

Nota Tecnica a supporto
della comunicazione di
Modifica non sostanziale (ex
art. 4-bis Legge n. 6 del 13
gennaio 2023) alimentazione
turbogas TG2 - centrale di
cogenerazione U3000 -
Raffineria IPLOM Busalla
(GE)

Preparato per: Raffineria IPLOM S.p.A.

Gennaio 2023

Quality information

Prepared by	Checked by	Verified by	Approved by

Revision History

Revision	Revision date	Details	Authorized	Name	Position

Distribution List

# Hard Copies	PDF Required	Association / Company Name

Prepared for:

IPLOM S.p.A.
Via C. Navone, 3/b
16012 - Busalla (GE)

Prepared by:

AECOM URS Italia S.p.A.
Via Giacomo Watt, 27
20143 - Milano
Italia

T: +39 02 4225561
aecom.com

© January 2023 AECOM URS Italia S.p.A. All Rights Reserved.

This document has been prepared by AECOM URS Italia S.p.A. ("AECOM") for sole use of our client (the "Client") in accordance with generally accepted consultancy principles, the budget for fees and the terms of reference agreed between AECOM and the Client. Any information provided by third parties and referred to herein has not been checked or verified by AECOM, unless otherwise expressly stated in the document. No third party may rely upon this document without the prior and express written agreement of AECOM.

Indice

1.	Premessa	5
2.	Assetto impiantistico attuale della centrale di cogenerazione.....	7
3.	Descrizione della modifica proposta	8
4.	Valutazione della non sostanzialità della modifica	11

Allegati

Allegato 1	Raffronto caratteristiche gasolio autoprodotta vs requisiti produttore TG2
Allegato 2	Studio modellistico di ricaduta degli inquinanti

1. Premessa

La presente Nota Tecnica è stata predisposta da AECOM URS Italia S.p.A. su incarico di IPLOM S.p.A., Raffineria di Busalla (GE) (di seguito IPLOM), a supporto della comunicazione di modifica non sostanziale ai sensi dell'art. 4-bis della Legge n. 6 del 13 gennaio 2023 di conversione con modificazioni del DL n. 176 del 18 novembre 2022 recante misure urgenti di sostegno nel settore energetico e di finanza pubblica.

La Raffineria IPLOM di Busalla è stata autorizzata con Decreto di Autorizzazione Integrata Ambientale n. 1001 del 28/12/2010, ad oggi integralmente sostituito dal Decreto n. 48 del 22/02/2018, a seguito del riesame complessivo avviato nel 2016. Tale Decreto è stato ulteriormente aggiornato con Decreto n. 300 del 23/07/2021.

La modifica non sostanziale che la Raffineria intende implementare è relativa all'attivazione della sezione di alimentazione a combustibili liquidi della turbina TG2, afferente alla centrale di cogenerazione U3000, attualmente alimentata a gas naturale. Il combustibile che si intende utilizzare è gasolio da autotrazione a basso tenore di zolfo autoprodotta in Raffineria. L'alimentazione a combustibile liquido è prevista per periodi complessivamente non superiori a 6 mesi/anno.

L'unità di cogenerazione U3000 è costituita dalla seguente componentistica:

- turbina associata ad un generatore per la produzione di energia elettrica;
- post-combustore;
- caldaia a recupero per produzione di vapore;
- stazione per alimentazione combustibili liquidi.

La centrale assicura una produzione massima di vapore di 31t/h, che copre il fabbisogno dell'intera installazione ed è quindi essenziale per l'intero ciclo produttivo.

Attualmente la turbina della centrale di cogenerazione è alimentata a gas metano ed è autorizzata in AIA per tale combustibile, ma è già predisposta anche per l'alimentazione con combustibili liquidi. Tale sezione sarà attivata attraverso il collegamento a serbatoi di servizio di stoccaggio gasolio desolfato ad oggi esistenti, senza ulteriori modifiche impiantistiche.

L'esigenza di convertire l'alimentazione della centrale di cogenerazione da gas metano a gasolio è derivata dalla crisi energetica internazionale. In data 27 febbraio 2022, il MiTE ha dichiarato lo stato di preallarme ai sensi dell'articolo 11, lettera a), del Regolamento UE 2017/1938 e del punto 2.1 del *Piano di Emergenza del sistema italiano gas naturale* (Allegato 2 al Decreto MiSE del 18 dicembre 2019). Inoltre, in data 6 settembre 2022 il MiTE ha varato il *Piano nazionale di contenimento dei consumi di gas naturale*.

In attuazione del suddetto Piano, IPLOM ha provveduto ad ottimizzare l'alimentazione degli impianti di raffineria mediante l'utilizzo di un mix di combustibili che massimizza l'impiego dell'olio combustibile a basso tenore di zolfo autoprodotta, nel rispetto dei limiti autorizzati dall'AIA.

In data 06 settembre 2022 IPLOM veniva informata dall'Impresa maggiore di trasporto, ai sensi del D.M. 11 settembre 2007, della possibile richiesta di riduzione o di interruzione della fornitura di gas in base alle misure di contenimento della domanda previste dal *Piano di Emergenza del sistema italiano gas naturale*.

Anche a fronte della suddetta comunicazione, e per la piena attuazione del *Piano nazionale di contenimento dei consumi di gas naturale*, IPLOM ha ravvisato la necessità di ridurre ulteriormente il consumo di metano, utilizzando un combustibile alternativo per l'alimentazione della centrale di cogenerazione.

Tale variazione consentirà ad IPLOM di ottemperare a quanto previsto all'art.1 comma 1 del sopra citato D.M. 11 settembre 2007 in termini di contenimento dei consumi di gas naturale, traguardando una riduzione degli stessi di quasi il 40%.

L'intervento assume valenza anche in termini di "business continuity" e "Direttiva Seveso" per prevenire la fermata degli impianti a causa di improvvise interruzioni dell'alimentazione di rete, anche a seguito di eventi incidentali della stessa, ovvero consentirne la piena messa in sicurezza in situazioni emergenziali.

IPLOM richiede pertanto modifica non sostanziale dell'autorizzazione vigente per l'attivazione della sezione di alimentazione a combustibili liquidi del turbogas dell'impianto di cogenerazione per periodi complessivamente non superiori a 6 mesi/anno, presentando comunicazione ai sensi dell'art. 4-bis della Legge n. 6 del 13 gennaio 2023 per l'utilizzo di un combustibile alternativo al posto del gas naturale.

Con la presente Nota Tecnica si descrive l'assetto impiantistico attuale e la modifica prevista. Si riepilogano inoltre gli esiti dello studio modellistico elaborato per la valutazione dell'assetto emissivo associato all'utilizzo di gasolio, presentato in allegato. La modellazione effettuata in relazione alle ricadute delle emissioni derivanti dall'impianto nel nuovo assetto fornisce evidenza che il contributo emissivo della Raffineria determina ricadute inferiori alle concentrazioni limite definite dal D. Lgs. 155/2010 come standard di qualità dell'aria.

2. Assetto impiantistico attuale della centrale di cogenerazione

La centrale di cogenerazione U3000 è stata realizzata nel 2011 per la produzione cogenerativa di vapore/energia elettrica. L'impianto è costituito da una turbina TG2, di potenzialità pari a 13,6 MW elettrici e potenza termica di combustione pari a 43,6 MW. La centrale assicura una produzione massima di vapore di 31t/h, che copre il fabbisogno dell'intera installazione.

La TG2, attualmente alimentata a gas metano, è predisposta per essere alimentata anche con combustibili liquidi.

Ai sensi del D.Lgs. 152/06, Parte V, l'unità U3000 rientra tra i medi impianti di combustione esistenti, come definiti dall'art. 268 c.1 lettera gg-bis): *impianti di combustione di potenza termica nominale pari o superiore a 1 MW e inferiore a 50 MW, inclusi i motori e le turbine a gas, messi in esercizio prima del 20 dicembre 2018.*

Nell'ambito delle BAT applicabili alle raffinerie, di cui alla Decisione n. 2014/738/UE, l'unità U3000 è soggetta alle BAT per le unità di combustione di cui alla Sezione 1.9, specificamente:

- BAT 34 (riduzione delle emissioni di NOx) e Tabella 9 (BAT-AEL per le emissioni di NOx nell'atmosfera da una turbina a gas: 40-120 mg/Nm³ per turbine esistenti, con tenore di O₂ del 15%);
- BAT 37 (riduzione delle emissioni di CO) e Tabella 15 (BAT-AEL per le emissioni di CO nell'atmosfera da un'unità di combustione: 100 mg/Nm³).

Per quanto riguarda i valori di emissione definiti nell'Allegato 1 alla Parte V del D.Lgs. 152/06 e s.m.i., l'unità U3000 rientra tra le Turbine a gas fisse di cui al Punto (4) della Parte III, e in particolare nella categoria: *Turbine a gas costituenti medi impianti di combustione esistenti alimentati a combustibili gassosi (valori da rispettare entro le date previste all'articolo 273-bis, comma 5).* I relativi limiti di emissione sono 150 mg/Nm³ per gli NOx e 100 mg/Nm³ per il CO, con tenore di O₂ del 15%.

All'unità U3000 è associato il camino di emissione E15, sul quale vengono monitorati in continuo i parametri NOx (come NO₂) e CO, oltre a Vapore acqueo, Ossigeno, Temperatura e Portata.

Per il camino E15 il Decreto AIA n. 48/2018 stabilisce i seguenti limiti emissivi, calcolati come media mensile sul singolo camino e con riferimento ad un tenore di ossigeno del 15% con alimentazione a gas naturale:

- NOx: 75 mg/Nm³
- CO: 100 mg/Nm³.

3. Descrizione della modifica proposta

3.1 Assetto impiantistico previsto

La modifica non sostanziale che la Raffineria intende implementare consiste nell'attivazione della sezione di alimentazione a combustibili liquidi della turbina TG2 della centrale di cogenerazione U3000, attualmente alimentata a gas naturale.

Il combustibile che si intende utilizzare è gasolio da autotrazione a basso tenore di zolfo interamente autoprodotta in Raffineria. In Allegato 1 si fornisce la scheda tecnica di tale combustibile.

L'alimentazione a gasolio è prevista per periodi anche non continuativi, complessivamente non superiori a 6 mesi/anno, mentre nei restanti periodi verrà mantenuta l'attuale alimentazione a metano.

I consumi di combustibile previsti nel nuovo assetto sono stimabili in circa 3.200 kg/h di gasolio, a fronte degli attuali consumi di circa 3.800 smc/h di gas naturale.

La modifica proposta non richiede ulteriori adeguamenti impiantistici, in quanto la turbina risulta già predisposta per essere alimentata con combustibili liquidi. Inoltre, non si prevede l'installazione di nuovi serbatoi di servizio per il gasolio, in quanto sarà utilizzato un serbatoio esistente collegato alla unità U3000 tramite un sistema di *piping* sotto controllo fiscale.

3.2 Adeguamenti impiantistici

Per la modifica del combustibile di alimentazione della turbina non sono richiesti adeguamenti impiantistici della centrale di cogenerazione, in quanto la turbina TG2 risulta già predisposta per essere alimentata con combustibili liquidi.

Non si prevede, inoltre, l'installazione di nuovi serbatoi di servizio per lo stoccaggio del combustibile, in quanto verrà utilizzato il serbatoio esistente S-G da 255 mc. Tale serbatoio di Categoria C è già attualmente adibito allo stoccaggio di gasolio; non sarà quindi necessaria nessuna operazione di adeguamento o pulizia, né un cambio di destinazione.

3.3 Test funzionali e monitoraggi

Prima dell'avvio del nuovo assetto saranno eseguiti dei test funzionali da parte del costruttore per la messa a punto e regolazione della centrale di cogenerazione, con effettuazione contestuale di controlli da parte di laboratorio esterno accreditato.

Al fine di disporre di un set rappresentativo di dati prestazionali della centrale di cogenerazione nel nuovo assetto, i test funzionali prevedono il monitoraggio in continuo dei parametri NOx ed CO e discontinuo dei parametri polveri ed SOx su un arco temporale di almeno due settimane lavorative.

In fase di esercizio del nuovo assetto si prevede l'effettuazione di monitoraggi periodici (cadenza mensile in caso di funzionamento in continuo prolungato) per i parametri polveri e SO₂, ad integrazione del sistema di monitoraggio SME già installato per il monitoraggio in continuo di NOx e CO.

3.4 Limiti emissivi applicabili

Con alimentazione a gasolio, l'unità U3000 è inquadrata nelle seguenti tipologie di impianto.

Decisione n. 2014/738/UE

- BAT 34 (riduzione delle emissioni di NOx) e Tabella 11 (BAT-AEL per le emissioni di NOx nell'atmosfera da un'unità di combustione multicomustibile, ad eccezione delle turbine a gas);
- BAT 35 (riduzione delle emissioni di polveri) e Tabella 12 (BAT-AEL per le emissioni di polveri nell'atmosfera da un'unità di combustione multicomustibile, ad eccezione delle turbine a gas);
- BAT 36 (riduzione delle emissioni di SOx) e Tabella 14 (BAT-AEL per le emissioni di SO₂ nell'atmosfera da un'unità di combustione multicomustibile, ad eccezione delle turbine a gas e dei motori a gas fissi);

- BAT 37 (riduzione delle emissioni di CO) e Tabella 15 (BAT-AEL per le emissioni di CO nell'atmosfera da un'unità di combustione).

Nella seguente tabella si riportano i livelli di emissione associati alle BAT (BAT-AEL) definiti dalle BAT di riferimento.

Tabella 3-1: Livelli di emissione associati alle BAT (BAT-AEL)

BAT di riferimento Decisione n. 2014/738/UE	Parametro	BAT-AEL (media mensile) (mg/Nm ³)
BAT 34, Tabella 11	NOx (espresso come NO ₂)	30 - 300 (unità esistenti)
BAT 35, Tabella 12	Polveri	5 - 50 (unità esistenti)
		5 - 25 (unità nuove < 50 MW)
BAT 36, Tabella 14	SO ₂	35 - 600
BAT 37, Tabella 15	Monossido di carbonio, espresso come CO	≤ 100

D.Lgs. n. 152/06, Parte V

Per quanto riguarda i valori di emissione definiti nell'Allegato 1 alla Parte V, l'unità U3000 alimentata a gasolio rientrerà tra le Turbine a gas fisse di cui al Punto (4) della Parte III nelle quali sono utilizzati combustibili liquidi, e in particolare nella categoria: *Turbine a gas costituenti medi impianti di combustione esistenti alimentati a combustibili liquidi (valori da rispettare entro le date previste all'articolo 273-bis, comma 5)*.

Tale tipologia è soggetta ai limiti indicati nella tabella seguente (definiti per impianti con potenza termica nominale < 50 MW).

Tabella 3-2: Valori di emissione D.Lgs. 152/06, Parte V, Allegato 1

Parametro	Limite di emissione (mg/Nm ³)	Tenore di O ₂
Ossidi di azoto (NOx) ⁽¹⁾	200	15%
Monossido di carbonio	100	15%
Ossidi di zolfo	120	15%
Polveri	10	15%

Il Gestore ritiene che i limiti applicabili alla nuova configurazione della U3000 con alimentazione a gasolio siano quelli definiti dal D.Lgs. 152/06 indicati nella tabella soprastante.

Per il rispetto di tali limiti non sono previste problematiche o necessità di ulteriori sistemi di abbattimento, come meglio indicato al paragrafo seguente.

3.5 Effetti ambientali derivanti dalla variazione di scenario emissivo

Il principale effetto derivante dalla variazione di alimentazione della Unità U3000 riguarda la componente ambientale aria. Con l'utilizzo del gasolio si avrà infatti una modifica dei quantitativi emessi relativamente agli inquinanti pertinenti, in particolare per NOx e polveri.

Il Gestore ha predisposto uno studio modellistico delle ricadute derivanti dall'assetto emissivo alla MCP con la nuova configurazione, riportato in Allegato 2 alla presente nota, per dare conto degli effetti che si produrrebbero perseguendo la modifica proposta.

Lo studio è stato condotto assumendo ipotesi conservative, considerando cioè l'esercizio contemporaneo di tutte le fonti emissive alla MCP nelle condizioni più gravose e ipotizzando mix di combustibili in cui è singolarmente massimizzato l'impiego di olio combustibile.

Dagli esiti della modellazione si evince che anche con il nuovo scenario il contributo derivante dalle emissioni della Raffineria IPLOM non è tale da determinare il superamento dei valori di SQA previsti dal D.Lgs. 155/2010.

Non sono attesi ulteriori effetti che determinino variazioni significative sulle altre componenti ambientali. La modifica di alimentazione della Unità 3000 non comporterà infatti variazioni relative agli scarichi, né alla produzione di rifiuti.

3.6 Valutazione del rischio

In merito agli scenari incidentali, è stata effettuata una valutazione preliminare HAZOP al fine di identificare eventuali modifiche degli scenari di rischio nel nuovo assetto. La valutazione ha confermato l'assenza di modifiche significative, tali da determinare un aggravio del preesistente livello di rischio di incidenti rilevanti.

Pertanto, come previsto al Punto 2 dell'Allegato D al D.Lgs. 105/2015, contestualmente all'implementazione della modifica verrà trasmessa una *Dichiarazione di non aggravio di rischio*, attestante che la modifica è progettata ed eseguita a regola d'arte e che non costituisce aggravio del preesistente livello di rischio di incidenti rilevanti.

3.7 Benefici attesi

Nel quadro emergenziale attuale, la modifica dell'alimentazione della turbina TG2 da metano a gasolio consentirebbe ad IPLOM di ottemperare a quanto previsto all'art.1 comma 1 del sopra citato D.M. 11 settembre 2007, traguardando una riduzione dei propri consumi di gas naturale di quasi il 40%.

Tale modifica comporterebbe inoltre i seguenti vantaggi operativi collaterali:

- In materia di sicurezza e prevenzione di incidenti rilevanti, un'eventuale improvvisa e completa indisponibilità di gas naturale ha tra le implicazioni da una parte l'impossibilità di mantenere in operatività gli impianti e dall'altra la contemporanea impossibilità nell'operare una corretta messa in sicurezza delle unità in fase di spegnimento. Tale criticità è correlata alla necessità di garantire continuità nella produzione di vapore, fondamentale per le fasi di shutdown degli impianti. La possibilità di alimentazione della turbina TG2 con combustibili differenti dal solo gas naturale (gasolio, nello specifico) consentirebbe di garantire la produzione del vapore necessario alla messa in sicurezza degli impianti anche in assenza di gas naturale.
- Si ridurrà fortemente la probabilità di incorrere in un'improvvisa indisponibilità di combustibile a causa di interruzione dell'alimentazione da rete, anche a causa di eventi incidentali occorsi a quest'ultima.
- In caso di mancata fornitura di energia elettrica dalla rete in condizione di fermo macchina dell'unità U3000, l'avviamento della stessa con alimentazione a gasolio potrebbe essere comunque tecnicamente attuabile mediante il processo di black start, consentendo l'avvio delle utilities necessarie allo spiazzamento delle unità e la messa in atto delle procedure propedeutiche al riavvio già prima della risoluzione delle problematiche sulla rete da parte del fornitore del servizio elettrico, a maggior tutela dell'integrità delle apparecchiature di impianto e a vantaggio della riduzione dei tempi di fuori servizio.

4. Valutazione della non sostanzialità della modifica

La presente nota rende conto delle variazioni tecniche legate all'attivazione della sezione di alimentazione a combustibili liquidi della turbina TG2, afferente all'unità di cogenerazione U3000, attualmente alimentata a gas naturale, e dei relativi effetti ambientali.

La necessità di modificare l'alimentazione della turbina, da metano a gasolio desolfurato autoprodotta dalla Raffineria, si pone in relazione agli scenari energetici attuali, che richiedono una sostanziale riduzione dei consumi di metano da parte della Raffineria.

L'alimentazione a gasolio è prevista per periodi anche non continuativi, complessivamente non superiori a 6 mesi/anno, mentre nei restanti periodi verrà mantenuta l'attuale alimentazione a metano.

La turbina è già dotata di una sezione di alimentazione a combustibili liquidi; tale sezione sarà attivata attraverso il collegamento a serbatoi di servizio di stoccaggio gasolio desolfurato ad oggi esistenti, senza ulteriori modifiche impiantistiche.

La modellazione effettuata in relazione alle ricadute delle emissioni derivanti dall'impianto nel nuovo assetto fornisce evidenza che il contributo emissivo della Raffineria determina ricadute inferiori alle concentrazioni limite definite dal D. Lgs. 155/2010 come standard di qualità dell'aria.

Non sono attesi ulteriori effetti che determinino variazioni significative sulle altre componenti ambientali. La modifica di alimentazione della Unità 3000 non comporterà infatti variazioni relative agli scarichi, né alla produzione di rifiuti.

La modifica prevista si ritiene pertanto, a tutti gli effetti, non sostanziale.

Il Gestore prevede il rispetto dei limiti emissivi stabiliti dal D.Lgs. 152/06, Parte III, Allegato 1 per le *Turbine a gas costituenti medi impianti di combustione esistenti alimentati a combustibili liquidi* (Punto (4) della Parte III dell'Allegato 1), in deroga ai limiti attualmente autorizzati.

ALLEGATI

Allegato 1

Raffronto caratteristiche gasolio autoprodotta vs requisiti produttore TG2

To copy and paste this form: After filling in the fields, go to the Tools menu and click Unprotect Document.

INQUIRY NUMBER:		SER / PD NUMBER:	
PREPARED BY:	DATE PREPARED:	FREQUENCY OF STARTS:	RUN TIME PER START:
CUSTOMER:	ENGINE MODEL(S):	EQUIPMENT LOCATION / SITE:	
ALTITUDE: FEET	AVERAGE HUMIDITY: %	INLET / EXHAUST LOSSES: INCHES H ₂ O	
AMBIENT TEMPERATURE RANGE:	*F MAXIMUM	*F DESIGN	*F MINIMUM
CHARACTERISTICS	ES 9-98	PROJECT	COMMENTS
Solids	≤ 2.6 mg/liter of sediment, solid or hard contaminants, 90% of the 2.6 mg shall be less than 5 micron in size. Max allowable size ≤ 10 micron	< 0.1 mg/l	< 10 ppm EN 12662 Filters with a 0,7 µm mean pore size
Liquid	≤ 0.25 cc free water per liter at an ambient temp of 80 °F (27 °C)	ASSENTE	
Sulfur	10,000 ppmw* (See Table 1). Additional restrictions apply for SoLoNOx liquid operation	<10 ppmw	
Fuel Bound Nitrogen	Measurement required for liquid emissions guarantees	<10 ppmw	
Sodium & Potassium	≤ 0.5 ppmw	< 0,1 ppmw	
Vanadium	≤ 0.5 ppmw	< 0,1 ppmw	
Lead	≤ 1 ppmw	< 0,1 ppmw	
Ca & Mg	≤ 2 ppmw	< 0,1 ppmw	
Fluorine	≤ 1 ppmw	< 0,1 ppmw	
Chlorine	≤ 0.15 % wt	<0,001 %wt	
Others – Mercury, Cadmium, Bismuth, Arsenic, Antimony, Phosphorous, Boron, Gallium, Indium.	≤ 0.5 ppmw	< 0,1 ppmw	
Kinematic Viscosity	12 centistokes at 100 °F 1centistoke min at 100 °F (38 °C)	< 4,5 at 100°F > 2 at 100°F	
Specific Gravity	0.775 min 0.875 max	0.820 min 0.845 max	
Reid vapor pressure	< 3 psia < 20.6 kPa	< 3 psia	
Cloud point**	At least 10 °F (6 °C) below expected min ambient temp.	CFPP <0°C estate CFPP <-10°C inverno	
Pour point**	At least 10 °F (6 °C) below cloud point		
Flash point	≥ 100 °F (38 °C) or ≥ legal limit	> 55°C	
Distillation	90% evaporated at 640 °F (338 °C) maximum. End point at 690 °F (366 °C) maximum	90% about 342°C end point about 370°C	
Aromatics	35% by volume maximum	< 35 %	
Olefins and Diolefins	5% by volume maximum	<1%	
LHV	> 18,000 Btu/lb > 41,838 kJ/kg	42890 kJ/Kg	
Carbon residue on 10% distillation residue	≤ 0.35 %	<0.02	
Ash	≤ 0.005 % max	<0.001	
Copper strip corrosion	No 3 (3hr at 122 °F (50 °C)) in ASTM D130	classe 1 A	
Expected annual liquid operating hours			
Lubricity, HFRR @ 60 °C	520 micron maximum by ASTM D6079 or equivalent	<460 micron	
Existing liquid fuel processing			
* LOCAL AIR POLLUTION LAWS MAY SPECIFY LOWER LIMIT.			
** ALTERNATELY MAY PROVIDE "COLD FILTER PLUGGING POINT."			

Allegato 2

Studio modellistico di ricaduta degli inquinanti

Stima modellistica dell'impatto sulla qualità dell'aria della raffineria IPLOM alla massima capacità emissiva

Rif. Ordine n. 23-31967 del 12/10/22

Autori

G. Tinarelli

Riferimento

ARIANET R2022.19

Ottobre 2022

Rapporto ARIANET R2022.19

Authors: G. Tinarelli

Cliente:

IPLOM S.p.A.

Via C. Navone 3/B 16012 Busalla (GE)

Sommario

1. Introduzione e scopo del lavoro	4
2. Descrizione del sito e dominio di calcolo	5
3. Meteorologia.....	8
3.1 Ricostruzione dei campi di vento	11
3.2 Ricostruzione dei campi di turbolenza.....	13
4. Emissioni	15
5. Risultati delle simulazioni	18
5.1 Inquinanti atmosferici e quadro di riferimento normativo	18
5.2 Mappe di inquinamento	21
5.2.1 Ossidi di azoto totali	21
5.2.2 Biossido di azoto	22
5.2.3 Biossido di zolfo	26
5.2.4 Polveri	30
5.2.5 Monossido di Carbonio	32
6. Conclusioni.....	34
7. Bibliografia	36
Appendice A – Il Sistema Modellistico utilizzato	37
A.1. Modello Swift	37
A.2. Modello SurfPro	39
A.3. Modello Spray 3.1	40
A.4. Applicazione dei codici.....	42
A.5. Bibliografia del sistema modellistico	44

Indice delle figure

Figura 1 – Visualizzazione tridimensionale e con linee di livello dell'orografia estratta sul dominio di simulazione.	6
Figura 2 – Visualizzazione dell'uso del suolo estratto sul dominio di simulazione.	7
Figura 3 – Domini di calcolo innestati per la ricostruzione dei campi meteorologici QualeAria (sinistra) ed esempio di campo di vento sul territorio nazionale (destra)	8
Figura 4 – Rose dei venti annuale anno 2021, dati estratti da database QualeAria al suolo nella posizione dell'anemometro locale (sinistra) e misurati da anemometro locale (destra).	9
Figura 5 – Rose dei venti annuale notturne anno 2021, dati estratti da database QualeAria al suolo nella posizione dell'anemometro locale (sinistra in alto) e misurati da anemometro locale (destra in alto) e corrispondenti rose dei venti diurne (in basso).	10
Figura 6 - Rose dei venti annuali anni 2021 (sopra), 2020, 2019 (al centro) e 2018, 2017, 2016 (sotto). Dati QualeAria al suolo estratti nella posizione dell'anemometro locale	11
Figura 7 – Rosa dei venti annuale anno 2021 dati modello Swift in prossimità del suolo nella posizione dell'anemometro locale	12
Figura 8 – Rose dei venti diurna (sinistra) e notturna (destra). Anno 2021, dati modello Swift in prossimità del suolo nella posizione dell'anemometro locale.	13
Figura 9 – Esempi del campo di vento in prossimità del suolo simulati dal codice Swift il giorno 1/8/2021 alle 01:00 (sinistra) e alle 13:00 (destra). Intensità del vento in m/s secondo la scala a destra del grafico	13
Figura 10 – Esempio di campi bidimensionali di velocità di frizione u^* (m/s in alto a sinistra), L (m, in alto a destra), H_{mix} (m, in basso a sinistra), w^* (m/s, in basso a destra) generati dal codice SurfPro il giorno 1/8/2021 alle ore 13:00.....	15
Figura 11 – concentrazioni medie annuali al suolo di NO_x simulate dal codice Spray, sorgenti puntuali IPLOM. Valori in $\mu g/m^3$ secondo la scala a destra.	21
Figura 12 – concentrazioni medie annuali al suolo di NO_x simulate dal codice Spray, contributo delle emissioni della sorgente E15. Valori in $\mu g/m^3$ secondo la scala a destra di ogni grafico.	22
Figura 13 - Curva interpolante NO_x/NO_2 ARM2 US-EPA. In ascissa sono rappresentati i valori di ossidi di azoto totale ed in ordinata i corrispondenti valori di biossido di azoto, entrambi in ppb (1 ppb = 1.88 $\mu g/m^3$)	23
Figura 14 – concentrazioni medie annuali al suolo di NO_2 stimate a partire dalle concentrazioni di NO_x simulate dal codice Spray, sorgenti puntuali IPLOM. Valori in $\mu g/m^3$ secondo la scala a destra.	24
Figura 15 – concentrazioni medie annuali al suolo di NO_2 stimate a partire dalle concentrazioni di NO_x simulate dal codice Spray, contributo delle emissioni della sorgente E15. Valori in $\mu g/m^3$ secondo la scala a destra di ogni grafico.	25
Figura 16 – 99.79 percentile delle medie orarie di concentrazione al suolo di NO_2 stimate a partire dalle concentrazioni di NO_x simulate dal codice Spray, sorgenti puntuali IPLOM. Valori in $\mu g/m^3$ secondo la scala a destra.	26

Figura 17 – concentrazioni medie annuali al suolo di SO ₂ simulate dal codice Spray, sorgenti puntuali IPLOM. Valori in µg/m ³ secondo la scala a destra.....	27
Figura 18 – concentrazioni medie annuali al suolo di SO ₂ simulate dal codice Spray, contributo delle emissioni della sorgente E15. Valori in µg/m ³ secondo la scala a destra di ogni grafico.	28
Figura 19 – 99.7 percentile delle medie orarie di concentrazione al suolo di SO ₂ simulate dal codice Spray, sorgenti puntuali IPLOM. Valori in µg/m ³ secondo la scala a destra	29
Figura 20 – 99.2 percentile delle medie giornaliere di concentrazione al suolo di SO ₂ simulate dal codice Spray, sorgenti puntuali IPLOM. Valori in µg/m ³ secondo la scala a destra	30
Figura 21 – concentrazioni medie annuali al suolo di Polveri simulate dal codice Spray, sorgenti IPLOM. Valori in µg/m ³ secondo la scala a destra di ogni grafico.....	31
Figura 22 – 90.4 percentile delle medie giornaliere di concentrazione al suolo di Polveri simulate dal codice Spray, sorgenti puntuali IPLOM. Valori in µg/m ³ secondo la scala a destra.	32
Figura 23 – massimo delle medie su 8 ore di concentrazione al suolo per il CO simulate dal codice Spray, sorgenti puntuali IPLOM. Valori in µg/m ³ secondo la scala a destra.	33

Indice delle tabelle

Tabella 1 – Elenco delle sorgenti emissive (camini) della raffineria considerati nelle simulazioni di dispersione. La parte evidenziata in grigio riguarda le sorgenti controllate dal sistema SME dell'impianto.	16
Tabella 2 – Caratteristiche emissive delle sorgenti puntuali	16
Tabella 3: Valori Limite alle concentrazioni di inquinanti dell'aria indicati dal D. Lgs. 13/08/2010 n. 155 in recepimento della Dir 2008/50/CE.	19
Tabella 4: Valori Limite alle concentrazioni di PM ₁₀ e PM _{2.5} indicati dal D. Lgs. 13/08/2010 n. 155 in recepimento della Dir 2008/50/CE.....	20

1. Introduzione e scopo del lavoro

Nel contesto di una richiesta di autorizzazione alla modifica dell'alimentazione di un proprio impianto a turbogas, la società IPLOM Spa ha necessità di una modellazione delle ricadute delle emissioni valutate alla massima capacità emissiva.

A tal fine è stato predisposto da ARIANET un sistema modellistico per la stima dell'impatto delle sorgenti puntuali IPLOM e rappresenta il medesimo, messo a punto nel 2013, attivo annualmente dal 2014 e applicato alle emissioni dell'anno precedente descritti dai dati emissivi misurati mediante SME e dai dati meteorologici locali in grado di ricostruire la situazione locale.

Rispetto alle simulazioni periodiche effettuate annualmente, l'approccio richiesto per lo studio presenta le seguenti differenze:

- le portate considerate per i singoli punti emissivi sono considerate alla Massima Capacità di Produzione (MCP) come da scheda B.7.2 allegata all'istanza di riesame AIA del 2018;
- i valori in concentrazione degli inquinanti sono quelli considerati in sede di istruttoria di riesame AIA del 2018 (vedasi Allegato II) e corrispondenti alla Massima Capacità Emissiva (MCE);
- si considera il funzionamento delle unità alla MCE per 8760 ore/anno;

Utilizzando tale sistema modellistico considerando l'anno meteorologico 2021, sono state prodotte le serie temporali delle concentrazioni orarie al suolo per le specie NO_x/NO₂, SO₂, CO e Polveri, verificando gli output del modello dal punto di vista degli indicatori previsti dalla vigente normativa in tema di qualità dell'aria.

2. Descrizione del sito e dominio di calcolo

La raffineria IPLOM si trova all'interno della valle Scrivia, in una località prossima all'abitato di Busalla (Ge). L'area si trova all'interno di una zona dove è presente una certa complessità orografica, caratterizzata sia dalla presenza della valle principale posta mediamente in direzione Nord-Sud che da valli laterali circondate da rilievi di altezza massima intorno a 700-800m. Il dominio di calcolo viene scelto in maniera tale da includere un'area rappresentativa dell'impatto delle principali sorgenti puntuali della raffineria. Tale dominio comprende quindi sia le emissioni che le cabine della rete di rilevamento gestita dalla Provincia di Genova, estendendosi su una superficie di 12x12 km².

La griglia di calcolo utilizzata per la simulazione meteorologica e di dispersione ha le seguenti caratteristiche:

- 60 celle nella direzione x;
- 60 celle nella direzione y;
- 200 m di risoluzione orizzontale;
- Coordinate UTM fuso 32 (WGS84) del vertice Sud Ovest del dominio pari a 489950 m Est, 501950 m Nord.

L'estensione verticale del dominio di simulazione per la ricostruzione meteorologica è di 5000 m con i seguenti 15 livelli di calcolo sopra l'orografia espressi in metri:

0, 20, 50, 94, 156, 243, 364, 530, 755, 1061, 1471, 2020, 2751, 3720, 5000

Sul dominio orizzontale così definito è stato estratto il dato di orografia dal database SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), avente risoluzione originaria di circa 90 metri e opportunamente filtrato alla risoluzione finale di 200 m scelta per le simulazioni.

La Figura 1 mostra l'orografia utilizzata dal sistema modellistico; l'impianto IPLOM si trova al centro del dominio lungo la valle dello Scrivia.

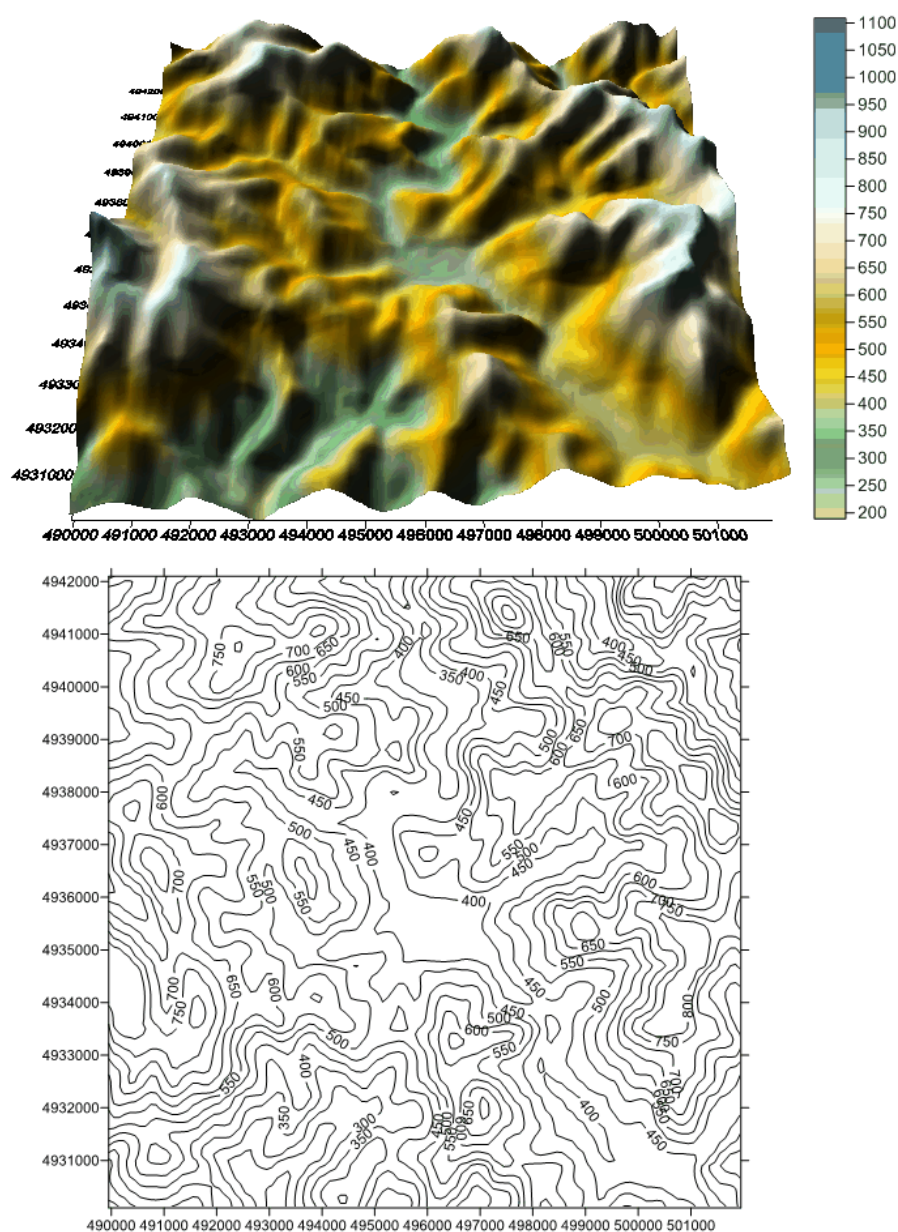


Figura 1 – Visualizzazione tridimensionale e con linee di livello dell'orografia estratta sul dominio di simulazione.

Una tale complessità topografica giustifica e rende sostanzialmente necessario il ricorso ad un sistema modellistico tridimensionale. In Figura 2 è riportata la mappa dell'uso suolo relativa al dominio descritto in precedenza, con risoluzione orizzontale di 200 m. La classificazione utilizzata è a 21 classi, ricavata da quella standard internazionale CORINE a 44 classi (EEA Data Service).

La copertura del suolo prevalente è di tipo forestale ad alto fusto, rappresentata in verde, e a basso fusto, rappresentata in verde-grigio. In rosso si può riconoscere il territorio urbanizzato lungo la valle dello Scrivia ed alcune aree agricole in colore ocra; altri tipi di coperture del suolo sono assenti o molto limitate.

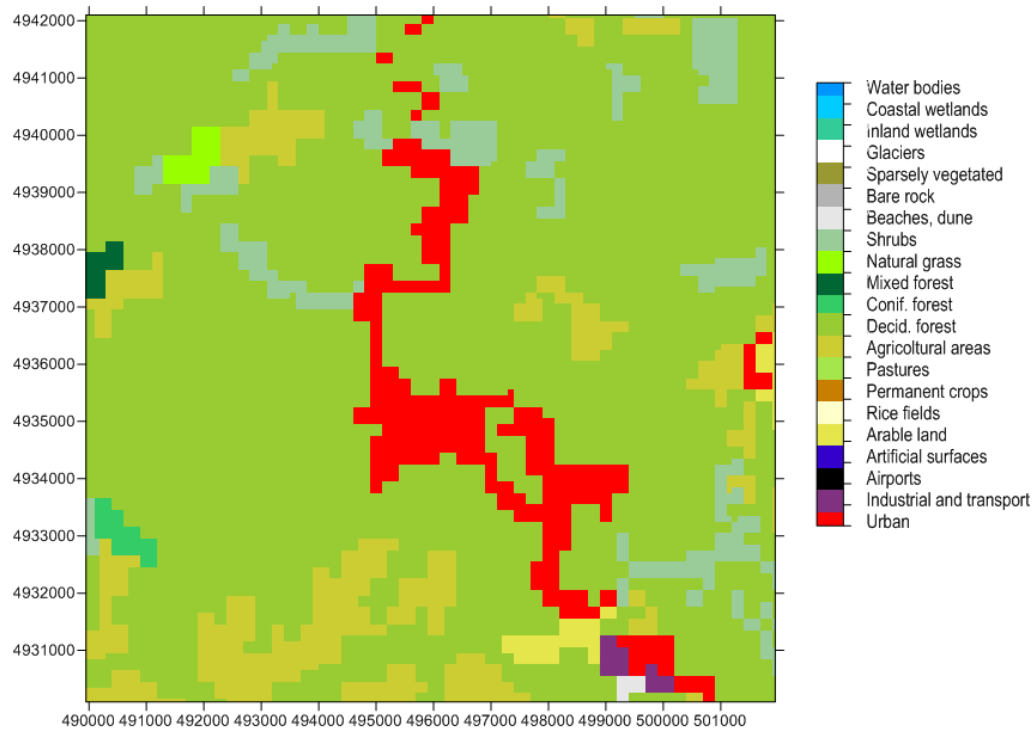


Figura 2 – Visualizzazione dell'uso del suolo estratto sul dominio di simulazione.

Essendo l'impianto oggetto di studio posizionato in sito caratterizzato dalla presenza di un profilo topografico relativamente complesso, è necessario l'utilizzo di modellistica tridimensionale in grado di tenere conto di aspetti quali:

- simulazione della dispersione in situazioni di calma di vento con riproduzione dei fenomeni di stagnazione ed accumulo;
- riproduzione dell'impatto orografico con l'evoluzione spaziale e temporale dei fenomeni di brezza locale;
- possibilità di considerare i cambiamenti di direzione e di intensità del vento sia con la quota che in zone diverse.

Per la realizzazione delle simulazioni è stato quindi utilizzato un sistema di modellistica tridimensionale costituito dalle seguenti componenti:

1. il modello per la ricostruzione tridimensionale del campo di vento diagnostico a divergenza nulla **Swift** (Aria Technologies - 2010);
2. il processore per la definizione dei parametri di turbolenza **SurfPro** (Silibello - 2006);
3. il modello lagrangiano a particelle **Spray 3** (Tinarelli, 2019) per la dispersione degli inquinanti su terreno complesso.

In Appendice A vengono illustrate in maggiore dettaglio le caratteristiche dei tre modelli.

3. Meteorologia

Il sistema modellistico utilizzato, reso necessario dalla situazione orografica complessa nel dominio di calcolo, richiede di essere alimentato da un'informazione meteorologica tridimensionale.

Ciò significa che il dato anemometrico locale, considerato rappresentativo del flusso locale nelle sue immediate vicinanze, dovrebbe essere integrato da misure di profilo verticale, ed essendo l'unica misura disponibile, dovrebbe essere utilizzato in estensione su tutto il dominio oggetto di indagine.

In alternativa a questo approccio è possibile utilizzare direttamente gli output di un modello meteorologico ed in particolare i campi prodotti dal sistema QualeAria (Kukkonen et al., 2011), realizzato da ARIANET S.r.l. funzionante ed operativo su tutto il territorio nazionale: i campi utilizzati per guidare la dispersione degli inquinanti sul territorio sono il risultato dell'applicazione di un modello prognostico alle equazioni primitive condotte dalla scala europea a quella nazionale secondo lo schema riportato in Figura 3. Il sistema, consultabile pubblicamente all'indirizzo <http://www.qualearia.it>, produce con cadenza giornaliera e dal 2007, previsioni meteorologiche e di inquinamento su tutto il territorio nazionale alla risoluzione orizzontale di circa 10 km.

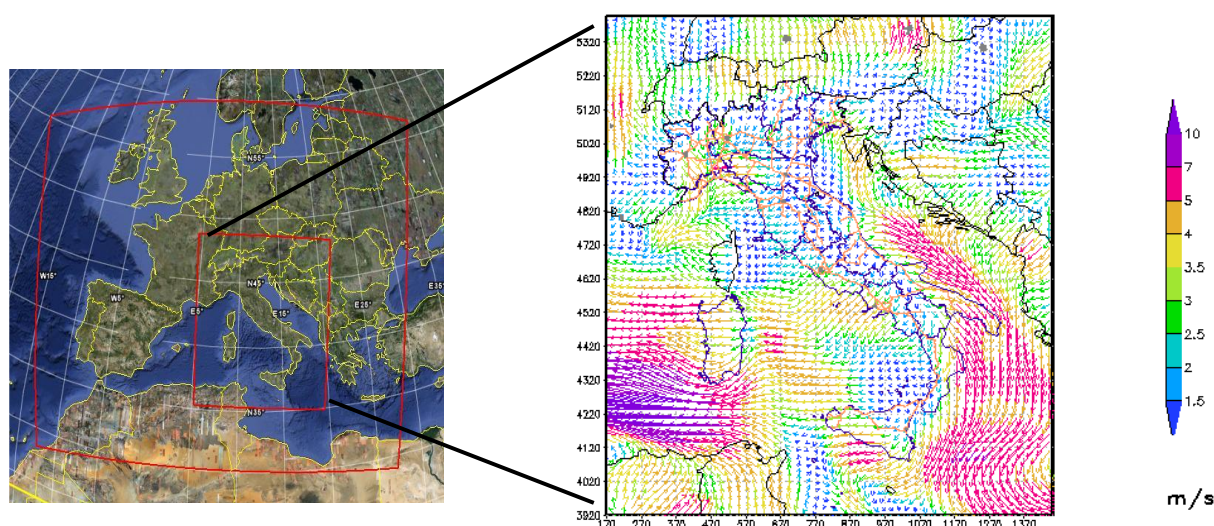


Figura 3 – Domini di calcolo innestati per la ricostruzione dei campi meteorologici QualeAria (sinistra) ed esempio di campo di vento sul territorio nazionale (destra)

Dovendo effettuare simulazioni di dispersione su base annuale, l'utilizzo dei dati meteorologici provenienti dal sistema QualeAria risulta giustificabile nel caso in cui il confronto con misure locali risulti essere soddisfacente da un punto di vista statistico. Vengono quindi confrontate le rose dei venti prodotte con i dati dell'anemometro gestito direttamente da IPLOM per l'anno 2021 e i corrispondenti dati estratti in prossimità del suolo dal database QualeAria in corrispondenza dell'anemometro

Il confronto delle rose dei venti su base annuale è riportato in Figura 4. Il flusso principale risulta correttamente diretto lungo la valle dello Scrivia, come lecito attendersi, sia nel dato misurato che in quello derivato dal modello meteorologico. I dati misurati locali evidenziano un'intensità del vento minore rispetto a quelli modellati, effetto giustificato dalla maggiore scala rappresentata da questi ultimi, che viene successivamente corretto dagli effetti di rugosità superficiale applicati durante il processo di discesa di scala fino alla risoluzione finale di 200 m mediante il modello meteorologico diagnostico Swift.

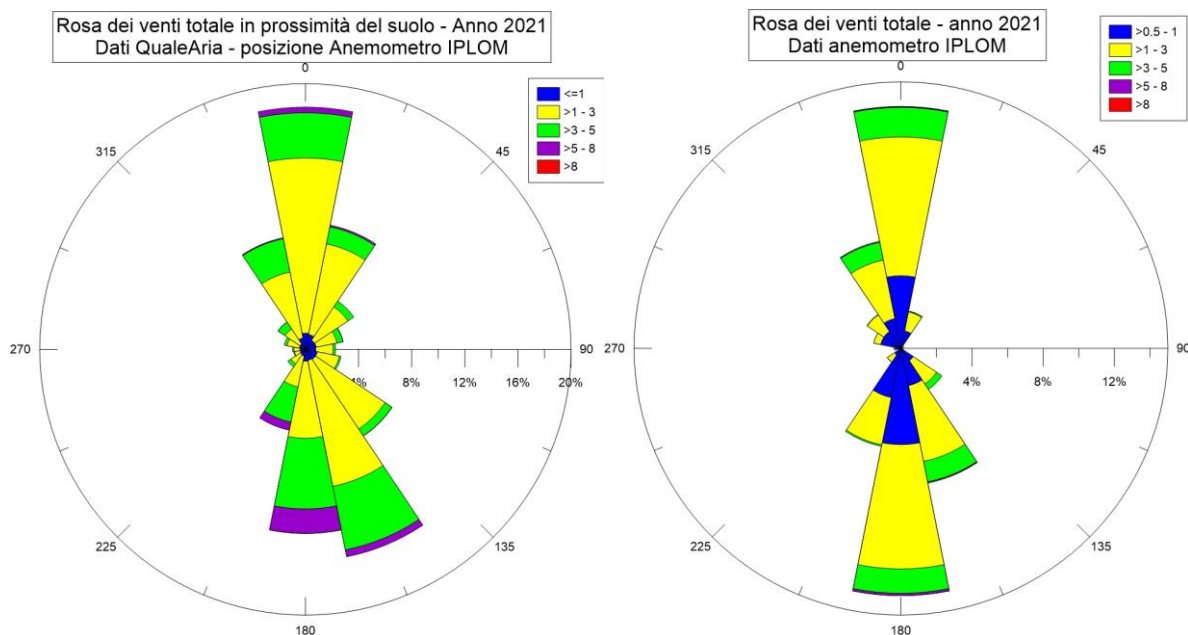


Figura 4 – Rose dei venti annuale anno 2021, dati estratti da database QualeAria al suolo nella posizione dell'anemometro locale (sinistra) e misurati da anemometro locale (destra).

La Figura 5 mostra i confronti tra le rose dei venti ottenute con i dati QualeAria e misurate per le situazioni diurne e notturne durante l'anno 2021 che conferma la capacità del dato modellato di ricostruire la situazione misurata evidenziando sempre la presenza dell'incanalamento nella valle principale con una maggiore incidenza di dati da nord durante le ore notturne che si inverte durante le ore diurne.

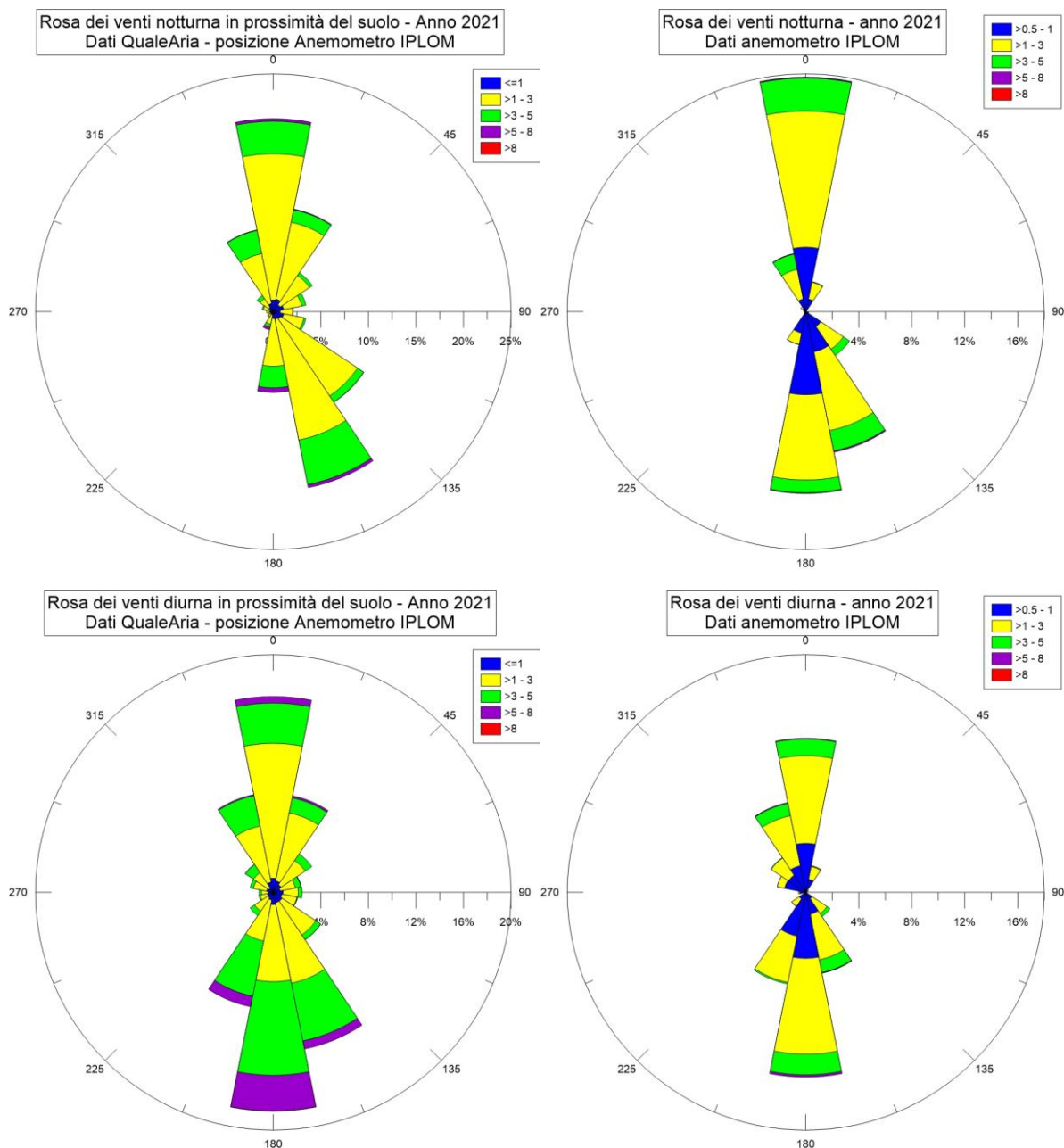


Figura 5 – Rose dei venti annuale notturne anno 2021, dati estratti da database QualeAria al suolo nella posizione dell’anemometro locale (sinistra in alto) e misurati da anemometro locale (destra in alto) e corrispondenti rose dei venti diurne (in basso).

Il flusso principale descritto dai dati QualeAria per l’anno 2021 risulta essere sostanzialmente stabile negli anni e sempre diretto lungo la valle dello Scrivia, con variazioni poco significative della rosa dei venti se confrontata con quella degli anni precedenti. Ciò è illustrato in Figura 6, che mostra il confronto tra la rosa dei venti annuale ottenuta con i dati QualeAria relativi al 2021 e quelle relative ai precedenti anni 2020, 2019, 2018, 2017 e 2016.

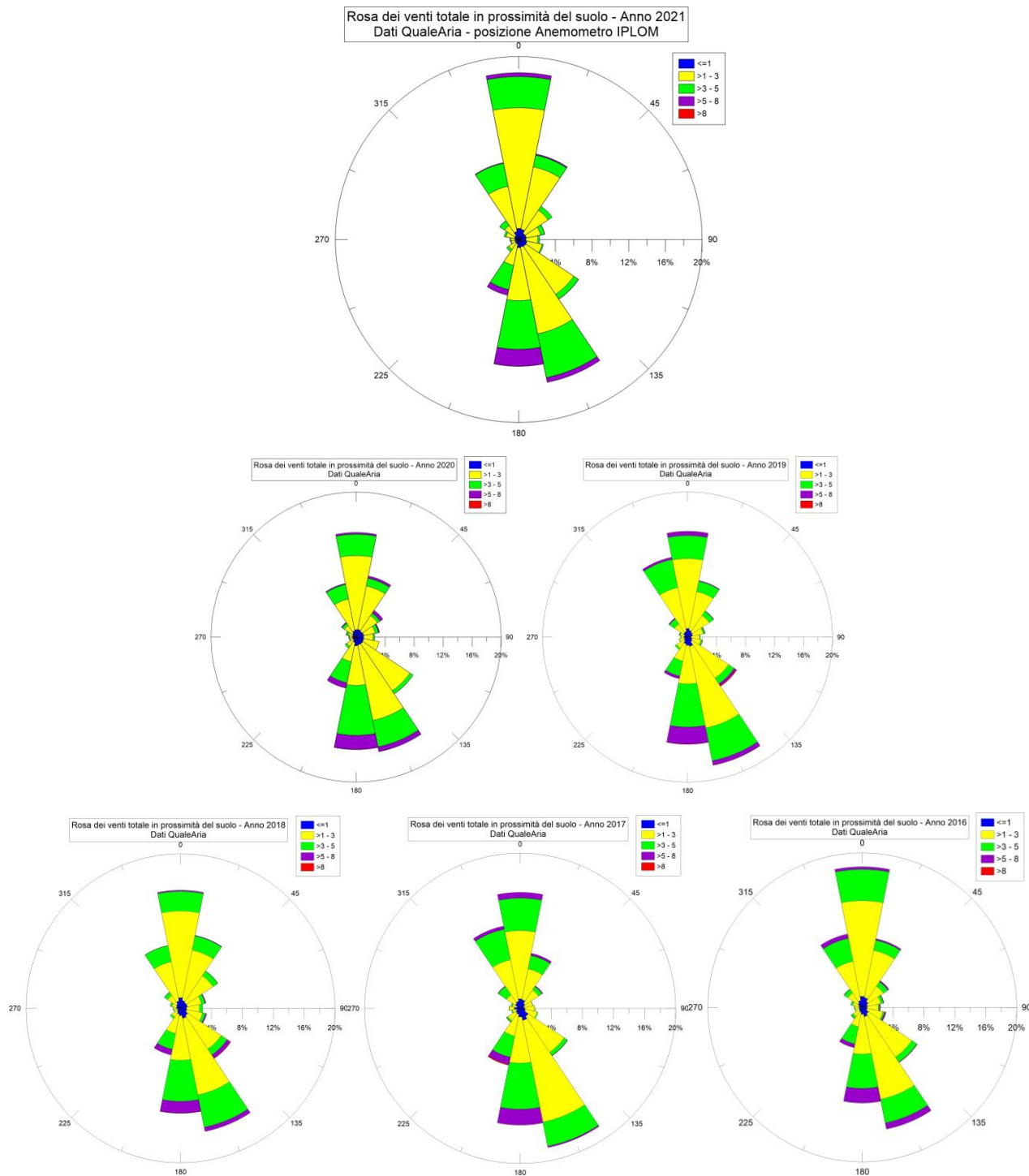


Figura 6 - Rose dei venti annuali anni 2021 (sopra), 2020, 2019 (al centro) e 2018, 2017, 2016 (sotto). Dati QualeAria al suolo estratti nella posizione dell'anemometro locale

3.1 Ricostruzione dei campi di vento

Il codice **Swift**, alimentato mediante la meteorologia QualeAria, produce 8761 campi meteorologici orari per l'intero anno 2021 modificando sull'orografia locale i dati di input, ovvero producendo campi a divergenza nulla e generando velocità verticali che si adattano in ogni punto al profilo orografico e alle condizioni di rugosità superficiale alla risoluzione di 200 m considerata. Ciò produce un'ulteriore variazione locale del dato di input illustrato attraverso le precedenti rose dei venti. In Figura 7 è

riportata la rosa dei venti per l'anno 2021 ottenuta estraendo i dati prodotti dal modello Swift in prossimità dell'anemometro locale, mentre la Figura 8 riporta le rose dei venti diurna e notturna relative alla stessa posizione e allo stesso intervallo temporale. Rispetto ai dati di input QualeAria, si può notare la diminuzione delle intensità del vento a causa della più elevata rugosità superficiale locale.

La suddivisione giorno-notte mostra un incanalamento più marcato nel caso notturno per i venti che provengono da Sud-Est con una più evidente diminuzione dell'intensità rispetto ai dati QualeAria, che riportano i valori a livelli più vicini a quelli misurati dall'anemometro locale.

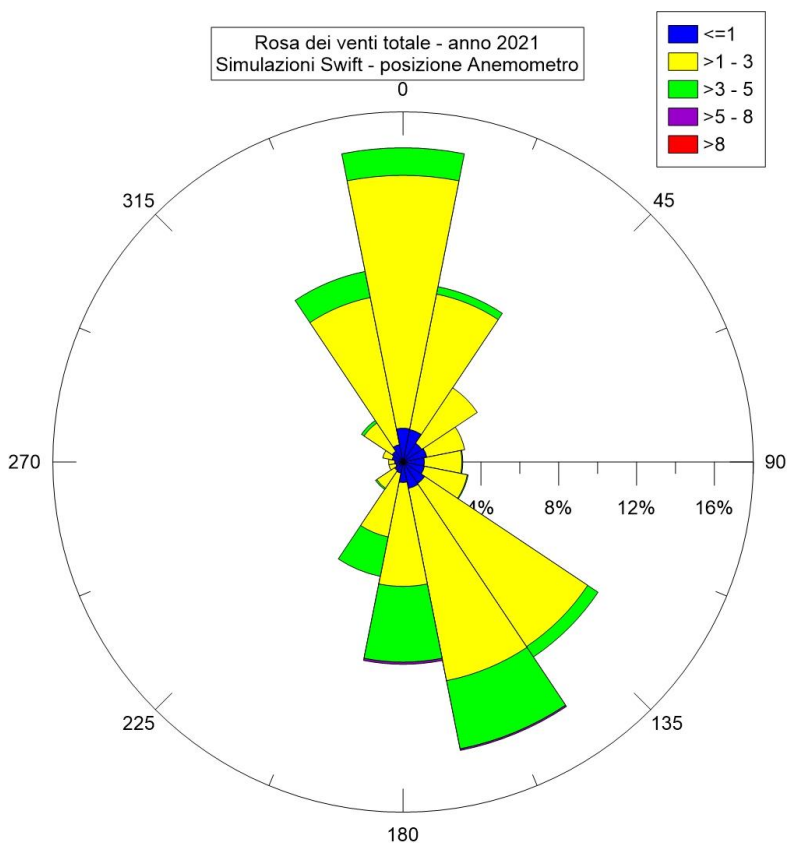


Figura 7 – Rosa dei venti annuale anno 2021 dati modello Swift in prossimità del suolo nella posizione dell'anemometro locale

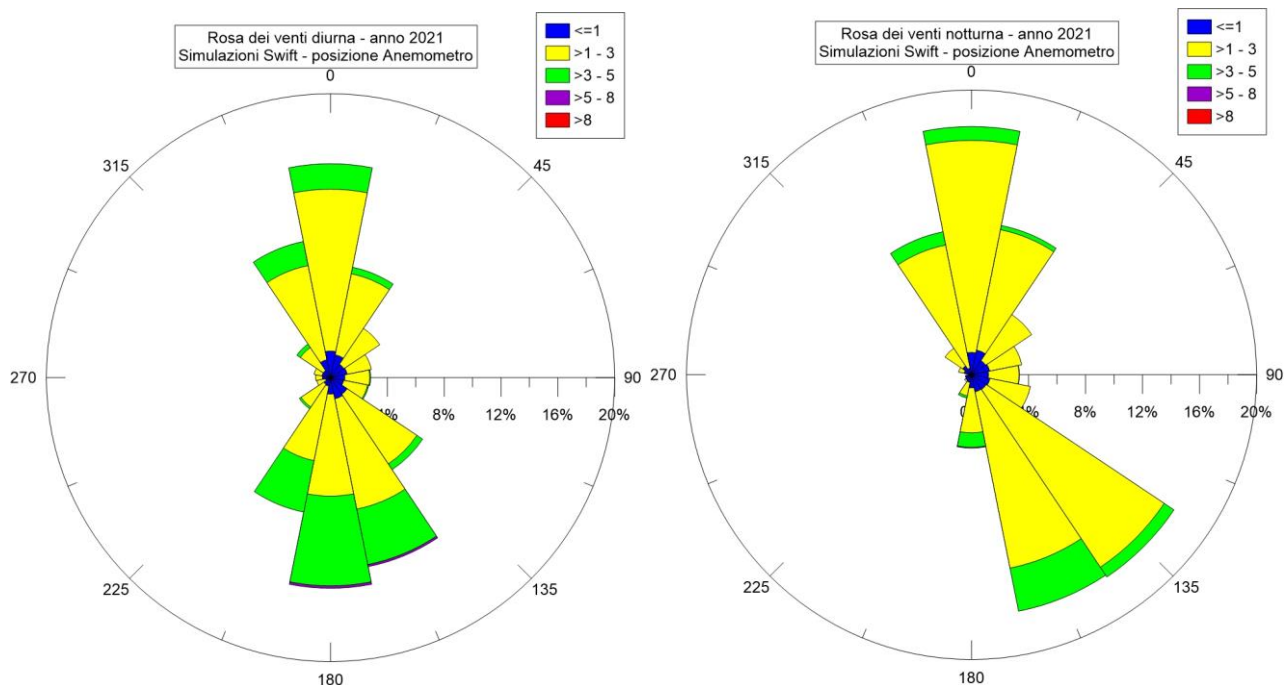


Figura 8 – Rose dei venti diurna (sinistra) e notturna (destra). Anno 2021, dati modello Swift in prossimità del suolo nella posizione dell’anemometro locale.

Come esempio delle informazioni anemologiche prodotte dal codice Swift, in Figura 9 sono riportati due campi di vento in prossimità del suolo relativi al giorno 1/8/2021 alle 01:00 e 13:00, rappresentative di una situazione di flusso estivo.

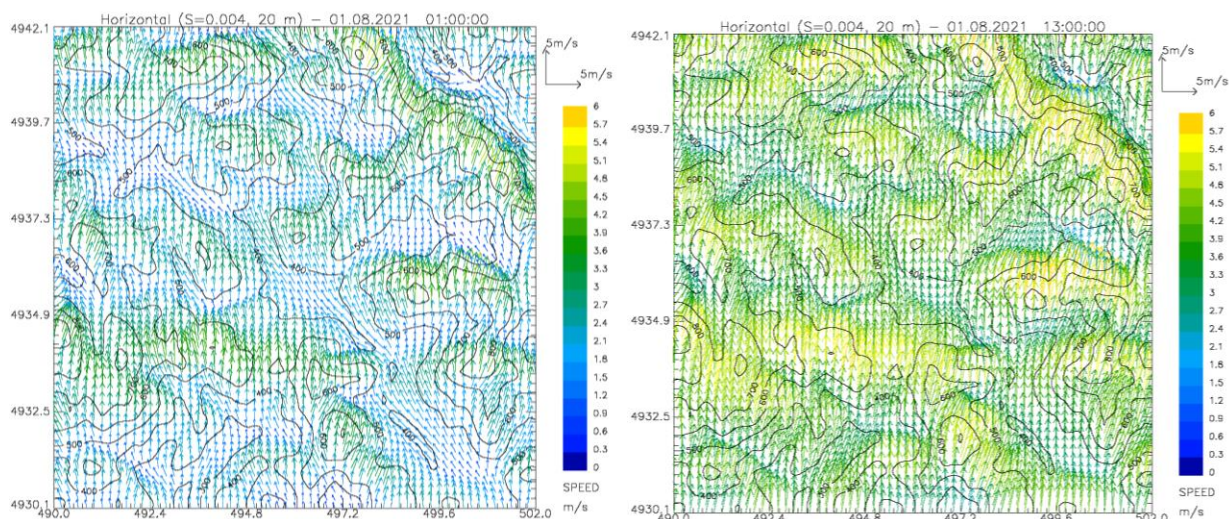


Figura 9 – Esempi del campo di vento in prossimità del suolo simulati dal codice Swift il giorno 1/8/2021 alle 01:00 (sinistra) e alle 13:00 (destra). Intensità del vento in m/s secondo la scala a destra del grafico

3.2 Ricostruzione dei campi di turbolenza

Il modello Lagrangiano a particelle Spray, per determinare il trasporto 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 implementati per questo 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 a 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 codice **SurfPro**, tenendo conto delle disomogeneità orizzontali indotte dalla presenza di differenti caratteristiche di uso del suolo, visualizzate in Figura 2.

A titolo di esempio, in Figura 10 sono riportati rispettivamente i campi (bidimensionali) di u^* , L, Hmix e w^* alle ore 13:00 del giorno 1/8/2021, calcolati dal codice SurfPro.

Lo strato limite convettivo si sviluppa soprattutto nel fondovalle con oltre 1000 metri di spessore e caratteristiche di turbolenza instabile. Nel calcolo delle variabili di turbolenza, si tiene conto anche dell'eventuale riduzione dell'irraggiamento solare determinato dalla presenza di copertura nuvolosa prevista dai campi di QualeAria.

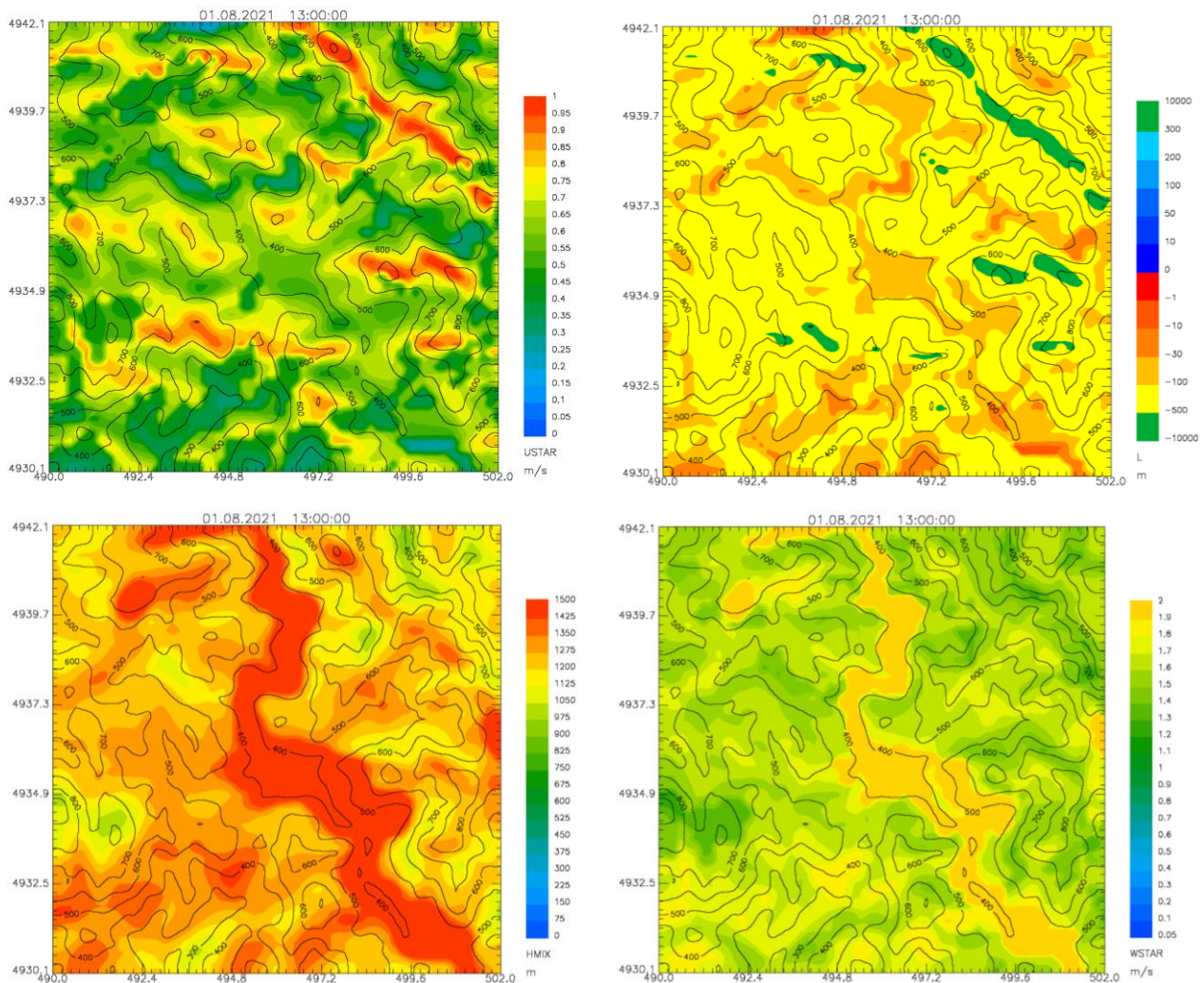


Figura 10 – Esempio di campi bidimensionali di velocità di frizione u^* (m/s in alto a sinistra), L (m, in alto a destra), H_{mix} (m, in basso a sinistra), w^* (m/s, in basso a destra) generati dal codice SurfPro il giorno 1/8/2021 alle ore 13:00.

4. Emissioni

Il presente lavoro prende in considerazione le emissioni puntuali dello stabilimento, ipotizzando uno scenario con portate dei fumi alla Massima Capacità di Produzione (MCP) e di concentrazione all'emissione per NO_x, CO, SO₂ e Polveri, specie considerate nelle simulazioni, alla Massima Capacità Emissiva (MCE). La presenza della situazione pandemica non ha comunque influito in maniera sostanziale sulle attività produttive dell'impianto

L'elenco dei camini considerati nelle simulazioni e delle loro caratteristiche geometriche è riportato in

Tabella 1.

Tabella 1 – Elenco delle sorgenti emissive (camini) della raffineria considerati nelle simulazioni di dispersione. La parte evidenziata in grigio riguarda le sorgenti controllate dal sistema SME dell'impianto.

Sigla camino	Unità produttiva	Altezza camino [m]	Diametro interno [m]
E1	F-101 (U100)	53	2.25
E2	F-1801 (U1800)	45	1.10
E11	F-201 (U200)- F1701 (U1700)	53	2.00
E12	F-1101 (U1100)	30	1.00
E13.b	F-1901_F-1902 (U1900)	50	1.24
E15	Turbogas U3000	50	2.50
E13.a	F-1402 (U1400)	40	0.80
E8	FOD 1 (piazzale)	8.8	0.45
E10	FOD 2 (Revecchio)	8.4	0.45
E14	FOD 3 (Boccarda)	15	0.55

Le portate considerate per i singoli punti emissivi sono quindi quelle alla MCP come da scheda B.7.2 allegata all'istanza di riesame AIA del 2018 mentre i valori in concentrazione degli inquinanti sono quelli considerati in sede di istruttoria di riesame AIA del 2018 (vedasi Allegato II) e corrispondenti alla MCE.

In Tabella 2 sono riassunti, per ognuna delle sorgenti emissive considerate, le portate normalizzate, le concentrazioni normalizzate per le quattro specie oggetto delle simulazioni, le temperature e le velocità verticali dei fumi. Le temperature dei fumi in uscita dai camini sono state calcolate, per ogni punto emissivo, come valore medio dei dati SME misurati nel corso dell'anno 2021 quando possibile, e mediante valori medi mensili comunicati da IPLOM negli altri casi. Le velocità verticali sono state dedotte dalle portate tal quali ottenute ipotizzando le portate normalizzate MCP e gli altri parametri necessari (temperature dei fumi, contenuto di ossigeno e di umidità nei fumi) misurati dal sistema SME quando possibile o dedotti da dati medi mensili comunicati da IPLOM negli altri casi.

Quando i dati di concentrazione per una determinata specie non sono indicati, si ipotizza che la stessa specie non venga emessa dal camino corrispondente. Per quanto riguarda l'unità U3000 corrispondente al camino E15, la modellazione viene effettuata sulla base dei massimi limiti autorizzabili con riferimento alla parte V del D.lgs. 152/2006,

Tabella 2 – Caratteristiche emissive delle sorgenti puntuali

Sigla camino	Unità produttiva	Portata MCP Nm ³ /ora	Conc. NOx mg/Nm ³	Conc. SO ₂ mg/Nm ³	Conc. CO mg/Nm ³	Conc. Polveri mg/Nm ³	Temp. fumi °C	Vel. fumi m/s
E1	F-101 (U100)	33000	325	560	80	50	177	6.8
E2	F-1801 (U1800)	35000	150	-	15	-	160	23.1
E11	F-201 (U200)- F1701 (U1700)	33000	510	800	50	50	217	14.6
E12	F-1101 (U1100)	37000	145	-	40	-	107	10.2
E13.b	F-1901_F-1902 (U1900)	22000	400	430	40	50	248	13.5
E15	Turbogas U3000	163000	200	120	100	10	164	20.7

E13.a	F-1402 (U1400)	3200	100	550	80	-	279	4.3
E8	FOD 1 (piazzale)	5300	235	-	50	-	146	14.2
E10	FOD 2 (Revecchio)	2210	143	-	40	-	213	6.9
E14	FOD 3 (Boccarda)	2690	200	-	50	-	115	6.1

Per tutte le sorgenti, si considera cautelativamente un funzionamento degli impianti in continuo per tutte le 8760 ore dell'anno.

5. Risultati delle simulazioni

Il modello di dispersione Lagrangiano a particelle SPRAY viene applicato sull'intero anno 2021 producendo, per ognuna delle specie considerate, mappe di impatto per le emissioni delle sorgenti puntuali IPLOM.

Per ogni ora di simulazione, il modello tiene conto con continuità della situazione al termine dell'ora precedente. Vengono calcolate mappe di concentrazione 2D orarie al suolo, sulla base di questi dati vengono calcolati gli indici statistici di legge.

Nel seguito, vengono presentate le mappe delle isosuperfici di concentrazione sul territorio con i confronti, specie per specie, con i limiti di legge. Le scale di colori sono scelte in modo tale che il colore rosso rappresenti l'eventuale superamento del limite normativo.

5.1 *Inquinanti atmosferici e quadro di riferimento normativo*

Con la emanazione del D.Lgs. 13/08/2010 n. 155, il legislatore ha recepito la Direttiva Europea 2008/50/CE (Relativa alla qualità dell'aria Ambiente e per un'aria più pulita in Europa), operando a livello nazionale la stessa riorganizzazione e semplificazione delle norme esistenti a tutela della qualità dell'aria, realizzate nella normativa europea di settore. Sono state quindi esplicitamente abrogate le precedenti norme di riferimento (DPR 203/88 - ad eccezione di quanto escluso dal D.Lgs. 152/2006, DM 20/5/1991, DM 15/4/1994, DM 25/11/1994, DM 16/5/1996, DL 4/8/99 n. 351 e DM 2/4/2002 n.60), inglobandone i contenuti in un atto unico, il Decreto Legislativo 155/2010.

Per quanto attiene ai diversi valori limite per le sostanze inquinanti (sono oggetto di questo studio gli ossidi di azoto, il monossido di carbonio, il biossido di zolfo e le polveri), i valori in vigore confermano quanto già disposto dal D.M. 60/2002 e sono riassunti in Tabella 3 e in Tabella 4.

Tabella 3: Valori Limite alle concentrazioni di inquinanti dell'aria indicati dal D. Lgs. 13/08/2010 n. 155 in recepimento della Dir 2008/50/CE.

Inquinante	Limite	Tempo di mediazione dati
Monossido di carbonio	10 mg/m ³	Media massima giornaliera su 8 ore (*)
Ossidi di azoto totali	30 µg/m ³ (protezione della vegetazione)	Media annuale
Biossido di azoto	200 µg/m ³ (da non superare più di 18 volte l'anno)	Media oraria
Biossido di azoto	40 µg/m ³	Media annuale
Biossido di zolfo	350 µg/m ³ (da non superare più di 24 volte l'anno)	Media oraria
Biossido di zolfo	125 µg/m ³ (da non superare più di 3 volte l'anno)	Media giornaliera
Biossido di zolfo	20 µg/m ³	Media annuale

(*) La massima concentrazione media giornaliera su 8 ore si determina con riferimento alle medie consecutive su 8 ore, calcolate sulla base di dati orari ed aggiornate ogni ora. Ogni media su 8 ore in tal modo calcolata è riferita al giorno nel quale la serie di 8 ore si conclude: la prima fascia di calcolo per un giorno è quella compresa tra le ore 17:00 del giorno precedente e le ore 01:00 del giorno stesso; l'ultima fascia di calcolo per un giorno è quella compresa tra le ore 16:00 e le ore 24:00 del giorno stesso.

Tabella 4: Valori Limite alle concentrazioni di PM10 e PM2.5 indicati dal D. Lgs. 13/08/2010 n. 155 in recepimento della Dir 2008/50/CE.

Inquinante	Limite	Tempo di mediazione dati
PM10	50 µg/m ³ (da non superare più di 35 volte l'anno)	Media giornaliera
	40 µg/m ³	Media annuale
PM2.5	25 µg/m ³	Media annuale

5.2 Mappe di inquinamento

5.2.1 Ossidi di azoto totali

La Figura 11 riporta la mappa delle concentrazioni medie annuali al suolo degli ossidi di azoto totali (NO_x) simulate dal codice Spray considerando il complesso delle sorgenti puntuali.

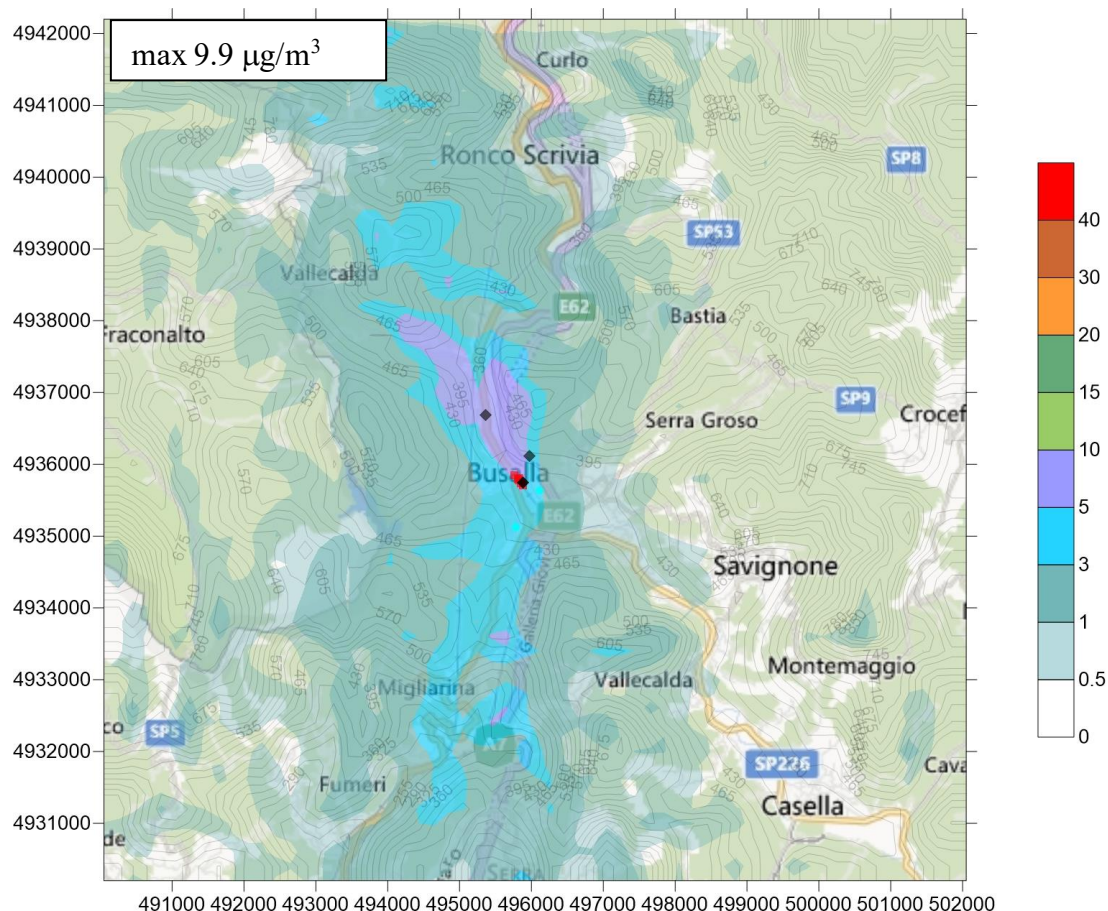


Figura 11 – concentrazioni medie annuali al suolo di NO_x simulate dal codice Spray, sorgenti puntuali IPLOM. Valori in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ secondo la scala a destra.

I valori più elevati delle concentrazioni, compresi tra 5 e 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, che includono il valore massimo assoluto di circa 9.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, si ritrovano a Nord dell'impianto ad una distanza fino a circa 2 km da quest'ultimo. In tutto il dominio di calcolo, le concentrazioni medie annuali degli ossidi di azoto totali si mantengono abbondantemente al di sotto del limite normativo di 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, che si riferisce alla protezione della vegetazione. La Figura 12, illustra il contributo alle concentrazioni al suolo medie annuali di NO_x generato dalla sola sorgente turbogas E15. L'impatto di questa sorgente risulta essere più esteso sul territorio rispetto a quello generato dal complesso delle emissioni, a causa delle condizioni di risalita termica dei pennacchi più favorevoli, ma si mantiene su valori decisamente contenuti, con valori massimi inferiori a 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

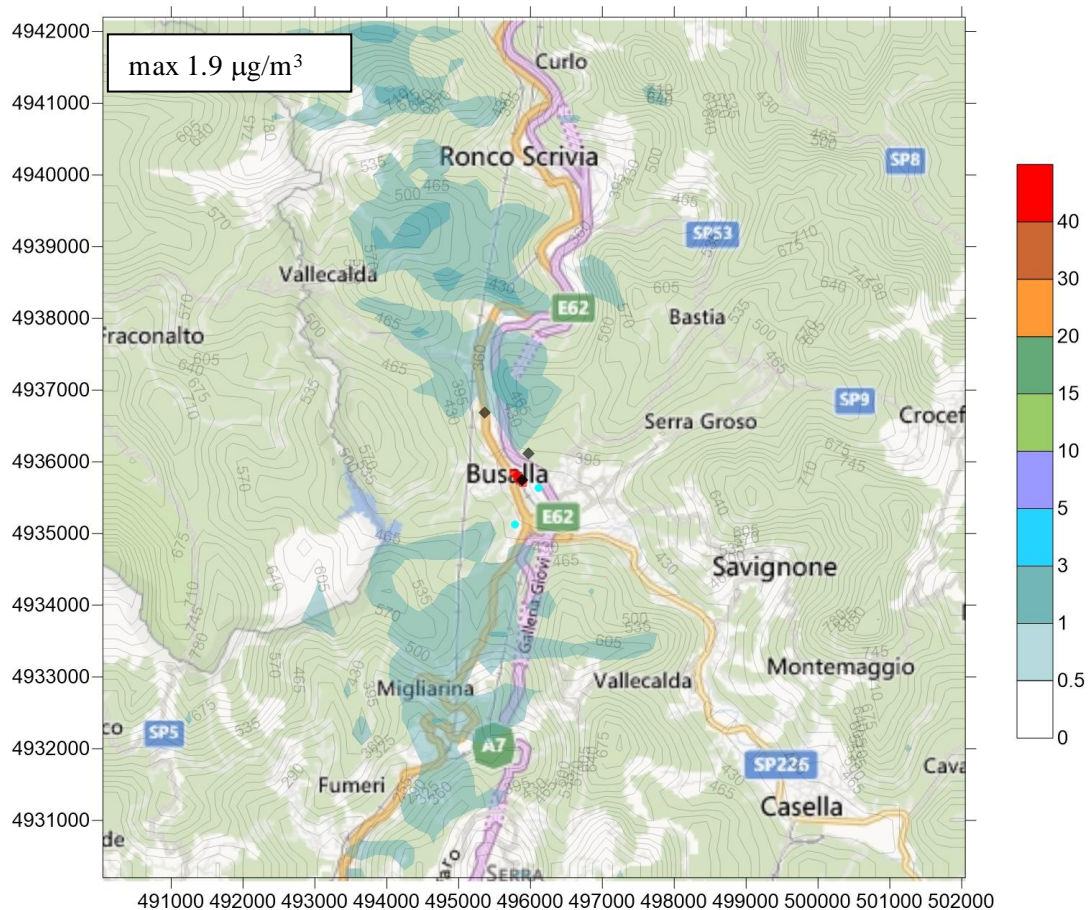


Figura 12 – concentrazioni medie annuali al suolo di NO_x simulate dal codice Spray, contributo delle emissioni della sorgente E15. Valori in µg/m³ secondo la scala a destra di ogni grafico.

5.2.2 Biossido di azoto

La metodologia modellistica utilizzata nel presente studio per la definizione dell'impatto specifico delle emissioni IPLOM mediante l'uso di un codice lagrangiano a particelle, tratta il solo impatto di inquinanti primari che per quanto attiene gli ossidi di azoto riguarda il loro complesso, ovvero gli ossidi di azoto totali, caratterizzati dalla somma di NO e NO₂. Per un confronto con la normativa, è necessario conoscere le concentrazioni del biossido di azoto; si pone quindi il problema di riportare i risultati modellistici di NO_x in NO₂.

Nella miscela aerodispersa di NO_x, la presenza dei due gas varia in dipendenza del sito, della meteorologia e della distanza dalle eventuali principali sorgenti. Più in dettaglio, le reazioni fotochimiche che avvengono in atmosfera, e che portano alla trasformazione di NO in NO₂ e viceversa, dipendono tra l'altro dai seguenti fattori:

- temperatura dell'aria;
- presenza ed intensità della luce solare;
- presenza di altri gas (ozono e composti organici) che interagiscono con tali trasformazioni;
- relativa composizione della miscela NO_x presente all'emissione.

La composizione degli NO_x dipende quindi fortemente dalla distanza dalle eventuali sorgenti: poiché essi sono un prodotto della combustione ad alta temperatura, come prima accennato, il NO è peraltro presente all'emissione in frazione preponderante (anche oltre il 95%) e tale frazione tende a

diminuire velocemente mentre l'aria contenente il gas emesso è trasportata lontano, risultando all'osservazione generalmente compresa tra il 25% ed il 75%.

Per ottenere una stima di tale ripartizione è possibile utilizzare, in linea di principio e se presenti sul territorio, serie storiche di dati orari di concentrazioni misurate di NO₂ e NO_x su base oraria ricavate da centraline appartenenti ad una rete di rilevamento che rappresenti significativamente le condizioni di inquinamento della zona. In assenza di misure locali che riportino contemporaneamente dati di NO_x e NO₂ (o analogamente di NO₂ e NO) può essere utilizzata in via cautelativa una relazione empirica, basata sull'analisi delle serie storiche sperimentali del rapporto NO₂/NO_x, approvata da US-EPA e derivata dall'analisi degli andamenti orari delle concentrazioni misurate da 580 stazioni sul territorio americano (American Petroleum Institute, 2013) che rappresenta la curva denominata "ARM2" utilizzata attualmente anche all'interno del codice gaussiano EPA AERMOD. Tale relazione costituisce una stima conservativa del contenuto di NO₂ nelle concentrazioni al suolo mantenendo una sostanziale indipendenza rispetto al sito. Nel caso in esame, in assenza dei dati locali necessari, la metodologia utilizzata per la stima del biossido di azoto è quella basata sulla metodologia ARM2.

La Figura 13 mostra l'andamento della curva interpolante calcolata, rappresentata dai simboli in rosso. I valori di concentrazione in figura sono espressi in ppb. Si osserva come la curva calcola cautelativamente, per valori di concentrazione inferiori a 50 ppb (94 µg/m³), un rapporto NO₂/NO_x sostanzialmente pari a 1. Nel calcolo di valori medi su un periodo annuale, ciò determina un avvicinamento dei valori di NO_x a quelli di NO₂ che è quindi lecito attendersi piuttosto simili.

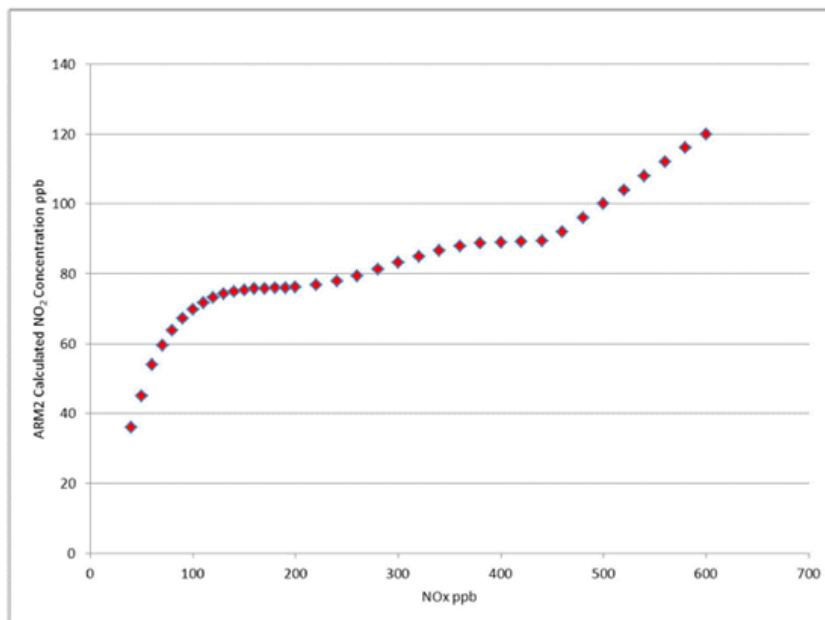


Figura 13 - Curva interpolante NO_x/NO₂ ARM2 US-EPA. In ascissa sono rappresentati i valori di ossidi di azoto totale ed in ordinata i corrispondenti valori di biossido di azoto, entrambi in ppb (1 ppb = 1.88 µg/m³)

Viceversa, per valori maggiori, la stessa curva evidenzia che lo stesso rapporto NO₂/NO_x tende a diminuire e, di fatto, tale situazione può essere ritenuta rappresentativa dei valori più elevati di NO_x, rispecchiando punte orarie della concentrazione di tale specie.

I campi di concentrazione orari di NO₂ prodotti dalle emissioni dell'impianto IPLOM vengono ottenuti attraverso l'applicazione della relazione descritta dalla curva, a partire dalle concentrazioni orarie di NO_x calcolati dal modello SPRAY.

La Figura 14 riporta la mappa delle concentrazioni medie annuali al suolo per il biossido di azoto stimate a partire dai valori di concentrazione oraria di NO_x simulate dal codice Spray considerando il complesso delle sorgenti puntuali. L'andamento spaziale risulta molto simile a quello ottenuto per gli ossidi di azoto totali, mostrando rispetto a questi ultimi una riduzione dei valori con il massimo assoluto che si mantiene al di sotto del livello di 9 µg/m³, ben al di sotto del limite legislativo di 40 µg/m³.

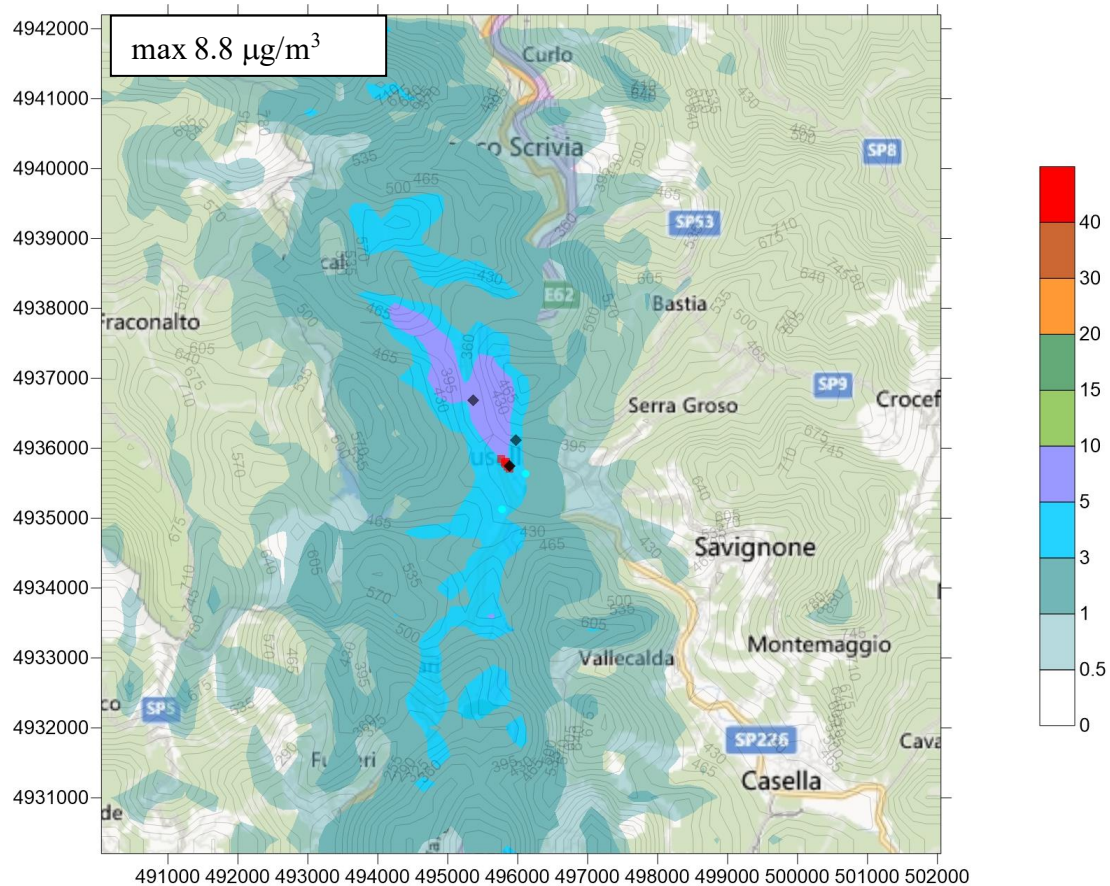


Figura 14 – concentrazioni medie annuali al suolo di NO₂ stimate a partire dalle concentrazioni di NO_x simulate dal codice Spray, sorgenti puntuali IPLOM. Valori in µg/m³ secondo la scala a destra.

La Figura 15, illustra il contributo alle concentrazioni al suolo medie annuali di NO₂ generato dalla sola sorgente turbogas E15. Anche in questo caso il contributo della sorgente considerata risulta esteso a Nord e Sud rispetto al punto emissivo lungo tutto il dominio di calcolo, su valori al di sotto di 2 µg/m³, circa 20 volte al di sotto del limite di legge.

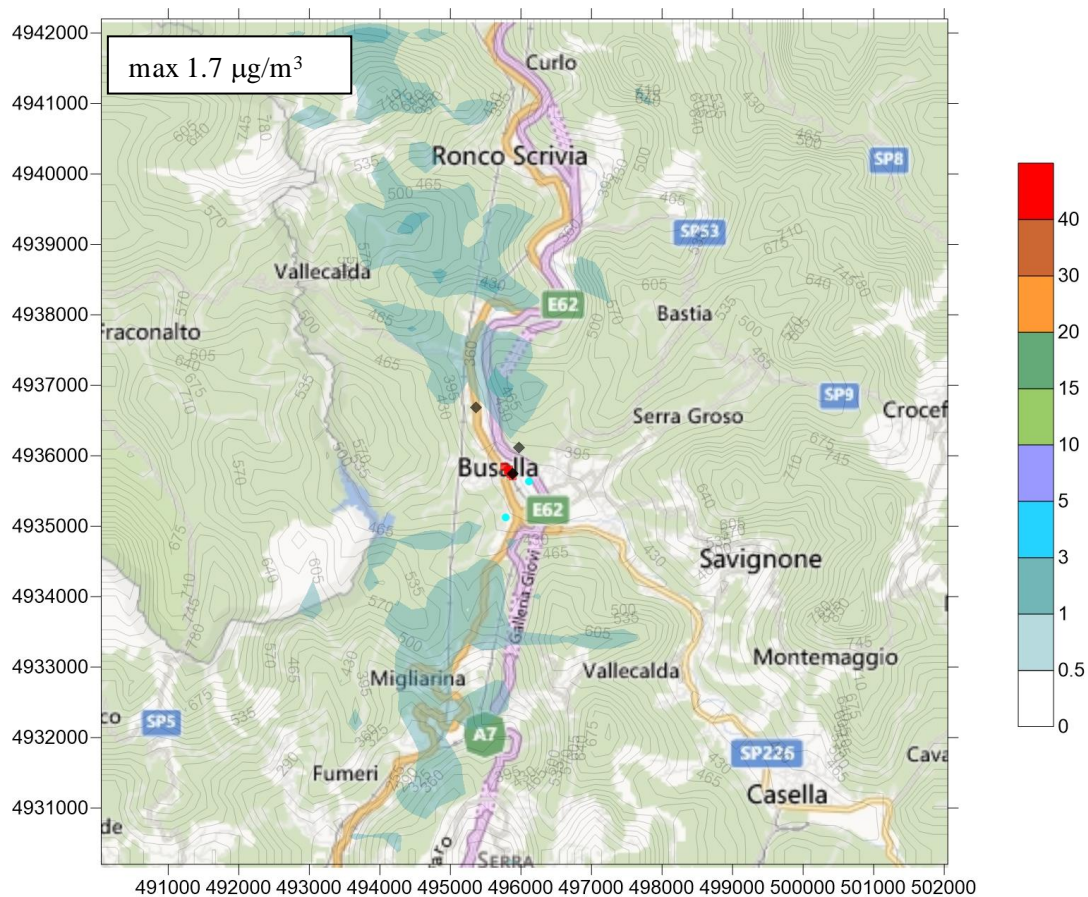


Figura 15 – concentrazioni medie annuali al suolo di NO₂ stimate a partire dalle concentrazioni di NO_x simulate dal codice Spray, contributo delle emissioni della sorgente E15. Valori in µg/m³ secondo la scala a destra di ogni grafico.

La Figura 16 riporta la mappa del 99.79 percentile delle medie orarie delle concentrazioni al suolo di NO₂ (che corrisponde al 18° valore più elevato superato nell'anno), simulate dal codice Spray considerando il complesso delle sorgenti puntuali IPLOM. Il limite legislativo, riferito al biossido di azoto, è in questo caso di 200 µg/m³.

Anche per questo indicatore, le simulazioni mostrano un impatto dell'impianto che si mantiene inferiore al limite nell'intero dominio di calcolo. I valori più elevati, in alcuni casi anche superiori a 100 µg/m³, si manifestano anche a distanza rispetto alla sorgente a causa di impatti di tipo orografico. I livelli si mantengono comunque sempre al di sotto dei 200 µg/m³ ovunque con un massimo assoluto di poco superiore a 140 µg/m³, indicando l'eventuale presenza di un numero di superamenti di questo limite sempre inferiore ai 18 nell'anno indicati nel decreto legislativo.

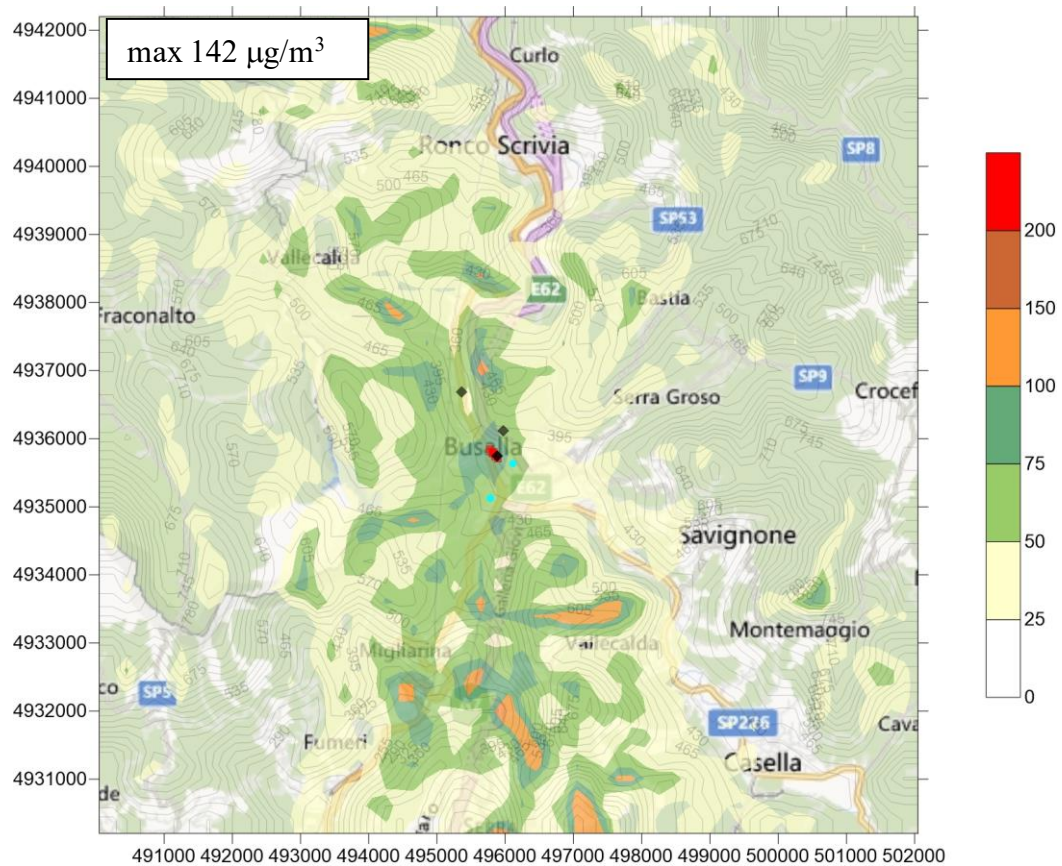


Figura 16 – 99.79 percentile delle medie orarie di concentrazione al suolo di NO₂ stimate a partire dalle concentrazioni di NO_x simulate dal codice Spray, sorgenti puntuali IPLOM. Valori in µg/m³ secondo la scala a destra.

5.2.3 Biossido di zolfo

La Figura 17 riporta la mappa delle concentrazioni medie annuali al suolo per il biossido di zolfo simulate dal codice Spray considerando il complesso delle sorgenti puntuali IPLOM.

I valori massimi sono di poco superiori a 8 µg/m³, localizzati a Nord dello stabilimento e comunque su livelli al di sotto del limite legislativo di 20 µg/m³ ovunque nel dominio di calcolo.

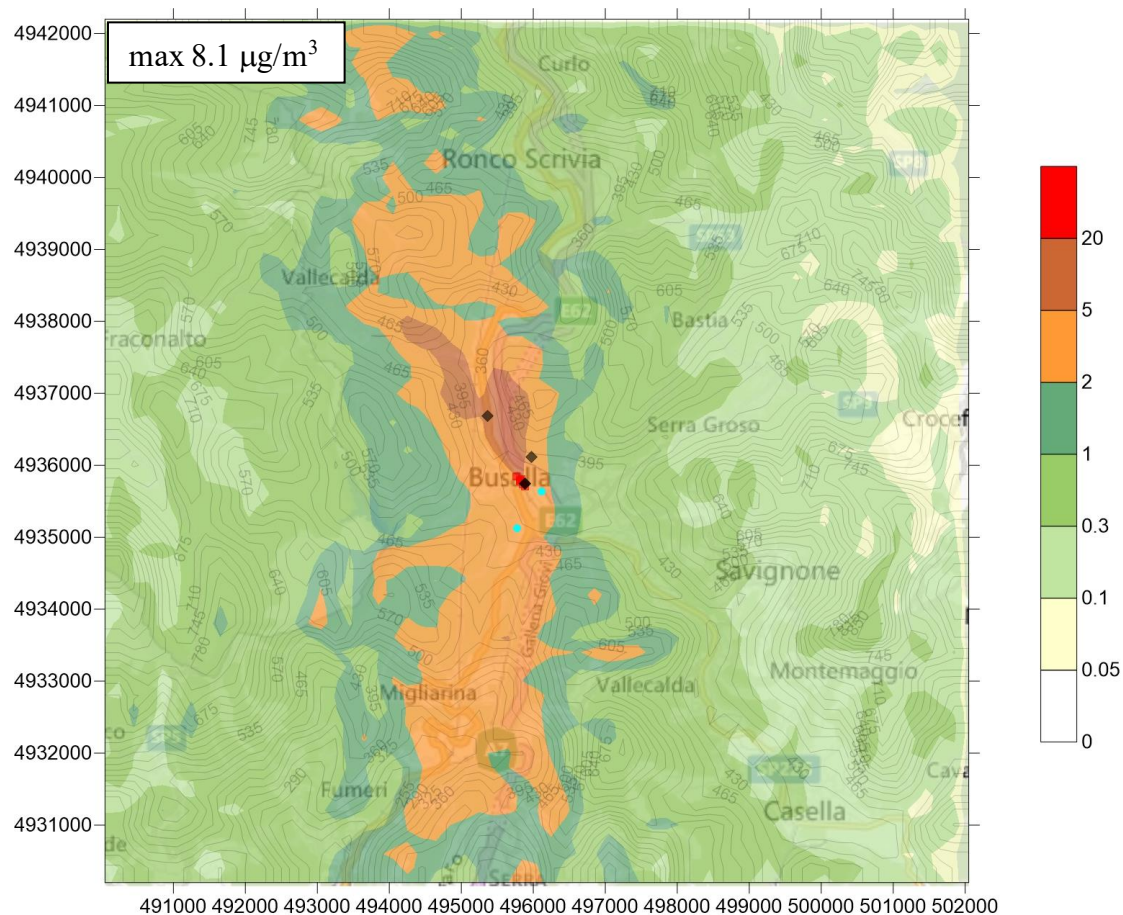


Figura 17 – concentrazioni medie annuali al suolo di SO₂ simulate dal codice Spray, sorgenti puntuali IPLOM. Valori in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ secondo la scala a destra.

La Figura 18 illustra il contributo alle concentrazioni al suolo medie annuali di SO₂ generato dalla sola sorgente turbogas E15. Valgono anche per questa specie le considerazioni fatte per gli ossidi di azoto, che descrivono un impatto esteso a Nord e Sud rispetto al punto emissivo lungo tutto il dominio di calcolo, anche se su valori sostanzialmente sempre al di sotto di 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, circa 20 volte al di sotto del limite legislativo di 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

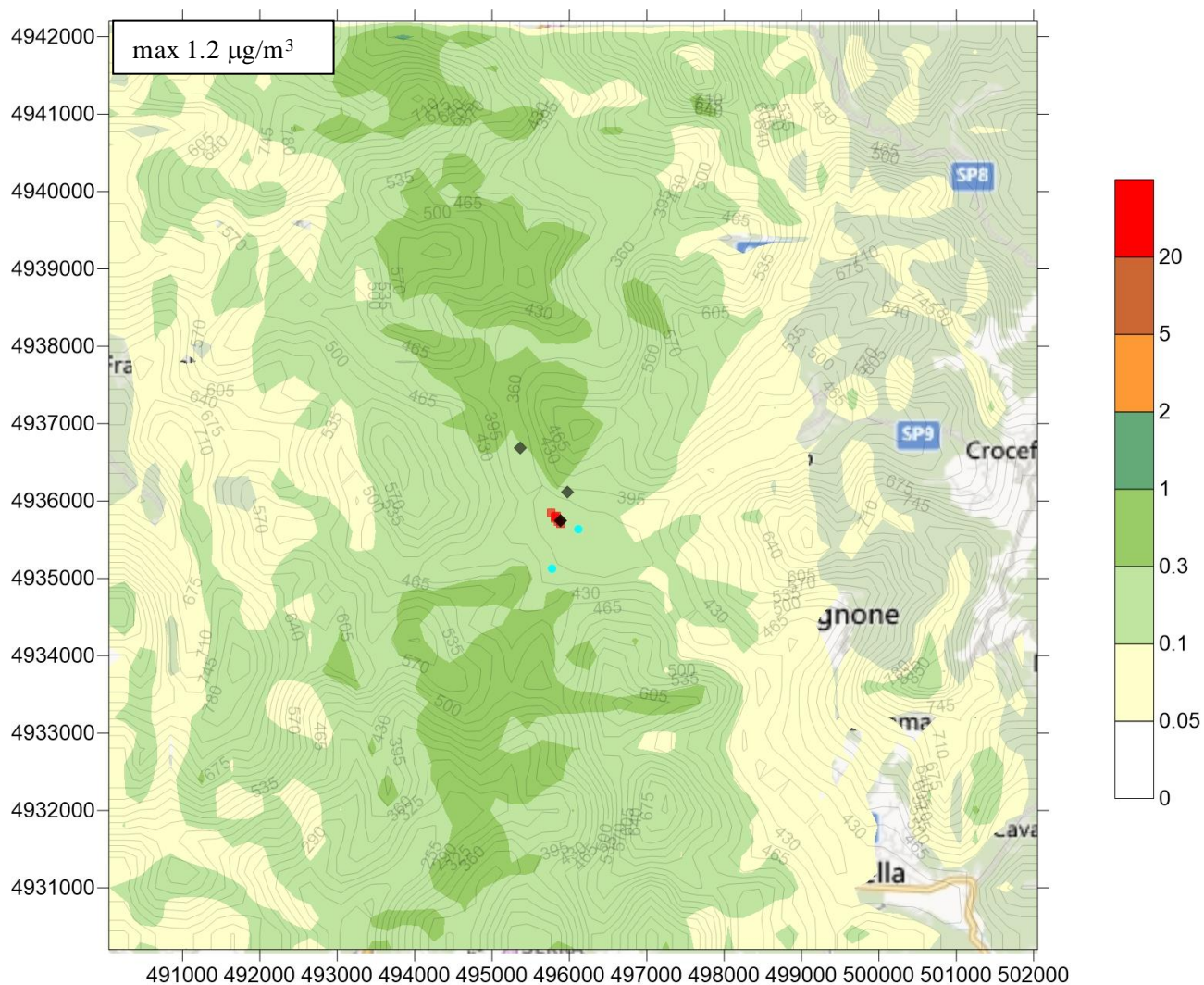


Figura 18 – concentrazioni medie annuali al suolo di SO₂ simulate dal codice Spray, contributo delle emissioni della sorgente E15. Valori in µg/m³ secondo la scala a destra di ogni grafico.

In Figura 19, viene mostrata la mappa del 99.7 percentile delle medie orarie delle concentrazioni al suolo di SO₂ generata da tutte le sorgenti puntuali IPLOM (che corrisponde al 24° valore più elevato superato nell'anno), simulate dal codice Spray. Per questo indicatore il limite legislativo è di 350 µg/m³ da non superare per più di 24 volte l'anno. Le simulazioni mostrano un valore massimo di 224 µg/m³ che indica come ovunque non venga mai oltrepassato il limite di superamenti previsto dalla normativa.

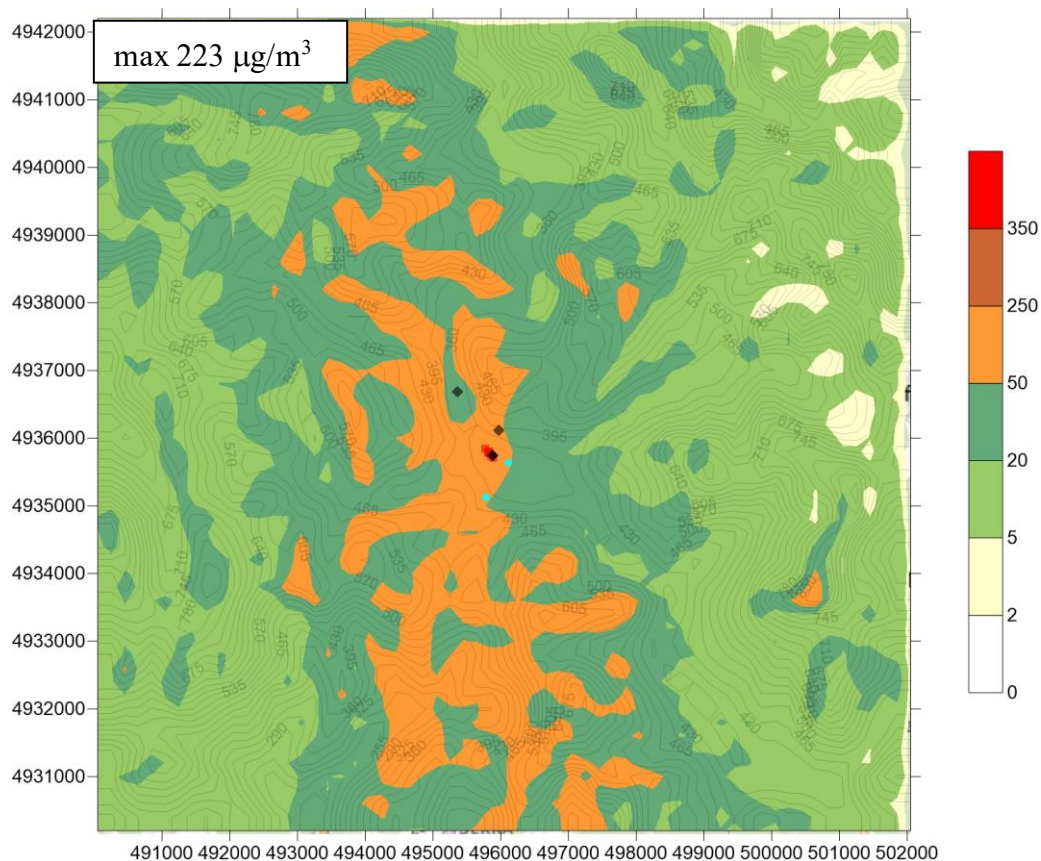


Figura 19 – 99.7 percentile delle medie orarie di concentrazione al suolo di SO₂ simulate dal codice Spray, sorgenti puntuali IPLOM. Valori in µg/m³ secondo la scala a destra

La Figura 20 mostra infine i campi del 99.2 percentile delle medie giornaliere delle concentrazioni al suolo di SO₂ (che corrisponde al 3° valore più elevato superato nell'anno), simulate dal codice Spray considerando il complesso delle sorgenti puntuali IPLOM. Anche in questo caso si verifica un impatto ovunque al sotto rispetto al limite legislativo pari a 125 µg/m³ con un valore massimo dell'indicatore di poco inferiore a 50 µg/m³.

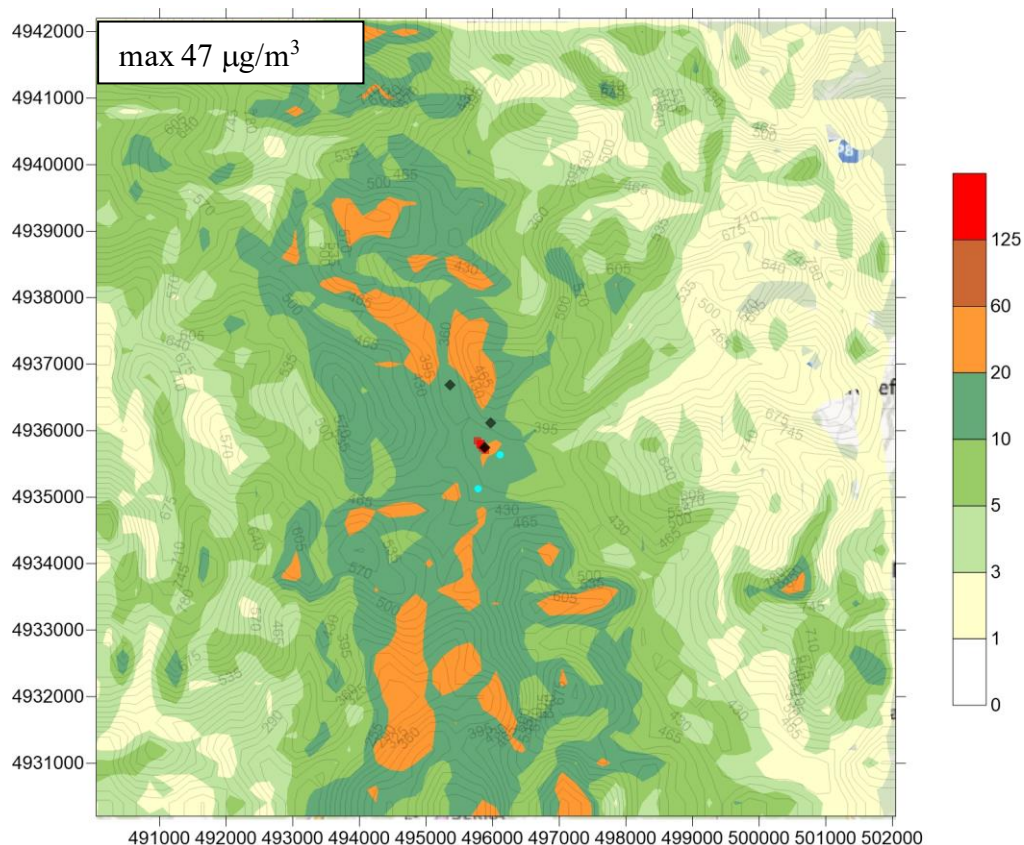


Figura 20 – 99.2 percentile delle medie giornaliere di concentrazione al suolo di SO₂ simulate dal codice Spray, sorgenti puntuali IPLOM. Valori in µg/m³ secondo la scala a destra

5.2.4 Polveri

Le emissioni delle sorgenti puntuali IPLOM sono dedotte da limiti autorizzativi imposti per le polveri totali. Cautelativamente, le concentrazioni simulate vengono confrontate con i limiti legislativi imposti per le frazioni PM₁₀ e PM_{2.5}.

La Figura 21 riporta la mappa delle concentrazioni medie annuali al suolo per le Polveri simulate dal codice Spray considerando il complesso delle sorgenti puntuali IPLOM

Il modello simula la componente primaria emessa direttamente dalle sorgenti considerate e prevede impatti molto limitati, con valori massimi inferiori ovunque a 1 µg/m³, molto al di sotto del limite legislativo di 40 µg/m³ per la frazione PM₁₀ e del limite di 25 µg/m³ per la frazione PM_{2.5}. Anche per questo inquinante il maggiore impatto risulta essere localizzato verso Nord rispetto alla posizione dello stabilimento. Il contributo della sola sorgente E15 (non mostrato in questo caso) risulta essere estremamente limitato con un massimo inferiore a 0.1 µg/m³.

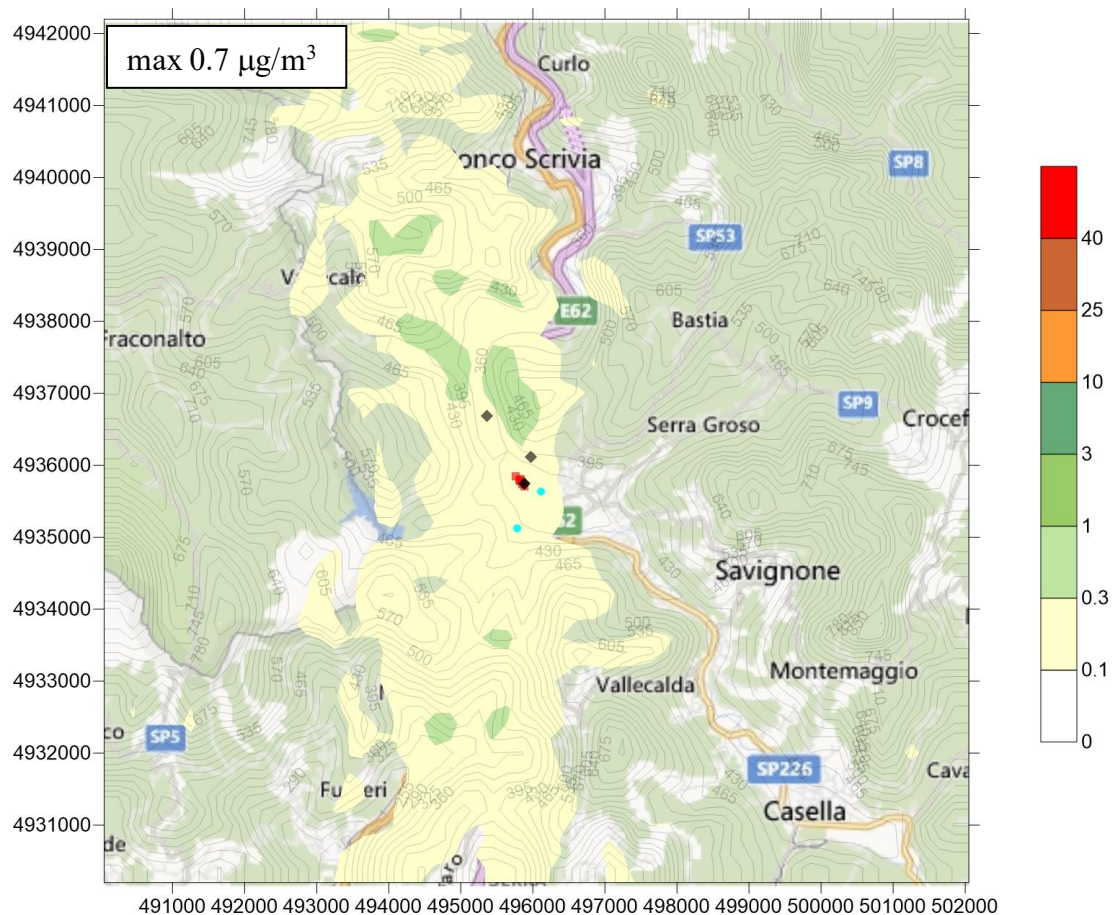


Figura 21 – concentrazioni medie annuali al suolo di Polveri simulate dal codice Spray, sorgenti IPLOM. Valori in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ secondo la scala a destra di ogni grafico.

Per quanto riguarda l'indicatore legislativo per i valori estremi relativo alle polveri, la Figura 22 mostra il campo del 90.4 percentile delle medie giornaliere delle concentrazioni al suolo di Polveri (che corrisponde al 35° valore più elevato superato nell'anno) per il complesso delle sorgenti IPLOM. Si raggiungono valori massimi intorno a $1.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ molto inferiori al limite legislativo di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

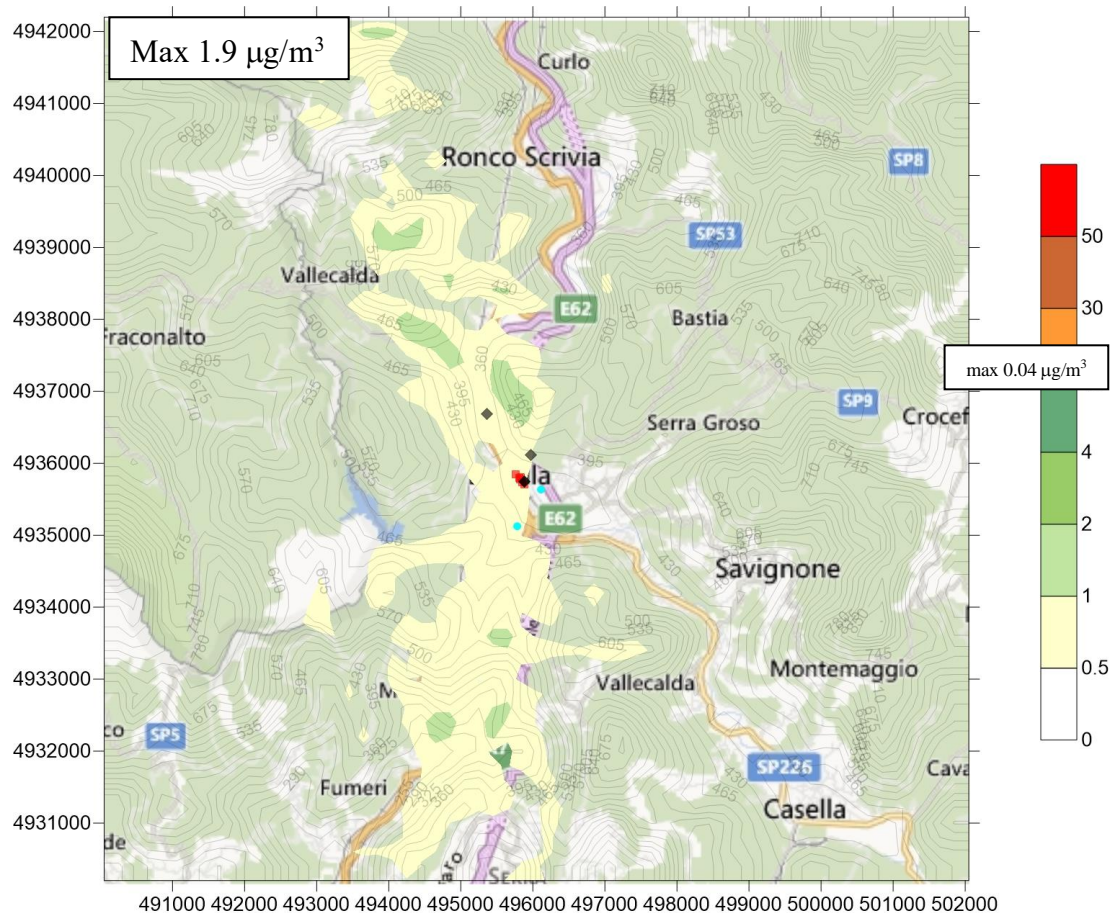


Figura 22 – 90.4 percentile delle medie giornaliere di concentrazione al suolo di Polveri simulate dal codice Spray, sorgenti puntuali IPLOM. Valori in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ secondo la scala a destra.

5.2.5 Monossido di Carbonio

La Figura 23 riporta la mappa del massimo delle concentrazioni medie su 8 ore al suolo per il CO simulate dal codice Spray considerando il complesso delle sorgenti puntuali IPLOM. Il valore massimo nel dominio per questo indicatore risulta di $529 \mu\text{g}/\text{m}^3$, molto al di sotto del limite legislativo di $10000 \mu\text{g}/\text{m}^3$, risultando essere determinato principalmente da un impatto orografico nella zona a Sud Est del dominio.

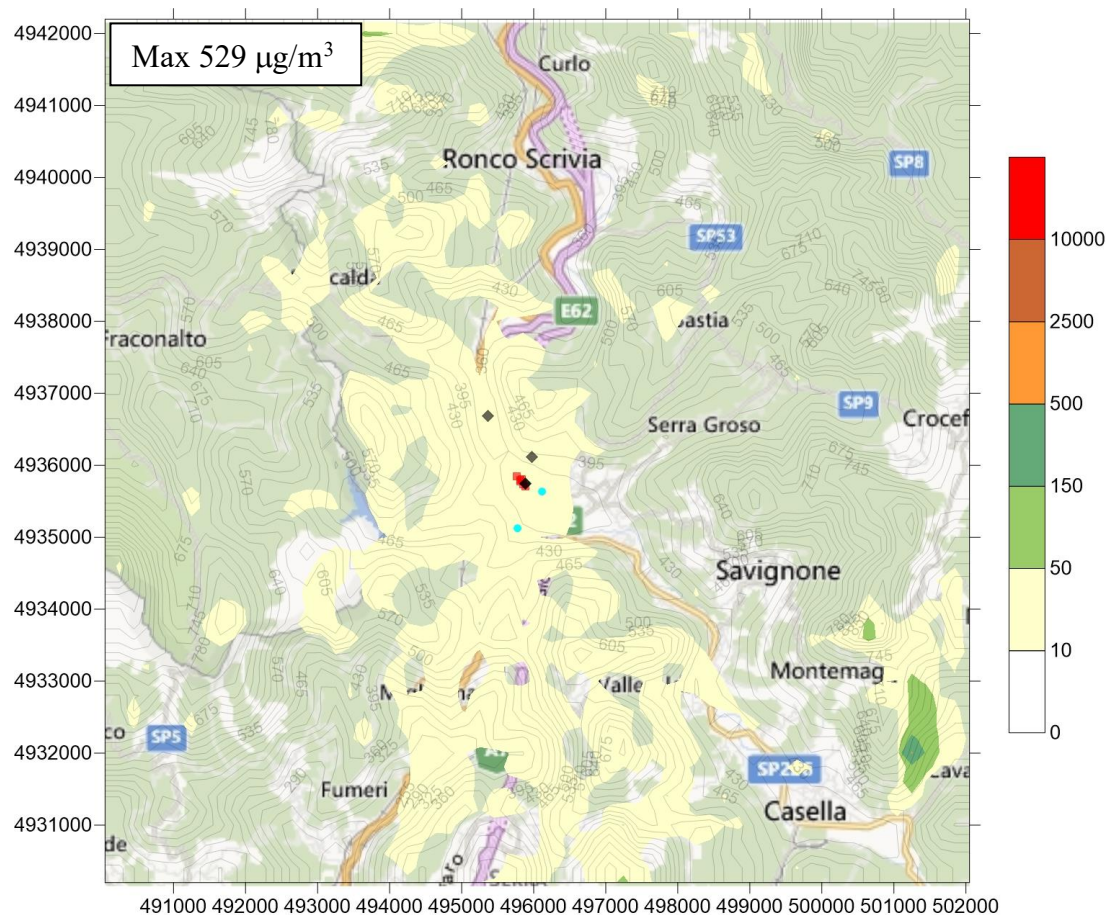


Figura 23 – massimo delle medie su 8 ore di concentrazione al suolo per il CO simulate dal codice Spray, sorgenti puntuali IPLOM. Valori in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ secondo la scala a destra.

6. Conclusioni

È stata realizzata una simulazione annuale sull'anno meteorologico 2021 dell'impatto sulla qualità dell'aria considerando le sorgenti puntuali della raffineria IPLOM.

La simulazione è stata condotta su un'area di 12x12 km² alla risoluzione orizzontale di 200 metri utilizzando un sistema modellistico tridimensionale in grado di simulare la dispersione su terreno complesso, basato sul codice Lagrangiano a particelle Spray. La simulazione è stata condotta considerando le portate dei fumi in uscita dai camini dell'impianto alla Massima Capacità Produttiva, tenendo conto delle concentrazioni per le sostanze inquinanti NO_x, SO₂, CO e Polveri alla Massima Capacità Emissiva. In particolare, le portate sono come indicato nella scheda B.7.2 allegata all'istanza di riesame AIA del 2018 mentre i valori in concentrazione degli inquinanti sono quelli considerati in sede di istruttoria di riesame AIA del 2018 (vedasi Allegato II) e corrispondenti alla MCE.

Dal punto di vista meteorologico, la simulazione sull'anno 2021 è stata pilotata attraverso i dati al suolo ed in quota provenienti dal sistema modellistico QualeAria, dopo un confronto soddisfacente con i dati locali dell'anemometro IPLOM misurati nello stesso periodo ed una verifica di significatività statistica rispetto agli anni precedenti. L'utilizzo dei dati provenienti da un'unica sorgente permette una migliore compatibilità su base oraria tra i dati al suolo ed in quota, che sono derivati dall'uso di dati dello stesso modello meteorologico alle equazioni primitive.

Sono state prodotte mappe sul territorio degli indicatori statistici determinati sulla base delle concentrazioni al suolo delle specie inquinanti considerate, che consentono un confronto diretto con i limiti legislativi vigenti.

Per nessuna delle specie inquinanti prese in considerazione, le simulazioni delle emissioni dell'impianto IPLOM presentano superamenti dei limiti normativi previsti sul territorio rappresentato dal dominio di calcolo.

In particolare, sia per gli ossidi di azoto totali che per il biossido di azoto (quest'ultimo stimato attraverso relazioni empiriche cautelative di trasformazione NO_x -> NO₂ suggerite da USEPA) sia i valori medi annuali che i valori di picco orari non determinano il superamento dei limiti. Il valore massimo sul dominio della media annuale di NO₂ risulta essere di 9.8 µg/m³ contro un limite di legge di 40 µg/m³, mentre il valore massimo sul dominio del 99.79 percentile delle medie orarie di NO₂ simulato risulta essere di 142 µg/m³ contro un limite di 200 µg/m³, ad indicare un numero di superamenti del limite nell'anno inferiore ai 18 previsti.

Per quanto riguarda il biossido di zolfo, il valore medio annuo presenta un massimo simulato nel dominio di 8.1 µg/m³, inferiore al limite legislativo di 20 µg/m³. Allo stesso modo, sia il 99.7 percentile dei valori orari che il 99.2 percentile dei valori medi giornalieri nell'anno, presentando un valore massimo nel dominio di 224 µg/m³ e di 47 µg/m³, risultano al di sotto dei limiti rispettivamente di 350 µg/m³ e di 125 µg/m³.

Per quanto riguarda il particolato, anche confrontando cautelativamente i risultati delle simulazioni che riguardano le Polveri Totali con i limiti legislativi relativi alle frazioni PM₁₀ e PM_{2.5} non si ha alcun superamento nel dominio di calcolo, con il massimo del valore medio annuale simulato di 0.7 µg/m³ (contro limiti di 40 µg/m³ e 25 µg/m³ rispettivamente per PM₁₀ e PM_{2.5}) e il 90.4 percentile delle concentrazioni medie giornaliere simulato di 1.9 µg/m³ contro il limite di 50 µg/m³ per il PM₁₀, ad indicare un numero di superamenti sempre inferiore ai 35 previsti.

Infine, per quanto riguarda il CO il valore più elevato nel dominio del massimo della media su 8 ore determinato dalle simulazioni mostra un valore di circa 0.53 mg/m^3 , decisamente inferiore al limite normativo di 10 mg/m^3 da non superare.

.

7. Bibliografia

- Aria Technologies (2010): Swift Wind Field Model, General Design Manual. ARIA Report, March 2010, Aria Technologies 2010.
- ARM2 Ambient Ratio Method Version 2 (ARM2) for use with AERMOD for 1-hr NO₂ Modeling - Development and Evaluation Report. Prepared for the American Petroleum Institute, RTP Environmental Associates, Boulder (CO), September 20, 2013
- Kukkonen J, Olsson T, Schultz M, Baklanov A, Klein T, Miranda I, Monteiro A, Hirtl M, Tarvainen V, Boy M, Peuch V.-H., Poupkou A, Kioutsioukis I, Finardi S, Sofiev M, Sokhi R, Lehtinen J, Karatzas K, San José R, Astitha M, Kallos G, Schaap M, Reimer E, Jakobs H, Eben K (2012): A review of operational, regional-scale, chemical weather forecasting models in Europe. *ATMOSPHERIC CHEMISTRY AND PHYSICS*, vol. 12, p. 1-87, ISSN: 1680-7316, doi: 10.5194/acp-12-1-2012 <http://www.atmos-chem-phys.net/12/1/2012/>
- Silibello C. (2006): SURFPRO (SURface-atmosphere interFace PROcessor) User's guide, Rapporto ARIANET R2006.06
- Tinarelli G. (2007): SPRAY 3.1, General description and User's Guide, Rapporto ARIANET R2007.09

Appendice A – Il Sistema Modellistico utilizzato

A.1. *Modello Swift*

Il modello **Swift** sviluppato originariamente da EDF e poi da ARIA Technologies S.A. (Aria Technologies, 2001, 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 $\alpha=1$ 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:

$$U_i(x, y, k) = \frac{\sum_{n=1}^{NMSUR} [U_i(x_n, y_n) P_n(x, y)]}{\sum_{n=1}^{NMSUR} P_n(x, y)} \quad i = 1, 2$$

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.

A.2. *Modello SurfPro*

Il codice **SurfPro** sviluppato da ARIANET S.r.l. (Silibello, 2006), 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 dal codice Swift, eventuali variabili meteorologiche disponibili sul territorio in esame (quali ad esempio la nuvolosità ora per ora disponibile dai campi QualeAria) e le matrici stagionali 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 z_0 ;
- altezza dello strato limite notturno o dello strato limite convettivo diurno H_{mix} ;
- velocità di frizione u^* ;
- Lunghezza di Monin-Obukhov L ;
- velocità convettiva di scala w^* ;
- velocità di deposizione secca per specie chimiche gassose e particolato

La velocità di deposizione viene stimata da SurfPro attraverso un modello 'resistivo' mediante l'inverso della somma di diverse resistenze che per specie gassose viene espresso nella forma seguente:

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

dove R_a rappresenta la resistenza aerodinamica, R_b la resistenza di strato limite e R_s la resistenza superficiale. Per una descrizione più completa di questi concetti si veda ad esempio Seinfeld and Pandis (1998).

La resistenza aerodinamica (R_a) dipende sia dalle caratteristiche della superficie che dalla turbolenza atmosferica e viene calcolata a partire dalla velocità di frizione u^* e dalla lunghezza di Monin-Obukhov stimate dal codice stesso.

La resistenza di strato limite (o quasi-laminare) (R_b) rappresenta il processo di diffusione molecolare attraverso lo strato laminare intorno ad una superficie solida e dipende dal numero di Schmidt (rapporto tra la viscosità cinematica dell'aria sulla diffusività molecolare dell'inquinante in aria (si veda Gray et al., 1991). Il trasferimento attraverso lo strato quasi-laminare viene approssimato attraverso la formula:

$$R_b = \frac{2}{\kappa u_*} \left(\frac{Sc}{Pr} \right)^{2/3}$$

dove Sc and Pr sono rispettivamente i numeri di Schmidt e Prandtl della specie chimica gassosa.

La resistenza superficiale (R_s) è idealizzata attraverso un set di resistenze in parallelo associate a (1) stoma fogliare, (2) cuticola delle foglie, (3) resistenza dello strato di 'canopy' (e.g., corteccia, steli, etc.), and (4) tipo di superficie (suolo o acqua) (si veda Baldocchi, 1987 and Wesely, 1989).

La resistenza stomatale, che controlla la deposizione secca durante le ore diurne sulle superfici vegetate, si incrementa durante i periodi secchi. La deposizione su superfici d'acqua è basata invece sul lavoro di Slinn et al. (1978). In fase liquida viene espresso come:

$$R_s = \frac{H}{\alpha^* k_l}$$

dove H è il coefficiente dato dalla legge di Henry, α^* è l'innalzamento di solubilità affettivo dei diversi gas in acqua e k_l è la velocità di trasferimento in fase liquida, che include gli effetti dovuti allo stress superficiale, espresso in termini di velocità di frizione u^* sull'acqua come:

$$k_l = 4.8 \times 10^{-4} u^*$$

Surfpro definisce tutti i coefficienti necessari in un file esterno.

La velocità di deposizione per il particolato dipende dalla granulometria e densità delle particelle.

Particelle più grandi hanno una maggiore velocità di sedimentazione (V_{sed}) che agisce in parallelo alle altre resistenze, mentre particelle molto fini si comportano in maniera simile ai gas, sebbene diffondano più lentamente. La velocità di deposizione per il particolato in SurfPro si esprime quindi come: segue:

$$V_d = V_{sed} + \frac{I}{R_a + R_b + R_a R_b V_{sed}}$$

per particelle 'bulk' nel range da 0.1 to 1 μm (es. solfati) viene invece usata la seguente formula:

$$V_d = \frac{I}{R_{partic}}$$

dove R_{partic} è la resistenza data dal suolo derivata dall'altezza del canopy (m), dalla velocità di frizione e dalla lunghezza di Monin-Obukhov stimate da SurfPro.

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.

A.3. **Modello Spray 3.1**

Spray 3.1 sviluppato da ARIANET S.r.l. e ARIA Technologies S.A. (Tinarelli et al., 1992, 1994, 2007) 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:

$$\begin{aligned}x(t + \Delta t) &= x(t) + u_x(t) \cdot \Delta t \quad ; \quad u_x(t) = \overline{U_x}(t) + u'_x(t) \\y(t + \Delta t) &= y(t) + u_y(t) \cdot \Delta t \quad ; \quad u_y(t) = \overline{U_y}(t) + u'_y(t) \\z(t + \Delta t) &= z(t) + u_z(t) \cdot \Delta t \quad ; \quad u_z(t) = \overline{U_z}(t) + u'_z(t)\end{aligned}$$

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 dal modello 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:

$$u'_i(t + \Delta t) = a_i(\vec{x}, \vec{u}(t), t) + b_i(\vec{x}, \vec{u}(t), t) \Delta \xi \quad ; \quad i = x, y, z$$

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

$$m(t + \Delta t) = m(t)e^{-S\Delta t}$$

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

$$S = S_1 R$$

R rappresenta il rateo di precipitazione in mm/ora e S_1 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, il modello Spray 3.1 utilizza principalmente:

- campi tridimensionali di vento e temperatura, forniti dal codice Swift;
- campi bidimensionali di turbolenza z_0 , H_{mix} , u^* , L , w^* forniti dal codice SurfPro;
- campi bidimensionali di deposizione secca, disomogenei nello spazio e nel tempo e dipendenti dalla specie gassosa o dalla granulometria del particolato, forniti dal codice SurfPro
- coefficienti di washout per la deposizione umida, dipendenti dalla specie gassosa o dalla granulometria del particolato
- campi bidimensionali contenenti il rateo di precipitazione in mm/ora
- 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.

A.4. Applicazione dei codici

La suite di codici **Swift-SurfPro-Spray** vanta una lunga storia di applicazioni e validazioni realizzate in differenti siti e condizioni, che hanno portato il sistema nel tempo 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 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 di società private come ARIA Technologies di Parigi, responsabile in primis del codice Swift/Minerve. Alcuni di questi istituti continuano ancora oggi l'attività di sviluppo di parti dei codici. Sono state inoltre aperte anche collaborazioni in ambito 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 ENEL responsabili del progetto legato al modello SPRAY ed agli altri elementi della suite sono fuorusciti per formare la società ARIANET S.r.l., che

attualmente mantiene e sviluppa i codici in stretta collaborazione con la società Aria Technologies di Parigi.

Il modello SPRAY si trova inoltre 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 1992). In particolare sono state eseguite validazioni su dataset internazionali, sia per situazioni convettive e neutre che in casi di calma di vento e forte stabilità, che 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 contro i dati di galleria a 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 ai modelli Swift/Minerve 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. 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 Krško 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 che 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 le diverse applicazioni di questo tipo si possono citare quelle relative ad ARPA Valle d'Aosta (Pession et al., 2005) e Piemonte (Calori et al, 2003), Provincia di Torino (Cuffini et al., 2000) e comune di Taranto (Gariazzo et al., 2005).

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).

A.5. Bibliografia del sistema modellistico

- Aria Technologies (2001): Minerve Wind Field Models version 7.0, General Design Manual. ARIA Report, May 2001, Aria Technologies 2001.
- Aria Technologies (1995): Note de Principe du Modèle MINERVE 4.0, Rapporto ARIA Technologies, 95.008.
- Anfossi D., Baffioni C., Brusasca G., Calori G., Caracciolo R., Cirillo M.C., Desiato F., Finzi G., (1997), "Valutazione della dispersione in atmosfera di effluenti aeriformi - Guida ai criteri di selezione dei modelli matematici", Rapporto Tecnico ANPA RTI 1/97 – AMB, successivamente trasformata in Norma UNI 10796 – Ottobre 2000.
- 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.
- Bassanino M., Bertolaccini M.A., Brusasca G., Cirillo M.C., Finzi G., Fortezza F., Graziani G., Mamolini G., Marani A., Tamponi M. e Tirabassi T. (1993), "Modelli ad integrazione delle reti per la gestione della qualità dell'aria", Rapporto dell'Istituto Superiore di Sanità ISTISAN 93/36.
- 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 stable 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, Belgrate, Italy, May 28-31, 2001, 130-134.
- Brusasca G., Tinarelli G., D'Allura A., Gambadoro 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 Exhibition, 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.

- Calori G., Finardi S., Nanni A., Radice P., Riccardo S., Bertello A., Pavone F. (2005) Long-term air quality modelling in Ivrea and Torino areas: sources contribution and scenario analysis. Proc. of 5th Int. Conf. on Urban Air Quality, Valencia (Spain), 29-31 March 2005.
- Chang, J.C., Hanna S.R. (2004): "Air quality model performance evaluation" Meteorol. and Atmos. Phys., 87,167-196
- 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.
- De Maria R., M. Clemente, F. Lollobrigida, G. Calori, S. Finardi, G. Tinarelli (2003) 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.
- 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.
- Desiato F., Brusasca G., Deserti M., Zanini G., (2000), "I modelli nella valutazione della qualità dell'aria", relazione ANPA RTI CTN-ACE 2/2000.
- EMS, atti del convegno 2009 di Tolosa, visibile all'indirizzo http://www.emetsoc.org/annual_meetings/documents/2009/AW11_EMS2009-510.pdf
- Finardi S., Brusasca G., Morselli M.G., Trombetti F. and Tampieri F.: 1993, "Boundary layer flow over analytical two-dimensional hills: a systematic comparison of different models with wind tunnel data", Boundary-Layer Meteorology, 63, 259-291
- 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.
- Finardi S., Tinarelli G., Nanni A., Brusasca G. and Carboni G., (1999): Evaluation of a 3D Flow and Pollutant Dispersion Modelling System to Estimate Climatological Ground Level Concentrations in Complex Coastal Sites, presented to the 6th International Conference on Harmonization within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes, Rouen, France, October 11-14, 1999.
- Finardi S., Tinarelli G., Nanni A., Anfossi D., Ferrero E., Trini Castelli S. (2000) In situ diagnostic or nested prognostic meteorological models to drive dispersion simulations in complex area: a comparison in a real application. Millennium NATO/CCMS Meeting, Boulder, Colorado.
- Finardi S., Brusasca G., Calori G., Nanni A., Tinarelli G., Agnesod G., Pession G., Zublena M. (2002). Integrated air quality assessment of an alpine region: evaluation of the Mont Blanc tunnel re-opening effects. 8th Conference on Harmonization within Atmospheric Dispersion Modeling for Regulatory Purposes. Sofia, 14-17 October, 404-408.
- Finzi G., G. Pirovano, M. Volta – Gestione della qualità dell'aria – McGraw-Hill, 2001 – (testo+CD-ROM) (riedizione aggiornata del testo di Finzi G. e Brusasca G., 1991, La qualità dell'aria. Modelli previsionali e gestionali. Masson, Milano).

- Fisher B.E.A., Erbrink J.J, Finardi S., Jeannet P., Joffre S., Morselli M.G., Pechinger U., Seibert P., Thomson D.J. (Editors) (1998) Harmonisation of the Pre-processing of Meteorological Data for Atmospheric Dispersion Models. COST Action 710 – Final Report, EUR 18195 EN. Report of Working Group 4: "Wind flow models over complex terrain for dispersion calculations" by S. Finardi, M.G. Morselli and P. Jeannet.
- 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.
- Gifford F.A., (1961) "Use of routine meteorological observations for estimating atmospheric dispersion", Nucl. Safety, 2, pp. 47-57.
- Gifford F.A., (1975) "Atmospheric dispersion models for environmental pollution applications", in Lectures on Air Pollution and Environmental Impact Analysis, A.M.S. Boston.
- Lollobrigida F., Brusasca G., Clemente M., De Maria R., Deserti M., Desiato F., Lena F., Tinarelli G., Zanini G., (2001) "Linee guida per la selezione e l'applicazione dei modelli di dispersione atmosferica per la valutazione della qualità dell'aria", relazione ANPA RTI CTN-ACE 4/2001.
- Nanni A., Brusasca G., Calori G., Finardi S., C., Tinarelli G., Zublena M., Agnesod G., Pession G. (2004) "Integrated assessment of traffic impact in an Alpine region. Science of the Total Environment" 334-335, pp 465-471.
- Niewstadt F.T.M. and van Dop H. (1982) "Atmospheric Turbulence and Air Pollution Modelling", D. Reidel Pub. Comp. pp-358.
- 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.
- Norma UNI 10796 – Valutazione della dispersione in atmosfera di effluenti aeriformi – "Guida ai criteri di selezione dei modelli matematici" – Ottobre 2000.
- Norma UNI 10964 – Studi di impatto ambientale "Guida alla selezione dei modelli matematici per la previsione di impatto sulla qualità dell'aria" – Settembre 2001.
- 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.
- Pasquill F.,(1961) "The estimation of the dispersion of windborne material", Meteorol. Mag., 90, 33.
- Pasquill F., 1983 e 1993 "Atmospheric Diffusion" – Ellis Horwood.
- Pession G., Zublena M., Agnesod G., Brusasca 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 (Crete) 17-21 October 2005.
- Provincia di Torino "Uno sguardo all'aria" – Relazione 2003.
- Silibello C. (2006) "SURFPRO (SURface-atmosphere interFace PROcessor) User's guide", Rapporto ARIANET R2006.06.
- Sozzi R. et al. (2003) "La micrometeorologia e la dispersione degli inquinanti in aria", relazione APAT CTN-ACE 2003.
- Stull B., (1988) "An introduction to boundary layer meteorology" Kluwer Academic Pub. pp-666.
- 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., Faggian P., Finardi S. Brusasca G. (1999). "Analysis of Industrial Plumes Superposition Effects in a Mediterranean Coastal Region", 23rd NATO/CCMS International Technical Meeting on Air Pollution Modelling and its Application, Preprints, Vol II, 549-550.
- Tinarelli G. (2019): SPRAY 3.1.15, General description and User's Guide, Rapporto ARIANET R2013.27.
- Wesley M.L. (1989) Parametrization of surface resistances to gaseous dry deposition in regional-scale numerical models. Atmos. Environ., 23, 1293-1304.

