



APPROFONDIMENTO SULLE POTENZIALI EMISSIONI ODORIGENE DALLA VASCA MS-3A

Giugno 2016

CONTENUTI

1	SOMMARIO	3
1.1	SCOPO DEL LAVORO.....	3
1.2	OBIETTIVI	3
1.3	CONCLUSIONI.....	3
2	RIFERIMENTI	5
3	IMPATTO ODORIGENO	6
4	METODOLOGIA.....	7
	4.1.1 <i>Configurazione a tre aeratori superficiali.....</i>	<i>7</i>
	4.1.2 <i>Configurazione a diffusori a disco a bolle fini.....</i>	<i>8</i>
	4.2.2 <i>Configurazione del codice CALPUFF.....</i>	<i>11</i>
5	DEFINIZIONE TERMINE SORGENTE VASCA DI TRATTAMENTO BIOLOGICO	14
5.1	CONFIGURAZIONE A TRE AERATORI SUPERFICIALI	14
5.2	CONFIGURAZIONE A DIFFUSORI A DISCO A BOLLE FINI	14
6	DISPERSIONE ATMOSFERICA.....	15

1 Sommario

1.1 Scopo del lavoro

Il presente lavoro si concentra sullo studio delle emissioni odorigene dalla vasca di trattamento biologico MS-3A nelle due configurazioni, quella attuale a tre aeratori superficiali e quella futura a diffusori a disco a bolle fini.

Per determinare le portate emissive generate dalla vasca nelle due configurazioni, il termine sorgente è stato valutato come segue:

- nella configurazione attuale a tre aeratori superficiali la portata emissiva volumetrica è stata stimata a partire dalla superficie della vasca e dalla velocità del vento misurata in occasione del monitoraggio tenutosi in data 17 febbraio 2016 alla presenza dell'Ente di Controllo;
- nella configurazione futura a diffusori a disco a bolle fini la portata emissiva volumetrica è stata stimata riportandola ad 1/3 di quella attuale, in base a dati di letteratura [Rif. 3], dovuto all'eliminazione del fenomeno di aerosol conseguente all'eliminazione degli aeratori superficiali.

Una volta caratterizzata la sorgente nelle due diverse configurazioni (attuali e di progetto) della vasca, si è proceduto con la valutazione delle conseguenti simulazioni di dispersione e ricaduta.

1.2 Obiettivi

L'obiettivo del presente studio è verificare l'abbattimento sia di potenziali emissioni odorigene dalla vasca di trattamento biologico sia di potenziali ricadute su recettori sensibili, a seguito della sostituzione dei tre aeratori superficiali con i diffusori a disco a bolle fini.

1.3 Conclusioni

Attraverso la modellazione della portata di odore emessa dalla vasca MS-3A per le due diverse configurazioni è emerso che sostituendo gli aeratori superficiali con diffusori a bolle fini si ottiene una portata odorigena circa tre volte inferiore a quella stimata per la configurazione attuale.

Il confronto tra i risultati ottenuti dalla dispersione di sostanze odorigene dalla vasca, nelle due configurazioni studiate, evidenzia che nel caso degli aeratori superficiali le concentrazioni di odore massime raggiunte ($38,3 \text{ OU}_E/\text{m}^3$) sono circa tre volte quelle raggiunte nel caso di diffusori a bolle fini ($12,8 \text{ OU}_E/\text{m}^3$).



L'abbattimento ottenuto sia in termini di picco di concentrazione che in termini di distanza raggiunta è essenzialmente attribuibile all'eliminazione del fenomeno dell'aerosol.

2 Riferimenti

- Rif. 1 UNI EN 13725:2004 - Qualità dell'aria - Determinazione della concentrazione di odore mediante olfattometria dinamica, 01 ottobre 2004
- Rif. 2 D.g.r. Regione Lombardia 15 febbraio 2012 - n. IX/3018 - Determinazioni generali in merito alla caratterizzazione delle emissioni gassose in atmosfera derivanti da attività a forte impatto odorigeno.
- Rif. 3 Carrick-On-Shannon. Sewerage Improvement Scheme. Environmental Impact Statement. Vol. 2 of 2. Main Report and Appendices: pp. 122-137.
- Rif. 4 CALPUFF MODEL SYSTEM1, inserito dall'U.S. EPA in Appendix A di "Guideline on Air Quality Models", sviluppato da Sigma Research Corporation, con il contributo di California Air Resources Board (CARB).

3 Impatto odorigeno

Le sostanze odorigene emesse dalle attività di raffinazione sono da attribuirsi alle sostanze gassose che si liberano in atmosfera dalle unità di impianto durante le fasi di normale funzionamento, stoccaggio o movimentazione.

Combinando opportunamente la portata della sostanza gassosa emessa in atmosfera con la concentrazione odorigena, è possibile caratterizzare le diverse emissioni di sostanze inquinanti in atmosfera. La concentrazione odorigena è generalmente misurata a partire dai dati di concentrazione di odore e espressa in unità odorimetriche o olfattometriche al metro cubo (OU_E/m^3), che rappresentano il numero di diluizioni necessarie affinché il 50% degli esaminatori non avverta più l'odore del campione analizzato (UNI EN 13725:2004 [Rif. 1]).

Processando i dati delle emissioni attraverso l'utilizzo di opportuni codici di simulazione, è possibile valutare le ricadute sul territorio, in termini di impatto odorigeno. Le ricadute sul territorio sono poi confrontate con i limiti in concentrazione forniti dalle Linee Guida contenute nel D.g.r. n. IX/3018 del 15 Febbraio 2012 della Regione Lombardia ([Rif. 2]).

La presente attività è stata realizzata in conformità alle suddette Linee Guida. Queste ultime definiscono un insieme di requisiti che devono essere considerati nella redazione dello studio di impatto olfattivo mediante simulazione di dispersione.

4 Metodologia

Il presente capitolo descrive la metodologia adottata per la stima delle emissioni odorigene dalla vasca di trattamento biologico MS-3A, la loro dispersione in atmosfera e successiva ricaduta al suolo.

4.1 Stima delle emissioni odorigene

Le emissioni odorigene dalla vasca MS-3A sono state valutate per le due diverse configurazioni: quella attuale a tre aeratori superficiali e quella futura a diffusori a disco a bolle fini.

4.1.1 *Configurazione a tre aeratori superficiali*

Nella configurazione attuale la portata emissiva è stata stimata a partire dalla superficie della vasca, dalla velocità del vento e dalle concentrazioni di odore (ou/m^3) misurate in occasione del monitoraggio tenutosi in data 17 febbraio 2016 alla presenza dell'Ente di Controllo.

Al fine di stimare le emissioni derivanti dalla vasca MS-3A di ossidazione biologica sono state svolte misurazioni in campo volte a determinare il termine di sorgente. Nel febbraio 2016 si è provveduto a misurare sul perimetro della vasca, rappresentata nella seguente Figura 4.1, le concentrazioni di odore espresse in unità odorimetriche secondo la direzione di provenienza del vento sia a monte che a valle della vasca stessa.

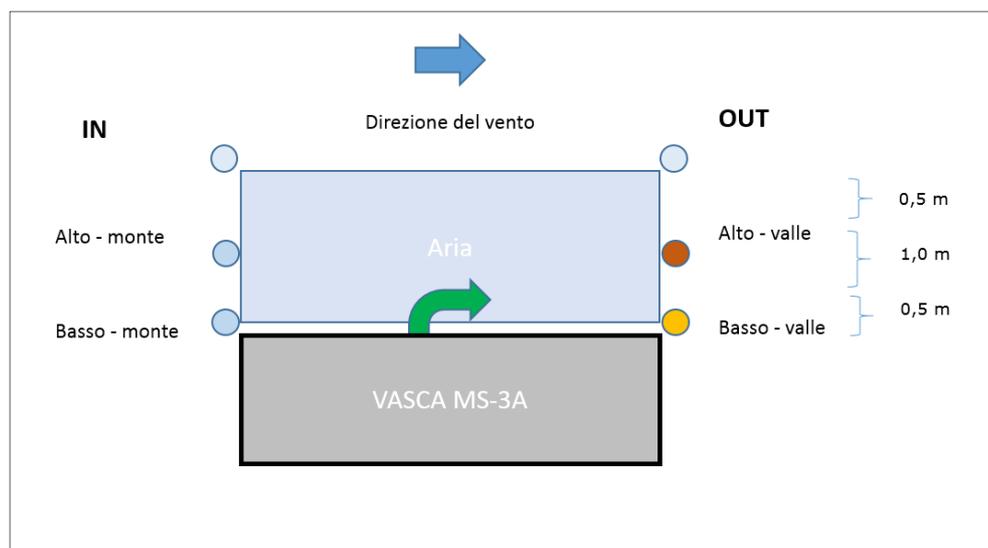


Figura 4.1: schema vasca MS-3A utilizzato per il calcolo del termine sorgente

La differenza tra il flusso di massa di composti odorigeni, stimato in ingresso alla vasca (sopravento) rispetto a quello stimato in uscita dalla vasca (sottovento), ha

permesso di valutare il termine di sorgente. Nella Tabella 4.1 si mostrano i risultati del monitoraggio.

Le misurazioni sono state localizzate sul perimetro esterno della vasca al fine di poter applicare il bilancio di massa come schematizzato in Figura 4.1.

Ubicazione campionamento	Temperatura dell'aria Feb 2016	Direzione del vento Feb 2016	Velocità del vento Feb 2016	OU _E /m ³
				Feb 2016
valle basso	10,2	E-SE	2,1	21
valle alto	10,5	E-SE	2,3	60
valle medio basso	10,4	E-SE	2,1	88
valle medio alto	10,5	E-SE	2,7	240
monte basso	11,2	E-SE	1,8	21
monte alto	10,8	E-SE	2,1	28
test	10,7	E-SE	2,3	60

Tabella 4.1: risultati del monitoraggio svolto

I risultati del monitoraggio sono stati utilizzati come mostrato in Tabella 4.2.

Livello di misurazione da bordo vasca.	Altezza dal bordo della vasca Intervallo in [m]	OUT OU _E /m ³	IN OU _E /m ³	Dim. Vasca Diagonale [m]	Velocità del vento [m/s]	portata odore OUT OU _E /s	portata odore IN OU _E /s	TERMINE EMISSIONE MS-3A OU _E /s	EMISSIONE SPECIFICA MS-3A OU _E /m ² ·s
aria	1,5-2,0	21	21	51	2,1	1124,55	1124,55	0,0	0,00
alto	0,5-1,5	240	28	51	2,4	29784	3474,8	26309,2	40,47
Basso su bordo vasca	0-0,5	88	21	51	2,1	4712,4	1124,55	3587,9	5,52
Totale vasca								29897,1	45,99

Tabella 4.2: valutazione del fattore di emissione specifico

4.1.2 Configurazione a diffusori a disco a bolle fini

Nella configurazione a diffusori a disco a bolle fini la portata emissiva è stata stimata assumendo un decremento del 150% rispetto a quella calcolata per la configurazione attuale, identificato da dati di letteratura [Rif. 3], dovuto

all'eliminazione del fenomeno di aerosol conseguente all'eliminazione degli aeratori superficiali.

Nella seguente Tabella 4.3 si riportano l'emissione odorigena e il fattore di emissione specifica, calcolati per la vasca MS-3A nella configurazione futura con diffusori a bolle fini.

STATO di PROGETTO	
Areazione Vasca A tramite diffusori a bolle fini	
Portata odore (OU _E /s)	Portata odore specifica (OU _E /m ² s)
9965,7	15,3

Tabella 4.3: valutazione del fattore di emissione specifico

4.2 Studio della dispersione in atmosfera e successiva ricaduta al suolo

La valutazione dell'impatto odorigeno, mediante simulazione di dispersione in atmosfera e ricaduta al suolo, è stata effettuata tramite l'implementazione del sistema di modelli CALPUFF MODEL SYSTEM1 [Rif. 4].

Il sistema di modelli è composto da tre componenti:

1. Il preprocessore meteorologico CALMET: utile per la ricostruzione del campo tridimensionale di vento e temperatura all'interno del dominio di calcolo;
2. 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;
3. Il postprocessore CALPOST: ha lo scopo di processare i dati di output di CALPUFF, in modo da renderli nel formato più adatto alle esigenze dell'utente.

4.2.1 *Configurazione del codice CALMET*

Per l'applicazione del codice di calcolo CALPUFF MODEL SYSTEM sono stati predisposti i necessari files di ingresso come di seguito riportato (Tabella 4.4).

Input	Simulazioni –Dominio Meteorologico
Periodo	anno solare 15 marzo 2015 al 15 marzo 2016
Dominio di calcolo Meteorologico	griglia di calcolo di 24 celle per 24 celle di passo 0.5 km per una estensione del dominio di 6 km in direzione N-S x 6 km in direzione E-W.
Meteorologia	<p>File SURFACE.DAT: come dati di superficie sono stati inseriti i dati meteo alla quota di 25 m s.l.s. registrati dal modello LAMMA-COMMA MED; nel file SEA.DAT sono stati inseriti i dati misurati dalla stazione MAREOGRAFICA di LIVORNO alla quota di 2 m s.l.m. comprendenti la temperatura dell'aria e la differenza tra temperatura dell'aria e dell'acqua come richiesto da CALMET.</p> <p>File UPAIR.DAT: come dati in quota sono stati inseriti i dati meteorologici da 40 m s.l.s. per il primo livello e per i livelli successivi pari a 18 totali (fino a 2800 m.s.l.s.) disponibili in un punto interno al dominio di calcolo acquisito da dati meteo LAMA-SMR ARPA - EMR.</p>
Simulazioni	
Meteorologia	Sono state effettuate simulazioni "short term" per la valutazione del campo di vento e determinazione dei parametri micrometeorologici su scala temporale oraria per il periodo di riferimento.
Output	
	Sono stati elaborati i dati meteorologici nel dominio di calcolo per evidenziare le peculiarità in termini di regime dei venti, classi di stabilità atmosferica e altezza dello strato di mescolamento per le successive applicazioni modellistiche di dispersione.

Tabella 4.4: Configurazione CALPUFF

È stato ricostruito il campo di vento 3D con CALMET per un anno solare dal 15 marzo 2015 al 15 marzo 2016 e nella seguente figura si mostra l'estrazione della rosa dei venti in corrispondenza della raffineria di Livorno. In Allegato 1 si riporta il dettaglio dell'analisi meteorologica e della configurazione del codice.

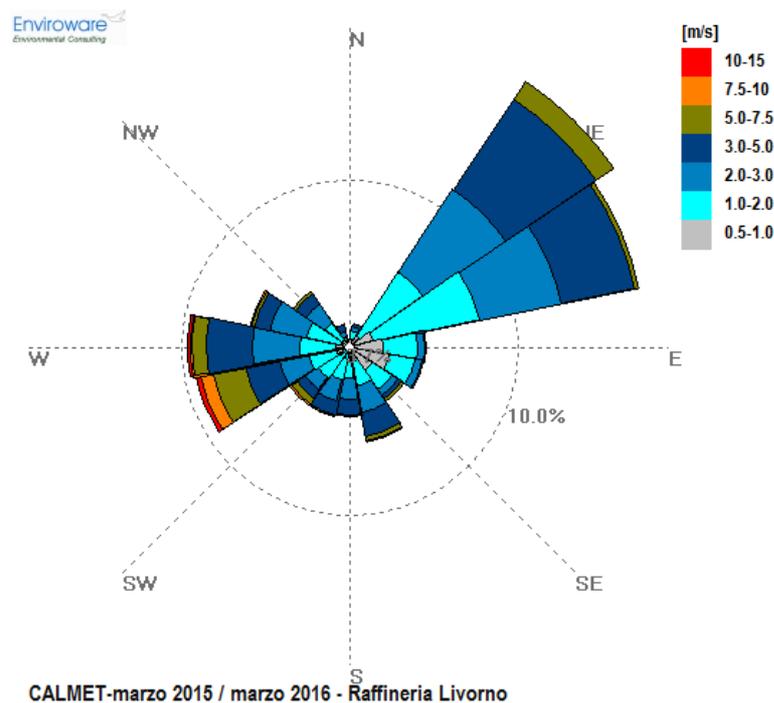


Figura 4.2: rosa dei venti del primo livello verticale dei dati calcolati con CALMET in corrispondenza della Raffineria di Livorno.

4.2.2 Configurazione del codice CALPUFF

Il fattore di emissione da inserire in CALPUFF per effettuare un calcolo diffusivo di sostanze odorigene è rappresentato dalla quantità di Unità Odorimetriche emesse dalla sorgente per unità di tempo (UO_E/s).

L'output ottenuto utilizzando CALPUFF è una concentrazione di odore (espressa in UO_E/m^3) valutata all'altezza del potenziale recettore: 2.0 m dal livello del suolo.

L'uso dell'Unità Odorimetrica permette di fatto di svincolare lo studio della diffusione odorigena dalla conoscenza dettagliata delle sostanze che compongono la miscela odorosa, che viene considerata, dal punto di vista dello studio diffusivo, alla stregua di un normale inquinante aeriforme non reattivo (l'inquinante "odore") caratterizzabile in input al modello emissivo da un fattore di emissione (UO_E/s) ed in output al modello da una distribuzione spaziale di concentrazione (UO_E/m^3) direttamente rapportabile alla sua soglia di odore.

Gli output dei modelli diffusivi sono rappresentati da valori medi orari di concentrazione di inquinante, ma la percezione dell'odore da parte del naso umano avviene attraverso un processo di rilevazione praticamente istantaneo (sono richieste in media due inalazioni per un totale di pochi secondi per riconoscere l'odore). Per poter valutare quantitativamente in modo corretto, in termini regolatori, le concentrazioni di odore in output ad un modello diffusivo occorre quindi modificare opportunamente i valori di concentrazione orari ottenuti in

output al modello diffusivo per poterli ridurre a periodi di media inferiore all'ora (es: 3 min., 10 min, etc.) prima di poter eseguire in modo realistico i confronti con le opportune soglie odorimetriche.

Per eseguire tale riduzione da valore orario a valore di picco, in letteratura si trovano i seguenti valori di correzione "peak to mean" (Hino 1968) (Tabella 4.5).

Tempo di media	Coefficiente "peak to mean"
30 minuti	1.3
10 minuti	2.3
3 minuti	4.0
1 minuto	4.0 - 7.0
30 secondi	4.0 - 10.0

Tabella 4.5: Valori di correzione "Peak to Mean" presenti in letteratura

La dispersione delle emissioni odorigene con CALPUFF è stata simulata sulla base delle seguenti assunzioni.

Parametro	Descrizione
Periodo	anno solare 15 marzo 2015 – 15 marzo 2016
Griglia di calcolo	L'analisi è stata condotta utilizzando una griglia di calcolo di 60 celle per 60 celle di passo 100 metri ed un numero di recettori puntuali pari a 30 selezionati sul dominio di calcolo.
Meteorologia	I dati del campo di vento 3D calcolato da CALMET secondo quanto riportato nello specifico allegato sono stati utilizzati per le simulazioni su base oraria.

Simulazioni

Dispersione

Sono state effettuate simulazioni "short term" per la valutazione della dispersione degli odori emessi su scala oraria per il periodo di riferimento (15 marzo 2015 – 15 marzo 2016).

Le simulazioni sono state svolte implementando una sorgente areale e flusso odore calcolati nello specifico per la vasca MS-3. I valori del parametro SIGMA Z iniziale sono stati posti pari a 0 come indicato nelle indicazioni al riguardo formulate nel manuale d'uso del codice ISC (par. 3.3.2.2 e 3.3.2.3).

La geometria della vasca per la caratterizzazione della sorgente areale è stata desunta dagli elaborati tecnici di impianto e consiste in una area pari a 650 m2 con quota sul livello del suolo pari a 3,4 metri.

Parametro	Descrizione
	Le simulazioni hanno considerato lo scenario emissivo costituito dalle emissioni descritte in precedenza considerate operanti a tempo pieno (24 ore al giorno) su base annuale (8760 ore).
Output	Sono stati elaborati i dati di concentrazioni di odorigeni calcolati da CALPUFF sia nei "recettori discreti", ovvero in corrispondenza di punti selezionati come " <i>sensibili</i> " per valutare il rispetto dei limiti di legge, che come "recettori grigliati" per ottenere le mappe di isonconcentrazione sul dominio di indagine.

Tabella 4.6: configurazione CALPUFF



5 Definizione termine sorgente vasca di trattamento biologico

Le emissioni odorigene dalla vasca MS-3A sono state valutate per le due diverse configurazioni: quella attuale a tre aeratori superficiali e quella futura a diffusori a disco a bolle fini.

5.1 Configurazione a tre aeratori superficiali

La portata di odore è stata stimata a partire dalla velocità del vento e dalle concentrazioni di odore (OU_E/m^3) misurate in occasione del monitoraggio tenutosi in data 17 febbraio 2016 alla presenza dell'Ente di Controllo.

La portata di odore calcolata (Paragrafo 4.1.1) è risultata pari a circa 46 ($UO_E/m^2 \cdot s$) per la configurazione dello stato attuale. Tale portata è stata successivamente utilizzata per definire il termine sorgente per la dispersione in atmosfera di sostanze odorigene per la vasca di trattamento biologico nella configurazione con aeratori superficiali.

5.2 Configurazione a diffusori a disco a bolle fini

Nella configurazione a diffusori a disco a bolle fini la portata emissiva è stata stimata riportandola ad 1/3 di quella calcolata per la configurazione attuale, identificato da dati di letteratura [Rif. 3], dovuto all'eliminazione del fenomeno di aerosol conseguente all'eliminazione degli aeratori superficiali. Pertanto la portata successivamente utilizzata per definire il termine sorgente per la dispersione in atmosfera di sostanze odorigene per la vasca di trattamento biologico nella configurazione futura è risultata pari a 15,3 ($UO_E/m^2 \cdot s$).

6 Dispersione atmosferica

Le portate di odore in uscita dalla vasca di trattamento biologico sopra calcolate, per entrambe le configurazioni studiate, sono state utilizzate come fattore di emissione da inserire in CALPUFF per effettuare un calcolo diffusivo di sostanze odorigene.

L'output ottenuto utilizzando CALPUFF è una concentrazione di odore (espressa in OU_E/m^3) monitorata all'altezza del potenziale recettore: 2.00 m dal livello del suolo.

Si vuole sottolineare che il presente studio non ha lo scopo di confrontare la concentrazione di odore ottenuta con i valori soglia proposti dalle Linee Guida contenute nel D.g.r. della Regione Lombardia [Rif. 2], quanto di confrontare l'estensione dell'impatto odorigeno per le due configurazioni analizzate: aeratori superficiali e diffusori a disco a bolle fini.

Per apprezzare l'abbattimento di emissione odorigena ottenuto sostituendo gli aeratori superficiali con diffusori a disco a bolle fini, si riportano nel seguito (Figura 6.1, Figura 6.2, Figura 6.3, Figura 6.4) le mappe di concentrazione della ricaduta di odore.

Il confronto tra i risultati ottenuti dalla dispersione di sostanze odorigene nelle due configurazioni studiate evidenzia che l'implementazione della soluzione in progetto determinerà un netto miglioramento delle emissioni e quindi dei conseguenti potenziali impatti di molestia olfattiva.

Nel caso degli aeratori superficiali la concentrazione di odore massima raggiunta è pari a $38,3 OU_E/m^3$, mentre nel caso di diffusori a bolle fini la concentrazione di odore massima raggiunta è pari a $12,8 OU_E/m^3$. Tali valori sono raggiunti in prossimità della vasca.

L'abbattimento ottenuto sia in termini di picco di concentrazione che in termini di distanza raggiunta è essenzialmente attribuibile all'eliminazione del fenomeno dell'aerosol.

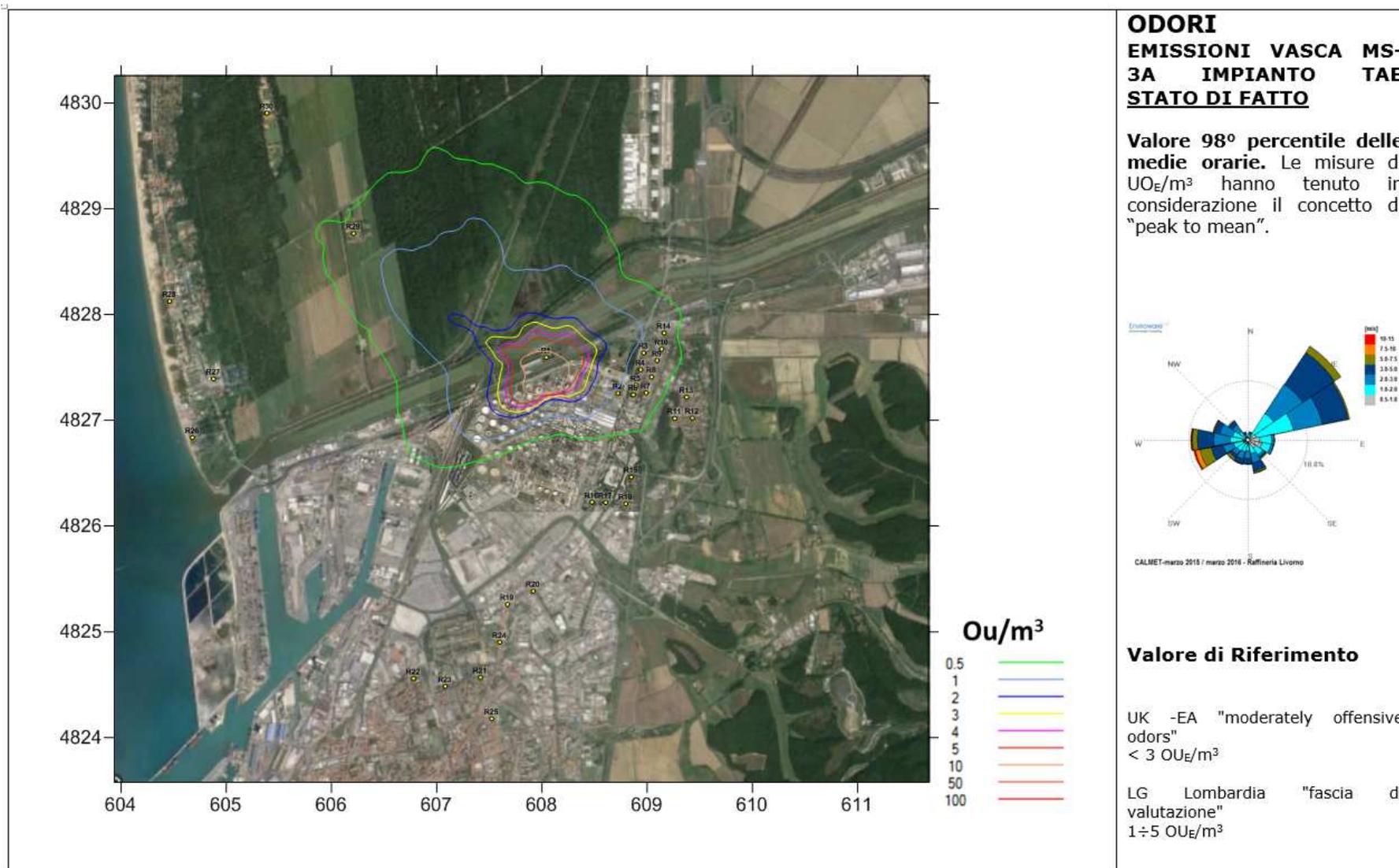


Figura 6.1: mappa di isoconcentrazione di odore – stato attuale con tre aeratori superficiali

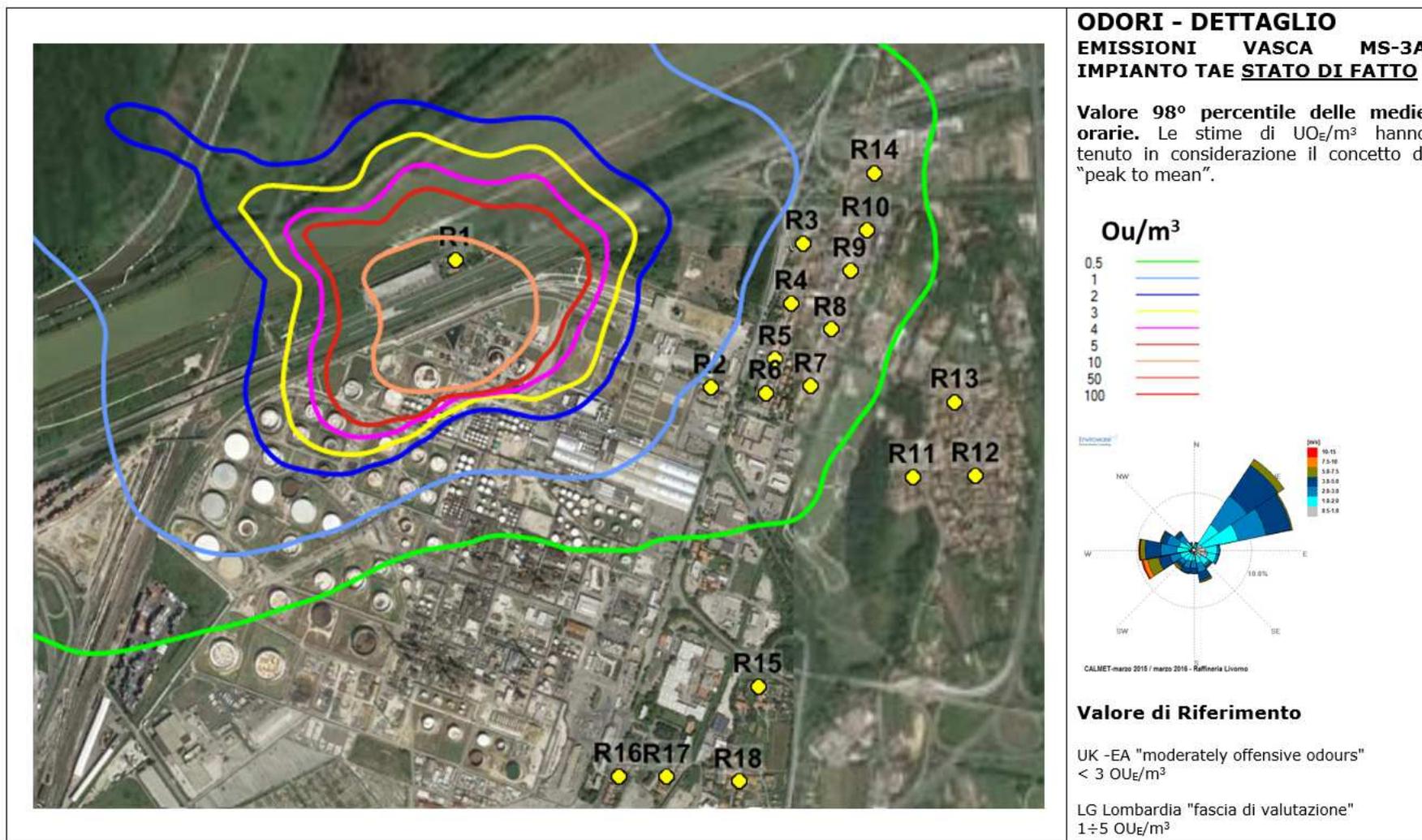


Figura 6.2: dettaglio presso area TAE mappa di isoconcentrazione di odore – stato attuale con tre aeratori superficiali

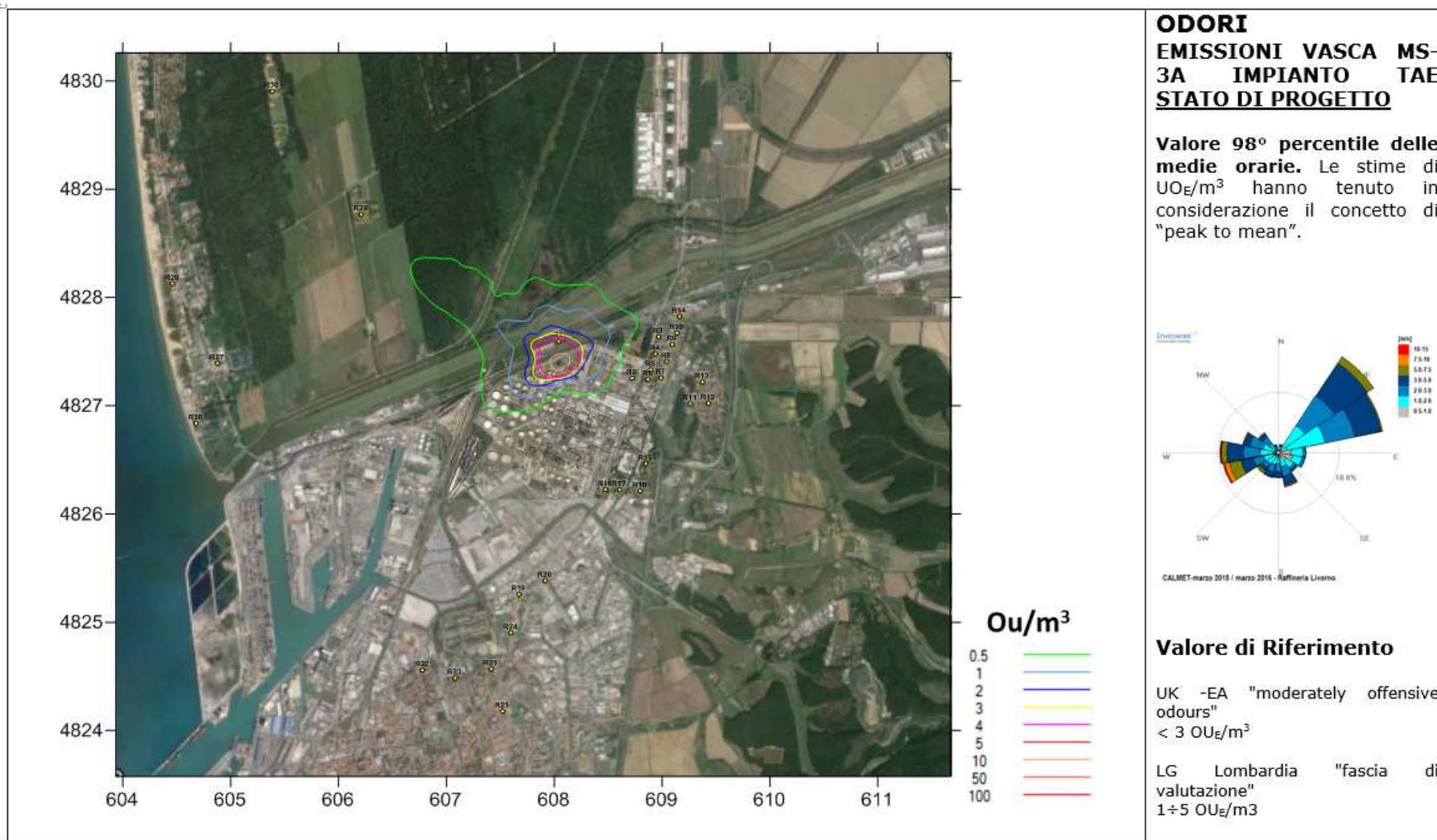


Figura 6.3: mappa di isoconcentrazione di odore – stato con diffusori a bolle fini

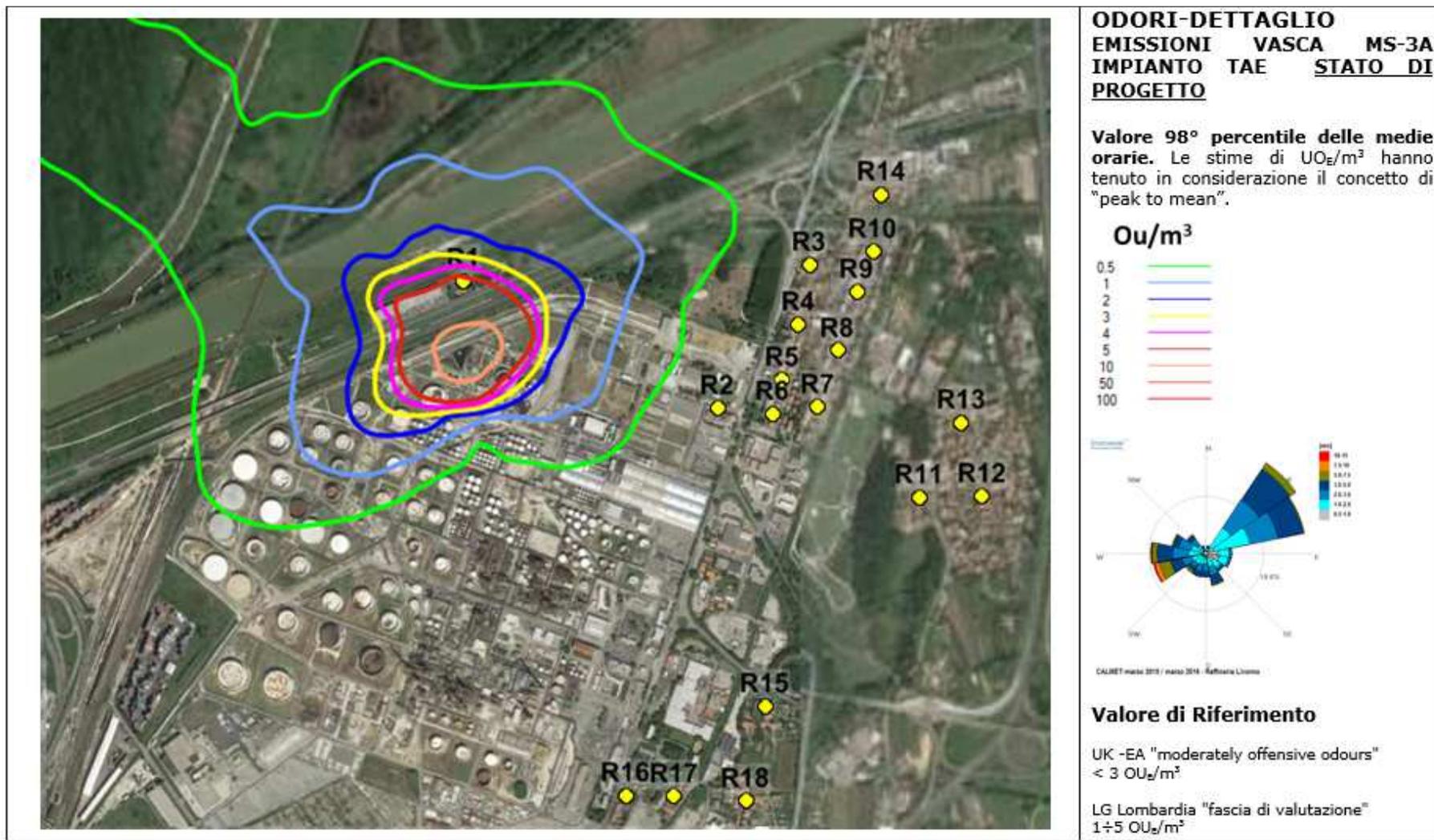


Figura 6.4: dettaglio presso area TAE mappa di isoconcentrazione di odore – stato con diffusori a bolle fini



Allegato 1

Configurazione del codice di calcolo CALMET-CALPUFF e analisi meteorologica



ENI S.p.A.

Raffineria di Livorno (LI)

Configurazione del codice di calcolo CALMET-CALPUFF e analisi meteorologica

Data: giugno 2016

File rif.: Allegato 1



INDICE

1. CONFIGURAZIONE DEL CODICE DI CALCOLO CALMET-CALPUFF	2
1.1. CALPUFF MODEL SYSTEM.....	2
1.2. CALMET.....	3
1.3. Applicazione del codice CALMET	3
1.4. Dominio di Calcolo per la Dispersione.....	7
2. METEOROLOGIA E CLIMATOLOGIA	9
2.1. caratterizzazione stazioni metereologiche.....	10
2.1.1. <i>Dati meteorologici - Stazione meteorologica LAMMA COMMA MED.....</i>	<i>10</i>
2.1.2. <i>Dati meteorologici - Stazione meteorologica SMN di Livorno</i>	<i>11</i>
2.1.3. <i>Dati meteorologici - Stazione meteorologica di Livorno.....</i>	<i>12</i>
2.2. Caratterizzazione meteo climatica	14
2.2.1. <i>Caratterizzazione meteo climatica.....</i>	<i>14</i>

1. CONFIGURAZIONE DEL CODICE DI CALCOLO CALMET-CALPUFF

Nel presente capitolo si mostra la configurazione del codice di calcolo CALMET-CALPUFF utilizzata per la valutazione della dispersione delle emissioni di odore presso la Raffineria ENI di Livorno.

1.1. CALPUFF MODEL SYSTEM

Il sistema di modelli CALPUFF MODEL SYSTEM¹, 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).

Il sistema di modelli è composto da tre componenti:

- Il preprocessore 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 postprocessore CALPOST: ha lo scopo di processare i dati di output di CALPUFF, in modo da renderli nel formato più adatto alle esigenze dell'utente.

CALMET è un preprocessore meteorologico di tipo diagnostico, in grado di riprodurre campi tridimensionali di vento e temperatura e campi bidimensionali di parametri descrittivi della turbolenza. È adatto a simulare il campo di vento su domini caratterizzati da orografia complessa. Il campo di vento viene ricostruito attraverso stadi successivi, in particolare un campo di vento iniziale viene rielaborato per tenere conto degli effetti orografici, tramite interpolazione dei dati 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 modello micrometeorologico per la determinazione della struttura termica e meccanica (turbolenza) degli strati inferiori dell'atmosfera.

CALPUFF è un modello di dispersione 'a puff' multi-strato non stazionario. È in grado di simulare il trasporto, la dispersione, la trasformazione e la deposizione degli inquinanti, in condizioni meteorologiche variabili spazialmente e temporalmente. CALPUFF è in grado di utilizzare 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), shear verticale del vento, deposizione secca ed umida, trasporto

¹ **CALPUFF Regulatory Updates and Consequence Analysis**

The current regulatory version of the CALPUFF Modeling System includes:

CALPUFF version 5.8, level 070623

CALMET version 5.8, level 070623

CALPOST version 5.6394, level 070622

For every update of the "EPA-approved" version of the CALPUFF Modeling System, a consequence analysis is performed by EPA using an update protocol that identifies what model changes have been made and their implications based on the analysis results. This analysis compares the base CALPUFF Modeling System (i.e., current regulatory version) with the beta (i.e., proposed updated version).

su superfici d'acqua e presenza di zone costiere, presenza di orografia complessa, ecc. CALPUFF è infine in grado di trattare diverse tipologie di sorgente emissiva, in base essenzialmente alle caratteristiche geometriche: sorgente puntiforme, lineare, areale, volumetrica.

CALPOST consente di elaborare i dati di output forniti da CALPUFF, in modo da ottenere i risultati in un formato adatto alle esigenze dell'utente. Tramite Calpost si possono ottenere dei file di output direttamente interfacciabili con software grafici per l'ottenimento di mappe di concentrazione.

1.2. CALMET

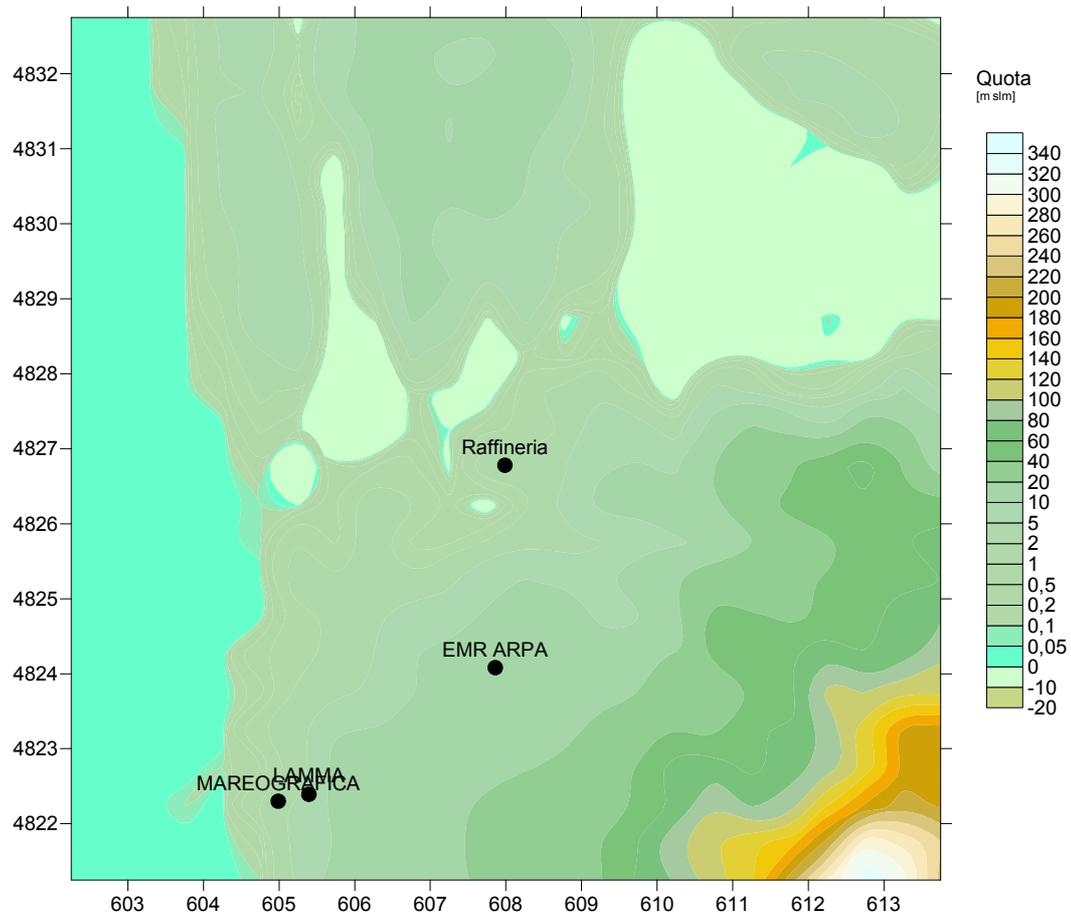
Per l'applicazione del codice di calcolo CALPUFF MODEL SYSTEM sono stati predisposti i necessari files di ingresso, per le simulazioni del periodo solare dell'anno dal 15 marzo 2015 al 15 marzo 2016, configurazione del codice, realizzati come di seguito riportato.

Input	Simulazioni –Dominio Meteorologico
Periodo	anno solare 15 marzo 2015 al 10 marzo 2016
Dominio di calcolo Meteorologico	griglia di calcolo di di 24 celle per 24 celle di passo 0.5 km per una estensione del dominio di 6 km in direzione N-S x 6 km in direzione E-W.
Meteorologia	File SURFACE.DAT: come dati di superficie sono stati inseriti i dati meteo alla quota di 25 m s.l.s. registrati dal modello LAMMA-COMMA MED, nel file SEA.DAT sono stati inseriti i dati misurati dalla stazione MAREOGRAFICA di LIVORNO alla quota di 2 m s.l.m. comprendenti la temperatura dell'aria e la differenza tra temperatura dell'aria e dell'acqua come richiesto da CALMET. File UPAIR.DAT: come dati in quota sono stati inseriti i dati meteorologici da 40 m s.l.s. per il primo livello e per i livelli successivi pari a 18 totali (fino a 2800 m.s.l.s.) disponibili in un punto punti interno al dominio di calcolo acquisito da dati meteo LAMA-SMR ARPA - EMR.
Simulazioni	
Meteorologia	Sono state effettuate simulazioni "short term" per la valutazione del campo di vento e determinazione dei parametri micrometeorologici su scala temporale oraria per il periodo di riferimento.
Output	
	Sono stati elaborati i dati meteorologici il domini di calcolo per evidenziale le peculiarità in termini di regime dei venti, classi di stabilità atmosferica e altezza dello strato di mescolamento per le successive applicazioni modellistiche di dispersione.

Tabella 7.a Configurazione CALMET

1.3. APPLICAZIONE DEL CODICE CALMET

Il codice meteorologico così come configurato è stato applicato al dominio i calcolo meteorologico sul dominio di seguito rappresentato.



Si è proceduto quindi all'estrazione dei dati meteorologici tramite il post-processore PRTMET di CALPUFF in corrispondenza della Raffineria di Livorno estraendo i seguenti parametri che sono di seguito elaborati e rappresentati.

PRTMET nel punto grigli 12, 12 corrispondente alla Raffineria di Livorno

WS	Velocità del vento [m/s]
WD	Direzione del Vento [°N]
T	Temperatura dell'aria [°K]
PG	Classi di stabilità
Mix.Hgt	Altezza dello strato di mescolamento

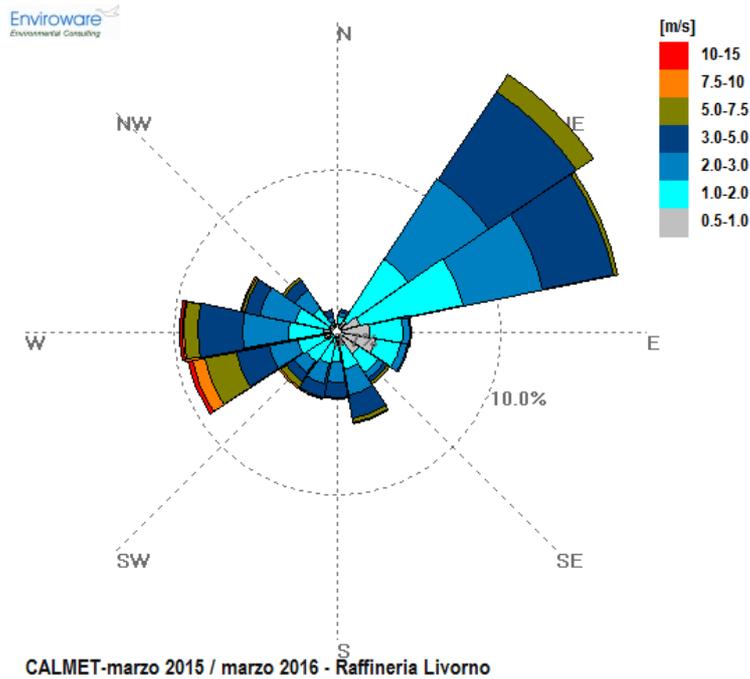


Figura 1- Rosa dei venti del primo livello verticale dei dati calcolati con CALMET in corrispondenza della Raffineria di Livorno.

Classe	CALMET punto 12,12 del dominio in corrispondenza della RAFFINERIA	
	Occorrenza oraria	percentuale
A	160	2%
B	825	9%
C	1508	17%
D	2756	31%
E	1277	15%
F+G	2280	26%

Tabella 1 - Frequenza di accadimento delle classi di stabilità (CALMET-RAFFINERIA), parametro 2D.

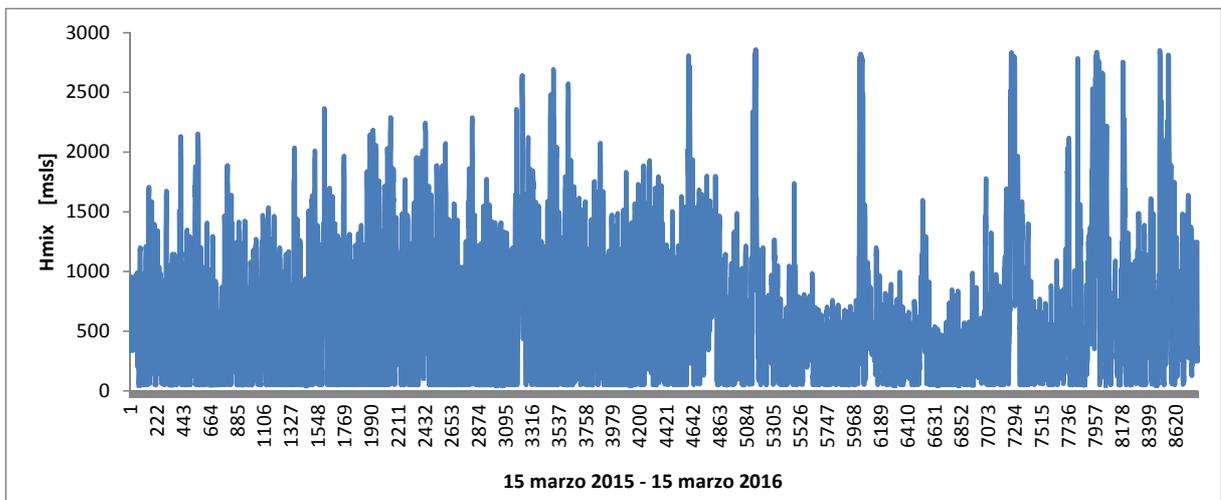
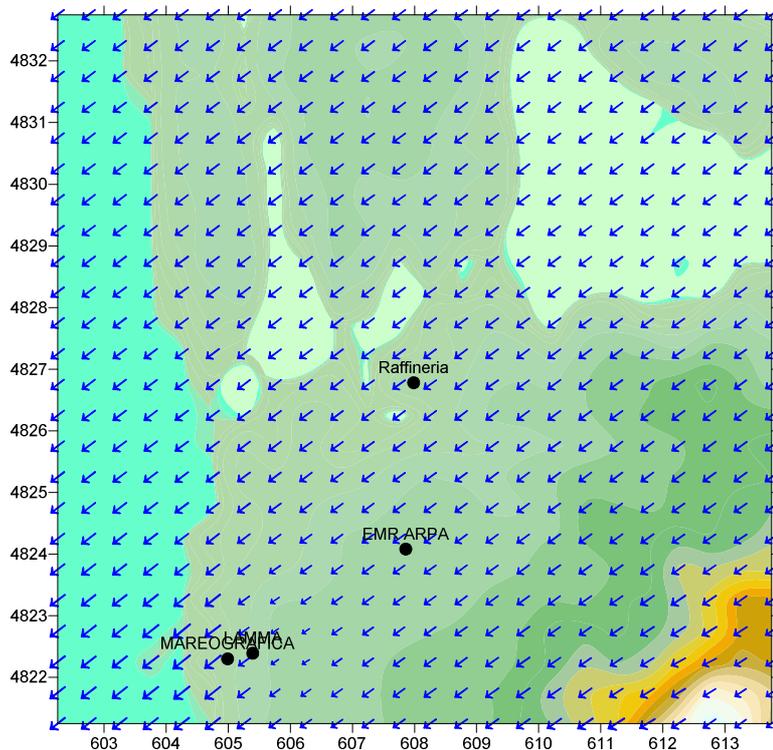
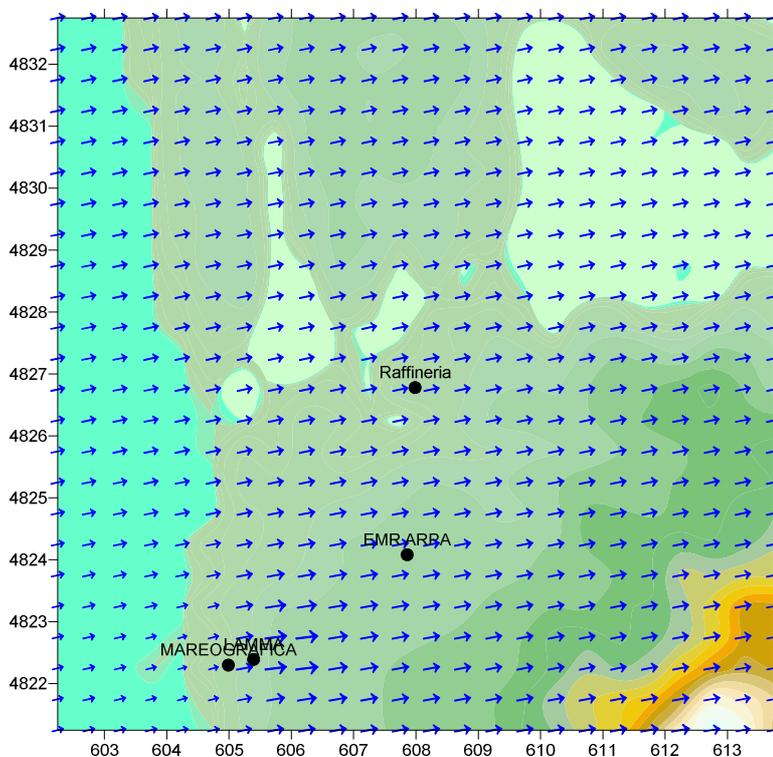


Figura 2 - Serie temporale del parametro Mix.Hgt calcolata in corrispondenza della Raffineria dal modello CALMET applicato nello studio.

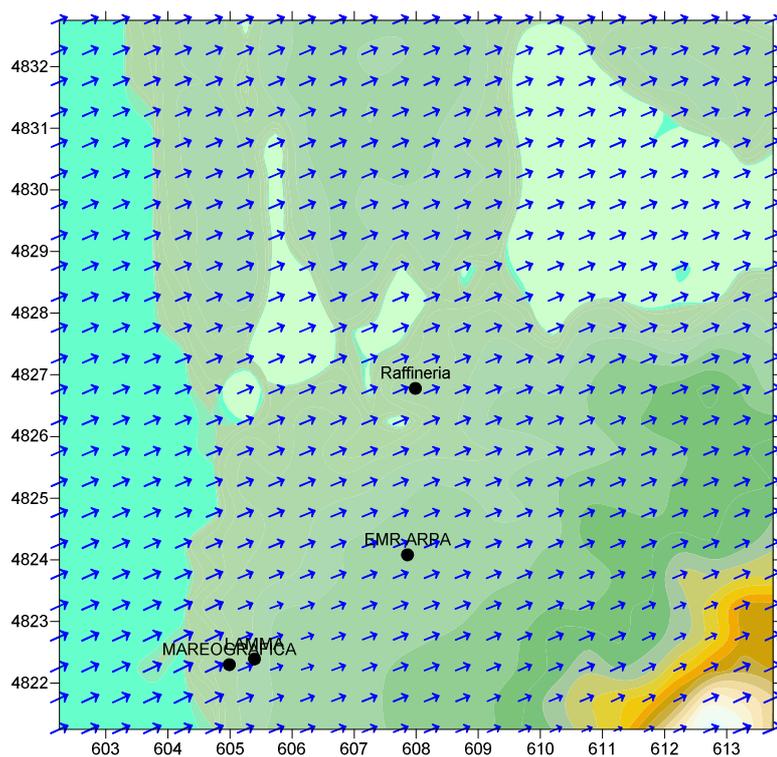
Nelle seguenti figure si rappresentano i campi di vento per il primo livello a 10 metri sul livello del suolo per alcune ore prese a campione.



16 marzo 2015 ore 21



agosto 2015 ore 18



17 agosto ore 4.00

1.4. DOMINIO DI CALCOLO PER LA DISPERSIONE

La griglia di calcolo è stata definita con una risoluzione per il calcolo delle concentrazioni delle sostanze ed impostata su una maglia regolare di dimensioni pari a 60 celle (NX) per 60 celle (NY) di passo 100 m. In ognuno dei punti individuati il codice di calcolo determina la concentrazione oraria delle ricadute al suolo degli inquinanti che poi possono essere rappresentate in forma di mappe di isoconcentrazione.



Figura 3 - Individuazione del dominio di calcolo per la dispersione pari a 6 km x 6 km (blu) interno al dominio meteorologico (giallo) di estensione pari a 12 km x 12 km.

2. METEOROLOGIA E CLIMATOLOGIA

Nel presente capitolo, relativo alla caratterizzazione meteorologica dell'area oggetto di studio, si rappresentano le statistiche descrittive dei principali parametri misurati dalle stazioni meteorologiche o da dati di archivi informatici di modelli previsionali meteorologici utili per la caratterizzazione del sito.

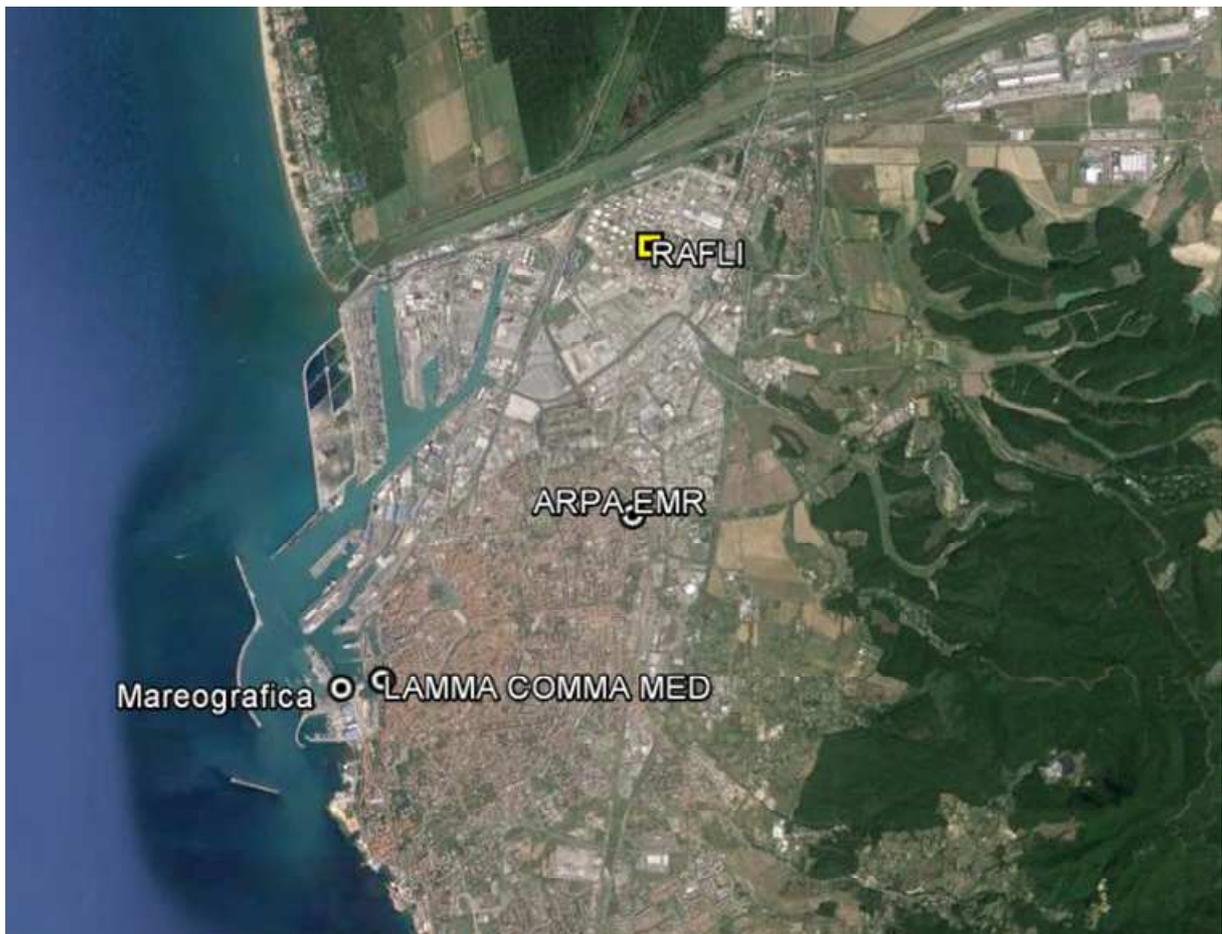


Figura 4 - Localizzazione dello stabilimento della Raffineria di Livorno e delle stazioni meteorologiche utilizzate per la caratterizzazione meteorologica dell'area.

In particolare sono state utilizzate, per la caratterizzazione meteorologica dell'area, le seguenti centraline:

- Stazione meteorologica con palo a 25 metri sul livello del suolo di LAMMA COMMA MED
- Stazione mareografica della rete nazionale di Livorno
- Stazione virtuale del modello COSMO di ARPA EMR per i profili in quota

2.1. CARATTERIZZAZIONE STAZIONI METEOROLOGICHE

Di seguito si riportano le specifiche relative alle tre diverse stazioni meteorologiche utilizzate per la caratterizzazione dell'area di analisi.

2.1.1. Dati meteorologici - Stazione meteorologica LAMMA COMMA MED

Sono stati acquisiti i dati rilevati dalla stazione meteorologica di Livorno gestita dal Consorzio LAMMA per l'anno solare da marzo 2015 a marzo 2016. I dati sono da ritenersi rappresentativi dell'area di indagine e permettono di utilizzare dati di monitoraggio meteorologico al suolo che forniscono indicazioni su microscala necessaria allo studio in questione. Le caratteristiche della stazione sono riportate nella tabella sottostante.

Stazione meteorologica di Livorno			
Indirizzo Stazione: Istituto Tecnico Nautico "Alfredo Cappellini", Piazza Giovine Italia, 1 - 57126 Livorno			
Info Stazione Meteorologica			
Lon. E (Greenwich)	10.3046		
Lat. N	43.5471		
Terrazzo palazzo (m)	25		
Quota suolo s.l.m.(m)	5		
Quota stazione s.l.m.(m)	30		
Data installazione	01/10/2003		
Data riconfigurazione	08/03/2013		
Modalità trasmissione dati	Acquisizione diretta dei segnali tramite moduli ADAM e software LaMMA		
Posizione Sensori			
Sensore	Altezza Sensore		
	Terrazzo (m) 25	Suolo (m) 5	Quota (s.l.m.) 30
Termometro	2.0	27.0	32.0
Pluviometro	0.2	25.2	30.2
Anemometro (DV)	3.5	28.5	33.5
Bandaruola (VV)	3.5	28.5	33.5
Igrometro	2.0	27.0	32.0
Barometro	1.5	26.5	31.5
Radiometro	2.0	27.0	32.0
Radiometro UV-B	0.6	25.5	30.5
Caratteristiche Sensori			
Sensore	Marca Sensore	Tipologia Strumento	
Termometro	CPE (IST)	PT100	
Pluviometro	DeltaT devices	Pluviometro a doppia vaschetta oscillante	
Anemometro (DV)	WindSonic - Gill Instruments	Anemometro sonico bidirezionale	
Bandaruola (VV)	WindSonic - Gill Instruments	Anemometro sonico bidirezionale	
Igrometro	CPE (Humirel)	Sensore capacitivo	
Barometro	CPE		
Radiometro	CPE	Solarimetro a fotocella	
Radiometro UV-B	Solarlight	Fotocella	

Tabella 2 - Specifiche stazione [fornite dal Consorzio LaMMA]



Figura 5 -Localizzazione delle stazione meteorologica LAMMA COMMA MED di Livorno

2.1.2. Dati meteorologici - Stazione meteorologica SMN di Livorno

Sono stati acquisiti i dati rilevati dalla stazione meteorologica di Livorno gestita dal Servizio Mareografico Nazionale (SMN) per l'anno solare da marzo 2015 a marzo 2016. I dati, sono da ritenersi rappresentativi dell'area di indagine e permettono di utilizzare dati di monitoraggio meteorologico al suolo che forniscono indicazioni su microscala necessaria allo studio in questione. Le caratteristiche della stazione sono riportate nella tabella sottostante.

Stazione meteorologica di Livorno	
Indirizzo Stazione: Via del Molo Mediceo - 57126 Livorno	
Info Stazione Meteorologica	
Lon. E (Greenwich)	10° 17' 57.62"
Lat. N	43° 32' 46.63"
Quota stazione s.l.m.(m)	1.6926
Modalità trasmissione dati	Sistema locale di gestione e memorizzazione dei dati. Apparato di trasmissione (UMTS) in tempo reale alla sede centrale del SMN a Roma
Posizione Sensori	
Sensore	Altezza Sensore: Suolo (m)
Trasduttore di velocità vento	1.6926
Caratteristiche Sensori	
Sensore	Tipologia Strumento
Trasduttore di temperatura aria e RH%	T026 TTEPRH
Trasduttore di livello radar	TLR
Trasduttore di temperatura acqua	T020 TTA
Sensore barometrico	SIAP + MICROS PA9880
Trasduttore di direzione vento	T007 TDV
Trasduttore di velocità vento	T006 TVV

Tabella 3 - Specifiche stazione [fornite dal Servizio Mareografico Nazionale]



Figura 6 -Localizzazione delle stazione meteorologica SMN di Livorno.

2.1.3. Dati meteorologici - Stazione meteorologica di Livorno

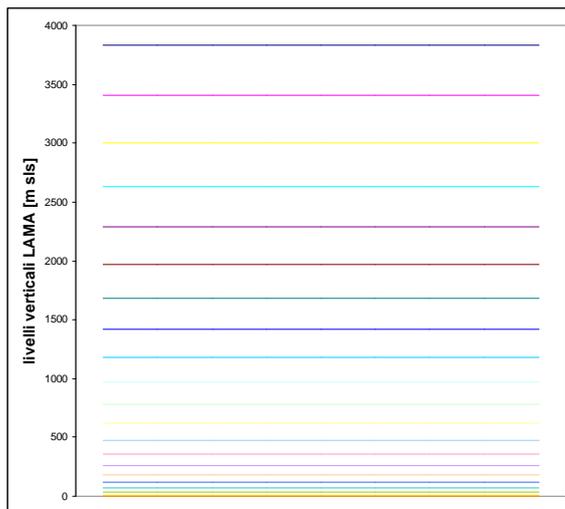
Sono stati acquisiti i dati calcolati dal modello CALMET-LAMA, a cura del Servizio Idrometeorologico di Arpa Emilia Romagna in corrispondenza dell'area di studio.

I dati sono stati ottenuti dall'archivio CALMET - LAMA di ARPA SMR per il periodo 15 marzo 2015-15 marzo 2016 estratti in un punto compreso nel dominio di indagine, localizzabile come mostrato nelle figure seguente.

Di seguito si riporta la localizzazione, l'anagrafica e l'elenco di tutti i dei paramenti forniti dall'Arpa Emilia Romagna, estratti dal dataset LAMA ed il grafico dei livelli verticali disponibili.

Stazione meteorologica di Livorno	
Info Stazione Meteorologica	
Lon. E (Greenwich)	10.3355
Lat. N	43.5619
Quota stazione s.l.m.(m)	34
Posizione Sensori	
Sensore	Altezza Sensore (m.s.l.m)
Anemometro (DV)	10, ... , 3500

Tabella 4 - Specifiche delle stazioni meteorologiche virtuali APRA EMR



Parametri (alcuni) registrati dal modello LAMA in 3D e 2D

- Pressione: pr [Pa]
- Temperatura: Temp [°K]
- Direzione vento: Dir-wind [Gradi]
- Modulo vento: Mod-wind [m/s]
- Classe di stabilità: Stab.cl 1-6
- Friction velocity: Ustar [m/s]
- Altezza di rimescolamento: Mixing-H [m]
- Lungh. di Monin-Obukov: Monin-Ob [m]
- Convective velocity scale: Wstar [m/s]
- Radiazione visibile netta: SW_Budg [W/m²]
- Radiazione infrarossa netta: LW_Budg [W/m²]
- Flusso di calore latente: LHF [W/m²]
- Flusso di calore sensibile: SHF [W/m²]
- Copertura nuvolosa: Cl.fract [0-1]

Figura 7 -Livelli verticali e paramentri del dataset LAMA



Figura 8 -Localizzazione delle stazione virtuale meteorologica ARPA Emilia-Romagna per Livorno.

2.2. CARATTERIZZAZIONE METEOCLIMATICA

2.2.1. Caratterizzazione meteo climatica

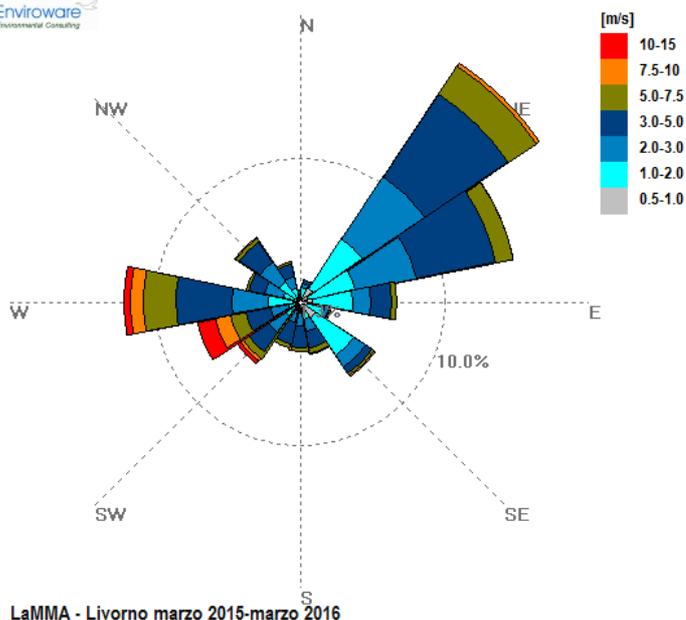
La caratterizzazione meteo climatica dell'area di studio è stata eseguita elaborando i dati delle stazioni metereologiche identificate nel precedente paragrafo. Il numero di dati forniti dalle stazioni dipende dalla frequenza di campionamento degli strumenti. Nella seguente tabella si riporta una sintesi dei dati elaborati nel presente studio.

Stazione	Parametro	Frequenza di campionamento
LAMMA COMMA MED	Pressione	15 minuti
	Temperatura	15 minuti
	Umidità	15 minuti
	Velocità del vento	15 minuti
	Direzione del vento	15 minuti
SMN	Pressione	1 ora
	Temperatura	1 ora
	Umidità	1 ora
	Velocità del vento	10 minuti
	Direzione del vento	10 minuti
ARPA EMR	Pressione	1 ora
	Temperatura	1 ora
	Umidità	1 ora
	Velocità del vento	1 ora
	Direzione del vento	1 ora

Tabella 5 - Frequenze di campionamento delle stazioni metereologiche individuate per lo studio

2.2.1.1. Regime anemologico

Il regime dei venti dell'area di studio è stato caratterizzato utilizzando i dati meteorologici dell'anno solare da marzo 2015 a marzo 2016 registrati nei dataset a disposizione, come citato in precedenza. Di seguito si riportano tabelle e figure che descrivono, su base annuale, il regime dei venti dell'area in esame.

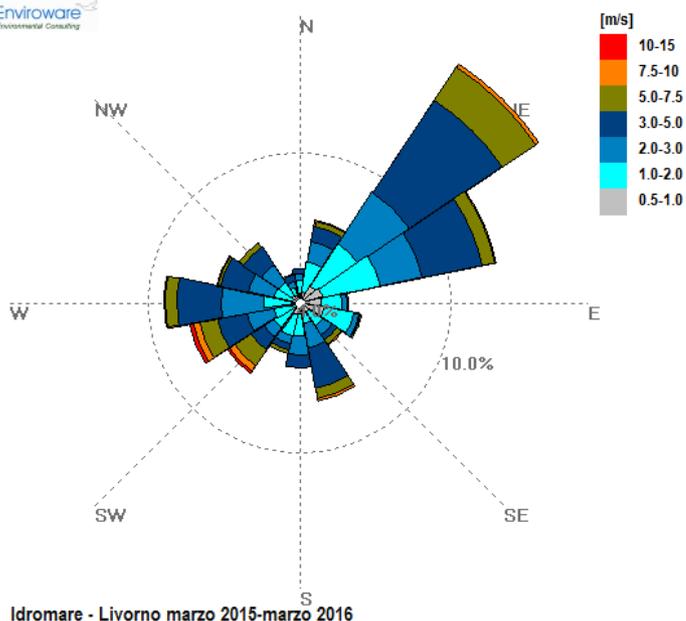


Percentuale di calme di vento

Calme definite per velocità del vento $\leq 0,5$ m/s

Numero di periodi di calma: 455 (1,31% dei dati validi)

Figura 9 -Rosa dei venti per l'anno marzo 2015 - marzo 2016 e dati statistici rilevati dalla stazione meteorologica LAMMA COMMA MED di Livorno (quota 30 m slm)

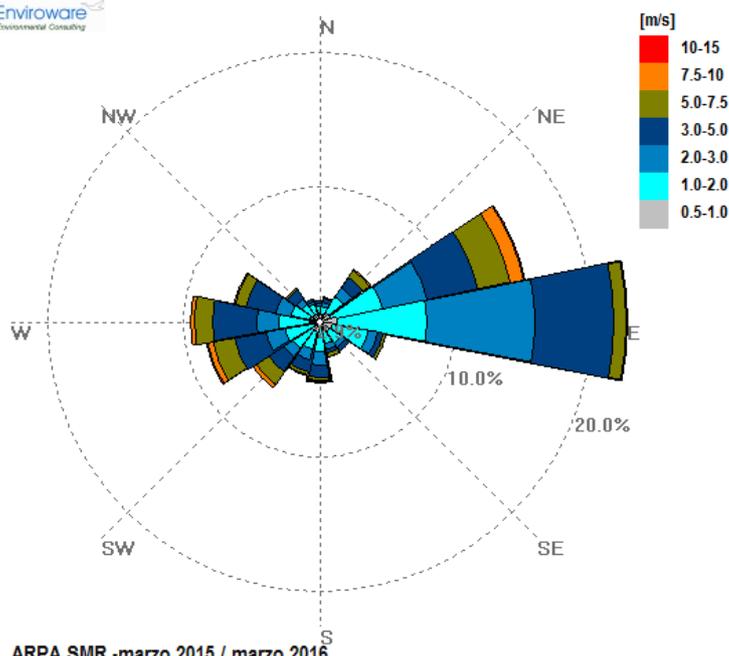


Percentuale di calme di vento

Calme definite per velocità del vento $\leq 0,5$ m/s

Numero di periodi di calma: 1966 (3,98% dei dati validi)

Figura 10 -Rosa dei venti per l'anno marzo 2015 - marzo 2016 e dati statistici rilevati dalla stazione meteorologica SMN di Livorno (quota 1.7 m slm)



Percentuale di calme di vento

Calme definite per velocità del vento $\leq 0,5$ m/s

Numero di ore di calma: 259 (2,94% dei dati validi)

ARPA SMR - marzo 2015 / marzo 2016

Figura 11 - Rosa dei venti del primo livello verticale per l'anno marzo 2015 - marzo 2016 dei dati ARPA EMR per Livorno.

Intervallo	Da [m/s]	Fino a [m/s]	Numero di dati	Percentuale % su 8784 ore
calma	0	0,5	455	1,31
1	0,5	1	2209	6,37
2	1	2	8217	23,68
3	2	3	8321	23,98
4	3	5	10380	29,91
5	5	7,5	3278	9,45
6	7,5	10	982	2,83
7	10	15	720	2,08

Tabella 6 -.Frequenza di accadimento delle classi di velocità del vento, stazione LAMMA COMMA MED di Livorno (quota 30 m slm)

Intervallo	Da [m/s]	Fino a [m/s]	Numero di dati	Percentuale %
calma	0	0,5	1966	3.98
1	0,5	1	4789	9.70
2	1	2	12607	25.54
3	2	3	11022	22.33
4	3	5	13402	27.15
5	5	7,5	4554	9.23
6	7,5	10	766	1.55
7	10	15	255	0.52

Tabella 7 - Frequenza di accadimento delle classi di velocità del vento, stazione SMN di Livorno (quota 1.7 m slm)

Intervallo	Da [m/s]	Fino a [m/s]	Numero di dati	Percentuale %
calma	0	0,5	259	2,94
1	0,5	1	801	9,094
2	1	2	2610	29,632
3	2	3	1915	21,742
4	3	5	2111	23,967
5	5	7,5	878	9,968
6	7,5	10	210	2,384
7	10	15	24	0,272

Tabella 8 - Frequenza di accadimento delle classi di velocità del vento, stazione ARPA Emilia-Romagna di Livorno (quota 10 m sls)

Il sito in esame è caratterizzato da venti prevalenti di modesta intensità che registrano come direzione primaria quella dal settore NE con frequenza di circa il 20% sul totale annuale. Le altre direzioni di provenienza del vento che concorrono agli accadimenti con contributi simili sono NEE per valori pari a circa il 15%. Le calme di vento, venti con velocità inferiore a 0,5 m/s, si registrano per circa il 1% - 4% dei dati annuali. L'intensità dei venti maggiore si registra in direzione SOO. In media la velocità annua si attesta attorno ai 3,3 m/s (stazione meteorologica ARPAT di Livorno). Le velocità con frequenza maggiore sono le tre classi di velocità comprese nell'intervallo di 1,5-2,5 m/s, 2,5-3,5 m/s e 3,5-4,5 m/s che costituiscono rispettivamente circa il 25%, il 23% ed il 16% delle ore annue (stazione meteorologica ARPAT di Livorno).

Settori	Dir [°N]	# Data	% Data	Velocità [m/s]
1	N	265	0,76	1,811
2	NNE	522	1,50	2,029
3	NE	6876	19,82	3,194
4	NEE	5179	14,93	3,087
5	E	2286	6,59	2,380
6	EES	714	2,06	1,691
7	ES	2115	6,10	1,893
8	ESS	1268	3,65	3,172
9	S	1168	3,37	3,273
10	SSO	1110	3,20	3,350
11	SO	1787	5,15	3,788
12	SOO	2487	7,17	5,971
13	O	4172	12,02	4,273
14	OON	1304	3,76	2,812
15	ON	1869	5,39	2,936
16	ONN	985	2,84	2,849
calme	-	455	1,31	<1

Tabella 9 -.Frequenza di accadimento delle direzioni e media della velocità del vento stazione LAMMA COMMA MED di Livorno (quota 25 m sls)

Mesi Mar 2015 – Mar 2016	Conteggio	Max [m/s]	Media [m/s]	Min [m/s]
Jan	2618	21,6	4,3	0,2

Mesi Mar 2015 – Mar 2016	Conteggio	Max [m/s]	Media [m/s]	Min [m/s]
Feb	2784	22,4	4,7	0,1
Mar	3071	17,8	4,1	0,2
Apr	2880	10,6	3,0	0,1
May	2976	12,7	2,6	0,2
Jun	2880	7,5	2,6	0,2
Jul	2976	12,4	2,9	0,2
Aug	2976	11,3	2,7	0,1
Sep	2707	15,3	3,8	0,3
Oct	2975	17,9	3,7	0,2
Nov	2880	17,6	3,1	0,2
Dec	2976	9,1	2,7	0,1
Totale	34699	22,4	3,3	0,1

Tabella 10 – velocità del vento- LAMMA COMMA MED

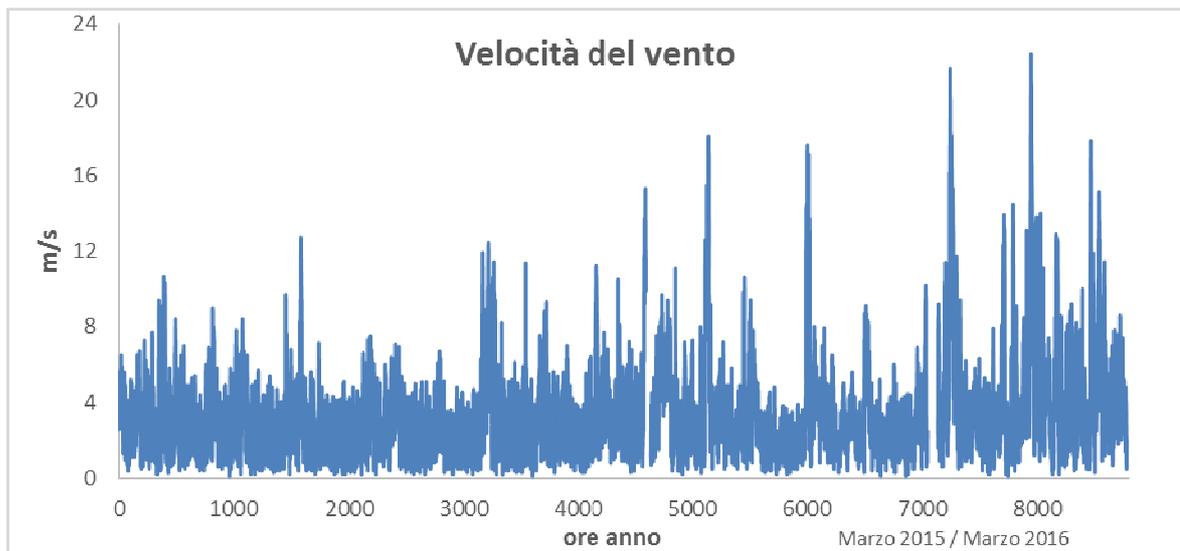


Figura 12 -Serie temporale media oraria velocità del vento a 25 m sls, scala temporale da marzo 2015 a marzo 2016. Stazione Meteo LAMMA COMMA MED di Livorno.

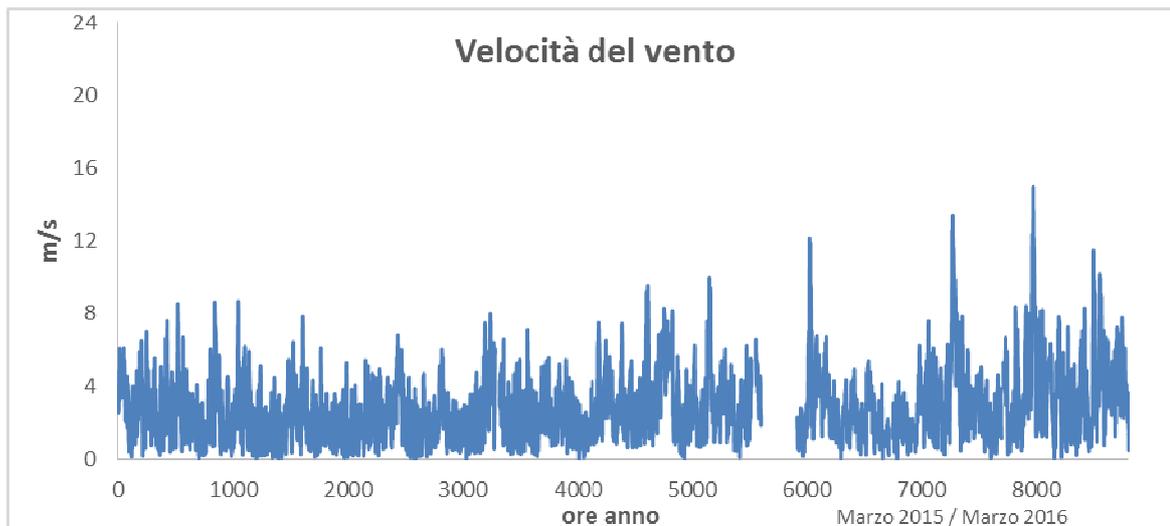


Figura 13 - Serie temporale media oraria velocità del vento a 1.7 m sls, scala temporale da marzo 2015 a marzo 2016. Stazione Meteo SMN di Livorno.

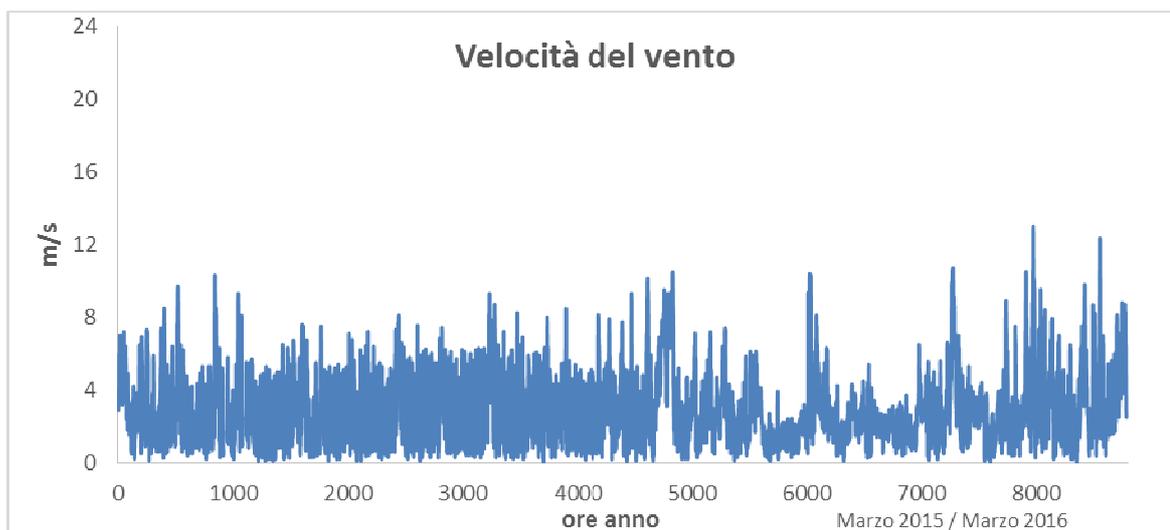


Figura 14 - Serie temporale media oraria velocità del vento a 10 m sls, scala temporale da marzo 2015 a marzo 2016. Stazione Meteo ARPA Emilia-Romagna di Livorno.

2.2.1.2. Parametri meteorologici

Nelle tabelle seguenti sono descritte le medie annuali e le medie mensili per tutti i parametri meteorologici valutati. Si riporta, per ognuno dei parametri, temperatura dell'aria, umidità relativa, pressione atmosferica sia tabelle con il calcolo dei parametri statistici comprendenti il numero di dati validi, il valor medio, il valor massimo e quello minimo che i grafici con la serie temporale oraria. Le tabelle sono riportano i dati registrati dalla stazione metereologica LAMMA COMMA MED.

Mesi	Conteggio	Max [°C]	Media [°C]	Min [°C]
Mar 2015 - Mar 2016				
Jan	2618	16,9	10,6	1,2

Mesi Mar 2015 – Mar 2016	Conteggio	Max [°C]	Media [°C]	Min [°C]
Feb	2784	16,8	11,9	5,8
Mar	3071	18,8	12,1	5,3
Apr	2880	20,7	14,3	5,7
May	2976	27,9	18,7	13,4
Jun	2880	31,1	23,2	17,6
Jul	2976	32,1	27,0	21,7
Aug	2976	35	25,2	18,4
Sep	2707	27,8	22,1	14,9
Oct	2975	24,4	17,3	10,6
Nov	2880	20,4	14,5	4,3
Dec	2976	16,7	12,1	4,7
Totale	34699	35	17,5	1,2

Tabella 11 - TEMPERATURA dell'ARIA - LAMMA COMMA MED

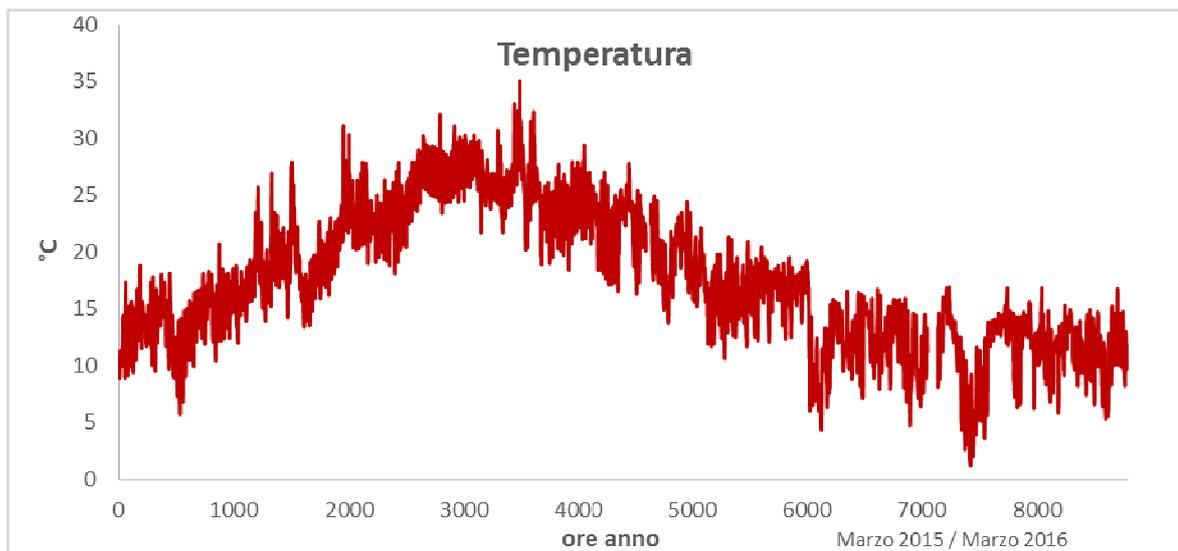


Figura 15 - Serie temporale media oraria temperatura dell'aria a 25 m sls, scala temporale da marzo 2015 a marzo 2016. Stazione Meteo LAMMA COMMA MED di Livorno.

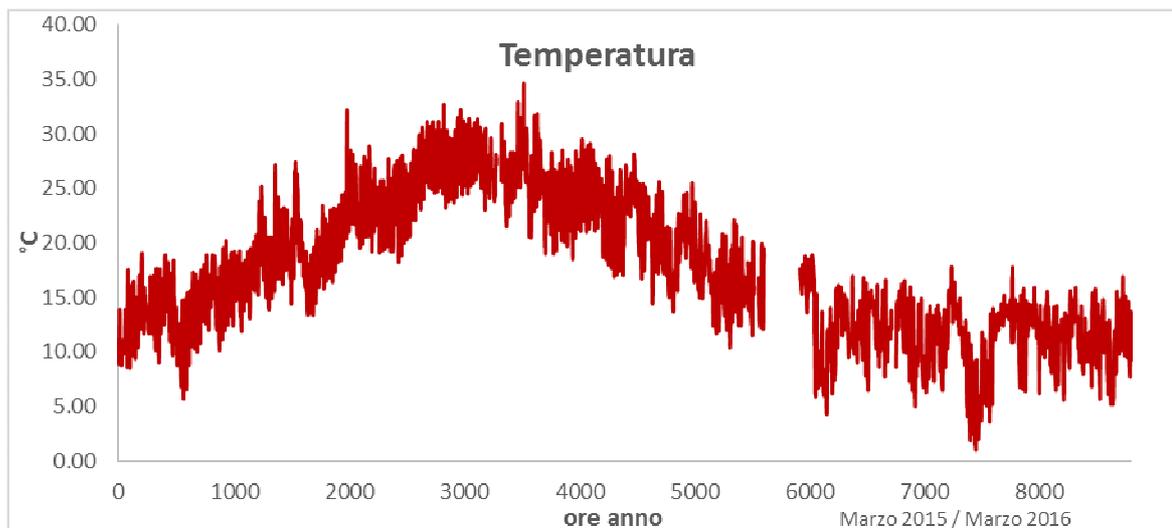


Figura 16 - Serie temporale media oraria temperatura dell'aria a 1.7 m sls, scala temporale da marzo 2015 a marzo 2016. Stazione Meteo SMN di Livorno.

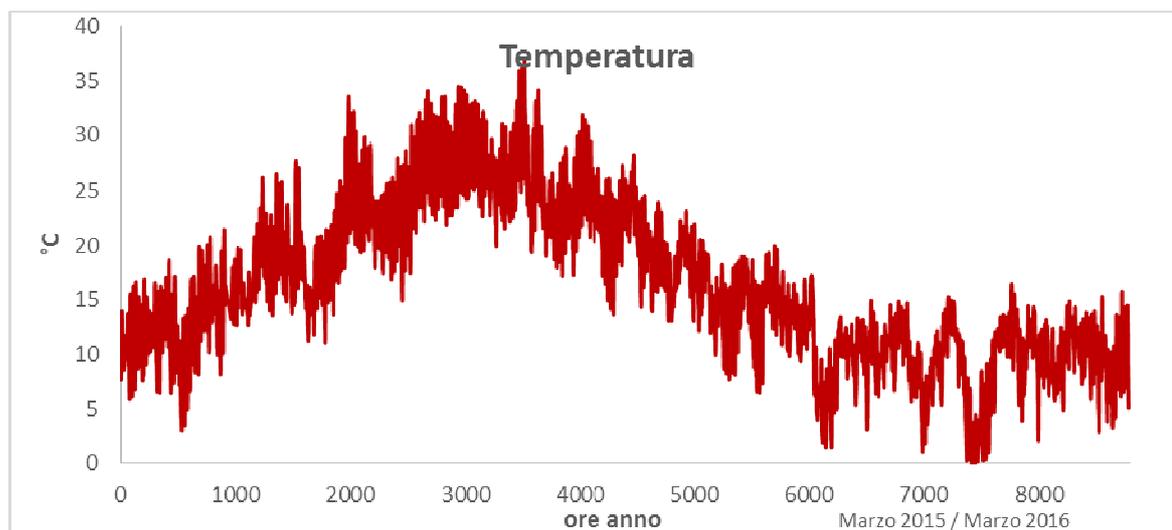


Figura 17 - Serie temporale media oraria temperatura dell'aria a 10 m sls, scala temporale da marzo 2015 a marzo 2016. Stazione Meteo ARPA Emilia-Romagna di Livorno.

Mesi Mar 2015 – Mar 2016	Conteggio	Max [mbar]	Media [mbar]	Min [mbar]
Jan	2618	1031,0	1013,4	992,0
Feb	2784	1025,0	1007,7	984,0
Mar	3071	1019,0	1006,3	988,0
Apr	2880	1025,0	1014,1	997,0
May	2976	1021,0	1010,5	1000,0
Jun	2880	1019,0	1012,4	1005,0
Jul	2976	1020,0	1010,6	1003,0
Aug	2976	1018,0	1010,7	1004,0
Sep	2707	1019,0	1010,8	999,0

Mesi Mar 2015 – Mar 2016	Conteggio	Max [mbar]	Media [mbar]	Min [mbar]
Oct	2975	1023,0	1010,3	999,0
Nov	2880	1027,0	1015,0	981,0
Dec	2976	1032,0	1025,3	1018,0
Totale	34699	1032,0	1012,3	981,0

Tabella 12 – pressione atmosferica - LAMMA COMMA MED

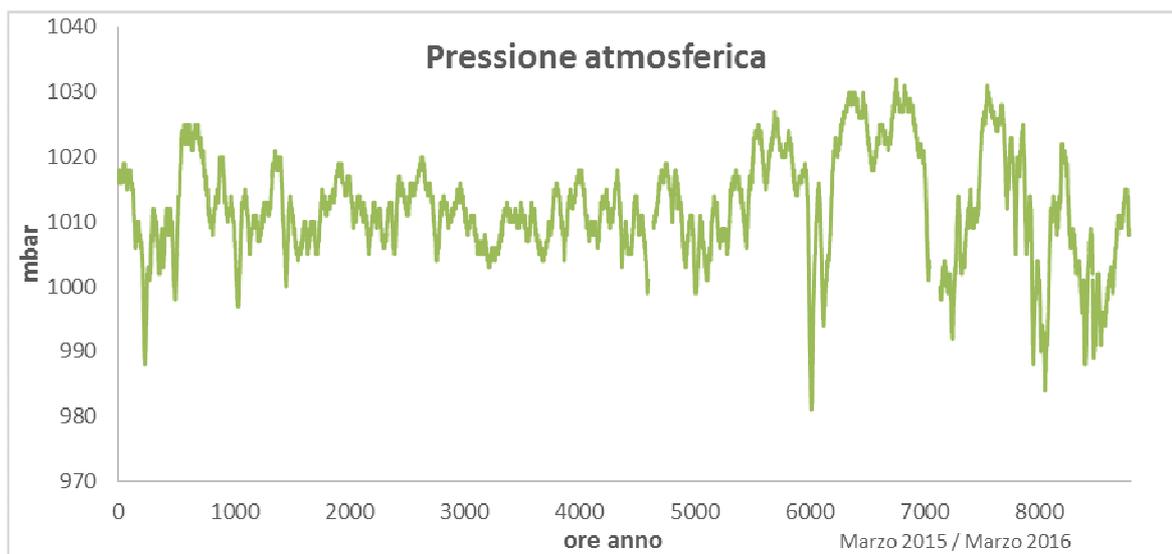


Figura 18 - Serie temporale media oraria pressione atmosferica a 25 m sls, scala temporale da marzo 2015 a marzo 2016. Stazione Meteo LAMMA COMMA MED di Livorno.

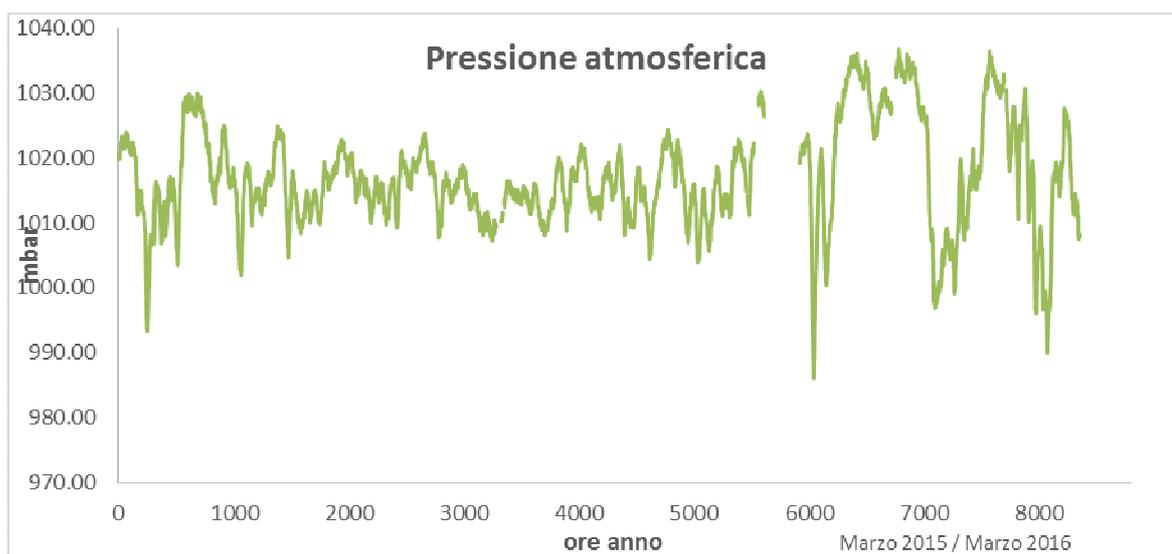


Figura 19 - Serie temporale media oraria pressione atmosferica a 1.7 m sls, scala temporale da marzo 2015 a marzo 2016. Stazione Meteo SMN di Livorno.

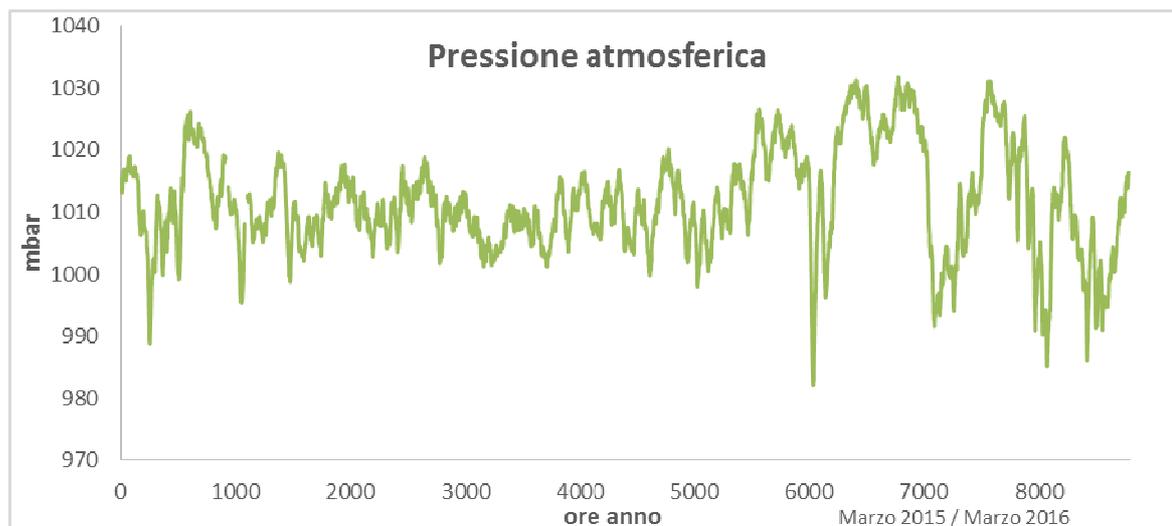


Figura 20 - Serie temporale media oraria pressione atmosferica a 10 m sls, scala temporale da marzo 2015 a marzo 2016. Stazione Meteo ARPA Emilia-Romagna di Livorno.

Mesi Mar 2015 – Mar 2016	Conteggio	Max [%]	Media [%]	Min [%]
Jan	2618	95,0	68,0	16,0
Feb	2784	94,0	75,9	24,0
Mar	3071	96,0	66,5	27,0
Apr	2880	94,0	71,2	18,0
May	2976	94,0	69,8	32,0
Jun	2880	95,0	68,1	26,0
Jul	2976	90,0	70,0	26,0
Aug	2976	94,0	68,4	30,0
Sep	2707	97,0	61,2	21,0
Oct	2975	97,0	70,4	35,0
Nov	2880	99,0	71,5	29,0
Dec	2976	96,0	78,1	44,0
Totale	34699	99,0	70,0	16,0

Tabella 13 – umidità relativa- LAMMA COMMA MED

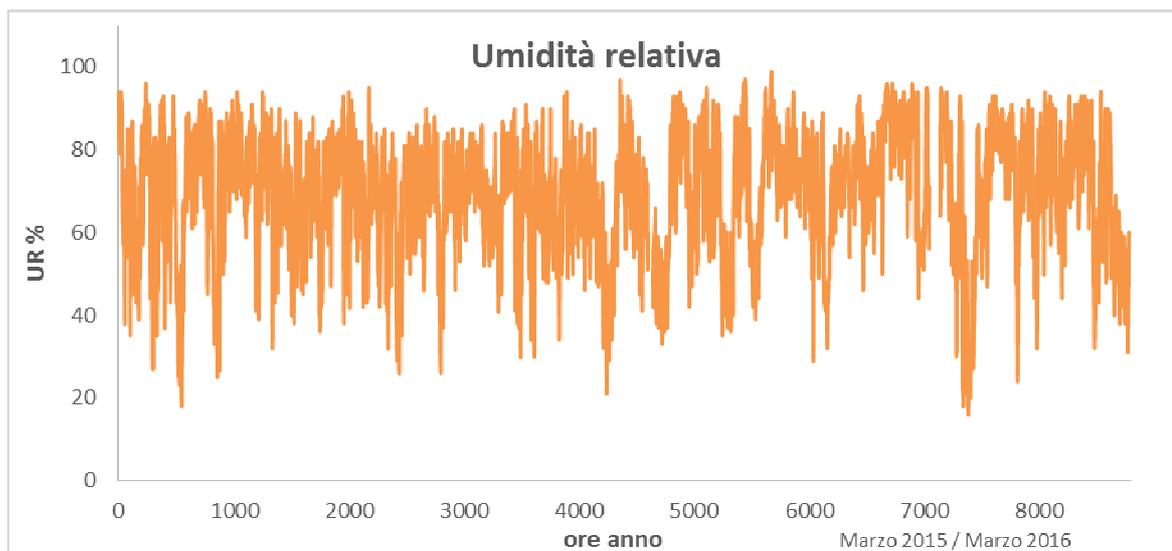


Figura 21 - Serie temporale media oraria umidità relativa a 25 m sls, scala temporale da marzo 2015 a marzo 2016. Stazione Meteo LAMMA COMMA MED di Livorno.

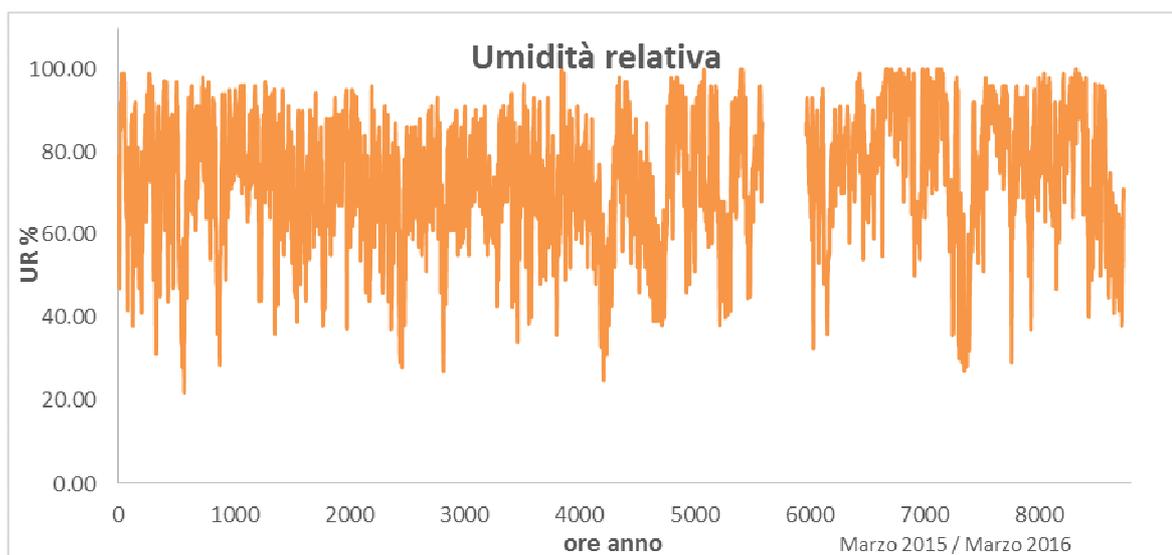


Figura 22 - Serie temporale media oraria umidità relativa a 1.7 m sls, scala temporale da marzo 2015 a marzo 2016. Stazione Meteo SMN di Livorno.

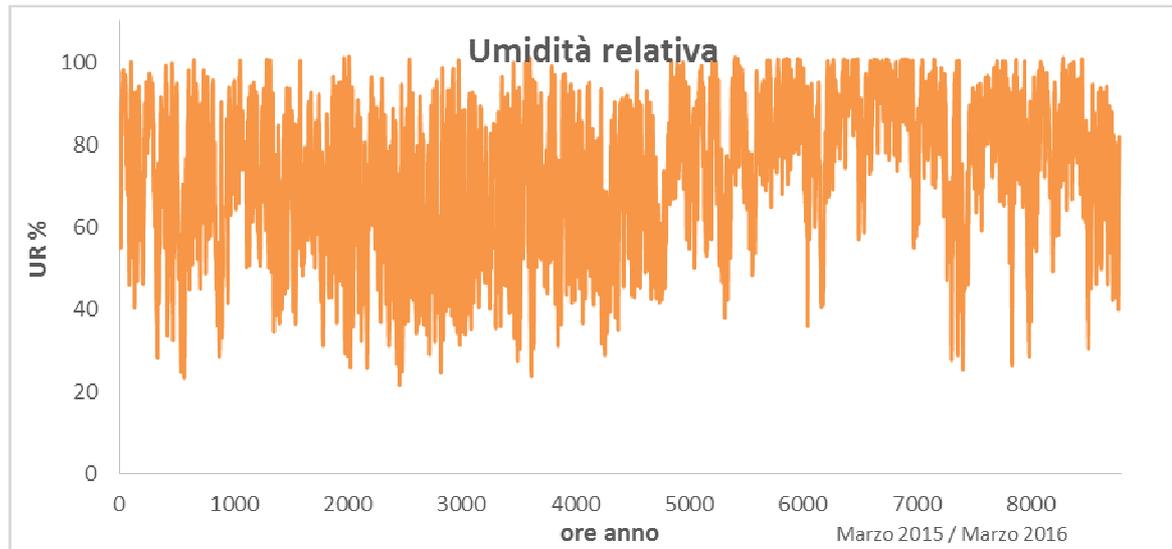


Figura 23 - Serie temporale media oraria umidità relativa a 10 m sls, scala temporale da marzo 2015 a marzo 2016. Stazione Meteo ARPA Emilia-Romagna di Livorno.