

Sito: *Stabilimento di Macchiareddu (Assemini - CA)*

Impianto: *Produzione derivati inorganici del fluoro e acido solforico*

Gestore: *FLUORSID SPA*

Categoria: *IPPC 4.2*


**DOMANDA DI AUTORIZZAZIONE INTEGRATA AMBIENTALE
AI SENSI DEL D.LGS. 152/2006 E S.M.I.**

Scheda D – Allegato D.5/D.5.1

***Relazione tecnica su dati e modelli meteo climatici e
Informazioni di tipo meteoclimatico***

Luglio 2021

Rev.	Data	Descrizione della revisione	Redatto	Verificato	Approvato
E.00	26/07/2021	Domanda di A.I.A.	SARTEC	FLUORSID	FLUORSID

	CLIENTE / CUSTOMER FLUORSID SPA		COMMESSA / JOB 2021351-ING000		UNITÀ / UNIT SERVIZI AMBIENTALI	
	LUOGO / PLANT LOCATION MACCHIAREDDU		SPC No.		AM-RT10019	
	PROGETTO / PROJECT ALLEGATO D.5 E D. 5.1 ALLA DOMANDA DI AIA FLUORSID		Sh. 1 of 57		REV.	
					0	

FLUORSID SpA

DOMANDA DI RIESAME DELL'AUTORIZZAZIONE INTEGRATA AMBIENTALE


ALLEGATI D.5 E D.5.1 ALLA SCHEDA D

Dati Meteoclimatici Utilizzati per l'Identificazione e
Quantificazione degli Effetti in Aria Ambiente

Relazione Tecnica


Sistema SIMA

3					
2					
1					
0	EMESSO / ISSUE	26/07/2021	Veronica Garau (Italfelco)	Barbara Sergi Barbara Sergi	Barbara Sergi Barbara Sergi
REV.	DESCRIPTION: ALLEGATO D.5 E D.5.1 ALLA DOMANDA DI AIA	DATA DATE	REDATTO PREPARED	CONTROLLATO CHECKED	APPROVATO APPROVED

	ALLEGATO D.5 E D.5.1 ALLA DOMANDA DI AIA FLUORSID SpA	COMMESSA / JOB		UNITÀ / UNIT			
		2021351-ING000		SERVIZI AMBIENTALI			
		SPC No.	AM-RT10019				
		Sh 2 of 57	REV.				
			0				


SOMMARIO

1. INTRODUZIONE	5
2. SISTEMA PER LA VALUTAZIONE DELLA RICADUTE	6
3. MODELLO DI SIMULAZIONE	7
3.1. DESCRIZIONE MODELLO	11
3.1.1. PRE-PROCESSORE METEOROLOGICO	12
3.1.2. PRE-PROCESSORE OROGRAFICO	14
3.1.3. DATI DI EMISSIONE E GEOMETRICI DELLE STRUTTURE VERTICALI	16
3.1.4. DEFINIZIONE RICETTORI SENSIBILI	16
ALLEGATO D.5.1 - INFORMAZIONI DI TIPO CLIMATOLOGICO	17
1. FONTE DATI METEOROLOGICI	17
2. RAPPRESENTATIVITA' DELL'ANNO METEOROLOGICO 2020	18
2.1. PARAMETRI MICROMETEOROLOGICI UTILIZZATI NEL MODELLO MATEMATICO	19
3. ANEMOLOGIA ANNO 2020	21
4. STABILITA' ATMOSFERICA	29
4.1. DISTRIBUZIONE ANNUALE E MENSILE DELLE FREQUENZE DELLE CLASSI DI STABILITÀ	30
4.2. DISTRIBUZIONE STAGIONALE DELLE FREQUENZE DELLE CLASSI DI STABILITÀ	32
4.3. DISTRIBUZIONE DELLE FREQUENZE ORARIE DELLE CLASSI DI VELOCITÀ	34
4.4. FREQUENZE DELLE ALTEZZE DI RIMESCOLAMENTO	36
5. TEMPERATURA - UMIDITÀ - PIOVOSITÀ - PRESSIONE	37
APPENDICE 1 - CRITERI ADOTTATI PER LA DETERMINAZIONE DELLE CLASSI DI STABILITÀ ATMOSFERICA E PER LE ALTEZZE DI RIMESCOLAMENTO	41
APPENDICE 2 - STIMA DEI PARAMETRI METEOROLOGICI SITO SPECIFICI	53

	ALLEGATO D.5 E D.5.1 ALLA DOMANDA DI AIA FLUORSID SpA	COMMESSA / JOB		UNITÀ / UNIT			
		2021351-ING000		SERVIZI AMBIENTALI			
		SPC No.	AM-RT10019				
		Sh 3 of 57	REV.				
			0				


INDICE TABELLE

TABELLA 3-1: TABELLA DELLA DISTRIBUZIONE DELLE FREQUENZE ANNUALI DELLE CLASSI DI VELOCITÀ DEL VENTO-2020.	23
TABELLA 3-2: TABELLA DELLE DIREZIONI DEL VENTO RAGGRUPPATE SECONDO LE ORE DEL GIORNO PER LA STAGIONE INVERNO 2020.	25
TABELLA 3-3: TABELLA DELLE DIREZIONI DEL VENTO RAGGRUPPATE SECONDO LE ORE DEL GIORNO PER LA STAGIONE PRIMAVERA 2020.	26
TABELLA 3-4: TABELLA DELLE DIREZIONI DEL VENTO RAGGRUPPATE SECONDO LE ORE DEL GIORNO PER LA STAGIONE ESTATE 2020.	27
TABELLA 3-5: TABELLA DELLE DIREZIONI DEL VENTO RAGGRUPPATE SECONDO LE ORE DEL GIORNO PER LA STAGIONE AUTUNNO 2020.	28
TABELLA 4.1-1: TABELLA DELLA DISTRIBUZIONE DELLE FREQUENZE MENSILI DELLE CLASSI DI STABILITÀ: ANNO 2020.	30
TABELLA 4.2-1: TABELLA DELLA DISTRIBUZIONE DELLE FREQUENZE STAGIONALI DELLE CLASSI DI STABILITÀ: ANNO 2020.	32
TABELLA 4.3-1: TABELLA DELLA DISTRIBUZIONE DELLE FREQUENZE ORARIE DELLE CLASSI DI VELOCITÀ DEL VENTO: ANNO 2020.	34

	ALLEGATO D.5 E D.5.1 ALLA DOMANDA DI AIA FLUORSID SpA	COMMESSA / JOB		UNITÀ / UNIT		
		2021351-ING000		SERVIZI AMBIENTALI		
		SPC No.	AM-RT10019			
		Sh 4 of 57	REV.			
			0			

INDICE FIGURE

FIGURA 2-1: SCHEMA A BLOCCHI DEL METODO DI VALUTAZIONE DELL'IMPATTO DELLE RICADUTE AL SUOLO.	6
FIGURA 3.1.1-1: DIAGRAMMA DI FLUSSO DATI PER REALIZZAZIONE DELLO SCENARIO METEOROLOGICO PER IL MODELLO DI SIMULAZIONE BREEZE AERMOD.	12
FIGURA 3.1.2-1: DIAGRAMMA DI FLUSSO PER LA REALIZZAZIONE DELL'OROGRAFIA PER IL MODELLO DI SIMULAZIONE BREEZE AERMOD.	14
FIGURA 3.1.2-2: RAPPRESENTAZIONE TRIDIMENSIONALE GRID DEL SITO FLUORSID E ZONE LIMITROFE.	14
FIGURA 3.1.2-3: RAPPRESENTAZIONE GRID DI CALCOLO DEL SITO FLUORSID DELLE ZONE LIMITROFE.	15
FIGURA 1-1: UBICAZIONE DELLA STAZIONE CENAS6 MACCHIAREDDU 5°STRADA C3. (ARPAS).	17
FIGURA 3-1: ROSA DEI VENTI ANNO 2020.	22
FIGURA 3-2: ROSA DEI VENTI ANNO 2020, SUDDIVISA PER CLASSE DI VELOCITÀ DEI VENTI.	23
FIGURA 3-3: GRAFICO DELLA DISTRIBUZIONE DELLE FREQUENZE ANNUALI DELLE CLASSI DI VELOCITÀ DEL VENTO – CENAS6 – ANNO 2020.	24
FIGURA 3-4: DISTRIBUZIONE DELLE DIREZIONI DEL VENTO RAGGRUPPATE SECONDO LE ORE DEL GIORNO PER LA STAGIONE INVERNO 2020.	25
FIGURA 3-5: DISTRIBUZIONE DELLE DIREZIONI DEL VENTO RAGGRUPPATE SECONDO LE ORE DEL GIORNO PER LA STAGIONE PRIMAVERA 2020.	26
FIGURA 3-6: DISTRIBUZIONE DELLE DIREZIONI DEL VENTO RAGGRUPPATE SECONDO LE ORE DEL GIORNO PER LA STAGIONE ESTATE 2020.	27
FIGURA 3-7: DISTRIBUZIONE DELLE DIREZIONI DEL VENTO RAGGRUPPATE SECONDO LE ORE DEL GIORNO PER LA STAGIONE AUTUNNO 2020.	28
FIGURA 4.1-1: GRAFICO DELLA DISTRIBUZIONE DELLE FREQUENZE ANNUALI DELLE CLASSI DI STABILITÀ: ANNO 2020.	31
FIGURA 4.1-2: GRAFICO DELLA DISTRIBUZIONE DELLE FREQUENZE MENSILI DELLE CLASSI DI STABILITÀ: ANNO 2020.	31
FIGURA 4.2-1: GRAFICO DELLA DISTRIBUZIONE DELLE FREQUENZE STAGIONALI DELLE CLASSI DI STABILITÀ: ANNO 2020.	33
FIGURA 4.2-2: GRAFICO DETTAGLIO DELLA DISTRIBUZIONE DELLE FREQUENZE STAGIONALI DELLE CLASSI DI STABILITÀ: ANNO 2020.	33
FIGURA 4.3-1: GRAFICO DELLA DISTRIBUZIONE DELLE FREQUENZE ORARIE STAGIONALI DELLE CLASSI DI VELOCITÀ DEL VENTO: ANNO 2020.	35
FIGURA 4.4-1: GRAFICO DELLE FREQUENZE ANNUALI DELLE ALTEZZE DI RIMESCOLAMENTO: ANNO 2020.	36
FIGURA 5-1: GRAFICO DELLE TEMPERATURE MEDIE MENSILI PER L'ANNO 2020.	37
FIGURA 5-2: GRAFICO DELLE UMITÀ RELATIVE MEDIE MENSILI PER L'ANNO 2020.	38
FIGURA 5-3: GRAFICO DELLE PRECIPITAZIONI MENSILI PER L'ANNO 2020.	39
FIGURA 5-4: GRAFICO DELLE PRECIPITAZIONI MENSILI PER L'ANNO 2020.	40

	ALLEGATO D.5 E D.5.1 ALLA DOMANDA DI AIA FLUORSID SpA	COMMESSA / JOB		UNITÀ / UNIT		
		2021351-ING000		SERVIZI AMBIENTALI		
		SPC No.	AM-RT10019			
		Sh 5 of 57	REV.			
			0			

1. INTRODUZIONE

Nella presente relazione si riporta una breve descrizione del modello matematico di simulazione utilizzato per identificare e quantificare gli effetti in aria ambiente delle emissioni dalle sorgenti della Fluorsid SpA. Inoltre, vengono riassunte e schematizzate le principali informazioni di tipo climatologico necessarie per l'applicazione dei modelli di dispersione in atmosfera.

Il modello di simulazione è il modello BREEZE AERMOD v7.10.1.9 – ProPlus.

	ALLEGATO D.5 E D.5.1 ALLA DOMANDA DI AIA FLUORSID SpA	COMMESSA / JOB		UNITÀ / UNIT			
		2021351-ING000		SERVIZI AMBIENTALI			
		SPC No.	AM-RT10019				
		Sh 6 of 57	REV.				
			0				

2. SISTEMA PER LA VALUTAZIONE DELLA RICADUTE

Il metodo integrato di valutazione delle ricadute al suolo della Fluorsid, utilizzato per lo studio delle caratteristiche della dispersione delle emissioni dallo stabilimento sulla zona limitrofa è articolato in 3 fasi:

1. FASE 1: Modello concettuale
2. FASE 2: Definizione meteorologica del sito
3. FASE 3: Esecuzione del modello

come illustrato nella figura 2-1 mediante uno schema a blocchi.

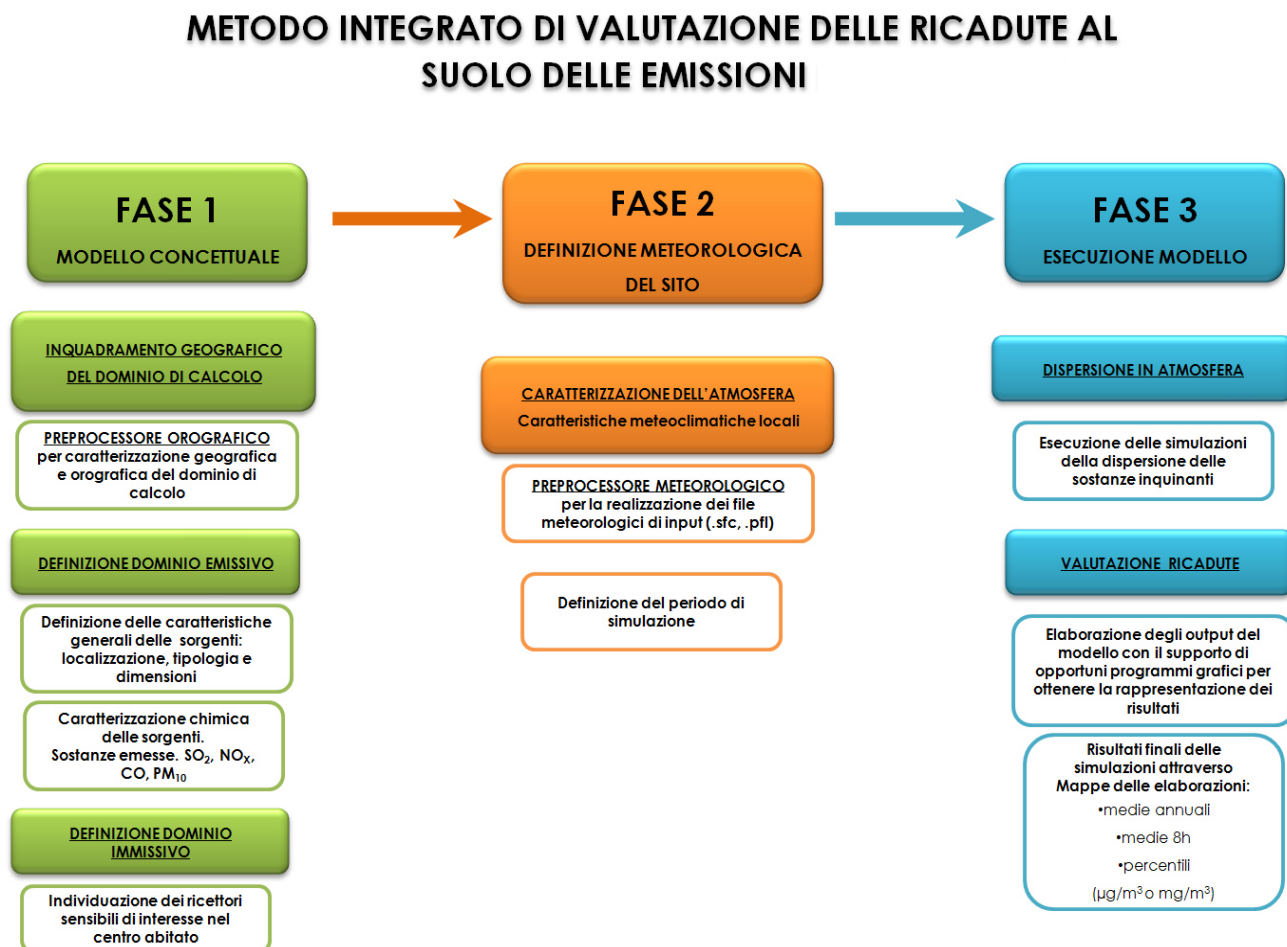




Figura 2-1: Schema a blocchi del metodo di valutazione dell'impatto delle ricadute al suolo.

	ALLEGATO D.5 E D.5.1 ALLA DOMANDA DI AIA FLUORSID SpA	COMMESSA / JOB		UNITÀ / UNIT		
		2021351-ING000		SERVIZI AMBIENTALI		
		SPC No.	AM-RT10019			
		Sh 7 of 57	REV.			
			0			

3. MODELLO DI SIMULAZIONE

Il modello di simulazione utilizzato è BREEZE AERMOD v 7.10.1.9 – Pro Plus Version. Il codice AERMOD è stato sviluppato in ambito EPA dall'American Meteorological Society (AMS)/Environmental Protection Agency (EPA) Regulatory Model Improvement Committee (AERMIC) come evoluzione del modello gaussiano ISC3. Attualmente figura tra i codici più noti ed utilizzati a livello nazionale e internazionale. Tale modello è stato recentemente riconosciuto come "regulatory" nei protocolli EPA per la modellazione della dispersione atmosferica degli inquinanti aeriformi.

AERMOD (US EPA, User Guide for the AMS/EPA regulatory model AERMOD, EPA-454/B-03-001, Environmental Protection Agency, USA (2004)) è un modello di calcolo stazionario (steady-state) in cui la dispersione in atmosfera dell'inquinante emesso da una sorgente viene simulata adottando una distribuzione gaussiana della concentrazione, sia nella direzione orizzontale che in quella verticale, se lo strato limite atmosferico è stabile. Se invece lo strato limite atmosferico è instabile, si è in presenza di meccanismi convettivi ed il codice descrive la concentrazione in aria adottando una distribuzione gaussiana nella direzione orizzontale e una funzione densità di probabilità bigaussiana per la direzione verticale (Willis e Deardorff, 1981; Briggs, 1993). Per tale motivo AERMOD è ritenuto un modello ibrido di nuova generazione, dal momento che è in grado di descrivere in modo molto rappresentativo gli effetti della turbolenza dello strato limite atmosferico che risultava, invece, una limitazione per i modelli gaussiani tradizionali. Il codice prevede la possibilità di considerare diverse tipologie di fonti emissive (puntuali, areali, volumetriche) ed a ciascun tipo di sorgente fa corrispondere un diverso algoritmo per il calcolo della concentrazione. Il modello calcola il contributo di ciascuna sorgente nel dominio d'indagine, in corrispondenza dei nodi di una griglia definita dall'utente o di ricettori discreti ubicati dall'utente e ne somma gli effetti. Poiché il modello è stazionario, le emissioni sono assunte costanti nell'intervallo temporale di simulazione (generalmente un'ora).

	ALLEGATO D.5 E D.5.1 ALLA DOMANDA DI AIA FLUORSID SpA	COMMESSA / JOB		UNITÀ / UNIT		
		2021351-ING000		SERVIZI AMBIENTALI		
		SPC No.	AM-RT10019			
		Sh 8 of 57	REV.			
			0			

Il codice consente di effettuare due tipi di simulazioni:


- **“short term”**: fornisce concentrazioni medie orarie o giornaliere e quindi a breve termine, consentendo di individuare la peggior condizione possibile;
- **“long-term”**: tratta gli effetti dei rilasci prolungati nel tempo, al variare delle caratteristiche atmosferiche e meteorologiche e fornisce le condizioni medie nell'intervallo di tempo considerato, generalmente un anno e quindi a lungo termine.

Il modello si avvale dell'utilizzo di due altri codici per elaborare i dati di input:


- il preprocessore meteorologico **AERMET**, che consente di raccogliere ed elaborare i dati meteorologici rappresentativi della zona studiata, di calcolare i parametri dispersivi dello strato limite atmosferico; esso fornisce ad AERMOD i profili verticali delle variabili meteorologiche più influenti sul trasporto e dispersione degli inquinanti;
- il preprocessore orografico **AERMAP**, che permette di raccogliere ed elaborare le caratteristiche e l'altimetria del territorio, consentendo l'applicazione di AERMOD sia a zone pianeggianti che a zone con morfologia complessa.

Il codice di dispersione AERMOD, infine, dopo aver integrato le informazioni provenienti dai due preprocessori suddetti, calcola le concentrazioni al suolo degli inquinanti emessi in atmosfera assumendo particolari ipotesi: nel caso di **atmosfera stabile** il codice suppone che l'inquinante diffonda nello spazio mantenendo la forma di una distribuzione gaussiana sia nella direzione orizzontale che verticale, mentre nel caso di **atmosfera convettiva** la forma adottata dal codice per diffondere il pennacchio riflette la natura non gaussiana della componente verticale della velocità del vento.

L'attuale versione di AERMOD contiene particolari algoritmi in grado di tenere conto di determinate caratteristiche dello strato limite atmosferico (*PBL – planetary boundary layer*) ed è in grado di simulare il comportamento del pennacchio in diverse situazioni:


	ALLEGATO D.5 E D.5.1 ALLA DOMANDA DI AIA FLUORSID SpA	COMMESSA / JOB		UNITÀ / UNIT		
		2021351-ING000		SERVIZI AMBIENTALI		
		SPC No.	AM-RT10019			
		Sh 9 of 57	REV.			
			0			

- calcola il “**plume rise**”, ossia il sovrainnalzamento del pennacchio di inquinante emesso dai camini, legato agli effetti di galleggiamento del plume (Buoyancy effect) e alla velocità di uscita dei fumi (source momentum);
- simula i “**plume lofting**”, cioè le porzioni di massa degli inquinanti che in situazioni convettive prima di diffondersi nello strato limite, tendono ad innalzarsi e a rimanere in prossimità del top dello strato limite;
- tiene conto della penetrazione del plume in presenza di inversioni termiche in quota;
- tiene conto del “**building downwash**”, ossia dell'effetto di distorsione del flusso del pennacchio causato dalla presenza di edifici di notevoli dimensioni e la possibilità che tale distorsione trascini il pennacchio al suolo;
- Utilizza il concetto di “**streamline**” (linea di flusso intermedia), l'altezza al di sopra della quale il pennacchio segue il terreno, mentre al di sotto rimane su un piano orizzontale (aggirando o impattando contro un ostacolo, a seconda dei casi) che divide il pennacchio in due parti sulla verticale; al di sotto il pennacchio contribuisce alle concentrazioni secondo le equazioni valide per terreni piani, al di sopra per il calcolo delle concentrazioni si tiene conto dell'andamento delle quote stabilito da AERMAP. A differenza dei modelli gaussiani puri non bisogna differenziare il dominio in semplice, complesso o intermedio, ma si considera unicamente la posizione della massa d'inquinante rispetto alla linea di flusso intermedia (Snyder,1985).

	ALLEGATO D.5 E D.5.1 ALLA DOMANDA DI AIA FLUORSID SpA	COMMESSA / JOB		UNITÀ / UNIT			
		2021351-ING000		SERVIZI AMBIENTALI			
		SPC No.	AM-RT10019				
		Sh 10 of 57	REV.				
			0				

Le caratteristiche di AERMOD, sono, in sintesi:

- **Scala Spaziale:** fino a 50 km;
- **Scala Temporale:** short e long term;
- **Dominio:** il dominio di calcolo può essere costituito sia da terreni semplici che complessi. Le sorgenti possono trovarsi sia su terreni urbani che rurali ed i ricettori sia su terreni semplici o complessi;
- **Inquinante:** Inquinanti primari e rilascio di sostanze tossiche e pericolose. Sono presenti i processi di deposizione secca ed umida. Il decadimento delle sostanze è di tipo esponenziale.
- **Sorgenti emissive:** varie tipologie di sorgente (puntuale, lineare, areale e volumetrica);
- **Regime:** stazionario.

	ALLEGATO D.5 E D.5.1 ALLA DOMANDA DI AIA FLUORSID SpA	COMMESSA / JOB		UNITÀ / UNIT			
		2021351-ING000		SERVIZI AMBIENTALI			
		SPC No.	AM-RT10019				
		Sh 11 of 57	REV.				
			0				

3.1. DESCRIZIONE MODELLO

I dati in input al modello AERMOD sono di cinque tipi:

- dati meteorologi: i dati meteorologici vengono forniti al modello tramite due file **.SFC** contenente i dati di superficie e il file **.PFL** contenente i dati profilometrici della centralina meteo di riferimento;
- dati orografici;
- dati di emissione;
- dati geometrici strutture verticali;
- definizione dei ricettori sensibili

Per i dati di input meteorologici ed orografici il modello si avvale dell'utilizzo di due programmi:

- il pre-processore meteorologico (figura 3.1.1-1)
- il pre-processore orografico (figura 3.1.1-2)

Per i dati di emissione e geometrici delle strutture verticali AERMOD utilizza sia i dati delle sorgenti emmissive della Fluorsid che i dati relativi alla geometria delle strutture verticali necessarie per lo studio dell'effetto Building Downwash e dell'effetto Channeling.

La calibrazione del modello è stata eseguita mediante il confronto con i dati raccolti dalle centraline di monitoraggio della qualità dell'aria della rete di monitoraggio dell'ARPAS per l'anno 2020.

	ALLEGATO D.5 E D.5.1 ALLA DOMANDA DI AIA FLUORSID SpA	COMMESSA / JOB		UNITÀ / UNIT			
		2021351-ING000		SERVIZI AMBIENTALI			
		SPC No.	AM-RT10019				
		Sh 12 of 57	REV.				
			0				

3.1.1. PRE-PROCESSORE METEOROLOGICO

Il pre-processore meteorologico raccoglie ed elabora i dati meteorologici rappresentativi della zona studiata, per calcolare i parametri dispersivi del PBL e consente così ad AERMOD di ricavarsi i valori delle variabili più influenti sul trasporto e dispersione degli inquinanti.

I dati meteorologici iniziali vengono forniti dalla centralina di riferimento, CENAS6, formattati opportunamente, file **.csv**, e dati come input al processore (figura 3.1.1-1). Questo processore genera due file, **.SFC** contenente i dati meteorologici di superficie e **.PFL** contenente i dati meteorologici profilometrici, che sono i due file meteo di input al modello AERMOD.

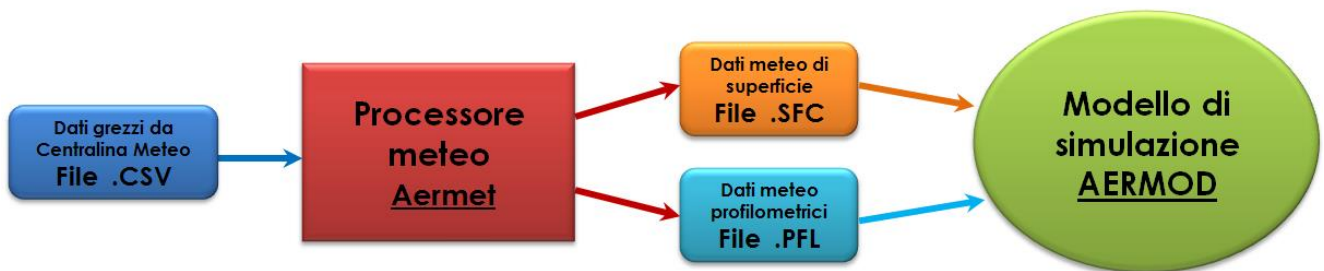



Figura 3.1.1-1: Diagramma di flusso dati per realizzazione dello scenario meteorologico per il modello di simulazione BREEZE AERMOD.

Di seguito sono elencate le grandezze presenti nei tre file suddetti:

1. File **.cvs**:

- a. Cabina = nome stazione
- b. Data = gg/mm/aaaa
- c. Ora [0-23]
- d. DV = direzione prevalente del vento - gradi di provenienza
- e. VV = velocità prevalente del vento -m/s
- f. DV gradi = direzione media del vento – gradi di provenienza
- g. T = temperatura °C
- h. UR = umidità relativa -%
- i. PLUV = precipitazione – mmH₂O
- j. P = pressione atmosferica – mbar
- k. RAD/SOL = radiazione globale - W/m²


	ALLEGATO D.5 E D.5.1 ALLA DOMANDA DI AIA FLUORSID SpA	COMMESSA / JOB		UNITÀ / UNIT		
		2021351-ING000		SERVIZI AMBIENTALI		
		SPC No.	AM-RT10019			
		Sh 13 of 57	REV.			
			0			

2. file .SFC (EPA AERMET User Guide.pdf - pagina C-11):

- a. Anno
- b. Mese
- c. Giorno
- d. Julian day
- e. ora
- f. H = flusso di calore sensibile (W/m²)
- g. u^* = velocità di attrito superficiale (m/s)
- h. w^* = velocità di scala convettiva (m/s)
- i. VPTG=
- j. Z_{ic} = altezza della strato limite generato dai moti convettivi (m)
- k. Z_{im} = altezza della strato limite generato dai moti meccanici (m)
- l. L = Lunghezza di Monin-Obukhov (m)
- m. Z_0 = lunghezza di rugosità superficiale (m)
- n. B_0 = Bowen Ratio
- o. r = Albedo
- p. W_s = velocità del vento (m/s)
- q. W_d = direzione del vento (gradi)
- r. z_{ref} = altezza di riferimento per il vento (m)
- s. $temp$ = temperatura (K)
- t. z_{temp} = altezza di riferimento per la temperatura (m)
- u. $ipcode$ = codice di precipitazione (0 nessuno, 11 liquida, 22 grandine, 99 mancante)
- v. $pamt$ = precipitazione (mm/hr)
- w. rh = umidità relativa (%)
- x. $pres$ = pressione (mbar)
- y. $ccvr$ = copertura nuvolosa (decimi)
- z. $WSADJ$ = aggiustamento della

3. file .PFL (EPA AERMET User Guide.pdf - pagina C-12):

- a. Anno
- b. Mese
- c. Giorno
- d. ora
- e. $height$ = altezza a cui è presa la misura (m)
- f. top = vale 1 se è il livello più alto o l'ultimo per quell'ora altrimenti 0
- g. WD_{nn} = direzione del vento a quel livello nn (gradi)
- h. WS_{nn} = velocità del vento a quel livello nn (m/s)
- i. TT_{nn} = temperatura al livello corrente nn (°C)
- j. $SAnn$ = divergenza della direzione del vento (gradi)
- k. SW_{nn} = divergenza della velocità del vento (m/s)

	ALLEGATO D.5 E D.5.1 ALLA DOMANDA DI AIA FLUORSID SpA	COMMESSA / JOB		UNITÀ / UNIT			
		2021351-ING000		SERVIZI AMBIENTALI			
		SPC No.	AM-RT10019				
		Sh 14 of 57	REV.				
			0				

3.1.2. PRE-PROCESSORE OROGRAFICO

Lo scopo del pre-processore orografico è quello di raccogliere ed elaborare le caratteristiche e l'altimetria del territorio, consentendo l'applicazione di AERMOD a zone sia pianeggianti che a morfologia complessa. Mediante il pre-processore orografico, LandUse, si suddivide il territorio in una griglia di recettori (GRID). Come mostrato nel digramma di flusso riportato in figura 3.1.2-1 Inizialmente si definiscono le coordinate del primo punto a Sud Ovest del grid poi il numero delle celle lungo la direzione x (Nx) e lungo la direzione y (Ny) e la dimensione di ciascuna cella (Δ). Nel nostro caso (figure 3.1.2-2 e 3.1.2-3) abbiamo definito i seguenti parametri:

1. Coordinate punto a Sud Ovest: x = 495038, y= 4336515;
2. numero celle lungo x: Nx= 100;
3. numero celle lungo y: NY= 100;
4. dimensione cella: Δ = 100 x 100 m, per un dominio di calcolo pari a 10 X 10 km.



Figura 3.1.2-1: Diagramma di flusso per la realizzazione dell'orografia per il modello di simulazione BREEZE AERMOD.

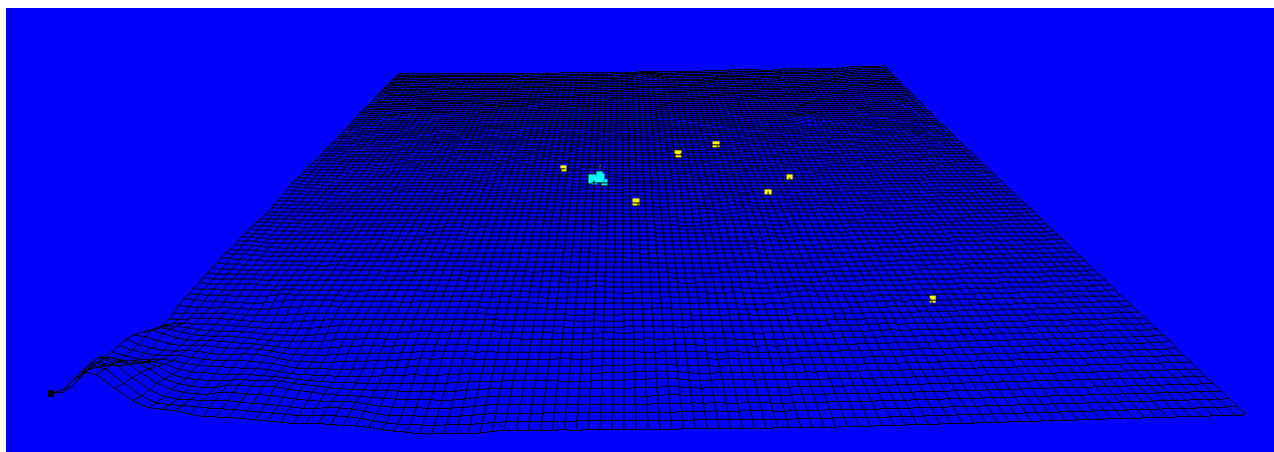


Figura 3.1.2-2: Rappresentazione tridimensionale GRID del sito Fluorsid e zone limitrofe.



Figura 3.1.2-3: Rappresentazione GRID di calcolo del sito Fluorsid delle zone limitrofe.

	ALLEGATO D.5 E D.5.1 ALLA DOMANDA DI AIA FLUORSID SpA	COMMESSA / JOB		UNITÀ / UNIT			
		2021351-ING000		SERVIZI AMBIENTALI			
		SPC No.	AM-RT10019				
		Sh 16 of 57	REV.				
			0				

3.1.3. DATI DI EMISSIONE E GEOMETRICI DELLE STRUTTURE VERTICALI


Il modello di simulazione utilizza come dati di input sia i dati di emissione delle sorgenti emissive della Fluorsid che i dati relativi alla geometria delle strutture verticali necessarie per lo studio dell'effetto Building Downwash e dell'effetto Channeling.

I dati di emissione delle sorgenti emissive della Fluorsid sono di due tipi:

- parametri camini:
 - caratteristiche geometriche (altezza e diametro)
 - caratteristiche geografiche (coordinate e quota)
- dati sorgenti:
 - temperature fumi (°C)
 - velocità uscita fumi (m/s)
 - emission rate (tons/yr)

3.1.4. DEFINIZIONE RICETTORI SENSIBILI

Per valutare la ricaduta al suolo delle sostanze emesse dalle sorgenti dello Stabilimento della Fluorsid è necessario definire i ricettori sensibili nelle zone limitrofe allo stabilimento.

	ALLEGATO D.5 E D.5.1 ALLA DOMANDA DI AIA FLUORSID SpA	COMMESSA / JOB		UNITÀ / UNIT	
		2021351-ING000		SERVIZI AMBIENTALI	
		SPC No.		AM-RT10019	
		Sh 17 of 57		REV.	
			0		

ALLEGATO D.5.1- INFORMAZIONI DI TIPO CLIMATOLOGICO


1. FONTE DATI METEOROLOGICI

Per effettuare l'analisi della dispersione degli inquinanti in atmosfera e delle relative ricadute al suolo, illustrata nella Relazione Tecnica riportata in Allegato D6 alla domanda AIA, si è fatto riferimento ai dati meteoroclimatici rilevati dalla centralina CENAS6 della rete di monitoraggio della qualità dell'aria dell'ARPAS (Agenzia Regionale per la protezione dell'Ambiente della Sardegna).

Tale stazione è ubicata in prossimità dell'area industriale di Macchiareddu (Figura 1-1).



Figura 1-1: Ubicazione della stazione CENAS6 Macchiareddu 5°Strada c3. (ARPAS).


	ALLEGATO D.5 E D.5.1 ALLA DOMANDA DI AIA FLUORSID SpA	COMMESSA / JOB		UNITÀ / UNIT			
		2021351-ING000		SERVIZI AMBIENTALI			
		SPC No.	AM-RT10019				
		Sh 19 of 57	REV.				
			0				

2.1. PARAMETRI MICROMETEOROLOGICI UTILIZZATI NEL MODELLO MATEMATICO

Il modello di simulazione delle ricadute al suolo degli inquinanti atmosferici richiede in ingresso due file:

1. **File SFC** contenente dati meteorologici di superficie (EPA AERMET User Guide.pdf - pagina C-11):

- Anno
- Mese
- Giorno
- Julian day
- ora
- H = flusso di calore sensibile (W/m^2)
- u^* = velocità di attrito superficiale (m/s)
- w^* = velocità di scala convettiva (m/S)
- VPTG=
- Z_{ic} = altezza della strato limite generato dai moti convettivi (m)
- Z_{im} = altezza della strato limite generato dai moti meccanici (m)
- L = Lunghezza di Monin-Obukhov (m)
- Z_0 = lunghezza di rugosità superficiale (m)
- B_0 = Bowen Ratio
- r = Albedo
- W_s = velocità del vento (m/s)
- W_d = direzione del vento (gradi)
- z_{ref} = altezza di riferimento per il vento (m)
- $temp$ = temperatura (K)
- z_{temp} = altezza di riferimento per la temperatura (m)
- $ipcode$ = codice di precipitazione (0 nessuno, 11 liquida, 22 grandine, 99 mancante)
- $pamt$ = precipitazione (mm/hr)
- rh = umidità relativa (%)
- $pres$ = pressione (mbar)
- $ccvr$ = copertura nuvolosa (decimi)
- $WSADJ$ = aggiustamento della velocità del vento e data source flag

	ALLEGATO D.5 E D.5.1 ALLA DOMANDA DI AIA FLUORSID SpA	COMMESSA / JOB		UNITÀ / UNIT			
		2021351-ING000		SERVIZI AMBIENTALI			
		SPC No.	AM-RT10019				
		Sh 20 of 57	REV.				
			0				

2. File PFL contenente dati meteorologici profilometrici (EPA AERMET User Guide.pdf - pagina C-12):

- Anno
- Mese
- Giorno
- ora
- height = altezza a cui è presa la misura (m)
- top = vale 1 se è il livello più alto o l'ultimo per quell'ora altrimenti 0
- WDnn = direzione del vento a quel livello nn (gradi)
- WSnn = velocità del vento a quel livello nn (m/s)
- TTnn = temperatura al livello corrente nn (°C)
- SAnn = divergenza della direzione del vento (gradi)
- SWnn = divergenza della velocità del vento (m/S)


I parametri rilevati su base oraria dalla centralina CENAS6 sono i seguenti:

- DV = direzione prevalente del vento (gradi di provenienza)
- VV = velocità prevalente del vento (m/s)
- T = temperatura (°C)
- UR = umidità relativa (%)
- PLUV = precipitazione (mmH₂O)
- P = pressione atmosferica (mbar)
- RAD/SOL = radiazione globale (W/m²)

Dei dati raccolti dalla stazione meteo sono stati pertanto acquisite direttamente le seguenti tipologie di dati:

- velocità e direzione del vento
- temperatura dell'aria

I dati di radiazione solare rilevati dalla centralina sono stati, invece, utilizzati per determinare le classi di stabilità atmosferica, in accordo con i criteri descritti in Appendice 1.

	ALLEGATO D.5 E D.5.1 ALLA DOMANDA DI AIA FLUORSID SpA	COMMESSA / JOB		UNITÀ / UNIT		
		2021351-ING000		SERVIZI AMBIENTALI		
		SPC No.	AM-RT10019			
		Sh 21 of 57	REV.			
			0			

3. ANEMOLOGIA ANNO 2020

I dati di velocità e direzione dei venti sono sintetizzati nelle “rose dei venti” annuali e stagionali.

Nelle pagine successive sono riportate per l'anno 2020 i seguenti elaborati:

- rosa dei venti complessiva, in essa sono mostrate le frequenze percentuali delle ore da cui il vento è soffiato;
- rosa dei venti per classi di velocità del vento, in essa sono mostrate le frequenze percentuali delle ore da cui il vento è soffiato suddivise per classi di velocità del vento;
- la tabella e l'istogramma delle frequenze di occorrenza dei venti, espresse come combinazione delle frequenze dei settori di provenienza e delle loro classi di velocità.
- Rose dei venti stagionali raggruppate secondo definiti intervalli orari.

Dai dati e dagli elaborati grafici (figura 3-1 e 3-2) si può osservare come il vento rilevato nella centralina CENAS6 provenga prevalentemente dai due settori: O-ONO-NO e E-ESE-SE.

In termini quantitativi (tabella 3-1), per l'anno 2020, si osserva che:

- i settori da O-ONO-NO hanno una frequenza totale pari a circa il 40 %;
- il settore da E-ESE-SE ha una frequenza totale pari a circa il 27 %;

I venti di bassa intensità (0.5÷2.0 m/s) sono quelli ampiamente più rappresentati, con valori di frequenza pari al 50.8 % del totale (tabella 3-1 e figura 3-3). I venti di intensità compresi tra 2-4 m/s hanno frequenza pari al 31 %, mentre i venti di intensità maggiore sono piuttosto infrequenti con un valore del 15.5 % per la classe 4-6 m/s, del 2.3% per la classe 6-8 m/s e dello 0.4% per la classe 8-10 m/s.

Coerentemente, osservando la rosa dei venti in figura 3-2 si osserva che, per la classe di velocità più basse (fino a 2 m/s), la distribuzione per settori di provenienza è simile a quella

	ALLEGATO D.5 E D.5.1 ALLA DOMANDA DI AIA FLUORSID SpA	COMMESSA / JOB		UNITÀ / UNIT			
		2021351-ING000		SERVIZI AMBIENTALI			
		SPC No.	AM-RT10019				
		Sh 22 of 57	REV.				
			0				

complessiva rappresentata in figura 3-1, ad eccezione del settore ESE, che risulta meno rappresentato. Viceversa, per le categorie di venti di elevata intensità, il settore principale di provenienza è il settore E-ESE-SE.

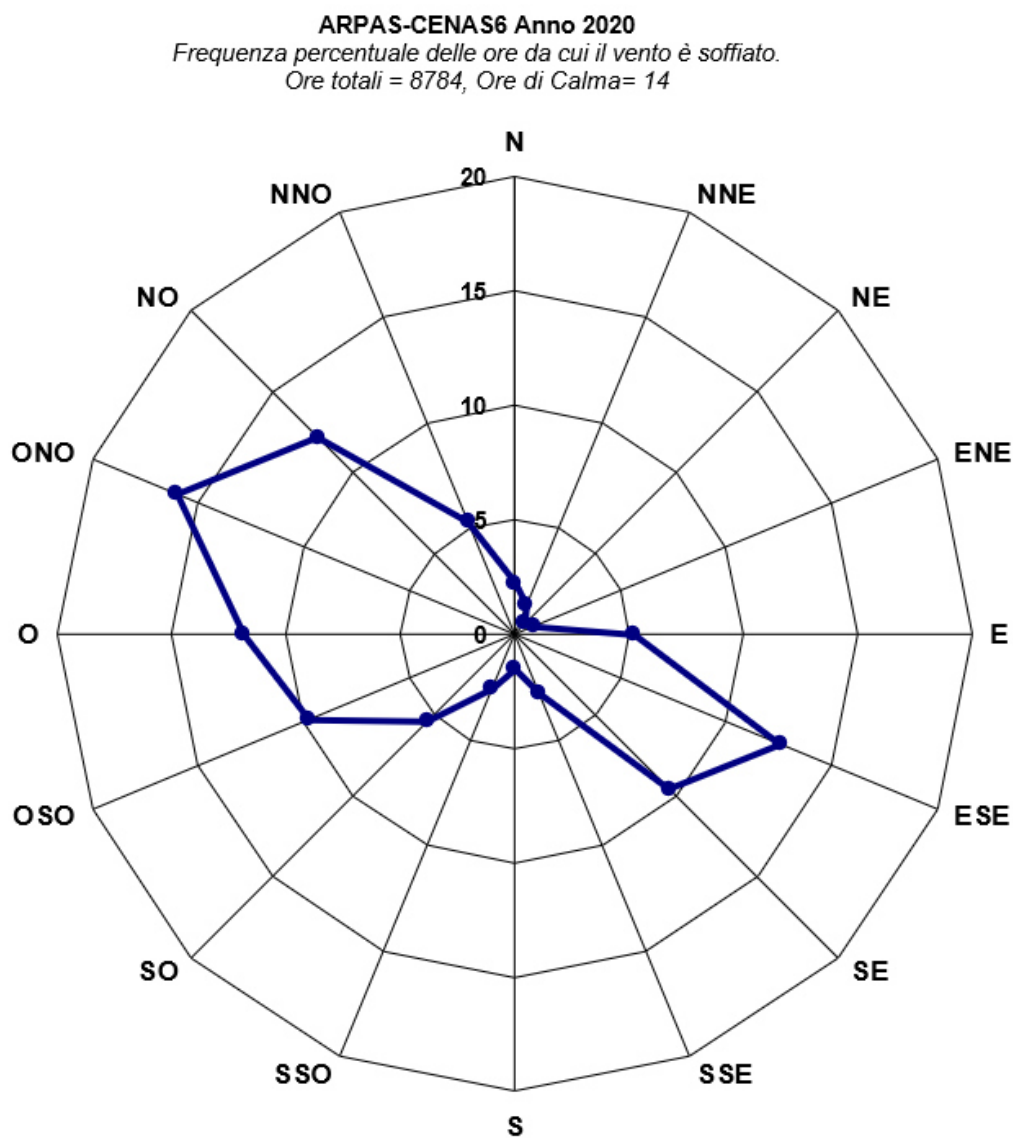



Figura 3-1: Rosa dei Venti Anno 2020.

	ALLEGATO D.5 E D.5.1 ALLA DOMANDA DI AIA FLUORSID SpA	COMMESSA / JOB		UNITÀ / UNIT	
		2021351-ING000		SERVIZI AMBIENTALI	
		SPC No.		AM-RT10019	
		Sh 23 of 57		REV.	
			0		

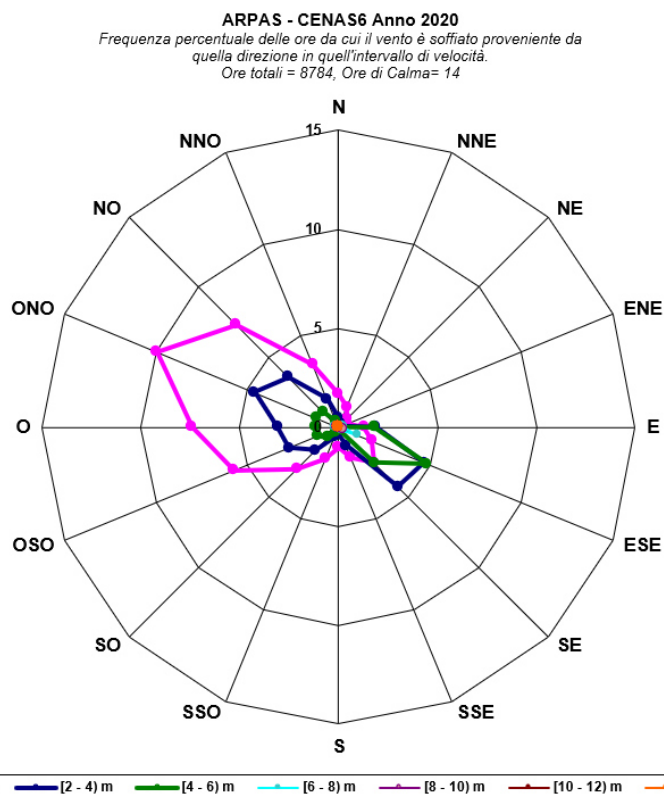


Figura 3-2: Rosa dei Venti Anno 2020, suddivisa per classe di velocità dei venti.

Centralina ARPAS: CENAS6											
DISTRIBUZIONE DELLE FREQUENZE (%) ANNUALI DELLE CLASSI DI VELOCITA' - ANNO 2020											
SETTORI			classi di velocità (m/s)								
N°	INTERVALLO (gradi)	SIGLA	[0 - 0.5]	[0.5 - 2)	[2 - 4)	[4 - 6)	[6 - 8)	[8 - 10)	[10 - 12)	> 12	TOTALE
1	(348.75, 360] È (0, 11.25]	N		1.7	0.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	2.2
2	(11.25, 33.75]	NNE		1.1	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4
3	(33.75, 56.25]	NE		0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6
4	(56.25, 78.75]	ENE		0.5	0.2	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.9
5	(78.75, 101.25]	E		1.3	1.9	1.8	0.2	0.0	0.0	0.0	5.2
6	(101.25, 123.75]	ESE		1.8	4.7	4.8	1.0	0.2	0.0	0.0	12.6
7	(123.75, 146.25]	SE		2.6	4.3	2.5	0.2	0.0	0.0	0.0	9.6
8	(146.25, 168.75]	SSE		1.6	1.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	2.8
9	(168.75, 191.25]	S		1.0	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5
10	(191.25, 213.75]	SSO		1.7	0.5	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	2.6
11	(213.75, 236.25]	SO		3.0	1.6	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	5.4
12	(236.25, 258.75]	OSO		5.7	2.7	1.1	0.2	0.0	0.0	0.0	9.8
13	(258.75, 281.25]	O		7.4	3.1	1.2	0.2	0.0	0.0	0.0	11.9
14	(281.25, 303.75]	ONO		9.9	4.6	1.2	0.2	0.1	0.0	0.0	16.0
15	(303.75, 326.25]	NO		7.3	3.6	1.1	0.1	0.0	0.0	0.0	12.2
16	(326.25, 348.75]	NNO		3.4	1.5	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	5.3
CALME			0.2								0.2
TOTALE			0.2	50.8	30.8	15.5	2.3	0.4	0.0	0.0	100.0

Tabella 3-1: Tabella della distribuzione delle frequenze annuali delle classi di velocità del vento-2020.

	ALLEGATO D.5 E D.5.1 ALLA DOMANDA DI AIA FLUORSID SpA	COMMESSA / JOB		UNITÀ / UNIT			
		2021351-ING000		SERVIZI AMBIENTALI			
		SPC No.	AM-RT10019				
		Sh 24 of 57	REV.				
			0				

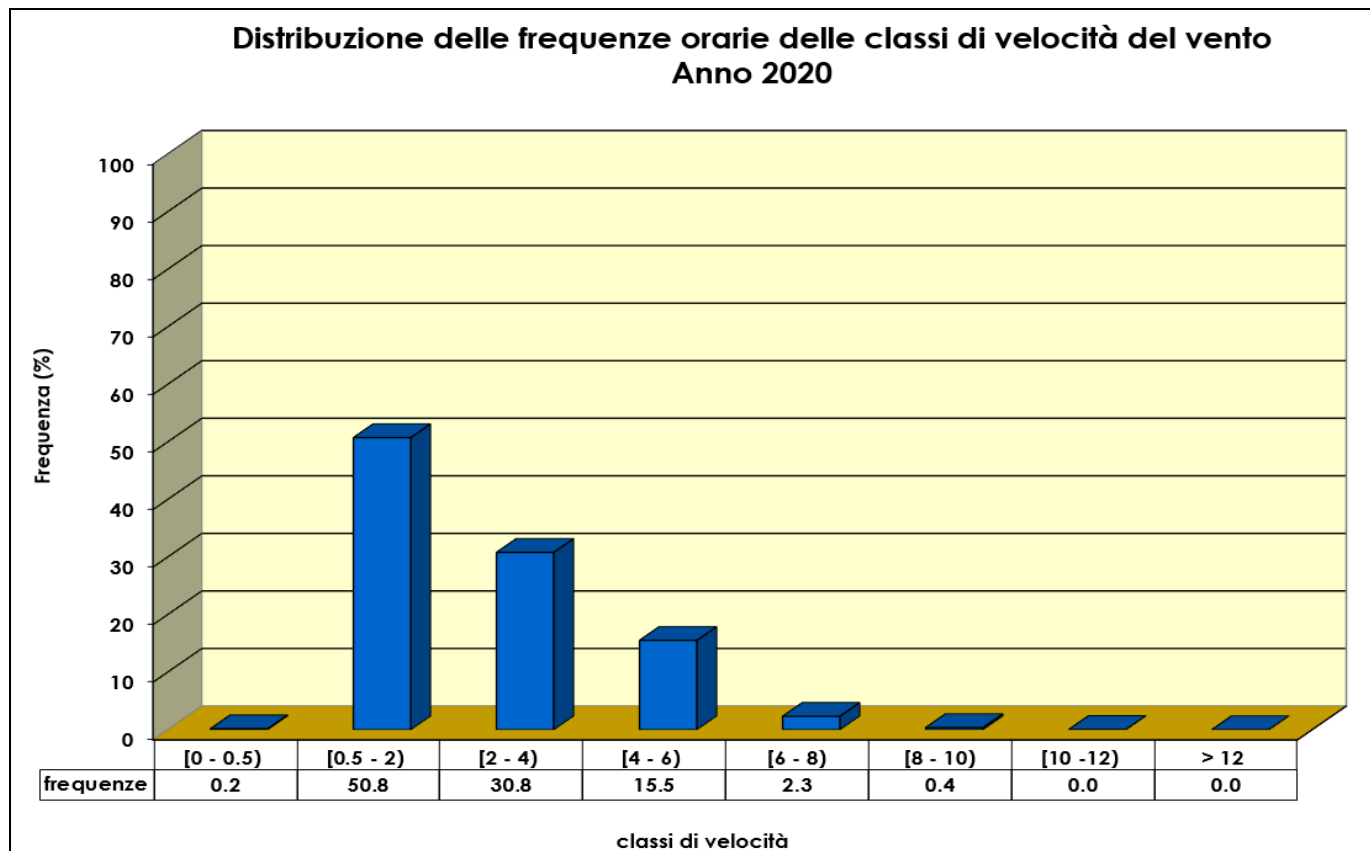


Figura 3-3: Grafico della distribuzione delle frequenze annuali delle classi di velocità del vento – CENAS6 – anno 2020.

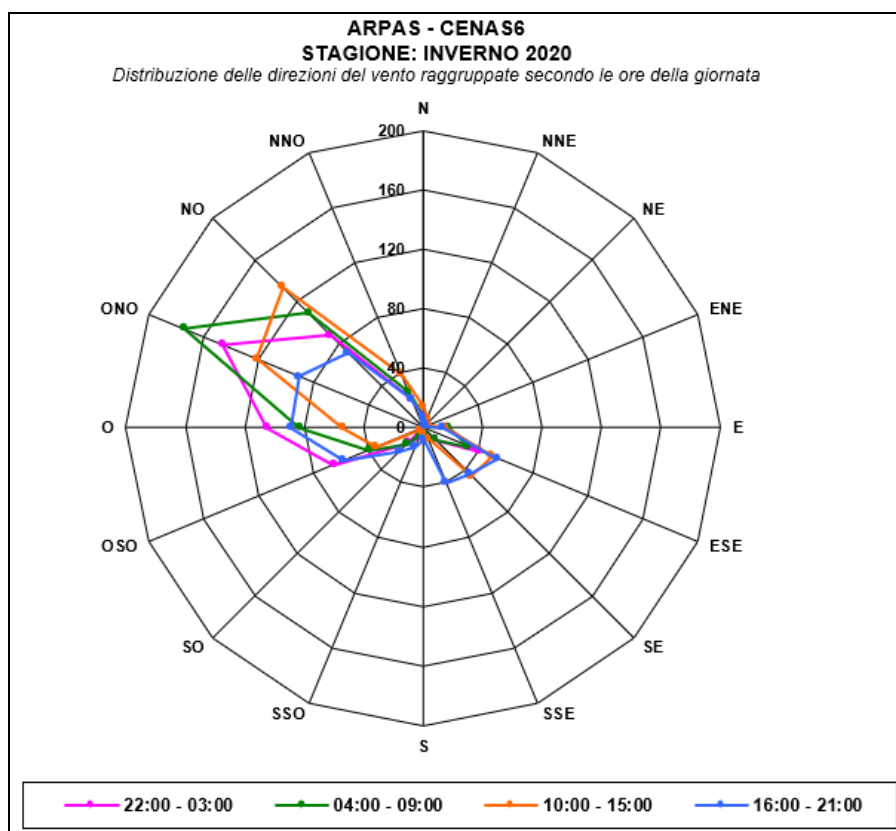


Figura 3-4: Distribuzione delle direzioni del vento raggruppate secondo le ore del giorno per la stagione INVERNO 2020.

SETTORI		Intervalli orari INVERNO 2020					
N°	INTERVALLO (gradi)	SIGLA	[22- 03]	[04 - 09]	[10 - 15]	[16 - 21]	TOTALE
1	(348.75, 360] È [0, 11.25]	N	8	7	14	7	36
2	(11.25, 33.75]	NNE	3	5	7	3	18
3	(33.75, 56.25]	NE	2	1	3	1	7
4	(56.25, 78.75]	ENE	1	1	4	2	8
5	(78.75, 101.25]	E	16	17	15	13	61
6	(101.25, 123.75]	ESE	41	33	50	54	178
7	(123.75, 146.25]	SE	11	11	46	44	112
8	(146.25, 168.75]	SSE	8	4	8	40	60
9	(168.75, 191.25]	S	3	1	4	8	16
10	(191.25, 213.75]	SSO	7	6	2	14	29
11	(213.75, 236.25]	SO	14	15	2	23	54
12	(236.25, 258.75]	OSO	65	39	34	58	196
13	(258.75, 281.25]	O	105	83	54	89	331
14	(281.25, 303.75]	ONO	146	174	121	90	531
15	(303.75, 326.25]	NO	88	109	134	71	402
16	(326.25, 348.75]	NNO	21	26	39	21	107
TOTALE			539	532	537	538	2146

Tabella 3-2: Tabella delle direzioni del vento raggruppate secondo le ore del giorno per la stagione INVERNO 2020.

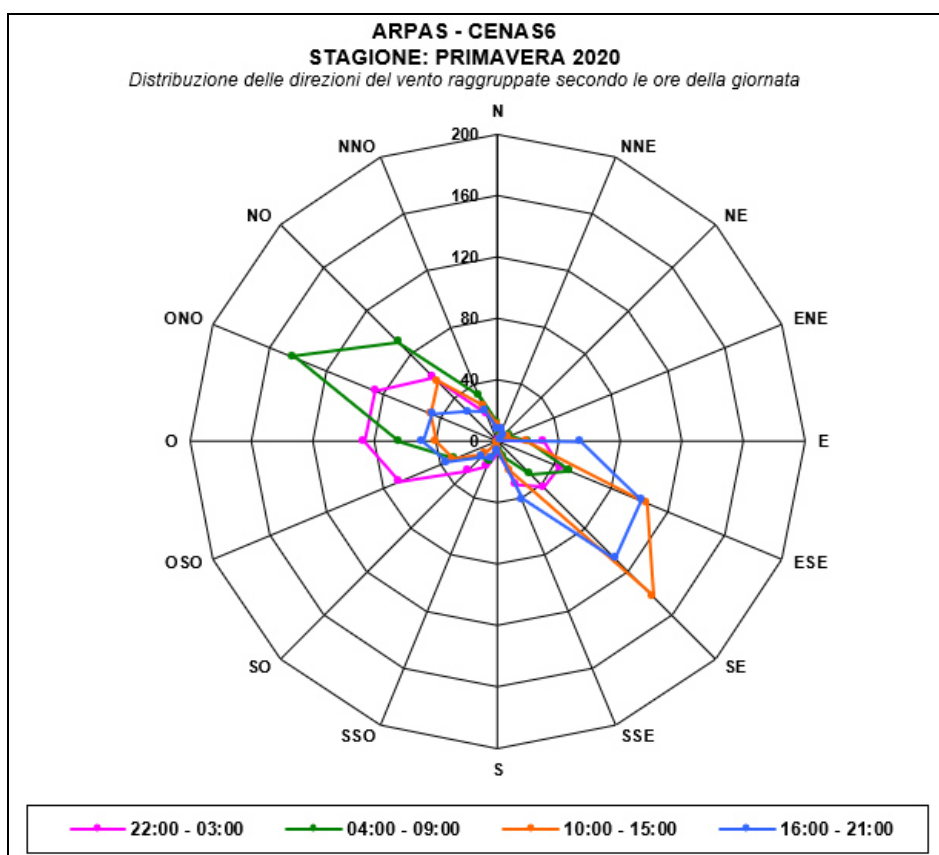


Figura 3-5: Distribuzione delle direzioni del vento raggruppate secondo le ore del giorno per la stagione PRIMAVERA 2020.

SETTORI		Intervalli orari PRIMAVERA 2020					
N°	INTERVALLO (gradi)	SIGLA	[22 - 03]	[04 - 09]	[10 - 15]	[16 - 21]	TOTALE
1	(348.75, 360] È (0, 11.25]	N	10	12	11	8	41
2	(11.25, 33.75]	NNE	6	5	8	8	27
3	(33.75, 56.25]	NE	4	4	4	5	17
4	(56.25, 78.75]	ENE	1	9	7	2	19
5	(78.75, 101.25]	E	30	20	19	54	123
6	(101.25, 123.75]	ESE	44	51	105	101	301
7	(123.75, 146.25]	SE	42	30	143	108	323
8	(146.25, 168.75]	SSE	31	11	21	41	104
9	(168.75, 191.25]	S	7	2	4	6	19
10	(191.25, 213.75]	SSO	18	14	1	12	45
11	(213.75, 236.25]	SO	27	15	12	14	68
12	(236.25, 258.75]	OSO	69	30	31	36	166
13	(258.75, 281.25]	O	87	64	40	49	240
14	(281.25, 303.75]	ONO	86	144	47	46	323
15	(303.75, 326.25]	NO	59	91	55	27	232
16	(326.25, 348.75]	NNO	19	32	25	21	97
TOTALE			540	534	533	538	2145

Tabella 3-3: Tabella delle direzioni del vento raggruppate secondo le ore del giorno per la stagione PRIMAVERA 2020.

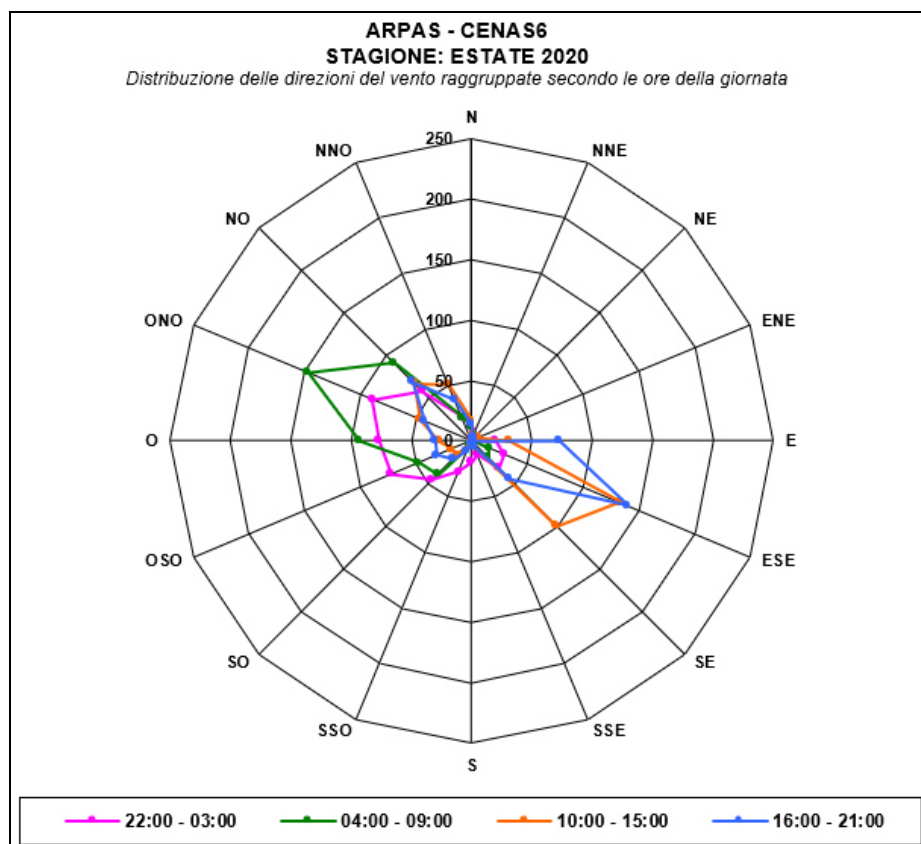


Figura 3-6: Distribuzione delle direzioni del vento raggruppate secondo le ore del giorno per la stagione ESTATE 2020.

SETTORI		Intervalli orari ESTATE 2020					
N°	INTERVALLO (gradi)	SIGLA	[22 - 03]	[04 - 09]	[10 - 15]	[16 - 21]	TOTALE
1	[348.75, 360] È [0, 11.25]	N	12	11	17	14	54
2	[11.25, 33.75]	NNE	7	6	4	3	20
3	[33.75, 56.25]	NE	1	2	1	3	7
4	[56.25, 78.75]	ENE	1	2	7	1	11
5	[78.75, 101.25]	E	20	3	31	73	127
6	[101.25, 123.75]	ESE	29	16	133	140	318
7	[123.75, 146.25]	SE	32	20	100	44	196
8	[146.25, 168.75]	SSE	12	5	4	6	27
9	[168.75, 191.25]	S	18	4	3	3	28
10	[191.25, 213.75]	SSO	28	4	1	9	42
11	[213.75, 236.25]	SO	46	39	17	22	124
12	[236.25, 258.75]	OSO	72	48	18	31	169
13	[258.75, 281.25]	O	77	93	27	30	227
14	[281.25, 303.75]	ONO	89	147	46	42	324
15	[303.75, 326.25]	NO	58	91	67	69	285
16	[326.25, 348.75]	NNO	21	21	50	37	129
TOTALE			523	512	526	527	2088

Tabella 3-4: Tabella delle direzioni del vento raggruppate secondo le ore del giorno per la stagione ESTATE 2020.

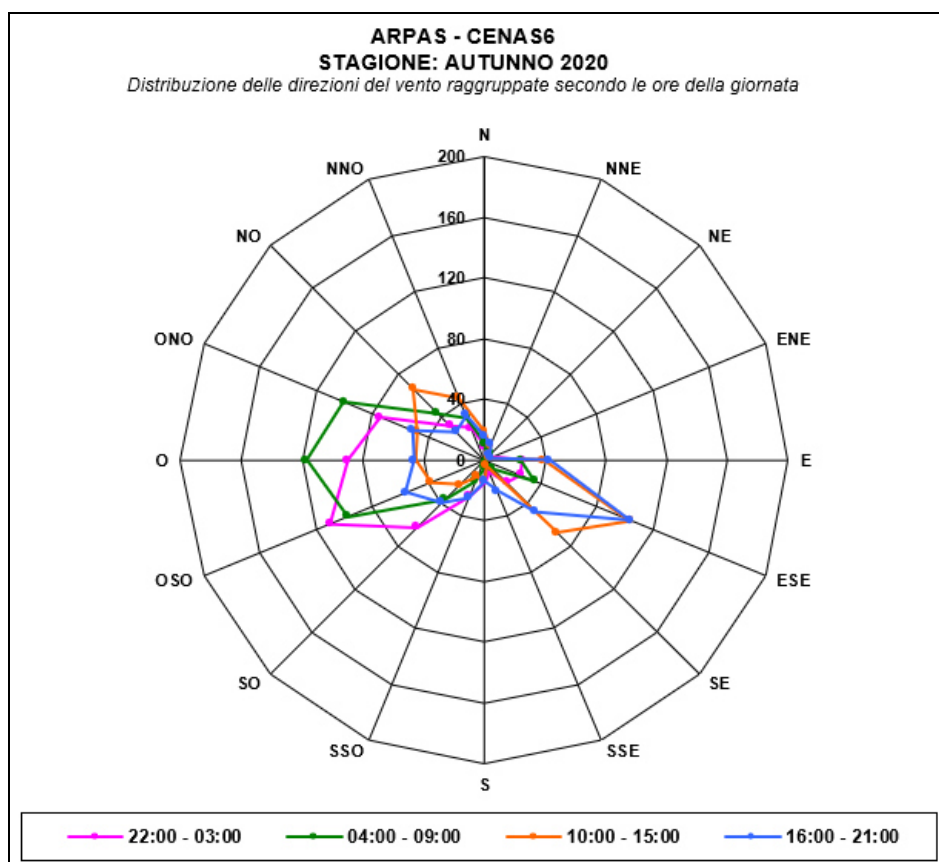



Figura 3-7: Distribuzione delle direzioni del vento raggruppate secondo le ore del giorno per la stagione AUTUNNO 2020.

SETTORI		Intervalli orari AUTUNNO 2020					
N°	INTERVALLO (gradi)	SIGLA	[22 - 03]	[04 - 09]	[10 - 15]	[16 - 21]	TOTALE
1	(348.75, 360] È [0, 11.25]	N	9	11	19	16	55
2	(11.25, 33.75]	NNE	8	7	10	11	36
3	(33.75, 56.25]	NE	5	6	5	5	21
4	(56.25, 78.75]	ENE	5	3	3	4	15
5	(78.75, 101.25]	E	25	24	39	43	131
6	(101.25, 123.75]	ESE	26	36	104	104	270
7	(123.75, 146.25]	SE	21	8	68	48	145
8	(146.25, 168.75]	SSE	8	2	4	22	36
9	(168.75, 191.25]	S	15	5	14	14	48
10	(191.25, 213.75]	SSO	26	15	12	27	80
11	(213.75, 236.25]	SO	63	37	23	40	163
12	(236.25, 258.75]	OSO	110	97	38	56	301
13	(258.75, 281.25]	O	90	117	45	46	298
14	(281.25, 303.75]	ONO	74	100	48	51	273
15	(303.75, 326.25]	NO	32	44	66	26	168
16	(326.25, 348.75]	NNO	23	30	44	32	129
TOTALE			540	542	542	545	2169

Tabella 3-5: Tabella delle direzioni del vento raggruppate secondo le ore del giorno per la stagione AUTUNNO 2020.

	ALLEGATO D.5 E D.5.1 ALLA DOMANDA DI AIA FLUORSID SpA	COMMESSA / JOB		UNITÀ / UNIT			
		2021351-ING000		SERVIZI AMBIENTALI			
		SPC No.	AM-RT10019				
		Sh 29 of 57	REV.				
			0				


4. STABILITA' ATMOSFERICA

In questo capitolo si mostra lo studio della turbolenza atmosferica nell'area in cui è situata la Fluorsid, che ha effetti significativi sulla risalita e la dispersione degli inquinanti atmosferici.

La turbolenza atmosferica viene condensata nelle Categorie di Stabilità di Pasquill, dette anche classi di stabilità atmosferiche di Pasquill. Esse sono suddivise in sei classi: A, B, C, D, E ed F. La classe A denota le condizioni di maggior turbolenza o maggiore instabilità mentre la classe F definisce le condizioni di maggior stabilità o minore turbolenza.

Nei paragrafi successivi saranno mostrati i risultati delle elaborazioni statistiche dei seguenti dati meteoroclimatici:

1. Distribuzioni annuale e mensile delle frequenze delle classi di stabilità atmosferica calcolati per l'anno 2020.
2. Distribuzioni stagionali delle frequenze delle classi di stabilità atmosferica.
3. Distribuzione delle frequenze orarie delle classi di velocità del vento.
4. Frequenze di occorrenza delle altezze di rimescolamento.

	ALLEGATO D.5 E D.5.1 ALLA DOMANDA DI AIA FLUORSID SpA	COMMESSA / JOB		UNITÀ / UNIT			
		2021351-ING000		SERVIZI AMBIENTALI			
		SPC No.	AM-RT10019				
		Sh 30 of 57	REV.				
			0				

4.1. DISTRIBUZIONE ANNUALE E MENSILE DELLE FREQUENZE DELLE CLASSI DI STABILITÀ

Nella tabella 4.1-1 si riporta la distribuzione delle frequenze delle classi di stabilità atmosferica con dettaglio mensile. I valori sono dati in per mille.

CENTRALINA ARPAS: CENAS6 DISTRIBUZIONE DELLE FREQUENZE (‰) MENSILI DELLE CLASSI DI STABILITA' - ANNO 2020							
MESE	classi di stabilità (‰)						TOTALE
	A	B	C	D	E	F	
GENNAIO	0.1	9.5	7.5	25.1	2.1	40.6	84.9
FEBBRAIO	0.5	9.4	11.3	16.8	6.2	35.4	79.4
MARZO	3.0	12.4	9.9	18.7	5.4	35.5	84.9
APRILE	3.1	14.8	12.4	15.2	5.7	30.9	82.1
MAGGIO	4.6	16.3	13.7	16.5	5.9	27.8	84.9
GIUGNO	4.3	15.5	13.6	18.1	2.7	27.8	82.1
LUGLIO	3.8	23.4	14.5	10.0	2.5	30.7	84.9
AGOSTO	4.1	17.1	16.0	11.4	4.1	32.2	84.9
SETTEMBRE	5.8	14.8	8.6	12.5	3.1	37.3	82.1
OTTOBRE	1.7	9.0	8.1	18.7	3.9	41.3	82.7
NOVEMBRE	1.1	9.0	8.1	18.7	3.9	41.3	82.1
DICEMBRE	0.0	6.0	8.3	21.0	4.8	44.7	84.9
TOTALE	32.1	157.3	132.0	202.9	50.2	425.6	1000.0

Tabella 4.1-1: Tabella della distribuzione delle frequenze mensili delle classi di stabilità: anno 2020.

È possibile osservare, sia dalla tabella 4.1-1 che dal grafico in figura 4.1-1, come nel periodo in studio la classe di stabilità più frequente sia la F (condizioni moderatamente stabili) seguita dalla classe D (condizioni di neutralità).

Dal grafico in figura 4.1-2 è possibile osservare più in dettaglio sia la classe F ha frequenza elevata in tutti i mesi dell'anno mentre la classe D è più frequente durante i mesi invernali.

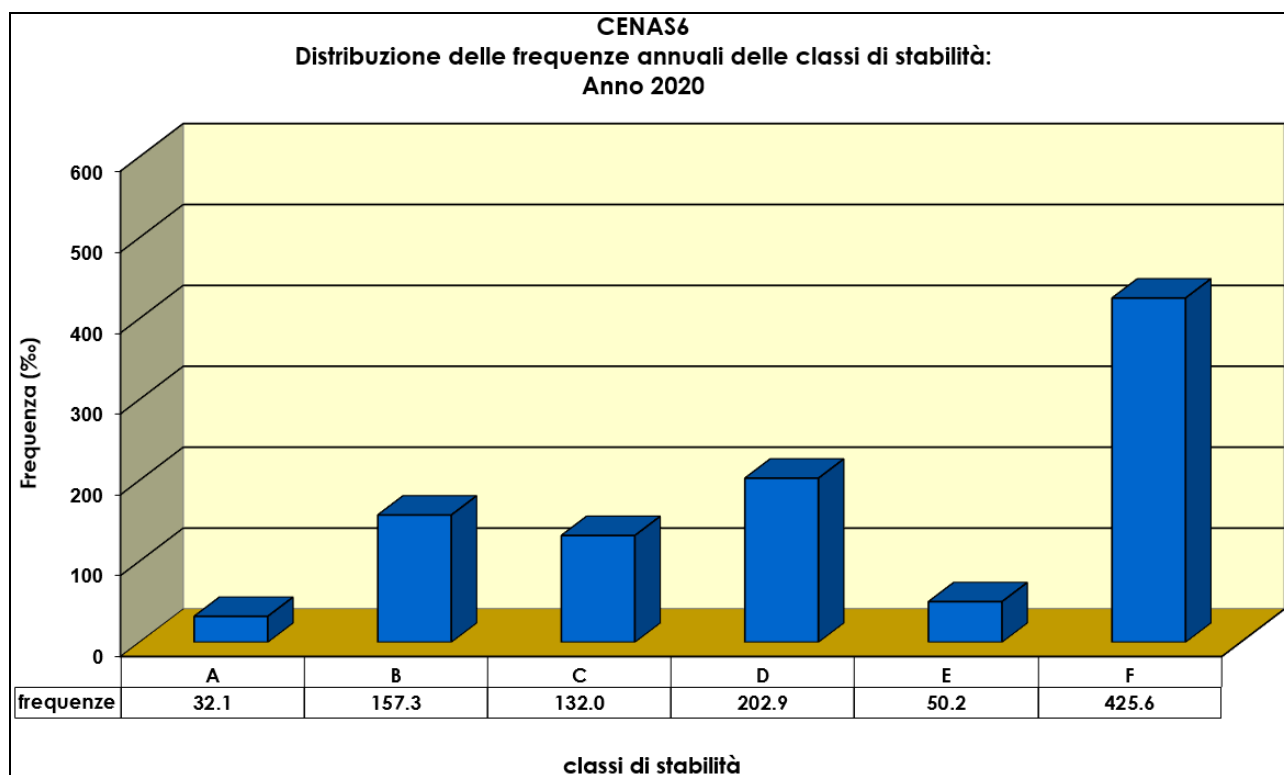


Figura 4.1-1: Grafico della distribuzione delle frequenze annuali delle classi di stabilità: anno 2020.

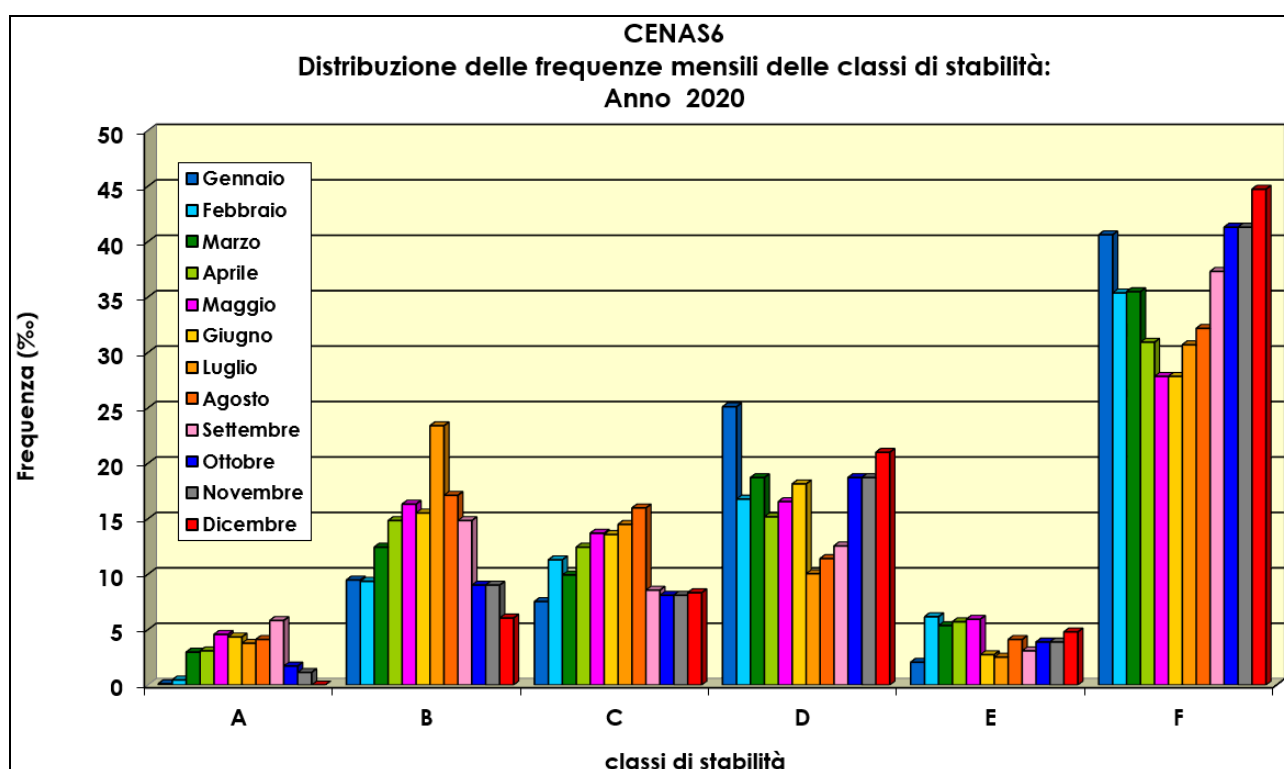


Figura 4.1-2: Grafico della distribuzione delle frequenze mensili delle classi di stabilità: anno 2020.

	ALLEGATO D.5 E D.5.1 ALLA DOMANDA DI AIA FLUORSID SpA	COMMESSA / JOB		UNITÀ / UNIT		
		2021351-ING000		SERVIZI AMBIENTALI		
		SPC No.	AM-RT10019			
		Sh 32 of 57	REV.			
			0			


4.2. DISTRIBUZIONE STAGIONALE DELLE FREQUENZE DELLE CLASSI DI STABILITÀ

Nella tabella 4.2-1 si riporta la distribuzione delle frequenze delle classi di stabilità atmosferica con dettaglio stagionale. I valori sono dati in per mille, per l'anno 2020.

CENTRALINA ARPAS: CENAS6								
DISTRIBUZIONE DELLE FREQUENZE (‰) STAGIONALI DELLE CLASSI DI STABILITA' RIPARTITE PER MESI - ANNO 2020								
STAGIONI	MESE	classi di stabilità						TOTALE
		A	B	C	D	E	F	
inverno	DICEMBRE - 2019	0.0	6.4	6.6	31.8	9.7	30.3	84.9
	GENNAIO - 2020	0.1	9.5	7.5	25.1	2.1	40.6	84.9
	FEBBRAIO - 2020	0.5	9.4	11.3	16.8	6.2	35.4	79.4
primavera	MARZO - 2020	3.0	12.4	9.9	18.7	5.4	35.5	84.9
	APRILE - 2020	3.1	14.8	12.4	15.2	5.7	30.9	82.1
	MAGGIO - 2020	4.6	16.3	13.7	16.5	5.9	27.8	84.9
estate	GIUGNO - 2020	4.3	15.5	13.6	18.1	2.7	27.8	82.1
	LUGLIO - 2020	3.8	23.4	14.5	10.0	2.5	30.7	84.9
	AGOSTO - 2020	4.1	17.1	16.0	11.4	4.1	32.2	84.9
autunno	SETTEMBRE - 2020	5.8	14.8	8.6	12.5	3.1	37.3	82.1
	OTTOBRE - 2020	1.7	9.0	8.1	18.7	3.9	41.3	82.7
	NOVEMBRE - 2020	1.1	9.0	8.1	18.7	3.9	41.3	82.1
	TOTALE	32.1	157.7	130.3	213.7	55.1	411.2	1000.0

Tabella 4.2-1: Tabella della distribuzione delle frequenze stagionali delle classi di stabilità: anno 2020.

Come si può notare dalla tabella 4.2-1 e dai grafici riportati in figura 4.2-1 e 4.2-2 la classe di stabilità maggiormente rappresentata è la classe più stabile F seguita dalla classe neutrale D, con particolare rilievo in inverno.

 SARTEC Industrial Services & Technologies	ALLEGATO D.5 E D.5.1 ALLA DOMANDA DI AIA FLUORSID SpA	COMMESSA / JOB		UNITÀ / UNIT		
		2021351-ING000		SERVIZI AMBIENTALI		
		SPC No.	AM-RT10019			
		Sh 33 of 57	REV.			
			0			

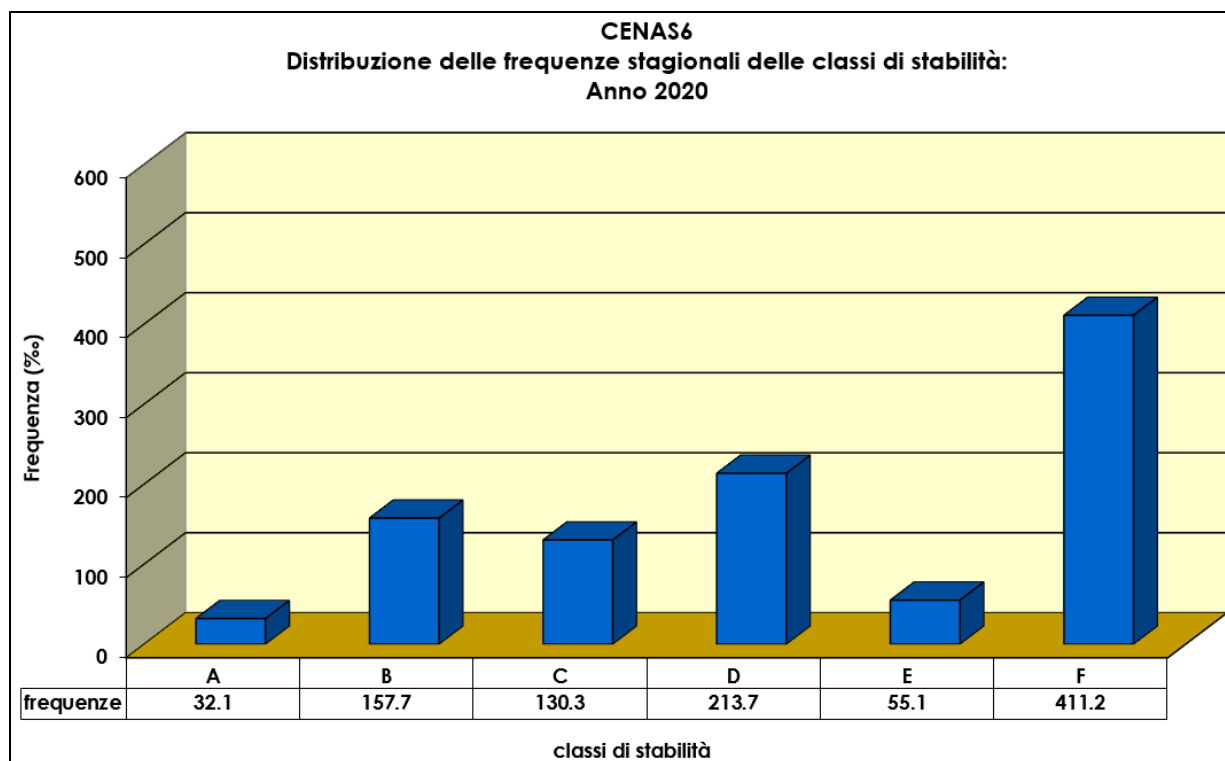


Figura 4.2-1: Grafico della distribuzione delle frequenze stagionali delle classi di stabilità: anno 2020.

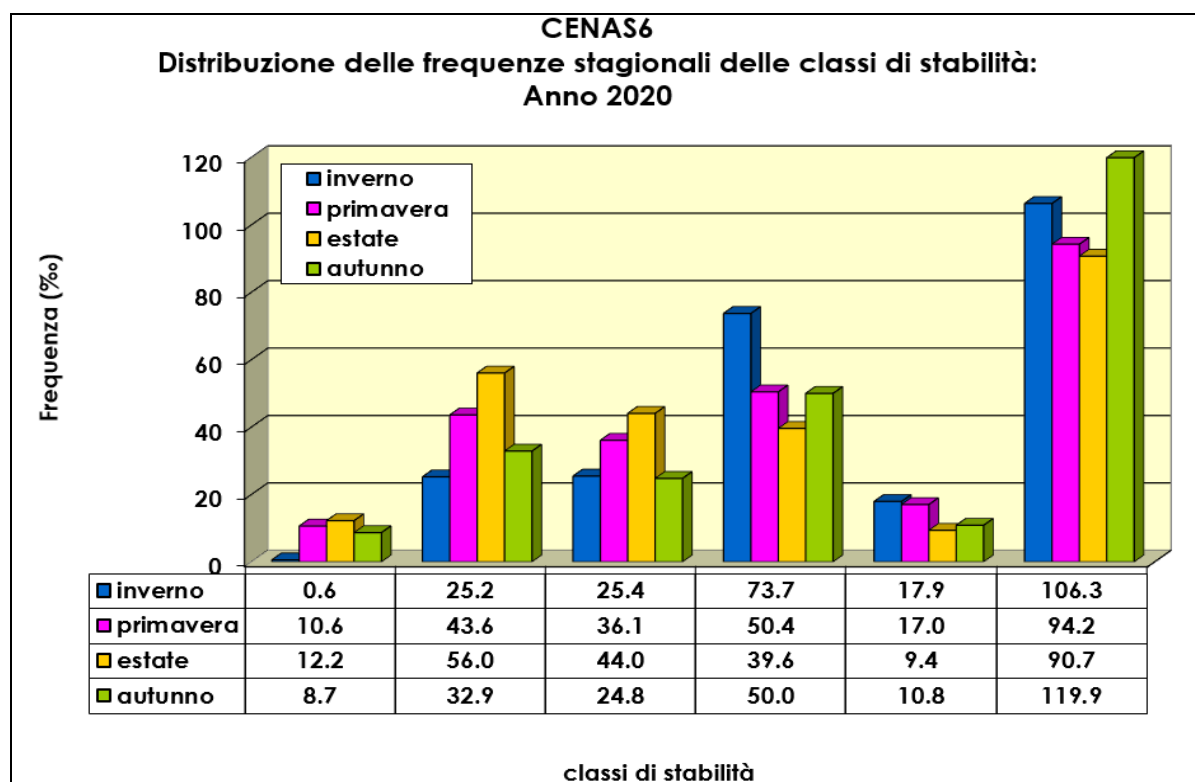



Figura 4.2-2: Grafico dettaglio della distribuzione delle frequenze stagionali delle classi di stabilità: anno 2020.


	ALLEGATO D.5 E D.5.1 ALLA DOMANDA DI AIA FLUORSID SpA	COMMESSA / JOB		UNITÀ / UNIT			
		2021351-ING000		SERVIZI AMBIENTALI			
		SPC No.	AM-RT10019				
		Sh 34 of 57	REV.				
			0				

4.3. DISTRIBUZIONE DELLE FREQUENZE ORARIE DELLE CLASSI DI VELOCITÀ

Per quanto concerne la distribuzione delle classi di velocità del vento, sia dalla tabella 4.3-1 che dal grafico in figura 4.3-1, si evince chiaramente che la classe di velocità del vento presente con maggiore frequenza è quella compresa tra $0.5 \div 2$ m/s (507 ‰), seguita dalla classe compresa tra $2 \div 4$ m/s (308 ‰).

CENTRALINA ARPAS: CENAS6											
DISTRIBUZIONE DELLE FREQUENZE (‰) ANNUALI DELLE CLASSI DI VELOCITÀ - ANNO 2020											
SETTORI			classi di velocità (m/s)								
N°	INTERVALLO (gradi)	SIGLA	[0 - 0.5)	[0.5 - 2)	[2 - 4)	[4 - 6)	[6 - 8)	[8 - 10)	[10 - 12)	> 12	TOTALE
1	(348.75, 360] È (0, 11.25]	N		24.68	8.26	4.59	0.11	0.00	0.00	0.00	37.65
2	(11.25, 33.75]	NNE		8.95	1.15	0.46	0.00	0.00	0.00	0.00	10.56
3	(33.75, 56.25]	NE		4.13	0.46	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.59
4	(56.25, 78.75]	ENE		3.33	1.38	0.23	2.41	0.00	0.00	0.00	7.35
5	(78.75, 101.25]	E		8.95	13.43	15.27	2.41	0.00	0.00	0.00	40.06
6	(101.25, 123.75]	ESE		13.43	29.16	31.91	8.61	2.07	0.00	0.00	85.17
7	(123.75, 146.25]	SE		19.51	31.11	19.28	1.72	0.00	0.00	0.00	71.63
8	(146.25, 168.75]	SSE		14.00	8.84	1.61	0.00	0.00	0.00	0.00	24.45
9	(168.75, 191.25]	S		33.29	39.03	22.84	2.18	0.00	0.00	0.00	97.34
10	(191.25, 213.75]	SSO		16.76	5.28	3.10	0.11	0.00	0.00	0.00	25.25
11	(213.75, 236.25]	SO		28.35	16.30	7.35	0.23	0.11	0.00	0.00	52.34
12	(236.25, 258.75]	OSO		55.21	26.74	11.36	1.61	0.11	0.00	0.00	95.04
13	(258.75, 281.25]	O		72.43	30.76	11.59	1.72	0.34	0.00	0.00	116.85
14	(281.25, 303.75]	ONO		97.34	45.80	12.17	1.61	0.69	0.00	0.00	157.60
15	(303.75, 326.25]	NO		72.54	35.47	11.02	0.69	0.34	0.34	0.00	120.41
16	(326.25, 348.75]	NNO		33.98	15.15	2.98	0.00	0.00	0.00	0.00	52.11
CALME			1.61								1.94
TOTALE			1.61	506.9	308.3	155.8	23.4	3.7	0.3	0.0	1000.0

Tabella 4.3-1: Tabella della distribuzione delle frequenze orarie delle classi di velocità del vento: anno 2020.

	ALLEGATO D.5 E D.5.1 ALLA DOMANDA DI AIA FLUORSID SpA	COMMESSA / JOB		UNITÀ / UNIT			
		2021351-ING000		SERVIZI AMBIENTALI			
		SPC No.	AM-RT10019				
		Sh 35 of 57	REV.				
			0				

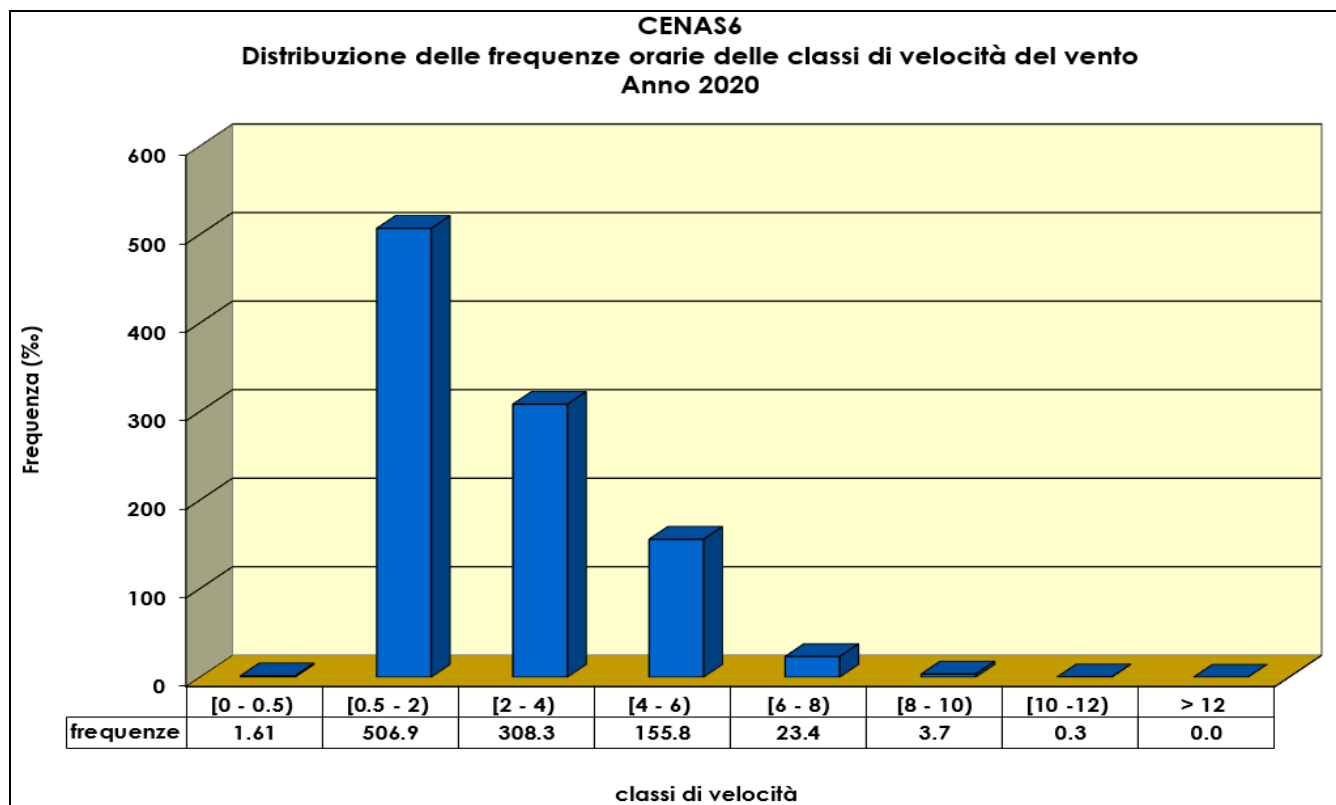



Figura 4.3-1: Grafico della distribuzione delle frequenze orarie stagionali delle classi di velocità del vento:
anno 2020.

	ALLEGATO D.5 E D.5.1 ALLA DOMANDA DI AIA FLUORSID SpA	COMMESSA / JOB		UNITÀ / UNIT			
		2021351-ING000		SERVIZI AMBIENTALI			
		SPC No.	AM-RT10019				
		Sh 36 of 57	REV.				
			0				

4.4. FREQUENZE DELLE ALTEZZE DI RIMESCOLAMENTO

La maggior parte dei fenomeni di inquinamento dell'aria si manifestano nella parte più bassa dell'atmosfera, detta "strato di confinamento planetario" o PBL (Planetary Boundary Layer).

Questo strato è definito come la regione entro la quale l'atmosfera risente degli effetti di superficie attraverso scambi di quantità di moto, calore ed umidità.

Particolarmente significativa risulta l'individuazione dell'altezza di rimescolamento h . Questa è definita come lo spessore dello strato rimescolato, ossia quello strato dell'atmosfera dove avviene il rimescolamento delle masse d'aria.

Nel grafico in figura 4.4-1 si riportano le frequenze di occorrenza delle altezze di rimescolamento suddivise in sei classi: $[0\div100]$ m, $[100\div250]$ m, $[250\div500]$ m, $[500\div1000]$ m, $[1000\div2000]$ m e da 2000 m in poi.

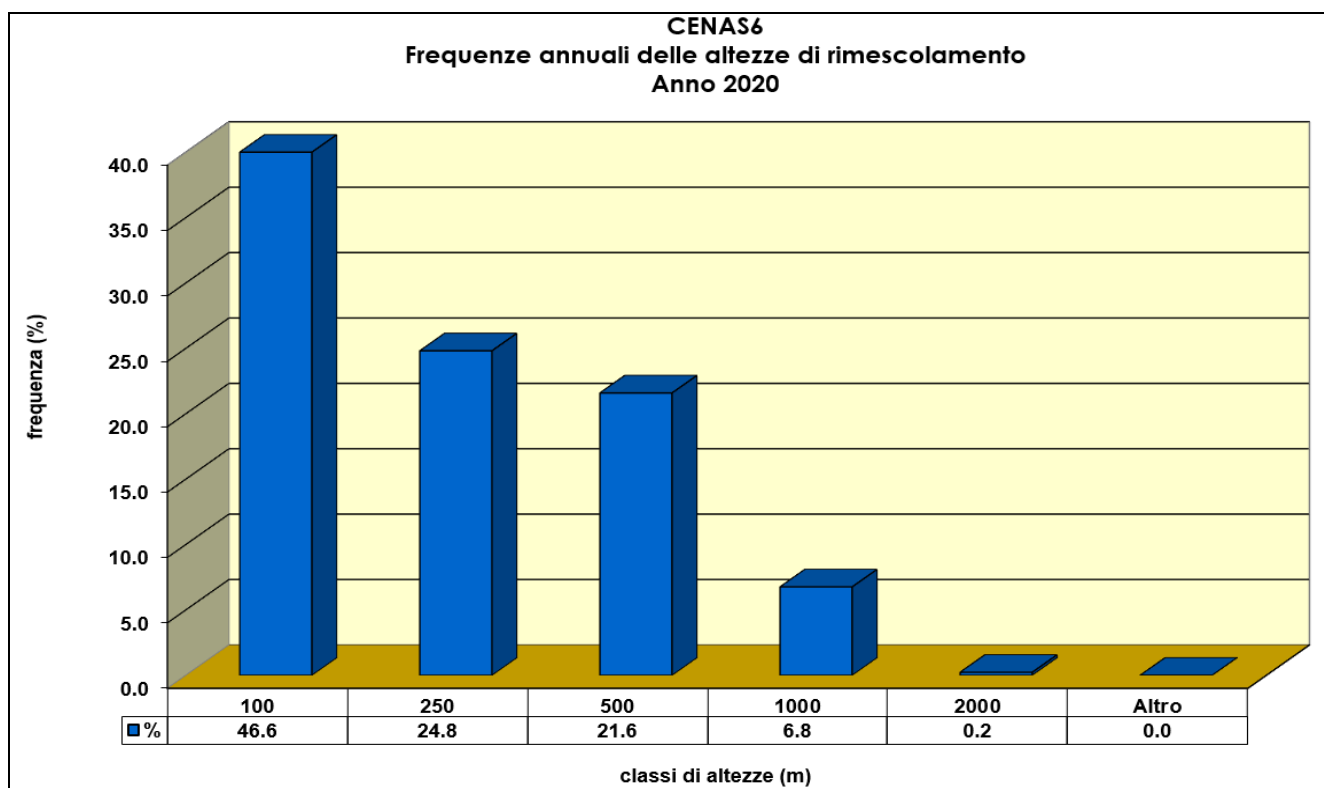



Figura 4.4-1: Grafico delle frequenze annuali delle altezze di rimescolamento: anno 2020.

Dal grafico si osserva una elevata prevalenza della classe $[0\div100]$ m con il 47 %.

	ALLEGATO D.5 E D.5.1 ALLA DOMANDA DI AIA FLUORSID SpA	COMMESSA / JOB		UNITÀ / UNIT			
		2021351-ING000		SERVIZI AMBIENTALI			
		SPC No.	AM-RT10019				
		Sh 37 of 57	REV.				
			0				

5. TEMPERATURA - UMIDITÀ - PIOVOSITÀ - PRESSIONE

Nel grafico in figura 5-1 è illustrato l'andamento delle temperature medie mensili per l'anno 2020.

La temperatura media annua è risultata pari a circa 18°C. A titolo di completamento della descrizione dei dati meteorologici 2020, si riportano i grafici sintetici sull'andamento dell'umidità relativa, della piovosità e della pressione.

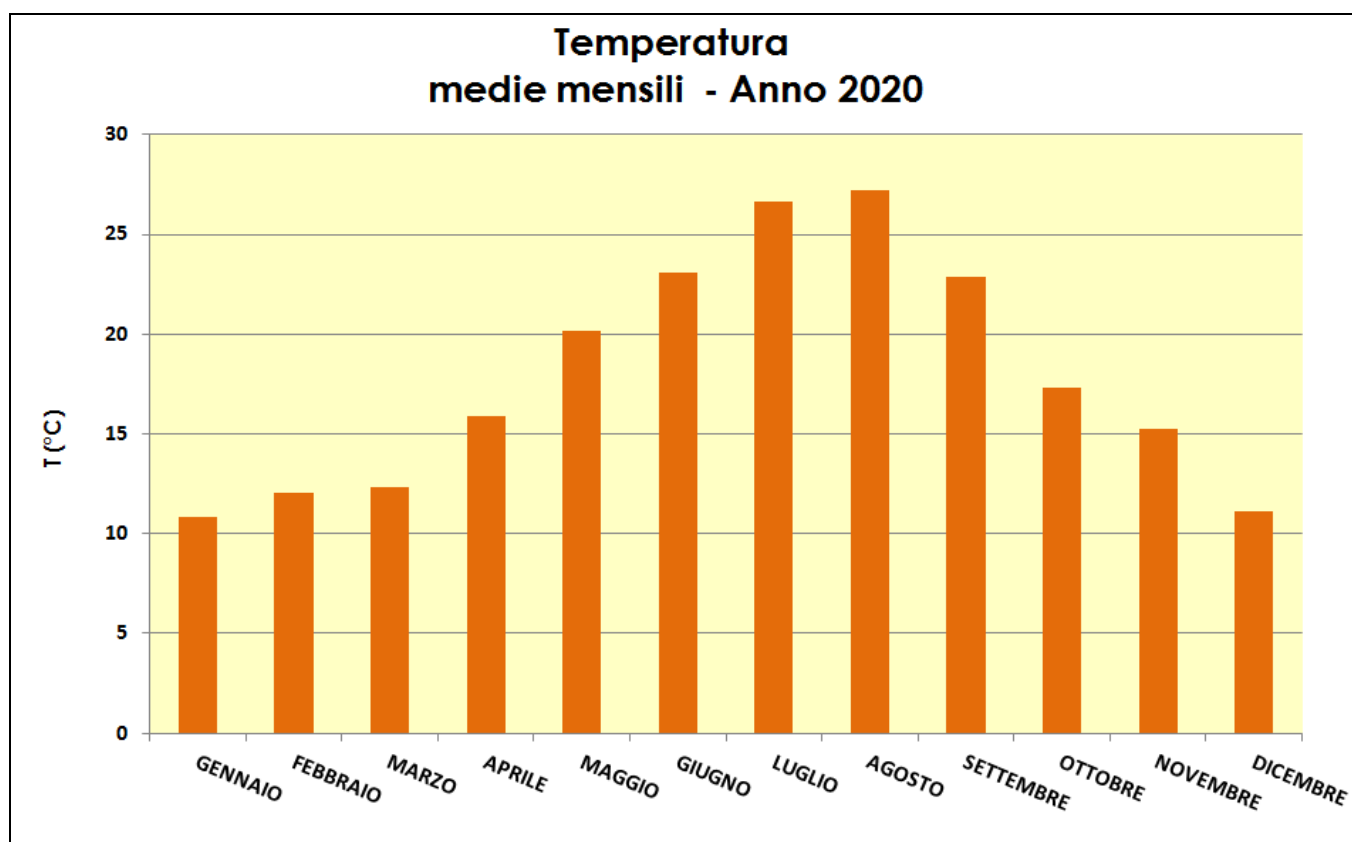



Figura 5-1: Grafico delle temperature medie mensili per l'anno 2020.

	ALLEGATO D.5 E D.5.1 ALLA DOMANDA DI AIA FLUORSID SpA	COMMESSA / JOB		UNITÀ / UNIT			
		2021351-ING000		SERVIZI AMBIENTALI			
		SPC No.	AM-RT10019				
		Sh 38 of 57	REV.				
			0				

L'Umidità relativa (figura 5-2) ha assunto valori elevati nel periodo autunnale e invernale e valori molto bassi nel periodo estivo, con un valor medio annuo pari a circa 71%.

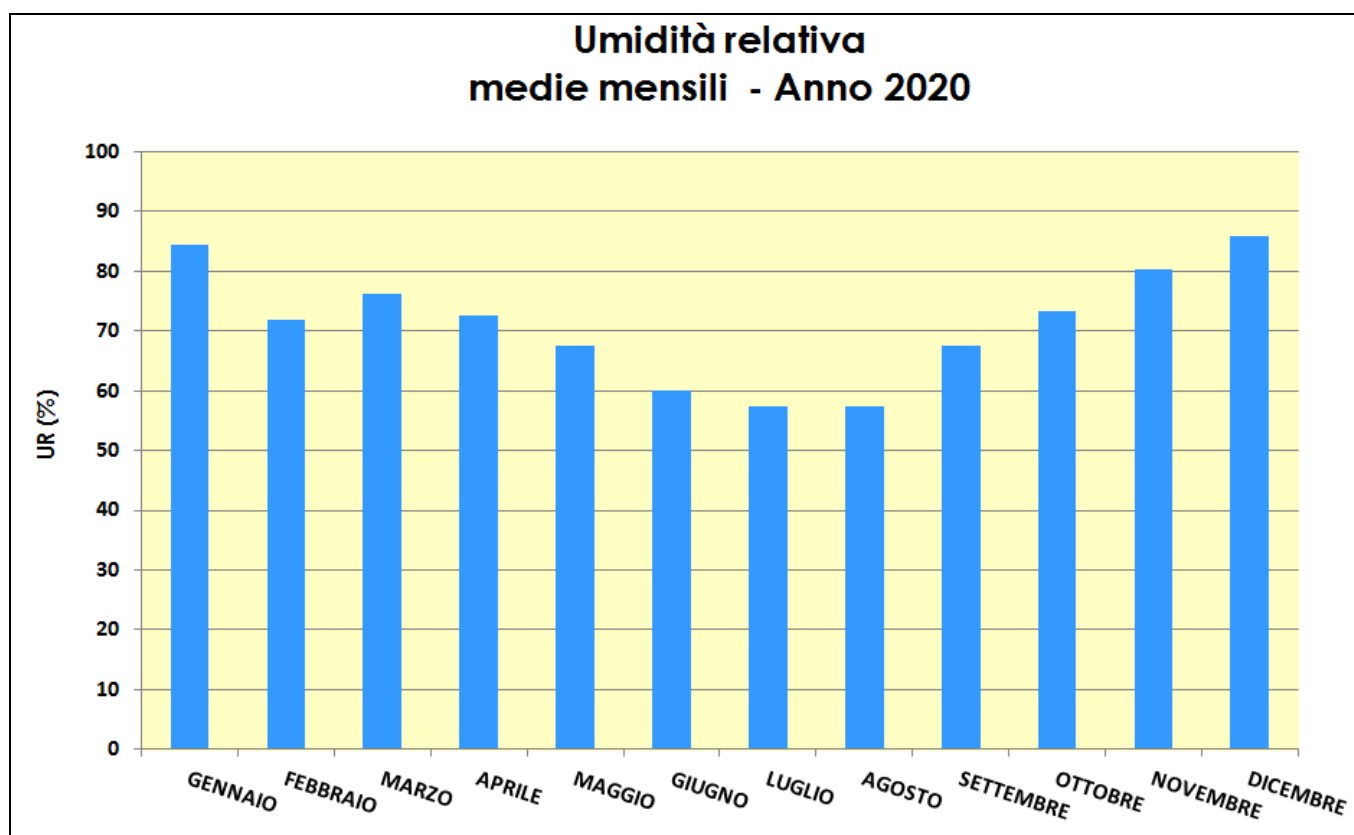



Figura 5-2: Grafico delle umidità relative medie mensili per l'anno 2020.

	ALLEGATO D.5 E D.5.1 ALLA DOMANDA DI AIA FLUORSID SpA	COMMESSA / JOB		UNITÀ / UNIT			
		2021351-ING000		SERVIZI AMBIENTALI			
		SPC No.	AM-RT10019				
		Sh 39 of 57	REV.				
			0				

Le precipitazioni complessive del 2020 arrivano ai 401 mm totali, con valori minimi o nulli nei mesi di gennaio, febbraio e luglio (figura 5-3).

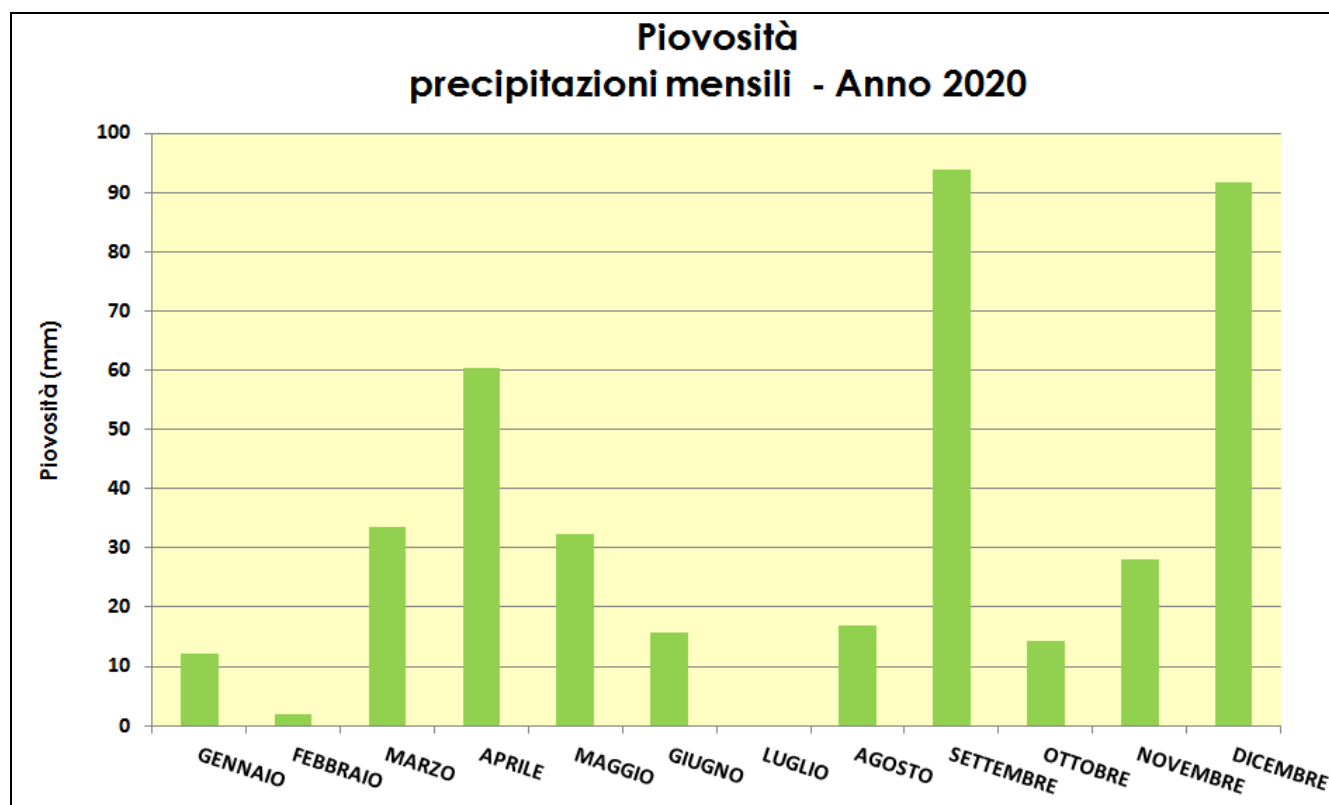



Figura 5-3: Grafico delle precipitazioni mensili per l'anno 2020.

	ALLEGATO D.5 E D.5.1 ALLA DOMANDA DI AIA FLUORSID SpA	COMMESSA / JOB		UNITÀ / UNIT			
		2021351-ING000		SERVIZI AMBIENTALI			
		SPC No.	AM-RT10019				
		Sh 40 of 57	REV.				
			0				

La pressione atmosferica (figura 5-4) ha assunto valori più alti nei mesi di gennaio e febbraio e valori minimi nei mesi estivi, con un valor medio annuo pari a circa 1013 mbar.

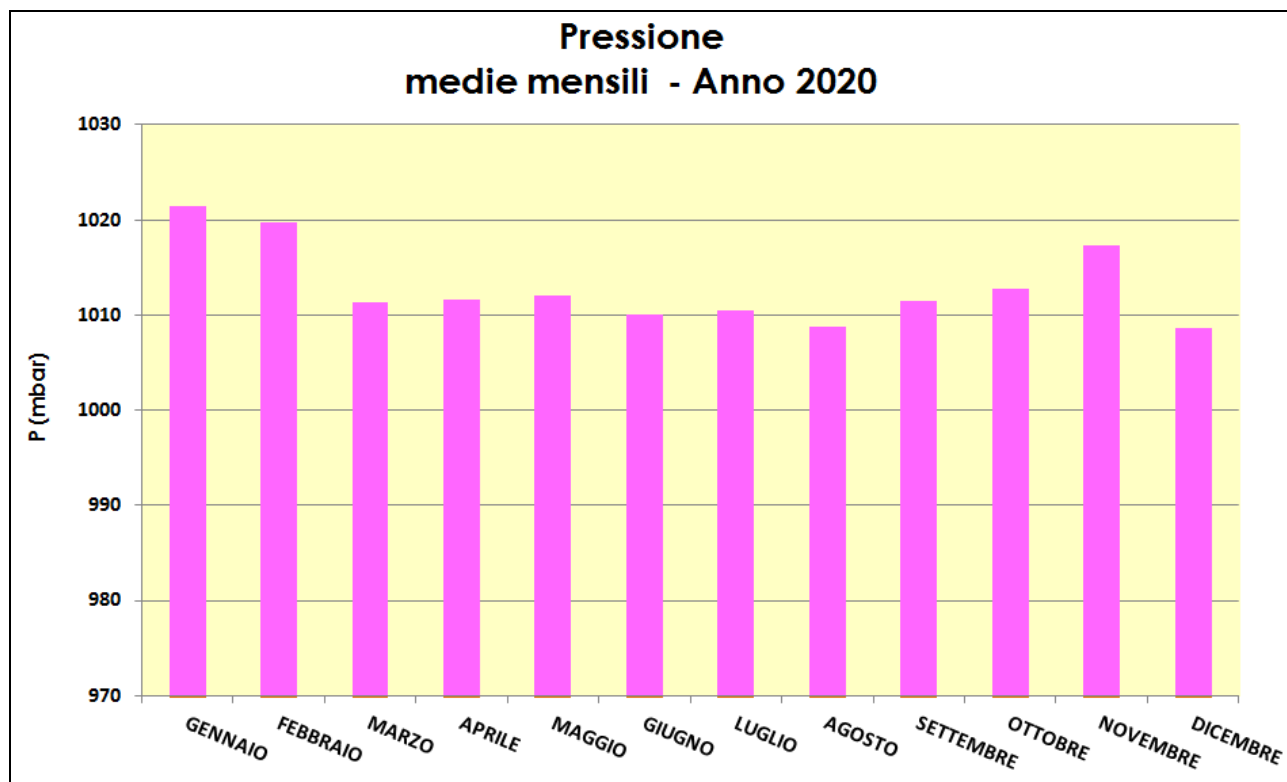



Figura 5-4: Grafico delle precipitazioni mensili per l'anno 2020.

	ALLEGATO D.5 E D.5.1 ALLA DOMANDA DI AIA FLUORSID SpA	COMMESSA / JOB		UNITÀ / UNIT			
		2021351-ING000		SERVIZI AMBIENTALI			
		SPC No.	AM-RT10019				
		Sh 41 of 57	REV.				
			0				

APPENDICE 1 - CRITERI ADOTTATI PER LA DETERMINAZIONE DELLE CLASSI DI STABILITÀ ATMOSFERICA E PER LE ALTEZZE DI RIMESCOLAMENTO

Le classi di stabilità atmosferica sono state ricavate con il criterio di Pasquill, a partire dalla radiazione solare incidente (per le ore diurne) e netta (per le ore notturne) e della velocità del vento, in accordo con la tabella A.1.

Radiazione (W/m^2) RT globale, RN netta	Velocità del vento, VVP(m/s)					
	V<2	2≤V<3	3≤V<4	4≤V<5	5≤V<6	V≥6
Giorno						
RT ≥ 700	A	A	B	B	C	C
540 ≤ RT ≤ 700	A	B	B	B	C	C
400 ≤ RT ≤ 540	B	B	B	C	C	D
270 ≤ RT ≤ 400	B	B	C	C	C	D
140 ≤ RT ≤ 270	C	C	C	D	D	D
RT ≤ 140	D	D	D	D	D	D
Notte						
RN ≥ -20	D	D	D	D	D	D
-40 ≤ RN ≤ -20	F	E	D	D	D	D
RN ≤ -40	F	F	E	E	D	D

Tabella A.1 - Classi di stabilità Pasquill.

	ALLEGATO D.5 E D.5.1 ALLA DOMANDA DI AIA FLUORSID SpA	COMMESSA / JOB		UNITÀ / UNIT		
		2021351-ING000		SERVIZI AMBIENTALI		
		SPC No.	AM-RT10019			
		Sh 42 of 57	REV.			
			0			

Radiazione Netta

Per il calcolo della Radiazione Netta, flusso di energia che rappresenta il bilancio di tutte le componenti radiative all'interfaccia aria suolo, il modello si avvale dell'espressione semiempirica di Holtslag e Van Ulden:

$$R_{n(i,j)} = \frac{(1 - \alpha_{i,j}) * R_{g(i,j)} + c_1 * T_{i,j}^6 + c_2 * N_j - \sigma T_{i,j}^4}{(1 + c_H)}$$

che fornisce la Radiazione Netta dell'ora i-esima e del giorno j-esimo.

In essa si ha:

σ = costante di Stephan-Boltzman (5.67 10⁻⁸ Wm⁻²K⁻⁴)

$\alpha_{i,j}$ = albedo dell'ora i-esima e del giorno j-esimo

$R_{g(i,j)}$ = Radiazione Solare Globale (radiazione solare che giunge al suolo)

N_j = copertura nuvolosa espressa come frazione dell'unità (0-1)

$c_1 * T^6$ = termine correttivo dipendente dalla temperatura dove c_1 è pari a 5.31 *10⁻¹³ W/m²K⁶

$c_2 * N_j$ = termine correttivo dipendente dalla copertura nuvolosa in cui c_2 è pari a 60 W/m²

c_H = termine correttivo calcolabile dalla seguente espressione:

$$c_H = 0.38 * \left[\frac{(1 - \alpha_h) + \frac{\gamma}{s}}{1 + \frac{\gamma}{s}} \right]$$

dove $\frac{\gamma}{s} = \exp(-0.55 * (T_{i,j} - 279))$ mentre $\square\square\square\square$ è un parametro dipendente dal tipo di suolo.

Quest'ultimo assume valori che variano al variare del tipo di suolo, come viene mostrato in tabella A.2:

	ALLEGATO D.5 E D.5.1 ALLA DOMANDA DI AIA FLUORSID SpA	COMMESSA / JOB		UNITÀ / UNIT			
		2021351-ING000		SERVIZI AMBIENTALI			
		SPC No.	AM-RT10019				
		Sh 43 of 57	REV.				
			0				

Tipo di Suolo	α
deserto secco senza pioggia per mesi	0.0 ÷ 0.2
zone rurali aride	0.2 ÷ 0.4
campi coltivati o meno, in periodi secchi	0.4 ÷ 0.6
ambiente urbano	0.5 ÷ 1.0
campi coltivati nei periodi umidi e foreste	0.8 ÷ 1.2
laghi ed oceani	1.2 ÷ 1.4

Tabella A.2 - Valori del parametro α_H .

La variazione dell'albedo durante l'arco della giornata viene espresso dalla relazione:

$$\alpha_{i,j} = \alpha' + (1 - \alpha') * \exp[-0.1 * \bar{\Psi}_{i,j} - 0.5 * (1 - \alpha')^2]$$

dove α' (tabella A.3) è un coefficiente espresso in funzione del tipo di suolo (vedi tabella sotto) e

Ψ è l'angolo di elevazione solare sopra l'orizzonte, la cui espressione relativa all'ora i-esima e al giorno j-esimo è la seguente:

$$\Psi_{i,j} = \arcsin(\sin(\Phi) * \sin(\delta_j) - \cos(\Phi) * \cos(\delta_j) * \cos(\frac{2 * \pi * t_i}{t_d} - \lambda_e))$$

in cui:

ϕ = latitudine

λ = longitudine

t_i = orario riferito a Greenwich

e infine

δ_j è l'angolo di declinazione Solare, la cui espressione è:

$$\delta_j = \Phi_r * \cos(2 * \pi * \frac{(d_j - d_r)}{d_y})$$


in cui:

Φ_r = angolo di inclinazione dell'asse di rotazione terrestre = 23.45° (emisfero nord)

d_j = numero giorno corrente (giorno giuliano)

d_y = numero ultimo giorno dell'anno = 365 (anni non bisestili)

d_r = numero giorno del Solstizio d'Estate = 173 (anni non bisestili)

 SARTEC Industrial Services & Technologies	ALLEGATO D.5 E D.5.1 ALLA DOMANDA DI AIA FLUORSID SpA	COMMESSA / JOB		UNITÀ / UNIT			
		2021351-ING000		SERVIZI AMBIENTALI			
		SPC No.	AM-RT10019				
		Sh 44 of 57	REV.				
			0				

Poiché i calcoli di concentrazione determinati sono mediati nell'arco temporale minimo di un'ora il valore stesso di Ψ viene mediato come segue:

$$\overline{\Psi}_{i,j} = \frac{\Psi_{i,j} + \Psi_{i-1,j}}{2}$$

La copertura nuvolosa N è stimata tramite la relazione empirica di Bristow e Campbell (1984):

$$N_j = \exp[-0.003 * (T_{j,\max} - T_{j,\min})^{2.4}]$$

che è espressa in funzione della massima e minima temperatura giornaliera.

<i>Superficie</i>	<i>Albedo</i>		<i>Superficie</i>	<i>Albedo</i>
neve fresca	0.75 - 0.95		strada non asfaltata	0.18 - 0.35
neve vecchia	0.35 - 0.75		calcestruzzo	0.15 - 0.37
ghiaccio grigio	0.6		edifici	0.09
acqua profonda	0.05 - 0.2		area urbana media	0.15
suolo scuro e umido	0.06 - 0.08		campo incolto	0.05 - 0.12
suolo chiaro e secco	0.16 - 0.18		grano	0.10 - 0.23
suolo rosso	0.17		riso	0.12
argilla umida	0.16		canna da zucchero	0.15
argilla secca	0.23		segale invernale	0.18 - 0.23
terriccio umido	0.16		mais	0.18
terriccio secco	0.23		tabacco	0.19
suolo sabbioso	0.20 - 0.25		patate	0.19
suolo di torba	0.05 - 0.15		cotone	0.20 - 0.22
calce	0.45		sorgo	0.20
gesso	0.55		foreste di conifere	0.05 - 0.15
lava	0.10		foreste decidue	0.10 - 0.25
granito	0.12 - 0.18		prato verde	0.26
sassi	0.20 - 0.30		pascolo verde	0.10 - 0.20
tundra	0.15 - 0.20		savana	0.15
dune di sabbia	0.20 - 0.45		steppa	0.20
strada asfaltata	0.05 - 0.15		deserto	0.20 - 0.35

Tabella A.3 - Coefficiente di albedo integrale α' .

Una delle correlazioni più usate, ed utilizzata in tale lavoro, per il calcolo della radiazione solare è quella ottenuta da De Bruin e Holtslag (1982) e Holtslag e Van Ulden (1983) rianalizzando il lavoro di Kasten e Czeplak (1980):

<div><div>SARTEC Industrial Services & Technologies</div></div>	ALLEGATO D.5 E D.5.1 ALLA DOMANDA DI AIA FLUORSID SpA	COMMESSA / JOB		UNITÀ / UNIT			
		2021351-ING000		SERVIZI AMBIENTALI			
		SPC No.	AM-RT10019				
		Sh 45 of 57	REV.				
			0				

$$\left\{ \begin{array}{l} R_{g(i,j)} = 0 \text{ di notte} \\ R_{g(i,j)} = (a_1 * \sin \bar{\Psi}_{i,j} + a_2) * (1 + b_1 * N_j^{b_2}) \text{ di giorno} \end{array} \right.$$


i parametri b_1 e b_2 valgono rispettivamente -0.75 e 3.4 mentre per i parametri a_1 e a_2 si sono stimati i seguenti valori:

$$a_1 = 873.41 \pm 0.56 \text{ W/m}^2$$

$$a_2 = -6.48 \pm 0.28 \text{ W/m}^2$$

La procedura per la stima dei parametri a_1 e a_2 è stata trattata in Appendice 2.

L'altezza dello strato di rimescolamento è stata calcolata come descritto di seguito.

	ALLEGATO D.5 E D.5.1 ALLA DOMANDA DI AIA FLUORSID SpA	COMMESSA / JOB		UNITÀ / UNIT		
		2021351-ING000		SERVIZI AMBIENTALI		
		SPC No.	AM-RT10019			
		Sh 46 of 57	REV.			
			0			

Altezza di rimescolamento

La maggior parte dei fenomeni di inquinamento dell'aria si manifestano nella parte più bassa dell'atmosfera, detta "strato di confinamento planetario" o PBL (Planetary Boundary Layer). Questo strato è definito come "la regione entro la quale l'atmosfera risente degli effetti di superficie attraverso scambi di quantità di moto, calore ed umidità". Particolarmente significativa risulta l'individuazione dell'altezza di rimescolamento h . Questa è definita come lo spessore dello strato rimescolato, ossia quello strato dell'atmosfera dove avviene il rimescolamento delle masse d'aria.

La determinazione di h è di fondamentale importanza per la caratterizzazione climatologica di un'area specifica, quando si vogliano studiare i problemi legati all'inquinamento atmosferico.

L'altezza di rimescolamento varia in funzione delle condizioni di stabilità atmosferica.

In condizioni neutre od instabili h coincide con l'altezza del PBL z_i , vale a dire con la quota della base dell'inversione termica verticale.

Al contrario, in condizioni stabili h assume valori decisamente inferiori a quelli di z_i , la quale in tal caso è data dalla sommità dell'inversione termica verticale.

Nel calcolo dell'altezza di rimescolamento è necessario stimare alcuni parametri che caratterizzano il PBL:

- la velocità di attrito o friction velocity, u_* ;
- la lunghezza di Monin-Obukhov, L ;
- il flusso di calore superficiale, H_0 .

Altezza di rimescolamento nel CBL

	ALLEGATO D.5 E D.5.1 ALLA DOMANDA DI AIA FLUORSID SpA	COMMESSA / JOB		UNITÀ / UNIT			
		2021351-ING000		SERVIZI AMBIENTALI			
		SPC No.	AM-RT10019				
		Sh 47 of 57	REV.				
			0				

A seguito dell'irraggiamento solare durante le ore diurne le masse d'aria a contatto con la superficie terrestre si riscaldano e salendo verso l'alto, generano moti convettivi, formando così il CBL (Convective Boundary Layer).

Il flusso di calore sensibile scambiato tra la terra e l'atmosfera viene stimato con il metodo di Priestley-Taylor modificato da De Bruin e Holtslag (1982) secondo cui:

$$H_{0(i,j)} = \frac{(1 - \alpha_h) + \gamma / s}{1 + \gamma / s} * \omega * R_{n(i,j)} - \beta \alpha_h$$

dove compaiono due parametri semiempirici α e β che dipendono dal tipo di suolo e soprattutto dal suo contenuto di umidità ed il parametro ω che può assumere valori nell'intervallo (0.8÷0.9). Tuttavia l'esteso uso pratico che si è fatto in questi ultimi decenni di questo modello ha portato ad individuare alcuni valori caratteristici. Per il parametro β , c'è ormai un accordo unanime nell'attribuirgli il valore di 20 (W/m²), indipendentemente dal tipo di superficie considerata e della sua umidità.

La friction velocity viene calcolata mediante l'espressione di Panofsky e Dutton:

$$u_{*(i,j)} = \frac{k * u_{i,j}}{\ln\left(\frac{z_r}{z_0}\right) - \Psi_m\left(\frac{z_r}{L}\right) + \Psi_m\left(\frac{z_0}{L}\right)}$$

dove:


k è la costante di Von Barman, (0.33÷0.43)

$u_{i,j}$ è la velocità del vento all'altezza di riferimento

z_r è l'altezza di riferimento a cui è misurato il vento (in genere 10 m)

z_0 è la rugosità del terreno

I valori di z_0 che sono stati presi in considerazione sono riportati nella tabella A.3.

	ALLEGATO D.5 E D.5.1 ALLA DOMANDA DI AIA FLUORSID SpA	COMMESSA / JOB		UNITÀ / UNIT			
		2021351-ING000		SERVIZI AMBIENTALI			
		SPC No.	AM-RT10019				
		Sh 48 of 57	REV.				
			0				

Land-Use Type		Spring	Summer	Autumn	Winter
1	Water Surface	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
2	Deciduous Forest	1	1.3	0.8	0.5
3	Coniferous Forest	1.3	1.3	1.3	1.3
4	Swamp	0.2	0.2	0.2	0.05
5	Cultivated Land	0.03	0.2	0.05	0.01
6	Grassland	0.05	0.1	0.01	0.001
7	Urban	1	1	1	1
8	Desert Shrubland	0.3	0.3	0.3	0.15

Tabella A.3 - Surface Roughness Length, in Meters, for Land-Use Types and Season (from Sheih et al., 1979).

L è la lunghezza di Monin-Obukhov

$\Psi_m \left(\frac{z_{ref}}{L} \right)$ e $\Psi_m \left(\frac{z_0}{L} \right)$ sono due funzioni che vengono espresse come segue:

$$\Psi_m \left(\frac{z_r}{L} \right) = 2 * \ln \left(\frac{1 + \mu}{2} \right) + \ln \left(\frac{1 + \mu^2}{2} \right) - 2 * \arctan(\mu) + \frac{\pi}{2}$$

$$\Psi_m \left(\frac{z_0}{L} \right) = 2 * \ln \left(\frac{1 + \mu_0}{2} \right) + \ln \left(\frac{1 + \mu_0^2}{2} \right) - 2 * \arctan(\mu_0) + \frac{\pi}{2}$$

in cui:


$$\mu = \left(1 - 16 * \frac{z_r}{L} \right)^{1/4}$$

$$\mu_0 = \left(1 - 16 * \frac{z_0}{L} \right)^{1/4}$$

La lunghezza di Monin-Obukhov viene calcolata tramite la relazione:

$$L = \left(- \frac{\rho * c_p * T_{i,j} * (u'_*)^3}{g * k * H_{i,j}} \right)$$

dove:

	ALLEGATO D.5 E D.5.1 ALLA DOMANDA DI AIA FLUORSID SpA	COMMESSA / JOB		UNITÀ / UNIT		
		2021351-ING000		SERVIZI AMBIENTALI		
		SPC No.	AM-RT10019			
		Sh 49 of 57	REV.			
			0			

g è l'accelerazione di gravità

C_p è il calore specifico dell'aria a pressione costante riferito all'unità di massa

ρ è la densità dell'aria

H è il flusso di calore sensibile calcolato precedentemente.

Si può notare che u^* ed L sono tra loro interdipendenti e quindi risulta impossibile un calcolo immediato di entrambi.

Pertanto, per il calcolo della friction velocity e dell'altezza di Monin-Obukhov si è adottato un metodo ricorsivo che utilizza come valore di primo tentativo :

$$u_*' = \frac{k * u_{i,j}}{\ln\left(\frac{z_r}{z_0}\right)}$$

Il ciclo ha termine quando due valori consecutivi di u^* o di L differiscono tra loro di meno dell'1%.

Nel CBL l'altezza di rimescolamento viene uguagliata al massimo tra i contributi di origine convettiva e meccanica:

$$h_{i,j} = \max\{z_{m(i,j)}, z_{c(i,j)}\}$$

Il calcolo dell'altezza dello strato di mescolamento dovuta a moti convettivi all'interno del CBL, convective mixing height, viene realizzato mediante l'espressione semiempirica di Weil e Brower:

$$z_{ic} * \Theta(z_{ic}) - \int_0^{z_{ic}} \Theta(z) dz = (1 + 2 * A) * \int_0^t \frac{H(t')}{\rho * C_p} dt'$$

dove:

θ è la temperatura potenziale al disopra di z_{ic} ;

A è un coefficiente correttivo introdotto da Deardorff, $A = 0.2$;

z_{ic} è la mixing height convettiva;

t è una certa ora diurna conteggiata a partire dall'alba;

A seguito di studi condotti da Venkatram si è giunti ad una formulazione empirica per l'altezza di rimescolamento dovuta al contributo meccanico:

	ALLEGATO D.5 E D.5.1 ALLA DOMANDA DI AIA FLUORSID SpA	COMMESSA / JOB		UNITÀ / UNIT			
		2021351-ING000		SERVIZI AMBIENTALI			
		SPC No.	AM-RT10019				
		Sh 50 of 57	REV.				
			0				

$$z_{m(ta_j,j)} = 2400 * u_{*(ta_j,j)}^{3/2}$$

Il valore di z_m , così calcolato, porterebbe all'ottenimento di bruschi e poco realistici innalzamenti o abbassamenti del valore di z_m durante le ore di transizione tra la notte e il giorno o durante periodi in cui si hanno rilevanti variazioni di velocità del vento.

Per ovviare a tale inconveniente è stato utilizzato il metodo proposto in AERMET, dove l'altezza di rimescolamento viene ricalcolata come segue :

$$z(t + \Delta t) = z(t)e^{-\Delta t/\tau} + z(t + \Delta t)[1 - e^{-\Delta t/\tau}]$$

Dove:

$$\tau = \frac{z_{im}(t)}{\beta_\tau * u_*(t + \Delta t)}$$

e

$$\beta_\tau = 2$$

<div><div>SARTEC Industrial Services & Technologies</div></div>	ALLEGATO D.5 E D.5.1 ALLA DOMANDA DI AIA FLUORSID SpA	COMMESSA / JOB		UNITÀ / UNIT		
		2021351-ING000		SERVIZI AMBIENTALI		
		SPC No.	AM-RT10019			
		Sh 51 of 57	REV.			
			0			

Altezza di rimescolamento nel SBL

Nel SBL (*Stable Boundary Layer*) la *friction velocity* può essere stimata dalla relazione seguente:

$$u_{*(i,j)} = \frac{C_D * u_{i,j}}{2} \left(1 + \sqrt{1 - \left(\frac{2 * u_0}{\sqrt{C_D} * u_{i,j}} \right)^2} \right)$$

dove:

$$C_D = \frac{k}{\ln\left(\frac{z_r}{z_0}\right)}$$

$$u_0 = \sqrt{\frac{\beta_m * z_r}{k * A}}$$

tale relazione è applicabile solo se la velocità del vento è superiore a un valore critico u_{cr} :

$$u_{cr} = \sqrt{\frac{4 * \beta_m * z_r * g * \Theta_{*(i,j)}}{T_{i,j} * C_D}}$$

in cui $\Theta_{*(i,j)}$ è la temperature scale definita come :

$$\Theta_{*(i,j)} = 0.09 * (1 - 0.5 * N_j^2)$$

Per velocità inferiori, $u < u_{cr}$ il modello presuppone la validità delle seguenti relazioni di proporzionalità:

$$\Theta_{*(i,j)} = \Theta_{*(cr)} \frac{u_{i,j}}{u_{cr}}$$

$$u_{*(i,j)} = u_{*(cr)} \frac{u_{i,j}}{u_{cr}}$$

	ALLEGATO D.5 E D.5.1 ALLA DOMANDA DI AIA FLUORSID SpA	COMMESSA / JOB		UNITÀ / UNIT		
		2021351-ING000		SERVIZI AMBIENTALI		
		SPC No.	AM-RT10019			
		Sh 52 of 57	REV.			
			0			

Recependo i risultati degli studi condotti da Hanna e Weil, si fissa il valore massimo del prodotto

$$[\Theta_* * u_*]_{max} = 0.05 \, mKs^{-1}$$

Nel caso in cui si ottengano valori per la friction velocity e per la temperature scale tali che $\Theta_* * u_* > 0.05 mKs^{-1}$, Θ_* è ricalcolato come $\Theta_* = 0.05 / u_*$ ed utilizzato per un nuovo calcolo di u_* .


Ricavata la friction velocity, la temperature scale viene ricalcolata con la nuova u_* come $\Theta_* = 0.05 / u_*$.

Una volta stimata la velocità di attrito e l'altezza di Monin-Obukhov

$$L = \left(\frac{T_{(i,j)} * u_{*(i,j)}^2}{g * k * \Theta_{*(i,j)}} \right)$$

si passa al calcolo dell'altezza di rimescolamento pari al contributo di tipo meccanico:

$$h_{i,j} = 2400 * u_{*(i,j)}^{3/2}.$$

	ALLEGATO D.5 E D.5.1 ALLA DOMANDA DI AIA FLUORSID SpA	COMMESSA / JOB		UNITÀ / UNIT			
		2021351-ING000		SERVIZI AMBIENTALI			
		SPC No.	AM-RT10019				
		Sh 53 of 57	REV.				
			0				

APPENDICE 2 - STIMA DEI PARAMETRI METEOROLOGICI SITO SPECIFICI

Stima dei parametri a_1 e a_2 della espressione della Radiazione Globale $R_{g(i,j)}$ di De Bruin e Holtslag (1982) e Holtslag e Van Ulden (1983)

Per stimare i parametri a_1 e a_2 della espressione:

$$R_{g(i,j)} = (a_1 * \sin \bar{\Psi}_{i,j} + a_2) * (1 + b_1 * N_j^{b_2})$$

che fornisce la Radiazione Globale dell'ora i-esima e del giorno j-esimo, in funzione dell'angolo medio di elevazione solare $\bar{\Psi}_{i,j}$, e della nuvolosità N_j , è stato applicato il metodo dei minimi quadrati.

I parametri a_1 e a_2 dipendono dalle caratteristiche sito-specifiche dell'area in esame (latitudine, longitudine stato di inquinamento dell'aria, ...) mentre i parametri b_1 e b_2 sono indipendenti dalle caratteristiche sito-specifiche dell'area in esame.

La funzione che esprime $R_{g(i,j)}$ è una funzione lineare nei parametri a_1 e a_2 , ossia non ci sono termini in cui i due parametri siano tra loro moltiplicati o divisi. Questo comporta che il metodo dei minimi quadrati, applicato per la determinazione di a_1 e a_2 , ha una soluzione analitica.

Si ricorda che il metodo dei minimi quadrati prevede che il valore dei parametri a_1 e a_2 che permettono di realizzare il "fit" migliore tra i valori sperimentali misurati della Radiazione Globale ($R_{g(i,j)}^{sperimentale}$) e i valori teorici ($R_{g(i,j)}^{teorico}$) forniti dalla relazione di $R_{g(i,j)}$ suposta sono i valori che rendono minima la somma:

	ALLEGATO D.5 E D.5.1 ALLA DOMANDA DI AIA FLUORSID SpA	COMMESSA / JOB		UNITÀ / UNIT			
		2021351-ING000		SERVIZI AMBIENTALI			
		SPC No.	AM-RT10019				
		Sh 54 of 57	REV.				
			0				

$$S = \sum_{i=1}^n \left[\frac{R_{g(i,j)}^{sperimentale} - R_{g(i,j)}^{teorico}}{\delta_{i,j}} \right]^2 = \sum_{i=1}^n \left[\frac{R_{g(i,j)}^{sperimentale} - f(x_{i,j}; a_1, a_2)}{\delta_{i,j}} \right]^2$$

in cui compare il termine $\delta_{i,j}$ che rappresenta l'errore sperimentale sulla Radiazione Globale misurata $R_{g(i,j)}^{sperimentale}$ dell'ora i-esima del giorno j-esimo e la variabile indipendente $x_{i,j} = \sin \bar{\Psi}_{i,j}$.
Si noti che la somma è estesa alle ore i del giorno j-esimo.

Per trovare i valori di a_1 e a_2 che rendono minima la espressione di S l'analisi matematica prevede che si debba risolvere il sistema di equazioni:

$$\frac{\partial S}{\partial a_k} = 0$$

con l'indice k che assume i valori interi compresi tra 1 ed il numero di parametri da determinare, nel nostro caso k=1, 2.

La struttura della funzione $f(x_{i,j}; a_k)$ comporta che il sistema possa essere o meno risolto analiticamente. Nel caso in esame è stato già osservato che la $f(x_{i,j}; a_k)$ è lineare nei suoi parametri a_1 e a_2 pertanto procediamo alla risoluzione analitica del sistema.

Per semplicità di calcolo riscriviamo la funzione $f(x_{i,j}; a_1, a_2)$ nel modo seguente:

$$R_{g(i,j)} = f(x_{i,j}; a_1, a_2) = (a_1 * \sin \bar{\Psi}_{i,j} + a_2) * (1 + b_1 * N_j^{b_2}) = (a_1 * x_{i,j} + a_2) * K$$

$$\text{con } K = (1 + b_1 * N_j^{b_2}).$$

Considerando le derivate parziali prime della funzione S rispetto ai parametri a_1 e a_2 si hanno le equazioni:

$$\begin{cases} \frac{\partial S}{\partial a_1} = 0 \\ \frac{\partial S}{\partial a_2} = 0 \end{cases} = \begin{cases} a_1 * D + a_2 * A = E \\ a_1 * A + a_2 * B = C \end{cases}$$

<div><div>SARTEC Industrial Services & Technologies</div></div>	ALLEGATO D.5 E D.5.1 ALLA DOMANDA DI AIA FLUORSID SpA	COMMESSA / JOB		UNITÀ / UNIT		
		2021351-ING000		SERVIZI AMBIENTALI		
		SPC No.	AM-RT10019			
		Sh 55 of 57	REV.			
			0			

in cui, per semplificare le notazioni, sono stati definiti i termini:

$$\left\{ \begin{array}{l} A = K^2 * \sum_{i=1}^n \frac{\sin \bar{\Psi}_{i,j}}{\delta_{i,j}^2} \\ B = K^2 * \sum_{i=1}^n \frac{1}{\delta_{i,j}^2} \\ C = K * \sum_{i=1}^n \frac{R_{g(i,j)}}{\delta_{i,j}^2} \\ D = K^2 * \sum_{i=1}^n \frac{\sin^2 \bar{\Psi}_{i,j}}{\delta_{i,j}^2} \\ E = K * \sum_{i=1}^n \frac{\sin \bar{\Psi}_{i,j} * R_{g(i,j)}}{\delta_{i,j}^2} \end{array} \right.$$

La soluzione del sistema risulta essere:

$$\left\{ \begin{array}{l} a_1 = \frac{E * B - C * A}{DB - A^2} \\ a_2 = \frac{D * C - A * E}{DB - A^2} \end{array} \right.$$

Per calcolare gli errori sui parametri a_k ($k=1, 2$) occorre applicare la propagazione dell'errore alle funzioni di a_1 e a_2 :

$$\delta_{a_k}^2 = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial a_k}{\partial R_{g(i,j)}} * \delta_{i,j} \right)^2$$

Applicando la propagazione dell'errore si ottiene:

$$\left\{ \begin{array}{l} \delta_{a_1} = \sqrt{\frac{B}{(DB - A^2)}} \\ \delta_{a_2} = \sqrt{\frac{D}{(DB - A^2)}} \end{array} \right.$$

	ALLEGATO D.5 E D.5.1 ALLA DOMANDA DI AIA FLUORSID SpA	COMMESSA / JOB		UNITÀ / UNIT			
		2021351-ING000		SERVIZI AMBIENTALI			
		SPC No.	AM-RT10019				
		Sh 56 of 57	REV.				
			0				

Gli stessi risultati si sarebbero ottenuti se si fosse costruito la matrice covarianza o degli errori $V_{i,j}$.

Ricordiamo che la matrice inversa della matrice degli errori è:

$$(V^{-1})_{l,m} = \frac{1}{2} * \frac{\partial^2 S}{\partial a_l \partial a_m}$$

dove le derivate seconde sono valutate in condizione di minimo.

Si può mostrare che gli elementi della diagonale principale della matrice sono le varianze empiriche dei parametri a_1 e a_2 mentre gli elementi fuori diagonale sono le covarianze tra i parametri a_1 e a_2 .

$$V = \begin{pmatrix} \delta_{a_1}^2 & \text{cov}(a_1, a_2) \\ \text{cov}(a_2, a_1) & \delta_{a_2}^2 \end{pmatrix}$$

da cui:

$$\left\{ \begin{array}{l} \delta_{a_1} = \sqrt{\frac{B}{(DB - A^2)}} \\ \delta_{a_2} = \sqrt{\frac{D}{(DB - A^2)}} \\ \text{cov}(a_1, a_2) = \text{cov}(a_2, a_1) = \frac{-A}{(DB - A^2)} \end{array} \right.$$

	ALLEGATO D.5 E D.5.1 ALLA DOMANDA DI AIA FLUORSID SpA	COMMESSA / JOB		UNITÀ / UNIT			
		2021351-ING000		SERVIZI AMBIENTALI			
		SPC No.	AM-RT10019				
		Sh 57 of 57	REV.				
			0				

Per completare il processo è necessario testare la “qualità del fit”.

Si è applicato il noto criterio del χ^2 .

Si sono presi in considerazione i valori misurati di $R_{g(i,j)}^{sperimentale}$ di diversi giorni dell'anno meteorologico medio che abbiamo ottenuto mediando i 6 anni compresi tra il 2001 ed il 2006.

I valori ottenuti per i parametri sono stati:

$$a_1 = 873.41 \pm 0.56 \text{ W/m}^2$$

$$a_2 = -6.48 \pm 0.28 \text{ W/m}^2$$

Poiché il numero dei gradi di libertà per ogni campione giornaliero di dati sperimentali (24 valori) è pari a 22 ed il valore del χ^2 è pari a 12 otteniamo che:

$$P(\chi^2 > 12) = 95\%$$

concludiamo che il “fit” è ampiamente accettabile.