

Individuazione di una sorgente incognita di inquinanti con retroSPRAY: metodo variazionale

Francesco Uboldi

e-mail: uboldi@magritte.it; uboldi@gmail.com

Massa emessa (in un'ora) dalla cella i , al tempo (ora) n : $Q_{i,n}$

Concentrazione (media oraria) osservata alla stazione k , al tempo (ora) j : $\chi_{k,j}^o$

Volume di una cella (*gridbox*): V ; Massa di una particella: q

Numeri di particelle x, y :

Emissioni:
$$x_{i,n} = \frac{Q_{i,n}}{q}$$

Osservazioni:
$$y_{k,j}^o = \frac{V}{q} \chi_{k,j}^o$$
 stima delle osservazioni:
$$y_{k,j} = \frac{V}{q} \chi_{k,j}$$

Massa emessa (in un'ora) dalla cella i , al tempo (ora) n : $Q_{i,n}$

Concentrazione (media oraria) osservata alla stazione k , al tempo (ora) j : $\chi_{k,j}^o$

Volume di una cella (*gridbox*): V ; Massa di una particella: q

Numeri di particelle x, y :

Emissioni:
$$x_{i,n} = \frac{Q_{i,n}}{q}$$

Osservazioni:
$$y_{k,j}^o = \frac{V}{q} \chi_{k,j}^o$$
 stima delle osservazioni:
$$y_{k,j} = \frac{V}{q} \chi_{k,j}$$

Trasformazione:

Emissioni:
$$\xi = \ln(x)$$

Osservazioni:
$$\eta^o = \ln(y^o)$$
 stima delle osservazioni:
$$\eta = \ln(y)$$

Problema variazionale, ovvero si minimizza la funzione oggettiva:

$$J(\xi) = \frac{1}{2\sigma_{\eta^o}^2} (\eta(\xi) - \eta^o)^T (\eta(\xi) - \eta^o) = MIN$$

Problema variazionale, ovvero si minimizza la funzione oggettiva:

$$J(\xi) = \frac{1}{2\sigma_{\eta_0}^2} (\eta(\xi) - \eta^o)^T (\eta(\xi) - \eta^o) = MIN$$

- La variabile di controllo è ξ .
- Problema non-lineare.
- È possibile calcolare J e il suo gradiente su ogni vettore ξ : *conjugate gradient iteration*.

Problema variazionale, ovvero si minimizza la funzione oggettiva:

$$J(\boldsymbol{\xi}) = \frac{1}{2\sigma_{\eta_o}^2} (\boldsymbol{\eta}(\boldsymbol{\xi}) - \boldsymbol{\eta}^o)^T (\boldsymbol{\eta}(\boldsymbol{\xi}) - \boldsymbol{\eta}^o) = MIN$$

- La variabile di controllo è $\boldsymbol{\xi}$.
- Problema non-lineare.
- È possibile calcolare J e il suo gradiente su ogni vettore $\boldsymbol{\xi}$: *conjugate gradient iteration*.

La stima con SPRAY delle osservazioni a partire dalle emissioni è lineare: corrisponde ad applicare una matrice \mathbf{A} al vettore delle emissioni \mathbf{x} : si ottiene un vettore \mathbf{y}

$$\mathbf{y} = \mathbf{A} \mathbf{x}$$

Problema variazionale, ovvero si minimizza la funzione oggettiva:

$$J(\xi) = \frac{1}{2\sigma_{\eta}^2} (\boldsymbol{\eta}(\xi) - \boldsymbol{\eta}^o)^T (\boldsymbol{\eta}(\xi) - \boldsymbol{\eta}^o) = \text{MIN}$$

- La variabile di controllo è ξ .
- Problema non-lineare.
- È possibile calcolare J e il suo gradiente su ogni vettore ξ : *conjugate gradient iteration*.

La stima con SPRAY delle osservazioni a partire dalle emissioni è lineare: corrisponde ad applicare una matrice \mathbf{A} al vettore delle emissioni \mathbf{x} : si ottiene un vettore \mathbf{y}

$$\mathbf{y} = \mathbf{A} \mathbf{x}$$

Le variabili trasformate η sono funzione composta delle emissioni trasformate ξ :

$$\xi \rightarrow \mathbf{x} = \exp(\xi) \rightarrow \mathbf{y} = \mathbf{A} \mathbf{x} \rightarrow \eta = \ln(\mathbf{y})$$

Problema variazionale, ovvero si minimizza la funzione oggettiva:

$$J(\xi) = \frac{1}{2\sigma_{\eta}^2} (\boldsymbol{\eta}(\xi) - \boldsymbol{\eta}^o)^T (\boldsymbol{\eta}(\xi) - \boldsymbol{\eta}^o) = MIN$$

- La variabile di controllo è ξ .
- Problema non-lineare.
- È possibile calcolare J e il suo gradiente su ogni vettore ξ : *conjugate gradient iteration*.

La stima con SPRAY delle osservazioni a partire dalle emissioni è lineare: corrisponde ad applicare una matrice \mathbf{A} al vettore delle emissioni \mathbf{x} : si ottiene un vettore \mathbf{y}

$$\mathbf{y} = \mathbf{A} \mathbf{x}$$

Le variabili trasformate η sono funzione composta delle emissioni trasformate ξ :

$$\xi \rightarrow \mathbf{x} = \exp(\xi) \rightarrow \mathbf{y} = \mathbf{A} \mathbf{x} \rightarrow \eta = \ln(\mathbf{y})$$

Le componenti della matrice \mathbf{A} sono calcolate integrando **retroSPRAY**:

$$\hat{\mathbf{x}} = \mathbf{A}^T \hat{\mathbf{y}}$$

Problema variazionale, ovvero si minimizza la funzione oggettiva:

$$J(\xi) = \frac{1}{2\sigma_{\eta}^2} (\boldsymbol{\eta}(\xi) - \boldsymbol{\eta}^o)^T (\boldsymbol{\eta}(\xi) - \boldsymbol{\eta}^o) = \text{MIN}$$

- La variabile di controllo è ξ .
- Problema non-lineare.
- È possibile calcolare J e il suo gradiente su ogni vettore ξ : *conjugate gradient iteration*.

La stima con SPRAY delle osservazioni a partire dalle emissioni è lineare: corrisponde ad applicare una matrice \mathbf{A} al vettore delle emissioni \mathbf{x} : si ottiene un vettore \mathbf{y}

$$\mathbf{y} = \mathbf{A} \mathbf{x}$$

Le variabili trasformate η sono funzione composta delle emissioni trasformate ξ :

$$\xi \rightarrow x = \exp(\xi) \rightarrow \mathbf{y} = \mathbf{A} \mathbf{x} \rightarrow \eta = \ln(\mathbf{y})$$

Le componenti della matrice \mathbf{A} sono calcolate integrando **retroSPRAY**:

$$\hat{\mathbf{x}} = \mathbf{A}^T \hat{\mathbf{y}}$$

$$\left(\frac{\partial}{\partial \mathbf{x}} = \mathbf{A}^T \frac{\partial}{\partial \mathbf{y}} \right)$$

SPRAY:

$$\mathbf{y} = \mathbf{A} \mathbf{x}$$

$$y_{k,j} = \sum_{n=n_s}^{n_e} A_{i,n}^{k,j} x_{i,n}$$

$$\chi_{k,j} = \frac{1}{V} \sum_{n=n_s}^{n_e} A_{i,n}^{k,j} Q_{i,n}$$

retroSPRAY: $\hat{\mathbf{x}} = \mathbf{A}^T \hat{\mathbf{y}}$

$$\hat{x}_{i,n}^k = \sum_{j=1}^J A_{i,n}^{k,j} \hat{y}_{k,j}$$

$$\hat{\chi}_{i,n}^k = \frac{1}{V} \sum_{j=1}^J A_{i,n}^{k,j} \hat{Q}_{k,j}$$

SPRAY:

$$\mathbf{y} = \mathbf{A} \mathbf{x}$$

$$y_{k,j} = \sum_{n=n_s}^{n_e} A_{i,n}^{k,j} x_{i,n}$$

$$\chi_{k,j} = \frac{1}{V} \sum_{n=n_s}^{n_e} A_{i,n}^{k,j} Q_{i,n}$$

retroSPRAY: $\hat{\mathbf{x}} = \mathbf{A}^T \hat{\mathbf{y}}$

$$\hat{x}_{i,n}^k = \sum_{j=1}^J A_{i,n}^{k,j} \hat{y}_{k,j}$$

$$\hat{\chi}_{i,n}^k = \frac{1}{V} \sum_{j=1}^J A_{i,n}^{k,j} \hat{Q}_{k,j}$$

Si integra retroSPRAY:

1) **separando i tempi di retro-emissione** (i tempi delle osservazioni) j :

$$\hat{\chi}_{i,n}^{k,j} = \frac{1}{V} A_{i,n}^{k,j} \hat{Q}_{k,j}$$

SPRAY: $\mathbf{y} = \mathbf{A} \mathbf{x}$

$$y_{k,j} = \sum_{n=n_s}^{n_e} A_{i,n}^{k,j} x_{i,n}$$

$$\chi_{k,j} = \frac{1}{V} \sum_{n=n_s}^{n_e} A_{i,n}^{k,j} Q_{i,n}$$

retroSPRAY: $\hat{\mathbf{x}} = \mathbf{A}^T \hat{\mathbf{y}}$

$$\hat{x}_{i,n}^k = \sum_{j=1}^J A_{i,n}^{k,j} \hat{y}_{k,j}$$

$$\hat{\chi}_{i,n}^k = \frac{1}{V} \sum_{j=1}^J A_{i,n}^{k,j} \hat{Q}_{k,j}$$

Si integra retroSPRAY:

1) **separando i tempi di retro-emissione** (i tempi delle osservazioni) j :

$$\hat{\chi}_{i,n}^{k,j} = \frac{1}{V} A_{i,n}^{k,j} \hat{Q}_{k,j}$$

2) assegnando a ogni retro-massa emessa un valore numericamente uguale al volume

della cella V :

$$\hat{Q}_{k,j} \equiv V$$

$$\hat{\chi}_{i,n}^{k,j} = A_{i,n}^{k,j}$$

Si ottengono così direttamente le componenti della matrice \mathbf{A}

SCHEMA ALGORITMO

- **Separazione** tra osservazioni **zero** e osservazioni **positive**
- **Ciclo sulle *gridbox*** candidate come potenziali posizioni della sorgente
- Per ogni *gridbox* **stima variazionale delle emissioni**
- Controllo **a posteriori sovrastima** osservazioni **zero** (somma residui)

SCHEMA ALGORITMO

- **Separazione** tra osservazioni **zero** e osservazioni **positive**
- **Ciclo sulle *gridbox*** candidate come potenziali posizioni della sorgente
- Per ogni *gridbox* **stima variazionale delle emissioni**
- Controllo **a posteriori sovrastima** osservazioni **zero** (somma residui)

Separazione

Osservazioni “**zero**” : $\chi < \chi_{min} = 0.5 \mu \text{ g m}^{-3}$

Osservazioni “**positive**” (o “nonzero”): $\chi \geq \chi_{min}$

SCHEMA ALGORITMO

- **Separazione** tra osservazioni **zero** e osservazioni **positive**
- **Ciclo sulle *gridbox*** candidate come potenziali posizioni della sorgente
- Per ogni *gridbox* **stima variazionale delle emissioni**
- Controllo **a posteriori sovrastima** osservazioni **zero** (somma residui)

Separazione

Osservazioni “**zero**” : $\chi < \chi_{min} = 0.5 \mu \text{g m}^{-3}$

Osservazioni “**positive**” (o “nonzero”): $\chi \geq \chi_{min}$

Lo studio del caso reale ha evidenziato la necessità di un’ulteriore distinzione:

Osservazioni “**significativamente positive**”:

$$\chi > \chi_{large} \equiv 10 \cdot \chi_{min} = 5.0 \mu \text{g m}^{-3}$$

Ciclo sulle celle (*gridbox*)

Si **escludono a priori** dalle candidate sorgenti le celle in cui non arrivano le retro-traiettorie provenienti **osservazioni significativamente positive (OSP)**.

Cioè si guardano le componenti della matrice **A**.

1) La sorgente deve “spiegare” **tutte** le **OSP**.

La cella è esclusa se sono nulle tutte le componenti della (colonna della) matrice (cioè componenti nulle per tutti i tempi di emissione) anche per una sola **OSP**.

2) Ogni tempo di emissione (di una cella candidata) deve “spiegare” almeno una **OSP**.

Tempo di emissione escluso se le componenti della (riga della) matrice sono nulle per tutte le **OSP**.
Cella esclusa se sono esclusi per questo motivo tutti i tempi di emissione.

Ciclo sulle celle (*gridbox*)

Si **escludono a priori** dalle candidate sorgenti le celle in cui non arrivano le retro-traiettorie provenienti **osservazioni significativamente positive (OSP)**.

Cioè si guardano le componenti della matrice **A**.

1) La sorgente deve “spiegare” **tutte** le **OSP**.

La cella è esclusa se sono nulle tutte le componenti della (colonna della) matrice (cioè componenti nulle per tutti i tempi di emissione) anche per una sola **OSP**.

2) Ogni tempo di emissione (di una cella candidata) deve “spiegare” almeno una **OSP**.

Tempo di emissione escluso se le componenti della (riga della) matrice sono nulle per tutte le OSP.

Cella esclusa se sono esclusi per questo motivo tutti i tempi di emissione.

In ogni cella non esclusa a priori **si stimano le emissioni x** e un valore di **J** :

→ **mappa** (dei minimi) **della funzione oggettiva**

Ciclo sulle celle (*gridbox*)

Si **escludono a priori** dalle candidate sorgenti le celle in cui non arrivano le retrotraiettorie provenienti **osservazioni significativamente positive (OSP)**.

Cioè si guardano le componenti della matrice **A**.

1) La sorgente deve “spiegare” **tutte** le **OSP**.

La cella è esclusa se sono nulle tutte le componenti della (colonna della) matrice (cioè componenti nulle per tutti i tempi di emissione) anche per una sola **OSP**.

2) Ogni tempo di emissione (di una cella candidata) deve “spiegare” almeno una **OSP**.

Tempo di emissione escluso se le componenti della (riga della) matrice sono nulle per tutte le OSP. Cella esclusa se sono esclusi per questo motivo tutti i tempi di emissione.

In ogni cella non esclusa a priori **si stimano le emissioni x** e un valore di **J** :

→ **mappa** (dei minimi) **della funzione oggettiva**

Si calcola $p = \exp(-J)$ e si normalizza sulle celle (non escluse)

→ **mappa di probabilità**

Ciclo sulle celle (*gridbox*)

Si **escludono a priori** dalle candidate sorgenti le celle in cui non arrivano le retro-traiettorie provenienti **osservazioni significativamente positive (OSP)**.

Cioè si guardano le componenti della matrice **A**.

1) La sorgente deve “spiegare” **tutte** le **OSP**.

La cella è esclusa se sono nulle tutte le componenti della (colonna della) matrice (cioè componenti nulle per tutti i tempi di emissione) anche per una sola **OSP**.

2) Ogni tempo di emissione (di una cella candidata) deve “spiegare” almeno una **OSP**.

Tempo di emissione escluso se le componenti della (riga della) matrice sono nulle per tutte le OSP. Cella esclusa se sono esclusi per questo motivo tutti i tempi di emissione.

In ogni cella non esclusa a priori **si stimano le emissioni x** e un valore di **J** :

→ **mappa (dei minimi) della funzione oggettiva**

Si calcola $p = \exp(-J)$ e si normalizza sulle celle (non escluse)

→ **mappa di probabilità**

Calcolo **somma dei residui** rispetto a **osservazioni zero** per selezione a posteriori.

Ciclo sulle celle (*gridbox*)

Si **escludono a priori** dalle candidate sorgenti le celle in cui non arrivano le retro-traiettorie provenienti **osservazioni significativamente positive (OSP)**.

Cioè si guardano le componenti della matrice **A**.

1) La sorgente deve “spiegare” **tutte** le **OSP**.

La cella è esclusa se sono nulle tutte le componenti della (colonna della) matrice (cioè componenti nulle per tutti i tempi di emissione) anche per una sola **OSP**.

2) Ogni tempo di emissione (di una cella candidata) deve “spiegare” almeno una **OSP**.

Tempo di emissione escluso se le componenti della (riga della) matrice sono nulle per tutte le OSP. Cella esclusa se sono esclusi per questo motivo tutti i tempi di emissione.

In ogni cella non esclusa a priori **si stimano le emissioni x** e un valore di **J** :

→ **mappa (dei minimi) della funzione oggettiva**

Si calcola $p = \exp(-J)$ e si normalizza sulle celle (non escluse)

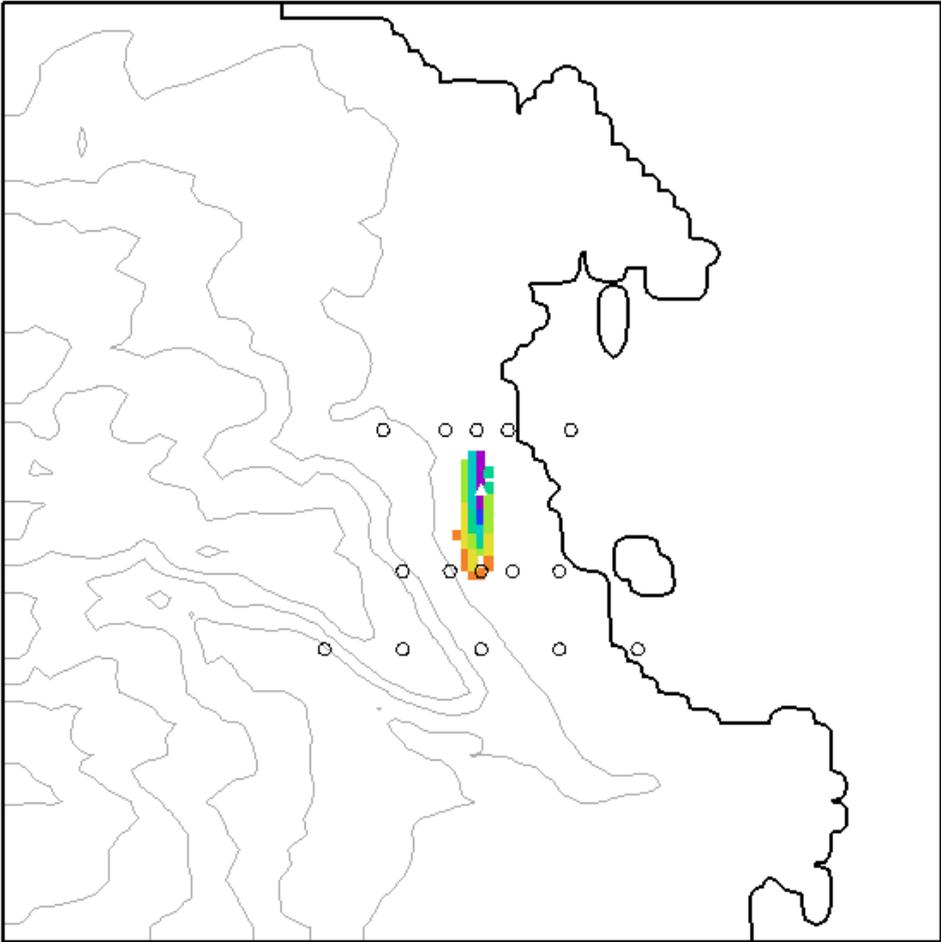
→ **mappa di probabilità**

Calcolo **somma dei residui** rispetto a **osservazioni zero** per selezione a posteriori.

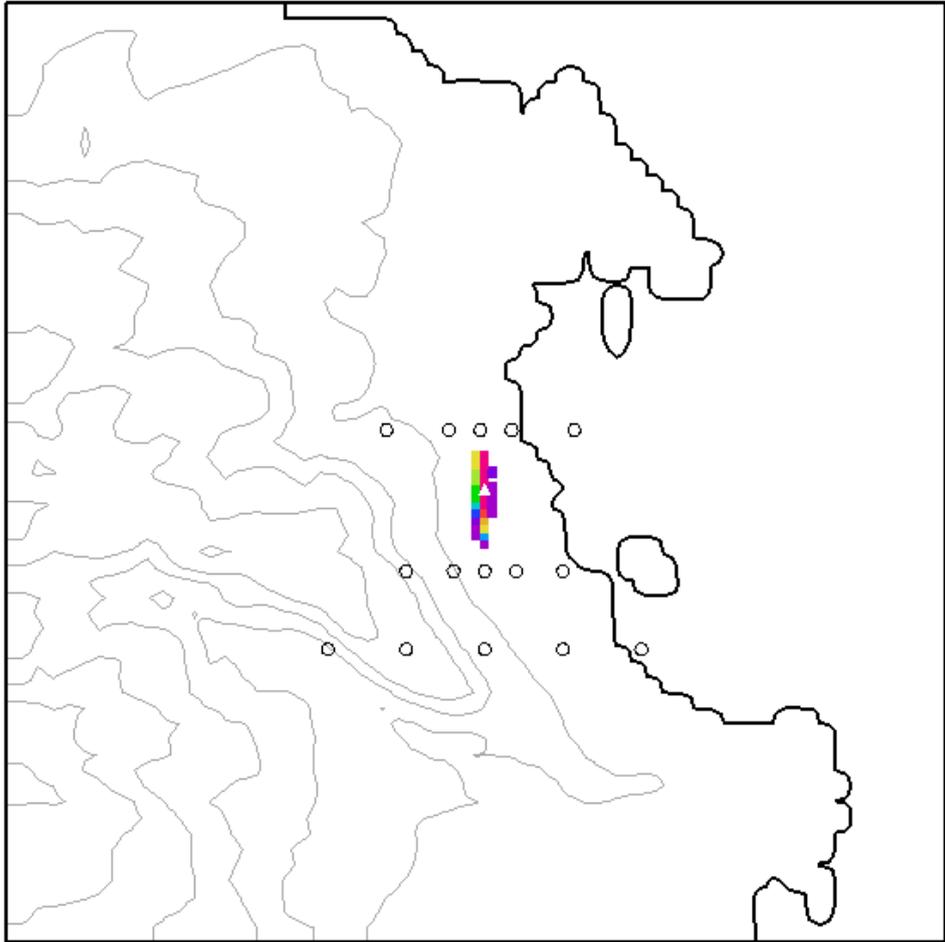
La migliore stima della posizione della sorgente è nella cella per cui il valore di J è minimo (e p massimo) rispetto alle altre celle.

Caso sintetico 1 - 15 stazioni, vento da Nord

objective function

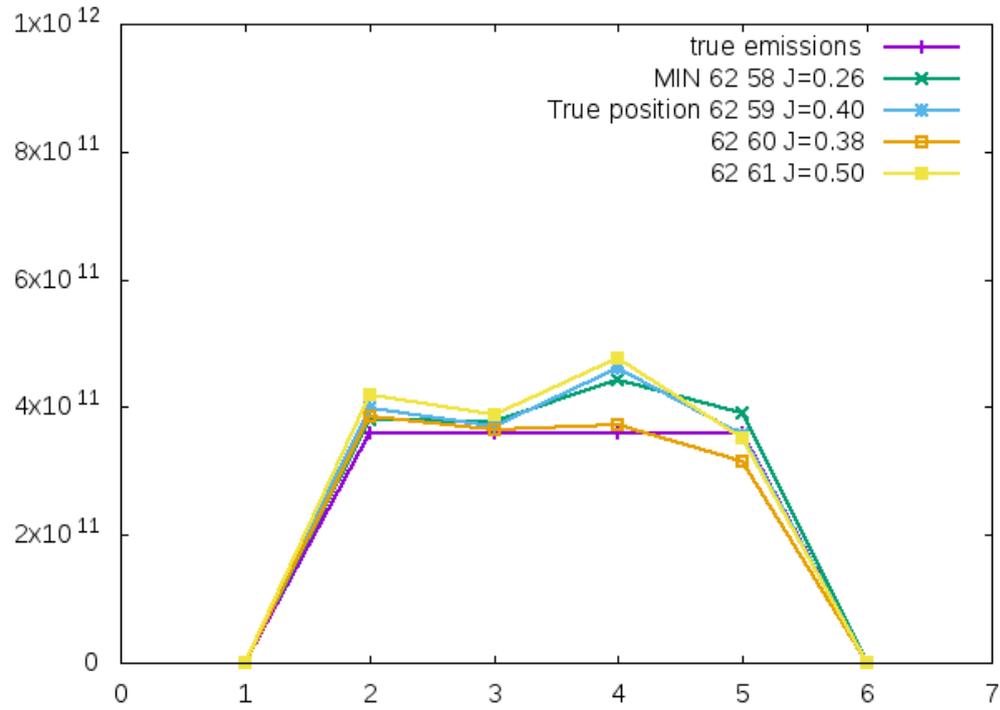


a posteriori probability

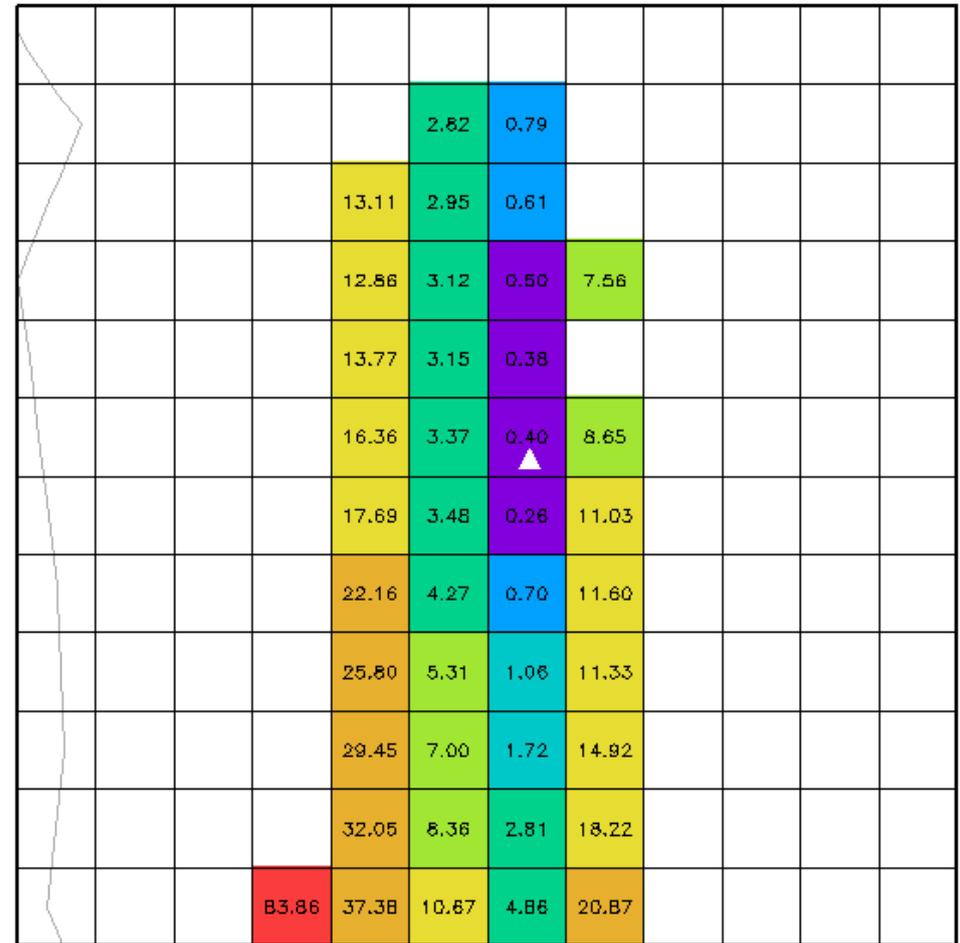


Caso sintetico 1 - 15 stazioni, vento da Nord

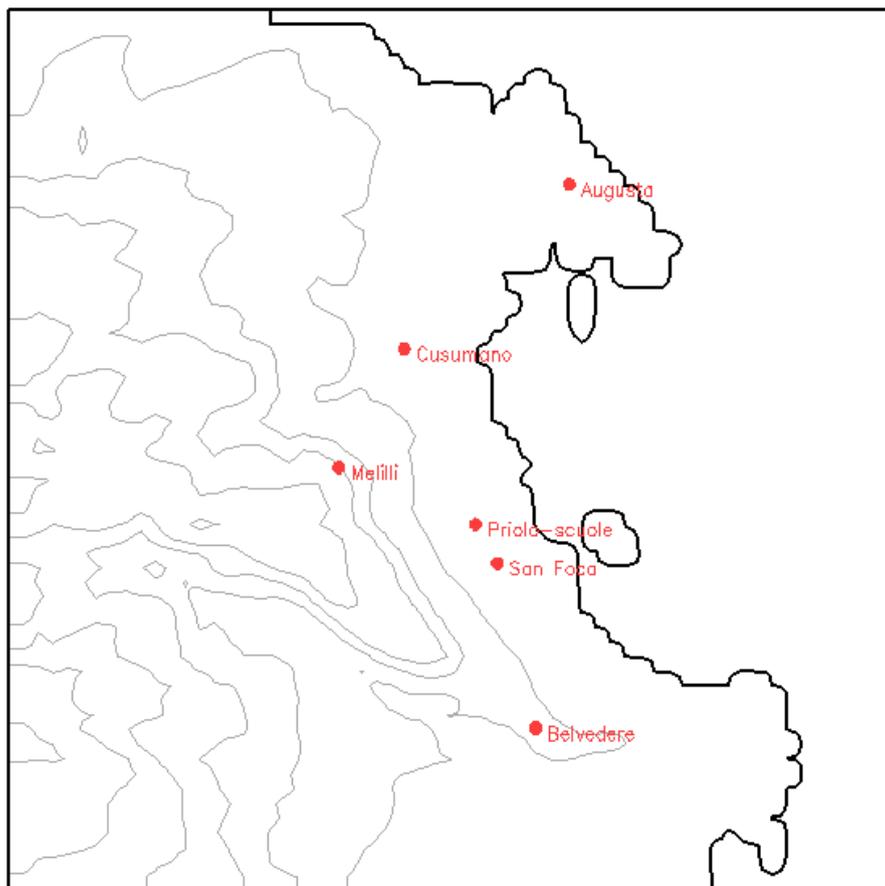
Estimated emissions [ug]



objective function

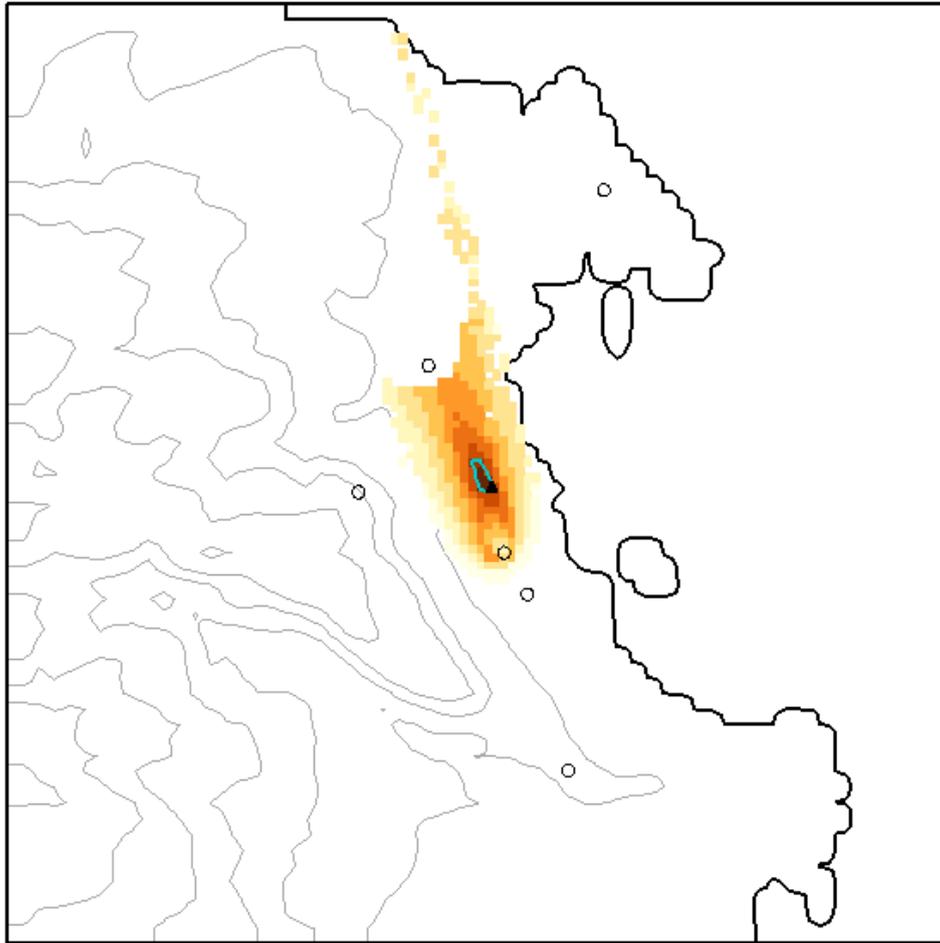


Stazioni nell'area petrolchimica di Priolo, a N di Siracusa



Caso sintetico 2 - 6 stazioni (posizioni reali), vento da Nord

objective function

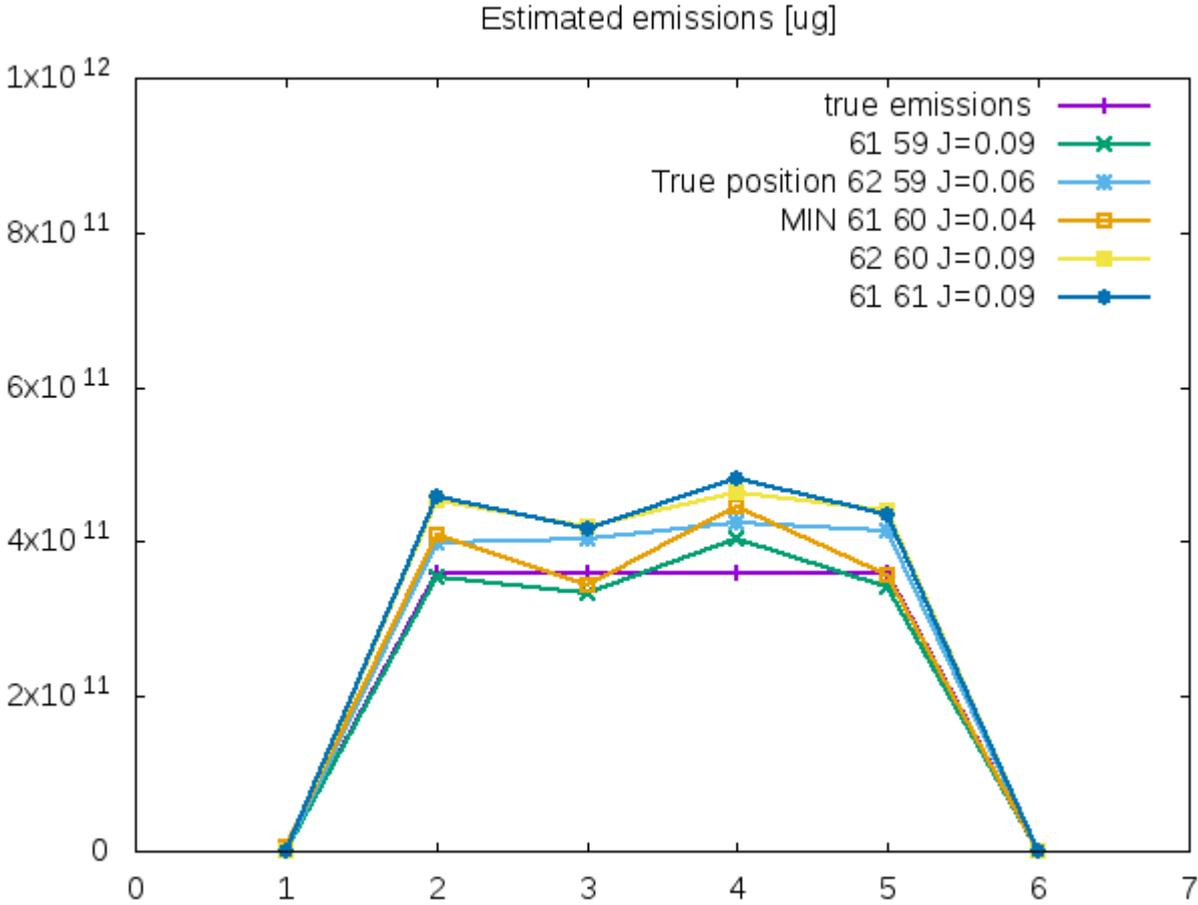


objective function

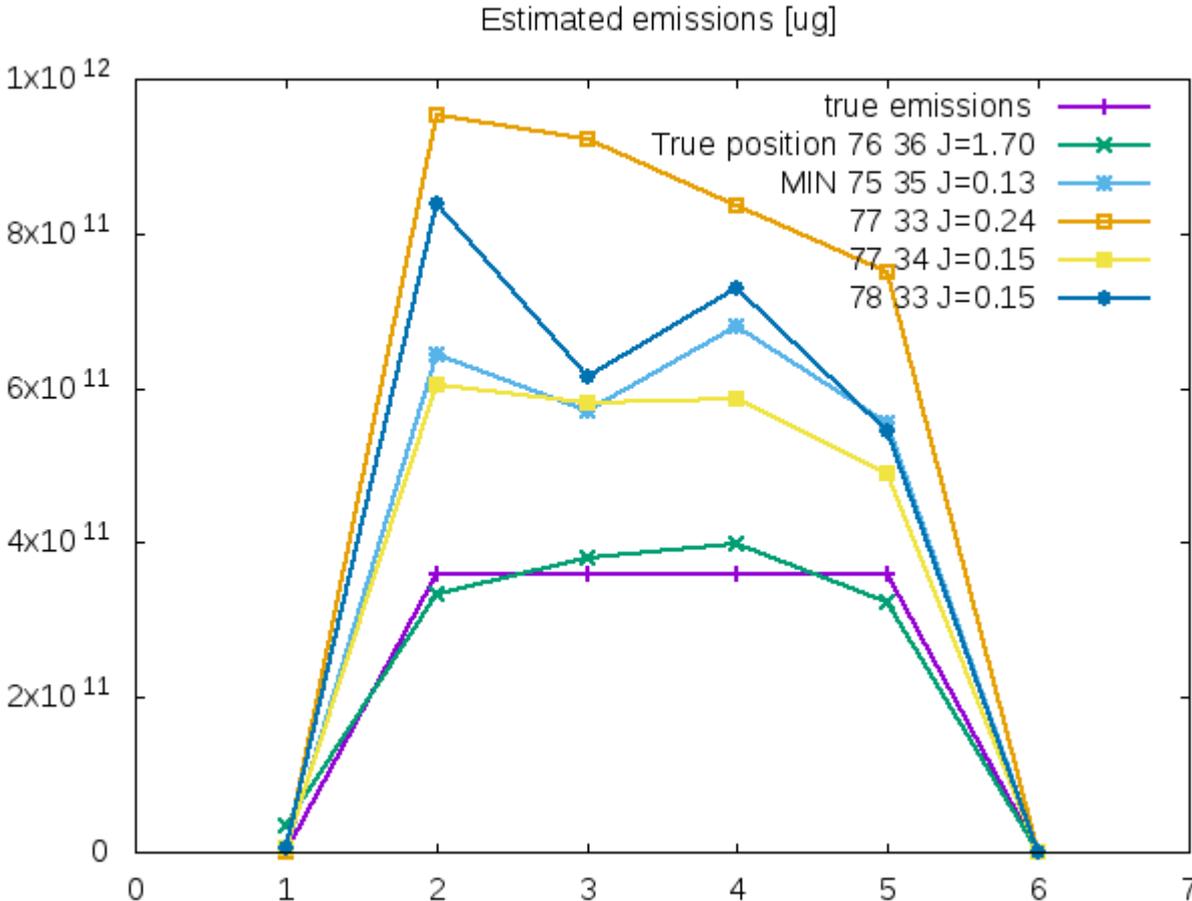
79	4.09	2.76	1.22	0.57	0.31	0.33	0.62	1.43	3.24	6.36	8.45	24
41	5.39	3.43	1.43	0.62	0.17	0.17	0.45	1.06	2.74	5.49	8.02	12
95	5.97	3.87	1.74	0.71	0.28	0.09	0.25	0.80	2.24	4.48	8.20	14
72	7.43	4.29	2.29	0.95	0.21	0.04	0.08	0.57	1.53	3.50	8.14	12
77	9.74	5.56	2.73	1.25	0.43	0.09	0.06	0.30	1.06	2.78	7.55	10
98	11.26	6.81	3.57	1.50	0.61	0.25	0.21	0.33	0.97	2.40	5.49	10
96	14.69	8.77	4.23	2.27	1.02	0.51	0.39	0.38	0.82	2.13	5.25	12
52	17.48	11.54	5.47	2.86	1.07	0.66	0.82	0.76	0.67	1.95	5.42	14
84	20.67	15.31	8.81	3.63	1.54	0.83	1.22	1.39	0.88	1.52	5.50	14
01	27.75	19.84	10.81	5.46	2.42	1.19	1.85	2.38	1.85	1.42	5.09	15
	34.91	21.21	12.60	7.19	3.00	1.26	2.23	4.16	3.83	1.73	5.31	15



Caso sintetico 2 - 6 stazioni (posizioni reali), vento da Nord

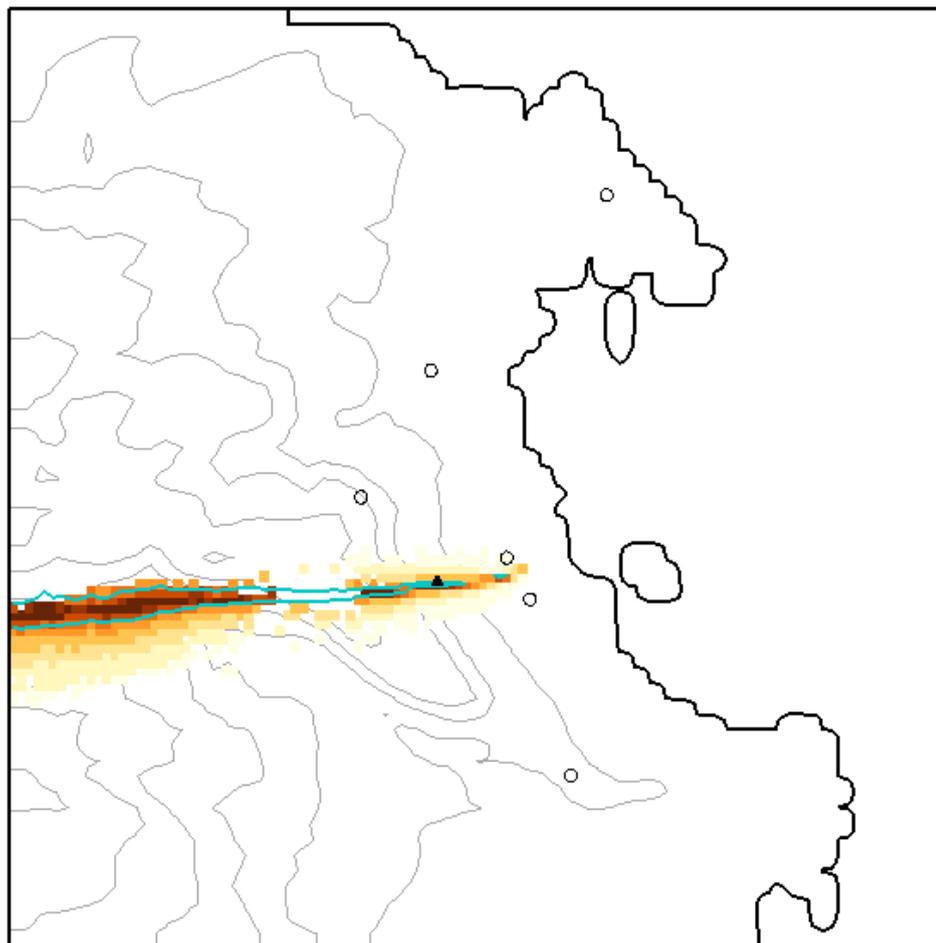


Caso sintetico 3 - 6 stazioni (posizioni reali), vento da Sud

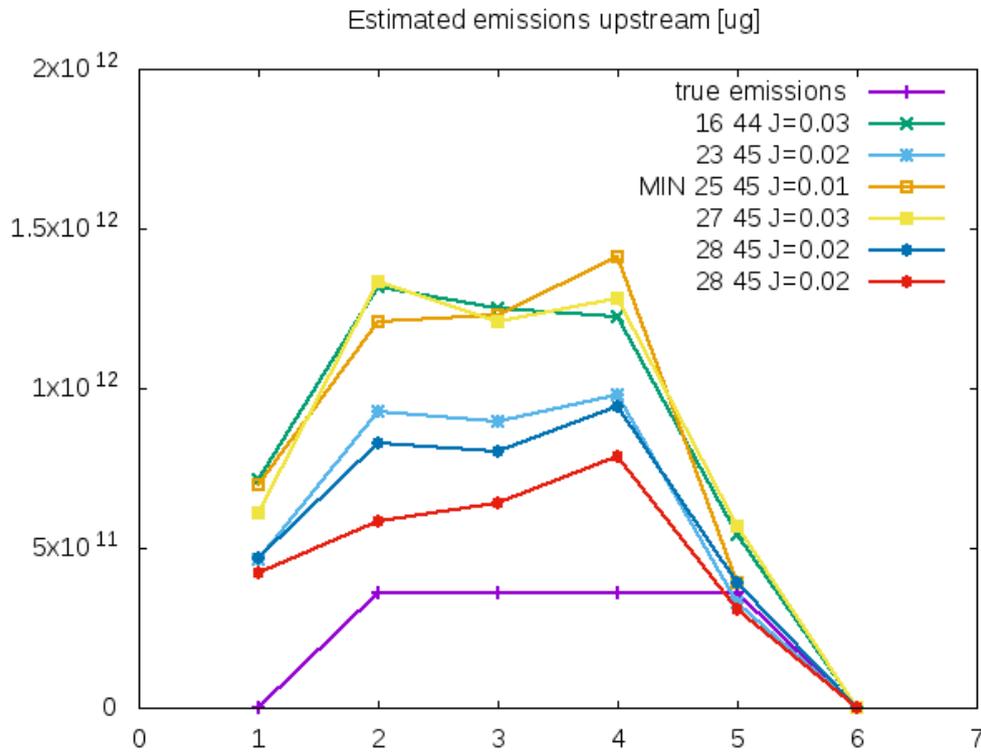


Caso sintetico 4 - 6 stazioni (posizioni reali), vento da Ovest

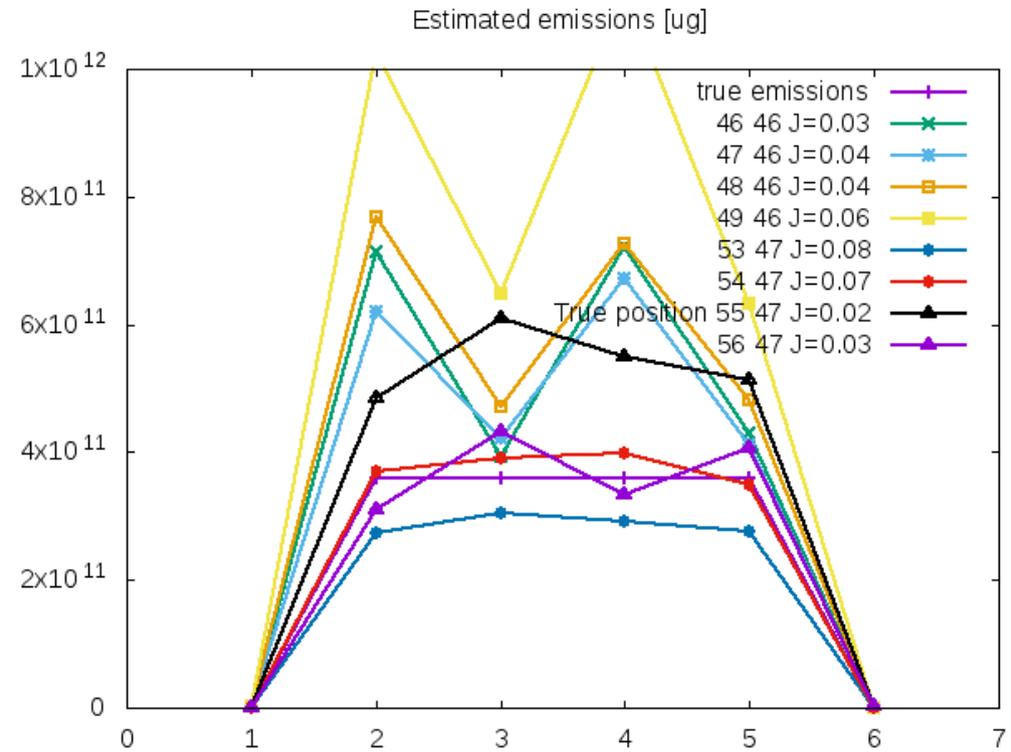
objective function



Caso sintetico 4 - 6 stazioni (posizioni reali), vento da Ovest

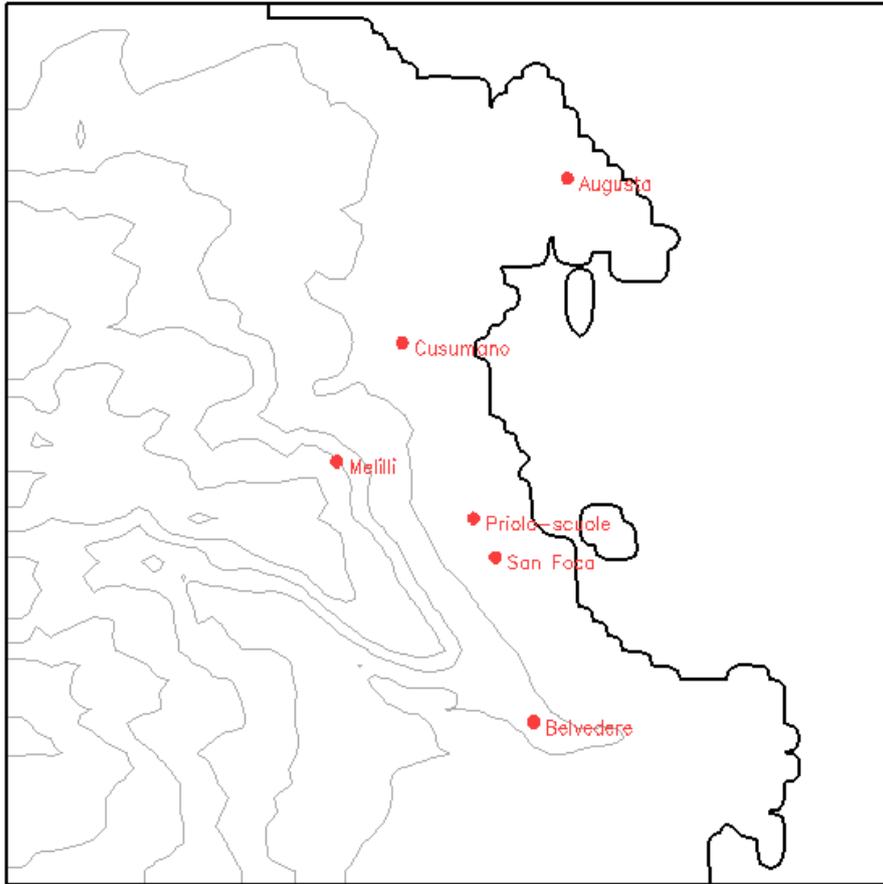


Zona *upstream* del minimo



Zona della vera sorgente

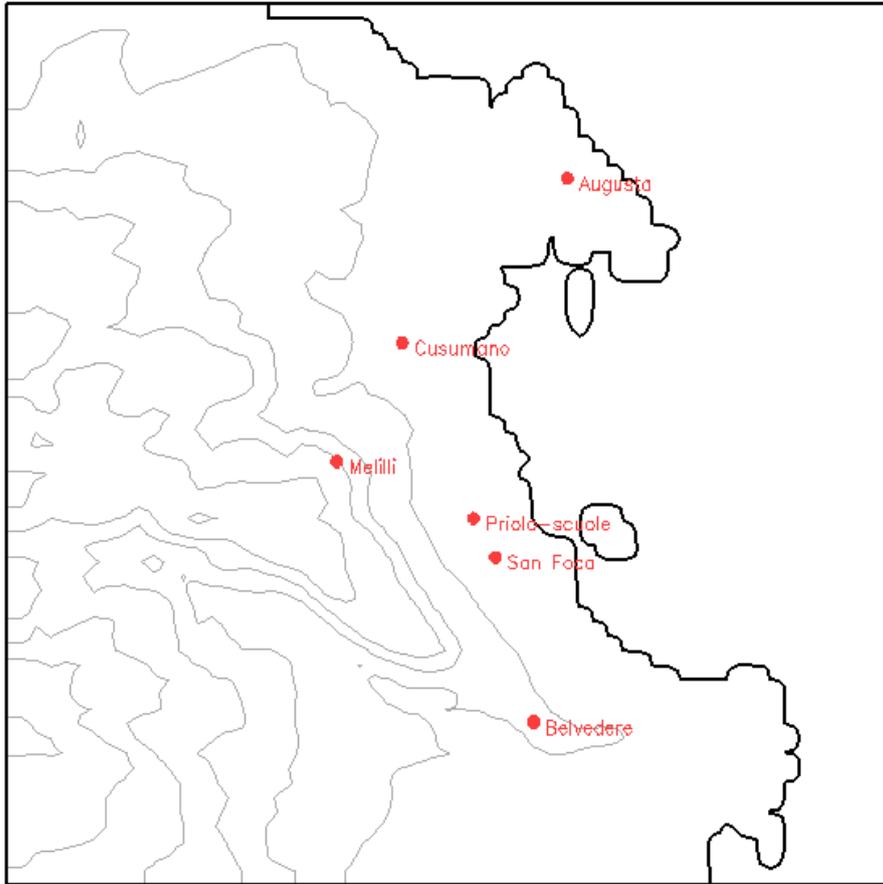
Caso reale 29 Maggio 2016 – Area petrolchimica di Priolo, a N di Siracusa



Osservazioni: concentrazione media oraria di benzene ($\mu\text{g m}^{-3}$)

Data	Ora	Belvedere	San Foca	Melilli	Augusta	Priolo scuole	Cusumano
29/05/2016	17:00–18:00	0.7	0.3	3.4	0.2	0.2	1.5
29/05/2016	18:00–19:00	0.9	0.2	1.2	0.2	0.2	0.5
29/05/2016	19:00–20:00	0.3	0.2	4.4	0.2	0.4	5.0
29/05/2016	20:00–21:00	0.9	74.7	3.1	0.1	151.1	1.7
29/05/2016	21:00–22:00	2.0	5.0	0.3	0.1	9.8	0.2
29/05/2016	22:00–23:00	0.6	0.8	0.1	0.1	3.6	0.1

Caso reale 29 Maggio 2016 – Area petrolchimica di Priolo, a N di Siracusa

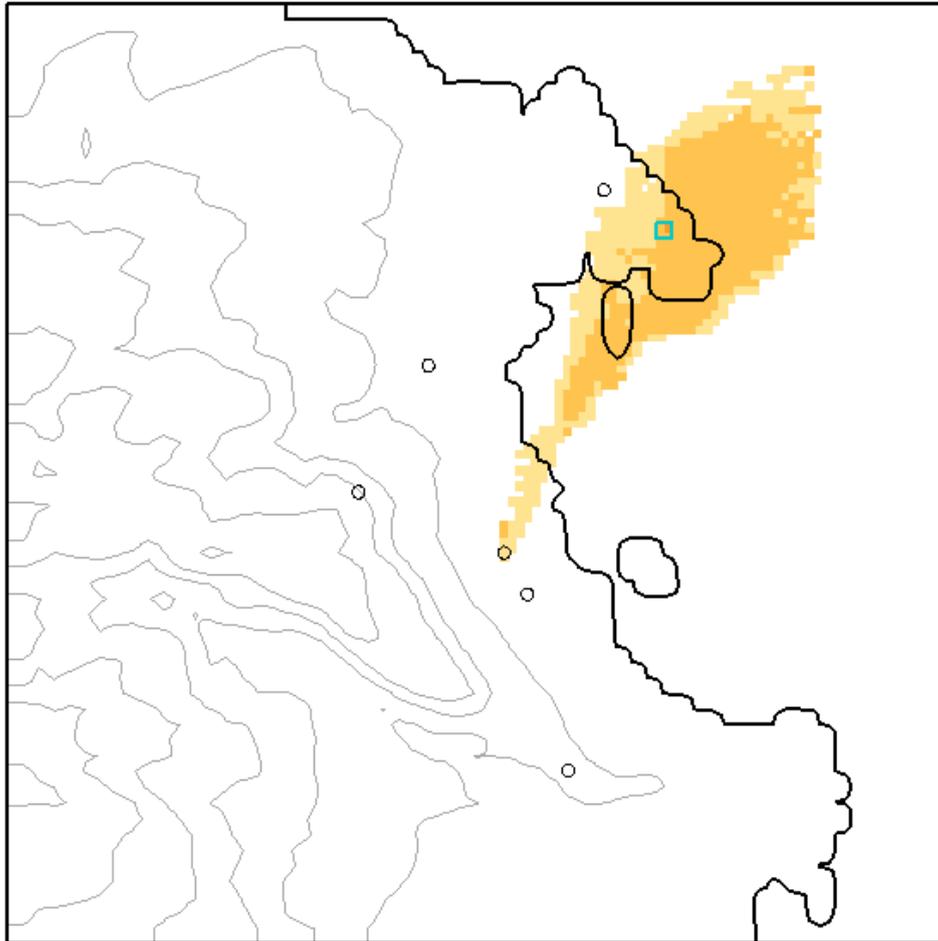


Osservazioni: concentrazione media oraria di benzene ($\mu\text{g m}^{-3}$)

Data	Ora	Belvedere	San Foca	Melilli	Augusta	Priolo scuole	Cusumano
29/05/2016	17:00–18:00	0.7	0.3	3.4	0.2	0.2	1.5
29/05/2016	18:00–19:00	0.9	0.2	1.2	0.2	0.2	0.5
29/05/2016	19:00–20:00	0.3	0.2	4.4	0.2	0.4	5.0
29/05/2016	20:00–21:00	0.9	74.7	3.1	0.1	151.1	1.7
29/05/2016	21:00–22:00	2.0	5.0	0.3	0.1	9.8	0.2
29/05/2016	22:00–23:00	0.6	0.8	0.1	0.1	3.6	0.1

Caso reale Priolo 29 Maggio 2016 — Tutte le stazioni

tutte le stazioni



Osservazioni: 36

Osservazioni “nonzero”: 19; OSP: 5

Posizione stimata della sorgente: cella <85,92>

Minimo funzione oggettiva: 47.7

Probabilità rispetto alle altre celle (92.7 %)

Scarto adim. RMS dalle 19 “nonzero” : 2.24

Scarto RMS dalle 36 osservazioni: 27.11 $\mu\text{g m}^{-3}$

Maggiori scarti ($\mu\text{g m}^{-3}$):

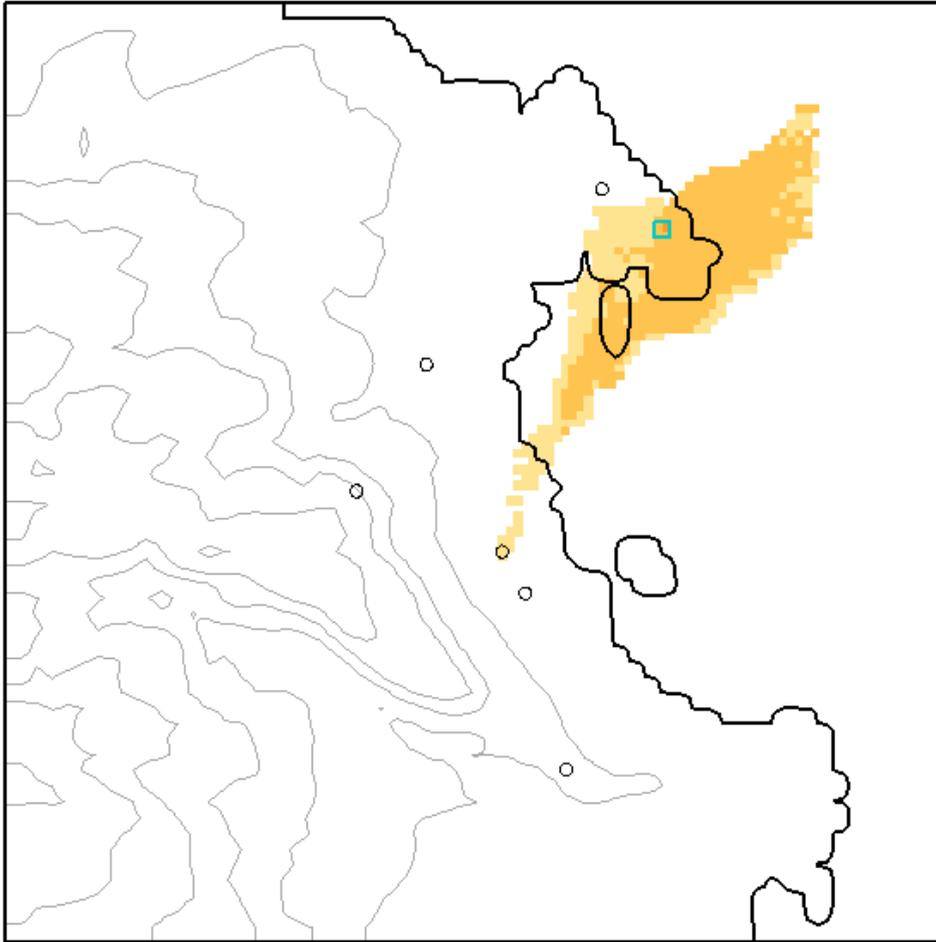
Stazione	ora	Osservazione	Stima
Belvedere	22–23	0.6	14.6
San Foca	20–21	74.7	3.3
San Foca	21–22	5.0	28.1
Priolo–scuole	20–21	151.1	10.1
Priolo–scuole	21–22	9.8	36.0

Emissioni stimate:

ora	μg
17-18	4.5×10^{11}
18-19	6.5×10^9
19-20	UNDEF
20-21	UNDEF
21-22	UNDEF
22-23	UNDEF

Caso reale Priolo 29 Maggio 2016 — Tutte le stazioni

tutte le stazioni



Escluse a posteriori celle con somma residui da obs "zero" > 5 $\mu\text{g m}^{-3}$



Osservazioni: 36

Osservazioni "nonzero": 19; OSP: 5

Posizione stimata della sorgente: cella <85,92>

Minimo funzione oggettiva: 47.7

Probabilità rispetto alle altre celle (92.7 %)

Scarto adim. RMS dalle 19 "nonzero" : 2.24

Scarto RMS dalle 36 osservazioni: 27.11 $\mu\text{g m}^{-3}$

Maggiori scarti ($\mu\text{g m}^{-3}$):

Stazione	ora	Osservazione	Stima
Belvedere	22-23	0.6	14.6
San Foca	20-21	74.7	3.3
San Foca	21-22	5.0	28.1
Priolo-scuole	20-21	151.1	10.1
Priolo-scuole	21-22	9.8	36.0

Emissioni stimate:

ora	μg
17-18	4.5×10^{11}
18-19	6.5×10^9
19-20	UNDEF
20-21	UNDEF
21-22	UNDEF
22-23	UNDEF

Caso reale Priolo 29 Maggio 2016 — Tutte le stazioni

Grandi scarti dalle osservazioni,
in particolare dalle quelle di valore più grande

Approfondimento di analisi:

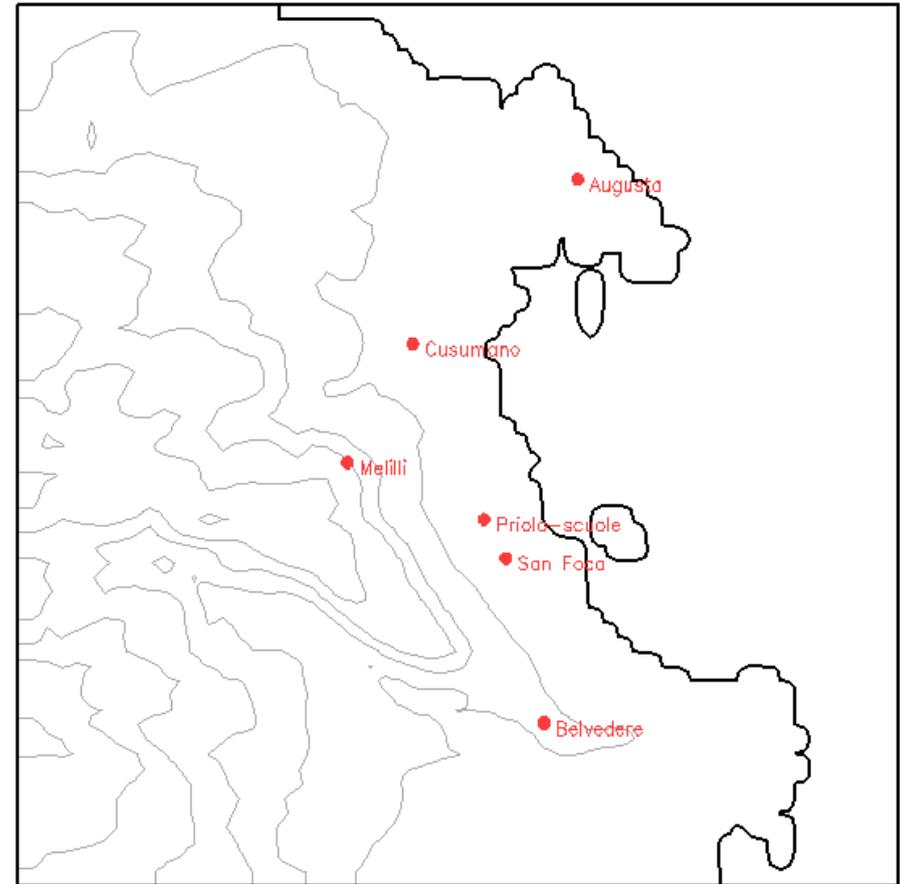
1) analisi retro-traiettorie

(prodotto di retro-concentrazioni)

2) Separazione stazioni:

a) Belvedere, San Foca, Augusta, Priolo-scuole

b) Melilli, Augusta, Cusumano



Osservazioni: concentrazione media oraria di benzene ($\mu\text{g m}^{-3}$)

Data	Ora	Belvedere	San Foca	Melilli	Augusta	Priolo scuole	Cusumano
29/05/2016	17:00–18:00	0.7	0.3	3.4	0.2	0.2	1.5
29/05/2016	18:00–19:00	0.9	0.2	1.2	0.2	0.2	0.5
29/05/2016	19:00–20:00	0.3	0.2	4.4	0.2	0.4	5.0
29/05/2016	20:00–21:00	0.9	74.7	3.1	0.1	151.1	1.7
29/05/2016	21:00–22:00	2.0	5.0	0.3	0.1	9.8	0.2
29/05/2016	22:00–23:00	0.6	0.8	0.1	0.1	3.6	0.1

Caso reale Priolo 29 Maggio 2016 — prodotto retro-concentrazioni

Prodotto (in ogni cella) dei numeri di retro-particelle partite in corrispondenza delle due osservazioni di valore più grande, entrambe relative all'ora 20h–21h ($j = 4$):

San Foca: $74.7 \mu\text{g m}^{-3}$

Priolo–scuole: $151.1 \mu\text{g m}^{-3}$.

Una mappa per ogni possibile tempo di emissione: 17h–18h; 18h–19h; 19h–20h; 20h–21h.

Il prodotto di due numeri di retro-particelle è grande solo quando sono entrambi grandi

È usato come un'indicazione di concentrazione spaziale delle retro-traiettorie.

Una sola sorgente emissiva

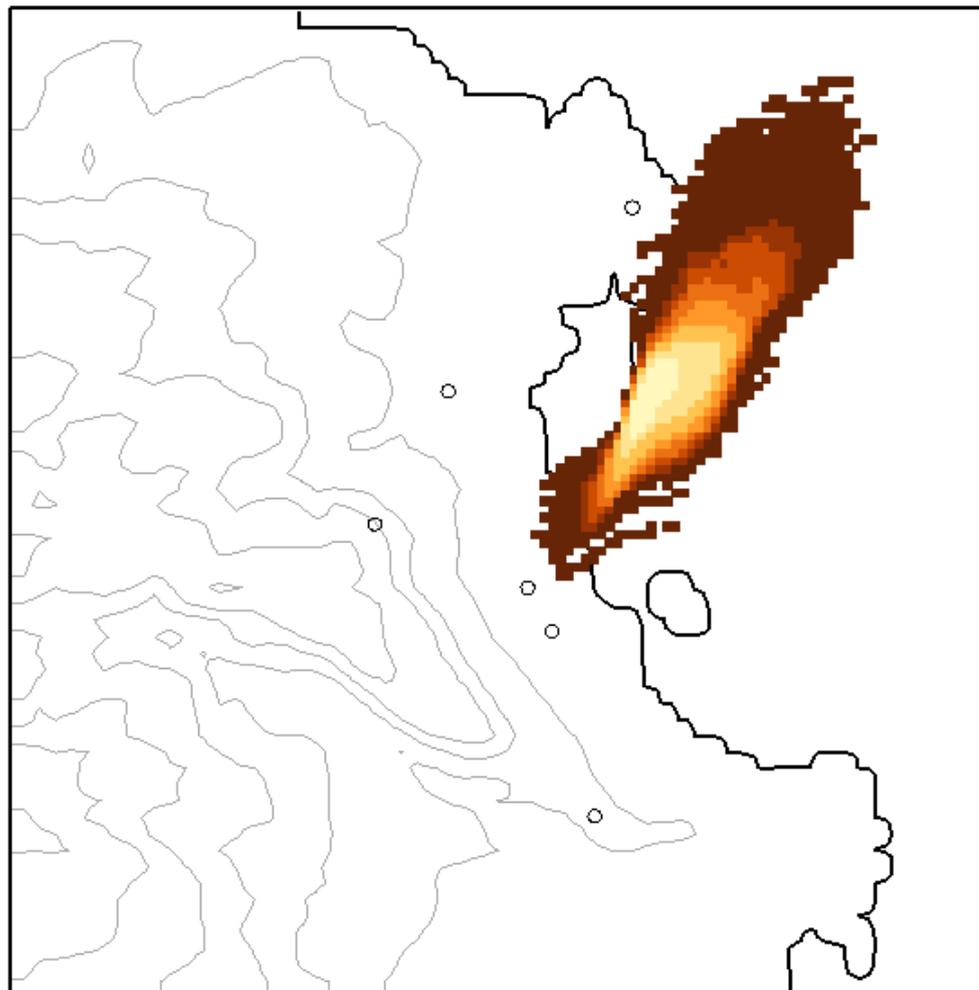
può dare origine a entrambe le osservazioni

solo se è “collegata” ai siti e tempi di entrambe le osservazioni

da un numero sufficiente di retro-traiettorie.

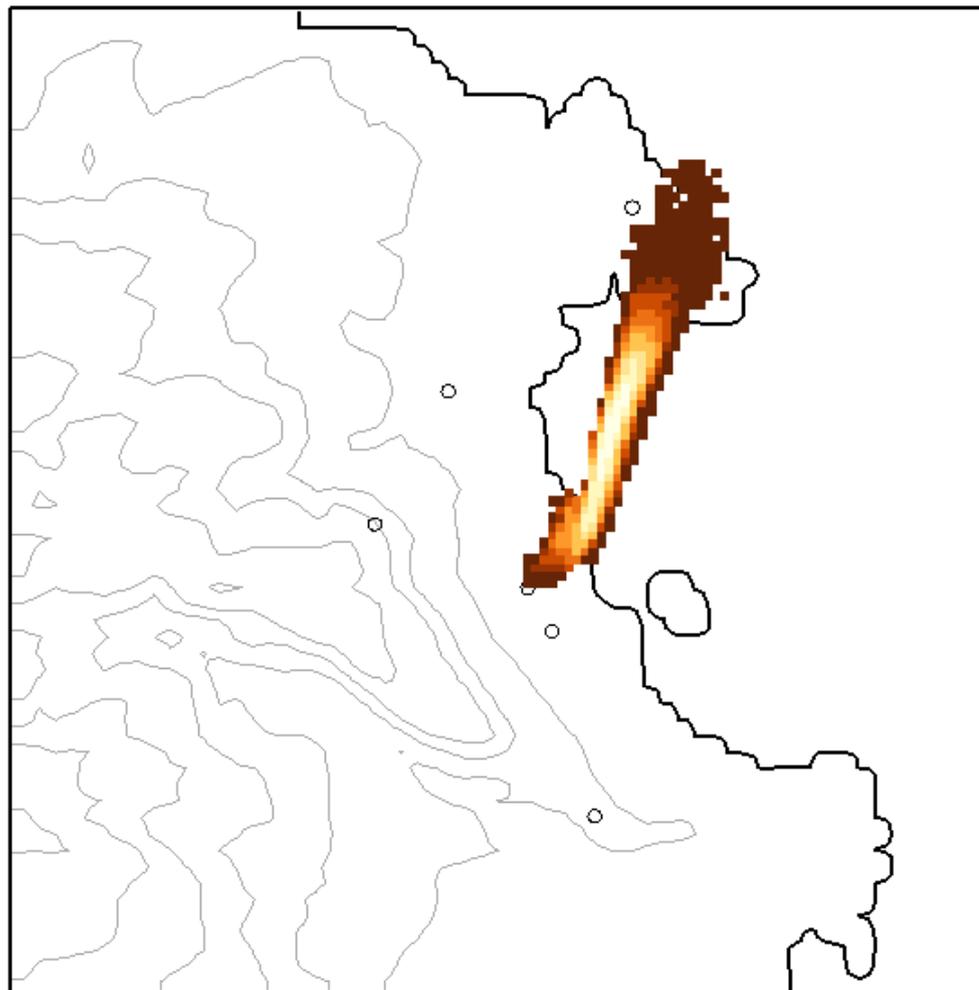
Caso reale Priolo 29 Maggio 2016 — prodotto retro-concentrazioni

San_Foca(4) * Priolo_Scuole(4) n=1:17h-18h



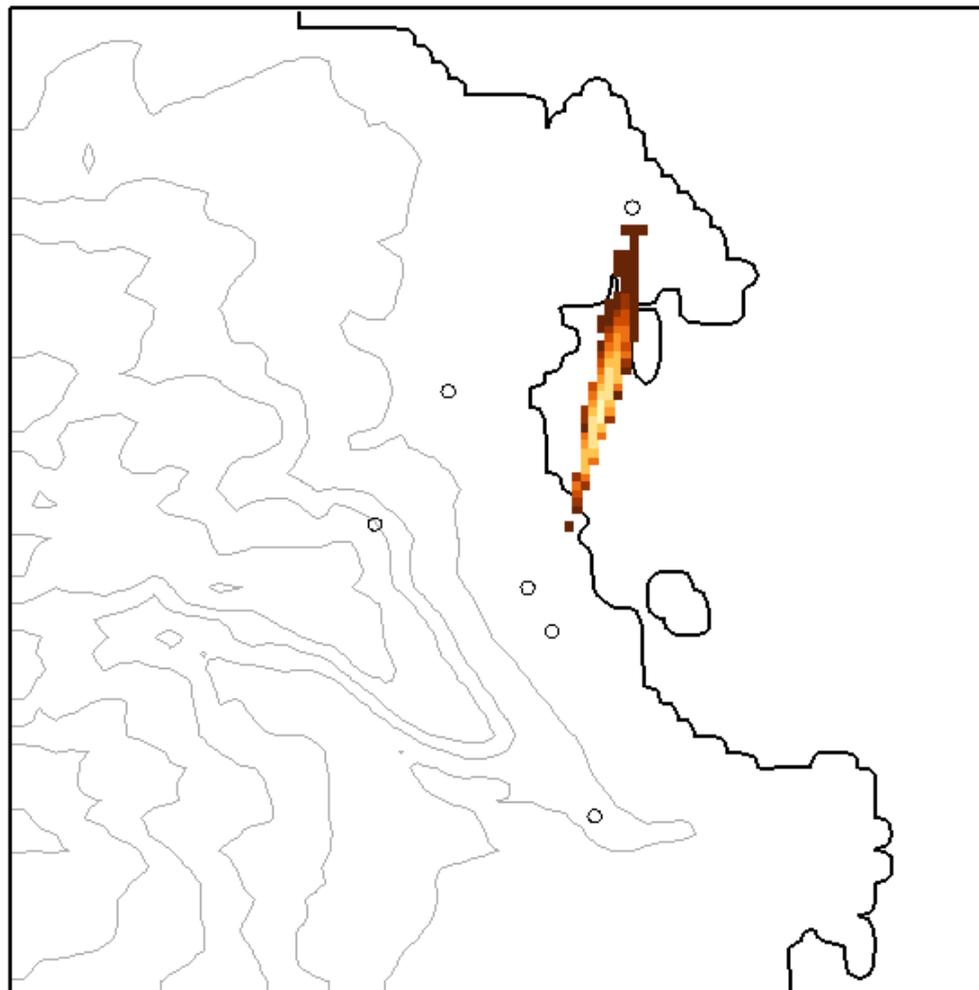
Caso reale Priolo 29 Maggio 2016 — prodotto retro-concentrazioni

San_Foca(4) * Priolo_Scuole(4) n=2:18h-19h



Caso reale Priolo 29 Maggio 2016 — prodotto retro-concentrazioni

San_Foca(4) * Priolo_Scuole(4) n=3:19h-20h



Caso reale Priolo 29 Maggio 2016 — prodotto retro-concentrazioni

San_Foca(4) * Priolo_Scuole(4) n=4:20h-21h

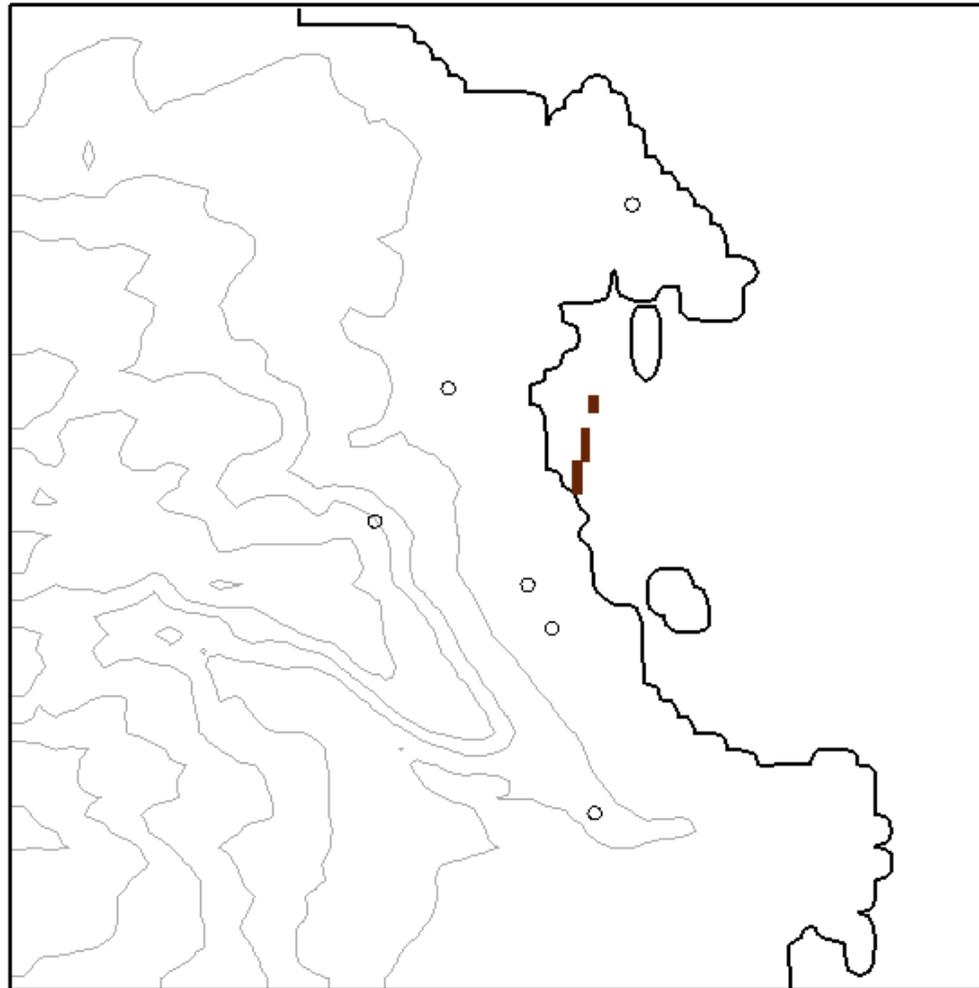
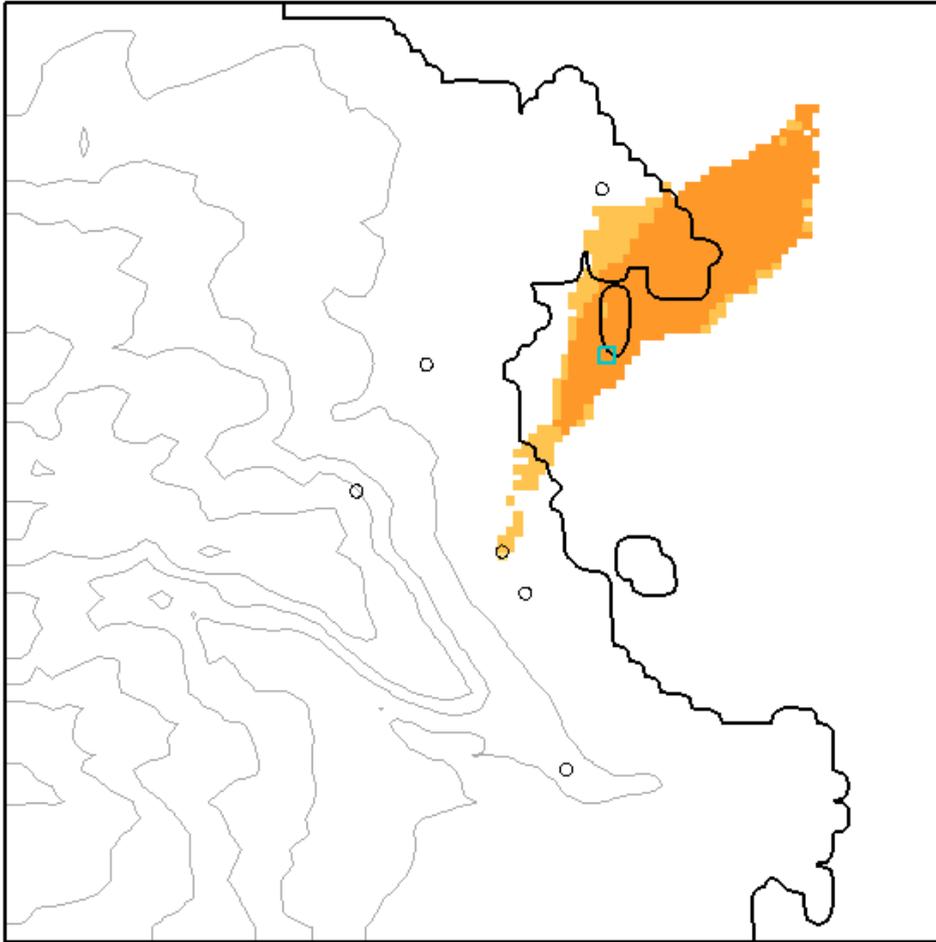


Immagine GoogleMaps dell'area di mare di fronte a Priolo



Caso reale Priolo 29 Maggio 2016: Belvedere, San Foca, Augusta, Priolo scuole

Belvedere, Augusta, San Foca, Priolo-s



Escluse a posteriori celle con somma residui da obs "zero" > 5 $\mu\text{g m}^{-3}$



Osservazioni: 24

Osservazioni "nonzero": 11; OSP: 4

Posizione stimata della sorgente: cella <78,76>

Minimo funzione oggettiva: 28.5

Probabilità rispetto alle altre celle (14.8 %)

Scarto adim. RMS dalle 11 "nonzero" : 2.28

Scarto RMS dalle 24 osservazioni: 12.09 $\mu\text{g m}^{-3}$

Maggiori scarti ($\mu\text{g m}^{-3}$):

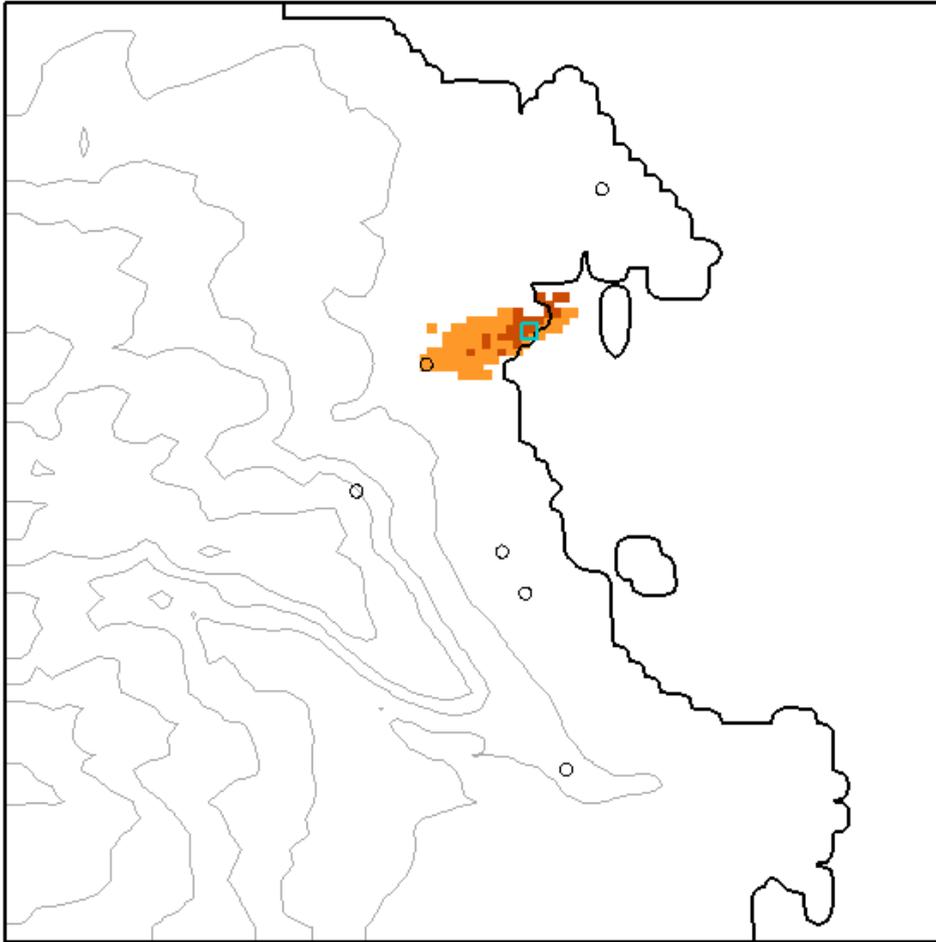
Stazione	ora	Osservazione	Stima
Belvedere	22-23	0.6	6.0
San Foca	20-21	74.7	31.7
Priolo-scuole	20-21	151.1	190.9
Priolo-scuole	21-22	9.8	4.3

ora	μg
17-18	2.1×10^{11}
18-19	2.2×10^9
19-20	7.0×10^6
20-21	UNDEF
21-22	UNDEF
22-23	UNDEF

Emissioni stimate:

Caso reale Priolo 29 Maggio 2016: Melilli, Augusta, Cusumano

Augusta, Melilli, Cusumano



Escluse a posteriori celle con somma residui da obs "zero" $> 5 \mu\text{g m}^{-3}$



Osservazioni: 18

Osservazioni "nonzero": 8; **OSP: 2** $\chi \geq \chi_{large} 2.0 \mu\text{g m}^{-3}$

Posizione stimata della sorgente: cella $\langle 68,79 \rangle$

Minimo funzione oggettiva: 16.2

Probabilità rispetto alle altre celle (19.2 %)

Scarto adim. RMS dalle 8 "nonzero" : 2.01

Scarto RMS dalle 18 osservazioni: $2.46 \mu\text{g m}^{-3}$

Maggiore scarto ($\mu\text{g m}^{-3}$): Melilli, 19h–20h,
oss: $4.4 \mu\text{g m}^{-3}$; stima: $10.5 \mu\text{g m}^{-3}$

Maggiore valore osservato ($\mu\text{g m}^{-3}$): Cusumano,
19h–20h, oss: $5.0 \mu\text{g m}^{-3}$; stima: $1.6 \mu\text{g m}^{-3}$

Emissioni stimate:

ora	μg
17-18	2.1×10^{11}
18-19	3.4×10^{06}
19-20	UNDEF
20-21	UNDEF
21-22	UNDEF
22-23	UNDEF

Conclusioni 1/2

- È possibile utilizzare **retroSPRAY**:
 - per individuare, o quantomeno delimitare, la posizione di una sorgente incognita di una sostanza inquinante
 - stimarne le emissioni in termini di tempi e masse.

Conclusioni 1/2

- È possibile utilizzare **retroSPRAY**:
 - per individuare, o quantomeno delimitare, la posizione di una sorgente incognita di una sostanza inquinante
 - stimarne le emissioni in termini di tempi e masse.
- trasformazione logaritmica, algoritmo variazionale, codice fortran

Conclusioni 1/2

- È possibile utilizzare **retroSPRAY**:
 - per individuare, o quantomeno delimitare, la posizione di una sorgente incognita di una sostanza inquinante
 - stimarne le emissioni in termini di tempi e masse.
- trasformazione logaritmica, algoritmo variazionale, codice fortran
- Casi sintetici idealizzati e caso reale (29 Maggio 2016, rilascio di benzene nella zona di Priolo, a Nord di Siracusa)

Conclusioni 1/2

- È possibile utilizzare **retroSPRAY**:
 - per individuare, o quantomeno delimitare, la posizione di una sorgente incognita di una sostanza inquinante
 - stimarne le emissioni in termini di tempi e masse.
- trasformazione logaritmica, algoritmo variazionale, codice fortran
- Casi sintetici idealizzati e caso reale (29 Maggio 2016, rilascio di benzene nella zona di Priolo, a Nord di Siracusa)
- Casi sintetici
 - test e affinamento del metodo
 - buone stime delle emissioni “vere” e della posizione della sorgente.
 - Maggiore incertezza nella direzione di provenienza del vento.

Conclusioni 1/2

- È possibile utilizzare **retroSPRAY**:
 - per individuare, o quantomeno delimitare, la posizione di una sorgente incognita di una sostanza inquinante
 - stimarne le emissioni in termini di tempi e masse.
- trasformazione logaritmica, algoritmo variazionale, codice fortran
- Casi sintetici idealizzati e caso reale (29 Maggio 2016, rilascio di benzene nella zona di Priolo, a Nord di Siracusa)
- Casi sintetici
 - test e affinamento del metodo
 - buone stime delle emissioni “vere” e della posizione della sorgente.
 - Maggiore incertezza nella direzione di provenienza del vento.
- Ruolo determinante della presenza di **osservazioni zero**: permettono di **escludere posizioni *upstream*** della sorgente, **ovvero**:
 - quando non sono disponibili osservazioni *upstream* è maggiore l'incertezza sulla posizione della sorgente nella direzione di provenienza del vento.

Conclusioni 2/2

- Criticità dell'informazione sul campo di vento.
 - Le condizioni di vento debole nelle prime ore dell'evento serale del 29 Maggio 2016 potrebbero aver determinato le concentrazioni piccole, ma non del tutto trascurabili, alle stazioni di Melilli e Cusumano, che è risultato difficile collegare con traiettorie di retroSPRAY a una possibile sorgente responsabile delle osservazioni, di valore ben più grande, di San Foca e Priolo.

Conclusioni 2/2

- Criticità dell'informazione sul campo di vento.
 - Le condizioni di vento debole nelle prime ore dell'evento serale del 29 Maggio 2016 potrebbero aver determinato le concentrazioni piccole, ma non del tutto trascurabili, alle stazioni di Melilli e Cusumano, che è risultato difficile collegare con traiettorie di retroSPRAY a una possibile sorgente responsabile delle osservazioni, di valore ben più grande, di San Foca e Priolo.
- **retroSPRAY** costituisce un “aggiunto” approssimato, ma non esatto, di **SPRAY**
 - Questo è dovuto alla natura statistica del modello a particelle

Conclusioni 2/2

- Criticità dell'informazione sul campo di vento.
 - Le condizioni di vento debole nelle prime ore dell'evento serale del 29 Maggio 2016 potrebbero aver determinato le concentrazioni piccole, ma non del tutto trascurabili, alle stazioni di Melilli e Cusumano, che è risultato difficile collegare con traiettorie di retroSPRAY a una possibile sorgente responsabile delle osservazioni, di valore ben più grande, di San Foca e Priolo.
- **retroSPRAY** costituisce un “aggiunto” approssimato, ma non esatto, di **SPRAY**
 - Questo è dovuto alla natura statistica del modello a particelle
- Caso reale : grandi scarti tra stime e osservazioni
 - In particolare sono molto alti se si tenta di individuare un'unica sorgente fissa per tutte le osservazioni “nonzero” (maggiori di $0.5 \mu\text{g m}^{-3}$).

Conclusioni 2/2

- Criticità dell'informazione sul campo di vento.
 - Le condizioni di vento debole nelle prime ore dell'evento serale del 29 Maggio 2016 potrebbero aver determinato le concentrazioni piccole, ma non del tutto trascurabili, alle stazioni di Melilli e Cusumano, che è risultato difficile collegare con traiettorie di retroSPRAY a una possibile sorgente responsabile delle osservazioni, di valore ben più grande, di San Foca e Priolo.
- **retroSPRAY** costituisce un “aggiunto” approssimato, ma non esatto, di **SPRAY**
 - Questo è dovuto alla natura statistica del modello a particelle
- Caso reale : grandi scarti tra stime e osservazioni
 - In particolare sono molto alti se si tenta di individuare un'unica sorgente fissa per tutte le osservazioni “nonzero” (maggiori di $0.5 \mu\text{g m}^{-3}$).
- L'applicazione a un sottoinsieme di stazioni (Belvedere, San Foca, Priolo, Augusta) che esclude le suddette stazioni di Melilli e Cusumano individua le posizioni più probabili delle sorgente, con i valori più bassi della funzione oggettiva, nell'**area di mare** prospiciente l'area petrolchimica di Priolo.

Conclusioni 2/2

- Criticità dell'informazione sul campo di vento.
 - Le condizioni di vento debole nelle prime ore dell'evento serale del 29 Maggio 2016 potrebbero aver determinato le concentrazioni piccole, ma non del tutto trascurabili, alle stazioni di Melilli e Cusumano, che è risultato difficile collegare con traiettorie di retroSPRAY a una possibile sorgente responsabile delle osservazioni, di valore ben più grande, di San Foca e Priolo.
- **retroSPRAY** costituisce un "aggiunto" approssimato, ma non esatto, di **SPRAY**
 - Questo è dovuto alla natura statistica del modello a particelle
- Caso reale : grandi scarti tra stime e osservazioni
 - In particolare sono molto alti se si tenta di individuare un'unica sorgente fissa per tutte le osservazioni "nonzero" (maggiori di $0.5 \mu\text{g m}^{-3}$).
- L'applicazione a un sottoinsieme di stazioni (Belvedere, San Foca, Priolo, Augusta) che esclude le suddette stazioni di Melilli e Cusumano individua le posizioni più probabili delle sorgente, con i valori più bassi della funzione oggettiva, nell'**area di mare** prospiciente l'area petrolchimica di Priolo.
- Tale risultato è confermato dalla visualizzazione del prodotto delle retro-concentrazioni (ovvero numeri medi di retro-particelle in una gridbox) partite in corrispondenza delle due osservazioni di valore grande, ovvero San Foca, $74.7 \mu\text{g m}^{-3}$ e Priolo, $151.1 \mu\text{g m}^{-3}$, entrambe relative all'ora 20-21.

Conclusioni 2/2

- Criticità dell'informazione sul campo di vento.
 - Le condizioni di vento debole nelle prime ore dell'evento serale del 29 Maggio 2016 potrebbero aver determinato le concentrazioni piccole, ma non del tutto trascurabili, alle stazioni di Melilli e Cusumano, che è risultato difficile collegare con traiettorie di retroSPRAY a una possibile sorgente responsabile delle osservazioni, di valore ben più grande, di San Foca e Priolo.
- **retroSPRAY** costituisce un "aggiunto" approssimato, ma non esatto, di **SPRAY**
 - Questo è dovuto alla natura statistica del modello a particelle
- Caso reale : grandi scarti tra stime e osservazioni
 - In particolare sono molto alti se si tenta di individuare un'unica sorgente fissa per tutte le osservazioni "nonzero" (maggiori di $0.5 \mu\text{g m}^{-3}$).
- L'applicazione a un sottoinsieme di stazioni (Belvedere, San Foca, Priolo, Augusta) che esclude le suddette stazioni di Melilli e Cusumano individua le posizioni più probabili delle sorgente, con i valori più bassi della funzione oggettiva, nell'**area di mare** prospiciente l'area petrolchimica di Priolo.
- Tale risultato è confermato dalla visualizzazione del prodotto delle retro-concentrazioni (ovvero numeri medi di retro-particelle in una gridbox) partite in corrispondenza delle due osservazioni di valore grande, ovvero San Foca, $74.7 \mu\text{g m}^{-3}$ e Priolo, $151.1 \mu\text{g m}^{-3}$, entrambe relative all'ora 20-21.
- Plausibile l'ipotesi del rilascio da parte di una nave