

# Previsione numerica della nebbia nell'Artico in condizioni del riscaldamento climatico

Oxana Drofa<sup>(1)</sup>, Francesco Tampieri<sup>(1)</sup>, Angelo P. Viola<sup>(2)</sup>

[o.drofa@isac.cnr.it](mailto:o.drofa@isac.cnr.it) <sup>(1)</sup> CNR ISAC, Bologna, <sup>(2)</sup> CNR ISP, Roma

## Riassunto

Nelle condizioni del **riscaldamento climatico** attuale, l'attività economica, in particolare il trasporto via mare, nell'Artico diventa un'opportunità sempre più promettente. Nel contempo, tale attività si scontra con una serie dei problemi di natura meteorologica, in particolare i casi della **nebbia** sopra la superficie marina libera dal ghiaccio. Secondo la definizione della WMO la nebbia e' il fenomeno meteorologico caratterizzato dalla **visibilità orizzontale minore di 1000 m**. Il presente lavoro e' stato effettuato nell'ambito del progetto "**Arctic fog**", finanziato dalla fondazione "**Belmont forum**" nella chiamata del 2014. Il lavoro e' basato sullo studio dei parametri meteorologici dello strato superficiale simulati da un modello numerico dell'atmosfera ai fini della previsione della visibilità orizzontale alla superficie durante la stagione estiva nell'Artico. La "**friction velocity**" ed il **contenuto idrico delle nubi** in prossimità della superficie simulati dal modello **BOLAM** vengono proposte in qualità di predittori della visibilità attraverso due originali formulazioni di un metodo della **previsione numerica della nebbia**. Una **verifica** della previsione numerica della nebbia viene presentata usando i dati osservativi della rete GTS (WMO).

## Formulazione del problema

La **nebbia** e' un fenomeno **poco predicibile**, la sua previsione e' una sfida audace soprattutto con i metodi della previsione numerica modellistica.

Le condizioni favorevoli alla formazione della nebbia sono la stratificazione atmosferica stabile ed il vento debole in prossimità della superficie. Entrambe le condizioni corrispondono al **mescolamento verticale debole** che non e' rappresentato in un modo corretto nella teoria di similarità di Monin-Obukhov (**MOST**) applicata nei modelli numerici dell'atmosfera per parametrizzare lo scambio turbolento nello strato limite atmosferico.

Nonostante le difficoltà oggettive, la previsione numerica della nebbia può essere affrontata come uno studio con molte incognite. La previsione della nebbia e' la previsione della **visibilità orizzontale** che può dipendere da molte variabili alla superficie. Il lavoro presente cerca le variabili «migliori» del modello che possono essere usate come i predittori della bassa visibilità orizzontale e propone i metodi del loro uso.

Lo studio prende in considerazione le condizioni della **superficie marina libera dal ghiaccio nell'Artico** estivo.

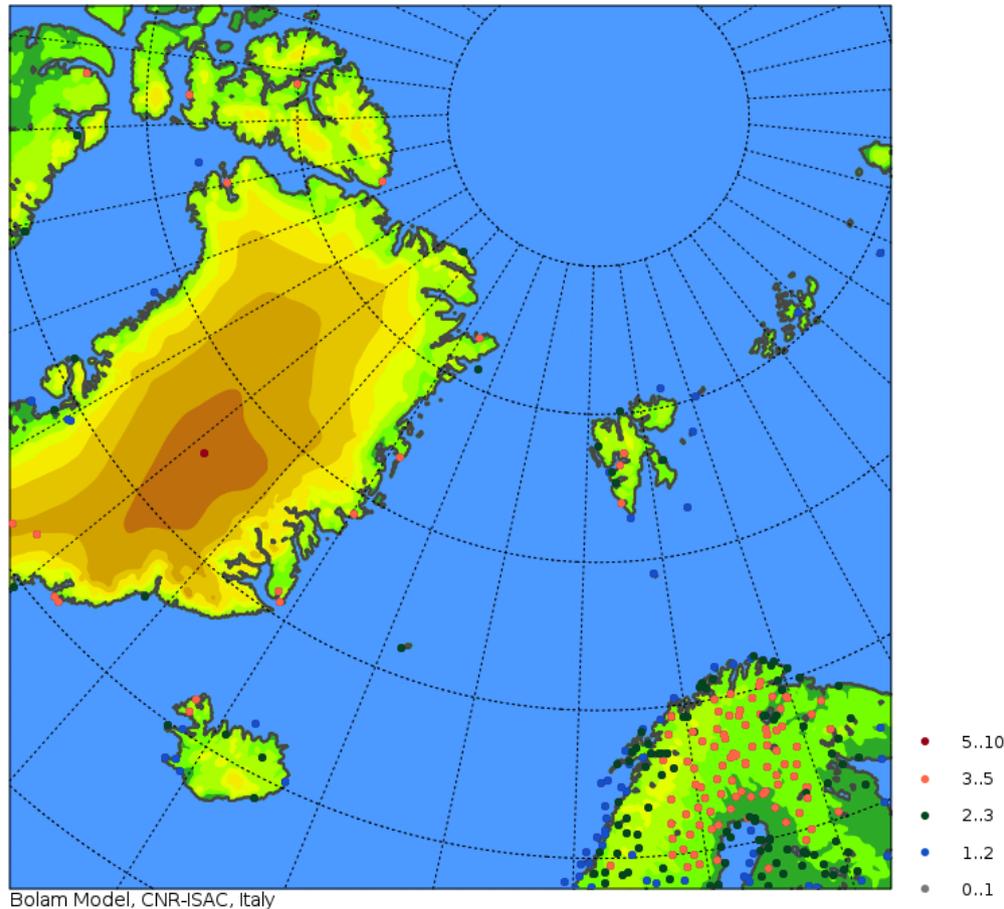
Purtroppo non ci sono molti studi già pubblicati sul problema per poter confrontare i risultati ottenuti, in particolare nella zona geografica di interesse.

Il modello numerico dell'atmosfera **BOLAM** viene usato dallo studio, e' un modello idrostatico ad area limitata applicato con la **risoluzione** orizzontale di **7 km** circa. La simulazione numerica era effettuata nel regime «**hindcast**» usando le analisi dell'IFS-ECMWF per definire le condizioni al contorno orizzontale. La durata della simulazione era di **3 mesi estivi** (del 2016) più 3 mesi precedenti per arrivare al regime idro-termico stabile nel suolo (non considerati nello studio).

# Verifica della simulazione usata nello studio

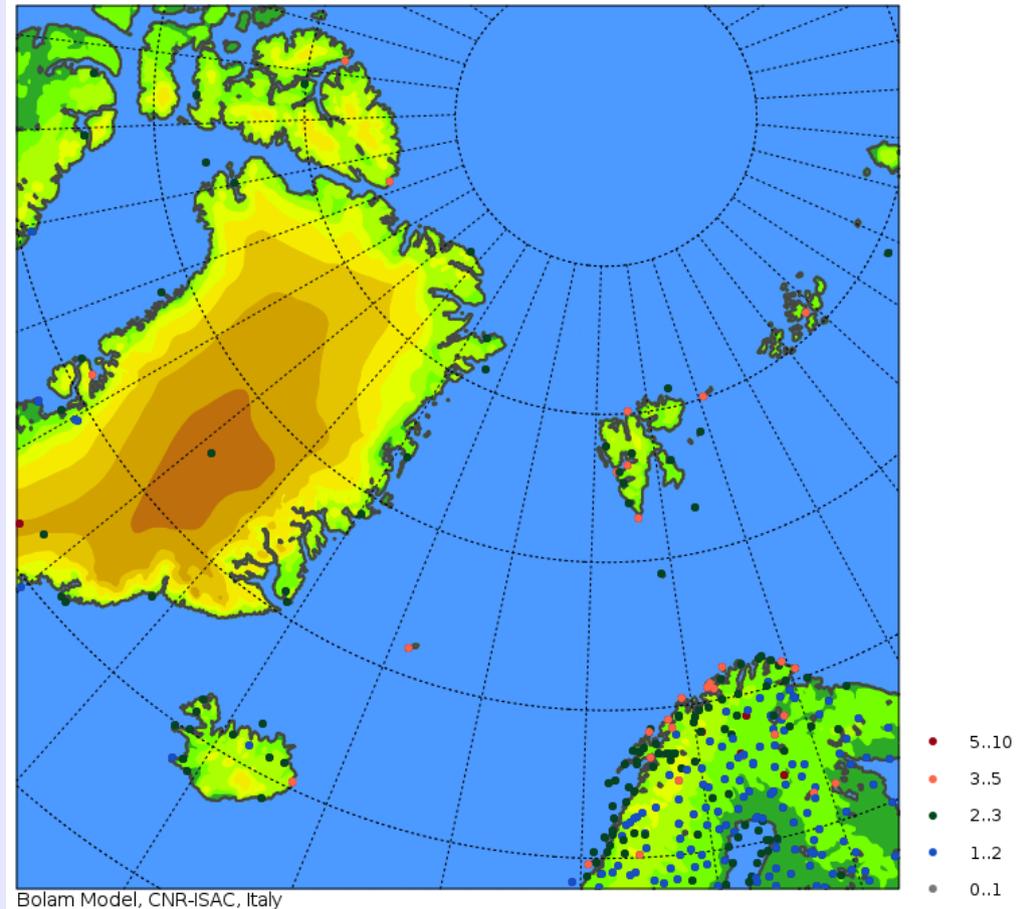
La validità della simulazione di BOLAM usata nello studio e' stata controllata con la **verifica** delle principali grandezze meteorologiche che rappresentano soprattutto la simulazione dello strato superficiale dell'atmosfera. Qua sotto sono presentate le mappe sul dominio della simulazione con l'errore quadratico medio (**RMSE**) per 3 mesi di simulazioni della **temperatura a 2 m** e della **velocità del vento a 10 m** sui punti di osservazione usata nella verifica e che sono i dati del sistema **GTS** (WMO).

Temperature at 2 m, RMSE (°C), Period 201606\_201608



Bolam Model, CNR-ISAC, Italy

Wind speed at 10 m, RMSE (m/s), Period 201606\_201608



Bolam Model, CNR-ISAC, Italy

I risultati della verifica sono rassicuranti soprattutto nelle zone costiere (di interesse): l'errore della temperatura non supera 2-3 gradi, della velocità del vento 3-4 m/s.

## Diagnostica della visibilità orizzontale usando le variabili del modello

Per lo studio sono stati usati i **dati osservativi** della visibilità orizzontale del sistema **GTS** (WMO). Le variabili prognostiche del modello sono state definite ai punti dell'osservazione tramite l'**interpolazione bilineare** dai punti di griglia numerica del modello.

I valori della visibilità sono stati **divisi in intervalli**, ad ogni intervallo sono raggruppati tutte le osservazioni in modo da formare un set dei "casi", per ciascuno dei set sono stati calcolati i valori medi delle variabile prognostiche del modello:

### variabili termiche ed idriche:

- rapporto tra temperatura e temperatura di rugiada alla superficie, al livello atmosferico inferiore (15 m circa), a 2 m
- umidità relativa alla superficie, al livello atmosferico inferiore, a 2 m
- contenuto idrico totale della nube al livello atmosferico inferiore

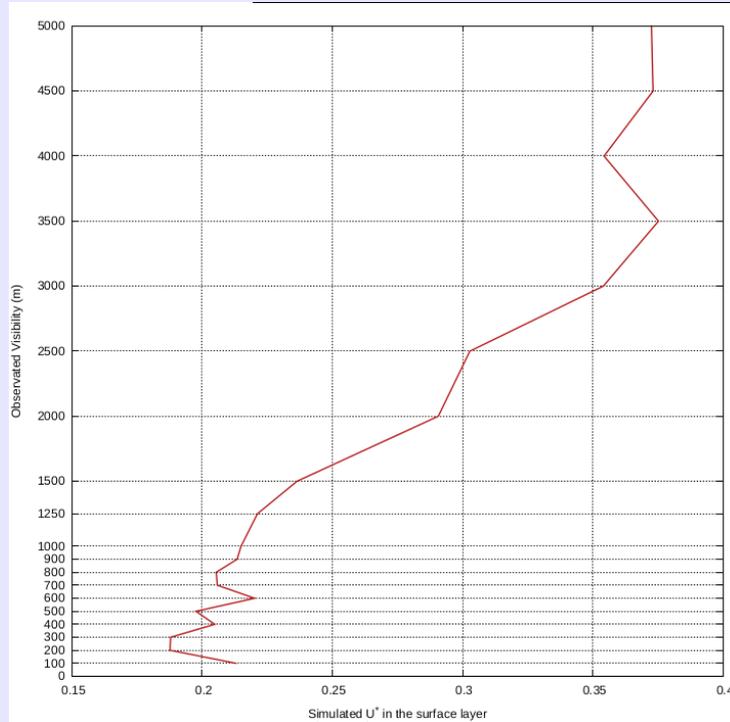
### variabili della turbolenza al livello

atmosferico inferiore:

- TKE (energia cinetica turbolenta)
- numero di Richardson (Ri)
- coefficiente dello scambio turbolento
- $u^*$  (velocità di frizione)
- $q^*$  (scala del trasporto verticale del vapore d'acqua)

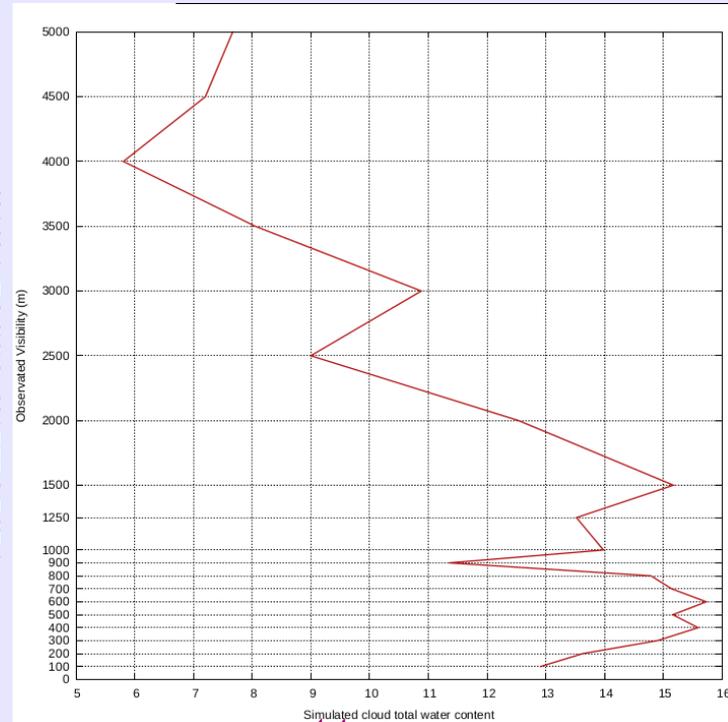
Sono stati creati i grafici con i valori della visibilità orizzontale osservata (asse verticale) e con i valori delle variabili elencate simulate (asse orizzontale) per studiare la relazione tra esse. La maggior parte delle variabili ha dimostrato relazione assente o molto debole (le linee a zig-zag), e solo due variabili:  **$u^*$**  ed il **contenuto idrico totale della nube** al livello atmosferico inferiore hanno dimostrato la connessione con la visibilità osservata (v. i grafici sulla diapositiva successiva,  $u^*$  a sinistra,  $q_c^{\text{tot}}$  a destra).

visibilità osservata



$u^*$  simulata

visibilità osservata



$q_c^{tot}$  simulato

Queste due variabili sono state scelte per stabilire una **formulazione analitica** di diagnostica della visibilità orizzontale alla superficie.

Due formulazioni si propongono in questo lavoro: una usando sia  $q_c^{tot}$  che  $u^*$ , l'altra usando solo  $u^*$ :

**Drofa-1**

**Drofa-2**

$$D_{vis} = 400 \cdot \left\{ q_c^{tot} \cdot 10^6 - A_{turb} \right\}^{0.2}, \text{ if } q_c^{tot} \cdot 10^6 > A_{turb}$$

$$A_{turb} = \max \left[ 44 u^*, 0 \right]$$

$$D_{vis} = \max \left[ 15000 u^* - 3000, 0 \right], \text{ if } Rh_2 > 93\% \text{ and } q_c^{tot} > 5 \cdot 10^6$$

Le formule proposte sono state confrontate con altre due analoghe pubblicate precedentemente:

**Boudala et al, 2012**

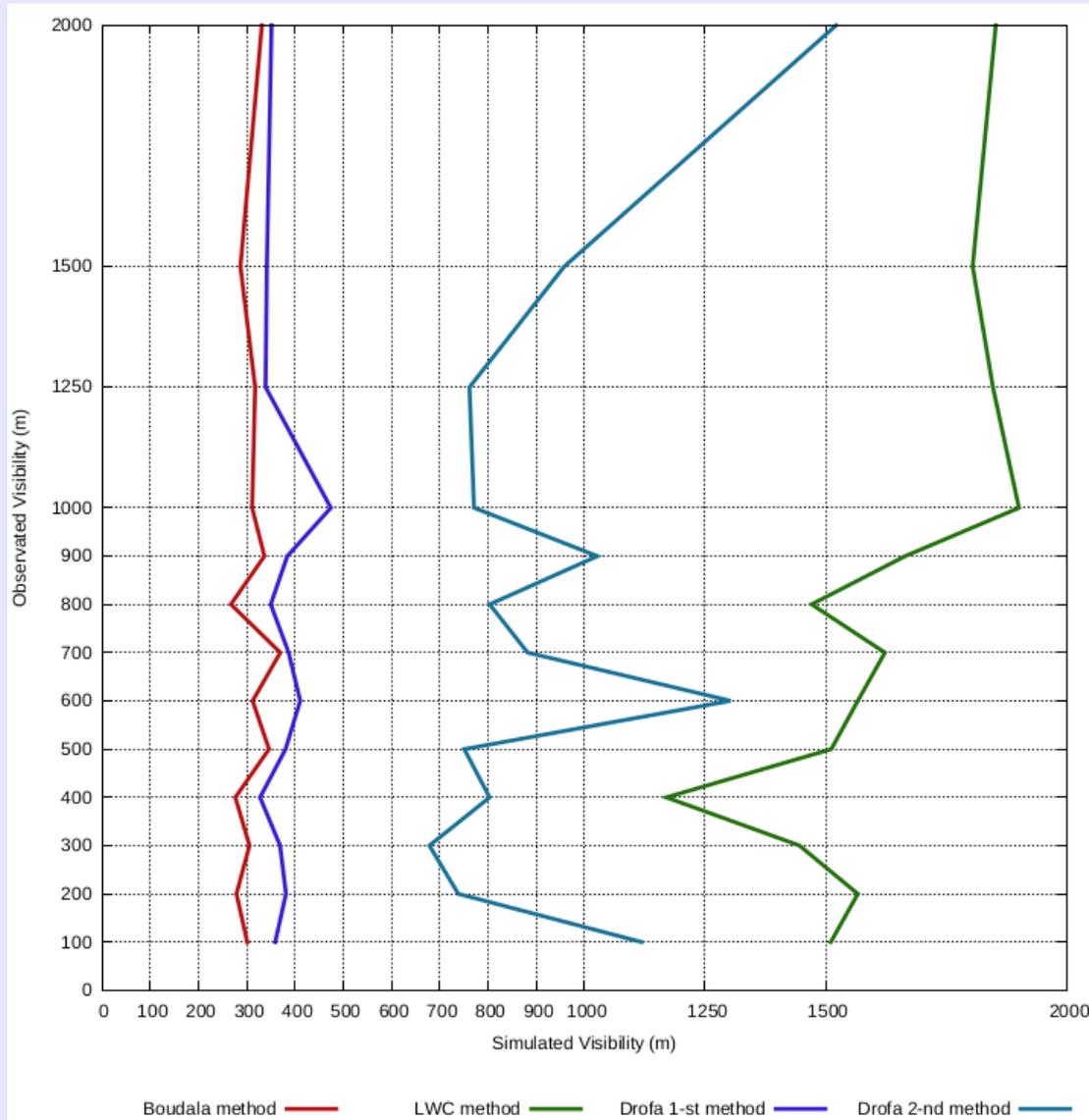
**Gultepe et al, 2006**

$$D_{vis} = \frac{-1000 \ln(0.05)}{\exp \left[ -5.605 + 0.0114 \cdot Rh_2 \cdot B \right]}, \text{ if } Rh_2 > 95\%$$

$$B = \ln \left( \frac{1}{\ln \left[ \max \left( \frac{T_2}{T_{d2}}, 1.0002 \right) \right]} \right)$$

$$D_{vis} = 1130 \cdot \left( q_c^{tot} \rho_{air} \right)^{-0.51}, \text{ if } q_c^{tot} \rho_{air} > 5 \cdot 10^9$$

visibilità osservata



visibilità simulata

Con 4 formule analitiche sono stati calcolati i valori diagnostici (simulati) della visibilità orizzontale e creato il grafico del confronto con la visibilità osservata: Drofa-1 linea blu, Drofa-2 linea turchese, metodo di Boudala linea rossa, metodo LWC linea verde. Nessun metodo dimostra una solida relazione tra i valori osservati e quelli simulati.

Boudala F.S., Issac G.A., Crawford R.W., Reid J., 2012: Parametrization of Runway Visual Range as a Function of Visibility: Implication for Numerical Weather Prediction Models. - Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, vol. 29, February 2012, pp. 177-191.

Gultepe I., Müller M.D., Boybeyi Z., 2006: A New Visibility Parametrization for Warm-Fog Applications in Numerical Weather Prediction Models. - Journal of Applied Meteorology and Climatology, vol. 45, November 2006, pp. 1469-1480.

## Verifica della nebbia simulata con le formulazioni proposte

La verifica della visibilità simulata usando i punteggi «standard» meteorologici e' velleitaria a causa della bassa predicibilità della grandezza e la sua forte disomogeneità spaziale. I **punteggi del rilevamento** erano usati nella verifica con l'unica **soglia** del valore di visibilità uguale **1000 m** che e' il criterio della presenza di nebbia (THV=1000 "threshold of visibility").

I punteggi del rilevamento si calcolano usando la tavola di contingenza:

		Simulated	
		under THV	over THV
Observed	under THV	A — hit rate	B — miss rate
	over THV	C — false alarm	D — correct unprediction

Punteggi del rilevamento di nebbia:

$$ThreatScore(TS) = \frac{A}{A+B+C} \quad FrequencyBias(FB) = \frac{A+C}{A+B}$$

$$FalseAlarmRatio(FAR) = \frac{C}{C+A} \quad ProbabilityOfDetection(POD) = \frac{A}{A+B}$$

$$ProbabilityOfFalseAlarmDetection(POFAD) = \frac{C}{C+D}$$

**Punteggi ottenuti** con i vari metodi della simulazione della visibilità orizzontale:

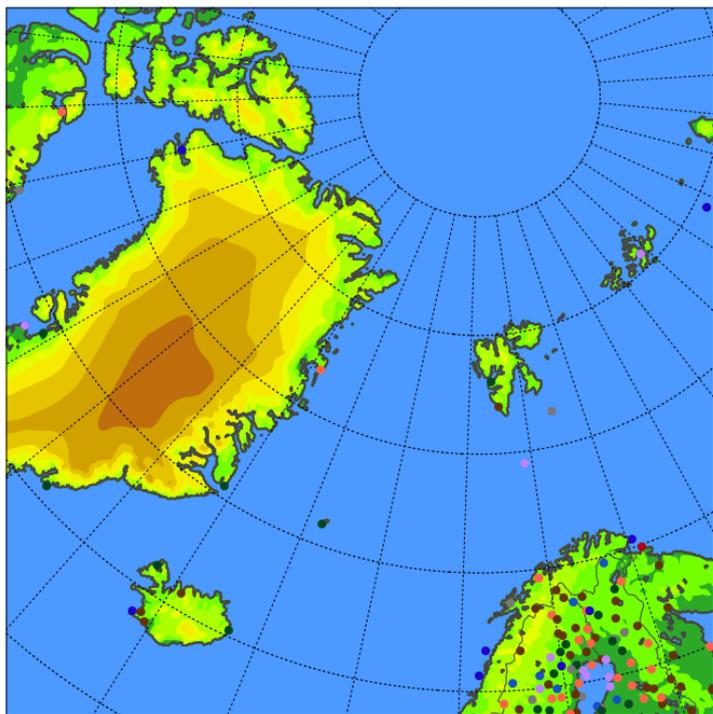
	Drofa-1	Drofa-2	Boudala et al.	Gulpepe et al.
TS	0,25	0,28	0,24	0,22
FB	1,30	1,69	2,47	1,22
FAR	0,65	0,65	0,73	0,66
POD	0,46	0,59	0,67	0,41
POFAD	0,25	0,32	0,53	0,24

Nel calcolo dei punteggi erano usati **9714** casi osservati.

# Drofa-1

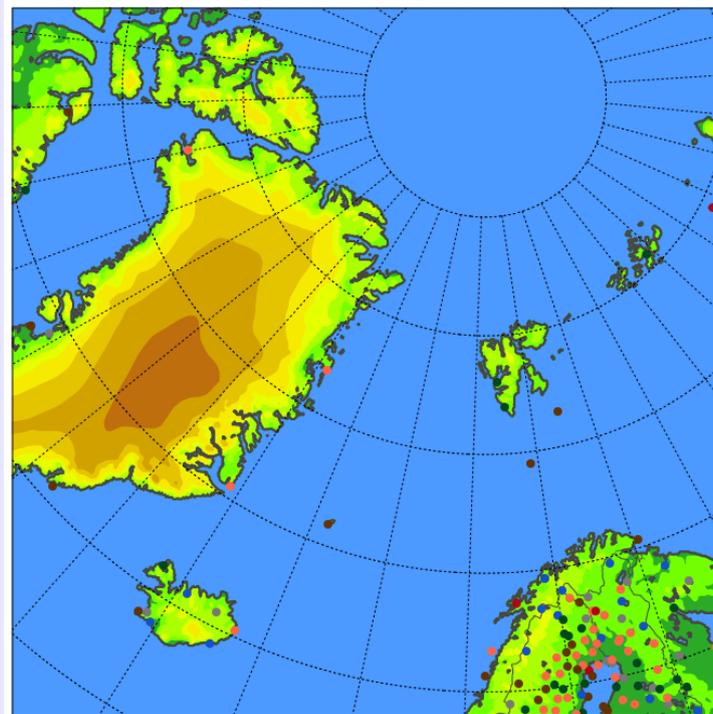
FB

Frequency Bias of Fog detection



Bolam Model, CNR-ISAC, Italy

Probability Of Detection of Fog detection

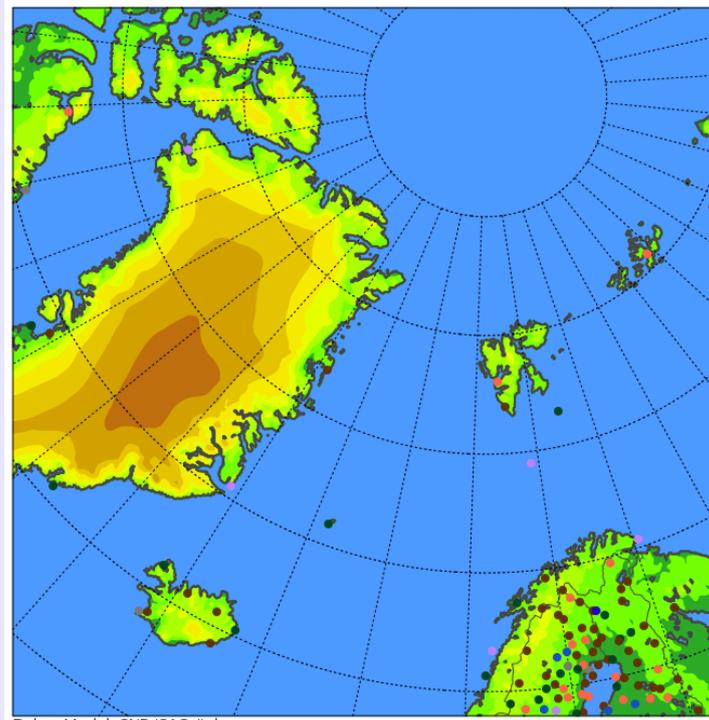


Bolam Model, CNR-ISAC, Italy

# Drofa-2

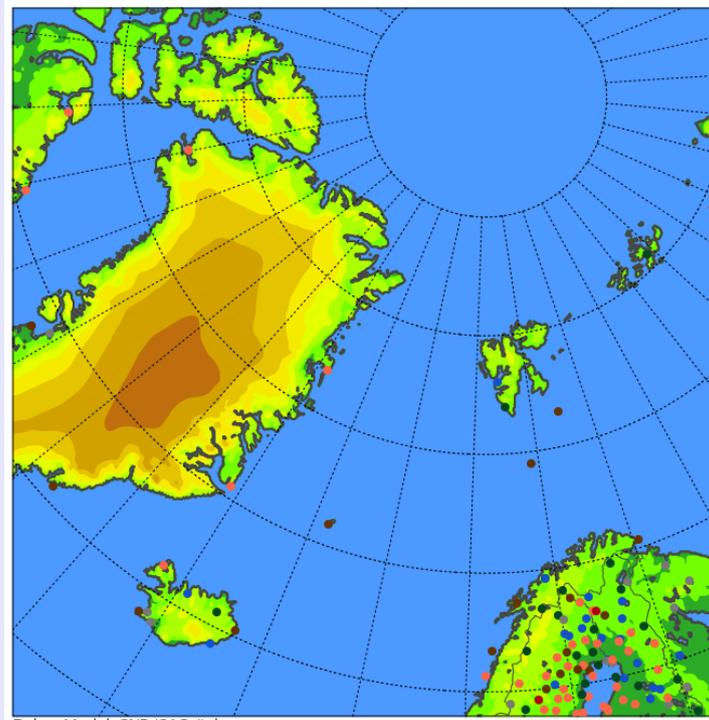
POD

Frequency Bias of Fog detection



Bolam Model, CNR-ISAC, Italy

Probability Of Detection of Fog detection



Bolam Model, CNR-ISAC, Italy

## Conclusioni

Lo studio ha dimostrato che **le variabili dello schema dei processi turbolenti nello strato superficiale** del modello numerico dell'atmosfera possono essere usate per **la previsione della visibilità orizzontale** in prossimità della superficie.

**Due metodi** di diagnostica della visibilità orizzontale **sono stati proposti** per il **rilevamento prognostico della nebbia** e sono stati verificati con un numero elevato di osservazioni. I risultati ottenuti sono stati confrontati con i metodi pubblicati precedentemente. Il confronto dimostra un **miglioramento** di simulazione della presenza di nebbia con le nuove metodologie proposte in questo studio. I punteggi di rilevamento della nebbia sono migliori sulle piccole isole rispetto alle zone continentali, ne segue che il rilevamento sia proficuo **sopra la superficie marina**.

Lo studio ha dimostrato che la simulazione dello strato superficiale nei modelli numerici dell'atmosfera è molto importante per la simulazione e la previsione della grandezze meteorologiche in Artico. Lo sviluppo delle **parametrizzazioni dei processi turbolenti** nello strato della troposfera bassa nelle condizioni dinamiche tipiche per il dominio artico deve essere un **obiettivo degli studi futuri**.