

Ing. Paolo Godio

**Progetto di realizzazione di un sistema di
raffreddamento con torri di tipo ibrido a servizio
del Gruppo 5 presso la Centrale di Tavazzano
Montanaso (LO)**

EP Centrale Tavazzano Montanaso S.p.A.

Studio Preliminare Ambientale

Allegato A: Studio degli impatti sul microclima

20 dicembre 2023

Ns rif. R002 1669320LMA V01_2023

Riferimenti

Titolo Progetto di realizzazione di un sistema di raffreddamento con torri di tipo ibrido a servizio del Gruppo 5 presso la Centrale di Tavazzano Montanaso (LO) – Studio Preliminare Ambientale – Allegato A: Studio degli impatti sul microclima

Cliente EP Centrale Tavazzano Montanaso S.p.A.

EMISSIONE		TAUW	049TZ00014		
0	20/12/2023	Emissione per autorizzazioni	TAUW	A. Panicucci	O. Retini
REV	DATA	DESCRIZIONE	REDAZIONE	VERIFICA	APPROVAZIONE

Numero di pagine 39
Data 20 dicembre 2023

Colophon

TAUW Italia S.r.l.
 Galleria Giovan Battista Gerace 14
 56124 Pisa
 T +39 05 05 42 78 0
 E info@tauw.it



Ing. OMAR MARCO RETINI
ORDINE INGEGNERI della Provincia di PISA
N° 2234 Sezione A
INGEGNERE CIVILE E AMBIENTALE
INDUSTRIALE, DELL'INFORMAZIONE

Il presente documento è di proprietà del Cliente che ha la possibilità di utilizzarlo unicamente per gli scopi per i quali è stato elaborato, nel rispetto dei diritti legali e della proprietà intellettuale. TAUW Italia detiene il copyright del presente documento. La qualità ed il miglioramento continuo dei prodotti e dei processi sono considerati elementi prioritari da TAUW Italia, che opera mediante un sistema di gestione certificato secondo le norme **UNI EN ISO 9001:2015, UNI EN ISO 14001:2015 e UNI ISO 45001:2018.**



Ai sensi del GDPR n.679/2016 la invitiamo a prendere visione dell'informativa sul Trattamento dei Dati Personali su www.TAUW.it.

Ns rif. R002 1669320LMA V01_2023

Indice

1	Introduzione.....	4
2	Caratterizzazione meteorologica.....	6
2.1	Precipitazioni.....	7
2.2	Temperatura.....	11
2.3	Regime anemologico	14
2.4	Pressione atmosferica.....	25
2.5	Umidità relativa	26
3	Stima e valutazione degli impatti.....	30
3.1	Metodologia.....	30
3.2	Caratteristiche del sistema di modelli CALPUFF	31
3.3	Scenario emissivo	33
3.4	Domini di calcolo	35
3.5	Dati meteorologici	38
4	Risultati.....	39

Appendici:

Appendice 1 - Metodo di calcolo per la determinazione della distribuzione di temperatura nel pennacchio. Metodo Halitsky (1968)

Ns rif. R002 1669320LMA V01_2023

1 Introduzione

Il presente documento riporta i risultati dello studio degli impatti sul microclima potenzialmente indotti dall'esercizio del sistema di raffreddamento con torre di tipo ibrido che sarà realizzato a servizio del Gruppo 5 presso la Centrale di Tavazzano Montanaso (LO) e sarà finalizzato a garantire il raffreddamento dell'unità a gas anche quando l'acqua del Canale Muzza, attualmente utilizzata per il raffreddamento, sarà parzialmente non disponibile.

L'intervento proposto è localizzato interamente all'interno del sito della Centrale di Tavazzano Montanaso.

Nello specifico nel presente studio sono stati valutati i potenziali impatti sul microclima indotti dalle emissioni in aria di calore e di vapore acqueo da parte della torre di raffreddamento ibrida in progetto mediante la stima degli aumenti medi annui e massimi giornalieri della temperatura ambiente e dell'umidità relativa al livello del suolo per valutare un'eventuale possibilità di disagio da parte della popolazione. Conservativamente, al fine della stima degli impatti sul microclima, in sovrapposizione a quelle delle torri in progetto, sono state considerate anche le emissioni in aria di calore e di vapore acqueo da parte della torre di raffreddamento ibrida a servizio del nuovo CCGT il cui progetto è stato recentemente escluso dalla VIA con Decreto MASE n. 407 del 05/09/2023.

Gli impatti generati dalle emissioni di energia termica delle torri di raffreddamento sono stati determinati stimando la variazione di temperatura dell'aria mediante l'applicazione del modello a Puff denominato CALPUFF (CALPUFF – EPA-Approved Versione 5.8.5), utilizzando il modello di distribuzione della temperatura nel pennacchio termico secondo il metodo di Halitsky (1968), descritto in Appendice 1.

La variazione di umidità relativa è stata stimata considerando la suddetta variazione di temperatura ambiente ed il contributo all'umidità atmosferica generato dalla ricaduta del vapore emesso dalle torri, che è stata stimata mediante il software CALPUFF.

A valle della realizzazione del progetto, analogamente a quanto previsto per la torre di raffreddamento ibrida a servizio del nuovo CCGT, il raffreddamento del Gruppo 5 potrà avvenire alternativamente con acqua del Canale Muzza in circuito aperto (modalità attualmente autorizzata) o in circuito chiuso mediante acqua di torre, a seconda della disponibilità di acqua da prelevare dal Canale Muzza (la disponibilità viene comunicata dal consorzio che ha in gestione il Canale Muzza): non è possibile quindi prevedere a priori il numero effettivo di ore di funzionamento nell'una o nell'altra configurazione.

Al fine della stima degli impatti sul microclima è stata fatta l'assunzione conservativa di considerare le torri di raffreddamento attive in modo continuativo per tutte le ore dell'anno (8.784 h/anno essendo l'anno preso a riferimento – il 2020 – bisestile).

Ns rif. R002 1669320LMA V01_2023

Per la caratterizzazione meteo-climatica dell'area di studio sono stati elaborati i dati rilevati, per il triennio 2020-2022, dalle stazioni meteo Cavenago d'Adda e Landriano di proprietà e gestione di ARPA Lombardia.

Il presente documento è articolato nel modo seguente:

- caratterizzazione meteo-climatica dell'area di studio (Capitolo 2);
- valutazione dell'impatto sul microclima dovuto all'esercizio delle torri di raffreddamento della CTE nello scenario emissivo considerato (Capitolo 3).

Ns rif. R002 1669320LMA V01_2023

2 Caratterizzazione meteorologica

Nel presente paragrafo vengono esaminati i dati climatici e meteorologici relativi agli andamenti medi annuali delle grandezze fondamentali che caratterizzano i fenomeni atmosferici, quali le precipitazioni, la temperatura, la direzione e l'intensità del vento, la pressione atmosferica e l'umidità relativa.

Per la descrizione meteo-climatica dell'area di studio sono stati elaborati i dati rilevati, per il periodo 2020-2022, dalle stazioni meteo Cavenago d'Adda e Landriano di proprietà e gestione di ARPA Lombardia. Tali stazioni meteo risultano le più vicine rispetto al sito di progetto fra tutte quelle presenti nell'area di studio.

In Tabella 2a si riportano, per le stazioni meteorologiche considerate, la denominazione, il periodo considerato, le coordinate piane (UTM 32N – WGS84), l'altezza sul livello del mare e la distanza dal sito di progetto.

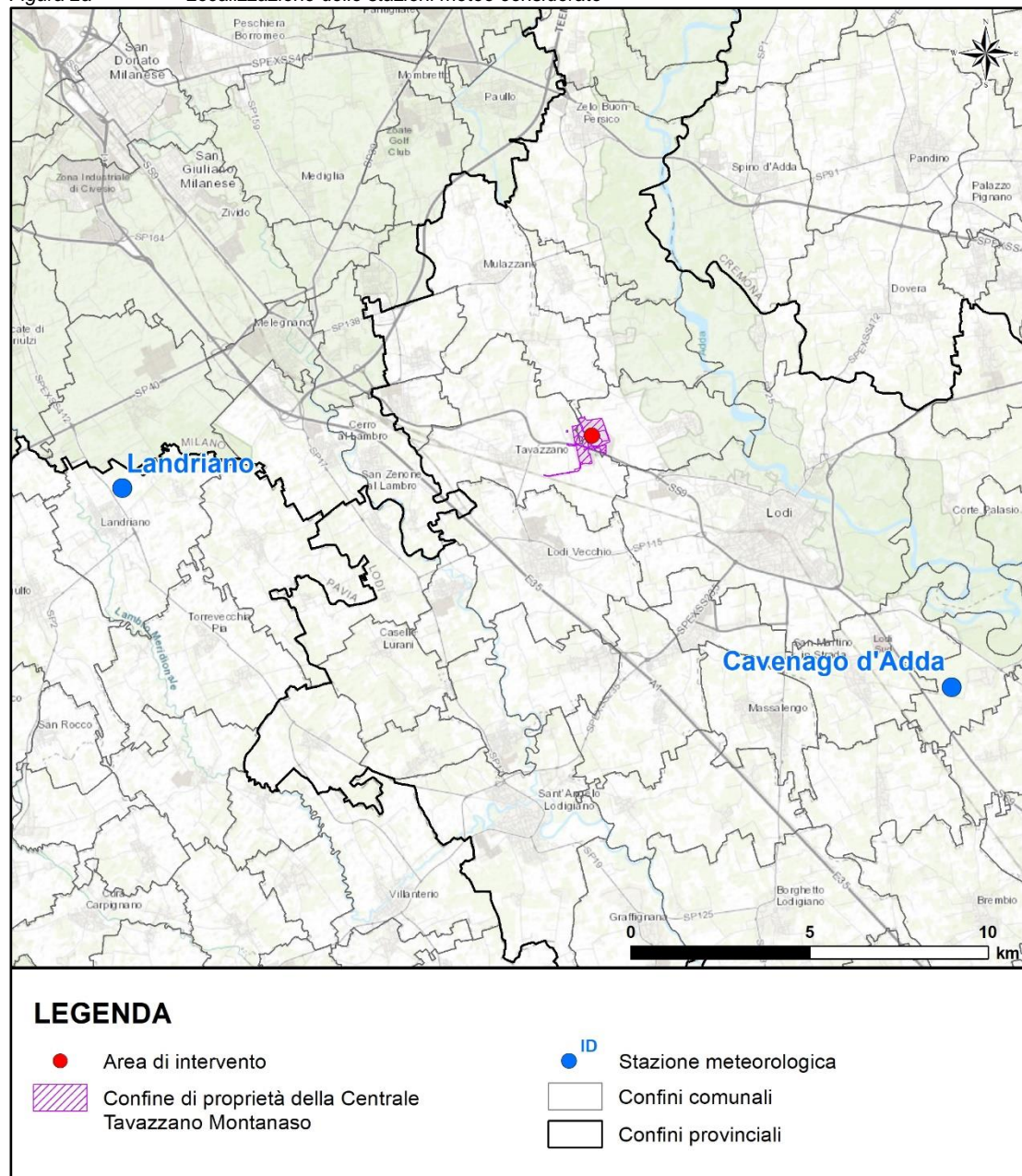
Tabella 2a Caratteristiche delle stazioni meteo considerate

Stazione meteo	Periodo considerato	X [m]	Y [m]	Alt. s.l.m. [m]	Distanza dal sito [km]
Cavenago d'Adda	2020-2022	544.138	5.013.018	67	~ 11,8
Landriano	2020-2022	520.938	5.018.600	88	~ 12,7

La Figura 2a mostra la localizzazione delle stazioni meteo prese in considerazione.

Ns rif. R002 1669320LMA V01_2023

Figura 2a Localizzazione delle stazioni meteo considerate



2.1 Precipitazioni

Nelle seguenti tabelle vengono riportati per ogni mese ed anno le quantità, in millimetri, di pioggia registrate nel periodo 2020-2022 dalle stazioni meteo Cavenago d'Adda e Landriano.

È stata calcolata anche la percentuale di dati validi per ciascun mese ed anno, in riferimento al numero massimo di dati orari riscontrabili per ciascuno degli anni analizzati.

Ns rif. R002 1669320LMA V01_2023

Di seguito si riportano le elaborazioni relative all'anno 2020 per la stazione Cavenago d'Adda.

Tabella 2.1a Analisi delle precipitazioni mensili, Cavenago d'Adda anno 2020

Mese	% Dati validi	Totale pioggia cumulata [mm]
Gennaio	100,0	26,4
Febbraio	100,0	4,6
Marzo	100,0	44,2
Aprile	100,0	14,8
Maggio	99,9	34,4
Giugno	100,0	107,2
Luglio	100,0	43,2
Agosto	100,0	94,8
Settembre	100,0	34,2
Ottobre	100,0	92,8
Novembre	100,0	15,0
Dicembre	100,0	161,2
Anno	100,0	672,8

Di seguito si riportano le elaborazioni relative all'anno 2021 per la stazione Cavenago d'Adda.

Tabella 2.1b Analisi delle precipitazioni mensili, Cavenago d'Adda anno 2021

Mese	% Dati validi	Totale pioggia cumulata [mm]
Gennaio	100,0	97,0
Febbraio	100,0	27,8
Marzo	100,0	0,6
Aprile	100,0	83,8
Maggio	100,0	67,8
Giugno	100,0	14,4
Luglio	100,0	30,8
Agosto	100,0	8,2
Settembre	99,9	71,6
Ottobre	96,4	40,0
Novembre	99,4	150,8
Dicembre	100,0	34,6
Anno	99,6	627,4

Di seguito si riportano le elaborazioni relative all'anno 2022 per la stazione Cavenago d'Adda.

Ns rif. R002 1669320LMA V01_2023

Tabella 2.1c *Analisi delle precipitazioni mensili, Cavenago d'Adda anno 2022*

Mese	% Dati validi	Totale pioggia cumulata [mm]
Gennaio	99,7	11,0
Febbraio	100,0	13,4
Marzo	99,7	9,0
Aprile	88,1	12,4
Maggio	75,8	29,6
Giugno	100,0	31,4
Luglio	100,0	36,0
Agosto	100,0	37,6
Settembre	100,0	16,6
Ottobre	100,0	4,8
Novembre	99,6	82,2
Dicembre	100,0	88,2
Anno	96,9	372,2

Dall'analisi delle tabelle sopra riportate si nota che le precipitazioni totali presso la stazione Cavenago d'Adda nel triennio considerato oscillano tra un massimo di 672,8 mm/anno nel 2020 ad un minimo di 372,2 mm/anno nel 2022.

Di seguito si riportano le elaborazioni relative all'anno 2020 per la stazione Landriano.

Tabella 2.1d *Analisi delle precipitazioni mensili, Landriano 2020*

Mese	% Dati validi	Totale pioggia cumulata [mm]
Gennaio	100,0	37,8
Febbraio	100,0	14,2
Marzo	100,0	60,0
Aprile	99,4	21,2
Maggio	100,0	84,8
Giugno	100,0	124,6
Luglio	100,0	40,2
Agosto	99,3	40,2
Settembre	100,0	38,0
Ottobre	100,0	65,4
Novembre	100,0	11,6
Dicembre	96,8	172,6
Anno	99,6	710,6

Di seguito si riportano le elaborazioni relative all'anno 2021 per la stazione Landriano.

Ns rif. R002 1669320LMA V01_2023

Tabella 2.1e *Analisi delle precipitazioni mensili, Landriano 2021*

Mese	% Dati validi	Totale pioggia cumulata [mm]
Gennaio	99,9	130,0
Febbraio	100,0	50,0
Marzo	99,9	8,8
Aprile	100,0	70,6
Maggio	100,0	60,8
Giugno	100,0	15,8
Luglio	100,0	38,8
Agosto	100,0	18,4
Settembre	100,0	75,2
Ottobre	100,0	52,0
Novembre	100,0	165,6
Dicembre	100,0	46,0
Anno	100,0	732,0

Di seguito si riportano le elaborazioni relative all'anno 2022 per la stazione Landriano.

Tabella 2.1f *Analisi delle precipitazioni mensili, Landriano 2022*

Mese	% Dati validi	Totale pioggia cumulata [mm]
Gennaio	99,7	28,0
Febbraio	100,0	16,0
Marzo	100,0	9,8
Aprile	100,0	25,0
Maggio	100,0	62,0
Giugno	100,0	10,6
Luglio	100,0	39,8
Agosto	100,0	34,4
Settembre	100,0	14,0
Ottobre	100,0	9,4
Novembre	100,0	101,6
Dicembre	100,0	97,6
Anno	100,0	448,2

Dall'analisi delle tabelle sopra riportate si nota che le precipitazioni totali presso la stazione Landriano nel triennio considerato oscillano tra un massimo di 732,0 mm/anno nel 2021 ad un minimo di 448,2 mm/anno nel 2022.

Ns rif. R002 1669320LMA V01_2023

2.2 Temperatura

Nelle tabelle seguenti vengono riportati, per ogni mese ed anno, i valori di temperatura medi, massimi e minimi rilevati presso le stazioni meteorologiche di Cavenago d'Adda e Landriano per il triennio 2020-2022.

Sono state calcolate anche le percentuali di dati disponibili per ogni mese ed anno, in riferimento ai possibili 8.760 dati (uno per ogni ora dell'anno, ad eccezione dell'anno 2020 che, essendo bisestile, ha 24 ore in più).

Di seguito si riportano le elaborazioni relative al 2020 per la stazione Cavenago d'Adda.

Tabella 2.2a *Analisi della temperatura, Cavenago d'Adda anno 2020*

Mese	% Dati validi	Massimo [°C]	Media [°C]	Minimo [°C]
Gennaio	100,0	14,1	3,2	-4,4
Febbraio	100,0	19,2	7,2	-2,3
Marzo	100,0	20,9	8,8	-3,1
Aprile	100,0	27,0	14,2	-1,3
Maggio	100,0	28,4	19,5	9,8
Giugno	100,0	32,9	21,8	12,6
Luglio	100,0	36,1	24,6	15,3
Agosto	100,0	37,0	24,7	14,4
Settembre	100,0	31,3	20,0	4,3
Ottobre	100,0	24,4	12,9	4,7
Novembre	100,0	18,2	8,4	-1,8
Dicembre	100,0	10,2	4,1	-7,0
Anno	100,0	37,0	14,1	-7,0

Di seguito si riportano le elaborazioni relative al 2021 per la stazione Cavenago d'Adda.

Ns rif. R002 1669320LMA V01_2023

Tabella 2.2b *Analisi della temperatura, Cavenago d'Adda anno 2021*

Mese	% Dati validi	Massimo [°C]	Media [°C]	Minimo [°C]
Gennaio	100,0	11,3	2,4	-3,5
Febbraio	100,0	19,8	7,1	-4,2
Marzo	100,0	25,4	8,9	-2,4
Aprile	100,0	27,6	12,1	-0,3
Maggio	100,0	27,2	17,3	8,4
Giugno	100,0	35,6	24,5	14,6
Luglio	100,0	35,0	24,6	14,7
Agosto	100,0	36,6	23,8	12,9
Settembre	99,9	31,6	20,9	12,0
Ottobre	96,4	23,6	13,1	2,9
Novembre	99,4	15,7	8,2	-1,9
Dicembre	100,0	9,5	2,3	-5,7
Anno	99,6	36,6	13,8	-5,7

Di seguito si riportano le elaborazioni relative al 2022 per la stazione Cavenago d'Adda.

Tabella 2.2c *Analisi della temperatura, Cavenago d'Adda anno 2022*

Mese	% Dati validi	Massimo [°C]	Media [°C]	Minimo [°C]
Gennaio	99,7	16,3	2,4	-3,7
Febbraio	100,0	19,3	6,6	-2,3
Marzo	98,5	22,4	8,0	-3,6
Aprile	41,8	22,5	10,9	1,6
Maggio	71,8	32,9	22,3	12,9
Giugno	100,0	35,0	25,1	14,2
Luglio	100,0	37,9	26,8	16,2
Agosto	100,0	37,5	25,0	15,0
Settembre	100,0	32,0	19,7	7,4
Ottobre	100,0	25,9	16,8	8,8
Novembre	99,0	18,7	9,0	-1,5
Dicembre	100,0	12,9	5,5	-1,4
Anno	92,6	37,9	14,9	-3,7

La temperatura media annua relativa ai tre anni considerati presso la stazione meteo Cavenago d'Adda si aggira intorno ai 14,3 °C.

È possibile inoltre notare che la temperatura massima si registra nei mesi di Agosto negli anni 2020 e 2021 (pari a +37,0°C e +36,6°C rispettivamente) e nel mese di Luglio durante l'anno 2022 (+37,9 °C). I mesi in cui si presenta il valore minimo di temperatura risultano Dicembre negli anni 2020 e 2021 (pari a -7,0 °C e -5,7°C rispettivamente) e Gennaio nel 2022 (-3,7°C).

Ns rif. R002 1669320LMA V01_2023

Di seguito si riportano le elaborazioni relative al 2020 per la stazione Landriano.

Tabella 2.2d *Analisi della temperatura, Landriano anno 2020*

Mese	% Dati validi	Massimo [°C]	Media [°C]	Minimo [°C]
Gennaio	100,0	14,7	3,4	-2,9
Febbraio	100,0	20,0	7,8	-2,9
Marzo	100,0	22,7	9,6	-2,0
Aprile	99,7	27,9	15,3	-0,7
Maggio	100,0	30,9	20,6	11,1
Giugno	100,0	34,1	23,1	14,0
Luglio	100,0	36,8	25,8	16,1
Agosto	100,0	37,9	25,5	14,3
Settembre	100,0	33,8	21,0	5,6
Ottobre	100,0	24,3	13,7	4,7
Novembre	100,0	19,5	9,1	-1,1
Dicembre	96,8	10,3	4,8	-6,1
Anno	99,7	37,9	15,0	-6,1

Di seguito si riportano le elaborazioni relative al 2021 per la stazione Landriano.

Tabella 2.2e *Analisi della temperatura, Landriano anno 2021*

Mese	% Dati validi	Massimo [°C]	Media [°C]	Minimo [°C]
Gennaio	100,0	12,9	3,0	-4,3
Febbraio	100,0	21,8	7,9	-4,8
Marzo	100,0	27,0	9,9	-1,4
Aprile	100,0	28,4	13,2	-1,7
Maggio	100,0	29,1	18,7	9,6
Giugno	100,0	36,7	26,0	15,8
Luglio	100,0	36,4	26,3	16,1
Agosto	100,0	38,6	25,3	14,8
Settembre	99,9	32,7	22,2	12,7
Ottobre	100,0	25,2	14,1	3,5
Novembre	100,0	17,0	9,5	-1,0
Dicembre	100,0	11,1	3,1	-3,5
Anno	100,0	38,6	15,0	-4,8

Di seguito si riportano le elaborazioni relative al 2022 per la stazione Landriano.

Ns rif. R002 1669320LMA V01_2023

Tabella 2.2f Analisi della temperatura, Landriano anno 2022

Mese	% Dati validi	Massimo [°C]	Media [°C]	Minimo [°C]
Gennaio	99,7	17,6	3,2	-3,5
Febbraio	100,0	20,6	7,6	-2,5
Marzo	100,0	23,8	9,1	-2,7
Aprile	100,0	27,5	14,4	2,7
Maggio	100,0	35,1	22,5	10,5
Giugno	100,0	37,5	27,1	15,9
Luglio	100,0	39,8	28,9	18,2
Agosto	100,0	39,0	26,8	17,4
Settembre	100,0	34,3	21,6	9,2
Ottobre	100,0	27,6	18,4	10,0
Novembre	100,0	20,3	9,9	-0,1
Dicembre	100,0	14,3	6,0	-1,1
Anno	100,0	39,8	16,3	-3,5

La temperatura media annua relativa ai tre anni considerati presso la stazione meteo Landriano si aggira intorno ai 15,4 °C.

È possibile inoltre notare che la temperatura massima si registra nei mesi di Agosto negli anni 2020 e 2021 (pari a +37,9°C e +38,6°C rispettivamente) e nel mese di Luglio durante l'anno 2022 (+39,8 °C). I mesi in cui si presenta il valore minimo di temperatura risultano Dicembre nel 2020 (pari a -6,1°C), Febbraio nel 2021 (pari a -4,8°C) e Gennaio nel 2022 (pari a -3,5°C).

2.3 Regime anemologico

Per la caratterizzazione anemologica del sito in esame, sono stati analizzati i dati registrati dalle stazioni meteo di Cavenago d'Adda e Landriano durante il triennio 2020-2022. Si fa presente che l'anemometro delle suddette stazioni meteo è posto a 10 m di altezza rispetto al piano campagna.

Di seguito sono riportate le rose dei venti relative all'elaborazione dei dati acquisiti dalle suddette stazioni negli anni considerati e le tabelle relative alle frequenze di accadimento delle classi di velocità del vento e alle frequenze di accadimento della direzione del vento in classi stabilite. Si fa presente che nelle rose dei venti sono riportate anche le calme di vento ("Calms", venti con intensità < 0,5 m/s).

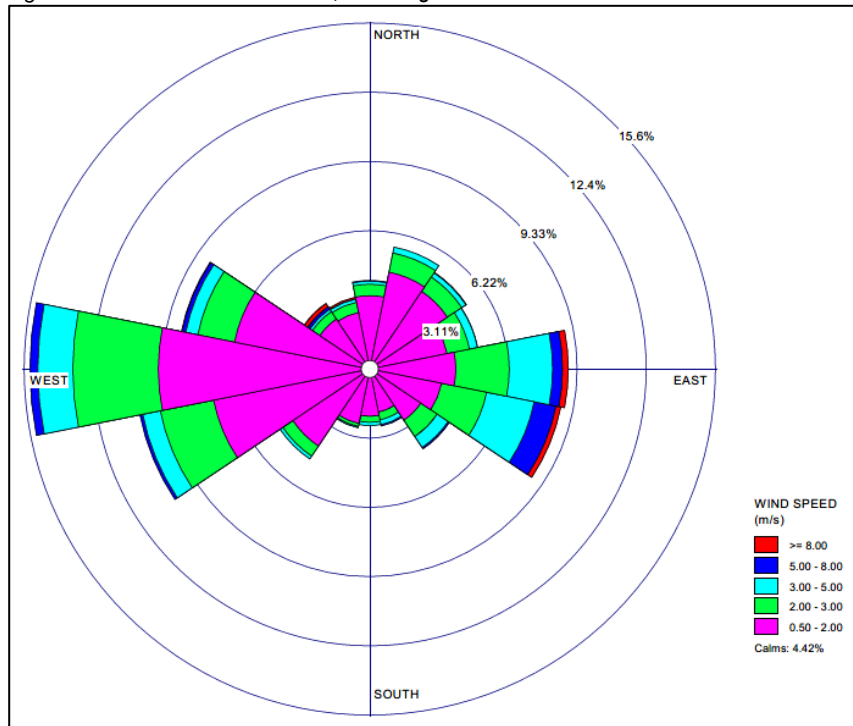
Nelle tabelle seguenti vengono inoltre riportati per ogni mese ed anno i valori di velocità del vento, in m/s, medi, massimi e minimi rilevati nella stazione meteorologica considerata.

Di seguito si riportano le elaborazioni relative ai dati registrati dalla stazione di monitoraggio Cavenago d'Adda nel periodo 2020-2022.

Ns rif. R002 1669320LMA V01_2023

In Figura 2.3a si mostra la rosa dei venti relativa all'elaborazione dei dati registrati nel 2020.

Figura 2.3a Rosa dei venti, Cavenago d'Adda anno 2020



Dall'analisi della figura sopra riportata si rileva una direzione prevalente di provenienza del vento da Ovest. Si hanno inoltre componenti di rilievo di provenienza del vento da Ovest-Sud Ovest, da Est, da Ovest-Nord Ovest e da Est – Sud Est.

Nella tabella seguente vengono riportati, per l'anno 2020, i valori di velocità del vento, in m/s, medi, massimi e minimi per ciascun mese e per l'intero anno.

Ns rif. R002 1669320LMA V01_2023

Tabella 2.3a Analisi della velocità del vento, anno 2020

Mese	% Dati validi	Massimo [m/s]	Media [m/s]	Minimo [m/s]
Gennaio	100,0	4,2	1,4	0,1
Febbraio	100,0	12,3	2,2	0,0
Marzo	100,0	9,7	2,3	0,0
Aprile	100,0	11,6	2,0	0,0
Maggio	99,9	6,3	2,3	0,1
Giugno	100,0	8,0	2,0	0,1
Luglio	100,0	7,4	1,7	0,0
Agosto	100,0	6,6	1,6	0,2
Settembre	100,0	8,4	1,7	0,1
Ottobre	100,0	11,1	1,8	0,0
Novembre	100,0	4,7	1,0	0,0
Dicembre	100,0	9,6	1,6	0,0
Anno	100,0	12,3	1,8	0,0

Dall'analisi della tabella si nota che la velocità media annua nel 2020 è pari a 1,8 m/s, mentre la velocità massima oraria, registrata nel mese di Febbraio, risulta pari a 12,3 m/s.

Nella tabella seguente si riporta la frequenza di accadimento della velocità del vento in classi stabilite.

Tabella 2.3b Frequenza di accadimento delle classi di velocità del vento, anno 2020

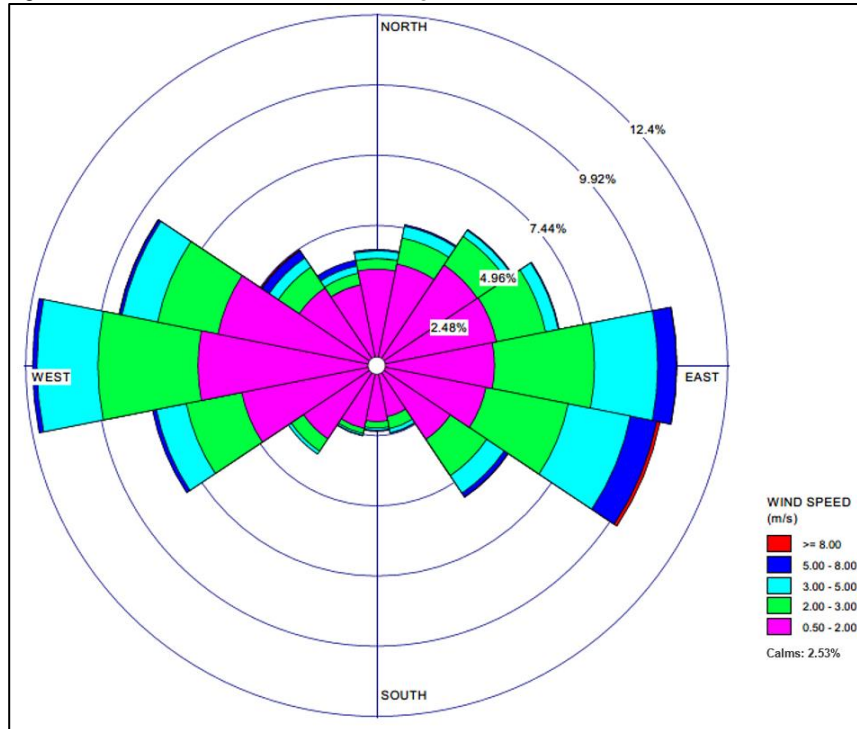
Classi [m/s]	< 0,5	0,5-2,0	2,0-3,0	3,0-5,0	5,0-8,0	≥ 8,0	Totale
N° di dati	388	5640	1639	835	213	68	8783
% Frequenza	4,42	64,21	18,66	9,51	2,43	0,77	100

L'analisi delle frequenze di accadimento delle classi di velocità del vento mostra che i venti con velocità inferiori a 0,5 m/s costituiscono il 4,42% delle occorrenze totali nell'anno, mentre si ha una prevalenza di venti con velocità media compresa tra 0,5 e 2 m/s per circa il 64,21% delle ore nell'anno. La percentuale di accadimento immediatamente più bassa è pari a 18,66% e si ha per i venti con velocità media compresa tra 2 e 3 m/s.

In Figura 2.3b si mostra la rosa dei venti relativa all'elaborazione dei dati registrati nel 2021.

Ns rif. R002 1669320LMA V01_2023

Figura 2.3b Rosa dei venti, Cavenago d'Adda anno 2021



Dall'analisi della figura sopra riportata si rileva una direzione prevalente di provenienza del vento da Ovest. Si hanno inoltre componenti di rilievo di provenienza del vento da Est, da Est – Sud Est, da Ovest-Nord Ovest e da Ovest-Sud Ovest.

Nella tabella seguente vengono riportati, per l'anno 2021, i valori di velocità del vento, in m/s, medi, massimi e minimi per ciascun mese e per l'intero anno.

Ns rif. R002 1669320LMA V01_2023

Tabella 2.3c Analisi della velocità del vento, anno 2021

Mese	% Dati validi	Massimo [m/s]	Media [m/s]	Minimo [m/s]
Gennaio	100,0	6,9	1,6	0,0
Febbraio	100,0	7,4	2,0	0,1
Marzo	100,0	9,8	2,1	0,1
Aprile	100,0	12,0	2,2	0,0
Maggio	100,0	6,6	2,4	0,2
Giugno	100,0	5,4	1,9	0,1
Luglio	100,0	6,6	1,8	0,0
Agosto	100,0	6,5	1,7	0,1
Settembre	99,9	9,4	1,7	0,2
Ottobre	96,2	7,3	1,7	0,0
Novembre	100,0	6,5	2,1	0,3
Dicembre	99,5	12,8	2,0	0,3
Anno	99,6	12,8	1,9	0,0

Dall'analisi della tabella si nota che la velocità media annua nel 2021 è pari a 1,9 m/s, mentre la velocità massima oraria, registrata nel mese di Dicembre, risulta pari a 12,8 m/s.

Nella tabella seguente si riporta la frequenza di accadimento della velocità del vento in classi stabilite.

Tabella 2.3d Frequenza di accadimento delle classi di velocità del vento, anno 2021

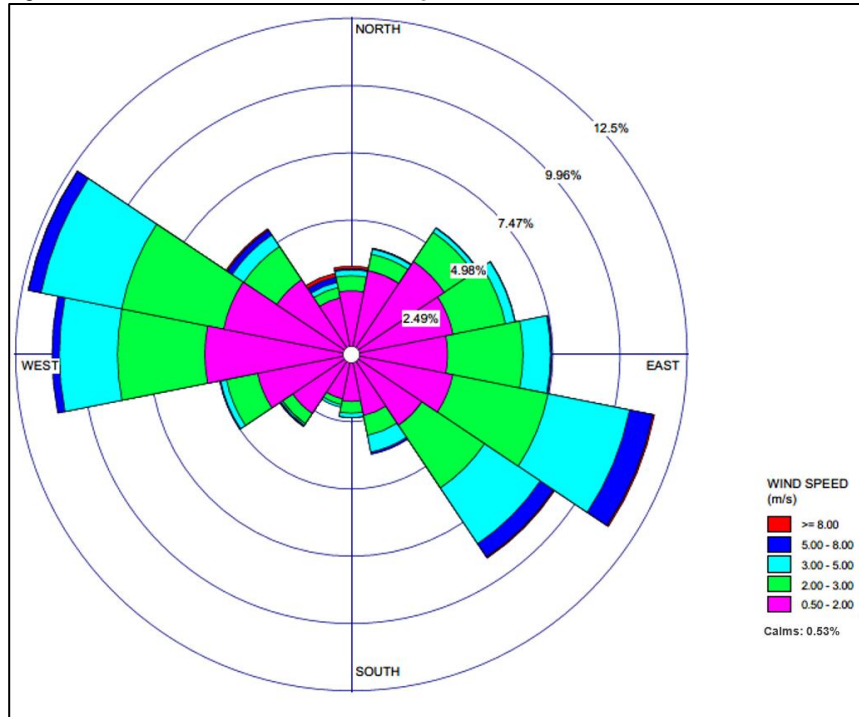
Classi [m/s]	< 0,5	0,5-2,0	2,0-3,0	3,0-5,0	5,0-8,0	≥ 8,0	Totale
N° di dati	221	5175	1987	1068	257	17	8725
% Frequenza	2,53	59,31	22,77	12,24	2,95	0,19	100

L'analisi delle frequenze di accadimento delle classi di velocità del vento mostra che i venti con velocità inferiori a 0,5 m/s costituiscono il 2,53% delle occorrenze totali nell'anno, mentre si ha una prevalenza di venti con velocità media compresa tra 0,5 e 2 m/s per circa il 59,31% delle ore nell'anno. La percentuale di accadimento immediatamente più bassa è pari a 22,77% e si ha per i venti con velocità media compresa tra 2 e 3 m/s.

In Figura 2.3c si mostra la rosa dei venti relativa all'elaborazione dei dati registrati nel 2021.

Ns rif. R002 1669320LMA V01_2023

Figura 2.3c Rosa dei venti, Cavenago d'Adda anno 2022



Dall'analisi della figura sopra riportata si rilevano le seguenti direzioni prevalenti di provenienza del vento: Ovest-Nord Ovest, Est-Sud Est, Ovest e Sud Est.

Nella tabella seguente vengono riportati, per l'anno 2022, i valori di velocità del vento, in m/s, medi, massimi e minimi per ciascun mese e per l'intero anno.

Tabella 2.3e Analisi della velocità del vento, anno 2022

Mese	% Dati validi	Massimo [m/s]	Media [m/s]	Minimo [m/s]
Gennaio	86,3	17,1	2,2	0,4
Febbraio	100,0	15,0	2,7	0,5
Marzo	99,6	7,3	2,3	0,2
Aprile	84,0	10,8	2,8	0,4
Maggio	78,6	9,6	2,5	0,5
Giugno	100,0	7,4	2,0	0,4
Luglio	100,0	8,5	2,0	0,4
Agosto	100,0	6,2	1,9	0,4
Settembre	100,0	7,7	2,2	0,5
Ottobre	99,9	6,2	1,7	0,3
Novembre	99,7	10,4	1,8	0,2
Dicembre	100,0	5,3	1,9	0,2
Anno	95,6	17,1	2,1	0,2

Ns rif. R002 1669320LMA V01_2023

Dall'analisi della tabella si nota che la velocità media annua nel 2022 è pari a 2,1 m/s, mentre la velocità massima oraria, registrata nel mese di Gennaio, risulta pari a 17,1 m/s.

Nella tabella seguente si riporta la frequenza di accadimento della velocità del vento in classi stabilite.

Tabella 2.3f Frequenza di accadimento delle classi di velocità del vento, anno 2022

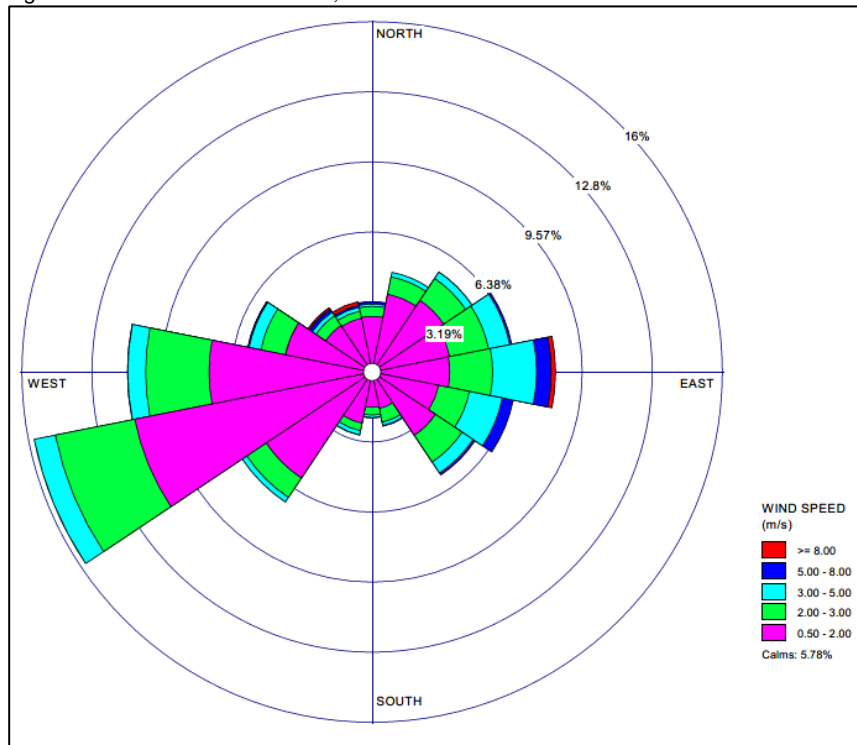
Classi [m/s]	< 0,5	0,5-2,0	2,0-3,0	3,0-5,0	5,0-8,0	≥ 8,0	Totale
N° di dati	44	4516	2242	1278	260	37	8377
% Frequenza	0,53	53,91	26,76	15,26	3,10	0,44	100

L'analisi delle frequenze di accadimento delle classi di velocità del vento mostra che i venti con velocità inferiori a 0,5 m/s costituiscono il 2,53% delle occorrenze totali nell'anno, mentre si ha una prevalenza di venti con velocità media compresa tra 0,5 e 2 m/s per circa il 53,91% delle ore nell'anno. La percentuale di accadimento immediatamente più bassa è pari a 26,76% e si ha per i venti con velocità media compresa tra 2 e 3 m/s.

Di seguito si riportano le elaborazioni relative ai dati registrati dalla stazione di monitoraggio Landriano nel periodo 2020-2022.

In Figura 2.3d si mostra la rosa dei venti relativa all'elaborazione dei dati registrati nel 2020.

Figura 2.3d Rosa dei venti, Landriano anno 2020



Ns rif. R002 1669320LMA V01_2023

Dall'analisi della figura sopra riportata si rileva una direzione prevalente di provenienza del vento da Ovest – Sud Ovest. Si hanno inoltre componenti di rilievo di provenienza del vento da Ovest, Sud Ovest, Ovest – Nord Ovest, Est, Est – Nord Est, Est – Sud Est, Nord Est e Sud Est.

Nella tabella seguente vengono riportati, per l'anno 2020, i valori di velocità del vento, in m/s, medi, massimi e minimi per ciascun mese e per l'intero anno.

Tabella 2.3g *Analisi della velocità del vento, anno 2020*

Mese	% Dati validi	Massimo [m/s]	Media [m/s]	Minimo [m/s]
Gennaio	100,0	3,6	1,4	0,0
Febbraio	100,0	14,6	2,0	0,0
Marzo	100,0	8,6	2,2	0,0
Aprile	99,7	9,9	2,0	0,0
Maggio	100,0	6,1	2,2	0,0
Giugno	100,0	5,7	2,0	0,1
Luglio	100,0	7,3	1,8	0,0
Agosto	100,0	6,1	1,7	0,2
Settembre	100,0	7,7	1,7	0,0
Ottobre	100,0	9,4	1,7	0,0
Novembre	100,0	3,7	1,0	0,0
Dicembre	96,8	6,5	1,4	0,0
Anno	99,7	14,6	1,8	0,0

Dall'analisi della tabella si nota che la velocità media annua nel 2020 è pari a 1,8 m/s, mentre la velocità massima oraria, registrata nel mese di Febbraio, risulta pari a 14,6 m/s.

Nella tabella seguente si riporta la frequenza di accadimento della velocità del vento in classi stabilite.

Tabella 2.3h *Frequenza di accadimento delle classi di velocità del vento, anno 2020*

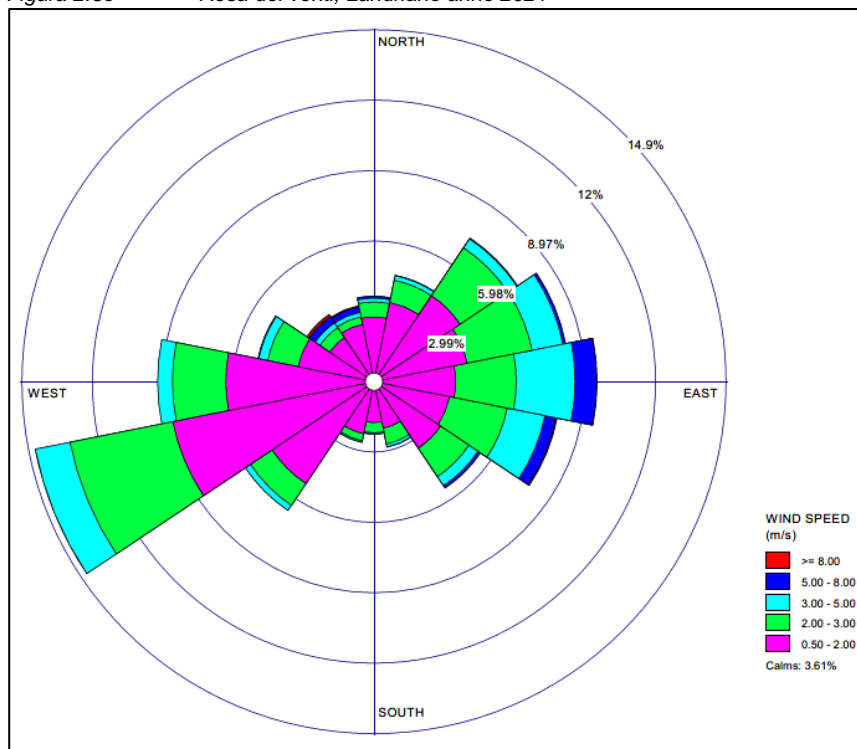
Classi [m/s]	< 0,5	0,5-2,0	2,0-3,0	3,0-5,0	5,0-8,0	≥ 8,0	Totale
N° di dati	508	5502	1760	807	165	40	8782
% Frequenza	5,78	62,65	20,04	9,19	1,88	0,46	100

L'analisi delle frequenze di accadimento delle classi di velocità del vento mostra che i venti con velocità inferiori a 0,5 m/s costituiscono il 5,78% delle occorrenze totali nell'anno, mentre si ha una prevalenza di venti con velocità media compresa tra 0,5 e 2 m/s per circa il 62,65% delle ore nell'anno. La percentuale di accadimento immediatamente più bassa è pari a 20,04% e si ha per i venti con velocità media compresa tra 2 e 3 m/s.

In Figura 2.3e si mostra la rosa dei venti relativa all'elaborazione dei dati registrati nel 2021.

Ns rif. R002 1669320LMA V01_2023

Figura 2.3e Rosa dei venti, Landriano anno 2021



Dall'analisi della figura sopra riportata si rileva una direzione prevalente di provenienza del vento da Ovest – Sud Ovest. Si hanno inoltre componenti di rilievo di provenienza del vento da Ovest, Est, Est – Nord Est, Est – Sud Est, Nord Est, Sud Ovest, Sud Est e Ovest – Nord Ovest.

Nella tabella seguente vengono riportati, per l'anno 2021, i valori di velocità del vento, in m/s, medi, massimi e minimi per ciascun mese e per l'intero anno.

Ns rif. R002 1669320LMA V01_2023

Tabella 2.3i Analisi della velocità del vento, anno 2021

Mese	% Dati validi	Massimo [m/s]	Media [m/s]	Minimo [m/s]
Gennaio	100,0	7,9	1,7	0,0
Febbraio	100,0	7,3	1,9	0,1
Marzo	100,0	10,2	2,1	0,0
Aprile	100,0	10,5	2,4	0,1
Maggio	100,0	6,5	2,4	0,1
Giugno	100,0	6,1	2,1	0,0
Luglio	100,0	7,4	2,0	0,0
Agosto	100,0	6,9	1,8	0,0
Settembre	99,9	8,0	1,7	0,0
Ottobre	100,0	6,5	1,5	0,0
Novembre	100,0	7,3	1,6	0,0
Dicembre	100,0	7,3	1,5	0,0
Anno	100,0	10,5	1,9	0,0

Dall'analisi della tabella si nota che la velocità media annua nel 2021 è pari a 1,9 m/s, mentre la velocità massima oraria, registrata nel mese di Aprile, risulta pari a 10,5 m/s.

Nella tabella seguente si riporta la frequenza di accadimento della velocità del vento in classi stabilite.

Tabella 2.3j Frequenza di accadimento delle classi di velocità del vento, anno 2021

Classi [m/s]	< 0,5	0,5-2,0	2,0-3,0	3,0-5,0	5,0-8,0	≥ 8,0	Totale
N° di dati	316	5154	2168	892	208	21	8759
% Frequenza	3,61	58,84	24,75	10,18	2,37	0,24	100

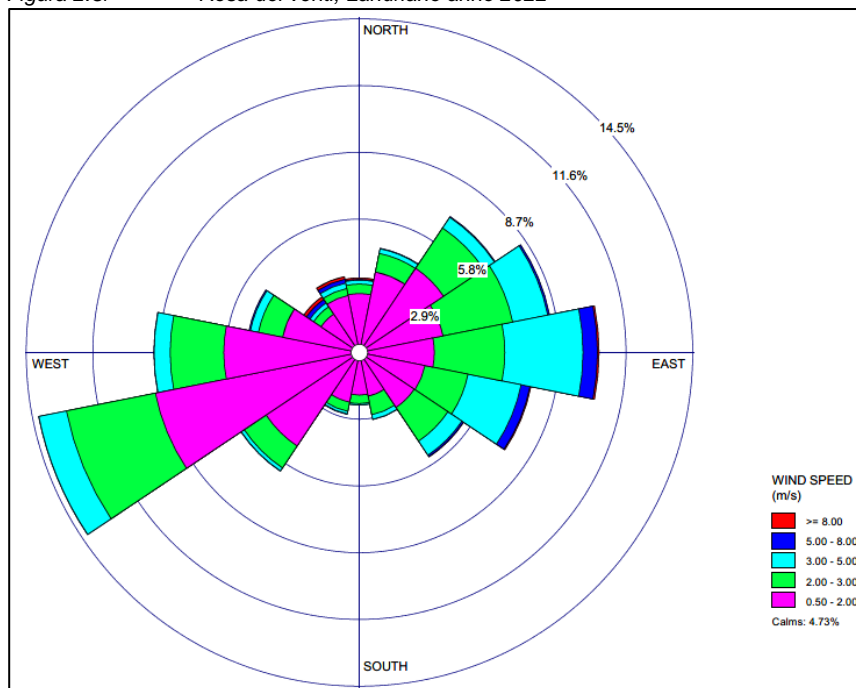
L'analisi delle frequenze di accadimento delle classi di velocità del vento mostra che i venti con velocità inferiori a 0,5 m/s costituiscono il 3,61% delle occorrenze totali nell'anno, mentre si ha una prevalenza di venti con velocità media compresa tra 0,5 e 2 m/s per circa il 58,84% delle ore nell'anno. La percentuale di accadimento immediatamente più bassa è pari a 24,75% e si ha per i venti con velocità media compresa tra 2 e 3 m/s.

In Figura 2.3f si mostra la rosa dei venti relativa all'elaborazione dei dati registrati nel 2022.

Ns rif.

R002 1669320LMA V01_2023

Figura 2.3f Rosa dei venti, Landriano anno 2022



Dall'analisi della figura sopra riportata si rileva una direzione prevalente di provenienza del vento da Ovest – Sud Ovest. Si hanno inoltre componenti di rilievo di provenienza del vento da Est, Ovest, Est – Nord Est, Est – Sud Est, Nord Est, Sud Ovest e Ovest – Nord Ovest.

Nella tabella seguente vengono riportati, per l'anno 2022, i valori di velocità del vento, in m/s, medi, massimi e minimi per ciascun mese e per l'intero anno.

Tabella 2.3k Analisi della velocità del vento, anno 2022

Mese	% Dati validi	Massimo [m/s]	Media [m/s]	Minimo [m/s]
Gennaio	99,7	8,7	1,6	0,0
Febbraio	100,0	13,9	2,3	0,1
Marzo	100,0	8,3	2,0	0,1
Aprile	100,0	13,0	2,5	0,1
Maggio	100,0	9,9	2,3	0,1
Giugno	100,0	6,7	2,1	0,0
Luglio	100,0	8,9	2,2	0,0
Agosto	100,0	7,3	2,0	0,0
Settembre	100,0	7,5	1,9	0,0
Ottobre	100,0	4,4	1,3	0,0
Novembre	100,0	9,2	1,3	0,0
Dicembre	100,0	4,3	1,4	0,0
Anno	100,0	13,9	1,9	0,0

Ns rif. R002 1669320LMA V01_2023

Dall'analisi della tabella si nota che la velocità media annua nel 2022 è pari a 1,9 m/s, mentre la velocità massima oraria, registrata nel mese di Febbraio, risulta pari a 13,9 m/s.

Nella tabella seguente si riporta la frequenza di accadimento della velocità del vento in classi stabilite.

Tabella 2.3l *Frequenza di accadimento delle classi di velocità del vento, anno 2022*

Classi [m/s]	< 0,5	0,5-2,0	2,0-3,0	3,0-5,0	5,0-8,0	≥ 8,0	Totale
N° di dati	414	4987	2095	1069	154	39	8758
% Frequenza	4,73	56,94	23,92	12,21	1,76	0,45	100

L'analisi delle frequenze di accadimento delle classi di velocità del vento mostra che i venti con velocità inferiori a 0,5 m/s costituiscono il 4,73% delle occorrenze totali nell'anno, mentre si ha una prevalenza di venti con velocità media compresa tra 0,5 e 2 m/s per circa il 56,94% delle ore nell'anno. La percentuale di accadimento immediatamente più bassa è pari a 23,92% e si ha per i venti con velocità media compresa tra 2 e 3 m/s.

2.4 Pressione atmosferica

Nelle tabelle seguenti vengono riportati per ogni mese ed anno i valori di pressione (in mbar) medi, massimi e minimi rilevati dalla sola stazione meteo Landriano durante il periodo 2020-2022.

Inoltre, sono state calcolate le percentuali di dati disponibili per ogni mese ed anno, in riferimento al numero massimo di dati orari riscontrabili per ciascuno degli anni analizzati.

Di seguito si riportano le elaborazioni relative al 2020 per la stazione Landriano.

Tabella 2.4a *Analisi della pressione atmosferica, Landriano anno 2020*

Mese	% Dati validi	Massimo [mbar]	Media [mbar]	Minimo [mbar]
Gennaio	100,0	1034,6	1016,3	995,4
Febbraio	100,0	1022,9	1009,4	987,7
Marzo	100,0	1021,4	1006,0	979,8
Aprile	99,7	1019,0	1006,5	995,3
Maggio	100,0	1019,5	1005,6	992,2
Giugno	100,0	1008,7	1001,1	985,3
Luglio	100,0	1011,0	1004,3	995,7
Agosto	100,0	1009,3	1001,9	990,4
Settembre	100,0	1016,7	1005,0	983,8
Ottobre	100,0	1015,7	1003,9	982,2
Novembre	100,0	1024,0	1014,7	1005,8
Dicembre	96,8	1018,8	1001,3	976,2
Anno	99,7	1034,6	1006,3	976,2

Ns rif. R002 1669320LMA V01_2023

Di seguito si riportano le elaborazioni relative al 2021 per la stazione Landriano.

Tabella 2.4b *Analisi della pressione atmosferica, Landriano anno 2021*

Mese	% Dati validi	Massimo [mbar]	Media [mbar]	Minimo [mbar]
Gennaio	100,0	1015,4	1001,4	981,9
Febbraio	100,0	1029,4	1010,1	981,7
Marzo	100,0	1024,5	1009,9	994,1
Aprile	100,0	1016,6	1005,6	990,0
Maggio	100,0	1011,0	1002,5	992,2
Giugno	100,0	1013,2	1005,3	997,2
Luglio	100,0	1008,3	1002,3	993,0
Agosto	100,0	1011,7	1002,9	993,7
Settembre	99,9	1014,3	1007,5	997,0
Ottobre	100,0	1018,8	1009,7	1000,7
Novembre	100,0	1019,9	1004,5	981,1
Dicembre	100,0	1024,6	1005,5	986,8
Anno	100,0	1029,4	1005,6	981,1

Di seguito si riportano le elaborazioni relative al 2022 per la stazione Landriano.

Tabella 2.4c *Analisi della pressione atmosferica, Landriano anno 2022*

Mese	% Dati validi	Massimo [mbar]	Media [mbar]	Minimo [mbar]
Gennaio	99,7	1027,8	1012,5	989,6
Febbraio	100,0	1022,5	1009,7	994,4
Marzo	100,0	1027,0	1013,5	980,2
Aprile	100,0	1015,3	1001,7	979,2
Maggio	100,0	1016,6	1006,0	993,3
Giugno	100,0	1011,1	1003,9	996,1
Luglio	100,0	1013,2	1005,6	997,0
Agosto	100,0	1009,6	1003,0	994,5
Settembre	100,0	1012,8	1001,7	987,2
Ottobre	100,0	1019,5	1011,2	1003,7
Novembre	100,0	1023,9	1005,8	983,1
Dicembre	100,0	1024,4	1006,7	987,6
Anno	100,0	1027,8	1006,8	979,2

2.5 Umidità relativa

Nelle tabelle seguenti vengono riportati per ogni mese ed anno i valori di umidità relativa (in %) medi, massimi e minimi rilevati dalle stazioni meteo Cavenago d'Adda e Landriano durante il triennio 2020-2022.

Ns rif. R002 1669320LMA V01_2023

Inoltre, sono state calcolate le percentuali di dati disponibili per ogni mese ed anno, in riferimento al numero massimo di dati orari riscontrabili per ciascuno degli anni analizzati.

Di seguito si riportano le elaborazioni relative al 2020 per la stazione Cavenago d'Adda.

Tabella 2.5a Analisi dell'umidità relativa, Cavenago d'Adda anno 2020

Mese	% Dati validi	Massimo [%]	Media [%]	Minimo [%]
Gennaio	100,0	100,0	96,9	52,8
Febbraio	100,0	100,0	81,6	12,8
Marzo	100,0	100,0	82,4	25,8
Aprile	100,0	100,0	65,5	7,8
Maggio	99,9	100,0	71,2	21,0
Giugno	100,0	100,0	79,6	28,3
Luglio	100,0	100,0	77,3	36,3
Agosto	100,0	100,0	81,8	36,0
Settembre	100,0	100,0	81,9	18,8
Ottobre	100,0	100,0	92,9	25,8
Novembre	100,0	100,0	98,0	45,7
Dicembre	100,0	100,0	98,8	64,2
Anno	100,0	100,0	84,0	7,8

Di seguito si riportano le elaborazioni relative al 2021 per la stazione Cavenago d'Adda.

Tabella 2.5b Analisi dell'umidità relativa, Cavenago d'Adda anno 2021

Mese	% Dati validi	Massimo [%]	Media [%]	Minimo [%]
Gennaio	100,0	99,0	91,5	31,5
Febbraio	100,0	99,0	87,6	41,2
Marzo	100,0	99,0	69,3	13,7
Aprile	100,0	99,0	71,9	12,7
Maggio	100,0	100,0	70,8	17,0
Giugno	100,0	99,0	64,5	26,8
Luglio	100,0	100,0	73,7	29,3
Agosto	100,0	99,8	70,2	30,0
Settembre	99,9	100,0	74,4	28,3
Ottobre	96,4	100,0	88,2	42,8
Novembre	99,4	100,0	95,4	37,7
Dicembre	100,0	100,0	97,5	51,0
Anno	99,6	100,0	79,5	12,7

Di seguito si riportano le elaborazioni relative al 2022 per la stazione Cavenago d'Adda.

Ns rif.

R002 1669320LMA V01_2023

Tabella 2.5c *Analisi dell'umidità relativa, Cavenago d'Adda anno 2022*

Mese	% Dati validi	Massimo [%]	Media [%]	Minimo [%]
Gennaio	99,7	100,0	94,0	31,8
Febbraio	100,0	100,0	78,2	16,7
Marzo	99,9	100,0	65,1	13,3
Aprile	88,1	100,0	68,7	14,2
Maggio	74,2	100,0	65,2	25,3
Giugno	100,0	100,0	69,3	19,5
Luglio	100,0	100,0	67,0	25,3
Agosto	100,0	100,0	71,7	28,8
Settembre	100,0	100,0	76,1	12,2
Ottobre	100,0	100,0	88,5	42,8
Novembre	99,0	100,0	96,6	44,3
Dicembre	100,0	100,0	99,9	88,3
Anno	96,7	100,0	78,8	12,2

Di seguito si riportano le elaborazioni relative al 2020 per la stazione Landriano.

Tabella 2.5d *Analisi dell'umidità relativa, Landriano anno 2020*

Mese	% Dati validi	Massimo [%]	Media [%]	Minimo [%]
Gennaio	100,0	100,0	96,7	44,7
Febbraio	100,0	100,0	80,7	10,8
Marzo	100,0	100,0	82,1	23,0
Aprile	99,7	100,0	63,5	7,8
Maggio	100,0	100,0	71,5	21,2
Giugno	100,0	100,0	79,1	27,3
Luglio	100,0	100,0	76,8	35,8
Agosto	100,0	100,0	83,0	39,3
Settembre	100,0	100,0	82,1	19,2
Ottobre	99,9	100,0	92,9	27,2
Novembre	100,0	100,0	94,6	37,3
Dicembre	96,1	100,0	99,3	74,0
Anno	99,6	100,0	83,5	7,8

Di seguito si riportano le elaborazioni relative al 2021 per la stazione Landriano.

Ns rif.

R002 1669320LMA V01_2023

Tabella 2.5e *Analisi dell'umidità relativa, Landriano anno 2021*

Mese	% Dati validi	Massimo [%]	Media [%]	Minimo [%]
Gennaio	100,0	100,0	89,9	19,7
Febbraio	100,0	100,0	86,4	32,5
Marzo	100,0	100,0	65,5	15,0
Aprile	100,0	100,0	67,6	13,3
Maggio	100,0	100,0	63,8	14,3
Giugno	100,0	100,0	58,2	24,3
Luglio	100,0	99,8	66,3	23,3
Agosto	100,0	99,0	64,5	29,8
Settembre	99,9	100,0	68,3	27,0
Ottobre	100,0	100,0	80,9	29,2
Novembre	100,0	100,0	91,5	25,3
Dicembre	100,0	100,0	95,4	47,0
Anno	100,0	100,0	74,8	13,3

Di seguito si riportano le elaborazioni relative al 2022 per la stazione Landriano.

Tabella 2.5f *Analisi dell'umidità relativa, Landriano anno 2022*

Mese	% Dati validi	Massimo [%]	Media [%]	Minimo [%]
Gennaio	99,7	100,0	91,9	29,5
Febbraio	100,0	100,0	71,6	13,3
Marzo	100,0	99,0	57,2	12,3
Aprile	100,0	96,5	59,0	11,0
Maggio	100,0	99,7	60,3	22,2
Giugno	100,0	98,3	57,4	14,7
Luglio	100,0	95,0	55,9	20,0
Agosto	100,0	93,0	61,8	28,0
Settembre	100,0	100,0	65,1	9,8
Ottobre	100,0	99,0	80,4	38,0
Novembre	100,0	99,8	91,4	37,7
Dicembre	100,0	100,0	99,1	66,2
Anno	100,0	100,0	70,9	9,8

3 Stima e valutazione degli impatti

3.1 Metodologia

L'obiettivo del presente studio è la valutazione dell'impatto sul microclima potenzialmente indotto dalle emissioni in aria di calore e di vapore acqueo da parte della torre di raffreddamento ibrida in progetto, la cui realizzazione è prevista all'interno del sito della CTE di Tavazzano Montanaso.

Nello specifico sono stati stimati gli incrementi medi annui e massimi giornalieri della temperatura ambiente e dell'umidità relativa al livello del suolo per valutare un'eventuale possibilità di disagio da parte della popolazione. Dato che nella Centrale di Tavazzano e Montanaso è prevista anche la realizzazione di un sistema di raffreddamento con torri di tipo ibrido a servizio del nuovo CCGT, il cui progetto è stato escluso dalla VIA con Decreto MASE n. 407 del 05/09/2023, al fine della stima degli impatti sul microclima, in sovrapposizione a quelle delle torri in progetto, sono state conservativamente considerate anche le emissioni in aria di calore e di vapore acqueo di tali torri.

Gli impatti generati dalle emissioni di energia termica delle torri di raffreddamento sono stati determinati stimando la variazione di temperatura dell'aria mediante l'applicazione del modello a Puff denominato CALPUFF (CALPUFF – EPA-Approved Versione 5.8.5; per la descrizione del modello si veda il §3.2), utilizzando il modello di distribuzione della temperatura nel pennacchio termico secondo il metodo di Halitsky (1968), descritto in Appendice 1.

La variazione di umidità relativa è stata stimata considerando la suddetta variazione di temperatura ambiente ed il contributo all'umidità atmosferica generato dalla ricaduta del vapore emesso dalle torri, che è stata stimata mediante il software CALPUFF.

A valle della realizzazione del progetto, analogamente a quanto previsto per la torre di raffreddamento ibrida a servizio del nuovo CCGT, il raffreddamento del Gruppo 5 potrà avvenire alternativamente con acqua del Canale Muzza in circuito aperto (modalità attualmente autorizzata) o in circuito chiuso mediante acqua di torre, a seconda della disponibilità di acqua da prelevare dal Canale Muzza (la disponibilità viene comunicata dal consorzio che ha in gestione il Canale Muzza): non è possibile quindi prevedere a priori il numero effettivo di ore di funzionamento nell'una o nell'altra configurazione.

Al fine della stima degli impatti sul microclima è stata fatta l'assunzione conservativa di considerare la torre di raffreddamento attiva in modo continuativo per tutte le ore dell'anno (8.784 h/anno essendo l'anno preso a riferimento – il 2020 – bisestile).

L'obiettivo sopra descritto è stato perseguito attraverso le seguenti fasi:

- ricostruzione dello scenario emissivo: la caratterizzazione dei parametri emissivi delle torri di raffreddamento è stata effettuata a partire dai bilanci termici forniti dal progettista per varie condizioni di temperatura ambiente (lo scenario emissivo è riportato in dettaglio al §4.3);

Ns rif. R002 1669320LMA V01_2023

- dispersione di calore e vapore acqueo in atmosfera: lo studio della dispersione delle emissioni di calore e vapore acqueo in atmosfera è stato condotto mediante il “Sistema di Modelli CALPUFF”, composto dai moduli CALMET, CALPUFF, CALPOST:
 - CALMET: il campo cinetico di vento tridimensionale e le variabili di turbolenza sono stati ricostruiti per l'intero anno 2020 (8.784 ore) attraverso il modello CALMET, considerando un dominio di calcolo di dimensione 30 km x 30 km con passo di cella pari a 500 m. Tale periodo, come emerge dall'analisi meteo riportata nel §2, può essere considerato rappresentativo delle condizioni meteo dell'area (anno tipo);
 - CALPUFF: le emissioni di calore e di vapore acqueo delle torri nello scenario di riferimento sono state utilizzate, unitamente al campo di vento 3D, come input per l'applicazione del modello di dispersione CALPUFF. Quest'ultimo ha permesso di effettuare un'analisi sull'intero anno di riferimento (2020) restituendo come output i valori di ricaduta ora per ora per tutti i punti del dominio di calcolo e presso i ricettori discreti considerati;
 - CALPOST: i dati orari di concentrazione, in uscita da CALPUFF, sono stati elaborati mediante l'applicazione del modello CALPOST;
- valutazione dell'effetto sul microclima: la valutazione dell'impatto sul microclima è ottenuta attraverso il confronto dei livelli di temperatura ambiente e umidità relativa stimati nello scenario di progetto con quelli misurati ante operam.

3.2 Caratteristiche del sistema di modelli CALPUFF

Il sistema di modelli CALMET-CALPUFF, inserito dall'U.S. EPA in Appendix A di “Guideline on Air Quality Models”, è stato sviluppato da Sigma Research Corporation, ora parte di Earth Tech, Inc., con il contributo di California Air Resources Board (CARB).

Per le simulazioni si è utilizzata la versione 5.8.5 delle varie componenti del sistema di modelli.

Il sistema di modelli è costituito da tre moduli principali:

- il processore meteorologico CALMET: utile per la ricostruzione del campo tridimensionale di vento e temperatura all'interno del dominio di calcolo;
- il processore CALPUFF: modello di dispersione, che inserisce le emissioni all'interno del campo di vento generato da CALMET e ne studia il trasporto e la dispersione;
- il post-processore CALPOST: ha lo scopo di analizzare statisticamente i dati di output di CALPUFF, in modo da renderli utilizzabili per le analisi successive.

CALMET è un processore meteorologico di tipo diagnostico, in grado di riprodurre campi tridimensionali di vento e temperatura unitamente a campi bidimensionali di parametri descrittivi della turbolenza atmosferica. È adatto a simulare il campo di vento su domini caratterizzati da orografia complessa e da diverse tipologie di destinazione di uso del suolo.

Il campo di vento è ricostruito attraverso stadi successivi; in particolare, un campo di vento iniziale viene processato in modo da tenere conto degli effetti orografici tramite interpolazione dei dati

Ns rif. R002 1669320LMA V01_2023

misurati alle centraline di monitoraggio e tramite l'applicazione di specifici algoritmi in grado di simulare l'interazione tra il suolo e le linee di flusso.

CALMET è dotato, infine, di un modulo micro-meteorologico, per la determinazione della struttura termica e meccanica (turbolenza) degli strati inferiori dell'atmosfera e pertanto è in grado di caratterizzare i fenomeni di inversione termica.

CALPUFF è un modello di dispersione ibrido, multi-strato e non stazionario. È in grado di simulare il trasporto, la dispersione, la trasformazione e la deposizione degli inquinanti, in condizioni meteorologiche variabili nello spazio e nel tempo. CALPUFF è in grado di utilizzare i campi meteorologici prodotti da CALMET, oppure, in caso di simulazioni semplificate, di assumere un campo di vento assegnato dall'esterno, omogeneo all'interno del dominio di calcolo.

CALPUFF contiene diversi algoritmi, che gli consentono, opzionalmente, di tenere conto di diversi fattori, quali:

- l'effetto scia dovuto agli edifici circostanti (building downwash) o allo stesso camino di emissione (stack-tip downwash);
- lo shear verticale del vento;
- la deposizione secca ed umida;
- le trasformazioni chimiche che avvengono in atmosfera;
- il trasporto su superfici d'acqua;
- la presenza di orografia complessa o di zone costiere.

Con riferimento all'ultimo punto, CALPUFF tiene conto dei fenomeni di brezza che caratterizzano le zone costiere, e modella in modo efficace il cosiddetto Thermal Internal Boundary Layer (TIBL) che è causa della ricaduta repentina al suolo degli inquinanti emessi da sorgenti vicine alla costa.

Per simulare al meglio le condizioni reali di emissione, il modello CALPUFF permette di configurare le sorgenti individuate attraverso geometrie puntuali, lineari ed areali. Le sorgenti puntuali permettono di rappresentare emissioni localizzate con precisione in un'area ridotta; le sorgenti lineari consentono di simulare al meglio un'emissione che si estende lungo una direzione prevalente, qual è ad esempio quella dovuta al trasporto su nastri; le sorgenti areali, infine, si adattano bene a rappresentare un'emissione diffusa su di un'area estesa.

I codici di calcolo richiedono come input i seguenti dati:

- dati meteorologici in superficie ed in quota, per la ricostruzione del campo di vento tridimensionale (ricostruiti in CALMET);
- dati per le sorgenti: per l'effettivo studio della dispersione degli inquinanti in aria (effettuato da CALPUFF).

Gli output del codice CALPUFF, elaborati attraverso CALPOST, consistono in matrici che riportano i valori di ricaduta calcolati per ogni nodo della griglia definita, relativi alle emissioni di

Ns rif. R002 1669320LMA V01_2023

single sorgenti e per l'insieme di esse. Tali risultati possono essere elaborati attraverso un qualsiasi software di "tipo GIS" creando ad esempio mappe di isoconcentrazione.

3.3 Scenario emissivo

Il modello di dispersione CALPUFF è stato applicato ad un intero anno meteorologico di riferimento: il 2020 (8.784 ore).

Le simulazioni sono state impostate secondo le seguenti ipotesi:

- conservativamente le emissioni delle torri di raffreddamento, sia quelle asservite al nuovo CCGT che quelle in progetto asservite al Gruppo 5, sono state considerate attive in modo continuativo per tutte le ore dell'anno (8.784 h/anno essendo l'anno preso a riferimento – il 2020 – bisestile), in modo da massimizzare gli impatti sul microclima;
- ai fini della stima dell'impatto delle emissioni di energia termica delle torri di raffreddamento è stato implementato il modello di distribuzione della temperatura nel plume secondo il metodo di Halitsky (1968). Come riportato in Appendice 1, il modello assume validità in mancanza di oggetti che il plume può urtare cedendo calore, ed inoltre non si è considerata l'interazione tra i plumes. Questa condizione diventa conservativa per la simulazione dell'aumento di temperatura;
- le torri di raffreddamento del nuovo CCGT sono costituite rispettivamente da 12 celle disposte in 2 file da 6 celle ciascuna. Ogni cella ha un diametro di 11 m e un'altezza di 24 m. Ai fini delle simulazioni sono state utilizzate 6 sorgenti puntuali equivalenti del diametro equivalente di 15,56 m e altezza di 24 m, ciascuna rappresentativa delle emissioni di 2 celle adiacenti disposte sulle due file della torre, esercite al carico nominale (si veda Tabella 3.3a);
- le torri di raffreddamento in progetto del Gruppo 5 sono costituite da 14 celle disposte in 2 file da 7 celle ciascuna. Ogni cella ha un diametro di 11 m e un'altezza di 26 m. Ai fini delle simulazioni sono state utilizzate 7 sorgenti puntuali equivalenti del diametro equivalente di 15,56 m e altezza di 26 m, ciascuna rappresentativa delle emissioni di 2 celle adiacenti disposte sulle due file della torre, esercite al carico nominale (si veda Tabella 3.3b).

Nelle seguenti tabelle sono riportate le coordinate dei baricentri e le caratteristiche geometriche di ciascuna delle 13 sorgenti equivalenti puntuali considerate nel modello CALPUFF.

Tabella 3.3a Coordinate e caratteristiche geometriche sorgenti equivalenti – Gruppo torri di raffreddamento del nuovo CCGT

Grandezza/Parametro	UdM	Valore	
Numero sorgenti equivalenti	N.	6	
Coordinate singole sorgenti [UTM 32N-WGS84]	m	E	N
		533.861	5.020.335
		533.878	5.020.341
		533.895	5.020.347
		533.912	5.020.353

Ns rif. R002 1669320LMA V01_2023

Grandezza/Parametro	UdM	Valore	
		533.929	5.020.359
		533.946	5.020.365
Diametro singola sorgente	m	15,56	
Altezza singola sorgente	m	24	

Tabella 3.3b Coordinate e caratteristiche geometriche sorgenti equivalenti – Gruppo torri di raffreddamento del Gruppo 5

Grandezza/Parametro	UdM	Valore	
Numero sorgenti equivalenti	N.	7	
Coordinate singole sorgenti [UTM 32N-WGS84]	m	E	N
		534.054	5020.117
		534.059	5020.102
		534.065	5020.087
		534.070	5020.072
		534.075	5020.057
		534.081	5020.042
		534.086	5020.027
Diametro singola sorgente	m	15,56	
Altezza singola sorgente	m	26	

I valori del flusso di massa di vapore d'acqua, di temperatura e velocità dell'aria in uscita dalle torri sono stati calcolati a partire dai bilanci termici forniti dal progettista per diversi casi di condizioni di temperatura ambiente. Tali valori sono riportati nelle successive tabelle rispettivamente per 4 casi per le torri di raffreddamento del nuovo CCGT e per 3 casi di funzionamento nel caso della torre in progetto asservita al Gruppo 5.

Tabella 3.3c Dati emissivi della torre di raffreddamento del nuovo CCGT per 4 diversi casi di temperatura ambiente

Casi di funzionamento torre	Temperatura ambiente (°C)	Portata aria umida in uscita dalla torre (kg/s)	Temperatura dell'aria in uscita dalla torre (°C)	Umidità relativa dell'aria in uscita dalla torre (%)	Velocità di uscita dell'aria dalla torre (m/s)
1	0	9.839	18,9	84	7,27
2	5	9.725	21,9	85	7,29
3	15	9.548	26,6	83	7,32
4	40	8.956	41,4	87	7,51

Ns rif. R002 1669320LMA V01_2023

Tabella 3.3d Dati emissivi della torre di raffreddamento del Gruppo 5 per 3 diversi casi di temperatura ambiente

Casi di funzionamento torre	Temperatura ambiente (°C)	Portata aria umida in uscita dalla torre (kg/s)	Temperatura dell'aria in uscita dalla torre (°C)	Umidità relativa dell'aria in uscita dalla torre (%)	Velocità di uscita dell'aria dalla torre (m/s)
1	5	10.305	25,58	86,25	6,74
2	15	10.077	30,66	85,07	6,77
3	40	9.587	41,18	80,28	6,84

A partire dai dati presentati nelle Tabelle 3.3c e 3.3d, interpolando per le condizioni intermedie di temperatura ambiente, sono state determinate le caratteristiche emissive delle 13 sorgenti equivalenti che sono variabili nel tempo in conseguenza della variazione della temperatura ambiente durante le varie ore dell'anno. Per considerare le emissioni variabili nel tempo è stato implementato il file di input di CALPUFF denominato PTEMARB.

Gli impatti generati dalle emissioni di energia termica delle torri di raffreddamento sono stati determinati stimando la variazione di temperatura dell'aria mediante l'applicazione del modello CALPUFF, utilizzando il modello di distribuzione della temperatura nel pennacchio termico secondo il metodo di Halitsky (1968), descritto in Appendice 1.

La variazione di umidità relativa è stata stimata considerando la suddetta variazione di temperatura ambiente ed il contributo all'umidità atmosferica generato dalla ricaduta del vapore emesso dalle torri, che è stata stimata mediante il software CALPUFF.

3.4 Domini di calcolo

Dominio di calcolo CALMET

Per il preprocessore meteorologico CALMET è stato utilizzato un dominio di calcolo di 30 km x 30 km con cella di forma quadrata e passo pari a 0,5 km, centrato sull'area prevista per l'installazione delle torri di raffreddamento.

Per la caratterizzazione geofisica del dominio si sono utilizzati i seguenti dati:

- Orografia: è stato appositamente realizzato un DEM (Digital Elevation Model) utilizzando i dati del servizio "Consultative Group for International Agriculture Research - Consortium for Spatial Information (CGIAR-CSI)" scaricabili dal relativo sito.. In Figura 3.4a si riporta l'orografia utilizzata per le simulazioni;
- Uso del suolo: la caratterizzazione della copertura del suolo è stata invece effettuata mediante i dati e la cartografia tematica disponibili grazie al Progetto "CORINE LANDCOVER 2018", del quale l'ISPRA rappresenta la National Authority, ovvero il soggetto realizzatore e

Ns rif. R002 1669320LMA V01_2023

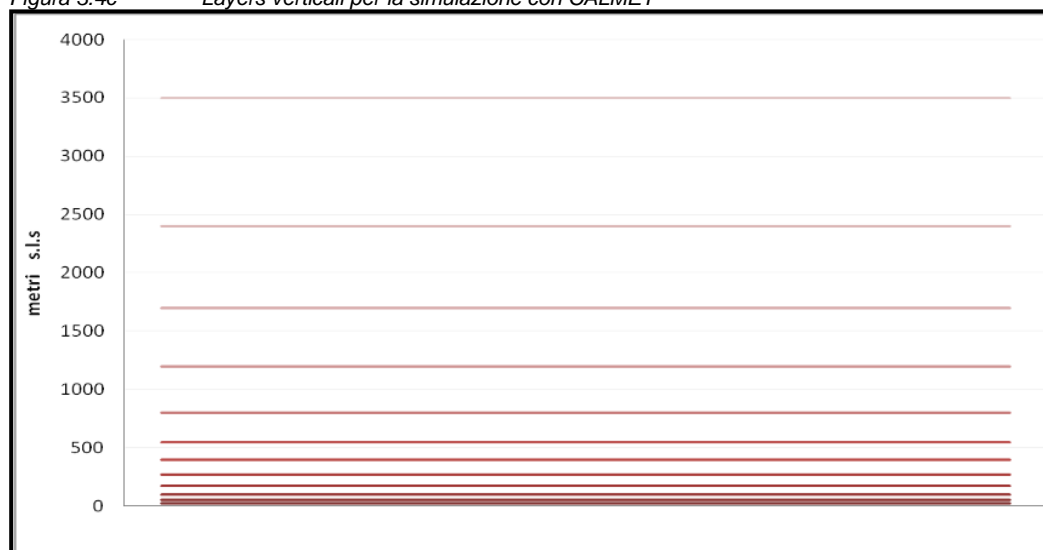
responsabile della diffusione dei prodotti sul territorio nazionale. In Figura 3.4b si riporta l'uso del suolo utilizzato per le simulazioni.

In merito alla risoluzione verticale del dominio di calcolo, sono stati definiti 12 layers, per un'estensione del dominio fino ad una quota di 3.500 m dal piano campagna. In questo caso, al fine di rappresentare al meglio la maggior variabilità verticale del PBL (Planetary Boundary Layer) negli strati più prossimi al suolo, generata dall'interazione delle masse d'aria con quest'ultimo, è stata definita una risoluzione maggiore negli strati atmosferici più bassi di quota come mostrato in Tabella 3.4a ed in Figura 3.4c.

Tabella 3.4a Layers verticali impostati per la simulazione con CALMET

Layer	Quota s.l.s. (m)
1	20
2	50
3	100
4	170
5	270
6	400
7	550
8	800
9	1.200
10	1.700
11	2.400
12	3.500

Figura 3.4c Layers verticali per la simulazione con CALMET



Ns rif. R002 1669320LMA V01_2023

Dominio di calcolo CALPUFF

Il calcolo dell'innalzamento di temperatura ambiente e di umidità relativa medio annuo è stato effettuato su 2 griglie aventi le seguenti caratteristiche:

- una griglia centrata sulle torri di raffreddamento, di dimensioni 2,5 km x 2,5 km, con passo cella pari a 50 m e altezza da terra dei punti griglia di 1,5 m;
- una griglia centrata sulle torri di raffreddamento, di dimensioni 2,5 km x 2,5 km, con passo cella pari a 50 m e altezza da terra dei punti griglia di 4,5 m.

In Figura 3.4d si riporta la mappa con l'individuazione delle aree considerate per l'applicazione dei codici CALMET e CALPUFF.

Per valutare l'impatto dell'incremento della temperatura ambiente e dell'umidità relativa medio giornaliero sono stati considerati 14 ricettori in corrispondenza di alcuni singoli edifici residenziali/produttivi o piccoli nuclei sparsi più vicini alle torri di raffreddamento (data la scarsa densità abitativa nei dintorni della CTE si è preferito effettuare la stima ai singoli ricettori e non sulla griglia a causa dell'elevato onere computazionale). Per ciascun ricettore l'incremento di temperatura ambiente e umidità relativa medio giornaliero è stato stimato ad un'altezza dal suolo di 1,5 m e 4,5 m, corrispondente rispettivamente al primo piano e al secondo piano di un'abitazione.

Nella seguente Tabella 3.4b sono riportati, per ogni ricettore individuato, l'identificativo e le coordinate, mentre in Figura 3.4e se ne riporta l'ubicazione.

Tabella 3.4b Ricettori e relative coordinate

ID	Coordinate UTM 32N-WGS84 [m]	
	E	N
Ricettore 1	534.272	5.020.786
Ricettore 2	534.989	5.019.839
Ricettore 3	534.199	5.019.667
Ricettore 4	534.066	5.019.647
Ricettore 5	533.884	5.019.724
Ricettore 6	535.237	5.020.466
Ricettore 7	535.059	5.021.075
Ricettore 8	534.201	5.019.152
Ricettore 9	534.494	5.019.731
Ricettore 10	534.302	5.019.538
Ricettore 11	533.179	5.020.527
Ricettore 12	534.171	5.021.265
Ricettore 13	533.365	5.021.728
Ricettore 14	532.698	5.019.125

Ns rif. R002 1669320LMA V01_2023

3.5 Dati meteorologici

Per la ricostruzione del campo tridimensionale di vento il modello tridimensionale CALMET richiede in input sia parametri atmosferici “di superficie” con cadenza oraria sia parametri atmosferici misurati “in quota” con cadenza massima di 12 ore.

Parametri atmosferici di superficie

I dati di superficie richiesti dal modello CALMET sono:

- velocità del vento [m/s];
- direzione del vento [deg];
- altezza della base delle nubi [100 feet];
- copertura nuvolosa [decimi];
- temperatura dell'aria [K];
- umidità relativa [%];
- pressione [mbar].

Come dati di input sono stati utilizzati quelli forniti da ARPA Lombardia, misurati nell'anno 2020 dalle stazioni meteo utilizzate per la caratterizzazione meteo climatica (si veda § 2).

Tale anno risulta caratterizzato da un numero di dati validi superiore al limite di significatività (90%) indicato dal D. Lgs. 155/2010 e può considerarsi rappresentativo (anno tipo) delle condizioni meteo dell'area (si veda analisi meteo riportata al §2).

Parametri atmosferici misurati in quota

I dati in quota richiesti dal modello CALMET sono:

- pressione [mbar];
- quota geopotenziale [m];
- temperatura dell'aria [K];
- direzione del vento [deg];
- velocità del vento [m/s].

Per le modellazioni sono stati utilizzati i dati meteorologici in quota acquistati dal consorzio LaMMA (CNR) relativamente ad un punto posizionato nei pressi del sito di progetto. Tali dati meteo derivano dal modello WRF-ARW inizializzato con i dati delle analisi ECMWF.

Si riportano le coordinate UTM – WGS84 – Fuso 32N del punto di estrazione dei dati in quota:
X=533.908 m E; Y=5.020.357 m N.

Per le simulazioni sono stati utilizzati i dati relativi allo stesso periodo di quelli di superficie (anno 2020).

Ns rif. R002 1669320LMA V01_2023

4 Risultati

La simulazione effettuata per lo studio di dispersione delle emissioni di energia termica determinate dall'esercizio delle torri di raffreddamento di tipo ibrido, sviluppata secondo il metodo di Halitsky (1968), mostra una variazione molto limitata della temperatura ambiente.

Infatti dall'analisi è emerso che il massimo incremento di temperatura medio annuo sul dominio indagato è pari a 0,090°C e si verifica all'altezza di 4,5 m ad una distanza di circa 165 metri a nord ovest delle torri di raffreddamento del Gruppo 5, in un'area priva di ricettori.

Inoltre dall'analisi sui ricettori individuati emerge che il massimo incremento di temperatura media giornaliera corrisponde a 0,216°C e si verifica in corrispondenza del primo piano dell'edificio residenziale corrispondente al ricettore n.3 (a 1,5 m di altezza). Tale incremento massimo giornaliero risulta nettamente inferiore rispetto al range delle variazioni che si verificano normalmente tra un giorno e l'altro e quindi è trascurabile ai fini della variazione microclimatica.

Considerando gli incrementi di temperatura ambiente indotti dalle emissioni di energia termica delle torri di raffreddamento e i contributi all'umidità atmosferica indotti dalle emissioni di vapore acqueo delle torri stesse, è stata stimata anche la variazione di umidità relativa che è risultata assai contenuta.

Dall'analisi è emerso infatti che il massimo incremento di umidità relativa medio annuo sul dominio indagato è pari all'1,10% e si verifica all'altezza di 4,5 m ad una distanza di circa 165 metri a nord ovest della torre di raffreddamento del Gruppo 5, in un'area priva di ricettori.

Inoltre dall'analisi sui ricettori individuati emerge che il massimo incremento di umidità relativa media giornaliera corrisponde al 2,93% e si verifica in corrispondenza del primo piano dell'edificio residenziale corrispondente al ricettore n.3 (a 1,5 m di altezza). Tale incremento massimo giornaliero risulta nettamente inferiore rispetto al range delle variazioni che si verificano normalmente tra un giorno e l'altro e quindi è trascurabile ai fini della variazione microclimatica.

In base a tali risultati è possibile affermare che il microclima locale non subirà variazioni significative per effetto dell'esercizio delle nuove torri di raffreddamento del Gruppo 5, anche se utilizzate in contemporanea a quelle del nuovo CCGT.

Figura 3.4a Orografia del territorio

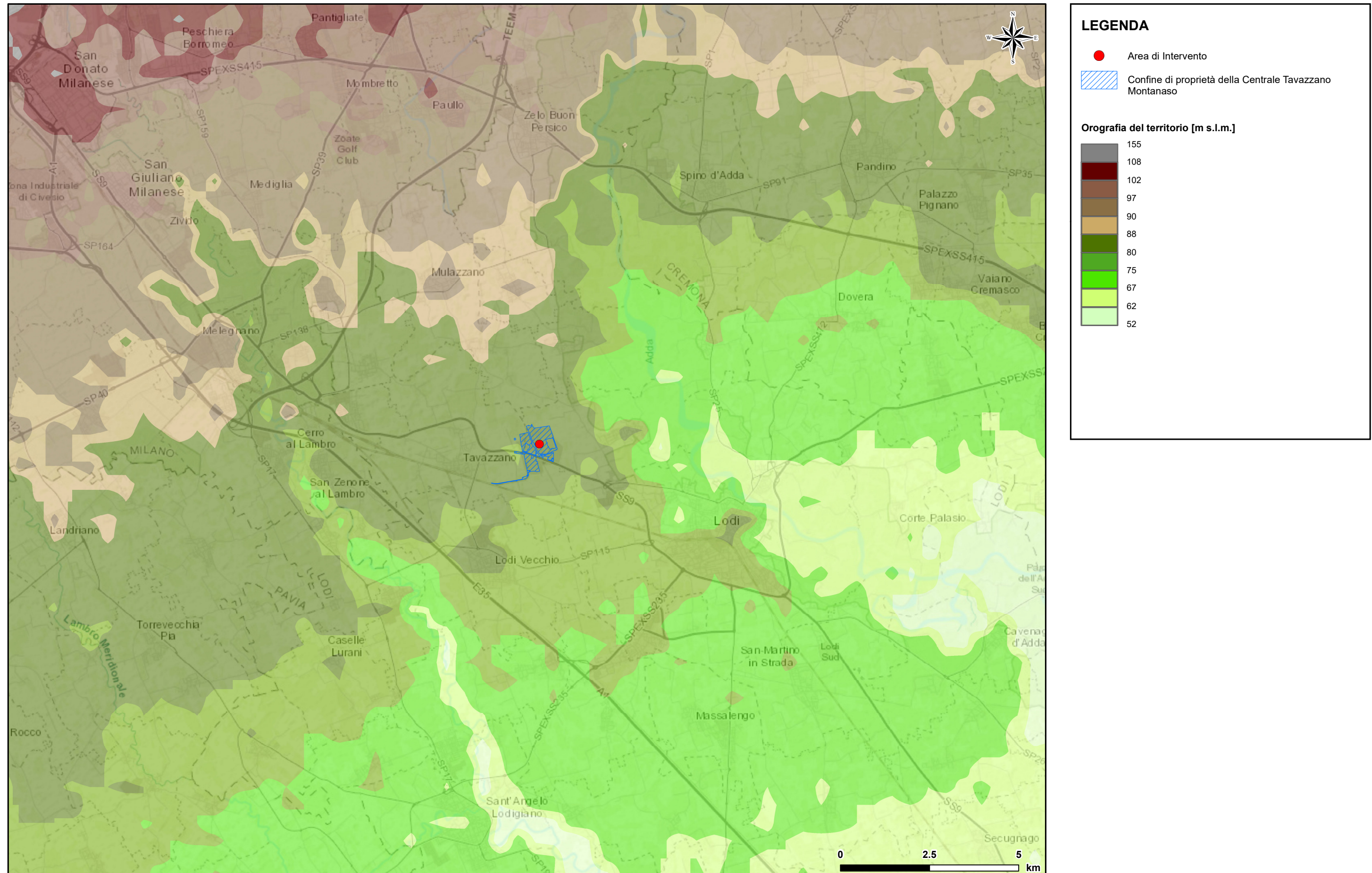
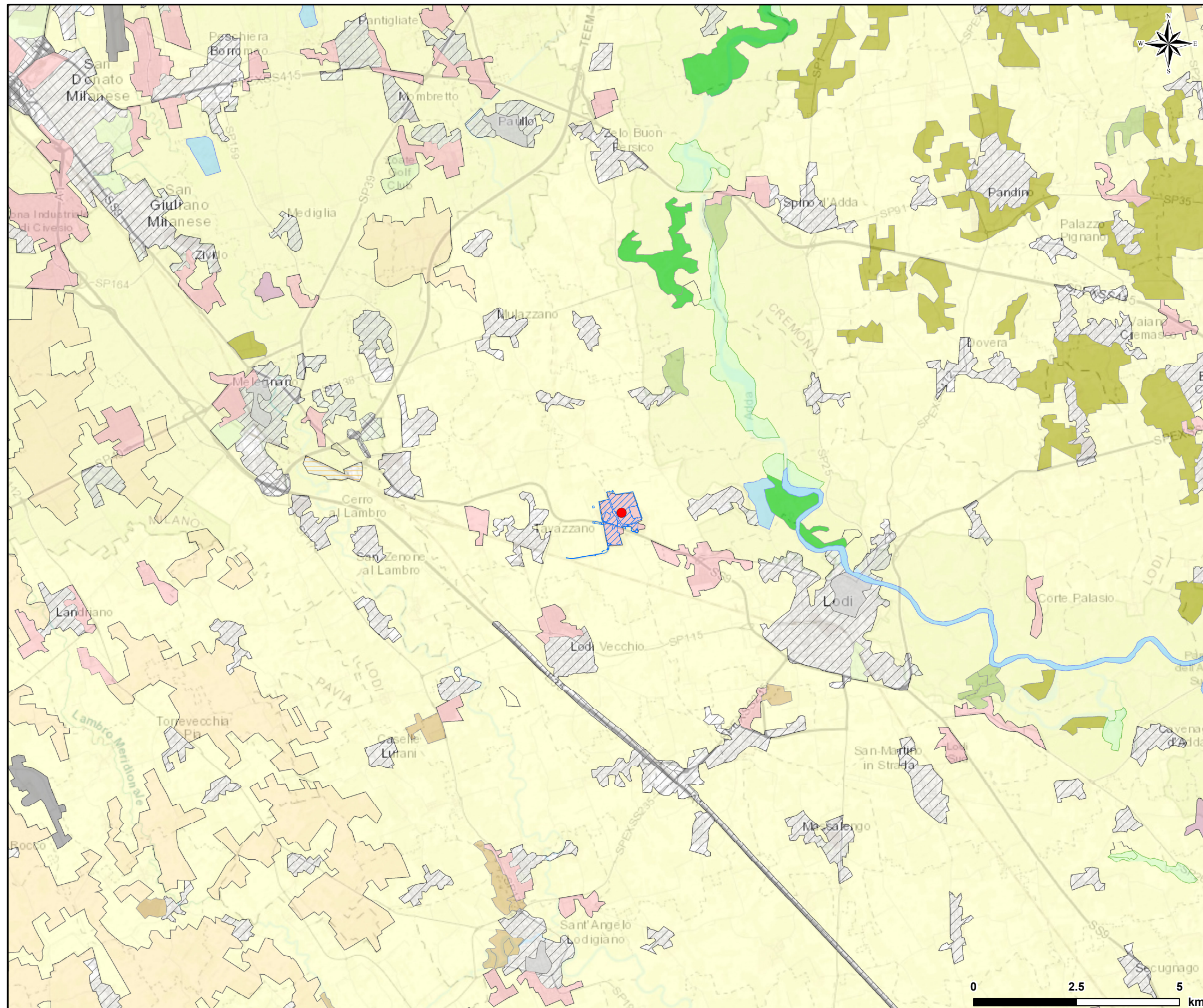


Figura 3.4b **Uso del suolo**



LEGENDA

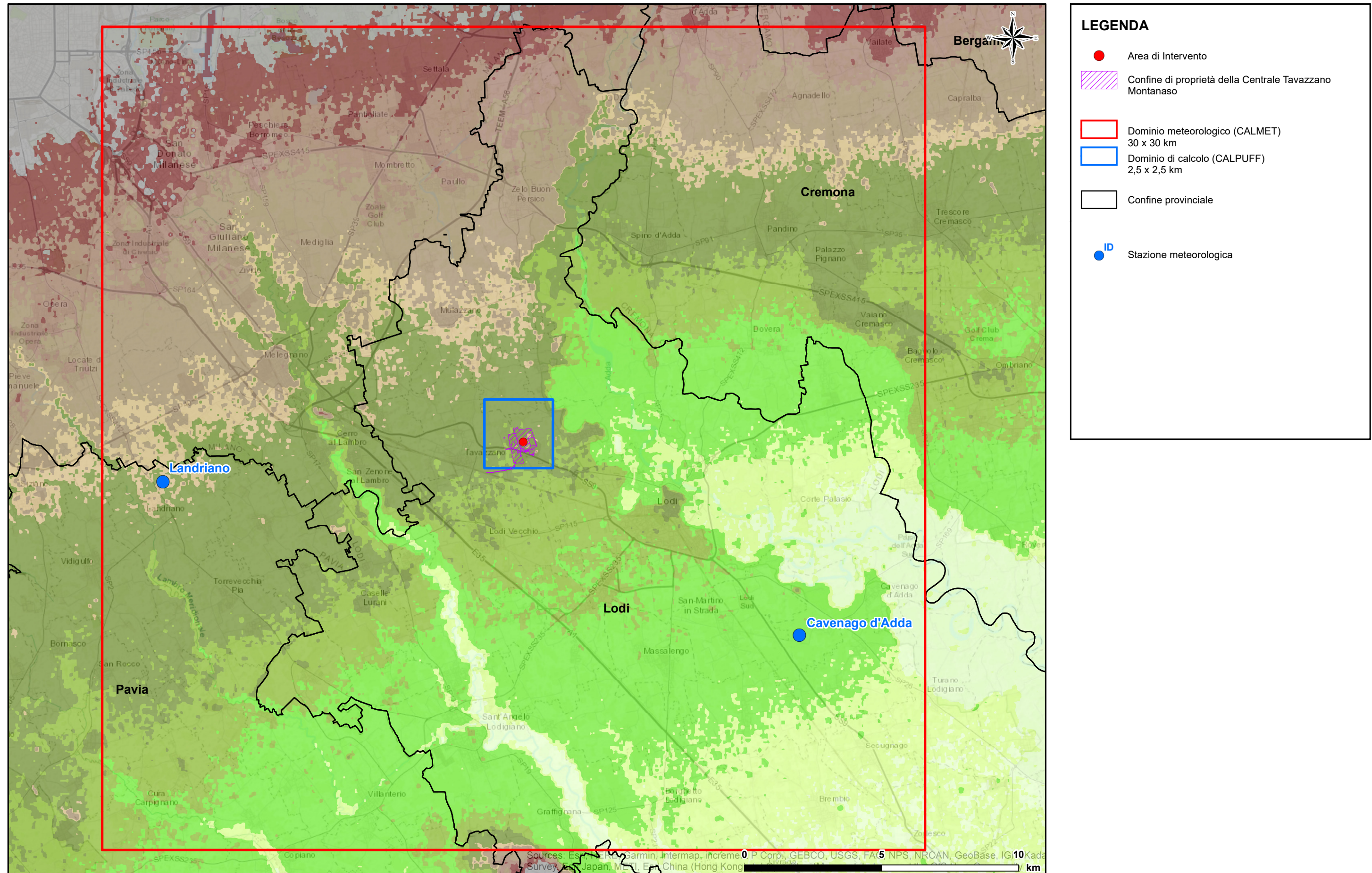
- Area di Intervento
- Confine di proprietà della Centrale Tavazzano Montanaso

Classi di Uso del Suolo

- Tessuto urbano continuo
- Tessuto urbano discontinuo
- Aree industriali o commerciali
- Reti stradali, ferrovie, e infrastrutture tecniche
- Aree estrattive
- Aeroporti
- Discariche
- Zone verdi artificiali non agricole
- Risaie
- Seminativi
- Colture permanenti
- Zone agricole eterogenee
- Zone boscate

- Zone caratterizzate da vegetazione arbustiva e/o erbacea
- Acque continentali

Figura 3.4d Domini di Calcolo CALMET e CALPUFF



LEGENDA





- Area di Intervento
- Confine di proprietà della Centrale Tavazzano Montanaso
- Dominio meteorologico (CALMET)
30 x 30 km
- Dominio di calcolo (CALPUFF)
2,5 x 2,5 km
- Confine provinciale
- ID Stazione meteorologica

Sources: Esri, DeLorme, Garmin, Intermap, increment P Corp., GEBCO, USGS, FAO, NPS, NRCAN, GeoBase, IGN, Kad...

Figura 3.4e Ubicazione dei ricettori



LEGENDA

-  Area di Intervento
-  Confine di proprietà della Centrale Tavazzano Montanaso
-  Area di proprietà Terna
-  Ricettori

Ing. Paolo Godio

Appendice 1 - Metodo di calcolo per la determinazione della distribuzione di temperatura nel pennacchio. Metodo Halitsky (1968)

Ns rif.

R002 1669320LMA V01_2023

Ns rif. R002 1669320LMA V01_2023

Indice

1	Metodo di calcolo per la determinazione della distribuzione di temperatura nel pennacchio....	4
	Metodo Halitsky (1968).....	4

1 Metodo di calcolo per la determinazione della distribuzione di temperatura nel pennacchio. Metodo Halitsky (1968)

Non esiste un metodo standard per modellare la distribuzione di temperatura in un pennacchio tipico delle emissioni industriali.

Studi svolti nel passato assumono come ipotesi la similitudine tra la distribuzione della concentrazione e la distribuzione di temperatura.

In primo luogo si definisce il coefficiente di diluizione D_c della concentrazione come:

$$D_c = \frac{C_0}{C}$$

In cui:

- C_0 [g/m³] è la concentrazione nei fumi all'uscita del camino;
- C [g/m³] è la concentrazione nel punto di interesse.

Sotto certe condizioni si assume che il coefficiente di diluizione della temperatura D_T è pari al coefficiente di diluizione della concentrazione (Kuo 1997).

$$D_T = \frac{T_s - T_a}{T - T_a} = D_c$$

In cui:

- T è la temperatura nel punto di interesse;
- T_a è la temperatura ambiente;
- T_s è la temperatura dei gas all'uscita del camino.

Conoscendo la dispersione di un inquinante risulta semplice calcolare la temperatura.

Fondamentalmente le equazioni che governano la diffusione del calore e della massa hanno un'identica struttura formale. L'equazione di diffusione del calore ha la seguente forma:

$$\rho c_p \left(\frac{\partial T}{\partial t} \right) = \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial T}{\partial z} \right) \right]$$

In cui:

- ρ è la densità del fluido;
- c_p è il calore specifico;
- k è la conducibilità termica.

Ns rif. R002 1669320LMA V01_2023

La conducibilità termica può variare nel volume infinitesimo, mentre la densità e il calore specifico sono assunti come costanti.

Se k è costante nello spazio e isotropica l'equazione si semplifica nella seguente forma in cui α corrisponde alla diffusività termica.

$$\frac{1}{\alpha} \left(\frac{\partial T}{\partial t} \right) = \nabla^2 T$$

Considerazioni simili per le concentrazioni massiche portano alla seguente forma:

$$\frac{1}{D} \left(\frac{\partial C}{\partial t} \right) = \nabla^2 C$$

In cui D è la diffusività massica.

L'ultima equazione è valida per solidi o liquidi e implica una eguale diffusione di massa e temperatura se la densità è relativamente costante.

Nei gas la densità è funzione della temperatura e la diffusività termica non è costante.

Considerando la densità ρ come funzione della temperatura, Halitsky (1968) (*Modeling Plume Interactions with Surround for a Synthetic Imaging Applications*, Johnatan Bishop, Rochester Institute of Technology, anno 2001) suggerisce una correzione delle relazioni dei coefficienti di diluizione sopra accennati:

$$D_T = \frac{T_s - T_a}{T - T_a} = D_v = D_c \frac{T_s}{T}$$

In cui D_v è sostanzialmente il coefficiente D_c corretto in base alla variazione di densità.

Esplicitando, la temperatura risulta:

$$T = \frac{T_a}{1 - \frac{T_s - T_a}{T_s} \frac{C}{C_0}}$$

Valida sotto le seguenti ipotesi:

- i gas emessi al camino e l'aria ambiente hanno identici calori specifici;
- gli scambi termici dominanti avvengono tra il plume-gas e l'aria miscelata con il pennacchio, gli scambi radiativi tra il plume, regioni distanti dell'atmosfera e terreno sono trascurabili;

Ns rif. R002 1669320LMA V01_2023

- il plume non urta contro oggetti o contro il terreno, se accadesse si verificherebbero scambi termici e non massici e quindi si altererebbe la stima della distribuzione di temperatura secondo questa metodologia;
- nel caso di più pennacchi non avvengono urti o miscele tra di loro, se accadesse ciò la concentrazione in un punto sarebbe la somma delle concentrazioni dei due plume, mentre la temperatura è approssimativamente una media delle temperature dei due plume, pesata per i loro flussi di massa;
- la massa e la temperatura hanno lo stesso rateo di diffusione (Numero di Lewis $Le = \alpha/c_p = 1$).

Queste ipotesi sono valide in range di temperatura piuttosto ridotti (come quelli della torre di raffreddamento di tipo ibrido), infatti i valori di densità e calore specifico dell'aria in uscita dalla torre di raffreddamento e dell'aria ambiente sono rispettivamente simili e circa costanti, e sono ridotti gli scambi termici radiativi.