

RAPPORTO

USO RISERVATO APPROVATO B9022528

Cliente Enel Produzione S.p.A.

Oggetto Centrale termoelettrica di Larino (CB).
Rifacimenti di 2 unità di produzione esistenti

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, attivazione N. 3500054424 del 27.09.2019

Note WBS A1300002165 - Lettera di trasmissione B9022573

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

PAD B9022528 (2719669) - USO RISERVATO

N. pagine 59 **N. pagine fuori testo** 16

Data 12/12/2019

Elaborato ESC - De Bellis Caterina, ESC - Manzi Giovanni, ESC - D'Aleo Marco
B9022528 92853 AUT B9022528 3575 AUT B9022528 1596735 AUT

Verificato ESC - Pertot Cesare
B9022528 3840 VER

Approvato ESC - De Bellis Caterina (Project Manager)
B9022528 92853 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

Indice

1	PREMESSA	4
2	INQUADRAMENTO METEOCLIMATICO	5
2.1	Caratterizzazione meteoclimatica.....	5
2.1.1	Classificazione dei climi di Köppen-Geiger	6
2.1.2	Analisi climatologica.....	7
3	CARATTERIZZAZIONE DELLA QUALITÀ DELL'ARIA	11
3.1	Quadro normativo	11
3.2	L'inventario delle emissioni	15
3.3	Zonizzazione	18
3.4	La rete di rilevamento della qualità dell'aria.....	20
3.4.1	PM ₁₀	21
3.4.2	NO ₂	22
3.4.3	CO, SO ₂	23
4	STIMA E VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI SULLA COMPONENTE ATMOSFERA	24
4.1	Selezione e struttura dello strumento modellistico.....	24
4.1.1	Principi metodologici generali	24
4.1.2	Finalità dell'applicazione.....	25
4.1.3	Caratteristiche del sito.....	26
4.1.4	Caratteristiche delle sorgenti di emissione	28
4.1.5	Selezione e composizione dello strumento modellistico.....	28
4.1.5.1	WRF	29
4.1.5.2	CALMET	31
4.1.5.3	CALPUFF	32
4.1.6	Validazione dello strumento modellistico	33
4.2	Applicazione al caso in esame	33
4.2.1	Scala temporale: periodo di simulazione e passo temporale.....	33
4.2.2	Scala spaziale: ambito territoriale e risoluzione spaziale.....	33
4.2.3	Banche dati	34
4.2.3.1	Orografia.....	34
4.2.3.2	Uso del suolo.....	35
4.2.4	Sostanze considerate	38
4.2.5	Schemi chimici.....	39
4.3	Analisi meteorologica.....	40
4.3.1	Selezione delle stazioni meteorologiche di confronto.....	40
4.3.2	Confronto modello con misure meteorologiche	41
4.3.3	Stabilità atmosferica e altezza strato rimescolato nell'area	47
4.4	Scenari emissivi	49
4.4.1	Scenario attuale	50
4.4.2	Scenario di progetto	50
4.4.3	Bilancio massico	51
4.5	Stima delle ricadute	52
4.5.1	Tavole fuori testo.....	52
4.5.1.1	NO ₂ e NO _x	53

4.5.1.2	CO.....	53
4.5.2	Confronto con i limiti di legge	54
5	CONCLUSIONI.....	56
6	BIBLIOGRAFIA	58

Indice delle Tavole

Tavola AV-01.a - Scenario attuale (area vasta) – NO₂ – Concentrazione media annua

Tavola AV-01.p - Scenario di progetto (area vasta) – NO₂ – Concentrazione media annua

Tavola AV-02.a - Scenario attuale (area vasta) – NO₂ – Conc. oraria superata 18 volte per anno civile

Tavola AV-02.p - Scenario di progetto (area vasta) – NO₂ – Conc. oraria superata 18 volte per anno civile

Tavola AV-03.a - Scenario attuale (area vasta) – NO_x – Concentrazione media annua

Tavola AV-03.p - Scenario di progetto (area vasta) – NO_x – Concentrazione media annua

Tavola AV-04.a - Scenario attuale (area vasta) – CO – Conc. media massima giornaliera calcolata su 8 ore

Tavola AV-04.p - Scenario di progetto (area vasta) – CO – Conc. media massima giornaliera calcolata su 8 ore

Tavola AL-01.a - Scenario attuale (area locale) – NO₂ – Concentrazione media annua

Tavola AL-01.p - Scenario di progetto (area locale) – NO₂ – Concentrazione media annua

Tavola AL-02.a - Scenario attuale (area locale) – NO₂ – Conc. oraria superata 18 volte per anno civile

Tavola AL-02.p - Scenario di progetto (area locale) – NO₂ – Conc. oraria superata 18 volte per anno civile

Tavola AL-03.a - Scenario attuale (area locale) – NO_x – Concentrazione media annua

Tavola AL-03.p - Scenario di progetto (area locale) – NO_x – Concentrazione media annua

Tavola AL-04.a - Scenario attuale (area locale) – CO – Conc. media massima giornaliera calcolata su 8 ore

Tavola AL-04.p - Scenario di progetto (area locale) – CO – Conc. media massima giornaliera calcolata su 8 ore

STORIA DELLE REVISIONI

Numero revisione	Data	Protocollo	Lista delle modifiche e/o dei paragrafi modificati
0	12/12/2019	B9022528	Prima emissione

1 PREMESSA

Nel presente documento si riportano la definizione delle caratteristiche meteorologiche del sito e dello stato attuale della qualità dell'aria, insieme alla valutazione degli impatti sulla componente atmosfera generati dalla realizzazione del progetto di rifacimento di 2 unità di produzione esistenti della Centrale termoelettrica di Larino ed alla verifica del rispetto della normativa vigente in materia di ricaduta delle emissioni in atmosfera associate all'esercizio dell'impianto sia in assetto attuale sia nella configurazione prevista dal progetto.

La Centrale di Larino è composta da due gruppi turbogas da 125 MW_e e 430 MW_t cadauno, denominati LR1 e LR2. I gruppi sono entrati in servizio il 01/12/1992. A partire, rispettivamente dal 01/03/2000 e 23/09/2002 sono stati posti in assetto di indisponibilità all'esercizio e non hanno più prodotto energia elettrica. In seguito alle criticità del servizio elettrico nazionale emerse nel periodo estivo del 2003, Enel Produzione S.p.A. ha assunto l'impegno di rendere nuovamente disponibili alla produzione una serie di impianti turbogas in ciclo semplice, tra cui Larino. Per tale motivo negli anni 2003 e 2004 sono stati effettuati interventi di manutenzione straordinaria finalizzati al ripristino della funzionalità di tutte le apparecchiature, con interventi atti a garantire l'efficienza e la sicurezza dei vari comparti di impianto, senza apportare modifiche o nuove realizzazioni impiantistiche di rilievo. Il gruppo 2 (LR2) è stato nuovamente reso disponibile al normale esercizio dal 15/12/2003 ed il gruppo 1 (LR1) dal 10/03/2004; a partire da tale data, entrambi i gruppi hanno esercito esclusivamente a gas naturale.

I gruppi sono destinati ad una utilizzazione annua ridotta di 500 h/anno, in base al Decreto di Autorizzazione Integrata Ambientale (A.I.A.) n. 0000049 del 23/02/2011 e ss.mm.ii., e funzionamento intermittente con frequenti avviamenti e fermate.

2 INQUADRAMENTO METEOCLIMATICO

2.1 Caratterizzazione meteoclimatica

L'area di indagine intorno alla Centrale di Larino (Figura 2.1.1) è ubicata nel territorio del Comune di Larino in provincia di Campobasso, a circa 4 km in direzione Est-Nord Est dal centro abitato omonimo.

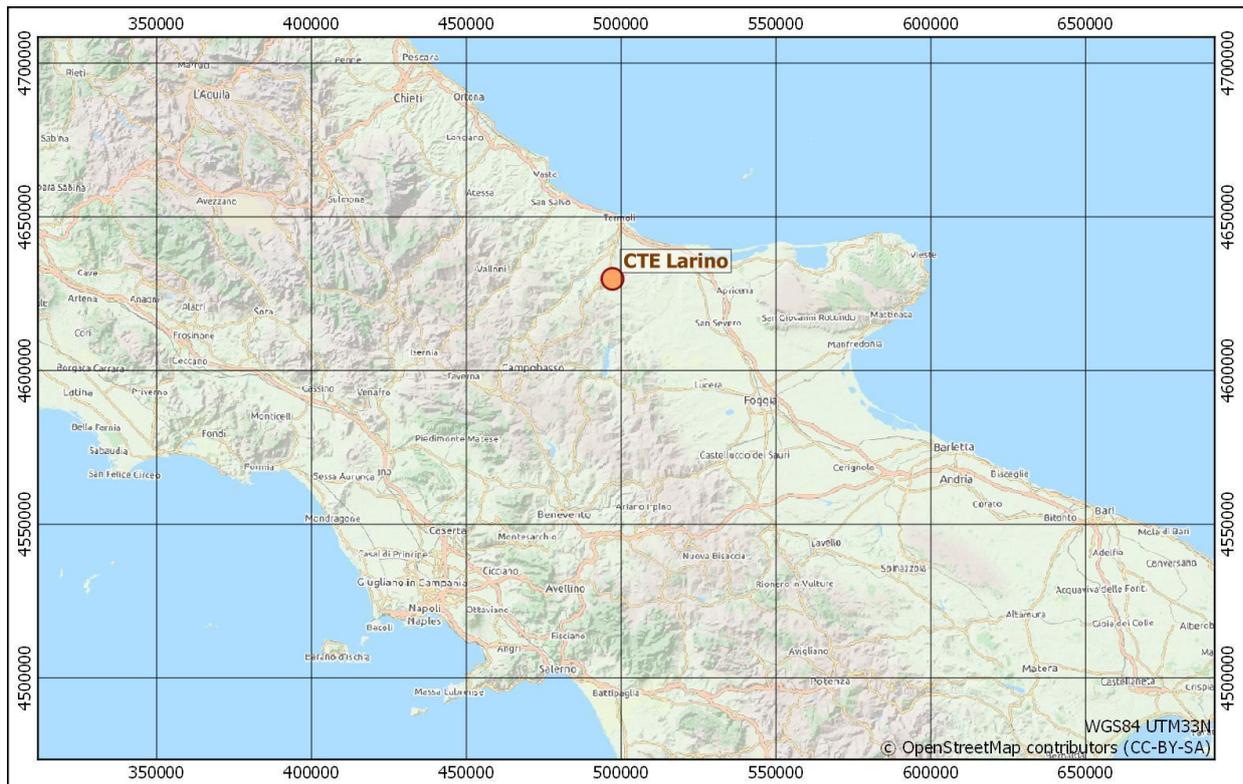


Figura 2.1.1 - Inquadramento dell'area di indagine

2.1.2 Analisi climatologica

Al fine di completare l'analisi meteorologica, sono stati analizzati i dati disponibili nell'Atlante Climatico dell'Aeronautica Militare per il trentennio 1971–2000 della stazione di Termoli (44 m s.l.m.), localizzata circa 20 km a Nord dell'area di interesse (Figura 2.1.3).

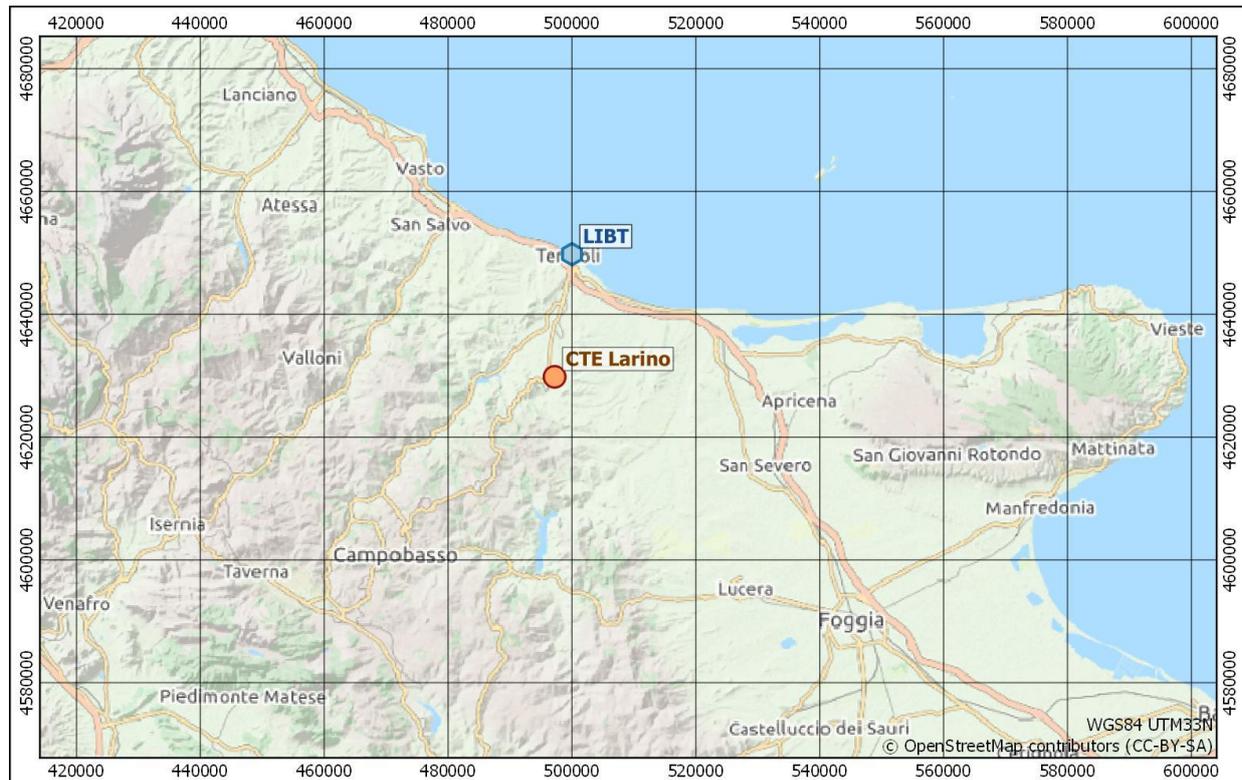


Figura 2.1.3 – Localizzazione della stazione di Termoli

Gli andamenti delle temperature registrate nel trentennio 1971–2000 sono riportati su base mensile in Figura 2.1.4. I mesi mediamente più freddi risultano essere gennaio e febbraio, quelli più caldi luglio e agosto. Il valore minimo mensile più basso del trentennio è stato di 6.0 °C, mentre il valore massimo mensile più alto è stato di 27.3 °C.

Gli andamenti delle precipitazioni e dell'umidità relativa registrate nel trentennio 1971–2000 sono riportati su base mensile in Figura 2.1.5. I mesi che fanno registrare mediamente le quantità massime di precipitazioni mensili (RTot) sono quelli autunnali, tra settembre e novembre, con valori dell'ordine di 40÷50 mm. Il mese dell'anno che mediamente risulta avere il maggior numero di giorni piovosi è novembre, con 6.9 giorni (NgR > 1 mm). L'andamento dell'umidità relativa mostra valori massimi delle medie mensili intorno al 90% e valori minimi variabili nell'intervallo tra il 60% e il 70%.

Le rose dei venti delle ore 00, 06, 12 e 18 UTC, elaborate su base stagionali nel trentennio 1971-2000 sono riportate in Figura 2.1.6. L'analisi delle rose del vento notturne (ore 00 e 06 UTC) mostra per tutte le stagioni una direzione di provenienza prevalente del vento dal terzo e soprattutto dal quarto quadrante, mentre l'analisi delle rose diurne (12 UTC) mostra per tutte le stagioni una direzione di provenienza prevalente del vento dal settore Nord nelle stagioni calde e da Nord-Ovest in inverno. Per quanto riguarda l'intensità del vento, si riscontra una maggiore ventosità diurna, come mostrano le percentuali di calma che raggiungono il valore minimo del 9% alle 12 del periodo estivo.

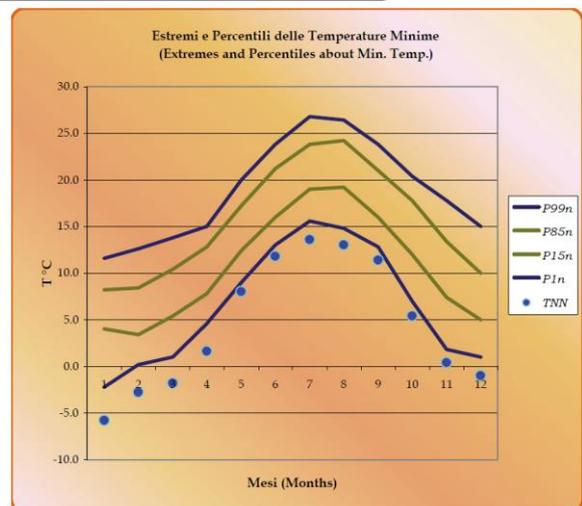
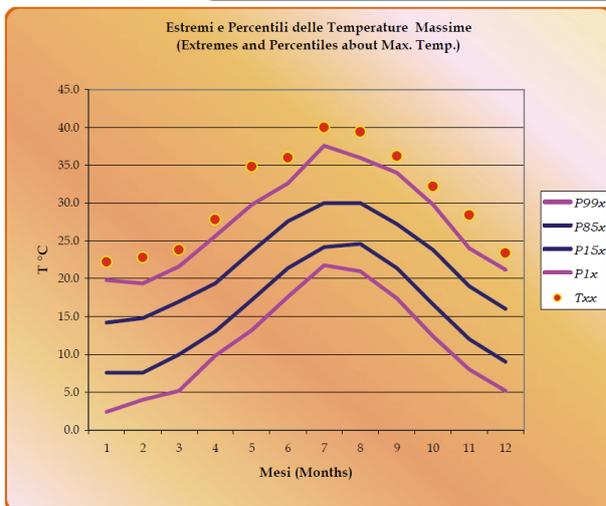
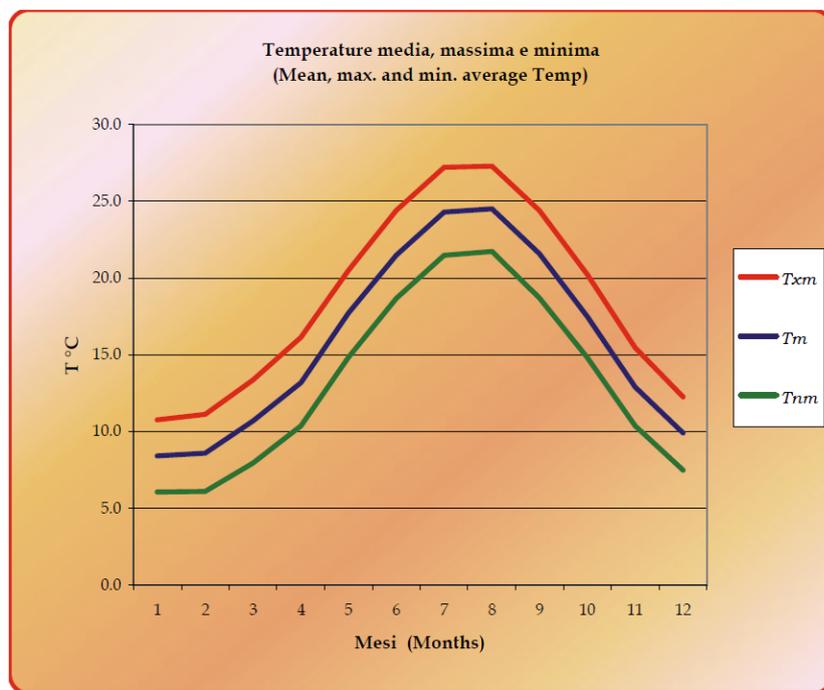


Figura 2.1.4 – Andamenti Mensili delle Temperature nel trentennio 1971-2000, stazione di Termoli (Fonte: AM)

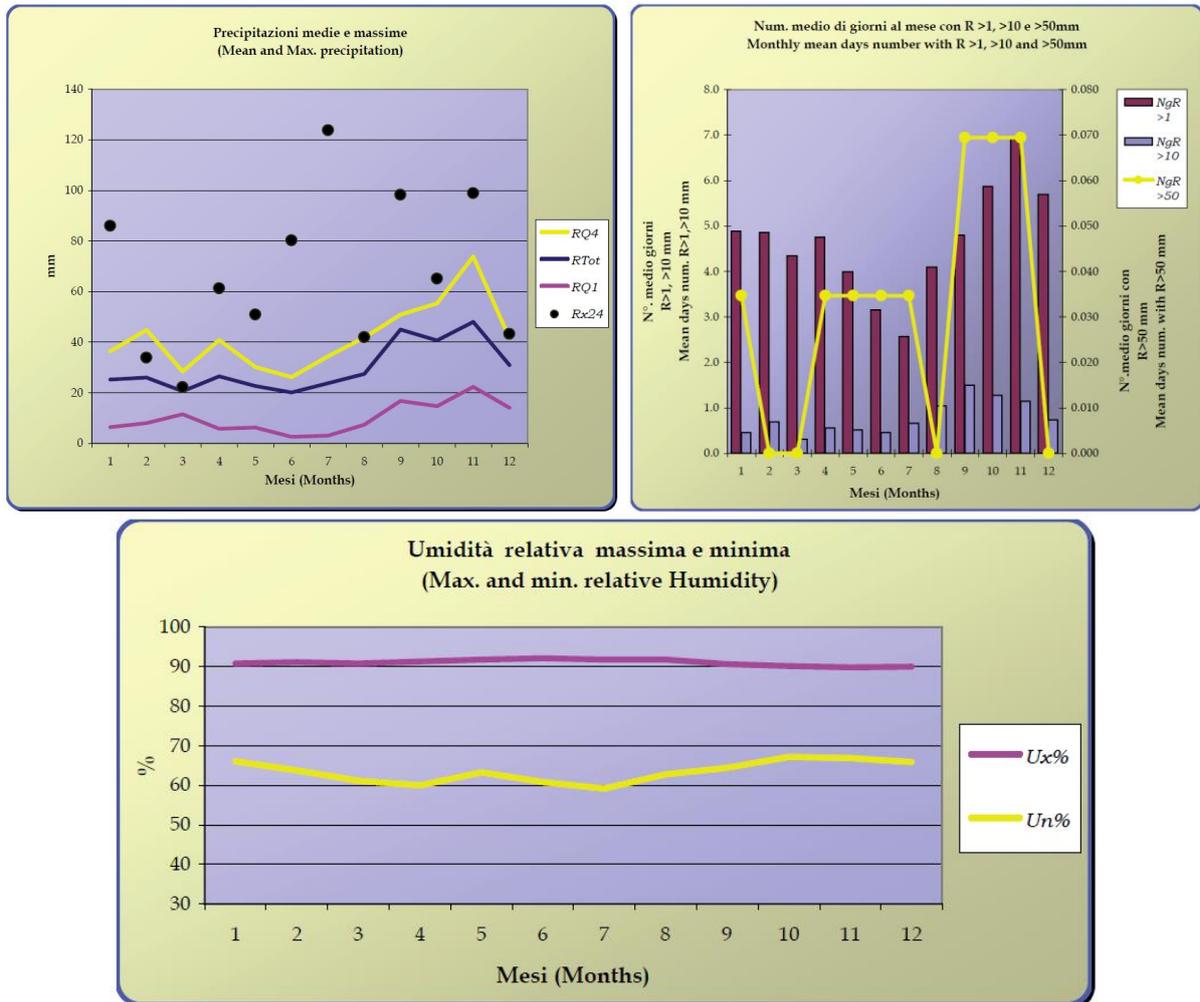


Figura 2.1.5 – Andamenti mensili delle precipitazioni e dell’umidità relativa nel trentennio 1971-2000, stazione di Termoli (Fonte: AM)

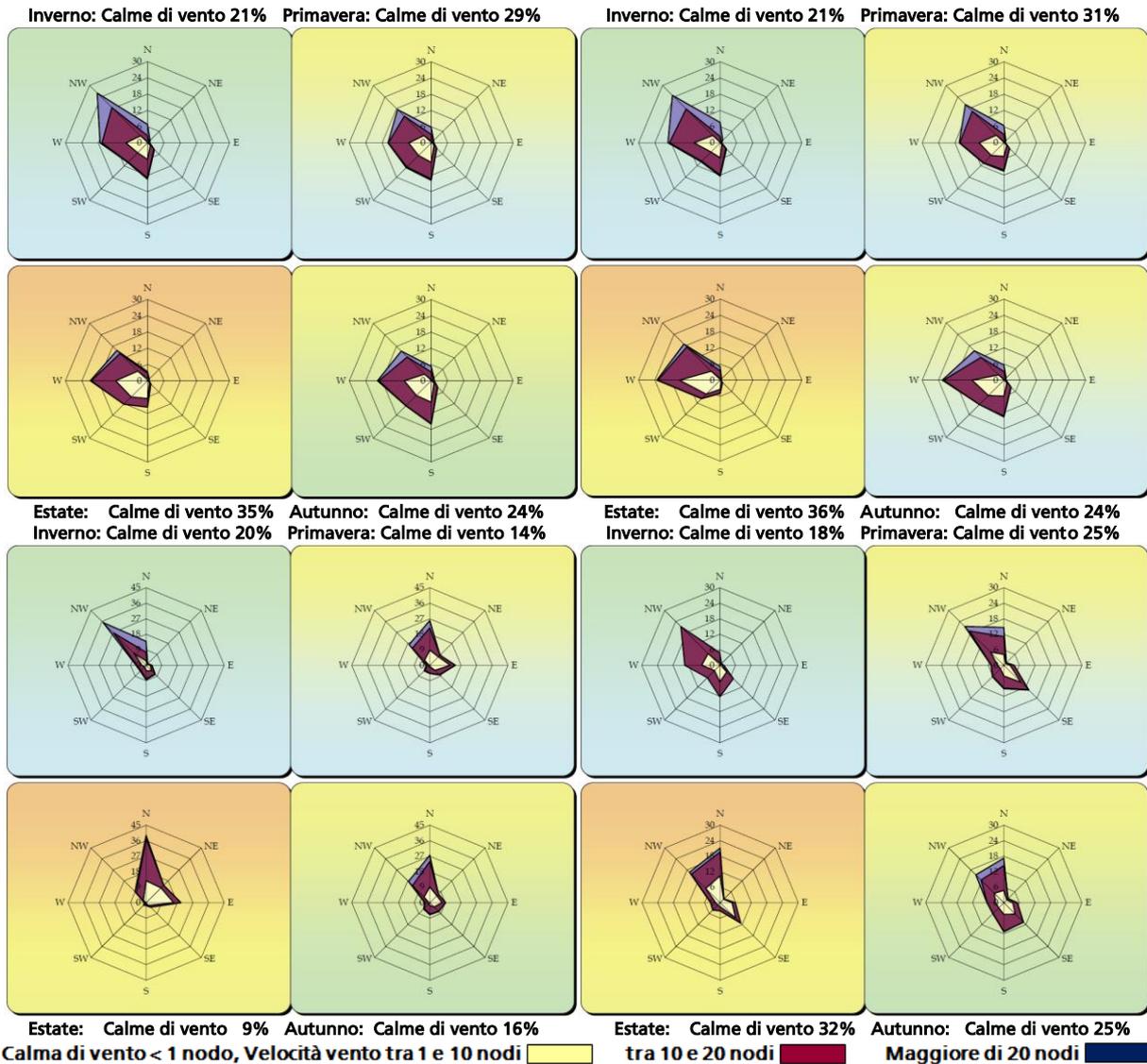


Figura 2.1.6 – Rose dei venti stagionali alle ore 00, 06, 12 e 18 UTC nel trentennio 1971-2000, stazione di Termoli (Fonte: AM)

3 CARATTERIZZAZIONE 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 sia gli standard di qualità dell'aria per le diverse sostanze inquinanti, in relazione alla protezione della salute, della vegetazione e degli ecosistemi, sia 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.

Successivamente, 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 per contribuire alla lotta contro l'inquinamento dell'aria e gli effetti nocivi e per 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 la qualità dell'aria ambiente, laddove sia buona, 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, senza tuttavia modificare gli standard di qualità dell'aria esistenti. Gli Stati membri hanno però un maggiore margine di manovra per raggiungere

alcuni dei valori fissati nelle zone in cui hanno difficoltà a rispettarli (la conformità ai valori limite fissati per il PM₁₀ si rivela infatti problematica per quasi tutti gli Stati membri dell'UE).

La legislazione nazionale relativa all'inquinamento atmosferico ha recepito la Direttiva europea 2008/50/CE "Relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa" 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, D.M. 60/2002, D.Lgs. 183/2004, D.Lgs. 152/2006, D.M. 261/2002) e raccogliendo 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 e i criteri di qualità dei dati.

Con Decreto Assessorile 176/GAB del 9.8.2007 la Regione Siciliana ha approvato il "Piano regionale di coordinamento per la tutela della qualità dell'aria ambiente" recependo il D.Lgs. 155/2010.

Il D.Lgs. 155/2010 definisce i valori di riferimento che permettono una valutazione della qualità dell'aria, su base annuale, 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: Livello da conseguire, ove possibile, entro una data prestabilita;
- Livello Critico: 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.

Di seguito vengono riportati i valori limite (Tabella 3.1.1), i valori obiettivo (Tabella 3.1.2) i livelli critici per la vegetazione (Tabella 3.1.3) e le soglie di allarme (Tabella 3.1.4) contenuti nel D.Lgs. 155/2010.

Anche l'ozono – inquinante secondario che si forma, attraverso reazioni fotochimiche, a partire da inquinanti precursori (principalmente ossidi di azoto e composti organici volatili) in presenza della luce del sole – ha effetti sulla salute dell'uomo e sulla vegetazione. Il Decreto Legislativo n. 155/2010 recependo quanto già contenuto nel DL 183/04, mantiene in essere un sistema di sorveglianza dell'inquinamento da ozono in tutto il territorio nazionale, confermando valori obiettivo, obiettivi a lungo termine, soglia di informazione e soglia di allarme da perseguire secondo una tempistica stabilita (Tabella 3.1.5 e Tabella 3.1.6).

Tabella 3.1.1 - Valori limite (Allegato XI D.Lgs. 155/2010)

Inquinante	Periodo di mediazione	Valore Limite	
Biossido di zolfo (SO ₂)	orario (non più di 24 volte all'anno)	350	µg/m ³
	giornaliero (non più di 3 volte all'anno)	125	µg/m ³
Biossido di azoto (NO ₂)	orario (per non più di 18 volte all'anno)	200	µg/m ³
	Annuo	40	µg/m ³
Benzene (C ₆ H ₆)	Annuo	5.0	µg/m ³
Monossido di carbonio (CO)	media massima giornaliera su 8 ore ⁽¹⁾	10	mg/m ³
Piombo (Pb)	Annuo	0.5	µg/m ³
Particolato PM ₁₀	giornaliero (non più di 35 volte all'anno)	50	µg/m ³
	Annuo	40	µg/m ³
Particolato PM _{2.5}	annuo al 2015 ⁽²⁾	25	µg/m ³

⁽¹⁾ La massima concentrazione media sulle 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

⁽²⁾ Margine di tolleranza: 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

Tabella 3.1.2 - Valori Obiettivo (Allegato XIII D.Lgs. 155/2010)

Inquinante	Parametro e Periodo di mediazione	Valore Obiettivo	
Arsenico (As)	Tenore totale di ciascun inquinante presente nella frazione di PM ₁₀ del materiale particolato, calcolato come media su un 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
Data raggiungimento obiettivo: 31/12/2012 (art. 9 – comma 2 del D.lgs)			

Tabella 3.1.3 - Livelli critici per la vegetazione (Allegato XI D.Lgs. 155/2010)

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

Tabella 3.1.4 – Soglie di allarme (Allegato XII D.Lgs. 155/2010)

Inquinante	Periodo di mediazione	Soglia di Allarme	
Biossido di zolfo (SO ₂)	Per 3 ore consecutive in una stazione con rappresentatività > 100 km ²	500	µg/m ³
Ossidi di azoto (NO _x)		400	µg/m ³

Tabella 3.1.5 – Valori obiettivo e obiettivi a lungo termine per l'ozono (O₃) (Allegato VII D.Lgs. 155/2010)

Valori obiettivo			
Finalità	Periodo di mediazione	Valore obiettivo (1.1.2010)	Data raggiungimento ⁽³⁾
Protezione della salute umana	Media su 8 ore massima giornaliera nell'arco di un anno civile ⁽¹⁾	120 µg/m ³ da non superare per più di 25 giorni per anno civile come media su 3 anni	2013 (dati 2010 – 2012)
Protezione della vegetazione	AOT40 ⁽²⁾ calcolato sulla base dei valori orari da maggio a luglio	18000 µg/m ³ h Come media su 5 anni	2015 (dati 2010 – 2014)
Obiettivi a lungo termine			
Finalità	Periodo di mediazione	Valore obiettivo (1.1.2010)	Data raggiungimento ⁽⁴⁾
Protezione della salute umana	Media su 8 ore massima giornaliera nell'arco di un anno civile ⁽¹⁾	120 µg/m ³	Non definito
Protezione della vegetazione	AOT40 ⁽²⁾ calcolato sulla base dei valori orari da maggio a luglio	6000 µg/m ³ h	Non definito

⁽¹⁾ La massima concentrazione media sulle 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

⁽²⁾ AOT40 (espresso in µg/m³h) si intende la somma della differenza tra le concentrazioni > 80 µg/m³ e 80 µg/m³ 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).

⁽³⁾ Data entro la quale deve essere raggiunto il valore obiettivo

⁽⁴⁾ Data entro la quale deve essere raggiunto l'obiettivo a lungo termine

Tabella 3.1.6 – Soglie di informazione e allarme per l’ozono (O₃) (Allegato XII D.Lgs. 155/2010)

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

3.2 L’inventario delle emissioni

L’inventario delle emissioni in atmosfera rappresenta uno degli strumenti conoscitivi a supporto della gestione della qualità dell’aria a livello regionale, in quanto raccoglie in un unico database i valori delle emissioni, in un’unità spazio-temporale definita, disaggregati per attività (ad es. trasporti, allevamenti, industria), unità territoriale (ad es. regione, provincia, comune) e temporale (un anno, un mese, un’ora ecc.), combustibile utilizzato (benzina, gasolio, metano, ecc.), inquinante (NO_x, CO, ecc.) e tipologia di emissione (puntuale, diffusa, ecc.). L’inventario viene redatto e periodicamente aggiornato in ottemperanza all’art. 22 del D. Lgs.155/2010, secondo il quale le Regioni devono predisporlo con cadenza almeno triennale ed anche in corrispondenza della scalatura provinciale dell’inventario nazionale dell’ISPRA, l’Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, ovvero ogni 5 anni.

La conoscenza delle emissioni e delle loro fonti, al pari delle verifiche effettuate sulle concentrazioni delle immissioni, risulta essere fondamentale per il monitoraggio della qualità dell’aria e per la conseguente individuazione delle strategie più efficaci al suo mantenimento o risanamento.

In Italia, l’ISPRA garantisce, sulla base delle disposizioni legislative e sotto la supervisione del Ministero dell’Ambiente e Tutela del Territorio e del Mare, la preparazione e l’aggiornamento periodico dell’inventario nazionale, predisposto disaggregando su base provinciale le emissioni provenienti da oltre 300 attività antropiche e biogeniche analizzate attraverso la metodologia EMEP-CORINAIR (COoRdination INformation AIR), un progetto nato dalla Comunità Europea al fine di raccogliere ed organizzare informazioni sulle emissioni in atmosfera attraverso una nomenclatura standardizzata per la stima delle emissioni. Tale nomenclatura (denominata SNAP - Selected Nomenclature for sources of Air Pollution) ripartisce le attività antropiche e naturali in una struttura gerarchica che comprende settori e categorie incluse nei seguenti 11 macrosettori:

- 01: Combustione - energia e industria di trasformazione;
- 02: Combustione non industriale;
- 03: Combustione nell’industria;
- 04: Processi produttivi;
- 05: Estrazione, distribuzione dei combustibili fossili/geotermico;
- 06: Uso dei solventi;

- 07: Trasporti su strada;
- 08: Altre sorgenti mobili;
- 09: Trattamento e smaltimento dei rifiuti;
- 10: Agricoltura;
- 11: Altre sorgenti di Emissione e assorbimenti.

Nel grafico di Figura 3.2.1 si riporta una rappresentazione dell'inventario delle emissioni dell'anno 2015 relativo alla Provincia di Campobasso. L'informazione deriva dalla disaggregazione dell'inventario nazionale 2015 aggiornato alla submission 2017. Nella figura si evidenzia il peso di ciascun macrosettore emissivo nel concorrere a formare il totale dell'area.

Dall'analisi emerge, all'interno della provincia, il principale ruolo della combustione per produzione di energia e dei processi produttivi per gli SO_x, del trasporto su strada per gli NO_x e della combustione non industriale per CO e PM.

Nel grafico di Figura 3.2.2 sono riportate le emissioni complessive della Provincia di Campobasso che, per ciascuno dei contaminanti considerati, risultano dagli inventari relativi agli anni 1990, 1995, 2000, 2005, 2010 e 2015. Dal grafico emerge, per tutti gli inquinanti considerati, una chiara tendenza al decremento delle emissioni fino al 2010 ed un sensibile incremento nel 2015 per CO e polveri.



Figura 3.2.1 – Provincia di Campobasso. Inventario nazionale delle emissioni 2015. Emissioni % per macrosettore (fonte: ISPRA - banca dati CORINAIR)

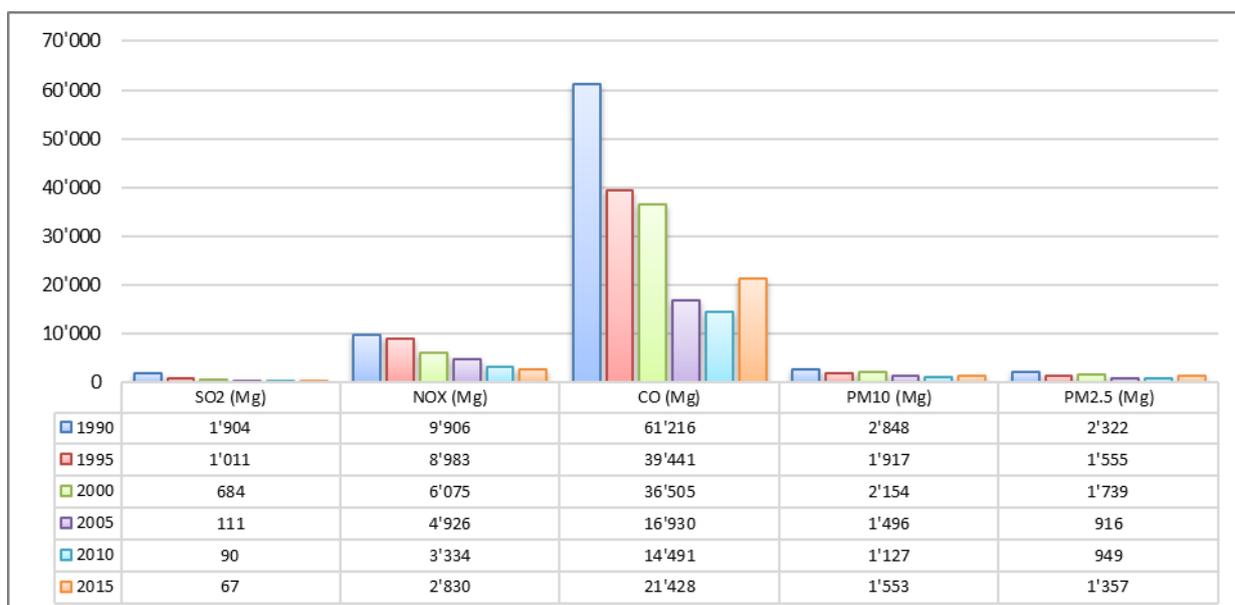


Figura 3.2.2 – Provincia di Campobasso. Emissioni 1990-2015 (fonte: ISPRA - banca dati CORINAIR)

3.3 Zonizzazione

Con D.G.R. n.375 del 01 agosto 2014 la Regione Molise ha disposto la zonizzazione del territorio molisano in termini di qualità dell'aria. L'attività di zonizzazione, in recepimento dei principi disposti dalla Direttiva Comunitaria 2008/50/CE e dal conseguente D.Lgs. 155/2010, si inserisce alla base di un più ampio ambito di pianificazione articolata al fine di garantire una strategia unitaria in materia di valutazione e gestione della qualità dell'aria ambiente per l'intero territorio nazionale. Le zone individuate sono le seguenti (Figura 3.3.1):

- Zona "Area collinare" – codice zona IT1402;
- Zona "Pianura (Piana di Bojano – Piana di Venafro)" – codice zona IT1403;
- Zona "Fascia costiera" – codice zona IT1404;
- Zona "Ozono montano-collinare" – codice zona IT1405.

Le zone individuate con i codici IT1402, IT1403 ed IT1404 sono relative alla zonizzazione degli inquinanti di cui al comma 2 dell'articolo 1 del Decreto Legislativo 155/2010 (Figura 3.3.1). Per la zonizzazione relativa all'ozono, inoltre, sono state individuate due zone: una coincidente con la zona individuata dal codice IT1404 ed una individuata dal codice IT1405 (Figura 3.3.2).

Il Comune di Larino, cui appartiene l'area di interesse, ricade nella Zona IT1404 "Fascia costiera", costituita da:

- aree caratterizzate dai territori del Comune di Termoli, più densamente popolato nel periodo estivo per via del turismo balneare che ne fa quasi raddoppiare la popolazione, e, nel quale sono presenti stabilimenti industriali (Presenza del Consorzio per lo sviluppo industriale della Valle del Biferno), artigianali, agro-alimentari o di servizio che, per potenzialità produttiva o numero, possono provocare inquinamento atmosferico;
- territori dei comuni confinanti con quello indicato al punto precedente e per i quali è presente uno sviluppo industriale, antropico e turistico in grado di produrre inquinamento atmosferico;
- territori attraversati dall'asse autostradale A14 (Bologna-Bari);
- zona meteo-climatica di Piana Costiera con valori di piovosità media annua compresi tra i 600 mm e i 700 mm circa e da temperature medie annue di circa 7 °C e caratterizzata da regime anemometrico con presenza di brezze marine.

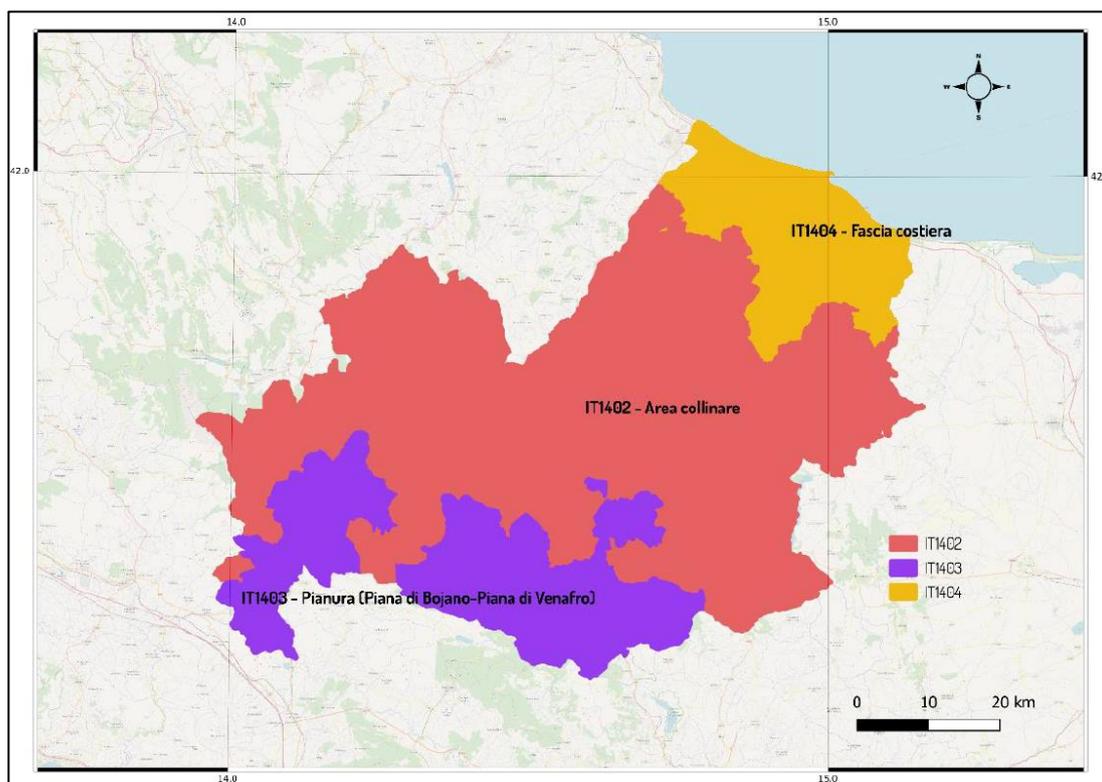


Figura 3.3.1 – Zonizzazione regionale escluso l’ozono (fonte: Arpa Molise)

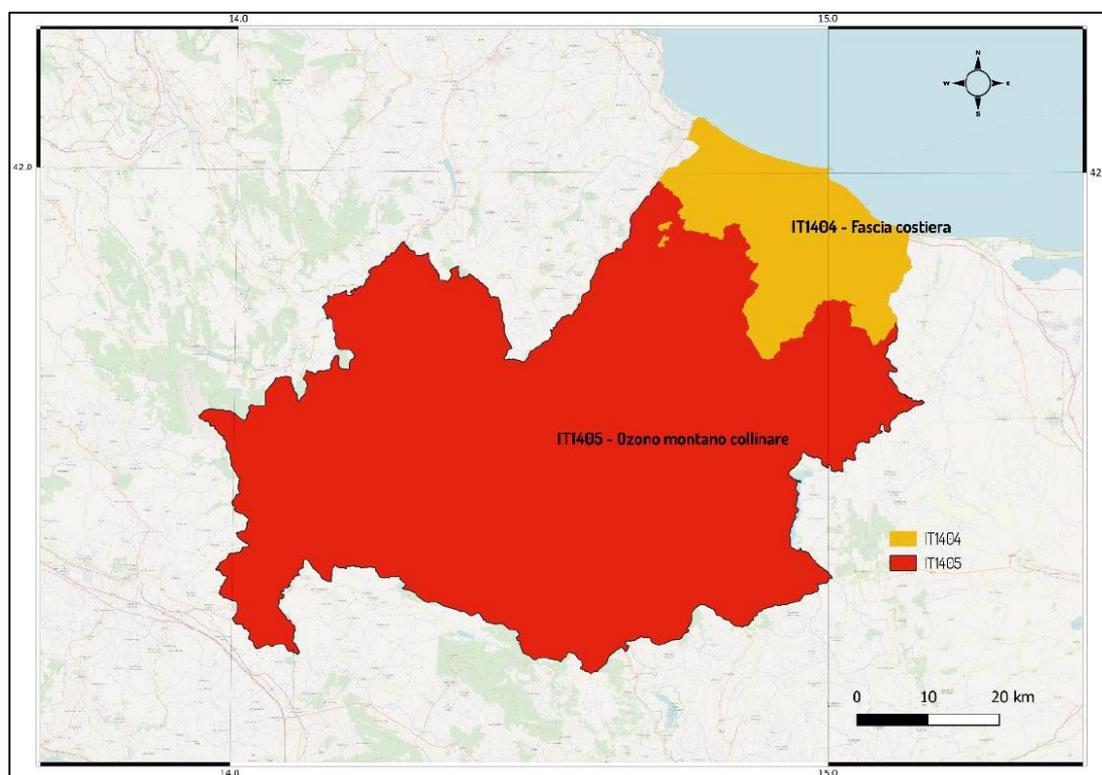


Figura 3.3.2 – Zonizzazione regionale per l’ozono (fonte: Arpa Molise)

3.4 La rete di rilevamento della qualità dell'aria

Per il monitoraggio della qualità dell'aria per l'anno 2018, la rete di rilevamento regionale ha potuto fare affidamento su 10 stazioni fisse che hanno garantito il monitoraggio in tutte e tre le Zone. Nella seguente Tabella 3.4.1 si riporta la tipologia, la localizzazione e gli inquinanti monitorati per ognuna delle stazioni fisse.

Di specifico interesse ai fini del presente studio sono le stazioni Termoli1 e Termoli2, le uniche localizzate nella stessa Zona cui appartiene l'area di interesse (Zona IT1404 "Fascia costiera"). Si evidenzia tuttavia che le stazioni in oggetto, essendo di tipologia "traffico", non risultano rappresentative dello stato generale o sovra-locale della qualità dell'aria, ma solo di uno specifico ambiente urbano.

Tabella 3.4.1 – Composizione della rete di monitoraggio della qualità dell'aria (stazioni fisse)

Denominazione stazione	Localizzazione	Tipologia	Inquinanti misurati
Campobasso1 CB1	Piazza Cuoco (CB)	Traffico	NO _x , SO ₂ , CO, PM ₁₀ , BTX
Campobasso3 CB3	Via Lombardia	Background	NO _x , PM ₁₀ , O ₃ , BTX, As, Cd, Ni, Pb, B(a)P, PM _{2.5}
Campobasso4 CB4	Via XXIV Maggio	Background	NO _x , CO, O ₃
Termoli1 – TE1	Piazza Garibaldi	Traffico	NO _x , SO ₂ , CO, PM ₁₀ , BTX
Termoli2 – TE2	Via Martiri della Resistenza	Traffico	NO _x , PM ₁₀ , O ₃ , BTX, PM _{2.5} , As, Cd, Ni, Pb, B(a)P
Isernia1 – IS1	Piazza Puccini	Traffico	NO _x , SO ₂ , CO, PM ₁₀ , BTX
Venafro1 – VE1	Via Colonia Giulia	Traffico	NO _x , SO ₂ , CO, PM ₁₀ , BTX
Venafro2 – VE2	Via Campania	Traffico	NO _x , PM ₁₀ , O ₃ , BTX, As, Cd, Ni, Pb, B(a)P, PM _{2.5}
Guardiaregia – GU	Arcichiaro	Background	NO _x , SO ₂ , O ₃
Vastogirardi – VA	Monte di Mezzo	Background	NO _x , PM ₁₀ , O ₃ , As, Cd, Ni, Pb, B(a)P

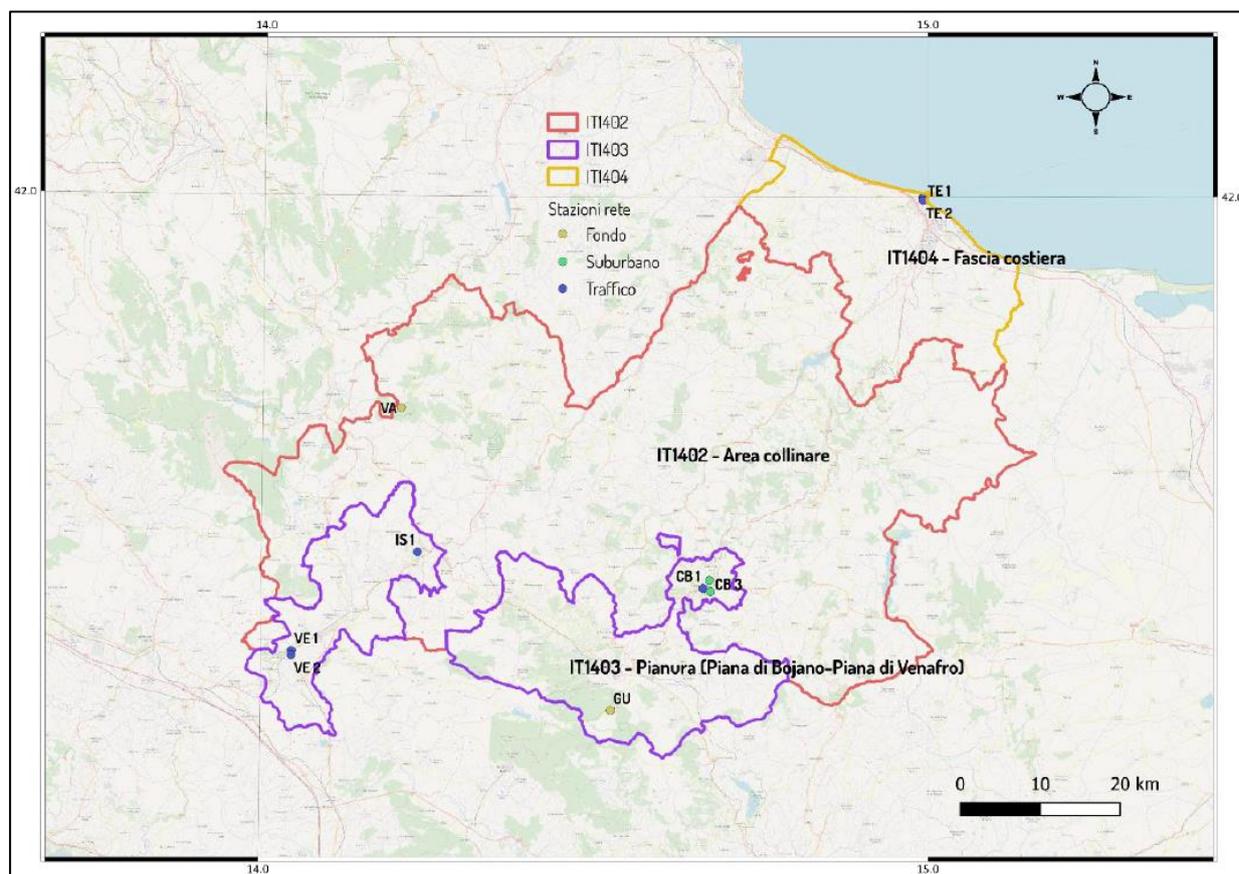


Figura 3.4.1 – Dislocazione stazioni di monitoraggio qualità dell’aria al 2018 (fonte: Arpa Molise)

3.4.1 PM₁₀

Come si evince dalla seguente Tabella 3.4.2, nelle due stazioni di interesse (TE1 e TE2) si sono verificati superamenti del limite giornaliero per il PM₁₀ nel periodo 2012-2018, ma non oltre il numero consentito dalla normativa; è stato, pertanto, rispettato il limite consentito dal D.Lgs. 155/2010. Per ciò che riguarda il limite annuale (Tabella 3.4.3), nessuna stazione della rete regionale ha registrato valori superiori alla soglia consentita di 40 µg/m³.

Tabella 3.4.2 – PM₁₀, superamenti limiti giornalieri 2012-2018

	Anni	CB1	CB3	TE1	TE2	IS1	VE1	VE2	VA
Superamenti limiti giornalieri (#)	2012	15	2	17	33	6	47	53	0
	2013	6	2	9	11	7	58	53	0
	2014	5	2	3	4	10	33	44	0
	2015	0	1	2	6	3	41	27	0
	2016	11	2	3	0	1	32	24	0
	2017	7	0	12	10	0	23	25	0
	2018	-	0	1	8	0	22	24	0

Tabella 3.4.3 – PM₁₀, media annuale e copertura dati 2014-2018

STAZIONI	2014		2015		2016		2017		2018	
	Media annuale (µg/m ³)	Copertura dati (%)	Media annuale (µg/m ³)	Copertura dati (%)	Media annuale (µg/m ³)	Copertura dati (%)	Media annuale (µg/m ³)	Copertura dati (%)	Media annuale (µg/m ³)	Copertura dati (%)
CB1	18	96	17	85	20	94	26	37	-	-
CB3	17	93	15	78	17	73	17	71	17	87
TE1	18	79	20	67	21	74	20	61	15	59
TE2	20	54	19	88	14	79	20	99	18	78
IS1	27	58	19	75	17	83	20	96	12	86
VE1	24	90	23	90	26	87	20	89	26	91
VE2	28	67	25	77	29	74	25	78	27	87
VA	8	47	9	12	8	84	10	50	8	53

3.4.2 NO₂

Per quanto riguarda la media annuale degli ossidi di azoto, nelle due stazioni di interesse (TE1 e TE2) non si è verificato alcun superamento del valore di 40 µg/m³ consentito. Inoltre, come si evince dalla Tabella 3.4.5, non si sono mai verificate eccedenze rispetto al numero dei superamenti consentiti per quel che riguarda i valori delle medie orarie.

Tabella 3.4.4 – NO₂, Medie annuali 2006-2018

	ZONE											
	IT1402	IT1403							IT1404		LIMITE	
	VA	CB1	CB3	CB4	IS1	IS2	VE1	VE2	GU	TE1		TE2
2006	4	48	21	27	33	16	53	49	11	42	37	48
2007	5	44	22	27	41	14	66	52	5	40	38	46
2008	3	41	22	25	34	12	54	-	6	40	34	44
2009	3	39	20	29	40	13	48	36	9	36	35	42
2010	4	34	19	27	42	15	47	30	6	35	33	40
2011	8	40	20	26	39	-	44	32	4	34	38	40
2012	4	40	22	18	43	-	36	30	5	30	33	40
2013	-	-	-	18	-	-	-	33	16	-	-	40
2014	-	39	20	-	-	-	44	-	12	-	26	40
2015	8	38	21	35	27	-	51	31	10	32	28	40
2016	4	39	24	23	23	-	35	26	6	23	33	40
2017	6	42	19	20	16	-	27	30	9	24	30	40
2018	8	37	34	19	20	-	26	27	9	14	23	40

Tabella 3.4.5 – NO₂, superamenti media oraria 2006-2018

	CB1	CB3	CB4	TE1	TE2	IS1	IS2	VE1	VE2	GU	VA
2006	2	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
2007	3	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0
2008	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2009	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2010	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2011	0	0	0	0	0	0	-	3	0	0	0
2012	1	0	0	0	0	0	-	0	0	0	0
2013	0	0	0	0	0	0	-	0	0	0	0
2014	4	0	1	0	0	1	-	0	0	0	0
2015	0	3	1	3	0	0	-	3	0	0	0
2016	0	0	2	0	0	0	-	0	0	0	0
2017	0	0	0	0	0	1	-	0	0	0	0
2018	0	0	0	0	0	0	-	0	0	0	0

3.4.3 CO, SO₂

Il monossido di carbonio e l'anidride solforosa non presentano alcuna criticità per la qualità dell'aria; infatti, non si sono mai verificati episodi di superamento di nessuna soglia prevista dalla normativa.

4 STIMA E VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI SULLA COMPONENTE ATMOSFERA

Nel presente capitolo, lo studio valuta i contributi alla qualità dell'aria, attribuibili alle emissioni dei macroinquinanti emessi dall'impianto e convogliati a camino.

La valutazione degli impatti sulla componente atmosfera è condotta mediante il confronto tra le concentrazioni in aria ambiente in corrispondenza dei recettori sensibili, stimate per via modellistica, e gli SQA applicabili.

Le concentrazioni in emissione sono state assunte pari ai valori limiti autorizzati per tutta la durata delle simulazioni. Ciò permette una valutazione cautelativa delle ricadute ad esse associate.

In particolare, lo studio valuta i contributi alla qualità dell'aria attribuibili all'impianto per i seguenti assetti emissivi:

- a. Scenario attuale: 2 unità turbogas (TG) esistenti LR1 e LR2;
- b. Scenario di progetto: 2 unità TG di ultima generazione (sostituzione delle due unità esistenti).

4.1 Selezione e struttura dello strumento modellistico

4.1.1 Principi metodologici generali

La selezione dello strumento modellistico adeguato al caso in oggetto, compiutamente riportata nel seguito, è condotta coerentemente ai criteri generali indicati nella Appendice III *"Criteri per l'utilizzo dei metodi di valutazione diversi dalle misurazioni in siti fissi"* al D.Lgs. 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"*, che al paragrafo 1.3 indica che essa debba essere effettuata in funzione di:

- risoluzione spaziale e temporale della valutazione;
- caratteristiche delle sorgenti di emissione;
- caratteristiche degli inquinanti da considerare.

La Tabella 1, riportata nell'Appendice del citato decreto, indica la tipologia di modelli meteorologici, di dispersione e delle caratteristiche del modulo chimico da utilizzare in funzione della scala spaziale della valutazione e del tipo di inquinante.

La Tabella 2 indica la scala spaziale e temporale della valutazione da effettuare con il modello in funzione del tipo di inquinante e del periodo di mediazione del valore limite o obiettivo, ed in funzione di una serie esemplificativa di tipologie di stazioni e siti fissi (traffico, fondo urbano, fondo rurale...). Si tenga presente che quest'ultima indicazione mira soprattutto al corretto confronto tra risultati modellistici e dati registrati da postazioni di misura della qualità dell'aria. Tale confronto, finalizzato alla valutazione delle performance del modello, assume caratteristiche ottimali qualora le stazioni di misurazione

siano rappresentative di una porzione di territorio all'incirca pari alla risoluzione del modello.

Ulteriori indicazioni, di natura più generale, possono essere reperite nelle "Linee guida per la selezione e l'applicazione dei modelli di dispersione atmosferica per la valutazione della qualità dell'aria" (ANPA CTN-ACE, 2001). Secondo la classificazione proposta dalla pubblicazione, l'applicazione oggetto del presente protocollo rientra all'interno della grande varietà di casistiche dello Scenario 2 – "dispersione di inquinanti rilasciati da sorgenti puntiformi anche isolate, areali, lineari in relazione al traffico extraurbano". La pubblicazione identifica quali elementi caratterizzanti lo scenario, il campo di applicabilità, la scala spaziale, la scala temporale, l'ambito territoriale, la tipologia di sorgente e la tipologia d'inquinante, proponendo quindi una classificazione gerarchica di tipologia di modelli con crescenti capacità di simulazione del fenomeno della dispersione degli inquinanti in atmosfera.

Infine, il DM 1 ottobre 2002, n. 261 "Regolamento recante le direttive tecniche per la valutazione preliminare della qualità dell'aria ambiente, i criteri per l'elaborazione del piano e dei programmi di cui agli articoli 8 e 9 del decreto legislativo 4 agosto 1999, n. 351" all'allegato 1, "Direttive tecniche concernenti la valutazione preliminare", fornisce importanti elementi che, sebbene esso sia stato abrogato dal citato D.lgs. 155/2010, restano tuttavia di immutata validità: "La valutazione della complessità dell'area su cui si effettua la valutazione deve tenere conto delle caratteristiche orografiche del territorio, di disomogeneità superficiali (discontinuità terra-mare, città-campagna, acque interne) e condizioni meteo-diffusive non omogenee (calma di vento negli strati bassi della troposfera, inversioni termiche eventualmente associate a regimi di brezza); l'uso di modelli analitici (gaussiani e non) si considera generalmente appropriato nel caso di siti non complessi, mentre qualora le disomogeneità spaziali e temporali siano rilevanti per la dispersione, è opportuno ricorrere all'uso di modelli numerici tridimensionali, articolati in un preprocessore meteorologico (dedicato principalmente alla ricostruzione del campo di vento) e in un modello di diffusione."

Nel seguito si riportano le considerazioni per il caso specifico relativi agli aspetti sopra descritti che hanno condotto alla scelta dello strumento modellistico proposto.

4.1.2 Finalità dell'applicazione

Lo scopo del protocollo e della successiva applicazione dello strumento modellistico è l'identificazione sul territorio delle aree maggiormente interessate dall'impatto determinato dalle emissioni della Centrale di Larino.

È opportuno sottolineare che l'approccio utilizzato ha l'obiettivo di fornire localizzazione ed estensione massime delle aree potenzialmente interferite dalle ricadute delle emissioni convogliate. A tale scopo, la ricostruzione modellistica della dispersione assume il

funzionamento continuativo dell'impianto alla massima capacità produttiva per tutta la durata della simulazione, in modo da ottenere stime cautelative in termini di concentrazioni orarie e giornaliere. Per queste ultime la simulazione assicura infatti la valutazione dell'impatto associato alla massima emissione nelle ore più sfavorevoli, dal punto di vista meteorologico, alla dispersione degli inquinanti. Ciò comporta una sostanziale sovrastima delle ricadute ottenute per via modellistica in termini di concentrazioni orarie e giornaliere rispetto a quanto riconducibile all'effettivo esercizio della Centrale.

Si precisa inoltre che i risultati non hanno la finalità di effettuare un confronto diretto tra stima dell'effettivo contributo della Centrale in assetto attuale e misura della rete di qualità dell'aria nel periodo di riferimento della simulazione poiché:

- La Centrale dovrebbe essere simulata secondo il reale andamento delle emissioni nel periodo di riferimento dei dati misurati;
- Il modello dovrebbe considerare nella ricostruzione modellistica le emissioni di tutte le fonti di inquinamento diverse dalla Centrale, sia interne al dominio (sorgenti emissive del territorio) sia esterne (concentrazioni al bordo).

4.1.3 Caratteristiche del sito

La Centrale Termoelettrica di Larino è ubicata nel territorio del Comune di Larino in provincia di Campobasso, a circa 4 km in direzione Est-NordEst dal centro abitato omonimo (Figura 4.1.1 e Figura 4.1.2).

4.1.4 Caratteristiche delle sorgenti di emissione

L'impianto produttivo comprende 2 gruppi turbogas da 125 MW_e di potenza lorda, denominati LR1 e LR2. Sono presenti anche impianti tecnologici di ausilio e di servizio ai macchinari e al personale addetto. L'energia prodotta viene immessa in rete alla tensione di 150 kV con un allacciamento alla locale stazione elettrica di Terna.

Per l'emissione in atmosfera dei fumi di combustione entrambe le sezioni sono dotate di ciminiere alte 18 metri. Le sezioni di sbocco hanno diametri di 6.5 metri.

4.1.5 Selezione e composizione dello strumento modellistico

Dalle caratteristiche dell'applicazione modellistica evidenziate nei punti precedenti, si può ritenere che la scala spaziale della valutazione sia, in base alla Tabella 1 dell'Appendice III del D.Lgs. 155/2010, "Urbana/agglomerato", ovvero entro un range da 1 a 300 km. La citata Tabella 1 indica pertanto uno strumento modellistico costituito dalle seguenti tipologie di codici:

- Modello meteorologico:
 - Modelli meteorologici a mesoscala
 - Misure meteorologiche localizzate
 - Modelli diagnostici per il campo di vento
- Modello di dispersione:
 - Modelli parametrizzati gaussiani e non gaussiani
 - Modelli chimici di trasporto euleriano
 - Modelli lagrangiani
- Chimica:
 - Da nessuna a inclusa a seconda dei casi.

La Tabella 2 dell'Appendice III del D.Lgs. 155/2010 consente quindi di identificare, per analogia con quanto indicato per le altre sostanze, un'applicazione modellistica con:

- risoluzione temporale oraria;
- risoluzione spaziale < 1 km.

Sulla base di tutto quanto finora esposto per l'applicazione modellistica oggetto di studio, si può ritenere pertanto adeguato uno strumento modellistico composto dalla seguente catena di codici di calcolo:

- Modello meteorologico:
 - WRF – Modello prognostico a mesoscala;
 - CALMET – Modello diagnostico.
- Modello di dispersione:
 - CALPUFF – Modello lagrangiano a puff.

A corredo dei codici di calcolo principali (WRF – CALMET – CALPUFF) lo strumento implementa una serie di pre-processor e post-processor.

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

Il sistema modellistico CALPUFF (CALMET e CALPUFF) compare nella lista dei modelli preferiti/raccomandati dall’Agenzia per la Protezione dell’Ambiente statunitense (US-EPA, http://www.epa.gov/ttn/scram/dispersion_prefrec.htm). 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”*.

La Figura 4.1.3 riporta la schematizzazione del sistema modellistico predisposto. I blocchi verdi rappresentano i dati di input, i blocchi azzurri la ricostruzione meteorologica, quelli arancione la parte emissiva e dispersiva, i grigi l’estrazione, l’elaborazione e la restituzione dei risultati.

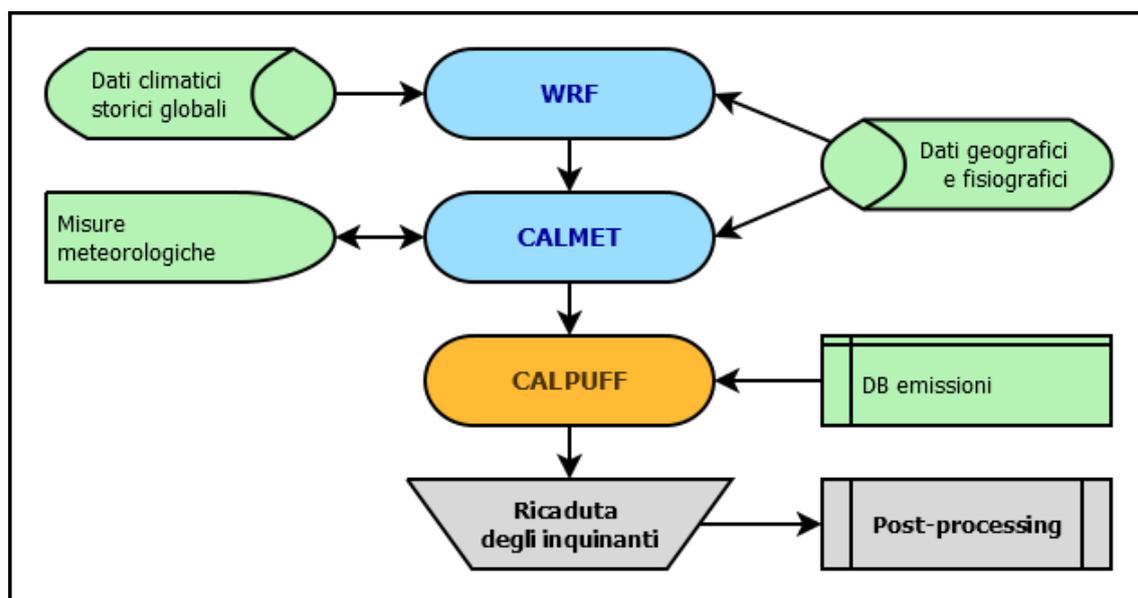


Figura 4.1.3 – Struttura del sistema modellistico

Nei seguenti paragrafi si riporta una sintetica descrizione dei codici principali, e di seguito si presenta l’applicazione al caso in esame dello strumento modellistico selezionato.

4.1.5.1 WRF

WRF (Weather Research and Forecasting Model, versione ARW 3.8) è un modello meteorologico non-idrostatico che risolve le equazioni primitive che controllano la circolazione atmosferica per la ricostruzione e la previsione meteorologica.

WRF (<http://www.wrfmodel.org>) è tra i modelli atmosferici più avanzati attualmente esistenti, risultato di una partnership di vari istituti meteorologici statunitensi, tra cui i principali sono il National Center for Atmospheric Research (NCAR) ed il National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). Oggi il modello WRF è utilizzato in tutto il mondo nella maggior parte dei centri di studio e di previsioni atmosferiche da una vasta comunità, che ne ha favorito un rapido sviluppo e il continuo aggiornamento.

Il codice di calcolo è distribuito da University Corporation for Atmospheric Research (UCAR), gestore di NCAR, e offre una vasta gamma di applicazioni a diversa scala, dai fenomeni di microscala (ordine dei metri) a quelli di scala sinottica (ordine delle migliaia di chilometri).

Il sistema WRF comprende due risolutori dinamici: ARW (Advanced Research WRF) ampiamente sviluppato e mantenuto dal MMM Laboratory (MMM-UCAR), e NMM (non-idrostatiche Mesoscale Model) sviluppato dal National Centers for Environmental Prediction (NCEP) e supportato dal Developmental Testbed Center.

Il modello WRF rappresenta lo stato dell'atmosfera in una griglia tridimensionale in funzione di 10 variabili fondamentali (le tre componenti del vento u-v-w, la temperatura, la pressione, l'umidità e vari stati microfisici che rappresentano le diverse fasi dell'acqua liquida). La dimensione delle celle della griglia definisce la risoluzione del modello.

Dati uno stato iniziale e una condizione al contorno, le equazioni del modello sono integrate numericamente (con incrementi predeterminati) per far avanzare temporalmente lo stato del modello. In questo modo, il modello genera un database che contiene una rappresentazione dello stato dell'atmosfera in 4 dimensioni (longitudine, latitudine, quota e tempo).

WRF risolve le equazioni primitive usando approssimazioni numeriche, discretizzando spazialmente e temporaneamente in funzione della risoluzione desiderata. Le equazioni numeriche possono risolvere correttamente solo quei processi meteorologici le cui dimensioni sono maggiori rispetto alla cella della griglia. Come conseguenza, i processi a scala più piccola devono essere parametrizzati, cosa che implica che gli effetti sulla cella sono dedotti dalle variabili previste dal modello per la cella stessa.

Per incorporare l'intera gamma di fenomeni meteorologici che si verificano nell'atmosfera reale, il modello utilizza una serie di griglie nidificate. La dimensione della griglia più grande è selezionata per rappresentare l'effetto dei fenomeni di scala sinottica nella regione d'interesse, mentre le griglie più piccole permettono al modello di rappresentare circolazioni regionali/locali legate all'interazione della circolazione sinottica con la topografia di micro-scala.

Le condizioni al contorno per la griglia esterna sono ottenute da dati climatici storici globali che sono mantenuti da centri operativi di previsione meteorologica globale. Questi dati

globali rappresentano l'intero stato dell'atmosfera in tutto il pianeta, e sono il risultato di analisi computerizzate dei dati superficiali disponibili e delle osservazioni sugli strati più alti.

Ogni periodo di analisi unisce decine di migliaia di singole misure provenienti da tutto il mondo in uno stato fisico coerente. Si deve osservare che WRF non fa direttamente uso delle misure di vento dalle reti di osservazione locali, e quindi tali osservazioni possono essere utilizzate per convalidare i risultati del modello stesso.

Il ruolo di WRF nello strumento modellistico nella presente applicazione è di ricostruire la struttura tridimensionale dell'atmosfera, e la sua evoluzione temporale in termini di situazioni sinottiche generali e principali strutture regionali.

4.1.5.2 CALMET

CALMET (Version 6.5.0, Level 150223) (Scire et al., 2000(a)), sviluppato dalla società statunitense TRC (<http://www.src.com>), 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 dello stesso. 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 un secondo momento 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") viene condotto 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.

4.1.5.3 CALPUFF

CALPUFF (Version 7.2.1, Level 150816) (Scire J.S. et Al., 2000(b)), sviluppato dalla società statunitense TRC (<http://www.src.com/>), è un modello lagrangiano a puff non stazionario che simula 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.

Appostiti 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 scavening").

4.1.6 Validazione dello strumento modellistico

I codici di calcolo selezionati per le valutazioni modellistiche del presente studio WRF, CALMET e CALPUFF sono sviluppati da soggetti terzi (NCAR, NOAA e TRC) 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.

4.2 Applicazione al caso in esame

Di seguito si riportano le caratteristiche dell'applicazione dello strumento modellistico al caso in esame.

4.2.1 Scala temporale: periodo di simulazione e passo temporale

Lo strumento modellistico è stato applicato dalle ore 00:00 del 01/01/2013 alle ore 24:00 del 31/12/2015 con passo temporale orario, ovvero tale da consentire una adeguata riproduzione della dinamica dei fenomeni di dispersione oggetto di studio.

4.2.2 Scala spaziale: ambito territoriale e risoluzione spaziale

In base alle caratteristiche del sito, al tipo di emissione e ai fenomeni in studio, il modello meteorologico CALMET è stato applicato, come mostrato in Figura 4.2.1 ad un dominio di calcolo 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 33 Nord) associato al sistema geodetico WGS-84.

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

- Griglia G1:
 - Coordinate angolo SW: 477'000 m E, 4'610'000 m N
 - Numero di celle: 16 in direzione N-S, 16 in direzione W-E
 - Dimensione di cella: 2'500 x 2'500 m²
- Griglia G2:
 - Coordinate angolo SW: 487'000 m E, 4'620'000 m N
 - Numero di celle: 40 in direzione N-S, 40 in direzione W-E
 - Dimensione di cella: 500 x 500 m²
- Livelli verticali (per entrambe le griglie):
 - Numero: 10
 - Quota facce: 0, 20, 40, 80, 160, 320, 640, 1'200, 2'000, 3'000, 4'000 m s.l.s.
 - Quota 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 16 x 16 punti a maglia di 2.5 km, ovvero 256 recettori, che coprono l'area di 40 x 40 km² dell'intero dominio computazionale G1. La seconda è una griglia di 36 x 36 punti a maglia di 500 m, ovvero 1'296 recettori (parzialmente sovrapposti ai precedenti) che coprono un'area di 18 x 18 km² compresa nella griglia G2 del modello CALMET (Figura 4.2.1).

4.2.3 Banche dati

4.2.3.1 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 a ciascuna cella di ciascun dominio di calcolo definiti al paragrafo 4.2.2.

In Figura 4.2.1 è rappresentato graficamente l'output del pre-processore TERREL.

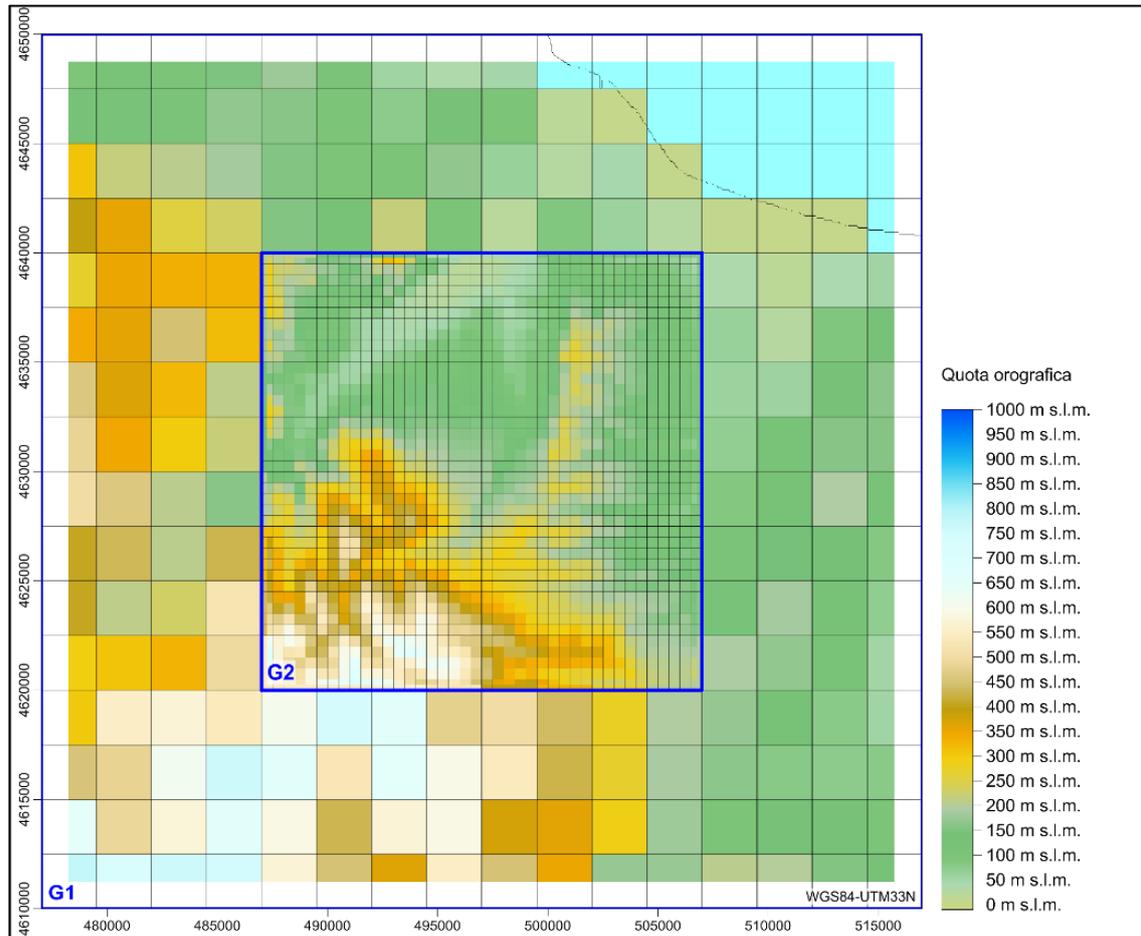


Figura 4.2.1 – Domini di calcolo (G1 e G2), griglie recettori (2.5 km e 500 m) e quota orografica alla risoluzione del modello meteorologico CALMET

4.2.3.2 *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 4.2.2).

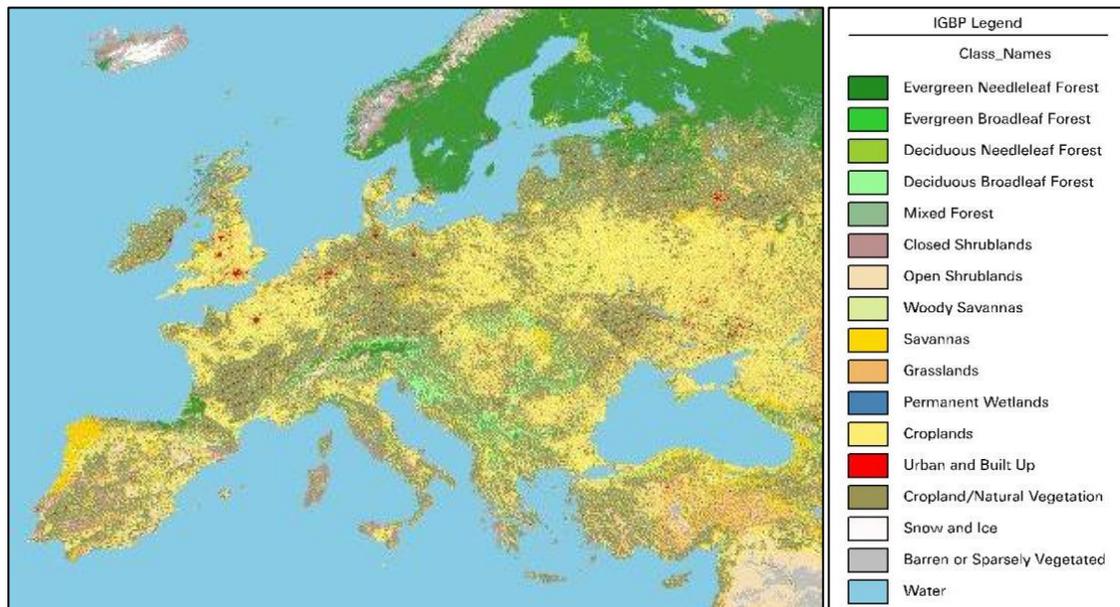


Figura 4.2.2 – Global Land Cover Characterization (GLCC)

Per ogni cella di ciascun dominio dell'area di studio (definiti al paragrafo 4.2.2) 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 4.2.1). 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 4.2.2.

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

Tabella 4.2.1 – 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

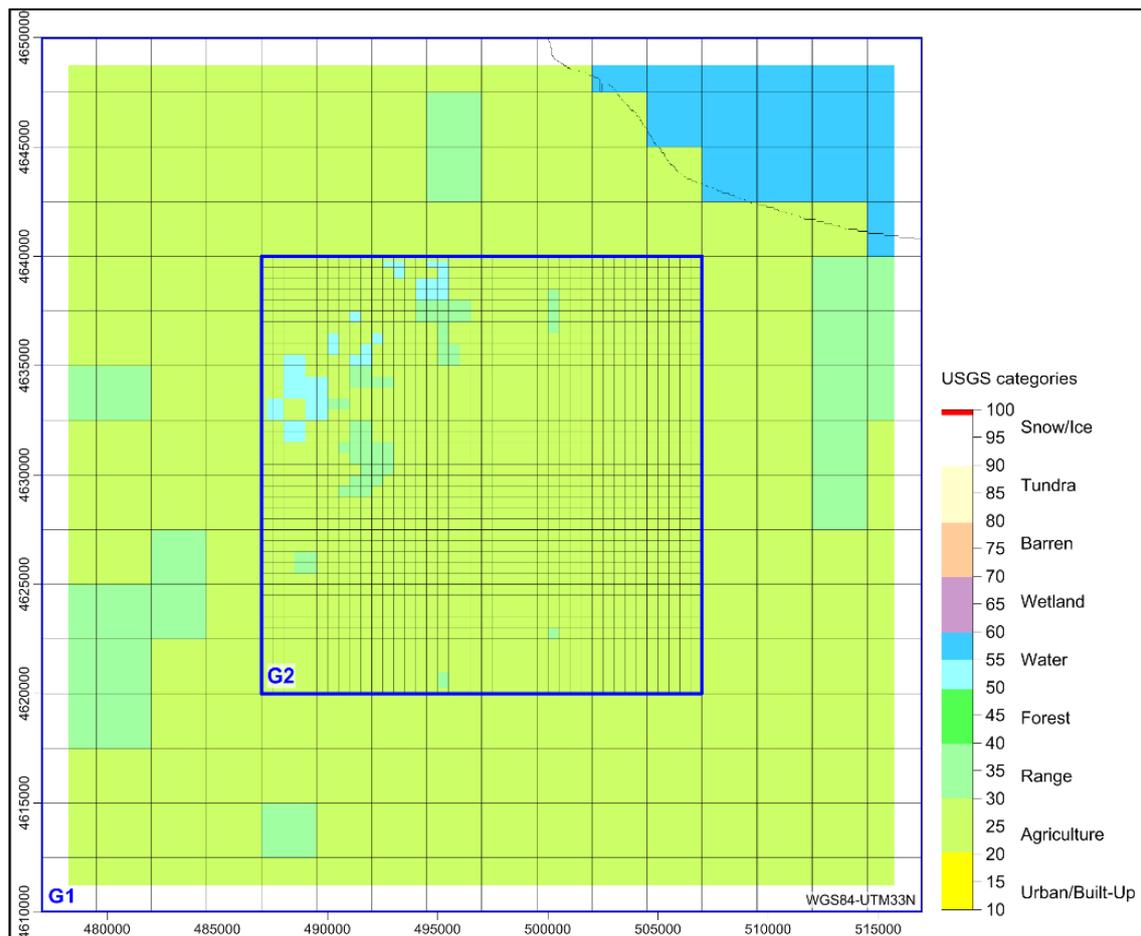


Figura 4.2.3 – Classe prevalente di uso del suolo alla risoluzione del modello meteorologico CALMET (elaborazione da fonte: USGS Global)

Tabella 4.2.2 – 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

4.2.4 Sostanze considerate

Le sostanze considerate in emissione dalla Centrale di Larino sono gli ossidi di azoto (NO_x) ed il monossido di carbonio (CO).

4.2.5 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 (NO₂), è stato utilizzato lo schema RIVAD/ARM3 (Morris et al., 1988) che include sette specie d'inquinanti (SO₂, SO₄, NO, NO₂, HNO₃, NO₃, PM₁₀) ed implementa l'ossidazione del monossido di azoto ad opera dell'ozono (O₃) e la foto-dissociazione diurna del biossido di azoto in monossido di azoto ed ozono.

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 4.2.4 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.



Figura 4.2.4 – Localizzazione delle postazioni di ozono utilizzate ai fini modellistici (WGS84-UTM32)

4.3 Analisi meteorologica

4.3.1 Selezione delle stazioni meteorologiche di confronto

Al fine di valutare la coerenza della meteorologia prodotta dalla catena modellistica WRF-CALMET, è stata selezionata la stazione meteorologica di Pescara, gestita dall’Aeronautica Militare, come rappresentativa della meteorologia dell’area in esame. La localizzazione e le principali caratteristiche della stazione sono riportate in Tabella 4.3.1 e Figura 4.3.1. Nel seguito si presenta l’analisi e il confronto rispetto all’output della catena modellistica dei principali parametri meteorologici.

Tabella 4.3.1 – Localizzazione della stazione meteo

Fonte	Nome	Coordinate geografiche (WGS84)		Quota m s.l.m.	Dist. C.le km
		Longitudine	Latitudine		
Aeronautica Militare (ENAV - Abruzzo)	Pescara (LIBP)	14.187	42.437	11	94

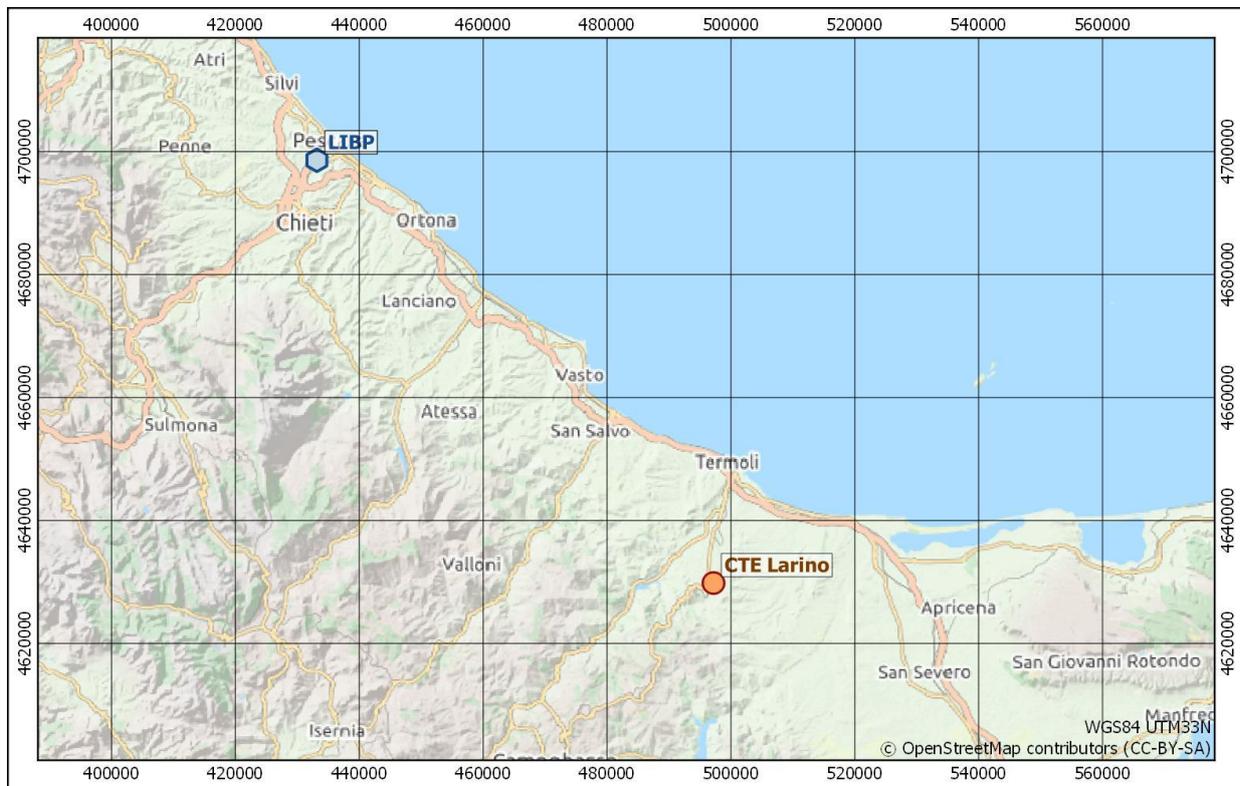


Figura 4.3.1 – Localizzazione della stazione meteo Pescara (LIBP)

4.3.2 Confronto modello con misure meteorologiche

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

Nella Figura 4.3.2 e nella Figura 4.3.3, sono riportate le rose dei venti totali, diurne e notturne dei dati misurati nella stazione di Pescara e quelli stimati dal modello WRF in corrispondenza della stessa, nel triennio 2013-2015. Il confronto tra i dati misurati e le stime modellistiche è soddisfacente, con entrambe le rose dei venti totali che mettono in evidenza i tre settori prevalenti di provenienza delle masse d'aria SO, NE e NO. L'intensità del vento stimata dal sistema modellistico risulta sensibilmente più alta di quella misurata. L'analisi delle rose diurne e notturne mostra l'instaurarsi di una circolazione di brezza che si sovrappone alle condizioni sinottiche, con l'accentuarsi delle provenienze delle masse d'aria da NE di giorno e quella da SO di notte. Tale circolazione è evidente sia nelle rose dei dati sperimentali, che in quelle dei dati ricostruiti per via modellistica.

Anche il confronto tra le rose stagionali (Figura 4.3.4 e Figura 4.3.5) relative ai dati sperimentali e a quelle estratte dal modello è soddisfacente. In entrambe le analisi si possono osservare venti predominanti di buona intensità da SO presenti in tutte le stagioni,

venti da NO rilevanti nella stagione fredda e venti da NE di bassa intensità presenti nella stagione calda.

Nella Tabella 4.3.2, nella Tabella 4.3.3, nella Figura 4.3.6 e nella Figura 4.3.7, sono riportati gli andamenti termici dei dati misurati nella stazione di Pescara e quelli stimati dal modello WRF in corrispondenza della stessa, nel triennio 2013-2015. Il confronto tra i dati misurati e la ricostruzione modellistica è soddisfacente, con l'andamento medio mensile che risulta ben sovrapponibile. I valori estremi sono più accentuati nei valori sperimentali, minima assoluta $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ e massima assoluta $40\text{ }^{\circ}\text{C}$, contro i valori di $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $34\text{ }^{\circ}\text{C}$ rispettivamente stimati per via modellistica. La differenza riscontrata sui valori estremi di circa $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ si ridimensiona fino a circa $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ se si confrontano le medie mensili. Tutti i valori riscontrati nel triennio sono in linea con quanto riscontrato a livello climatologico nel trentennio 1971-2000 (capitolo 2.1.2).

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.

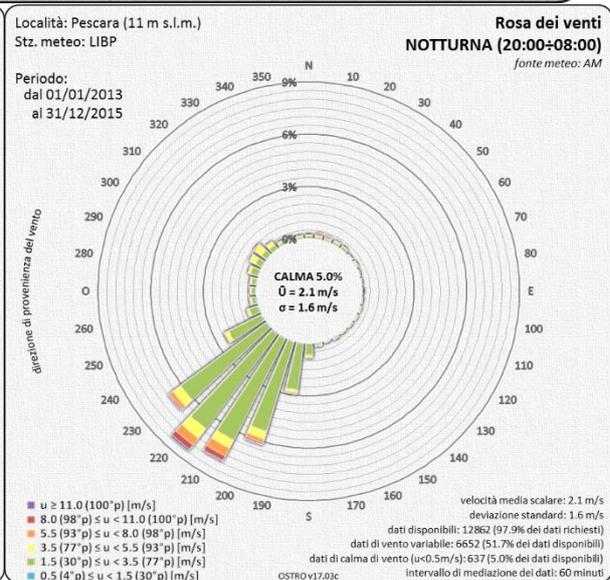
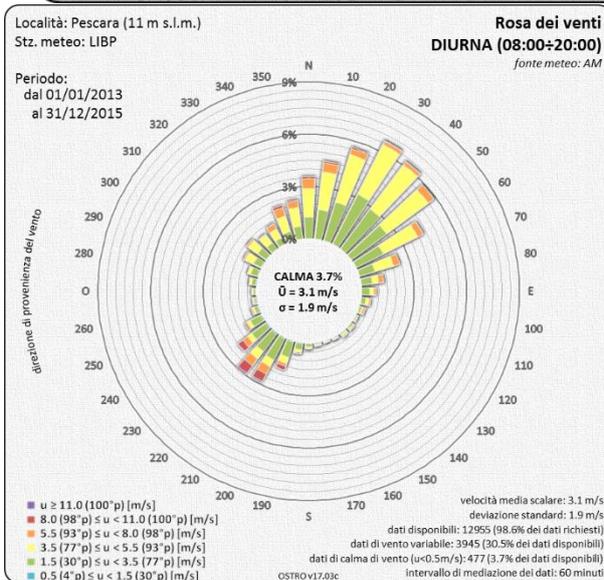
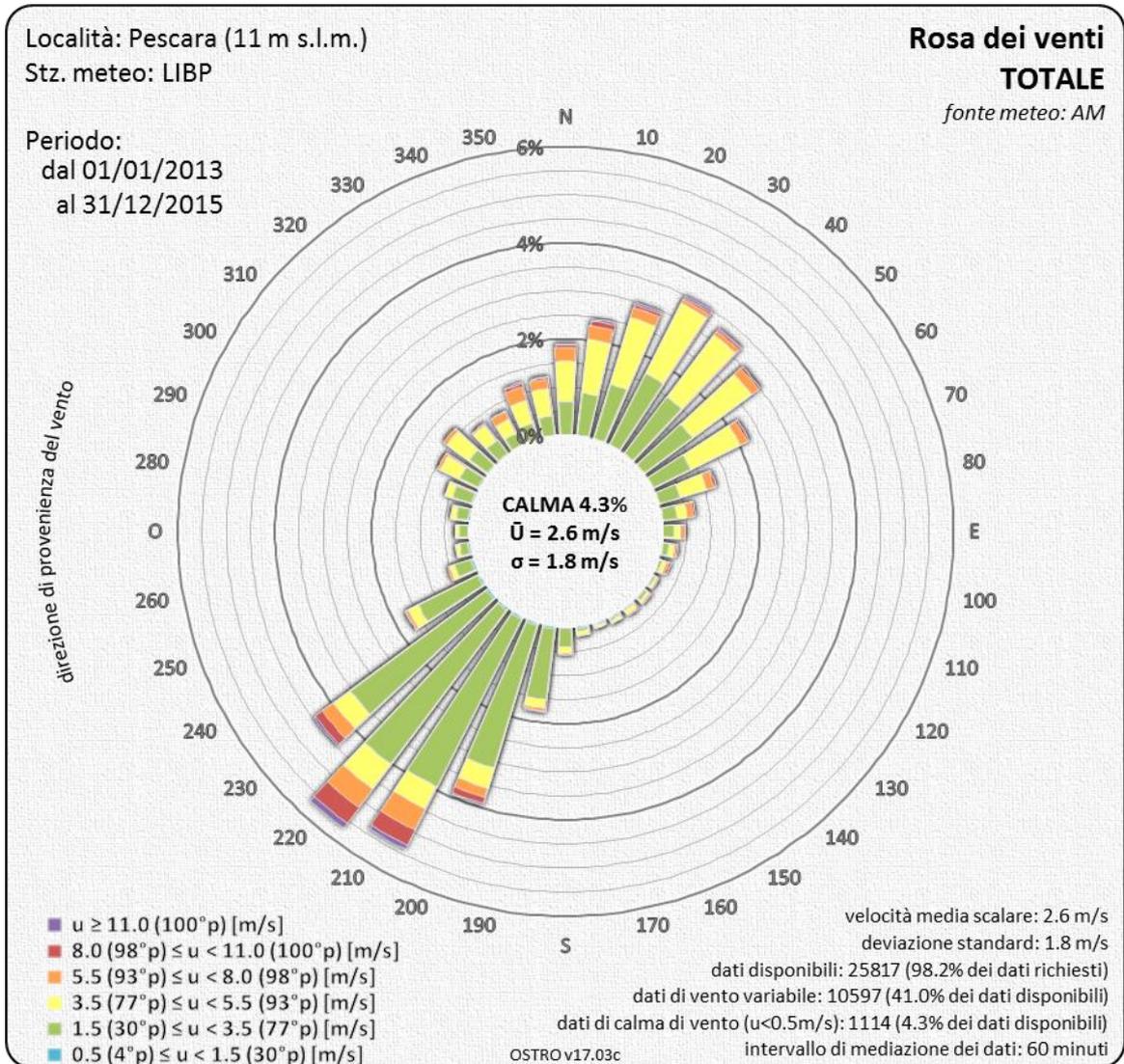


Figura 4.3.2 – Dati stazione Pescara. Rose dei venti totale, diurna e notturna.
Dati misurati nel periodo 2013-2015

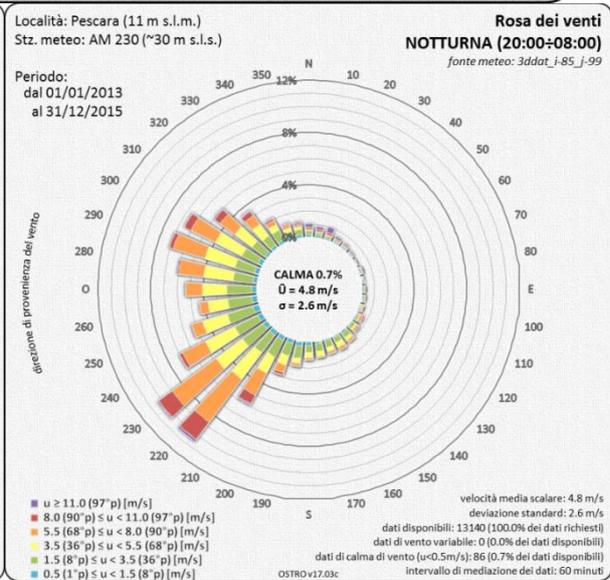
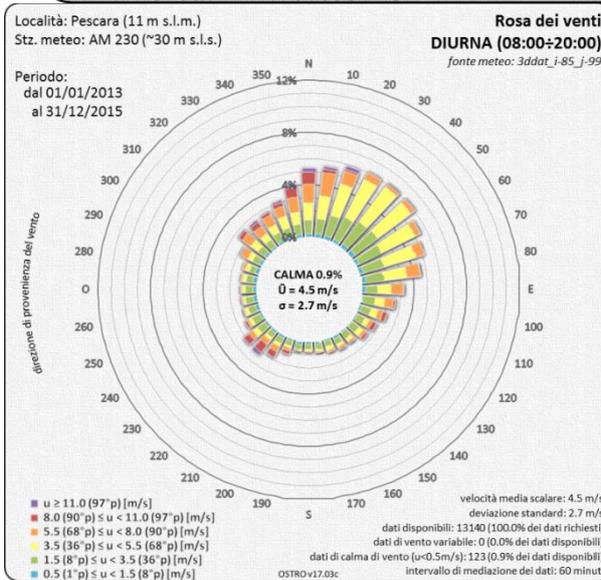
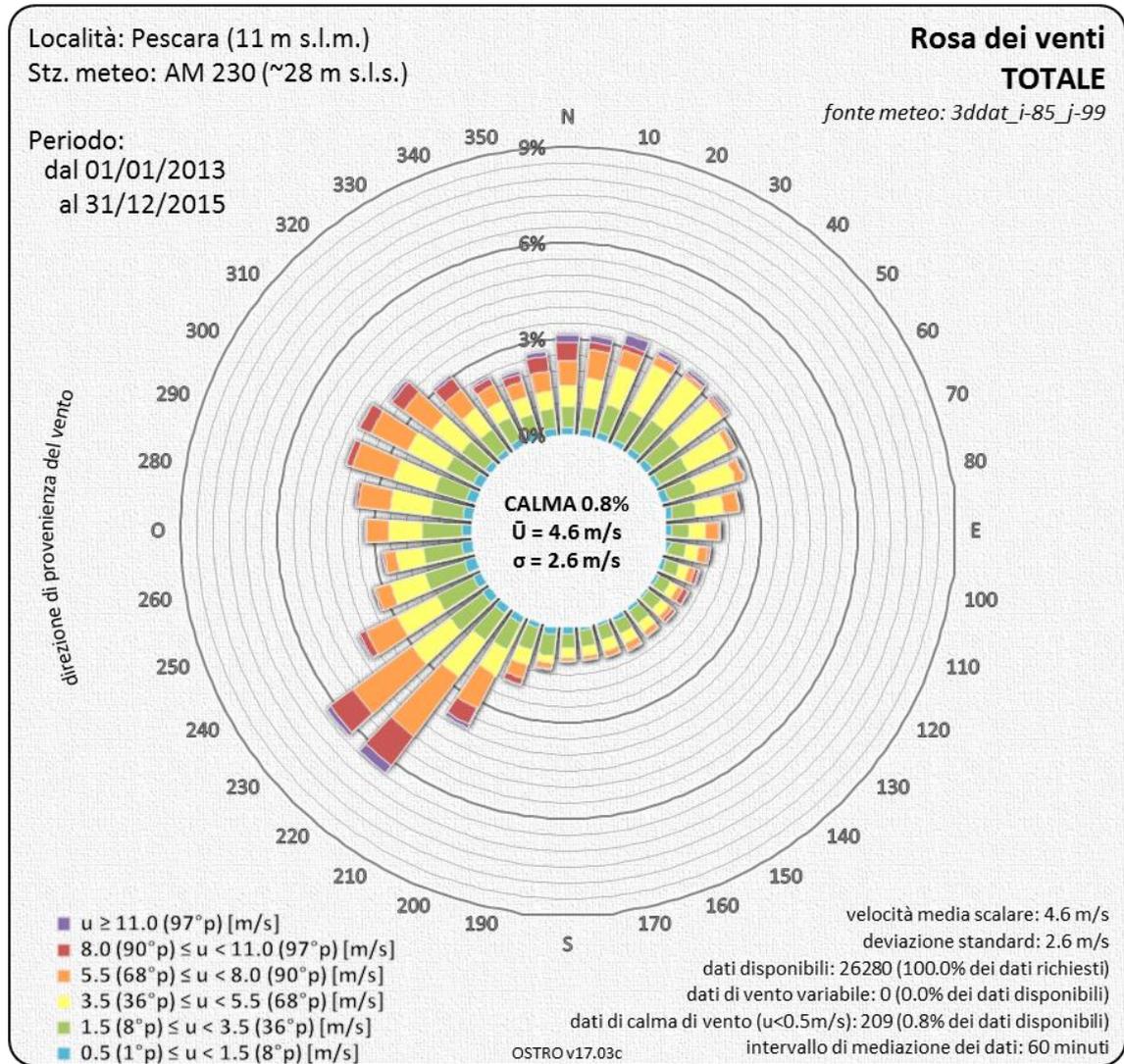


Figura 4.3.3 – Dati estratti dal modello WRF in corrispondenza della stazione di Pescara.
Rose dei venti totale, diurna e notturna. Dati stimati nel periodo 2013-2015



Figura 4.3.4 – Dati stazione di Pescara. Rose dei venti stagionali.
Dati misurati nel periodo 2013-2015

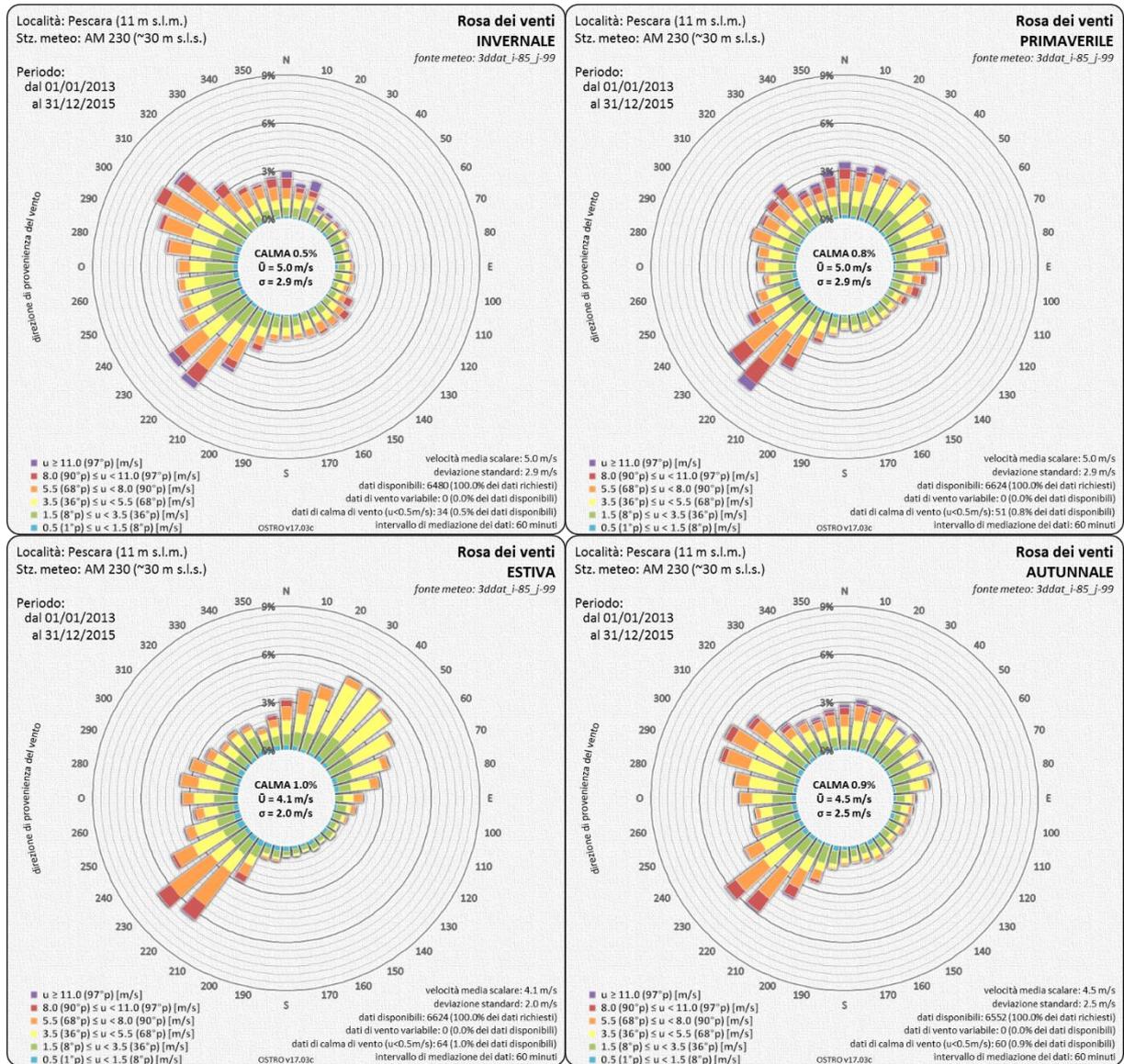


Figura 4.3.5 – Dati estratti dal modello WRF in corrispondenza della stazione di Pescara. Rose dei venti stagionali. Dati stimati nel periodo 2013-2015

Tabella 4.3.2 – Temperature stazione di Pescara (fonte Aeronautica Militare). Periodo 2013-2015

Regime termico - Stazione Pescara (misura) - dati 2013-2015													
Parametro	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Anno
Disponibilità %	99	100	97	100	98	100	100	100	100	99	99	99	99
Massima	22.0	30.0	28.0	27.0	27.0	33.0	36.0	37.0	40.0	29.0	30.0	30.0	40.0
Media massima	13.0	13.0	15.2	18.5	22.1	26.5	29.5	28.9	25.5	20.8	17.7	13.8	20.5
Media	7.9	8.5	10.6	13.7	17.5	21.6	24.8	24.2	20.4	16.6	12.5	7.5	15.6
Media minima	3.2	3.9	5.5	8.2	12.2	15.5	18.5	18.6	15.1	12.6	8.1	2.8	10.4
Minima	-2.0	-3.0	0.0	2.0	6.0	7.0	10.0	13.0	9.0	7.0	-1.0	-2.0	-3.0

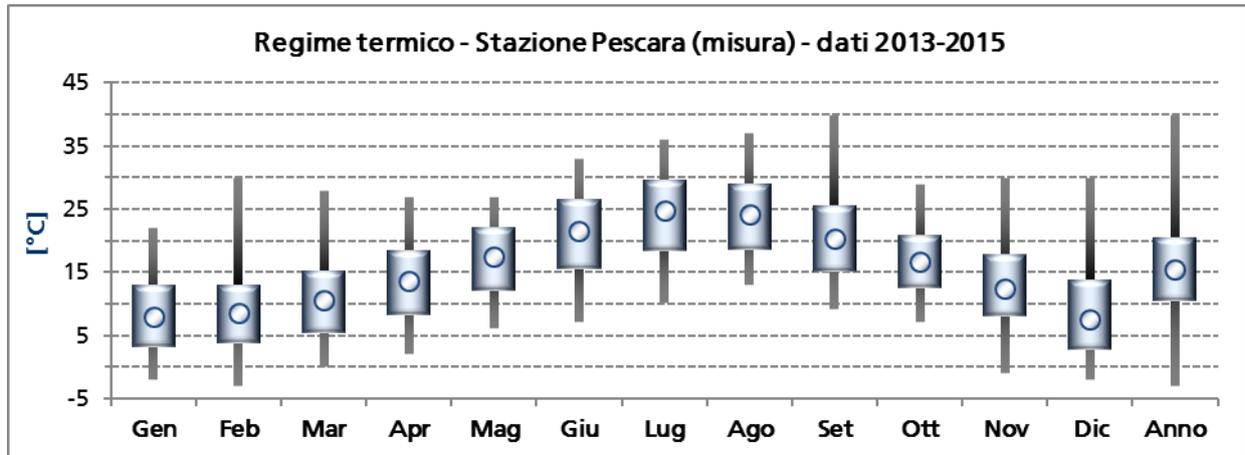


Figura 4.3.6 – Andamento termico stazione di Pescara (Aeronautica Militare). Periodo 2013-2015

Tabella 4.3.3 – Temperature nella stazione di Pescara (da modello WRF). Periodo 2013-2015

Regime termico - Stazione Pescara (modello WRF) - dati 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	18.0	18.9	20.7	25.2	29.8	30.6	32.5	31.5	33.9	27.7	22.8	21.0	33.9
Media massima	13.7	13.7	15.3	17.6	21.4	24.2	27.1	27.7	25.3	21.8	18.3	14.6	20.1
Media	11.4	11.3	12.8	14.8	18.5	21.8	24.8	25.6	23.1	19.5	16.2	12.7	17.8
Media minima	8.8	8.6	10.2	11.7	15.0	19.1	22.2	23.3	20.6	17.0	13.8	10.6	15.1
Minima	4.0	2.0	2.7	8.3	9.8	13.6	16.4	20.3	16.4	9.4	5.5	1.7	1.7

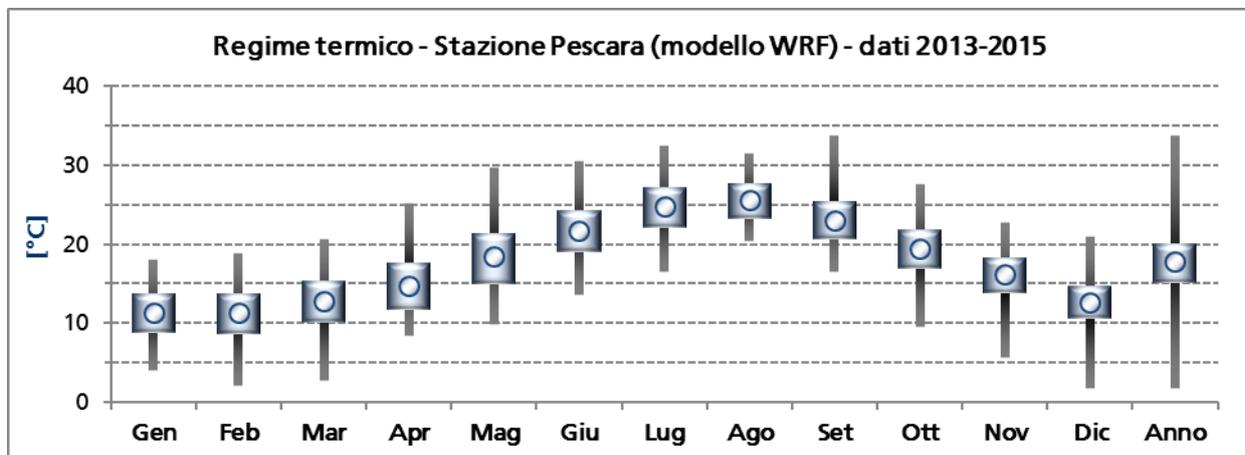


Figura 4.3.7 – Andamento termico nella stazione di Pescara (da modello WRF). Periodo 2013-2015

4.3.3 Stabilità atmosferica e altezza strato rimescolato nell'area

La Figura 4.3.8 riporta, per il triennio 2013-2015, 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 estratti dai campi prodotti dal modello CALMET in corrispondenza dell'impianto. Si evidenzia l'effetto mitigante della poco distante linea

costiera e quello della 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. L'analisi stagionale mette in evidenza come tale effetto si verifichi principalmente nelle stagioni fredde, e abbia una minore rilevanza in quelle calde.

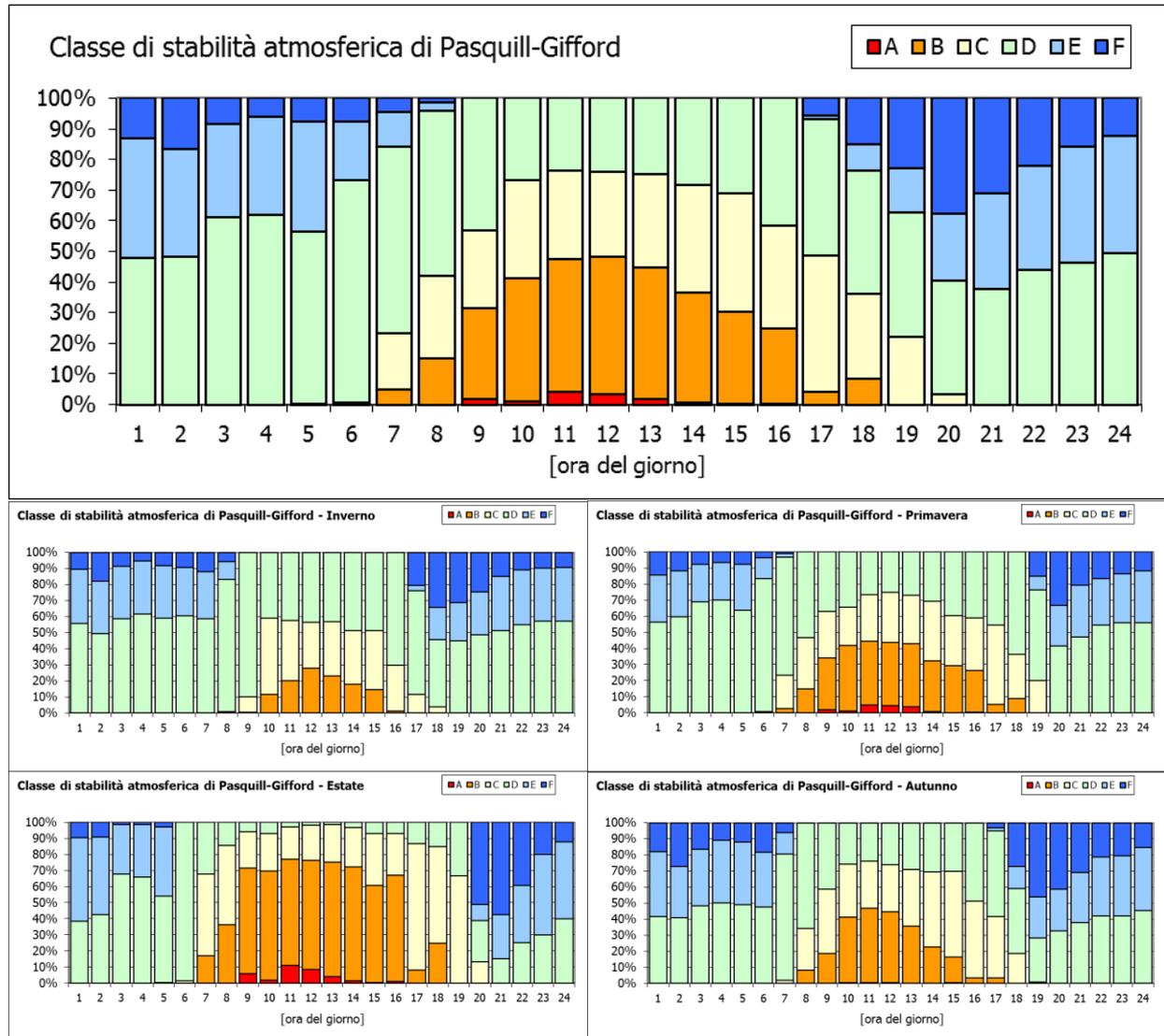


Figura 4.3.8 – Distribuzioni orarie della classe di stabilità atmosferica di Pasquill-Gifford calcolate su base annuale e stagionale. Periodo 2013-2015. Valori orari estratti dal modello CALMET in corrispondenza della Centrale

La Figura 4.3.9 sintetizza gli andamenti medi nel giorno, per ogni stagione dell'anno, dell'altezza dello strato rimescolato calcolato a partire dai campi orari prodotti dal modello CALMET in corrispondenza della Centrale, sempre per il triennio 2013-2015. Si osserva la maggiore estensione dello strato rimescolato associato alla stagione calda ed alle ore maggiormente soleggiate.

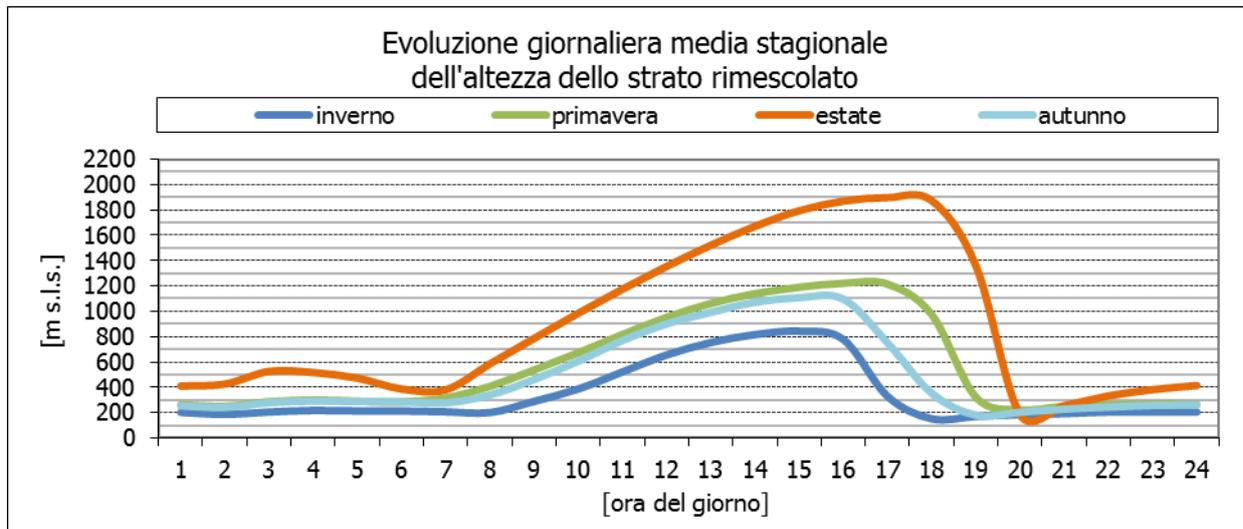


Figura 4.3.9 – Evoluzione giornaliera media dell'altezza dello strato rimescolato calcolata su base stagionale. Periodo 2013-2015. Valori orari estratti dal modello CALMET in corrispondenza della Centrale

4.4 Scenari emissivi

Le simulazioni della dispersione degli inquinanti in atmosfera sono state effettuate considerando i seguenti scenari emissivi:

- a. Scenario attuale: 2 unità TG esistenti LR1 e LR2, autorizzate per 500 ore/anno;
- b. Scenario di progetto: 2 unità TG di ultima generazione (sostituzione delle 2 unità TG esistenti (LR1 e LR2), proposte per 800 ore/anno.

Gli effetti sulla qualità dell'aria delle emissioni convogliate sono stati stimati assumendo concentrazioni alle emissioni pari ai valori autorizzati per lo scenario attuale, e sezioni d'impianto esercite a carico nominale costante per l'intera durata della simulazione. L'assunzione del carico nominale costante per tutta la durata della simulazione alle concentrazioni limite autorizzate consente di ottenere delle stime cautelative in termini di concentrazioni orarie e giornaliere, per le quali la simulazione assicura la valutazione dell'impatto associato alla massima emissione nelle ore più sfavorevoli, dal punto di vista meteorologico, alla dispersione degli inquinanti.

Coerentemente con le finalità dello studio, quindi, la simulazione condotta ha l'obiettivo di rappresentare non il reale impatto associato all'impianto in un definito periodo storico, ma la massima estensione e relativa entità attesa dell'impatto associato alle emissioni convogliate in condizioni di massimo carico emissivo.

In termini di emissioni massiche, il progetto prevede un aumento del massimo numero di ore di funzionamento annuo per le unità oggetto di rifacimento dalle attuali 500 ore/anno autorizzate ad 800 ore/anno.

4.4.1 Scenario attuale

Lo scenario attuale prevede il funzionamento delle due sezioni della Centrale di Larino. Le coordinate delle ciminiere associate alle sezioni e le relative caratteristiche geometriche sono riportate in Tabella 4.4.1. In Tabella 4.4.2 sono invece riportati i parametri fisici dei fumi allo sbocco dalle ciminiere ed i valori di concentrazione all'emissione.

Per stimare l'effetto sulle ricadute in aria ambiente indotto dalla limitazione sul numero massimo di ore annue autorizzate cui le unità sono soggette, pari a 500 ore/anno, le stime modellistiche delle concentrazioni medie annue sono state opportunamente riscalate in fase di post-processing.

Tabella 4.4.1 – Caratteristiche geometriche delle ciminiere (scenario attuale)

Sezione	Ciminiera			
	Coordinate WGS84 UTM33N		Altezza	Diametro allo sbocco
	Est (m)	Nord (m)	m (s.l.s.)	m
LR1	497'192	4'629'799	18.0	6.5
LR2	497'148	4'629'806	18.0	6.5

Tabella 4.4.2 – Caratteristiche dei fumi allo sbocco (scenario attuale)

Sezione	Parametri fisici dei fumi allo sbocco				Valori di concentrazione all'emissione	
	Temperatura	Velocità	Portata ⁽¹⁾	O _{2,rif}	NO _x	CO
	°C	m/s	Nm ³ /h	%	mg/Nm ³	mg/Nm ³
LR1	480	31	1'250'000	15	90	50
LR2	480	31	1'250'000	15	90	50

⁽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)

4.4.2 Scenario di progetto

Lo scenario di progetto prevede la sostituzione delle 2 unità turbogas esistenti con 2 unità turbogas di ultima generazione progettate con criteri più avanzati di efficienza e compatibilità ambientale e proposte nel pieno rispetto delle *Best Available Techniques Reference document* (BRef) di settore che consentiranno una efficienza più elevata e performances ambientali migliori rispetto ai turbogas esistenti (Tabella 4.4.5). Non sono previste modifiche alla struttura delle relative ciminiere; a valle di verifica, in base allo stato di conservazione, potrà esserci la necessità di sostituire alcuni componenti, mantenendone comunque inalterate la posizione e la geometria. Le coordinate delle ciminiere associate alle sezioni e le relative caratteristiche geometriche sono riportate in Tabella 4.4.3. In Tabella 4.4.4 sono invece riportati i parametri fisici dei fumi allo sbocco dalle ciminiere ed i valori di concentrazione all'emissione.

Per stimare l'effetto sulle ricadute in aria ambiente indotto dalla limitazione sul numero massimo di ore annue cui le unità sono soggette in base al progetto di rifacimento, pari a 800 ore/anno, le stime modellistiche delle concentrazioni medie annue sono state opportunamente riscalate in fase di post-processing.

Tabella 4.4.3 – Caratteristiche geometriche delle ciminiere (scenario di progetto)

Sezione	Ciminiera			
	Coordinate WGS84 UTM33N		Altezza	Diametro allo sbocco
	Est (m)	Nord (m)	m (s.l.s.)	m
LR1	497'192	4'629'799	18.0	6.5
LR2	497'148	4'629'806	18.0	6.5

Tabella 4.4.4 – Caratteristiche dei fumi allo sbocco (scenario di progetto)

Sezione	Parametri fisici dei fumi allo sbocco				Valori di concentrazione all'emissione	
	Temperatura	Velocità	Portata ⁽¹⁾	O _{2,rif}	NO _x	CO
	°C	m/s	Nm ³ /h	%	mg/Nm ³	mg/Nm ³
LR1	542.8	31.5	1'300'000	15	30	30
LR2	542.8	31.5	1'300'000	15	30	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)

Tabella 4.4.5 – Confronto tra limiti BAT e Performance attesa del progetto

	Periodo di riferimento	BAT OCGT (mg/Nm ³)	Performance attesa OCGT (mg/Nm ³)
NO _x	annuale	15-35	-
NO _x	giornaliero	25-50	30
CO	annuale	5-40	30

4.4.3 Bilancio massico

Il bilancio massico annuo relativo al funzionamento nell'assetto attuale e in quello di progetto è riportato in Tabella 4.4.6. Nell'assetto di progetto, che prevede la sostituzione delle 2 unità turbogas di Centrale con 2 unità turbogas di ultima generazione, il nuovo limite massimo delle ore di funzionamento proposto è stato determinato per garantire una leggera diminuzione della potenziale emissione totale annua di monossido di carbonio (CO: -0.2%) ed una sostanziale diminuzione delle emissioni totali annue di ossidi di azoto (NO_x: -45%).

Tabella 4.4.6 – Bilancio massico nei due scenari Attuale e di Progetto

Scenario	Unità	Bilancio massico	
		NO _x	CO
		kg/anno	
Attuale (A)	LR1	56'250	31'250
	LR2	56'250	31'250
	Totale	112'500	62'500
Progetto (P)	LR1	31'200	31'200
	LR2	31'200	31'200
	Totale	62'400	62'400
Differenza (P-A)		-50'100	-100

4.5 Stima delle ricadute

La distribuzione spaziale stimata per via modellistica delle concentrazioni in aria ambiente associate alle emissioni di macroinquinanti convogliate ai camini della Centrale di Larino, sia nello scenario attuale sia in quello di progetto, è presentata in forma grafica nelle tavole allegate fuori testo (paragrafo 4.5.1).

Inoltre, vengono nel seguito posti a confronto i valori stimati nel punto di massima ricaduta con i relativi limiti di legge vigenti (paragrafo 4.5.2).

4.5.1 Tavole fuori testo

Nelle tavole fuori testo si presentano le stime modellistiche relative alle concentrazioni in aria ambiente degli inquinanti considerati. 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 4.5.1. Infine, il suffisso "a" o "p" identifica rispettivamente lo scenario Attuale o quello di Progetto.

Si specifica che, 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.

Tabella 4.5.1 – 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	CO – Concentrazione media massima giornaliera calcolata su 8 ore

4.5.1.1 NO₂ e NO_x

Le **tavole 01** (cfr. Tabella 4.5.1) riportano la stima del contributo alla concentrazione media annua in aria ambiente di NO₂ associato alle emissioni della Centrale nello scenario Attuale (.a) e di Progetto (.p). Il D. Lgs. 155/2010 prevede un valore limite alla concentrazione media per anno civile di NO₂ pari a 40 µg/m³. Nello scenario attuale, l'area di maggiore impatto, che comprende valori di concentrazione dell'ordine di 0.04 µg/m³, è localizzabile entro 1 km a sud-ovest della Centrale. Una seconda area interferita è individuabile a circa 12 km a sud-sud-est della Centrale. Nello scenario di progetto, l'impatto risulta sostanzialmente ridotto con i valori massimi che scendono al di sotto di 0.03 µg/m³.

Le **tavole 02** (cfr. Tabella 4.5.1) riportano la stima del contributo alla concentrazione media oraria di NO₂ superata 18 volte in un anno nello scenario Attuale (.a) e di Progetto (.p). 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 attuale, l'area di maggiore impatto è localizzabile circa 1 km a sud-ovest della Centrale, ove si stimano contributi che raggiungono il valore massimo di circa 42 µg/m³. Una seconda area interferita è individuabile a circa 5-15 km a sud della Centrale. Nello scenario di progetto, l'impatto risulta sostanzialmente ridotto con il valore massimo che scende a circa 14 µg/m³.

Le **tavole 03** (cfr. Tabella 4.5.1) riportano la stima del contributo alla concentrazione media annua in aria ambiente di NO_x associato alle emissioni della Centrale nello scenario Attuale (.a) e di Progetto (.p). 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 µg/m³. Nello scenario attuale, l'area di maggiore impatto, che comprende valori di concentrazione dell'ordine di 0.06 µg/m³, è localizzabile circa 1 km a sud-ovest della Centrale. Una seconda area interferita è individuabile a circa 12 km a sud e sud-sud-est della Centrale. Nello scenario di progetto, l'impatto risulta sostanzialmente ridotto con i valori massimi dell'ordine di 0.03 µg/m³.

4.5.1.2 CO

Le **tavole 04** (cfr. Tabella 4.5.1) riportano la stima del contributo alla concentrazione media massima giornaliera calcolata su 8 ore di CO associato alle emissioni della Centrale nello

scenario Attuale (.a) e di Progetto (.p). Il D. Lgs. 155/2010 prevede un valore limite alla concentrazione media massima giornaliera calcolata su 8 ore di CO pari a 10 mg/m³. Nello scenario attuale, l'area di maggiore impatto è localizzabile entro circa 1-3 km intorno alla Centrale, ove si stimano contributi che raggiungono il valore massimo di 0.02 mg/m³. Altre aree interferite sono individuabili circa 7 km a sud e 12 km a sud-sud-est della Centrale. Nello scenario di progetto, l'impatto risulta sostanzialmente ridotto con i valori massimi dell'ordine di 0.01 mg/m³.

4.5.2 Confronto con i limiti di legge

In Tabella 4.5.2 sono riportati, per ciascuno scenario considerato, i contributi stimati alle concentrazioni dei macroinquinanti nel punto di massima ricaduta. Tutti i contributi stimati rientrano ampiamente all'interno dei valori limite e dei livelli critici, ove applicabili, imposti dal D. Lgs. 155/2010, sia nello scenario attuale che, ancor più, in quello di progetto.

Come si evince dall'analisi del bilancio massico riportato al paragrafo 0, risultano evidenti i miglioramenti derivanti dallo scenario di progetto che, prevedendo il rifacimento delle due unità di produzione esistenti, permette di ridurre di circa il 45% le emissioni su base annua di ossidi di azoto (NO_x). Anche le emissioni di monossido di carbonio (CO), che su base annua risultano sostanzialmente invariate, beneficiano di una riduzione del 40% sulla concentrazione in emissione (cfr. paragrafo 4.4).

Dall'analisi della Tabella 4.5.2 si evidenziano i benefici di tale riduzione delle emissioni anche in termini di ricadute sulla qualità dell'aria. Nello scenario di progetto, le ricadute attese associate alle emissioni convogliate dalla Centrale nel punto di massimo impatto risultano, infatti, sempre sostanzialmente inferiori rispetto allo scenario attuale; in maggior dettaglio:

- la concentrazione media annua del biossido di azoto (NO₂) è ridotta di circa il 48%;
- la concentrazione oraria superata 18 volte/anno del biossido di azoto è ridotta di circa il 67%;
- la concentrazione media annua degli ossidi di azoto (NO_x) è ridotta di circa il 48%;
- la concentrazione media massima giornaliera calcolata su 8 ore del monossido di carbonio (CO) è ridotta di circa il 41%.

Tabella 4.5.2 – Stima modellistica delle concentrazioni in aria ambiente dei macroinquinanti nel punto di massima ricaduta

Riferim.	Parametro ⁽¹⁾	U.m.	Limite di legge (D.Lgs. 155/2010) ⁽²⁾	Dominio G2 (20 x 20 km ²) [Area di 18 x 18 km ²]			
				Valore massimo		Valore medio	
				Scenario attuale	Scenario di progetto	Scenario attuale	Scenario di progetto
Tavola 01	NO ₂ – Concentrazione media annua	µg/m ³	40 (V.L.)	0.045	0.023	0.008	0.004
Tavola 02	NO ₂ – Conc. oraria superata 18 volte per anno civile	µg/m ³	200 (V.L.)	42.5	14.2	7.2	2.4
Tavola 03	NO _x – Concentrazione media annua	µg/m ³	30 (L.C.)	0.060	0.031	0.011	0.006
Tavola 04	CO – Conc. media massima giornaliera calcolata su 8 ore	mg/m ³	10 (V.L.)	0.022	0.013	0.004	0.002
⁽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							

5 CONCLUSIONI

Il presente studio ha avuto l'obiettivo di valutare i contributi alla qualità dell'aria attribuibili alle emissioni convogliate di ossidi di azoto (NO_x) e monossido di carbonio (CO) della Centrale termoelettrica di Larino per i due seguenti assetti emissivi:

- a. Scenario attuale: 2 unità TG esistenti LR1 e LR2;
- b. Scenario di progetto: 2 unità TG di ultima generazione (sostituzione di 2 unità TG esistenti (LR1 e LR2)).

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

Il clima della regione oggetto del presente studio, in base alla classificazione dei climi di Köppen-Geiger, risulta essere di tipo "Cfa", ovvero un clima temperato con estate umida. L'analisi meteorologica, condotta sui dati del trentennio 1971 – 2000 della stazione di Pescara estratti dall'Atlante Climatico dell'Aeronautica Militare, conferma questo tipo di clima. Dal punto di vista anemologico il sito evidenzia venti predominanti di buona intensità da SO presenti in tutte le stagioni, venti da NO rilevanti nella stagione fredda e venti da NE di bassa intensità presenti nella stagione calda.

Lo stato attuale della qualità dell'aria dell'intera regione è stato valutato attraverso l'analisi dei dati della rete di monitoraggio dell'ARPA Molise. Per il monitoraggio della qualità dell'aria, la rete regionale ha potuto fare affidamento per l'anno 2018 su 10 stazioni fisse di rilevamento. Di specifico interesse ai fini del presente studio sono le stazioni Termoli1 (TE1) e Termoli2 (TE2), le uniche localizzate nella stessa Zona cui appartiene l'area di interesse (Zona IT1404 "Fascia costiera"). Nelle due stazioni TE1 e TE2 si sono verificati superamenti del limite giornaliero per il PM₁₀ nel periodo 2012-2018, ma non oltre il numero consentito dalla normativa; è stato, pertanto, rispettato il limite consentito dal D.Lgs. 155/2010. Per ciò che riguarda il limite annuale, nessuna stazione della rete regionale ha registrato valori superiori alla soglia consentita dei 40 µg/m³. Per quanto riguarda la media annuale degli ossidi di azoto, nelle due stazioni TE1 e TE2 non si è verificato alcun superamento del valore di 40 µg/m³ consentito. Inoltre, non si sono mai verificate eccedenze rispetto al numero dei superamenti consentiti per quel che riguarda i valori delle medie orarie. Il monossido di carbonio e l'anidride solforosa, infine, non presentano alcuna criticità per la qualità dell'aria; infatti, non si sono mai verificati episodi di superamento di nessuna soglia prevista dalla normativa.

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.

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.

I risultati prodotti dalla catena modellistica hanno permesso di identificare le aree maggiormente interessate dall'impatto determinato dalle emissioni della Centrale, sia nello scenario attuale sia nello scenario di progetto, ed hanno messo in evidenza valori dei contributi alle concentrazioni dei macroinquinanti considerati sempre entro i limiti posti dagli Standard di Qualità dell'Aria del D. Lgs. 155/2010, anche nel punto di massima ricaduta.

Le stime modellistiche hanno evidenziato i miglioramenti derivanti dall'assetto di progetto che, prevedendo il rifacimento delle due unità di produzione esistenti, il nuovo limite massimo delle ore di funzionamento proposto è stato determinato per garantire una leggera diminuzione della potenziale emissione totale annua portano ad una riduzione sia delle emissioni su base annua di ossidi di azoto (NO_x), sia della concentrazione in emissione di monossido di carbonio (CO). Di fatto, le unità turbogas che si intende installare sono progettate con i criteri più avanzati di efficienza e compatibilità ambientale e proposti nel pieno rispetto delle *Best Available Techniques Reference document* (BRef) di settore, e sono caratterizzate da una efficienza più elevata e performances ambientali migliori rispetto alle unità turbogas produttive esistenti. A conferma di ciò, nello scenario di progetto, le ricadute attese associate alle emissioni convogliate dalla Centrale nel punto di massimo impatto sono risultate sempre sostanzialmente inferiori rispetto allo scenario attuale, con una riduzione che per gli ossidi di azoto (NO_x) è stimata in poco meno del 50% in termini di concentrazione media annua in aria ambiente.

6 BIBLIOGRAFIA

- Wladimir Köppen e Rudolf Geiger, "Klima der Erde", Gotha, Klett-Perthes, 1954.
- Mennella C., 1973. "Il Clima d'Italia". Fratelli Conte Editore S.p.A., Napoli.
- Pinna M., 1978. "L'atmosfera e il clima". UTET, Torino.
- Atlante Climatico d'Italia del Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare (<http://clima.meteoam.it>).
- ARPA Molise, 2019. "La qualità dell'aria in Molise. Report 2018"
- D.G.R. n.375 del 01 agosto 2014. Zonizzazione del territorio molisano in termini di qualità dell'aria.
- ISPRA. Disaggregazione dell'inventario nazionale 2015. (<http://www.sinanet.isprambiente.it/it/sia-ispra/inventaria>)
- 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://www2.jpl.nasa.gov/srtm/index.html>).
- Istat. Basi territoriali e variabili censuarie (<http://www.istat.it/>).
- Istat, 2016. "Descrizione dei dati geografici e delle variabili censuarie delle Basi territoriali per i censimenti: anni 1991, 2001, 2011". Versione definitiva, 25/02/2016.
- 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.