Nome e Numero/ID)	Distanza dalla sorgente*	Coord X	Coord Y	Quota	Odorigeni (classificazione secondo DD MASE 3/96/2023 - tabella 3)	
METEOROLOGIA						
Stazione meteo	Distanza dalla sorgente*	Coord X	Coord Y	Quota		
Modello Meteo	Dominio	Tipologia griglia	Passo griglia	Numero celle (nx, ny)	Livelli verticali	
SORGENTI EMISSIVE						
Tipologia sorgenti	Numero totale sorgenti	Inquinanti emessi	Inquinanti inclusi nel modello	modulazioni temporali	Applicazioni particolari	
▼				☐	☐	
▼				☐	☐	
▼				☐	☐	
*Indicare come è stata calcolata la distanza e quale punto è stato preso come riferimento.						

[illegible]

[illegible][illegible]

[illegible][illegible]

[illegible]

A.4. Output

Si riporta di seguito il format della tabella degli Output, il foglio elettronico compilabile è scaricabile dal sito Arpa. La presentazione degli output ottenuti nel formato sintetico indicato deve essere allegata alla relazione di presentazione dei risultati. La compilazione va ripetuta per il massimo di dominio e ciascun recettore.

ALLEGATO OUTPUT						
Presentazione sintetica degli output e confronto con gli indicatori previsti dalla normativa vigente						
La compilazione va ripetuta per il massimo di dominio e ciascun recettore sensibile individuato.						
Inquinante	Indicatore	Stima modello	VL (VO) D.Lgs 155/10	u.m	Fondo*	Modello + fondo
NO ₂	media		40	µg/m ³		
	99.79° percentile (1)		200	µg/m ³	no	no
NO _X	Media (2)		30	µg/m ³		
CO	max media mobile 8h (3)		10	µg/m ³	no	no
SO ₂	99.18° percentile delle medie giornaliere (4)		125	µg/m ³	no	no
	99.73° percentile delle medie orarie (5)		350	µg/m ³	no	no
	Media (2)		20	µg/m ³		
PM ₁₀	Media		40	µg/m ³		
	90.41° percentile delle medie giornaliere (6)		50	µg/m ³	no	no
PM _{2.5}	Media		25	µg/m ³		
B(a)P (IPA come B(a)P)	media		1	µg/m ³		
Benzene (COT come Benzene)	media		5	µg/m ³		
Arsenico (metalli come As)	media		6	µg/m ³		
Nichel (metalli come Ni)	media		20	µg/m ³		
Cadmio (metalli come Cd)	media		5	µg/m ³		
Piombo (metalli come Pb)	media		0.5	µg/m ³		
Legenda: media = media annuale; VL=Valore Limite, VO=Valore obiettivo 1) corrispondente al 99.79° percentile delle concentrazioni orarie su base annuale 2) valore limite per la protezione della vegetazione 3) per semplicità è possibile calcolare il massimo orario e, solo se questo supera il 5% del limite, calcolare il massimo della media su 8 ore. 4) 99.18° percentile delle concentrazioni giornaliere su base annuale da confrontare con il valore Limite (VL) giornaliero per la protezione della salute umana di 125 µg/m ³ da non superare più di 3 volte/anno (D.Lgs 155/2010) 5) 99.73° percentile delle concentrazioni orarie su base annuale da confrontare con il valore orario per la protezione della salute umana di 350 µg/m ³ da non superare più di 24 volte/anno e alla Soglia di Allarme (SA) per 3 ore consecutive di 500 µg/m ³ (D.Lgs 155/2010) 6) 90.41° percentile delle concentrazioni giornaliere su base annuale da confrontarsi con la soglia sulla media giornaliera;						
* Per le sostanze che prevedono un valore limite sulla media annuale dovrà essere effettuato anche un confronto con il valore calcolato come media dell'anno della simulazione delle misure di una centralina di qualità dell'aria classificata come "background" e considerata rappresentativa della situazione ambientale pre-esistente nella zona o con il valore di fondo stimato da SIMC-ARPAE. Per tali sostanze si richiede di sommare il valore ottenuto dalle simulazioni con il valore di fondo e di verificare l'eventuale superamento del valore limite."						

A.5. Modelli per la simulazione della dispersione di inquinanti in atmosfera

Un modello è uno strumento matematico-informatico che cerca di ricostruire il più fedelmente possibile la concentrazione dei vari inquinanti in un dominio di calcolo spazio-temporale di interesse, descrivendo i fenomeni chimico-fisici (trasporto, diffusione, reazioni chimiche, deposizioni) subiti dagli inquinanti in atmosfera, tramite equazioni o relazioni funzionali fra le grandezze che descrivono tali fenomeni. Nel processo di valutazione della qualità dell'aria, i modelli giocano un ruolo importante perché possono estendere il dato di concentrazione puntuale a porzioni di territorio ove non esiste la misurazione, tenuto conto della distribuzione spazio-temporale delle emissioni e delle caratteristiche meteo-diffusive del sito.

Tra le loro molteplici funzioni, i modelli risultano uno strumento utile per:

- ottenere campi di concentrazione anche in porzioni di territorio ove non esistano misure, o estendere la rappresentatività spaziale delle misure stesse,
- valutare l'impatto di inquinanti non misurati dalla rete di monitoraggio,
- individuare zone idonee per la collocazione di centraline,
- fornire un supporto strumentale alle attività delle Agenzie per l'ambiente,
- prevedere la qualità dell'aria (Q.A.) e valutare la Q.A. in zone senza misure,
- analisi di scenario,
- analisi di rilasci accidentali (gestione di emergenze),
- sperimentare i valori di concentrazione al suolo in fase di autorizzazione all'esercizio di impianti con emissioni in atmosfera; a impianto attivato poi, con il supporto di strumenti di monitoraggio ambientale, è possibile verificare la corrispondenza delle emissioni di esercizio ai limiti assegnati in autorizzazione (APAT, 2003),
- prevedere lo stato di inquinamento e quindi predisporre piani preventivi di mitigazione,
- supportare piani urbanistici,
- predisporre Studi di Impatto Ambientale di opere soggette a valutazione di impatto ambientale (VIA) con riferimento all'ambiente atmosferico,
- pianificare la zonizzazione del territorio regionale ai fini della valutazione e gestione della qualità dell'aria,
- predisporre la valutazione ambientale strategica (VAS) con riferimento alla valutazione dell'impatto sulla componente atmosfera del piano o programma in valutazione,
- studiare scenari ipotetici di emissioni alternativi rispetto al quadro attuale o passato.

Input

I modelli di dispersione degli inquinanti in atmosfera utilizzano come input un numero considerevole di dati che è possibile raggruppare in:

- informazioni necessarie a caratterizzare nello spazio e nel tempo le emissioni delle sorgenti oggetto di valutazione presenti nell'area di interesse,

- informazioni sulle variabili meteorologiche coinvolte nei processi di trasporto e dispersione degli inquinanti in aria,
- informazioni sulla morfologia del sito (orografia, uso del suolo, presenza di edifici, ecc.),
- eventualmente condizioni di concentrazione presenti ai contorni di tale area e all'inizio del periodo di simulazione.

Tipologie di modelli e caratteristiche

I modelli matematici di rappresentazione dei fenomeni di diffusione atmosferica si dividono in due diverse tipologie:

- **modelli deterministici** che sono basati su descrizioni matematiche di tipo parametrico dei fenomeni fisici, chimici e biologici determinanti alla definizione delle relazioni causa-effetto. Sono basati su assunzioni o conoscenze relative ai rapporti esistenti fra le variabili del sistema modellizzato o su leggi e principi fisici e si propongono di ricostruire in maniera quantitativa i fenomeni che determinano l'evoluzione spazio-temporale della concentrazione degli inquinanti in atmosfera,
- **modelli statistici** che sono basati su relazioni di tipo stocastico tra dati e misure disponibili. Essi prevedono la concentrazione degli inquinanti sulla base di dati misurati nel dominio di studio nel passato e, pertanto, sono in grado di fornire il valore futuro della concentrazione di inquinante nei soli punti di misura. I modelli statistici sono particolarmente utili per il controllo in tempo reale e per la previsione dei livelli di attenzione e di allarme.

I modelli deterministici, sulla base del sistema di coordinate spaziali a cui si fa riferimento, vengono suddivisi in due categorie fondamentali:

- modelli euleriani: fanno riferimento ad un sistema di coordinate fisso,
- modelli lagrangiani: utilizzano un sistema di coordinate solidale con il moto dei volumi infinitesimi di fluido.

Modelli gaussiani

Modelli che ricorrono ad ipotesi semplificative per la risoluzione dell'equazione di trasporto e diffusione degli inquinanti in atmosfera e permettono di calcolare l'impatto in aree caratterizzate da terreno non particolarmente complesso, in condizioni meteorologiche variabili lentamente nello spazio e nel tempo, per inquinanti non reattivi.

I modelli analitici gaussiani, sono in grado di descrivere l'andamento al suolo della concentrazione sottovento dovuta ad una sorgente continua puntiforme, ipotizzando per la dispersione una legge di tipo gaussiano. Sono modelli di facile utilizzo, perché adottano una serie di semplificazioni restrittive: stazionarietà e omogeneità delle condizioni

meteorologiche, velocità orizzontale del vento non nulla nella direzione del vento e mediamente nulla sul piano ortogonale ad essa, terreni piani, assenza di trasformazioni chimiche.

Modelli a puff

Possono essere considerati una categoria intermedia tra i modelli gaussiani e quelli lagrangiani. Sono applicabili in condizioni non omogenee e non stazionarie. L'emissione viene discretizzata in una serie di singoli puff, che vengono trasportati ad opera del campo di vento e la concentrazione ad un certo intervallo temporale è data dalla somma del contributo di ogni singolo puff. Possono simulare condizioni di calma di vento e sono applicabili al caso di terreni ad orografia complessa.

Modelli a box

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

Modelli a griglia

Sono modelli tridimensionali che dividono il dominio di calcolo in celle tridimensionali e che producono campi orari di concentrazione degli inquinanti a partire dai valori di concentrazione iniziali e ai bordi dell'area di calcolo e dalle emissioni orarie introdotte nei punti griglia, cui vengono applicati meccanismi di trasporto, dispersione e deposizione e fenomeni di trasformazione chimica.

Modelli lagrangiani a particelle

Modelli in cui la dispersione dell'inquinante in atmosfera è simulata attraverso l'emissione ad ogni nuovo passo temporale di un certo numero di particelle inquinanti che seguono il moto turbolento dell'aria nelle quali sono immerse, in modo che la loro distribuzione spaziale ad un certo istante permetta la determinazione della concentrazione della specie emessa.

A.6. Indicazioni per dati di base e stima dei flussi emissivi

Vengono forniti di seguito esempi di fonti di riferimento, nel caso in cui vengano utilizzate dal proponente altre fonti, queste dovranno essere chiaramente indicate.

		Fonti	Sito web
Stato Qualità dell'Aria		- Portale Open Data di Arpae	Portale Open Data - ARIA
Meteo		- Portale Open Data di Arpae	Portale Open Data - METEO
Inventari Emissioni		INEMAR Emilia Romagna	Inventario emissioni INEMAR - Arpae
Dati di traffico		Rilevazione regionale dei flussi di traffico - Sistema MTS	Sistema MTS - Flussi online
		Dati campagne ad hoc	
		Studi del traffico	
Parco circolante		Dati ACI	ACI Studi e ricerche - Dati e statistiche
		Scenari tendenziali PAIR/PRIT	
Fattori Emissione (FE)	Traffico	Banca dati Ispra-SNPA	La banca dati dei fattori di emissione medi del trasporto stradale in Italia
	Allevamenti	Bat-tool plus	BAT-tool
		Studi o pubblicazioni CRPA	
	Polveri da cantiere	LG Arpa Toscana - Prov. Firenze US-EPA: AP42	Linee guida ARPAT