



Macroattività B - Modellazione idrologica
Attività B1 - Regionalizzazione precipitazioni

Analisi di frequenza regionale delle precipitazioni estreme

Relazione Tecnica Finale
Febbraio 2014

Enrica CAPORALI Valentina CHIARELLO Giuseppe ROSSI

Sommario

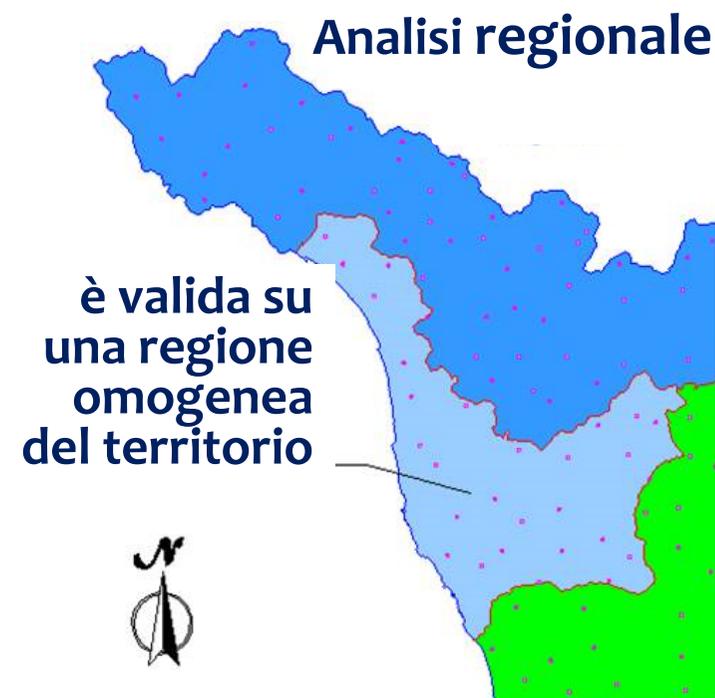
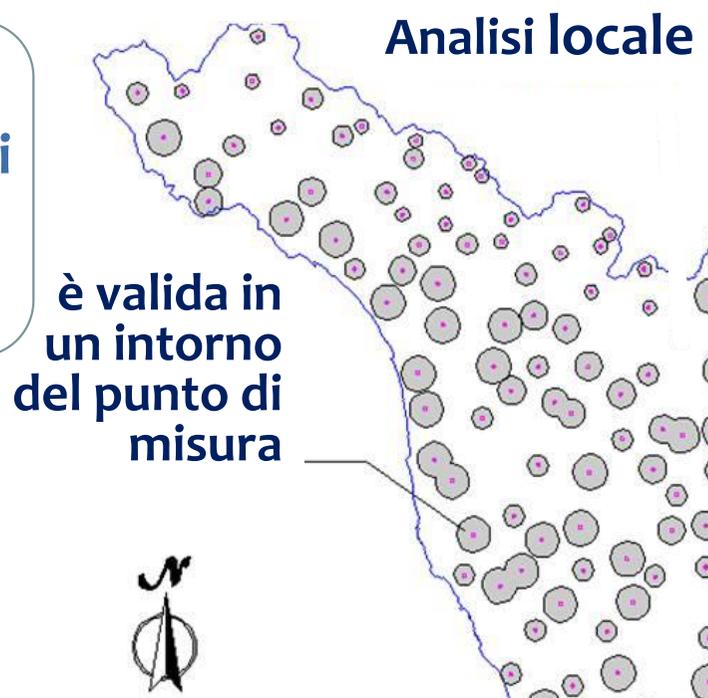
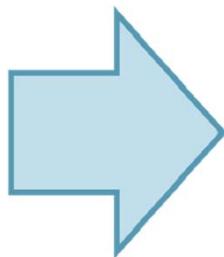
- ✓ **Metodologia adottata**
- ✓ **Analisi di frequenza regionale: suddivisione in regioni**
- ✓ **Analisi di frequenza regionale: fattore di crescita**
- ✓ **Analisi di frequenza regionale: grandezza indice**
- ✓ **Calcolo delle Linee Segnalatrici di Possibilità Pluviometrica
LSPP**

La regionalizzazione delle precipitazioni

La stima degli eventi con un tempo di ritorno Tr si può ritenere attendibile fin tanto che $Tr < 2n$, con n dimensione del campione (Benson, USGS 1962).

Usualmente la lunghezza delle serie storiche non è superiore ad alcuni decenni, per cui si verifica la situazione $Tr \gg n$.

La funzione
distribuzione di
probabilità di
un evento ...



La regionalizzazione: metodologia

Esistono diversi metodi per individuare le regioni omogenee. In questo studio, come nella maggior parte degli studi sul territorio italiano è stato utilizzato il **metodo TCEV**.

$$F_X(x) = \exp \left\{ -\Lambda_1 \exp \left(-\frac{x}{\theta_1} \right) - \Lambda_2 \exp \left(-\frac{x}{\theta_2} \right) \right\} \quad \text{per } x \geq 0$$

Questo metodo, basato sulla metodologia della **variabile indice** (Dalrymple, USGS 1960), utilizza come modello probabilistico il modello TCEV secondo una **procedura gerarchica a tre livelli** (Fiorentino et al., WRR 1987).

Con i primi due livelli si individuano regioni omogenee da un punto di vista **statistico**. Con il terzo livello, invece, si individuano sottozone omogenee da un punto di vista **geografico, morfologico e climatico**.

La regionalizzazione: metodologia

Per la divisione in regioni è stata effettuata un'analisi della distribuzione spaziale dei coefficienti campionari G e C_v e analogamente dei coefficienti di skewness e di variazione trovati con gli L-moments: L_{sk} e L_{cv} (Hosking e Wallis, 1997).

Conclusi i tre livelli precedenti si può stimare il valore dell'evento idrologico di assegnato tempo di ritorno T_r tramite una relazione che lega il fattore di crescita "regionale" con la grandezza indice "locale":

$$X_{T_r} = \mu \cdot K_T$$

Grandezza indice **Fattore di Crescita**

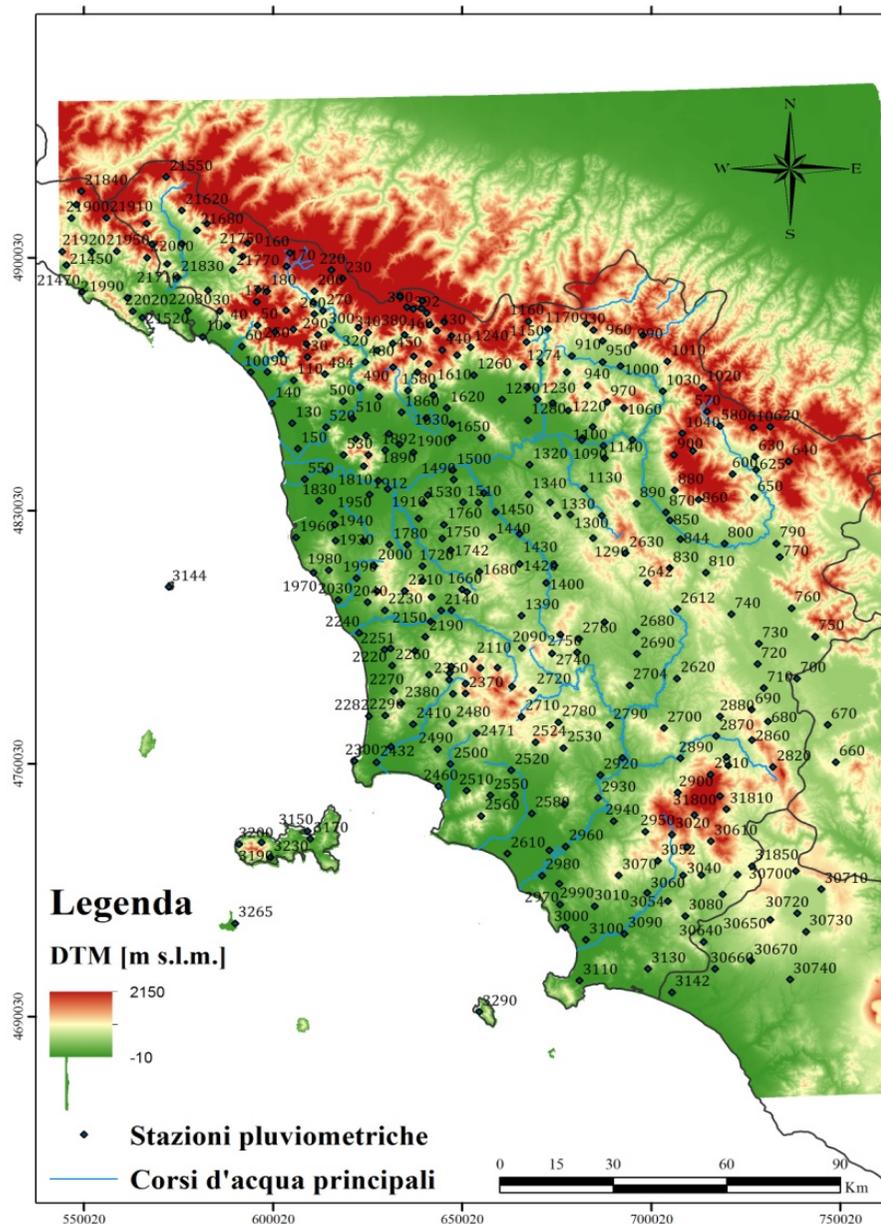


La regionalizzazione: divisione in regioni

Procedura per i primi due livelli di regionalizzazione:

- ✓ **Ipotesi preliminare di suddivisione** mediante osservazione della mappatura dei coefficienti statistici di asimmetria G (Lsk) e di variazione Cv (Lcv).
- ✓ **Stima dei parametri relativi ai primi due livelli**, in modo congiunto, formulando diverse ipotesi sulla delimitazione delle regioni e subregioni omogenee e verificando l'appartenenza delle stazioni situate al confine all'una o all'altra regione o subregione.
- ✓ **Verifica delle ipotesi di omogeneità** formulate mediante applicazione di un insieme di test statistici: Test della t di Student per la media (parametrico), Wilcoxon Rank Sum Test (non parametrico), Test del χ^2 .
- ✓ **Verifica dei test di omogeneità** basati su gli L-moments (D e H).
- ✓ **Modifica dell'ipotesi di suddivisione territoriale** qualora i test non forniscano esito positivo.

Analisi di frequenza regionale



Area di studio:

- ✓ Bacini Idrografici dei corsi d'acqua principali della Regione Toscana: Arno, Serchio, Ombrone Grossetano;
- ✓ bacini più piccoli di fiumi costieri tirrenici;
- ✓ bacini attigui dei Fiumi Magra (20 stazioni) e Fiora (18 stazioni).

Informazione pluviometrica (1916-2012):

- ✓ valori annui di pioggia massima giornaliera;
- ✓ di durata 1, 3, 6, 12, 24 ore;
- ✓ di durata suboraria 15, 20, 30, 45 minuti.

Analisi di frequenza regionale: consistenza serie

Estensione totale area di studio: circa 23'000 Km²

795 Stazioni con valori giornalieri densità media 1 staz/29 Km²

540 Stazioni con valori orari densità media 1 staz/43 Km²

Copertura del Territorio: S.I. Pisa, Fiora, Magra			
Statistiche sui dati di precipitazione giornaliera			
Anni di dati (N)	N. stazioni	N. dati	N. medio
N ≥ 10	622	24026	38.63
N ≥ 15	509	22688	44.57
N ≥ 20	427	21327	49.95
N ≥ 25	379	20287	53.53
N ≥ 30	351	19528	55.64
N ≥ 35	---	---	---
N ≥ 40	---	---	---
N ≥ 45	---	---	---
N ≥ 50	---	---	---
Numero totale stazioni:			
Numero totale dati:			

Copertura del Territorio: S.I. Pisa, Fiora, Magra			
Statistiche sui dati di precipitazione di durata 1, 3, 6, 12, 24 ore			
Anni di dati (N)	N. stazioni	N. dati	N. medio
N ≥ 10	404	12327	30.51
N ≥ 15	317	11294	35.63
N ≥ 20	225	9743	43.30
N ≥ 25	174	8634	49.62
N ≥ 30	152	8040	52.89
N ≥ 35	137	7558	55.17
N ≥ 40	117	6818	58.27
N ≥ 45	100	6117	61.17
N ≥ 50	85	5412	63.67
		540	
		12880	23.85

Copertura del Territorio: S.I. Pisa, Fiora, Magra								
Statistiche sui dati di precipitazione di durata 15', 20', 30', 45'								
Anni di dati (N)	15'		20'		30'		45'	
	N°	N. dati	N°	N. dati	N°	N. dati	N°	N. dati
N ≥ 10	281	4616	162	2907	307	6461	211	2478
N ≥ 15	154	3087	107	2233	228	5522	-	-
N ≥ 20	80	1884	58	1401	147	4162	-	-
N ≥ 25	23	631	25	690	91	2951	-	-
N ≥ 30	5	156	5	160	60	2120	-	-
N ≥ 35	-	-	1	35	28	1099	-	-
N ≥ 40	-	-	-	-	12	514	-	-
N ≥ 45	-	-	-	-	2	90	-	-
N ≥ 50	-	-	-	-	-	-	-	-
Numero totale stazioni:					508			
Numero totale dati:					9988 19.66			



Analisi di frequenza regionale: validazione database

1916-2000 Dati DICeA con verifica random CFR

2000-2012 Dati CFR

Validazione  singularità:

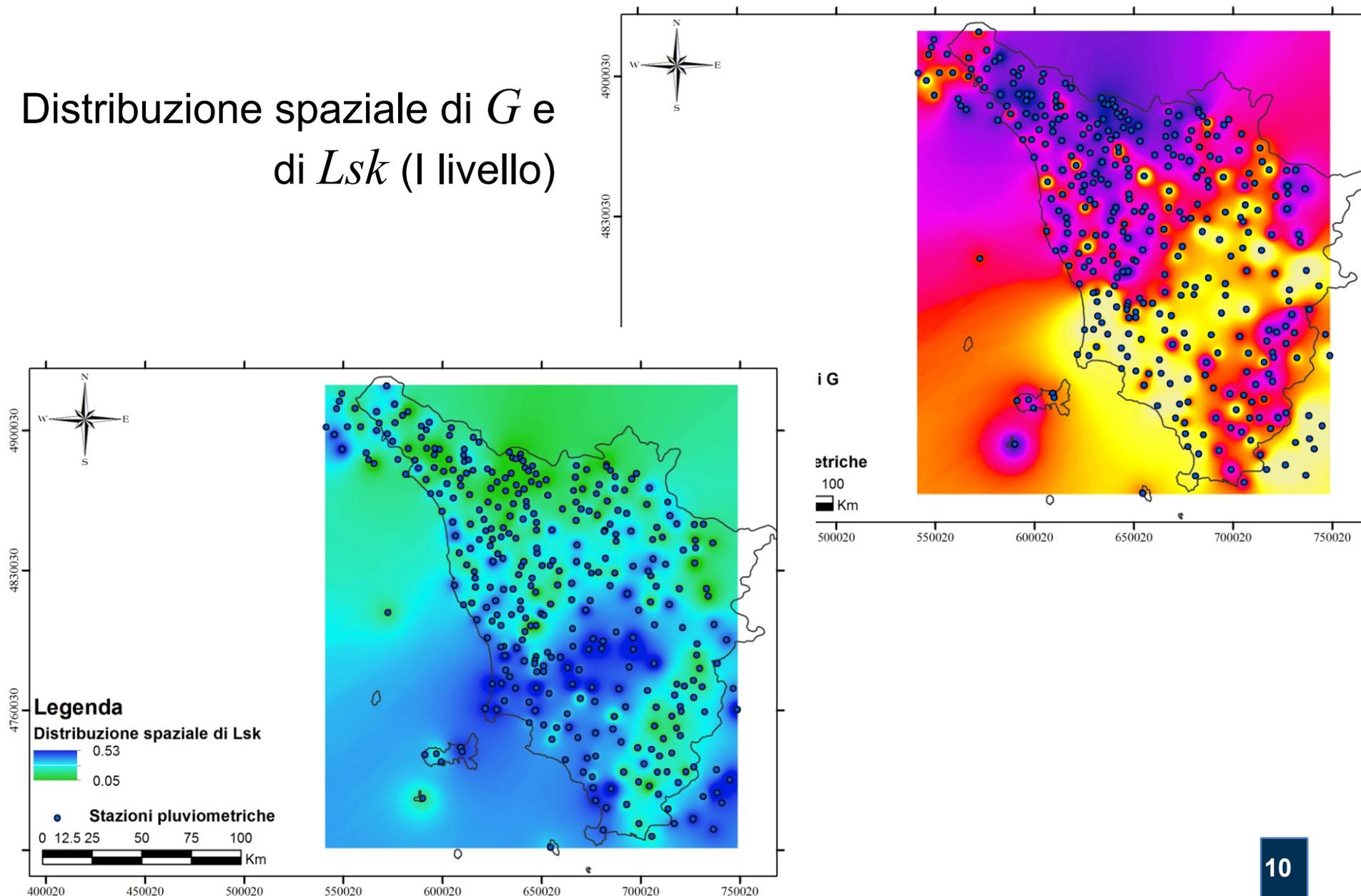
- ✓ valori massimi giornalieri del 1938 ricostruiti per tutte le stazioni.
- ✓ alcuni valori di fine anni '90 ritenuti non plausibili e quindi eliminati.

Validazione  controllo qualità:

- ✓ Controllo incrociato con dati Annali Idrologici fino al 1996.
- ✓ Eliminati i dati > 1000 mm discordanti dalla media campionaria della serie storica - erronee misurazioni o trascrizioni.
- ✓ Confronto con i dati misurati, nello stesso giorno, in siti adiacenti per i dati compresi tra 300 mm e 1000 mm e inferiori ai 10 mm.
- ✓ Eliminati gli anni con numerosi dati mancanti.

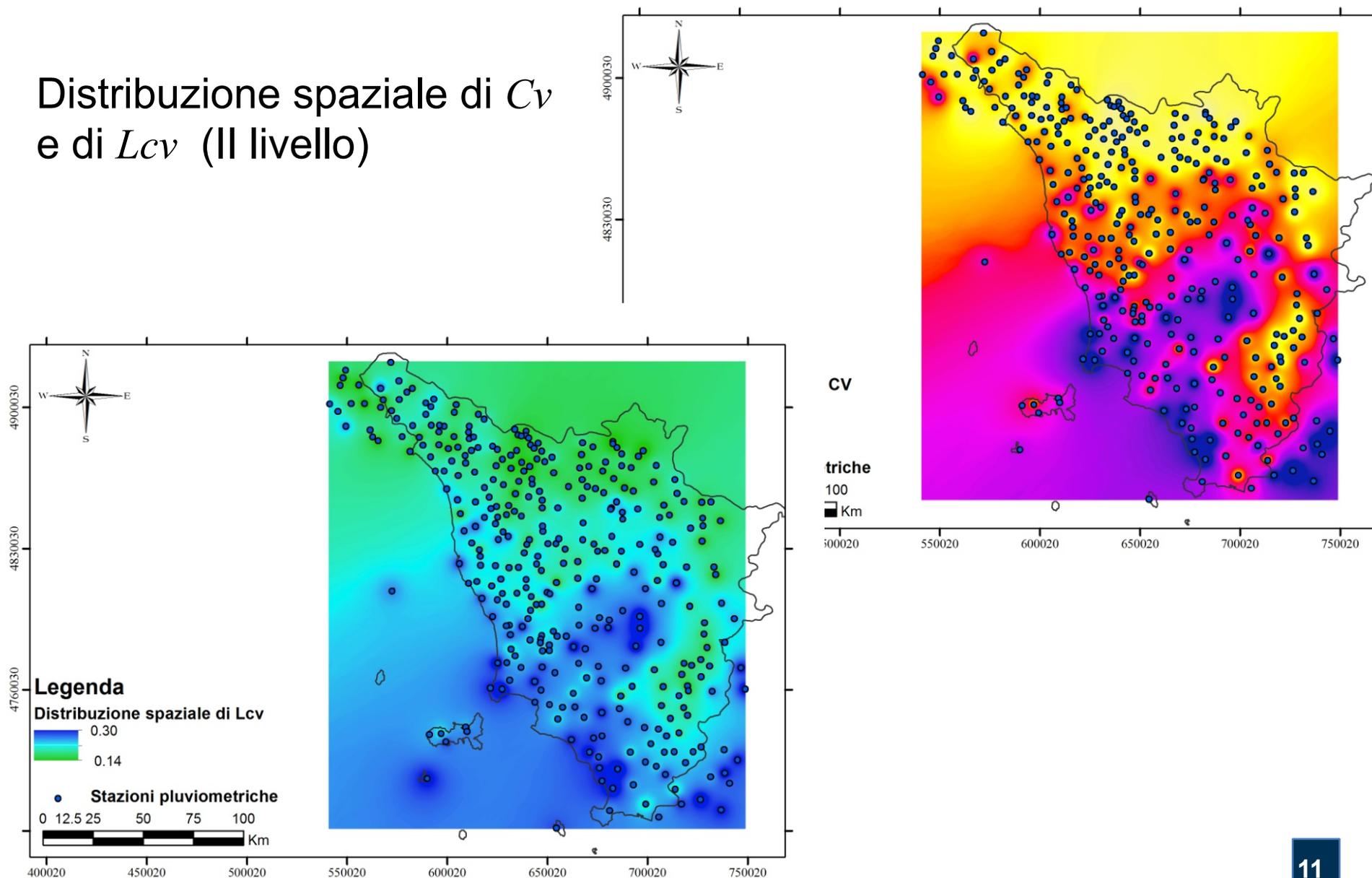
Analisi di frequenza regionale: divisione in regioni

Distribuzione spaziale di G e
di Lsk (I livello)



Analisi di frequenza regionale: divisione in regioni

Distribuzione spaziale di C_v
e di L_{cv} (II livello)



Analisi di frequenza regionale: divisione in regioni

Suddivisione in regioni e subregioni omogenee	
IOTESI 1	UNICA regione omogenea e subregione unica
IOTESI 2	UNICA regione omogenea e 3 subregioni omogenee NORD-APPENNINICA, NORD-TIRRENICA, CENTRO-SUD
IOTESI 3	3 regioni NORD-APPENNINICA, NORD-TIRRENICA, CENTRO-SUD coincidenti con le 3 subregioni
IOTESI 4	4 regioni NORD-TIRRENICA, NORD-OVEST, APPENNINO-AMIATA, CENTRO-SUD coincidenti con le 4 subregioni

Per tutte le *ipotesi* sono stati stimati i **parametri della TCEV** e verificate con:

- ✓ Differenze tra i valori della media e della deviazione standard calcolati sulle serie osservate e teoriche (Monte Carlo).
- ✓ Applicazione dei test della *t* di Student per la media, di Wilcoxon per la media, del χ^2 .
- ✓ Applicazione dei test della discordanza *D* e di eterogeneità *H*.
- ✓ Analisi della rappresentazione grafica in carta probabilistica di Gumbel della curva di crescita dei valori osservati e di quella teorica del modello TCEV.

Analisi di frequenza regionale: divisione in regioni

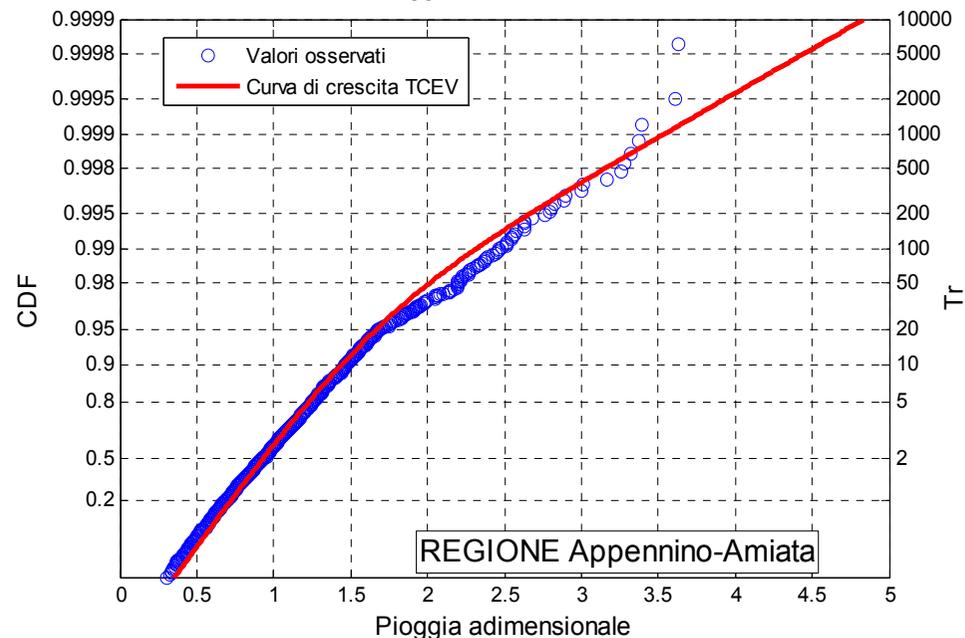
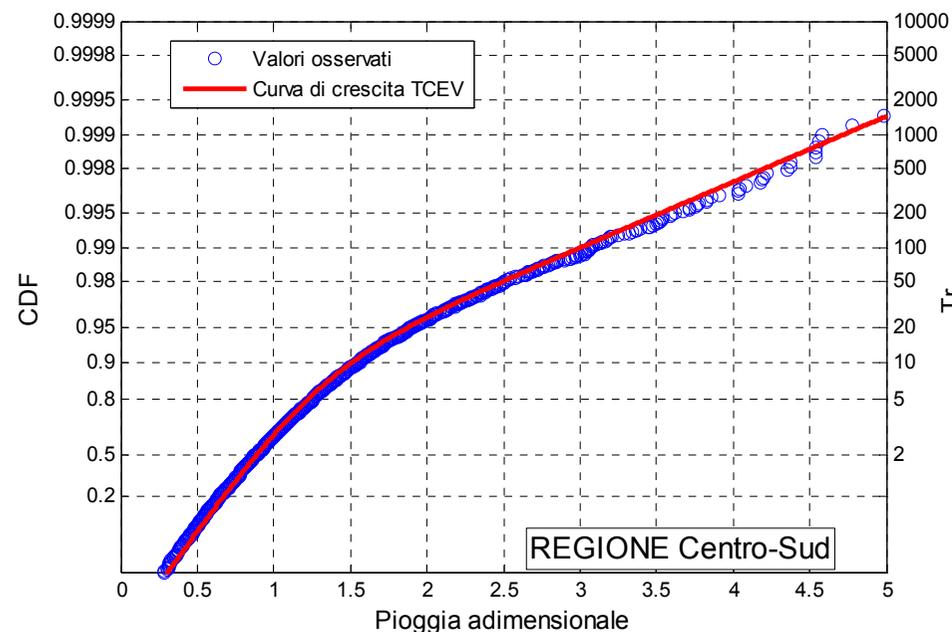
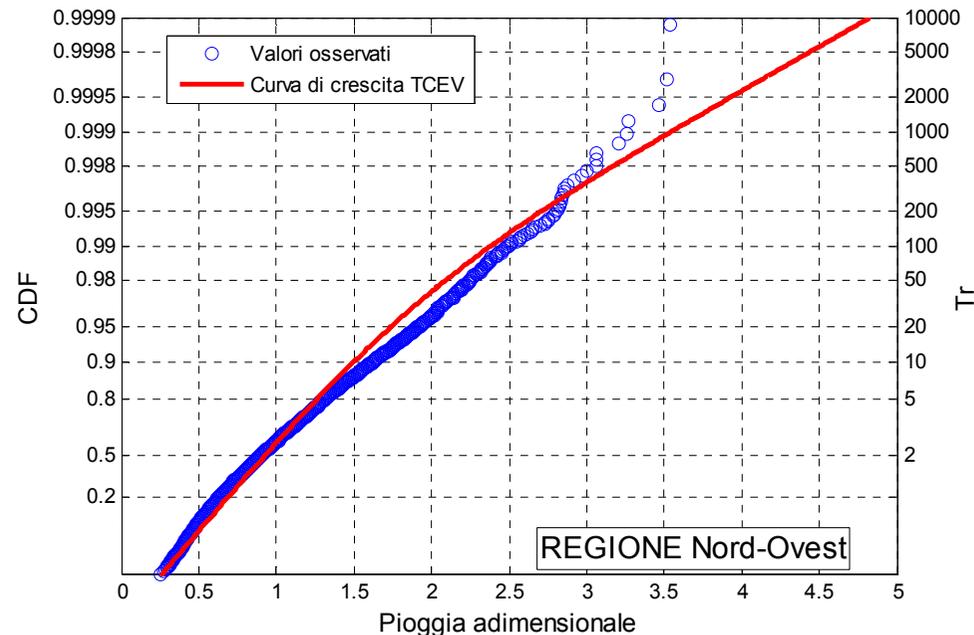
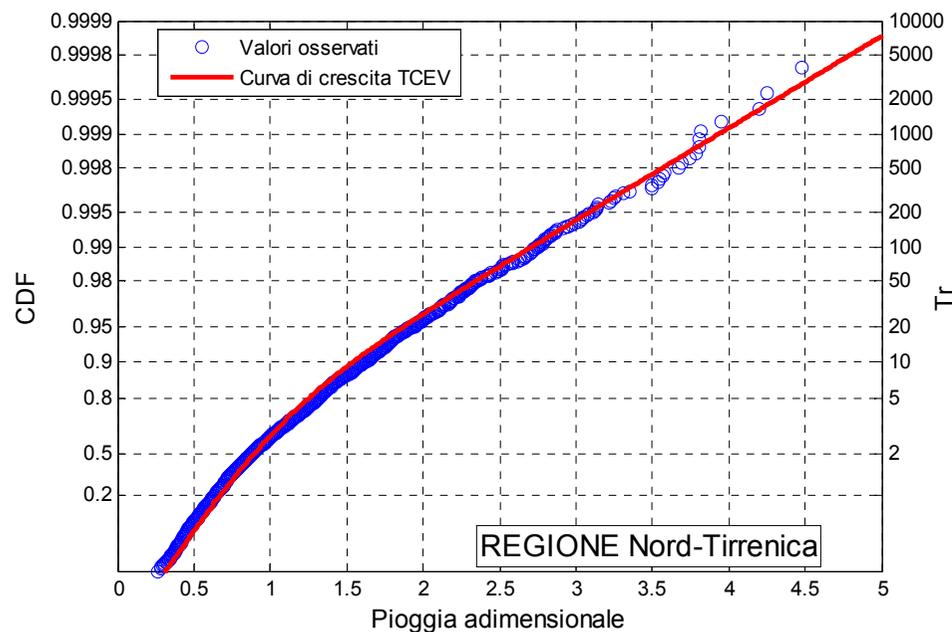
Test statistici G						
Regione	χ^2		Wilcoxon		t-student	
	res.	p-value	res.	p-value	res.	p-value
Unica	Neg	<0.05	Neg	<0.05	Neg	<0.05
Nord-Appenninica	Pos	0.26	Neg	<0.05	Neg	<0.05
Nord-Tirrenica	Pos	0.36	Neg	<0.05	Neg	<0.05
Centro-Sud	Pos	0.17	Neg	<0.05	Neg	<0.05
Nord-Tirrenica	Neg	<0.05	Neg	<0.05	Neg	<0.05
Nord-Ovest	Pos	0.60	Neg	<0.05	Neg	<0.05
Appennino-Amiata	Pos	0.12	Pos	0.14	Pos	0.55
Centro-Sud	Pos	0.56	Neg	<0.05	Neg	<0.05

Test statistici Lsk						
Regione	χ^2		Wilcoxon		t-student	
	res.	p-value	res.	p-value	res.	p-value
Unica	Pos	0.11	Neg	<0.05	Neg	<0.05
Nord-Appenninica	Pos	0.67	Pos	0.47	Pos	0.63
Nord-Tirrenica	Pos	0.6	Pos	0.71	Pos	0.81
Centro-Sud	Pos	0.64	Pos	0.78	Pos	0.96
Nord-Tirrenica	Pos	0.74	Pos	0.61	Pos	0.55
Nord-Ovest	Pos	0.79	Pos	0.77	Pos	0.72
Appennino-Amiata	Pos	0.41	Pos	0.95	Pos	0.88
Centro-Sud	Pos	0.62	Pos	0.86	Pos	0.77

Test statistici Cv						
Regione	χ^2		Wilcoxon		t-student	
	res.	p-value	res.	p-value	res.	p-value
Unica	Neg	<0.05	Neg	<0.05	Neg	<0.05
Nord-Appenninica	Pos	0.08	Pos	0.05	Pos	0.24
Nord-Tirrenica	Pos	0.44	Pos	0.11	Pos	0.15
Centro-Sud	Pos	0.08	Pos	0.43	Pos	0.7
Nord-Tirrenica	Pos	0.15	Pos	0.31	Pos	0.54
Nord-Ovest	Pos	0.49	Pos	0.71	Pos	0.78
Appennino-Amiata	Pos	0.42	Pos	0.74	Pos	0.34
Centro-Sud	Pos	0.27	Pos	0.35	Pos	0.42

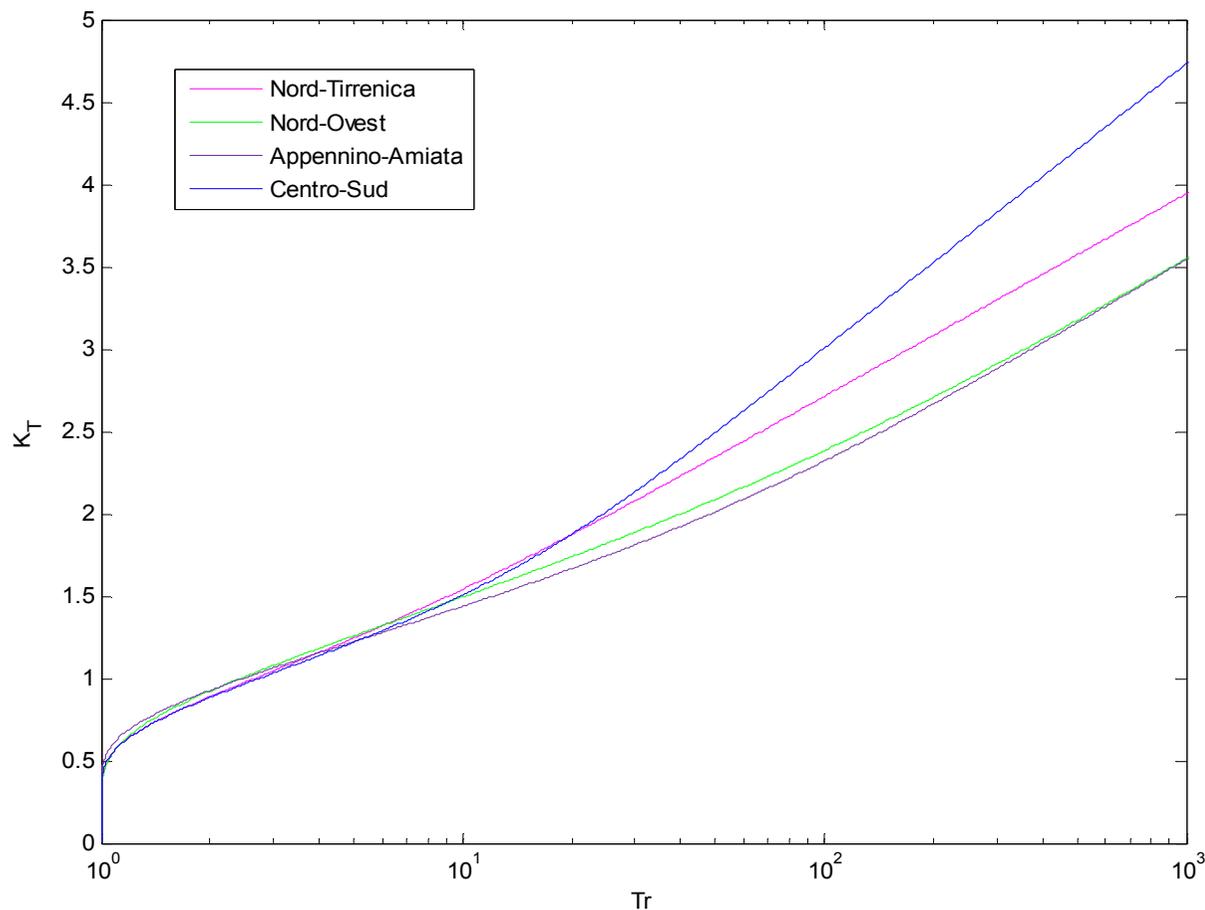
Test statistici Lcv						
Regione	χ^2		Wilcoxon		t-student	
	res.	p-value	res.	p-value	res.	p-value
Unica	Neg	<0.05	Neg	<0.05	Pos	0.17
Nord-Appenninica	Pos	0.64	Pos	0.47	Pos	0.81
Nord-Tirrenica	Pos	0.6	Pos	0.58	Pos	0.43
Centro-Sud	Pos	0.2	Pos	0.87	Pos	0.7
Nord-Tirrenica	Pos	0.14	Pos	0.35	Pos	0.29
Nord-Ovest	Pos	0.13	Pos	0.42	Pos	0.31
Appennino-Amiata	Pos	0.31	Pos	0.43	Pos	0.36
Centro-Sud	Pos	0.62	Pos	0.81	Pos	0.74

Analisi di frequenza regionale: curve di crescita

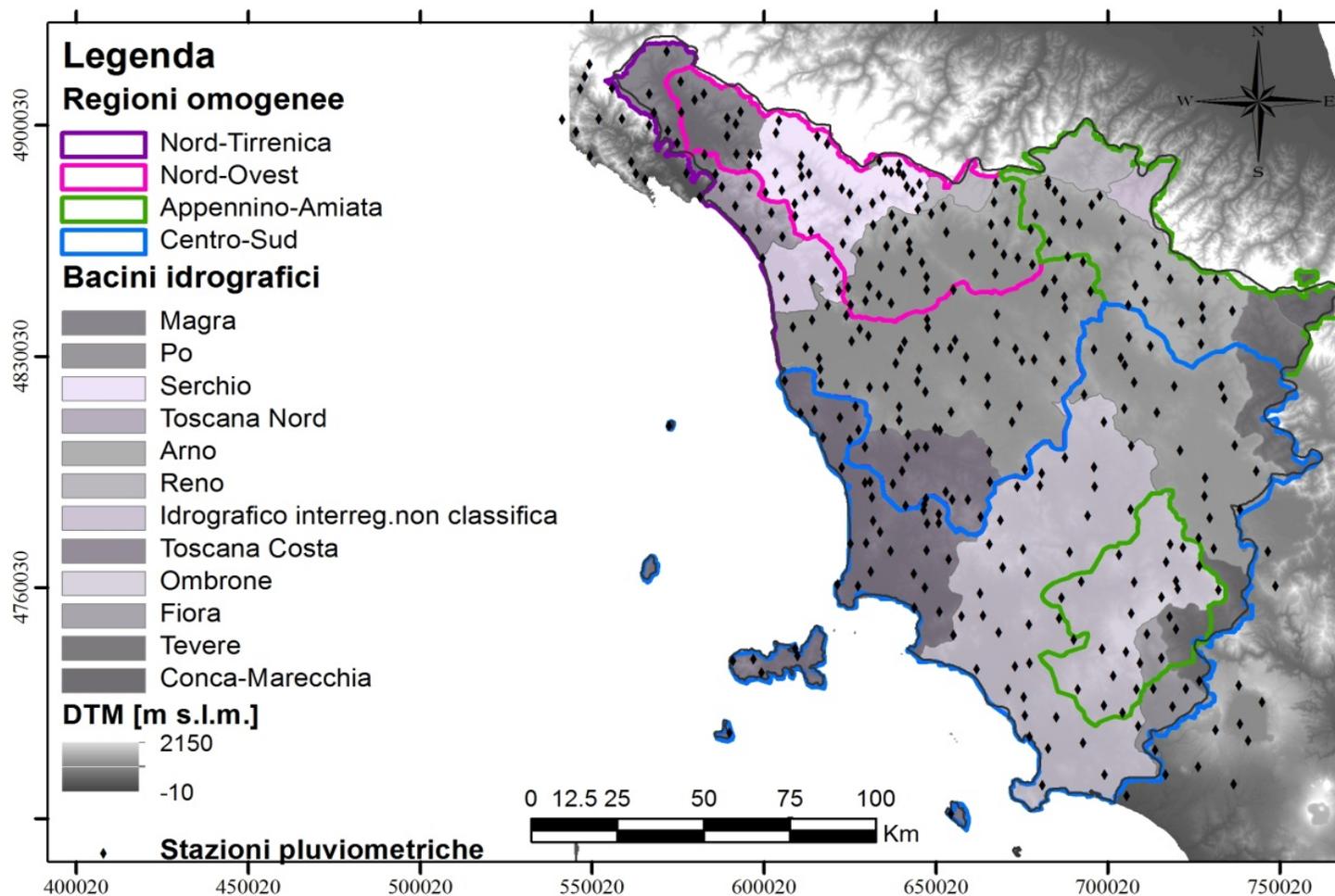


Analisi di frequenza regionale: curve di crescita

Tr	2	5	10	20	30	50	100	150	200	500
Nord-Tirrenica	0.89	1.25	1.54	1.88	2.08	2.35	2.71	2.93	3.08	3.57
Nord-Ovest	0.93	1.26	1.50	1.74	1.89	2.09	2.39	2.57	2.71	3.18
Appennino-Amiata	0.93	1.23	1.44	1.67	1.81	2.02	2.32	2.52	2.67	3.16
Centro-Sud	0.89	1.22	1.51	1.88	2.14	2.50	3.01	3.31	3.53	4.21



Analisi di frequenza regionale: regioni omogenee



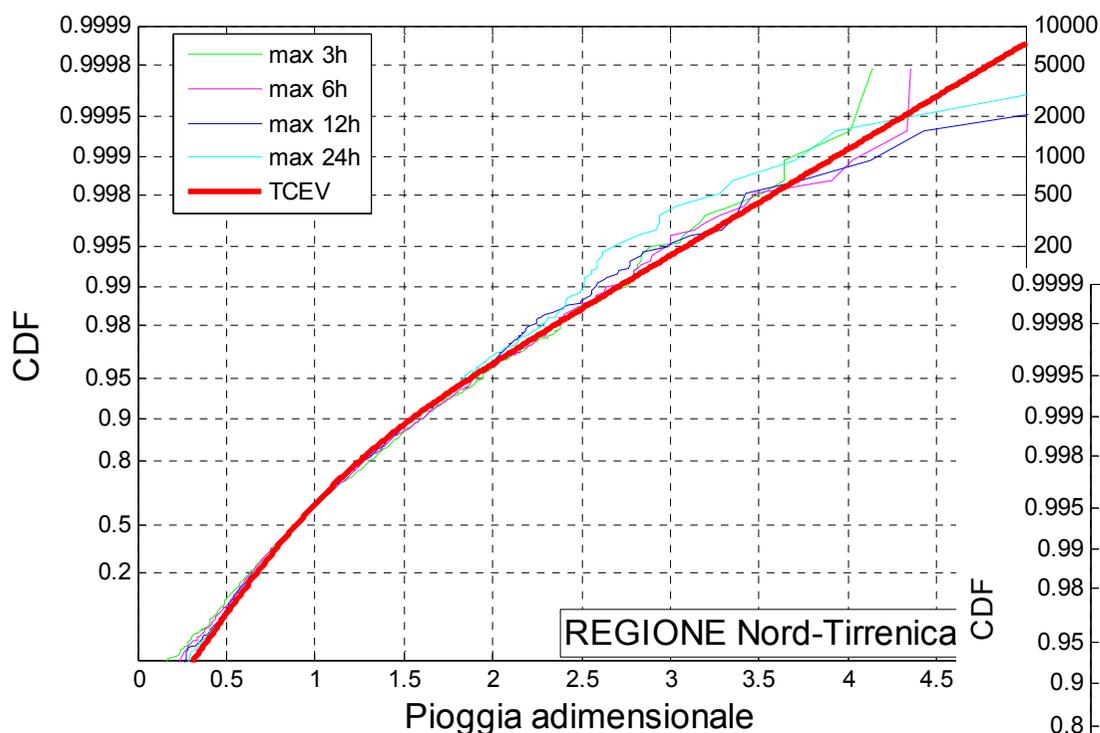
Analisi di frequenza regionale: curve di crescita per le piogge orarie (1h, 3h, 6h, 12h e 24h)

Verifica della rappresentatività delle curve di crescita dedotte su base giornaliera, per le quattro regioni individuate, per le piogge sub-giornaliere.

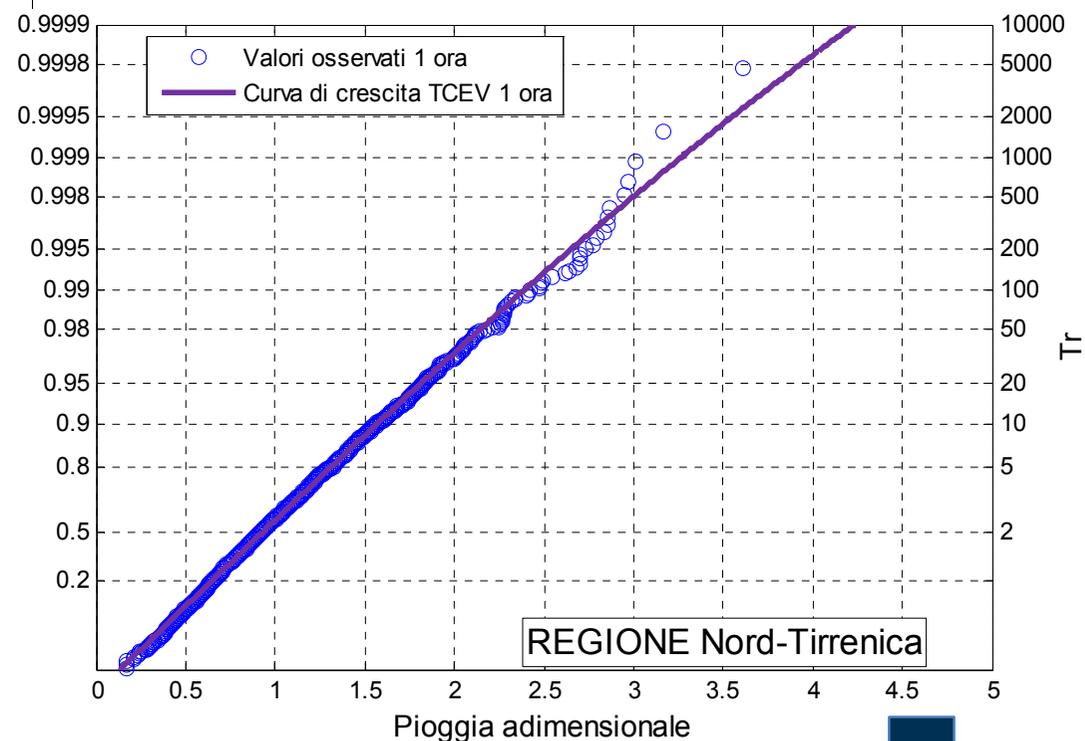
- ✓ **Confronto qualitativo** tra la curva di frequenza adimensionalizzata sperimentale e quella teorica dedotta dai dati giornalieri con plotting position su carta probabilistica di Gumbel.
- ✓ Verifica che la distribuzione di frequenza cumulata sperimentale sia contenuta in un'opportuna "fascia di variabilità" tracciata, una volta fissati i parametri θ^* , Λ^* e Λ_1 , generando 5000 regioni sintetiche.
- ✓ **Confronto** tra il valore medio campionario della generica statistica G , C_v , L_{sk} , L_{cv} ed il corrispondente valore medio teorico.

Analisi di frequenza regionale: curve di crescita per le piogge orarie (1h, 3h, 6h, 12h e 24h)

Regione Nord Tirrenica:



Ricalcolata la curva di crescita per 1h

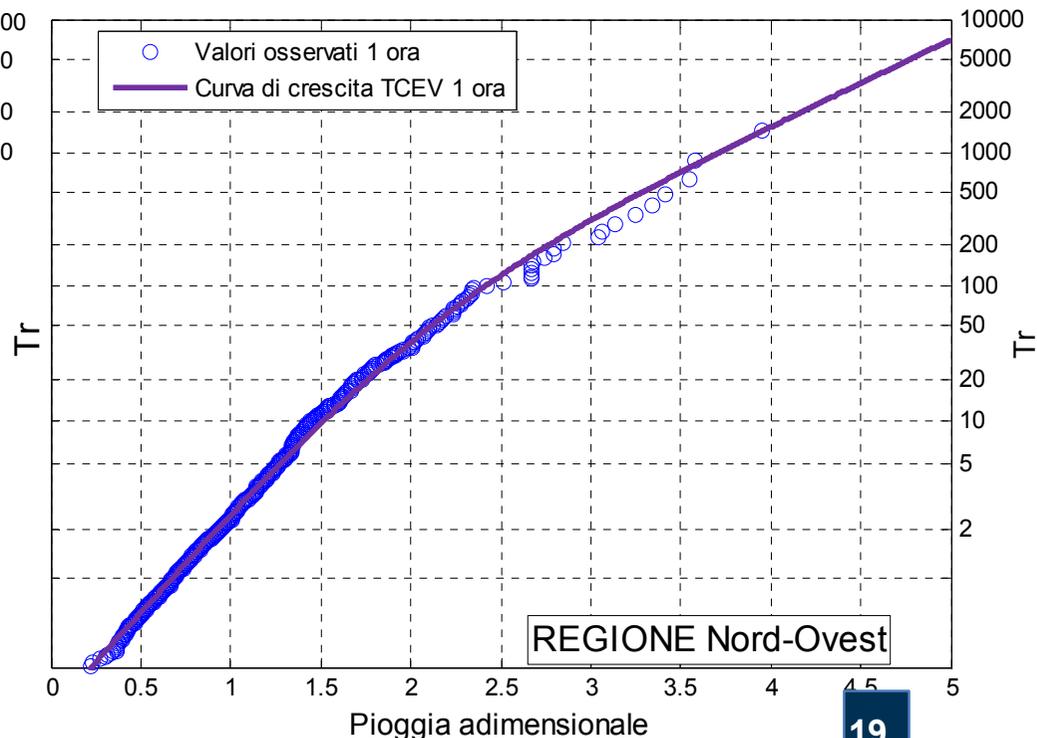
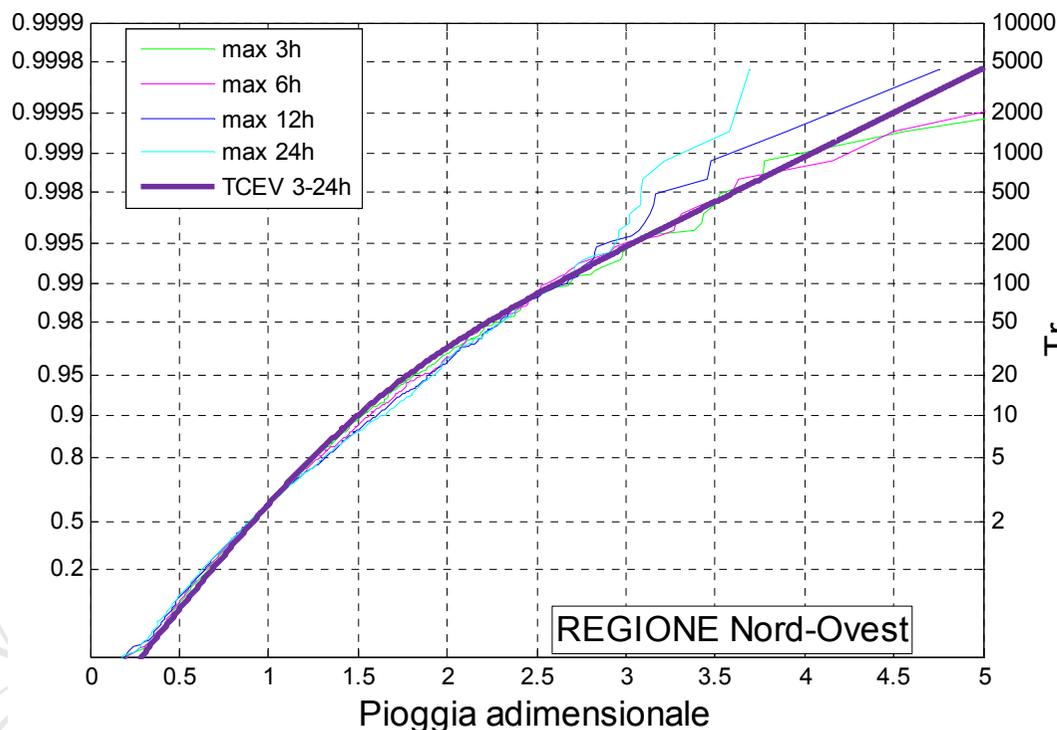


Analisi di frequenza regionale: curve di crescita per le piogge orarie (1h, 3h, 6h, 12h e 24h)

Regione Nord Ovest:

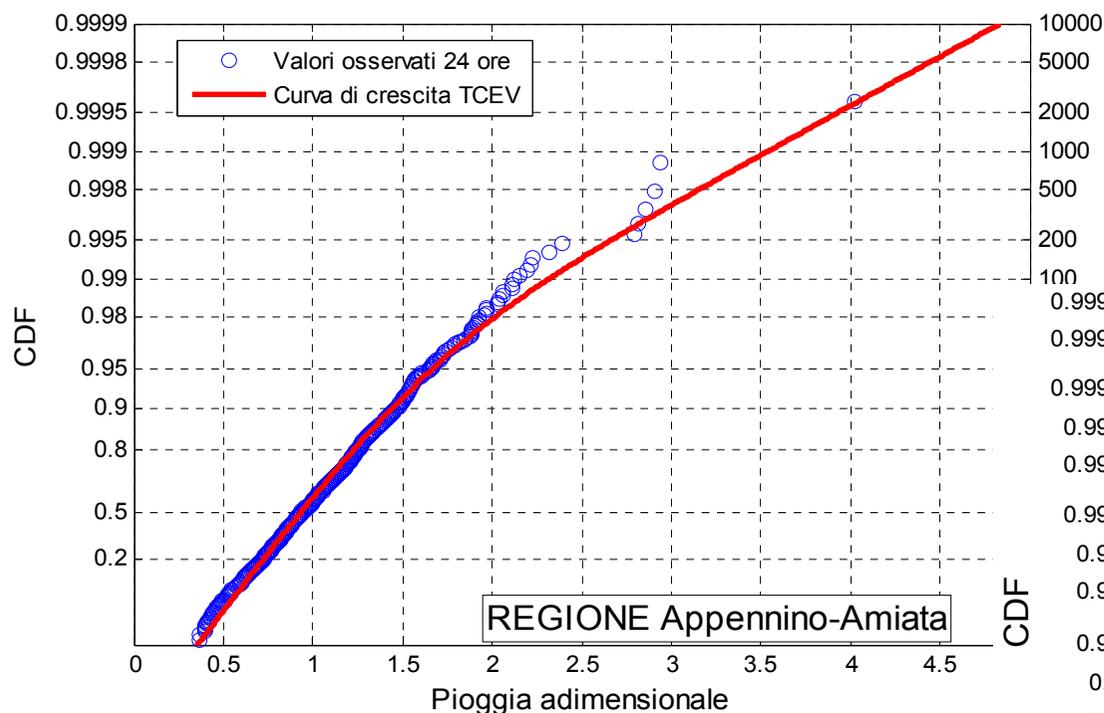
per $Tr > 100$ anni la curva TCEV giornaliera non è sufficientemente cautelativa: si registra una **sottostima consistente** del fattore di crescita per le piogge subgiornaliere.

Ricalcolate due curve di crescita: una per 3h, 6h, 12h, 24h e una per 1h.

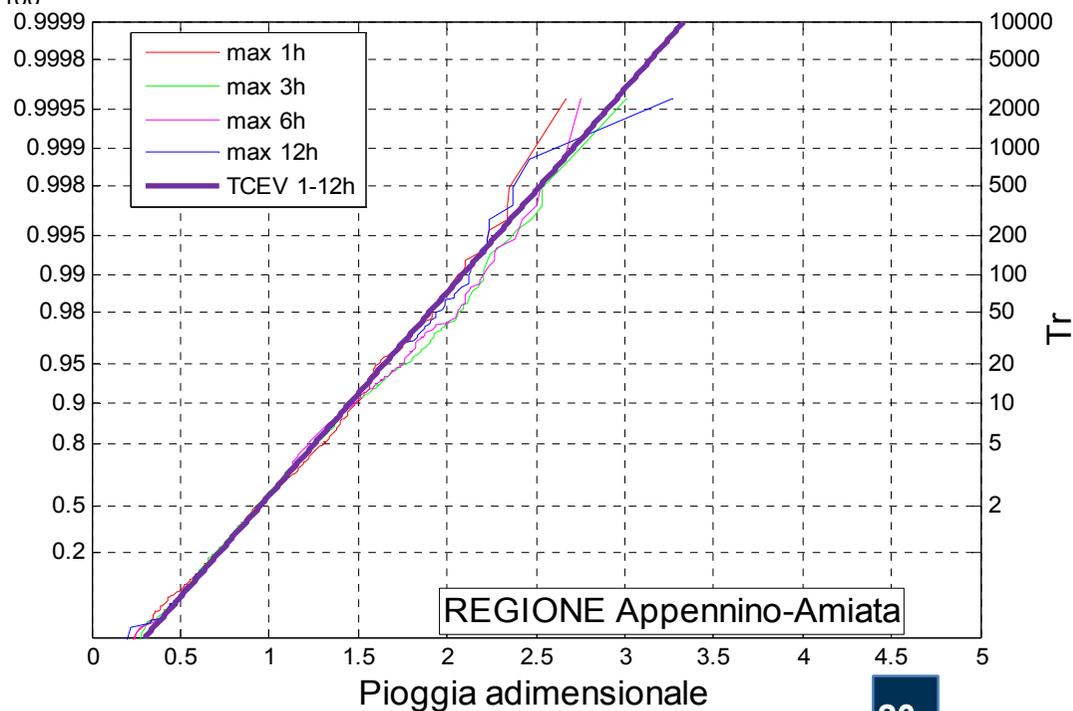


Analisi di frequenza regionale: curve di crescita per le piogge orarie (1h, 3h, 6h, 12h e 24h)

Regione Appennino Amiata:

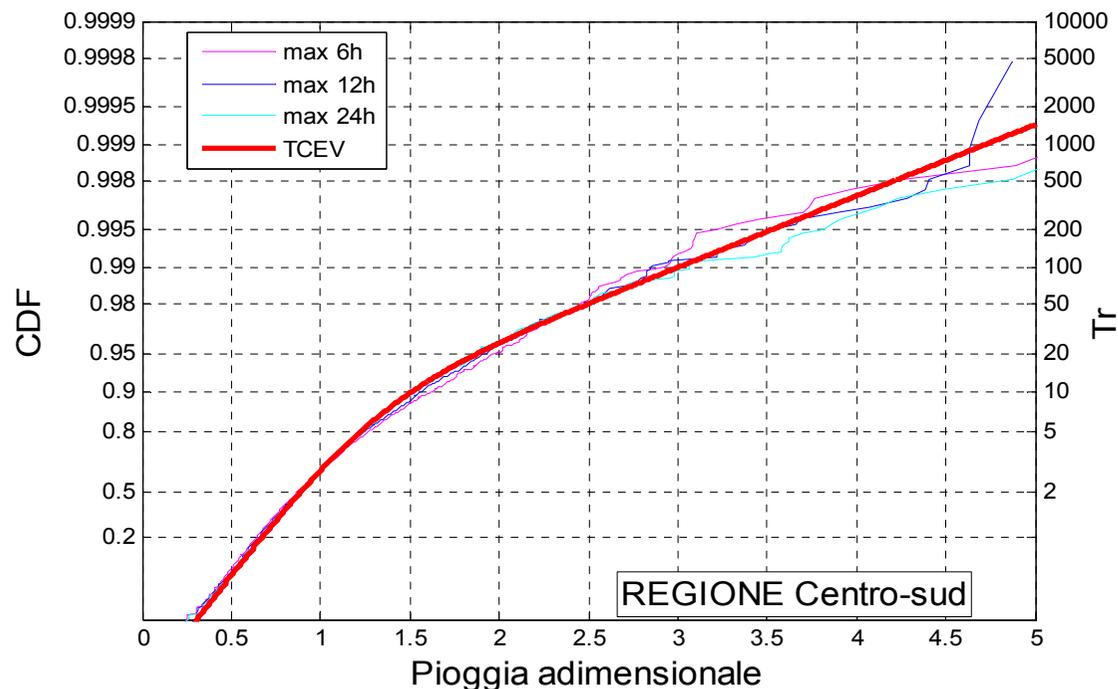


Ricalcolata la curva di crescita per
1h, 3h, 6h, 12h



Analisi di frequenza regionale: curve di crescita per le piogge orarie (1h, 3h, 6h, 12h e 24h)

Regione Centro Sud:

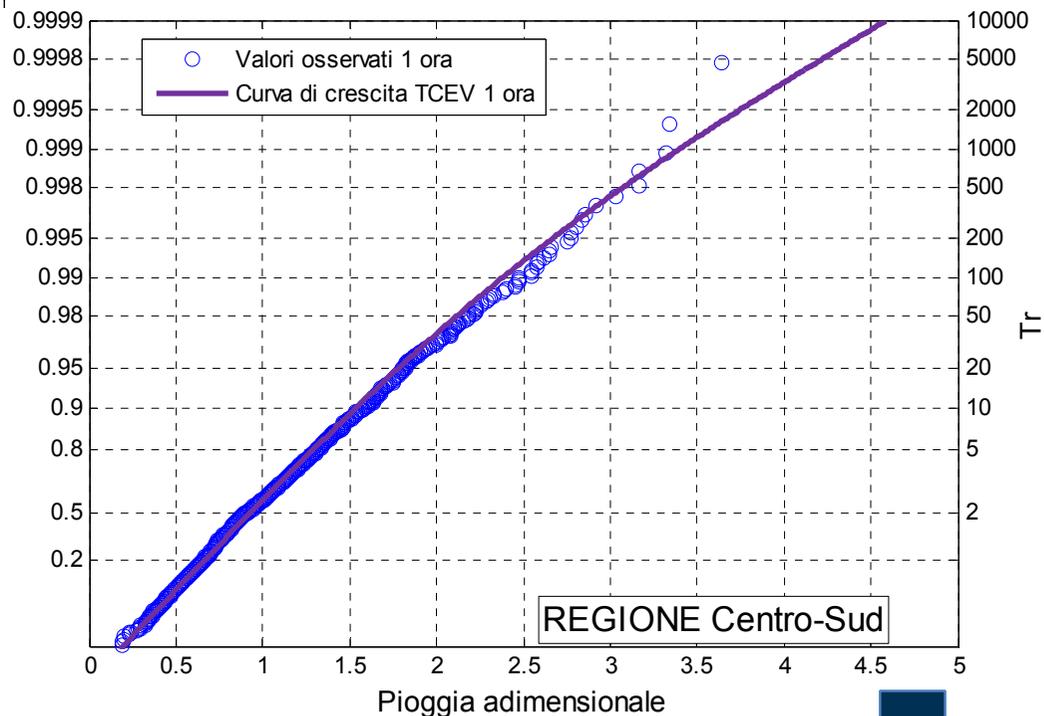
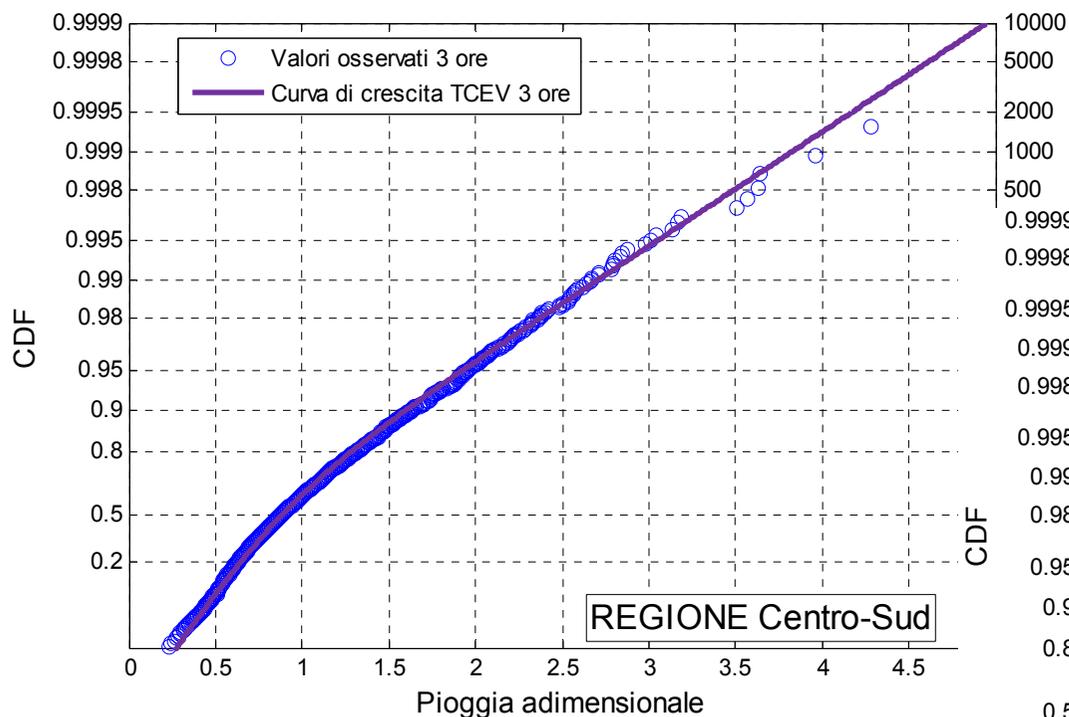


Per la regione Centro Sud la curva di crescita teorica dedotta su base giornaliera si può considerare rappresentativa per le durate > 6 ore; per le piogge di 1 e 3 ore si osserva una sovrastima consistente (>10%) già per $Tr > 100$ anni e le curve di frequenza sperimentali relative a tali durate non risultano comprese nelle fasce di variabilità.

Analisi di frequenza regionale: curve di crescita per le piogge orarie (1h, 3h, 6h, 12h e 24h)

Regione Centro Sud:

Ricalcolate due curve di crescita: una per 3h e una per 1h.



Analisi di frequenza regionale: curve di crescita per le piogge orarie (1h, 3h, 6h, 12h e 24h)

Parametri della distribuzione TCEV ed espressione semplificata del fattore di crescita K_T per le varie durate

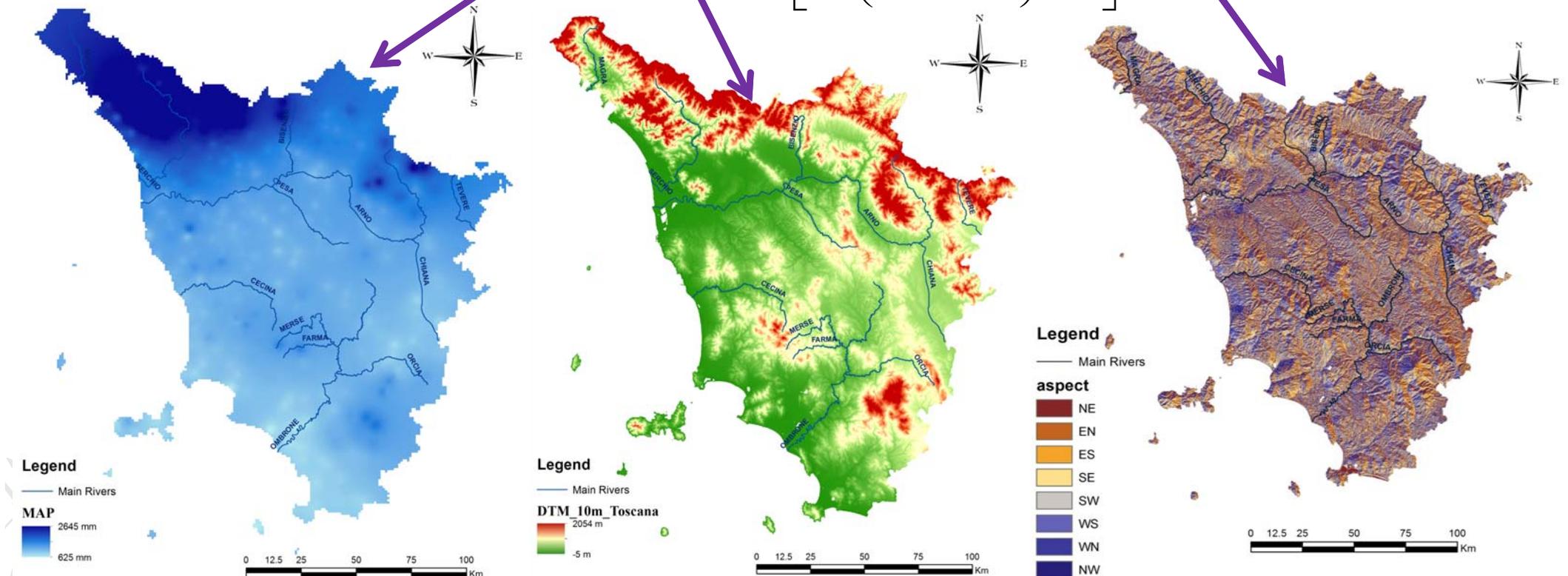
Regioni	θ^*	Λ^*	Λ_1	η	K_T	Note
Nord-Tirrenica	1.533	0.075	10.840	3.061	$-0.5217+0.501 \cdot \ln T$	Valida per d=1 ora
	2.634	0.438	31.195	4.937	$0.2558+0.533 \cdot \ln T$	Valida per $d \geq 3$ ore ed 1 g
Nord-Ovest	2.347	0.077	15.956	3.503	$-0.9315+0.670 \cdot \ln T$	Valida per d=1 ora
	2.600	0.176	22.755	4.091	$-0.3397+0.636 \cdot \ln T$	Valida per $3 \text{ ore} \leq d \leq 24 \text{ ore}$
	2.129	0.129	19.232	3.769	$-0.3705+0.565 \cdot \ln T$	Valida per 1 giorno
Appennino-Amiata	1.010	0.027	22.078	3.698	$-0.1529+0.273 \cdot \ln T$	Valida per $1 \text{ ora} \leq d \leq 12 \text{ ore}$
	2.456	0.127	33.292	4.350	$-0.3605+0.565 \cdot \ln T$	Valida per d=24 ore ed 1 g
Centro-Sud	1.844	0.100	13.686	3.342	$-0.4901+0.552 \cdot \ln T$	Valida per d=1 ora
	2.481	0.718	24.020	5.086	$0.4634+0.488 \cdot \ln T$	Valida per d=3 ore
	3.381	0.206	28.325	4.516	$-0.4421+0.749 \cdot \ln T$	Valida per $d \geq 6$ ore ed 1 g

Analisi di frequenza regionale: pioggia indice

Sono state utilizzate stazioni con almeno 20 anni di dati di precipitazioni estreme orarie (219 stazioni con un numero medio di 43 anni di dati).

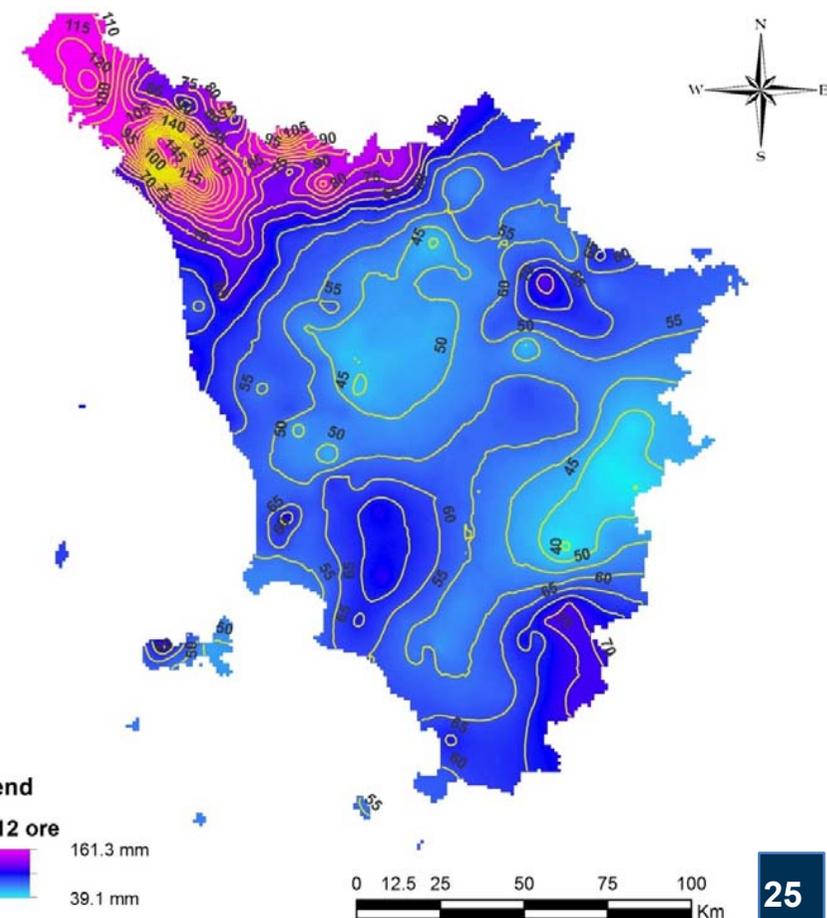
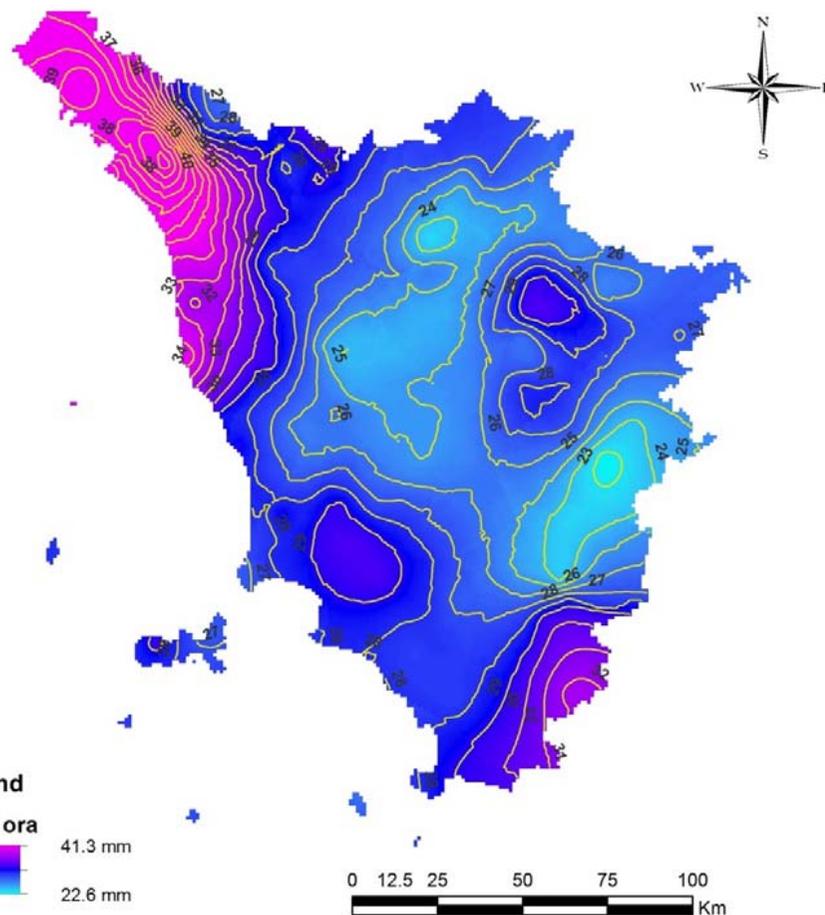
La pioggia indice è stimata su tutto il territorio della Regione Toscana. Per ogni regione omogenea e per ogni durata di pioggia è stato utilizzato un modello multivariato secondo l'espressione di Caporali et al. (2008):

$$\mu = a_0 + a_1 \cdot \ln(MAP) + a_2 \cdot z + a_3 \cdot \left[\sin\left(\frac{Asp}{2} - \frac{\pi}{2}\right) + \pi \right] \cdot |Asp| + a_4 \cdot hm \longrightarrow$$



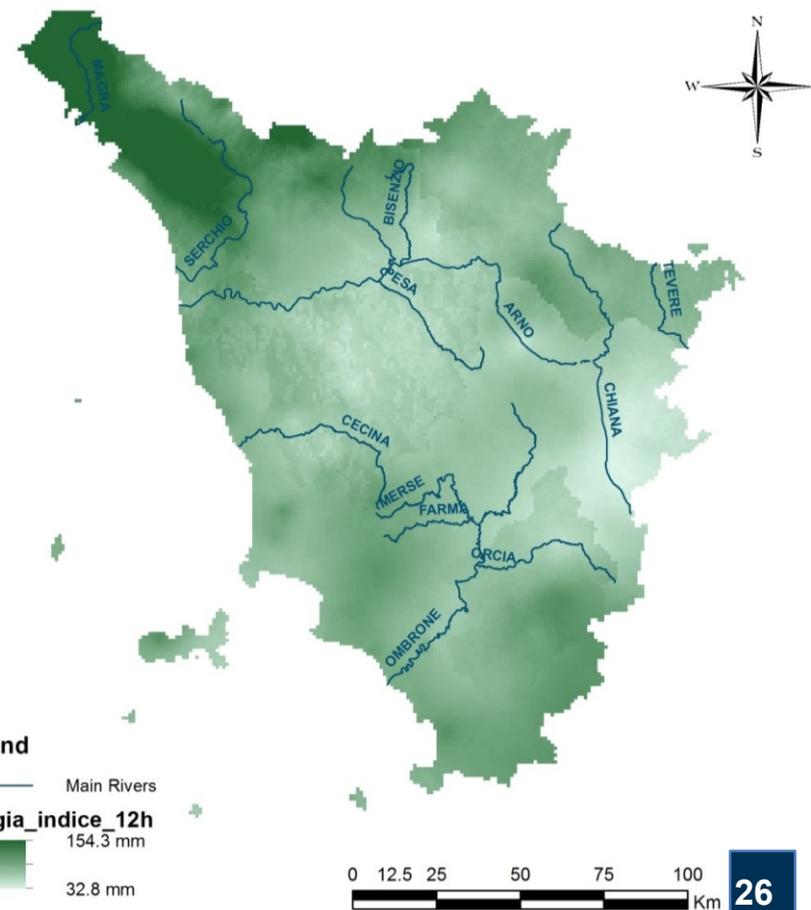
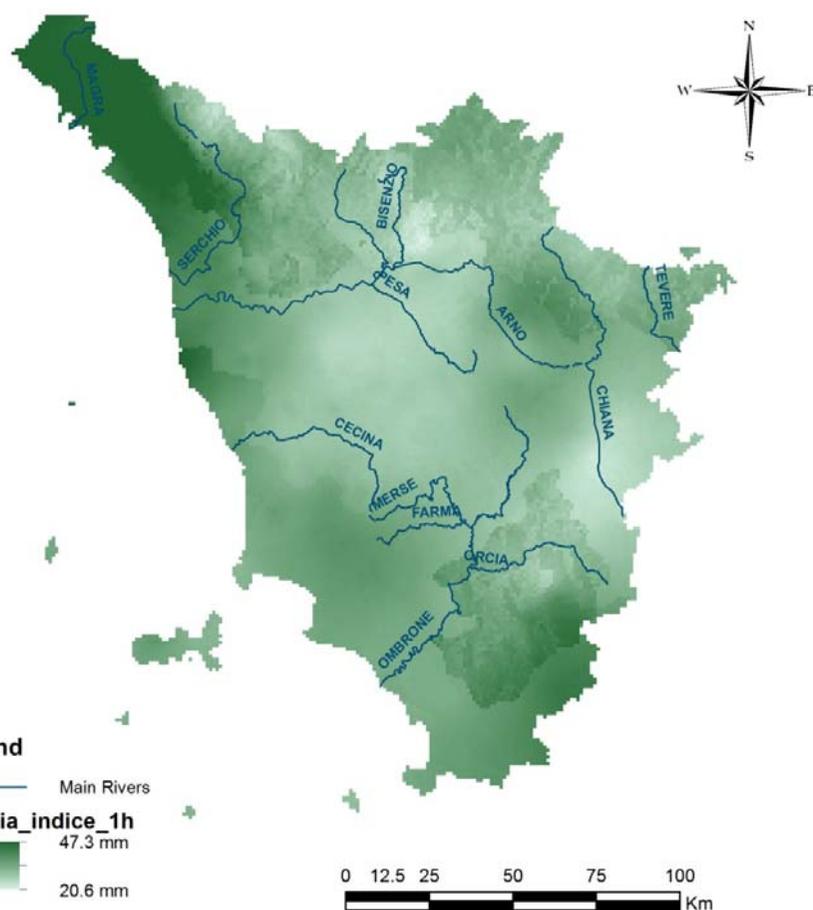
Analisi di frequenza regionale: pioggia indice

I valori medi delle serie temporali delle altezze di pioggia massima annua *hm* sono stati determinati, per le cinque durate di pioggia analizzate (1 h, 3 h, 6 h, 12 h, 24 h) a partire dai dati registrati nelle singole stazioni tramite interpolazione spaziale con **Ordinary Kriging**.



Analisi di frequenza regionale: pioggia indice

La pioggia indice è stata calcolata per tutta la regione, per le cinque durate di pioggia analizzate attraverso gli strati informativi precedentemente descritti.



LSPP – Linea Segnalatrice di probabilità pluviometrica

È stato scelto di utilizzare la formula monomia della LSPP comunemente descritta da una legge di potenza del tipo:

$$h(t) = a t^n$$

h = altezza di pioggia [mm]; t = durata [ore];

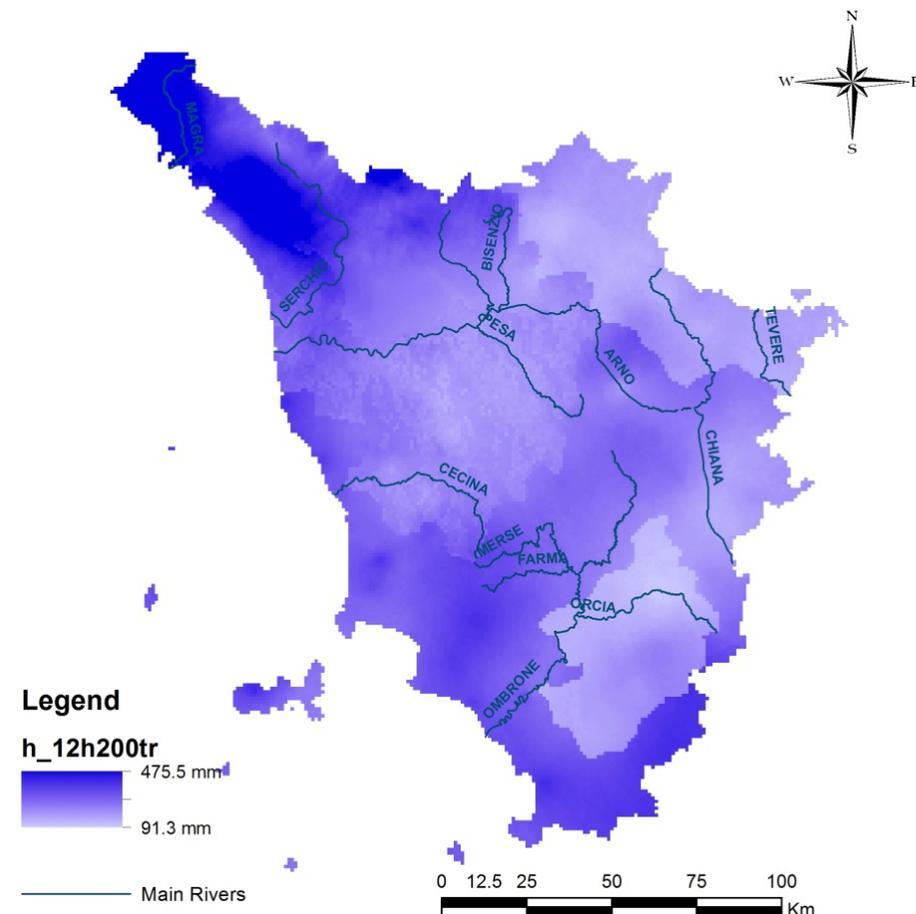
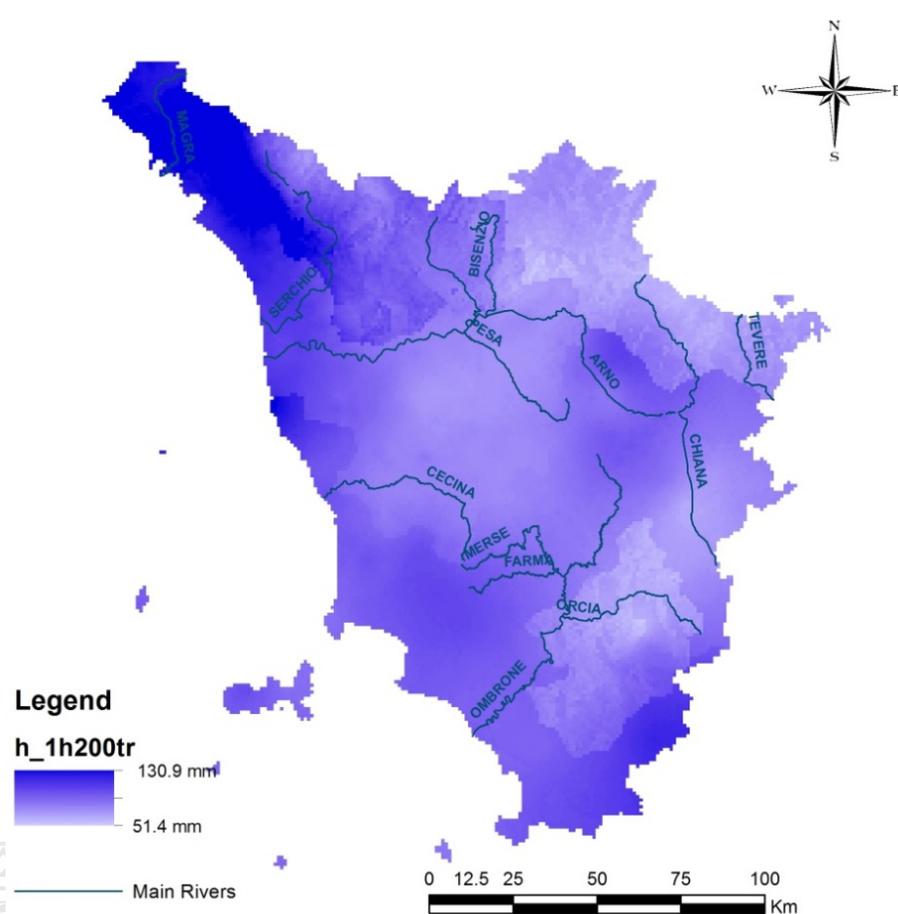
a e n parametri caratteristici **espressi per i tempi di ritorno** 2, 5, 10, 20, 30, 50, 100, 150, 200 e 500 anni.

Noti i valori della pioggia indice e del fattore di crescita adimensionale per ognuna delle 4 regioni, sono state trovate le **altezze di pioggia di assegnato tempo di ritorno** (ovvero 50 ASCII Grid a maglia 1km x 1km: date le 5 durate e i 10 tempi di ritorno considerati) tramite:

$$h_{Tr} = \mu \cdot K_T$$

LSPP – Linea Segnalatrice di probabilità pluviometrica

Es: spazializzazione sull'intera regione dell'altezza di pioggia di durata 1 ora e 12 ore per il tempo di ritorno 200 anni.

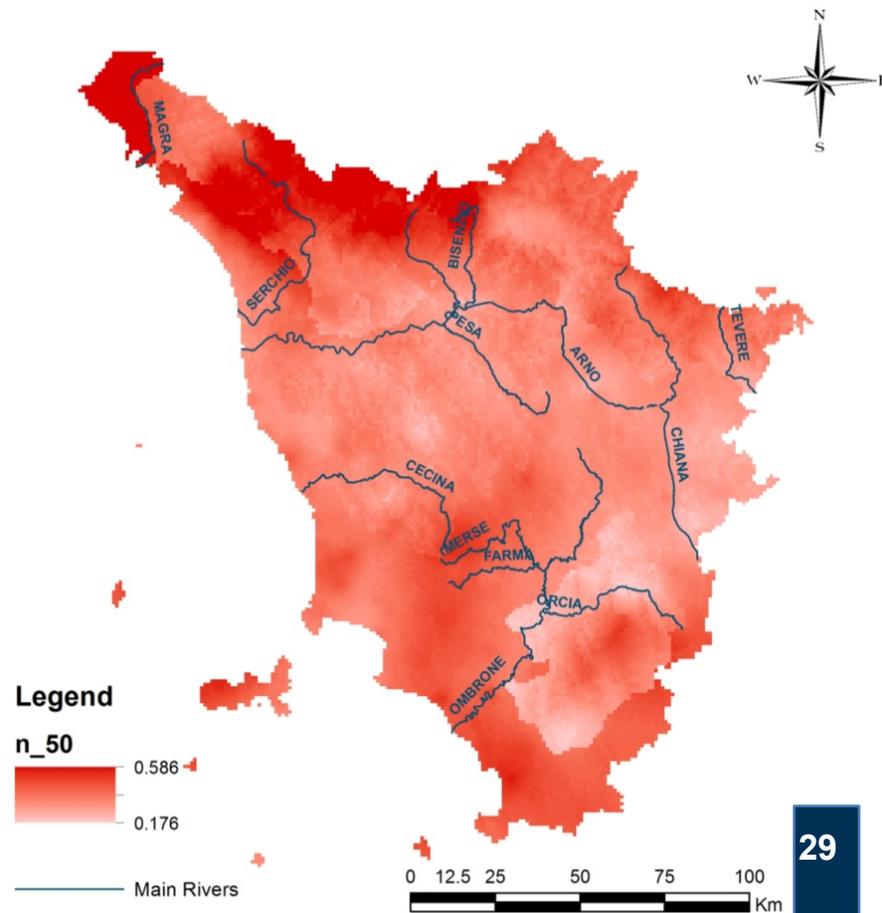
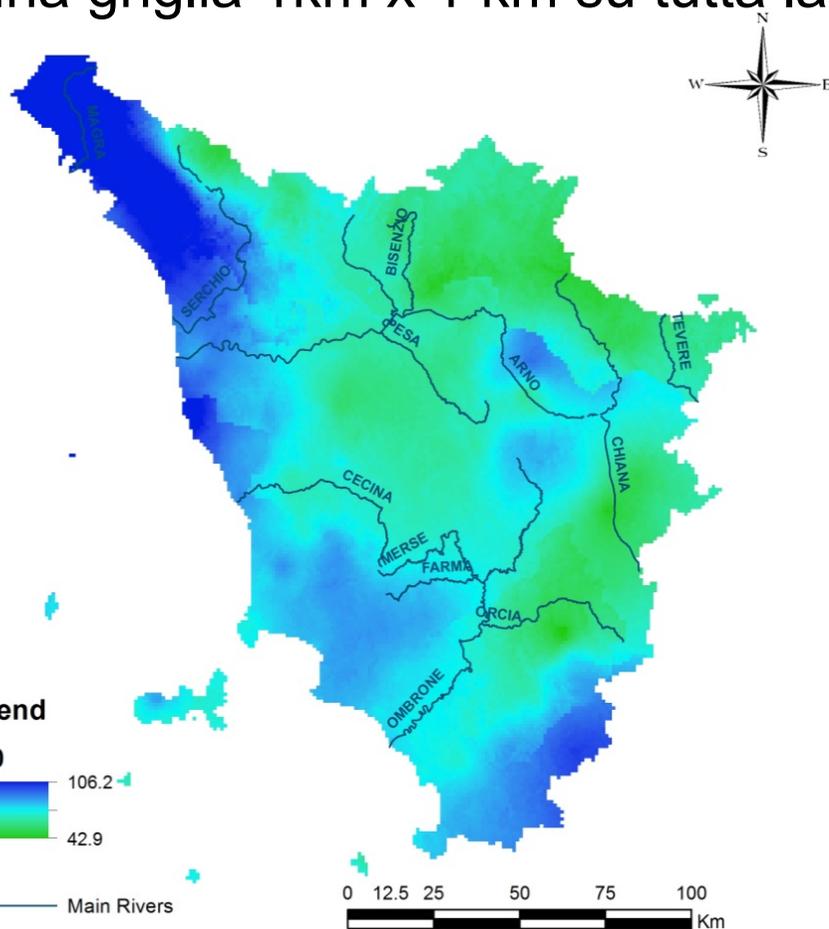


LSPP – Linea Segnalatrice di probabilità pluviometrica

Per determinare i parametri a ed n è stata effettuata una regressione logaritmica a partire dalle altezze di pioggia note in ogni cella 1km x 1km:

$$\ln (h_{Tr}) = \ln (a) + n \ln (t)$$

Sono quindi disponibili, per ogni tempo di ritorno, i parametri a e n con una griglia 1km x 1 km su tutta la regione.



Condivisione risultati

I risultati dell'Analisi di Frequenza Regionale sono stati archiviati nello spazio NetStorage della Regione Toscana e nel CD allegato alla relazione.

I risultati sono stati condivisi come **ASCII Grid** con cella di risoluzione pari a 1km, georeferenziati nel sistema di riferimento Gauss Boaga.

- ✓ ASCII Grid dei **parametri a** ed **n** delle LSPP per i tempi di ritorno prefissati (2, 5, 10, 20, 30, 50, 100, 150, 200 e 500 anni)
- ✓ ASCII Grid delle **altezze di pioggia** per le 5 durate considerate (1h, 3h, 6h, 12h, 24h) suddivise per i tempi di ritorno prefissati.

Guida all'uso contenente la **sintesi** delle metodologie e dei risultati ottenuti e alcune **linee guida** per illustrare l'utilizzo dei risultati prodotti per le più comuni applicazioni in studi idrologici.

Sviluppi possibili

Costruzione e sviluppo di un **webGIS** per il monitoraggio degli estremi idrologici in Toscana.

GIS accessibile liberamente da qualsiasi utente internet grazie a tecnologie **Open Source**.

Strumento con cui accedere ai risultati dell'**analisi di frequenza regionale** delle precipitazioni estreme a scala regionale.

