

Il est interdit sans notre autorisation: de copier, reproduire ou communiquer ce dessin à des tiers.

mm.0.6.



Studio d'impatto atmosferico dell'impianto Silva di Montecchio Precalcino (VI)

Autori: D. Barbero; E. Specchia; C. Pozzi

Riferimento: R2024.11

Maggio 2024

Cliente:

EcoEridania

1	Intro	duzione	5
2	Arec	a di indagine	7
3	Dati	meteorologici	9
Э	3.1	Simulazioni con il codice meteorologico WRF	9
3	8.2	Discesa di scala con SWIFT e SurfPro	10
З	3.3	Verifica della simulazione con i dati locali	14
3	3.4	Rappresentatività statistica dell'anno meteorologico scelto	18
4	Scei	nario emissivo	20
5	Simu	Jlazione della dispersione di inquinanti	22
5	5.1	Quadro normativo di riferimento	22
	5.1.1	Decreto per la qualità dell'aria ambiente	22
	5.1.2	Linee guida per l'impatto odorigeno	22
5	5.2	Configurazione delle simulazioni modellistiche di dispersione	23
5	5.3	Recettori sensibili	24
5	5.4	Impatto sulla qualità dell'aria ambiente	25
	5.4.1	Risultati – mappe di concentrazione	25
	5.4.2	Risultati – Impatto al suolo massimo	
	5.4.3	Risultati – Estrazioni ai recettori sensibili	
5	5.5	Impatto odorigeno	34
	5.5.1	Risultati – Estrazioni ai recettori sensibili	34
	5.5.2	Risultati – Mappa di impatto odorigeno	35
6	Con	clusioni	36
7	Арр	endice - Modelli di simulazione	37
7	7.1	Modello SWIFT	
7	' .2	Modello SurfPro 3	38
7	' .3	Modello Spray 3.1	
7	' .4	Applicazioni dei codici	41
8	Bibli	ografia	43

SOMMARIO

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1. Dominio di calcolo per le simulazioni di qualità dell'aria7
Figura 2. Dominio di calcolo per le simulazioni di qualità dell'aria, posizionamento dei SIC, indicati dai poligoni in colore verde
Figura 3. Vista di insieme dei domini innestati di integrazione per il modello WRF10
Figura 4. Diagramma a blocchi relativo al funzionamento del sistema modellistico11
Figura 5. Rappresentazione 3D dell'orografia nel dominio di calcolo. Il simbolo identifica la posizione dell'impianto. I livelli colorati rappresentano le quote sopra il livello del mare secondo la scala a destra in metri
Figura 6. Dominio di calcolo con uso del suolo CORINE 21 classi a 100 m di risoluzione e iso- linee dei livelli orografici12
Figura 7. Campi di vento in prossimità del suolo calcolati per il giorno 02/08/2019 alle ore 13:00 (sinistra) e alle ore 24:00 (destra) da SWIFT. Velocità del vento in m/s secondo la scala colorata a destra
Figura 8. Rose dei venti annuali 2019, dati estratti in corrispondenza dell'impianto Silva dalla simulazione WRF (a sinistra) e SWIFT (a destra). Intensità del vento in m/s13
Figura 9. Campo dell'altezza dello strato limite Hmix (m) simulato da SurfPro alle ore 10:00 (sinistra) e alle ore 22:00 (destra) del giorno 02/08/201914
Figura 10. Campo della lunghezza di Monin-Obukhov (m) simulato da SurfPro alle ore 11:00 (sinistra) e alle ore 23:00 (destra) del giorno 02/08/201914
Figura 11. Posizionamento delle stazioni di misura di ARPA Veneto rispetto all'impianto di Silva15
Figura 12. Rose dei venti annuali 2019, dati misurati presso le stazioni di ARPA Veneto di Malo (a sinistra) e Montecchio Precalcino (a destra). Sono riportate le percentuali di dati mancanti e le percentuali di calme di vento (velocità < 0.5 m/s) per ciascuna stazione. Intensità del vento in m/s
Figura 13. Dettaglio del posizionamento della stazione di Montecchio Precalcino cerchiata in giallo (a sinistra) e rosa dei venti annuale inclusiva delle calme di vento (velocità < 0.5 m/s) ricavata dai dati misurati dalla stazione nel 2019 (a destra)16
Figura 14. Rose dei venti annuali 2019, ricavate dai dati misurati presso Malo (a sinistra) e dai dati estratti da Swift nel punto della stazione (a destra). Intensità del vento in m/s16
Figura 15. Rose dei venti diurne (in alto) e notturne (in basso) per l'anno 2019, ricavate dai dati misurati presso Malo (a sinistra) e dai dati estratti da Swift nel punto della stazione (a destra). Intensità del vento in m/s17
Figura 16. Rose dei venti invernali (in alto) e estive (in basso) per l'anno 2019, ricavate dai dati misurati presso Malo (a sinistra) e dai dati estratti da Swift nel punto della stazione (a destra). Intensità del vento in m/s
Figura 12. Rose dei venti annuali per gli anni 2019, 2020, 2021, 2022, 2023, dati misurati presso le stazioni di ARPA Veneto di Malo. Sono riportate le percentuali di dati mancanti e le percentuali di calme di vento (velocità < 0.5 m/s) per ciascuna stazione. Intensità del vento in m/s
Figura 17. Localizzazione delle sorgenti, scenario emissivo di progetto20
Figura 18. Posizionamento dei recettori sensibili sul territorio circostante l'impianto Silva25
Figura 19. Campo delle concentrazioni medie annuali di NO _X , scenario emissivo di progetto. Valori in μ g/m ³ secondo la scala colorata a destra26

Figura 20. Campo del 99.8 percentile delle concentrazioni medie orarie di NO _x , scenario emissivo di progetto. Valori in μg/m ³ secondo la scala colorata a destra27
Figura 21. Campo delle concentrazioni medie annuali di PTS, scenario emissivo di progetto Valori in μg/m³ secondo la scala colorata a destra28
Figura 22. Campo del 90.4 percentile delle concentrazioni medie giornaliere di PTS, scenario emissivo di progetto. Valori in μg/m ³ secondo la scala colorata a destra28
Figura 23. Campo del massimo delle concentrazioni medie mobili su 8 ore di CO, scenario emissivo di progetto. Valori in mg/m ³ secondo la scala colorata a destra
Figura 24. Campo delle concentrazioni medie annue di COT, scenario emissivo di progetto Valori in μg/m ³ secondo la scala colorata a destra
Figura 25. Concentrazioni medie annuali misurate dalle stazioni di ARPA Veneto. Grafici da "Relazione regionale della qualità dell'aria – anno 2022"
Figura 26. Andamento del 98° _{ile} delle concentrazioni orarie di picco di odore sull'angolo giro a distanza di 500m dall'impianto (linea blu). In rosso il valore di accettabilità (4 OU/m ³)3 ⁴

Figura 27. Mappa del 98° percentile annuale delle concentrazioni orarie di picco di odore....35

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1. Parametrizzazioni fisiche utilizzate per la simulazione di WRF-ARW10
Tabella 2. Sintesi delle sorgenti di impianto, caratteristiche fisiche e geometriche21
Tabella 3. Sintesi delle sorgenti di inquinanti, concentrazioni all'emissione e periodo di attività
Tabella 4. Sorgente di emissione odorigena e concentrazione limite
Tabella 5. Valori limite per la protezione della salute umana e della vegetazione (D.Lgs.155/2010 e ss.mm.ii.)
Tabella 6. Indicatori statistici considerati per il confronto con i limiti normativi o di riferimento per varie sostanze
Tabella 7. Lista e posizione dei recettori sensibili intorno all'impianto, coordinate UTM32 in m
Tabella 8. Schema riassuntivo dei valori di riferimento massimi per i diversi indicatori e specie considerate
Tabella 9. Valori medi annuali misurati presso la stazione di Schio nell'anno 2022 per NO ₂ , PM10 e Benzene e valore massimo della concentrazione media annuale estratti dalla simulazione
Tabella 10. Valori degli indicatori di impatto in prossimità del suolo estratti ai punti recettori nello scenario emissivo considerato
Tabella 11. 98° percentile e il massimo annuale delle concentrazioni orarie di picco di odore in corrispondenza dei recettori.

1 Introduzione

In sede di presentazione dell'istanza di PAUR alla Provincia di Vicenza, a supporto della progettazione ed all'iter autorizzativo del nuovo Progetto di industrializzazione dell'area, Silva Srl ha la necessità di effettuare uno studio modellistico dell'impatto atmosferico generato dalle emissioni dallo stabilimento SILVA per il sito T44 relativo alla configurazione in Progetto che prevede l'integrazione dell'attività di pre-rivestimento delle sabbie e dello stoccaggio delle sabbie naturali con le seguenti installazioni:

- potenziamento delle attività relative alle sabbie mediante il revamping del sistema di trattamento sabbie da realizzarsi con un nuovo forno e con una linea di trattamento meccanico;
- totale utilizzo del deposito di sabbie vergini per la loro commercializzazione;
- installazione di un impianto di sterilizzazione rifiuto e di lavaggio e sanificazione contenitori e coperchi riutilizzabili, dotato di un impianto di presso-imballatura del CDR;
- inserimento di un magazzino imballaggi puliti (contenitori in cartone, sacchi, etc.);
- realizzazione di un'area di stoccaggio dedicata alla gestione dei rifiuti derivanti dalle strutture sanitarie.

Il sito è posto in un'area pianeggiante circondata da rilievi ad alcuni km di distanza in direzione sud, ovest e nord, situazione che può vedere l'insorgenza di fenomeni meteorologici complessi dal punto di vista dispersivo, come il ristagno di venti deboli e variabili regimi di brezza.

Per la realizzazione dello studio richiesto è stata utilizzata la suite modellistica ARIA Impact 3D che include il modello lagrangiano a particelle SPRAY, particolarmente adatto a descrivere la dispersione atmosferica in questo tipo di situazioni. Il sistema modellistico è attualmente in dotazione anche da diverse Agenzie Regionali di Protezione dell'Ambiente (ARPA Piemonte, ARPA Valle d'Aosta, ARPA Lombardia, ARPA Friuli-Venezia Giulia, ARPA Lazio, ARPA Molise, ARPA Basilicata, ARPA Puglia, ARPA Calabria), che lo utilizzano per i propri scopi istituzionali.

Questa classe di modelli è sviluppata in modo da superare i limiti teorico/pratici dei modelli più semplificati (gaussiani rettilinei e stazionari), in quanto consente di seguire l'evoluzione dei pennacchi emessi seguendo in modo esplicito la tridimensionalità della meteorologia e della turbolenza in ogni punto e non solo in corrispondenza del baricentro dello stesso pennacchio. Questo permette per esempio di simulare fenomeni quali la separazione verticale di porzioni del pennacchio in presenza di forti variazioni della direzione del vento ("shear") o di circolazioni a regime di brezza.

Al fine di valutare l'impatto dell'impianto lo studio ha ricostruito, su base annuale, l'impatto generato dalle attività dell'impianto in progetto in termini di mappe bidimensionali di concentrazione in aria di sostanze inquinanti in prossimità del suolo, ed i livelli di concentrazione in corrispondenza di diversi recettori sensibili individuati nel territorio circostante l'impianto.

Il presente rapporto descrive la metodologia e i risultati ottenuti relativamente allo studio modellistico per l'anno meteorologico 2019. Sono illustrati nel dettaglio i dati e i metodi utilizzati per costruire le componenti in input al sistema modellistico, ovvero la meteorologia e le emissioni, nonché i risultati in termini di indicatori, sul territorio considerato, per le specie inquinanti considerate, calcolati secondo quanto stabilito dalla normativa vigente. Tali indicatori vengono illustrati sia in forma di mappe sul territorio, definite all'interno del dominio di calcolo considerato, sia attraverso estrazioni in corrispondenza di recettori sensibili.

Il seguente capitolo 2 mostra il dettaglio sull'area di indagine scelta e la risoluzione modellistica adottata. Il capitolo 3 descrive le procedure e i dati utilizzati per la ricostruzione meteorologica tridimensionale sull'area, nel capitolo 4 vengono descritti i dati utilizzati per la definizione delle emissioni nei due differenti scenari simulati. Il capitolo 5 descrive la metodologia e i risultati ottenuti dalla simulazione di dispersione. Nel capitolo 6 sono riassunte le conclusioni del lavoro, mentre in



Appendice vengono descritti con maggiore dettaglio i contenuti della tecnologia modellistica utilizzata per la simulazione meteo-dispersiva alla risoluzione finale adottata, contenuta nel pacchetto <u>ARIA Impact 3D</u>, di cui il modello di dispersione SPRAY fa parte.

2 Area di indagine

Per la caratterizzazione degli impatti relativi allo stabilimento Silva a Montecchio Precalcino, è stata considerata un'area di indagine, o dominio di calcolo, costituita dal quadrato di 15 x 15 km², rappresentato in azzurro in Figura . Nella figura è indicata la posizione dell'impianto, localizzato nella zona centrale dell'area selezionata. Lo stabilimento è posizionato nell'Alta Pianura veneta, in un terreno sostanzialmente pianeggiante, con rilievi collinari nella zona a SudOvest, ultime propaggini occidentali dei Monti Lessini. L'impianto si trova a circa 15 km da Vicenza, in una zona fittamente urbanizzata.

La scelta del dominio di calcolo e delle sue dimensioni tiene conto sia delle caratteristiche tipiche di anemologia del sito, illustrate nel paragrafo 3, che della localizzazione dei principali centri abitati e SIC presenti nelle vicinanze dello stabilimento. Le condizioni anemologiche sono quelle tipiche della Pianura Padana, con direzioni principali di provenienza Est-Ovest. Nelle zone circostanti l'impianto è presente il Sito di Interesse Comunitario (SIC) "Bosco di Dueville", che si estende a poco più di 1 km dall'impianto, come mostrato in Figura 2.



Figura 1. Dominio di calcolo per le simulazioni di qualità dell'aria





Figura 2. Dominio di calcolo per le simulazioni di qualità dell'aria, posizionamento dei SIC, indicati dai poligoni in colore verde

II dominio ha come coordinate (x, y) del vertice Sud Ovest, nel sistema di proiezione UTM-WGS 84 (fuso 32 N), il punto (689500 m, 5051500 m).

La risoluzione orizzontale scelta per descrivere sia i dati meteorologici in input che le concentrazioni in output (recettori di calcolo disposti regolarmente all'interno del dominio) è di 100 m, compatibile con la durata delle simulazioni su scala annuale da eseguire ed in grado di fornire un sufficiente dettaglio sia alla scala complessiva considerata sia alla scala di dettaglio in prossimità dell'impianto, tenendo conto delle caratteristiche orografiche del territorio.

La griglia di calcolo orizzontale è quindi caratterizzata da 150 celle nella direzione x e 150 celle nella direzione y.

L'estensione verticale del dominio di simulazione per la ricostruzione meteorologica è di 5000 m con i seguenti 16 livelli di calcolo sopra l'orografia espressi in metri:

0, 10, 26, 90, 180, 300, 430, 630, 860, 1160, 1520, 1890, 2230, 2850, 3600, 5000.

3 Dati meteorologici

Il sistema modellistico utilizzato necessita di campi meteorologici 3D sul dominio di dettaglio a 100 m di risoluzione orizzontale e su base oraria. In particolare, SPRAY ricostruisce la dispersione degli inquinanti attraverso un elevato numero di particelle indipendenti in grado di rappresentare nel dettaglio, mediante le loro traiettorie, l'evoluzione di differenti porzioni dei pennacchi emessi. Il modello è quindi in grado di rappresentare con continuità, anche lungo la verticale, la dinamica dei pennacchi ed è quindi necessario garantire la coerenza spazio/temporale delle informazioni meteorologiche su base tridimensionale per evitare una rappresentazione distorta del loro movimento. Da questo punto di vista, un metodo che garantisce di fornire in input al modello le informazioni meteorologiche con la coerenza necessaria prevede l'utilizzo di una discesa di scala di diversi modelli.

La configurazione modellistica utilizzata è caratterizzata da una prima ricostruzione sul territorio in esame mediante il codice meteorologico alle equazioni primitive WRF, fino alla risoluzione orizzontale di 3 km. I campi ricostruiti a questa scala, in grado di riprodurre le principali caratteristiche della circolazione locale, subiscono un'ulteriore discesa di scala fino alla risoluzione target di 100 m sul dominio considerato mediante l'applicazione dei codici SWIFT (per la ricostruzione dei campi di vento medio a divergenza nulla e di temperatura) e SurfPro (per la ricostruzione della turbolenza). Durante questa discesa di scala, i campi vengono ulteriormente adattati alle condizioni locali mediante una matrice di uso del suolo che tiene conto delle caratteristiche locali del terreno ad alta risoluzione. In questo modo è stata generata una base di dati meteorologici tridimensionali consistente con le caratteristiche richieste dal modello di dispersione, in grado di ricostruire una situazione statisticamente soddisfacente del flusso atmosferico se confrontata con i dati disponibili nella zona.

3.1 Simulazioni con il codice meteorologico WRF

Per la ricostruzione dei campi meteorologici fino alla risoluzione orizzontale di 3 km è stato utilizzato WRF (Weather Research Model, versione AWR 3.8.1), sviluppato dal National Center for Atmospheric Research (NCAR), dal National Centers for Environmental Prediction (NCEP) ed altri istituti meteorologici statunitensi (<u>http://www.wrf-model.org/</u>; <u>http://www.mmm.ucar.edu/wrf/users/</u>), distribuito in modalità *open-source*.

WRF è fra i modelli meteorologici ad area limitata che hanno trovato maggior sviluppo ed utilizzo recente, sia per applicazioni di ricerca che per la previsione meteorologica operativa. Il modello è utilizzato da importanti istituti europei per attività di ricerca e sviluppo e, in ambito italiano, è usato da alcune Agenzie Regionali come ARPA Lazio o ARPA Puglia per la generazione di campi meteorologici e micrometeorologici in grado di pilotare simulazioni di previsione di qualità dell'aria. Utilizzando griglie di calcolo innestate, permette di simulare campi meteorologici tridimensionali, alla risoluzione richiesta e su domini di interesse, a partire da dati a scala sinottica, come quelli distribuiti da alcuni servizi meteorologici quali ad esempio il sopracitato NCEP (http://www.ncep.noaa.gov/) o ECMWF, European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (http://www.ecmwf.int/). L'aumento progressivo della risoluzione spaziale è necessario per risolvere i fenomeni di circolazione indotti delle caratteristiche geografiche od orografiche locali, quali ad esempio la circolazione a carattere di brezza in presenza di orografia complessa.

Il periodo in esame, costituito dall'intero anno 2019, è stato ricostruito utilizzando come set di dati al contorno le analisi meteorologiche ERA5 (<u>http://www.ecmwf.int/en/research/climate-reanalysis/browse-reanalysis-datasets</u>) di ECMWF, uno dei riferimenti principali a livello internazionale per la produzione di analisi meteorologiche globali ad alta risoluzione (0.75 gradi).

La configurazione del modello WRF usata in questo lavoro si basa su 3 domini di calcolo innestati aventi maglie di risoluzione orizzontale pari a 45, 9 e 3 km, rispettivamente per Europa, Nord Italia e Nord-Est Italia, come illustrato in Figura 3.





Figura 3. Vista di insieme dei domini innestati di integrazione per il modello WRF

Per le simulazioni WRF sono stati utilizzati 35 livelli verticali aventi spaziatura crescente con l'altezza, fino alla quota corrispondente ad una pressione atmosferica di 50 hPa, con il livello più prossimo al suolo localizzato all'altezza di circa 30 m sopra il terreno. Il calcolo, tenendo conto dei diversi domini innestati, è stato effettuato in modalità di *two-way-nesting*. Si è inoltre utilizzata la modalità di calcolo di "observational nudging" attraverso la quale si sono assimilate osservazioni locali di tipo METAR della rete WMO.

Il modello ha riprodotto la meteorologia su base oraria a partire dalle ore 01:00 del 01/01/2019 fino alle 00:00 del 01/01/2020. La rappresentatività meteorologica dell'anno considerato è stata verificata e analizzata tramite confronti con i dati dell'ultimo quinquennio riportati nel paragrafo 3.4

Le parametrizzazioni fisiche utilizzate nella configurazione della simulazione di WRF sono riportate in Tabella 1.

WRF schema fisico di WRF ARW 3.8.1	Descrizione
Microfisica	WRF Single-Moment 6-class scheme (ice, snow and graupel processes)
Radiazione a onda lunga	RRTMG (Rapid Radiative Transfer Model for GCMs)
Radiazione a onda corta	RRTMG
Parametrizzazione della convezione dei cumuli	Kain-Fritsch scheme (deep and shallow convection). <u>Solo sulla griglia più</u> <u>esterna.</u>
Fenomeni superficiali	Noah Land Surface Model
Surface Layer	Eta similarity (based on Monin-Obukhov theory).
Strato limite atmosferico	Mellor-Yamada-Janjic Eta operational scheme

Tabella 1. Parametrizzazioni fisiche utilizzate per la simulazione di WRF-ARW

3.2 Discesa di scala con SWIFT e SurfPro

I campi prodotti da WRF alimentano la sezione meteorologica del sistema per la discesa di scala, costituita da SWIFT e SurfPro che ricostruiscono, su base oraria, il flusso medio (velocità e direzione del vento) e la temperatura dell'aria mediante campi tridimensionali, nonché la turbolenza atmosferica mediante campi bidimensionali di opportune variabili di scala su un grigliato discreto di punti a risoluzione più elevata, in grado di tenere meglio conto degli effetti locali indotti dalle caratteristiche di dettaglio del terreno. Queste informazioni vengono direttamente utilizzate da SPRAY per definire il moto delle particelle virtuali che rappresentano le diverse emissioni considerate, allo scopo di produrre campi di concentrazione su base oraria per l'intero periodo di

simulazione. La seguente Figura illustra il diagramma a blocchi dei modelli coinvolti e delle loro relazioni.

Le caratteristiche locali di maggior dettaglio del terreno vengono definite alla risoluzione orizzontale target di 100 metri mediante un modello digitale del terreno ed una matrice di uso del suolo. La Figura 5 mostra una rappresentazione tridimensionale dell'orografia sul dominio di calcolo, ad indicare che il dominio si estende su un territorio pressoché pianeggiante a Sud delle Alpi; solo nell'area a Nord e Sud-Ovest si osservano dei rilievi fino a quote di circa 300 m sul livello del mare. La Figura 6 mostra invece la matrice di uso del suolo insieme alle isolinee del modello digitale del terreno. I codici di uso del suolo sono definiti secondo una classificazione a 21 classi ricavata da quella standard europea CORINE a 44 classi (EEA Data Service), mediante accorpamento di alcune categorie, secondo la didascalia riportata nella medesima figura. Il dominio di studio, in particolare, è caratterizzato dalla prevalenza di terreni arabili e terreni agricoli, con la presenza di centri abitati.



Figura 4. Diagramma a blocchi relativo al funzionamento del sistema modellistico









Figura 6. Dominio di calcolo con uso del suolo CORINE 21 classi a 100 m di risoluzione e isolinee dei livelli orografici.

SWIFT, applicato per ricostruire il campo di vento e temperatura alla risoluzione orizzontale di 100 m sul dominio target, è stato utilizzato per ricostruire l'informazione meteorologica ad alta risoluzione per l'intero anno 2019, necessaria al modello SPRAY. La Figura 7 illustra, a titolo di esempio, la rappresentazione del campo di vento a 10 m dal suolo ricostruito da SWIFT per il giorno 02/08/2019 alle ore 13:00 e alle ore 24:00. Si può notare che in condizioni diurne i venti provengono dal quadrante a Est, mentre nelle ore notturne avviene la discesa di masse d'aria fredda provenienti dall'area montuosa a Nord, con venti più deboli.



Figura 7. Campi di vento in prossimità del suolo calcolati per il giorno 02/08/2019 alle ore 13:00 (sinistra) e alle ore 24:00 (destra) da SWIFT. Velocità del vento in m/s secondo la scala colorata a destra.

Il codice Swift conserva le principali caratteristiche presenti nei dati di input, introducendo una riduzione nell'intensità del vento. A dimostrazione di questo, in Figura 8 è riportato il confronto tra le estrazioni del modello WRF e del modello SWIFT in corrispondenza dell'impianto Silva.



Figura 8. Rose dei venti annuali 2019, dati estratti in corrispondenza dell'impianto Silva dalla simulazione WRF (a sinistra) e SWIFT (a destra). Intensità del vento in m/s.

Il modello di dispersione SPRAY, per determinare la dispersione degli inquinanti emessi in atmosfera, oltre alle caratteristiche del vento che domina il trasporto in direzione orizzontale richiede che siano definite le caratteristiche della turbolenza atmosferica, cioè dei moti disordinati che hanno origine sia meccanica che termica e che favoriscono, in condizioni di instabilità, la dispersione anche nella direzione verticale.

Nei modelli utilizzati per il presente lavoro, la turbolenza viene descritta attraverso opportune variabili fisiche dette 'di scala', che hanno il compito di riassumerne le principali caratteristiche. Tali variabili sono:

- u* o velocità di frizione, che descrive gli effetti legati alla turbolenza di tipo 'meccanico', dovuti alla presenza di ostacoli superficiali o variazioni con la quota della velocità del vento (shear);
- Hmix o altezza dello strato limite, che rappresenta lo strato adiacente al suolo variabile nel tempo e nello spazio all'interno del quale avvengono i principali fenomeni turbolenti generati dall'interazione del flusso atmosferico con la superficie, e dove vengono in genere immesse le sostanze inquinanti;
- L o lunghezza di Monin-Obukhov che rappresenta un indicatore della stabilità atmosferica. Un'atmosfera stabile tende ad un minore rimescolamento e dispersione delle sostanze emesse, al contrario un'atmosfera instabile è caratterizzata da una maggiore efficienza dispersiva. Valori negativi vicini allo zero sono rappresentativi di un'atmosfera instabile in condizioni convettive diurne, valori positivi piccoli sono invece caratteristici di un'atmosfera stabile tipicamente notturna;
- w* o velocità convettiva di scala che rappresenta una misura dell'intensità della turbolenza nelle ore più calde in presenza di forte irraggiamento solare.

I campi di queste variabili vengono ricostruiti ora per ora su tutto il dominio mediante l'utilizzo del preprocessore SurfPro, sviluppato da ARIANET S.r.I. (Silibello, 2006, ARIANET, 2015) e descritto in appendice, tenendo conto delle disomogeneità orizzontali indotte dalla presenza di differenti caratteristiche di uso del suolo.

In particolare, per il calcolo del flusso di calore sensibile alla superficie è stato utilizzato lo schema iterativo di bilancio energetico suggerito da Holstlag e van Ulden (1983), mentre per il calcolo della velocità di frizione sono stati utilizzati gli schemi suggeriti da Holtslag van Ulden (1983) nelle situazioni neutre ed instabili diurne e da Venkatram (1980) e Weil e Brower (1983) nelle situazioni stabili e notturne.

Per il calcolo della lunghezza di Monin-Obukhov e dell'altezza dello strato limite, nelle condizioni diurne convettive viene utilizzato uno schema dovuto a Carson (1973), mentre in condizioni neutre e stabili vengono utilizzati gli schemi sviluppati da Venkatram (1980).

A titolo di esempio, la Figura 9 e la Figura illustrano rispettivamente i campi orizzontali delle variabili Hmix ed L in un'ora diurna del giorno 02/08/2019, e gli stessi campi in un'ora notturna. Durante questa giornata estiva si ha lo sviluppo di uno strato limite stabile nelle ore notturne, mentre durante le ore diurne si sviluppa uno strato limite instabile convettivo. L'utilizzo di un uso del suolo ad elevata risoluzione rende possibile l'individuazione di zone di disuniformità nelle caratteristiche turbolente dell'atmosfera, che vengono tenute in conto dal modello di dispersione a particelle durante il moto di queste ultime. Sono evidenti, soprattutto nella rappresentazione dello strato limite H_{mix}, gli effetti che derivano dalla presenza di aree urbanizzate.



Figura 9. Campo dell'altezza dello strato limite Hmix (m) simulato da SurfPro alle ore 10:00 (sinistra) e alle ore 22:00 (destra) del giorno 02/08/2019.



Figura 10. Campo della lunghezza di Monin-Obukhov (m) simulato da SurfPro alle ore 11:00 (sinistra) e alle ore 23:00 (destra) del giorno 02/08/2019.

3.3 Verifica della simulazione con i dati locali

Per la verifica dei risultati delle simulazioni con dati locali, sono disponibili per l'anno 2019 i dati di vento delle stazioni della rete di ARPA Veneto. In Figura 11 è illustrata la localizzazione delle due stazioni di misura presenti all'interno del dominio, ovvero Montecchio Precalcino e Malo.





Figura 11. Posizionamento delle stazioni di misura di ARPA Veneto rispetto all'impianto di Silva.

La Figura 12 mostra le rose dei venti annuali rappresentative dei dati misurati presso ciascuna stazione, relativamente all'anno 2019.



Figura 12. Rose dei venti annuali 2019, dati misurati presso le stazioni di ARPA Veneto di Malo (a sinistra) e Montecchio Precalcino (a destra). Sono riportate le percentuali di dati mancanti e le percentuali di calme di vento (velocità < 0.5 m/s) per ciascuna stazione. Intensità del vento in m/s.



È evidente che i dati misurati presso la stazione di Montecchio Precalcino, la più vicina all'impianto, presentano un'elevata percentuale di calme di vento (velocità inferiore a 0.5 m/s) pari al 58%. L'anemometro di questa stazione ha un'altezza di 5 metri ed è posizionato fuori dall'area urbana, in prossimità di alberi. Questo posizionamento influisce sui dati di vento registrati dalla stazione stessa, in quanto i venti vengono parzialmente schermati dagli ostacoli, soprattutto per le direzioni di provenienza Nord e Nord-Ovest. La Figura 13 mostra nel dettaglio il posizionamento della stazione, con la rosa dei venti annuale inclusiva anche delle calme di vento. Per la verifica dei risultati della simulazione si è quindi scelto di fare riferimento ai dati misurati dall'anemometro di Malo, a un'altezza di 10 m, nonostante la percentuale di dati mancanti pari al 33%.



Figura 13. Dettaglio del posizionamento della stazione di Montecchio Precalcino cerchiata in giallo (a sinistra) e rosa dei venti annuale inclusiva delle calme di vento (velocità < 0.5 m/s) ricavata dai dati misurati dalla stazione nel 2019 (a destra).

Il confronto tra rosa dei venti annuale ricavata dai dati misurati presso Malo e quella ricavata dai dati modellati da Swift nel punto della stazione (Figura 14) indica che la simulazione nel suo complesso è consistente con i dati misurati, poiché è in grado di rappresentare le principali direzioni di provenienza del vento, in particolare la prevalenza di venti provenienti da Nord-Ovest.



Figura 14. Rose dei venti annuali 2019, ricavate dai dati misurati presso Malo (a sinistra) e dai dati estratti da Swift nel punto della stazione (a destra). Intensità del vento in m/s.



L'analisi delle rose dei venti diurne e notturne, riportate in Figura 15, conferma l'accordo tra la simulazione e i dati misurati, in quanto la simulazione è in grado di rappresentare adeguatamente l'alternanza tra le condizioni diurne e quelle notturne. In particolare, nelle ore diurne si osserva una maggiore persistenza dei venti provenienti dai quadranti a Sud e a Est, mentre nelle ore notturne è particolarmente accentuata la discesa delle masse d'aria provenienti dall'area montuosa a Nord Ovest.



Figura 15. Rose dei venti diurne (in alto) e notturne (in basso) per l'anno 2019, ricavate dai dati misurati presso Malo (a sinistra) e dai dati estratti da Swift nel punto della stazione (a destra). Intensità del vento in m/s.

La Figura 16 mostra l'analisi delle rose dei venti estive e invernali per l'anno 2019, confrontando quelle ottenute dalle misure presso Malo con quelle ottenute dai dati modellati da Swift nello stesso punto. Non sono state considerate le altre stagioni a causa della limitata disponibilità di dati misurati dalla stazione.

Quest'analisi conferma un buon accordo tra la simulazione e i dati misurati; la simulazione riproduce infatti la variabilità delle condizioni stagionali, con un venti prevalenti da Nord-Ovest durante l'inverno e la presenza di altre direzioni di provenienza dai quadranti a Est e a Sud nella stagione estiva.





Figura 16. Rose dei venti invernali (in alto) e estive (in basso) per l'anno 2019, ricavate dai dati misurati presso Malo (a sinistra) e dai dati estratti da Swift nel punto della stazione (a destra). Intensità del vento in m/s.

3.4 Rappresentatività statistica dell'anno meteorologico scelto

Si precisa che l'anno 2019 è stato utilizzato come riferimento meteorologico per lo studio effettuato in quanto ritenuto rappresentativo delle condizioni meteorologiche che mediamente caratterizzano l'area durante l'anno.

La Figura 17 riporta le rose dei venti annuali misurate nella stazione di Malo per gli anni 2019, 2020, 2021, 2022, 2023; si nota come le rose non mostrino differenze rilevanti per anni diversi e siano sostanzialmente sovrapponibili, non solo dal punto di vista della distribuzione delle direzioni di provenienza ma anche come frequenza delle classi di velocità del vento. Il confronto con la rosa dei venti ottenuta nello stesso punto a partire dalla simulazione meteorologica, riportata in Figura 14, conferma la consistenza della simulazione con i dati misurati. Si conferma pertanto la rappresentatività dell'anno meteorologico scelto e di conseguenza si ritiene che l'impatto annuale mostrato in questo report sia rappresentativo dell'impatto che si otterrebbe considerando altri anni meteorologici recenti.





Figura 17. Rose dei venti annuali per gli anni 2019, 2020, 2021, 2022, 2023, dati misurati presso le stazioni di ARPA Veneto di Malo. Sono riportate le percentuali di dati mancanti e le percentuali di calme di vento (velocità < 0.5 m/s) per ciascuna stazione.



4 Scenario emissivo

Sono state effettuate le simulazioni di dispersione per lo scenario emissivo in progetto sia in termini di inquinanti che di sostanze odorigene, alimentate con i dati trasmessi.

I valori di riferimento utilizzati per le emissioni di ciascuna specie chimica corrispondono ai valori prescritti dalle BAT, ove esistenti, o ai valori definiti nelle specifiche dei fornitori per le macchine non comprese nelle BAT.

Tali concentrazioni all'emissione sono state moltiplicate per le portate massime a camino per calcolare i flussi di massa delle sostanze.

Sono state simulate tutte le sorgenti convogliate presenti nell'impianto, ovvero:

- EC 1: tramoggia di carico grande per vagoni ferroviari
- EC 2: box scarico end of waste
- EC 5: Impianto preparazione sabbie pre-rivestite
- EC 7: forno + impianto rigenerazione meccanica secondaria (secondo e terzo stadio) delle terre a verde
- EC 8: baie di scarico (Unità di rigenerazione primaria)
- EC 9: essiccatore e rigenerazione meccanica secondaria (primo stadio)
- EC 10: post-combustore
- EC 11: caldaia produzione vapore
- EC 12: caldaia produzione vapore
- EC 13: caldaia riscaldamento olio diatermico impianto sterilizzazione
- EC 14: caldaia riscaldamento olio diatermico impianto sterilizzazione

La Figura 18 mostra la disposizione delle sorgenti all'interno dell'impianto, mentre la Tabella 2 riporta le principali caratteristiche fisiche e geometriche delle stesse.



Figura 18. Localizzazione delle sorgenti, scenario emissivo di progetto.

Tabella 2. Sintesi delle sorgenti di impianto, caratteristiche fisiche e geometriche						
Punto emissivo	Diametro camino [m]	Altezza camino [m]	Temperatura [°C]	Portata massima [Nm³/h]	Velocità fumi [m/s]	
EC 1	0.90	11.2	20	20 000	9.4	
EC 2	0.80	6.2	20	6 000	3.6	
EC 5	0.90	9	20	25 000	11.7	
EC 7	1.32	11.5	130	40 000	12.0	
EC 8	1.26	11.5	20	50 000	12.0	
EC 9	0.85	11.5	60	20 000	12.0	
EC 10	0.30	12	65	6 000	29.2	
EC 11	0.30	12	110	670	4.0	
EC 12	0.30	12	110	670	4.0	
EC 13	0.30	12	300	650	6.0	
EC 14	0.30	12	300	650	6.0	

In Tabella 3 sono invece presentati i limiti alle emissioni dei diversi inquinanti rilasciati dai camini e le modulazioni temporali di ogni sorgente. Sulla base del calendario di funzionamento indicato per ciascun camino le emissioni sono state effettivamente attivate o meno in corrispondenza di ciascuna scadenza oraria sull'intero anno di simulazione considerato.

Punto emissivo	Polveri [mg/Nm ³]	TOC [mg/Nm ³]	CO [mg/Nm ³]	NOx [mg/Nm ³]	Fascia oraria	Giorni attività	Fermo
EC 1	5				8.30- 11.30	5 d/w	-
EC 2	5				8.30- 11.30	5 d/w	-
EC 5	5				0-24	5 d/w	15 gg agosto
EC 7	4	10	50	50	0-24	7 d/w	20 gg agosto
EC 8	4				7-17	5 d/w	15 gg agosto
EC 9	4				0-24	7 d/w	20 gg agosto
EC 10		20			0-24	7 d/w	20 gg agosto
EC 11	5			100	0-24	7 d/w	20 gg agosto
EC 12	5			100	0-24	7 d/w	20 gg agosto
EC 13	5			100	0-24	7 d/w	20 gg agosto
EC 14	5			100	0-24	7 d/w	20 gg agosto

Tabella 3. Sintesi delle sorgenti di inquinanti, concentrazioni all'emissione e periodo di attività

Per ciò che riguarda le emissioni odorigene l'unica sorgente emittente è il post-combustore EC 10, per il quale vale il seguente limite alle emissioni:

Tabella 4. Sorgente di emissione odorigena e concentrazione limite

Punto emissivo	Limite odore [uoE/Nm ³]	
EC 10	750	

5 Simulazione della dispersione di inquinanti

I dati territoriali, meteorologici ed emissivi descritti ai capitoli precedenti costituiscono l'input per il modello di dispersione SPRAY. Nei paragrafi seguenti viene fornita sia una descrizione generale delle modalità di utilizzo del modello di dispersione che dei risultati ottenuti. I risultati vengono presentati sotto forma di mappe sul territorio della concentrazione al suolo di vari inquinanti. Quando possibile, i valori di concentrazione vengono riferiti agli indicatori calcolati secondo la tabella riportata nel paragrafo 5.1, che si riferiscono al D.Lgs. 155/2010.

5.1 Quadro normativo di riferimento

5.1.1 Decreto per la qualità dell'aria ambiente

La Tabella 5 illustra i valori limite e/o valori obiettivo riportati nel D.Lgs. 155/2010 per le concentrazioni in aria dei macroinquinanti: NO₂, NO_X, CO, PM10 e PM2.5, Benzene.

Inquinante	Nome limite	Indicatore statistico	Valore
NO _X	Livello critico per la protezione della vegetazione	media annuale	30 µg/m³
	Soglia di allarme	superamento per 3 ore consecutive del valore soglia	400 µg/m³
NO ₂	Limite orario per la protezione della salute umana	media oraria	200 μg/m ³ da non superare più di 18 volte per anno civile
	Limite annuale per la protezione della salute umana	media annuale	40 µg/m³
PM10	Limite di 24 ore per la protezione della salute umana	media giornaliera	50 μg/m ³ da non superare più di 35 volte per anno civile
	Limite annuale per la protezione della salute umana	media annuale	40 µg/m³
PM2.5	Limite annuale per la protezione della salute umana	media annuale	25 µg/m³
СО	Limite per la protezione della salute umana	massimo giornaliero della media mobile su otto ore	10 mg/m ³
Benzene	Limite annuale per la protezione della salute umana	media annuale	5 µg/m³

Tabella 5. Valori limite per la protezione della salute umana e della vegetazione (D.Lgs. 155/2010 e ss.mm.ii.)

5.1.2 Linee guida per l'impatto odorigeno

Per la valutazione dell'impatto odorigeno dell'impianto non esiste nessuna normativa nazionale; si sono quindi riprese le indicazioni fornite dalla Linea Guida della Regione Lombardia (DGR 15 febbraio 2012 – n. IX/3018) relative alle emissioni in atmosfera da attività osmogene.

La linea guida prevede che, sulla base della modellazione della dispersione dell'odore, siano redatte delle mappe d'impatto che evidenzino tra le altre, l'isopleta (curva di isoconcentrazione di odore) corrispondente al valore di concentrazione pari al criterio di accettabilità definito.

Nel documento principale in riferimento a nuove attività in aree agricole o industriali è indicato di non superare il valore di 4 ou_E/m^3 di concentrazione orarie di picco di odore al 98° percentile su base annuale, a 500 m dal confine aziendale o al primo ricettore.

La concentrazione di odore, così come qualunque variabile scalare dell'atmosfera, fluttua istantaneamente per effetto della turbolenza. Poiché il modello di dispersione impiegato produce come output, per ciascuna ora e ciascun recettore, la media oraria della concentrazione di odore, è necessario dedurre da questa la concentrazione oraria di picco, definita come la concentrazione che in un'ora è oltrepassata con probabilità 10⁻³, cioè per più di 3.6 secondi.



La stima della concentrazione di picco può essere condotta moltiplicando la concentrazione media oraria per un coefficiente dedotto sperimentalmente e dipendente soprattutto dalla morfologia della sorgente. Nelle Linee Guida si legge "Le concentrazioni orarie di picco di odore per ciascun punto della griglia contenuta nel dominio spaziale di simulazione e per ciascuna delle ore del dominio temporale di simulazione devono essere ottenute moltiplicando le concentrazioni medie orarie per un peak-to-mean ratio pari a 2.3".

5.2 Configurazione delle simulazioni modellistiche di dispersione

Per pilotare una simulazione di dispersione SPRAY utilizza:

- schemi di equazioni differenziali stocastiche dovute a Thomson (1987) per definire le velocità turbolente delle particelle computazionali;
- campi tridimensionali di vento e temperatura a 100 m di risoluzione, forniti da SWIFT;
- campi bidimensionali di turbolenza z₀, Hmix, u*, L, w* forniti da SurfPro;
- dati di emissione, costituiti da una sequenza di informazioni sulla loro geometria e localizzazione spaziale, sui flussi di massa variabili nel tempo di sostanze gassose e particolato espresse in μg/h emesse e sul quantitativo di particelle computazionali da emettere nell'unità di tempo. Ad ogni particella viene attribuita una quantità di sostanza dipendente dal flusso emissivo considerato, ottenuto come prodotto della portata e concentrazione all'emissione di ogni sorgente.

Per completare la simulazione su base annua, i modelli vengono richiamati in cascata con frequenza oraria. All'interno di ogni ora vengono inserite nel dominio di calcolo per ogni sorgente un numero di particelle sufficienti per garantire una risoluzione minima (contributo in concentrazione di una singola particella computazionale), di circa 0.001 μ g/m³ per la specie NO_X nelle celle per il calcolo della concentrazione al suolo, delle dimensioni di 100x100x10 m³. In questo modo, concentrazioni orarie intorno a 100 μ g/m³ di NO_X vengono risolte da circa 100000 particelle per cella di concentrazione, che costituiscono un numero più che sufficiente per considerare statisticamente stabile la simulazione.

Sono state calcolate matrici di concentrazione orarie espresse in µg/m³, considerando sia il complesso delle emissioni. Ogni media oraria di concentrazione è costruita mediante 120 campionamenti dei pennacchi di particelle all'interno dell'ora, effettuati alla frequenza fissa di 30 secondi.

Lo stato finale di ogni ora (posizioni, velocità e masse associate ad ogni particella) viene utilizzato per inizializzare la simulazione dell'ora successiva. In questo modo la simulazione risulta essere continua durante tutto il periodo annuale descrivendo l'evoluzione spazio-temporale di ogni pennacchio emesso, consentendo eventuali effetti di ritorno dei pennacchi in presenza di rotazioni del vento durante situazioni di innesco della brezza. Complessivamente vengono quindi prodotti 8760 campi di concentrazione suddivisi secondo quanto descritto in precedenza, nell'intervallo meteorologico a partire dal 01/01/2019 01:00 fino al 01/01/2020 00:00.

La sequenza temporale dei campi di concentrazione così ottenuta è stata utilizzata per calcolare i valori statistici relativi alle concentrazioni in aria relative alle diverse specie considerate.

Gli indicatori per il confronto con i limiti normativi definiti nel paragrafo 5.1 per le concentrazioni sono schematizzati in Tabella 6.



Tabella 6. Indicatori statistici considerati per il confronto con i limiti normativi o di riferimentoper varie sostanze

Inquinante	Indicatori statistici calcolati
	Media annuale
	99.8 percentile della media oraria
Polyori	Media annuale
FOIVEII	90.4 percentile della media giornaliera
	Media annuale
SO ₂	99.7 percentile della media oraria
	99.2 percentile della media giornaliera
CO	Massimo della media mobile su 8 ore
COT	Media annuale

Per quanto riguarda il biossido di azoto, l'indicatore statistico del 99.8 percentile rappresenta il 18° valore più elevato della distribuzione annuale delle concentrazioni medie orarie di ottenute dal modello; valori superiori a 200 μ g/m³ indicano la presenza di un numero di superamenti del limite maggiore di quanto specificato dalla legge ed indicati in Tabella 5Tabella .

Per quanto riguarda le polveri, occorre ricordare che le emissioni considerate nelle simulazioni riguardano le Polveri Totali Sospese, non essendo disponibile il dettaglio della distribuzione granulometrica. Viene quindi considerata, in maniera estremamente cautelativa, l'assunzione per cui le polveri emesse siano tutte comprese sia nella frazione PM10 che in quella più fine PM2.5. Ciò significa che gli indicatori che riguardano le polveri, calcolati sulla base dei risultati delle simulazioni per le Polveri Totali, vengono confrontati con i limiti di legge per che riguardano sia la frazione PM10 che quella PM2.5. L'indicatore statistico del 90.4 percentile rappresenta il 35° valore più elevato della distribuzione delle concentrazioni medie giornaliere ottenute dal modello sull'anno; valori superiori a 50 μ g/m³ indicano la presenza di un numero di superamenti del limite maggiori di quanto specificato dalla legge, indicati in Tabella 5.

5.3 Recettori sensibili

Sono stati identificati, nell'intorno dell'impianto, 11 recettori sensibili, nel rispetto delle indicazioni contenute nel paragrafo 7 del D.g.r. 15 febbraio 2012 - n. IX/3018 Determinazioni generali in merito alla caratterizzazione delle emissioni gassose in atmosfera derivanti da attività a forte impatto odorigeno.

Tra i criteri suggeriti per l'individuazione dei recettori si legge che la disposizione dei medesimi sia almeno uno per ogni arco di 120° di circonferenza centrata nell'impianto, che siano comprese le abitazioni o locali ad uso collettivo (scuola, ospedale, ecc.) più prossimi all'impianto e che si identifichi almeno un punto presso ciascuno dei centri abitati ubicati entro 3 km dall'impianto.

L'elenco dei recettori individuati rispettando i suddetti criteri è considerato ragionevolmente valido anche per la valutazione di impatto delle altre sostanze simulate, in assenza di ulteriori prescrizioni in merito. La Tabella 7 li descrive nel dettaglio indicandone codice e descrizione, mentre la Figura 19 illustra invece graficamente la posizione dei recettori rispetto alla posizione dell'impianto Silva.

ID	descrizione	X	у
r1	Trattoria stazione	696936	5059032
r2	Abitazioni prossime	697083	5059152
r3	Stazione ferroviaria Villaverla - Montecchio	696651	5059034
r4	Abitazioni sottovento estate	696087	5058940
r5	Abitazioni sottovento inverno	696730	5058419
r6	Scuola materna Levà	697314	5060352
r7	Scuola primaria Rozzampia	694861	5061429

Tabella 7. Lista e posizione dei recettori sensibili intorno all'impianto, coordinate UTM32 i	in m

r8	Istituto comprensivo Villaverla	694121	5058486
r9	Associazione Sportiva Calcio	695398	5057851
r10	Scuola Roncalli Dueville	698604	5056978
r11	Scuola Giacomo Leopardi Montecchio Precalcino	699631	5060170



Figura 19. Posizionamento dei recettori sensibili sul territorio circostante l'impianto Silva

5.4 Impatto sulla qualità dell'aria ambiente

Nel paragrafo successivo, vengono riportate le mappe di isoconcentrazione per gli indicatori relativi alle specie inquinanti prese in considerazione, descritti al termine del paragrafo 5.2 per lo scenario emissivo di progetto. In ogni grafico sono presenti il valore massimo e la sua posizione, indicata tramite un punto rosso. Il punto nero rappresenta la posizione baricentrica dell'impianto Silva. Le scale colorate di concentrazione hanno il livello più alto (in rosa/rosso) corrispondente al valore limite previsto dalla normativa per l'indicatore, ove applicabile.

5.4.1 Risultati – mappe di concentrazione

Lo scenario di progetto prevede l'attivazione di 11 sorgenti puntuali, che emettono sia sostanze inquinanti che sostanze odorigene; per tutte le sorgenti è stata cautelativamente assunta un'emissione pari ai limiti autorizzati trasmessi. Nonostante l'assunzione cautelativa, tutte le statistiche riportate di seguito risultano essere inferiori ai limiti normativi.

5.4.1.1 Ossidi di azoto

La Figura 20 e la Figura 21 riportano rispettivamente i campi della concentrazione media annuale in prossimità del suolo per gli ossidi di azoto totali NOx e il campo del 99.8 percentile delle concentrazioni medie orarie per NOx sull'intero dominio di calcolo.

Gli ossidi di azoto vengono emessi dal forno, ovvero la sorgente EC7 e dalle 4 caldaie (sorgenti EC11, EC12, EC13, EC14). Sia la concentrazione media annua sia il 99.8 percentile delle medie orarie risultano essere inferiori di oltre un ordine di grandezza ai limiti di legge, pari rispettivamente a 40 μ g/m³ e 200 μ g/m³.



Il campo dei valori medi annuali risulta coerente con la rosa dei venti che caratterizza la zona. La figura mostra un'elongazione verso Sud Est, coerentemente con le principali direzioni del flusso. I valori massimi di entrambe le statistiche analizzate si localizzano comunque nelle immediate vicinanze dell'impianto. Analizzando inoltre i valori di picco orari, rappresentati dal 99.8 percentile delle medie orarie, si riconosce anche l'incidenza dei venti con provenienza da Nord Est che determinano impatti sull'asse Nord Est – Sud Ovest, sebbene meno rilevanti.



Figura 20. Campo delle concentrazioni medie annuali di NO_x, scenario emissivo di progetto. Valori in μ g/m³ secondo la scala colorata a destra



Figura 21. Campo del 99.8 percentile delle concentrazioni medie orarie di NO_x, scenario emissivo di progetto. Valori in μg/m³ secondo la scala colorata a destra

5.4.1.2 Polveri

La Figura 22 e la Figura 23 riportano rispettivamente i campi della concentrazione media annuale e il campo del 90.4 percentile delle concentrazioni medie giornaliere in prossimità del suolo per le Polveri Totali sull'intero dominio di calcolo.

Le polveri vengono emesse da tutte le sorgenti puntuali dell'impianto, ad eccezione del postcombustore EC10. Ciò determina campi di concentrazione più compatti rispetto a quelli degli ossidi di azoto, a causa della presenza delle emissioni che originano da camini relativamente bassi, alcune caratterizzate inoltre dall'assenza di risalita calda. Questo aspetto si evince dalle figure, che presentano un pattern con l'impatto principale più concentrato intorno dell'impianto, maggiormente elongato anche in questo caso verso Sud Est.

Nonostante l'ipotesi cautelativa di considerare il confronto della concentrazione media annua sulla base delle concentrazioni di Polveri Totali con i limiti di normativa per PM10 e PM2.5, pari rispettivamente a 40 μ g/m³ e 25 μ g/m³, i valori massimi simulati risultano essere comunque inferiori di oltre un ordine di grandezza rispetto ai limiti. La stessa considerazione è valida per il 90.4 percentile dei valori medi giornalieri di concentrazione, il cui valore limite è pari a 50 μ g/m³.





Figura 22. Campo delle concentrazioni medie annuali di PTS, scenario emissivo di progetto. Valori in μ g/m³ secondo la scala colorata a destra



Figura 23. Campo del 90.4 percentile delle concentrazioni medie giornaliere di PTS, scenario emissivo di progetto. Valori in µg/m³ secondo la scala colorata a destra



5.4.1.3 Monossido di carbonio

La Figura 24 riporta i valori massimi nell'anno della concentrazione media mobile su 8 ore per il CO, il cui valore limite è fissato dalla normativa italiana a 10 mg/m³. Il CO è emesso solamente dal forno EC7; il campo di concentrazione mostra un valore massimo inferiore di 3 ordini di grandezza rispetto al limite considerato.



Figura 24. Campo del massimo delle concentrazioni medie mobili su 8 ore di CO, scenario emissivo di progetto. Valori in mg/m³ secondo la scala colorata a destra

5.4.1.4 COT

La Figura 25 mostra il campo della concentrazione media annuale in prossimità del suolo per Carbonio Organico Totale (COT), generato dal solo post-combustore EC10.

Non esistendo nella normativa di riferimento della qualità dell'aria D.Lgs. 155/2010 e s.m.i. un limite specifico per il COT, si è considerato il limite da questa previsto per il solo composto organico Benzene, pari a 5 μ g/m³. Nonostante l'assunzione estremamente cautelativa, il valore massimo del campo di concentrazione per il COT risulta essere inferiore di oltre un ordine di grandezza rispetto al limite per il Benzene.



Figura 25. Campo delle concentrazioni medie annue di COT, scenario emissivo di progetto. Valori in μ g/m³ secondo la scala colorata a destra

5.4.2 Risultati – Impatto al suolo massimo

La Tabella 8 riporta infine il quadro completo dei risultati relativi ai valori massimi nel dominio di calcolo per tutti gli indicatori e specie considerate, che risultano inferiori ai limiti di legge.

Γabella 8. Schema riassuntivo dei valori di riferimento massimi per i diversi indicatori e	specie
considerate	

Concentrazioni				Valore massimo nel dominio
Inquinante	Indicatore	Unità di misura	Riferimenti e note	Scenario emissivo di progetto
NOx	media annuale	µg/m³	40 (NO ₂) Assunzione cautelativa: NOx=NO ₂	0.97
NOx	99.8° percentile delle medie orarie	µg/m³	200 (NO ₂) Assunzione cautelativa: NOx=NO ₂	13.58
PTS=PM10 =PM2.5	media annuale	µg/m³	40 (PM10); 20 (PM2.5). Assunzione cautelativa: PTS=PM10=PM2.5	0.41
PTS = PM10	90.4° percentile delle medie giornaliere	µg/m³	50 (PM10) Assunzione cautelativa: PTS=PM10	0.93
сот	media annuale	µg/m³	5 (Benzene) Assunzione cautelativa: COT=Benzene	0.20
СО	massimo della media mobile su 8 ore	mg/m ³	10	0.01



La valutazione effettuata permette infine un confronto quantitativo con le concentrazioni di fondo che caratterizzano la provincia di Vicenza. La stazione che può essere considerata rappresentativa della qualità dell'aria nella zona di Montecchio Precalcino è quella di Schio, che è una stazione di fondo.

La Figura 26 riporta i grafici riportati nel documento "Relazione regionale della qualità dell'aria – anno 2022", prodotto da ARPA Veneto, che mostrano le concentrazioni medie annuali di NO₂, PM10 e Benzene misurate dalle stazioni di ARPA Veneto tra gli anni 2018 e 2022. Le concentrazioni di CO sono invece rilevate a livello regionale da ARPA Veneto, che ha verificato che in tutti i punti di campionamento non sono stati osservati superamenti del limite di 10 mg/m³, calcolato come valore massimo giornaliero su medie mobili di 8 ore.









Figura 26. Concentrazioni medie annuali misurate dalle stazioni di ARPA Veneto. Grafici da "Relazione regionale della qualità dell'aria – anno 2022"

La Tabella 9 mostra i valori medi annuali misurati dalla centralina e quelli massimi estratti dalla simulazione per NO₂, PM10 e Benzene.

Sono state fatte le seguenti assunzioni cautelative rispetto all'impianto:

- $NOx = NO_2$
- PTS = PM10
- COT = Benzene

Si assume che le misure della centralina possano essere considerate rappresentative del contributo di tutte le sorgenti emissive presenti nella zona, ad eccezione del solo impianto Silva. Confrontando quindi le misure con le concentrazioni modellate, si può effettuare una valutazione di quanto lo stabilimento potrà incidere sulla qualità dell'aria locale. La misura risulta essere superiore alla componente modellata, per tutti gli inquinanti, nonostante le assunzioni cautelative fatte. Per quanto riguarda NO₂ e PM10 l'impatto massimo dell'impianto è inferiore di oltre un ordine di grandezza rispetto alle concentrazioni medie annuali che caratterizzano l'area. Il valore massimo delle concentrazioni medie annuali di COT generato dall'impianto risulta invece pari a circa 1/3 del valore misurato di Benzene; si sottolinea come l'assunzione fatta che considera tutto il COT come Benzene sia particolarmente cautelativa.

L'impatto dell'impianto si conferma quindi minimo, anche nel confronto con la situazione preesistente.

Tabella 9. Valori medi annuali misurati presso la stazione di Schio nell'anno 2022 per NO₂, PM10 e Benzene e valore massimo della concentrazione media annuale estratti dalla simulazione.

		Medie annuali [µg/m³]		
		NO ₂	PM10	Benzene
Misure anno 2022	Stazione Schio - Background	21	21	0.60
Scenario di progetto	Impianto (impatto massimo)	0.97	0.41	0.20

5.4.3 Risultati – Estrazioni ai recettori sensibili

La tabella successiva riporta l'estrazione di tutti gli indicatori considerati dalla simulazione nei punti recettori sensibili per lo scenario simulato.

Tabella 10. Valori degli indicatori di impatto in prossimità del suolo estratti ai punti recettori nello scenario emissivo considerato

Codice recettore	media annuale di NO _x	99.8° percentile orario di NO _x	media annuale di PTS	90.4° percentile giornaliero di PTS	media annuale TOC	Max media mob. 8 h CO
	µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³	mg/m ³
01	3.32E-01	7.48E+00	8.58E-02	2.33E-01	7.09E-02	2.88E-03
02	1.49E-01	5.30E+00	4.29E-02	1.18E-01	3.45E-02	1.71E-03
03	5.32E-01	7.66E+00	2.85E-01	6.87E-01	1.34E-01	6.51E-03
04	1.57E-01	4.07E+00	7.49E-02	1.91E-01	3.91E-02	2.23E-03
05	1.84E-01	3.94E+00	6.63E-02	1.67E-01	4.44E-02	1.95E-03
06	8.45E-02	3.88E+00	2.20E-02	7.06E-02	2.11E-02	1.86E-03
07	3.37E-02	1.73E+00	6.98E-03	1.89E-02	7.91E-03	1.21E-03
08	9.03E-02	3.36E+00	1.94E-02	4.63E-02	2.16E-02	2.03E-03
09	1.57E-01	4.51E+00	3.83E-02	9.35E-02	3.95E-02	3.05E-03
10	1.57E-01	4.77E+00	3.22E-02	8.69E-02	4.02E-02	2.47E-03
11	4.32E-02	2.93E+00	8.55E-03	2.98E-02	1.05E-02	1.35E-03

Complessivamente, per tutti gli indicatori i valori estratti ai punti recettori risultano notevolmente inferiori ai limiti considerati nello scenario considerato. I recettori maggiormente raggiunti dalle concentrazioni, seppur minime, risultano quelli più vicini all'impianto, in particolare quelli in direzione Sud Est.

5.5 Impatto odorigeno

5.5.1 Risultati – Estrazioni ai recettori sensibili

La Linea Guida richiede che per ciascuno dei recettori sensibili individuati sul territorio si calcoli il 98° percentile e il massimo annuale delle concentrazioni orarie di picco di odore simulate. In Tabella 11 si riportano i valori estratti in corrispondenza dei recettori individuati nel capitolo 5.3. I valori di OU/m³ risultano sempre inferiori alla soglia di 1 OU/m³, a cui solo il 50% della popolazione percepisce l'odore.

			-	
Codice	x	У	98° %ile conc. oraria di picco [ou₌/m³]	Massimo conc. oraria di picco [ou⊧/m³]
r 01	696936	5059032	9.93E-02	1.43E-01
r 02	697083	5059152	6.84E-02	1.40E-01
r 03	696651	5059034	1.28E-01	1.43E-01
r 04	696087	5058940	4.64E-02	8.58E-02
r 05	696730	5058419	5.38E-02	8.58E-02
r 06	697314	5060352	5.35E-02	1.33E-01
r 07	694861	5061429	1.28E-02	4.25E-02
r 08	694121	5058486	3.15E-02	9.07E-02
r 09	695398	5057851	5.91E-02	1.28E-01
r 10	698604	5056978	6.46E-02	1.13E-01
r 11	699631	5060170	2.52E-02	6.71E-02

Tabella 11. 98° percentile e il massimo annuale delle concentrazioni orarie di picco di odore	e in
corrispondenza dei recettori.	

Per completezza e in conformità alla linea guida, in figura seguente sono riportate le concentrazioni orarie di picco di odore che corrispondono al 98° percentile annuale calcolate sull'angolo giro centrato sull'impianto a distanza di 500m. Il settore di maggiore impatto è quello di Sud Est, in ogni caso alla distanza considerata la concentrazione di odore risulta sempre inferiore di un ordine di grandezza rispetto al valore di accettabilità.



Figura 27. Andamento del 98°_{ile} delle concentrazioni orarie di picco di odore sull'angolo giro a distanza di 500m dall'impianto (linea blu). In rosso il valore di accettabilità (4 OU/m³).



5.5.2 Risultati – Mappa di impatto odorigeno

Viene qui di seguito presentata la mappa di impatto corrispondente al 98° percentile annuale delle concentrazioni orarie di picco di odore simulate, i cui confini corrispondono al perimetro del dominio spaziale di simulazione. È visibile il cerchio di raggio 500 m baricentrico rispetto ad esse, riportato in bianco. Nella scala di colori utilizzata per caratterizzare le curve di isoconcentrazione di odore si evidenzia in rosso il criterio di accettabilità definito per l'installazione (4 ou_E/m³).



Figura 28. Mappa del 98° percentile annuale delle concentrazioni orarie di picco di odore



6 Conclusioni

È stato realizzato uno studio modellistico relativo ad un intero anno per ricostruire l'impatto al suolo generato dalle emissioni in atmosfera dell'impianto Silva localizzato a Montecchio Precalcino. Lo studio stima il contributo delle emissioni dell'impianto sui livelli di inquinamento intorno all'impianto su un'area di 15 x 15 km². Si è considerato lo scenario di progetto, assumendo cautelativamente flussi emissivi pari a quelli autorizzati.

Dato che l'impianto si colloca in una regione pianeggiante, che può dar luogo a fenomeni complessi dal punto di vista dispersivo, in particolare per la presenza di calme di vento, per la ricostruzione della dispersione delle emissioni considerate è stato adottato un modello lagrangiano a particelle, denominato SPRAY, ampiamente utilizzato e particolarmente adatto a descrivere la dispersione atmosferica in questo tipo di situazioni. L'informazione meteorologica necessaria per pilotare queste simulazioni è stata ricostruita mediante l'utilizzo di un modello prognostico a mesoscala, denominato WRF, e un sistema per la discesa di scala costituito dai modelli SWIFT e SurfPro. Attraverso questo sistema sono stati generati campi tridimensionali meteorologici sull'area in esame alla risoluzione target di 100 m.

I risultati modellistici mostrano la presenza di un impatto ridotto rispetto ai livelli di inquinamento registrati nella zona. I pattern di inquinamento al suolo generati dall'impianto risultano essere coerenti con l'anemologia che caratterizza il sito, localizzandosi maggiormente a Sud Est, con i valori massimi nelle immediate vicinanze dell'impianto. Sono stati analizzati i principali inquinanti emessi dall'impianto, ovvero Ossidi di Azoto, Polveri, Monossido di Carbonio e Carbonio Organico Totale e confrontati con i valori limite previsti dalla normativa italiana. Tutte le statistiche analizzate sono risultate inferiori di almeno un ordine di grandezza rispetto ai limiti di legge; il confronto con le misure disponibili della rete di monitoraggio della qualità dell'aria inoltre hanno confermato che l'impatto dell'impianto risulta minimo anche rispetto alla situazione preesistente. È stato inoltre effettuato uno studio dell'impatto odorigeno generato dall'impianto, che risulta essere sempre inferiore alla soglia di 1 OU/m³, a cui solo il 50% della popolazione percepisce l'odore.

Sono stati infine estratti i valori delle statistiche analizzate in corrispondenza di undici recettori sensibili posizionati nei pressi dell'impianto, che si riferiscono a differenti tipologie di insediamento, come scuole di vario grado, abitazioni private, impianti sportivi. I valori delle concentrazioni rilevate dei recettori risultano essere inferiori di diversi ordini di grandezza rispetto ai limiti normativi.



7 Appendice - Modelli di simulazione

Per le simulazioni annuali e il calcolo dei valori di concentrazione e deposizione al suolo è stata utilizzata la suite di programmi contenuta nel pacchetto <u>ARIA Impact 3D</u>, costituita da SWIFT per la ricostruzione diagnostica dei campi di vento su terreno complesso, da SurfPro 3.0 per la ricostruzione dei campi di turbolenza e dal modello di dispersione lagrangiano a particelle Spray 3.1. L'insieme dei programmi citati consente infatti di tenere conto in maniera diretta sia dell'orografia che di eventuali disomogeneità del terreno (come, ad esempio, la presenza di interfaccia terramare), simulando condizioni meteo-dispersive che presentano variazioni nelle tre dimensioni e nel tempo.

Nei prossimi paragrafi è contenuta una descrizione generale dei codici e delle loro principali funzionalità, per una descrizione più dettagliata, si rimanda ai manuali specifici citati nel seguito.

7.1 Modello SWIFT

SWIFT sviluppato da EDF e ARIA Technologies S.A. (Aria Technologies, 2010, Finardi et al. 1998) è un codice "mass-consistent" di tipo diagnostico in grado di ricostruire i campi tridimensionali di vento e temperatura.

Per la ricostruzione del campo di vento, il modello opera essenzialmente in due fasi:

- nella prima effettua l'interpolazione sul dominio di calcolo tridimensionale dei dati di vento forniti in input;
- nella seconda, detta di analisi oggettiva, applica il principio fluidodinamico di conservazione della massa ad ogni cella del dominio e produce un campo di vento definito aggiustato.

La fase di aggiustamento consiste nella soppressione della divergenza presente nel campo interpolato, attraverso la minimizzazione del seguente funzionale:

$$I(u,v,w,\lambda) = \int_{V} (u-u_0)^2 + (v-v_0)^2 + \alpha (w-w_0)^2 + \lambda \nabla \cdot \underline{u} \, dV$$

con: *u*₀, *v*₀, *w*₀ componenti cartesiane del campo interpolato;

u, v, w componenti cartesiane del campo aggiustato;

 λ è il moltiplicatore di Lagrange;

 $\nabla \cdot \underline{u}$ è la divergenza del vettore vento $\underline{u} = (u, v, w)$.

Il parametro α consente di pesare diversamente l'aggiustamento delle componenti orizzontali e verticali della velocità del vento: con α =1 non c'è differenza nel grado di aggiustamento, mentre valori più piccoli/grandi di α fanno sì che l'aggiustamento sia operante principalmente sulla componente orizzontale/verticale del campo di vento. Inoltre, poiché da α dipende la parte di flusso che aggira l'ostacolo orografico in rapporto a quella che lo oltrepassa verticalmente, il suo valore è usato spesso per tenere conto della stabilità atmosferica sul flusso.

La componente verticale del campo di vento (*w*) normalmente non viene considerata durante la fase di interpolazione, in quanto non si dispone di una rete tridimensionale di misura per tale parametro, quindi si considera $w_0=0$ per ogni cella del dominio e, di fatto, *w* viene generata dal modello durante la fase di aggiustamento.

Per costruzione, i modelli di tipo "mass-consistent" hanno la caratteristica di produrre il migliore campo di vento a divergenza nulla che minimizza lo scostamento complessivo dall'iniziale interpolazione grezza delle misure. Per questo motivo, la prima fase di interpolazione delle misure di vento riveste grande importanza nel processo di ricostruzione del campo di vento finale. Inoltre il campo interpolato che si ottiene dipende spesso dalla configurazione spaziale delle postazioni di misura, oltre che dalle quote di misura dei profili verticali.



SWIFT consente di scegliere tra diversi metodi di interpolazione: propone l'interpolazione di Cressman pesata sull'inverso del quadrato della distanza, che può essere effettuata separatamente per i diversi strati verticali (Cressman 2D) o in maniera tridimensionale (Cressman 3D), e il metodo non isotropo di triangolazione delle misure al suolo associato ad un'interpolazione tridimensionale delle misure in quota (profili verticali). L'interpolazione dei dati di vento viene eseguita indipendentemente per ognuna delle componenti cartesiane del vettore vento.

Più esplicitamente, il metodo Cressman 2D consiste dapprima nell'interpolare linearmente sugli strati verticali del reticolo i profili di vento, quindi nel calcolare, per ogni strato, le componenti del vento nei punti di coordinate (x,y) della maglia, secondo le equazioni:

$$U_{i}(x, y, k) = \frac{\sum_{n=1}^{NMSUR} [U_{i}(x_{n}, y_{n})P_{n}(x, y)]}{\sum_{n=1}^{NMSUR} P_{n}(x, y)} \qquad i = 1,2$$

- con: $U_1 = u_0 e U_2 = v_0$, componenti orizzontali del campo interpolato; NMSUR, numero di stazioni dello strato:
 - per il primo strato sopra il suolo (k=2), NMSUR è il numero delle misure al suolo utilizzate;
 - per gli strati sovrastanti, NMSUR è pari al numero delle misure interpolate a partire dai profili considerati;

P_n(x, y) il peso associato alla postazione di misura ed espresso dalla funzione:

$$P_n(x, y) = \frac{1}{r_n^2}$$

dove:

•
$$r_n = \frac{R_n}{P_h}$$
;

- $R_n = \sqrt{(x x_n)^2 + (y y_n)^2}$, distanza del punto maglia (x,y) dalla stazione di coordinate (x_n, y_n);
- *P_h* il parametro di portata orizzontale, calcolato automaticamente da SWIFT, in funzione della distanza tra le stazioni e del passo della maglia orizzontale.

Al termine di questa inizializzazione del campo tridimensionale, mediante una funzione esponenziale può essere eseguito un raccordo tra il campo alla superficie $U_i(x,y,2)$, relativo al primo strato della maglia, e quello in quota $U_i(x,y,k)$, riguardante i restanti strati del reticolo. Tutto ciò in modo da attenuare le discontinuità che possono insorgere per il fatto che, per il livello superficiale vengono utilizzate solo le misure delle postazioni al suolo, mentre per i livelli sovrastanti vengono usate solo le misure dei profili di vento.

Nella interpolazione di tipo Cressman 3D, il peso $P_n(x, y, z)$ è funzione della distanza tridimensionale e le componenti orizzontali di ogni cella del grigliato, $U_i(x, y, k)$, sono calcolate tenendo conto non solo della distanza in senso orizzontale ma anche della quota a cui è stata effettuata la misura. In questo modo si ha una ricostruzione più continua dei profili di ogni cella.

7.2 Modello SurfPro 3

Il codice SurfPro sviluppato da ARIANET S.r.I. (Silibello, 2006, ARIANET, 2015), è un preprocessore meteorologico in grado di ricostruire le principali variabili che descrivono la turbolenza atmosferica su terreno complesso, necessarie in input a modelli di dispersione. Il codice riceve in input i campi tridimensionali di vento e temperatura generati da SWIFT, eventuali variabili meteorologiche disponibili sul territorio in esame (quali ad esempio la nuvolosità ora per ora disponibile dai campi provenienti da un modello prognostico) e la matrice di dati di uso del suolo, su un grigliato orizzontale



corrispondente a quello dei dati di vento, in grado di descrivere la non omogeneità orizzontale del terreno nella risposta alla forzante radiativa solare e la conseguente disomogeneità nei campi di turbolenza che si vengono a determinare. Utilizzando diversi schemi di parametrizzazione della turbolenza consolidati in letteratura, il codice ricostruisce campi bidimensionali delle seguenti variabili:

- altezza di rugosità z₀;
- altezza dello strato limite notturno o dello strato limite convettivo diurno Hmix;
- velocità di frizione u*;
- altezza di Monin-Obukhov L;
- velocità convettiva di scala w.;

Il programma tiene inoltre conto sia dell'inclinazione dei pendii rispetto a quella dei raggi solari che degli effetti d'ombra presenti a causa dell'eventuale mascheramento provocato dall'orografia.

SurfPro è in grado di stimare le velocità di deposizione per specie chimiche gassose e per il particolato. Per le specie gassose implementa uno schema resistivo per cui:

$$V_d = \frac{1}{R_a + R_b + R_s}$$

Dove R_a rappresenta la resistenza aerodinamica, dipendente dalle caratteristiche della superficie e dalle condizioni di stabilità atmosferica, R_b la resistenza di strato limite che descrive i processi di diffusione molecolare che avvengono nel trasporto degli inquinanti attraverso lo strato laminare intorno a superfici solide e R_c la resistenza superficiale che racchiude gli effetti dell'eventuale vegetazione presente sulla superficie legati a stomi fogliari, cuticole fogliari, resistenza del canopy inferiore (ad esempio di cortecce steli ecc.), e resistenza della superficie del suolo.

Per ogni specie gassosa di cui si vuole considerare la deposizione al suolo vanno forniti parametri quali ad esempio il coefficiente della legge di Henry, diffusività della specie, reattività e coefficiente di solubilità α^* della specie gassosa in acqua.

La velocità di deposizione del particolato dipende dalla distribuzione dimensionale e dalla densità delle particelle. Le particelle di grandi dimensioni hanno una velocità di sedimentazione più significativa che agisce parallelamente alle altre resistenze. Le particelle molto piccole si comportano in modo simile ai gas, sebbene diffondano più lentamente. Maggiori dettagli sono disponibili sul manuale di SurfPro citato all'inizio del paragrafo e in Seinfeld e Pandis (1988).

7.3 Modello Spray 3.1

Spray 3.1 sviluppato da ARIANET S.r.I. e ARIA Technologies S.A. (Tinarelli et al., 1994, 1999, 2019) è un modello tridimensionale per la simulazione della dispersione di inquinanti in atmosfera in grado di tenere conto delle variazioni del flusso e della turbolenza atmosferica sia nello spazio (condizioni disomogenee) che nel tempo (condizioni non stazionarie). È in grado di ricostruire campi di concentrazione determinati da sorgenti puntiformi, lineari, areali o volumetriche. L'inquinante è simulato da "particelle virtuali" il cui movimento è definito sia dal vento medio locale che da velocità casuali che riproducono le caratteristiche statistiche della turbolenza atmosferica. In questo modo, differenti parti del pennacchio emesso possono "vedere" differenti condizioni atmosferiche, permettendo simulazioni più realistiche in condizioni difficili da riprodurre con modelli tradizionali (calma di vento, inversione di temperatura con la quota, impatto con orografia complessa, dispersione in siti con forti discontinuità spaziali tipo terra-mare o città-campagna).

Il moto di ogni particella viene ricostruito utilizzando le equazioni:

.

$$x(t + \Delta t) = x(t) + u_{x}(t) \cdot \Delta t \quad ; \quad u_{x}(t) = U_{x}(t) + u_{x}(t)$$
$$y(t + \Delta t) = y(t) + u_{y}(t) \cdot \Delta t \quad ; \quad u_{y}(t) = \overline{U_{y}}(t) + u_{y}(t)$$
$$z(t + \Delta t) = z(t) + u_{z}(t) \cdot \Delta t \quad ; \quad u_{z}(t) = \overline{U_{z}}(t) + u_{z}(t)$$

dove x, y, z rappresentano le coordinate cartesiane di ogni singola particella nel dominio tridimensionale e u_x , u_y , u_z le componenti delle velocità, suddivise in parte media e fluttuazione turbolenta. La parte media, responsabile del trasporto degli inquinanti, è ottenuta da SWIFT nel sistema di riferimento *terrain-following* x,y,s, in cui la coordinata verticale s è definita come:

$$s = \frac{Z - Z_g}{Z_{top} - Z_g}$$

dove z è la coordinata geometrica verticale, z_{top} l'altezza del dominio di calcolo e $z_g(x,y)$ l'altezza dell'orografia. Le particelle interpolano linearmente il valore del vento nel punto x,y,z in cui si trovano utilizzando i valori di tali matrici. SPRAY 3.1 consente di simulare condizioni non stazionarie interpolando linearmente nel tempo il valore tra quelli di due matrici successive.

Le fluttuazioni turbolente u'_x , u'_y e u'_z , responsabili della diffusione, sono determinate risolvendo le equazioni differenziali stocastiche di Langevin:

$$u'_{i}(t + \Delta t) = a_{i}(\vec{x}, \vec{u}(t), t) + b_{i}(\vec{x}, \vec{u}(t), t)\Delta \xi$$
; $i = x, y, z$

dove *a* e *b* sono funzioni della posizione e della velocità di ogni particella e dipendono dalle caratteristiche della turbolenza e dallo schema risolutivo utilizzato. SPRAY 3.1 implementa gli schemi indicati da Thomson (1984, 1987).

Spray 3.1 è in grado di simulare i fenomeni di deposizione secca ed umida. La deposizione secca viene simulata mediante un metodo di rimozione probabilistico orientato alla particella, derivato dalla soluzione dell'equazione di Fokker-Planck (Boughton et al., 1987), che impone una condizione al contorno al suolo tale da garantire, in ogni intervallo di tempo Δt , che il flusso di deposizione sia proporzionale alla concentrazione al suolo, secondo un coefficiente rappresentato dalla velocità di deposizione. La massa rimossa dalla particella viene accumulata nella cella sottostante consentendo il calcolo dei flussi di deposizione per ogni specie considerata.

La deposizione umida viene calcolata in presenza di precipitazione ipotizzando che, in ogni intervallo di tempo Δt , vi sia un decadimento o rimozione della massa di una specie associata alla particella secondo la legge esponenziale

dove: S è definito come coefficiente di washout, proporzionale alla precipitazione

- S = S1 R

- R rappresenta il rateo di precipitazione in mm/ora e S1 è il coefficiente standardizzato di washout, dipendente dalla specie o dalla granulometria di particolato e riferito alla precipitazione standard di 1 mm/ora.

Per pilotare una simulazione di dispersione che tenga anche conto dei fenomeni di deposizione secca e umida, SPRAY 3.1 utilizza principalmente:

- campi tridimensionali di vento e temperatura, forniti da SWIFT;
- campi bidimensionali di turbolenza z₀, Hmix, u*, L, w* forniti da SurfPro;
- cambi bidimensionali di velocità di deposizione secca variabili nel tempo forniti da SurfPro, campi bidimensionali di precipitazione in mm/h, coefficienti di washout per le specie considerate
- dati di emissione, costituiti da una sequenza di informazioni sulla loro geometria e localizzazione spaziale, sulle quantità in massa emesse per ciascuna delle specie inquinanti prese in considerazione nella simulazione e sul numero di particelle da utilizzare. Ad ogni particella viene attribuita una massa per ogni specie, dipendente dalle



caratteristiche della sorgente nel momento in cui viene emessa, simulando in questo modo condizioni non stazionarie. Il modello tiene inoltre conto dell'eventuale risalita di pennacchi caldi emessi da ciminiere di impianti industriali, secondo lo schema sviluppato da Anfossi (1993).

Il modello, nella versione utilizzata per il presente studio, contiene inoltre un algoritmo per considerare gli effetti di building downwash basato sul modello di Huber-Snyder (Huber and Snyder, 1976, 1982, Huber, 1977), con alcuni adattamenti specifici per un modello di dispersione lagrangiano a particelle (Tinarelli, 2019).

7.4 Applicazioni dei codici

La suite di codici SWIFT-SurfPro-SPRAY di cui si compone il sistema *ARIA Impact 3D* vanta una lunga storia di applicazioni e validazioni realizzate in differenti siti e condizioni, che hanno progressivamente portato il sistema ad una sempre maggiore affidabilità. Questo fatto, insieme allo sviluppo di sistemi di calcolo sempre più potenti e veloci, ha consentito di allargare il campo di applicazioni che inizialmente, per questo tipo di modelli, erano legate a studi di breve periodo per sorgenti convogliate singole.

Molto dello sviluppo iniziale si è realizzato grazie a fruttifere collaborazioni tra tecnici facenti capo alla struttura di ricerca ENEL ed istituzioni nazionali di ricerca scientifica, come il CNR (Istituto di Cosmogeofisica di Torino e istituto FISBAT di Bologna poi confluiti nell'istituto ISAC), il Politecnico di Milano, l'Università di Alessandria e società private, come ARIA Technologies di Parigi, responsabile in primis del codice SWIFT. Alcuni di questi istituti continuano ancora oggi l'attività di sviluppo di parti dei codici. Sono state inoltre aperte anche collaborazioni in ambiente internazionale per lo sviluppo e l'utilizzo del codice (in Polonia, Spagna, Brasile, Francia).

Il modello lagrangiano Spray, che costituisce l'elemento finale della catena, ha implementato al suo interno schemi di calcolo per le equazioni stocastiche sviluppati nella seconda metà degli anni ottanta (Thomson, 1984, 1987). Da allora non sono stati fatti sostanziali passi avanti in senso applicativo, pur proseguendo la ricerca su questi tipi di modelli.

Nell'anno 2000, la maggior parte dei tecnici responsabili del progetto legato al modello SPRAY ed agli altri elementi della suite, hanno formato la società ARIANET S.r.I., che attualmente manutiene e sviluppa i codici in stretta collaborazione con la società Aria Technologies di Parigi.

Inoltre, SPRAY si trova inserito del database Europeo MDS (Modelling Documentation System, http://air-climate.eionet.eu.int/databases/MDS/index_html), che raccoglie le informazioni sui principali modelli meteo-dispersivi disponibili in Europa.

Le prime validazioni sul modello lagrangiano a particelle sono state eseguite su terreno piatto, allo scopo di verificarne le performance attraverso il confronto con i dati di campagne sperimentali con traccianti (Brusasca et al., 1989 e 1991). In particolare, le validazioni eseguite su dataset internazionali, sia per situazioni convettive e neutre, sia in casi di calma di vento e forte stabilità, hanno consentito lo sviluppo di algoritmi ad hoc per il trattamento di queste condizioni dove altri modelli più semplici mostrano debolezze.

Le prime applicazioni del codice Spray in terreno complesso sono state effettuate in condizioni controllate sui dati di galleria del vento dell'esperimento EPA (Tinarelli et al., 1994). Questo tipo di elaborazioni ha consentito una prima messa a punto del codice su terreno complesso, che ha fornito risultati notevoli riproducendo l'esperimento in maniera estremamente soddisfacente.

A partire da questa validazione il codice, accoppiato a SWIFT e SurfPro, è stato utilizzato in numerosi studi. Alcuni di questi erano volti a dimostrare la maggiore qualità fornita da un modello a particelle rispetto ad approcci alternativi più semplici, come modelli gaussiani o modelli a traiettorie, in presenza di un limitato numero di sorgenti.

Molti tra i lavori effettuati con la suite modellistica hanno portato a presentazioni a convegni internazionali o a pubblicazioni su riviste specializzate. Tra questi si possono citare i lavori di verifica dell'impatto della centrale termoelettrica di Sostanj, in Slovenia (Boznar et al., 1994) e la ricostruzione della dispersione di inquinanti in valli alpine (Anfossi et al 1998, Desiato et al., 1998). Successivamente sono stati prodotti studi scala temporale climatologica annuale (Finardi et al., 1998,

Brusasca et al. 2001), mettendo in evidenza i problemi generati dal modello gaussiano nelle situazioni di impatto con l'orografia e la più corretta descrizione da parte del modello a particelle.

La suite modellistica è stata inoltre implementata in sistemi di controllo automatico dell'inquinamento in aree industriali quali ad esempio quelle di Marghera (VE), Brindisi, Taranto (progetto SIMAGE, Nordvik e Brusasca, 2004) e Priolo (SR) (Brusasca et al, 2004), la centrale nucleare di Krsko in Slovenia (Breznik et al, 2002) e la discarica di rifiuti tossici nocivi di Barricalla (Pacitti et al. 1997).

L'area di applicazione della suite modellistica si è inoltre allargata a situazioni complesse a scala provinciale o regionale, nelle quali è prevista l'integrazione con reti di monitoraggio ed inventari di emissioni. In questi casi il sistema modellistico è stato utilizzato sia per la ricostruzione di situazioni reali, sia per la realizzazione di scenari. Il quantitativo di emissioni considerate in queste applicazioni risulta notevolmente differente rispetto ai casi descritti in precedenza, aumentando in misura considerevole e raggiungendo in alcuni casi il numero di alcune migliaia.

Tra queste applicazioni si possono citare quelle utilizzate da ARPA Valle d'Aosta (Pession et al., 2005) e Piemonte (Calori et al, 2003), Provincia di Torino (Cuffini et al., 2000), Comune di Taranto (Gariazzo et al., 2005), porto di Taranto (Gariazzo et al, 2007) e Venezia, collaborando con il CNR ISAC di Torino (Trini Castelli, Mortarini e Tinarelli, http://www.corila.it/sites/pub/6-Report_finale_ISAC_DISPERSIONE.pdf).

La suite modellistica in oggetto è stata, inoltre, utilizzata per la realizzazione di scenari che consentono una valutazione di impatto di opere progettate o in funzione. Tra questi lavori si possono citare lo studio di impatto della Pedemontana Lombarda, del progettato tunnel di Mestre, la valutazione modellistica della dispersione e della ricaduta al suolo degli inquinanti emessi dal traffico veicolare lungo la Val di Susa (Nanni et al. 1996), l'autostrada A22 per il progettato tunnel di base del Brennero e la verifica dell'impatto del transito di un diverso numero di TIR a seguito della riapertura del tunnel del Monte Bianco (Pession et al., 2005).

Numerosi altri lavori studi sono stati realizzati da ARIANET S.r.I., utilizzando la suite modellistica, per valutare gli impatti sia di impianti industriali in diversi contesti (Centrali Termoelettriche o Impianti di Termovalorizzazione, Cartiere, Discariche, Raffinerie, Acciaierie), di opere stradali, di infrastrutture (porti ed aeroporti) sul territorio italiano e all'estero, che hanno portato alla realizzazione di rapporti interni non divulgabili. Per quanto riguarda in maggior dettaglio il settore del cemento, il modello è stato utilizzato o è in corso di utilizzo in studi di impatto di diversi stabilimenti di Buzzi Unicem spa, Italcementi e Holcim spa in Italia e per l'impianto FKCF di Kruja, Albania.

L'intero sistema modellistico è attualmente installato presso Arpa Valle d'Aosta, Arpa Piemonte, Arpa Lombardia, Arpa Friuli, Arpa Lazio, Arpa Molise, Arpa Puglia, Arpa Basilicata e Arpa Calabria dove viene utilizzato per gli scopi delle agenzie.





8 Bibliografia

- ARIANET (2015) SURFPro3 (SURrface-atmosphere interFace PROcessor, Version 3) Reference guide. http://95.228.102.186/trac/SURFPro.
- Aria Technologies (2010): SWIFT General Design Manual. ARIA Report, March 2010, Aria Technologies 2001.
- Anfossi D., Ferrero E., Brusasca G., Marzorati A., Tinarelli G. (1993) "A simple way of computing buoyant plume rise in Lagrangian stocastic dispersion models", Atmospheric Environment 27A, 1443-1451.
- Anfossi D., F. Desiato, G. Tinarelli, G. Brusasca, E. Ferrero, D. Sacchetti, (1998) "TRANSALP 1989 Experimental Campaign - part II: Simulation of a tracer experiment with Lagrangian particle models.", Atmospheric Environment, 32, 7, 1157-1166.
- Boughton B.A., De Laurentis, J.M. (1987) A stochastic model for particle dispersion in the atmosphere. Boundary Layer Meteorology, 40, 147-163.
- Boznar M., Brusasca G., Cavicchioli C., Faggian P., Finardi S., Mlakar P., Morselli M.G., Sozzi R., Tinarelli G.:
 "Application of advanced and traditional diffusion models to an experimental campaign in complex terrain".
 Reprint of Second International Conference "Air Pollution 1994", 27-29 Sept 1994, Barcelona, Spain, pp. 159-166.
- Breznik B., Boznar M., Mlakar P., Tinarelli G., (2002) "Dose protection using dispersion models" 8th Conference on Harmonization within Atmospheric Dispersion Modeling for Regulatory Purposes. Sofia, 14-17 October, 409-413.
- Brusasca G., Tinarelli G., Anfossi D. (1989) "Comparison between the results of a Monte Carlo atmospheric diffusion model and tracer experiments", Atmospheric Environment 23, 1263-1280.
- Brusasca G., Tinarelli G., Anfossi D. (1992) "Particle model simulation of diffusion in low windspeed sTabella conditions", Atmospheric Environment 26, 707-723.
- Brusasca G., Carboni G., Finardi S., Sanavio D., Tinarelli G., Toppetti A. (2001) "Comparison of a Gaussian (ISC3) and a Lagrangian Particle Model (SPRAY) for Regulatory applications in Flat and Complex Terrain Sites Representative of Typical Italian Landscape", Proceedings of the 7th International Conference on Harmonization within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes, Belgirate, Italy, May 28-31, 2001, 130-134.
- Brusasca G., Tinarelli G., D'Allura A., GAmbienteadoro A., Carta R., Valastro G., Zerbo M. (2004) "Integration of measurement and modelling systems to reconstruct pollution impacts around the industrial area of Priolo (Sicily)" 13th IUAPPA World Clean Air and Environmental Protection Congress and Exibition, London, UK, 22-27 August 2004.
- Calori G., De Maria R., M. Clemente, F. Lollobrigida, S. Finardi, G. Tinarelli "Air quality integrated assessment in Turin urban area using atmospheric transport and dispersion models" 4th International Conference on Urban Air Quality Measurement, Modelling and Management. Prague, 25-27 March 2003, 214-217.
- Carson D.J. (1973) The development of a dry inversion-capped convectively unsTabella boundary layer Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 99, 450-467.
- Cornelis C., De Fré K. et al. (2007) "Proposal for environmental guideline values for atmospheric deposition of dioxins and PCBs Final Report", 2007/IMS/R/277, VITO, 2007.
- Cuffini S., Pavone F., Anfossi D., Nanni A., Tinarelli G.: "Metodologie integrate per il controllo della qualità dell'aria in aree ad alta urbanizzazione". Proceedings of the congress "Arie di città" Bologna 28-30 Novembre 2000.
- Desiato F., Finardi S., Brusasca G. and Morselli M.G.: 1998, "TRANSALP 1989 Experimental Campaign Part I: Simulation of 3-D Flow with Diagnostic Wind Field Models", Atmospheric Environment, 32, 7, 1141-1156, 1998.
- Finardi S., Tinarelli G., Faggian P. and Brusasca G.: 1998, "Evaluation of Different Wind Field Modeling Techniques for Wind Energy Applications over Complex Topography", Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 74-76, 283-294, 1998.
- Gariazzo C., Papaleo V., A. Pelliccioni, G. Calori, P. Radice, G. Tinarelli (2005) Air Pollution Impact Assessment of a Complex Industrial-Urban Area by means of a Lagrangian Particle Model" 3rd International Symposium on Air Quality Management at Urban, Regional and Global scale. Istanbul, 26-30 Sept. 2005.
- Holtslag A.A.M., van Ulden A.P. (1983) Scaling the Atmospheric Boundary Layer, Boundary Layer Meteorology, 36, 201-209.
- Gariazzo C., Papaleo V., Pelliccioni A., Calori G., Radice P., Tinarelli G. "Application of a Lagrangian particle model to assess the impact of harbour, industrial and urban activities on air quality in the Taranto area, Italy", Atmospheric Environment, 41, 30, September 2007, Pages 6432-6444.



- Huber, A.H. (1977) "Incorporating building/terrain wake effects on stack effluents", Preprint volume for the Joint Conference on Applications of Air Pollution Meteorology, American Meteorological Society, Boston, MA.
- Huber, A.H., Snyder W.H. (1976) "Building wake effects on short stack effluents", Preprint volume for the Third Symposium on Atmospheric Diffusion and Air Quality, American Meteorological Society, Boston, MA.
- Huber, A.H., Snyder W.H. (1982), "Wind tunnel investigation of the effects of a rectangular-shaped building on dispersion of effluents from short adjacent stacks", Atmospheric Environnment, 17, 2837-2848.

Liu D.H.F. and Liptak B.G. (1997) "Environmental Engineers' Handbook", Second Edition CRC-Press, 1997.

Moussiopoulos N., Flassak T., Knittel G. (1988) " A refined diagnostic wind model" Environmental Software, 3(2), 85-94.

- Nordvik J.P. Brusasca G. "Applicazioni modellistiche a scala locale e regionale inserite nel progetto SIMAGE per sistemi di controllo della qualità dell'aria in tempo reale" in "I modelli per la valutazione e gestione della qualità dell'aria: normativa, strumenti, applicazioni" CTN-ACE Ob Specifico 09.02: Elaborazione di linee guida per la selezione e l'uso dei modelli Tk 09.02.03a: Linee guida per la scelta e l'uso dei modelli Rapporto 2004, 40-42.
- Pacitti, M. P. Mensio, G. Brusasca, G. Tinarelli, G. Genon, F. Marchese, G. Nobile, G. Malvasi: "Global evaluation of the activity of toxic and hazardous waste landfills using monitoring and modeling integrated system". Proc. of 5th International Conference "Air Pollution 1997", 16-18 September, Bologna, Italy. Air Pollution V, modelling, monitoring and management, 517-526, Computational Mechanics Publications.
- Pession G., Zublena M., Agnesod G., Brusisca G., Calori G., Nanni A., Finardi S., Silibello C., Tinarelli G. (2005) "Use of 3D atmospheric dispersion modelling for air quality management in a very complex terrain alpine region (Valle d'Aosta)" 10th Conference on Harmonization within Atmospheric Dispersion Modeling for Regulatory Purposes, Sissi (Creete) 17-21 October 2005.
- Pielke R.A., Cotton W.R., Walko R.L., Tremback C.J., Lyons W.A., Grasso L.D., Nicholls M.E., Moran M.D., Wesley D.A., Lee T.J. and Copeland J.H. (1992) A Comprehensive Meteorological Modeling System – RAMS. Meteorol. Atmos. Phys., 49, 69-91.
- Seinfeld J. H., Pandis N. S. (1998) Atmospheric Chemistry and Physics, John Wiley and Sons, Inc.
- Silibello C. (2006) "SURFPRO (SURrface-atmosphere interFace PROcessor) User's guide", Rapporto ARIANET R2006.06.
- Silibello, C., Bolignano, A., Sozzi, R., Gariazzo, C. (2014) Application of a chemical transport model and optimized data assimilation methods to improve air quality assessment. Air Quality, Atmosphere & Health, 7, 3, 283-296. doi: 10.1007/s11869-014-0235-1.
- Stauffer D.R. and Seaman N.L. (1990), Use of Four-Dimensional Data Assimilation in a Limited-Area Mesoscale Model. Part I: Experiments with Synoptic-Scale Data. Monthly Weather Review, American Meteorological Society.
- Thomson D.J. (1984) "Random walk modelling of diffusion in inhomogeneous turbulence", Q. J. R. Meteorol. Soc. 110, 1107-1120.
- Thomson D.J. (1987) "Criteria for the selection of stochastic models of particle trajectories in turbulent flows". J. Fluid Mech., 180, 529-556.
- Tinarelli G., Anfossi D., Brusasca G., Ferrero E., Giostra U., Morselli M.G., Moussafir J., Tampieri F., Trombetti F., (1994) "Lagrangian particle simulation of tracer dispersion in the lee of a schematic two-dimensional hill", Journal of Applied Meteorology, 33, N. 6, 744-756.
- Tinarelli G., D.Anfossi, M. Bider, E.Ferrero, S. Trini Castelli (1999): "A new high performance version of the Lagrangian particle dispersion model SPRAY, some case studies". Air Pollution Modelling and its Applications XIII, S.E. Gryning and E. Batchvarova eds., Kluwer Academic / Plenum Press, New York, 499-507.

Tinarelli G. (2019): SPRAY 3.1.15, General description and User's Guide, Rapporto ARIANET R2013.27.

- Venkatram A. (1980) Estimating the Monin-Obukhov length in the sTabella boundary layer for dispersion calculations, Boundary Layer Meteorology, 19, 481-485.
- US-EPA (2005), "Human Health Risk Assessment Protocol for Hazardous Waste Combustion Facilities".
- Weil J.C., Brower R.P. (1980) Estimating convective boundary layer parameters for diffusion application, Martin Marietta Environmental Center, Columbia, MD, Report Number PPSP-MP-48, 37 pp.