

## **IL PROBLEMA DELLA VALUTAZIONE DELL'ESPOSIZIONE DELLA POPOLAZIONE**

**Applicazione della teoria degli insiemi sfumati per la definizione dell'indice FEAI.  
Studio della rete regionale di qualità dell'aria e dell'esposizione  
con mappe fuzzy di analogia ambientale.**

Dott.ssa Anna Abita  
([abita@arpa.sicilia.it](mailto:abita@arpa.sicilia.it))

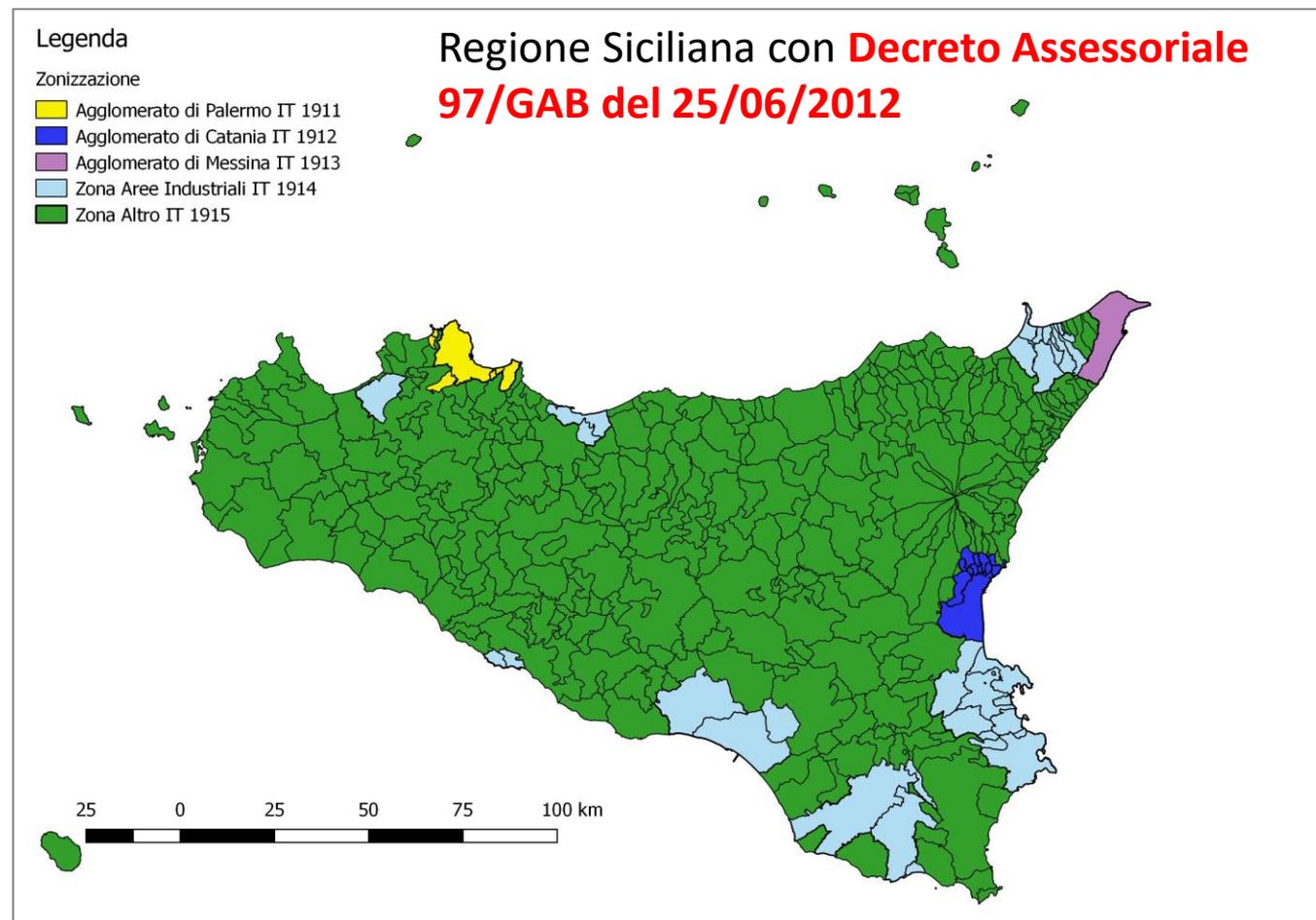
Ing. Giuseppe Madonia  
([gmadonia@arpa.sicilia.it](mailto:gmadonia@arpa.sicilia.it))

Prof.ssa ing. MariaRosa Giardina  
([mgiardina@din.unipa.it](mailto:mgiardina@din.unipa.it))

Ing. Pietro Buffa  
([pietro.buffa@din.unipa.it](mailto:pietro.buffa@din.unipa.it))

## D.LGS. 155/10 – ZONE OMOGENEE DI QUALITA' DELL'ARIA

Il D.Lgs. n. 155 del 13 agosto 2010 ha introdotto indicazioni precise circa i criteri che le Regioni e le Province autonome sono tenute a seguire per la suddivisione dei territori di competenza **in zone di qualità dell'aria**, al fine di assicurare omogeneità alle procedure applicate sul territorio nazionale e diminuire il numero complessivo di zone. Per conformarsi alle disposizioni del decreto e collaborare al processo di armonizzazione messo in atto dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare tramite il Coordinamento istituito all'articolo 20 del decreto 155/2010, la Regione Siciliana con **Decreto Assessoriale 97/GAB del 25/06/2012** ha modificato la zonizzazione regionale precedentemente in vigore, individuando cinque zone di riferimento, sulla base delle caratteristiche orografiche, meteo-climatiche, del grado di urbanizzazione del territorio regionale, nonché degli elementi conoscitivi acquisiti con i dati del monitoraggio e con la redazione dell'Inventario regionale delle emissioni in aria ambiente (Appendice I del D.Lgs. 155/2010).



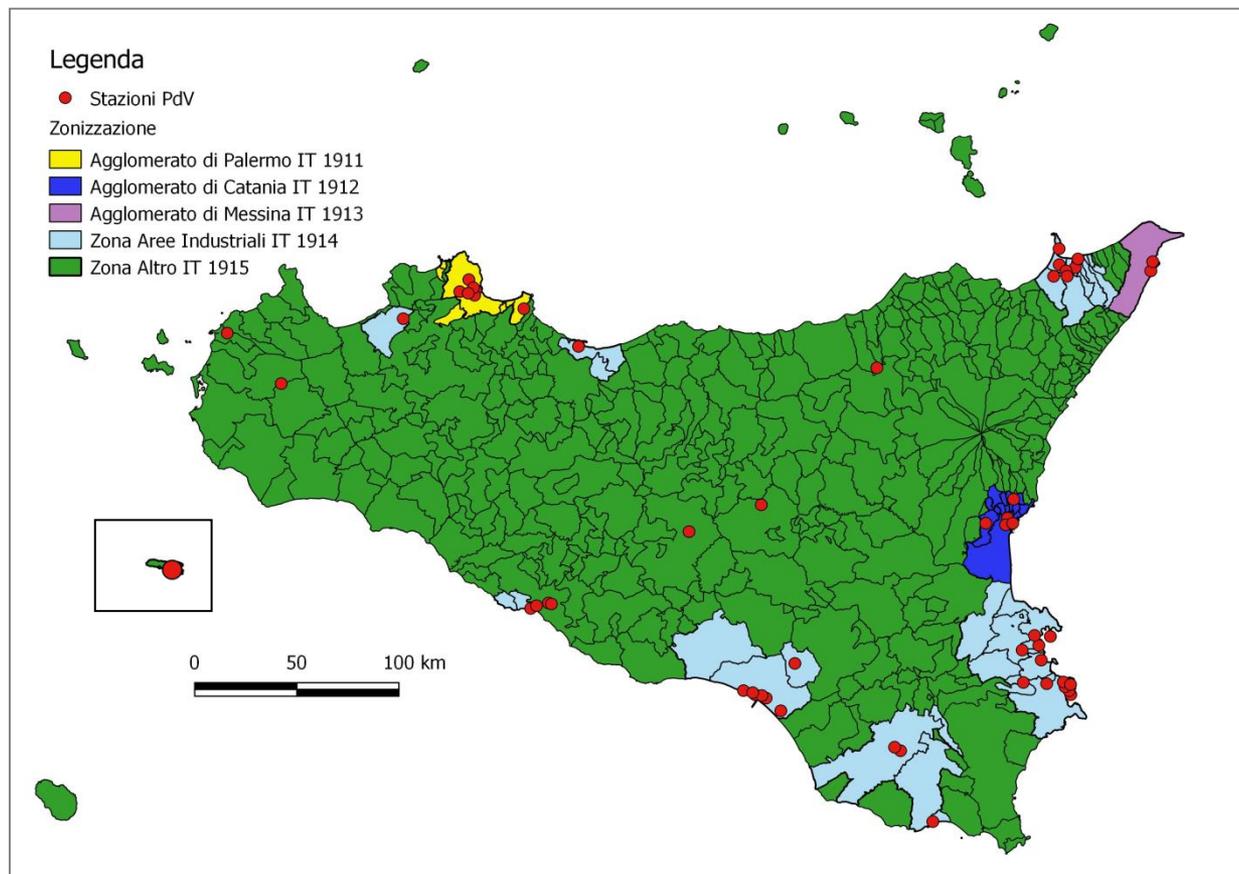
Sebbene nel PdV non sia stata prevista alcuna stazione industriale, due delle stazioni poste nell'AERCA di Siracusa:

**Augusta - Megara** e  
**Augusta - Marcellino**,

gestite da ARPA Sicilia, e non riportate nella precedente tabella, vengono mantenute attive per il monitoraggio del benzene e degli idrocarburi non metanici.

In particolare la stazione Augusta - Marcellino, limitrofa agli stabilimenti industriali, è mantenuta operativa anche perché prevista nella rete regionale di monitoraggio, come riferimento aereo per la valutazione modellistica degli inquinanti monitorati (benzene).

## UBICAZIONE STAZIONI



## IL MODELLO AMBIENTALE FUZZY

Le attività di ricerca oggetto della Convenzione tra ARPA Sicilia ed il D.I. UniPA, hanno condotto allo sviluppo di strumenti di calcolo capaci di **INDIVIDUARE**, sul territorio siciliano, **AREE GEOGRAFICHE CON ANALOGIE DAL PUNTO DI VISTA DELLE PRESSIONI AMBIENTALI** concatenate a sorgenti antropiche e naturali di tipo puntuale, lineare e areale.

**NON E' UN MODELLO DI DISPERSIONE!**

In particolare, sono stati definiti i seguenti **NUOVI INDICI AMBIENTALI**, basati sulla logica FUZZY:

- **IPA (INDICE DI PRESSIONE ANTROPICA)**, che permette di analizzare relazioni tra le caratteristiche orografiche del territorio e le emissioni di inquinanti, tratte dall'inventario delle emissioni 2012 di ARPA Sicilia;
- **IPM (INDICE DI PRESSIONE METEOROLOGICA)**, che consente d'indagare affinità connesse ai campi di vento tridimensionali, in celle confinanti del dominio di calcolo;
- **FEAI (INDICE DI ANALOGIA AMBIENTALE DEL TERRITORIO)**, che, in qualità di indice composito di IPA e IPM, permette di rilevare **analogie ambientali tra aree limitrofe** per il territorio di interesse.

## IL MODELLO AMBIENTALE FUZZY

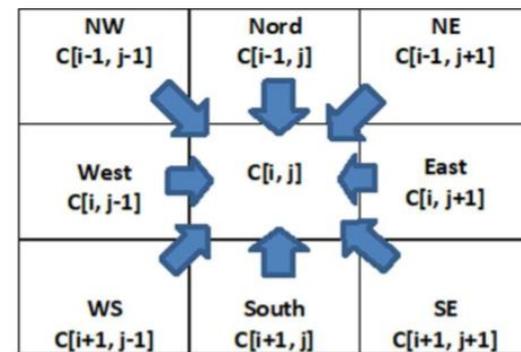
### INDICE PRESSIONE METEOROLOGICA

77 stazioni superficiali + 1 Radiosonda  
[60 SIAS – 13 WMO – 4 rete Mareografica]

IL CALCOLO DELL'INDICE IPM VIENE FATTO PER CIASCUNO DEI PRIMI TRE STRATI VERTICALI CHE, NELLE SIMULAZIONI CALMET, SCHEMATIZZANO LE CONDIZIONI ATMOSFERICHE IN QUOTA A 10, 20, 40 M.

Un algoritmo elabora i dati CALMET e crea l'input per l'applicazione del modello Fuzzy.

In dettaglio, i valori della velocità e frequenza del vento attribuiti da CALMET nelle otto celle, confinanti alla cella  $C_{i,j}$ , vengono utilizzati come input nel processo di inferenza



Schematizzazione della cella  $C[i,j]$  del dominio di calcolo utilizzata per l'elaborazione degli indici IPM  $[i,j]$  e dell'indicatore ICO  $[i,j]$

Il valore finale dell'indice IPM è attribuito alla cella  $C[i,j]$ , essendo questa la cella oggetto di pressioni meteorologiche da parte delle otto celle adiacenti. **Questo approccio permette di prendere in considerazione**, nella stessa combinazione di calcolo, **le otto direzioni del vento** (North, NE, East, SE, South, WS, West, NW) che influenzano, con maggiore o minore frequenza, la cella  $C[i,j]$ . Questa procedura viene applicata per tutte le celle del dominio di calcolo e per ciascuno dei tre strati atmosferici verticali descritti in precedenza.

**I risultati riguardanti i tre strati atmosferici verticali della singola cella vengono, infine, sommati.**

## IPM FUZZIFICATION

## REGOLE LINGUISTICHE

### MODELLO FUZZY PER LA VALUTAZIONE DEGLI INDICI IPM E IPA E CALCOLO DELL'INDICE FEAI

Di seguito vengono descritte le procedure utilizzate per la definizione degli insiemi Fuzzy dei parametri impiegati per il calcolo degli indici IPM e IPA, la costruzione del modello Fuzzy e gli algoritmi messi a punto per l'applicazione dei modelli. I vari algoritmi sono stati scritti utilizzando il linguaggio di programmazione R-CRAN.

### L'INDICE IPM

L'indice IPM è stato sviluppato utilizzando le seguenti variabili:

- velocità del vento (WS) [m/s];
- frequenza del vento (WF), in percentuale [%].



Tale scala è stata utilizzata anche per la distribuzione della frequenza del vento sulla base di cinque classi di frequenza e otto direzioni. Tale classificazione viene realizzata attraverso il postprocessore Metseries (Scire et al., 2000), opportunamente modificato per elaborare le velocità del vento calcolate attraverso il codice Calmet.

**PER DEFINIRE LE REGOLE LINGUISTICHE DI WS** è stata utilizzata La scala di Beaufort (Barua, 2005), riguardante le condizioni osservate delle velocità del vento in mare o sulla terra

Scala di Beaufort				
Grado Beaufort	Velocità del Vento (Km/h)	Descrizione	Icona	Condizioni sul Territorio
0	0	Calmo		Il fumo sale verticalmente.
1	1 - 6	Bava di Vento		Movimento del vento visibile dal fumo.
2	7 - 11	Brezza Leggera		Si sente il vento sulla pelle nuda. Le foglie frusciano.
3	12 - 19	Brezza Tesa		Foglie e rami più piccoli in movimento costante.
4	20 - 29	Vento Moderato		Sollevamento di polvere e carta. I rami sono agitati.
5	30 - 39	Vento Teso		Oscillano gli arbusti con foglie. Si formano piccole onde nelle acque interne.
6	40 - 50	Vento Fresco		Movimento di grossi rami. Difficoltà ad usare l'ombrello.
7	51 - 62	Vento Forte		Interi alberi agitati. Difficoltà a camminare contro vento.
8	63 - 75	Burrasca		Ramoscelli strappati dagli alberi. Generalmente è impossibile camminare contro vento.
9	76 - 87	Burrasca Forte		Leggeri danni alle strutture. Camini e tegole asportati.
10	88 - 102	Tempesta		Sradicamento di alberi. Considerevoli danni strutturali.
11	103 - 117	Tempesta Violenta		Vasti danni strutturali.
12	> 118	Uragano		Danni ingenti ad estesi alle strutture.

## IPM FUZZIFICATION

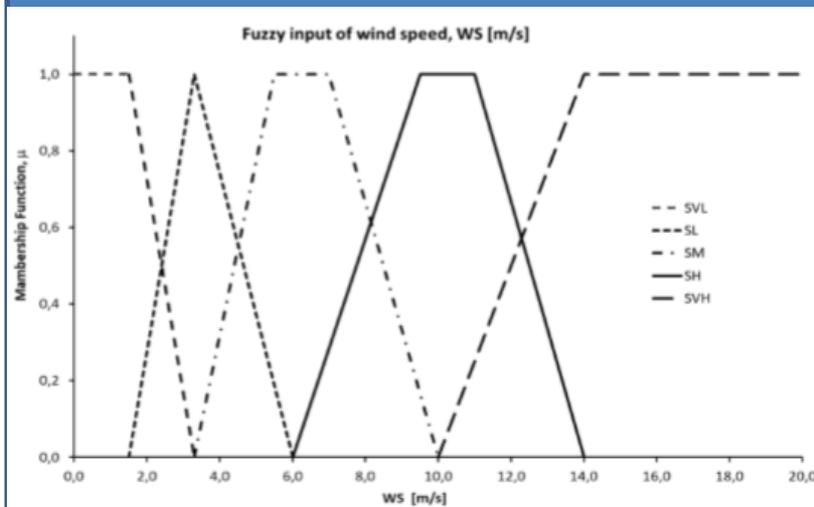
## REGOLE LINGUISTICHE

### MODELLO FUZZY PER LA VALUTAZIONE DEGLI INDICI IPM E IPA E CALCOLO DELL'INDICE FEAI

I dati di velocità e frequenza del vento, utilizzati per i calcoli su un dominio costituito da una griglia regionale e maglie (celle) di risoluzione 3x3 km, sono stati ottenuti effettuando simulazioni con il codice 3-D CALMET.

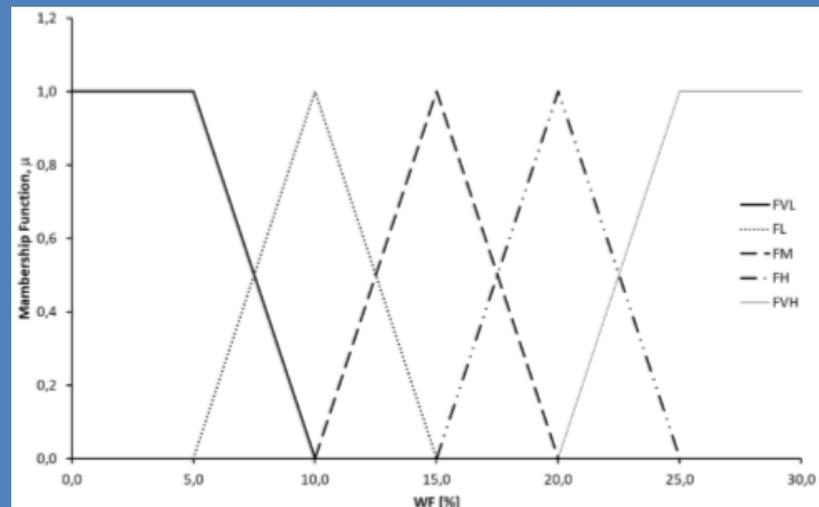
### Regole linguistiche WS

Linguistic value of WS parameter [m/s]	Fuzzy linguistic number ( $x_1; x_2; x_3; x_4$ ); ( $x_1; x_2; x_3$ )*	Weight $W_{WS}$
Very Low (SVL)	(0; 1.5; 3.3)	1/5 = 0.2
Low (SL)	(1.5; 3.3; 6)	2/5 = 0.4
Medium (SM)	(3.3; 5.5; 7; 10)	3/5 = 0.6
High (SH)	(6; 9.5; 11; 14)	4/5 = 0.8
Very High (SVH)	(10; 14; 100; 100)	1



### Regole linguistiche WF

Linguistic value of WF parameter [%]	Fuzzy linguistic number ( $x_1; x_2; x_3; x_4$ ); ( $x_1; x_2; x_3$ )	weight $W_{WF}$
Very Low (FVL)	(0; 0; 5; 10)	1/5 = 0.2
Low (FL)	(5; 10; 15)	2/5 = 0.4
Medium (FM)	(10; 15; 20)	3/5 = 0.6
High (FH)	(15; 20; 25)	4/5 = 0.8
Very High (FVH)	(20; 25; 100; 100)	1



## IPM FUZZIFICATION

## REGOLE LINGUISTICHE

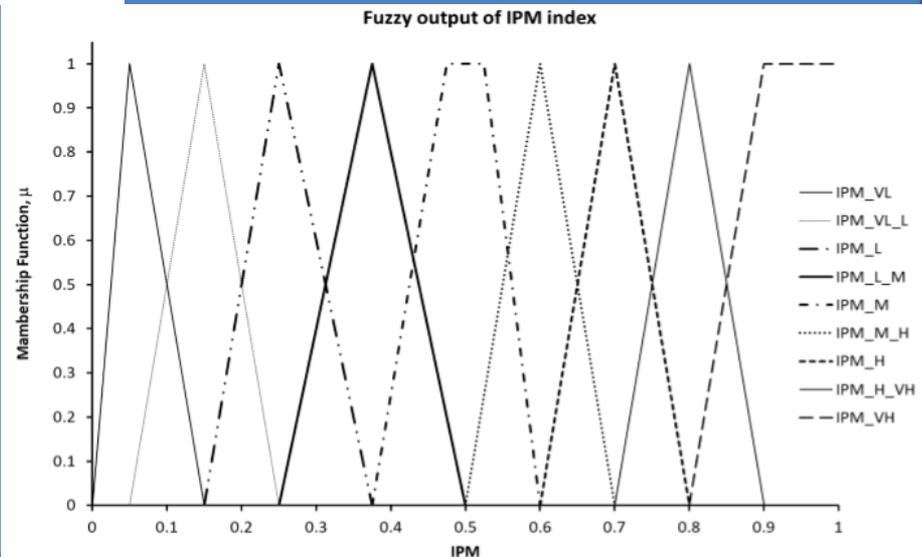
### MODELLO FUZZY PER LA VALUTAZIONE DEGLI INDICI IPM E IPA E CALCOLO DELL'INDICE FEAI

Linguistic value of IPM [-]	Fuzzy linguistic number ( $x_1; x_2; x_3; x_4$ ); ( $x_1; x_2; x_3$ )	weight $W_{IPM}$
Very Low (IPM_VL)	(0; 0.1; 0.2)	1/9 = 0.111
Between Very low and Low (IPM_VL_L)	(0.1; 0.2; 0.3)	2/9 = 0.222
Low (IPM_L)	(0.2; 0.3; 0.4)	3/9 = 0.333
Between Low and Medium (IPM_L_M)	(0.3; 0.4; 0.5)	4/9 = 0.444
Medium (IPM_M)	(0.4; 0.475; 0.525; 0.6)	5/9 = 0.556
Between Medium and High (IPM_M_H)	(0.5; 0.6; 0.7)	6/9 = 0.667
High (IPM_H)	(0.6; 0.7; 0.8)	7/9 = 0.778
Between High and Very High (IPM_H_VH)	(0.7; 0.8; 0.9)	8/9 = 0.889
Very High (IPM_VH)	(0.8; 0.9; 1; 1)	1

*Termini linguistici e Fuzzy sets di output relativi all'indice IPM.*

## INDICE PRESSIONE METEOROLOGICA

Regole linguistiche IPM



## Fuzzy Inference System

La costruzione del Fuzzy Inference System si basa sulla metodologia proposta in (Giardina et al., 2014). Ogni regola Fuzzy viene determinata tenendo conto dell'importanza relativa, R, delle variabili Fuzzy di input, e dei pesi,  $w_j$ , attribuiti alle variabili linguistiche.

### ESEMPIO DI PROCEDURA DI DEFINIZIONE DI REGOLE FUZZY PER L'INDICE IPM

**Prendiamo in esame:**  
**VELOCITÀ DEL VENTO WS [M/S]**  
**FREQUENZA DEL VENTO WF [%]**  
 i pertinenti pesi  $W_{WS}$  e  $W_{WF}$  e gli output Fuzzy dell'indice IPM con  $W_{IPM}$

Il termine linguistico dell'output IPM viene definito partendo dal calcolo del peso  $W_{IPM}$  come segue:

$$W_{IPM} = R_{WS} \times W_{WS} + R_{WF} \times W_{WF}$$

essendo  $R_{WS} = 0.4$  e  $R_{WF} = 0.6$ , se si effettua il calcolo per il secondo (oppure il terzo) layer verticale del modello meteorologico tridimensionale

Utilizzando l'approccio descritto sopra, **SONO STATE SVILUPPATE 50 REGOLE PER IPM** (25 regole per il primo layer di 10 m ed ulteriori 25 regole per i due layer che schematizzano le condizioni atmosferiche in quota a 20 e 40 m) **E 729 PER IPA**

Sulla base della relazione di cui sopra è possibile identificare la seguente regola if-based:

Linguistic value of WS parameter [m/s]	Fuzzy linguistic number ( $x_1; x_2; x_3; x_4$ ); ( $x_1; x_2; x_3$ )*	Weight $W_{WS}$
Very Low (SVL)	(0; 1.5; 3.3)	1/5 = 0.2
Low (SL)	(1.5; 3.3; 6)	2/5 = 0.4
Medium (SM)	(3.3; 5.5; 7; 10)	3/5 = 0.6
High (SH)	(6; 9.5; 11; 14)	4/5 = 0.8
Very High (SVH)	(10; 14; 100; 100)	1

Linguistic value of WF parameter [%]	Fuzzy linguistic number ( $x_1; x_2; x_3; x_4$ ); ( $x_1; x_2; x_3$ )	weight $W_{WF}$
Very Low (FVL)	(0; 0; 5; 10)	1/5 = 0.2
Low (FL)	(5; 10; 15)	2/5 = 0.4
Medium (FM)	(10; 15; 20)	3/5 = 0.6
High (FH)	(15; 20; 25)	4/5 = 0.8
Very High (FVH)	(20; 25; 100; 100)	1

Linguistic value of IPM [-]	Fuzzy linguistic number ( $x_1; x_2; x_3; x_4$ ); ( $x_1; x_2; x_3$ )	weight $W_{IPM}$
Very Low (IPM_VL)	(0; 0.1; 0.2)	1/9 = 0.111
Between Very low and Low (IPM_VL_L)	(0.1; 0.2; 0.3)	2/9 = 0.222
Low (IPM_L)	(0.2; 0.3; 0.4)	3/9 = 0.333
Between Low and Medium (IPM_L_M)	(0.3; 0.4; 0.5)	4/9 = 0.444
Medium (IPM_M)	(0.4; 0.475; 0.525; 0.6)	5/9 = 0.556
Between Medium and High (IPM_M_H)	(0.5; 0.6; 0.7)	6/9 = 0.667
High (IPM_H)	(0.6; 0.7; 0.8)	7/9 = 0.778
Between High and Very High (IPM_H_VH)	(0.7; 0.8; 0.9)	8/9 = 0.889
Very High (IPM_VH)	(0.8; 0.9; 1; 1)	1

Termini linguistici e Fuzzy sets di output relativi all'indice IPM.

**RULE:** If the wind speed (WS) is Very Low (SVL with  $W_{WS} = 0.2$ ) and wind frequency (WF) is Low (FL with  $W_{WF} = 0.4$ ) then the consequent part is obtained using  $W_{IPM} = 0.4 \times 0.2 + 0.6 \times 0.4 = 0.32$ . This number is placed between  $W_{IPM} = 0.222$  of IPM as Between Very Low and Low (MPI\_VL\_L) and  $W_{IPM} = 0.333$  of IPM as Low (MPI\_L); by using minimum condition the result is as follows: IPM is Between Very Low\_Low (IPM\_VL\_L) with  $W_{IPM} = 0.32$

## IPA FUZZIFICATION

### L'INDICE IPA

Sono stati utilizzati i seguenti parametri come sets di input

Fuzzy:

- **indicatore di complessità orografica (ICO) [m];**
- **portata dell'inquinante emessa da ciascuna sorgente (media annuale), normalizzata rispetto al valore massimo presente all'interno dell'area geografica di interesse (P) [-];**
- **distanza della cella generica dalla cella in cui è ubicata la sorgente di emissione (D) [km].**

*Termini linguistici e input fuzzy sets relativi all'indicatore ICO.*

Linguistic value of ICO indicator [m]	Fuzzy linguistic number ( $x_1; x_2; x_3; x_4$ ); ( $x_1; x_2; x_3$ )	weight $W_{ICO}$
Extremely complex (EC)	(425; 500; 620; 620)	1/9 = 0.111
Between Extremely Complex and High Complexity (EC_HC)	(375; 425; 475)	2/9 = 0.222
High Complexity (HC)	(325; 375; 425)	3/9 = 0.333
Between High Complexity and Medium Complexity (HC_MC)	(275; 325; 375)	4/9 = 0.444
Medium Complexity (MC)	(225; 275; 325)	5/9 = 0.556
Between Medium Complexity and Low Complexity (MC_LC)	(175; 225; 275)	6/9 = 0.667
Low Complexity (LC)	(125; 175; 225)	7/9 = 0.778
Between Low Complexity and Very Low Complexity (LC_VLC)	(50; 112.5; 175)	8/9 = 0.889
Very Low Complexity (VLC)	(0; 50; 125)	1

*Termini linguistici e fuzzy sets di input portata di inquinante normalizzata P.*

Linguistic value of P parameter [-]	Fuzzy linguistic number ( $x_1; x_2; x_3; x_4$ ); ( $x_1; x_2; x_3$ )	weight $W_P$
Very Low (PVL)	(0; 0.05; 0.1)	1/9 = 0.111
Between Very low and Low (PVL_PL)	(0.05; 0.1; 0.15)	2/9 = 0.222
Low (PL)	(0.1; 0.15; 0.2)	3/9 = 0.333
Between Low and Medium (PL_PM)	(0.15; 0.225; 0.3)	4/9 = 0.444
Medium (PM)	(0.2; 0.3; 0.4)	5/9 = 0.556
Between Medium and High (PM_PH)	(0.3; 0.4; 0.5)	6/9 = 0.667
High (PH)	(0.4; 0.5; 0.6)	7/9 = 0.778
Between High and Very High (PVH_PH)	(0.5; 0.6; 0.7)	8/9 = 0.889
Very High (PVH)	(0; 6; 0.7; 1.0)	1

*Termini linguistici e Fuzzy sets di input relativi alle distanze tra celle, D, per il dominio di calcolo.*

Linguistic value of D parameter [km]	Fuzzy linguistic number ( $x_1; x_2; x_3; x_4$ ); ( $x_1; x_2; x_3$ )	weight $W_D$
Very High (DVH)	(9; 10; 12; 12)	1/9 = 0.111
Between High and Very High (DVH_H)	(8; 9; 10)	2/9 = 0.222
High (DH)	(7; 8; 9)	3/9 = 0.333
Between Medium and High (DH_M)	(6; 7; 8)	4/9 = 0.444
Medium (DM)	(5.25; 6; 7)	5/9 = 0.556
Between Low and Medium (DM_L)	(4.5; 5.25; 6)	6/9 = 0.667
Low (DL)	(3.75; 4.5; 5.25)	7/9 = 0.778
Between low and Very Low (DL_VL)	(3.25; 3.75; 4.5)	8/9 = 0.889
Very Low (DVL)	(0; 3; 3.25; 3.75)	1

*Termini linguistici e Fuzzy sets di output relativi all'indice IPA.*

Linguistic value of IPA [-]	Fuzzy linguistic number ( $x_1; x_2; x_3; x_4$ ); ( $x_1; x_2; x_3$ )	weight $W_{IPA}$
Very Low (API_VL)	(0; 0.1; 0.2)	1/9 = 0.111
Between Very low and Low (API_VL_L)	(0.1; 0.2; 0.3)	2/9 = 0.222
Low (API_L)	(0.2; 0.3; 0.4)	3/9 = 0.333
Between Low and Medium (API_L_M)	(0.3; 0.4; 0.5)	4/9 = 0.444
Medium (API_M)	(0.4; 0.475; 0.525; 0.6)	5/9 = 0.556
Between Medium and High (API_M_H)	(0.5; 0.6; 0.7)	6/9 = 0.667
High (API_H)	(0.6; 0.7; 0.8)	7/9 = 0.778
Between High and Very High (API_H_VH)	(0.7; 0.8; 0.9)	8/9 = 0.889
Very High (API_VH)	(0.8; 0.9; 1; 1)	1

## DEFUZZIFICATION

### MODELLO FUZZY PER LA VALUTAZIONE DEGLI INDICI IPM E IPA

Per il calcolo dell'indice IPM l'importanza relativa, R, utilizzata per la definizione delle regole come descritto sopra, assegna lo stesso peso alle variabili WS e WF nel primo strato (vedi Tab. 9) che schematizza il profilo verticale del vento, mentre, attribuisce un peso leggermente più elevato alla variabile WF per il secondo e terzo strato. Ciò viene fatto per tenere in considerazione che l'attrito della superficie terrestre ha un impatto sempre meno importante sui valori della velocità del vento negli strati superiori al primo, per cui, la differenza dei valori della velocità del vento tra celle confinanti diventa meno significativa. Di contro, la frequenza della direzione del vento diventa il parametro che meglio rappresenta gli interscambi tra celle limitrofe.

Relative importance	Fuzzy variable	Value of Relative importance, 1° layer	Value of Relative importance, 2° 3° layer
R <sub>WS</sub>	wind speed	0.5	0.4
R <sub>WF</sub>	wind frequency	0.5	0.6

Relative importance	Fuzzy variable	Value of Relative importance
R <sub>ICO</sub>	Orography complex index	0.35
R <sub>P</sub>	normalised pollutant mass flow rates	0.4
R <sub>D</sub>	distance between cells	0.25

### DEFAZZIFICAZIONE INDICI IPA E IPM

Il passo finale è il **PROCESSO DI DEFUZZIFICATION**, che consente di trasformare il set Fuzzy di output in un singolo valore reale (crisp).

Tra i metodi proposti in letteratura, il centro di gravità (Center Of Gravity, COG), calcolato per l'area unione dei conseguenti, è ampiamente utilizzato per il suo semplice significato geometrico (Hellendoorn & Thomas, 1993; Ramli & Mohamad, 2009).

**IL PARAMETRO COG VIENE CALCOLATO, QUINDI, COME SEGUE:**

$$COG^* = \frac{\int x \mu^*(x) dx}{\int \mu^*(x) dx}$$

**DOVE**

$$\mu_j^*(x) = \max \{w_j \mu_j(x) : j = 1, 2, \dots, m\}$$

## CALCOLO E RISULTATI

### MODELLO FUZZY PER LA VALUTAZIONE DEGLI INDICI IPM E IPA

#### ALGORITMO DI CALCOLO IPA e IPM

IPM [i, j], or IPA[i, j] =

Procedure di Calcolo: (package frbs di R-CRAN)

- ❖ **modello Mamdani** d'inferenza regole Fuzzy
- ❖ **Center Of Gravity [COG];**
- ❖ **t-norm: min;**
- ❖ **s-norm: max;**
- ❖ **funzione di implicazione: "ZADEH".**

Calcolo di IPM e IPA

Normalizzazione di IPM e IPA

$$\begin{cases}
 0 & \text{if } IPM, IPA < Q^{0.2} \\
 1 & \text{if } Q^{0.2} \leq IPM, IPA < Q^{0.3} \\
 2 & \text{if } Q^{0.3} \leq IPM, IPA < Q^{0.4} \\
 3 & \text{if } Q^{0.4} \leq IPM, IPA < Q^{0.5} \\
 4 & \text{if } Q^{0.5} \leq IPM, IPA < Q^{0.6} \\
 5 & \text{if } Q^{0.6} \leq IPM, IPA < Q^{0.7} \\
 6 & \text{if } Q^{0.7} \leq IPM, IPA < Q^{0.8} \\
 7 & \text{if } Q^{0.8} \leq IPM, IPA < Q^{0.85} \\
 8 & \text{if } Q^{0.85} \leq IPM, IPA < Q^{0.9} \\
 9 & \text{if } Q^{0.9} \leq IPM, IPA < Q^{0.95} \\
 10 & \text{if } IPM, IPA \geq Q^{0.95}
 \end{cases}$$

il parametro  $Q_{0.5}$  corrisponde alla mediana del vettore dati in oggetto.

**Abbiamo esaminato i valori degli indici al di sopra della soglia  $Q^{0.85}$**

Nell'intervallo [0, 10]

## RISULTATI FEAI

# FEAI

Fuzzy Environmental Analogy Index  
(Indice di Analogia Ambientale Fuzzy)

IPM [i, j], or IPA[i, j] =

0 if $IPM, IPA < Q^{0.2}$	5 if $Q^{0.6} \leq IPM, IPA < Q^{0.7}$
1 if $Q^{0.2} \leq IPM, IPA < Q^{0.3}$	6 if $Q^{0.7} \leq IPM, IPA < Q^{0.8}$
2 if $Q^{0.3} \leq IPM, IPA < Q^{0.4}$	7 if $Q^{0.8} \leq IPM, IPA < Q^{0.85}$
3 if $Q^{0.4} \leq IPM, IPA < Q^{0.5}$	8 if $Q^{0.85} \leq IPM, IPA < Q^{0.9}$
4 if $Q^{0.5} \leq IPM, IPA < Q^{0.6}$	9 if $Q^{0.9} \leq IPM, IPA < Q^{0.95}$
	10 if $IPM, IPA \geq Q^{0.95}$

L'indice **FEAI**, per ogni cella  $C[i, j]$  della griglia, viene valutato sommando gli indici IPM e IPA nei 5 anni

$$FEAI [i, j] = IPM[i, j] + IPA[i, j]$$

$i = 2, 3, \dots, r; j = 2, 3, \dots, c$   
essendo r e c il numero di righe e colonne della griglia di calcolo.

Collina Primosole

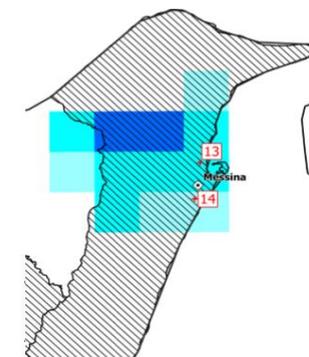
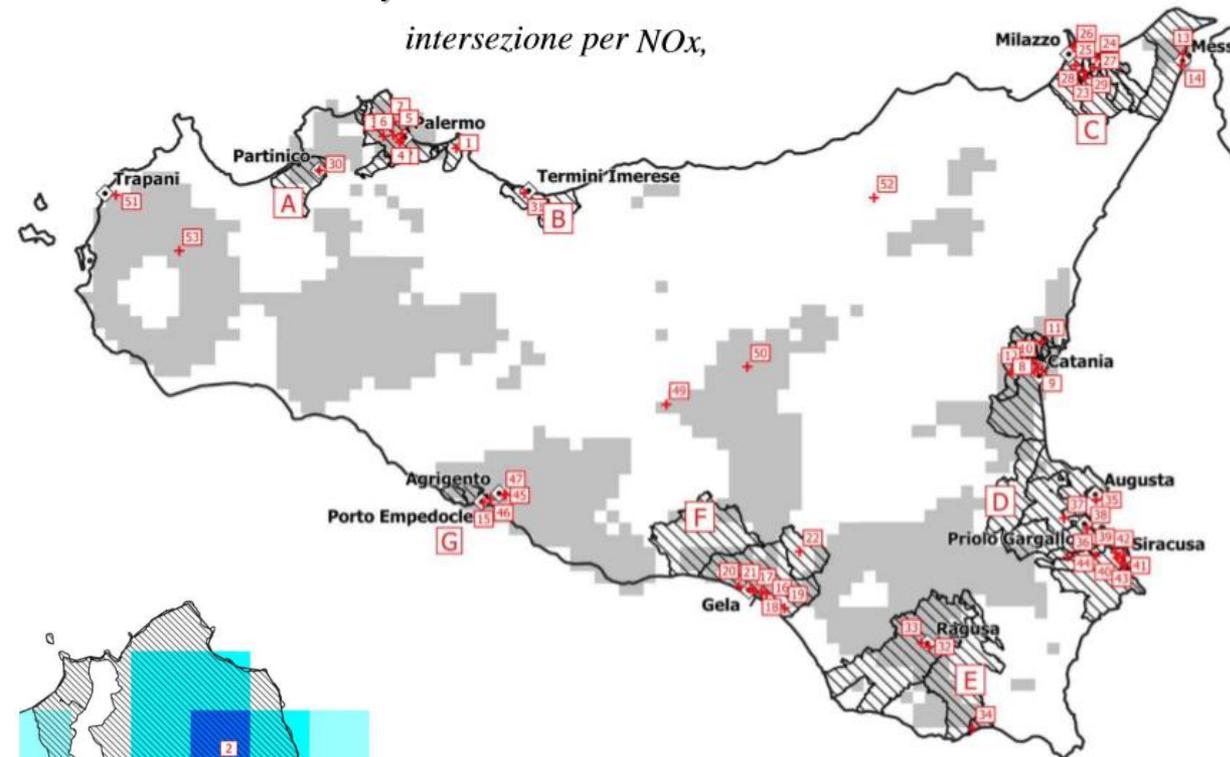
BMO



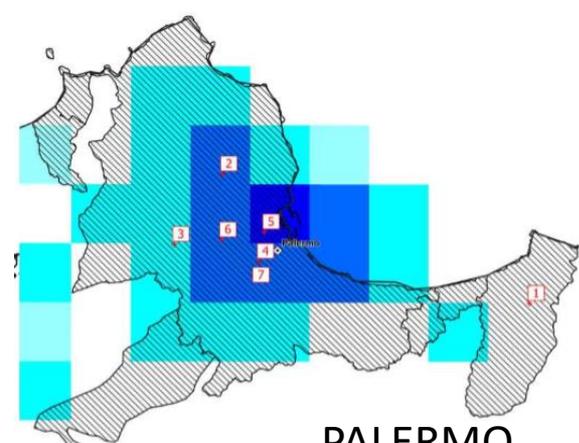
## INTERSEZIONE layers 2010-2014

*intersezione per NOx,*

## RISULTATI FEAI

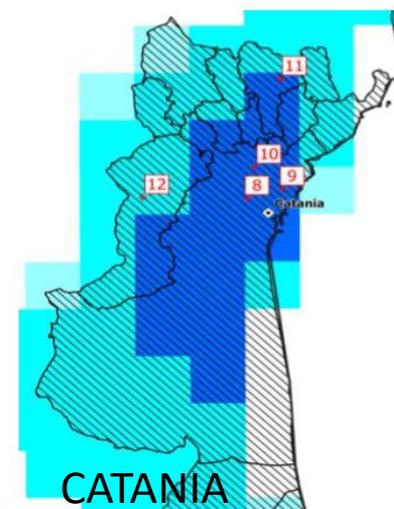


MESSINA



PALERMO

# NOx

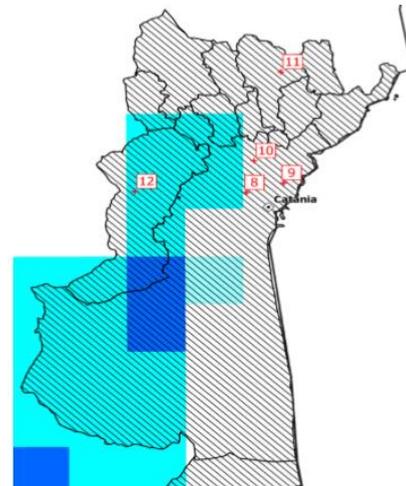
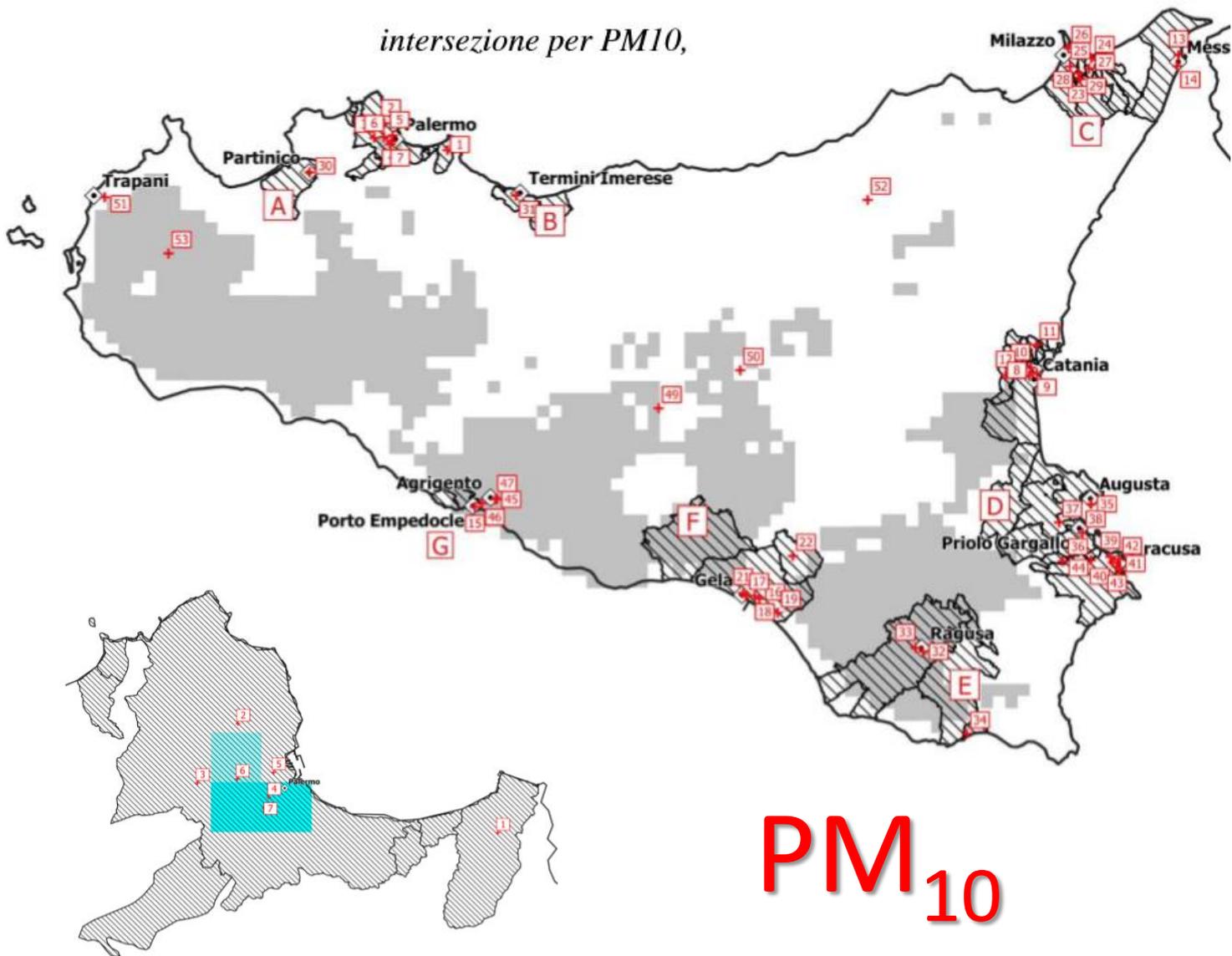


CATANIA

# LA QUALITÀ DELL'ARIA IN ITALIA - I Edizione 2020

1 dicembre 2020

*intersezione per PM10,*

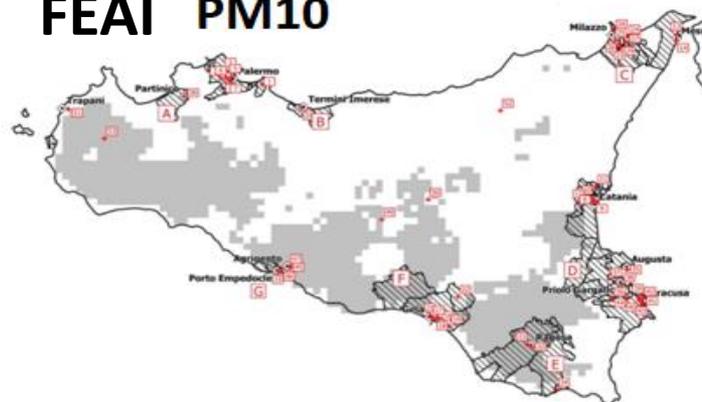


# PM<sub>10</sub>

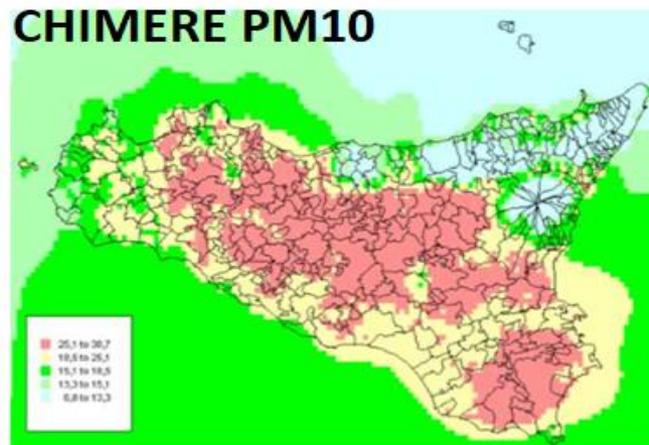
## INTERSEZIONE *layers 2010-2014*

## RISTAGNO E RICAMBIO

### FEAI PM10



### CHIMERE PM10



## FEAI ZONA IT 1914 - AREE

**INTERS.** layers 2010-2014

### INDUSTRIALI

SOx

NOx

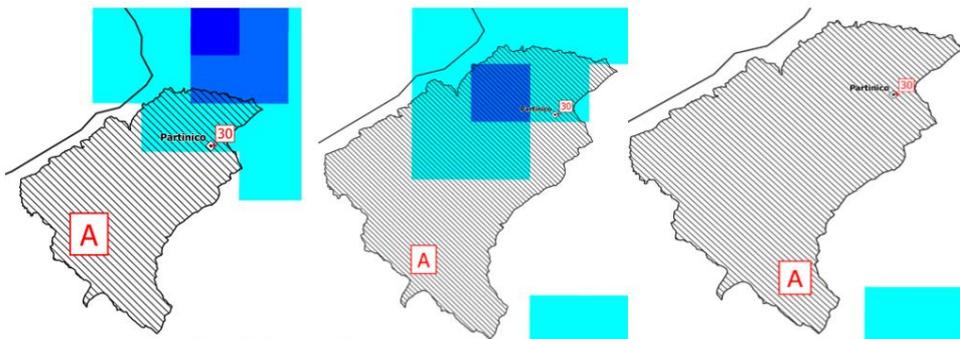
PM10

**TERMINI IMERESE**

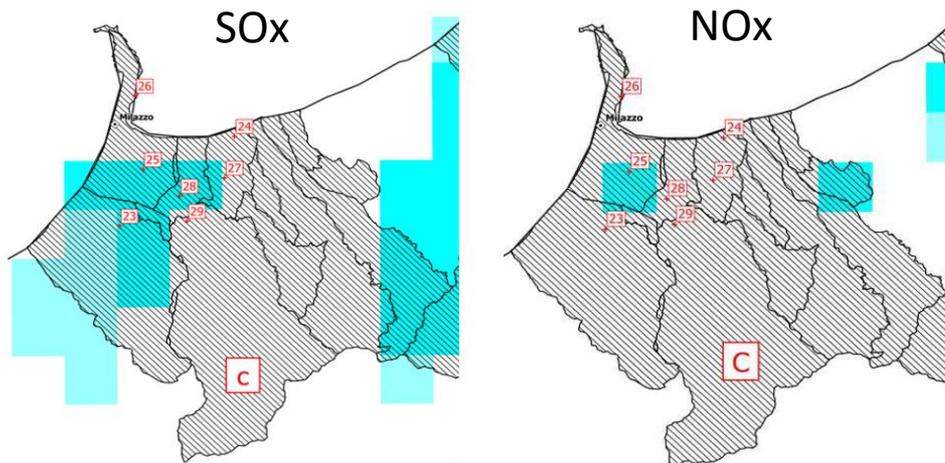
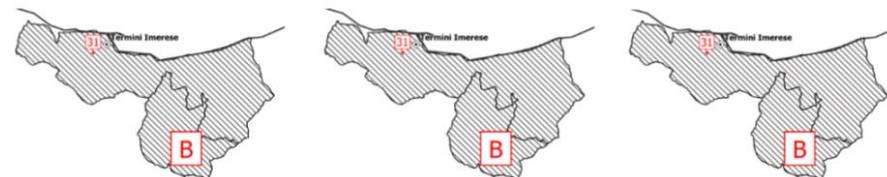
SOx

NOx

PM10



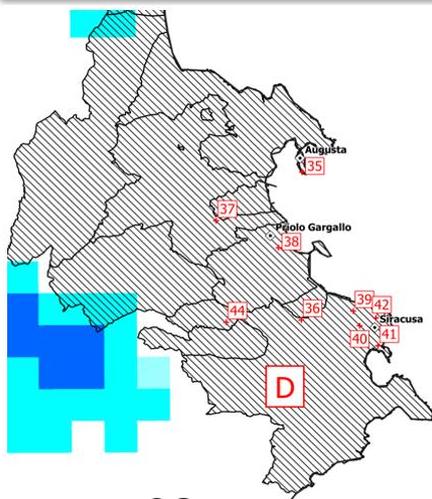
**PARTINICO**



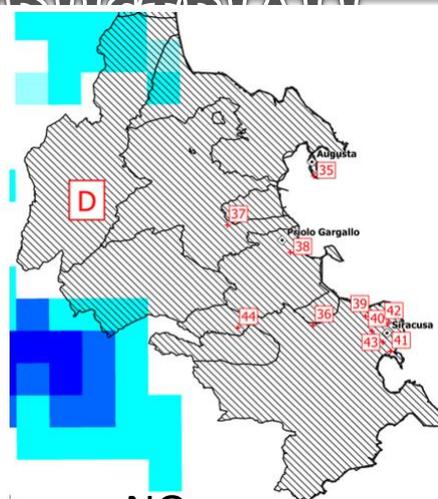
Centralina	Denominazione
[23]	Barcellona P. G.
[24]	Pace del Mela
[25]	Milazzo - Termica
[26]	Milazzo A2A
[27]	Pace del Mela A2A
[28]	S. Filippo del Mela A2A - S. Filippo del Mela
[29]	S. Lucia del Mela

**COMPRESORIO  
DEL MELA**

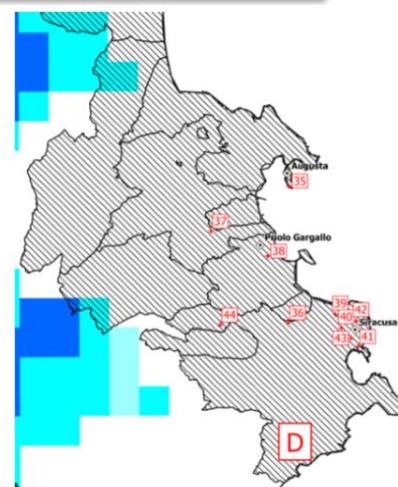
## FEAI ZONA IT 1914 - AREE



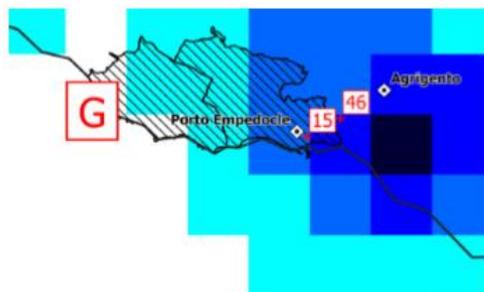
SOx



NOx



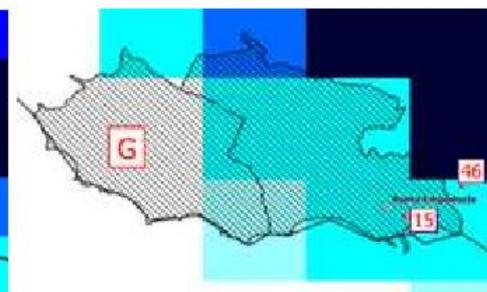
PM10



SOx



NOx



PM10

## AERCA DI PRIOLO

Centralina	Denominazione
[35]	Augusta
[36]	SR - Belvedere
[37]	Melilli
[38]	Priolo
[39]	SR - Via Gela
[40]	SR - Asp Pizzuta
[41]	SR - Verga
[42]	SR - Pantheon
[43]	SR - Teracati
[44]	Solarino

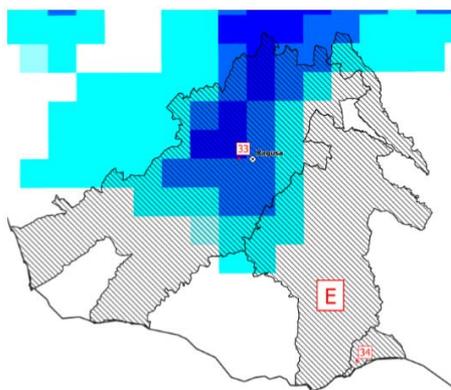
Va osservato che per Gela, così come per il territorio costiero sud della Sicilia, le componenti del vento delle condizioni meteorologiche esercitano una pressione più significativa rispetto al versante nord della Sicilia

## Porto Empedocle

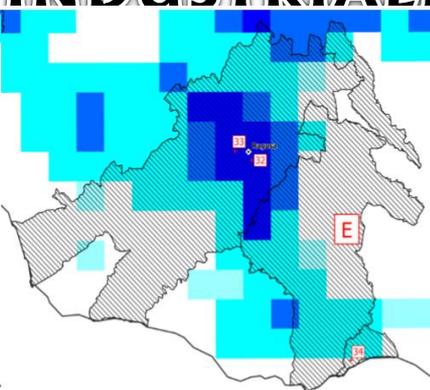
Centralina	Denominazione
[15]	Porto Empedocle
[45]	AG- Centro
[46]	AG - Monserrato
[47]	AG - ASP

## FEAI ZONA IT 1914 - AREE

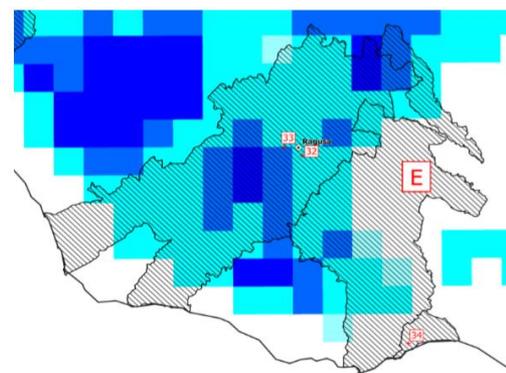
### INDUSTRIALI



SOx



NOx



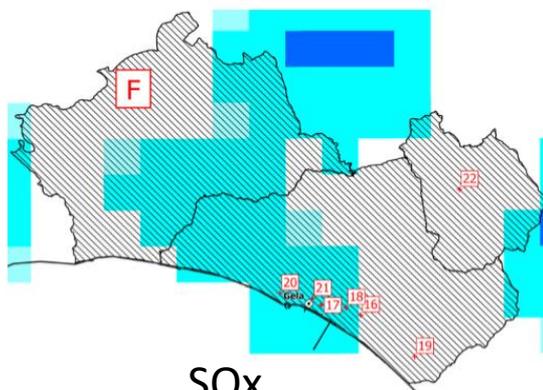
PM10

### A.I. RAGUSA

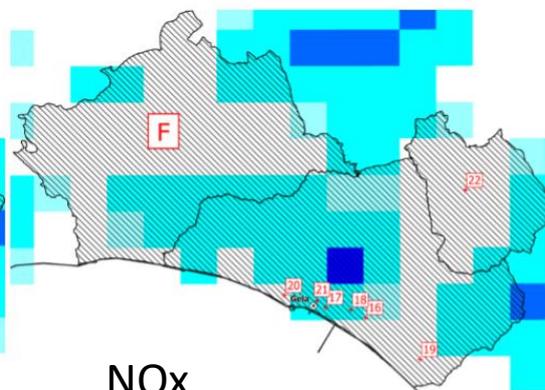
Centralina	Denominazione
[32]	RG - Campo d'atletica
[33]	RG - Villa Archimede

### A.I. GELA

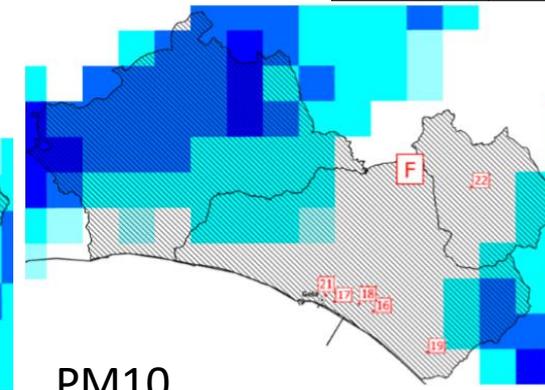
Centralina	Denominazione
[16]	Gela - Ex autoparco comunale
[17]	Gela tribunale
[18]	Gela - Agip Mineraria
[19]	Gela - Biviere
[20]	Gela - Capo Soprano
[21]	Gela - Venezia
[22]	Niscemi



SOx



NOx

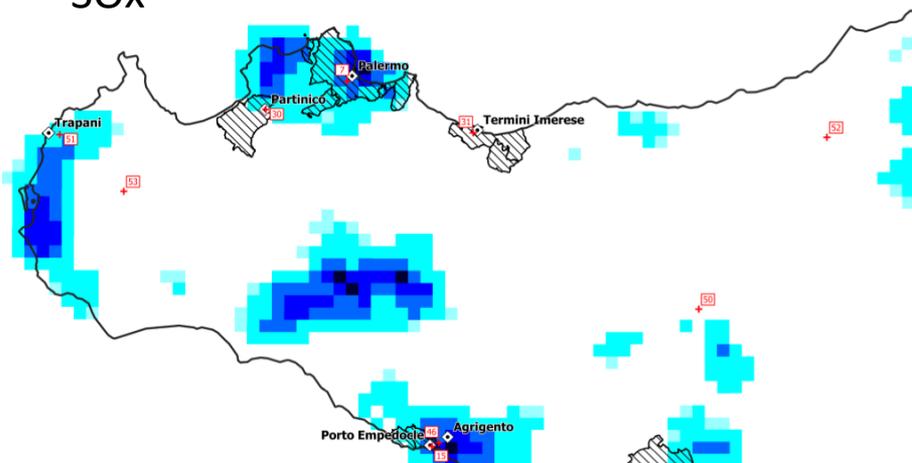


PM10

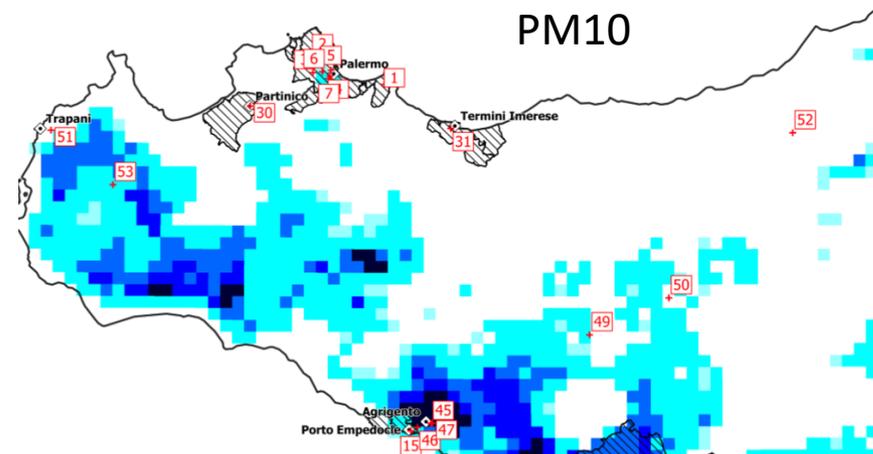
## FEAI ZONA IT 1915 - ALTRO

layers 2010-2014

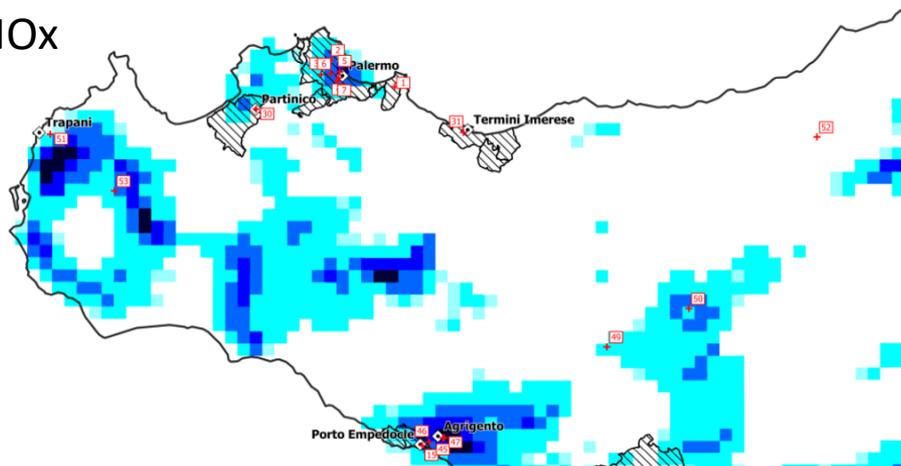
SOx



PM10



NOx



Centralina	Denominazione
[45]	AG - Centro
[46]	AG - Monserrato
[47]	AG - ASP
[49]	Caltanissetta
[50]	Enna
[51]	Trapani
[52]	Cesarò Femmina Morta
[53]	TP - Diga Rubino

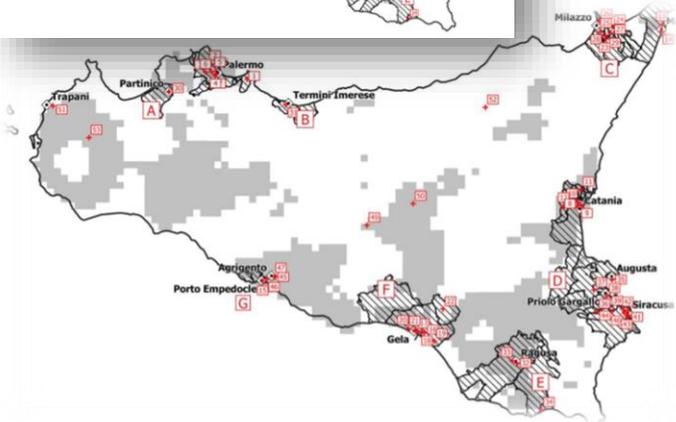
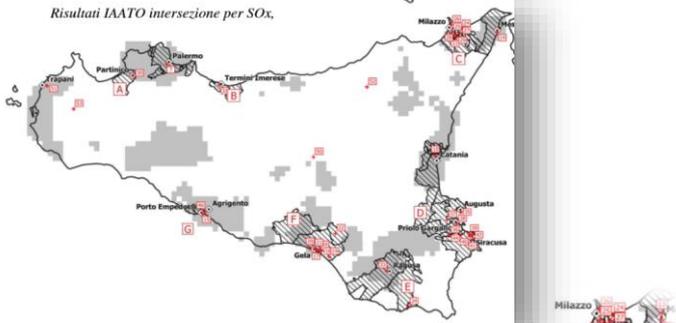
## Validazione e Cluster Analysis

SOx

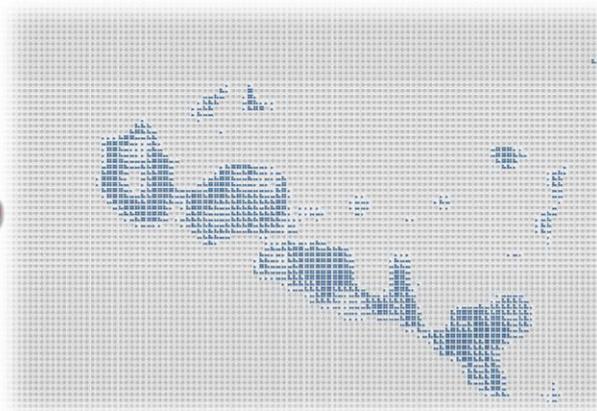
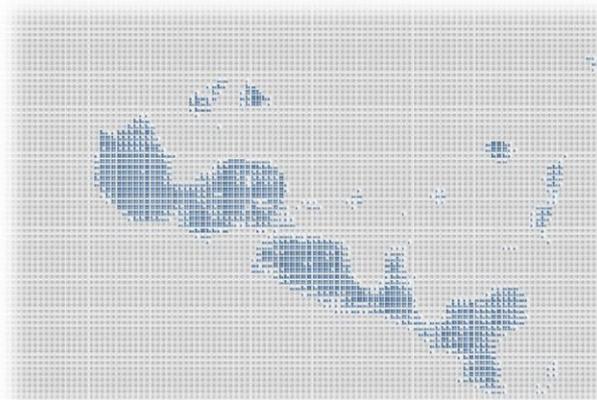
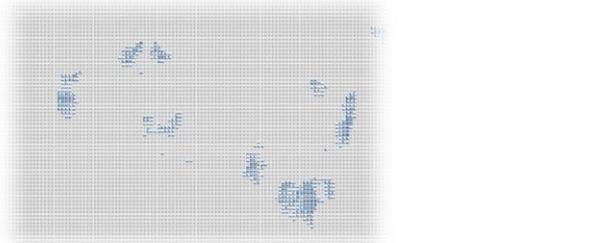
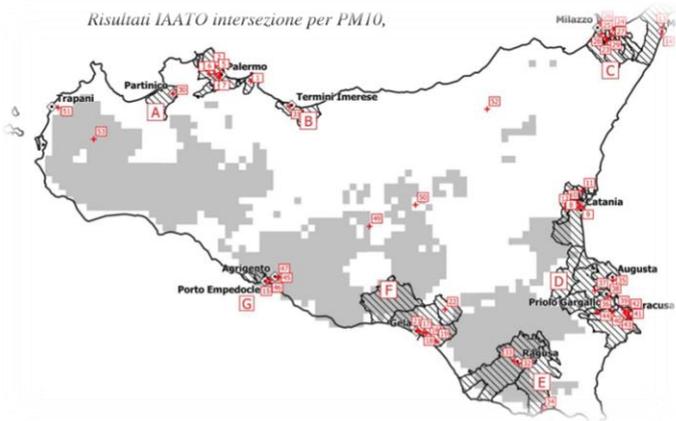
NOx

PM<sub>10</sub>

Risultati IAATO intersezione per SOx.



Risultati IAATO intersezione per PM10.



Per validare i risultati descritti, sono state svolte analisi di sensibilità variando, ad esempio, i valori degli insiemi Fuzzy di input, i pesi utilizzati per la costruzione del FIS e sono stati condotti studi di robustezza della metodologia attraverso analisi di perturbazione della velocità e frequenza del vento. Inoltre, è stato effettuato un lavoro di confronto con i risultati ottenuti utilizzando la tecnica cluster analysis (o analisi di aggregazione), e il metodo K-mean.

Lo scopo della cluster analysis è stato quello di raggruppare i dati secondo criteri di similarità.

Tali criteri hanno consentito di determinare un numero di classi in modo tale che le osservazioni fossero il più possibile omogenee all'interno delle classi ed il più possibile disomogenee tra le diverse classi.

La tecnica è stata impiegata per esaminare le similitudini tra gli indici IPA e IPM, per i cinque anni in studio.

## CONCLUSIONI

**FEAI è un indice composito, dedotto dalla combinazione di un indicatore di pressione meteorologica (IPM) che, per celle confinanti nel dominio di calcolo, indaga le affinità connesse ai campi di vento tridimensionali e all'indice di pressione antropica (IPA), che trova relazioni tra le caratteristiche orografiche del territorio e l'intensità delle sorgenti inquinanti.**

**Per le portate di inquinante sono state utilizzate le informazioni dell'inventario delle emissioni su scala regionale. Per le simulazioni sono state utilizzate le misure di temperatura, umidità relativa, radiazione solare incidente, direzione e velocità del vento di 77 stazioni superficiali.**

**Il calcolo dell'indice FEAI ha riguardato gli inquinanti SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> e PM<sub>10</sub>, per un periodo temporale di cinque anni (dal 2010 al 2014).**

**L'analisi dei risultati ha consentito di determinare i sottogruppi, dell'insieme delle stazioni del PdV, più adatte per gli studi modellistici**

Per gli agglomerati di Palermo, Messina e Catania, è stato possibile individuare sottogruppi di centraline di riferimento per il supporto modellistico

Per gli agglomerati industriali delle zone di Termini Imerese e di Siracusa, l'indice FEAI risulta essere inferiore a 52, pertanto, le centraline che insistono in queste aree risultano essere singoli punti di misura;

Per gli agglomerati industriali di Ragusa e Gela, l'indice FEAI permette di individuare sottogruppi di centraline di riferimento, che consentono una rappresentatività di una parte delle aree territoriali che caratterizzano la zonizzazione di appartenenza.

Per quanto riguarda la zona di Milazzo, soltanto per l'inquinante SO<sub>x</sub> è possibile individuare un sottogruppo di 3 stazioni che è rappresentativo di una limitata porzione ovest dell'area C. Tuttavia, va sottolineato che tale area è caratterizzata da valori dell'indice FEAI prossimi al limite inferiore di accettabilità.

Nel polo "Augusta-Priolo-Melilli", l'indice FEAI indica che le stazioni di misura sono autoreferenti.

Per la zonizzazione definita "altro", le centraline sono rappresentative delle pressioni ambientali locali, per cui sono tutte da considerarsi singoli punti di misura per il riferimento modellistico.