

Indici di instabilità per la previsione e classificazione dei temporali

Cap. Riccardo Peirolo*
Vincenzo Rotella**

Lavoro pervenuto in redazione il 12/04/2006

Sommario - Questo articolo è basato sul lavoro di tesi svolto da Vincenzo Rotella a completamento del master in meteorologia presso l'Università degli Studi di Torino. Tale tesi riporta i risultati ottenuti durante lo stage effettuato presso il Centro Meteorologico Regionale (CMR) di Linate, nel quadro della collaborazione fra il Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare e l'Università degli Studi di Torino. Oggetto di studio sono gli indici di instabilità desumibili dal sondaggio termodinamico. Essi rappresentano un sistema di previsione ancor oggi valido per i temporali termoconvettivi, ma si rivelano inadatti alla previsione di quelli frontali. In questo lavoro si considera l'Indice di Whiting per una previsione binaria dei temporali, e l'Indice Sweat per distinguere il tipo di temporale. Quale area di studio, si considera la Pianura Padana centrale. Si osserva un moderato incremento nelle prestazioni dell'Indice di Whiting quando si applica non a tutti i casi, ma solo a quelli selezionati come termoconvettivi sulla base dell'Indice Sweat. Questo è un significativo indizio circa la necessità di differenziare le tecniche previsionistiche sulla base della situazione sinottica e dei fattori di instabilità atmosferica prevalenti.

Summary - This paper is based on the thesis work done by Vincenzo Rotella for completion of his Master in Meteorology at the University of Torino. This thesis contains results obtained during the stage at the CMR of Linate as part of a collaboration between the Meteorological Service of the Italian Airforce and the University of Torino. This study focuses on instability indexes from radio soundings. They are still a valuable tool for the forecast of thermoconvective thunderstorms, but they are unfit for the forecast of frontal ones. In this paper, the Whiting Index is considered for a binary forecast of thunderstorms, and the Sweat Index to distinguish the kind of thunderstorm. The target area is the central Po Valley. A moderate increase in the Whiting Index performance is observed when it is applied not to all cases but only to those selected as thermoconvective by the Sweat Index. This is a remarkable hint that different forecasting tools have to be used in different synoptic situations and when different instability factors are expected.

Introduzione

Il temporale è uno dei fenomeni meteorologici più intensi e pericolosi, in modo particolare per la navigazione aerea. La sua previsione è quindi cruciale per la meteorologia, soprattutto per quella aeronautica.

Un tradizionale sistema di previsione ancor oggi valido, consiste negli indici di instabilità ricavati dal sondaggio termodinamico. Le nubi temporalesche sono infatti generate da intense correnti ascendenti di masse d'aria satura. Gli indici di instabilità si 'propongono' di valutare, sulla base di fattori

quali il gradiente termico verticale o l'umidità nei bassi strati, le possibilità di innesco di tali moti convettivi.

In questo lavoro si considera in particolare l'Indice di Whiting (o indice K), [1,2] dato dalla somma di tre termini:

– la differenza di temperatura fra la superficie isobarica a 850 hPa e quella a 500 hPa:

$$L = T_{850} - T_{500}$$

* Centro Meteorologico Regionale - Milano Linate

** Università degli Studi di Torino e IPLA, Istituto per le piante da legno e l'ambiente - Torino

– la temperatura di rugiada a 850 hPa, misura della

$$D = T_{d850}$$

quantità di vapore acqueo nei bassi strati:

– la differenza fra temperatura e temperatura di rugiada a 700 hPa. Tale termine misura la possibilità che aria secca, nella media troposfera, si mescoli alla colonna ascendente di aria satura, diminuendo l'umidità e bloccando la convezione (fe-

$$E = (T - T_d)_{700}$$

nomeno noto come *entrainment*):

Alti valori dei primi due termini favoriscono i moti convettivi ascendenti e quindi la formazione di nubi temporalesche, mentre quanto più è grande E , tanto più la convezione è improbabile. L e D compaiono quindi nell'indice K con segno positivo,

$$K = L + D - E = (T_{850} - T_{500}) + T_{d850} - (T - T_d)_{700}$$

mentre E ha segno negativo:

Valori elevati dell'indice K indicano maggiore instabilità dell'atmosfera, e quindi maggior rischio di temporali. Perché si inneschi la convezione, il profilo termodinamico deve essere reso ulteriormente instabile ad opera di uno o più dei seguenti fattori:

- riscaldamento dei bassi strati (fattore termococonvettivo);
- sollevamento della massa d'aria su un pendio (fattore orografico);
- sollevamento sopra un'altra massa d'aria più fredda (fattore frontale).

In base al fattore predominante nella loro genesi, i temporali vengono classificati in termoconvettivi, orografici o frontali. In questo lavoro si considerano stazioni meteorologiche poste nella pianura Padana; trascurando l'eventuale fattore orografico in quelle più vicine alle catene montuose, ci si è limitati a distinguere fra temporali termoconvettivi e frontali. Si suppone che i primi siano i

più 'prevedibili' avvalendosi degli indici di instabilità, in quanto le avvezioni termiche sono deboli o assenti e la colonna d'aria mantiene inalterate le sue caratteristiche termodinamiche nelle ore successive al sondaggio (fatta eccezione per il riscaldamento nei bassi strati).

Viceversa, i temporali frontali sono caratterizzati da forti avvezioni termiche che alterano completamente il profilo termodinamico fornito dal sondaggio, e sono la principale causa della convezione. È ragionevole pensare che, per la previsione di questo tipo di temporali, siano più utili gli output dei modelli matematici e le carte di analisi sinottica e frontale.

Vi è, però, un indice che, oltre all'instabilità della colonna d'aria, tiene conto delle situazioni sinottiche favorevoli allo sviluppo di temporali intensi: l'*Indice Sewart* (SW), acronimo di *Severe Weather Threat*, introdotto negli USA per la previsione dei tornado [2]. L'*Indice Sewart* è dato dalla somma di due termini:

$$SW = H + W$$

il primo termine misura l'instabilità sulla base del gradiente termico e dell'umidità nei bassi strati, analogamente ai termini L e D dell'*Indice di Whiting*. Il secondo è invece funzione del vento a 850 e a 500 hPa. Non ci si sofferma più in dettaglio sulla formulazione matematica di H , in quanto non si vuole utilizzare l'*Indice Sewart* come strumento previsionistico, ma la sua componente W per distinguere il tipo di temporale. È possibile scindere ulteriormente W in due termini W_f e W_d , funzioni rispettivamente di velocità e direzione dei venti:

$$W = W_f + W_d$$

Siano:

- f_8 la velocità del vento in nodi a 850 hPa; d_8 la sua direzione.
- f_5 la velocità del vento in nodi a 500 hPa; d_5 la sua direzione.
- $\Delta\Omega = d_5 - d_8$

Si ha che:

$$W_f = 2f_8 + f_5$$

$$W_d = \begin{cases} 125(\sin\Delta\Omega + 0.2) & \text{se...}B = \text{vero} \\ 0 & \text{se...}B = \text{falso} \end{cases}$$

La variabile logica B è così definita:

$$B = (130^\circ < d_8 < 250^\circ) \text{AND} (210^\circ < d_5 < 310^\circ) \text{AND} (\Delta\Omega > 0) \text{AND} (f_8 > 15) \text{AND} (f_5 > 15)$$

Come si può vedere dalla figura 1., $B = \text{vero}$ nei casi di forte baroclinicità e forti avvezioni termiche,

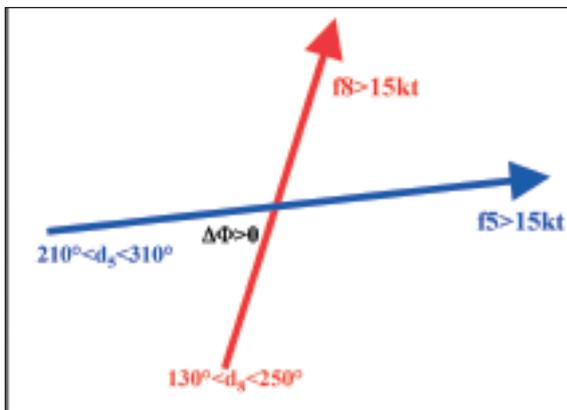


Figura 1. Direzioni e intensità del vento a 850 e 500 hPa per le quali la variabile logica B è vera, con conseguente incremento nel valore di W .

condizioni cui sono associati intensi temporali di tipo frontale. In tali casi, W assume valori elevati. Fissato un opportuno valore soglia W_{th} , si può ritenere che, quando $W < W_{th}$, il fattore frontale sia debole e, se si verifica il temporale, questo possa essere classificato come termoconvettivo.

È così possibile escludere dallo studio quelle situazioni in cui il fattore frontale è consistente, e verificare se, in tal modo, il 'valore previsionistico' dell'Indice di Whiting aumenta.

L'Indice di Whiting, al pari degli altri indici di instabilità, è tipicamente utilizzato per una previsione deterministica binaria: fissato un valore di soglia K_{th} , si confronta il valore di K ricavato dal sondaggio con quello di soglia:

se $K < K_{th}$ non si prevede temporale;
se $K \geq K_{th}$ si prevede temporale.

Analogamente, si hanno solo due possibili eventi:

- nell'area e nel periodo di tempo considerati si è verificato almeno un temporale;
- nell'area e nel periodo di tempo considerati non si è verificato alcun temporale.

Le frequenze assolute di ogni possibile coppia previsione-osservazione vengono riunite nella tabella di contingenza (fig. 2.). Per la verifica delle previsioni, sono stati elaborati svariati indici statistici al fine di stabilirne il grado di accuratezza; ognuno di

		Osservazione		
		SI	NO	
Previsione	SI	a	b	$a+b$
	NO	c	d	$c+d$
		$a+c$	$b+d$	$n=a+b+c+d$

Figura 2. Tabella di contingenza per una previsione deterministica binaria. L'evento temporalesco è stato previsto ed osservato a volte, previsto e non osservato b volte, non previsto ma osservato c volte, non previsto e non osservato d volte; normalizzando i valori rispetto alla loro somma n si ha la distribuzione congiunta di probabilità.

essi sottolinea un diverso aspetto della distribuzione congiunta di probabilità, ottenibile normalizzando la tabella di contingenza [3]. In questo lavoro si è considerato:

l'*hit rate* H , ovvero il rapporto fra il numero di volte in cui l'evento è stato previsto ed osservato e il numero totale di volte in cui è stato osservato:

$$H = \frac{a}{a+c}$$

il *false alarm ratio* FAR, che rappresenta il quoziente tra il numero di casi in cui l'evento è stato previsto ma non osservato e il numero totale dei casi in cui l'evento è stato previsto:

$$FAR = \frac{b}{a+b}$$

Una previsione sarà tanto migliore quanto più avrà un elevato H e un basso FAR . Conseguentemente, si è scelta la variabile $G=H-FAR$ quale indice complessivo della bontà della previsione.

Analisi dei dati

Si è fatto riferimento alla base di dati già utilizzata in [2]. Visto il tempo a disposizione per lo stage (circa un mese), si è deciso di limitarsi al radiosondaggio di Linate e alle seguenti stazioni meteorologiche a terra: Linate stessa, Malpensa, Novara Cameri, Bergamo Orio al Serio, Piacenza S. Damiano. È stato considerato un periodo di 6 anni: dal 1990 al 1996.

Dai messaggi TEMP, contenenti i valori delle va-

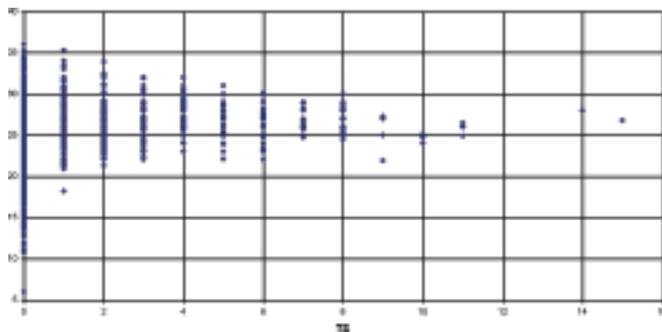


Figura 3. Relazione fra L ed il numero di eventi temporaleschi (TS) nelle sei ore successive.

riabili atmosferiche misurati dai radiosondaggi, sono stati ricavati i valori caratteristici per l'identificazione delle condizioni di stabilità dell'atmosfera. Dai messaggi SYNOP, compilati dalle stazioni a terra, sono state ricavate le osservazioni sulla presenza di cumulonembi o temporali.

Si è considerato quale 'evento temporalesco' anche la sola segnalazione di cumulonembi, in quanto di per sé pericolosi per la navigazione aerea anche in assenza di precipitazioni al suolo. Inoltre, le stazioni considerate coprono solo una piccola parte dell'area intorno a Linate; l'osservazione di cumulonembi da parte di queste stazioni, indica la probabile presenza di temporali nell'area 'scoperta'. Analoga scelta era stata operata in [2].

A partire dai TEMP, sono stati calcolati i tre

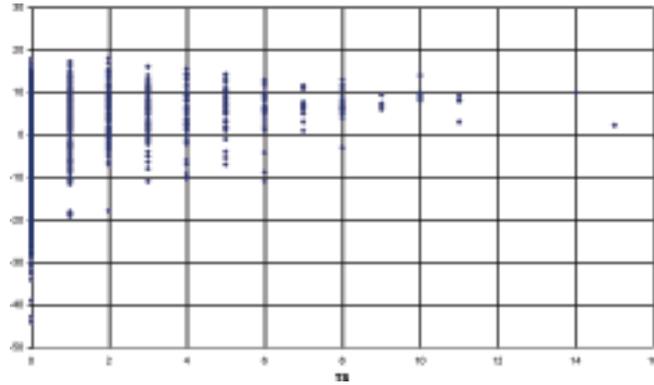


Figura 4. Relazione fra D ed il numero di eventi temporaleschi (TS) nelle sei ore successive.

fattori che compongono l'indice K . Nelle figure 3., 4. e 5. ogni punto rappresenta un sondaggio ed ha, come ordinata, il valore del fattore considerato e, come ascissa, il numero di eventi temporaleschi registrati nelle ore successive.

Si può notare che tutti i termini presentano un valore soglia al di sotto del quale si può, con altissima probabilità, escludere la formazione di temporali. Al di sopra di tale soglia, tuttavia, questi termini non permettono di prevedere se vi sarà temporale, e tanto meno la sua intensità ed estensione. I tre fattori sono stati quindi sommati, e la precedente analisi è stata svolta per l'indice K nel suo complesso (fig. 6.). Anche in questo caso, valgono le considerazioni sopra esposte. Come si vedrà meglio in seguito, una previsione binaria con valore soglia K_{th} intorno a zero ha un elevato H (quasi tutti i temporali vengono previsti correttamente) ma anche un elevato FAR (in moltissimi casi la previsione di

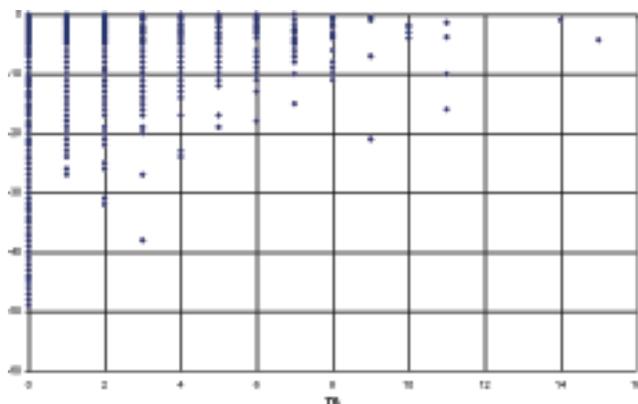


Figura 5. Relazione fra $(-E)$ ed il numero di eventi temporaleschi (TS) nelle sei ore successive.

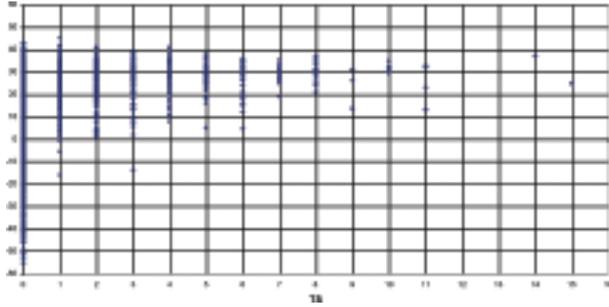


Figura 6. Relazione fra l'indice K ed il numero di eventi temporaleschi (TS) nelle sei ore successive.

temporale verrà smentita). Elevando la soglia, la diminuzione di H è molto più rapida di quella del FAR.

Come già spiegato nell'introduzione, si è quindi cercato di vedere se, limitando lo studio ai soli temporali termoconvettivi, il potere predittivo di K aumentava.

Sempre a partire dai TEMP, per ogni sondaggio si è calcolato il termine W . In figura 7. possiamo vedere la relazione fra il valore di K e il numero di eventi temporaleschi nelle sei ore successive considerando solo i casi in cui $W < 30$ in modo da escludere il passaggio di fronti.

Dalla figura 7. si può vedere che, effettuando tale selezione, per $K < 10$ si può, con buon margine di sicurezza, escludere la formazione di temporali, mentre nel caso generale (fig. 6.) questo era possibile solo per $K < 0$. Per $K > 10$, tuttavia, si incontrano comunque sia situazioni senza temporali nelle ore successive sia situazioni con uno o più temporali, senza possibilità di ulteriore discriminazione. Passando a un'analisi più rigorosamente quantitativa del problema, in figura 8. si può vedere l'andamento delle variabili statistiche H e FAR al variare della soglia previsionistica K_{th} sia in assenza di selezione basata sull'Indice Sweat che considerando solo i casi con $W < 30$.

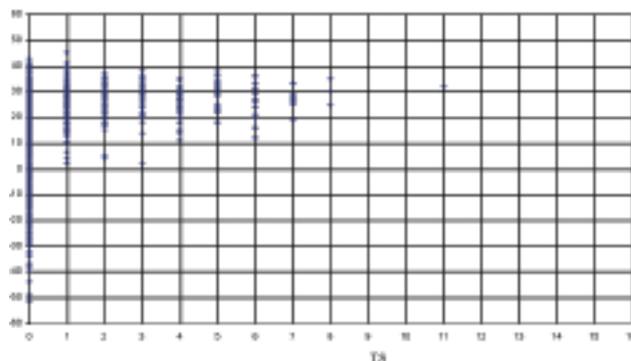


Figura 7. Relazione fra l'indice K ed il numero di eventi temporaleschi (TS) nelle sei ore successive con $W_{th}=30$.

In ambo i casi per bassi valori di K_{th} si ha un elevato H e un elevato FAR. Aumentando K_{th} , peggiora l'hit rate senza una significativa riduzione del false alarm ratio.

Tuttavia, introducendo la soglia su W , si ha un moderato incremento di H ed una moderata diminuzione del FAR per tutti i valori di K_{th} fino a 20.

Considerando G quale indice complessivo della bontà della previsione, si può vedere in figura 8. il guadagno ottenuto introducendo la soglia $W_{th}=30$ per limitarsi ai temporali termoconvettivi, rispetto al caso in cui si considerano tutti gli even-

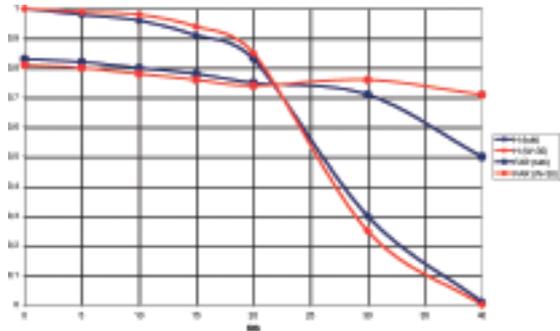


Figura 8. Andamento di H e di FAR al variare di K_{th} considerando l'intera base di dati (curve blu) o effettuando una selezione con $W_{th}=30$ (curve rosse).

ti. Si può vedere che, considerando $W_{th} = 50$, il guadagno si dimezza, e che, con $W_{th} = 100$, si annulla del tutto.

Si osservi inoltre che, in assenza di soglia, G è massimo per $K_{th} = 0$, con $W_{th} = 30$ il massimo si ha per $K_{th} = 10$.

Si può quindi concludere che, considerando solo i casi con $W < 30$, con $K_{th} = 10$ si hanno le migliori condizioni per la previsione dei temporali in termini di differenza fra Hit rate e False alarm ratio.

Conclusioni

In questo articolo è stato valutato il potere previsionistico dell'indice K , e delle sue tre componenti. Si è inoltre cercato di limitare l'analisi ai temporali termoconvettivi, più

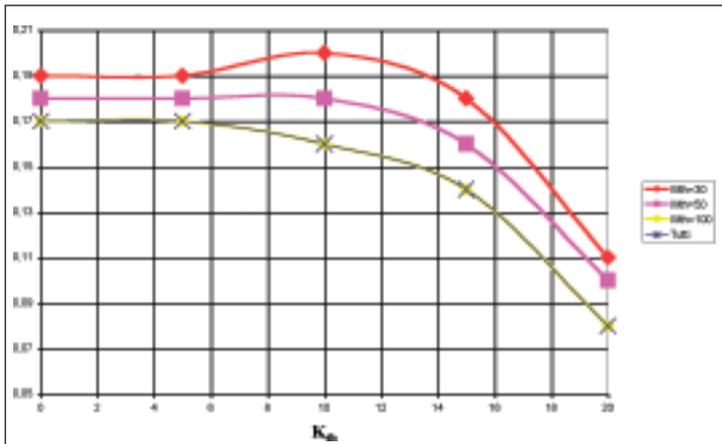


Figura 9. Andamento di G al variare di K_{th} o considerando l'intera base di dati o effettuando una selezione con $W_{th}=30, 50, 100$. La perfetta sovrapposizione fra la curva per $W_{th}=100$ e quella per tutti i casi dimostra che con tale valore di soglia non si ha alcun miglioramento nella previsione.

facilmente prevedibili mediante indici di instabilità, introducendo una soglia sulla componente legata al vento dell'Indice Sweat.

Si è visto che tanto l'indice K quanto le sue componenti sono caratterizzati, fissando un'opportuna soglia, da elevati valori di H , ma purtroppo anche da un elevato FAR.

Il metodo utilizzato per selezionare i casi termoconvettivi ha comportato un moderato miglioramento nel potere previsionistico dell'indice K al prezzo, però, di una riduzione del suo ambito di applicabilità. Il permanere di un FAR comunque elevato è dovuto sia all'incapacità di tale metodo di escludere tutti i casi frontali sia ai limiti intrinseci dell'indice K , anche nei casi termoconvettivi.

Fra i 'difetti' dell'indice K (e in generale degli indici di instabilità), ci limitiamo ad osservare che una combinazione lineare con peso uguale di tre fattori, non è certo il modo migliore per tener conto delle loro complesse interazioni nel favorire la convezione.

D'altro canto, anche prevedere i temporali basandosi solo sugli output da modello (mappe o meteorogrammi di precipitazioni convettive ed estensione verticale delle nubi convettive) presenta notevoli

controindicazioni: tali campi sono fra i più imprecisi prodotti dai modelli. Inoltre, poiché la distinzione delle precipitazioni in 'convettive' e 'a larga scala' dipende dal passo di griglia e dagli schemi di 'parametrizzazione', gli output variano al variare di questi fattori.

Presso il Centro meteorologico di Linate l'attività di ricerca in questo settore è finalizzata alla realizzazione di un vero e proprio *post-processing* da modello.

Si tratta cioè di ottimizzare statisticamente la previsione a breve termine di temporali in una determinata area tenendo conto di tutte le informazioni disponibili:

- più recente sondaggio termodinamico reale sull'area in questione;
- sondaggi previsti da modello su quell'area nelle ore successive;
- valori di precipitazioni convettive previsti da modello nelle ore successive;
- estensione verticale delle nubi convettive prevista da modello nelle ore successive;
- valori di divergenza, vorticità, velocità verticale previsti da modello nelle ore successive;
- valori osservati al suolo e in quota e valori previsti da modello al suolo e in quota su aree circostanti al fine di tenere conto della situazione sinottica generale.

Il presente lavoro si propone quindi, come un primo *step* nel passare dalla tradizionale previsione di temporali, basata su indici di instabilità, ad una vera e propria previsione di tipo statistico basata sulla combinazione, anche non lineare, di tutte le variabili disponibili.

To contact:
peirollo@meteoam.it
rotella.vincenzo@libero.it

Bibliografia

- [1] Minafra N., Borghi S., *Un metodo di previsione oggettiva dei temporali sul sistema aeroportuale di Milano nei mesi da maggio ad agosto*, Rivista di Meteorologia Aeronautica, vol.3, 1970, pp. 5-14.
- [2] Nappi D., Bruno, *Indici per la previsione dei temporali*, Rivista di Meteorologia Aeronautica, vol.1, 2004, pp. 7-26.
- [3] Wilks D.S., *Statistical methods in the atmospheric sciences*, Second Edition, Academic Press, 2006, pp. 255-275.