

RAPPORTO

USO RISERVATO

APPROVATO

C0008659

Cliente Enel Produzione S.p.A.

Oggetto Centrale Termoelettrica "Teodora" di Porto Corsini
Progetto di upgrade impianto
Studio Preliminare Ambientale (art.19 D.Lgs 152/2006 e ss.mm.ii.)
Allegato A – Emissioni degli inquinanti in atmosfera e valutazione delle ricadute sulla qualità dell'aria

Ordine A.Q. 8400134283 del 31.12.2018, attivazione N. 3500094060 del 22.05.2020

Note WBS A1300002523 - Lettera di trasmissione C0009360

La parziale riproduzione di questo documento è permessa solo con l'autorizzazione scritta del CESI.

N. pagine 56 **N. pagine fuori testo** 24

Data 26/06/2020

Elaborato **STC - Manzi Giovanni, STC - D'Aleo Marco, STC - Boi Laura**
C0008659 3575 AUT C0008659 1596735 AUT C0008659 2657818 AUT

Verificato **ENC - Pertot Cesare**
C0008659 3840 VER

Approvato **ENC - Il Responsabile - Mozzi Riccardo**
C0008659 2809622 APP

CESI S.p.A.

Via Rubattino 54
I-20134 Milano - Italy
Tel: +39 02 21251
Fax: +39 02 21255440
e-mail: info@cesi.it
www.cesi.it

Capitale sociale € 8.550.000 interamente versato
C.F. e numero iscrizione Reg. Imprese di Milano 00793580150
P.I. IT00793580150
N. R.E.A. 429222

© Copyright 2020 by CESI. All rights reserved

Pag. 1/56

Indice

1	INTRODUZIONE.....	4
2	SCENARI EMISSIVI	5
3	STATO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA	8
3.1	Quadro normativo.....	8
3.2	Zonizzazione del territorio regionale	14
3.3	Stato attuale della qualità dell'aria	15
3.3.1	Rete di monitoraggio.....	16
3.3.2	Particolato PM ₁₀	17
3.3.3	Particolato PM _{2.5}	18
3.3.4	Ossidi di azoto	19
3.3.5	Biossido di zolfo.....	20
3.3.6	Monossido di carbonio.....	21
3.3.7	Ozono	22
3.3.8	Benzene.....	23
3.3.9	Conclusioni	24
4	EFFETTI SULLA QUALITÀ DELL'ARIA.....	26
4.1	Calmet	27
4.2	Calpuff	28
4.3	Validazione dello strumento modellistico.....	29
4.4	Setup dello strumento modellistico	29
4.4.1	Dominio di calcolo	29
4.4.2	Analisi meteorologica	38
4.4.3	Scenari emissivi	48
4.5	Valutazione degli effetti sulla qualità dell'aria.....	49
4.5.1	NO ₂ e NO _x	50
4.5.2	SPM.....	51
4.5.3	CO	52
5	CONCLUSIONI	54
6	BIBLIOGRAFIA.....	56

Indice delle Tavole fuori testo

- Tavola AV-01.a - Scenario "autorizzato" (area vasta) - NO₂ - Concentrazione media annua
Tavola AV-01.u - Scenario "upgrade" (area vasta) - NO₂ - Concentrazione media annua
Tavola AV-02.a - Scenario "autorizzato" (area vasta) - NO₂ – Conc. oraria superata 18 volte per anno civile
Tavola AV-02.u - Scenario "upgrade" (area vasta) - NO₂ - Concentrazione oraria superata 18 volte per anno civile
Tavola AV-03.a - Scenario "autorizzato" (area vasta) - NO_x - Concentrazione media annua
Tavola AV-03.u - Scenario "upgrade" (area vasta) - NO_x - Concentrazione media annua
Tavola AV-04.a - Scenario "autorizzato" (area vasta) - SPM - Concentrazione media annua
Tavola AV-04.u - Scenario "upgrade" (area vasta) - SPM - Concentrazione media annua
Tavola AV-05.a - Scenario "autorizzato" (area vasta) - SPM – Conc. giornaliera superata 35 volte per anno civile
Tavola AV-05.u - Scenario "upgrade" (area vasta) - SPM – Conc. giornaliera superata 35 volte per anno civile
Tavola AV-06.a - Scenario "autorizzato" (area vasta) - CO – Conc. media massima giornaliera calcolata su 8 ore
Tavola AV-06.u - Scenario "upgrade" (area vasta) - CO – Cone. media massima giornaliera calcolata su 8 ore
- Tavola AL-01.a - Scenario "autorizzato" (area locale) - NO₂ - Concentrazione media annua
Tavola AL-01.u - Scenario "upgrade" (area locale) - NO₂ - Concentrazione media annua
Tavola AL-02.a - Scenario "autorizzato" (area locale) - NO₂ – Conc. oraria superata 18 volte per anno civile
Tavola AL-02.u - Scenario "upgrade" (area locale) - NO₂ - Concentrazione oraria superata 18 volte per anno civile
Tavola AL-03.a - Scenario "autorizzato" (area locale) - NO_x - Concentrazione media annua
Tavola AL-03.u - Scenario "upgrade" (area locale) - NO_x - Concentrazione media annua
Tavola AL-04.a - Scenario "autorizzato" (area locale) - SPM - Concentrazione media annua
Tavola AL-04.u - Scenario "upgrade" (area locale) - SPM - Concentrazione media annua
Tavola AL-05.a - Scenario "autorizzato" (area locale) - SPM – Conc. giornaliera superata 35 volte per anno civile
Tavola AL-05.u - Scenario "upgrade" (area locale) - SPM – Conc. giornaliera superata 35 volte per anno civile
Tavola AL-06.a - Scenario "autorizzato" (area locale) - CO – Conc. media massima giornaliera calcolata su 8 ore
Tavola AL-06.u - Scenario "upgrade" (area locale) - CO – Cone. media massima giornaliera calcolata su 8 ore

STORIA DELLE REVISIONI

Numero revisione	Data	Protocollo	Lista delle modifiche e/o dei paragrafi modificati
0	26/06/2020	C0008659	Prima emissione

1 INTRODUZIONE

Nel presente documento si riportano la definizione delle caratteristiche meteo climatiche del sito e dello stato attuale della qualità dell'aria, insieme alla valutazione degli impatti sulla componente atmosfera generati dalla realizzazione del progetto di UPGRADE delle Unità 3 e 4 a Ciclo Combinato della Centrale termoelettrica "Teodora" di Porto Corsini (RA).

Nell'ambito di una fermata di manutenzione programmata per le esistenti turbine a gas delle Unità 3 e 4, è prevista la sostituzione delle parti calde delle unità, la sostituzione delle parti calde delle Turbine a Gas ed in particolare la sostituzione delle pale fisse e mobili delle turbine e l'installazione di un nuovo sistema bruciatori. L'aggiornamento tecnologico dei componenti, consentirà un miglioramento delle loro prestazioni tecniche con un conseguente aumento della potenza elettrica lorda erogabile da ciascun ciclo combinato; la potenza elettrica lorda aumenterà dagli attuali 380 MW_e (645 MW_t) ai circa 410 MW_e (circa 719 MW_t) per ciascuna delle due unità (3 e 4) oggetto di intervento. Nell'ottica di ridurre e minimizzare gli impatti ambientali, anche a seguito dell'incremento di potenza delle unità, si propone un miglioramento delle performance emissive con una riduzione degli NO_x emessi da ciascuna unità in tutte le condizioni di funzionamento (proposti 10 mg/Nm³ vs attuali 40 mg/Nm³) grazie all'installazione di sistemi di denitrificazione catalitica, denominati SCR (*Selective Catalytic Reduction*). L'aggiornamento tecnologico delle apparecchiature esistenti avverrà secondo i criteri più avanzati di efficienza e compatibilità ambientale nel pieno rispetto delle *Best Available Techniques Reference document (BRef)* di settore¹. Inoltre, verrà effettuata la verifica del rispetto della normativa vigente in materia di ricaduta delle emissioni in atmosfera associate all'esercizio dell'impianto sia nella configurazione attuale sia in quella prevista dal progetto.

¹ ("Decisione di esecuzione (UE) 2017/1442 della Commissione del 31 luglio 2017 che stabilisce le Conclusioni sulle migliori tecniche disponibili (BAT) a norma della direttiva 2010/75/UE del Parlamento europeo e del Consiglio, per i grandi impianti di combustione [notificata con il numero C(2017) 5225]") pubblicate in data 17/08/2017 sulla Gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea.

2 SCENARI EMISSIVI

L'impianto attuale è costituito da n. 2 unità di produzione uguali, in ciclo combinato, di circa 380 MW_e ciascuna. Esse impiegano esclusivamente gas naturale come combustibile di produzione. Tali unità sono identificate come "unità 3" e "unità 4", ma le stesse possono anche essere individuate dal progressivo delle relative turbine a gas, ovvero rispettivamente "E" e "G".

Il Progetto oggetto di studio propone la sostituzione, nell'ambito di una prossima fermata di manutenzione programmata, delle parti calde ed in particolare la sostituzione delle pale fisse e mobili delle turbine e l'installazione del nuovo sistema bruciatori delle turbine a gas delle due unità esistenti.

L'aggiornamento tecnologico dei componenti che verranno installati consentirà un miglioramento delle loro prestazioni tecniche, con un conseguente aumento della potenza elettrica lorda erogabile da ciascun ciclo combinato (da 380 MW_e a 410 MW_e). L'intervento prevede l'esercizio delle unità con potenza maggiore di circa 74 MW_t ciascuna, ed al contempo un miglioramento delle performance ambientali. Il nuovo progetto prevede, infatti, l'aggiornamento tecnologico delle apparecchiature esistenti secondo i criteri più avanzati di efficienza e compatibilità ambientale nel pieno rispetto delle *Best Available Techniques Reference document (BRef)* di settore.

L'intervento non prevede modifiche alle caratteristiche geometriche dei punti di emissione che si confermano pertanto invariati per posizione, altezza e diametro della sezione, come riportato in Tabella 2.1.

Tabella 2.1 – Coordinate e caratteristiche geometriche attuali dei camini, confermate nell'assetto di upgrade.

Unità	Ciminiera				
	Coordinate WGS84 - UTM 32N		Quota della base	Altezza	Diametro allo sbocco
	Est	Nord	m s.l.m.	m s.l.s.	m
PC-E (PG3)	759'646	4'930'792	1	90	6.38
PC-G (PG4)	759'680	4'930'769	1	90	6.38

Le seguenti Tabella 2.2 e Tabella 2.3 riepilogano le caratteristiche fisiche e chimiche delle emissioni nei due assetti, rispettivamente l'attuale ed il proposto. Le tabelle consentono di evidenziare le migliori performance emissive delle unità oggetto di intervento in termini di emissioni di ossidi di azoto. Il conseguimento di tale riduzione è ottenuto mediante l'installazione di un sistema di denitrificazione catalitica SCR (Selective Catalytic Reduction) che comporta una limitata emissione di ammoniaca (NH₃). I benefici associati a tali miglioramenti sulla qualità dell'aria sono valutati mediante l'applicazione dei codici di calcolo numerici descritti al Capitolo 4.

Tabella 2.2 – Assetto attuale. Caratteristiche fisiche e chimiche delle emissioni a carico nominale.

Unità	Parametri fisici dei fumi allo sbocco				Valori di concentrazione all'emissione "autorizzati" ⁽²⁾	
	Temperatura	Velocità	Portata ⁽¹⁾	O _{2,rif}	NO _x	CO
	°C	m/s	Nm ³ /h	%	mg/Nm ³	
PC-E (PG3)	120	26.8	2'400'000	15	40	30
PC-G (PG4)	120	26.8	2'400'000	15	40	30

⁽¹⁾ Portata in condizioni normalizzate: temperatura di 273.15 K, pressione di 101.3 kPa, percentuale di ossigeno alle condizioni di riferimento per la tipologia di combustibile, con detrazione del vapore acqueo (quindi secca).
⁽²⁾ Valori limite autorizzati da AIA su base giornaliera.

Tabella 2.3 – Assetto proposto. Caratteristiche fisiche e chimiche delle emissioni a carico nominale.

Unità	Parametri fisici dei fumi allo sbocco				Concentrazione all'emissione Performances attese		
	Temperatura	Velocità	Portata ⁽¹⁾	O _{2,rif}	NO _x ⁽²⁾	CO ⁽³⁾	NH ₃
	°C	m/s	Nm ³ /h	%	mg/Nm ³		
PC-E	80	26.3	2'620'000	15	10 ⁽⁴⁾	30 ⁽⁵⁾	5 ⁽⁶⁾
PC-G	80	26.3	2'620'000	15	10 ⁽⁴⁾	30 ⁽⁵⁾	5 ⁽⁶⁾

⁽¹⁾ Portata in condizioni normalizzate: temperatura di 273.15 K, pressione di 101.3 kPa, percentuale di ossigeno alle condizioni di riferimento per la tipologia di combustibile, con detrazione del vapore acqueo (quindi secca).
⁽²⁾ Impianti esistenti CCGT BAT* per NO_x 10-40 mg/Nm³ per periodo di riferimento annuo e 18-50 mg/Nm³ per periodo di riferimento giornaliero
⁽³⁾ Impianti esistenti CCGT BAT* per CO <5-30 mg/Nm³ per periodo di riferimento annuo
⁽⁴⁾ Performances attese di 10 mg/Nm³ su base giornaliera
⁽⁵⁾ Performances attese di 30 mg/Nm³ su base giornaliera
⁽⁶⁾ Performances attese di 5 mg/Nm³ su base annuale

La Tabella 2.4 riporta i bilanci orari ed annui delle emissioni per ossidi di azoto (NO_x), monossido di carbonio (CO) ed ammoniaca (NH₃), associati all'assetto sia attuale sia di progetto nell'ipotesi di funzionamento costante alla capacità nominale con concentrazioni alle emissioni pari ai valori riportati in Tabella 2.2 e Tabella 2.3.

Per quanto riguarda NO_x, la riduzione delle concentrazioni alle emissioni a seguito dell'intervento porta ad avere un bilancio emissivo che vede una significativa riduzione dell'emissione massica, pari ad oltre il 70%.

Per CO, poiché i valori di concentrazione alle emissioni di progetto confermano i limiti emissivi già autorizzati, il bilancio emissivo massico risulta in aumento di circa il 9%, a causa della maggiore portata volumetrica delle due unità dopo l'upgrade. Anticipando quanto riportato in maggior dettaglio nel seguito, si può ritenere che tale incremento dell'emissione massica annua di monossido di carbonio sia più che compensata dai benefici attesi a seguito della riduzione degli ossidi d'azoto. Ciò può anche essere

esteso all'emissione di una modesta quantità di NH₃ indotta dall'introduzione del sistema SCR per l'abbattimento degli ossidi di azoto, non presente ovviamente nell'assetto attuale di impianto.

Dalla tabella si evince che la realizzazione dell'intervento sulle due unità consente una riduzione del 73% delle emissioni orarie di NO_x, oltre che, a parità di ore di funzionamento, una analoga riduzione in termini di bilanci annui, a fronte di un incremento del 9% delle emissioni di CO (inquinante che presenta una minore criticità ambientale) e potenzialmente di 229.5 t/anno di NH₃.

Tabella 2.4 – Bilancio emissivo tra assetto attuale e assetto proposto.

Scenario	Unità	Massimo ore/anno di funzionamento	Bilancio massico					
			NO _x	CO	NH ₃	NO _x	CO	NH ₃
			kg/ora ⁽¹⁾			kg/anno ^(1,2)		
Attuale (A)	PC-E	8'760	96.0	72.0	n.a.	840'960	630'720	---
	PC-G	8'760	96.0	72.0	n.a.	840'960	630'720	---
	Totale:		192.0	144.0	n.a.	1'681'920	1'261'440	---
Proposto (P)	PC-E	8'760	26.2	78.6	13.1	229'512	688'536	114'756
	PC-G	8'760	26.2	78.6	13.1	229'512	688'536	114'756
	Totale:		52.4	157.2	26.2	459'024	1'377'072	229'512
Differenza (P-A):			-139.6	13.2	26.2	-1'222'896	115'632	229'512
Differenza (%):			-73	9	N.A.	-73	9	N.A.
⁽¹⁾ Il bilancio massico considera un'emissione pari ai valori limite autorizzati per l'assetto attuale e i valori previsti da progetto per l'assetto proposto.								
⁽²⁾ Il bilancio massico annuo tiene conto di un funzionamento costante alla capacità nominale per tutte le ore dell'anno. N.A. non applicabile per assenza delle emissioni nello scenario autorizzato.								

3 STATO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA

3.1 Quadro normativo

A livello europeo, la Direttiva Quadro 96/62/CE del 27 settembre 1996 sulla valutazione e gestione della qualità dell'aria ambiente ha fornito un quadro di riferimento per il monitoraggio delle sostanze inquinanti da parte degli Stati membri, per lo scambio di dati e le informazioni ai cittadini. Successivamente la Direttiva 1999/30/CE (concernente i valori limite di qualità dell'aria ambiente per il biossido di zolfo, il biossido di azoto, gli ossidi di azoto, le particelle e il piombo), la Direttiva 2000/69/CE (concernente i valori limite per il benzene ed il monossido di carbonio nell'aria ambiente) e la Direttiva 2002/3/CE (relativa all'ozono nell'aria), hanno stabilito:

- gli standard di qualità dell'aria per le diverse sostanze inquinanti, in relazione alla protezione della salute, della vegetazione e degli ecosistemi;
- i criteri e le tecniche che gli Stati membri devono adottare per le misure delle concentrazioni di inquinanti, compresi l'ubicazione e il numero minimo di stazioni e le tecniche di campionamento e misura.

La Direttiva 2008/50/CE del 21 maggio 2008 (relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa) ha istituito delle misure volte a:

- definire e stabilire obiettivi di qualità dell'aria ambiente al fine di evitare, prevenire o ridurre gli effetti nocivi per la salute umana e per l'ambiente nel suo complesso;
- valutare la qualità dell'aria ambiente negli Stati membri sulla base di metodi e criteri comuni;
- ottenere informazioni sulla qualità dell'aria ambiente al fine di:
 - contribuire alla lotta contro l'inquinamento dell'aria e gli effetti nocivi;
 - monitorare le tendenze a lungo termine e i miglioramenti ottenuti con l'applicazione delle misure nazionali e comunitarie;
- garantire che le informazioni sulla qualità dell'aria ambiente siano messe a disposizione del pubblico;
- mantenere, laddove buona, la qualità dell'aria ambiente, e migliorarla negli altri casi;
- promuovere una maggiore cooperazione tra gli Stati membri nella lotta contro l'inquinamento atmosferico.

Con lo scopo di riunire le disposizioni delle precedenti direttive in un'unica Direttiva, l'art.31 della Direttiva 2008/50/CE prevede che *“le direttive 96/62/CE, 1999/30/CE, 2000/69/CE e 2002/3/CE siano abrogate a decorrere dall'11 giugno 2010, fatti salvi gli obblighi degli Stati membri riguardanti i termini per il recepimento o dall'applicazione delle suddette direttive”*. Una novità rispetto ai precedenti strumenti normativi è l'introduzione di specifici obiettivi e valori limite per il PM_{2,5}, al fine di garantire la protezione della salute umana. Gli Stati membri hanno inoltre, in caso di difficoltà oggettive nel raggiungere alcuni dei valori fissati in specifiche zone, maggiore margine di manovra (la conformità ai valori limite fissati per il PM₁₀ si è rivelata, infatti, problematica per molti Stati membri dell'UE).

La legislazione nazionale relativa all'inquinamento atmosferico ha recepito la Direttiva europea 2008/50/CE con la pubblicazione del D. Lgs. n.155 del 13 agosto 2010. Tale Decreto Legislativo, in vigore dal 30 settembre 2010, costituisce una sorta di testo unico sulla qualità dell'aria, abrogando la normativa previgente (D. Lgs. 351/1999 e i rispettivi decreti attuativi D. M. 60/2002, D. M. 261/2002 e D. Lgs. 183/2004). Il D. Lgs. 155/2010 raccoglie in un'unica norma le strategie generali, i parametri da monitorare, le modalità di rilevazione, i livelli di valutazione, i limiti, livelli critici e valori obiettivo di alcuni parametri ed i criteri di qualità dei dati.

Il D. Lgs. 155/2010 definisce i valori di riferimento che permettono una valutazione della qualità dell'aria in relazione alle concentrazioni di diversi inquinanti. In particolare, definisce:

- Valore Limite (VL): livello che deve essere raggiunto entro un termine prestabilito e che non deve essere successivamente superato;
- Valore Obiettivo (VO): livello da conseguire, ove possibile, entro una data prestabilita;
- Livello Critico (LC): livello oltre il quale possono sussistere rischi o danni per ecosistemi e vegetazione, non per gli esseri umani;
- Margine di tolleranza: percentuale del valore limite entro la quale è ammesso il superamento del VL;
- Soglia di allarme: livello oltre il quale sussiste pericolo per la salute umana, il cui raggiungimento impone di assicurare informazioni adeguate e tempestive;
- Soglia di informazione: livello oltre il quale sussiste pericolo per la salute umana per alcuni gruppi sensibili, il cui raggiungimento impone di assicurare informazioni adeguate e tempestive;
- Obiettivo a lungo termine: livello da raggiungere nel lungo periodo mediante misure proporzionate;
- Indicatore di esposizione media: livello da verificare sulla base di selezionate stazioni di fondo nazionali, che riflette l'esposizione media della popolazione;
- Obbligo di concentrazione dell'esposizione: livello da raggiungere entro una data prestabilita;
- Obiettivo nazionale di riduzione dell'esposizione: riduzione percentuale dell'esposizione media rispetto ad un anno di riferimento, da raggiungere entro una data prestabilita.

Il D. Lgs. 155/2010 individua gli inquinanti per i quali è obbligatorio il monitoraggio (NO_2 , NO_x , SO_2 , CO , O_3 , PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$, benzene, benzo(a)pirene, piombo, arsenico, cadmio, nichel, mercurio e precursori dell'ozono – principalmente ossidi di azoto e composti organici volatili) e fissa i limiti per il raggiungimento degli obiettivi di qualità dell'aria volti a evitare, prevenire o ridurre effetti nocivi per la salute umana e per l'ambiente nel suo complesso.

Di seguito vengono riportati i valori limite (Tabella 3.1), i livelli critici (Tabella 3.2), le soglie di allarme per inquinanti diversi dall'ozono (Tabella 3.3), i valori obiettivo per arsenico, cadmio, nichel e benzo(a)pirene (Tabella 3.4), i valori obiettivo, le soglie di informazione e di allarme per l'ozono (Tabella 3.5 e Tabella 3.6) contenuti nel D. Lgs. 155/2010.

Il D. Lgs. 155/2010 è stato modificato da:

- il D. Lgs. 250/2012 del 24 dicembre 2012, che modifica ed integra il D. Lgs. 155/2010 definendo anche il metodo di riferimento per la misurazione dei composti organici volatili;

- il Decreto 26 gennaio 2017, che recepisce i contenuti della Direttiva UE 1480/2015, modificando alcuni allegati delle direttive 2004/107/CE e 2008/50/CE nelle parti relative ai metodi di riferimento, alla convalida dei dati ed all'ubicazione dei punti di campionamento per la valutazione della qualità dell'aria ambiente.

In attuazione del D. Lgs. 155/2010, sono stati emanati:

- il D. M. 29 novembre 2012 “Individuazione delle stazioni speciali di misurazione della qualità dell'aria previste dall'articolo 6, comma 1, e dall'articolo 8, commi 6 e 7 del D. Lgs. 13 agosto 2010, n. 155”, che individua le stazioni speciali di misurazione della qualità dell'aria;
- il D. M. 22 febbraio 2013 “Formato per la trasmissione del progetto di adeguamento della rete di misura ai fini della valutazione della qualità dell'aria”, che stabilisce il formato per la trasmissione del progetto di adeguamento della rete di monitoraggio;
- il D. M. 13 marzo 2013 “Individuazione delle stazioni per il calcolo dell'indicatore dell'esposizione media per il PM_{2.5} di cui all'art. 12, comma 2 del D. Lgs. 13 agosto 2013 n. 250”, che individua le stazioni per le quali deve essere calcolato l'indice di esposizione media per il PM_{2.5};
- il D. M. 5 maggio 2015 “Metodi di valutazione delle stazioni di misurazione della qualità dell'aria di cui all'art. 6 del D. Lgs. 13 agosto 2013 n. 250”, che stabilisce i metodi di valutazione delle stazioni di misurazione della qualità dell'aria di cui all'articolo 6 del D. Lgs. 155/2010.

Infine, con D. M. 30 marzo 2017 sono state adottate, conformemente a quanto previsto dall'art. 17 del D. Lgs. 155/2010, le procedure di garanzia di qualità per assicurare il rispetto degli obiettivi di qualità delle misure fissati dall'Allegato I del suddetto decreto.

Tabella 3.1 – Valori Limite (Allegato XI, D. Lgs. 155/2010)

Inquinante	Periodo di mediazione	Valore Limite
Biossido di zolfo (SO ₂)	1 ora (da non superare più di 24 volte per anno civile)	350 µg/m ³
	1 giorno (da non superare più di 3 volte per anno civile)	125 µg/m ³
Biossido di azoto (NO ₂)	1 ora (da non superare più di 18 volte per anno civile)	200 µg/m ³
	anno civile	40 µg/m ³
Benzene (C ₆ H ₆)	anno civile	5.0 µg/m ³
Monossido di carbonio (CO)	media massima giornaliera calcolata su 8 ore ⁽¹⁾	10 mg/m ³
Piombo (Pb)	anno civile	0.5 µg/m ³
Particolato PM ₁₀	1 giorno (da non superare più di 35 volte per anno civile)	50 µg/m ³
	anno civile	40 µg/m ³
Particolato PM _{2.5} ⁽²⁾	anno civile	25 µg/m ³
<p>⁽¹⁾ 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.</p> <p>⁽²⁾ FASE 1: 20% l'11 giugno 2008, con riduzione il 1° gennaio successivo e successivamente ogni 12 mesi secondo una percentuale annua costante fino a raggiungere lo 0% entro il 1° gennaio 2015.</p> <p>FASE 2: valore limite da stabilire con successivo decreto ai sensi dell'articolo 22, comma 6, tenuto conto del valore indicativo di 20 µg/m³ e delle verifiche effettuate dalla Commissione europea alla luce di ulteriori informazioni circa le conseguenze sulla salute e sull'ambiente, la fattibilità tecnica e l'esperienza circa il perseguimento del valore obiettivo negli Stati membri.</p>		

Tabella 3.2 – Livelli critici per la protezione della vegetazione (Allegato XI D. Lgs. 155/2010)

Inquinante	Periodo di mediazione	Livello Critico
Biossido di zolfo (SO ₂)	anno civile	20 µg/m ³
	invernale (01 ottobre - 31 marzo)	20 µg/m ³
Ossidi di azoto (NO _x)	anno civile	30 µg/m ³

Tabella 3.3 – Soglie di allarme per inquinanti diversi dall'ozono (Allegato XII D. Lgs. 155/2010)

Inquinante	Periodo di mediazione	Soglia di allarme
Biossido di zolfo (SO ₂)	Le soglie devono essere misurate su tre ore consecutive, presso siti fissi di campionamento aventi un'area di rappresentatività di almeno 100 km ² oppure pari all'estensione dell'intera zona o dell'intero agglomerato se tale zona o agglomerato sono meno estesi	500 µg/m ³
Ossidi di azoto (NO _x)		400 µg/m ³

Tabella 3.4 – Valori obiettivo per arsenico, cadmio, nichel e benzo(a)pirene (Allegato XIII, D. Lgs. 155/2010)

Inquinante	Periodo di mediazione	Valore Obiettivo ^(1,2)
Arsenico (As)	anno civile	6.0 ng/m ³
Cadmio (Cd)		5.0 ng/m ³
Nichel (Ni)		20.0 ng/m ³
Benzo(a)pirene		1.0 ng/m ³
⁽¹⁾ Tenore totale di ciascun inquinante presente nella frazione di PM ₁₀ del materiale particolato.		
⁽²⁾ Data raggiungimento obiettivo: 31/12/2012 (art. 9, comma 2 del D. Lgs. 155/2010).		

Tabella 3.5 – Valori obiettivo e obiettivi a lungo termine per l’ozono (Allegato VII D. Lgs. 155/2010)

Finalità	Periodo di mediazione	Valore obiettivo	Data raggiungimento valore obiettivo (4)	Obiettivo a lungo termine (5)
Protezione della salute umana	Media massima giornaliera calcolata su 8 ore (1)	120 µg/m ³ da non superare più di 25 volte per anno civile come media su tre anni	01/01/2010	120 µg/m ³ nell’arco di un anno civile
Protezione della vegetazione	da maggio a luglio	AOT40 (2) 18’000 µg/(m ³ ·h) come media su cinque anni (3)	01/01/2010	6’000 µg/(m ³ ·h)
(1) La massima concentrazione media giornaliera su 8 ore deve essere determinata esaminando le medie consecutive su 8 ore, calcolate in base a dati orari e aggiornate ogni ora. Ogni media su 8 ore così calcolata è riferita al giorno nel quale la stessa si conclude. La prima fascia di calcolo per ogni singolo 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 ogni giorno è quella compresa tra le ore 16:00 e le ore 24:00 del giorno stesso.				
(2) Per AOT40, espresso in µg/(m ³ ·h), si intende la somma della differenza tra le concentrazioni orarie superiori a 80 µg/m ³ (= 40 parti per miliardo) e 80 µg/m ³ rilevate in un dato periodo di tempo, utilizzando solo i valori orari rilevati ogni giorno tra le 8:00 e le 20:00, ora dell’Europa centrale (CET).				
(3) Se non è possibile determinare le medie su tre o cinque anni in base ad una serie intera e consecutiva di dati annui, la valutazione della conformità ai valori obiettivo si può riferire, come minimo, ai dati relativi a: - un anno per il valore-obiettivo ai fini della protezione della salute umana; - tre anni per il valore-obiettivo ai fini della protezione della vegetazione.				
(4) Data entro la quale deve essere raggiunto il valore-obiettivo. Il raggiungimento dei valori obiettivo è valutato nel 2013, con riferimento al triennio 2010-2012, per la protezione della salute umana e nel 2015, con riferimento al quinquennio 2010-2014, per la protezione della vegetazione.				
(5) Data entro la quale deve essere raggiunto l’obiettivo a lungo termine: non definito.				

Tabella 3.6 – Soglie di informazione e di allarme per l’ozono (Allegato XII D. Lgs. 155/2010)

Finalità	Periodo di mediazione	Soglia
Informazione	1 ora	180 µg/m ³
Allarme	1 ora (1)	240 µg/m ³
(1) Per l’applicazione dell’articolo 10, comma 1, deve essere misurato o previsto un superamento per tre ore consecutive.		

A livello regionale si annoverano le seguenti normative:

- Deliberazione dell’Assemblea Legislativa della Regione Emilia-Romagna 11 aprile 2017, n. 115 “Decisione sulle osservazioni pervenute e di approvazione del Piano Aria Integrato Regionale (PAIR2020)”; questo prevede di raggiungere entro il 2020 importanti obiettivi di riduzione delle emissioni dei principali inquinanti rispetto al 2010: del 47% per le polveri sottili (PM10), del 36% per gli ossidi di azoto, del 27% per ammoniaca e composti organici volatili e del 7% per l’anidride

solforosa) che permetteranno di ridurre la popolazione esposta al rischio di superamento del limite giornaliero consentito di PM10, dal 64% al 1%.

- Deliberazione di Giunta Regionale Emilia-Romagna n. 1180 del 21/07/2014 “Adozione della Proposta di Piano Aria Integrato Regionale (PAIR 2020) di cui al D. Lgs. n. 155/2010”.
- Deliberazione di Giunta Regionale Emilia-Romagna 23 dicembre 2013, n. 1998 “Modifiche al progetto di zonizzazione della Regione Emilia-Romagna approvato con DGR n. 2001 del 27 dicembre 2011 - Recepimento del Decreto legislativo 13 agosto 2010, n. 155 "Attuazione della Direttiva 2008/50/ce relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa" - Approvazione della nuova zonizzazione e della nuova configurazione della rete di rilevamento ed indirizzi per la gestione della qualità dell'aria”.
- Deliberazione di Giunta Regionale Emilia-Romagna 26 marzo 2012, n. 362 “Attuazione della D.A.L. 51 del 26 luglio 2011 - Approvazione dei criteri per l'elaborazione del computo emissivo per gli impianti di produzione di energia a biomasse”.
- Deliberazione di Giunta Regionale Emilia-Romagna n. 2001 del 27/12/2011 “Recepimento del decreto legislativo 13 agosto 2010, n. 155 “Attuazione della direttiva 2008/50/CE relativa alla qualità dell’aria ambiente e per un’aria più pulita in Europa” - Approvazione della nuova zonizzazione e della nuova configurazione della rete di rilevamento e indirizzi per la gestione della qualità dell’aria”.
- Deliberazione di Giunta Regionale Emilia-Romagna 14 marzo 2011, n. 344 “Direttiva 2008/50/CE relativa alla qualità dell’aria ambiente e per un’aria più pulita in Europa, attuata con DLgs 13 agosto 2010, n. 155. Richiesta di proroga del termine per il conseguimento e deroga all’obbligo di applicare determinati valori limite per il biossido di azoto e per il PM10”.

3.2 Zonizzazione del territorio regionale

La zonizzazione definisce le unità territoriali sulle quali viene eseguita la valutazione della qualità dell’aria. La zonizzazione del territorio viene effettuata secondo quanto stabilito dal D. Lgs. 155/2010 all’articolo 3, sulla base dei criteri indicati in Appendice I, e prevede in primis l’individuazione degli agglomerati e successivamente delle zone. L’individuazione di agglomerati e zone presuppone un’analisi degli elementi del contesto territoriale e socio-economico (urbanizzazione del territorio, densità abitativa, caratteristiche orografiche e meteo-climatiche del territorio), unitamente a quella del carico emissivo. Sulla base di tale analisi vengono individuate aree in cui uno o più di tali elementi, che sono predominanti nel determinare i livelli degli inquinanti, sono omogenei. Le unità territoriali così definite sono poi periodicamente classificate ai fini della valutazione della qualità dell’aria, secondo quanto dettato dall’articolo 4 e Allegato II del D. Lgs. 155/2010.

In attuazione del D. Lgs. 155/2010 la Regione Emilia-Romagna ha approvato, con DGR n. 2001 del 27 dicembre 2011, la nuova zonizzazione del territorio, classificando le diverse aree secondo i livelli di qualità dell’aria. Tale zonizzazione regionale individua un agglomerato, relativo a Bologna e ai comuni limitrofi, e tre macro-aree di qualità dell’aria (Appennino, Pianura est, Pianura ovest).

L’area di interesse ai fini del presente studio risulta compreso nella zona “Pianura Est” (codice “IT08103”), come evidenziato nella seguente Figura 3.1.

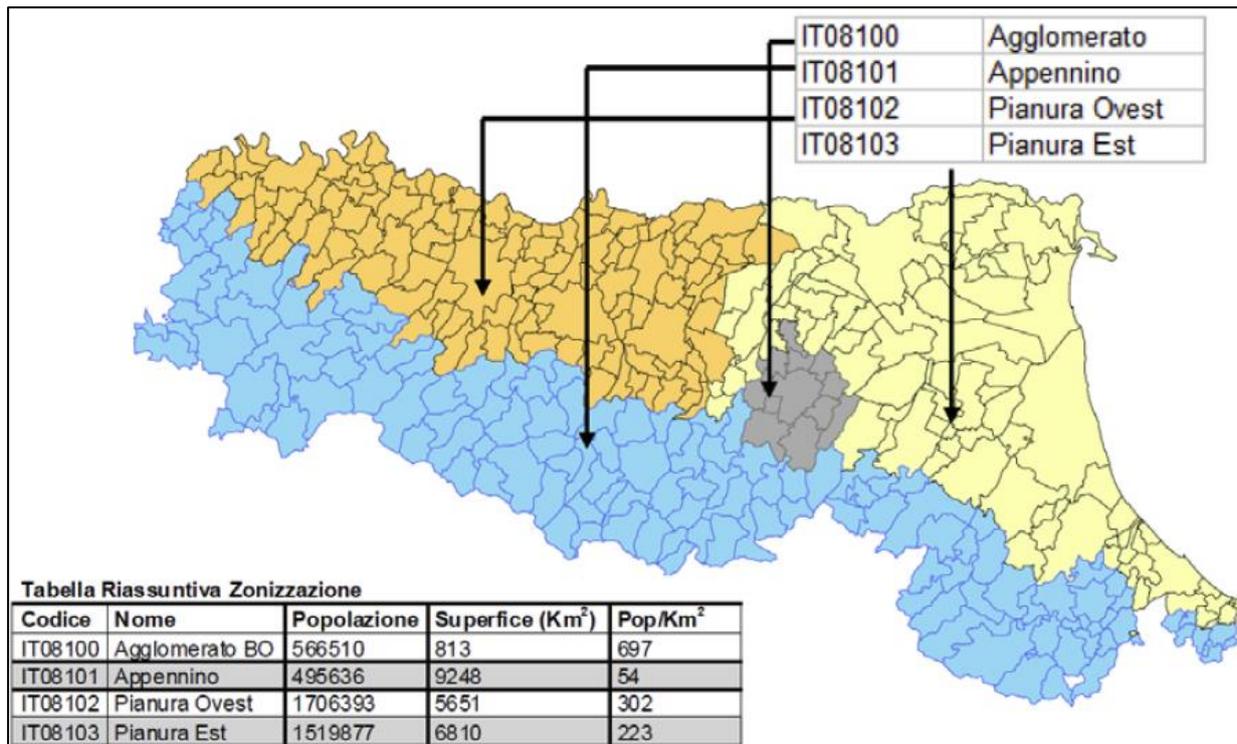


Figura 3.1 – Zonizzazione regionale (D. Lgs. 155/2010 e DGR 2001/2011) (fonte: Arpae)

Detta DGR è stata successivamente modificata dalla DGR 23 DICEMBRE 2013, N. 1998 recante “Modifiche al progetto di zonizzazione della Regione Emilia-Romagna approvato con DGR n. 2001 del 27 dicembre 2011 - Recepimento del Decreto legislativo 13 agosto 2010, n. 155 "Attuazione della Direttiva 2008/50/ce relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa" - Approvazione della nuova zonizzazione e della nuova configurazione della rete di rilevamento ed indirizzi per la gestione della qualità dell'aria” che ha modificato i codici identificativi alfanumerici delle zone di Pianura Est, Pianura Ovest, Appennino e dell’agglomerato di Bologna individuati, come di seguito:

- Codice nuovo IT0890 Nome zona Agglomerato di Bologna
- Codice nuovo IT0891 Nome zona Appennino
- Codice nuovo IT0892 Nome zona Pianura Ovest
- Codice nuovo IT0893 Nome zona Pianura Est.

3.3 Stato attuale della qualità dell’aria

Viene esposto nel presente paragrafo lo stato della qualità dell’aria rilevato nell’area di studio. L’analisi fa uso dei dati pubblicati da Arpae (Agenzia regionale per la prevenzione, l’ambiente e l’energia dell’Emilia-Romagna) nei report redatti annualmente sullo stato della qualità dell’aria, sia a livello regionale sia provinciale.

3.3.1 Rete di monitoraggio

La rete regionale è composta da 47 stazioni di monitoraggio, di cui 4 sono ubicate nell'Agglomerato di Bologna, 18 sono situate nella zona Pianura Ovest, 20 nella zona Pianura Est, 5 nella zona Appennino.

A Ravenna sono presenti cinque stazioni della rete regionale di rilevamento della qualità dell'aria (RRQA) e due stazioni Locali (Rocca Brancaleone e Porto San Vitale) che hanno lo scopo di controllare e verificare gli impatti riconducibili prevalentemente all'area industriale/portuale.

La Figura 3.2 fornisce un'indicazione della distribuzione spaziale delle stazioni all'interno del territorio provinciale, mentre la configurazione della rete e la relativa dotazione strumentale è riportata in Tabella 3.7.

Nella rete afferente alla Provincia di Ravenna le stazioni sono tutte collocate in Zona "Pianura Est" (cfr. paragrafo 3.2).

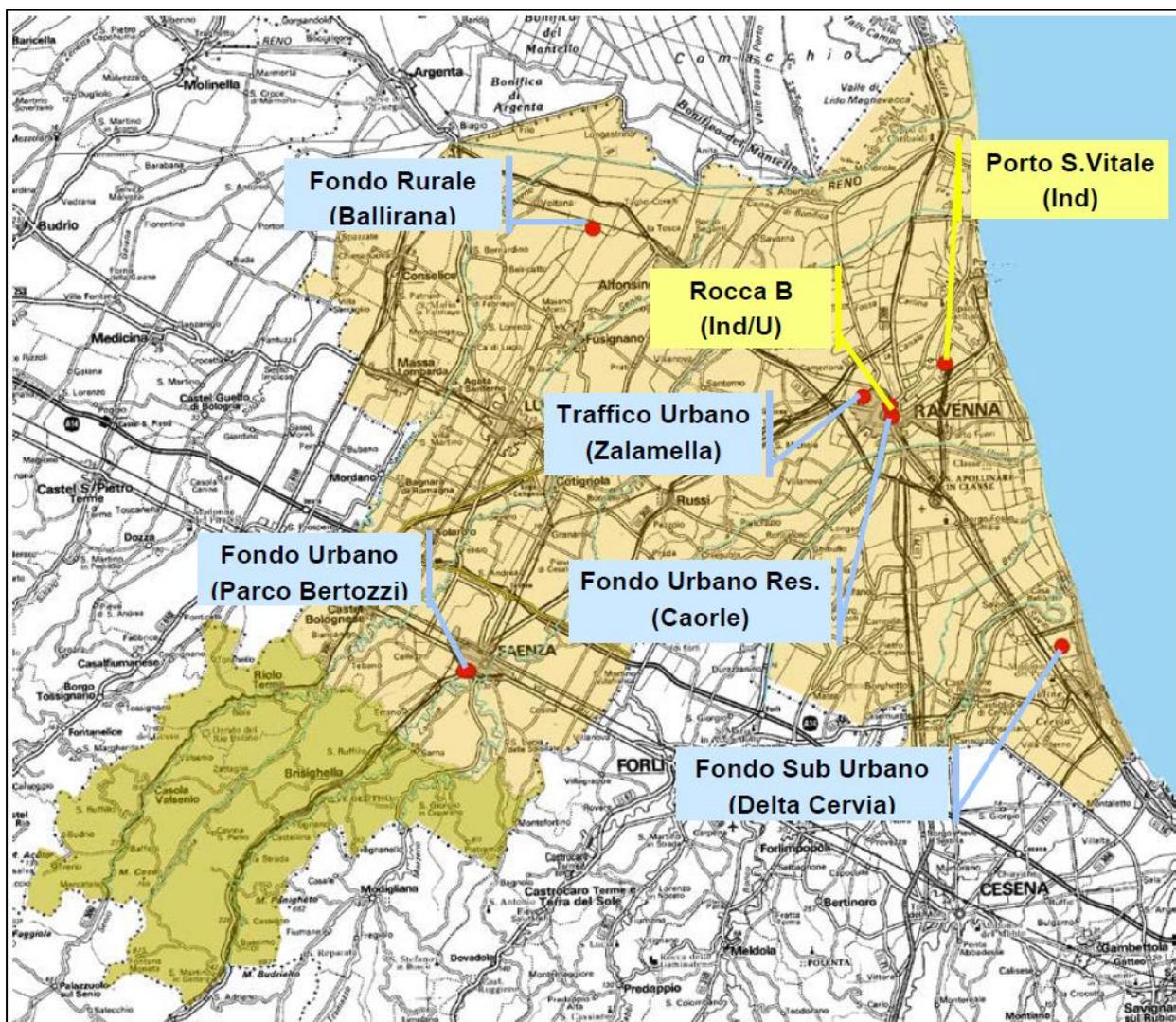


Figura 3.2 – Ravenna. Distribuzione spaziale delle stazioni di rilevamento della qualità dell'aria (fonte: Arpae)

Tabella 3.7 – Configurazione della RRQA di Ravenna al 31/12/2018 (fonte: Arpae)

Prov.	Comune	Nome Stazione	Tipo di stazione	PM ₁₀	PM _{2.5}	NO _x	CO	BTX	O ₃	SO ₂
RA	Ravenna	Caorle	fondo residenziale	X		X				X
RA	Ravenna	Zalamella	traffico	X		X	X	X		
RA	Faenza	Parco Bucci	fondo urbano	X	X	X			X	
RA	Cervia	Delta Cervia	fondo suburbano	X		X			X	
RA	Alfonsine	Ballirana	fondo rurale		X	X			X	
RA	Ravenna	Rocca Brancaleone	industriale urbana	X		X	X		X	X
RA	Ravenna	Porto San Vitale	industriale	X	X	X	X	X	X	X

Di specifico interesse ai fini del presente studio risultano le stazioni Caorle di fondo residenziale e Porto San Vitale di tipo industriale, localizzate tra 5 e 10 km a SSO rispetto al sedime di Centrale.

I seguenti paragrafi approfondiscono i risultati rilevati dalla rete di qualità dell'aria (regionale e locale), per il periodo 2018, in relazione ai principali macroinquinanti.

3.3.2 Particolato PM₁₀

Con il termine PM₁₀ si intende l'insieme di particelle atmosferiche solide e liquide aventi diametro aerodinamico inferiore o uguale a 10 µm. In generale, il particolato di queste dimensioni permane in atmosfera per lunghi periodi e può essere trasportato anche a distanza considerevole dal punto di emissione. Il PM₁₀, che ha una natura chimica particolarmente complessa e variabile, è in grado di penetrare nell'apparato respiratorio umano e avere effetti negativi sulla salute. Il particolato può essere emesso direttamente dalle sorgenti in atmosfera (primario) oppure formarsi in atmosfera attraverso reazioni chimiche fra altre specie di inquinanti, come ad esempio gli ossidi di zolfo e di azoto, i composti organici volatili (COV) e l'ammoniaca (particolato secondario). Il PM₁₀ può essere emesso da sorgenti naturali (eruzioni vulcaniche, erosione dei venti sulle rocce, incendi boschivi), o da sorgenti antropiche, tra le quali una delle più significative è il traffico veicolare. Questo inquinante è oggetto di numerosi studi a livello internazionale per la valutazione dell'impatto sanitario, ricerche che hanno portato l'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) a affermare che «vi è una stretta, relazione quantitativa tra l'esposizione ad alte concentrazioni di particolato fine (PM₁₀ e PM_{2.5}) e un aumento della mortalità e morbilità, sia quotidiana sia nel tempo. [...] Il particolato fine ha effetti sulla salute, anche a concentrazioni molto basse, infatti non è stata identificata una soglia al di sotto della quale non si osservano danni alla salute». Pertanto, l'OMS, pur indicando dei valori guida (per il PM₁₀: 20 µg/m³ come media annuale e 50 µg/m³ come media sulle 24 ore), pone l'obiettivo di raggiungere «le più basse concentrazioni di PM possibile».

Il D. Lgs. 155/2010 fissa due valori limite per il PM₁₀: la media annua di 40 µg/m³ e la media giornaliera di 50 µg/m³ da non superare più di 35 volte nel corso dell'anno civile (cfr. paragrafo 3.1).

Il PM₁₀ viene misurato nelle stazioni di Traffico, di Fondo Urbano e Sub-urbano ed in quelle Locali. La seguente Tabella 3.8 presenta alcune elaborazioni statistiche dei dati di concentrazione di PM₁₀ per l'anno 2018.

Nel 2018 il limite della media annuale del PM₁₀ è rispettato in tutte le stazioni della Provincia di Ravenna, mentre il limite giornaliero è rispettato in tutte le postazioni ad eccezione della stazione Locale/Industriale Porto San Vitale. Considerata la classificazione di questo inquinante da parte dell'OMS e le concentrazioni significative che si possono rilevare soprattutto in periodo invernale, la valutazione dello stato dell'indicatore non può essere considerata positiva.

Tabella 3.8 – Analisi delle concentrazioni di PM₁₀ rilevate nel 2018 dalla RRQA di Ravenna (fonte dati: Arpae)

Parametro	u.m.	Zalamella	Caorle	Parco Bertozzi	Delta Cervia	Rocca Brancaleone	Porto San Vitale
Media	µg/m ³	26	26	22	25	27	39
50° percentile	µg/m ³	23	23	20	23	23	37
90° percentile	µg/m ³	46	45	37	43	47	60
95° percentile	µg/m ³	55	55	47	49	58	71
98° percentile	µg/m ³	62	64	58	59	72	81
Massimo	µg/m ³	83	87	75	82	89	113
> 50 µg/m ³ (giornaliero)	#	22	22	11	15	30	83
% dati validi	%	98	96	95	97	99	99

3.3.3 Particolato PM_{2.5}

Con il termine particolato ultrafine PM_{2.5}, si intende l'insieme di particelle atmosferiche solide e liquide aventi diametro aerodinamico medio inferiore a 2.5 µm. In generale, il particolato di queste dimensioni microscopiche e inalabili penetra in profondità attraverso l'apparato respiratorio, dai bronchi sino agli alveoli polmonari e riesce anche, attraverso la mucosa, ad arrivare al sangue. Il particolato PM_{2.5} può essere di origine primaria, quando è emesso direttamente dalle sorgenti in atmosfera, o secondario, quando si forma in atmosfera attraverso reazioni chimiche fra altri composti, come ad esempio gli ossidi di zolfo e di azoto, i composti organici volatili (COV) e l'ammoniaca. Il particolato ultrafine può essere emesso da sorgenti naturali, ad esempio eruzioni vulcaniche, erosione del suolo, incendi boschivi e aerosol marino, o da sorgenti antropiche, tra le quali traffico veicolare, utilizzo di combustibili (carbone, combustibili liquidi, rifiuti, legno, rifiuti agricoli) e emissioni industriali (cementifici, fonderie). Questo inquinante, come il PM₁₀, è oggetto di numerosi studi a livello internazionale per la valutazione dell'impatto sulla salute umana: queste ricerche hanno portato l'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) a affermare che «La maggior parte delle particelle che danneggiano la salute sono quelle con un diametro di 10 micron o meno, (≤PM₁₀), che possono penetrare e depositarsi in profondità nei polmoni. L'esposizione cronica alle particelle contribuisce al rischio di sviluppare malattie cardiovascolari e respiratorie, nonché di cancro ai polmoni. [...] Vi è una stretta relazione quantitativa tra l'esposizione ad alte concentrazioni di particolato fine (PM₁₀ e PM_{2.5}) e un aumento della mortalità e morbilità, sia

quotidiana sia nel tempo. [...] Il particolato fine ha effetti sulla salute anche a concentrazioni molto basse, infatti non è stata identificata una soglia al di sotto della quale non si osservano danni alla salute». Pertanto, l'OMS, pur indicando dei valori guida (per il PM_{2.5}: 10 µg/m³ come media annuale e 25 µg/m³ come media sulle 24 ore), pone l'obiettivo di raggiungere «le più basse concentrazioni di PM possibile». Il D. Lgs. 155/2010 fissa per il PM_{2.5} un valore limite sulla concentrazione media annuale pari a 25 µg/m³ (cfr. paragrafo 3.1).

Il PM_{2.5} si misura nelle stazioni della Rete Regionale di Fondo urbano e rurale, in considerazione del fatto che la sua origine è prevalentemente secondaria, ed anche nelle stazioni Locali. La seguente Tabella presenta alcune elaborazioni statistiche dei dati di concentrazione di PM_{2.5} per l'anno 2018.

L'analisi dei dati mostra che il limite relativo alla media annuale è stato rispettato in tutte le postazioni. I valori più elevati si sono registrati nella stazione di Fondo urbano di Caorle e in quella Locale industriale di Porto San Vitale. Considerata la classificazione di questo inquinante da parte dell'OMS e le concentrazioni significative che si rilevano (se confrontate con i valori guida dell'OMS), la valutazione dello stato dell'indicatore non può essere considerata positiva.

Tabella 3.9 – Analisi delle concentrazioni di PM_{2.5} rilevate nel 2018 dalla RRQA di Ravenna (fonte dati: Arpae)

Parametro	u.m.	Parco Bertozzi	Ballirana	Caorle	Porto San Vitale
Media	µg/m ³	15	16	19	18
50° percentile	µg/m ³	12	14	16	17
90° percentile	µg/m ³	30	31	36	30
95° percentile	µg/m ³	35	37	45	36
98° percentile	µg/m ³	44	45	55	42
Massimo	µg/m ³	61	58	72	62
> 25 µg/m ³ (giornaliero)	#	45	59	81	69
% dati validi	%	95	98	96	99

3.3.4 Ossidi di azoto

Con il termine ossidi di azoto (NO_x) viene indicato genericamente l'insieme dei due più importanti ossidi di azoto a livello di inquinamento atmosferico: il monossido di azoto (NO) e il biossido di azoto (NO₂). Il primo è un gas inodore e incolore che costituisce la componente principale delle emissioni di ossidi di azoto nell'aria e viene gradualmente ossidato a NO₂, gas di colore rosso-bruno, caratterizzato da un odore acre e pungente. Il biossido di azoto (NO₂) viene normalmente generato a seguito di processi di combustione ad elevata temperatura: le principali sorgenti emmissive sono il traffico veicolare, gli impianti di riscaldamento ed alcuni processi industriali; è per lo più un inquinante secondario, che svolge un ruolo fondamentale nella formazione dello smog fotochimico e delle piogge acide, ed è tra i precursori di alcune frazioni significative di particolato.

Il D. Lgs. 155/2010 fissa due valori limite per l'NO₂ (biossido di azoto): la media annua di 40 µg/m³ e la media oraria di 200 µg/m³ da non superare più di 18 volte nel corso dell'anno civile (cfr. paragrafo 3.1).

Il biossido di azoto (NO₂) viene misurato in tutte le stazioni della rete di Ravenna (comprese quelle Locali). La seguente Tabella 3.10 presenta alcune elaborazioni statistiche dei dati di concentrazione di NO₂ per l'anno 2018, che confermano il rispetto dei limiti normativi.

I limiti di lungo e di breve periodo del biossido di azoto nel 2018 sono stati rispettati in tutte le stazioni. La media annuale più elevata (30 µg/m³) è stata rilevata nella stazione di traffico (Zalamella). Il massimo orario più alto (122 µg/m³) è stato rilevato nella stazione Locale di Rocca Brancaleone.

Tabella 3.10 – Analisi delle concentrazioni di NO₂ rilevate nel 2018 dalla RRQA di Ravenna (fonte dati: Arpae)

Parametro	u.m.	Zalamella	Caorle	Parco Bertozzi	Ballirana	Delta Cervia	Rocca Brancaleone	Porto San Vitale
Media	µg/m ³	30	19	16	13	14	21	23
50° percentile	µg/m ³	27	15	11	10	11	18	21
90° percentile	µg/m ³	53	42	38	29	32	43	43
95° percentile	µg/m ³	62	49	46	36	38	51	50
98° percentile	µg/m ³	73	58	55	44	45	57	58
Massimo	µg/m ³	119	93	92	70	69	122	82
> 200 µg/m ³ (orario)	#	0	0	0	0	0	0	0
% dati validi	%	95	95	95	99	99	95	96

Per gli ossidi di azoto (NO_x) il D. Lgs. 155/2010 fissa un livello critico per la protezione della vegetazione di 30 µg/m³ come concentrazione media annua (cfr. paragrafo 3.1). La normativa dà inoltre indicazioni circa il posizionamento delle stazioni in cui verificare il rispetto del limite. In particolare, i punti di campionamento destinati alla protezione degli ecosistemi o della vegetazione dovrebbero essere ubicati a più di 20 km dagli agglomerati o a più di 5 km da aree edificate diverse dagli agglomerati o da impianti industriali e da autostrade. Nella RRQA della Provincia di Ravenna la stazione che soddisfa questi criteri è quella di fondo rurale di Ballirana, in cui la concentrazione media annuale misurata per il 2018 risulta di 18 µg/m³, dunque inferiore al limite per la protezione della vegetazione.

3.3.5 Biossido di zolfo

Il biossido di zolfo è il naturale prodotto di ossidazione dello zolfo e dei composti che lo contengono. Nell'atmosfera l'anidride solforosa (SO₂) è ossidata ad anidride solforica (SO₃). È un gas incolore, dall'odore acre e pungente, irritante per gli occhi, la gola e le vie respiratorie. In atmosfera, attraverso le reazioni con l'ossigeno e l'acqua, contribuisce alla formazione delle piogge acide provocando effetti tossici sui vegetali, acidificazione dei corpi idrici ed effetti corrosivi su materiali da costruzione, in particolare sui monumenti. Le emissioni antropiche derivano prevalentemente dall'utilizzo di combustibili solidi e liquidi contenenti zolfo, ad esempio gasolio, nafta, carbone, legna e altro. Fino a qualche decennio fa anche a livello locale la misura di SO₂ costituiva il principale indicatore dell'inquinamento di origine antropica. Negli ultimi anni le concentrazioni sono notevolmente diminuite e spesso risultano inferiori al limite di quantificazione strumentale.

Il D. Lgs. 155/2010 fissa due valori limite per il biossido di zolfo: la media oraria di $350 \mu\text{g}/\text{m}^3$ da non superare più di 24 volte nel corso dell'anno civile e la media giornaliera di $125 \mu\text{g}/\text{m}^3$ da non superare più di 3 volte nel corso dell'anno civile. Il D. Lgs. 155/2010 fissa inoltre un livello critico per la protezione della vegetazione di $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ come concentrazione media annua (cfr. paragrafo 3.1).

Il biossido di zolfo viene misurato nella stazione di fondo urbano di Caorle e nelle stazioni Locali di Rocca Brancaleone e Porto San Vitale, dislocate nella città Ravenna, dov'è presente un importante polo industriale con numerose potenziali fonti di emissione di tale inquinante. La seguente Tabella 3.11 presenta alcune elaborazioni statistiche dei dati di concentrazione di SO_2 per l'anno 2018, che confermano i valori contenuti sopracitati.

Le concentrazioni di biossido di zolfo rilevate nel 2018, così come da diversi anni, sono contenute e meno del 3% dei dati supera il limite di quantificazione strumentale (pari a $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$), livelli notevolmente inferiori rispetto a quelli stabiliti dalla normativa vigente. Il rispetto dei limiti non rappresenta pertanto un problema, e già da diversi anni (1999) non si verificano superamenti.

Tabella 3.11 – Analisi delle concentrazioni di SO_2 rilevate nel 2018 dalla RRQA di Ravenna (fonte dati: Arpae)

Parametro	u.m.	Caorle	Rocca Brancaleone	Porto San Vitale
Media annuale	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	3	2	4
Media inverno	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	2	4	4
50° percentile	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	2	2	3
90° percentile	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	7	5	8
95° percentile	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	9	6	10
98° percentile	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	10	9	17
Massimo	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	32	46	65
> $350 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (orario)	#	0	0	0
> $125 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (giornaliero)	#	0	0	0
% dati validi	%	96	99	99

3.3.6 Monossido di carbonio

Il monossido di carbonio (CO) è un gas incolore e inodore generato dalla combustione incompleta delle sostanze contenenti carbonio, in condizioni di difetto di aria, cioè quando il quantitativo di ossigeno non è sufficiente ad ossidare in modo completo le sostanze organiche. La principale sorgente è il traffico veicolare. Le concentrazioni di CO emesse dai veicoli sono correlate alle condizioni di funzionamento del motore e i picchi più elevati si registrano durante le fasi di decelerazione e con motore al minimo. La continua evoluzione tecnologica ha permesso negli ultimi anni una consistente riduzione di questo inquinante.

Il D. Lgs. 155/2010 fissa un valore limite di concentrazione per il CO di $10 \text{mg}/\text{m}^3$ come media massima giornaliera calcolata su 8 ore (cfr. paragrafo 3.1).

L'attuale configurazione della Rete Regionale prevede la misura del monossido di carbonio nella sola postazione di traffico urbano, dove potenzialmente la concentrazione di tale inquinante è più elevata:

pertanto è rilevato nella stazione di Zalamella. A Ravenna, tale inquinante viene misurato anche nelle stazioni Locali di Rocca Brancaleone e di Porto San Vitale. La seguente Tabella 3.12 presenta alcune elaborazioni statistiche dei dati di concentrazione di CO per l'anno 2018, che confermano i valori non critici.

Il valore limite per la protezione della salute umana calcolato come media massima giornaliera su otto ore pari a 10 mg/m^3 è ampiamente rispettato in tutte le stazioni della Provincia di Ravenna già da molti anni, pertanto questo inquinante non si può definire critico su quest'area.

Tabella 3.12 – Analisi delle concentrazioni di CO rilevate nel 2018 dalla RRQA di Ravenna (fonte dati: Arpae)

Parametro	u.m.	Zalamella	Rocca Brancaleone	Porto San Vitale
Media	$\mu\text{g/m}^3$	0.5	0.4	0.3
50° percentile	$\mu\text{g/m}^3$	0.4	0.4	0.3
90° percentile	$\mu\text{g/m}^3$	0.8	0.6	0.5
95° percentile	$\mu\text{g/m}^3$	0.9	0.8	0.6
98° percentile	$\mu\text{g/m}^3$	1.1	0.9	0.7
Massimo	$\mu\text{g/m}^3$	3.0	2.9	2.6
Max media 8 h	#	1.2	0.8	0.6
% dati validi	%	100	97	99

3.3.7 Ozono

L'ozono (O_3) è un gas molto reattivo presente in atmosfera. Negli strati alti (stratosfera) è di origine naturale e aiuta a proteggere la vita sulla terra formando uno strato protettivo che filtra i raggi ultravioletti del sole, mentre nello strato più basso (troposfera), se presente in concentrazioni elevate provoca disturbi irritativi all'apparato respiratorio e danni alla vegetazione. L'ozono di origine naturale si forma per interazione tra composti organici emessi in natura e l'ossigeno dell'aria sotto l'irradiazione solare, mentre quello di origini antropica si forma a seguito di reazioni con sostanze precursori quali composti organici volatili (COV) e ossidi di azoto. L'immissione di inquinanti primari, prodotti da traffico, processi di combustione, solventi delle vernici, evaporazione di carburanti, etc., favorisce la produzione di un eccesso di ozono rispetto alle quantità presenti in natura durante i mesi estivi.

Il D. Lgs. 155/2010 fissa per l'ozono un valore obiettivo per la protezione della salute umana pari a $120 \mu\text{g/m}^3$ sulla media massima giornaliera calcolata su 8 ore, da non superare più di 25 volte l'anno come media su tre anni, ed un valore obiettivo per la protezione della vegetazione AOT40 pari a $18'000 \mu\text{g}/(\text{m}^3 \cdot \text{h})$ come media su cinque anni. Il D. Lgs. 155/2010 prevede inoltre delle soglie di informazione e di allarme per la concentrazione di ozono pari rispettivamente a 180 e $240 \mu\text{g/m}^3$ (cfr. paragrafo 3.1).

L'ozono viene misurato nelle stazioni di Fondo urbano, sub-urbano e rurale, dove si prevede che le concentrazioni siano maggiori in virtù dell'origine secondaria di questo inquinante. A Ravenna si effettuano misure di ozono anche nelle stazioni Locali Rocca Brancaleone e Porto San Vitale, in quanto tali postazioni sono vicine alla zona industriale, quindi a fonti significative di inquinanti precursori. La

seguinte Tabella 3.13 presenta alcune elaborazioni statistiche dei dati di concentrazione di O₃ per l'anno 2018.

Il limite per la protezione della salute umana (superamento della media massima giornaliera su 8 h di 120 µg/m³ per più di 25 giorni, calcolata come media degli ultimi tre anni) è stato superato nelle stazioni di Fondo Delta Cervia (56 giorni), Carole (40 giorni) e Parco Bertozzi (33 giorni), oltre che nella stazione Locale Rocca Brancaleone (27 giorni). Per quanto riguarda gli episodi acuti, la soglia di informazione (180 µg/m³) è stata superata solo in una giornata (18 luglio) nella stazione di Delta Cervia.

I valori di ozono misurati nel 2018, in considerazione anche dei dati storici, confermano il persistere di una situazione critica per questo inquinante. La situazione di criticità diffusa è riconducibile anche all'origine fotochimica e alla natura esclusivamente secondaria di questo inquinante. Il trend storico registra una certa stabilità delle concentrazioni di ozono in tutta la Regione.

Tabella 3.13 – Analisi delle concentrazioni di O₃ rilevate nel 2018 dalla RRQA di Ravenna (fonte dati: Arpae)

Parametro	u.m.	Parco Bertozzi	Ballirana	Delta Cervia	Caorle	Rocca Brancaleone	Porto San Vitale
Media	µg/m ³	48	36	52	53	48	30
50° percentile	µg/m ³	44	28	45	50	43	12
90° percentile	µg/m ³	98	87	111	107	101	89
95° percentile	µg/m ³	112	100	123	119	114	104
98° percentile	µg/m ³	127	113	134	133	128	119
Massimo orario	µg/m ³	173	156	185	174	170	161
N° giorni sup 120 µg/m ³ (2018)	#	28	10	57	42	31	15
N° giorni sup 120 µg/m ³ (3 anni)	#	33	n.c. ⁽¹⁾	56	40	27	23
N° giorni sup 180 µg/m ³	#	0	0	1	0	0	0
N° giorni sup 240 µg/m ³	#	0	0	0	0	0	0
AOT40 (2018)	µg/(m ³ ·h)	17'307	11'700	30'073	27'268	23'357	13'892
AOT40 (5 anni)	µg/(m ³ ·h)	20'609	16'799	29'775	25'157	21'124	19'925
% dati validi	%	98	99	95	97	99	99

⁽¹⁾ n.c. = non calcolato in quanto i dati disponibili sono inferiori a quelli previsti dalla norma (D. Lgs. 155/2010)

3.3.8 Benzene

Il benzene (C₆H₆) è una sostanza chimica liquida e incolore dal caratteristico odore pungente. È il più comune e il più largamente utilizzato degli idrocarburi aromatici ed è impiegato come antidetonante nelle benzine. I veicoli a motore rappresentano infatti la principale fonte di emissione per questo inquinante che viene immesso nell'aria con i gas di scarico. Un'altra sorgente di benzene è rappresentata dalle emissioni di solventi prodotte da attività artigianali ed industriali come ad esempio: produzione di plastiche, resine, detersivi, vernici, collanti, inchiostri, adesivi, prodotti per la pulizia, ecc. Oltre ad

essere uno dei composti aromatici più utilizzati è anche uno dei più tossici, classificato dall'Agencia Internazionale per la Ricerca sul Cancro (IARC) come cancerogeno di classe I per l'uomo.

Il D. Lgs. 155/2010 fissa per il benzene un valore limite sulla concentrazione media annua di $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (cfr. paragrafo 3.1).

Il benzene viene rilevato in tutte le stazioni dell'area urbana di Ravenna. In particolare, nelle stazioni Zalamella e Porto San Vitale viene eseguito un monitoraggio in continuo con dati orari, mentre nelle stazioni Caorle e Rocca Brancaleone viene effettuato un monitoraggio settimanale con campionatori passivi. La seguente Tabella 3.14 presenta alcune elaborazioni statistiche dei dati di concentrazione di C_6H_6 per l'anno 2018.

In tutte le stazioni la media annuale risulta inferiore al limite normativo: la più alta è stata registrata nella stazione di Zalamella ($1.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$), mentre a Porto San Vitale si è registrata la più bassa ($0.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Nel 2018, le concentrazioni del benzene sono dunque risultate inferiori al limite normativo, con valori simili a quelli rilevati negli ultimi anni. La situazione in relazione al rispetto del limite di legge non è critica ma, considerata l'accertata cancerogenicità del composto e le concentrazioni comunque significative che si possono registrare durante i mesi invernali, la valutazione dello stato dell'indicatore non può essere considerata positiva.

Tabella 3.14 – Analisi delle concentrazioni di C_6H_6 rilevate nel 2018 dalla RRQA di Ravenna (fonte dati: Arpae)

Parametro	u.m.	Zalamella ⁽¹⁾	Caorle ⁽²⁾	Rocca Brancaleone ⁽²⁾	Porto San Vitale ⁽¹⁾
Media annua	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	1.0	0.8	0.8	0.6
50° percentile	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	0.7	n.d.	n.d.	0.3
90° percentile	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	2.3	n.d.	n.d.	1.5
95° percentile	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	2.8	n.d.	n.d.	1.9
98° percentile	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	3.6	n.d.	n.d.	2.3
Massimo orario	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	10.4	n.d.	n.d.	6.6
Massimo giornaliero	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	3.6	n.d.	n.d.	2.5
Massimo settimanale	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	2.6	2.3	2.4	1.8
N° giorni $> 5 \mu\text{g}/\text{m}^3$	#	0	n.d.	n.d.	0
% dati validi	%	95	100	100	95
⁽¹⁾ monitoraggio in continuo con dati orari					
⁽²⁾ monitoraggio settimanale con campionatori passivi					

3.3.9 Conclusioni

Nei paragrafi che precedono è stato analizzato lo stato della qualità dell'aria registrato nel periodo 2018 dalle stazioni della rete regionale ricadenti in Provincia di Ravenna, in relazione ai macroinquinanti PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$, NO_2 , NO_x , SO_2 , CO , O_3 e C_6H_6 .

Relativamente al particolato PM_{10} , il limite sulla concentrazione media annuale è stato rispettato in tutte le stazioni della Provincia, mentre il limite giornaliero è rispettato in tutte le postazioni ad eccezione della

stazione Locale/Industriale Porto San Vitale. Relativamente a tale parametro la valutazione dello stato dell'indicatore non è critica ma non può essere considerata positiva.

Relativamente al particolato ultrafine PM_{2.5}, il limite relativo alla media annuale è stato rispettato in tutte le postazioni. I valori più elevati si sono registrati nella stazione di Fondo urbano di Caorle e in quella Locale industriale di Porto San Vitale. Relativamente a tale parametro la valutazione dello stato dell'indicatore non è critica ma non può essere considerata positiva.

Relativamente al biossido di azoto (NO₂), i limiti di lungo e di breve periodo sono stati rispettati in tutte le stazioni. La media annuale più elevata è stata rilevata nella stazione di traffico (Zalamella), mentre il massimo orario più alto è stato rilevato nella stazione Locale di Rocca Brancaleone. Per gli ossidi di azoto (NO_x), la concentrazione media annuale misurata è risultata inferiore al limite per la protezione della vegetazione.

Relativamente al biossido di zolfo (SO₂), le concentrazioni rilevate sono risultate contenute, con livelli notevolmente inferiori rispetto a quelli stabiliti dalla normativa vigente. Il rispetto dei limiti non rappresenta pertanto un problema, e già da diversi anni non si verificano superamenti.

Relativamente al monossido di carbonio (CO), il valore limite per la protezione della salute umana è ampiamente rispettato in tutte le stazioni della Provincia di Ravenna già da molti anni, pertanto questo inquinante non si può definire critico su quest'area.

Relativamente all'ozono (O₃), il limite per la protezione della salute umana è stato superato nelle stazioni di Fondo Delta Cervia, Carole Parco Bertozzi, oltre che nella stazione Locale Rocca Brancaleone. I valori di ozono misurati nel 2018, in considerazione anche dei dati storici, confermano il persistere di una situazione critica per questo inquinante.

Relativamente al benzene (C₆H₆), in tutte le stazioni la media annuale è risultata inferiore al limite normativo, con valori simili a quelli rilevati negli ultimi anni. La situazione in relazione al rispetto del limite di legge non è dunque critica, ma la valutazione dello stato dell'indicatore non può essere considerata positiva.

4 EFFETTI SULLA QUALITÀ DELL'ARIA

Le valutazioni riportate nel seguito si avvalgono di un sistema modellistico Calmet/Calpuff, a corredo dei quali il sistema implementa una serie di pre-processor e post-processor.

Considerato che il sito in esame è caratterizzato dalla presenza dell'interfaccia terra mare e da condizioni meteo-diffusive non omogenee, la scelta del modello di calcolo è stata indirizzata verso l'applicazione di una catena modellistica costituita da un modello meteorologico diagnostico e da un modello di diffusione di tipo lagrangiano a puff. In particolare, si è scelto di utilizzare il sistema modellistico CALMET/CALPUFF: CALMET è un preprocessore meteorologico diagnostico, a sua volta guidato in input da campi tridimensionali di reanalisi prodotti dal modello meteorologico prognostico WRF, sviluppato per elaborare campi di vento e di turbolenza atmosferica da fornire in input a CALPUFF, modello di dispersione atmosferica lagrangiano a puff. Entrambi i codici di calcolo implementano algoritmi specifici per la trattazione dei meccanismi di trasporto e diffusione d'inquinanti atmosferici su superfici disomogenee ed in condizioni meteorologiche in linea con i requisiti riportati in Appendice III del D. Lgs. 155/2010.

WRF, modello prognostico a mesoscala, è nella lista di modelli meteorologici consigliati dall'Agenzia per la Protezione dell'Ambiente statunitense (US-EPA, <http://www.epa.gov/scram001/metmodel.htm>).

L'utilizzo del sistema modellistico CALMET/CALPUFF è consigliato da US-EPA in presenza di situazioni meteorologiche complesse determinate dalla conformazione orografica dell'area di studio o da situazioni di stagnazione.

A livello nazionale il sistema modellistico CALMET/CALPUFF è stato inserito nell'elenco dei modelli idonei per trattare sorgenti puntiformi. CALPUFF è nell'elenco "*Scheda 1: modelli da applicare nelle aree urbane ed a scala locale*" della pubblicazione APAT CTN ACE, 2004 "*I modelli per la valutazione e gestione della qualità dell'aria: normativa, strumenti, applicazioni*". Infine, l'utilizzo di tale strumento è previsto anche nella Procedura Tecnica N.2 "*Linee guida per la valutazione dell'impatto sulla qualità dell'aria dei punti di emissione di un impianto*" delle Norme di Attuazione del Piano di Risanamento della Qualità dell'Aria della Regione Lazio.

In merito all'incertezza ed accuratezza delle stime modellistiche, le linee guida sui modelli di qualità dell'aria dell'Agenzia per la Protezione dell'Ambiente statunitense (US-EPA, 2005) indica una maggiore affidabilità per le stime delle concentrazioni medie di lungo periodo, ed una incertezza maggiore per la stima delle concentrazioni di breve periodo. I massimi delle concentrazioni sono da ritenersi stime affidabili dell'ordine di grandezza, con errori tipici compresi dal $\pm 10\%$ al $\pm 40\%$. Il D. Lgs. 155/2010 indica all'allegato I un'incertezza del 30% per le concentrazioni medie annue e del 50% per quelle orarie e giornaliere.

4.1 Calmet

CALMET (Version 6.5.0, Level 150223) (Scire et al., 2000(a)) è un modello meteorologico diagnostico che produce campi orari tridimensionali di vento e bidimensionali di diverse variabili meteorologiche a partire da dati osservati (al suolo e di profilo) e da dati geofisici (orografia, uso del suolo).

CALMET è costituito da un modulo diagnostico per la ricostruzione del campo di vento e da moduli micrometeorologici per la caratterizzazione dello strato limite di rimescolamento sia sul suolo sia sull'acqua. Il modulo diagnostico del campo di vento utilizza una procedura a due step per la costruzione del campo. Il primo passo crea un campo iniziale, basato sui venti sinottici, e lo corregge in modo da tenere conto degli effetti del terreno sui flussi e dei venti di pendio. In questa fase, dapprima il modello utilizza i venti sinottici per calcolare una velocità verticale forzata dal terreno e soggetta ad una funzione esponenziale di smorzamento dipendente dalla classe di stabilità atmosferica. In secondo luogo, sono introdotti gli effetti dell'orografia sulle componenti orizzontali del vento mediante l'applicazione iterativa di uno schema di minimizzazione della divergenza sul campo tridimensionale fino al soddisfacimento del vincolo di minima divergenza. Dopo aver introdotto i venti di pendio e gli effetti termodinamici, il campo, a questo punto detto di primo passo, passa alla seconda fase procedurale che introduce i dati osservati al suolo in modo da ottenere il campo nella sua versione finale. L'introduzione dei dati osservati è effettuata tramite una procedura d'analisi oggettiva. L'attribuzione di pesi inversamente proporzionali alla distanza tra punto e stazione di misura garantisce l'ottenimento di un campo che riflette maggiormente le osservazioni in prossimità dei punti di misura e che è dominato dal campo di primo passo nelle zone prive d'osservazioni. Infine, il campo risultante è sottoposto ad un'operazione di smoothing e di ulteriore minimizzazione della divergenza. CALMET richiede come dati di input misure orarie al suolo di direzione e velocità del vento, temperatura, copertura nuvolosa, altezza della base delle nuvole, pressione atmosferica, umidità relativa e precipitazione, nonché profili verticali di direzione e velocità del vento, temperatura e pressione atmosferica o campi tridimensionali prodotti da modelli meteorologici prognostici quali ad esempio MM5, WRF, RAMS, COSMO. Algoritmi specifici trattano la dinamica atmosferica sopra superfici marine o lacustri e la loro interfaccia con le superfici terrestri.

Il ruolo di CALMET nello strumento modellistico oggetto della presente applicazione è di effettuare un downscaling (un aumento della risoluzione) dei campi prodotti dal modello WRF, oltre che di creare i campi di tutte le variabili macro e micro meteorologiche necessari per l'applicazione del modello CALPUFF.

4.2 Calpuff

CALPUFF (Version 7.2.1, Level 150816) (Scire J.S. et Al., 2000(b)), è un modello lagrangiano a puff non stazionario. CALPUFF è stato sviluppato originariamente dalla società Sigma Research Corporation (SRC, www.src.com), divenuta parte di Earth Tech. Il codice è stato successivamente mantenuto da TRC Environmental Corporation e più recentemente da E^xponent che ne cura la distribuzione.

Il modello è in grado di simulare i processi di trasporto, dispersione, deposizione secca e umida e trasformazione chimica cui sono sottoposte le emissioni continue di sbuffi (puff) d'inquinante rilasciate in atmosfera da una o più sorgenti.

Al variare di direzione ed intensità del vento nel tempo e nello spazio, la traiettoria di ogni puff cambia in modo da seguire la nuova direzione del vento in quel punto del dominio tridimensionale. La diffusione dei puff è gaussiana, inizialmente funzione della distanza dalla sorgente e successivamente funzione del tempo (in modo che ad un eventuale riavvicinamento dell'inquinante verso la sorgente, in seguito ad un'inversione della direzione del vento, non segua una contrazione del puff).

La concentrazione stimata in un dato recettore è data dalla somma dei contributi di tutti i puff sufficientemente vicini a questo. La garanzia della corretta riproduzione del pennacchio inquinante è data dall'elevato numero di puff rilasciati ogni ora, numero calcolato dal modello in funzione delle caratteristiche meteorologiche dell'ora. La trattazione di calme di vento è gestita internamente dal modello con appositi algoritmi, consistenti con il modello concettuale in cui le emissioni contemporanee alla calma di vento salgono virtualmente sulla verticale della sorgente, e quelle preesistenti ristagnano sulla loro posizione, tutte disperdendosi in funzione del tempo (si assume cioè che il vento sia assente o sbandieri attorno ad una media nulla).

Il calcolo delle componenti della turbolenza atmosferica (σ_{yt} e σ_{zt}) è espletato mediante parametri di turbolenza (σ_v e σ_w) calcolati tramite i campi di CALMET delle variabili micrometeorologiche (L, u^* , w^* , ecc.). Appositi algoritmi trattano la dispersione al di sopra di superfici coperte da acqua (mari e laghi), e all'interfaccia terra-mare. L'interazione tra orografia e puff, oltre che nell'informazione contenuta nel campo di vento generato da CALMET (che presenta nei livelli prossimi al suolo gli effetti dovuti alle strutture orografiche principali), avviene attraverso la metodologia "partial plume path adjustment", che riduce l'altezza del puff sul suolo in funzione della classe di stabilità atmosferica, della quota del terreno in relazione alla base della sorgente e dell'altezza originale del puff stesso.

Oltre alla trattazione d'inquinanti inerti, CALPUFF include differenti schemi chimici per la ricostruzione delle deposizioni acide, per l'evoluzione degli ossidi d'azoto, per la riproduzione delle catene di decadimento radioattivo.

Appositi algoritmi trattano la deposizione per via secca (secondo l'approccio classico di modello a resistenze) e per via umida (caratterizzando ogni sostanza secondo un parametro di rimozione umida "wet scavenging").

CALPUFF include la metodologia dell’Agenzia per la Protezione dell’Ambiente statunitense (US-EPA) “Good Engineering Practice stack height and Building Downwash guidance” che costituisce uno dei principali metodi di riferimento per il calcolo dei parametri necessari alla valutazione modellistica dell’influenza di strutture di altezza significativa circostanti il punto di emissione. La presenza di strutture induce nel flusso d’aria una zona di stagnazione in corrispondenza della faccia sopravento dell’edificio, ed una zona di ricircolazione posta sulla sommità dell’edificio ed in corrispondenza delle facce laterali parallele alla direzione del vento. Sottovento all’edificio si crea una cavità con vortici verticali che intrappolano le masse d’aria. Allontanandosi dall’edificio in direzione sottovento, la cavità si riduce in intensità e si trasforma progressivamente in una scia turbolenta con un graduale ripristino della situazione non perturbata. L’effetto della perturbazione sulla diffusione dei fumi per camini non sufficientemente alti è quello di aumentarne la dispersione iniziale, incrementando la concentrazione d’inquinanti al suolo nelle prime centinaia di metri dalla sorgente. L’aumento della concentrazione al suolo non comporta necessariamente un livello di criticità per la qualità dell’aria, ma deve essere valutato nelle simulazioni modellistiche. I risultati della metodologia adottata sono stati utilizzati nelle applicazioni modellistiche per valutare l’effetto delle strutture prossime ai camini degli impianti oggetto di studio.

4.3 Validazione dello strumento modellistico

I codici di calcolo selezionati per le valutazioni modellistiche del presente studio, tra cui CALMET e CALPUFF, sono sviluppati da soggetti terzi e sono stati, e sono costantemente, oggetto di numerosi test finalizzati alla loro validazione, ovvero alla loro capacità di riprodurre correttamente un corrispondente set di dati misurati. Per maggiori dettagli si rimanda alle specifiche validazioni facilmente reperibili sul web.

La capacità di questi modelli di rappresentare adeguatamente, nei limiti dell’attuale stato dell’arte, i fenomeni per cui sono stati realizzati, e quindi della loro adeguatezza per le finalità del presente studio, è testimoniata dalla loro inclusione nelle linee guida nazionali ed in quelle di numerosi stati esteri, nonché dalla diffusione del loro utilizzo in studi analoghi in Italia ed all’estero.

4.4 Setup dello strumento modellistico

4.4.1 Dominio di calcolo

La simulazione modellistica è stata condotta ricostruendo i campi meteorologici orari per il triennio 2013-2015. Il dominio di calcolo dello studio, come mostrato in Figura 4.1, è costituito da due griglie innestate:

- la prima “esterna”, nel seguito indicata con la sigla “G1”, finalizzata alla ricostruzione della circolazione a meso-scala;
- la seconda “interna”, nel seguito indicata con la sigla “G2”, finalizzata alla ricostruzione di dettaglio del territorio.

Entrambe le griglie adottano, come sistema di riferimento, la proiezione universale trasversa di Mercatore (UTM, fuso 32 Nord) associata al sistema geodetico WGS-84.

Le griglie G1 e G2 sono completamente definite dai seguenti dati:

- Griglia G1:
 - Coordinate angolo SW: 708'000 m E, 4'879'000 m N
 - Numero di celle: 23 in direzione N-S, 23 in direzione W-E
 - Dimensione di cella: 4'500 x 4'500 m²
- Griglia G2:
 - Coordinate angolo SW: 748'500 m E, 4'919'500 m N
 - Numero di celle: 45 in direzione N-S, 45 in direzione W-E
 - Dimensione di cella: 500 x 500 m²
- Livelli verticali (per entrambe le griglie):
 - Numero: 10
 - Quota delle facce: 0, 20, 40, 80, 160, 320, 640, 1'200, 2'000, 3'000, 4'000 m s.l.s.
 - Quota di centro: 10, 30, 60, 120, 240, 480, 920, 1'600, 2'500, 3'500 m s.l.s.

La ricostruzione del campo meteorologico ottenuta mediante la catena WRF-CALMET è stata quindi utilizzata come driver per il modello dispersivo CALPUFF.

Per il modello CALPUFF è stato adottato un dominio computazionale coincidente con la griglia G1, al cui interno sono state definite due griglie regolari di recettori. La prima è una griglia di 23 x 23 punti a maglia di 4.5 km, ovvero 529 recettori, che coprono l'area di 103.5 x 103.5 km² dell'intero dominio computazionale G1. La seconda è una griglia di 37 x 37 punti a maglia di 500 m, ovvero 1'369 recettori (parzialmente sovrapposti ai precedenti) che coprono un'area di 18.5 x 18.5 km² compresa nella griglia G2 del modello CALMET.

4.4.1.1 Banche dati

4.4.1.1.1 Orografia

Per definire il modello orografico dell'area in esame, ovvero la quota media sul livello del mare di ogni cella del dominio di calcolo, è stato fatto uso dei dati derivanti dal database globale SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) GL1 v3.0 avente risoluzione di 3 secondi d'arco (circa 90 m). La missione SRTM, condotta dalle agenzie statunitensi NIMA (National Imagery and Mapping Agency) e NASA (National Aeronautics and Space Administration), ha utilizzato sistemi radar appositamente installati a bordo dello Space Shuttle Endeavour.

Sulla base dei dati SRTM è stata quindi associata, per mezzo del pre-processore TERREL (v7.0, Level 141010), una quota orografica media ad ogni cella di ciascuno dei domini di calcolo definiti al paragrafo 4.4.1.

In Figura 4.1 è rappresentato graficamente l'output del pre-processore TERREL.

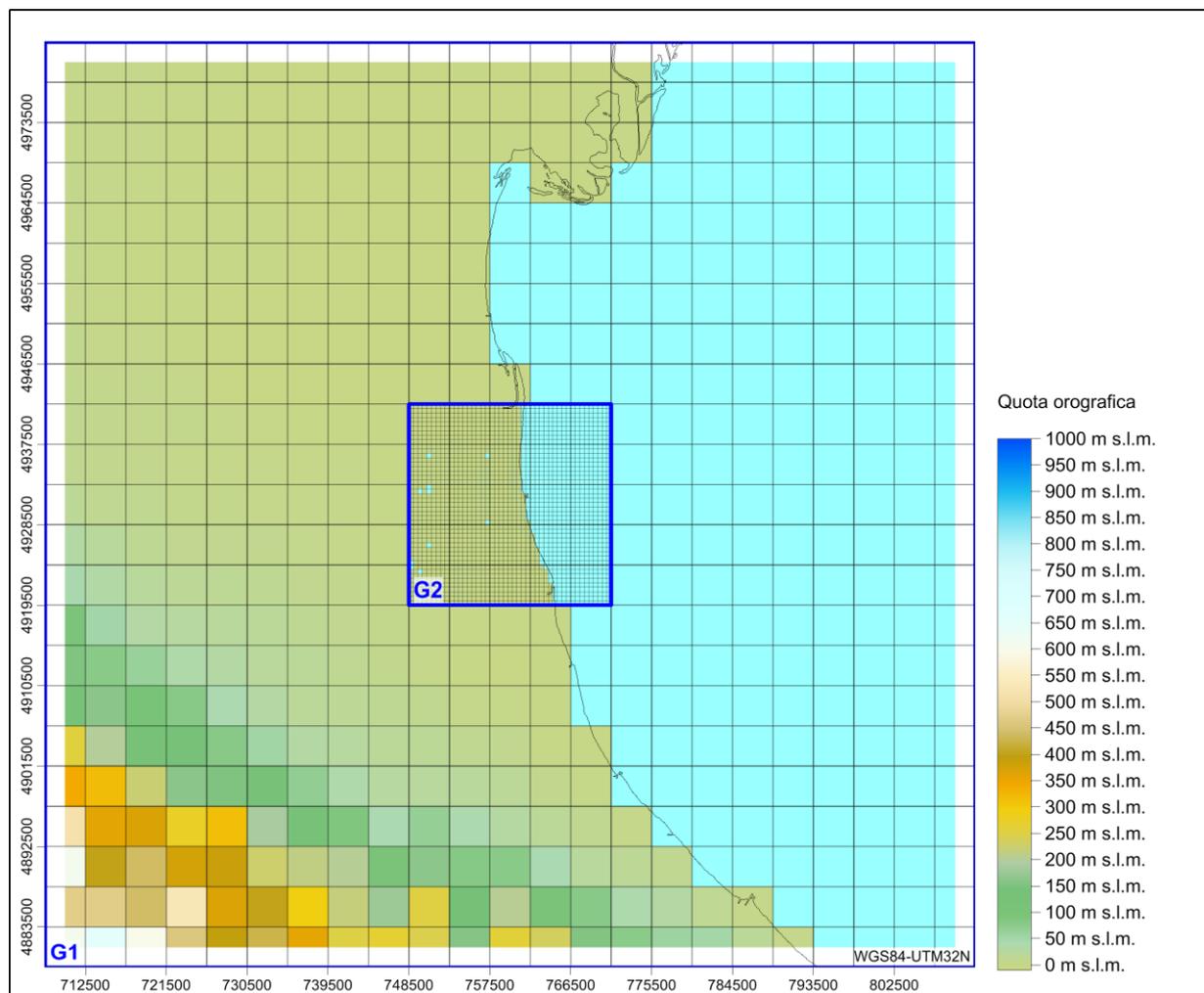


Figura 4.1 – Domini di calcolo (G1 e G2) e quota orografica alla risoluzione del modello meteorologico CALMET

4.4.1.1.2 Uso del suolo

Per definire lo stato di uso del suolo con cui caratterizzare i parametri che, insieme alla quota, definiscono lo stato fisico di ciascuna cella del modello (z_0 , albedo, Bowen ratio, Soil Heat Flux, Anthropogenic Heat Flux, Leaf Area Index), è stato fatto uso dei dati derivati dal progetto Global Land Cover Characterization (GLCC) con risoluzione di 30 secondi d'arco (~1 km) sviluppato congiuntamente da "U.S. Geological Survey's" (USGS), "National Center for Earth Resources Observation and Science" (EROS), "University of Nebraska-Lincoln" (UNL) e "Joint Research Centre of the European Commission" (Figura 4.2).

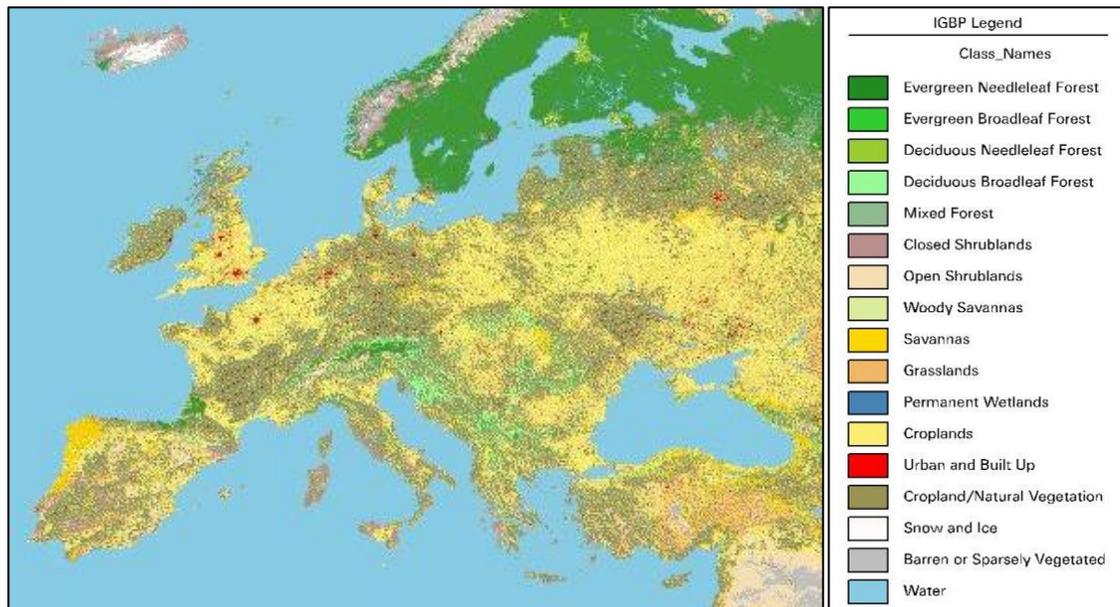


Figura 4.2 – Global Land Cover Characterization (GLCC)

Per ogni cella di ciascun dominio dell'area di studio (definiti al paragrafo 4.4.1) sono state derivate, per mezzo del pre-processore CTGPROC (v7.0, Level 150211), le percentuali di occupazione delle differenti classi USGS (38 categorie, secondo il Livello II del sistema "U.S. Geological Survey Land Use Classification System"), con variazione stagionale dei parametri fisiografici.

Il modello CALMET definisce un sistema costituito da 14 categorie di uso del suolo, basato sul sistema "U.S. Geological Survey Land Use Classification System" (Tabella 4.1). Per ogni categoria CALMET è stato definito un valore medio stagionale di ciascun parametro fisiografico.

Ad ogni categoria di uso del suolo USGS (come detto, 38 categorie) è stata associata una categoria del sistema di classificazione in uso da CALMET (come detto, 14 categorie), secondo la corrispondenza riportata in Tabella 4.2.

Infine, tramite il pre-processore MAKEGEO (v3.2, Level 110401), ad ogni cella sono stati attribuiti i parametri fisiografici stagionali ottenuti come media dei parametri associati a ciascuna classe di uso del suolo ricadente nella cella, pesata sulla percentuale di copertura di ogni classe sul totale dell'area della cella stessa.

In Figura 4.3 è riportata, per ogni cella dei domini di calcolo CALMET, la categoria di uso del suolo prevalente assegnata dal pre-processore MAKEGEO.

Tabella 4.1 – Categorie di uso del suolo adottate dal modello CALMET

CALMET Land Use Categories	
10	Urban or Built-up Land
20	Agricultural Land – Unirrigated
-20	Agricultural Land – Irrigated
30	Rangeland
40	Forest Land
51	Water
54	Small Water Body
55	Large Water Body
60	Wetland
61	Forested Wetland
62	Nonforested Wetland
70	Barren Land
80	Tundra
90	Perennial Snow or Ice

Tabella 4.2 – Assegnazione valori da categorie USGS a categorie di uso del suolo CALMET

USGS Category Level I		USGS Category Level II		CALMET Category
10	Urban or Built-up Land	11	Residential	10
		12	Commercial and Services	10
		13	Industrial	10
		14	Transportation, Communications and Utilities	10
		15	Industrial and Commercial Complexes	10
		16	Mixed Urban or Built-up Land	10
		17	Other Urban or Built-up Land	10
20	Agricultural Land	21	Cropland and Pasture	20
		22	Orchards, Groves, Vineyards, Nurseries, and Ornamental Horticultural Areas	20
		23	Confined Feeding Operations	20
		24	Other Agricultural Land	20
30	Rangeland	31	Herbaceous Rangeland	30
		32	Shrub and Brush Rangeland	30
		33	Mixed Rangeland	30
40	Forest Land	41	Deciduous Forest Land	40
		42	Evergreen Forest Land	40
		43	Mixed Forest Land	40
50	Water	51	Streams and Canals	51
		52	Lakes	51
		53	Reservoirs	51
		54	Bays and Estuaries	54
		55	Oceans and Seas	55
60	Wetland	61	Forested Wetland	61
		62	Non forested Wetland	62
70	Barren Land	71	Dry Salt Flats	70
		72	Beaches	70
		73	Sandy Areas Other than Beaches	70
		74	Bare Exposed Rock	70
		75	Strip Mines, Quarries, and Gravel Pits	70
		76	Transitional Areas	70
		77	Mixed Barren Land	70
80	Tundra	81	Shrub and Brush Tundra	80
		82	Herbaceous Tundra	80
		83	Bare Ground Tundra	80
		84	Wet Tundra	80
		85	Mixed Tundra	80
90	Perennial Snow or Ice	91	Perennial Snowfields	90
		92	Glaciers	90

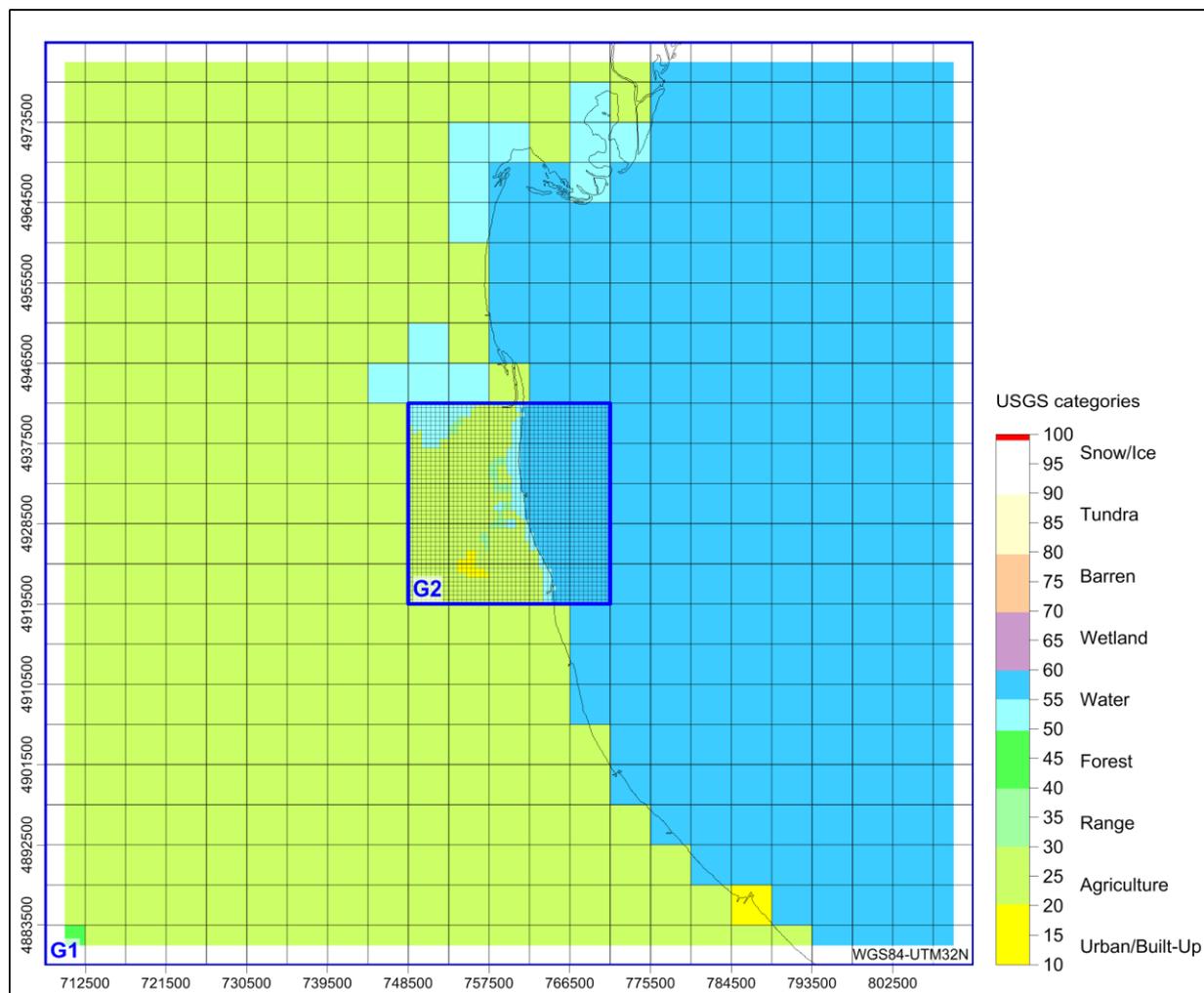


Figura 4.3 – Classe prevalente di uso del suolo alla risoluzione del modello meteorologico CALMET

4.4.1.2 Sostanze considerate

Le sostanze considerate in emissione sono gli ossidi di azoto (NO_x), il monossido di carbonio (CO) e, per il solo assetto proposto, l'ammoniaca (NH_3).

Il funzionamento della Centrale non prevede l'emissione di particolato primario. Nelle simulazioni, quindi, si tiene conto del solo particolato secondario (SPM) frutto della trasformazione dei precursori gassosi, NO_x in nitrati (NO_3^-) e NH_3 in ammonio (NH_4^+).

4.4.1.3 Schemi chimici

Le emissioni di ossidi di azoto sono inizialmente costituite quasi interamente da monossido di azoto (NO). Al fine di tenere conto dei processi di trasformazione di NO in biossido di azoto (NO_2), è stato utilizzato lo schema RIVAD/ARM3 (Morris et al., 1988) che include sette specie d'inquinanti (SO_2 , SO_4 , NO, NO_2 , HNO_3 , NO_3 , PM_{10}) ed implementa l'ossidazione del monossido di azoto ad opera dell'ozono (O_3) e la fotodissociazione diurna del biossido di azoto in monossido di azoto ed ozono.

L'algoritmo non è invece in grado di considerare la trasformazione di NH_3 in ammonio (NH_4^+) che, come detto, costituisce un'ulteriore frazione del particolato secondario. Ai fini del presente studio tale contributo è stato calcolato con un approccio notevolmente cautelativo, considerando la completa trasformazione di NH_3 in ammonio (NH_4^+) all'interno del dominio di calcolo. Tale assunzione comporta una sovrastima dell'ammonio prodotto all'interno del dominio, e quindi delle concentrazioni di particolato secondario previste. Nella realtà il processo di trasformazione di NH_3 in ammonio (NH_4^+) è graduale e dipende da una molteplicità di fattori, non ultima dalla capacità reattiva dell'atmosfera, con reazioni chimiche che richiedono un certo tempo di residenza in aria affinché possano avere luogo con una produzione di NH_4^+ . Durante tale tempo la massa d'aria è progressivamente trasportata in aree lontane dall'emissione (in dipendenza dell'intensità del vento) e diluita per effetto della turbolenza atmosferica. In generale, dati sperimentali presenti in letteratura (ad es. "Air Pollution Effects on Biodiversity", J.R. Barker, D.T. Tingey) consentono di valutare che affinché la trasformazione di NH_3 in ammonio (NH_4^+) abbia un buon grado di completamento siano necessari tempi di residenza circa un'ora.

Per implementare correttamente lo schema RIVAD/ARM3, sono state fornite al codice CALPUFF le concentrazioni medie orarie in aria ambiente di ozono misurate, nel corso del periodo di interesse, presso alcune postazioni dislocate sull'intero territorio nazionale. Tali dati di concentrazione sono stati estratti dal servizio "Air Quality e-Reporting" di EEA (European Environment Agency, www.eea.europa.eu). Nello specifico, sono stati estratti tutti i dati orari di concentrazione di ozono presenti nel Database, aggiornato al 23 novembre 2017, relativi a stazioni di fondo rurale, ovvero localizzate in contesti lontani da specifici e locali fonti di inquinamento.

Fanno eccezione le postazioni afferenti alla regione Sicilia, ancora non presenti nel Database EEA, i cui dati relativi a due postazioni di fondo urbano sono stati ricavati dal servizio di fornitura dei dati annuali di ARPA Sicilia (www.arpa.sicilia.it).

In Figura 4.4 è riportata la localizzazione geografica delle 55 postazioni selezionate in base a rappresentatività e completezza dei dati nel periodo di interesse. Il codice modellistico CALPUFF è strutturato in modo da utilizzare, per ognuna delle ore della simulazione, le informazioni valide relative alla postazione maggiormente prossima a ciascuno dei "puff" emessi. Vista la natura regionale dell'inquinante ed il ruolo di tali dati nel modello, è possibile ritenere che il data set implementato sia rappresentativo dell'andamento della concentrazione di ozono per il sito in esame.

In Figura 4.5 è riportato l'andamento del giorno medio di ozono nel periodo in esame relativo alla postazione più vicina alla Centrale Enel "Teodora" di Porto Corsini, localizzata a circa 23 km in direzione Ovest dalla Centrale (longitudine 11.981, latitudine 44.526, quota di 1 m s.l.m.) ed identificata come "IT1927A".

4.4.1.4 Effetto Building Downwash

La valutazione dell'effetto "Building Downwash" è stata condotta applicando la metodologia di riferimento, sviluppata dall'Agenzia per la Protezione dell'Ambiente statunitense (US-EPA), "Good Engineering Practice stack height and Building guidance" al layout di impianto. In Figura 4.6 sono visualizzate le ciminiere e le circostanti strutture di altezza potenzialmente interferente nella configurazione di progetto.

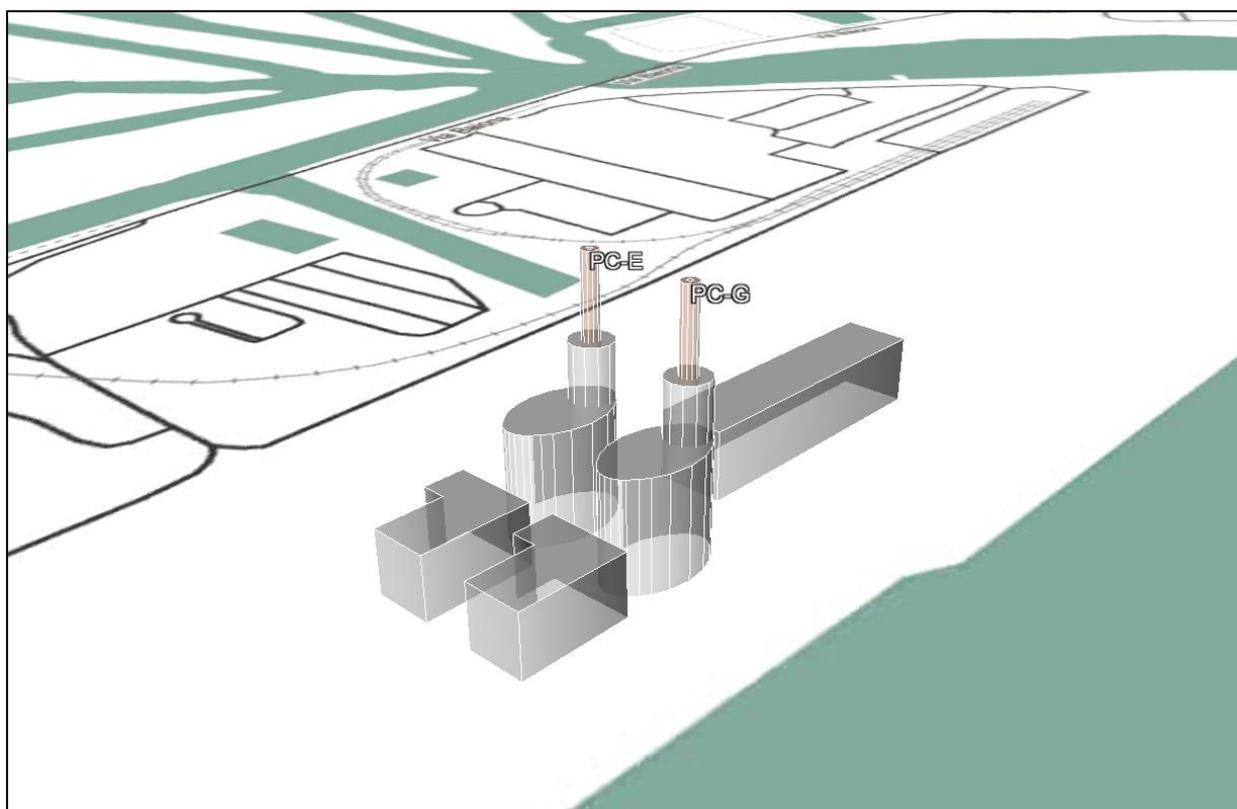


Figura 4.6 – Rappresentazione ai fini dell'effetto "building downwash" delle principali strutture in prossimità dei punti di emissione convogliata (© OpenStreetMap contributors)

4.4.2 Analisi meteorologica

4.4.2.1 Selezione della stazione meteorologiche di confronto

Al fine di valutare la coerenza della meteorologia prodotta dalla catena modellistica, è stata selezionata la stazione meteorologica Cervia Aeroporto come rappresentativa della meteorologia dell'area in esame. La localizzazione e le principali caratteristiche della stazione sono riportate in Tabella 4.3 e Figura 4.7. Nel seguito si presenta l'analisi e il confronto rispetto all'output della catena modellistica dei principali parametri meteorologici.

Tabella 4.3 – Localizzazione della stazione meteo locale

Fonte	Nome	Coordinate geografiche (WGS84)		Quota	Dist. C.le
		Longitudine	Latitudine	m s.l.m.	km
Aeronautica Militare	Cervia Aeroporto (LIPC)	12.3	44.22	10	29

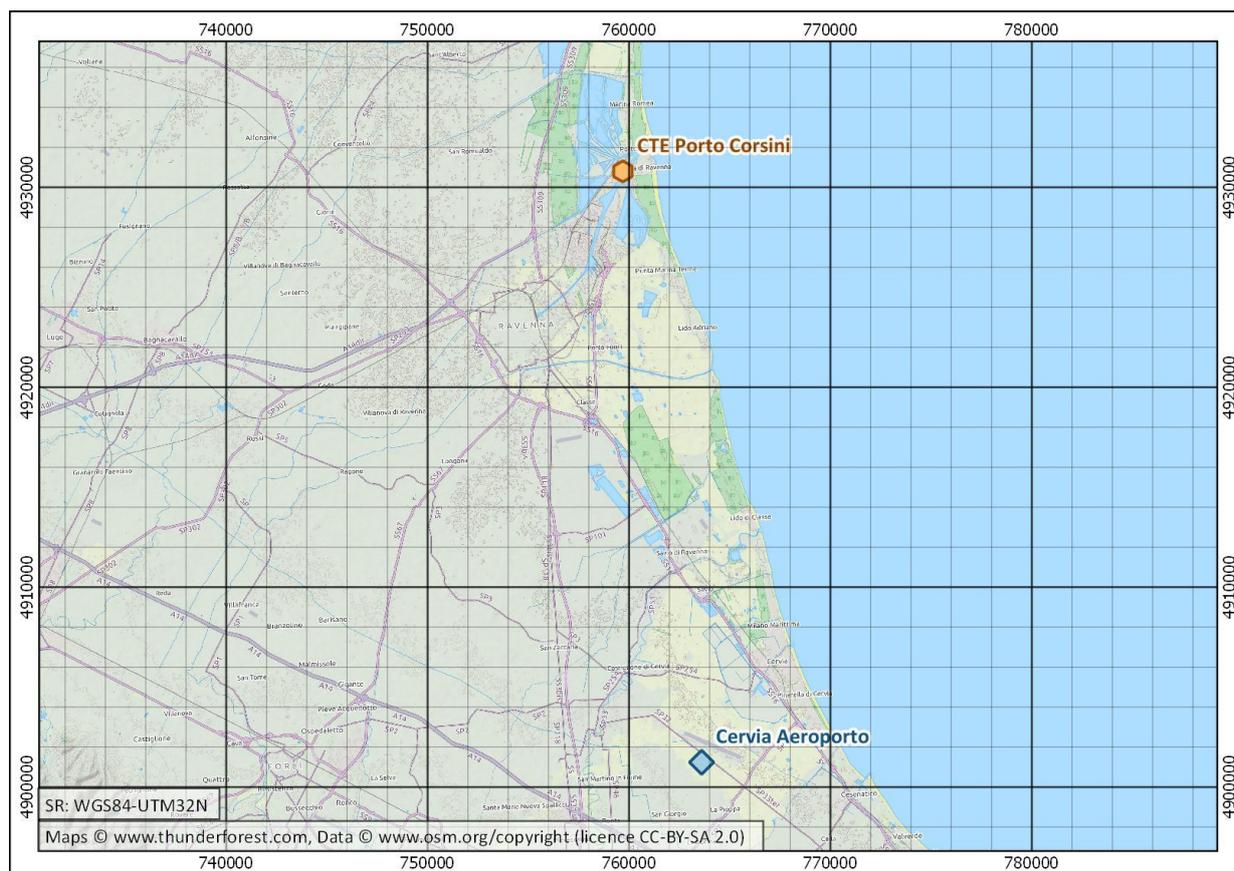


Figura 4.7 – Localizzazione della stazione meteo Cervia Aeroporto (LIPC)

4.4.2.2 Confronto modello con misure meteorologiche

La valutazione della rappresentatività della meteorologia prodotta dai modelli è stata effettuata mediante il confronto tra i principali parametri meteorologici derivati da locali stazioni di misura e corrispondente ricostruzione modellistica.

Nella Figura 4.8 e nella Figura 4.9, sono riportate le rose dei venti totali, diurne e notturne dei dati misurati nella stazione Cervia Aeroporto e quelli stimati dal modello WRF in corrispondenza della stessa, nel triennio 2013-2015.

Il confronto tra i dati misurati e le stime modellistiche risulta soddisfacente, con entrambe le rose dei venti totali che mettono in evidenza venti di maggiore frequenza di provenienza Ovest. Si riconosce un'intensità del vento stimata dal sistema modellistico moderatamente più alta di quella misurata, 3.0 m/s su base media a fronte di 2.4 m/s. L'analisi delle rose diurne e notturne, mostra la circolazione delle

brezze di terra e di mare, con l'accentuarsi delle provenienze delle masse d'aria al livello del suolo da ENE di giorno e quella da OSO di notte. Tale circolazione è evidente sia nelle rose dei dati sperimentali, sia in quelle dei dati ricostruiti per via modellistica.

Anche il confronto delle rose stagionali (Figura 4.10 e Figura 4.11) relative ai dati sperimentali e quelli stimati dal modello è soddisfacente. Si riconosce la decisa prevalenza della provenienza dal quarto quadrante (NO) nella stagione fredda, ed una più uniforme distribuzione delle provenienze da Est ed Ovest nella stagione calda.

Nella Tabella 4.4, nella Tabella 4.5, nella Figura 4.12 e nella Figura 4.13, sono riportati gli andamenti termici dei dati misurati nella stazione Cervia Aeroporto e quelli stimati dal modello WRF in corrispondenza della stessa, nel corso del triennio 2013-2015. Il confronto tra i dati misurati e le stime modellistiche è soddisfacente, con un andamento medio mensile che risulta molto ben sovrapponibile. I valori medi mensili differiscono al più di 2 °C, mentre in termini di media annua la differenza è inferiore a 1 °C. Anche i valori estremi risultano molto coerenti, con la temperatura minima assoluta misurata di -4 °C e massima assoluta di 36 °C, a fronte di valori ricostruiti per via modellistica di -3 °C e di 35 °C rispettivamente.

In generale, quindi, l'analisi condotta permette di affermare che la ricostruzione modellistica appare adeguata a rappresentare con opportuna confidenza le principali variabili meteorologiche che governano la dispersione in atmosfera.

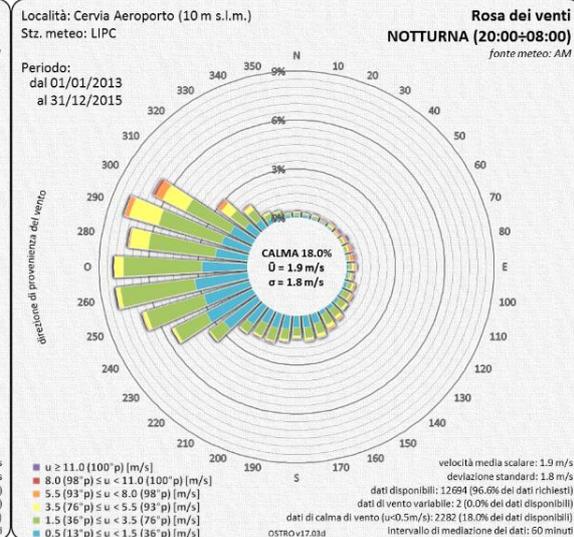
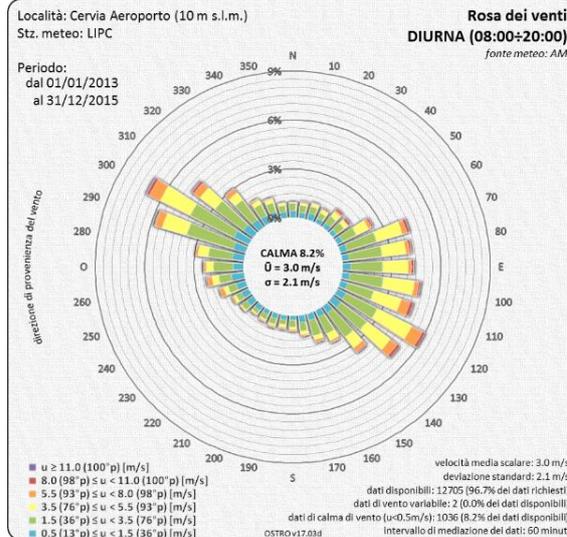
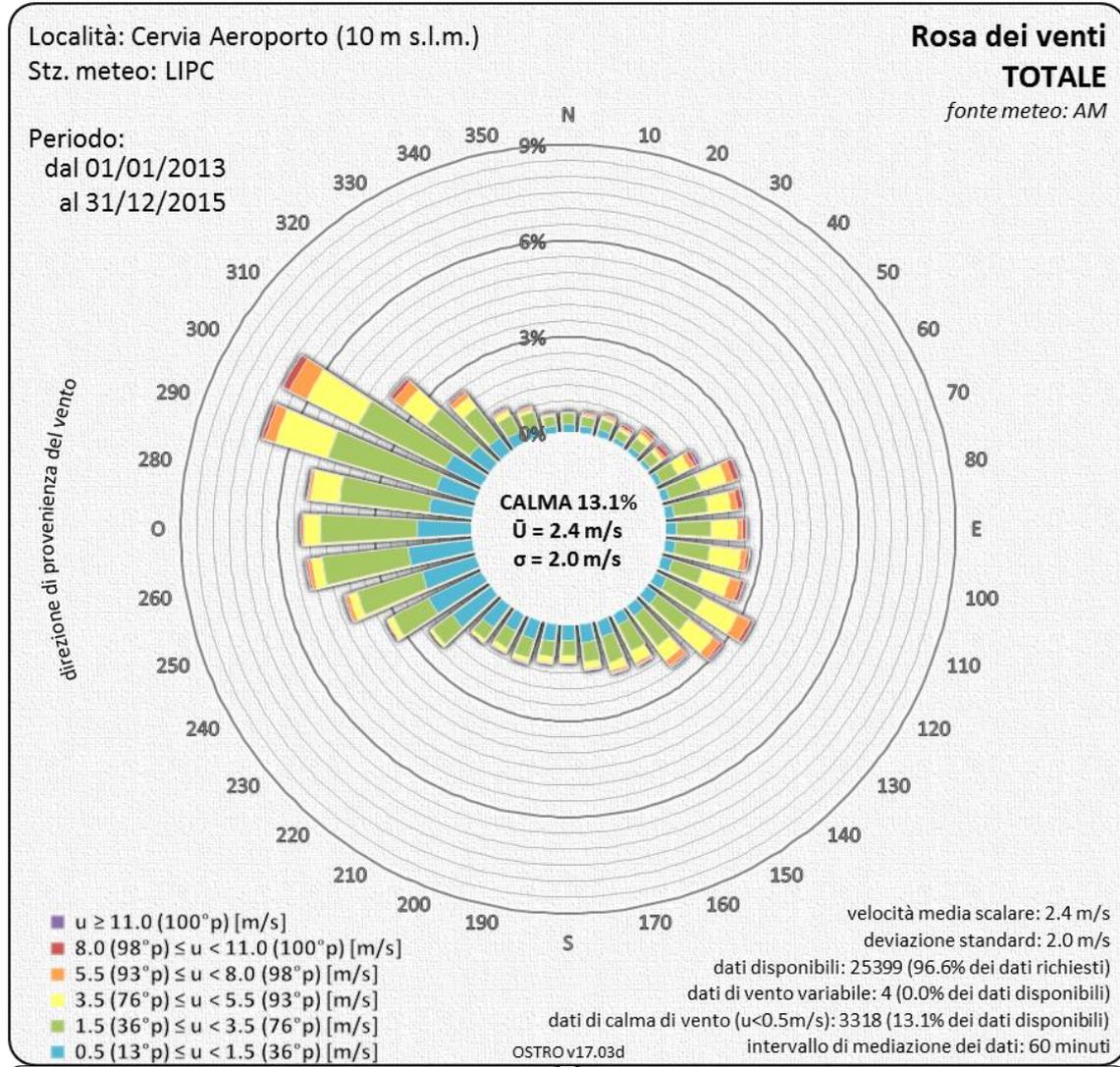


Figura 4.8 – Dati stazione meteo Cervia Aeroporto. Rose dei venti totale, diurna e notturna. Dati misurati nel periodo 2013-2015.

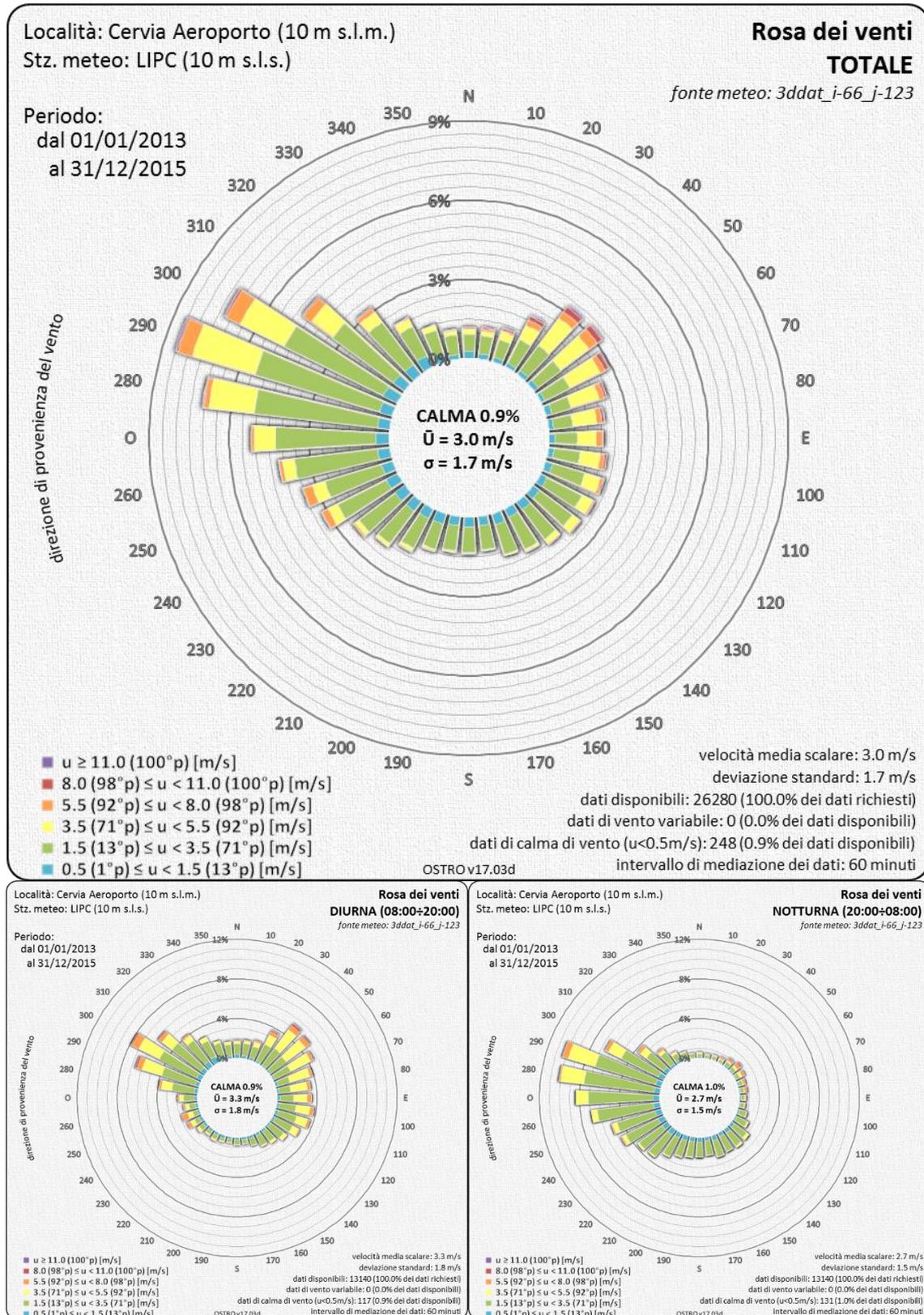


Figura 4.9 – Dati estratti dal modello WRF in corrispondenza della stazione meteo Cervia Aeroporto. Rose dei venti totale, diurna e notturna. Dati stimati nel periodo 2013-2015.

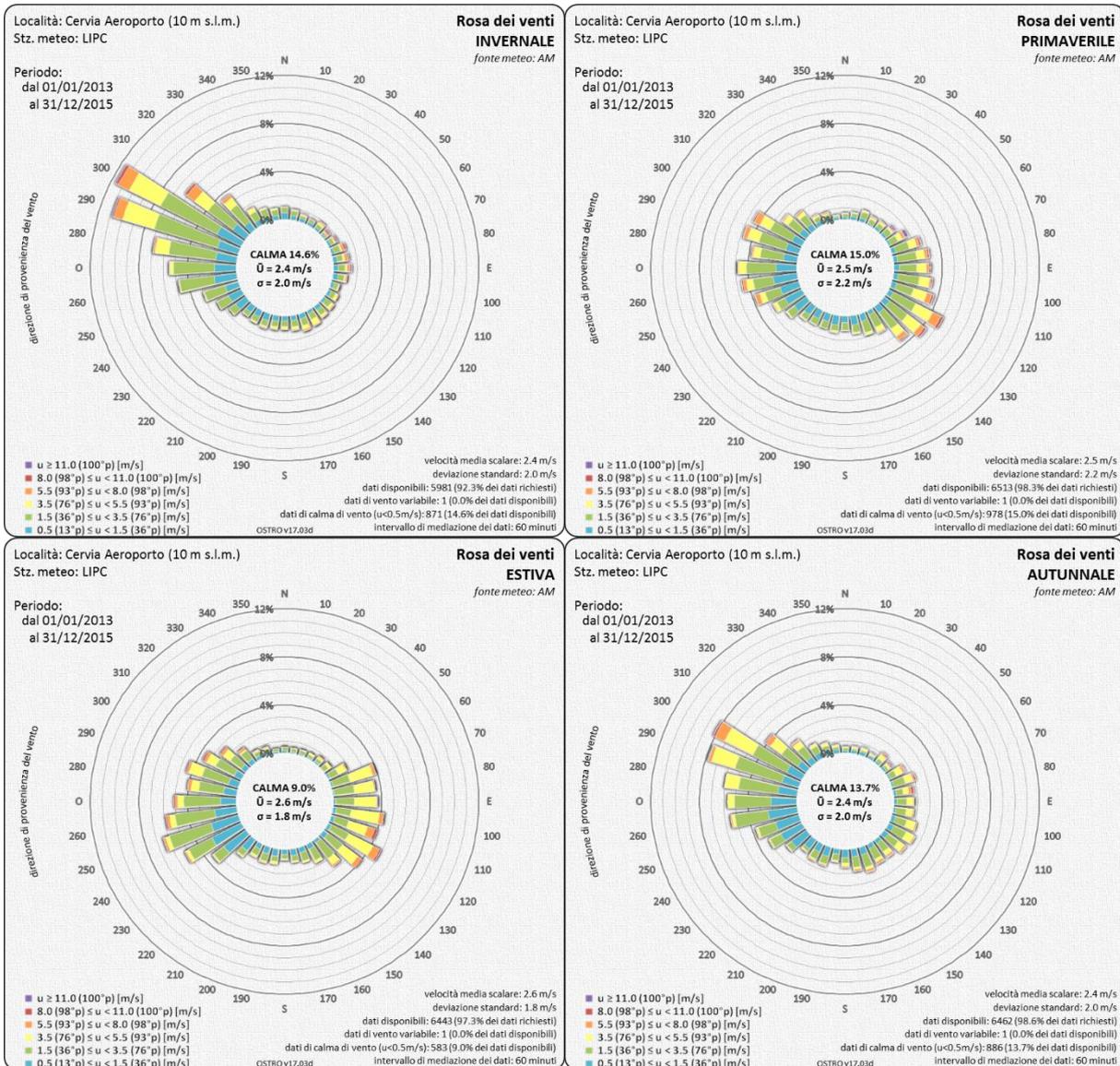


Figura 4.10 – Dati stazione meteo Cervia Aeroporto. Rose dei venti stagionali. Dati misurati nel periodo 2013-2015.

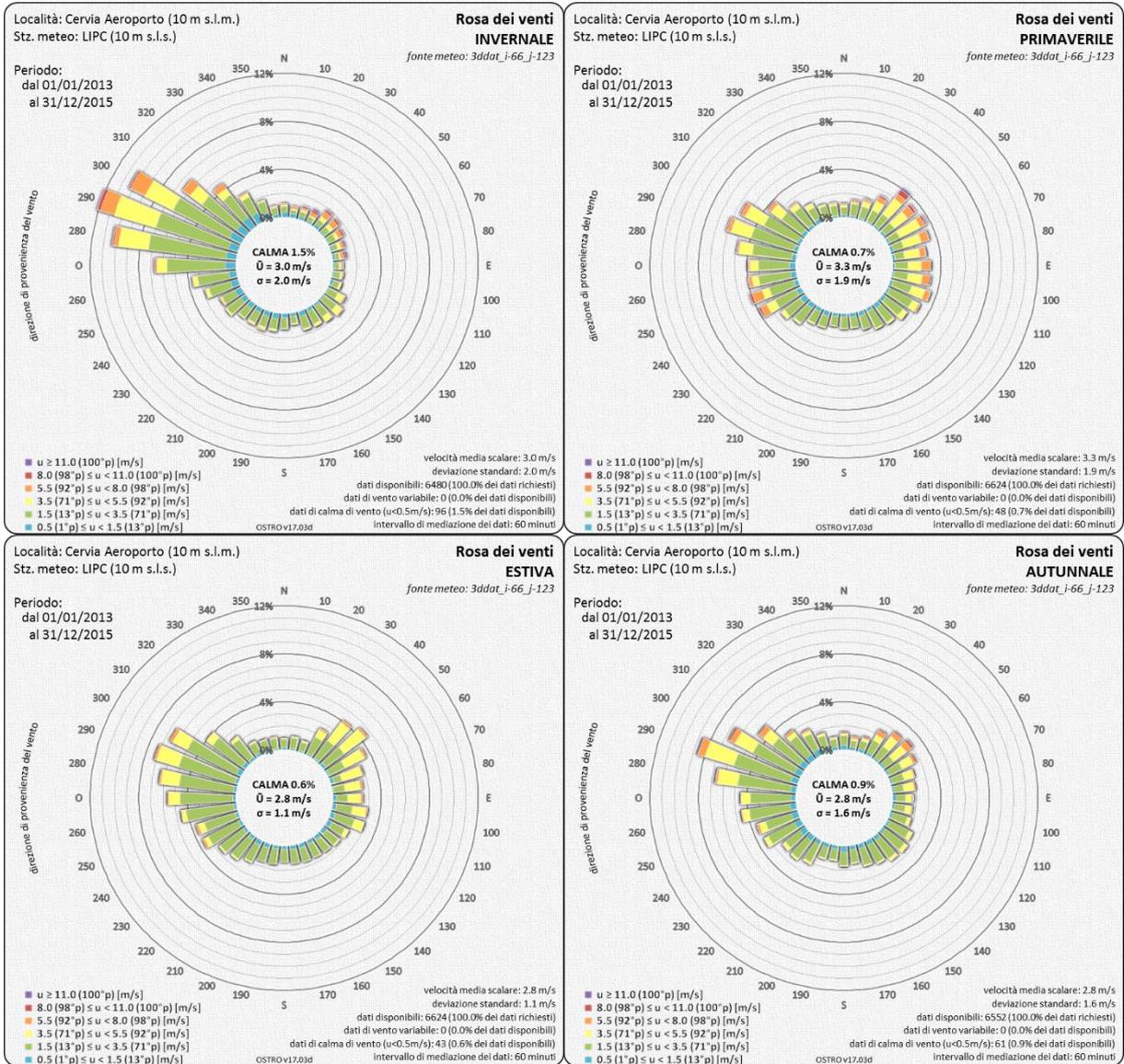
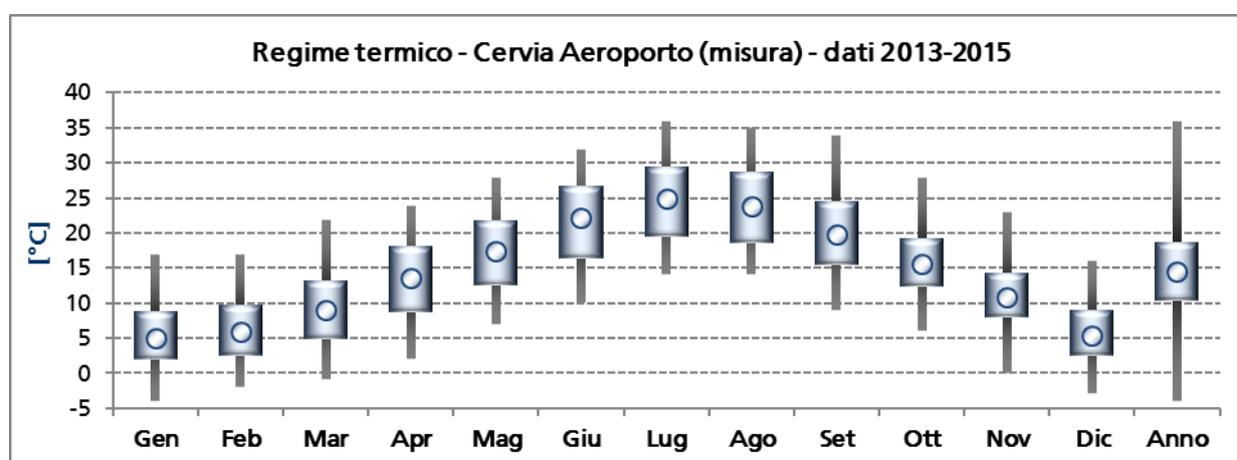


Figura 4.11 – Dati estratti dal modello WRF in corrispondenza della stazione meteo Cervia Aeroporto. Rose dei venti stagionali. Dati stimati nel periodo 2013-2015.

**Tabella 4.4 – Regime termico, stazione Cervia Aeroporto. Periodo 2013-2015.
(elaborazione da fonte dati Aeronautica Militare)**

Parametro	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Anno
Disponibilità	99	100	100	100	100	100	100	98	100	98	98	97	99
Massima	17.0	17.0	22.0	24.0	28.0	32.0	36.0	35.0	34.0	28.0	23.0	16.0	36.0
Media massima	8.7	9.7	13.2	18.0	21.8	26.7	29.4	28.7	24.5	19.2	14.3	8.9	18.7
Media	5.0	5.9	9.0	13.6	17.4	22.1	24.9	23.9	19.9	15.6	10.8	5.4	14.5
Media minima	2.0	2.6	5.0	8.8	12.6	16.4	19.5	18.6	15.5	12.4	8.0	2.5	10.4
Minima	-4.0	-2.0	-1.0	2.0	7.0	10.0	14.0	14.0	9.0	6.0	0.0	-3.0	-4.0



**Figura 4.12 – Regime termico, stazione Cervia Aeroporto. Periodo 2013-2015.
(elaborazione da fonte dati Aeronautica Militare)**

Tabella 4.5 – Regime termico in corrispondenza della stazione Cervia Aeroporto da ricostruzione modellistica (WRF). Periodo 2013-2015.

Parametro	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Anno
Disponibilità	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Massima	17.8	19.5	21.0	23.7	28.7	30.4	34.9	32.5	32.2	27.3	22.2	18.7	34.9
Media massima	10.3	10.5	13.5	18.0	22.0	26.0	28.7	27.8	23.9	19.7	15.0	10.8	18.9
Media	7.0	7.3	10.1	13.9	17.6	21.4	24.2	23.3	20.0	16.4	11.9	7.7	15.1
Media minima	3.6	3.7	6.2	9.2	12.1	15.0	18.0	17.1	15.2	12.9	8.5	4.2	10.5
Minima	-2.9	-1.1	-0.3	3.0	6.8	9.1	11.7	12.7	10.3	6.3	-1.5	-2.0	-2.9

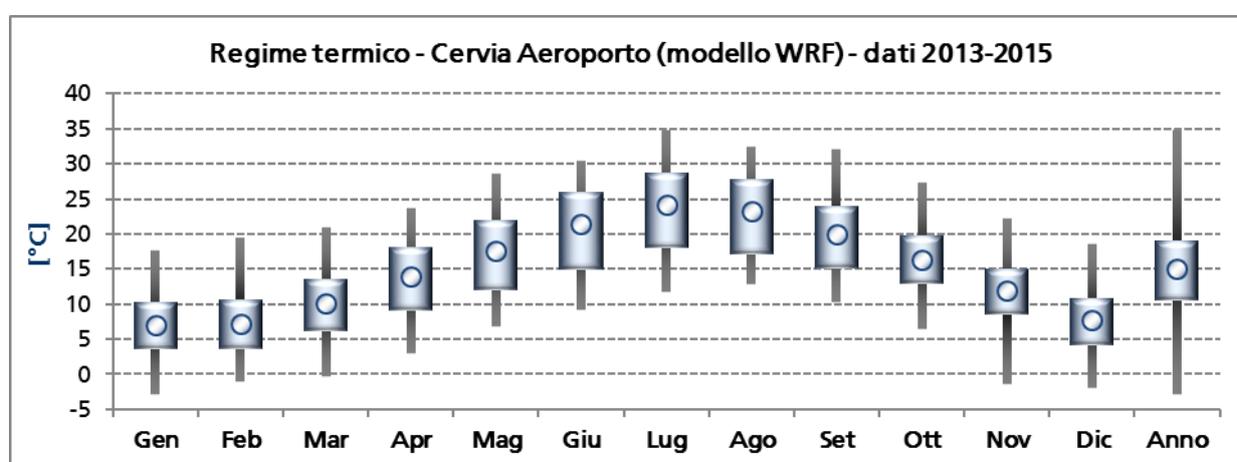


Figura 4.13 – Regime termico in corrispondenza della stazione Cervia Aeroporto da ricostruzione modellistica (WRF). Periodo 2013-2015.

4.4.2.3 Stabilità atmosferica e altezza strato rimescolato nell'area

La Figura 4.14 riporta la distribuzione nelle ore del giorno della classe di stabilità atmosferica secondo la classificazione di Pasquill-Gifford, su base annuale e stagionale. I valori orari analizzati sono stati estratti dai campi prodotti dal modello CALMET in corrispondenza dell'impianto per il triennio 2013-2015. Si evidenzia l'effetto mitigante del mare e quello della sostenuta circolazione atmosferica che accentuano la frequenza della classe "D" neutra, a scapito delle classi più stabili durante le ore notturne e di quelle più instabili di giorno. Tale comportamento è tipico dei siti costieri, dove avviene la transizione tra le caratteristiche dell'atmosfera di ambienti marini e di quelle terrestri. L'analisi stagionale mette in evidenza come tale effetto si verifichi principalmente nelle stagioni fredde, mentre in quelle calde risulta meno evidente. L'analisi della distribuzione estiva mostra, infatti, che le condizioni di neutralità (classi "D" e "C") prevalgono solo nelle fasi di transizione notte/giorno (ore 6-7) e giorno/notte (ore 19-20), mentre nel corso del giorno prevalgono le condizioni di instabilità (classi "A" e "B") con frequenze superiori al 90%, e nel corso della notte prevalgono le condizioni di stabilità (classi "E" ed "F") con frequenze anch'esse superiori al 90%.

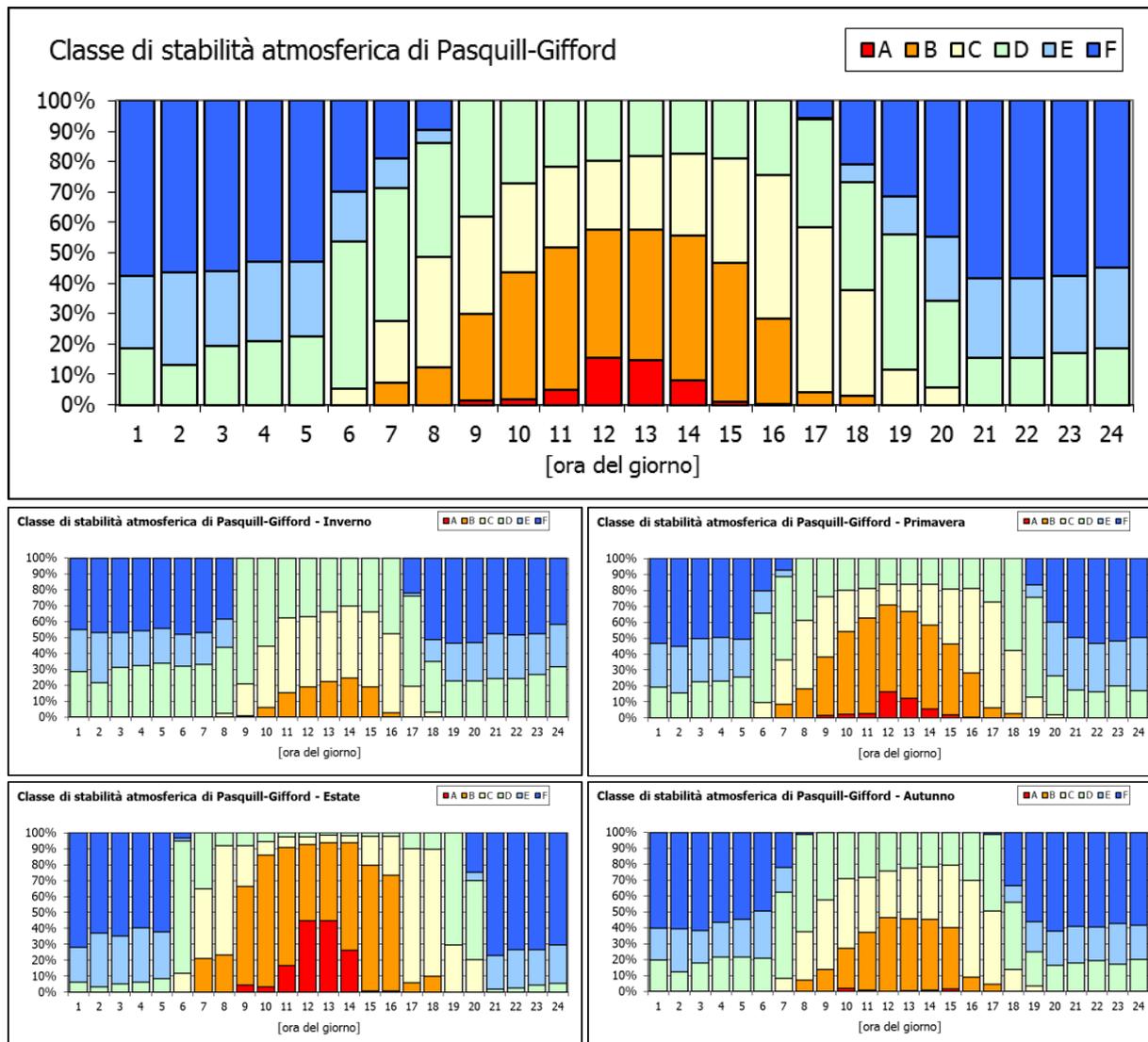


Figura 4.14 – Distribuzioni orarie della classe di stabilità atmosferica di Pasquill-Gifford calcolate su base annuale e stagionale. Periodo 2013-2015. Valori orari estratti dal modello CALMET in corrispondenza della Centrale.

La Figura 4.15 sintetizza gli andamenti medi nel giorno, su base stagionale, dell'altezza dello strato rimescolato. I valori orari analizzati sono stati estratti dai campi prodotti dal modello CALMET in corrispondenza dell'impianto per il triennio 2013-2015. Anche tale parametro evidenzia la natura costiera del sito, con uno sviluppo verticale dell'altezza dello strato rimescolato ridotto rispetto all'entroterra per effetto della prossimità del mare.

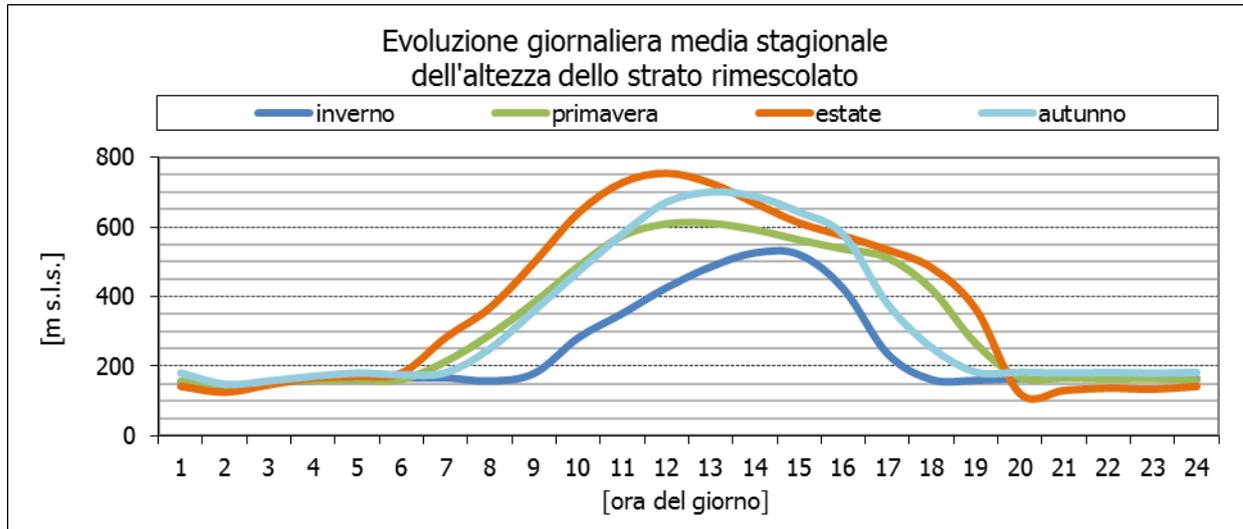


Figura 4.15 – Evoluzione giornaliera media dell'altezza dello strato rimescolato calcolata su base stagionale. Periodo 2013-2015. Valori orari estratti dal modello CALMET in corrispondenza della Centrale.

4.4.3 Scenari emissivi

L'input emissivo è costituito dalle sorgenti puntuali a rappresentazione della emissione dei fumi di combustione dalle sezioni di uscita dei camini dei turbogas.

Per la definizione dei parametri di input del modello, si è fatto uso delle grandezze riportate in Tabella 2.1, Tabella 2.2 e Tabella 2.3. Sono quindi stati definiti due scenari:

- Scenario "autorizzato": emissione dai camini delle unità esistenti PC-E (unità 3) e PC-G (unità 4).
- Scenario "upgrade": emissione dai camini delle unità PC-E e PC-G a seguito dell'intervento di upgrade (cfr. capitolo 2).

Gli effetti sulla qualità dell'aria delle emissioni convogliate sono stati stimati assumendo le seguenti ipotesi:

- concentrazioni alle emissioni pari:
 - per le unità esistenti, ai valori autorizzati;
 - per le unità oggetto di modifica, ai valori proposti per il progetto nel pieno rispetto dei *Best Available Techniques reference documents (BREFs)* di settore;
- sezioni d'impianto esercite a carico nominale costante (8'760 ore/anno) per l'intera durata della simulazione (triennio 2013-2015);

L'assunzione del carico nominale costante per tutta la durata della simulazione alle concentrazioni autorizzate/proposte consente di ritenere cautelative le stime ottenute dalla simulazione, sia in termini di concentrazioni medie annue sia in termini di concentrazioni orarie e giornaliere. Per queste ultime, in particolare, la simulazione assicura cautelativamente la valutazione dell'impatto associato alla massima emissione nelle ore più sfavorevoli dal punto di vista meteorologico alla dispersione degli inquinanti.

È inoltre importante tenere in considerazione che i risultati ottenuti con la metodologia adottata presentano un ulteriore fattore conservativo, rappresentato dal fatto che nel reale esercizio l'impianto è soggetto sia a periodi di fermo di uno o più gruppi, sia a periodi di esercizio di uno o più gruppi a carico ridotto. Infatti, coerentemente con le finalità dello studio, la simulazione condotta non ha l'obiettivo di rappresentare il reale impatto associato all'impianto in un definito periodo storico, ma la massima estensione e relativa entità potenziale dell'impatto associato alle emissioni convogliate in condizioni di massimo carico emissivo.

4.5 Valutazione degli effetti sulla qualità dell'aria

La Tabella 4.6 riporta il confronto tra gli standard di qualità dell'aria (SQA) previsti dalla normativa vigente e la stima delle ricadute della Centrale prodotte dal modello CALPUFF sulla griglia regolare di recettori per i due scenari considerati.

Il confronto è stato effettuato sia in termini di concentrazione nel punto di massimo impatto, sia in termini di media spaziale della concentrazione sull'intero dominio di calcolo.

In generale, si evidenzia il rispetto di tutti i limiti di legge, con ricadute inferiori ai valori limite per tutti gli inquinanti e per entrambi gli scenari considerati, anche nel punto di massima ricaduta.

Tabella 4.6 – Confronto tra SQA e contributo della Centrale, valore massimo e valore medio spaziale nel dominio di calcolo

Rif. Tavola	Parametro ⁽¹⁾	U.m.	Limite di legge (D.Lgs. 155/2010) ⁽²⁾	Area di 18.5 x 18.5 km ²			
				Valore massimo		Valore medio	
				Scenario "autorizzato"	Scenario "upgrade"	Scenario "autorizzato"	Scenario "upgrade"
01	NO ₂ – Concentrazione media annua	[µg/m ³]	40 (V.L.)	0.39	0.15	0.13	0.04
02	NO ₂ – Concentrazione oraria superata 18 volte per anno civile	[µg/m ³]	200 (V.L.)	26	11	8	3
03	NO _x – Concentrazione media annua	[µg/m ³]	30 (L.C.)	0.52	0.20	0.17	0.06
04	SPM ⁽³⁾ – Concentrazione media annua	[µg/m ³]	- ⁽⁴⁾	0.009	0.113	0.006	0.034
05	SPM ⁽³⁾ – Concentrazione giornaliera superata 35 volte per anno civile	[µg/m ³]	- ⁽⁵⁾	0.03	0.43	0.02	0.12
06	CO – Concentrazione media massima giornaliera calcolata su 8 ore	[mg/m ³]	10 (V.L.)	0.02	0.03	0.01	0.01

⁽¹⁾ I valori riportati in tabella rappresentano il massimo tra i singoli valori stimati per ciascun anno del triennio 2013-2015

⁽²⁾ L.C. = Livello Critico, V.L. = Valore Limite

⁽³⁾ SPM = Particolato secondario, somma delle masse di NO₃⁻ e NH₄⁺ provenienti dalle emissioni di NO_x e NH₃.
Non essendoci emissione di particolato primario, tutto il particolato associabile all'impianto è particolato secondario.

⁽⁴⁾ Il D. Lgs. 155/2010 prevede un valore limite alla concentrazione media per anno civile di PM₁₀ pari a 40 µg/m³ e di PM_{2.5} pari a 25 µg/m³

⁽⁵⁾ Il D. Lgs. 155/2010 prevede un valore limite alla concentrazione media giornaliera di PM₁₀ pari a 50 µg/m³ da non superare più di 35 volte per anno civile

Per i medesimi SQA, si riportano nelle tavole fuori testo le mappe di iso-concentrazione in aria ambiente che rappresentano le stime modellistiche, nelle condizioni definite dagli scenari "autorizzato" e

“upgrade”, del contributo della Centrale alle ricadute sul territorio circostante. Per tutte le tavole, i valori rappresentati corrispondono al massimo tra le singole stime annue ottenute per il triennio simulato su ciascuna cella del dominio.

Le tavole identificate con il prefisso “AL” si riferiscono alla stima delle concentrazioni in aria ambiente nell’area identificata come “Area Locale”, compresa nel dominio G2, mentre quelle identificate con il prefisso “AV” si riferiscono alla stima delle concentrazioni nell’area identificata come “Area Vasta”, coincidente col dominio G1. I numeri progressivi che seguono il prefisso “AL” o “AV” identificano il parametro secondo la corrispondenza univoca riportata in Tabella 4.7. Infine, il suffisso “a” o “u” identifica rispettivamente lo scenario “autorizzato” o quello “upgrade”.

Tabella 4.7 – Identificativi di parametro adottati nelle tavole fuori testo

Identificativo	Parametro
01	NO ₂ – Concentrazione media annua
02	NO ₂ – Concentrazione oraria superata 18 volte per anno civile
03	NO _x – Concentrazione media (protezione della vegetazione)
04	SPM – Concentrazione media annua
05	SPM – Concentrazione giornaliera superata 35 volte per anno civile
06	CO – Concentrazione media massima giornaliera calcolata su 8 ore

4.5.1 NO₂ e NO_x

Le **tavole 01** (cfr. Tabella 4.7) riportano la stima del contributo alla concentrazione media annua in aria ambiente di NO₂ associato alle emissioni della Centrale negli scenari “autorizzato” e “upgrade”. Il D. Lgs. 155/2010 prevede un valore limite alla concentrazione media per anno civile di NO₂ pari a 40 µg/m³.

Nello scenario “autorizzato”, l’area di maggiore impatto è localizzabile a circa 3 km in direzione NO dalla Centrale, ove si stimano contributi sempre inferiori a 0.4 µg/m³.

Nello scenario “upgrade”, si osserva una sostanziale riduzione delle concentrazioni, con impatto massimo stimato, localizzato a circa 2 km in direzione NO dalla Centrale, di 0.15 µg/m³.

Le **tavole 02** (cfr. Tabella 4.7) riportano la stima del contributo alla concentrazione media oraria di NO₂ superata 18 volte in un anno associato alle emissioni della Centrale negli scenari “autorizzato” e “upgrade”. Il D. Lgs. 155/2010 prevede un valore limite alla concentrazione media oraria di NO₂ pari a 200 µg/m³ da non superare più di 18 volte per anno civile.

Nello scenario “autorizzato”, l’area di maggiore impatto è localizzabile a circa 2-3 km in direzione NO dalla Centrale, ove si stima un contributo di circa 26 µg/m³.

Nello scenario “upgrade”, si osserva una sostanziale riduzione delle concentrazioni, con impatto massimo stimato, localizzato a circa 1 km in direzione NO dalla Centrale, di circa 11 µg/m³.

Le **tavole 03** (cfr. Tabella 4.7) riportano la stima del contributo alla concentrazione media annua in aria ambiente di NO_x associato alle emissioni della Centrale negli scenari “autorizzato” e “upgrade”. Il D. Lgs. 155/2010 prevede un livello critico a protezione della vegetazione alla concentrazione media per anno civile di NO_x pari a $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Nello scenario “autorizzato”, l’area di maggiore impatto è localizzabile a circa 3 km in direzione NO dalla Centrale, ove si stima un contributo di circa $0.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Nello scenario “upgrade”, si osserva una sostanziale riduzione delle concentrazioni, con impatto massimo stimato, localizzato a circa 2 km in direzione NO dalla Centrale, di circa $0.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

In generale, la ricostruzione modellistica delle massime ricadute in termini di concentrazione in aria ambiente di ossidi di azoto associabili all’attività della Centrale, sia nello scenario “autorizzato”, sia nello scenario “upgrade”, non evidenzia alcuna criticità.

In sintesi, è possibile valutare che il Progetto consenta una riduzione generalizzata e significativa delle ricadute in termini di ossidi di azoto rispetto allo scenario autorizzato e che, nonostante le assunzioni cautelative presenti nelle simulazioni, le ricadute sono stimate per entrambi gli scenari, inferiori di 1-2 ordini di grandezza ai limiti applicabili e possono pertanto essere considerate trascurabili o non significative nell’area di principale ricaduta e trascurabili nelle altre aree del territorio allontanandosi da questa.

4.5.2 SPM

In assenza di emissioni di polveri (e quindi di particolato primario), le uniche ricadute associate alla Centrale in merito a questo inquinante sono quelle relative al particolato secondario (SPM) e, specificatamente alla trasformazione delle emissioni gassose di ossidi di azoto (NO_x) in nitrati (NO_3), in entrambi gli scenari oggetto di studio, e alla trasformazione delle emissioni gassose di ammoniaca (NH_3) in ammonio (NH_4^+), per il solo scenario “upgrade” a seguito dell’installazione dei sistemi SCR, in linea con le BREF di settore. Tali trasformazioni avvengono successivamente all’emissione dal camino dei composti gassosi, e per questo le polveri generate sono definite secondarie. Poiché le polveri secondarie sono l’unico contributo della Centrale al particolato atmosferico, e poiché esse rientrano nella classe granulometrica del $\text{PM}_{2.5}$, le ricadute in termini di SPM (particolato secondario) costituiscono le ricadute in termini di $\text{PM}_{2.5}$ e di PM_{10} attribuibili alla Centrale.

Le **tavole 04** (cfr. Tabella 4.7) riportano la stima del contributo alla concentrazione media annua in aria ambiente di SPM (particolato secondario) associato alle emissioni della Centrale negli scenari “autorizzato” e “upgrade”.

Il D. Lgs. 155/2010 prevede un valore limite alla concentrazione media per anno civile di PM_{10} pari a $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$, e un più restrittivo valore limite alla concentrazione media per anno civile di $\text{PM}_{2.5}$ pari a $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Nello scenario “autorizzato”, dove l’unico precursore gassoso è l’ossido di azoto (NO_x), l’area di maggiore impatto è localizzabile circa 5 km in direzione Ovest dalla Centrale, ove si stimano contributi inferiori a $0.01 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Nello scenario “upgrade”, l’area di maggiore impatto è localizzabile circa 2 km in direzione NO dalla Centrale, con concentrazioni che raggiungono circa $0.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$. In tale scenario, l’introduzione dell’ammoniaca (NH_3) che si aggiunge agli ossidi di azoto (NO_x) tra i precursori del particolato secondario, porta a stimare delle ricadute in aumento rispetto allo scenario “autorizzato”. Si osserva tuttavia che, nonostante le condizioni di cautela adottate, il valore nel punto di massima ricaduta è più di 2 ordini di grandezza inferiore al limite più stringente riferito al $\text{PM}_{2.5}$ e pertanto trascurabile, e lo divengono a maggior ragione di più nelle altre aree del territorio diverse dal punto di massima ricaduta.

Le **tavole 05** (cfr. Tabella 4.7) riportano la stima del contributo alla concentrazione media giornaliera di SPM (particolato secondario) superata 35 volte in un anno associato alle emissioni della Centrale negli scenari “autorizzato” e “upgrade”.

Il D. Lgs. 155/2010 prevede un valore limite alla concentrazione media giornaliera di PM_{10} pari a $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ da non superare più di 35 volte per anno civile.

Nello scenario “autorizzato”, l’area di maggiore impatto è localizzabile circa 3-5 km in direzione Ovest, ove si stimano contributi di circa $0.03 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Nello scenario “upgrade”, l’area di maggiore impatto è localizzabile circa 2 km in direzione NO dalla Centrale, con concentrazioni che raggiungono circa $0.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Anche in questo caso si osserva che, nonostante le condizioni di cautela adottate, il valore nel punto di massima ricaduta è più di 2 ordini di grandezza inferiore al limite applicato al PM_{10} .

In generale, la ricostruzione modellistica delle massime ricadute in termini di concentrazione in aria ambiente di particolato associabili all’attività della Centrale, sia nello scenario “autorizzato”, sia nello scenario “upgrade”, non evidenzia criticità.

In sintesi, è possibile valutare che il Progetto induca un aumento delle ricadute rispetto allo scenario “autorizzato” di entità assoluta comunque trascurabile e che le ricadute sono stimate per entrambi gli scenari, inferiori di 3 ordini di grandezza ai limiti applicabili e possono pertanto essere considerate trascurabili sia nell’area di principale ricaduta e a maggior ragione nelle altre aree del territorio allontanandosi da questa.

4.5.3 CO

Le **tavole 06** (cfr. Tabella 4.7) riportano le massime concentrazioni medie sulle 8 ore di CO associate alle emissioni della Centrale negli scenari “autorizzato” e “upgrade”. Il valore massimo è inferiore a $0.03 \text{mg}/\text{m}^3$ nello scenario “autorizzato”, a fronte di un valore limite di $10 \text{mg}/\text{m}^3$. L’area nell’entroterra con concentrazioni superiori ai $0.02 \text{mg}/\text{m}^3$ è localizzata entro circa 2 km dalla Centrale.

Per quanto riguarda le mappe relative allo scenario “upgrade”, il valore massimo risulta di 0.03 mg/m³. L’area nell’entroterra con concentrazioni superiori ai 0.02 mg/m³ è localizzata entro circa 2 km dalla Centrale.

In generale, la ricostruzione modellistica delle massime ricadute in termini di concentrazione in aria ambiente di monossido di carbonio associabili all’attività della Centrale, sia nello scenario “autorizzato”, sia nello scenario “upgrade”, non evidenzia alcuna criticità.

In sintesi, è possibile valutare che il Progetto consenta una riduzione generalizzata delle ricadute in termini di monossido di carbonio rispetto allo scenario autorizzato e che, nonostante le assunzioni cautelative presenti nelle simulazioni, le ricadute sono stimate per entrambi gli scenari, inferiori di 3 ordine di grandezza ai limiti applicabili e possono pertanto essere considerate trascurabili sia nell’area di principale ricaduta e a maggior ragione nelle altre aree del territorio allontanandosi da questa.

5 CONCLUSIONI

Il presente rapporto ha descritto la valutazione degli impatti sulla componente atmosfera derivanti dalle emissioni della fase di esercizio della Centrale termoelettrica "Teodora" di Porto Corsini (RA) nell'attuale assetto autorizzato e nell'assetto proposto dal progetto di UPGRADE delle 2 unità di produzione esistenti.

Gli interventi di aggiornamento tecnologico previsti, rientrano nell'ambito di una fermata di manutenzione e sono assimilabili ad attività analoghe già svolte nel sito; anche per quanto concerne la realizzazione dell'edificio stoccaggio ammoniaca si prevedono effetti sulla qualità dell'aria trascurabili, localizzati all'interno o nelle immediate vicinanze dell'impianto e di natura temporanea e reversibile.

L'aggiornamento tecnologico dei componenti, consentirà un miglioramento delle loro prestazioni tecniche con un conseguente aumento della potenza elettrica lorda erogabile da ciascun ciclo combinato. Nell'ottica di ridurre e minimizzare gli impatti ambientali, anche a seguito dell'incremento di potenza delle unità, si propone un miglioramento delle performance emissive con una riduzione degli NOx emessi da ciascuna unità in tutte le condizioni di funzionamento (proposti 10 mg/Nm³ vs attuali 40 mg/Nm³) grazie all'installazione di sistemi di denitrificazione catalitica, denominati SCR (*Selective Catalytic Reduction*). L'aggiornamento tecnologico delle apparecchiature esistenti avverrà secondo i criteri più avanzati di efficienza e compatibilità ambientale nel pieno rispetto delle *Best Available Techniques Reference document (BRef)* di settore.

In quest'ottica, si propone l'upgrade delle unità 3 e 4 di produzione esistenti e gli interventi proposti consentiranno di: aumentare, in condizioni ISO, la potenza elettrica lorda di ciascuna unità a circa 410 MW_e e circa 719 MW_t (a fronte degli attuali valori autorizzati di 380 MW_e e 645 MW_t), quindi con un aumento per ciascuna unità della potenza elettrica lorda di circa 30 MW_e e della potenza termica di circa 74 MW_t, rispetto ai valori attualmente autorizzati.

In termini di bilancio emissivo, la realizzazione dell'intervento sulle due unità consentirebbe una riduzione del 73% delle emissioni di ossidi di azoto (NO_x), a fronte di un incremento del 9% delle emissioni di monossido di carbonio (CO), inquinante che presenta una minore criticità ambientale, e di una emissione di ammoniaca (NH₃) stimata ad un massimo di 230 t/anno associata al funzionamento del sistema SCR.

Lo studio ha propedeuticamente analizzato le caratteristiche meteo-climatiche del sito e dello stato attuale della qualità dell'aria.

Lo stato attuale della qualità dell'aria della Provincia di Ravenna, valutato attraverso l'analisi dei dati della rete di monitoraggio Arpae (Agenzia regionale per la prevenzione, l'ambiente e l'energia dell'Emilia-Romagna). A Ravenna risultano presenti al 31/12/2018 cinque stazioni della RRQA (rete regionale di rilevamento della qualità dell'aria) e due stazioni Locali, di cui sono stati analizzati i dati raccolti nel corso del 2018.

Relativamente al particolato PM₁₀ e PM_{2,5}, la valutazione dello stato della qualità dell'aria non è risultata critica ma non può essere considerata positiva. Relativamente al biossido di azoto (NO₂), i limiti di lungo e di breve periodo sono stati rispettati in tutte le stazioni. Per gli ossidi di azoto (NO_x), la concentrazione media annuale misurata è risultata inferiore al limite per la protezione della vegetazione. Relativamente al monossido di carbonio (CO), i risultati indicano che non si può definire critico su quest'area.

La stima delle ricadute in aria ambiente delle emissioni della Centrale è stata effettuata per mezzo della catena modellistica WRF-CALMET-CALPUFF applicata al triennio meteorologico 2013-2015.

Al fine di valutare la coerenza della meteorologia prodotta dalla catena modellistica, è stata selezionata la stazione meteorologica AM Cervia Aeroporto come rappresentativa della meteorologia dell'area in esame. La rappresentatività della meteorologia prodotta dai modelli WRF-CALMET è stata valutata e giudicata idonea per mezzo di elaborazioni statistiche e rappresentazioni grafiche che hanno permesso il confronto dei principali parametri meteorologici ricostruiti per via modellistica con le corrispondenti informazioni meteorologiche e climatologiche locali.

Gli scenari ricostruiti per via modellistica sono:

- Scenario "autorizzato": emissione dai camini delle unità esistenti PC-E (unità 3) e PC-G (unità 4).
- Scenario "upgrade": emissione dai camini delle unità PC-E e PC-G a seguito dell'intervento di upgrade sulle quali sono state sostituite le parti calde.

La valutazione degli effetti sulla qualità dell'aria ambiente effettuata per via modellistica ha permesso di identificare le aree maggiormente interessate dall'impatto determinato dalle emissioni della Centrale sia nello scenario "autorizzato" sia nello scenario "upgrade", ed ha messo in evidenza valori dei contributi alle concentrazioni di NO_x, NO₂, CO, PM₁₀, PM_{2,5} sempre entro i limiti posti dagli Standard di Qualità dell'Aria del D. Lgs. 155/2010, anche nel punto di massima ricaduta. Si è inoltre considerata l'ammoniaca (NH₃) sebbene non normata in termini di qualità dell'aria.

I risultati modellistici consentono di stimare un deciso miglioramento, a seguito della realizzazione dell'intervento, delle ricadute associabili all'impianto in termini di ossidi di azoto, già poco significative nel loro attuale assetto. In termini di concentrazione media annua di NO₂ e NO_x, come anche in termini di percentili orari di NO₂, le stime modellistiche indicano una riduzione del valore di concentrazione nel punto di massimo impatto di circa il 60%. Si osservano al contempo una sostanziale invarianza delle ricadute di monossido di carbonio (CO), che permane su livelli trascurabili, e ad una variazione trascurabile, sebbene in aumento, del particolato (PM₁₀ e PM_{2,5}) dovuto all'installazione di un sistema di riduzione degli NO_x, SCR, in linea con le BREF di settore.

6 BIBLIOGRAFIA

- Atlante Climatico d'Italia del Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare (<http://clima.meteoam.it>).
- Arpae, 2018. "La qualità dell'aria in Emilia-Romagna - Report 2018". Edizione 2018.
- Arpae, 2019. "Rapporto sulla qualità dell'aria della Provincia di Ravenna - Anno 2018". Edizione giugno 2019. Sezione Provinciale di Ravenna, Servizio Sistemi Ambientali.
- Decreto Legislativo 13 agosto 2010, n.155, "Attuazione della direttiva 2008/50/CE relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa", pubblicato nella Gazzetta Ufficiale n. 216 del 15 settembre 2010, Suppl. Ordinario n. 217.
- WRF, Weather Research and Forecasting Model (<http://www.wrf-model.org>).
- Scire, J.S., F.R. Robe, M.E. Fernau, R.J. Yamartino, 2000a. "A user's guide for the CALMET meteorological model". Earth Tech Inc., Concord, MA, USA.
- Scire, J.S., D.G. Strimaitis, R.J. Yamartino, 2000b. "A user's guide for the CALPUFF dispersion model". Earth Tech Inc., Concord, MA, USA.
- US-EPA, 1985. "Guideline for Determination of Good Engineering Practice Stack Height (Technical Support Document for the Stack Height Regulations)". EPA-450/4-80-023R.
- Global Land Cover Characterization (<https://lta.cr.usgs.gov/GLCC>).
- SRTM, U.S. Releases Enhanced Shuttle Land Elevation Data (<http://www.jpl.nasa.gov/srtm>).
- EEA "Air Quality e-Reporting" (European Environment Agency, www.eea.europa.eu).
- ANPA CTN-ACE, 2001. "Linee guida per la selezione e l'applicazione dei modelli di dispersione atmosferica per la valutazione della qualità dell'aria".
- APAT CTN-ACE, 2004. "I modelli per la valutazione e gestione della qualità dell'aria: normativa, strumenti, applicazioni".
- US-EPA. SCRAM - Support Center for Regulatory Atmospheric Modeling (<https://www.epa.gov/scram>).
- US-EPA, 2005. "Revision to the Guideline on Air Quality Models: Adoption of a Preferred General Purpose (Flat and Complex Terrain) Dispersion Model and Other Revisions; Final Rule". 40 CFR Part 51. Federal Register / Vol. 70, No. 216 / Wednesday, November 9, 2005.
- WHO, 2000. "Air quality guidelines for Europe - Second Edition". World Health Organization, Regional Office for Europe, Copenhagen.
- EEA, 2011. "The application of models under the European Union's Air Quality Directive. A technical reference guide". Technical report n. 10/2011.