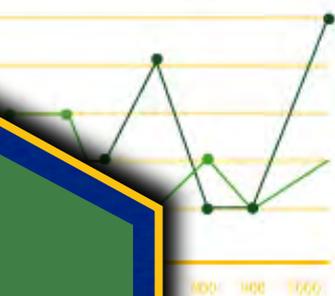
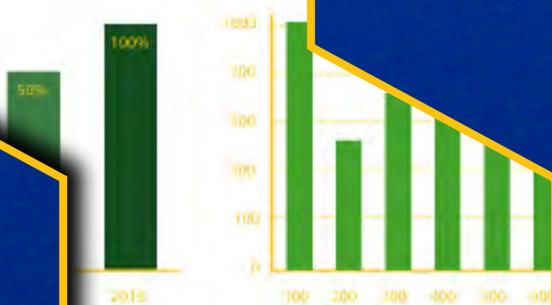


25%

Analisi del clima regionale del periodo 1981-2010 e tendenze negli ultimi 60 anni

Giugno 2020



SOMMARIO

1 INTRODUZIONE.....	3
1.1 Premessa.....	3
1.2 Obiettivi e scopo del documento.....	4
1.3 Dati osservativi.....	5
1.4 Metodologia.....	6
2 CLIMA REGIONALE – OSSERVAZIONI.....	8
2.1 Temperature trend.....	8
2.1.1 Andamenti annuali a livello regionale.....	8
2.1.2 Andamenti annuali in montagna.....	9
2.1.3 Andamenti stagionali temperatura massima e minima.....	11
2.1.4 Distribuzioni delle temperature minime e massime.....	16
2.2 Temperature – distribuzione territoriale.....	23
2.2.1 Temperatura massima e minima annuale e stagionale.....	23
2.2.2 Tendenze annuali della temperatura minima e massima.....	26
2.2.3 Notti tropicali e tendenza sul periodo.....	29
2.2.4 Giorni tropicali e tendenza sul periodo.....	30
2.2.5 Giorni di gelo e tendenza sul periodo.....	31
2.3 Precipitazioni trend.....	32
2.3.1 Precipitazioni annuali e stagionali.....	32
2.3.2 Distribuzione delle precipitazioni giornaliere e tendenze.....	34
2.3.3 Distribuzione delle precipitazioni stagionali e tendenze.....	37
2.3.4 Ciclo annuale della precipitazione.....	40
2.4 Precipitazioni – distribuzioni territoriali.....	41
2.4.1 Precipitazioni cumulate annuali e tendenza.....	41
2.4.2 Precipitazioni cumulate stagionali e tendenza.....	42
2.4.3 Numero di giorni piovosi e tendenza.....	43
2.4.4 Numero di giorni piovosi per precipitazioni intense e tendenza.....	45
2.5 Vento.....	46
1.1.1 Massima raffica.....	46
1.1.2 Calma di vento.....	48
2.5.1 Eventi di foehn.....	49
2.6 Zero termico.....	50
2.6.1 Zero termico da radiosondaggio.....	50
2.6.2 Zero termico da analisi.....	52
3 IL CLIMA REGIONALE – EFFETTI.....	54
3.1 Siccità.....	54
3.1.1 Numero massimo di giorni consecutivi senza pioggia.....	54
3.1.2 Evapotraspirazione potenziale.....	56
3.1.3 SPEI <i>standard precipitation evapotranspiration index</i>	57

3.2 Analisi della frazione neve/precipitazione totale.....	58
3.3 Gradi giorno di riscaldamento e raffreddamento.....	60
3.4 Indicatori per il comparto agricoltura.....	62
3.4.1 Gradi giorno di sviluppo della coltura.....	62
3.4.2 Lunghezza e data di inizio della <i>growing season</i> termica.....	63
3.4.3 Lunghezza della stagione con assenza di gelo.....	65
3.4.4 Data di inizio della stagione con assenza di gelo.....	66
3.4.5 Indici vitivinicoli.....	67
3.5 Portate (andamento in alcune sezioni).....	70
1.1.3 Indici di anomalia delle portate.....	75
3.6 Disponibilità nivale sul bacino.....	76
3.7 Ondate di caldo su capoluoghi.....	78
3.8 Neve.....	86
3.8.1 Neve fresca.....	88
3.8.2 Permanenza e altezza della neve al suolo.....	91
4 CREDITS.....	97

1 INTRODUZIONE

1.1 PREMESSA

Il rapporto di sintesi *Climate Change 2014*, pubblicato nel 2015 dal *Panel Intergovernativo per i Cambiamenti Climatici*, nel quale sono richiamate le conclusioni dei tre Gruppi di lavoro che hanno concorso a redigerlo, sancisce in modo inequivocabile il riscaldamento globale e gli impatti sulle altre componenti del sistema climatico, evidenziando come il fattore umano sia ritenuto la causa dominante del riscaldamento globale dal 95% della comunità scientifica internazionale. Il rapporto infatti asserisce, con un livello di probabilità superiore al 95%, che le attività antropiche sono responsabili di più del 50% dell'aumento di temperatura registrato fra 1951 e 2010.

Le concentrazioni di gas ad effetto serra sono cresciute a partire dall'era preindustriale raggiungendo livelli che non hanno precedenti nella storia dell'umanità. La concentrazione di anidride carbonica, metano e protossido di azoto è aumentata dal 1750 ad oggi del 40%, 150% e 20%, raggiungendo i valori più elevati degli ultimi 800.000 anni e sta continuando ad aumentare: dal 2016 la concentrazione di CO₂ è stata al di sopra dei 400 ppm in modo costante durante l'anno; nel 2018 la media annuale è stata di 408,52 ppm e diversi mesi hanno registrato il record di concentrazione nella storia dell'umanità (<http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/data.html>).

Un nuovo record per le emissioni globali di CO₂ è stato superato nel 2018, che hanno raggiunto il loro massimo storico. Lo rileva il rapporto del *Global Carbon Project (GCP)*, secondo il quale le emissioni generate dall'uso dei combustibili fossili sono cresciute del 2,7% raggiungendo i 37,1 miliardi di tonnellate. Un aumento che si verifica per il secondo anno consecutivo, dopo il periodo in cui erano rimaste stabili, tra 2014 e 2016. Anche le concentrazioni in atmosfera sono in aumento intorno ai 3 ppm dal 2017 al 2018.

Sempre secondo il V Rapporto dell'IPCC, la temperatura media globale è aumentata di 0,85 °C dal 1880 ad oggi, con un aumento di 0,12 °C/decennio nel periodo 1951–2012, la temperatura superficiale dell'oceano è aumentata (dal 1971 al 2010 l'aumento supera 0,11 °C/decennio nei primi 75 m), il livello globale medio del mare dal 1901 al 2010 è cresciuto di 0,19 m. L'estensione ed il volume dei ghiacci si sono ridotti, la copertura nevosa nell'emisfero nord è diminuita e il permafrost è in generale degradazione. Diversi anni dal 2000 hanno superato il record di temperatura più elevata da quando sono cominciate le misurazioni strumentali della temperatura.

L'ultimo rapporto dell'IPCC *Riscaldamento globale di 1,5 °C*, uscito nell'ottobre 2018, aggrava la situazione, affermando che la temperatura media globale è aumentata di circa 1 °C dal periodo preindustriale e che il riscaldamento dovuto al contributo antropogenico è attualmente di circa 0,2 °C per decade.

I cambiamenti climatici osservati dal 1950 ad oggi, compresi gli eventi estremi, hanno determinato impatti diffusi sui sistemi naturali e antropici, dimostrando l'elevata suscettibilità dei sistemi naturali e della società umana al clima e alla sua evoluzione.

Continuare a emettere gas climalteranti in atmosfera produrrà un ulteriore riscaldamento e cambiamenti di lunga durata di tutte le componenti del sistema clima aumentando la probabilità di impatti severi, pervasivi e irreversibili per le persone e i sistemi naturali e antropici.

Sono, infatti, le emissioni cumulative di anidride carbonica che concorrono a determinare il riscaldamento della superficie terrestre nella seconda parte del XXI secolo e oltre. Le proiezioni sulle emissioni future di gas climalteranti variano in un range molto ampio di valori che dipendono dallo sviluppo socio economico e dalle politiche sul clima. In tutti gli scenari ipotizzati, le proiezioni indicano un aumento della temperatura

media superficiale nel corso del secolo, almeno di 1,5 °C oltre il livello preindustriale. Senza misure significative di mitigazione, ossia di riduzione sostanziale e prolungata nel tempo delle emissioni di gas serra, la temperatura potrebbe crescere nel range di 2 °C - 4 °C e più.

È molto probabile che il riscaldamento globale determini un aumento della frequenza e intensità delle ondate di calore e dei periodi di siccità. Nello stesso tempo anche gli eventi di precipitazione intensa saranno più frequenti in molte regioni. Gli oceani continueranno a riscaldarsi e acidificarsi e il livello medio dei mari a crescere, con impatti allarmanti sulle zone costiere.

Al fine di evitare che il riscaldamento globale possa raggiungere livelli pericolosi per la vita sul nostro pianeta, il rapporto sollecita sostanziali riduzioni delle emissioni in atmosfera di gas a effetto serra e azioni per la rimozione dell'anidride carbonica già emessa.

Il cambiamento climatico, infatti, amplificherà gli attuali rischi e ne determinerà di nuovi per le persone e i sistemi naturali e antropici. I rischi saranno distribuiti in modo non uniforme e saranno generalmente più grandi per le popolazioni e le comunità svantaggiate dei paesi, a ogni livello di sviluppo. Non è da sottovalutare che la possibilità di improvvisi e irreversibili cambiamenti del clima aumenti con il crescere del riscaldamento. Molti aspetti del cambiamento climatico e degli impatti a essi associati continueranno per secoli anche se le emissioni antropiche di gas serra saranno azzerate. In particolare, rimanere al di sotto di 1,5 °C di aumento della temperatura globale è determinante per riuscire a gestire i rischi derivanti dal cambiamento climatico conseguente; un aumento superiore potrebbe portare a impatti molto gravosi e irreversibili.

Adattamento e mitigazione sono quindi strategie complementari per ridurre e gestire i rischi del cambiamento climatico. Sostanziali riduzioni nelle emissioni nelle prossime decadi possono ridurre il rischio climatico nel XXI secolo e oltre, aumentare la probabilità di un efficace adattamento, ridurre i costi e le sfide della mitigazione nel lungo termine e contribuire ad uno sviluppo sostenibile e resiliente ai cambiamenti del clima. Efficaci decisioni per limitare il cambiamento climatico e i suoi effetti negativi devono essere basate su un ampio spettro di approcci analitici per valutare rischi e benefici attesi, anche in termini economici, ma nello stesso tempo includere strumenti di governance innovativa, tenere conto della dimensione etica, dell'equità, dei valori e delle diverse percezioni e risposte al rischio e alle incertezze.

1.2 OBIETTIVI E SCOPO DEL DOCUMENTO

Al fine di delineare gli indirizzi della politica regionale sul tema del cambiamento climatico definendo una vera e propria strategia di contrasto al cambiamento climatico, che contempli sia mitigazione sia adattamento, è importante avere un quadro delle conoscenze il più possibile esaustive sulle caratteristiche climatiche della regione e la loro variazione negli ultimi anni, nonché la stima della possibile evoluzione futura del clima. Il riscaldamento globale infatti determina modifiche al sistema climatico che localmente possono essere molto differenti: amplificate nelle zone di *hot spot* - di cui l'area Mediterranea e Alpina sono due esempi - e ridotte in altre aree. Capire come sta rispondendo il clima regionale al riscaldamento globale è determinante sia per la valutazione degli impatti settoriali, sia per dare priorità ad azioni di contrasto e di protezione.

La prima parte di questo assessment, che riguarda il clima attuale e recente passato (ultimi 60 anni), rappresenta uno dei tasselli di conoscenza indispensabile per definire e favorire l'adozione di misure di adattamento, la revisione della pianificazione settoriale e del governo del territorio che tenga conto delle nuove o più gravose conseguenze del cambiamento climatico e, insieme, disegnare le iniziative che

migliorino le caratteristiche ambientali e l'attrattività del territorio, nonché la qualità della vita dei suoi abitanti. Importanti sinergie possono essere realizzate con le politiche per la sostenibilità e la green economy, che si sviluppano in un contesto dove il cambiamento climatico può essere una minaccia ma anche una spinta per lo sviluppo di nuove economie e nuove professioni.

1.3 DATI OSSERVATIVI

Il documento descrive, sulla base di serie storiche dei dati misurati disponibili, il clima di riferimento, ossia la "fotografia" del clima attuale e le tendenze climatiche più recenti sul territorio regionale, attraverso la valutazione di indicatori climatici e proxy di impatto.

Un'attenta analisi dei dati osservati consente di evidenziare i cambiamenti nelle variabili meteorologiche, sia sui trend di più lungo periodo sia sulla variabilità inter-annuale e sugli eventi estremi.

La scelta è stata quella di utilizzare i dati osservati dalla metà del secolo scorso, sia per l'affidabilità del dataset, che non risente pesantemente di modifiche della strumentazione e della localizzazione, sia soprattutto per evidenziare i cambiamenti che risultano evidenti "a memoria d'uomo" e dare così evidenza della rapidità con cui gli eventi meteorologici stanno rispondendo al riscaldamento globale. Per alcune elaborazioni specifiche, i cui indicatori necessitano di variabili diverse dalla sola temperatura e precipitazione, le serie temporali considerate sono più ridotte nel tempo. In particolare, le elaborazioni sulla neve, quelle sullo zero termico, sul vento e alcune informazioni sulle aree urbane (indicatori biometeorologici).

Poiché l'analisi del clima passato necessita di lunghe serie storiche di dati (almeno trentennali), non sempre reperibili sul territorio e spesso non omogenee o non continue nel tempo, per non escludere nessuna informazione disponibile, è stato utilizzato una metodologia statistica per spazializzare su grigliato regolare le serie storiche sul territorio (*Optimal Interpolation*, Kalnay, 2003; Uboldi et al. 2008; Ciccarelli et al. 2008). Questo consente anche di avere una visione di insieme sul territorio e disporre di informazioni anche dove la stazione di misura non era presente o la serie limitata nel tempo.

Il dataset delle analisi giornaliere così realizzato riguarda temperatura (minima e massima giornaliera) e precipitazione giornaliera dal 1958 al 2018. Per definire il clima di riferimento è stato scelto il trentennio 1980-2010, indicato dall'Organizzazione Meteorologica Mondiale come periodo di riferimento più recente applicabile. In questo modo si esclude dall'analisi il periodo più freddo degli anni '70, che renderebbe sicuramente più gravoso il cambiamento degli ultimi anni e ancora superiore quello degli scenari futuri.

Alcune elaborazioni considerano due periodi dell'intero dataset, per confrontarli tra loro. I due periodi individuati sono 1958-1980 e 1981-2018. Anche in questo caso si è scelto di separare gli anni antecedenti e successivi al 1980. Anche se la lunghezza dei periodi è diversa i risultati presentati sono normalizzati al campione considerato.

Per quanto riguarda le tendenze, queste sono calcolate sempre sul periodo più lungo disponibile (1958-2018), per alcune variabili mediate sull'intero territorio vengono presentate anche le tendenze sul periodo più breve 1981-2018, per evidenziare la rapidità del cambiamento negli anni più recenti.

Per l'analisi delle variazioni nell'innervamento, sono stati utilizzati i dati misurati della rete di monitoraggio di Arpa Piemonte dalle stazioni presenti sul territorio regionale, in funzione della completezza dei dati e della lunghezza della serie temporale. Sono state utilizzate sia le stazioni automatiche sia quelle manuali.

Per realizzare le analisi dello zero termico sull'intero territorio regionale sono state utilizzate le analisi di ECMWF (Centro Europeo per le previsioni a Medio Termine, UK) disponibili dal 1999 al 2018. Ai valori di temperatura e quota dei diversi livelli isobarici sono stati applicati gli algoritmi operativi che consentono di valutare lo zero termico.

La misura dello zero termico viene effettuata anche attraverso il sistema automatico di radiosondaggio atmosferico di Cuneo-Levaldigi: due volte al giorno (per convenzione alle 00 UTC ed alle 12 UTC) il sistema lancia nell'atmosfera un pallone gonfiato con elio a cui è collegata un'apparecchiatura, la radiosonda, dotata di sensori per la misura della temperatura, dell'umidità e della pressione: questi parametri sono misurati nella troposfera e nella bassa stratosfera, fino a circa 30 Km di quota. Durante il radiosondaggio vengono inoltre stimate velocità e direzione del vento per via indiretta, calcolando la posizione della sonda tramite il sistema di navigazione GPS. Il radiosondaggio permette inoltre la stima di altri parametri, misurati o calcolati a posteriori, come l'altezza dello zero termico e gli indici di instabilità atmosferica. Lo zero termico calcolato dal radiosondaggio ha un valore più locale, sebbene la radiosonda si sposti sull'orizzontale anche di centinaia di chilometri.

1.4 METODOLOGIA

Insieme al calcolo dei indicatori statistici, ove possibile, sono stati applicati test di significatività, in modo da presentare i risultati con associata la loro attendibilità.

In generale, l'analisi del clima passato, sconta sempre la parzialità delle serie storiche dei dati osservati, per disomogeneità della misura, spostamento della località di misura o variazione delle sue caratteristiche fisiche, lunghezza e continuità della serie. Tuttavia, con le metodologie statistiche adottate, si ritiene di aver ovviato, nel miglior modo possibile, alle incertezze della misura per ottenere un'informazione utile dal punto di vista delle politiche di adattamento. Anche la distribuzione delle variabili climatiche o delle loro tendenze sul territorio, ottenuta attraverso sistemi di interpolazione piuttosto semplici, per non alterare il contenuto informativo del dato, può essere caratterizzata da notevole incertezza, mentre una maggiore confidenza si ha per le valutazioni fatte a livello regionale o per fasce altimetriche. Tuttavia, la necessità di avere delle indicazioni operative connesse al territorio, richiede anche la messa a disposizione di informazioni caratterizzate da incertezza, per le quali è necessario un utilizzo prudente. In ogni caso, si valuta che l'errore e l'incertezza degli scenari futuri sia comunque più elevata di quella attribuibile alle valutazioni effettuate sul passato.

Al fine di verificare eventuali grandi incongruenze dei risultati, è stato effettuato un confronto con quanto ottenuto nell'ambito di altri studi, dell'analisi climatologica di altri paesi europei alpini e dei servizi messi a disposizione dalla piattaforma Copernicus (<https://cds.climate.copernicus.eu>).

Alle rappresentazioni sotto forma di mappa sono sottesi i confini degli Ambiti Territoriali Integrati (AIT) in modo che si possano evidenziare i valori e le tendenze per le singole aree territoriali.



Figura 1 - Mappa degli AIT in cui è suddiviso il territorio regionale

1 DOMODOSSOLA	12 SUSÀ	23 ACQUI TERME
2 VERBANIA LAGHI	13 MONTAGNA OLIMPICA	24 ASTI
3 BORGOMANERO	14 CHIERI	25 ALBA
4 NOVARA	15 CARMAGNOLA	26 CANELLI
5 BORGOSÉSIA	16 PINEROLO	27 BRA
6 BIELLA	17 VERCELLI	29 SAVIGLIANO
7 IVREA	18 CASALE MONFERRATO	30 FOSSANO
8 RIVAROLO CANAVESE	19 ALESSANDRIA	31 CUNEO
9 TORINO	20 TORTONA	32 MONDOVÌ
10 CIRIÈ	21 NOVI LIGURE	33 CEVA
11 CHIVASSO	22 OVADA	

Tabella 1 - Legenda con la denominazione degli AIT

2 CLIMA REGIONALE – OSSERVAZIONI

2.1 TEMPERATURE TREND

Per quanto riguarda la temperatura sono state effettuate diverse elaborazioni relative all'intero territorio regionale e alle fasce altimetriche, sia sulle tendenze sia sulle distribuzioni. Sono stati inoltre considerati i diversi periodi stagionali, oltre a quello annuale.

2.1.1 Andamenti annuali a livello regionale

Una prima analisi che riguarda la temperatura è la ricerca di una tendenza statisticamente significativa nel periodo di disponibilità delle misure (1958-2018) a livello generale sulla regione.

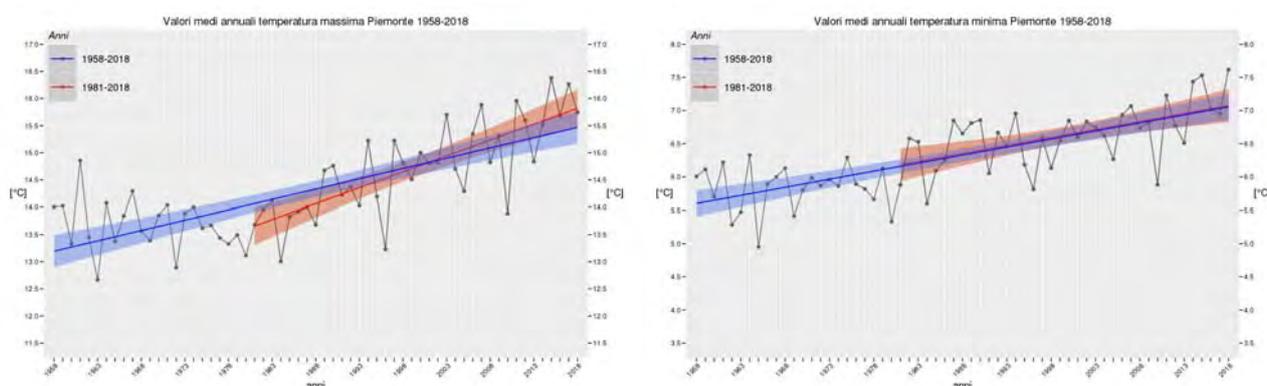


Figura 2 - Andamento della temperatura massima (a sinistra) e minima (a destra) media annuale dal 1958 al 2018 sull'intera regione. In blu la tendenza lineare sull'intero periodo, in rosso la tendenza nel periodo più recente 1981-2018. Le aree colorate rappresentano l'incertezza statistica del trend.

Sia le temperature massime sia le minime mostrano un trend positivo, significativo dal punto di vista statistico, sia che si consideri l'intero periodo temporale (1958-2018), sia il periodo più recente (1981-2018). La tabella sottostante riassume i valori delle tendenze espressi come variazione in gradi centigradi in 10 anni, medi sull'intero territorio regionale.

1958 - 2018		1981 - 2018	
T MAX	T MIN	T MAX	T MIN
0,38 °C /10y	0,24 °C /10y	0,58 °C /10y	0,24 °C /10y

Si può osservare come le variazioni siano più importanti per quanto riguarda le temperature massime rispetto alle minime e come, nel periodo più recente, il trend della temperatura massima sia quasi il doppio di quello che si verifica considerando l'intera serie. Questo conferma la tendenza all'accelerazione del

riscaldamento negli ultimi anni per gli estremi termici positivi. Per la temperatura minima i trend nei due periodi sono analoghi.

Considerando solo il periodo più recente, comunque abbastanza lungo da poter essere considerato un periodo climatico significativo (1981-2018) e abbastanza omogeneo, escludendo il periodo più fresco degli anni '70, si può affermare che la temperatura massima media annuale sul Piemonte è aumentata di circa 2,1 °C, passando da un valore di $13,7 \pm 0,3$ °C a un valore $15,8 \pm 0,4$ °C.

Si evidenzia il contributo importante degli anni 2015 e 2017.

Nello stesso periodo la temperatura minima media annuale sul Piemonte è aumentata di circa 1,5 °C, passando da un valore di $6,1 \pm 0,2$ °C a un valore $7,1 \pm 0,2$ °C. Si evidenzia che la variabilità statistica della temperatura minima è lievemente inferiore a quella della temperatura massima.

2.1.2 Andamenti annuali in montagna

Per analizzare se ci fosse un contributo maggiore al riscaldamento da parte delle zone di montagna, sono stati valutati i trend di temperatura minima e massima per i soli punti al di sopra dei 700 m di quota.

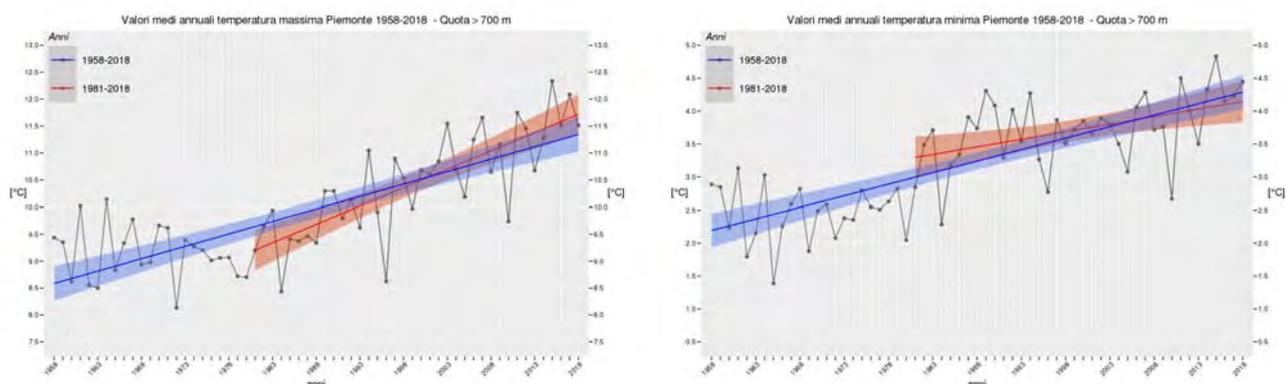


Figura 3 - Andamento della temperatura massima (a sinistra) e minima (a destra) media annuale dal 1958 al 2018 per le zone di montagna (quota superiore ai 700 m). In blu la tendenza lineare sull'intero periodo, in rosso la tendenza nel periodo più recente 1981-2018. Le aree colorate rappresentano l'incertezza statistica del trend.

Anche per le sole aree di montagna i trend sono positivi e statisticamente significativi, sia che si consideri l'intero periodo temporale (1958-2018), sia il periodo più recente (1981-2018). La tabella sottostante riassume i valori delle tendenze della temperatura massima e minima in montagna espressi come variazione in gradi centigradi in 10 anni.

1958 - 2018		1981 - 2018	
T MAX	T MIN	T MAX	T MIN
0,46 °C /10y	0,35 °C /10y	0,68 °C /10y	0,23 °C /10y

Interessante è il trend della temperatura minima, che risulta inferiore a quello della massima, in modo decisivo nel periodo più recente. Si può in generale verificare come il contributo al riscaldamento sia più

importante per le zone di montagna rispetto alla pianura, per quanto riguarda in particolare la temperatura massima, per la temperatura minima questo è vero solo se consideriamo l'intero periodo temporale.

Considerando, anche per le zone di montagna, solo il periodo più recente, si può affermare che la temperatura massima media annuale è aumentata di circa 2,5 °C, passando da un valore di $9,2 \pm 0,4$ °C a un valore $11,7 \pm 0,3$ °C. La variabilità statistica della temperatura massima dall'inizio alla fine della serie non sembra variare, confermando la persistenza di un'accentuata variabilità inter-annuale.

Nello stesso periodo la temperatura minima media annuale sul Piemonte è aumentata di circa 1,8 °C, passando da un valore di $3,3 \pm 0,4$ °C a un valore $4,2 \pm 0,4$ °C. Si evidenzia che la variabilità statistica della temperatura minima è confrontabile a quella della temperatura massima.

Al fine di comparare più facilmente i contributi delle diverse aree, la tabella sottostante riassume i trend a livello annuale sulla temperatura minima e massima.

TEMPERATURE ANNUALI - TENDENZA OGNI 10 ANNI in °C						
	TUTTA LA REGIONE		PIANURA		MONTAGNA	
	1958-2018	1981-2018	1958-2018	1981-2018	1958-2018	1981-2018
MAX	0.38	0.58	0.33	0.53	0.46	0.68
MIN	0.24	0.24	0.18	0.25	0.35	0.23

Tabella 2 - Tendenza della temperatura massima e minima annuale, ogni 10 anni (in °C), nei due periodi temporali analizzati: 1958-2018 e 1981-2018.

2.1.3 Andamenti stagionali temperatura massima e minima

È stato inoltre analizzato il contributo alla tendenza della temperatura massima e minima nelle diverse stagioni, sia a livello regionale, sia differenziando tra montagna e pianura.

Per quanto riguarda la **temperatura massima**, si osserva che il trend positivo è presente in tutte le stagioni, analogo a quello annuale, con l'eccezione del periodo invernale, dove è superiore (figura 4). Considerando il periodo più recente la primavera risulta il mese dove in contributo è maggiore e la tendenza decisamente superiore a quella dell'intera serie.

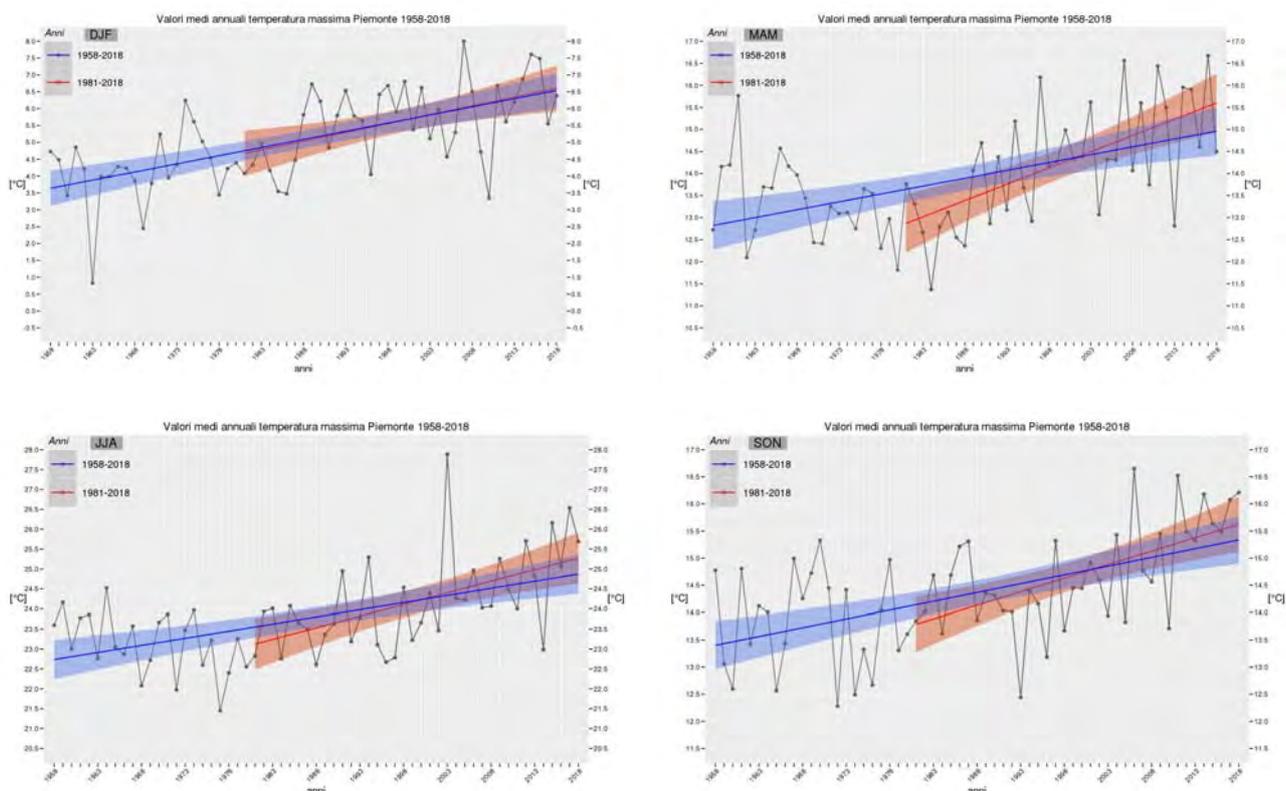


Figura 4 - Andamento della temperatura massima media stagionale dal 1958 al 2018 per tutta la regione (DJF in alto a sinistra, MAM in alto a destra, JJA in basso a sinistra e SON in basso a destra). In blu la tendenza lineare sull'intero periodo, in rosso la tendenza nel periodo più recente 1981-2018. Le aree colorate rappresentano l'incertezza statistica del trend.

Per quanto riguarda la **temperatura minima**, si osserva che il trend positivo è presente in tutte le stagioni, se si considera il periodo temporale più lungo (Figura 5). Il trend perde, invece, significatività statistica sul periodo più breve per l'inverno e l'autunno, mentre diventa rilevante (superiore a quello annuale) per la primavera.

Non si evidenzia una sostanziale differenza fra i valori delle tendenze nei due periodi temporali considerati, dove significative. Questo suggerirebbe una differenza nel processo fisico di incremento della temperatura minima rispetto alla massima. In particolare, un meccanismo meno efficiente, senza grandi variazioni temporali e quasi più efficace nel passato rispetto all'ultimo trentennio.

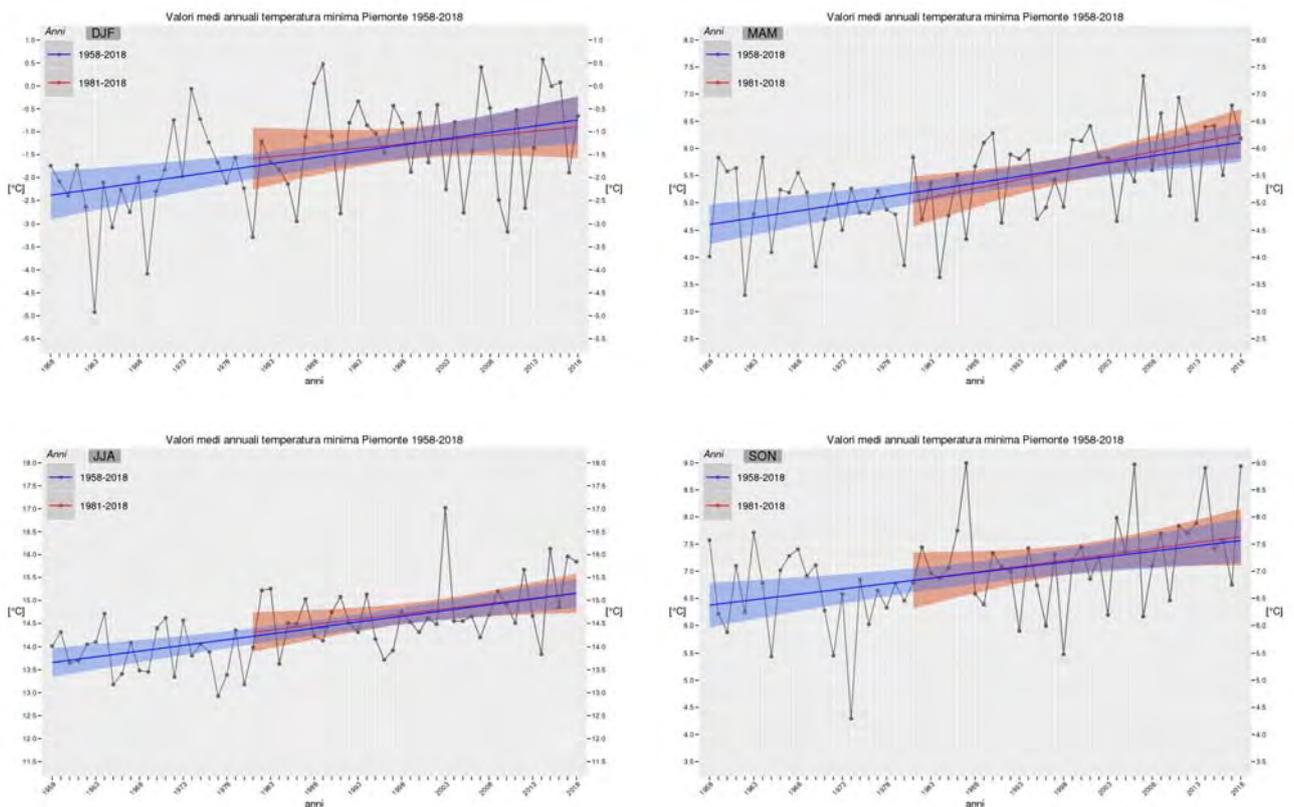


Figura 5 - Andamento della temperatura minima media stagionale dal 1958 al 2018 per tutta la regione (DJF in alto a sinistra, MAM in alto a destra, JJA in basso a sinistra e SON in basso a destra). In blu la tendenza lineare sull'intero periodo, in rosso la tendenza nel periodo più recente 1981-2018. Le aree colorate rappresentano l'incertezza statistica del trend.

La tabella sottostante riassume le considerazioni espresse sopra.

TEMPERATURE STAGIONALI - TENDENZA OGNI 10 ANNI in °C - TUTTA LA REGIONE								
	DJF		MAM		JJA		SON	
	1958-2018	1981-2018	1958-2018	1981-2018	1958-2018	1981-2018	1958-2018	1981-2018
MAX	0.48	0.52	0.36	0.74	0.36	0.58	0.32	0.5
MIN	0.27	0.19	0.25	0.34	0.25	0.23	0.2	0.22

Tabella 3 - Tendenza della temperatura massima e minima stagionale, ogni 10 anni (in °C), nei due periodi temporali analizzati: 1958-2018 e 1981-2018. In verde le tendenze non significative dal punto di vista statistico.

Anche per le variazioni stagionali sono stati considerati i diversi contributi di montagna e pianura, riassunti nella tabella sottostante.

Si evidenzia come la montagna contribuisca in misura maggiore al riscaldamento in tutte le stagioni, sia per quanto riguarda la temperatura minima sia per la massima, con un incremento rilevante nella stagione primaverile per le massime nell'ultimo periodo e le minime nell'intero periodo.

TEMPERATURE STAGIONALI - TENDENZA OGNI 10 ANNI in °C - PIANURA								
	DJF		MAM		JJA		SON	
	1958-2018	1981-2018	1958-2018	1981-2018	1958-2018	1981-2018	1958-2018	1981-2018
MAX	0.43	0.46	0.3	0.66	0.31	0.54	0.3	0.47
MIN	0.21	0.17	0.18	0.31	0.18	0.25	0.17	0.26

TEMPERATURE STAGIONALI - TENDENZA OGNI 10 ANNI in °C - MONTAGNA								
	DJF		MAM		JJA		SON	
	1958-2018	1981-2018	1958-2018	1981-2018	1958-2018	1981-2018	1958-2018	1981-2018
MAX	0.58	0.64	0.46	0.88	0.44	0.65	0.36	0.55
MIN	0.39	0.22	0.38	0.39	0.37	0.18	0.26	0.14

Tabella 4 - Tendenza della temperatura massima e minima stagionale, ogni 10 anni (in °C), nei due periodi temporali analizzati: 1958-2018 e 1981-2018 per la sole zone di pianura (in alto) e montagna (in basso).

Le tendenze delle temperature minime in montagna considerando solo il periodo più recente sono poco significative ad eccezione della primavera.

Le tendenze sono, in generale e per tutte le stagioni, superiori negli ultimi 30 anni rispetto all'intero periodo, con valori di tendenza quasi doppi in primavera ed estate in pianura, e in primavera in montagna.

Per evidenziare le differenze nel periodo primaverile, la Figura 6 rappresenta l'andamento dei trend per la temperatura massima e minima per aree di pianura e di montagna.

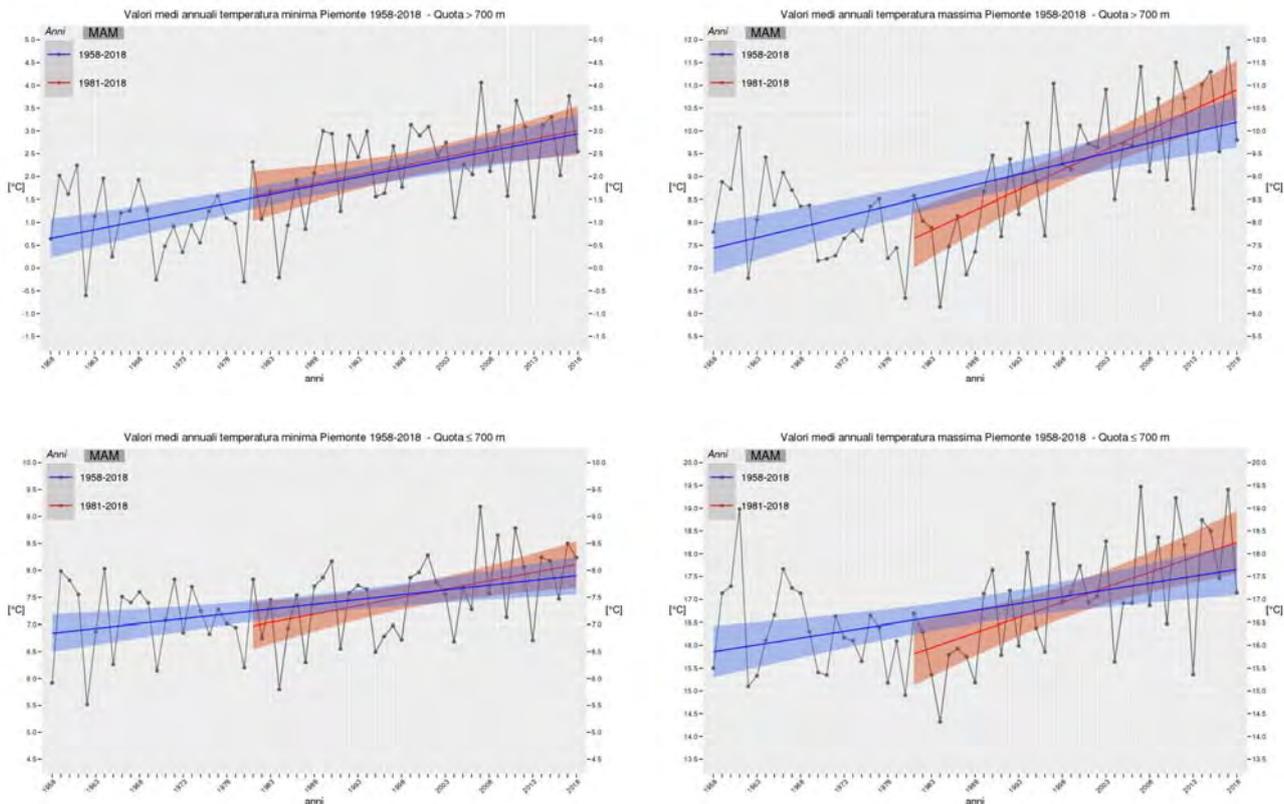


Figura 6 - Andamento della temperatura minima (a sinistra) e massima (a destra) nella stagione primaverile (MAM) per le sole zone di montagna (in alto) e le sole zone di pianura (in basso). In blu la tendenza lineare sull'intero periodo, in rosso la tendenza nel periodo più recente 1981-2018. Le aree colorate rappresentano l'incertezza statistica del trend.

La Figura 7 rappresenta l'andamento della temperatura massima e minima estiva per le aree di pianura e di montagna. Si evidenzia in tutti i grafici l'anno 2003, che rimane eccezionale nonostante le estati calde del 2015 e 2017, e l'incremento della tendenza sulle massime negli ultimi 30 anni. La temperatura minima non mostra una tendenza significativa in montagna nell'ultimo trentennio in montagna; in pianura l'incremento è pressoché costante nell'intera serie temporale.

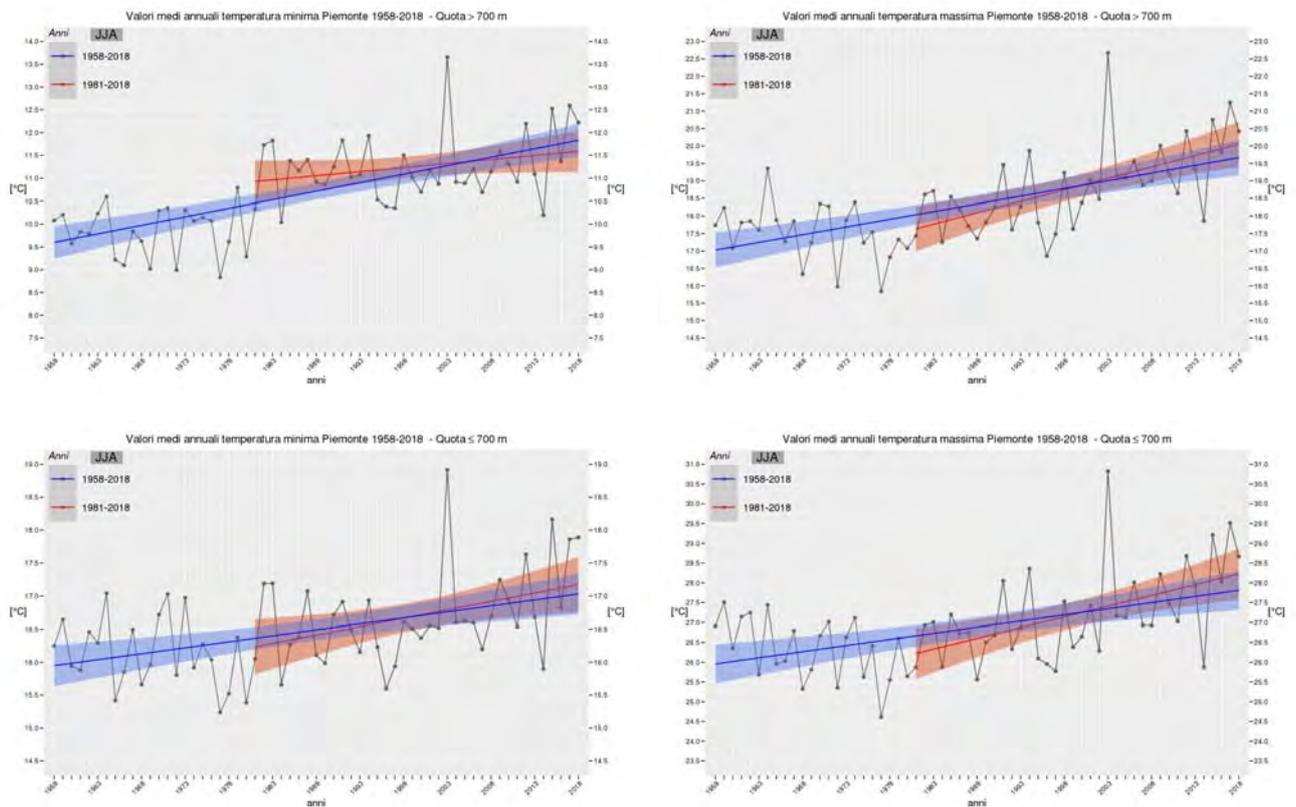


Figura 7 - Andamento della temperatura minima (a sinistra) e massima (a destra) nella stagione estivo (JJA) per le sole zone di montagna (in alto) e le sole zone di pianura (in basso). In blu la tendenza lineare sull'intero periodo, in rosso la tendenza nel periodo più recente 1981-2018. Le aree colorate rappresentano l'incertezza statistica del trend.

2.1.4 Distribuzioni delle temperature minime e massime

Per valutare le variazioni sui valori estremi delle temperature, positivi e negativi, e capire se, in accompagnamento all'aumento dei valori medi ci fosse una variazione di carattere differente sui valori estremi della distribuzione, ossia sui valori di temperatura meno ricorrenti, sono state costruite le distribuzioni stagionali della temperatura massima e minima dividendo l'intera serie disponibile, nei periodi 1958-1980 e 1981-2018, come descritto nell'introduzione.

Per quanto riguarda la **temperatura massima sull'intera regione**, si evince innanzitutto che la distribuzione risulta simmetrica solo per la stagione invernale e, senza considerare gli estremi, per quella primaverile. Per la stagione estiva i valori più frequenti (moda) sono più alti della media perché la distribuzione presenta una coda più estesa verso sinistra (valori più bassi), dovuta probabilmente ai punti alle quote più elevate, mentre nella stagione autunnale la coda è leggermente più estesa verso destra (valori più elevati) perché la maggior parte della regione si trova ancora in una condizione di temperature miti.

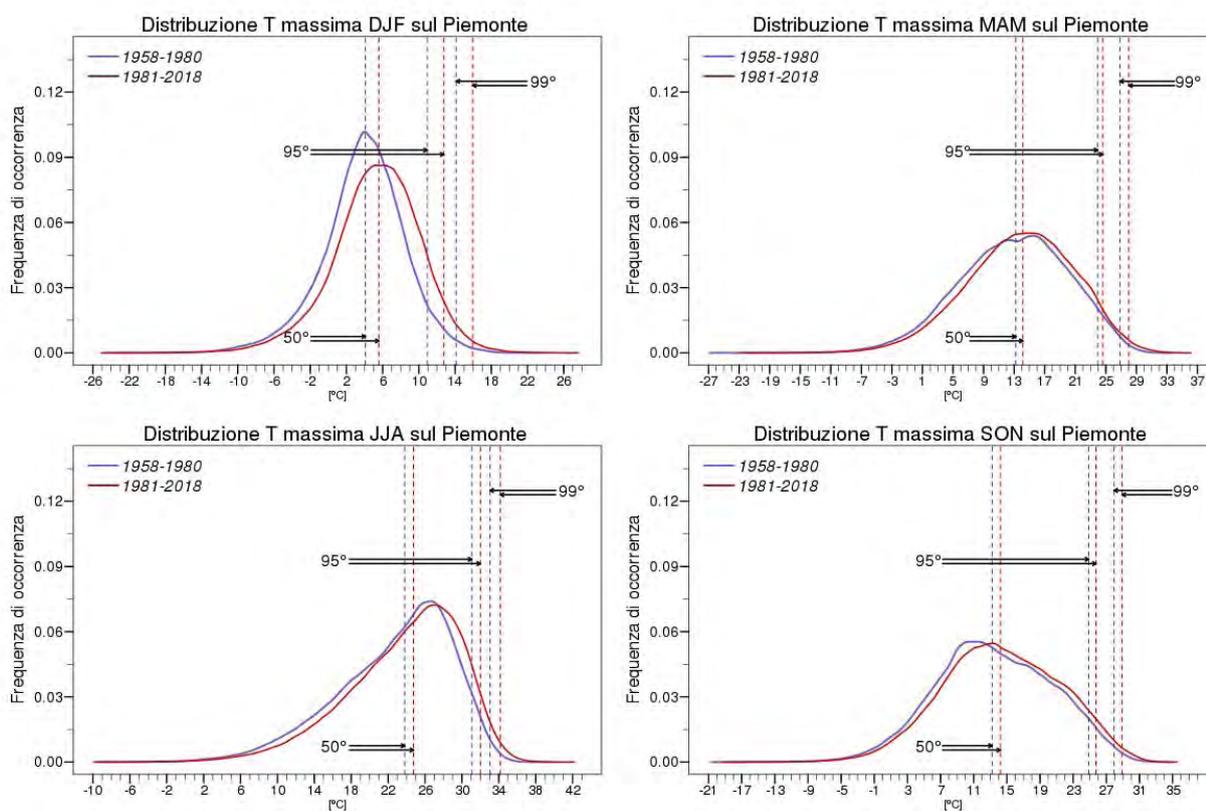


Figura 8 - Distribuzione percentuale dei valori di temperatura massima sull'intera regione nel periodo 1958-1980 (curva blu) e 1981-2018 (curva rossa) per le stagioni invernale (in alto a sinistra), primaverile (in alto a destra), estiva (in basso a sinistra) e autunnale (in basso a destra).

Per quanto riguarda la temperatura massima sull'intera regione, si evince un aumento di tutti i percentili, più importante nella stagione invernale, stagione in cui questo aumento è maggiore per i percentili più elevati. La distribuzione tende infatti a spostarsi verso destra e ad aumentare l'ampiezza, a conferma di una maggiore variabilità climatica.

T MAX	DJF	MAM	JJA	SON
50° percentile	+1,49 °C (37°)	+0,93 °C (45°)	+0,95 °C (44°)	+0,99 °C (45°)
90° percentile	+1,87 °C (80°)	+0,74 °C (88°)	+0,97 °C (85°)	+0,89 °C (87°)
95° percentile	+1,83 °C (89°)	+0,67 °C (94°)	+0,93 °C (91°)	+0,88 °C (93°)
99° percentile	+1,82 °C (97°)	+1,15 °C (98°)	+1,11 °C (98°)	+0,97 °C (98°)

Tabella 5 - Variazione dei valori del 50°, 90°, 95° e 99° percentile della temperatura massima nel periodo 1981-2018 rispetto al periodo 1958-1980 per le diverse stagioni. In parentesi si riporta il valore del percentile che assumerebbe il 50°, 90°, 95° e 99° percentile del periodo 1958-1980, nel periodo più recente 1981-2018. Evidenziati i valori superiori a 1 °C.

Per quanto riguarda la **temperatura minima sull'intera regione**, si osserva che, anche in questo caso, l'aumento è sempre positivo, anche se inferiore a quello della temperatura massima. Le curve delle distribuzioni tendono a spostarsi verso destra in tutte le stagioni, anche se quantitativamente la variazione è minima.

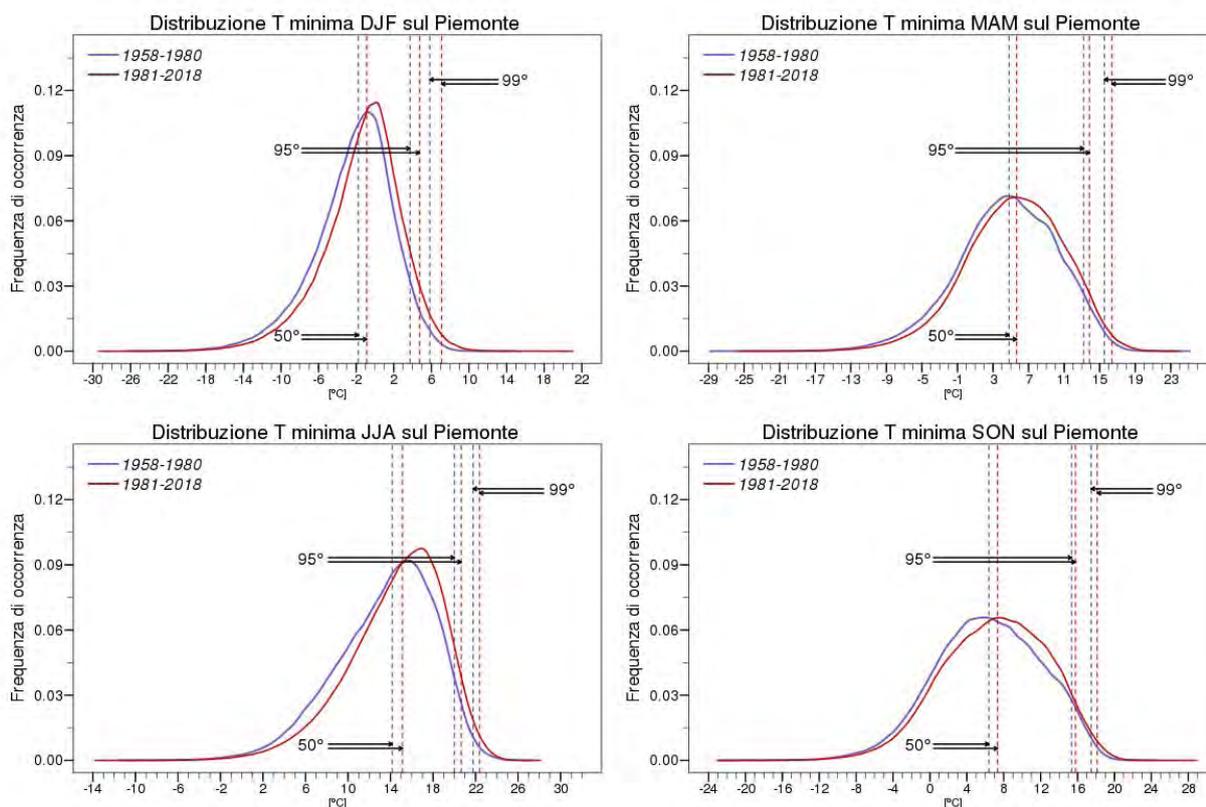


Figura 9 - Distribuzione percentuale dei valori di temperatura minima sull'intera regione nel periodo 1958-1980 (curva blu) e 1981-2018 (curva rossa) per le stagioni invernale (in alto a sinistra), primaverile (in alto a destra), estiva (in basso a sinistra) e autunnale (in basso a destra).

L'incremento è superiore a 1 °C solo per i percentili più elevati nella stagione invernale. Nelle altre stagioni l'incremento dei percentili non aumenta con la rarità dell'evento (con il valore del percentile) in modo omogeneo. In generale, i percentili aumentano più nella stagione invernale che nelle altre stagioni.

T MIN	DJF	MAM	JJA	SON
50° percentile	+0,9 °C (41°)	+0,85 °C (44°)	+0,95 °C (42°)	+0,95 °C (44°)
90° percentile	+0,93 °C (84°)	+0,67 °C (87°)	+0,66 °C (86°)	+0,45 °C (88°)
95° percentile	+1,01 °C (91°)	+0,64 °C (93°)	+0,64 °C (92°)	+0,42 °C (94°)
99° percentile	+1,26 °C (98°)	+0,85 °C (98°)	+0,61 °C (98°)	+0,66 °C (98°)

Tabella 6 - Variazione dei valori del 50°, 90°, 95° e 99° percentile della temperatura minima nel periodo 1981-2018 rispetto al periodo 1958-1980 per le diverse stagioni. In parentesi si riporta il valore del percentile che assumerebbe il 50°, 90°, 95° e 99° percentile del periodo 1958-1980, nel periodo più recente 1981-2018. Evidenziati i valori superiori a 1 °C.

Per riassumere, vediamo nella tabella sottostante come si trasformano i percentili standard del periodo 1958-1980, nel periodo 1981-2018, nelle diverse stagioni, per la temperatura massima e minima. I percentili aumentano sempre, a testimonianza di un clima più caldo nei valori medi e nei valori estremi. La stagione invernale risulta quella in cui questa variazione è più importante, in particolare per la temperatura massima (il valore che nel periodo 1958-1980 si presenta solo il 10% delle volte, nel periodo più recente di presenta il 20% delle volte, il valore più estremo, che si presenta solo il 5% dei giorni, nell'ultimo periodo si presenta invece l'11% dei giorni).

		T MAX				T MIN			
1958-1980		50%	10%	5%	1%	50%	10%	5%	1%
1981-2018	DJF	63%	20%	11%	3%	59%	16%	9%	2%
	MAM	55%	12%	6%	2%	56%	13%	7%	2%
	JJA	56%	15%	9%	2%	58%	14%	8%	2%
	SON	55%	13%	7%	2%	56%	12%	6%	2%

Tabella 7 - Valore della frequenza di occorrenza che assumono i percentili standard (50°, 90°, 95° e 99°) del periodo 1958-1980, nel periodo successivo 1981-2018. Per la temperatura massima e minima, nelle diverse stagioni.

Per capire quanto il contributo delle zone montane potesse essere determinante nel causare tali cambiamenti, sono state analizzate le medesime distribuzioni riferite ai soli punti di pianura (al di sotto dei 700 m di quota). Per quanto riguarda la **temperatura massima in pianura**, si osserva un deciso spostamento verso destra della distribuzione nella stagione invernale (che diventa anche più ampia) e, più limitato, in quella estiva. Le distribuzioni sono meno piccate nelle stagioni intermedie (primavera e autunno) risentendo probabilmente di una grande variabilità della temperatura con la latitudine, soprattutto in autunno.

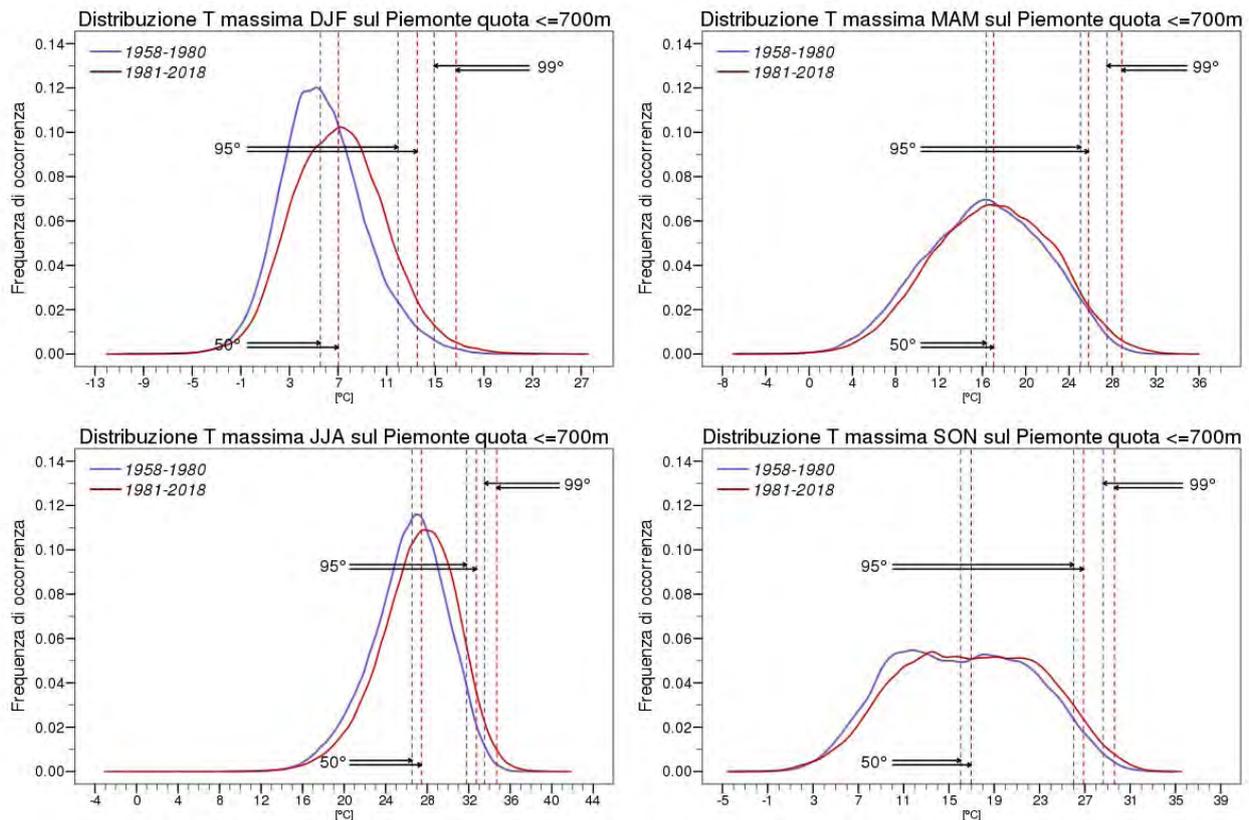


Figura 10 - Distribuzione percentuale dei valori di temperatura massima sulle pianure nel periodo 1958-1980 (curva blu) e 1981-2018 (curva rossa) per le stagioni invernale (in alto a sinistra), primaverile (in alto a destra), estiva (in basso a sinistra) e autunnale (in basso a destra).

Per quanto riguarda la temperatura massima in pianura, si conferma che la stagione che vede i cambiamenti maggiori risulta l'inverno e che l'entità di tali cambiamenti aumenta con il valore del percentile, quindi è maggiore per i valori estremi della distribuzione.

T MAX PIANURA	DJF	MAM	JJA	SON
50° percentile	+1,47 °C (35°)	+0,68 °C (45°)	+0,9 °C (40°)	+0,92 °C (45°)
90° percentile	+1,7 °C (80°)	+0,62 °C (87°)	+0,92 °C (84°)	+0,86 °C (87°)
95° percentile	+1,59 °C (90°)	+0,73 °C (93°)	+0,96 °C (91°)	+0,88 °C (93°)
99° percentile	+1,81 °C (97°)	+1,37 °C (98°)	+1,19 °C (97°)	+1,01 °C (98°)

Tabella 8 - Variazione dei valori del 50°, 90°, 95° e 99° percentile della temperatura massima in pianura nel periodo 1981-2018 rispetto al periodo 1958-1980 per le diverse stagioni. In parentesi si riporta il valore del percentile che assumerebbe il 50°, 90°, 95° e 99° percentile del periodo 1958-1980, nel periodo più recente 1981-2018. Evidenziati i valori superiori a 1 °C.

Il contributo delle zone montuose si evidenzia soprattutto nell'incremento delle temperature (50° e 90°) in primavera, mentre le pianure tendono a far aumentare i valori estremi positivi in estate e autunno.

Anche per quanto riguarda la **temperatura minima sulle pianure** si evince un lieve spostamento verso destra delle distribuzioni, anche se inferiore a quello evidenziato considerando l'intera regione. L'incremento maggiore dei percentili si ha l'estate anche se la forma della distribuzione rimane abbastanza piccata, non aumenta la variabilità.

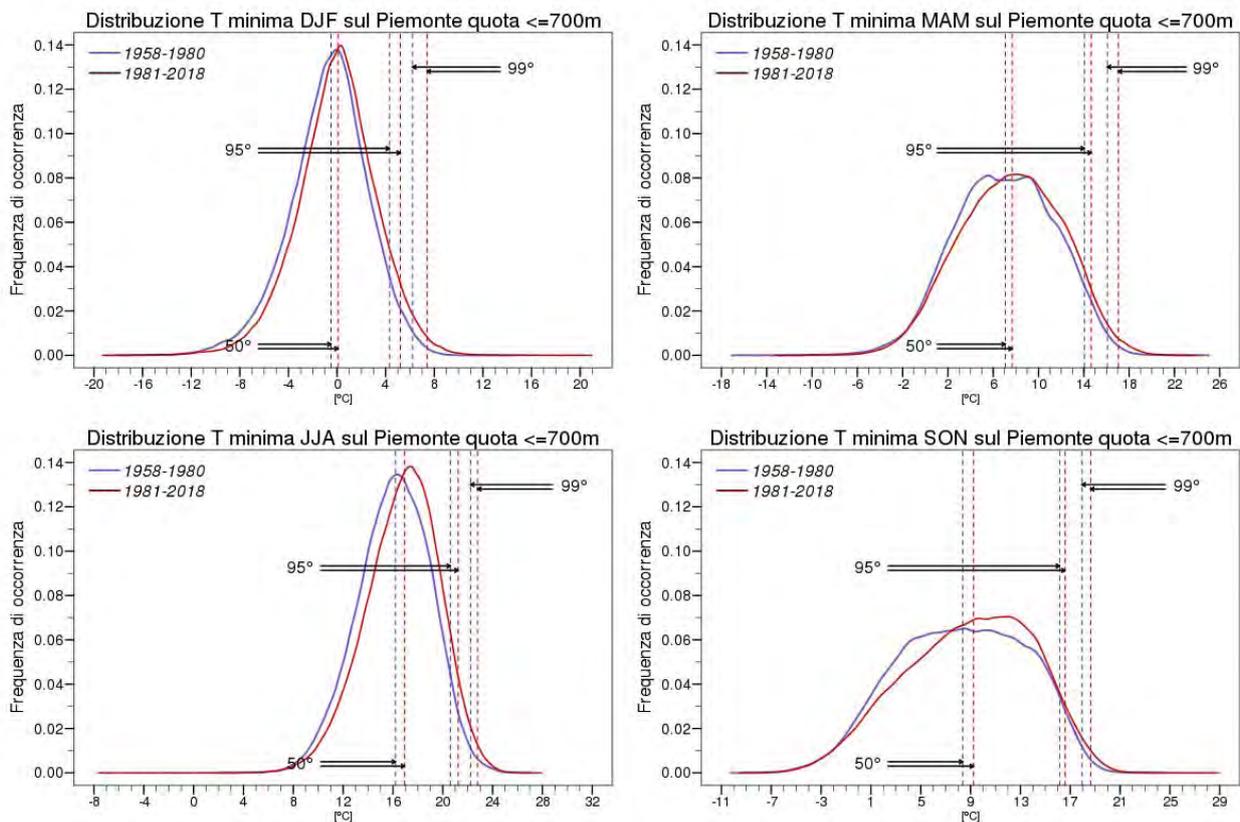


Figura 11 - Distribuzione percentuale dei valori di temperatura minima sulle pianure nel periodo 1958-1980 (curva blu) e 1981-2018 (curva rossa) per le stagioni invernale (in alto a sinistra), primaverile (in alto a destra), estiva (in basso a sinistra) e autunnale (in basso a destra).

Si modifica la simmetria della curva nel periodo più recente nella stagione autunnale, con un incremento dei valori positivi, probabilmente dovuta ad un comportamento differente delle zone prealpine incluse, rispetto a quelle pianeggianti.

Per quanto riguarda la temperatura minima in pianura, si evince che l'entità del cambiamento è confrontabile per le diverse stagioni, anche se superiore per il 50°, in estate e autunno. In autunno la variazione dei percentili più alti è inferiore alle altre stagioni. Non sempre l'entità di tali cambiamenti aumenta con il valore del percentile, in particolare per la stagione estiva e autunnale.

T MIN PIANURA	DJF	MAM	JJA	SON
50° percentile	+0,58 °C (42°)	+0,61 °C (45°)	+0,74 °C (40°)	+0,87 °C (44°)
90° percentile	+0,78 °C (85°)	+0,57 °C (87°)	+0,63 °C (85°)	+0,33 °C (88°)
95° percentile	+0,89 °C (91°)	+0,6 °C (93°)	+0,63 °C (92°)	+0,43 °C (94°)
99° percentile	+1,19 °C (97°)	+0,96 °C (98°)	+0,56 °C (98°)	+0,69 °C (98°)

Tabella 9 - Variazione dei valori del 50°, 90°, 95° e 99° percentile della temperatura minima in pianura nel periodo 1981-2018 rispetto al periodo 1958-1980 per le diverse stagioni. In parentesi si riporta il valore del percentile che assumerebbe il 50°, 90°, 95° e 99° percentile del periodo 1958-1980, nel periodo più recente 1981-2018. Evidenziati i valori superiori a 1 °C.

Il contributo della montagna è evidente pressoché per tutti i percentili, sicuramente più rilevante per la stagione invernale.

Per riassumere, vediamo nella tabella sottostante come si trasformano i percentili standard del periodo 1958-1980, nel periodo 1981-2018, nelle diverse stagioni, per la temperatura massima e minima per le sole aree di pianura. I percentili aumentano sempre, a testimonianza di un clima più caldo nei valori medi e nei valori estremi. La stagione invernale risulta quella in cui questa variazione per la temperatura massima è più importante, seguita dall'estate. Per quanto riguarda la temperatura minima, l'estate vede l'incremento maggiore, seguita dall'inverno e dall'autunno.

		T MAX PIANURA				T MIN PIANURA			
		50%	10%	5%	1%	50%	10%	5%	1%
1958-1980		50%	10%	5%	1%	50%	10%	5%	1%
1981-2018	DJF	65%	20%	10%	3%	58%	15%	9%	3%
	MAM	55%	13%	7%	2%	55%	13%	7%	2%
	JJA	60%	16%	9%	3%	60%	15%	8%	2%
	SON	55%	31%	7%	2%	56%	12%	6%	2%

Tabella 10 - Valore della frequenza di occorrenza che assumono i percentili standard (50°, 90°, 95° e 99°) del periodo 1958-1980, nel periodo successivo 1981-2018. Per la temperatura massima e minima in pianura, nelle diverse stagioni.

2.2 TEMPERATURE – DISTRIBUZIONE TERRITORIALE

Al fine di definire dei valori di riferimento delle temperature e delle loro variazioni nell'intero periodo 1958-2018 per zone geografiche, sono state realizzate mappe a livello regionale. Questo consente di evidenziare aree dove gli incrementi che abbiamo visto a livello regionale sono maggiori o evidenziare eventuali compensazioni tra zone con incrementi e zone con decrementi. Le mappe dei valori di riferimento sono inserite a titolo di completezza, anche se la loro rappresentazione su un sistema informativo geografico le renderebbe maggiormente fruibili.

2.2.1 Temperatura massima e minima annuale e stagionale

Le mappe di temperatura massima e minima annuale del periodo 1981-2010 evidenziano le influenze orografiche su questa variabile, che dominano rispetto ad altre variazioni (latitudine, esposizione...).

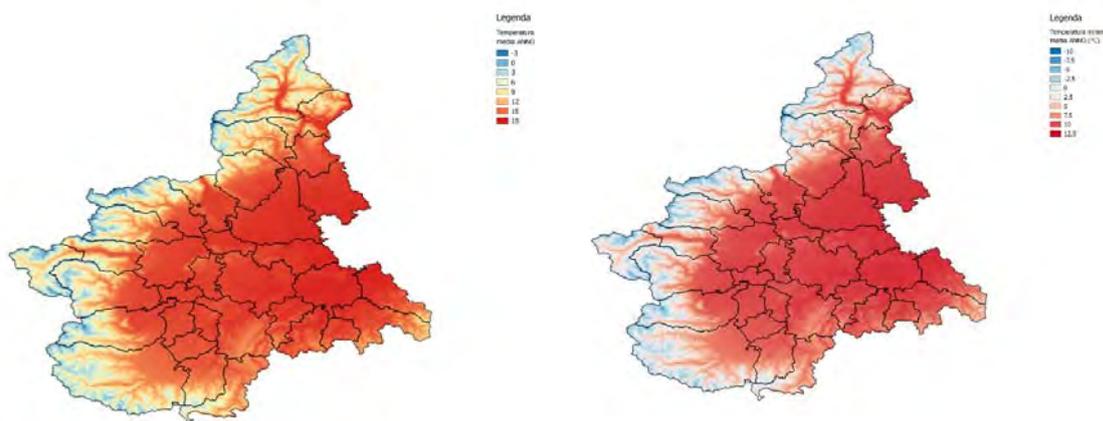


Figura 12 - Temperatura massima (a sinistra) e minima (a destra) media annuale sul periodo 1981-2010.

La figura sottostante rappresenta la temperatura massima nelle diverse stagioni; si può evidenziare la variazione di tale variabile da una stagione all'altra, nelle diverse aree territoriali. Ad esempio, si evince una differenza nei valori sulle zone montane e pedemontane tra autunno e primavera, più marcata che sulle pianure. I valori massimi estivi aumentano in modo decisivo sulle pianure e nei fondovali.

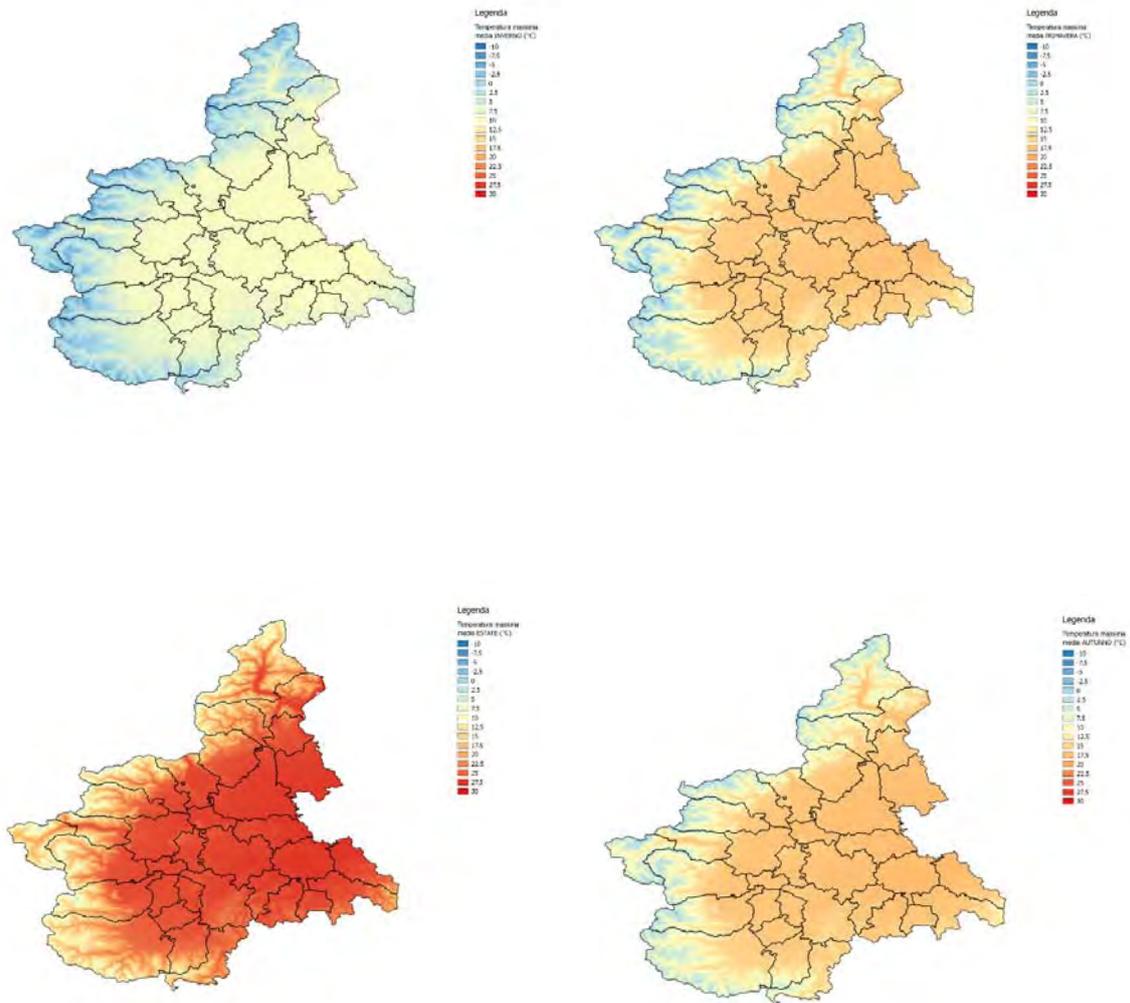


Figura 13 - Temperatura massima stagionale (DJF in alto a sinistra, MAM in alto a destra, SON in basso a sinistra e JJA in basso a destra) sul periodo 1981-2010. Scala di colori da -10 °C a +30 °C per tutte le stagioni.

Le medesime rappresentazioni per la temperatura minima evidenziano anche in questo caso la differenza fra primavera e autunno, più importante per le zone montane, che risultano più fredde in primavera.

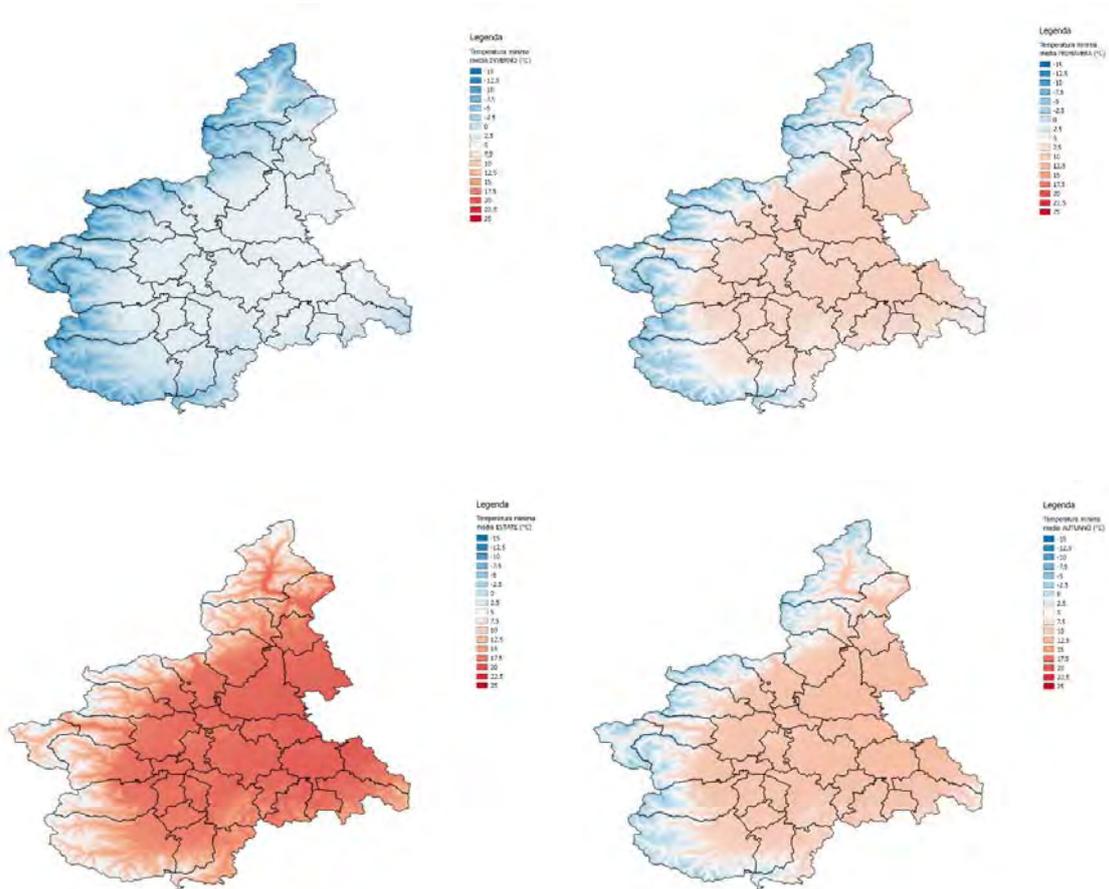


Figura 14 - Temperatura minima stagionale (DJF in alto a sinistra, MAM in alto a destra, SON in basso a sinistra e JJA in basso a destra) sul periodo 1981-2010. Scala di colori da -15 °C a + 25 °C per tutte le stagioni.

2.2.2 Tendenze annuali della temperatura minima e massima

Al fine di evidenziare come si distribuiscono le tendenze sul periodo 1958-2018 sulla geografia della regione sono state rappresentate delle mappe con i valori dei trend (ove significativi). Le tendenze sono state calcolate pixel per pixel ed è stata valutata la loro significatività statistica. Non possono essere interpolate poiché ogni punto non è in relazione con i circostanti.

Per quanto riguarda la temperatura massima annuale, si evidenzia una tendenza sempre positiva e significativa, ad eccezione di un'area al confine con la Liguria. I valori maggiori del trend (superiori a 0,6 °C in 10 anni) si trovano su tutte le zone prealpine e su quelle alpine settentrionali e occidentali. Valori più bassi nelle zone di confine settentrionali, e in una fascia di quota intermedia. Valori elevati anche nel basso alessandrino.

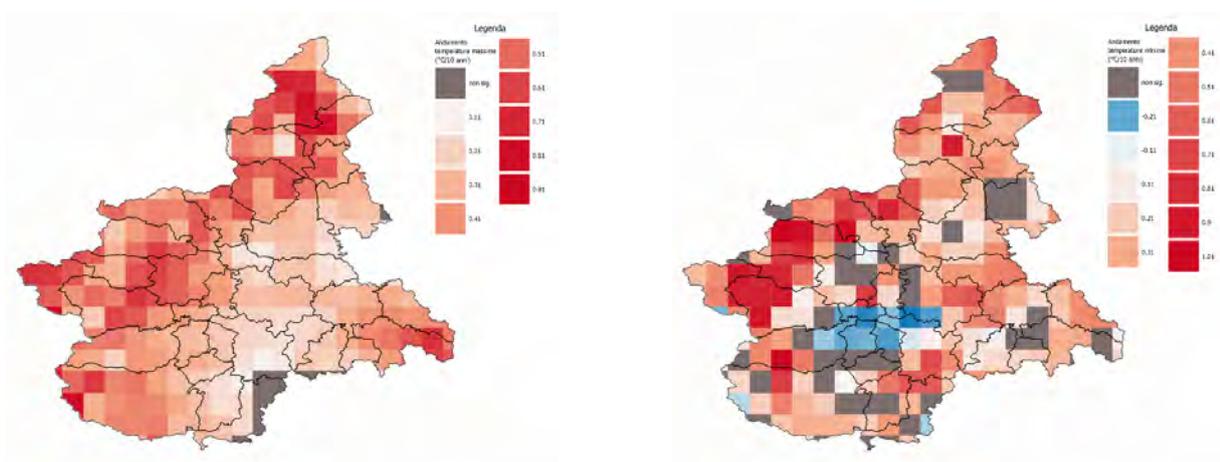


Figura 15 - Variazione ogni 10 anni della temperatura massima (a sinistra) e della temperatura minima (a destra) nell'intero periodo considerato 1958-2018.

Le variazioni della temperatura minima annuale sono significative in un numero inferiore di punti, ma presentano valori molto elevati sulla fascia prealpina nordoccidentale e occidentale, superando anche 1 °C in 10 anni. Si evidenziano anche delle aree, in particolare nella zona dell'astigiano, dove le tendenze sono lievemente negative.

Per analizzare se il contributo all'incremento della temperatura dipendesse dalla stagione, sono stati analizzati e rappresentati i trend nelle diverse stagioni.

Per la temperatura massima i trend durante l'inverno e la primavera sono elevati (molti pixel superiori a 1 °C/10anni) e diffusi sul territorio. Nel corso dell'inverno si evince un gradiente latitudinale nel riscaldamento.

Per quanto riguarda l'estate si alternano maggiormente zone con incrementi maggiori o minori, ma sempre positivi. Non si evince un incremento particolare nelle zone di pianura. Meno significative, in generale, le tendenze nelle zone al confine con la Liguria.

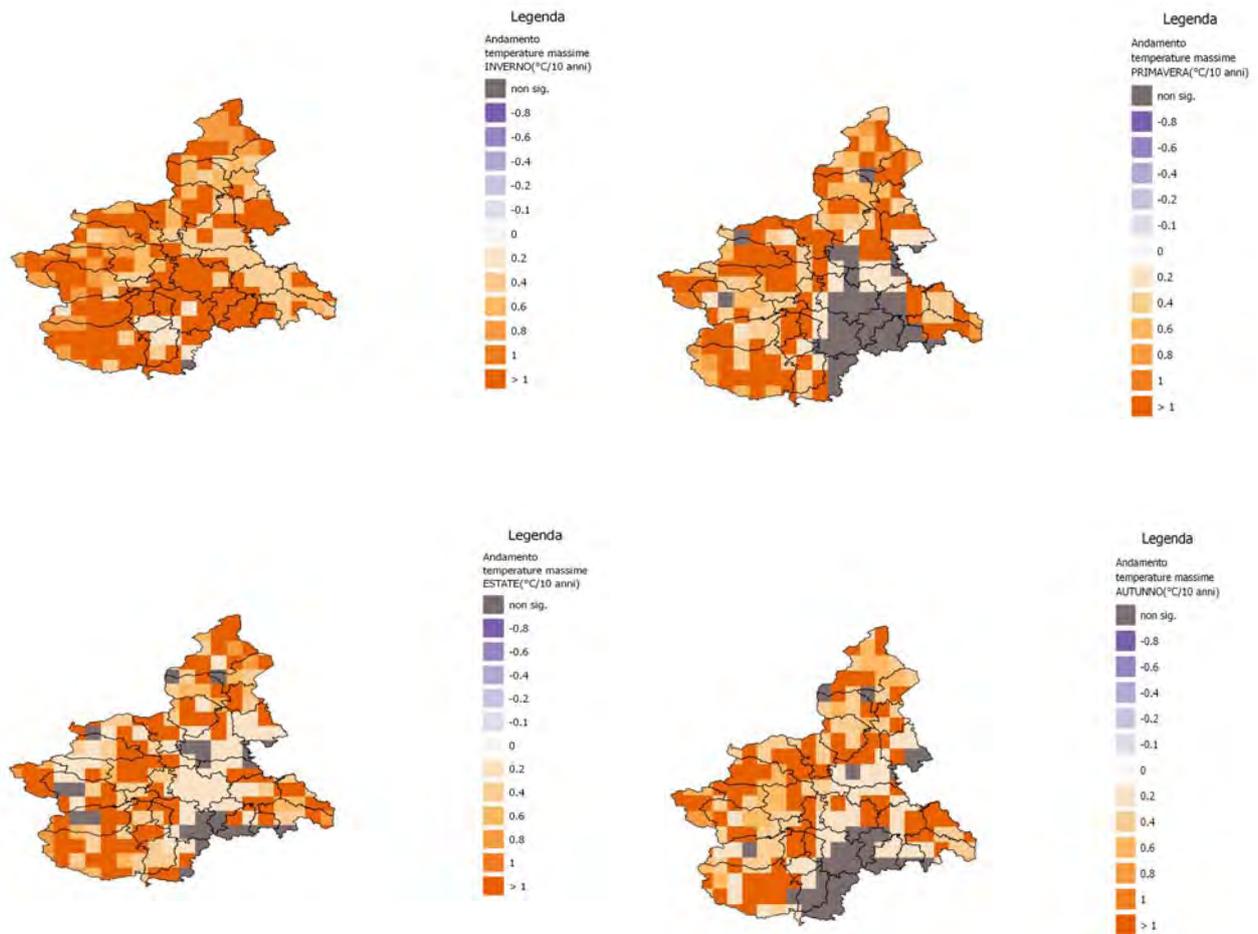


Figura 16 - Variazione ogni 10 anni della temperatura massima nella stagione invernale (alto a sinistra), primaverile (alto a destra), estiva (basso a sinistra) e autunnale (basso a destra) nell'intero periodo considerato 1958-2018.

Per quanto riguarda la temperatura minima, si evidenzia innanzitutto come la variabilità geografica della tendenza sia maggiore rispetto alla temperatura massima, che i valori dove la tendenza è importante (superiore a 1 °C/10 anni, ma anche 1,2 °C/10 anni) sono numerosi e distribuiti senza evidenziare una correlazione con altre caratteristiche (quota, latitudine) e, infine che, in molte zone, il trend non ha significatività statistica.

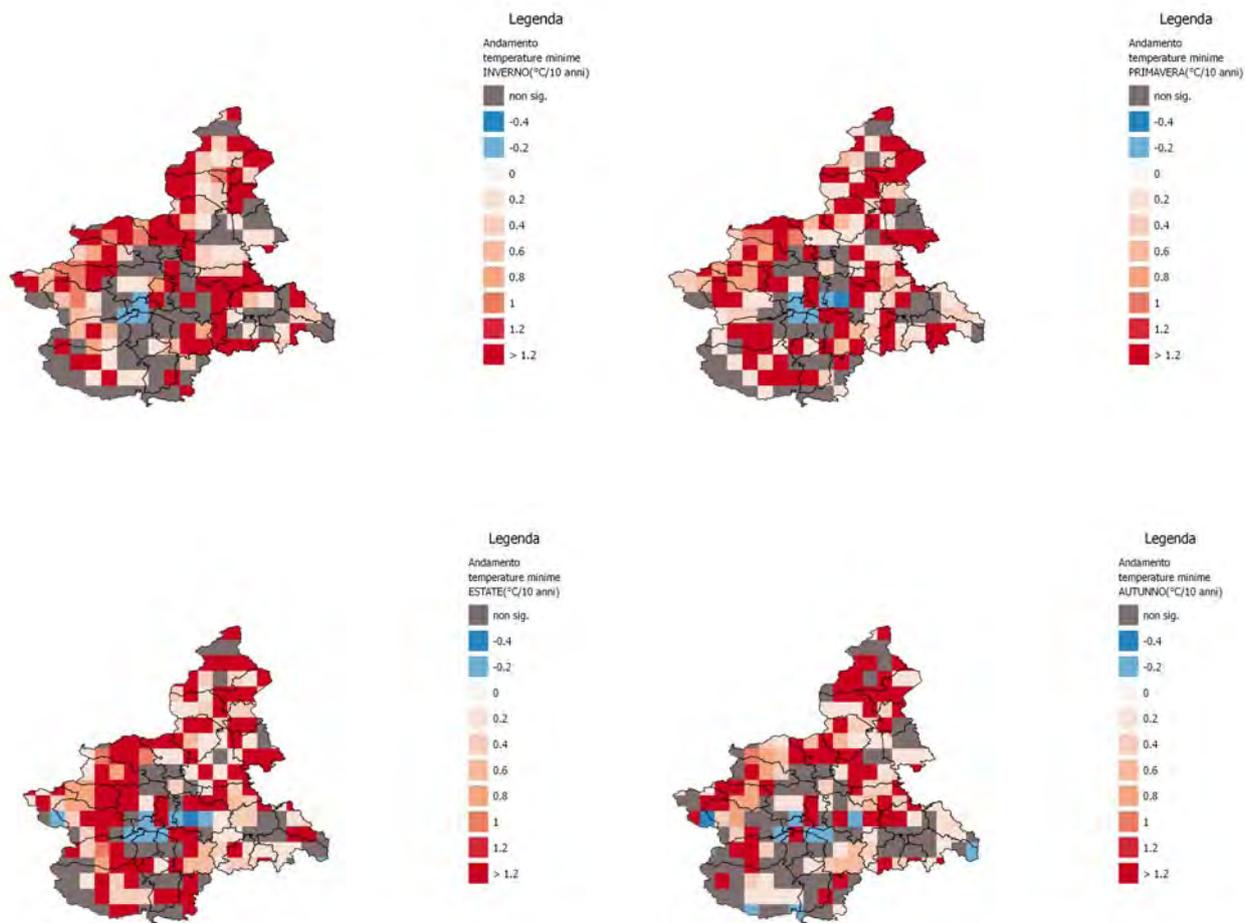


Figura 17 - Variazione ogni 10 anni della temperatura minima nella stagione invernale (alto a sinistra), primaverile (alto a destra), estiva (basso a sinistra) e autunnale (basso a destra) nell'intero periodo considerato 1958-2018.

L'area dell'astigiano sembra avere un trend debolmente negativo in tutte le stagioni, l'inverno e l'estate sono le stagioni dove si evidenzia un trend maggiore sulle aree prealpine, in estate anche su quelle sudoccidentali.

In generale si osserva che le tendenze distribuite sul territorio assumono per alcune aree geografiche valori importanti, in grado di generare impatti rilevanti a livello locale, in particolare per settori economici dove è importante il clima locale (ad esempio l'agricoltura).

2.2.3 Notti tropicali e tendenza sul periodo

Per avere indicazione del disagio notturno determinato da temperature elevate, un semplice indicatore è quello del numero di notti tropicali: notti in cui la temperatura minima è superiore ai 20 °C. Si tratta dei giorni in cui la temperatura non scende mai sotto i 20 °C. Spesso questo indicatore è connesso alla presenza di ondate di caldo.

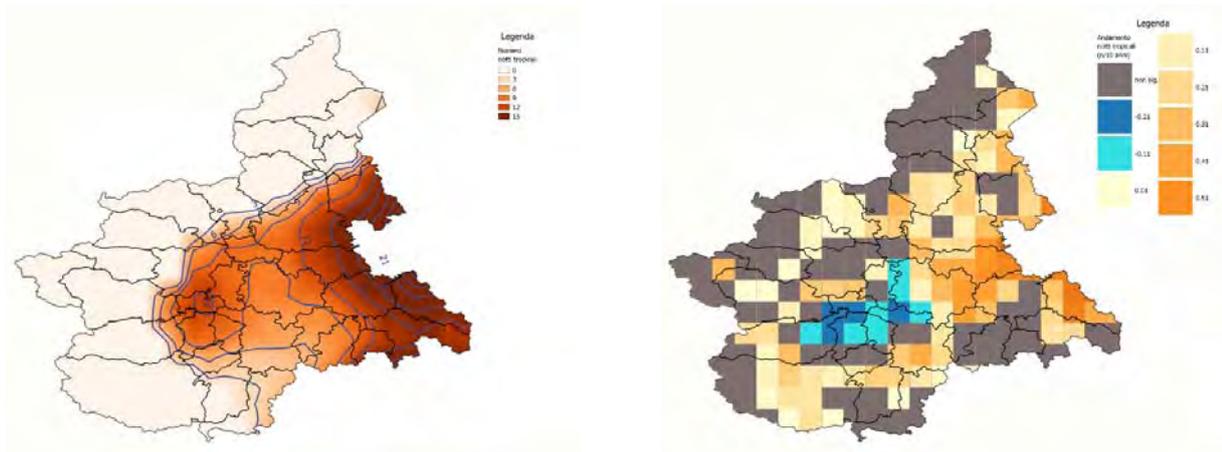


Figura 18 - Numero medio annuale di notti tropicali del periodo 1981-2010 (a sinistra) e relativa variazione ogni 10 anni nel periodo 1958-2018 (a destra), in grigio i pixel dove tale variazione non è statisticamente significativa.

Dalla mappa di Figura 18, a sinistra, si osserva come nelle zone di montagna in media non si riscontrano notti tropicali e il loro numero rimanga molto limitato nella fascia prealpina (<3). Le aree dove l'indice diventa importante sono tutte le pianure al confine con la Lombardia e la zona dell'Appennino alessandrino. Nelle stesse zone la tendenza assume valori più elevati (fino a 1 giorno ogni 20 anni). Si evince anche un'area dove tale tendenza è negativa, anche se numericamente molto limitata, nel basso Torinese-Astigiano. L'area corrisponde a quella dove il trend della temperatura minima è negativo (Figura 15, a destra).

2.2.4 Giorni tropicali e tendenza sul periodo

Un altro indicatore utilizzato per dare conto della distribuzione notte/giorno del riscaldamento sulla regione è l'indicatore "giorni tropicali": viene valutato il numero di giorni in cui la temperatura massima è superiore ai 30 °C.

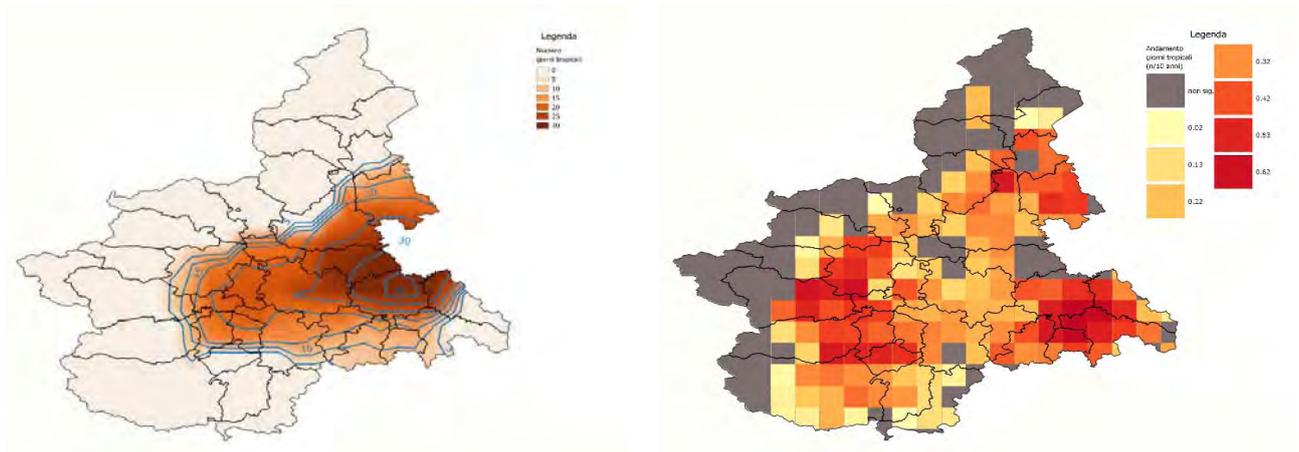


Figura 19 - Numero medio annuo di giorni tropicali del periodo 1981-2010 (a sinistra) e relativa variazione ogni 10 anni nel periodo 1958-2018 (a destra), in grigio i pixel dove tale variazione non è statisticamente significativa.

Anche questo indicatore assume valori rilevanti solo sulle zone pianeggianti della regione (Figura 19) e risulta più elevato sulle pianure orientali e in particolare nell'Alessandrino, dove raggiunge i 35 giorni all'anno. La tendenza assume valori positivi ovunque ed evidenzia alcune aree dove l'incremento è maggiore: Torinese, alto Cuneese, Alessandrino e Vercellese. In alcune zone in queste aree, la tendenza è di poco più di un giorno ogni 20 anni. La tendenza maggiore sembra essere distribuita lungo la fascia pedemontana e in alcune aree di pianura. Quindi si può dedurre che il riscaldamento, negli ultimi 60 anni, sia stato mediamente maggiore in montagna, ma con estremi positivi in aumento sulla fascia pedemontana e sulle pianure.

2.2.5 Giorni di gelo e tendenza sul periodo

Per quanto riguarda l'analisi della distribuzione del "freddo" sul territorio regionale, è stato scelto l'indicatore "giorni di gelo": ossia il numero di giorni in cui la temperatura minima scende al di sotto degli 0 °C.

Dalla mappa in Figura 20, a sinistra, si evince la distribuzione media annuale dei giorni di gelo sul territorio regionale, evidenziando come l'indice segua il gradiente altitudinale. Per quanto riguarda la tendenza, si evidenzia il valore negativo distribuito ovunque, ad eccezione dell'area dell'alto Cuneese-Astigiano, dove abbiamo già visto che l'effetto del riscaldamento non è rilevato dalle misure. La tendenza dell'indicatore assume valori importanti in particolare sulle zone montane intermedie (non sulle zone di confine, dove rimane limitato) dove supera un giorno ogni 10 anni.

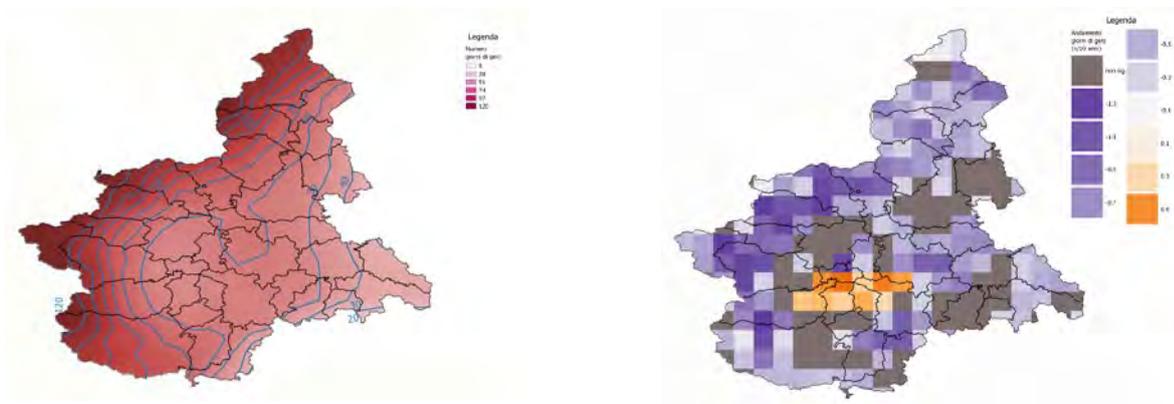


Figura 20 - Numero medio annuale di giorni di gelo del periodo 1981-2010 (a sinistra) e relativa variazione ogni 10 anni nel periodo 1958-2018 (a destra), in grigio i pixel dove tale variazione non è statisticamente significativa.

2.3 PRECIPITAZIONI TREND

L'analisi delle variazioni della precipitazione nei valori medi ed estremi e nelle diverse stagioni rappresenta un elemento centrale nell'analisi climatica, perché da esse dipendono importanti settori economici. I valori estremi sono connessi al rischio idrogeologico e agli effetti e danni sul territorio, la quantità media alla disponibilità di riserva idrica e al settore agricolo, mentre la forma della precipitazione sotto forma di neve fornisce indicazioni sia per l'alimentazione della risorsa disponibile, sia per l'economia turistica.

Anche se le variazioni e le tendenze sono decisamente più deboli rispetto alla temperatura, è rilevante avere uno scenario di riferimento e individuare anche piccole o locali variazioni da cui posso derivare impatti importanti.

2.3.1 Precipitazioni annuali e stagionali

A livello regionale complessivo, le tendenze delle precipitazioni cumulate annuali non mostrano tendenze significative dal punto di vista statistico, né sull'intero territorio, né considerando le sole aree di pianura o montagna.

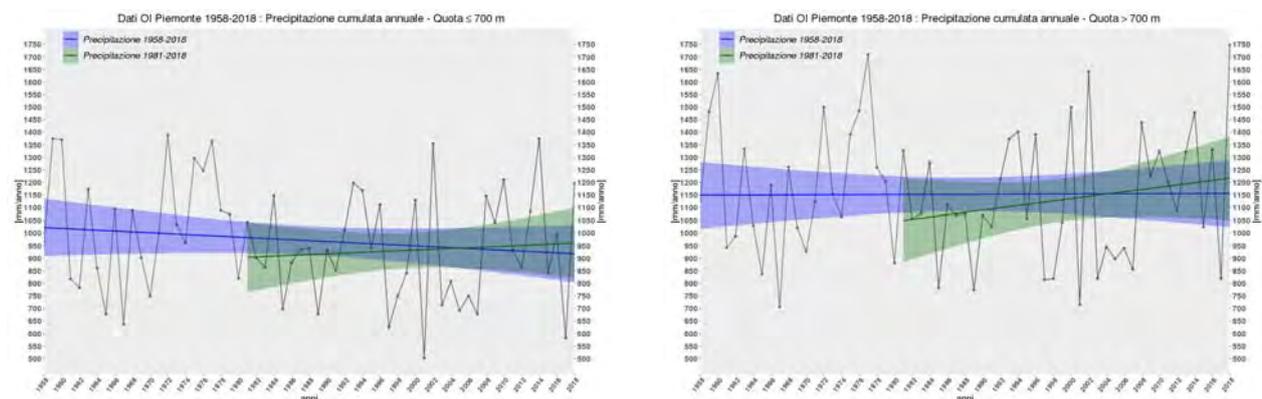


Figura 21 - Precipitazione cumulata annuale per le zone di pianure (sinistra) e montagna (destra). Il blu la tendenza sul periodo 1958-2018, in verde il periodo più recente, 1981-2018. Le aree colorate rappresentano l'incertezza statistica.

La variabilità inter-annuale è molto elevata e non si riscontrano, anche qualitativamente, delle periodicità. Si evidenziano gli anni più piovosi, che non sempre corrispondono considerando pianura e montagna.

I valori medi annuali nell'intera serie storica e negli ultimi 30 anni sono rappresentati nella tabella sottostante (Tabella 11).

	1958-2018	1981-2018
Intera regione	1036 mm	1004 mm
Pianura	970 mm	931 mm
Montagna	1153 mm	1133 mm

Tabella 11 - Valori medi delle precipitazioni cumulate annuali nel periodo 1958-2018 e 1981-2018 per l'intera regione, le sole zone di pianura e le sole zone di montagna.

Si evidenzia come i valori medi siano lievemente diminuiti negli ultimi 30 anni rispetto all'intera serie storica di dati, in particolare in pianura, anche se in percentuale davvero minima (circa 4%).

Maggiori differenze si riscontrano analizzando le tendenze delle precipitazioni stagionali (Figura 22).

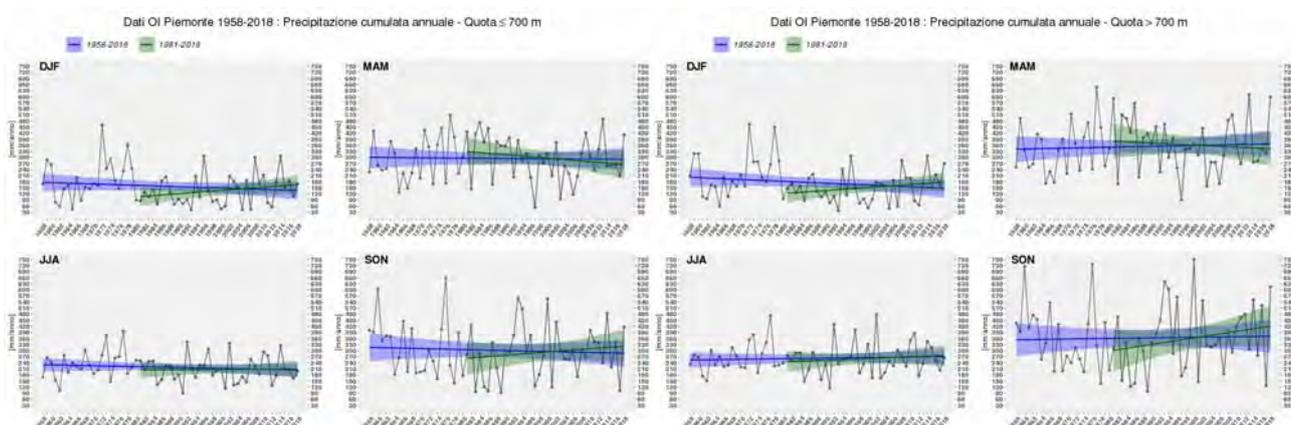


Figura 22 - Precipitazione cumulata stagionale (DJF in alto a sinistra, MAM in alto a destra, JJA in basso a sinistra e SON in basso a destra) per le zone di pianura (sinistra) e montagna (destra). Il blu la tendenza sul periodo 1958-2018, in verde il periodo più recente, 1981-2018. Le aree colorate rappresentano l'incertezza statistica.

Anche se nessuno dei trend risulta significativo dal punto di vista statistico, si osservano, in modo qualitativo, alcune caratteristiche delle tendenze negli ultimi 30 anni, che indicano un incremento delle precipitazioni autunnali e una diminuzione di quelle primaverili.

Per evidenziare eventuali differenze dei due periodi analizzati, indipendenti dalla tendenza che non risulta significativa, sono state calcolate le precipitazioni medie stagionali per le zone di pianura e di montagna (Figura 23).

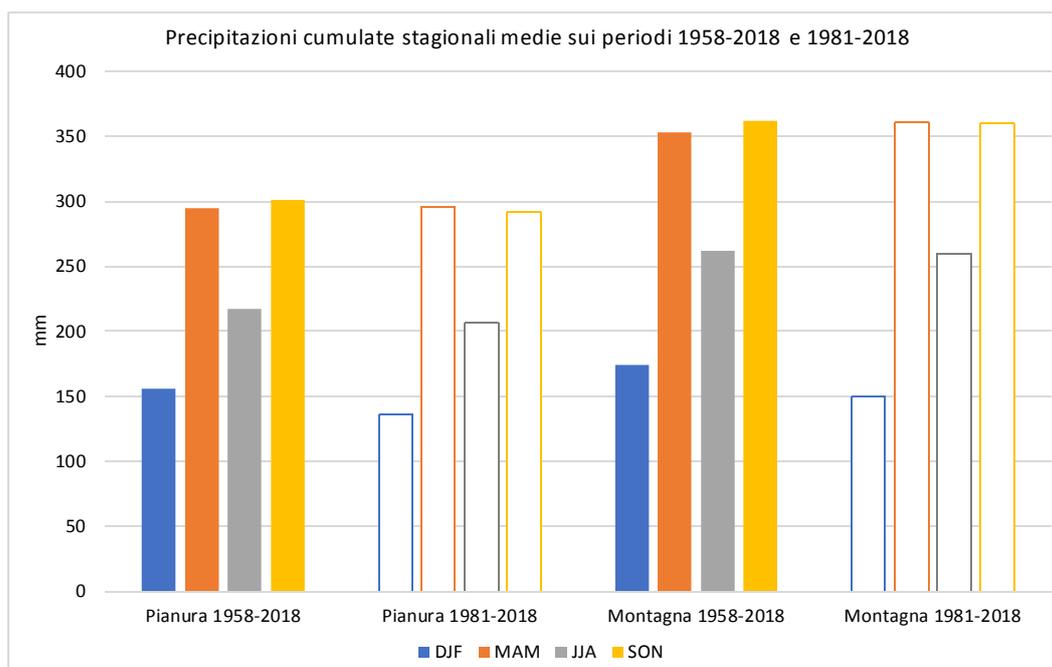


Figura 23 - Precipitazioni stagionali cumulate medie del periodo 1958-2018 (colori pieni) e del periodo più recente 1981-2018 (tratteggio) per le zone di pianura (a sinistra) e montagna (a destra).

Si conferma una diminuzione delle precipitazioni invernali (intorno al 13-14%) sia in pianura sia in montagna e un lieve aumento di quelle primaverili in montagna. In lieve diminuzione le precipitazioni estive e autunnali in pianura. Nell'ultimo periodo la stagione più piovosa tende ad essere la primavera rispetto all'autunno nell'intera serie storica.

2.3.2 Distribuzione delle precipitazioni giornaliere e tendenze

Per analizzare quantitativamente la distribuzione della precipitazione giornaliera sull'intera regione, è stato realizzato il grafico dei *boxplot* annuali del valore della precipitazione giornaliera, evidenziando il valore del trend sui massimi annuali (Figura 24).

Analizzando i *boxplot* della distribuzione si evidenziano innanzitutto gli anni più piovosi del 1968, 1993, 1994, 2000, 2002 e 2016.

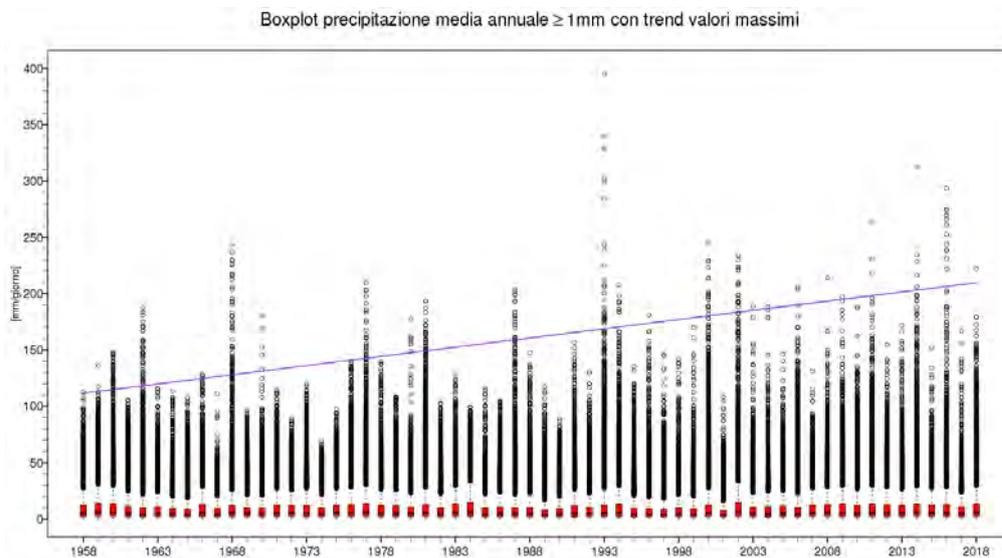


Figura 24 - Boxplot delle precipitazioni giornaliere annuali (dal 1958 al 2018). In rosso il box dal 25° al 75° percentile con l'evidenza del 50° attraverso la linea nera. I cerchi in nero i valori al di sopra del 75° percentile (*outliers*). La linea viola rappresenta il trend dei valori massimi assoluti annuali.

Anche gli *outliers* si trovano in corrispondenza degli anni che hanno registrato eventi calamitosi sul territorio regionale, e il valore di precipitazione corrispondente tende ad aumentare negli anni. Il 1994 (alluvione in Piemonte), 2014 (alluvione in Liguria) e il 2016 (alluvione nel Torinese) sono gli anni in cui gli *outliers* assumono valori maggiori, al di sopra dei 250 mm/gg.

Mentre a livello di media o di altri percentili (Figura 25) non si evidenziano tendenze significative, la linea di tendenza dei massimi assoluti (Figura 24) risulta significativa dal punto di vista statistico, con un incremento di 1,66 mm all'anno.

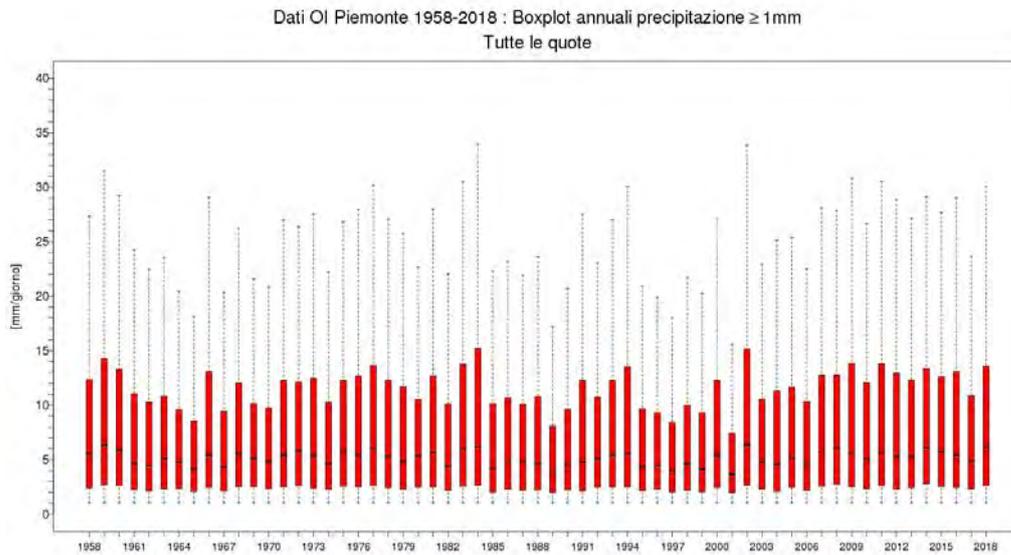


Figura 25 - Boxplot delle precipitazioni giornaliere annuali (dal 1958 al 2018). In rosso il box dal 25° al 75° percentile con l'evidenza del 50° attraverso la linea nera. Tratteggiati i valori fino al 90°. Sono stati omessi gli outliers.

Per valutare in modo più netto la distribuzione delle precipitazioni giornaliere in ogni anno per le zone di montagna e pianura, sono stati realizzati i *boxplot* per i punti al di sopra e al di sotto dei 700 m di quota.

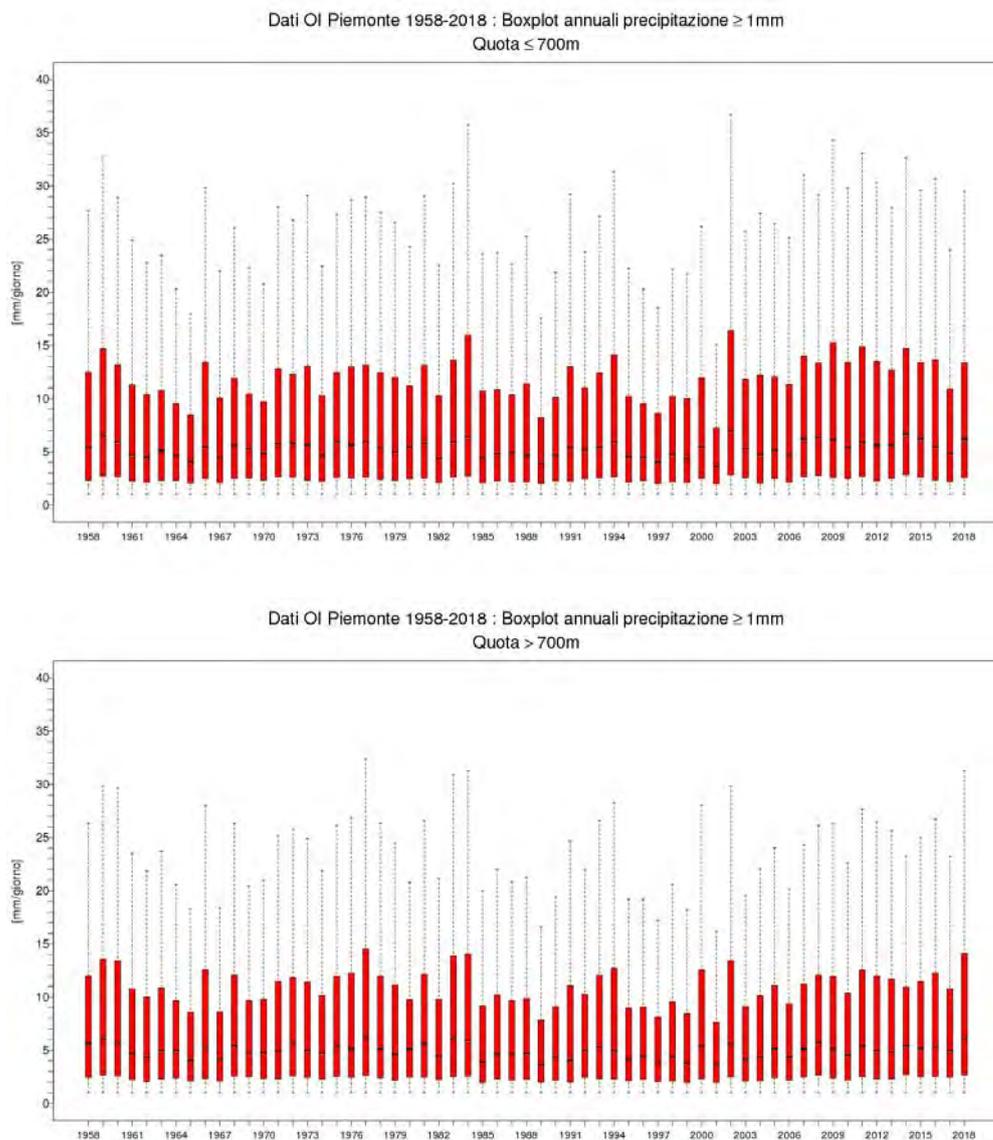


Figura 26 - Boxplot delle precipitazioni giornaliere annuali (dal 1958 al 2018) per le zone di pianura (sopra) e montagna (sotto). In rosso il box dal 25° al 75° percentile con l'evidenza del 50° attraverso la linea nera. Tratteggiati i valori fino al 90°.

Anche selezionando le zone pianura/montagna non si evidenzia una tendenza dei percentili e neppure una sistematica differenza fra le due distribuzioni. Dall'analisi dei trend sui massimi, risultano entrambi significativi, con un valore di 1,28 mm/anno per la pianura e 1,38 mm/anno per la montagna.

2.3.3 Distribuzione delle precipitazioni stagionali e tendenze

Per valutare se eventuali tendenze significative si verificassero nelle diverse stagioni sono stati realizzati i *boxplot* stagionali, evidenziando la linea di tendenza sui massimi assoluti (Figura 27).

Dati OI Piemonte 1958-2018 : Boxplot annuali precipitazione ≥ 1 mm con trend valori massimi
Tutte le quote

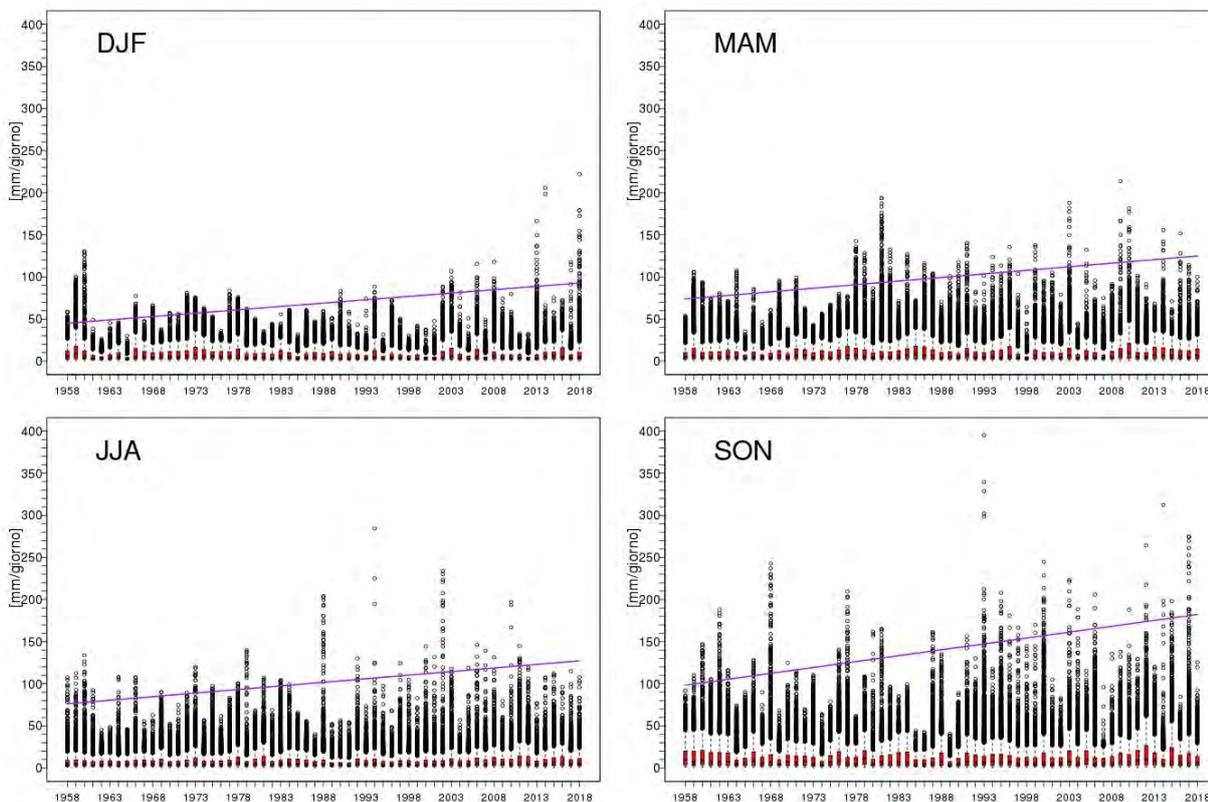


Figura 27 - Boxplot delle precipitazioni giornaliere per stagione (dal 1958 al 2018) per tutta la regione. In rosso il box dal 25° al 75° percentile con l'evidenza del 50° attraverso la linea nera. I cerchi in nero i valori al di sopra del 75° percentile (outliers). La linea viola rappresenta il trend dei valori massimi assoluti annuali.

Rimangono significativi i trend sui massimi in tutte le stagioni (0,8 mm/anno in DJF, 0,85 mm/anno in MAM, 0,85 mm/anno in JJA e 1,4 mm/anno in SON) con un valore maggiore in autunno, mentre gli altri percentili, solo durante l'estate sono significativi il trend sulla media (0,03 mm/anno), sul 90° (0,084 mm/anno) e sul 95° (0,11 mm/anno).

Sulle zone di pianura l'unico trend significativo è sui massimi (0,4 mm/anno in DJF, 0,6 mm/anno in MAM, 0,7 mm/anno in JJA e 1,3 mm/anno in SON), mentre per quanto riguarda gli altri percentili, solo durante il periodo estivo si ha un lieve aumento dei percentili. (Figura 28).

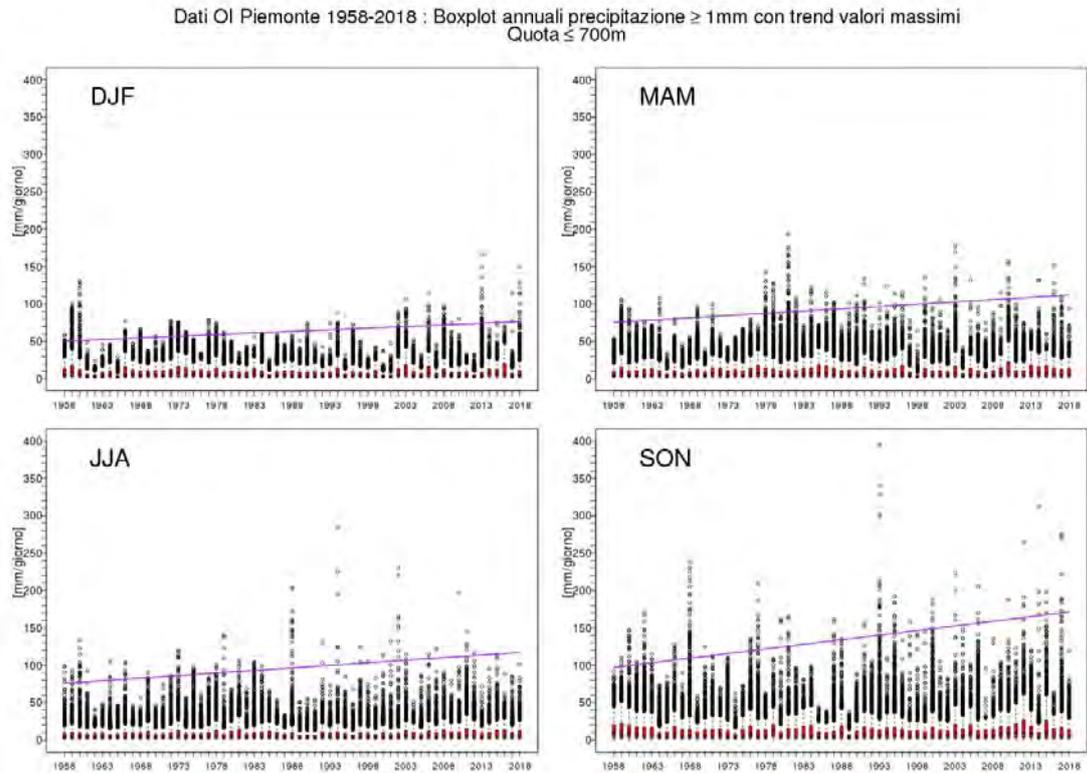


Figura 28 - Boxplot delle precipitazioni giornaliere per stagione (dal 1958 al 2018) per i soli punti di pianura. In rosso il box dal 25° al 75° percentile con l'evidenza del 50° attraverso la linea nera. I cerchi in nero i valori al di sopra del 75° percentile (outliers). La linea viola rappresenta il trend dei valori massimi assoluti annuali.

Anche per quanto riguarda la montagna gli unici trend significativi sono sui massimi, positivi in tutte le stagioni (0,7 mm/anno in DJF, 0,8 mm/anno in MAM, 0,8 mm/anno in JJA e 1 mm/anno in SON), mentre per gli altri la significatività è pressoché nulla.

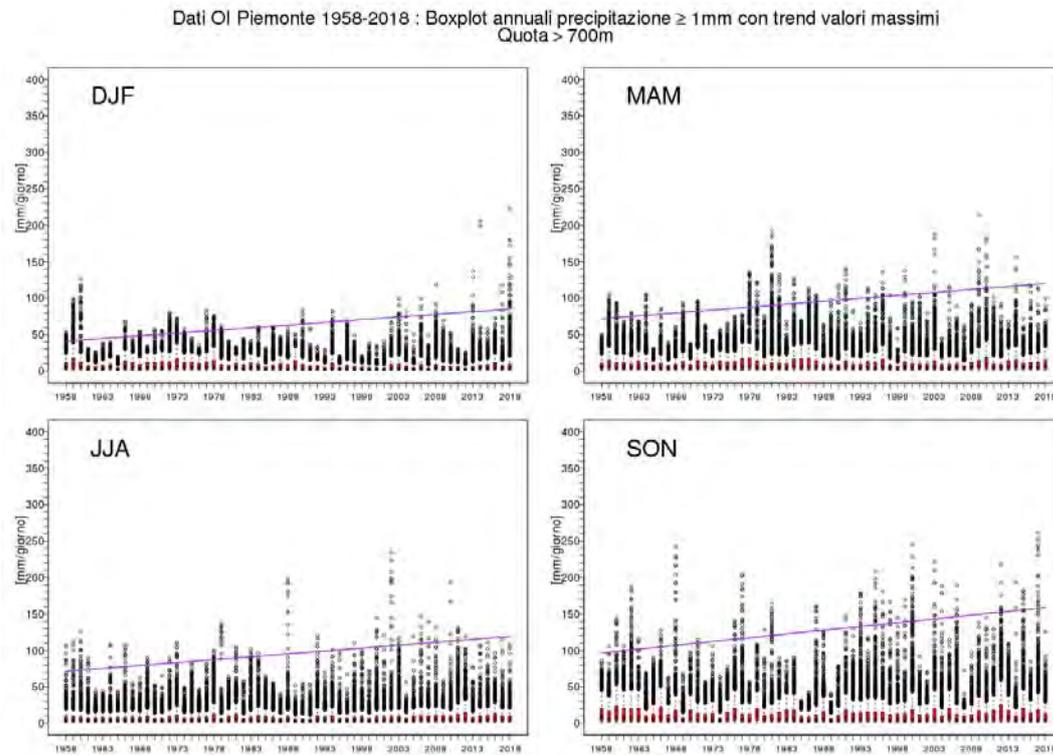


Figura 29 - Boxplot delle precipitazioni giornaliere per stagione (dal 1958 al 2018) per le zone di montagna. In rosso il box dal 25° al 75° percentile con l'evidenza del 50° attraverso la linea nera. I cerchi in nero i valori al di sopra del 75° percentile (outliers). La linea viola rappresenta il trend dei valori massimi assoluti annuali.

2.3.4 Ciclo annuale della precipitazione

Sempre a livello dell'intera regione, è stato analizzato il ciclo annuale della precipitazione, al fine di valutarne una eventuale modifica nel tempo. Se la precipitazione mediamente non fa evincere un trend significativo negli ultimi 60 anni, è infatti possibile che la distribuzione nel corso dell'anno si sia modificata, in particolare nelle stagioni intermedie.

Dalla Figura 30 si conferma che il clima del Piemonte è di tipo temperato, con due massimi di precipitazione in autunno e primavera, e che questa caratteristica si mantiene nel tempo. Si osserva comunque, nel periodo più recente, una modifica del regime pluviometrico, con un aumento della precipitazione primaverile a scapito di quella autunnale, che non è più la stagione più piovosa.

Il mese più piovoso dell'anno da ottobre, nel periodo 1958-1980, diventa maggio nel periodo 1981-2018. Nella stagione autunnale il mese più piovoso diventa novembre, mentre in quella primaverile rimane maggio in entrambi i periodi. Il mese con le precipitazioni più scarse è luglio per l'intera serie storica.

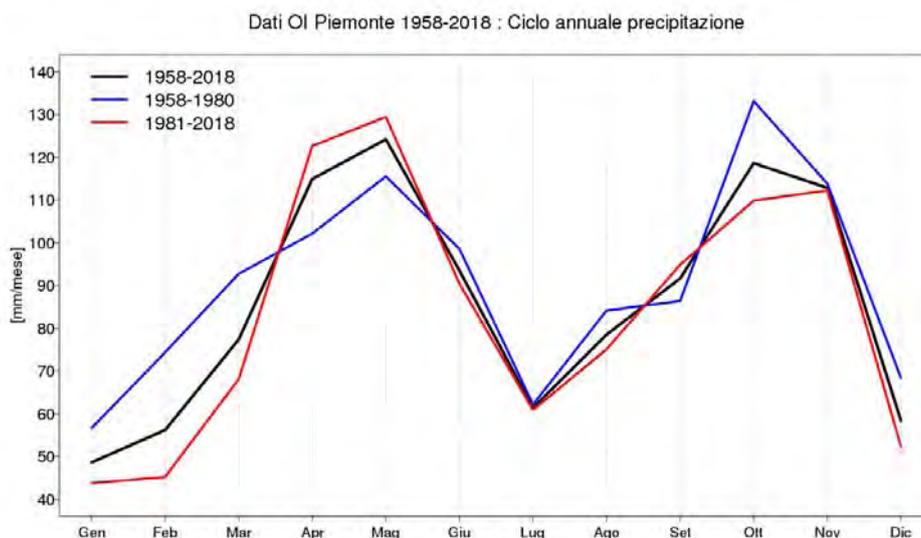


Figura 30 - Ciclo annuale della precipitazione media mensile (mm/mese) per l'intera serie storica disponibile (linea nera), per il periodo 1958-1980 (linea blu) e 1981-2018 (linea rossa).

2.4 PRECIPITAZIONI – DISTRIBUZIONI TERRITORIALI

2.4.1 Precipitazioni cumulate annuali e tendenza

La distribuzione della precipitazione annuale del periodo 1981-2010 conferma la localizzazione delle zone a maggior piovosità della regione, evidenziando la zona del Lago Maggiore e la Valle Ossola, in particolare la parte più rivolta verso la pianura, come quella a maggior piovosità annuale. Altri massimi si evidenziano nelle alpi nordoccidentali (Canavese e valli di Lanzo), sull'alto Tanaro e sul basso Alessandrino al confine con la Liguria. La zona della Val di Susa e delle altre valli esposte da ovest a est del Cuneese sono, tra le aree montane, quelle a minor piovosità (Figura 31).

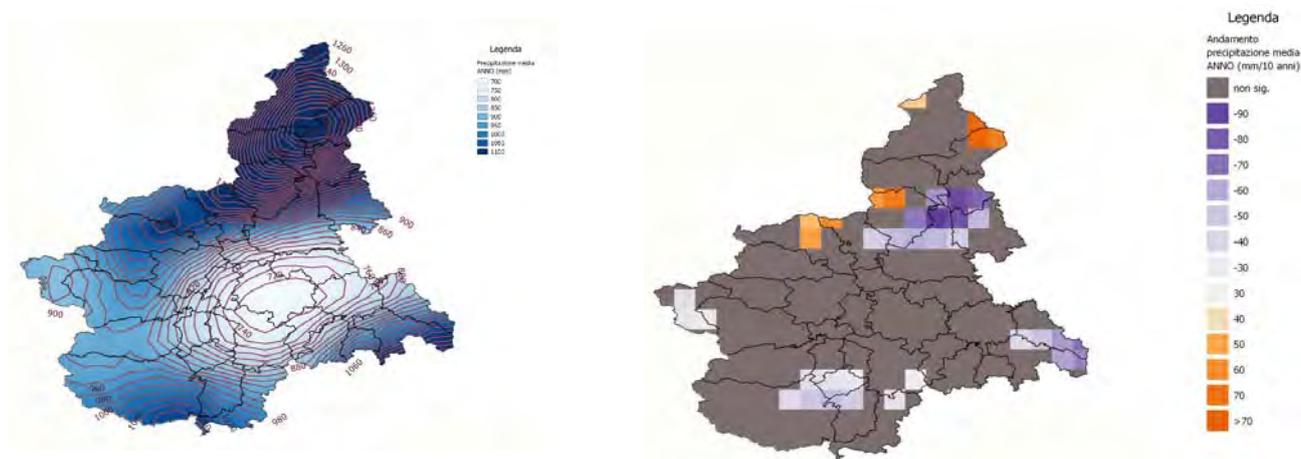


Figura 31 - Precipitazione media annuale del periodo 1981-2010 (a sinistra) e relativa variazione ogni 10 anni nel periodo 1958-2018 (a destra), in grigio i pixel dove tale variazione non è statisticamente significativa.

Solo in poche aree del territorio piemontese la pioggia annuale sembra avere un trend significativo, con segno però disomogeneo. Questo conferma la mancanza di una tendenza significativa e misurabile sulla precipitazione media annuale, come già si evidenziava considerando i valori nel loro insieme (Figura 24).

2.4.2 Precipitazioni cumulate stagionali e tendenza

Per avere un riferimento stagionale, sono state realizzate le mappe di precipitazione media stagionale nel periodo 1981-2010 (Figura 32).

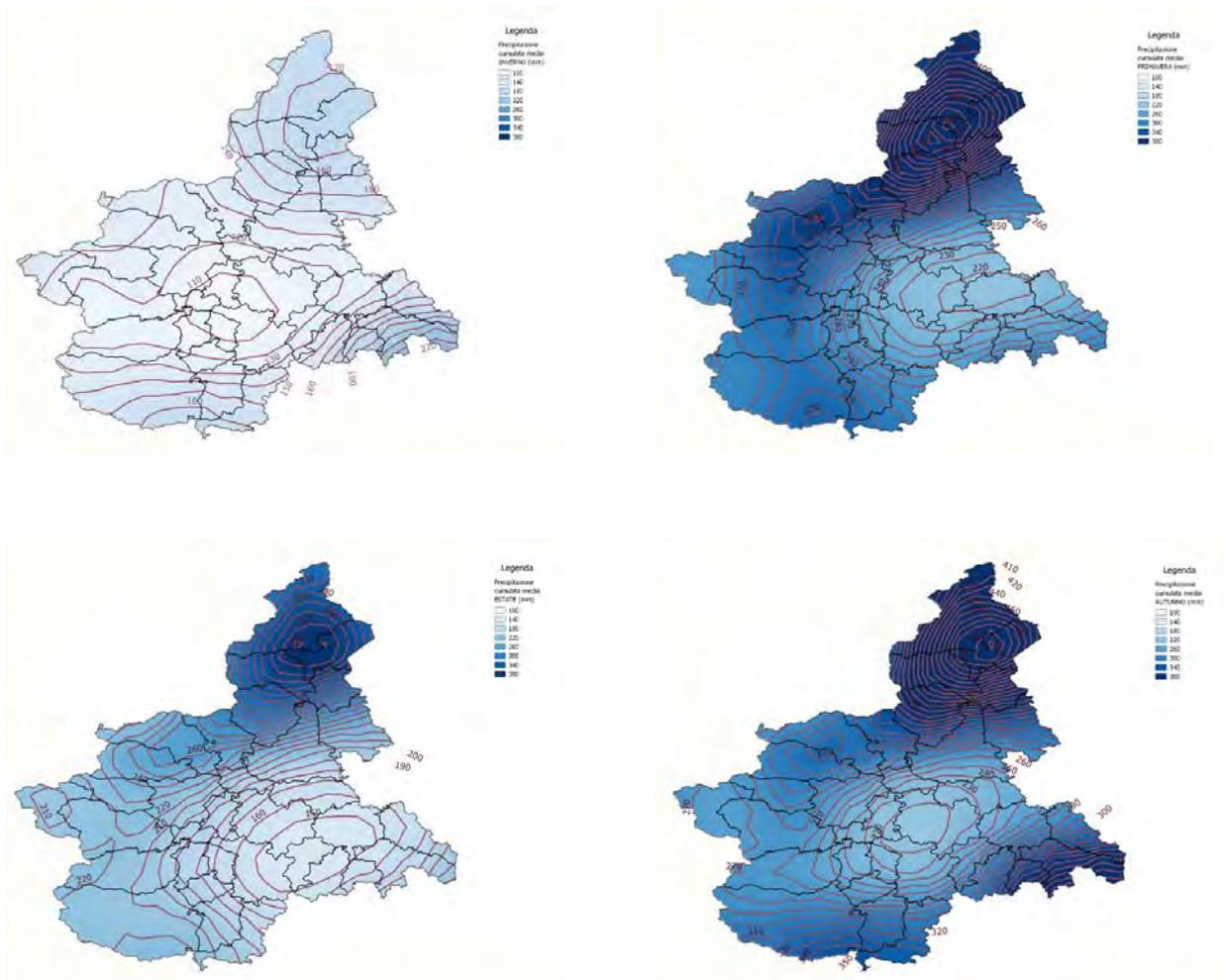


Figura 32 - Precipitazione media stagionale (DJF in alto a sinistra, MAM in alto a destra, SON in basso a sinistra e JJA in basso a destra) sul periodo 1981-2010. La scala è uguale per tutte le immagini e va da 0 mm a 380 mm.

Le stagioni più piovose, come già si evinceva dall'analisi del ciclo annuale, sono la primavera e l'autunno, con un massimo di precipitazione nel settore settentrionale della regione e una zona più asciutta in pianura. Per il resto della regione si osserva che durante la primavera la precipitazione si distribuisce in accordo con l'orografia, mentre in autunno diventano più rilevanti le precipitazioni sugli Appennini, probabilmente a causa delle precipitazioni a maggior carattere convettivo, che risentono della vicinanza al mare.

Per quanto riguarda la distribuzione della tendenza della precipitazione sul territorio, solo un numero molto limitato di punti presenta un valore statisticamente significativo, perlopiù connesso ad un incremento invernale sul basso Piemonte e su alcune aree montane occidentali di confine ed estivo sul Biellese e Appennino.

2.4.3 Numero di giorni piovosi e tendenza

Il numero di giorni piovosi, intesi come giorni in cui si misura una precipitazione superiore o uguale a 1 mm, fornisce un'indicazione importante sulla distribuzione temporale delle precipitazioni e la loro concentrazione. La tendenza del numero di giorni piovosi rappresenta la propensione ad avere precipitazione più o meno concentrata.

Dalla Figura 33 (a sinistra) si evidenzia come il numero di giorni piovosi sia ben correlato con l'orografia: la zona dove il numero è minore (circa 80 giorni) si trova sulle colline dell'Astigiano, mentre sui rilievi di confine sia settentrionali sia occidentali, arriva a 130-140 giorni. Il numero maggiore si ha sulle zone di confine della Valle Ossola.

Per quanto riguarda il trend del numero di giorni piovosi (Figura 33, a destra) si evince una netta tendenza alla diminuzione secondo un gradiente nordovest-sudest. Le aree dove la diminuzione è significativa e più elevata sono quelle sulla zona del basso Lago Maggiore, alto Novarese e Verellese, le pianure orientali e la zona del basso cuneese al confine con la Liguria. Il trend negativo del numero di giorni piovosi, associato ad una stazionarietà della precipitazione cumulata è caratteristico di una tendenza all'intensificazione dei fenomeni.

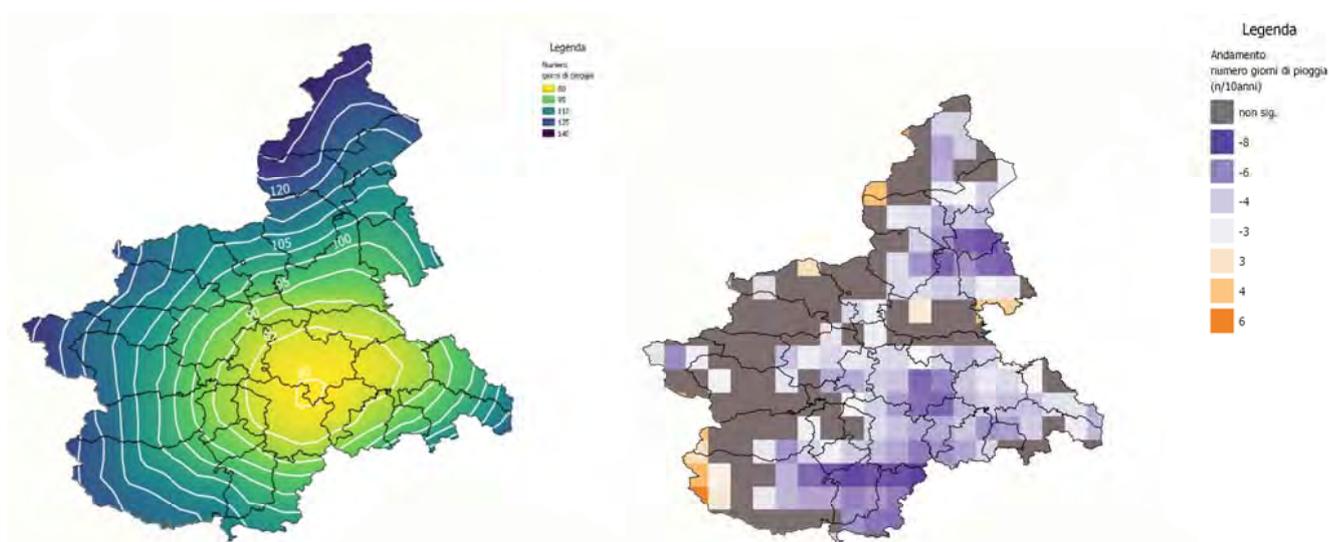


Figura 33 - Numero medio annuale di giorni piovosi per la soglia di 1 mm del periodo 1981-2010 (a sinistra) e relativa variazione ogni 10 anni nel periodo 1958-2018 (a destra), in grigio i pixel dove tale variazione non è statisticamente significativa.

Per valutare se la diminuzione del numero di giorni piovosi fosse attribuibile a una particolare stagione, sono stati elaborati il numero di giorni piovosi e il loro trend per le diverse stagioni (Figura 34).

La distribuzione del numero di giorni piovosi sul territorio regionale è simile nelle diverse stagioni, con la posizione dell'area a minor precipitazione sulle pianure centrate in modo omogeneo in primavera ed estate sul basso Astigiano-Alessandrino ai piedi degli Appennini. Le tendenze del numero di giorni piovosi nelle diverse stagioni non sono significative su gran parte del territorio, a eccezione della diminuzione nella stagione estiva, che sembra essere quella che determina la variazione annuale.

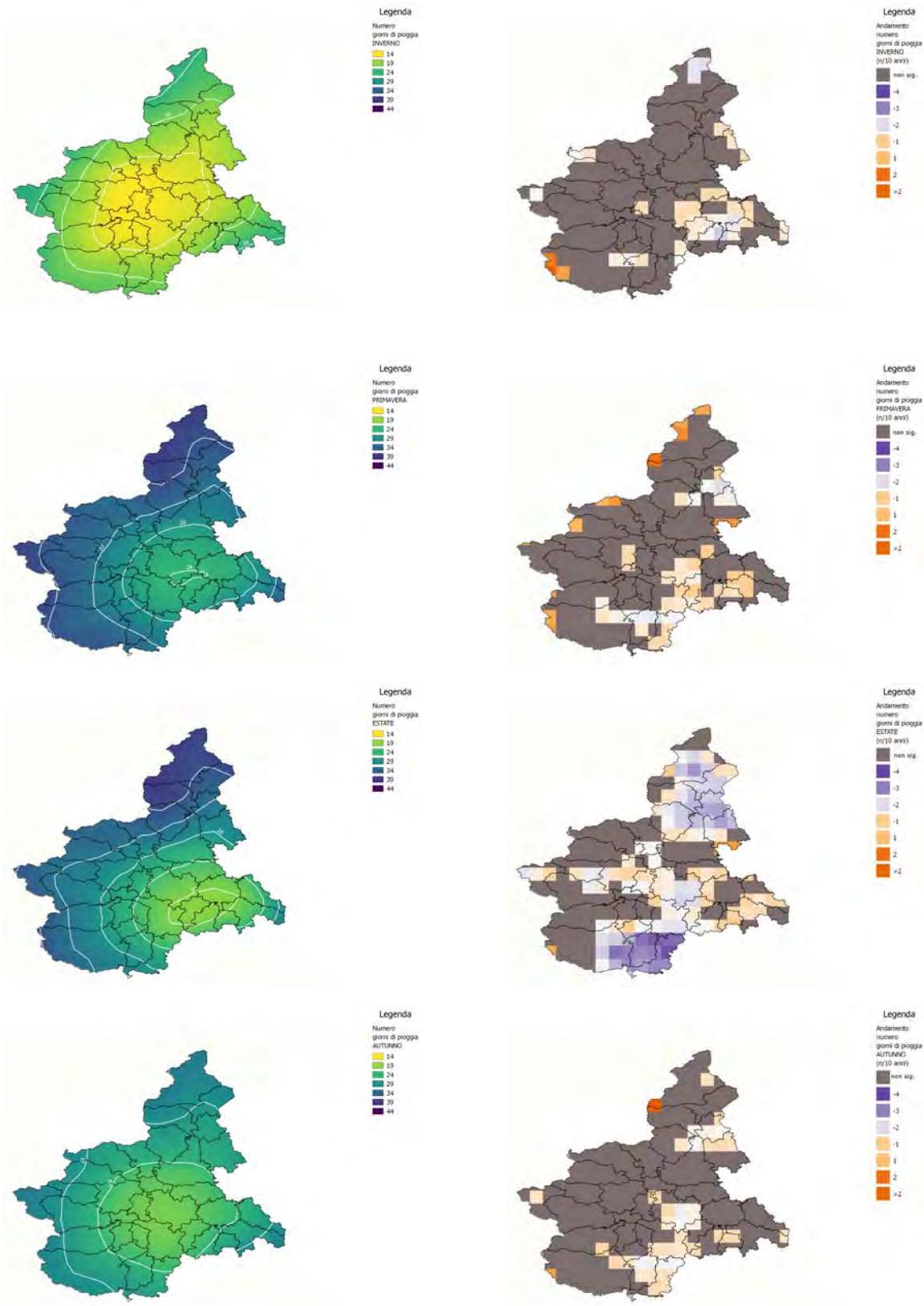


Figura 34 - Numero medio stagionale di giorni piovosi per la soglia di 1 mm del periodo 1981-2010 (a sinistra) e relativa variazione ogni 10 anni nel periodo 1958-2018 (a destra), per le diverse stagioni (dall'alto in basso: inverno, primavera, estate, autunno). In grigio i pixel dove tale variazione non è statisticamente significativa.

Questa diminuzione durante l'estate è connessa all'aumento dei fenomeni intensi.

2.4.4 Numero di giorni piovosi per precipitazioni intense e tendenza

Analizzando il numero di giorni piovosi per diverse soglie di precipitazione, non si evincono considerazioni utili ai fini dell'analisi climatica. Inoltre, pressoché nessun trend è significativo dal punto di vista statistico. Qualitativamente si osserva una diminuzione del numero di giorni piovosi con la precipitazione di 5 e 10 mm e un aumento dei giorni con precipitazione superiore ai 50 mm.

A titolo di esempio, si presentano le mappe relative alla soglia di 50 mm in 24 ore (Figura 35).

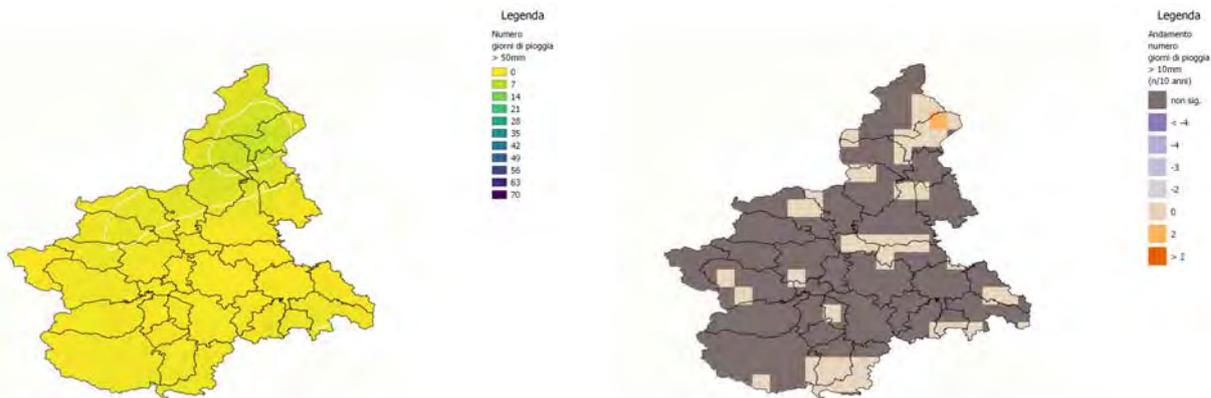


Figura 35 - Numero medio annuale di giorni piovosi per la soglia di 50 mm del periodo 1981-2010 (a sinistra) e relativa variazione ogni 10 anni nel periodo 1958-2018 (a destra). In grigio i pixel dove tale variazione non è statisticamente significativa.

2.5 VENTO

In un'atmosfera più calda ci si aspetta che anche il regime dei venti venga alterato, sia in relazione al vento associato agli eventi temporaleschi, sia quello legato a configurazioni sinottiche a più grande scala che possono subire modificazioni nella frequenza con cui si presentano o nella stagionalità. È necessario premettere che la misura del vento è complicata, innanzitutto perché si tratta di una variabile vettoriale, quindi caratterizzata da due valori, direzione e intensità, sia per la piccola frequenza con cui entrambe e la loro risultante si modificano, sia per la grande variabilità spaziale e temporale del campo. Inoltre, la misura del vento è fortemente condizionata da fattori locali, influenzata dalla sensibilità dell'anemometro in condizioni meteorologiche estreme. Alcuni elementi caratterizzanti il campo di vento a livello regionale sono comunque stati analizzati, cercando di individuare elementi utili in termini di tendenza.

In particolare, sono state analizzate la massima raffica (il valore istantaneo massimo della velocità del vento), la calma di vento (giorni con velocità media < 1 m/s e raffica < 3,4 m/s) e il numero di episodi di foehn.

1.1.1 Massima raffica

Per quanto riguarda la massima raffica, sono state costruite le distribuzioni mensili del valore della massima raffica giornaliera per ogni anno dal 2000 al 2018, per 2 fasce altimetriche (Figura 36).

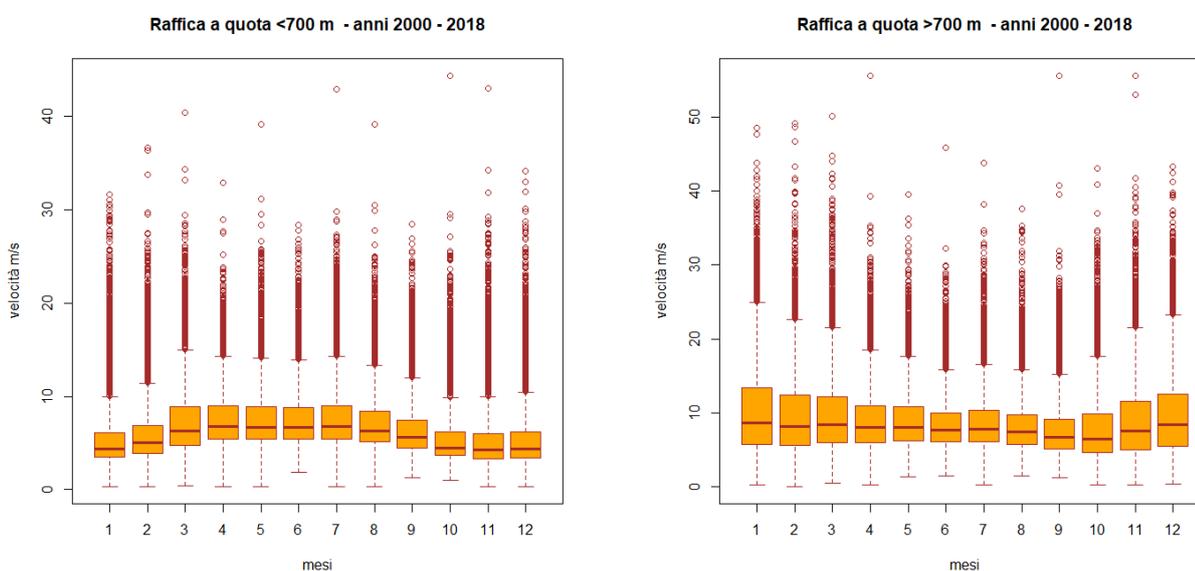


Figura 36 - Distribuzione mensile della massima raffica giornaliera negli anni 2000-2018. A sinistra per le stazioni al di sotto dei 700 m di quota, a destra per le stazioni al di sopra dei 700 m.

Per quanto riguarda le stazioni di pianura si evidenzia come, al di là di alcuni episodi sporadici nei mesi invernali (eventi in cui il foehn arriva sulle pianure), i mesi dove i percentili della distribuzione sono più elevati sono quelli tardo primaverili-estivi, connessi agli eventi convettivi. Per le stazioni in montagna invece, i mesi dove la raffica è più elevata sono quelli invernali, connessi agli episodi di foehn.

Sono stati analizzati i trend delle raffiche, considerando il numero di giorni con velocità maggiore al 90° percentile per i mesi invernali in montagna e per i mesi estivi in pianura.

In montagna si evidenzia un aumento dei giorni con raffica a causa dell'aumento dei giorni di foehn, mentre in pianura il trend risulta in lieve diminuzione. Il 2012 è risultato l'anno con il maggior numero di giorni con raffiche superiori al 90° percentile sia in montagna che in pianura.



Figura 37 - Andamento del numero di giorni con raffica > al 90° percentile nel periodo estivo dal 2000 al 2018 in pianura.

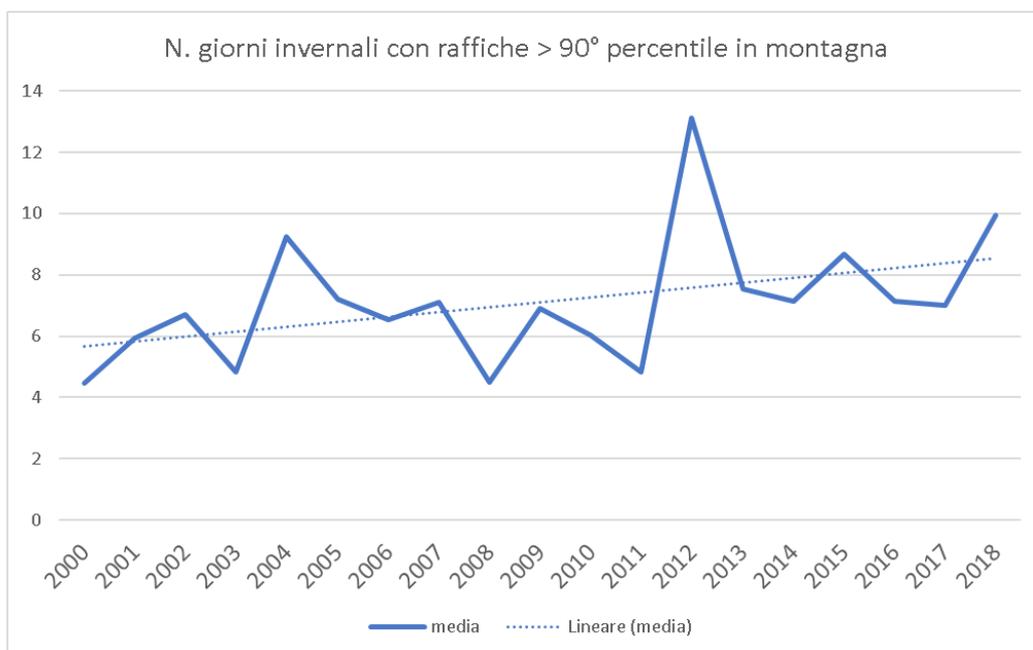


Figura 38 - Andamento del numero di giorni con raffica > al 90° percentile nel periodo estivo dal 2000 al 2018 in montagna.

Gli stessi trend si evidenziano anche considerando l'intero anno in montagna ed in pianura.

1.1.2 Calma di vento

È stato anche calcolato il numero medio di giorni di calma di vento in pianura a quote inferiori ai 500 m per ogni anno dal 2000 al 2018.

La definizione di giorno di calma di vento è stata fatta utilizzando la scala di Beaufort per individuare giornate con scarsa ventilazione nelle 24 ore. È stata quindi scelta la soglia di 1 m/sec per la velocità media giornaliera e di 3,4 m/sec per la massima raffica.

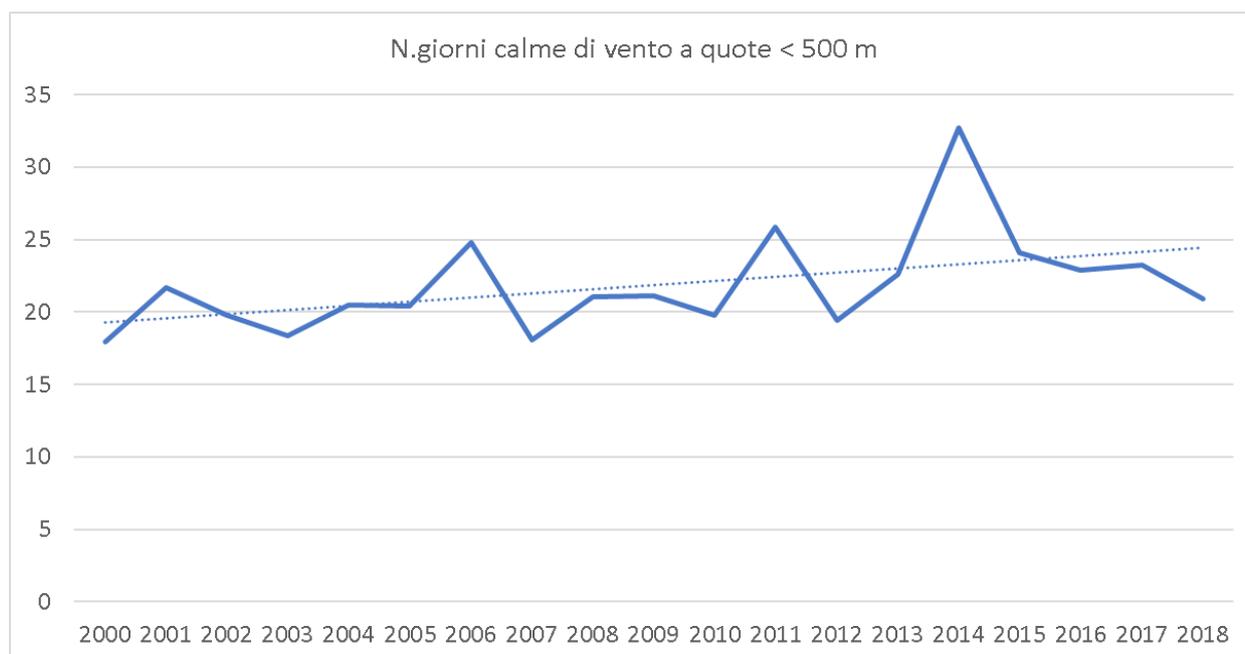


Figura 39 - Numero di giorni di calma di vento sulle pianure calcolati dal 2000 al 2018.

Il fenomeno della calma di vento in pianura dal 2000 ad oggi mostra un trend lievemente in aumento e visto che tale fenomeno ricopre un aspetto determinante nel favorire la concentrazione di inquinanti in atmosfera è da tenere in considerazione per le analisi di qualità dell'aria. Il 2014 risulta l'anno con il maggior numero di giorni di calma di vento, mentre il 2000 è quello con il minor numero.

I mesi con più giorni di calma di vento sono quelli autunnali e invernali.

Le calme di vento sono più frequenti nella zona centrale del Piemonte in particolare intorno alla città di Torino a causa del particolare assetto geomorfologico regionale; l'area risulta infatti protetta dall'arco alpino ad ovest e a nord e dal lieve sollevamento collinare ad est. Tale conformazione orografica favorisce la calma di vento con scarso flusso e ricambio di masse d'aria con conseguente atmosfera stagnante.

2.5.1 Eventi di foehn

Dal punto di vista del vento un fenomeno molto importante che si verifica in una regione montuosa come il Piemonte, è il foehn, un vento di caduta che si ha quando un flusso umido incontra un ostacolo orografico. Nella fase di sollevamento per presenza di un rilievo montuoso, la massa d'aria umida, arrivando a condensazione, si raffredda meno rapidamente di quanto si riscaldi nella zona sottovento, a causa del rilascio di calore latente. Il risultato di questa interazione è un intenso flusso sottovento di aria secca e, generalmente, a temperatura più elevata dell'aria che incontra, più ci spostiamo dal rilievo che l'ha generato. Questo meccanismo è molto efficiente in Piemonte con un flusso da nordovest e da nord, con condizioni di *stau* (tempo perturbato con neve generalmente trasportata dal vento) lungo la cresta di confine e un flusso secco dai rilievi alpini verso la Pianura Padana, che può arrivare ad intensità molto elevate se il vento si incanala nelle valli. Nel caso di una situazione persistente nel tempo o di venti molto intensi, il cosiddetto "muro del foehn", cioè la zona perturbata che tipicamente si limita alla cresta di confine, si sposta verso la valle. Episodi di foehn, anche se con venti meno intensi, si possono avere quando un flusso umido dai quadranti meridionali investe gli Appennini.

Gli eventi di foehn sono quindi dovuti ad una precisa configurazione meteorologica e vengono monitorati vengono giornalmente registrati dal 2000. Gli effetti sono molteplici, tra i quali il trasporto della neve e la diffusione degli incendi boschivi, i principali.

Mediamente, dal 2000 al 2018, gli eventi di foehn sono 65 all'anno, con un massimo di 84 giorni (nel 2009) e un minimo di 44 nel (2018).

Senza una grande significatività dal punto di vista statistico rigoroso, si delinea comunque una tendenza all'aumento del numero di giorni di foehn, soprattutto per il contributo nella stagione invernale (Figura 40).

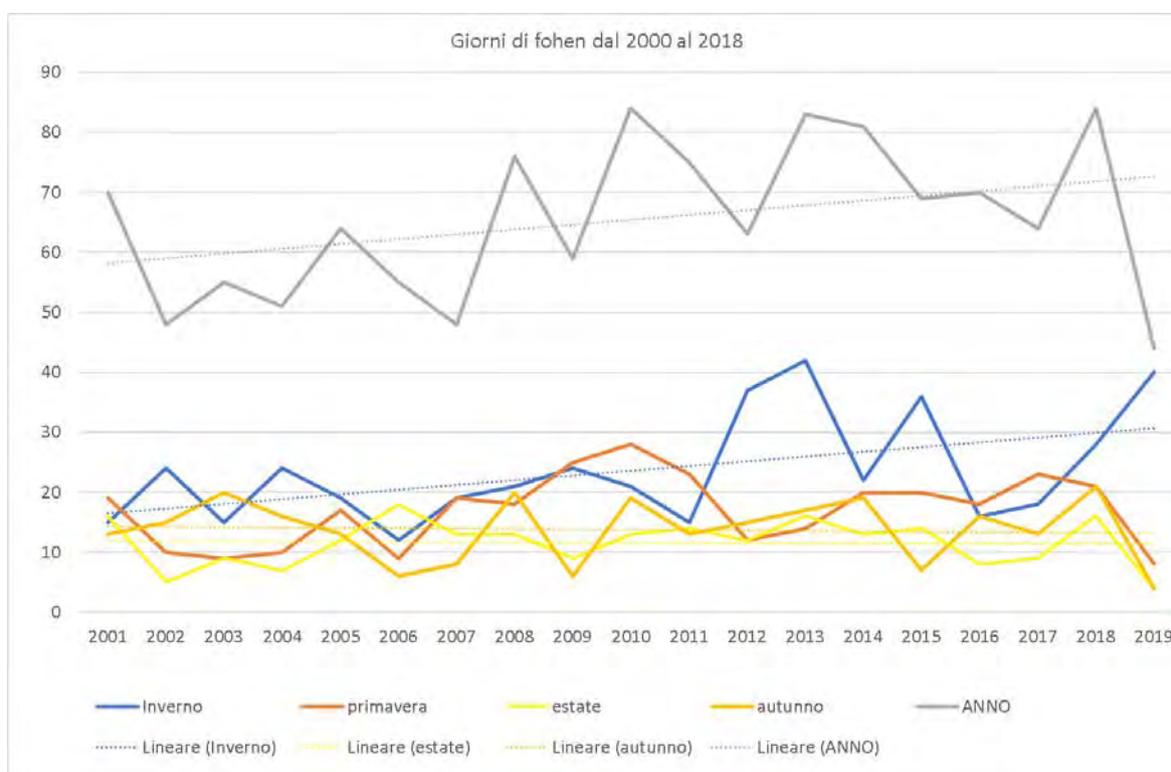


Figura 40 - Numero di giorni di foehn all'anno e sulle stagioni, dal 2000 al 2018.

2.6 ZERO TERMICO

Un indicatore importante dal punto di vista meteorologico è lo “zero termico”. Lo zero termico è definito come la quota al di sopra della quale la temperatura rimane costantemente inferiore a 0 °C. La misura dello zero termico viene effettuata attraverso i sistemi di radiosondaggio, come descritto nell’introduzione ai dati utilizzati in questo rapporto. Lo zero termico è una grandezza rappresentativa della temperatura della massa d’aria che interessa una regione, in atmosfera libera, ossia lontano dall’influenza della superficie terrestre. Inoltre, dallo zero termico dipende la quota delle neviccate.

Due tipologie di analisi sono state effettuate per quanto riguarda questa grandezza: la valutazione attraverso le analisi a grande scala del Centro Europeo, che consentono una visione regionalizzata di questa grandezza, e attraverso i dati misurati dalla stazione di radiosondaggio di Cuneo-Levaldigi, di proprietà di Arpa Piemonte.

2.6.1 Zero termico da radiosondaggio

Per quanto riguarda i dati dal radiosondaggio, anche se di relativamente breve durata (la stazione è installata dal 1999) e la mancanza saltuaria di alcune misure, si ritiene importante valorizzare il dato regionale.

La Figura 41 mostra l’andamento dello zero termico dal radiosondaggio di Cuneo-Levaldigi medio annuale. Anche se la serie è troppo breve per effettuare valutazioni di significatività statistica, si evince una lieve tendenza all’aumento di entrambe le grandezze, in media di 16 m all’anno per i massimi e 12 m per i valori medi. Naturalmente, per la brevità della serie, queste tendenze non hanno significatività statistica, ma sono utili per capire quanto la media e alta atmosfera risentono del riscaldamento che si verifica al suolo.

Le stagioni che concorrono all’aumento sono principalmente quella invernale (con un incremento di 17 m all’anno) seguita da quella autunnale (15 m) ed estiva (13 m). La stagione primaverile non mostra alcuna tendenza. Questo è coerente con quanto già evidenziato sulle temperature stagionali.

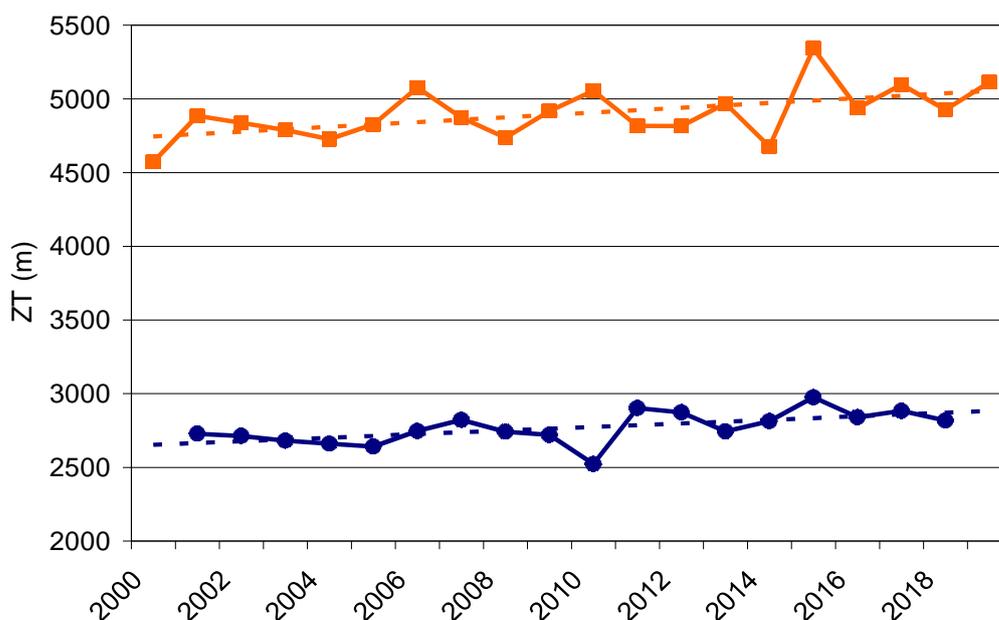


Figura 41 - Andamento dello zero termico medio annuale (blu) e massimo annuale (arancione) dal 2000 al 2019. I dati dell’anno 2000 non sono completi e la media annuale non è stata calcolata, così come per il 2019. Dati dalla stazione di radiosondaggio di Cuneo Levaldigi.

In particolare, tra i mesi invernali, dicembre è quello che mostra un aumento maggiore (circa 40 m all'anno di aumento nei valori medi e 24 m nei massimi). In autunno il contributo all'incremento è dato da settembre e novembre, con 18 m all'anno. Per l'estate è il mese di luglio quello più soggetto al riscaldamento, con un aumento di 19 m all'anno.

Interessante dal punto di vista climatico è analizzare lo zero termico durante il periodo estivo per valori di zero termico alto, la cui persistenza è connessa alla fusione glaciale, alla degradazione del permafrost e, in generale, alle condizioni di stabilità geomorfologica delle alte quote.

Frequenza del valore di zero termico di 4000 m e 4500 m mesi estivi

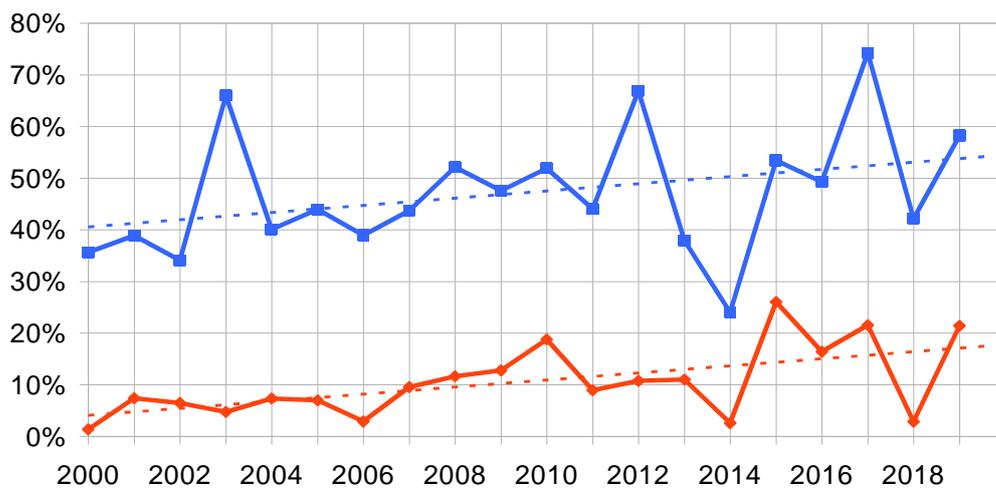


Figura 42 - Percentuale di giorni estivi (giugno-luglio-agosto) in cui lo zero termico supera i 4000m (blu) e i 4500 m (arancione) e relativi trend per le estati dal 2000 al 2019.

Dalla Figura 42, che riporta la frequenza dello zero termico al di sopra della quota di 4000 m e 4500 m nel periodo estivo, si evince un incremento della frequenza dei giorni con zero termico elevato, con un trend simile di circa 0,7% ogni anno, che corrisponde ad un aumento di circa 14 giorni dall'inizio alla fine delle misure. Negli ultimi anni più della metà dei giorni estivi sono stati caratterizzati da valori di zero termico al di sopra dei 4000 m. Si evidenziano le estati calde del 2003, 2012 e 2017.

2.6.2 Zero termico da analisi

Come descritto nell'introduzione ai dati, è possibile calcolare la quota dello zero termico dalle analisi dei campi meteorologici fornite da ECMWF. Questo metodo consente di avere, per ogni punto di griglia dell'analisi, un valore di zero termico e quindi visualizzare una distribuzione sul territorio.

Per ovviare ai cambi di risoluzione dei campi negli anni, tutte le analisi sono state riportate alla risoluzione di 0,1 °C mediante interpolazione bilineare. Dai dati giornalieri disponibili è stato calcolato il valore medio annuale e determinato il coefficiente angolare della serie storica. La significatività della regressione lineare è stata calcolata con livello di confidenza pari al 95%.

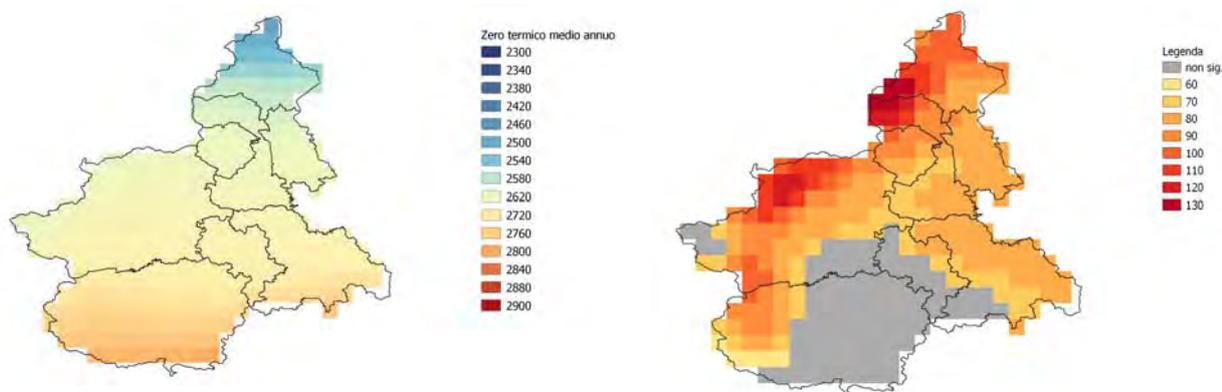


Figura 43 - Valore dello zero termico medio annuale (a sinistra) e sua variazione (m ogni 10 anni, a destra) sulla base della serie di analisi dal 1999 al 2018. In grigio i pixel dove la variazione non è significativa.

Si osserva come lo zero termico sia caratterizzato da un gradiente principale latitudinale, a conferma del fatto che il metodo di calcolo sia correttamente indipendente dall'orografia (Figura 43). La tendenza nel tempo dello zero termico medio annuale risulta positiva su tutte le aree della regione dove è significativa dal punto di vista statistico. Questo incremento è decisamente superiore in montagna, in particolare sui settori di confine, dove raggiunge anche i 120-130 m in 10 anni.

Analogamente al dato del radiosondaggio, è stata valutata la frequenza dei giorni estivi (giugno-settembre) in cui lo zero termico supera i 4000 m e 4500 m (Figura 44). Anche per questo indicatore, la tendenza, ove significativa, è sempre positiva. Si osserva un aumento del numero di giorni in cui lo zero termico è superiore ai 4000 m lungo la fascia prealpina settentrionale e nordoccidentale, mentre un'area decisamente più vasta vede un aumento del numero di giorni "estremi", in cui lo zero termico è superiore ai 4500 m. Mentre per l'incremento del numero di giorni con zero termico superiore ai 4000 m sembra essere correlato con l'orografia e, in particolare, con la fascia montuosa più vicina alla pianura, l'incremento del numero di giorni con zero termico sopra i 4500 m mostra un andamento longitudinale più legato al gradiente di temperatura nell'emisfero nord. Questa differenza nella distribuzione evidenzia anche come i meccanismi che inducono questo cambiamento possano essere di origine diversa, il primo, più connesso alla presenza dell'orografia e all'interazione dei flussi di calore con la superficie, il secondo più legato alle configurazioni meteorologiche.

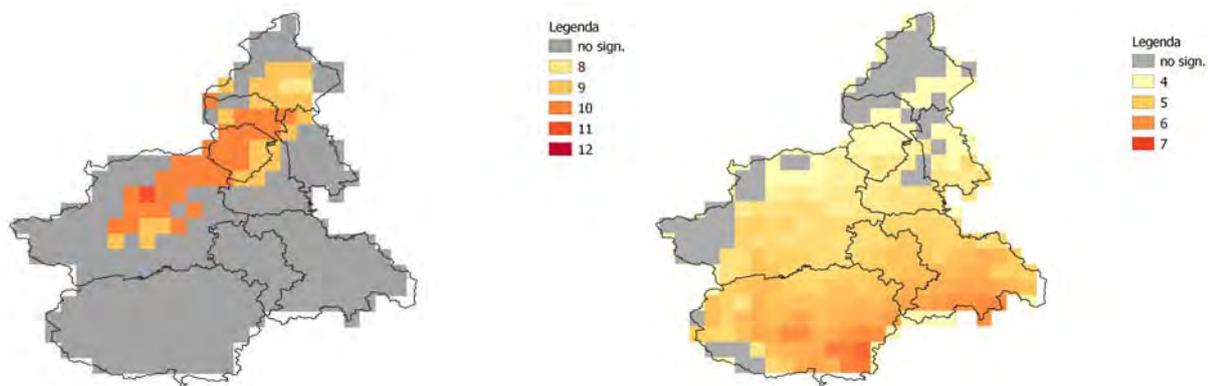


Figura 44 - Andamento del numero di giorni in cui lo zero termico è superiore ai 4000 m (a sinistra) e ai 4500 m (a destra), in numero di giorni ogni 10 anni.

3 IL CLIMA REGIONALE – EFFETTI

3.1 SICCATÀ

3.1.1 Numero massimo di giorni consecutivi senza pioggia

Al fine di valutare le condizioni di siccità, e in particolare dell'episodio siccitoso più significativo dell'anno, è stato calcolato, per ogni punto griglia dell'analisi, il numero massimo di giorni consecutivi con assenza di precipitazione, per ogni anno dal 1958 al 2019 (Figura 45).

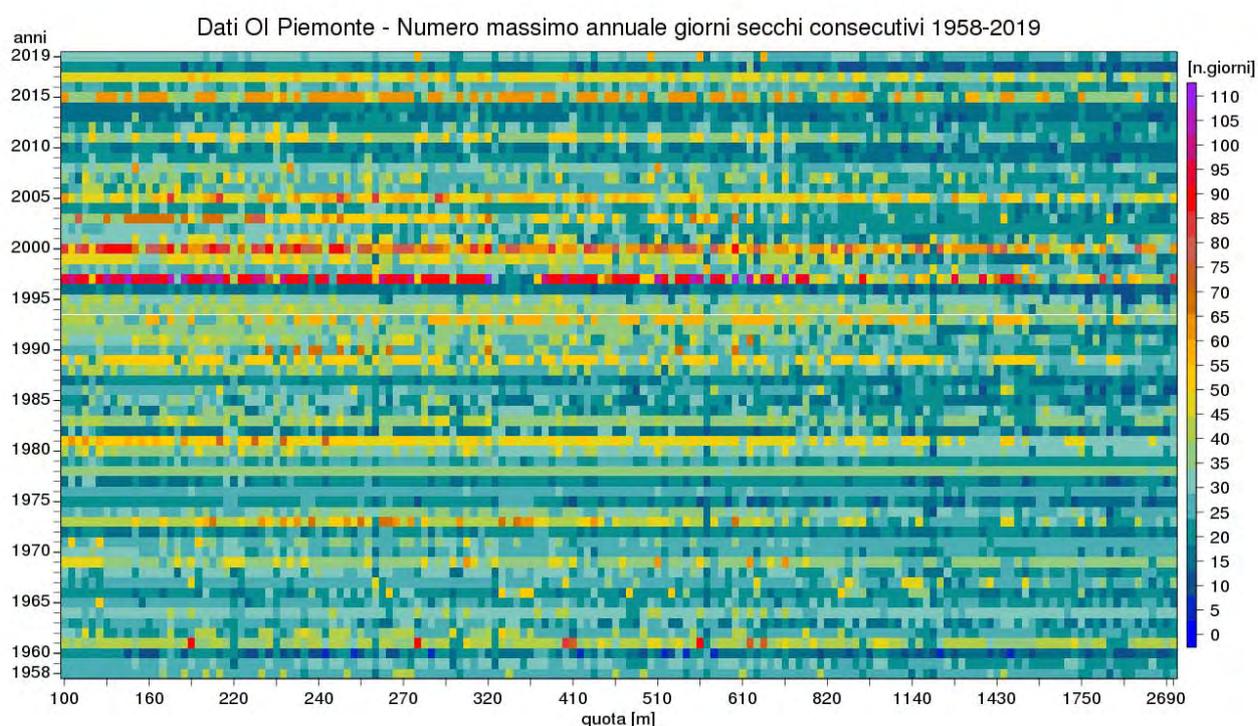


Figura 45 - Numero massimo di giorni consecutivi senza precipitazione, per ogni anno (ordinate) dal 1958 al 2019 e per ogni punto di griglia dell'analisi ordinati secondo la quota, dalle più basse alle più elevate (ascisse).

Dal grafico si evince una tendenza all'aumento della lunghezza dei periodi secchi negli anni, in particolare per le quote più basse. Si evidenziano gli anni molto siccitosi da quelli più piovosi, sembra stazionaria la variabilità inter-annuale (anni molto piovosi in un clima più secco o dove la precipitazione è più concentrata).

Gli anni più siccitosi nel nuovo millennio coinvolgono anche le zone montuose mentre nel secolo scorso si evidenziava la siccità in particolare in pianura.

La rappresentazione su mappa del medesimo indicatore per il periodo di riferimento 1981-2010 (Figura 46) fornisce una visione delle aree maggiormente esposte a periodi siccitosi lunghi, identificata con la pianura compresa tra Torinese, Astigiano e Vercellese. Da osservare comunque che le differenze per le zone di pianura sono limitate, la differenza più importante si osserva tra pianura/montagna.

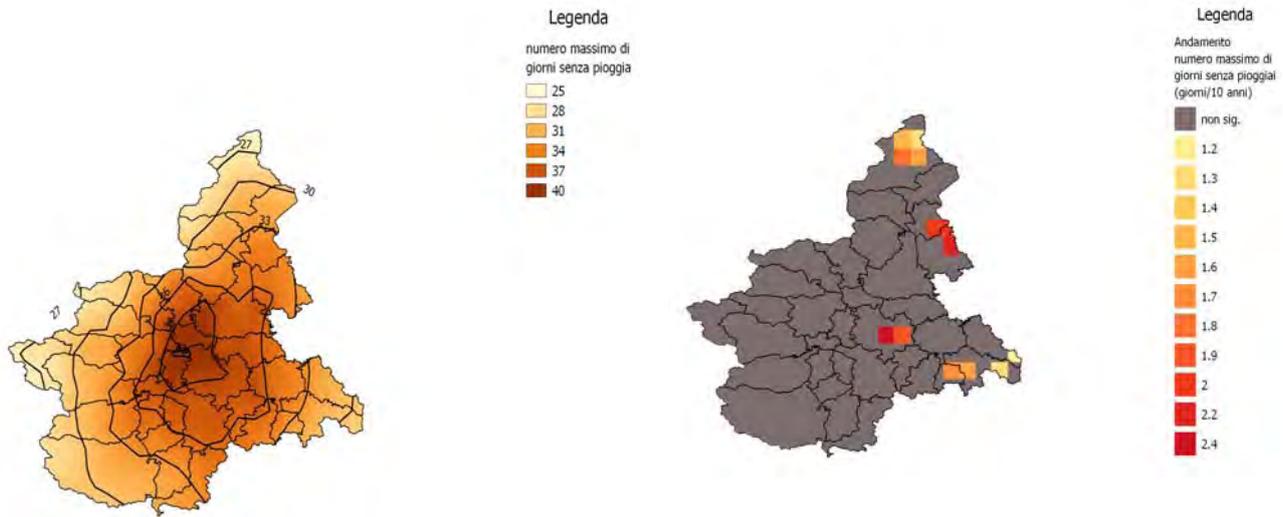


Figura 46 - Numero massimo medio di giorni consecutivi senza precipitazione del periodo 1981-2010 (a sinistra) e relativo trend sul periodo 1958-2010 (a destra).

Non si evince un trend significativo tranne che in alcuni punti isolati della regione, con una tendenza all'aumento.

3.1.2 Evapotraspirazione potenziale

Uno degli indici utilizzati per la valutazione delle condizioni di aridità agricola è l'evapotraspirazione potenziale, che rappresenta la quantità di evapotraspirazione senza tener conto del limite di acqua contenuta nel suolo. Rappresenta, quindi, la massima quantità di acqua che può essere trasformata in vapore dal sistema suolo/vegetazione.

L'evapotraspirazione è definita come la quantità di acqua che viene trasferita dal suolo all'atmosfera attraverso i fenomeni di evaporazione dell'acqua dal suolo insieme a quelli di traspirazione da parte della vegetazione.

Tale quantità è stata calcolata attraverso il metodo di *Thornthwaite*, a partire dai dati su griglia regolare della temperatura media mensile e della latitudine (nel calcolo quest'ultima entra per la stima del numero medio mensile di ore di insolazione giornaliera).

La mappa dell'evapotraspirazione potenziale presenta valori che dipendono sostanzialmente dalla quota, come presentato nella Figura 47 (a sinistra), con valori che in pianura risultano circa doppi rispetto alle quote più elevate. Interessante è la sua tendenza (Figura 47, a destra), con valori positivi che raggiungono i 40 mm ogni 10 anni. I valori più elevati si trovano sulla fascia prealpina, dove arrivano a 35-40 mm ogni 10 anni, pari a circa il 5-10 %.

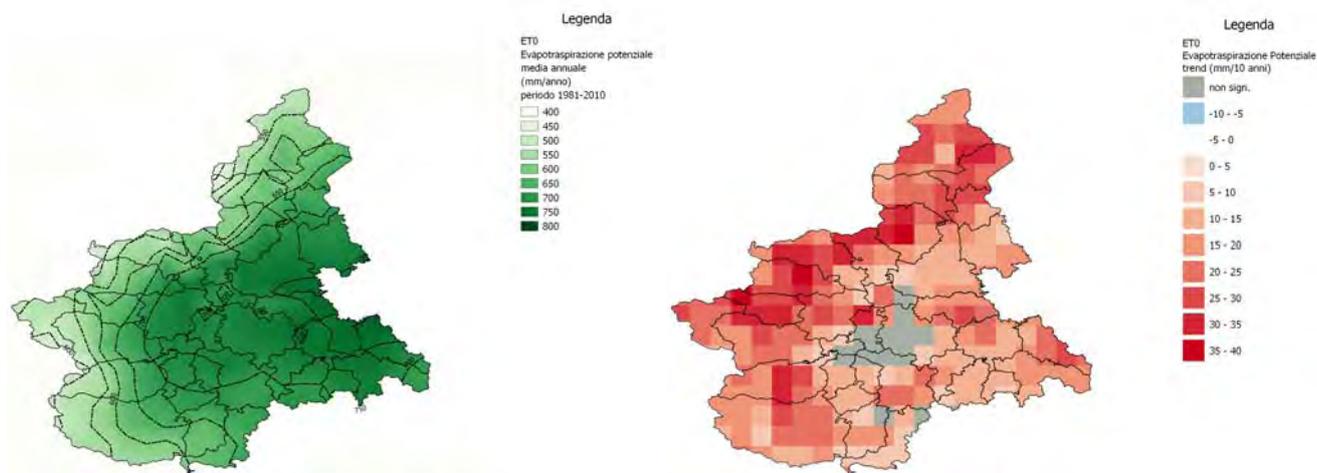


Figura 47 - Evapotraspirazione potenziale media del periodo 1981-2010 (a sinistra) e relativo trend (mm in 10 anni) sul periodo 1958-2010 (a destra).

3.1.3 SPEI *standard precipitation evapotranspiration index*

L'indice SPEI (*Standardized Precipitation Evapotranspiration Index*) rappresenta un ulteriore indice per monitorare la siccità che considera, oltre alla precipitazione, anche l'evapotraspirazione potenziale di riferimento (ET₀) come secondo elemento del bilancio idrico. In questo modo l'indice SPEI include indirettamente anche l'impatto dell'incremento della temperatura sulla richiesta di acqua per l'irrigazione. L'indice SPEI rappresenta così la distribuzione normale standard del bilancio idrico: trattandosi di un indice normalizzato, che viene rappresentato in termini di classi di siccità. Valori negativi esprimono condizioni siccitose (fino a -0,8 la siccità è leggera, fino a -1,3 moderata, fino a -1,6 importante, fino a -1,9 severa e superiore a 2 estrema) mentre valori positivi esprimono il surplus di precipitazione (> 2 estremamente umido, tra 1,6 e 1,99 severamente umido, tra 1,3 e 1,59 molto umido, tra 0,8 e 1,29 moderatamente umido, tra 0,5 e 0,79 leggermente umido).

L'indice può essere aggregato su scale di tempi diverse (1-3-6-12-24 e 40 mesi), ognuna rappresentativa di una tipologia di siccità che può influenzare diversi comparti.

A scopo di indagine climatica è stato scelto di valutare l'andamento dell'indice SPEI a 48 mesi.

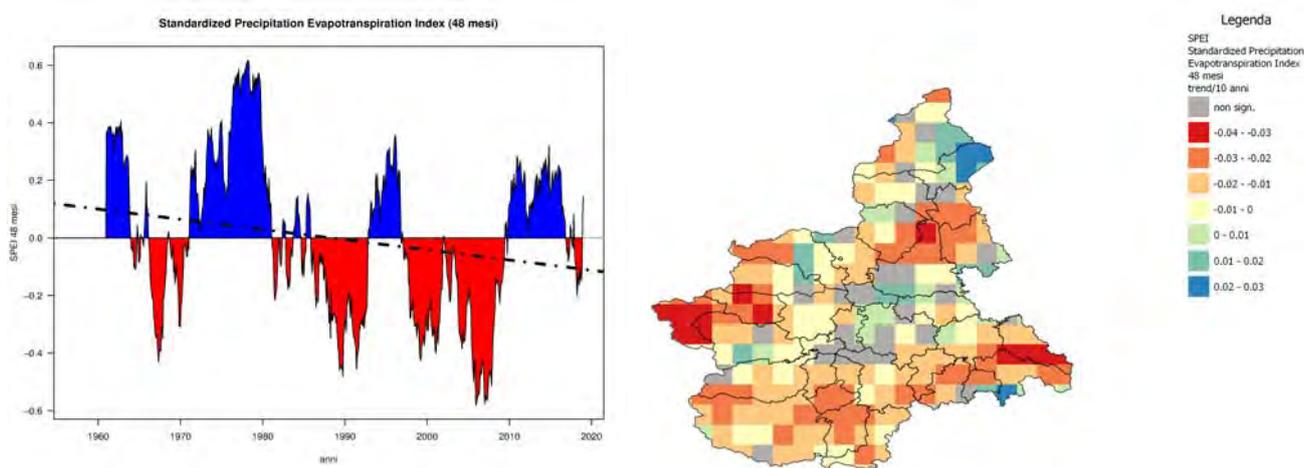


Figura 48 - Tendenza dello SPEI *standard precipitation evapotranspiration index* su 48 mesi nel periodo 1958-2018 complessivo su tutta la regione (a sinistra) e sulla mappa (a destra), espresso come variazione del n. di deviazioni standard in 10 anni).

Dalla Figura 48, a sinistra, dall'andamento dello SPEI a livello regionale, si evidenziano i periodi particolarmente siccitosi (ad esempio dagli anni 2000 al 2010) o più umidi (dal 1970 al 1980), con una tendenza alla diminuzione pari a circa -0,03539 ogni 10 anni. La Figura 48, a destra, evidenzia la distribuzione spaziale del trend dell'indicatore, con le zone come la Valle di Susa, il Biellese e l'Alessandrino dove la diminuzione risulta maggiore.

3.2 ANALISI DELLA FRAZIONE NEVE/PRECIPITAZIONE TOTALE

Una delle analisi importanti da fare per una regione come il Piemonte, il cui territorio è per il 43% montuoso, è quello del rapporto fra neve e pioggia della precipitazione. Questo indicatore fornisce delle stime sul potenziale nevoso della regione come percentuale della precipitazione totale e la sua tendenza può essere considerata significativa anche quando non vi è una tendenza sulle precipitazioni. Inoltre, questo indicatore può essere riprodotto per quanto riguarda gli scenari futuri con un elevato grado di affidabilità.

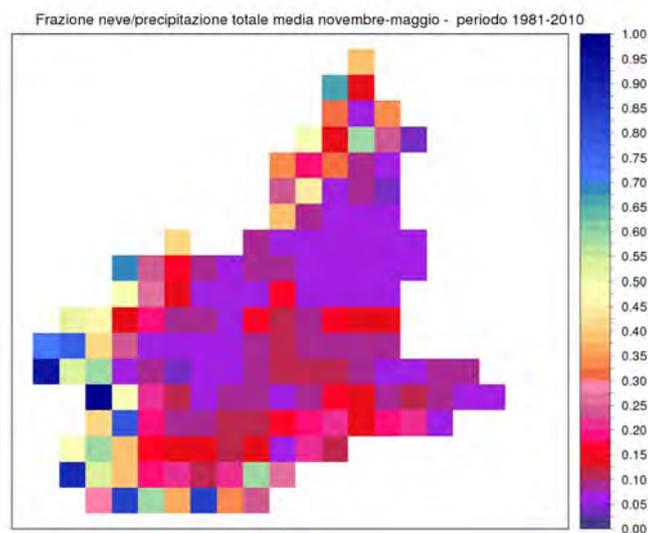


Figura 49 - Valore del rapporto tra la neve (stimata come precipitazione con temperatura al di sotto dei 2 °C) e la precipitazione totale cumulata nei mesi da novembre a maggio, mediata sul periodo 1981-2010.

Dalla Figura 49 si evince una ovvia dipendenza orografica dell'indicatore. Interessante osservare come sul settore alpino più occidentale, tale rapporto sia per alcuni pixel più elevato che su settore settentrionale, dove probabilmente il contributo liquido della precipitazione è importante.

Per quanto riguarda la tendenza nel tempo della frazione neve/precipitazione totale, dalla Figura 50 si evince come questa sia pressoché negativa su tutta la regione, con valori superiori sulle zone montuose occidentali e sudoccidentali, dove arriva al 7% ogni 10 anni. Considerando i soli valori significativi dal punto di vista statistico, le medesime aree sono le più differenti della riduzione della componente nevosa della precipitazione, rispetto a quelle settentrionali.

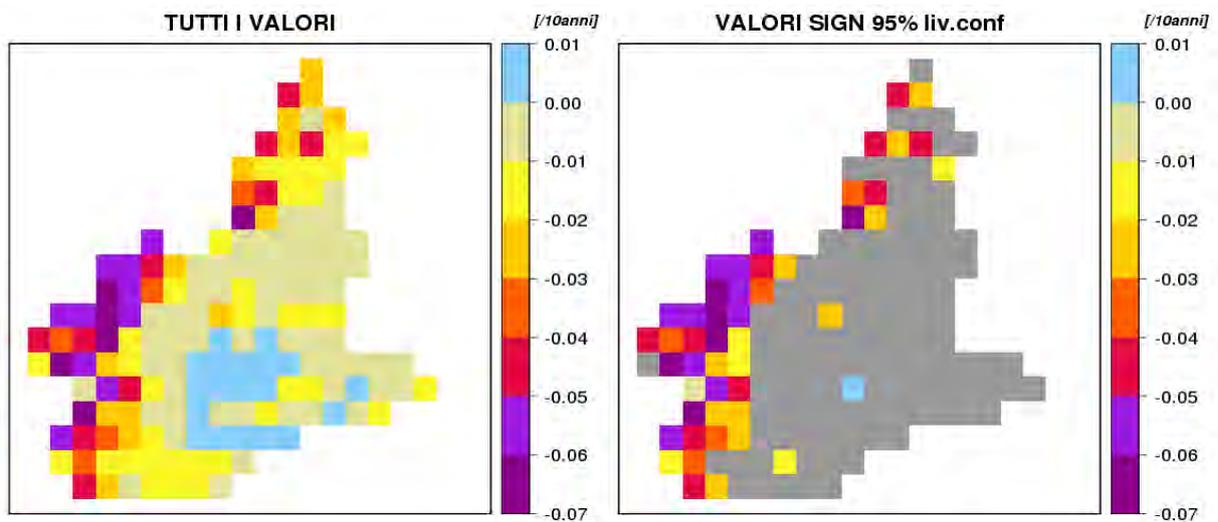


Figura 50 - Tendenza ogni 10 anni del rapporto neve/precipitazione totale cumulata nel periodo novembre-maggio, calcolata negli anni dal 1958 al 2018. A sinistra vengono presentati i valori per tutta la regione, a destra solo quelli dove vi è significatività statistica.

3.3 GRADI GIORNO DI RISCALDAMENTO E RAFFRESCAMENTO

Per valutare come la variazione di temperatura influisce sulle necessità di riscaldamento invernale e di raffrescamento durante l'estate, sono stati calcolati i "gradi giorno di riscaldamento" (HDD *Heating Degree Days*) e i "gradi giorno di raffrescamento" (CDD *Cooling Degree Days*) nel periodo di riferimento 1980-2010 e la loro variazione negli ultimi 60 anni. I CDD sono stati valutati poiché considerati nel *Piano Nazionale di Adattamento al Cambiamento Climatico*, quali indicatori di un aumento delle necessità di condizionamento. In realtà, esistono altri indicatori più rappresentativi del picco massimo di richiesta energetica giornaliera per il raffreddamento, che, dal punto di vista energetico, è il problema concreto che potrebbe verificarsi con gli estremi di temperatura, essendo la criticità derivante una criticità di tipo impulsiva, cioè istantanea. Poiché il calcolo di questi indici include anche altre variabili oltre a temperatura e precipitazione, abbiamo limitato la valutazione alle aree urbane capoluogo. In queste aree abbiamo pertanto affiancato ai CDD altri indicatori che meglio rappresentano le condizioni di disagio fisico per situazioni di caldo estremo.

I gradi giorno di riscaldamento sono un parametro empirico utilizzato per il calcolo del fabbisogno termico di un edificio e rappresentano la somma delle differenze tra la temperatura dell'ambiente riscaldato (convenzionalmente 20 °C) e la temperatura media esterna; la differenza viene conteggiata solo se positiva. I gradi giorno di riscaldamento sono stati calcolati nel periodo novembre-maggio con una soglia di 20 °C. Il D.P.R. 412/93 e s.m.i. definisce le fasce climatiche in cui viene suddiviso il territorio italiano, mentre il D.P.R. 74/2013 definisce le tempistiche di accensione degli impianti di riscaldamento, secondo la tabella sottostante.

Fasce climatiche	D.P.R. 412/93 e s.m.i.	D.P.R. 74/2013
A	gradi giorno tra 0 - 600	ore 6 giornaliere dal 1° dicembre al 15 marzo;
B	gradi giorno tra 600 - 900	ore 8 giornaliere dal 1° dicembre al 31 marzo
C	gradi giorno tra 900 - 1400	ore 10 giornaliere dal 15 novembre al 31 marzo
D	gradi giorno tra 1400 - 2100	ore 12 giornaliere dal 1° novembre al 15 aprile
E	gradi giorno tra 2100 - 3000	ore 14 giornaliere dal 15 ottobre al 15 aprile
F	gradi giorno maggiore di 3000	nessuna limitazione

I gradi giorno di raffrescamento CDD sono calcolati in modo analogo, come somma delle differenze tra la temperatura media esterna e la temperatura di comfort climatico (non superiore ai 21 °C); la differenza viene conteggiata solo se la temperatura media esterna supera di 24 °C. I gradi giorno di raffrescamento sono calcolati nel periodo giugno-settembre. Come anticipato, essendo basati sulla temperatura media, non sono rappresentativi delle condizioni estreme giornaliere che corrispondono ai picchi massimi di richiesta energetica.

Per quanto riguarda i gradi giorno di riscaldamento (Figura 51), si evince che l'area regionale si trova esclusivamente nelle fasce climatiche E ed F. In quest'ultima si trova tutta la parte montana e gran parte della zona prealpina. La tendenza è ovunque alla diminuzione con una tendenza importante, che arriva a 200 °C ogni 10 anni. Ancora una volta i valori maggiori si hanno nelle zone prealpine delle Alpi occidentali e nordoccidentali. Un andamento tendenziale potrebbe portare gran parte della regione alla modifica della fascia climatica nei prossimi 10 anni.

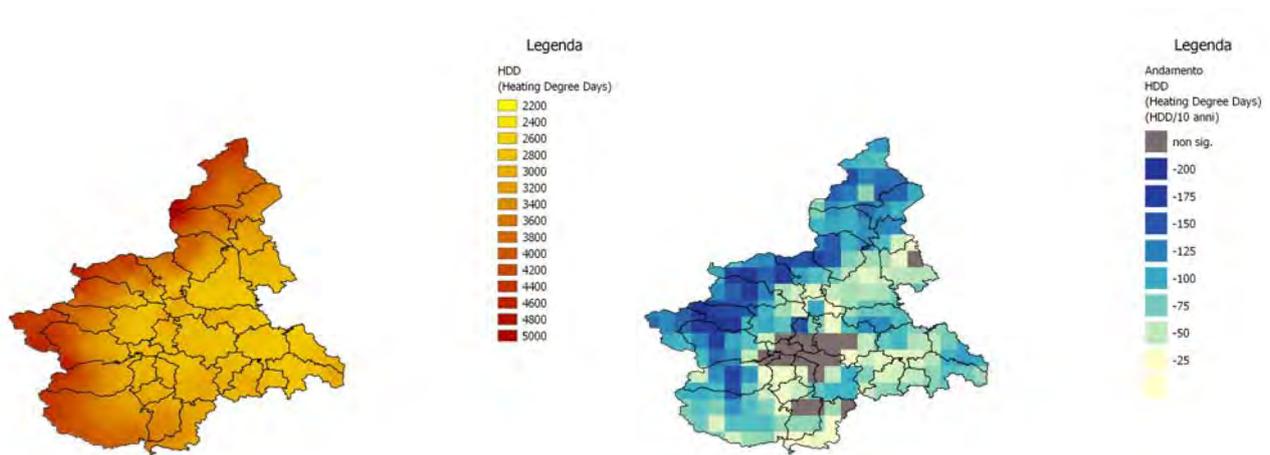


Figura 51 - Distribuzione dei gradi giorno di riscaldamento del periodo di riferimento 1981-2010 (a sinistra) e della tendenza dei gradi giorno di riscaldamento (a destra) ogni 10 anni. In grigio i valori non significativi dal punto di vista statistico.

Per quanto riguarda i gradi giorno di raffrescamento estivo, pur non esistendo un riferimento normativo, si osserva dalla Figura 52 la variazione esistente tra pianura e montagna, limitando alla pianura le esigenze di raffrescamento estivo. In alcune zone della pianura (es. Alessandrino) le esigenze di condizionamento sono più elevate che in altre aree, come, ad esempio, al nord del Po o dove vi sono presenti zone collinari.

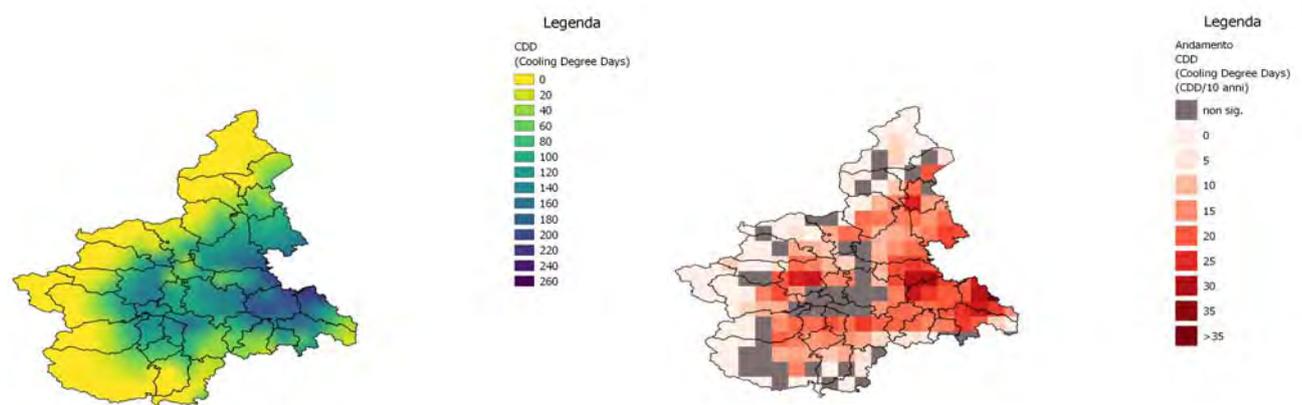


Figura 52 - Distribuzione dei gradi giorno di raffrescamento del periodo di riferimento 1981-2010 (a sinistra) e della tendenza dei gradi giorno di raffrescamento (a destra) ogni 10 anni. In grigio i valori non significativi dal punto di vista statistico.

Le tendenze sono ovunque all'aumento con valori che superano il 14-15 % ogni 10 anni in corrispondenza delle zone di pianura dove la necessità di condizionamento è più elevata, come l'Alessandrino. Anche il Torinese vede un incremento rilevante dell'indice.

3.4 INDICATORI PER IL COMPARTO AGRICOLTURA

Sebbene una analisi dell'impatto sull'agricoltura richiederebbe approfondimenti specifici, alcuni indicatori sono proposti in questo paragrafo per fornire una prima rapida vista sui cambiamenti in atto di parametri, derivati solo da variabili meteorologiche, che determinano la localizzazione degli areali di coltivazione e le relative tecniche agronomiche e hanno effetti sulla produttività agricola. Tali indicatori sono semplici ma sufficientemente robusti da poter essere applicati anche agli scenari futuri.

Sono stati analizzati i "gradi giorno di sviluppo della coltura", un indicatore sulle gelate e, un'analisi più complessa sulla viticoltura, in particolare dell'area vocata a Nebbiolo.

3.4.1 Gradi giorno di sviluppo della coltura

Un indicatore basato su dati meteorologici, in particolare sulla temperatura, è i "gradi giorno di sviluppo della coltura", definito come la somma degli scostamenti della temperatura media da un valore soglia, che rappresenta il valore minimo della temperatura che deve essere superato per iniziare lo sviluppo delle radici e delle foglie ed è dipendente dal tipo di coltura considerata. Nel caso presentato, il valore soglia (o valore cardinale) è stato fissato a 10 °C, che corrisponde a quello del mais e del riso.

Dalla Figura 53 si vede che l'intera pianura, ad eccezione di alcune aree collinari del Torinese e del Monferrato, presenta dei valori di somma termica favorevole a tutte le varietà di mais, sia precoci sia tardive. L'area a ridosso della fascia prealpina presenta una maggiore predisposizione a ibridi precoci.

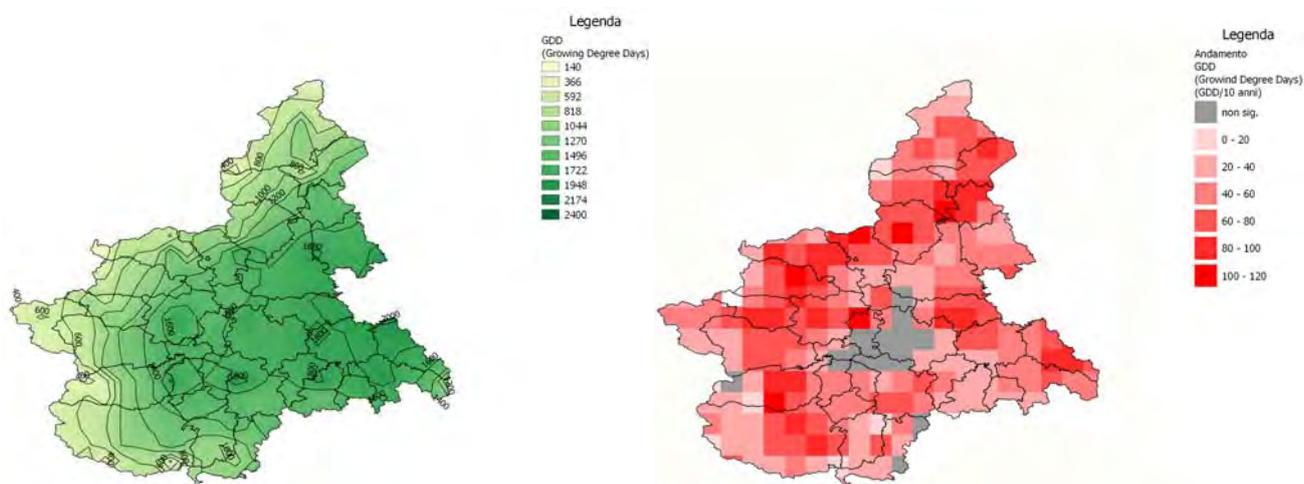


Figura 53 - Valore medio della somma termica per un valore della temperatura cardinale di 10 °C, sul periodo 1981-2010 (sinistra) e tendenza ogni 10 anni dal 1958 al 2018 (a destra)

Se osserviamo la variazione della somma termica sulla regione (Figura 53, a destra) vediamo che è sempre positiva ad esclusione di alcuni punti isolati dove non risulta statisticamente significativa, e che tale tendenza è maggiore lungo tutta la fascia prealpina. In questa zona, la variazione ogni 10 anni è di poco inferiore al 10%.

3.4.2 Lunghezza e data di inizio della *growing season* termica

La lunghezza della *growing season* termica (*Thermal Growing Season*) è un indicatore standard per valutare l'influenza della temperatura sulle culture. È definito come l'intervallo di tempo che intercorre tra la data in cui si ha la temperatura superiore ai 5 °C per almeno sei giorni consecutivi e la data in cui la temperatura è minore di 5 °C per 5 giorni di file nei 6 mesi successivi. Descrive il numero di giorni in cui la vegetazione decidua è attiva e non si verificano gelate. Anche la data di inizio della *growing season* è un indicatore importante per differenziare le caratteristiche di vocazionalità del territorio.

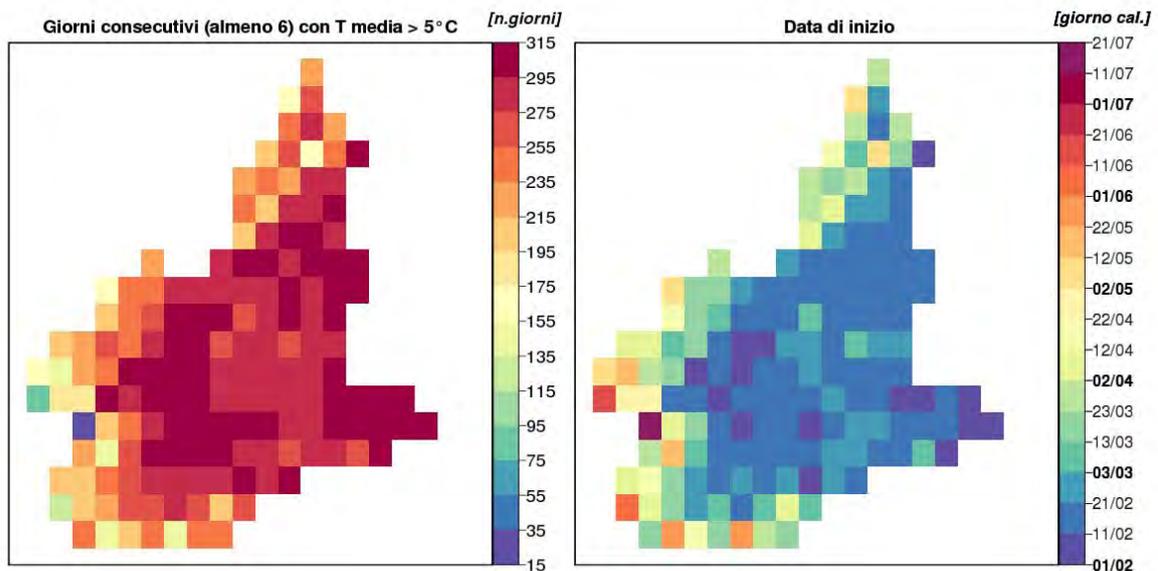


Figura 54 - Valore della *growing season* termica media del periodo 1981-2010 (a sinistra) e data di inizio della *growing season* (a destra).

Nella Figura 54 è mostrato il valore medio della durata della *growing season* e la data di inizio del periodo di riferimento scelto.

Interessante è individuare i cambiamenti di questi indicatori, rappresentati nelle figure seguenti. In particolare, in Figura 55 è rappresentato il trend della lunghezza della *growing season* e in Figura 56 il trend della data di inizio della *growing season*. Il primo mostra una tendenza positiva ovunque è significativa, con valori decisamente importanti sull'intera fascia prealpina, sulle aree collinari del Torinese e sulla zona appenninica di Cuneese e Astigiano.

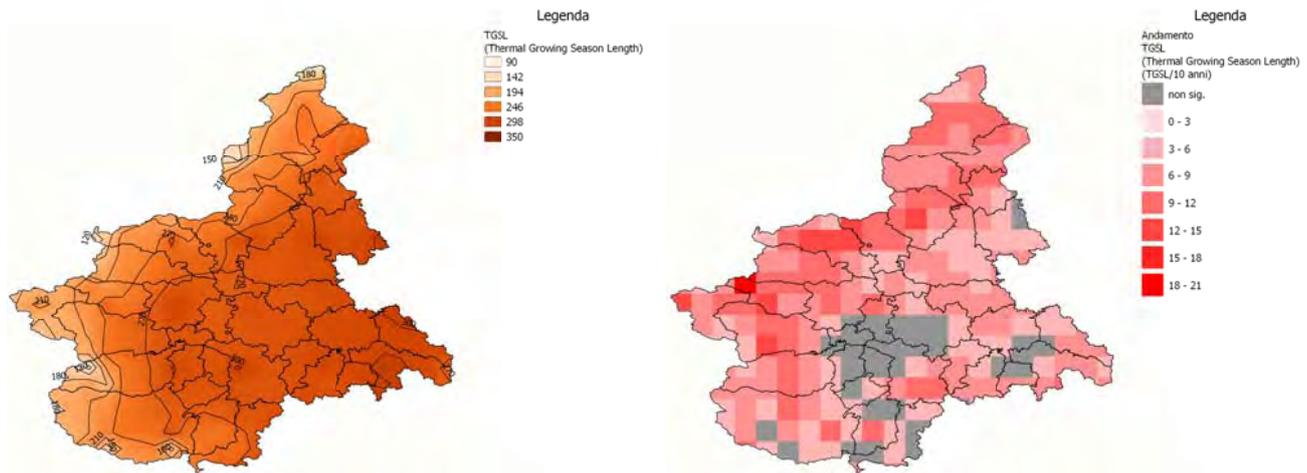


Figura 55 - Lunghezza della *growing season* termica media nel periodo 1981-2010 (a sinistra) e sua variazione ogni 10 anni (a destra) valutata sul periodo 1958-2018. In grigio i pixel dove il valore è non significativo dal punto di vista statistico.

La data di inizio della *growing season* (Figura 56) mostra sempre un anticipo, mediamente intorno ai 6-7 giorni ogni 10 anni. Anche in questo caso la fascia prealpina è quella maggiormente interessata, ma anche quella delle zone montane più interne evidenzia questa tendenza, coerentemente con quanto si osserva nell'anticipo della fusione primaverile.

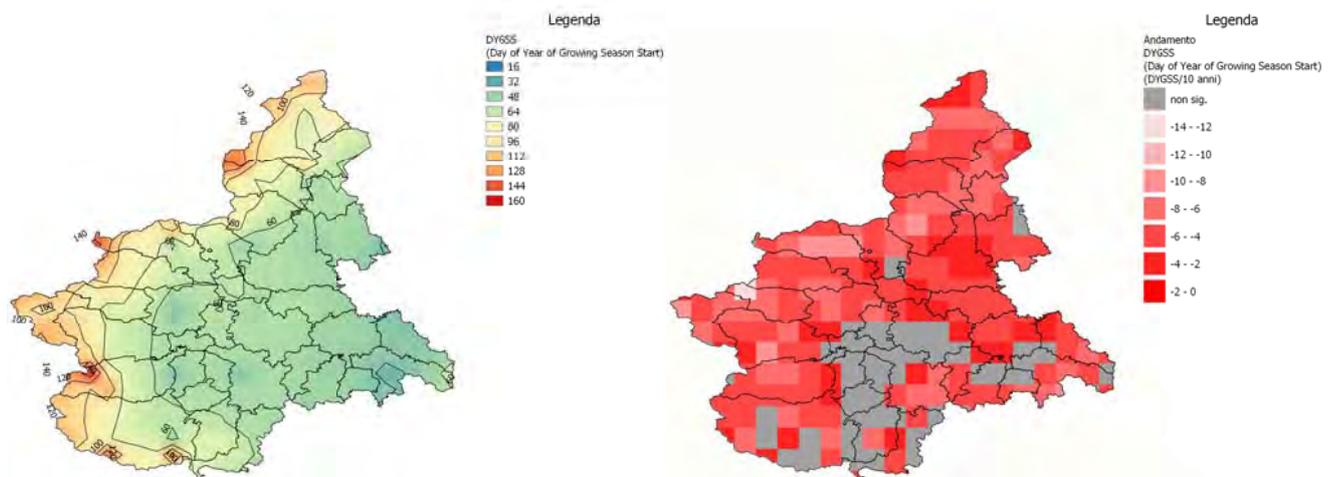


Figura 56 - Data di inizio della *growing season* media del periodo 1981-2010 espressa come numero di giorni dall'inizio dell'anno (a sinistra) e tendenza ogni 10 anni (a destra) sulle periodo 1958-2018. In grigio i pixel dove il valore è non significativo dal punto di vista statistico.

3.4.3 Lunghezza della stagione con assenza di gelo

Un altro indicatore utile per le pratiche agricole è rappresentato dalla lunghezza della stagione in cui le temperature non sono mai sotto gli 0 °C.

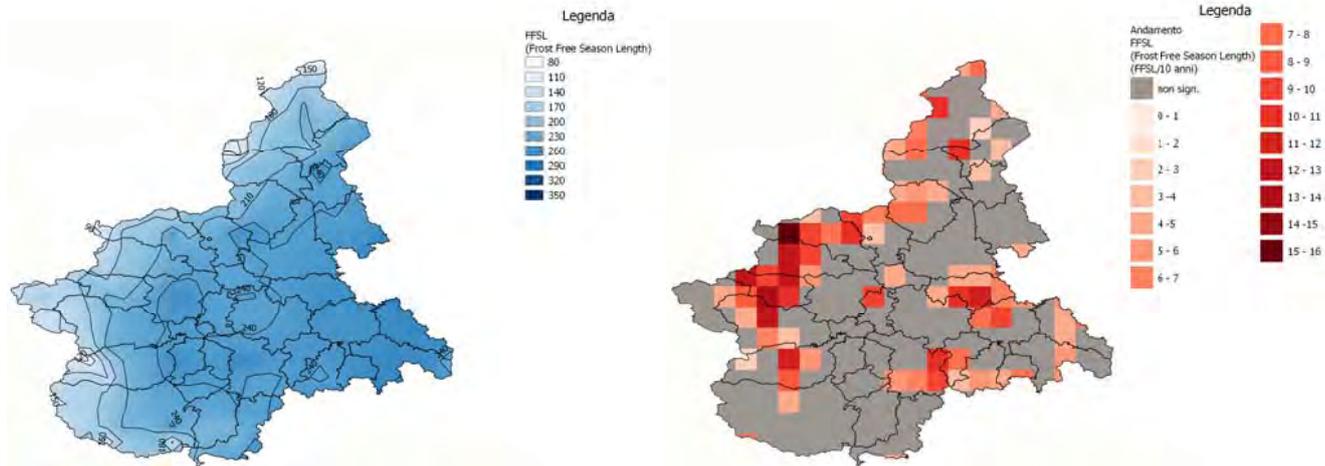


Figura 57 - Valore medio della lunghezza del periodo annuale in cui la temperatura è sempre positiva sul periodo 1981-2010 (sinistra) e tendenza ogni 10 anni dal 1958 al 2018 (a destra). In grigio i pixel dove il valore è non significativo dal punto di vista statistico.

Dalla Figura 57 si osserva come la distribuzione della lunghezza del periodo senza gelo dipenda essenzialmente dalla quota (a sinistra), mentre la sua variazione (a destra) risulti sempre positiva quando è significativa, con valori più elevati lungo la fascia prealpina nordoccidentale. Questo indicatore, basato di fatto sulla temperatura minima, risente della maggiore variabilità che la caratterizza, soprattutto nel trend.

3.4.4 Data di inizio della stagione con assenza di gelo

Se si evince una tendenza all'incremento della lunghezza della stagione con assenza di gelo, interessante è vedere come varia la data di inizio di tale periodo.

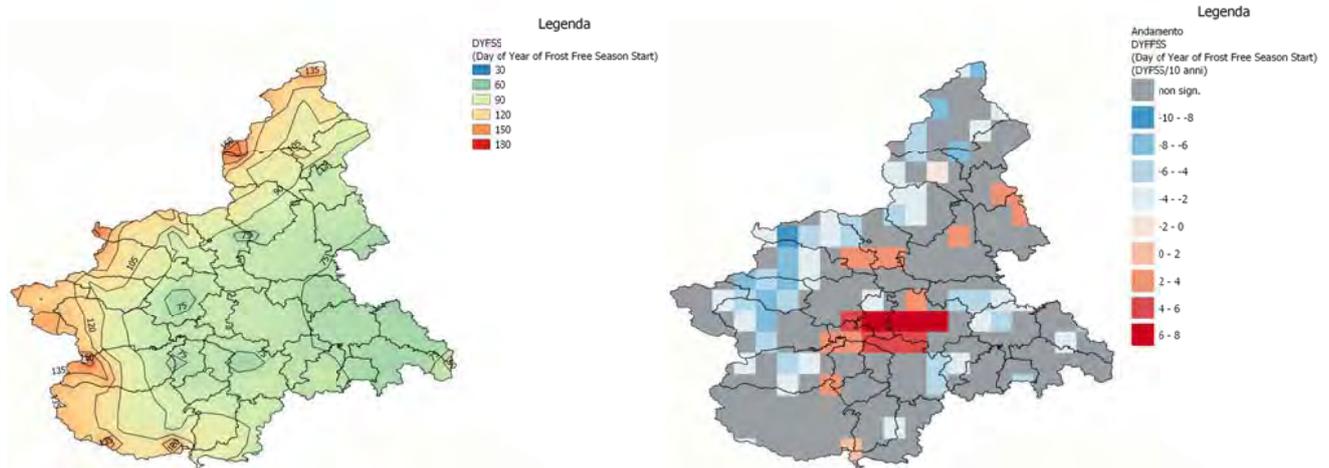


Figura 58 - Valore medio del numero di giorni dall'inizio dell'anno in cui comincia il periodo in cui la temperatura è sempre positiva sul periodo 1981-2010 (sinistra) e tendenza ogni 10 anni dal 1958 al 2018 (a destra)

Si osserva, dalla Figura 58 a sinistra, come anche in questo caso la data di inizio del periodo "caldo" sia dipendente dalla quota e, in parte, dalla latitudine. La data di inizio, a destra, tende a diminuire, quindi il periodo "caldo" ad anticipare, lungo tutta la fascia prealpina, ad eccezione della zona dell'Astigiano e del basso Torinese, dove tende ad aumentare di alcuni giorni in 10 anni, in accordo con l'andamento della temperatura minima, che vede una lieve diminuzione della tendenza.

3.4.5 Indici vitivinicoli

È stata condotta, in collaborazione con l'Università degli Studi di Torino, dipartimento di Economia Ambientale, un'applicazione sull'uso dei dati climatici per la stima della vocazionalità del territorio piemontese per la coltivazione di vitigni al fine della produzione di vini pregiati.

Infatti, è noto come il cambiamento climatico stia influenzando la crescita dei vitigni, nonché la produzione di vino. Alcune variabili climatiche, su tutte la temperatura e la precipitazione, influiscono sulla fenologia e la fisiologia delle piante, producendo cambiamenti nelle composizioni biochimiche degli acini e, negli anni, gli agricoltori hanno adottato delle tecniche colturali specifiche per meglio contrastare tali cambiamenti. La ricerca condotta vuole essere un supporto alle politiche di adattamento che regolano i vitigni di pregio piemontesi.

Utilizzando, quindi, i dati storici di temperatura e precipitazione, è stato costruito un indice per il Nebbiolo utilizzando una combinazione di indici bioclimatici comunemente usati in letteratura per l'individuazione delle aree a maggiore vocazione per la produzione di vino.

I bioindici dai quali è partita la ricerca sono:

- 1 *Hugling index*: analizza la richiesta energetica durante la fase di crescita, prendendo in considerazione le somme termiche attive durante il periodo giornaliero, escludendo le temperature notturne che non hanno effetto sull'attività fotosintetica;
- 2 *Dryness index*: descrive il grado di siccità agricola durante la stagione di crescita stimato a partire dal bilancio idrico;
- 3 *Hydrothermal index*: tiene conto della possibile occorrenza di malattie legate ad un clima caldo e umido, quindi stima non la secchezza, ma l'eccesso di umidità;
- 4 *Cool night index*: calcolato come la media delle temperature minime di settembre (ultimo mese di maturazione), stima le condizioni notturne di un vitigno in maturazione.

Mediante una combinazione e una calibrazione opportuna di tali indici è stato sviluppato un indice di zonizzazione per il nebbiolo che sarà utile in una successiva analisi su scenari futuri per la valutazione dell'idoneità del territorio piemontese soggetto a DOC e DOCG nella prospettiva del clima futuro.

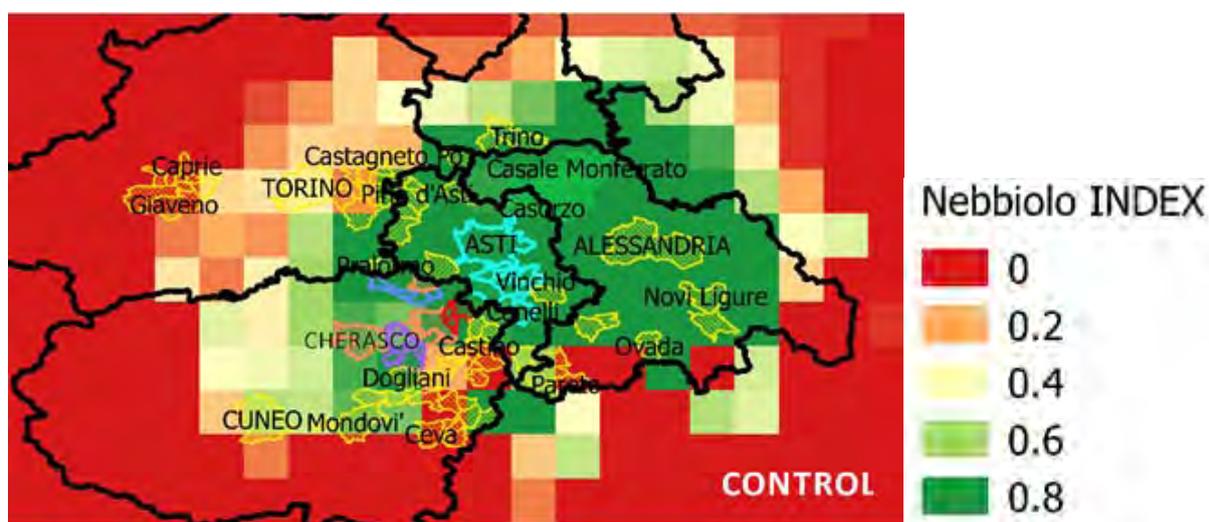


Figura 59 - Indice di zonizzazione per il Nebbiolo per l'individuazione delle aree a maggiore vocazione per la produzione di vino
Nebbiolo

Inoltre, sono stati analizzati alcuni dati storici delle componenti biochimiche di tre DOCG Nebbiolo (Barolo, Barbaresco e Roero): la concentrazione zuccherina media tra il 10 e il 20 settembre e il giorno ottimale di raccolta DOYm. Tali dati sono stati reperiti attraverso la ditta Enocontrol S.c.a.r.l. di Alba, specializzata nell'analisi chimico fisica e microbiologica in collaborazione con il Consorzio di tutela Barolo Barbaresco Alba Langhe e Dogliani.

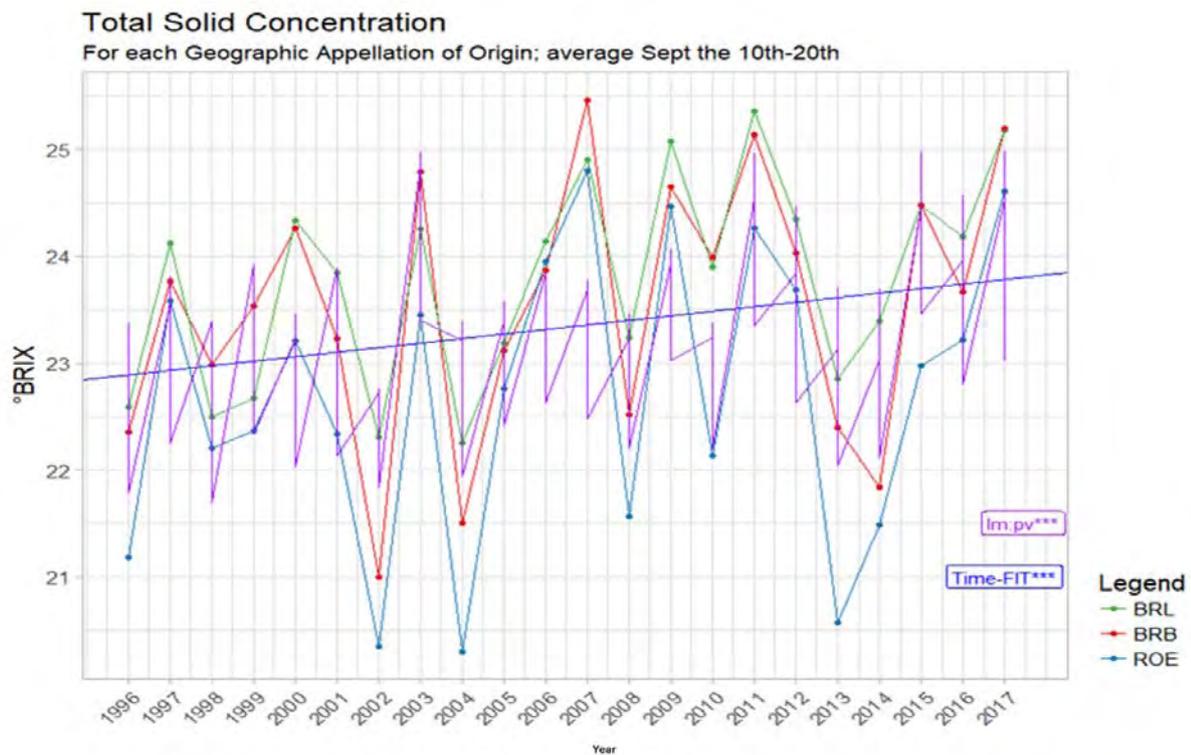


Figura 60 - Concentrazione zuccherina media in gradi BRIX tra il 10 e il 20 settembre del periodo 1996-2017.

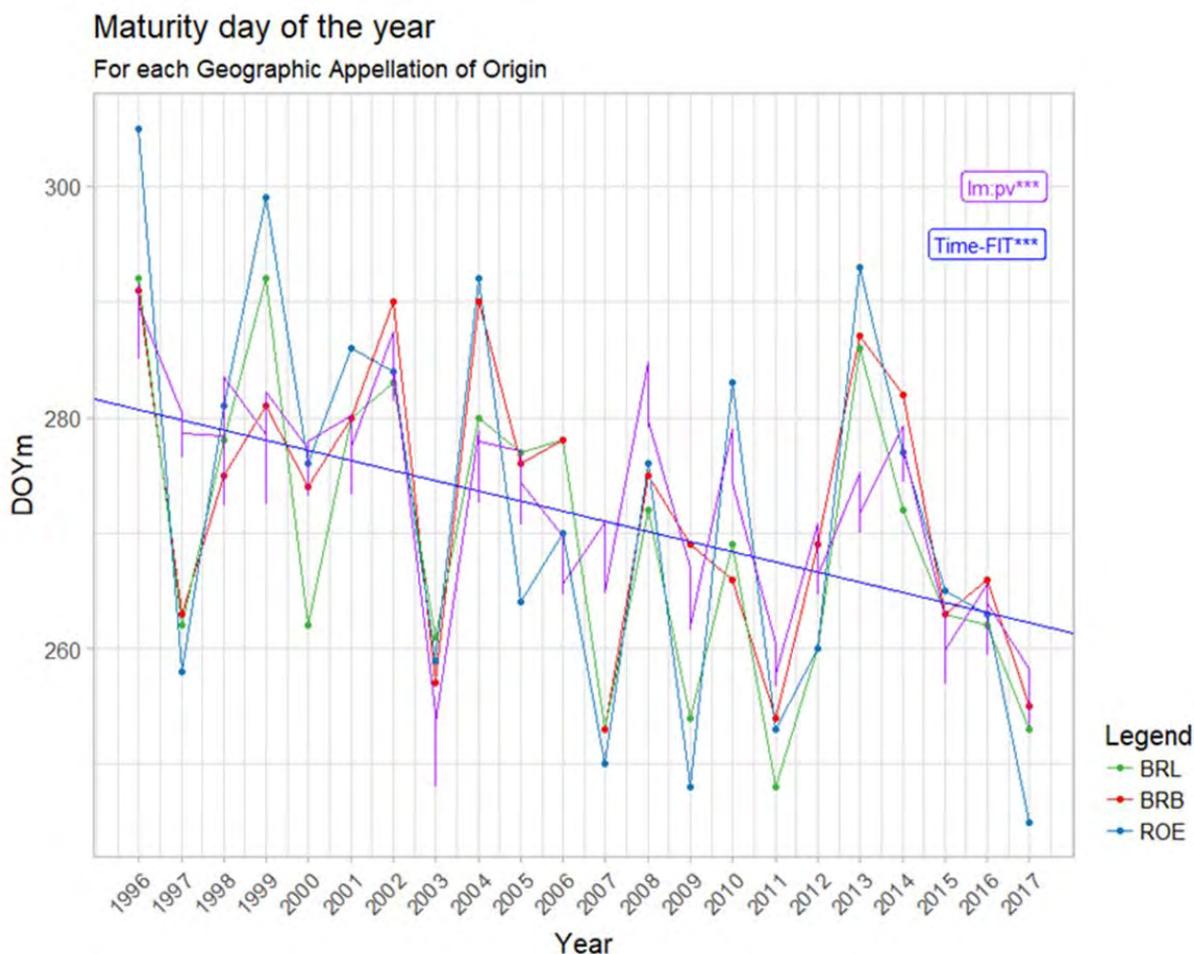


Figura 61 - Data ottimale del periodo di vendemmia (giorno ottimale di raccolta DOYm) per Barolo, Barbaresco e Roero dal 1997 al 2017

Dall'analisi risulta un trend positivo nella concentrazione zuccherina media tra il 10 e il 20 settembre, che ha registrato un trend significativo con un aumento totale di 1,3 °BRIX (Il grado BRIX (°BRIX) corrisponde alla percentuale di zucchero del mosto) negli ultimi 22 anni, mentre il giorno ottimale di raccolta DOYm ha registrato un anticipo significativo di un giorno all'anno, seppure si osserva una forte variabilità annuale (Figura 61).

Queste tendenze possono avere una ripercussione sulla qualità dei vini prodotti. Tale metodologia di analisi verrà estesa nello studio degli scenari futuri.

3.5 PORTATE (ANDAMENTO IN ALCUNE SEZIONI)

Nell'ambito del recente aggiornamento del *Piano di Tutela delle Acque* (PTA) regionale, Arpa Piemonte ha condotto un'analisi dei deflussi superficiali al fine di contribuire alla caratterizzazione idrologica del territorio piemontese.

Nello specifico sono stati analizzati i dati di portata registrati nelle stazioni idrometriche della rete regionale di monitoraggio ed è stata calcolata la portata media mensile ed annuale riferita alla serie storica disponibile per ciascuna stazione.

Per alcune sezioni rappresentative dei corsi d'acqua principali, viene riportato, nel seguito, il grafico delle portate medie mensili (i valori sono calcolati sul periodo di funzionamento delle stazioni compreso il 2016) (Figura 62).

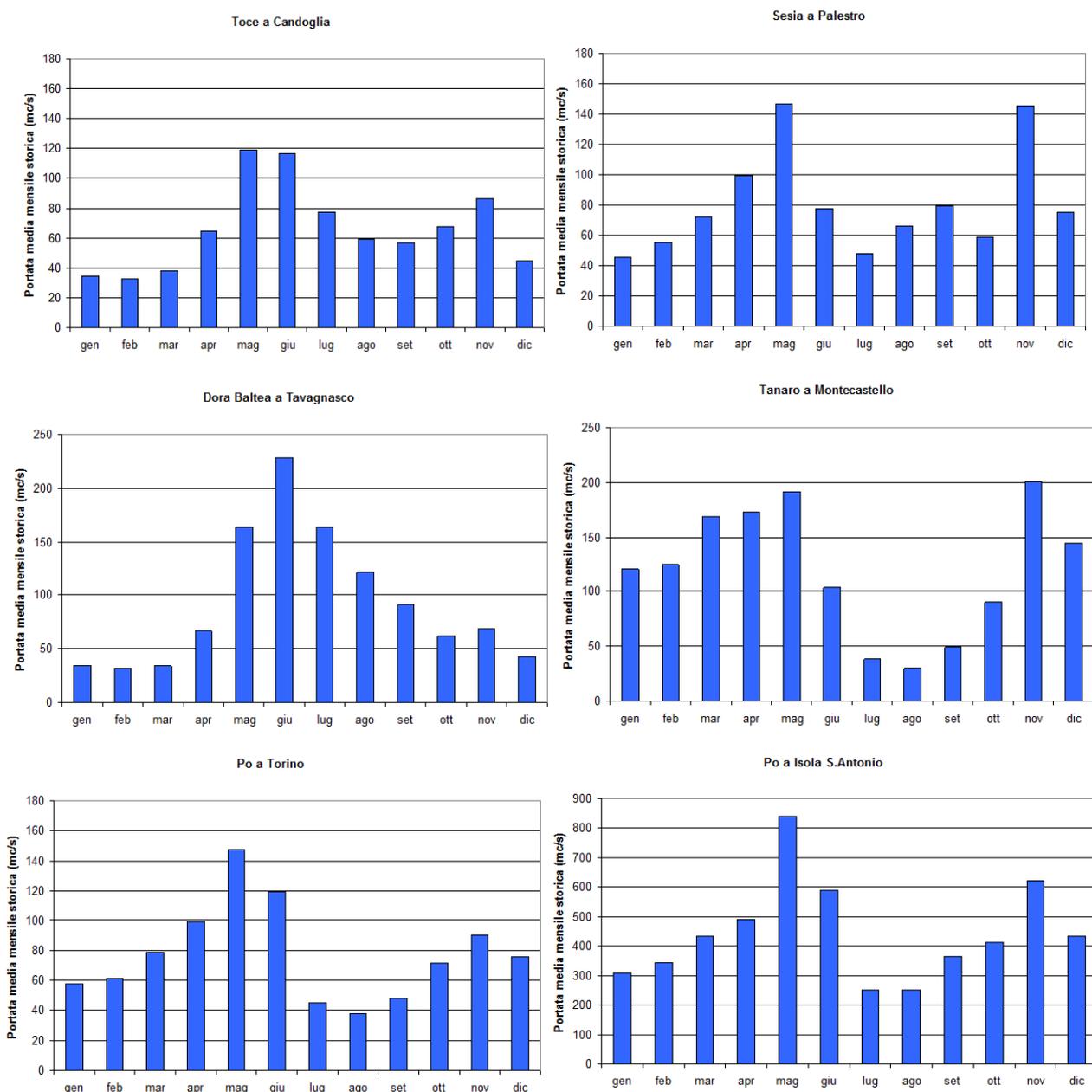


Figura 62 - Portate medie mensili (calcolate sul periodo di funzionamento delle stazioni compreso il 2016) nelle principali stazioni idrometriche della rete di Arpa Piemonte

In linea generale, come risulta evidente dai grafici sopra riportati, i bacini piemontesi sono caratterizzati, da portate minori in estate-inverno e maggiori in autunno-primavera.

In particolare, per i bacini alpini, per quelli settentrionali e occidentali si evidenzia una magra più spinta in inverno, mentre per quelli appenninici e meridionali in estate. Nelle sezioni del Po a Torino e Isola S. Antonio, che rappresenta la chiusura dell'intero bacino di Po piemontese, le differenze tra magra invernale ed estiva non sono così marcate, tuttavia i valori più bassi delle portate si raggiungono sempre nei mesi di luglio e agosto, mentre i maggiori in primavera, nel mese di maggio.

Per analizzare più nel dettaglio gli andamenti delle portate medie per i bacini regionali, si è condotta un'analisi più approfondita sulle sezioni in cui è disponibile una serie di dati più lunga (circa ventennale), al fine di evidenziare la presenza o meno di trend caratteristici a livello annuale e stagionale.

Nei grafici seguenti si riportano le portate annuali e stagionali per la stazione di Po a Isola S. Antonio (Figura 63); si precisa che per "stagioni" si intendono quelle climatologiche quindi:

- primavera: 1 marzo -31 maggio;
- estate: 1 giugno - 31 agosto;
- autunno: 1 settembre -30 novembre;
- inverno: 1 dicembre -28/29 febbraio.

Po a Isola S. Antonio (AL)

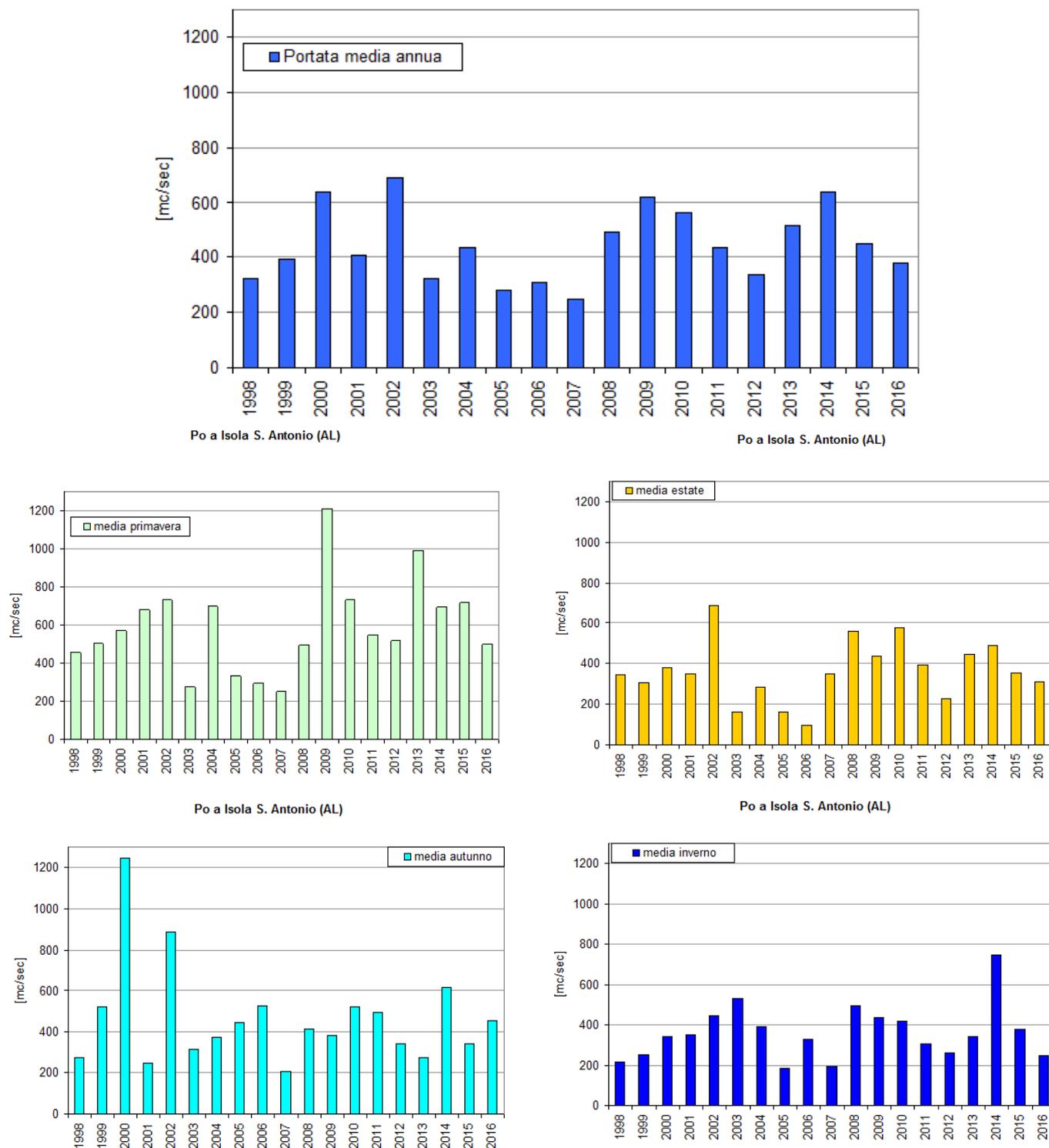


Figura 63 - Portate medie annue e stagionali per la sezione del Po a Isola S. Antonio

Come si può notare, non si evidenzia un trend preciso, ma si può dire che gli anni in cui mediamente si sono registrati portate maggiori sono il 2000, il 2002 e il 2014, quelli con portate medie annue inferiori sono il 2007 e il 2005.

Analizzando le portate medie a livello stagionale, si evince che il 2000 e il 2002 presentano le portate maggiori in autunno mentre il 2014 in inverno, mantenendosi comunque su valori alti in tutte le stagioni. Tra gli anni con le portate minori, si può notare che il 2007 è il più basso in tutte le stagioni tranne in estate, dove il 2006 ha registrato le portate medie più basse in assoluto per la stazione. Nei grafici a seguire si riporta la stessa analisi per la stazione del Po a Torino (Figura 64).

Po a Torino

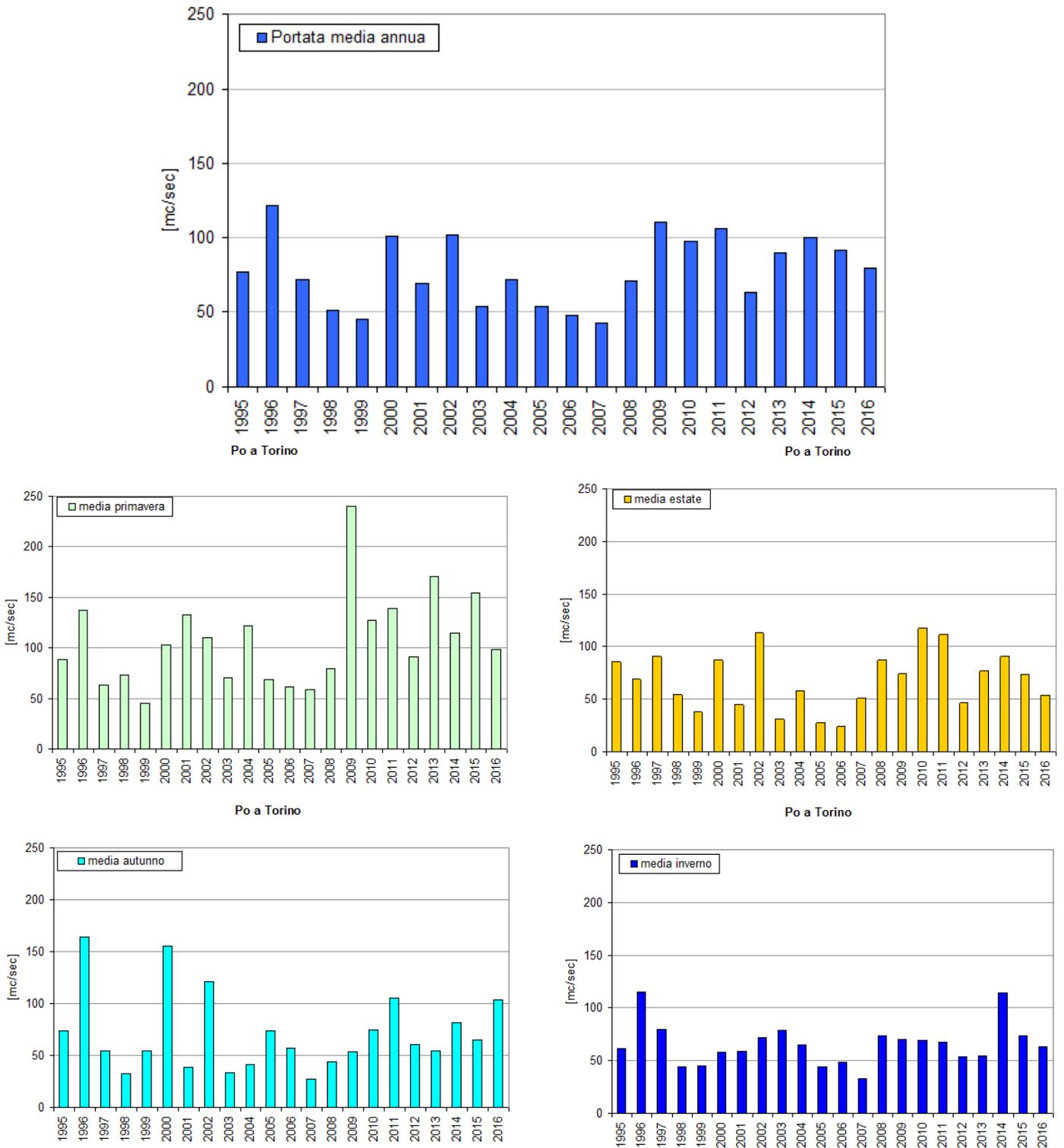


Figura 64 - Portate medie annue e stagionali per la sezione del Po a Torino

In questo caso, sembrerebbe esserci un trend, anche se minimo, di crescita delle portate medie annuali. Gli anni in cui si sono registrati portate medie annue maggiori sono il 1996 e il 2009, ma mentre il 2009 presenta valori particolarmente alti solo in primavera, il 1996 registra portate tra le più alte in tutte le stagioni tranne in estate. Per il Po a Torino, il 2000, il 2002 e il 2014 sono equivalenti in termini di portata media annua, la terza più alta dopo 2009 e 1996.

Il 2007 è, invece, l'anno con le portate medie più basse, anche se, a livello stagionale, i valori in assoluto inferiori si registrano nell'estate del 2006.

Per il settore meridionale viene riportata l'analisi sul Tanaro nella sua sezione di chiusura a Montecastello (AL) (Figura 65).

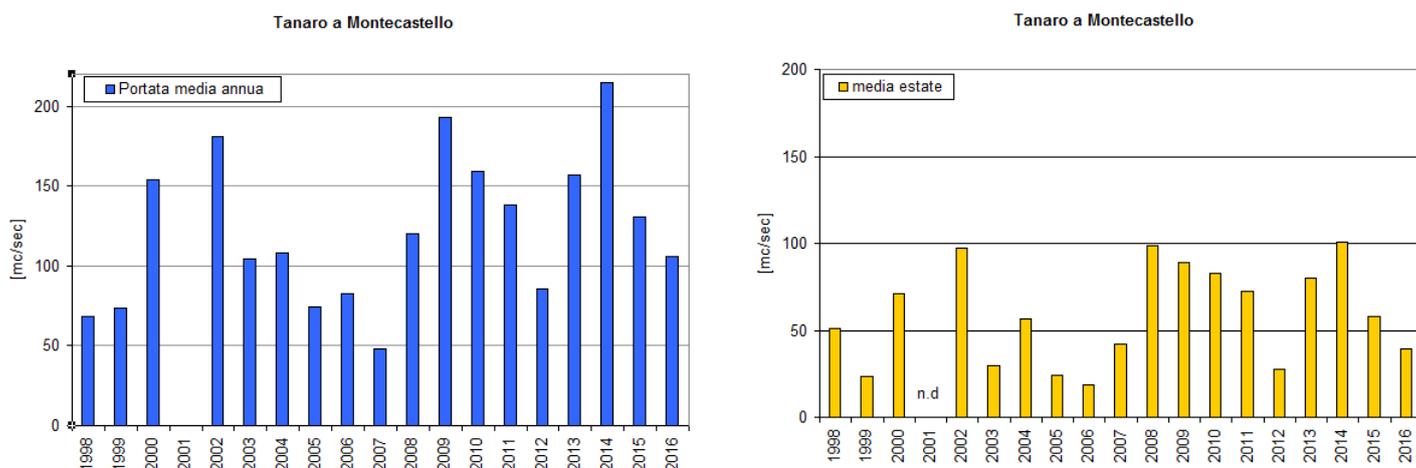


Figura 65 - Portate medie annue ed estive per la sezione del Tanaro a Montecastello

Per il Tanaro l'andamento delle portate medie annue presenta un lieve incremento; gli anni con le portate più alte sono il 2009 e il 2014, seguiti dal 2002. Quest'ultimo, insieme al 2014 e al 2008, presenta anche i valori più alti nella stagione estiva. Le portate annue più basse sono quelle del 2007, ma nel trimestre estivo l'anno con i valori minori è il 2006.

1.1.3 Indici di anomalia delle portate

Al fine di consentire una valutazione comparativa delle anomalie complessive dei deflussi nei vari anni alla sezione del Po a Isola S. Antonio (AL), è stato calcolato, il valore dell'indice SRI (*Standardized Runoff Index*) (Figura 66). L'indice SRI esprime in maniera compatta l'anomalia di portata normalizzata rispetto alla deviazione standard.

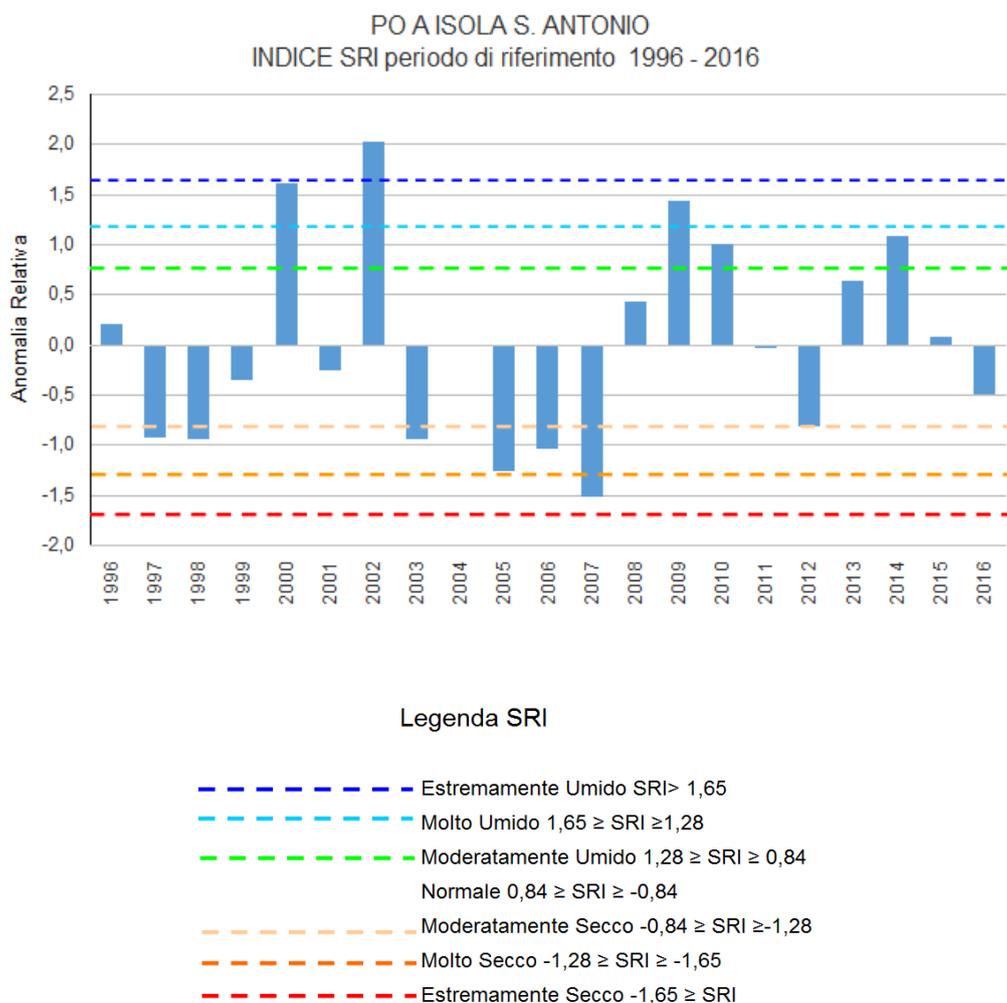


Figura 66 - Indice SRI annuale dal 1996 al 2016 calcolato a Isola S. Antonio (AL) e valori di riferimento del SRI

Come si può notare gli anni che risultano da “molto” a “estremamente umido” sono il 2002, 2000 e 2009, mentre il 2005 e il 2007 sono caratterizzati da un indice di anomalia relativa “molto secco”.

3.6 DISPONIBILITÀ NIVALE SUL BACINO

Al fine di poter quantificare la risorsa idrica immagazzinata nel manto nevoso, sul territorio regionale, è stato sviluppato il modello idrologico fisico FEST, spazialmente distribuito, con la collaborazione del Politecnico di Milano. La dinamica della componente nivale viene simulata al fine di poter stimare i volumi idrici effettivamente immagazzinati sotto forma di neve: viene considerato l'accumulo della neve al suolo, la fase di fusione e la propagazione dell'acqua generata all'interno del manto nevoso. La quantificazione della risorsa idrica immagazzinata nel manto nevoso è infatti di fondamentale importanza per la corretta comprensione dei processi di formazione delle portate idriche nei corsi d'acqua di origine alpina.

Sulla base delle analisi effettuate nel periodo 1999/2018 si può affermare che l'SWE (*Snow Water Equivalent*) sull'intero bacino del Po chiuso alla confluenza col Ticino a Ponte Becca (PV), comprendente quindi la porzione territoriale di Valle d'Aosta e Ticino svizzero, mostra una grande variabilità inter-annuale. Nella Figura 67 si evidenzia come a partire dal mese di novembre le prime nevicate incrementino l'SWE al suolo fino a raggiungere un massimo nel mese di marzo; successivamente inizia la fase di fusione primaverile, più accentuata dal mese di maggio per poi terminare nel mese di giugno.

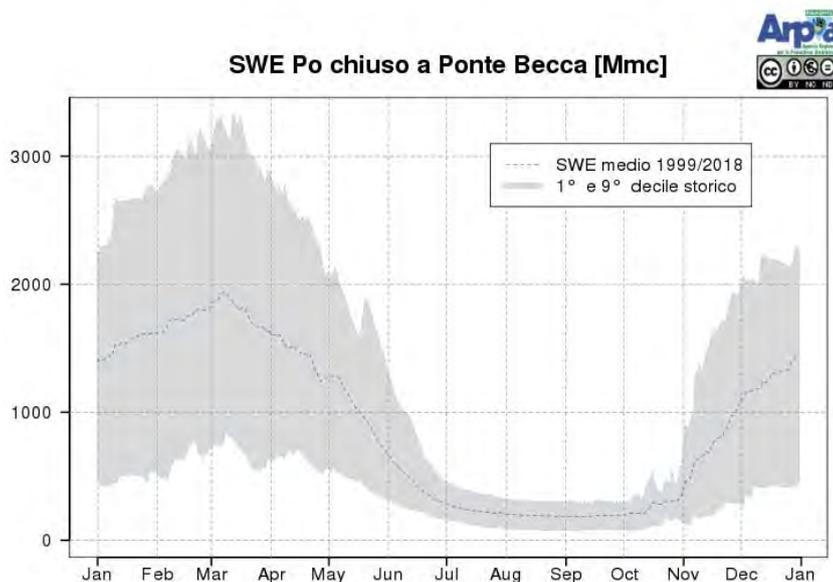


Figura 68

Figura 67 - Andamento dell'SWE medio giornaliero nel bacino del Po chiuso alla confluenza col Ticino.

L'ampiezza della fascia grigia della Figura 67 (il limite superiore corrisponde al 9° decile della distribuzione giornaliera di SWE e il limite inferiore corrisponde al 1° decile) mostra la grande variabilità da un anno all'altro. A titolo di esempio (Figura 68) vengono riportate le stime di SWE

per 2 annate totalmente differenti: il 2009 con un accumulo eccezionale di manto nevoso e il 2006 caratterizzato da nevicate piuttosto scarse.

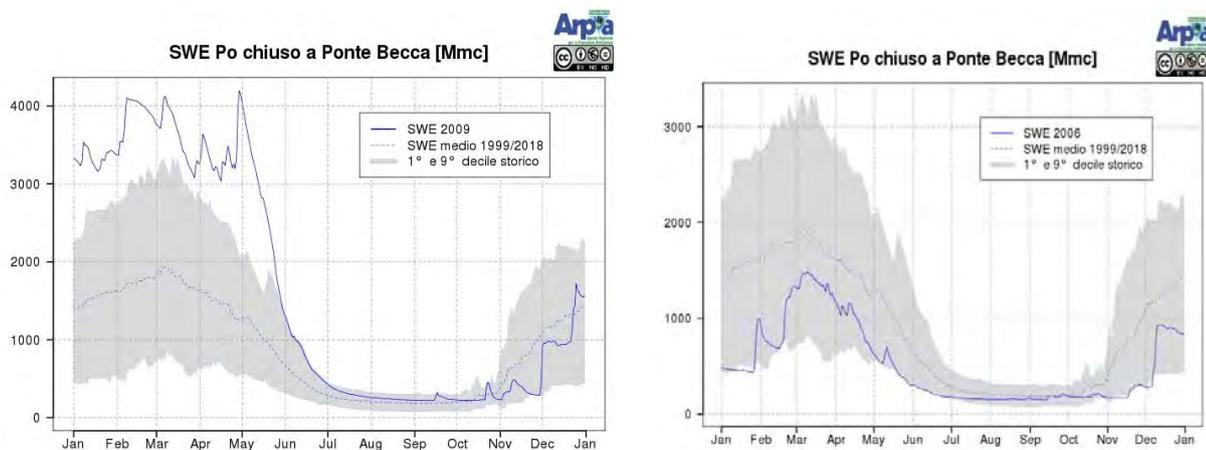


Figura 68 - Andamento dell'SWE medio giornaliero nel bacino del Po chiuso alla confluenza col Ticino nel 2009 (a sinistra) e nel 2006 (a destra).

È interessante notare come, anche negli anni particolarmente nevosi, l'aumento delle temperature del mese di maggio determina una fusione rapida del manto nevoso, riportando il surplus di innevamento alla media.

3.7 ONDATE DI CALDO SU CAPOLUOGHI

Per avere indicazione del disagio determinato da temperature estive elevate, sono stati presi in considerazione alcuni indicatori biometeorologici (temperatura apparente, *discomfort index*, *humidex*, giorni e notti tropicali)

Tali indici sono semplici formule empiriche basate su alcuni dei parametri meteorologici più comunemente rilevati dalle stazioni di misura: temperatura e umidità dell'aria, velocità del vento, pressione al suolo. Dall'applicazione di tali formule si ottiene una stima della temperatura effettivamente percepita dal corpo umano. La temperatura così stimata deve essere confrontata con i valori soglia riportati nelle tabelle di classificazione biometeorologica ottenute attraverso studi effettuati su una popolazione campione. Le soglie contenute nelle tabelle permettono di individuare una precisa condizione fisiologica rappresentata da condizioni di benessere o disagio.

I principali indici biometeorologici sono:

- “Temperatura apparente” - stima il disagio fisiologico dovuto all'esposizione a condizioni meteorologiche caratterizzate da alte temperature ed elevati livelli igroscopici dell'aria, nonché da ridotta velocità del vento a 10 m dal suolo.

$$AT[^\circ\text{C}] = -2,7 + 1,04T + 2e/10 - 0.65v$$

T [K] = temperatura aria

e [hPa] = tensione di vapore

Soglie di disagio fisiologico definite in letteratura:

AT < 27 °C	Benessere
27 °C < AT < 32 °C	Cautela
32 °C < AT < 40 °C	Estrema cautela
40 °C < AT < 54 °C	Pericolo
AT ≥ 54 °C	Elevato pericolo

- Indice di *Thom* o *Discomfort index* - è uno degli indici più utilizzati per la stima della temperatura percepita ed è sensibile in un intervallo termico compreso tra i 21 °C ed i 47 °C.

$$DI = T - (0,55 - 0,0055 * UR) * (T - 14,5)$$

T [°C] = temperatura dell'aria

UR [%] = umidità relativa

Soglie di disagio fisiologico definite in letteratura:

DI °C < 21 °C	Benessere
21 °C < DI < 27 °C	Cautela
27 °C < DI < 29 °C	Estrema cautela
29 °C < DI < 32 °C	Pericolo
DI ≥ 32 °C	Elevato pericolo

- *Humidex* - valuta il benessere climatico nei giorni caldi ed umidi e si basa sulla relazione empirica che prende in considerazione la temperatura dell'aria e la tensione di vapore. È sensibile per temperature comprese tra i 20 °C ed i 55 °C.

$$\text{Formula: } H = T + (0,5555 \cdot (e - 10))$$

T [°C] = temperatura dell'aria

e [hPa] = tensione di vapore

Soglie di disagio fisiologico definite in letteratura:

H < 27 °C	Benessere
27 °C < H < 30 °C	Cautela
30 °C < H < 40 °C	Estrema cautela
40 °C < H < 55 °C	Pericolo
H ≥ 55 °C	Elevato pericolo

- “Giorni tropicali”: l'indicatore esprime il numero di giorni con temperatura massima dell'aria maggiore di 30 °C nel periodo estivo.
- “Notti tropicali”: l'indicatore esprime il numero di giorni con temperatura minima dell'aria maggiore di 20 °C nel periodo estivo. Questo indice denota condizioni di disagio nelle ore notturne ed è significativo per valutare gli eventi termici estremi e la presenza di eventuali tendenze significative.

Tenendo conto delle soglie di disagio fisiologico è stato calcolato il numero di giorni caratterizzato da disagio, utilizzando i dati delle stazioni di monitoraggio di Arpa Piemonte, ubicate nei capoluoghi di provincia del Piemonte e nelle immediate vicinanze (Figura 69).

Sono state selezionate le stazioni di: Alessandria Lobbi, Asti (Montaldo Scarampi), Cuneo (Boves), Biella (Massazza), Novara (Cameri), Vercelli (Casello Ruggarina), Verbania (Pallanza), Torino (Giardini Reali). Tali stazioni sono state selezionate in quanto ubicate nel capoluogo di provincia o nelle vicinanze e dotate di una serie storica sufficiente per un'analisi climatica.

Per ciascun capoluogo vengono riportati sotto forma di grafico i valori degli indicatori biometeorologici, calcolati a partire dall'anno di installazione della stazione (Tabella 12).

Capoluogo	Stazione	Anni
Torino	Giardini Reali	1989-2019
Alessandria	Alessandria Lobbi	1990-2019
Asti	Montaldo Scarampi	1990-2019
Biella	Massazza	1994-2019
Cuneo	Boves	1990-2019
Novara	Cameri	1990-2019
Verbania	Pallanza	2001-2019
Vercelli	Casello Ruggarina	1994-2019

Tabella 12 - Capoluoghi di provincia, stazioni utilizzate e disponibilità temporale delle serie storiche.

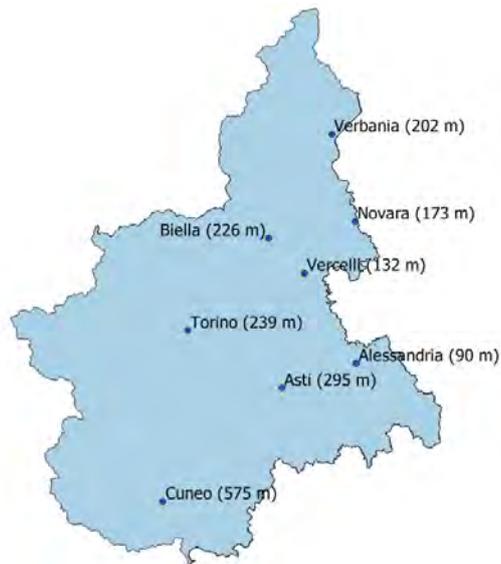


Figura 69 - Stazioni di monitoraggio di Arpa Piemonte, ubicate nei capoluoghi di provincia.

Nella Figura 70 vengono confrontati i diversi indici biometeorologici, calcolati nei diversi capoluoghi di provincia: ciascun valore rappresenta il numero di giorni medio annuale (maggio-settembre) in cui ciascun indice supera la soglia predefinita e riferita alla classe estrema cautelata.

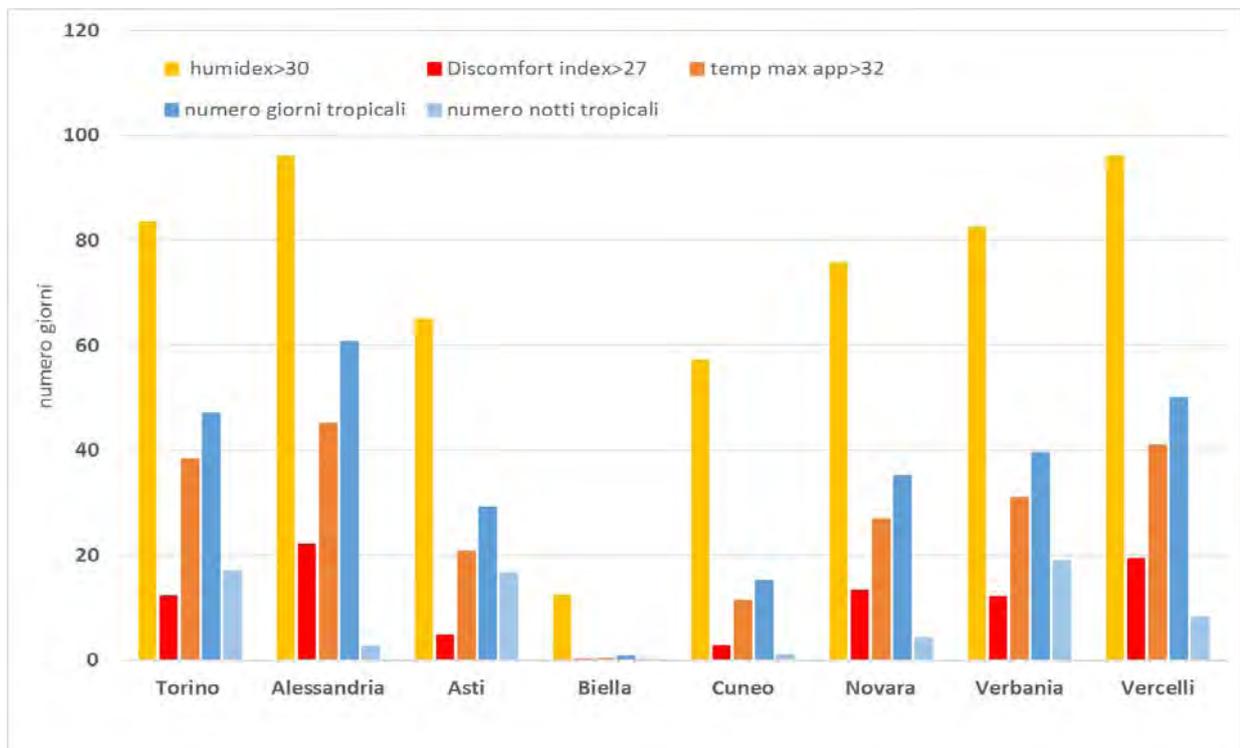
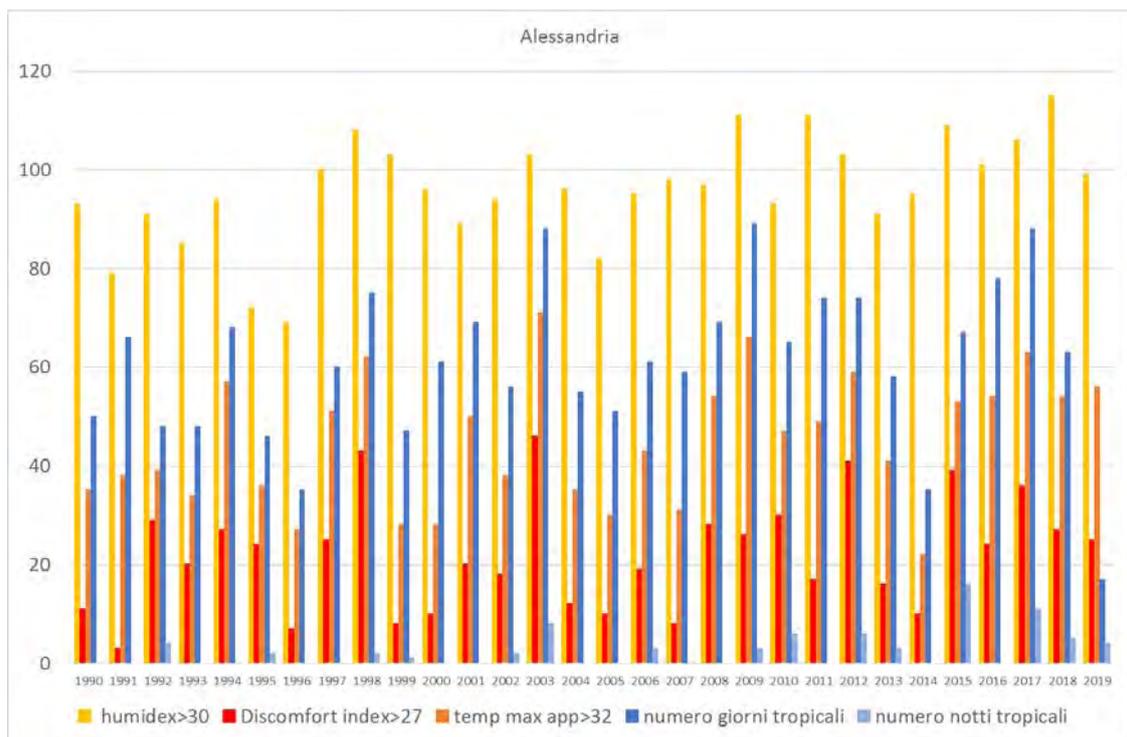
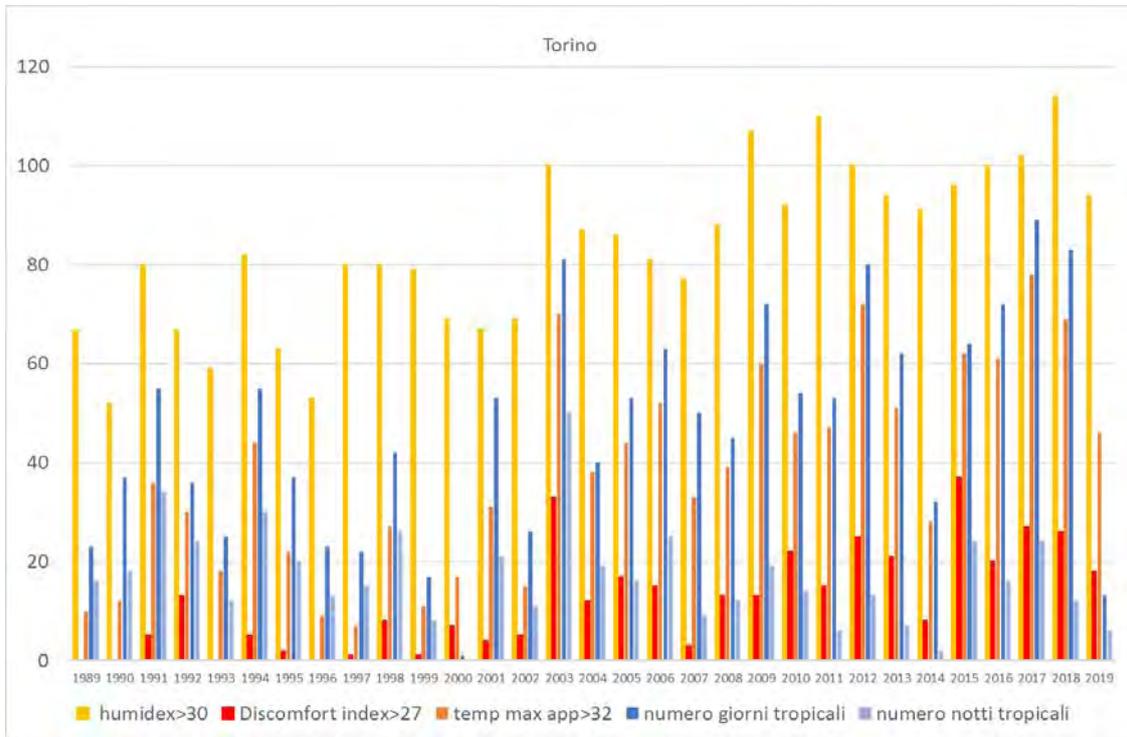
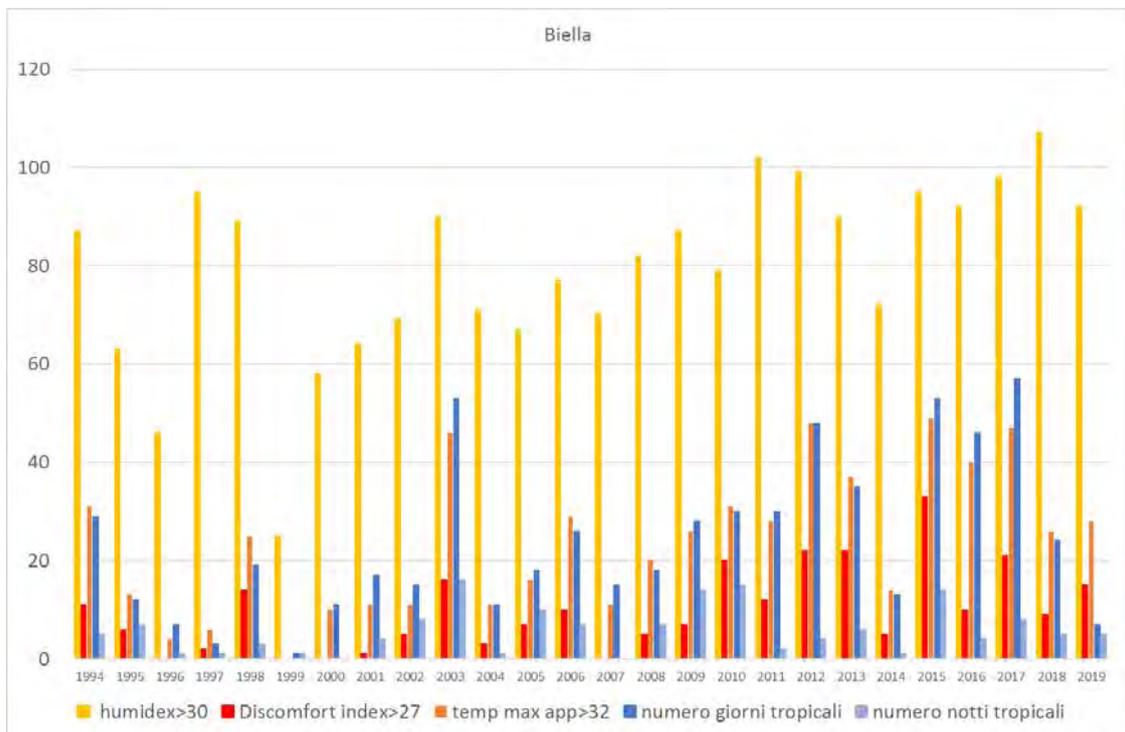
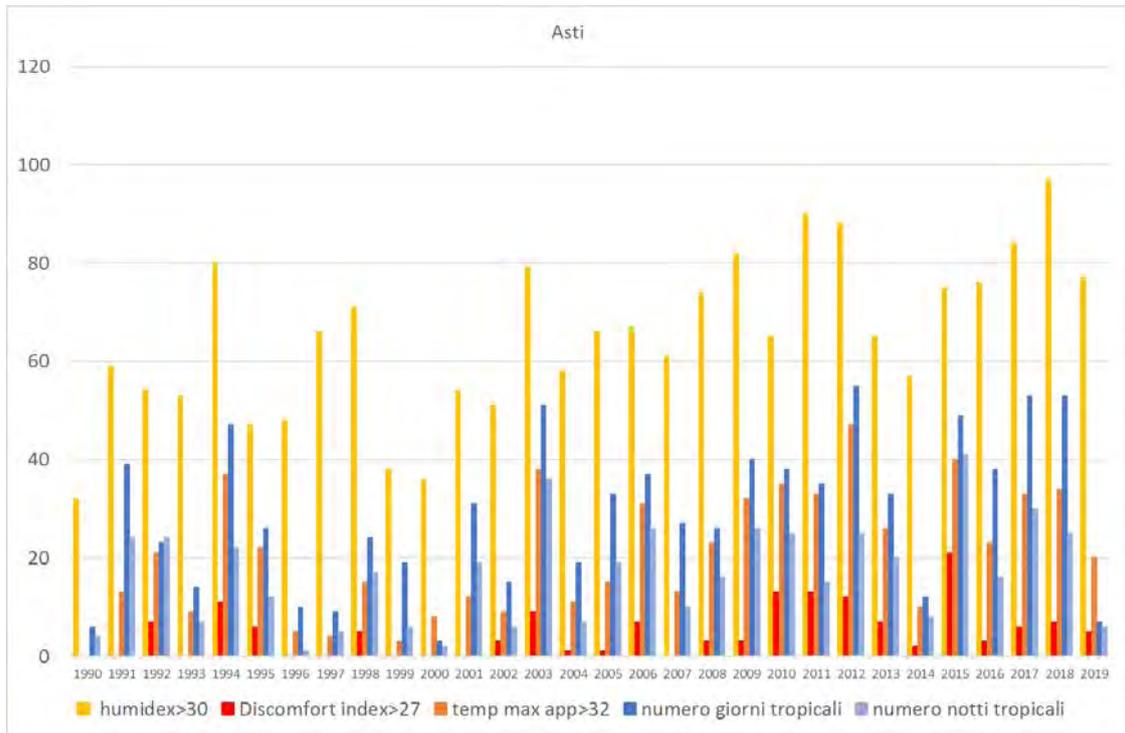


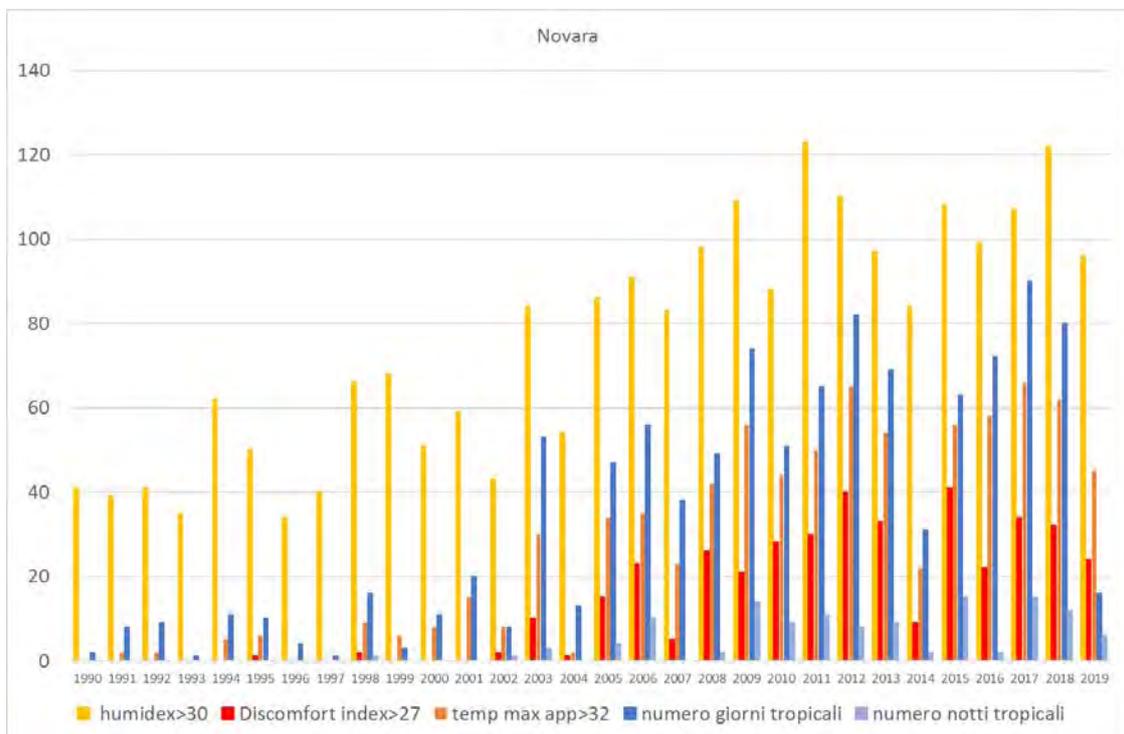
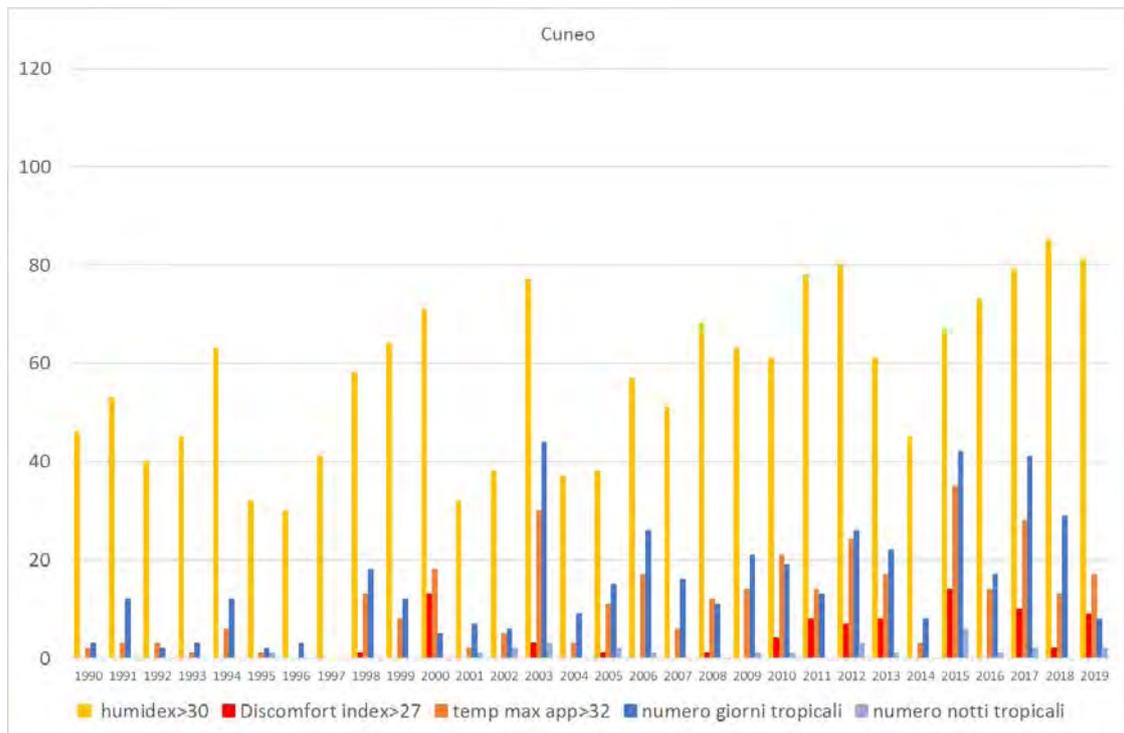
Figura 70 - Confronto tra gli indici biometeorologici calcolati nei diversi capoluoghi di provincia. Numero di giorni in cui l'indice supera il valore soglia corrispondente alla classe estrema cautelata.

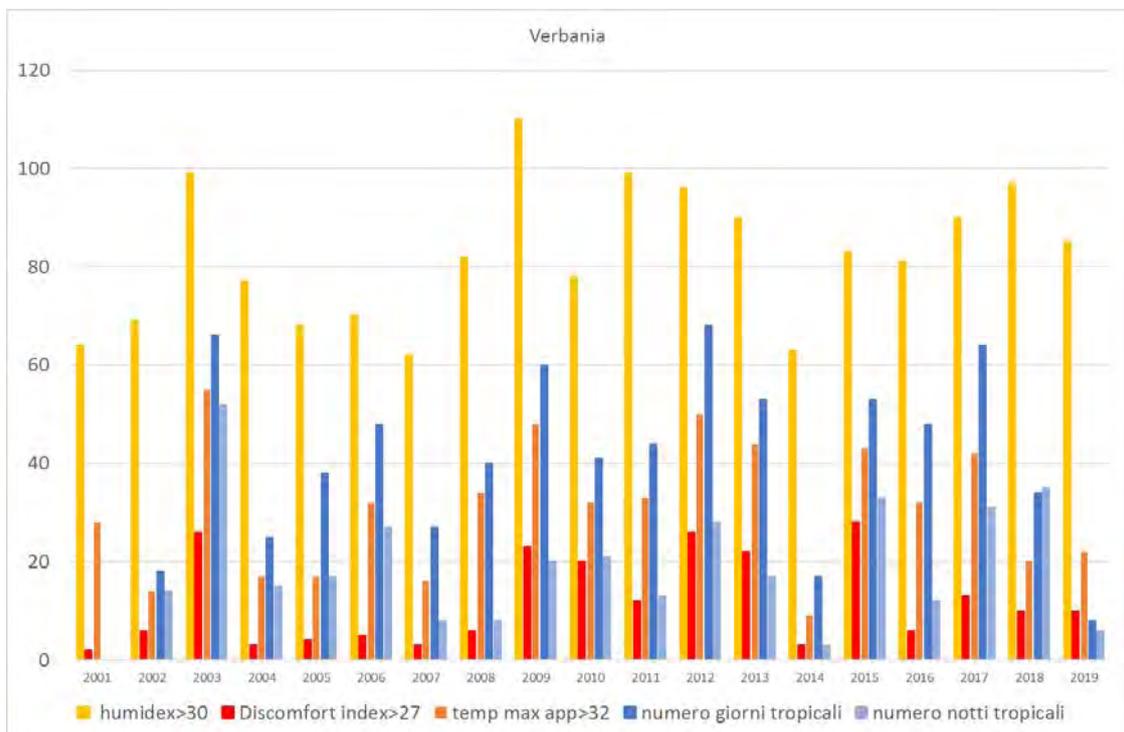
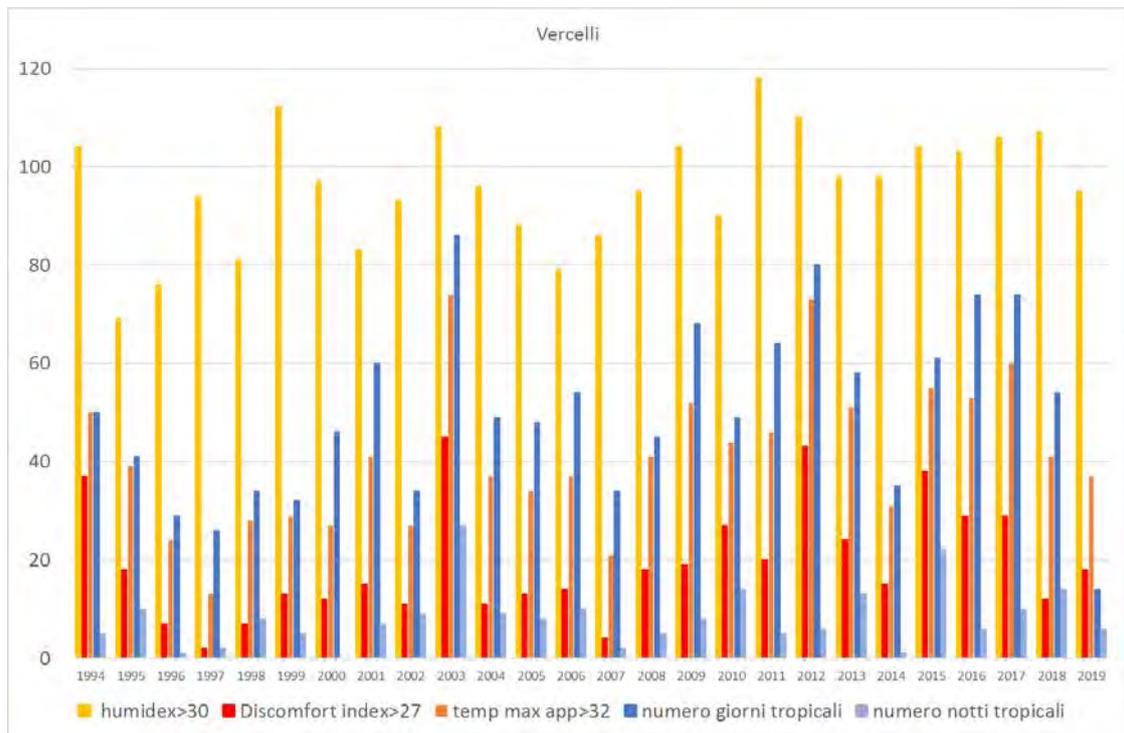
Dall'immagine si osserva come le aree urbane di Torino, Alessandria e Vercelli siano quelle che maggiormente risentono delle condizioni di afa estiva, anche se con un disagio prevalentemente diurno. Asti, Biella e Cuneo le aree urbane dove il disagio è minore e Novara e Verbania con una situazione di disagio intermedio.

Di seguito è riportato graficamente nel dettaglio l'andamento degli indici biometeorologici per ciascun capoluogo di provincia.









L'andamento degli indici evidenzia un aumento delle condizioni di disagio per caldo a partire dagli anni 2000 per ogni capoluogo (ad eccezione di Verbania dove la serie è troppo breve per effettuare valutazioni di tendenza).

Una delle tendenze più significative si riscontra per la città di Torino, con un incremento di 1,5 giorni all'anno per humidex, temperatura apparente e 1,2 giorni/anno per i giorni tropicali. A Cuneo, Biella e Asti si evince un comportamento diverso delle estati del XX secolo, anche se statisticamente non è significativo. Un aumento marcato si ha anche a Novara, con un incremento di 2,8 giorni/anno per humidex 1,3 giorni/anno per discomfort e 2,6 giorni/anno per il numero di giorni tropicali.

3.8 NEVE

Un aspetto importante per l'economia regionale e l'impatto sugli ecosistemi riguarda l'innevamento sia dal punto di vista quantitativo, sia per quanto riguarda la distribuzione spazio-temporale sul territorio.

Per l'analisi delle variazioni nell'innevamento, sono stati utilizzati i dati misurati della rete di monitoraggio di Arpa Piemonte dalle stazioni presenti sul territorio regionale (Figura 71), in funzione della completezza dei dati e della lunghezza della serie temporale. Sono state utilizzate sia le stazioni automatiche sia quelle manuali.

Molte elaborazioni sono state effettuate sul periodo 1983-2019, mentre per alcune stazioni manuali è stato possibile confrontare i periodi 1960-1990 e 1991-2019.



Figura 71 - Stazioni di monitoraggio automatiche e manuali ubicate sul territorio della Regione Piemonte.

Nella tabella sottostante (Tabella 13) sono riportate la data di installazione e la quota delle stazioni di monitoraggio utilizzate per effettuare le elaborazioni.

STAZIONE	DATA_VALIDITA
MALCIAUSSIA (1800 m)	15-giu-00
BOCCHETTA DELLE PISSE (2410 m)	21-ott-87
LAGO PILONE (2280 m)	21-ott-88
COLLE BERCIA (2200 m)	18-ott-96
PIAN GIASSET (2150 m)	20-set-01
CLOT DELLA SOMA (2150 m)	23-ott-96
PIAN DELLE BARACCHE (2135 m)	08-ott-87
SESTRIERE (2020 m)	10-set-96
LAGO SERRU' (2283 m)	01-gen-61
LAGO CHIOTAS (1970 m)	01-dic-83
LAGO VANNINO (2177 m)	01-gen-51
RIFUGIO MONDOVI' (1760 m)	15-ott-97
ARGENTERA (1680 m)	17-set-96
ALPE DEVERO (1634 m)	29-ott-91
ACCEGLIO (1610 m)	14-giu-89
CERESOLE VILLA (1581 m)	07-set-99
PONTECHIANALE (1575 m)	27-lug-93
PIAMPRATO (1555 m)	08-lug-93
CAMPARIENT (1515 m)	09-set-99
ALPE CAVALLI (1500 m)	01-gen-32
ROCHEMOLLES (1950 m)	01-giu-25
ALPE CHEGGIO (1460 m)	05-nov-96
PRALY (1385 m)	27-lug-93
MACUGNAGA PECETTO (1360 m)	10-nov-99
PRERICHARD (1353 m)	06-dic-90
PAESANA (1265 m)	12-mag-93
FORMAZZA BRUGGI (1226 m)	09-set-99
FORNO ALPI GRAIE (1215 m)	12-ott-96
ALAGNA (1347 m)	14-giu-01
MACUGNAGA CAP. (1280 m)	21-gen-84

Tabella 13 - Stazioni di monitoraggio automatiche e manuali utilizzate e disponibilità temporale delle serie storiche.

3.8.1 Neve fresca

Per avere uno sguardo di insieme della quantità di neve fresca caduta stagionalmente sulla regione è stato calcolato l'indice di anomalia standardizzata (SAI - *Standardized Anomaly Index*) considerando tutti i dati di neve fresca delle stazioni cumulati sulla stagione e mediati fra loro in modo da avere un dato sintetico e rappresentativo per la regione. Questo valore esprime l'anomalia del parametro esaminato rispetto al valore medio del periodo di riferimento di 30 anni. Ricavando un indice SAI per ogni stazione si può poi ottenere un valore significativo per tutto il territorio in quanto questo indice, essendo adimensionale, può essere mediato tra varie stazioni, a quote e località differenti. Più i valori sono vicini allo 0 più si avvicinano ai valori medi del periodo 1981-2010. Le stagioni le cui variazioni rimangono entro le linee continue (arancioni) che indicano rispettivamente il 1° e il 3° quartile possono essere considerate nella media, mentre le variazioni che ricadono nell'intervallo tra le linee continue e quelle tratteggiate (rispettivamente nella parte negativa tra il 10° e il 25° percentile e nella parte positiva tra il 75° e il 90° percentile) possono essere considerate come stagioni anomale fuori dalla media. In ultimo le stagioni che ricadono al di sotto del 10° percentile e al di sopra del 90° percentile sono da considerarsi stagioni eccezionali.

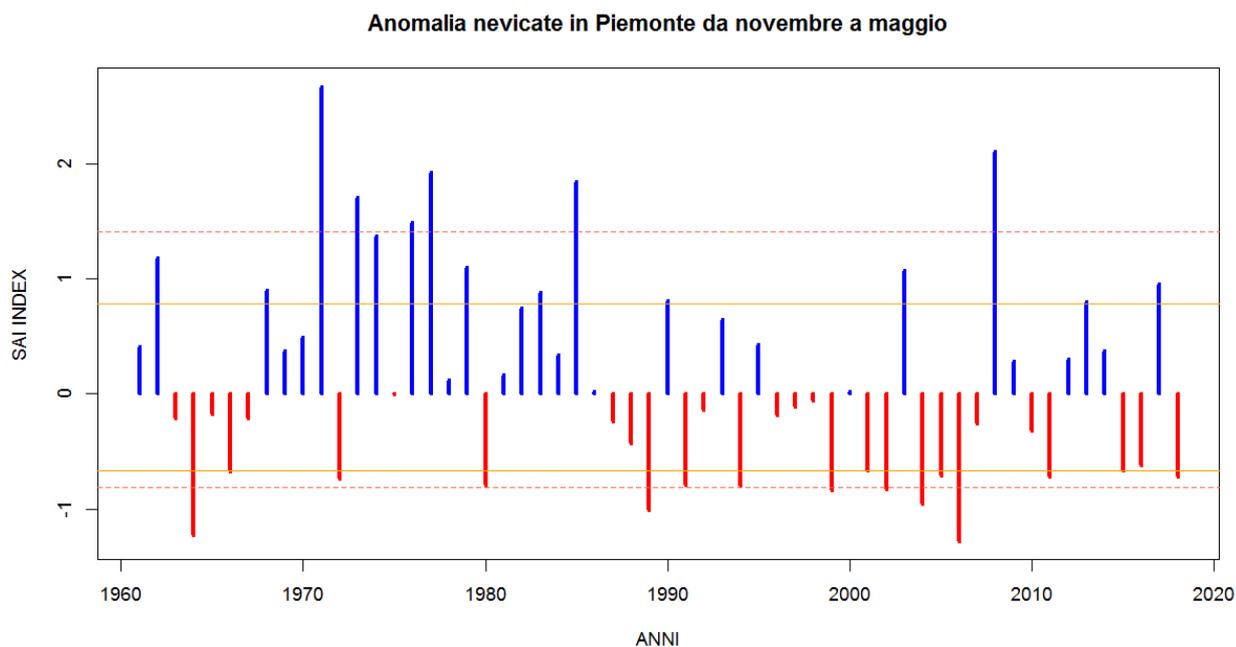


Figura 72 - Indice standardizzato di anomalia nevosa (SAI – Standardized Anomaly Index) nei mesi da novembre a maggio dal 1960 al 2019, rispetto al periodo 1981-2010, considerando i valori cumulati annuali di neve fresca registrati dalle stazioni sull'arco alpino piemontese.

Dalla Figura 72 si osserva qualitativamente una diminuzione dei quantitativi nel periodo 1990-2018 rispetto al periodo 1968-1988, dove gli inverni con un surplus anche importante di neve prevalevano. Rimane comunque una discreta variabilità inter-annuale, anche se gli estremi positivi sono più rari e contenuti.

Analizzando il contributo di neve fresca annuale per le diverse fasce di quota (Figura 73), si conferma la presenza di una grande variabilità inter-annuale che non consente di evidenziare una tendenza evidente, neanche per le quote più basse.

Altezza neve fresca media novembre - maggio

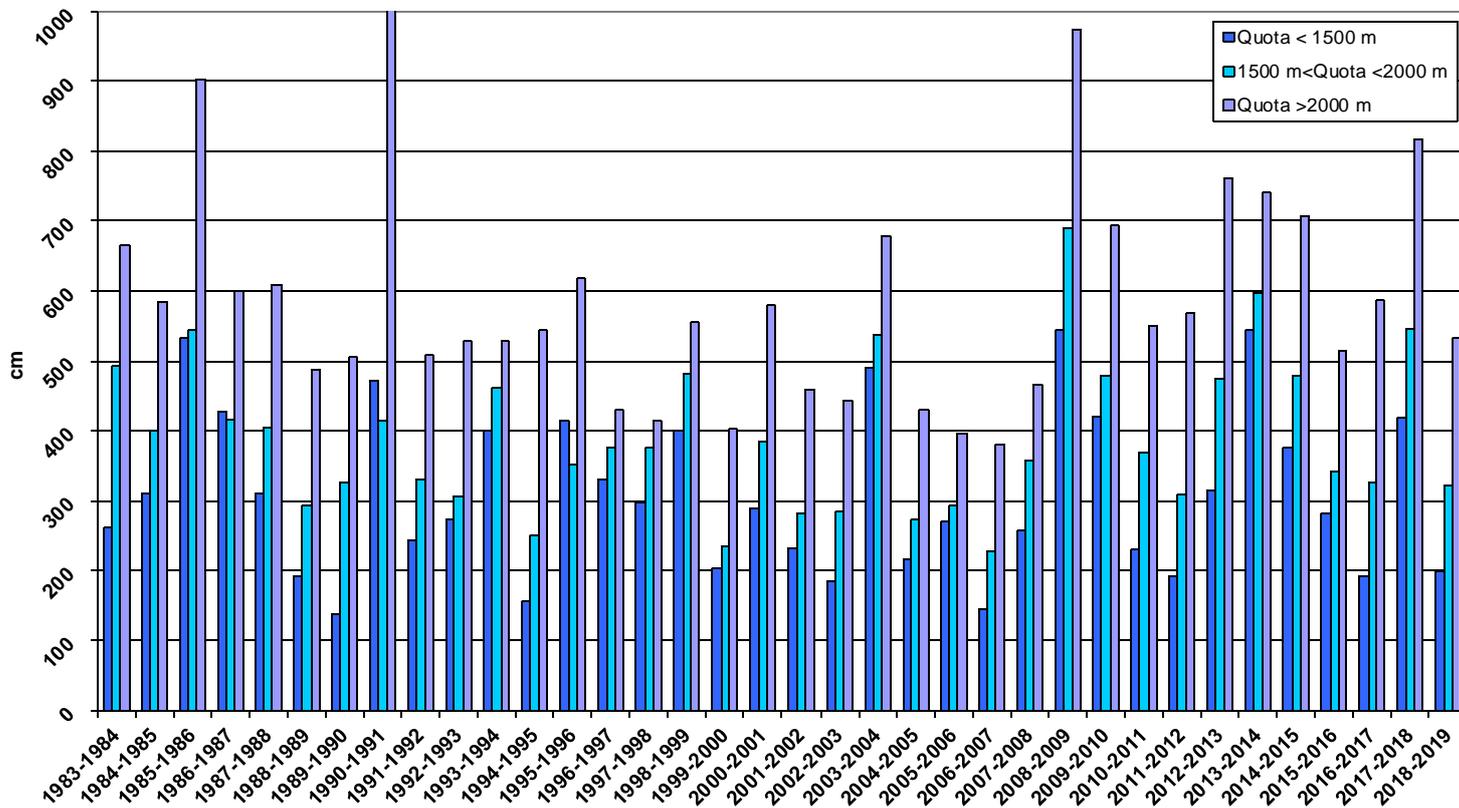


Figura 73 - Neve fresca cumulata annuale dalla stagione 1983-1984 alla stagione 2018-2019 per tre diverse fasce altimetriche (inferiore a 1500 m, tra 1500 m e 2000 m e superiore ai 2000 m)

Per valutare il contributo nevoso dei diversi mesi, è stata calcolata la media della neve fresca cumulata mensile sul periodo 1983-2019, in funzione della quota (Figura 74).

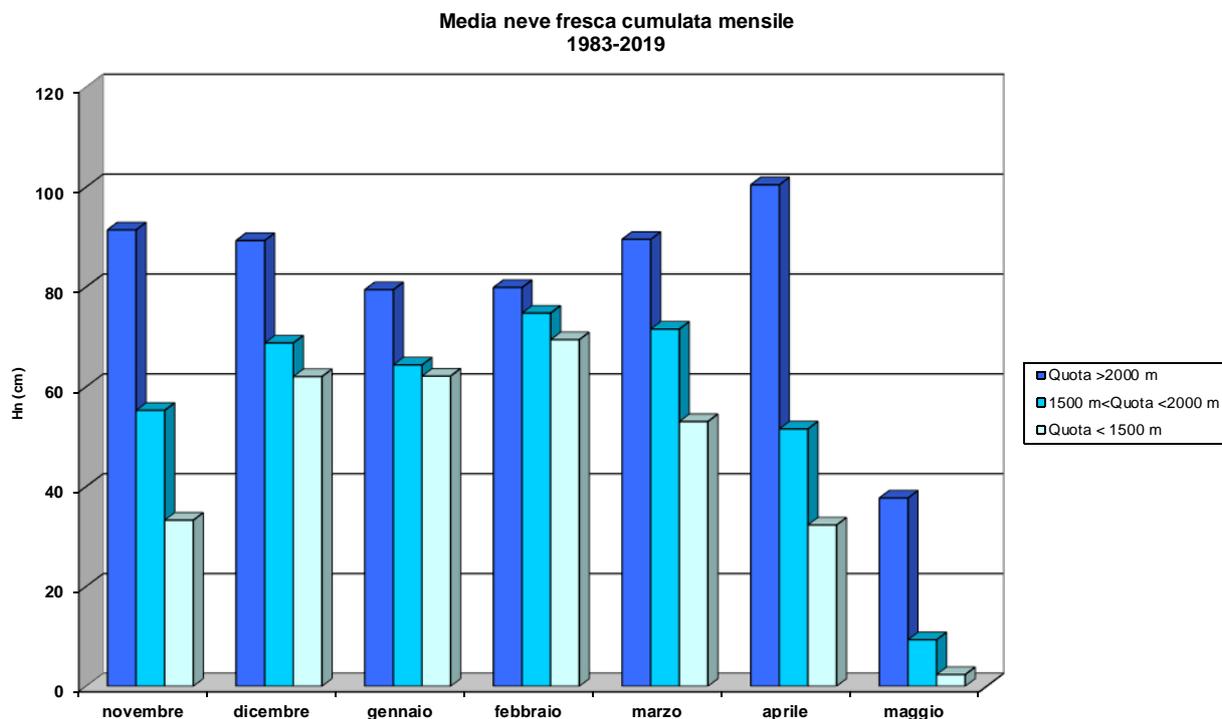


Figura 74 - Neve fresca cumulata nei diversi mesi, mediata sul periodo 1983-2019.

Si evidenzia come, per le quote più elevate tutti i mesi da novembre ad aprile apportano un contributo importante e solo il mese di maggio vede un contributo decisamente minore, circa la metà degli altri mesi. Aprile risulta il mese con il contributo maggiore. Per le quote intermedie e più basse si ha invece un comportamento a campana, con una crescita progressiva della neve fresca fino al mese più nevoso, febbraio, e una successiva diminuzione. Per le quote più basse l'apporto del mese di maggio è, ovviamente, influente.

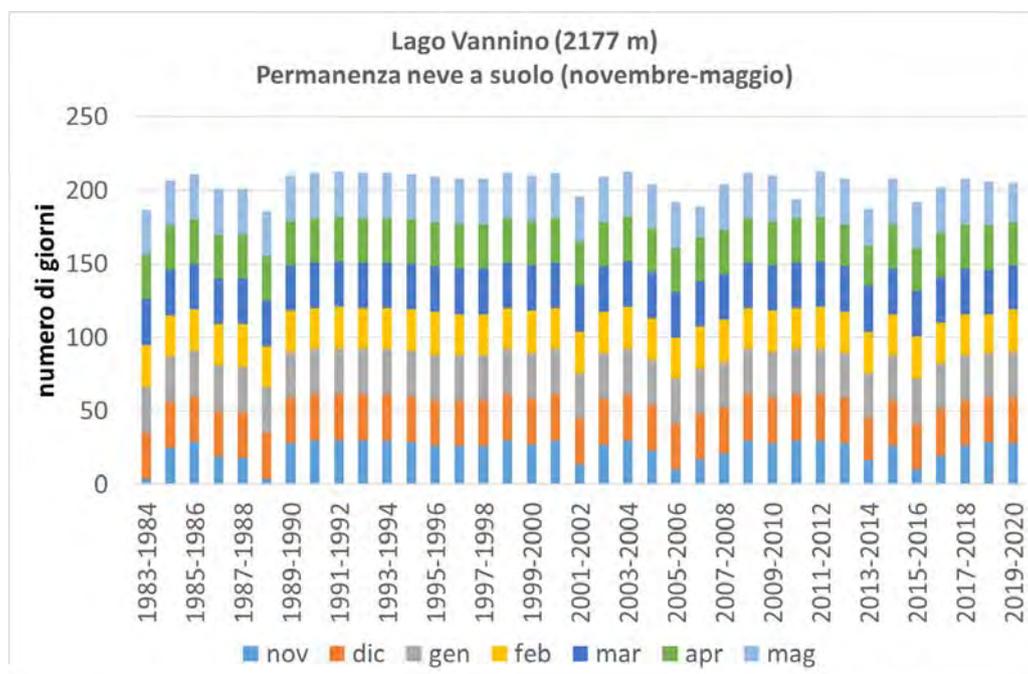
3.8.2 Permanenza e altezza della neve al suolo

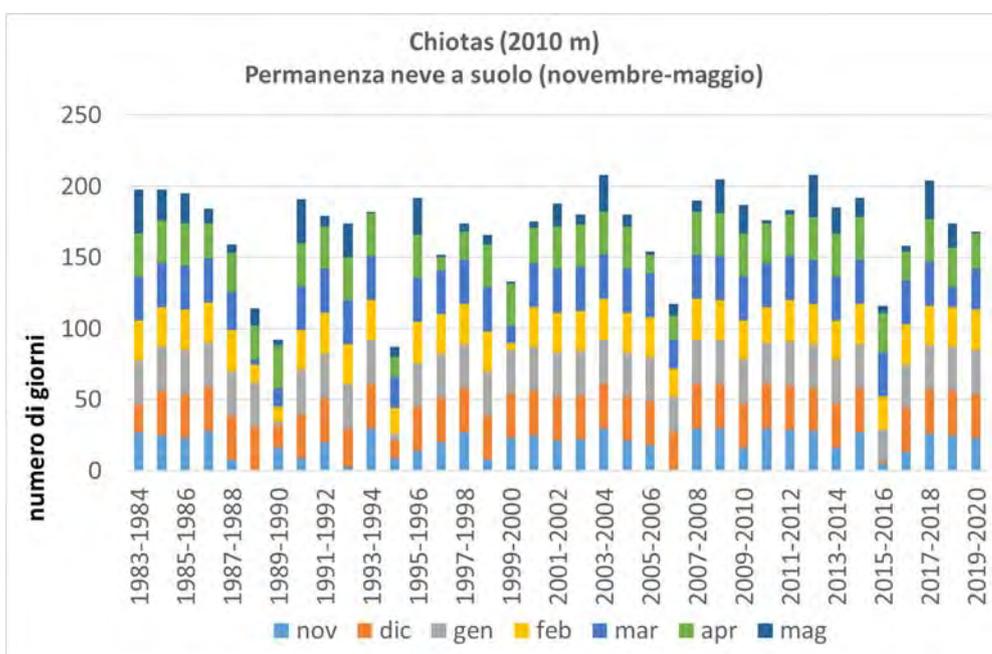
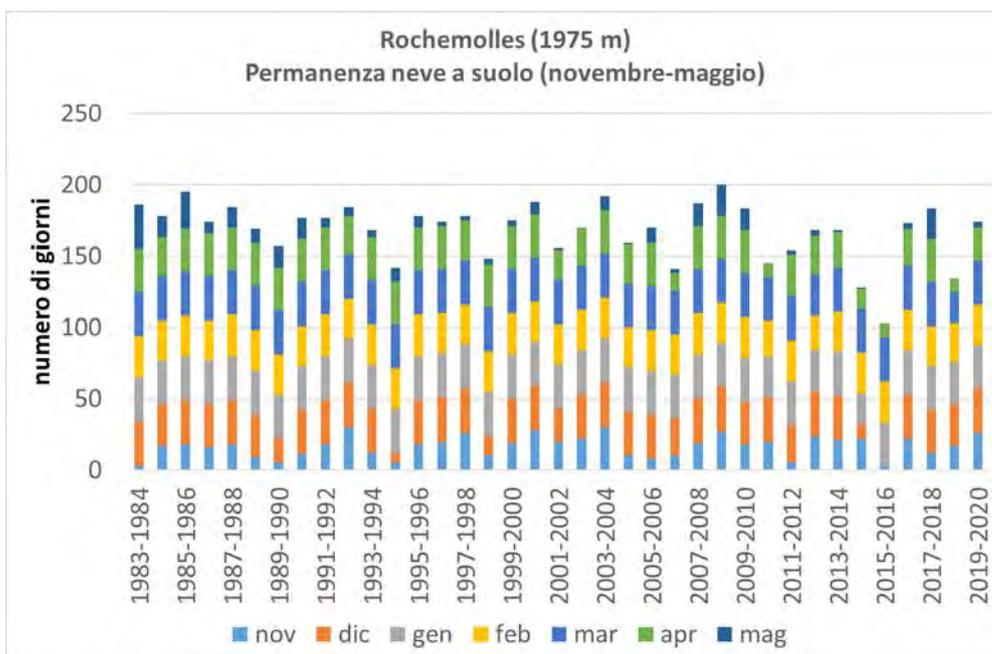
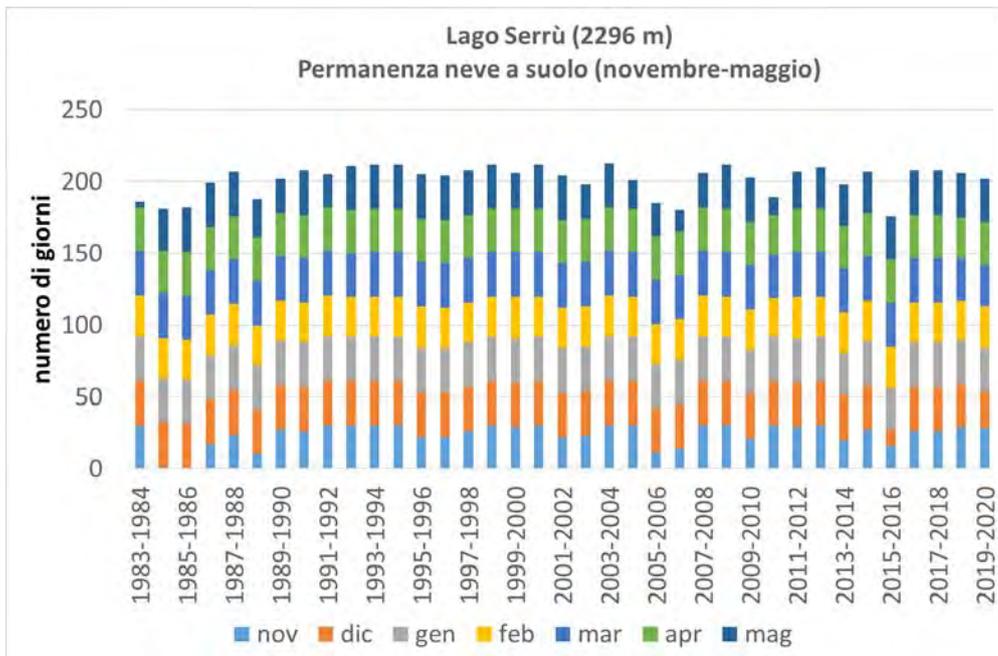
La permanenza della neve al suolo è un dato molto importante sia per la stima dell'eventuale variazione della lunghezza del periodo di innevamento e dell'inizio e fine della copertura nevosa.

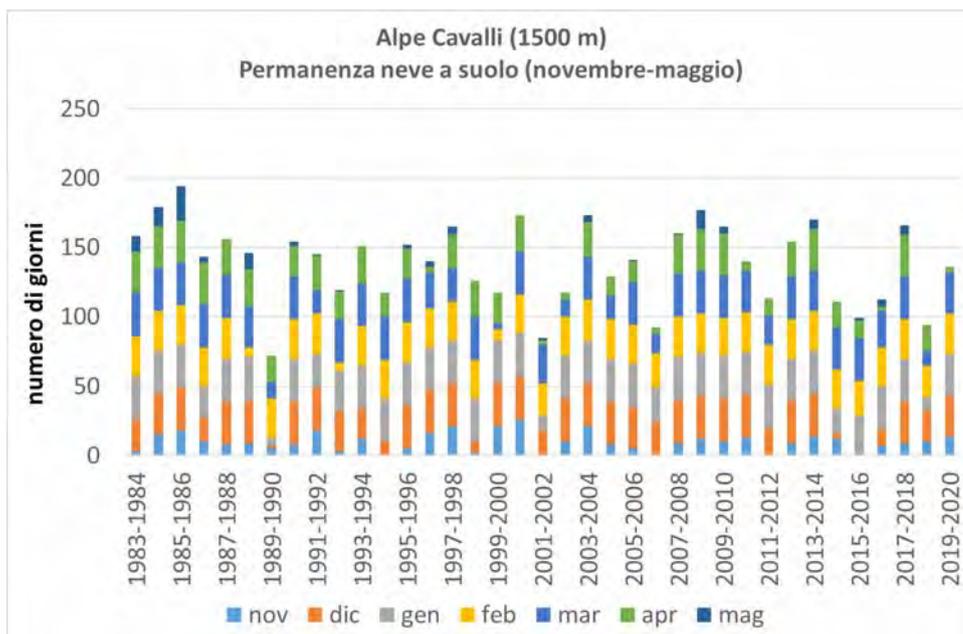
Il dato è importante per la biodiversità, per la conservazione della fauna e della flora alpina, per gli incendi boschivi, il cui regime autunnale e invernale nella fascia prealpina dipende molto dall'innevamento.

Poiché il dato sulla copertura nevosa "on/off" ricavato dalle stazioni ha un valore molto locale, sono state individuate solo alcune stazioni di riferimento per tale valutazione.

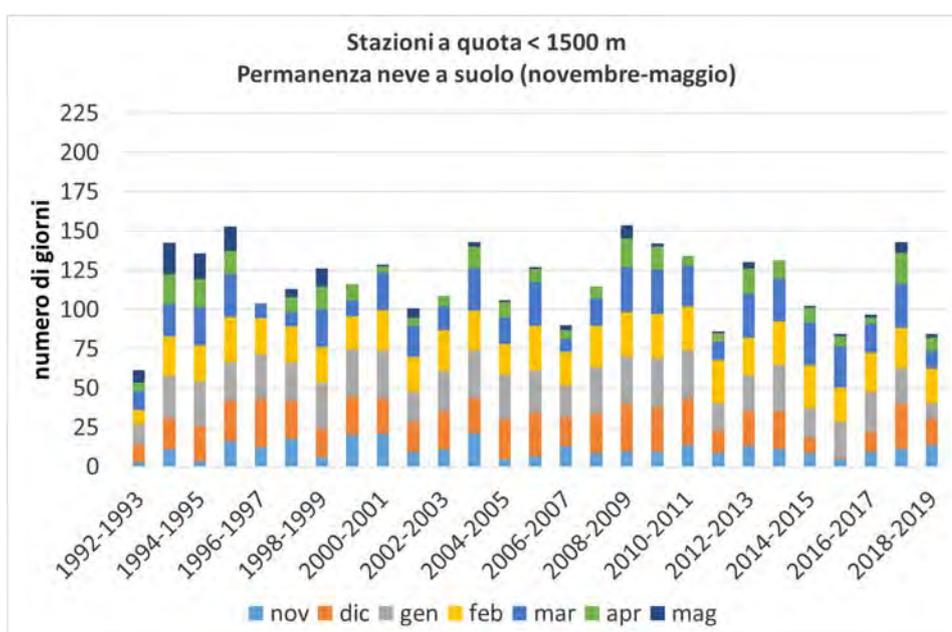
I grafici seguenti evidenziano come per le stazioni a quote più elevate e più interne nelle valli settentrionali (Lago Vannino) e nordoccidentali (Lago Serrù) non mostrino tendenze evidenti all'aumento o diminuzione dei giorni di copertura del suolo, anche se si evidenziano anni in cui la durata è maggiore o minore soprattutto per la copertura ad inizio stagione. Per stazioni a quote intermedie sulle Alpi occidentali (Rochemolles) e sudoccidentali (Lago Chiotas) si osserva invece una forte variabilità inter-annuale. Per la stazione di Alpe Cavalli, nel biellese, a soli 1500 m, si evince invece una lieve tendenza alla diminuzione del numero di giorni in cui il suolo è coperto dalla neve, sovrapposta, anche in questo caso, ad una grande variabilità.

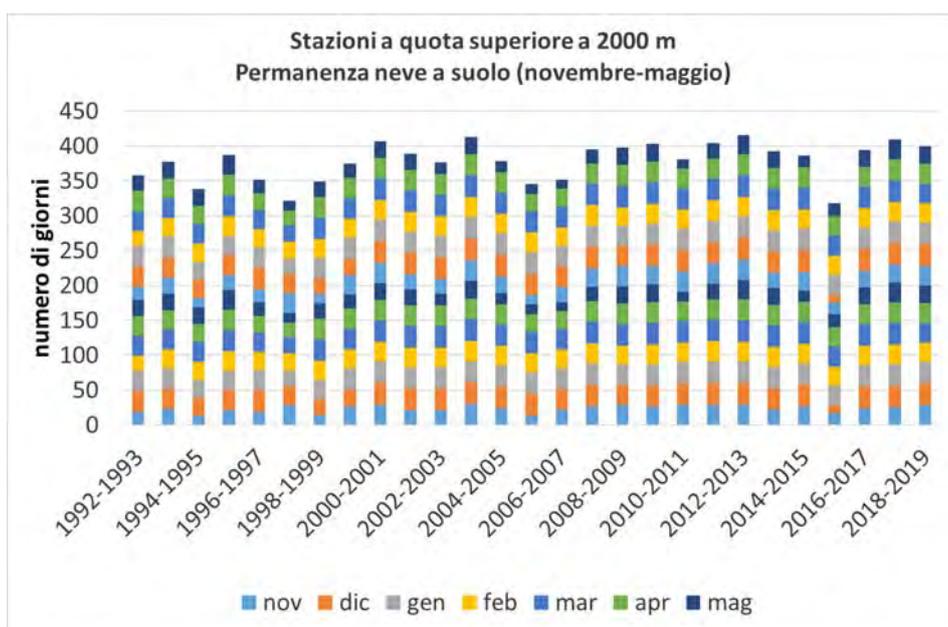
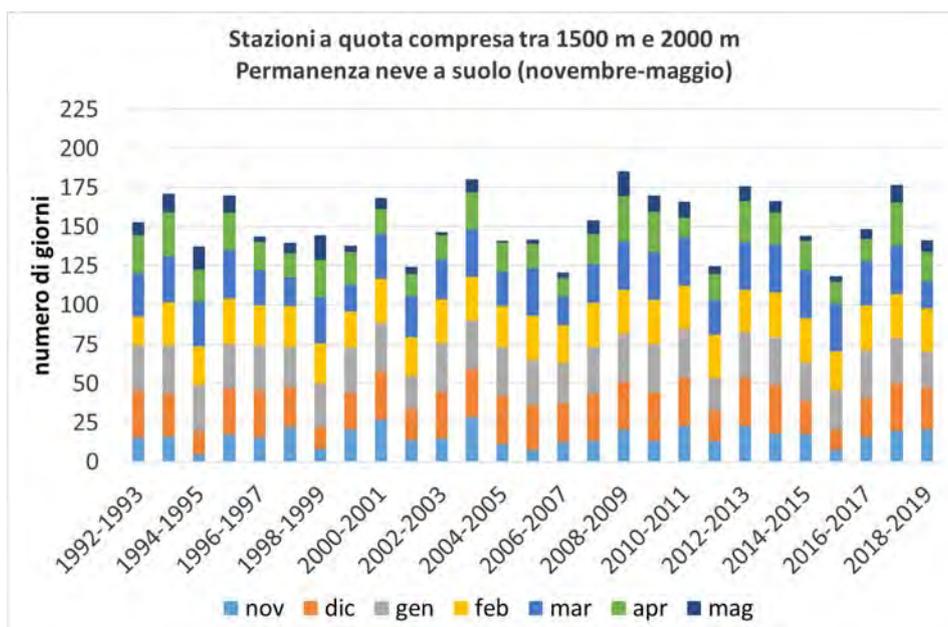




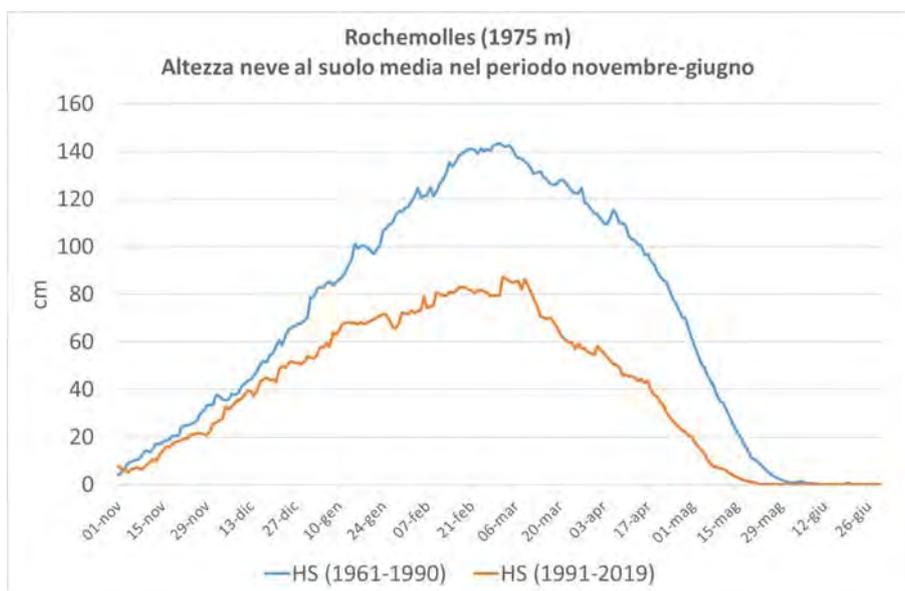
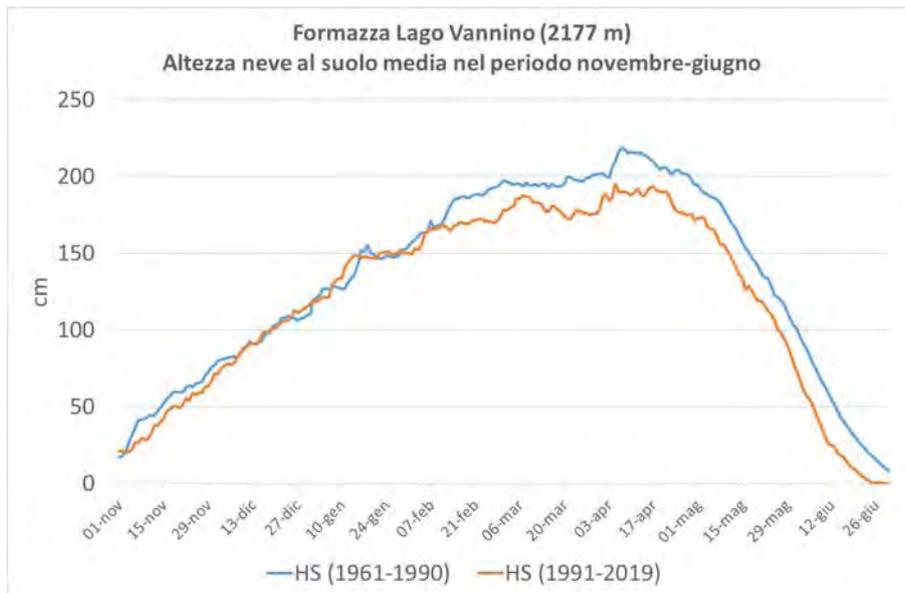


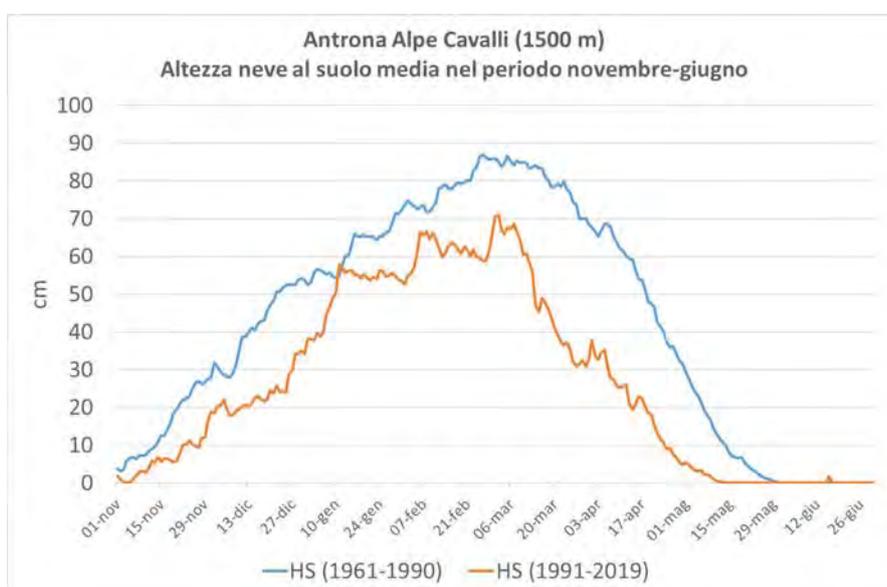
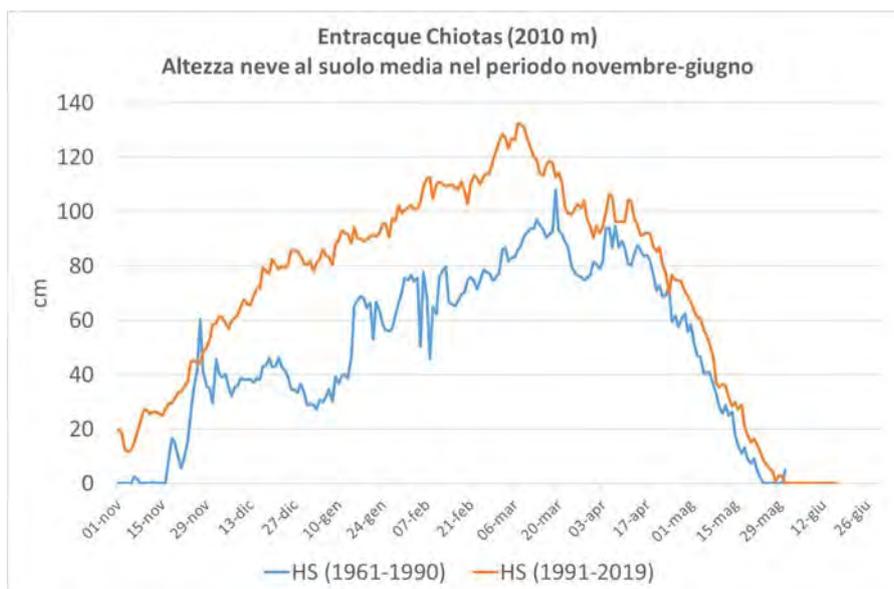
I grafici seguenti riassumono il numero di giorni con presenza di neve al suolo nel periodo compreso tra novembre e maggio a partire dalla stagione 1992-1993 fino al 2018-2019, per le stazioni di quota inferiore a 1500 m, comprese tra 1500 e 2000 m e superiore a 2000 m. In generale si evince una lieve tendenza all'aumento del numero di giorni con presenza di neve al suolo per le stazioni ubicate a una quota superiore ai 2000 m, mentre una lieve tendenza alla diminuzione per le stazioni situate ad una quota inferiore ai 1500 m. Tali tendenze non risultano però significative dal punto di vista statistico.





Per evidenziare un eventuale cambiamento che non si evince analizzando i dati anno per anno e mediando tutte le stazioni per fasce di quota, sono state costruite le curve stagionali di spessore dell'altezza della neve al suolo medie su due periodi diversi (1960-1990, 1991-2019) per le medesime stazioni. I periodi sono stati scelti la fine di evidenziare i cambiamenti negli ultimi 30 anni rispetto ad un periodo precedente statisticamente significativo (trent'anni). Queste elaborazioni, costruite sulla base della scala temporale giornaliera, consentono anche di valutare i cambiamenti della quantità di neve al suolo nei diversi periodi della stagione.





I grafici evidenziano come negli ultimi 20 anni vi sia stata una riduzione ovunque dell'altezza della neve al suolo rispetto ai trent'anni precedenti. Fa eccezione la stazione di Entracque Chiotas (CN) che mostra un comportamento opposto.

Per quanto riguarda la stazione di Formazza Lago Vannino, tale diminuzione è limitata in quantità, si evince solo dal mese di febbraio in avanti, la forma rimane pressoché invariata con le nevicate di aprile che tendono a incrementare temporaneamente l'altezza di neve al suolo. La diminuzione principale si ha nel periodo di fusione del manto nevoso, che è anticipato e riduce anche la permanenza al suolo della neve nel mese di giugno. Questa diminuzione è attribuibile principalmente alle temperature più elevate del periodo.

Nelle altre stazioni la diminuzione della neve al suolo è decisamente più marcata. Le stazioni di Lago Serrù e Rochemolles, rappresentative rispettivamente delle alpi nordoccidentali e occidentali, risentono delle nevicate minori a partire dal mese di gennaio, mentre non si evince una differenza sistematica nell'inizio della stagione.

4 CREDITS

ARPA PIEMONTE

Dipartimento Rischi Naturali e Ambientali e Dipartimento Sistemi Previsionali

Via Pio VII, 9 - 10135 Torino - Tel. 01119681350 - fax 01119681341

e-mail: dip.rischi.naturali.ambientali@arpa.piemonte.it

www.arpa.piemonte.it

REGIONE PIEMONTE

Direzione Ambiente, Energia e Territorio

Settore Progettazione Strategica e Green Economy

Corso Bolzano, 44 - 10121 Torino

e-mail: cambiamento.climatico@regione.piemonte.it

www.regione.piemonte.it/web/temi/ambiente-territorio/ambiente/cambiamento-climatico