



Il cambiamento climatico in montagna: gli effetti sull'innevamento

Renata Pelosini

Mariaelena Nicoella, Simona Barbarino, Luca Tomassone, Nicola Loglisci, Chiara De Luigi, Barbara Cagnazzi, Luca Paro

Dipartimento Sistemi Previsionali

Arpa Piemonte



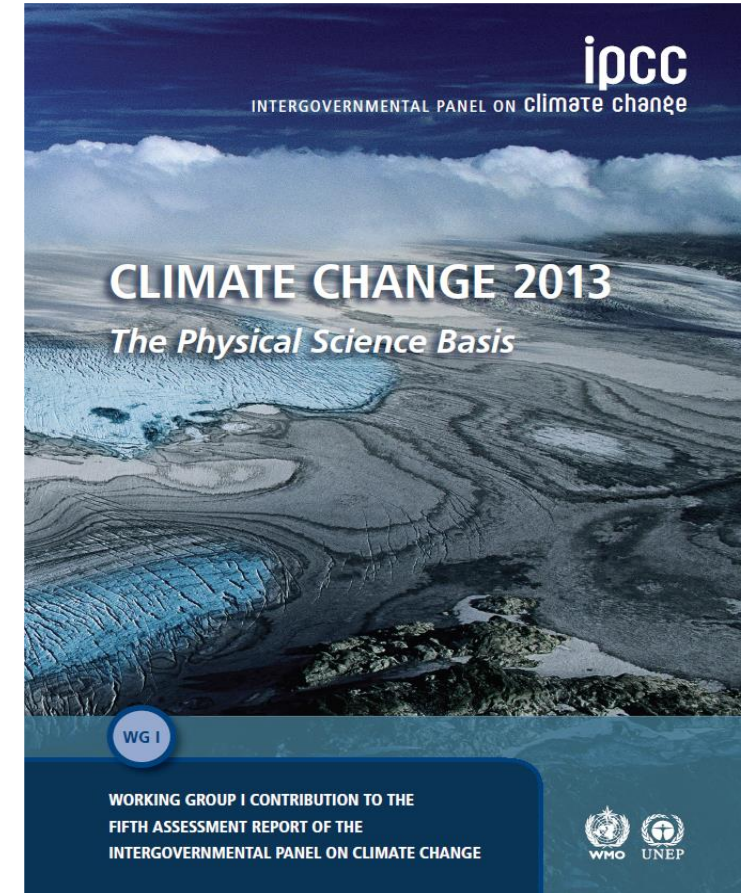
Sommario

- ✓ Il cambiamento climatico a livello globale e gli effetti sulla criosfera e le zone di montagna
- ✓ Il cambiamento climatico sulle Alpi e sul Piemonte
- ✓ Gli scenari futuri a livello globale
- ✓ Gli scenari futuri locali
- ✓ Gli effetti

Il cambiamento climatico è inequivocabile

Dal 1950 sono stati osservati cambiamenti in tutti i comparti del sistema climatico terrestre

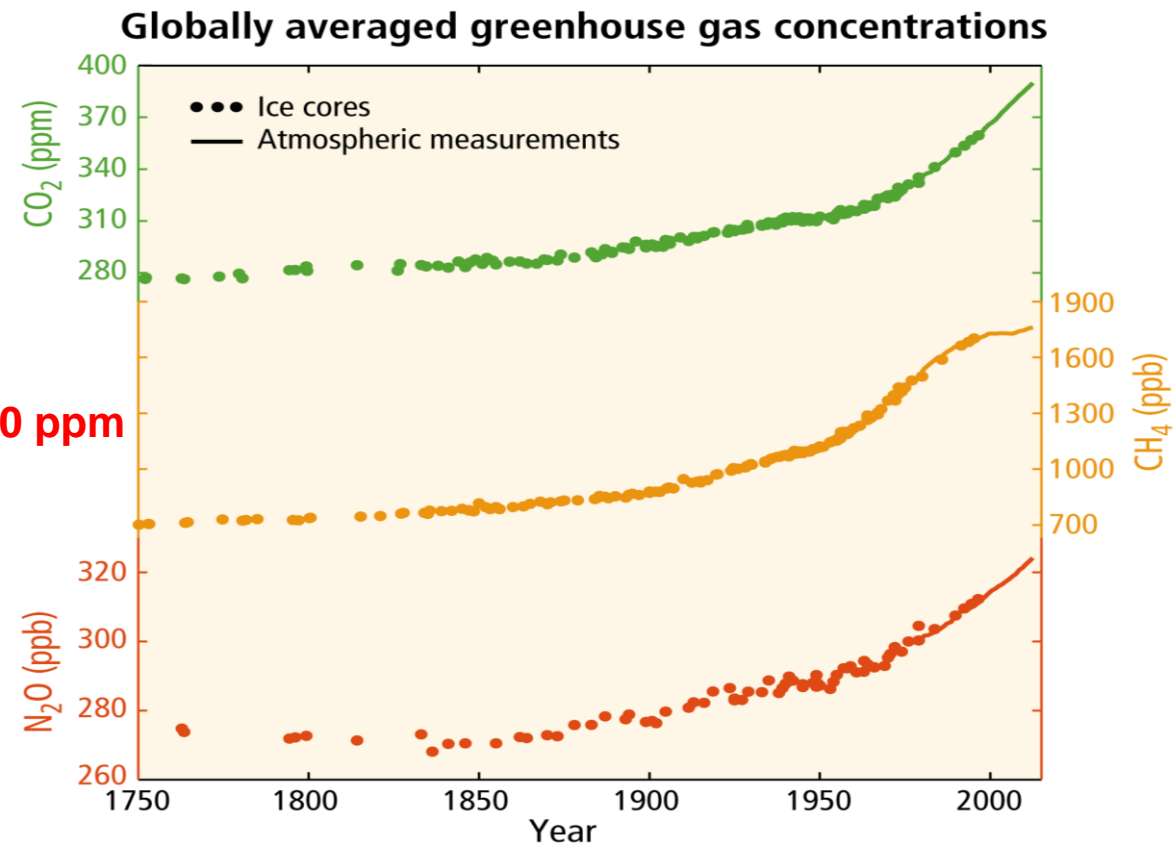
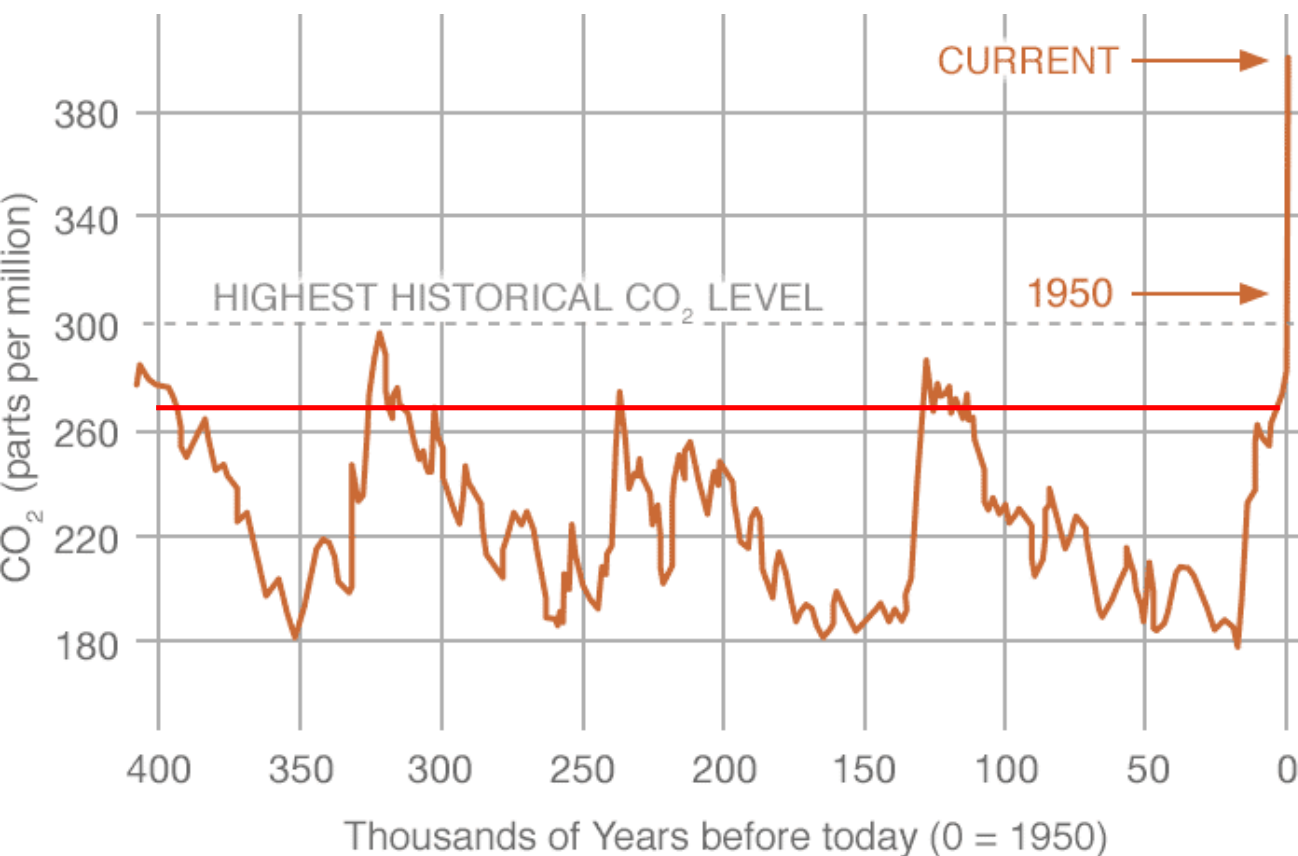
- ✓ l'energia accumulata nel mare e nell'atmosfera è aumentata
- ✓ l'atmosfera e l'oceano si sono riscaldati
- ✓ l'estensione ed il volume dei ghiacci si sono ridotti
- ✓ la copertura nevosa nell'emisfero nord è diminuita
- ✓ il permafrost è in generale degradazione
- ✓ il livello del mare si è innalzato
- ✓ le concentrazioni dei gas serra hanno raggiunto i valori più elevati degli ultimi 800.000 anni



V rapporto IPCC, 2013
osservazioni



Trend nelle concentrazioni gas serra



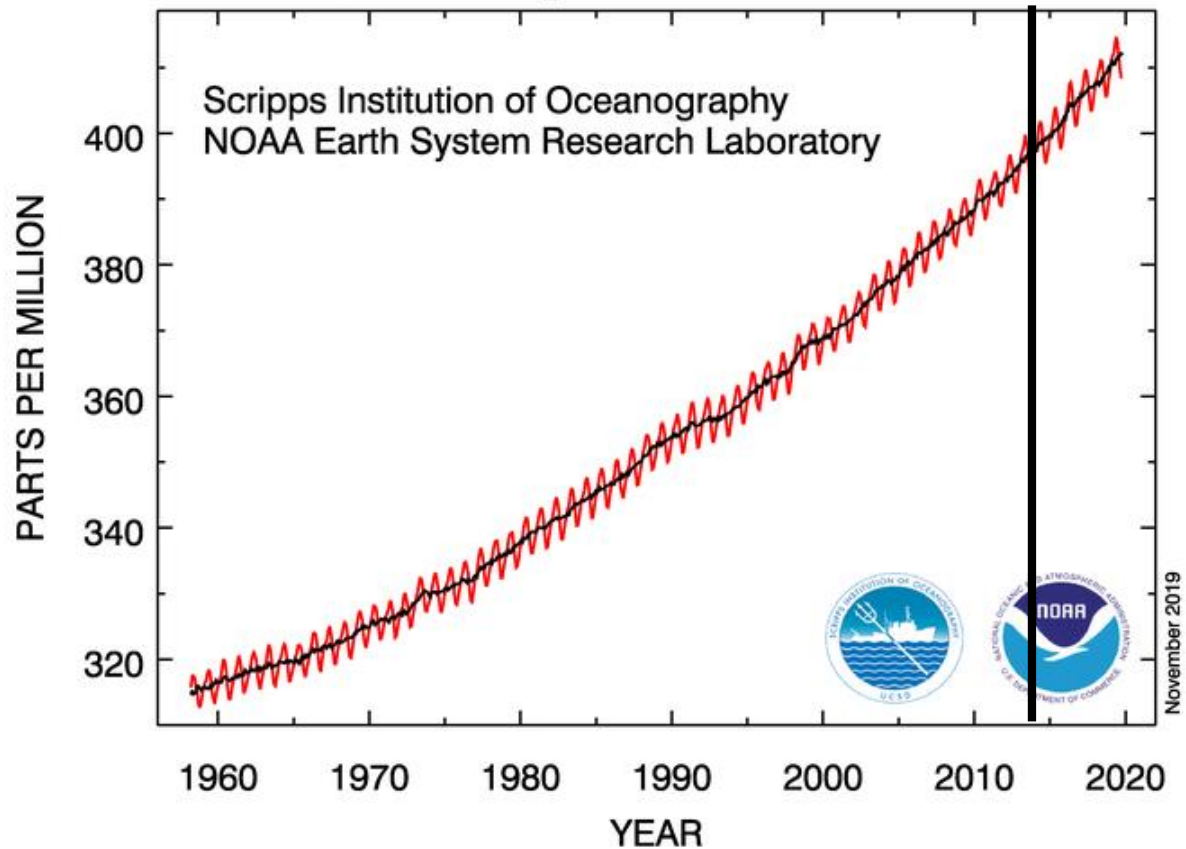
Le concentrazioni di **CO₂**, **CH₄** e **N₂O** sono aumentate dal 1750 ad oggi del 40%, 150% e 20%, raggiungendo i **valori più elevati degli ultimi 800.000 anni**

(Source: AR5 IPCC)

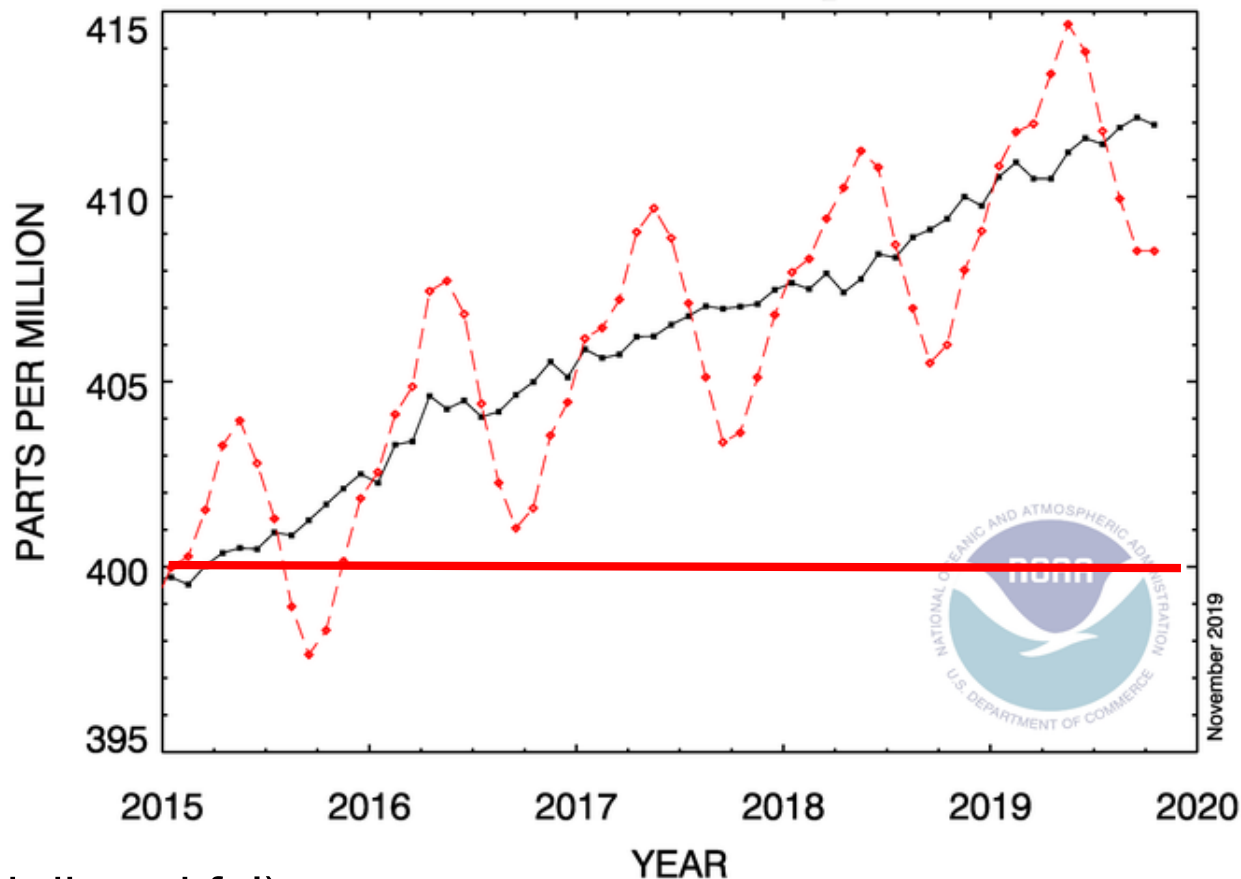


Trend nella concentrazione della CO₂

Atmospheric CO₂ at Mauna Loa Observatory



RECENT MONTHLY MEAN CO₂ AT MAUNA LOA



Dal 2014 superati i 400 ppm (osservato ~ 2.5 milioni di anni fa')
 Dal 2015 costantemente al di sopra dei 400 ppm

October 2019: 408.53 ppm
October 2018: 406.00 ppm

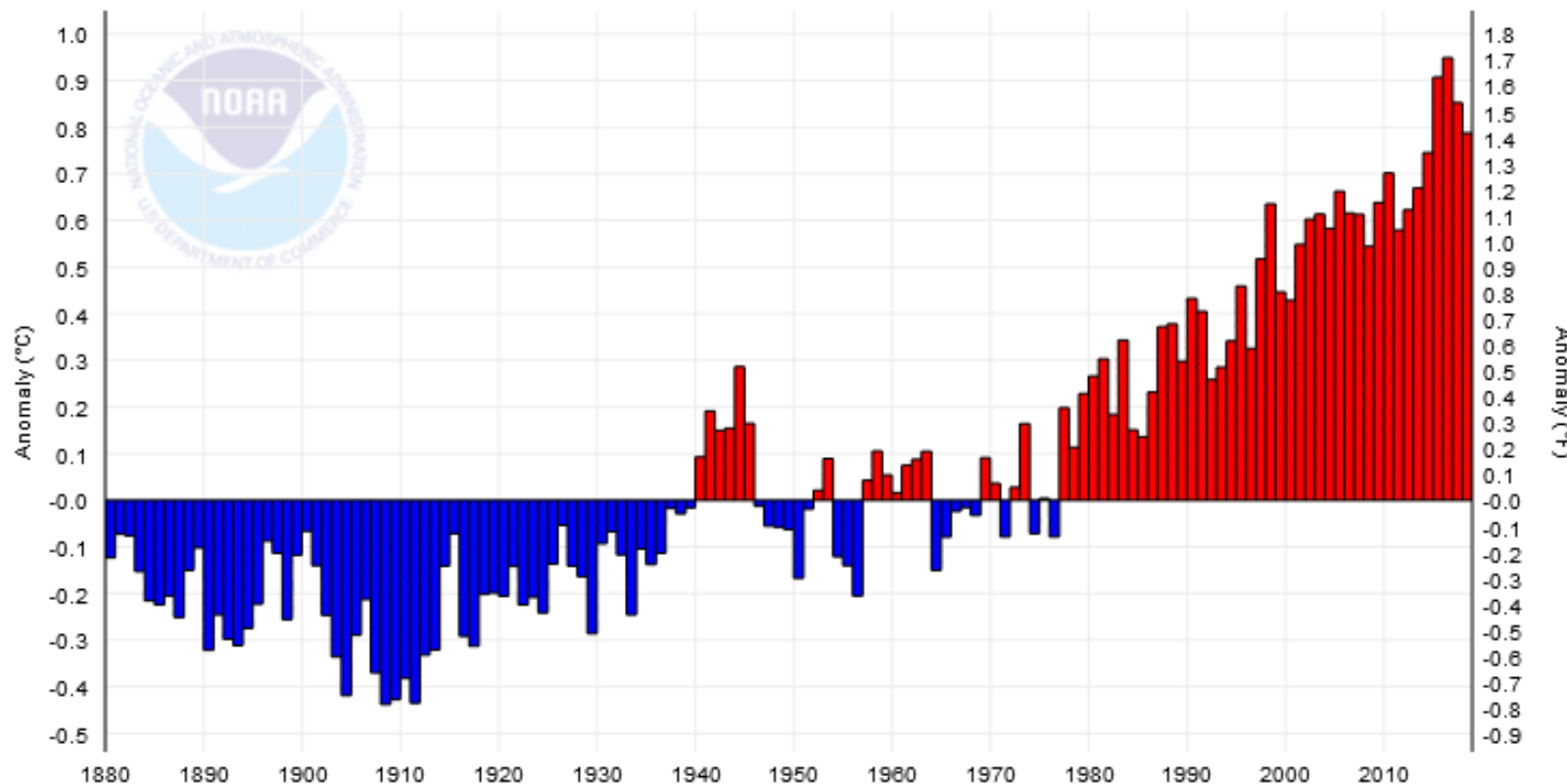
Last updated: November 5, 2019

(Source: NOAA)



Temperatura media globale

Global Land and Ocean Temperature Anomalies, January-December



Incremento di temperatura
0.07°C /10Y dal 1880
0.17°C dal 1981

WMO
 Statement on the Status of the Global Climate in 2016

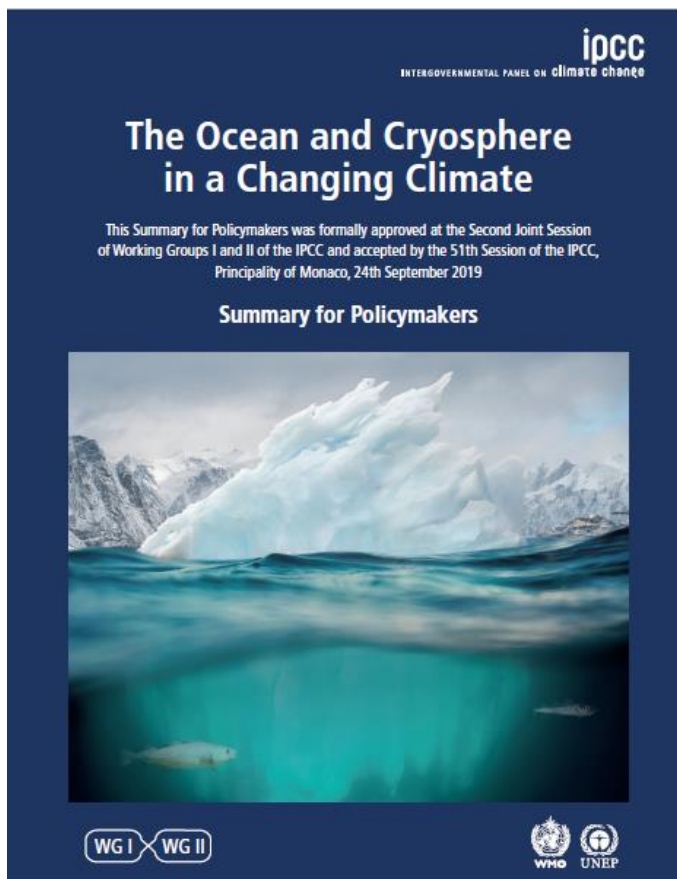
2016 was the warmest on record at about 1.1 °C above the preindustrial period

+1.1°C

Nel XXI secolo il record di temperatura è stato superato otto volte (2016, 2015, 2017, 2018, 2007, 2010, 2005, 2014 e 2013)

(Source: NOAA)

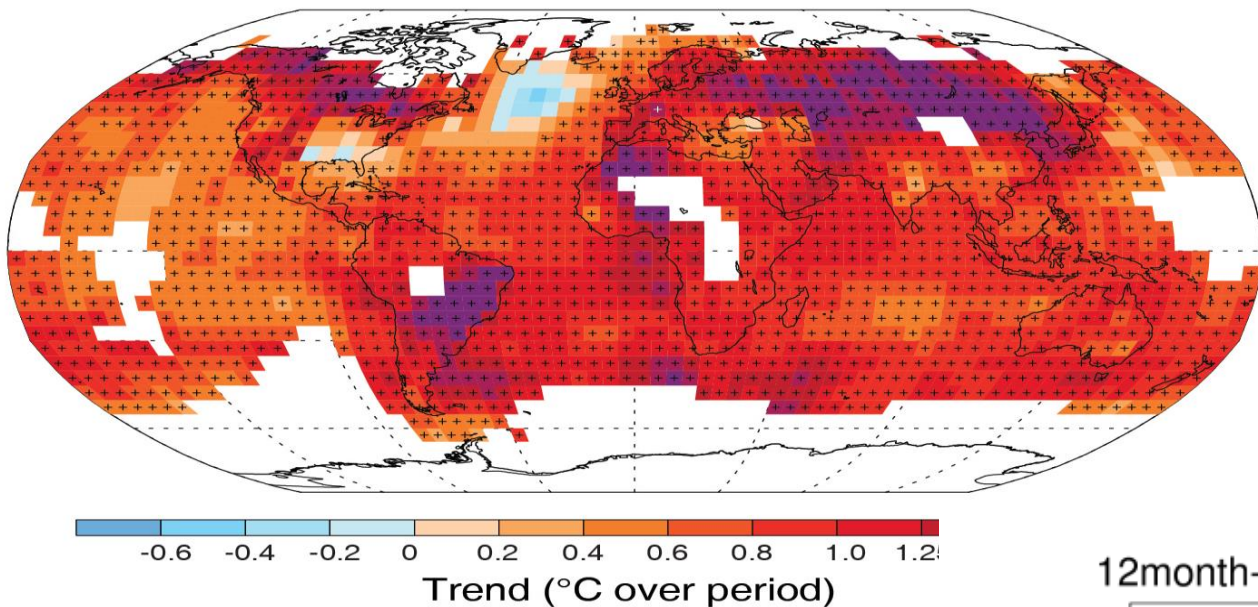
Effetti diretti sulla criosfera



- ✓ **contrazione della criosfera** a livello globale, con perdita di massa dei ghiacciai, riduzione della copertura nevosa, estensione e spessore del ghiaccio marino dell'Artico, incremento della temperatura del permafrost
- ✓ **riscaldamento degli oceani** senza interruzione dal 1970, con assorbimento di più del 90% di calore in eccesso nel sistema climatico
- ✓ le **anomalie di temperatura superficiale dell'oceano** sono raddoppiate in frequenza dal 1982 e sono aumentate in intensità
- ✓ l'assorbimento della CO₂, ha portato ad un incremento dell'**acidificazione** e una **perdita di ossigeno** nei primi 1000m
- ✓ **Il livello del mare** continua ad aumentare
- ✓ incremento dell'**intensità dei cicloni tropicali** (vento e precipitazione)
- ✓ diminuzione dei **ghiacciai sulla terraferma** e modifiche **ciclo idrologico** stanno determinando impatti su ecosistemi terrestri e d'acqua dolce nelle aree montane (ciclo stagionale, abbondanza, distribuzione di specie animali e vegetali di importanza ecologica, culturale ed economica, disordini ecologici e alterazioni dei servizi resi)

Riscaldamento non uniforme

Change in global surface temperature 1901–2012

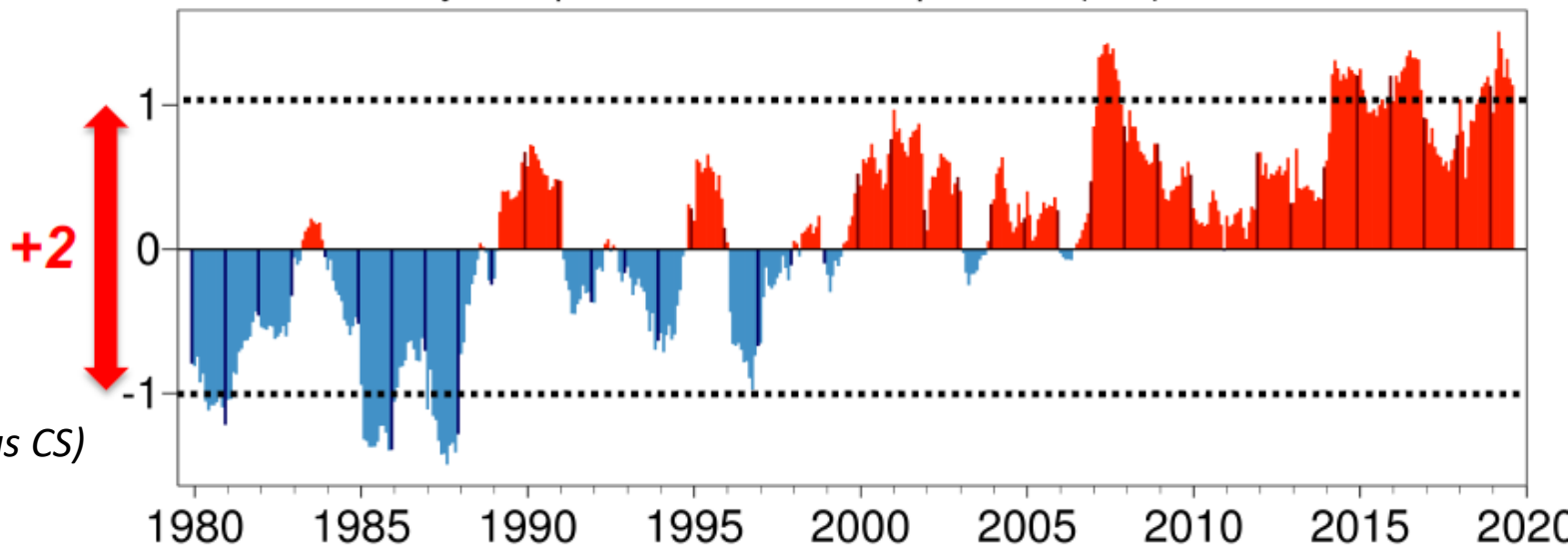


(Source: AR5 IPCC)

L'area Mediterranea e le Alpi sono due "hot spot" del cambiamento climatico, dove il trend di aumento di temperatura nell'ultimo trentennio è superiore a quello globale.

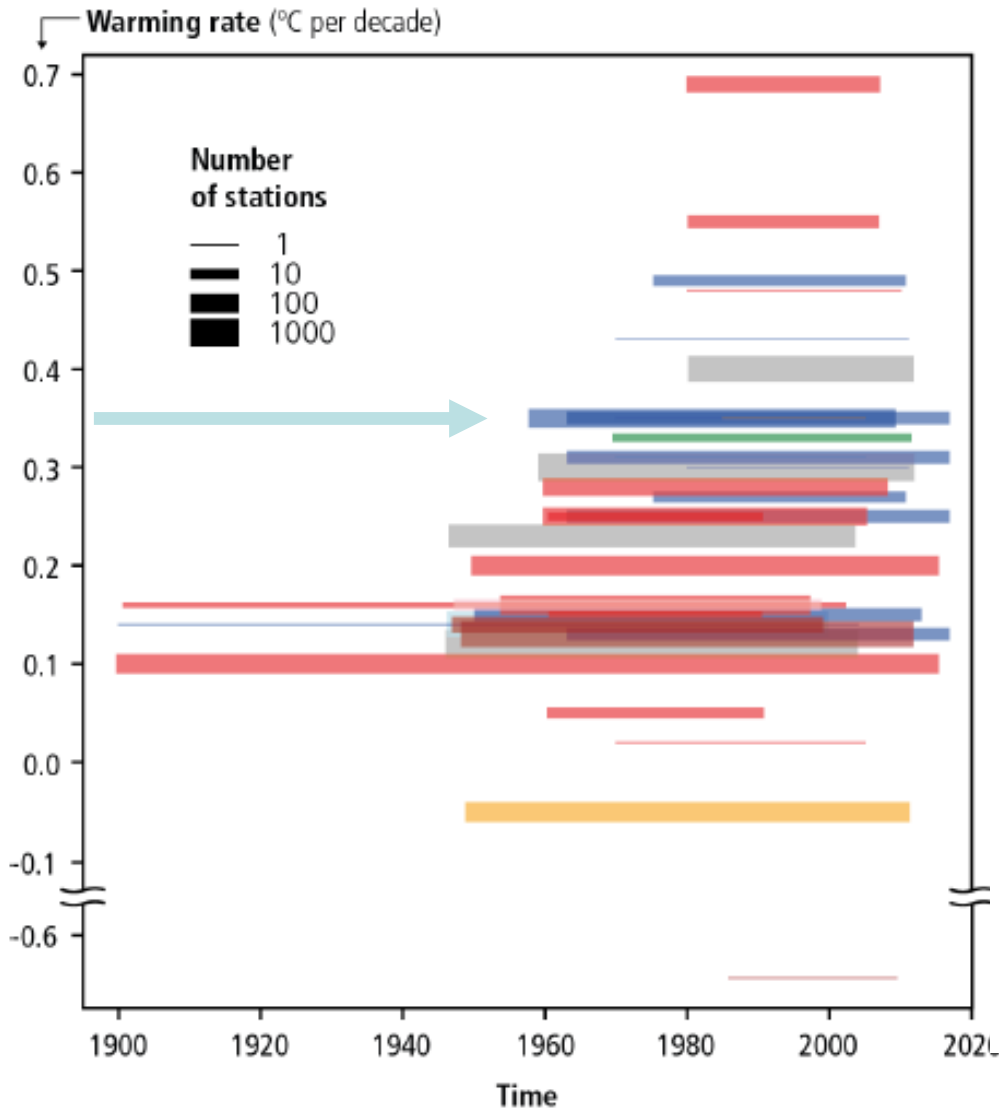
Anomalie annuali di temperatura in Europa

12-month-anomaly European surface air temperature (° C) relative to 1981-2010



(Source: Copernicus CS)

Temperatura sulle regioni montane



- ✓ La temperatura dell'aria alla superficie nelle regioni montane nel Nord America, Asia e Alpi mostra un riscaldamento nelle decenni più recenti a un tasso medio di 0.3°C per decade ($0.2 \pm 0.1^{\circ}\text{C}$)
- ✓ Il riscaldamento a livello locale dipende dalla stagione (nelle Alpi il riscaldamento è più pronunciato in estate e primavera) e da altri fattori locali
- ✓ L'aumento di temperatura generalmente è superiore sopra i 500m s.l.m.

High Mountain Regions	Global studies, >500 m	Low latitudes
	North America	High Mountain Asia
	Central Europe	Australia & New Zealand
	Caucasus/Middle East	Japan
	Subtropical South America	



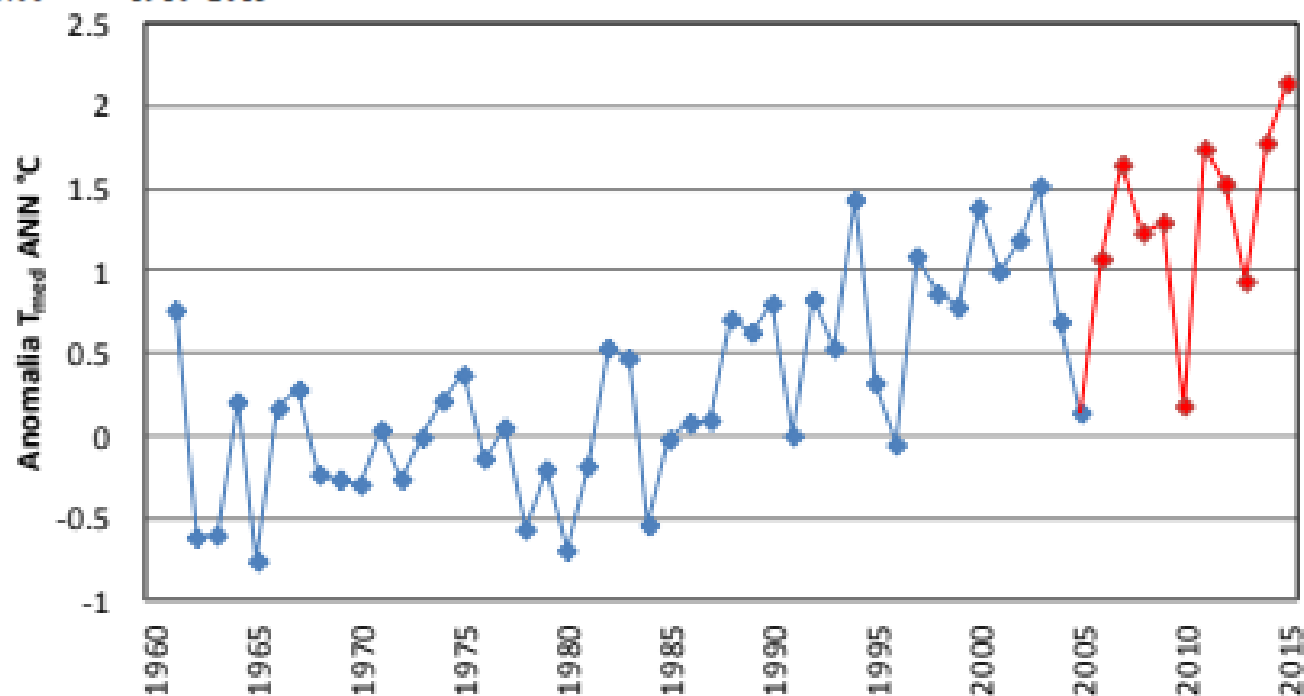
Temperatura sulle Alpi

°C/10y

Switzerland, 203–815 m	Mean annual temp.	+0.35	1981–2017
Switzerland, 910–1878 m	“	+0.31	“
Switzerland, 1968–3850 m	“	+0.25	“
Swiss Alps	Mean April temp.	+0.51	1961–2011
Jungfrauoch, 3580 m	Mean annual temp.	+0.43	1970–2011
Sonnblick, 3109 m	Mean annual temp.	+0.30	1980–2011
Col de Porte, 1325 m	Winter mean temp. (December–April)	+0.3	1960–2017
Mont-Blanc, 4300 m	Mean temp. (from englacial obs.)	+0.14	1900–2004
Trentino, 203–875 m	Mean annual temp.	+0.49	1976–2010
Trentino, 925–2125 m	“	+0.27	“
Abruzzo Region	Mean annual temp.	+0.15	1951–2012
Central Pyrenees	Annual mean value of maximum daily temp.	+0.11	1910–2013
“	“	+0.57	1970–2013
“	Annual mean value of minimum daily temp.	+0.06	1910–2013

- ✓ l'atmosfera vicina al suolo si è riscaldata di circa 2 °C
- ✓ si tratta di un aumento di oltre il doppio rispetto a quello della temperatura media globale

(Source: SROCC 2019, IPCC)

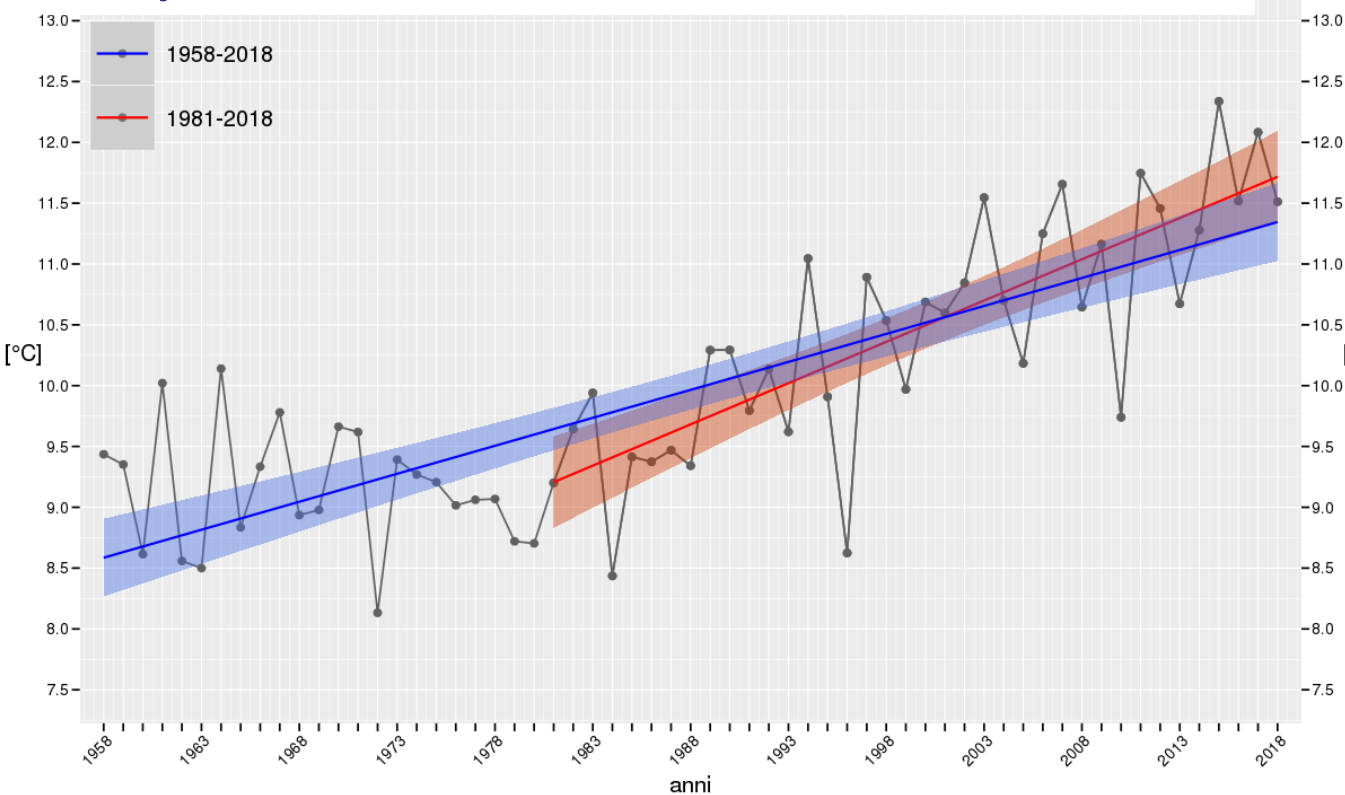


(Source: ARCIS)

Riscaldamento sulle Alpi Piemontesi

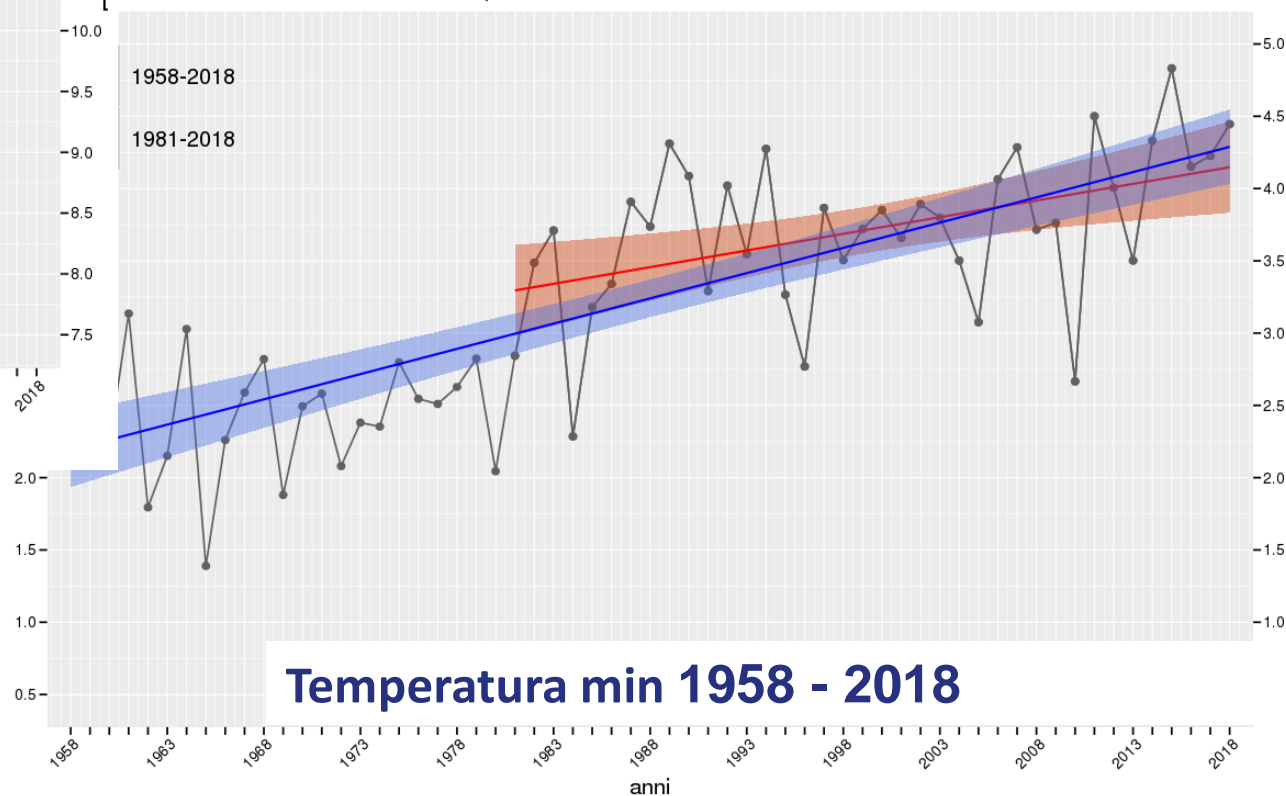
Alpi occidentali > 700m

Temperatura massima 1958 - 2018



Circa 2,7°C in 60y

Valori medi annuali temperatura minima Piemonte 1958-2018 - Quota > 700 m

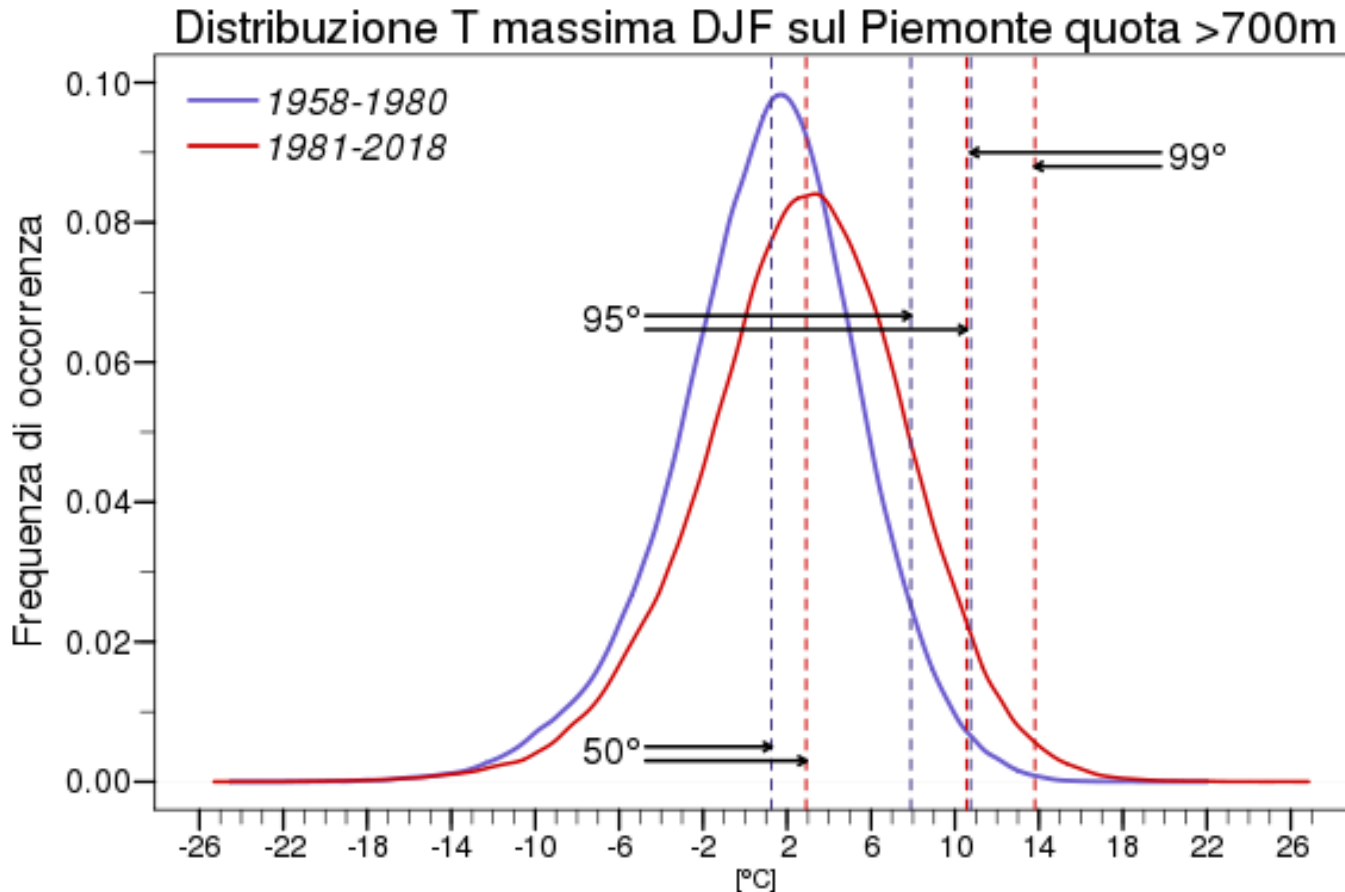


Temperatura min 1958 - 2018

Circa 1,38°C in 60y

Riscaldamento sulle Alpi Piemontesi

Alpi occidentali > 700m



Differenza dei percentili nelle due distribuzioni (1958-1980 / 1981-2018)

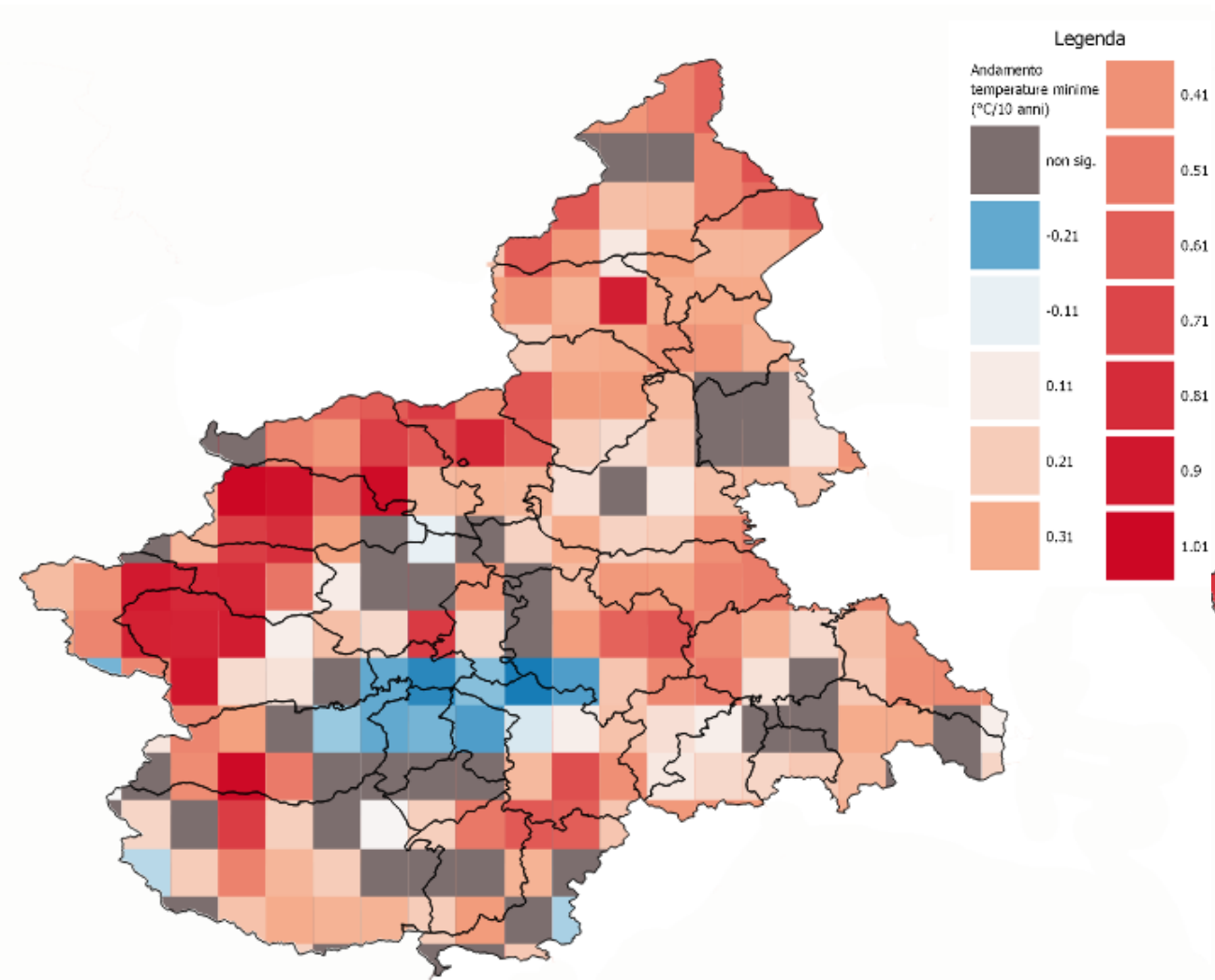
50 percentile	1.47 °C	→	35 percentile
90 percentile	1.70 °C	→	80 percentile
95 percentile	1.59 °C	→	90 percentile
99 percentile	1.81 °C	→	97 percentile

- ✓ Incremento dei valori estremi
- ✓ Incremento della frequenza dei valori estremi
- ✓ Aumento della variabilità

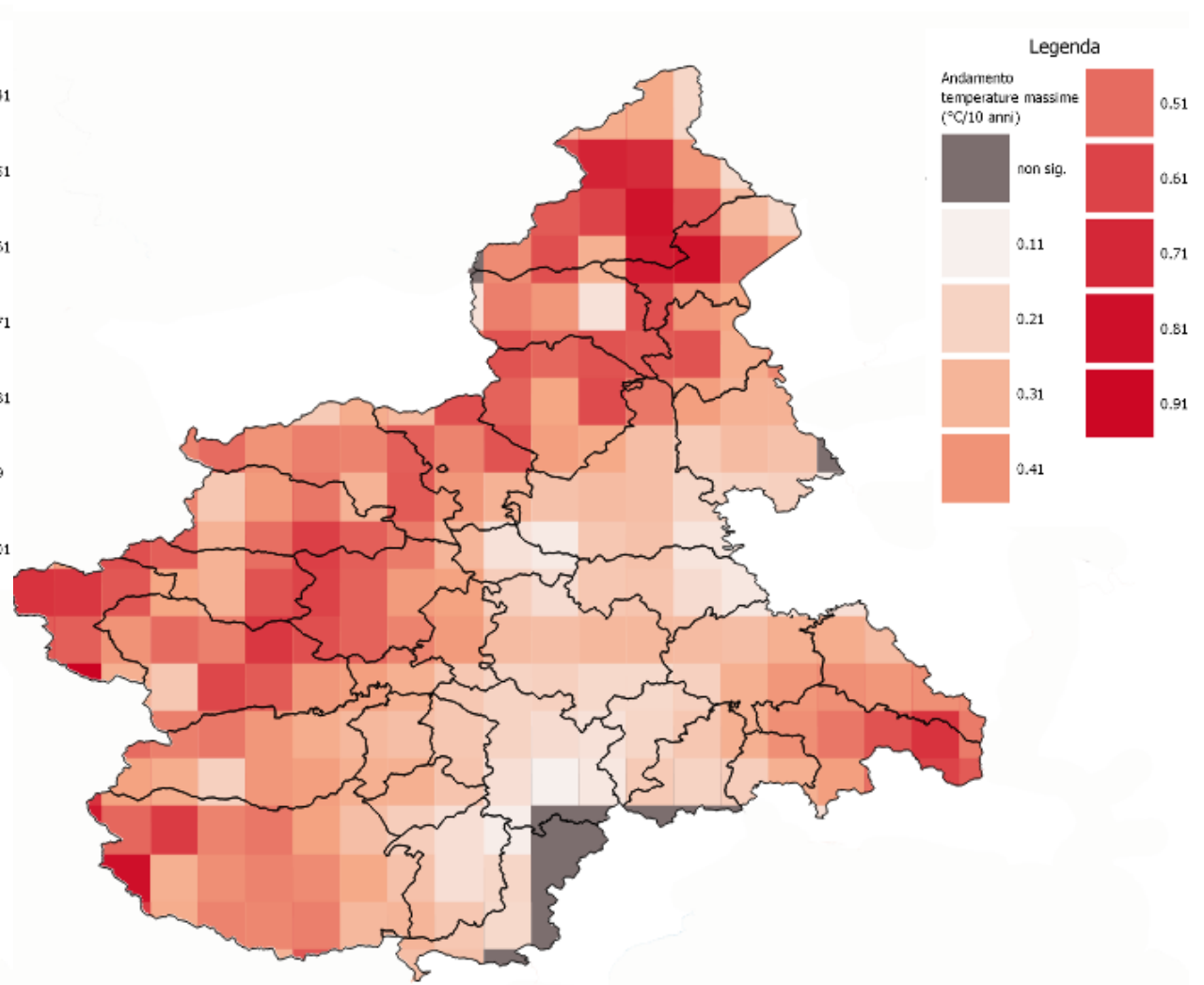


Distribuzione spaziale delle tendenze di temperatura

Temperature minime



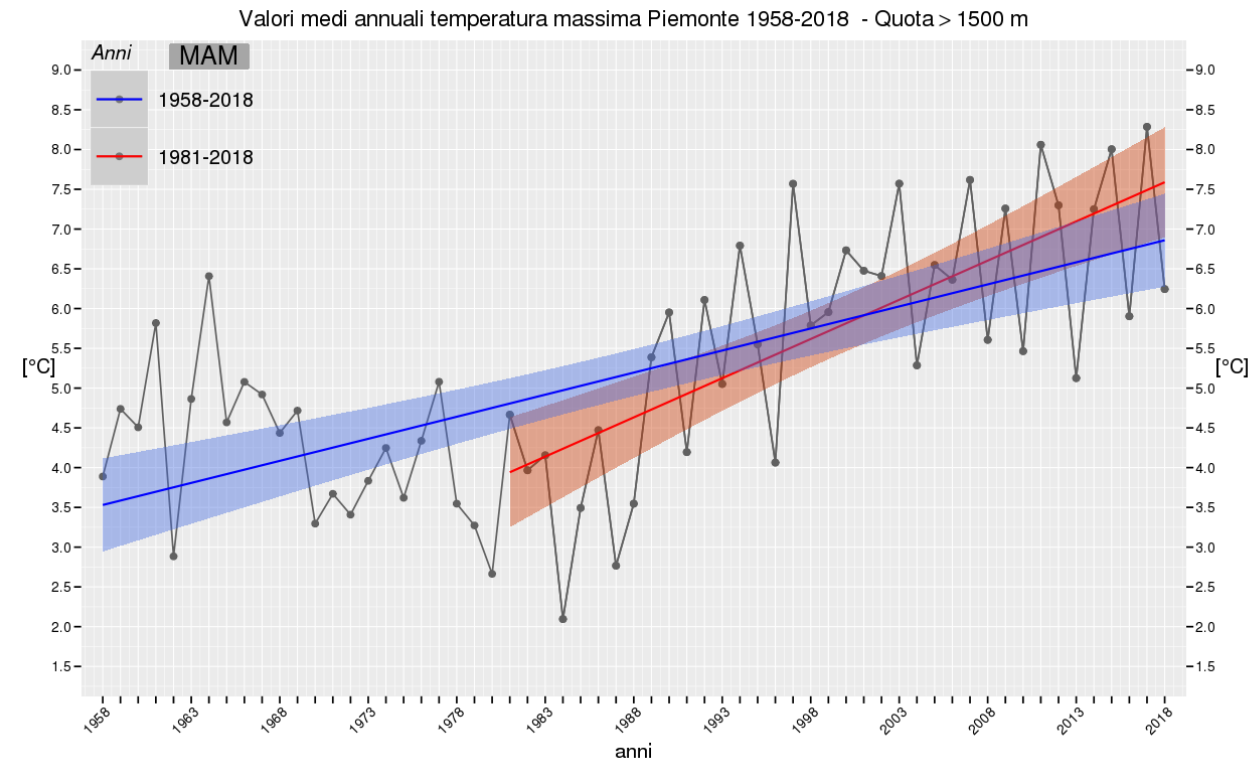
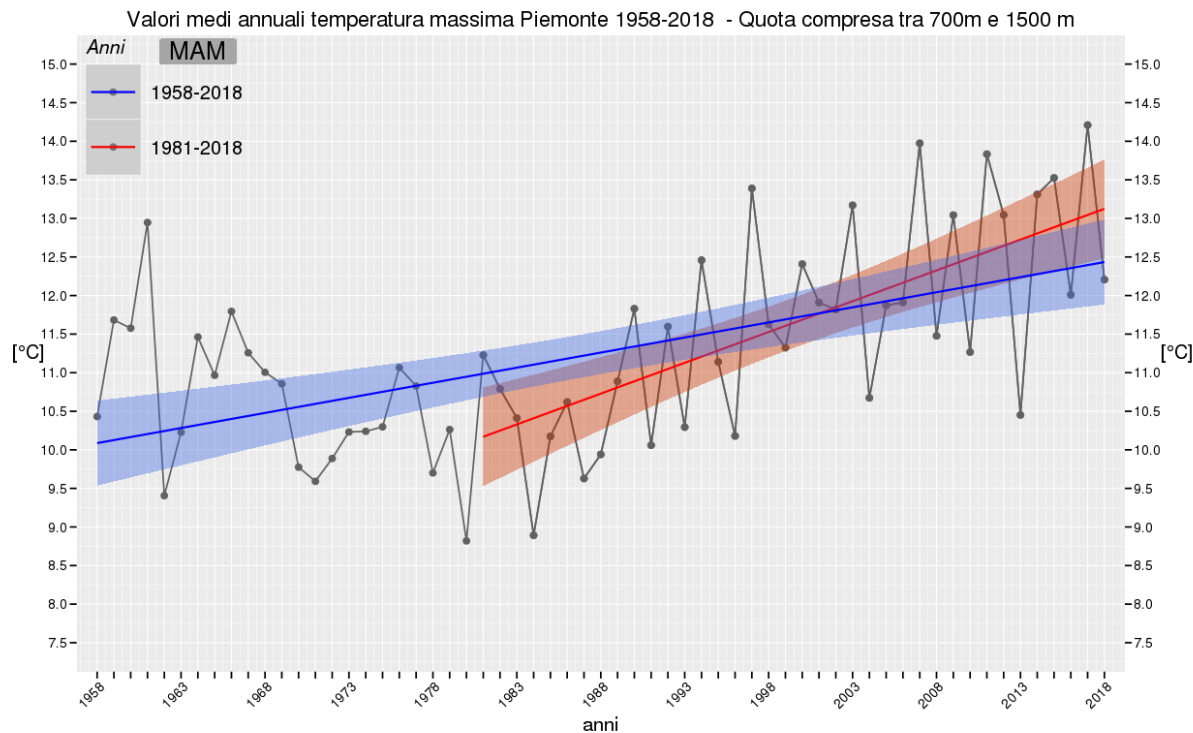
Temperature massime



Riscaldamento con la quota – Tmax primavera

Superiore a 1500 m

700 – 1500 m



	Anno	Inverno	Primavera	Estate	Autunno
1981-2018	0,74	0,57	0,99	0,80	0,59
	0,64	0,68	0,80	0,55	0,52

Superiore a 1500 m

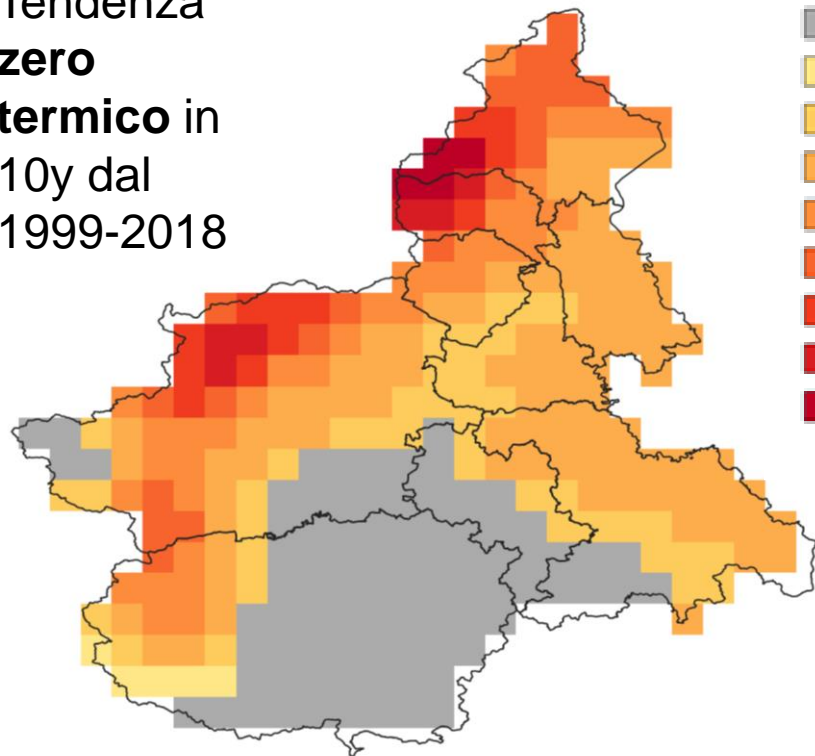
700 – 1500 m



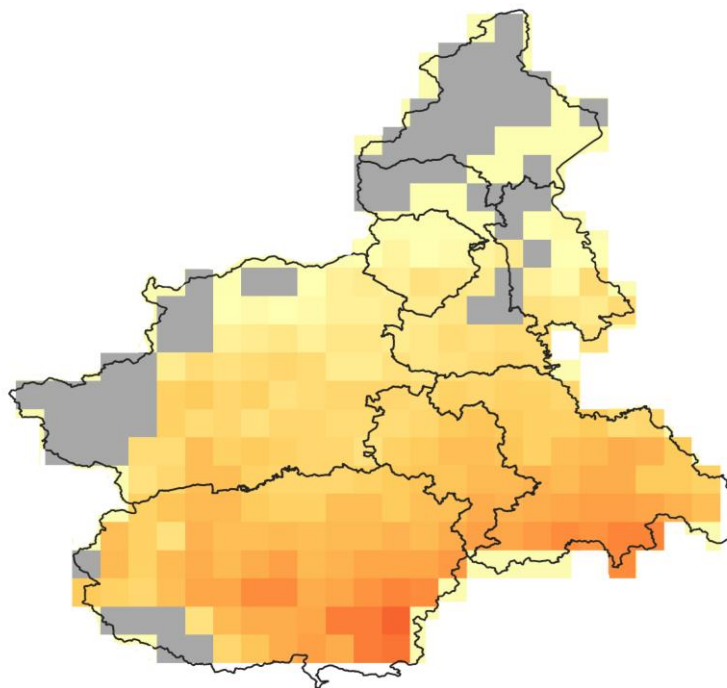
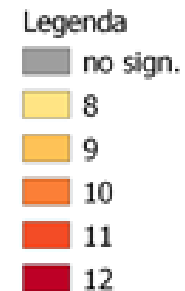
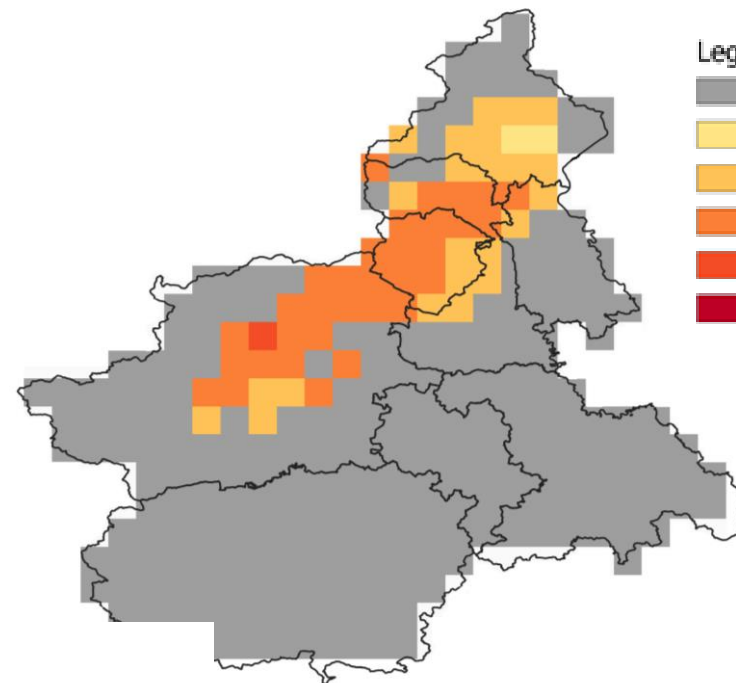


Zero termico

Tendenza
zero
termico in
10y dal
1999-2018



Tendenza numero gg
estivi con **ZT > 4000m**
ogni 10y dal 1999-
2018

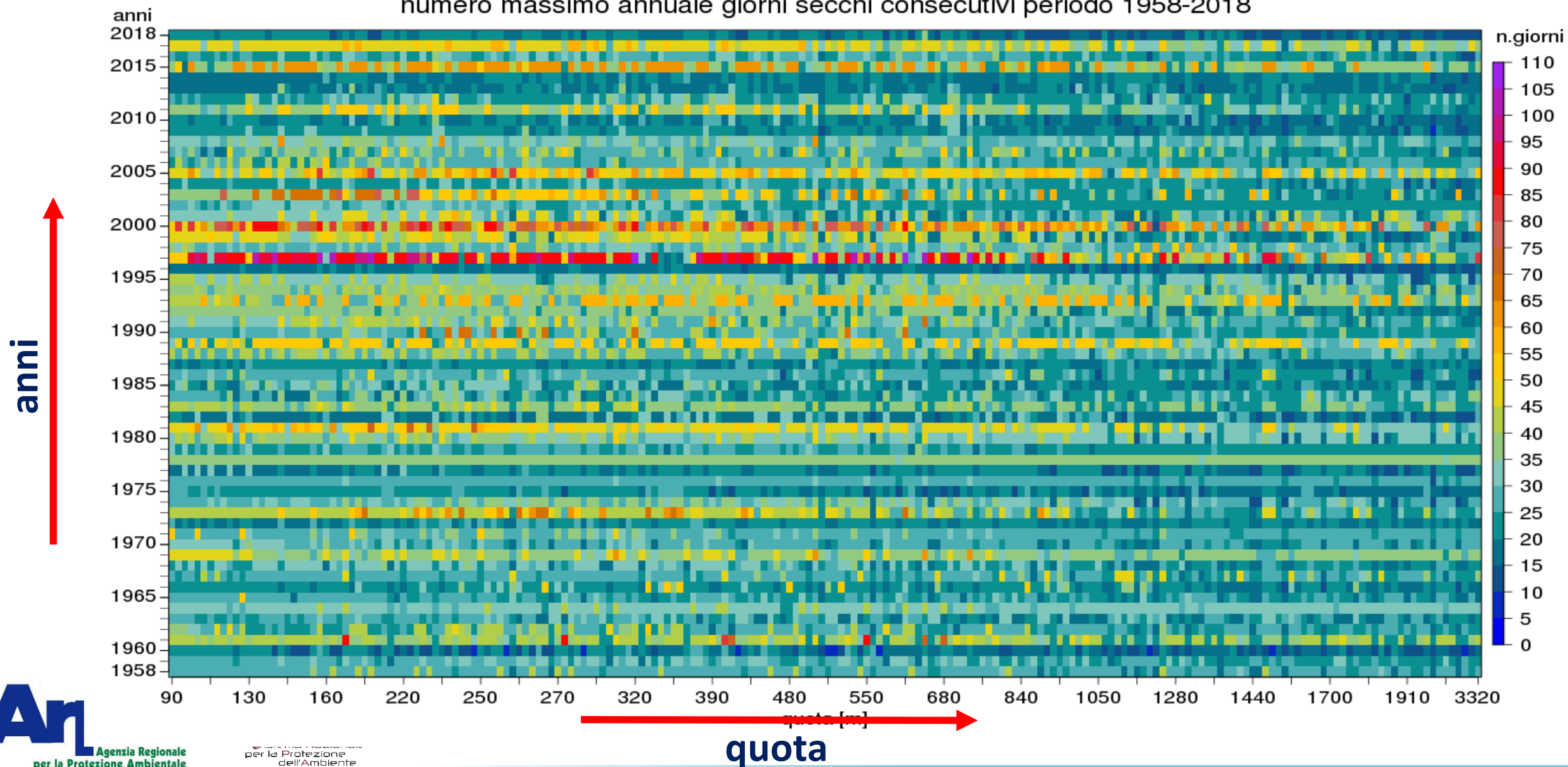


Tendenza numero gg estivi
con **ZT > 4500m** ogni 10y
dal 1999-2018

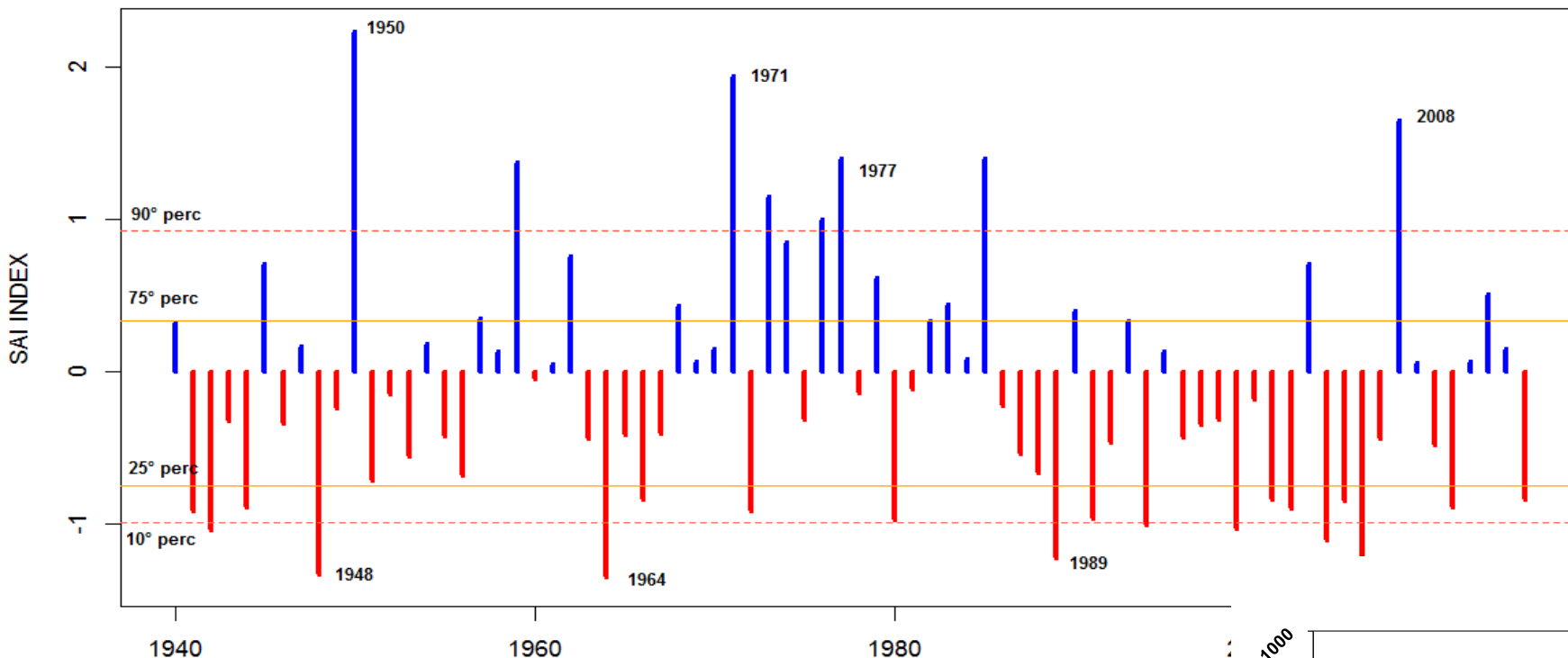


Massima lunghezza dei periodi secchi

Precipitazione giornaliera Piemonte - dataset Optimal Interpolation:
numero massimo annuale giorni secchi consecutivi periodo 1958-2018



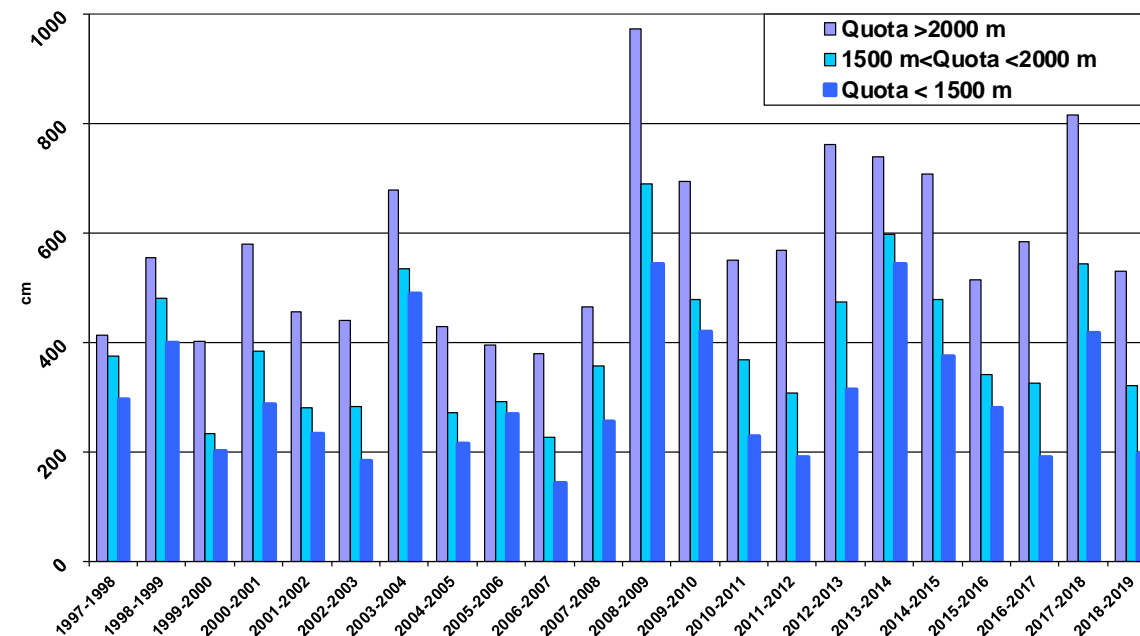
Anomalia nevicate in Piemonte da novembre a maggio



Neve fresca

La quantità di neve fresca è complessivamente in **diminuzione negli ultimi trent'anni**

Altezza neve fresca media novembre - maggio



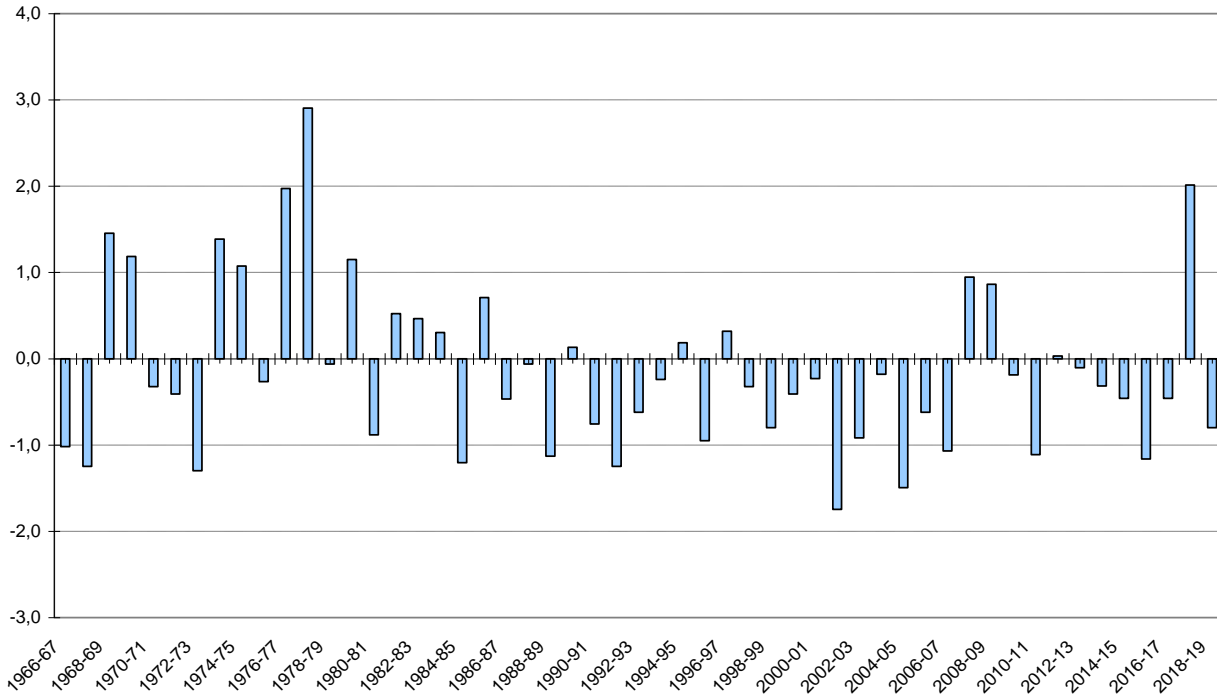
- alternanza di stagioni con caratteristiche climatiche molto differenti
- negli ultimi 30Y è presente il 2008 che è stato l'anno, dopo il 1950, con anomalia positiva maggiore
- periodo dal 1970 al 1980 con stagioni prevalentemente nevose

Persiste una ampia variabilità interannuale

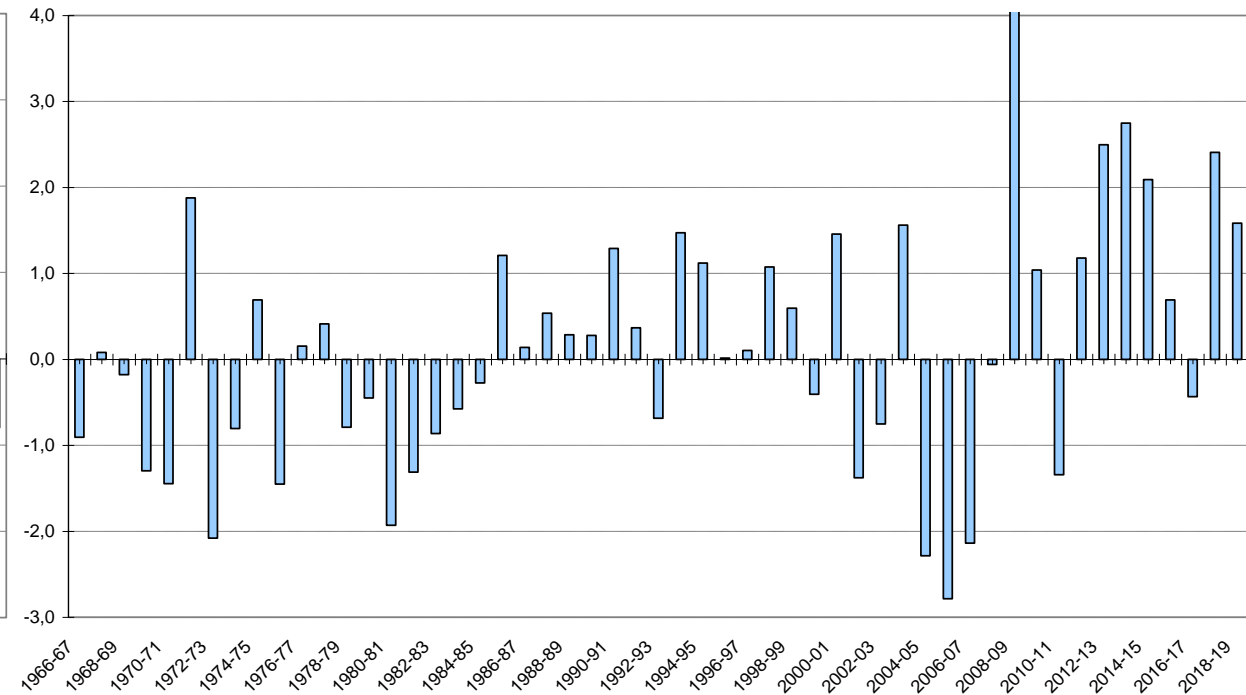


Neve fresca - singole stazioni

Bardonecchia Rochemolles (1975 m) - Indice Standardizzato di Anomalia (SAI)
Quantità annua di neve fresca (novembre-maggio) dal 1966-67 al 2018-19



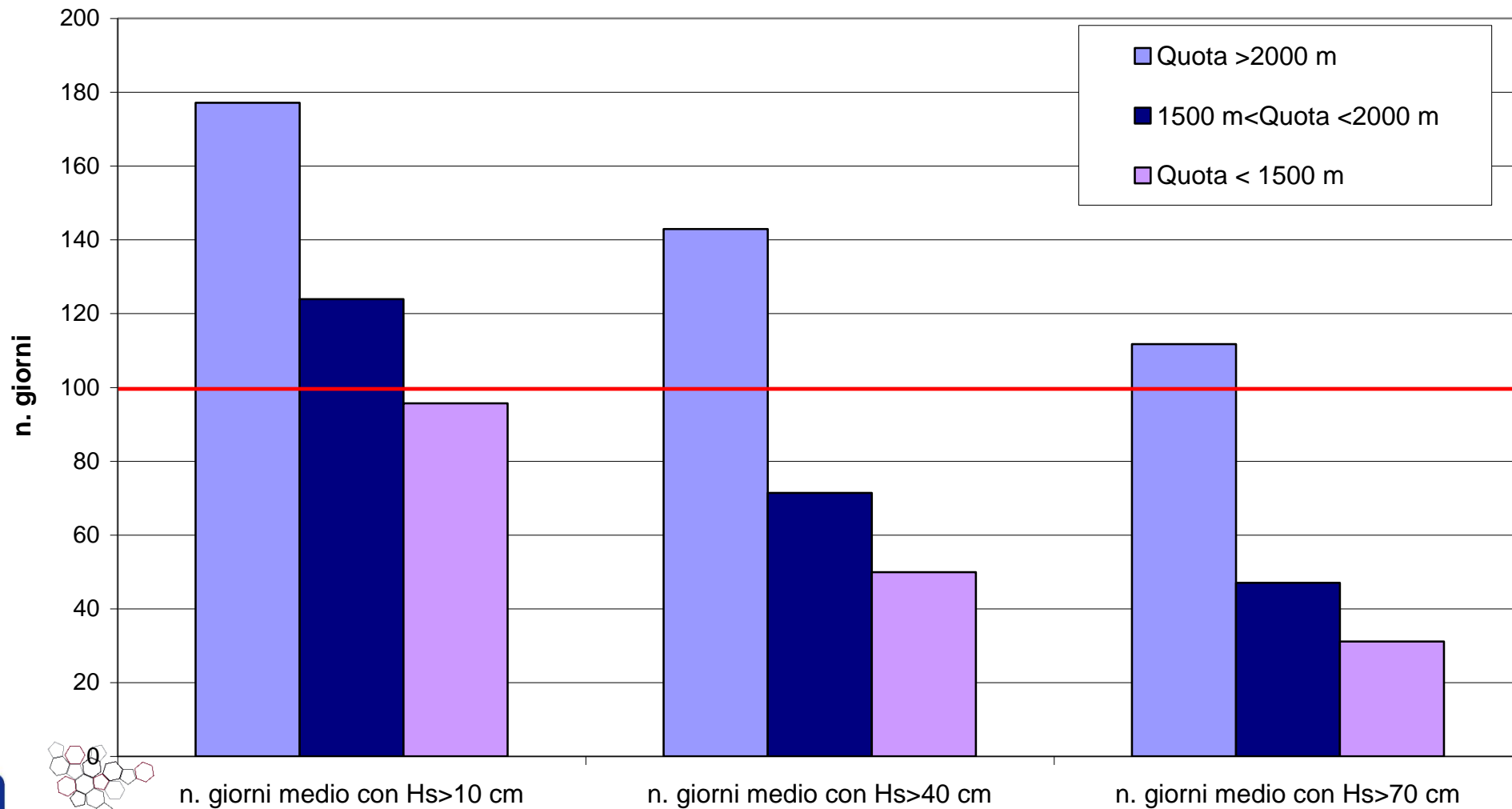
Formazza Lago Vannino (2177 m) - Indice Standardizzato di Anomalia (SAI)
Quantità annua di neve fresca (novembre-maggio) dal 1966-67 al 2018-19



- ✓ Quota
- ✓ Latitudine
- ✓ Orientamento e conformazione della valle
- ✓ Distanza dalla pianura

Neve al suolo

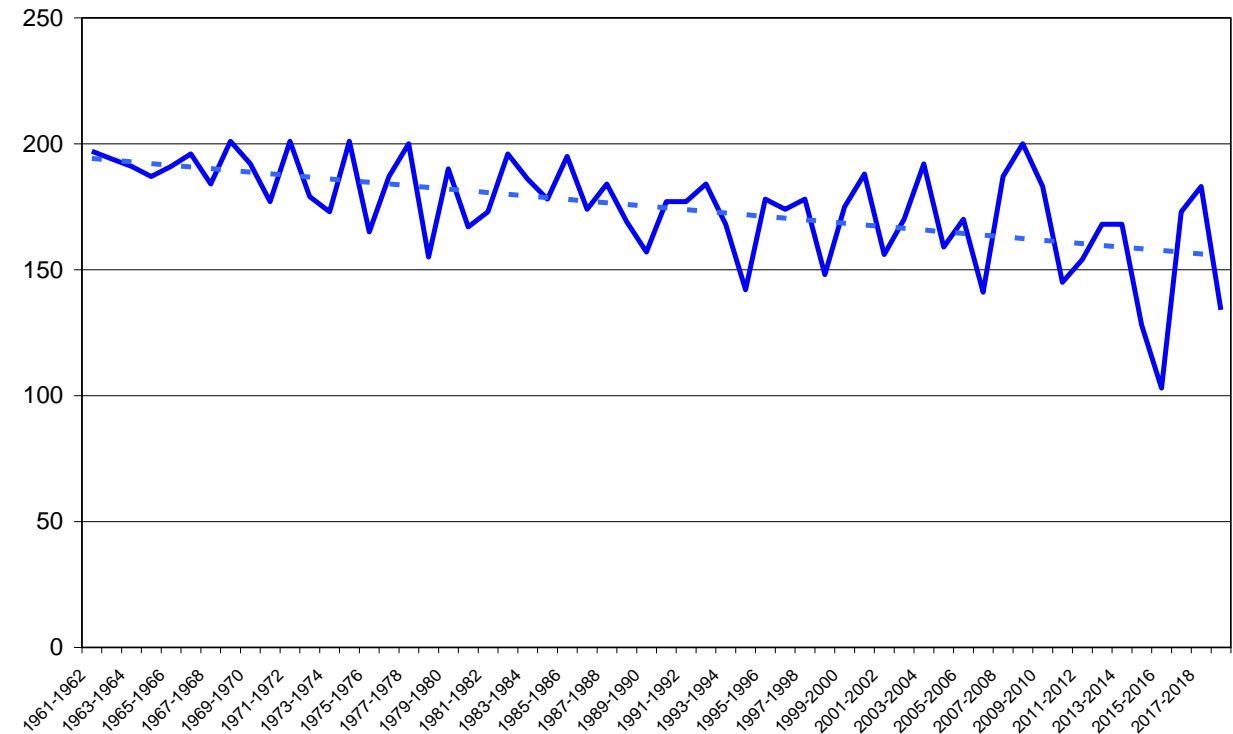
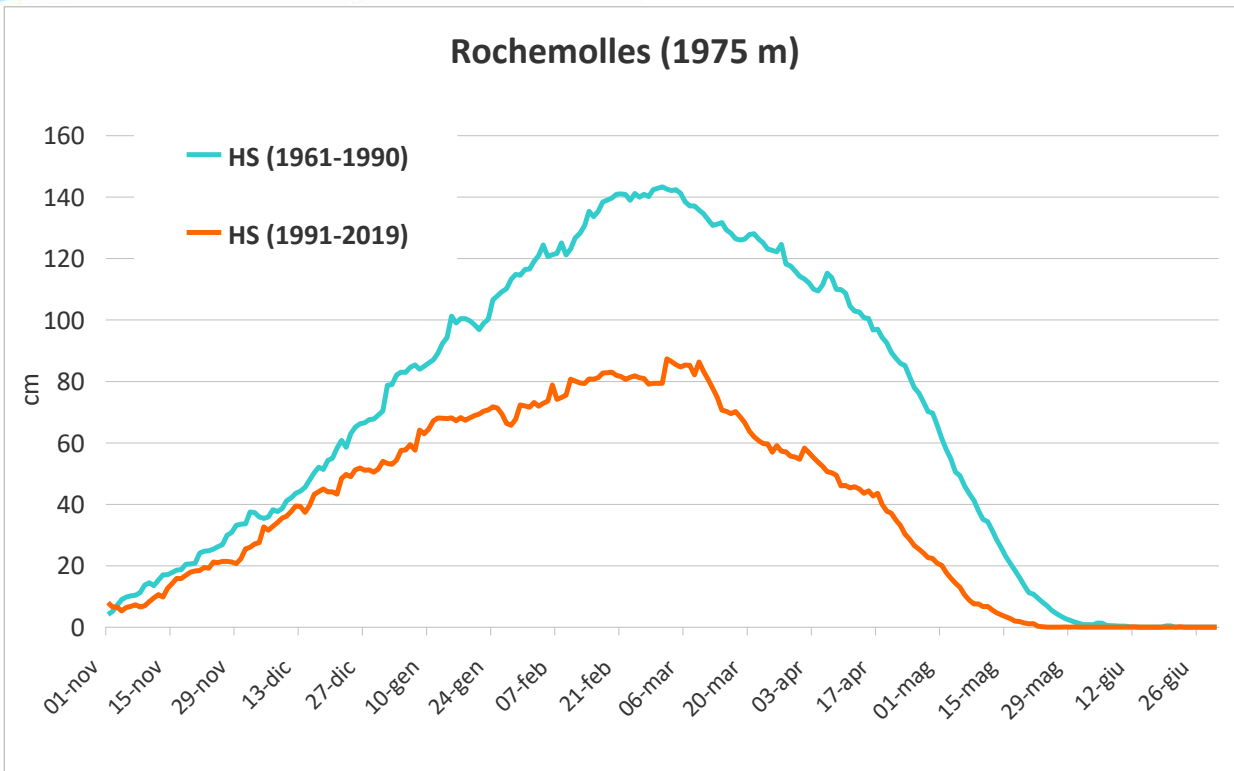
Numero di giorni con altezza della neve al suolo superiore a 10, 40, 70 cm mediato per fasce altimetriche



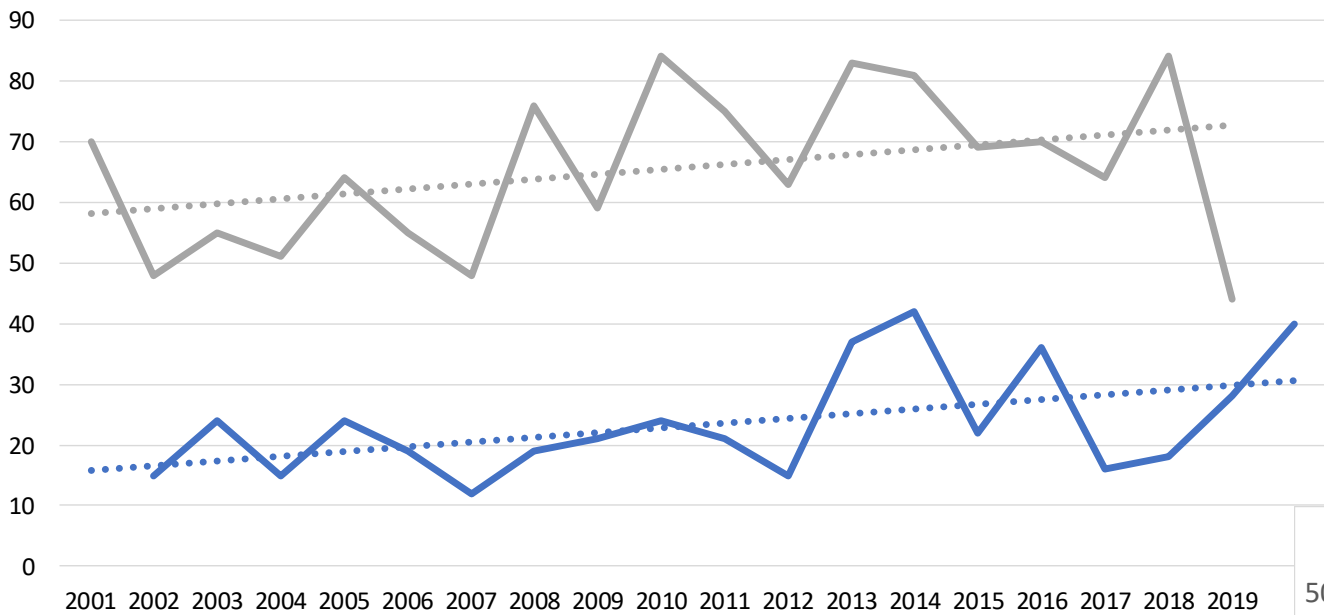
Neve al suolo - Rochemolles

In molte stazioni l'altezza media delle neve al suolo nel periodo 1991-2019 è diminuita in modo impressionante

Il numero di giorni in cui il suolo è coperto da neve è diminuito (circa -7gg/10y)

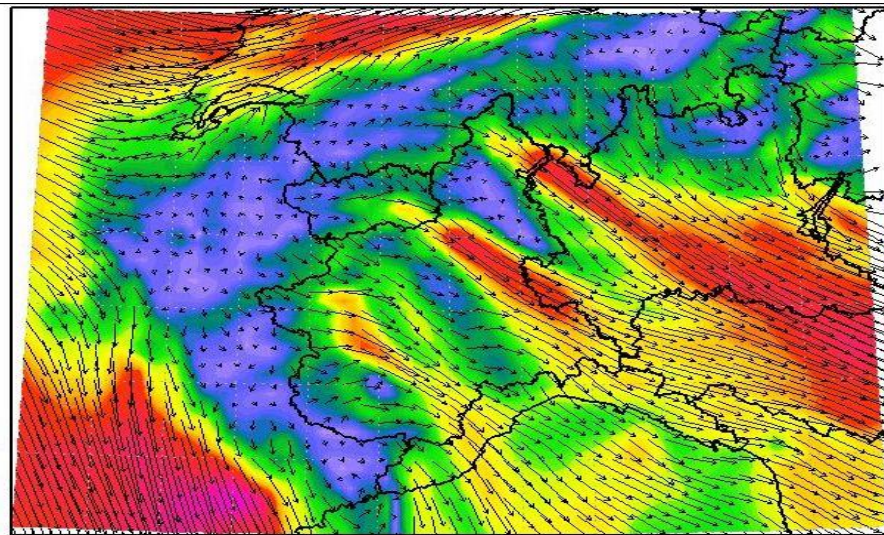
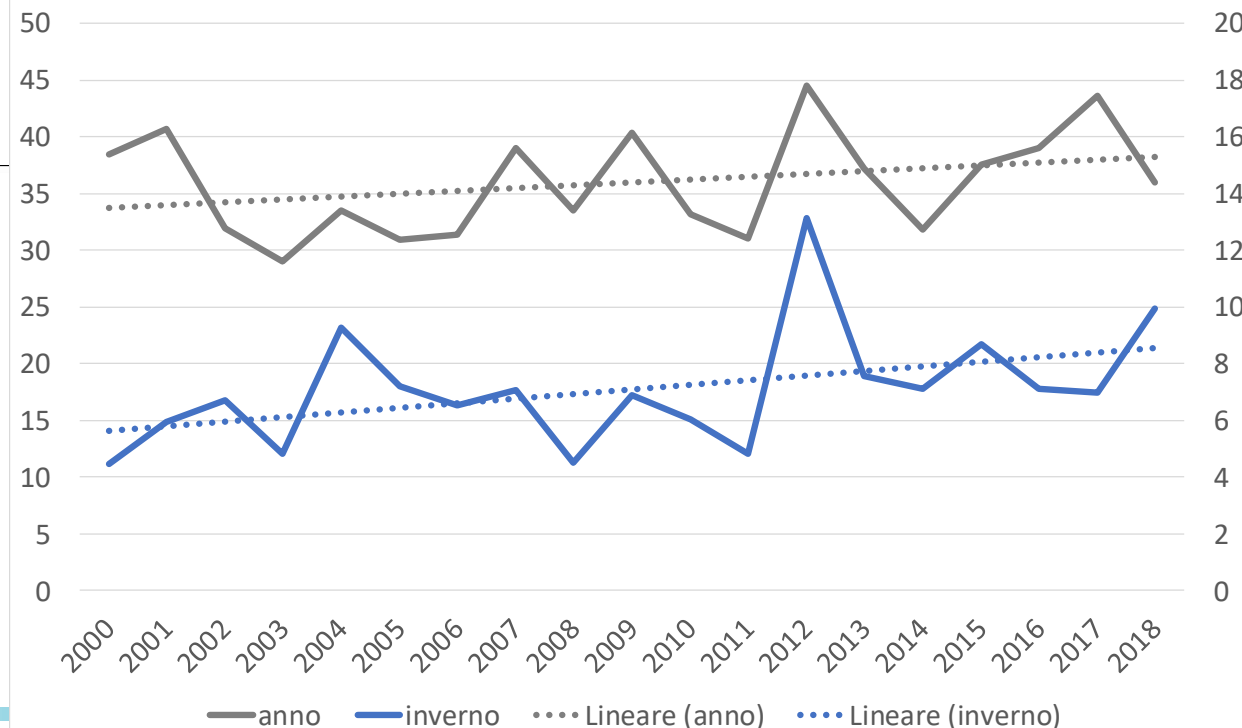


Giorni di fohen dal 2000 al 2018



Vento in montagna

Numero di giorni con raffica > al 90°percentile a quote > 700 m

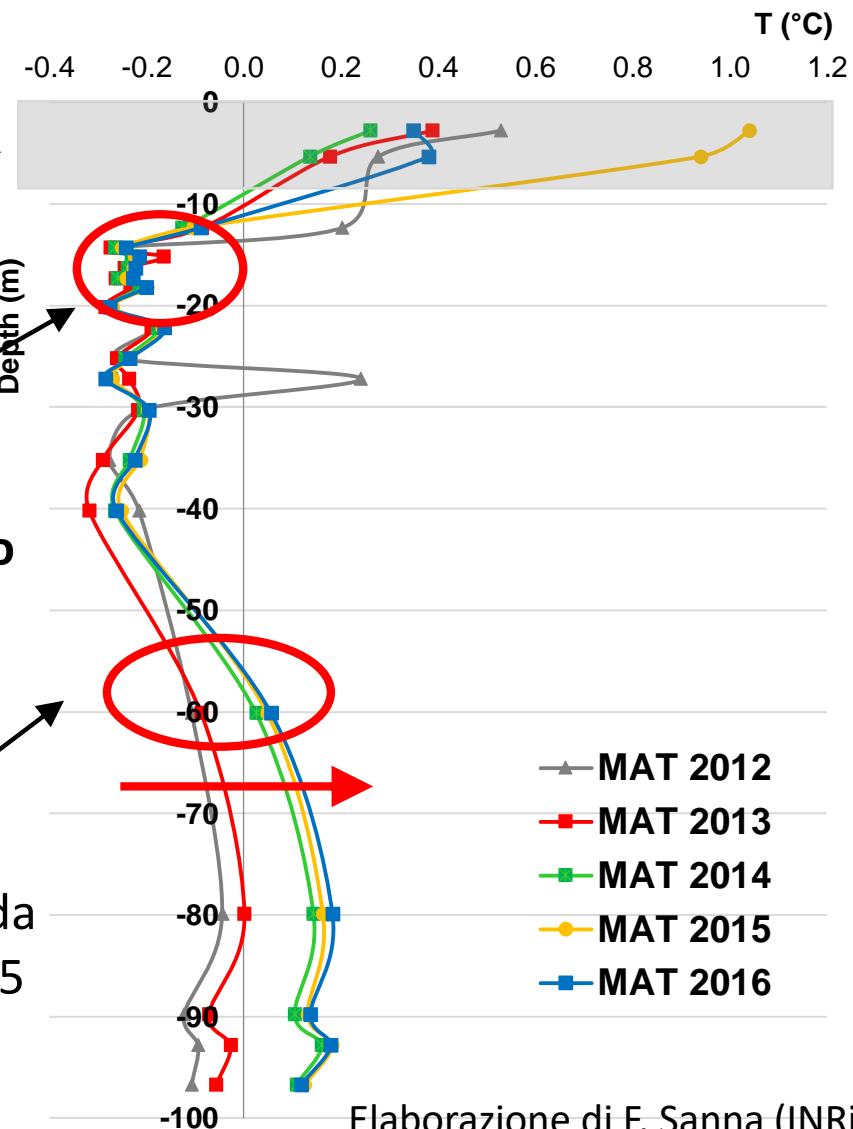
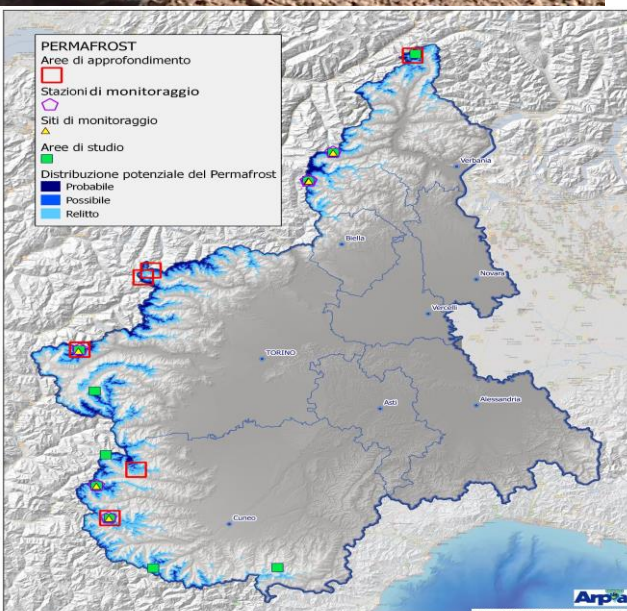


Effetti sul permafrost

Stazione di monitoraggio del Colle Sommeiller 2990 m



Strato attivo (active layer)
8-9 m di spessore



Profondità con zero oscillazioni stagionali (Zero Annual Amplitude-ZAA)
~ 13-14 m di profondità

Dal 2014 si è verificata una transizione da temperature negative a positive ($\Delta +0.15$ °C) a circa 60 m di profondità indicando una **degradazione del permafrost** ($\Delta +0.25$ °C dal 2012 al 2016)

Elaborazione di F. Sanna (INRiM, 2018) su dati Arpa Piemonte

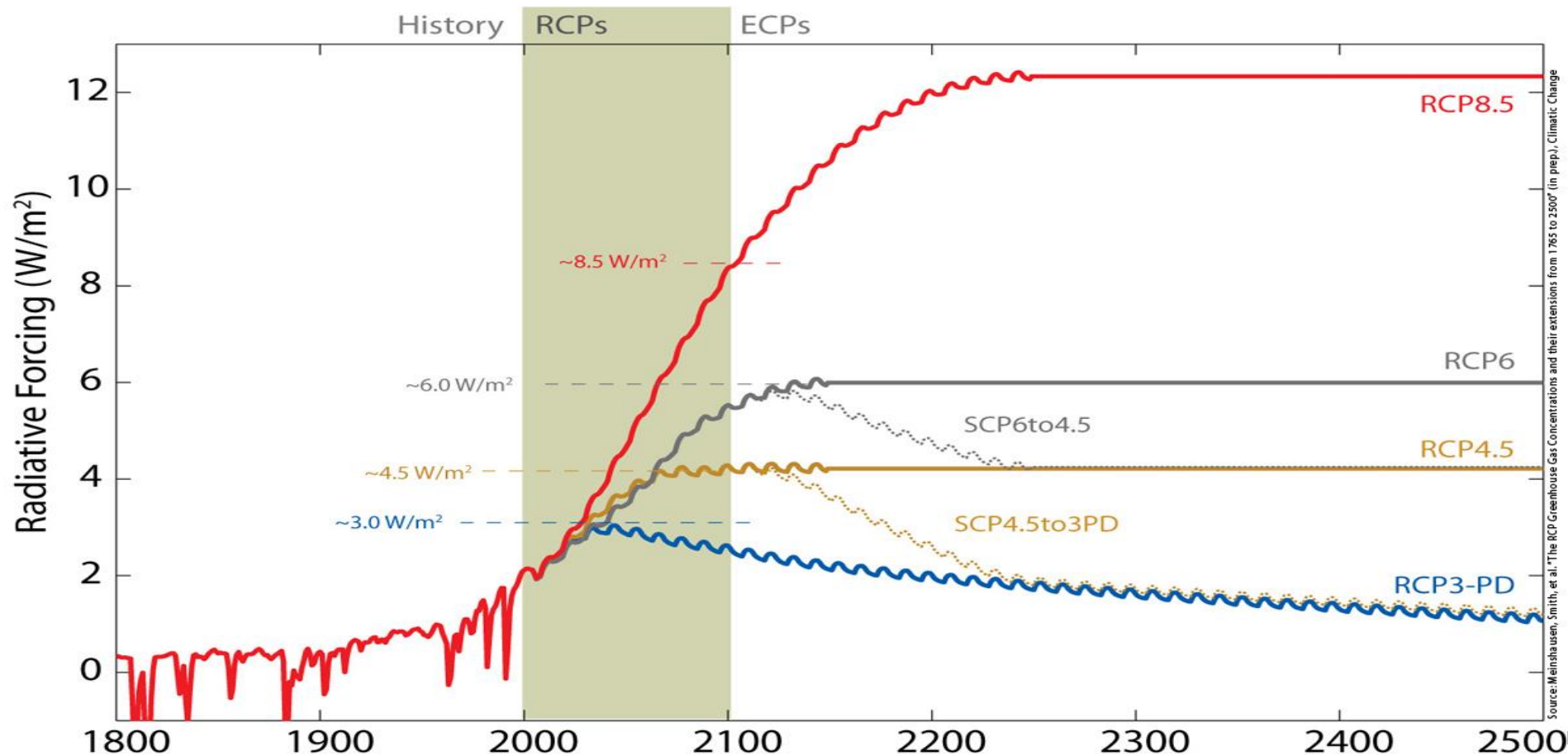


Gli scenari futuri?

Gli scenari emissivi e il forcing radiativo

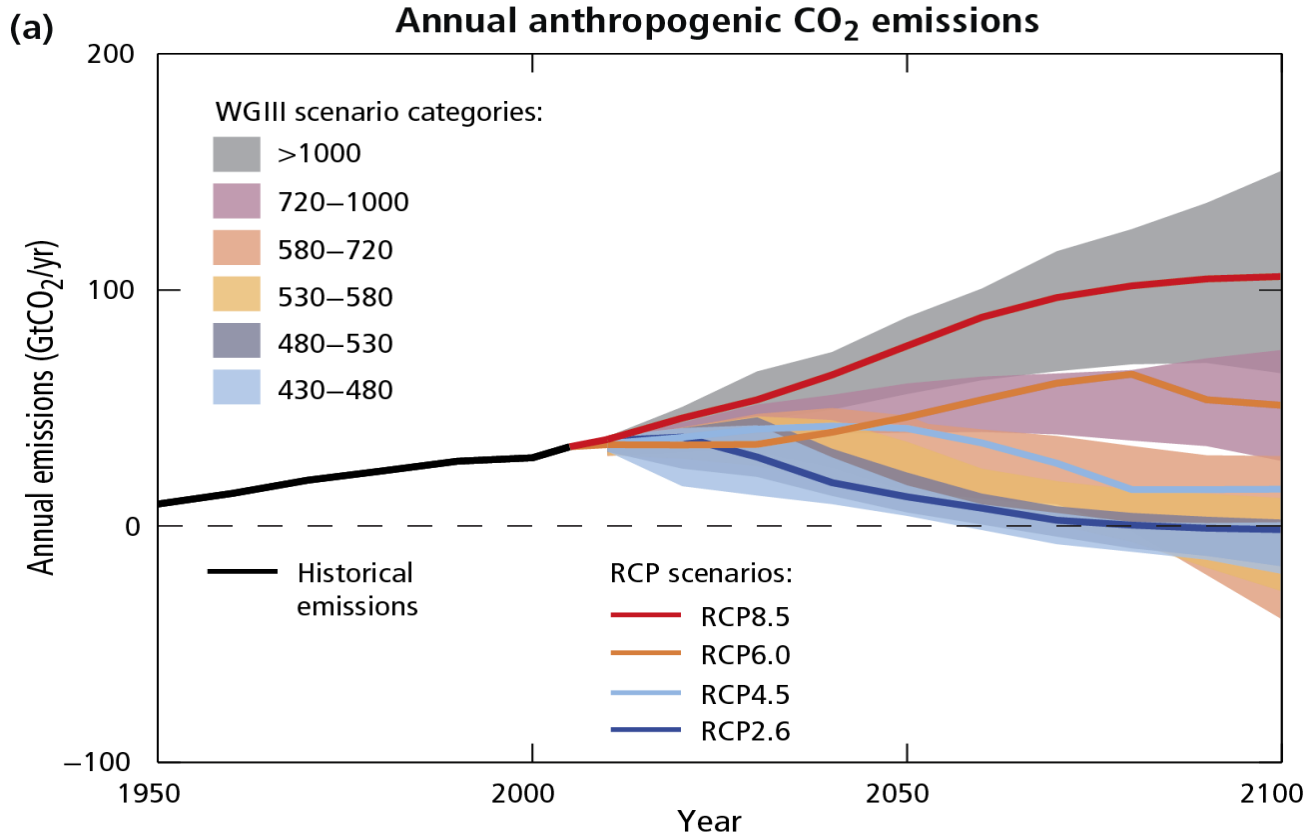
Nuovi scenari climatici **RCP** - Representative Concentration Pathways

- **RCP**: pathway della concentrazione di gas serra (IPCC, AR5, 2014).
- RCP2.6, RCP4.5, RCP6 e RCP8.5 esprimono un possibile range di valori del **forcing radiativo** nel 2100 rispetto all'era pre-industriale (+2.6, +4.5, +6.0, +8.5 W/m²)



Fonte: AR5, IPCC

Gli scenari emissivi e il forcing radiativo



RCP 8.5 – (emissioni elevate) entro il 2100, le concentrazioni di CO₂ sono triplicate o quadruplicate rispetto ai livelli preindustriali

RCP 6.0 (stabilizzazione medio-alto) le emissioni di CO₂ continuano a crescere fino a circa il 2080 per poi stabilizzarsi e sono circa il 25% superiori rispetto ai valori di rispetto ai valori raggiunti secondo lo scenario RCP4.5.

RCP4.5 (stabilizzazione medio-basso) entro il 2070 le emissioni di CO₂ scendono al di sotto dei livelli attuali e la concentrazione atmosferica si stabilizza entro la fine del secolo a circa il doppio dei livelli pre-industriali.

RCP2.6 strategie di mitigazione 'aggressive': le emissioni di gas serra iniziano a diminuire dopo circa un decennio e si avvicinano allo zero più o meno in 60 anni a partire da oggi

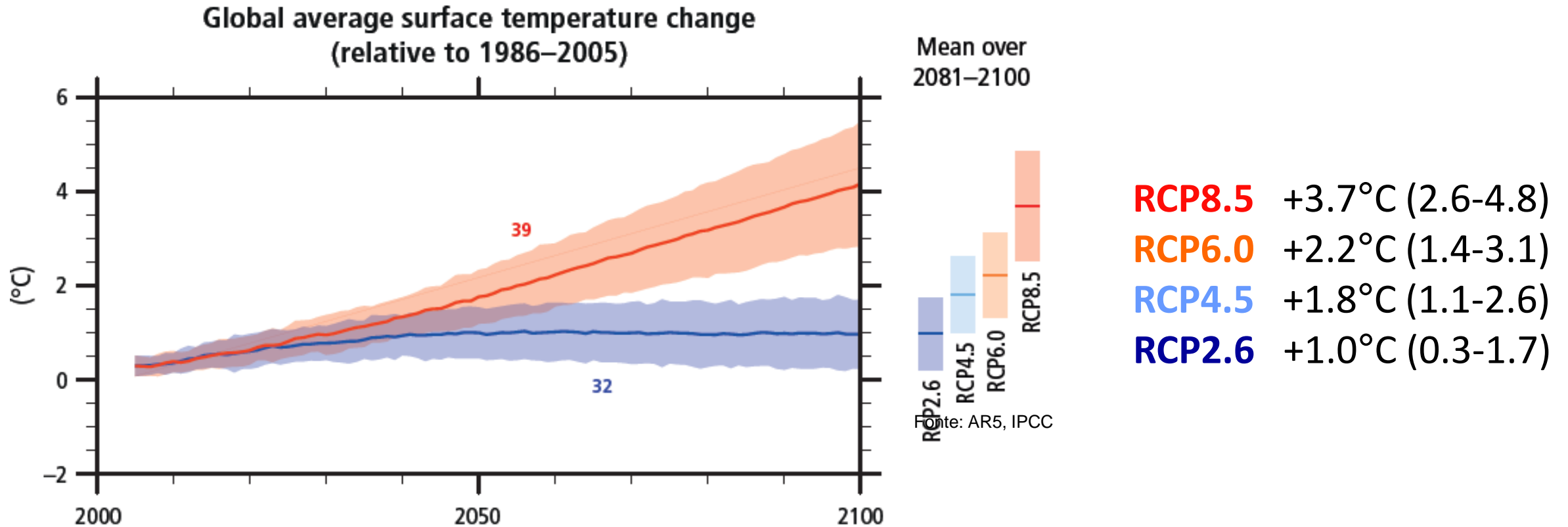
profili di concentrazione di CO₂ raggiunti entro il 2100

421ppm (RCP2.6) - 538ppm (RCP4.5) - 670 ppm(RCP6.0) - 936 ppm(RCP8.5)



Le proiezioni climatiche globali

Temperatura superficiale globale



Entro la fine del nostro secolo la temperatura media superficiale globale sarà almeno **1.5 C** oltre il valore preindustriale (2014).

Senza misure significative di mitigazione, potrebbe crescere nel range di **2 ÷ 4 °C**

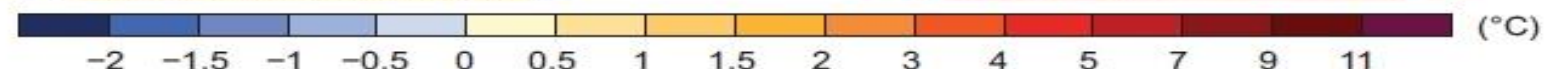
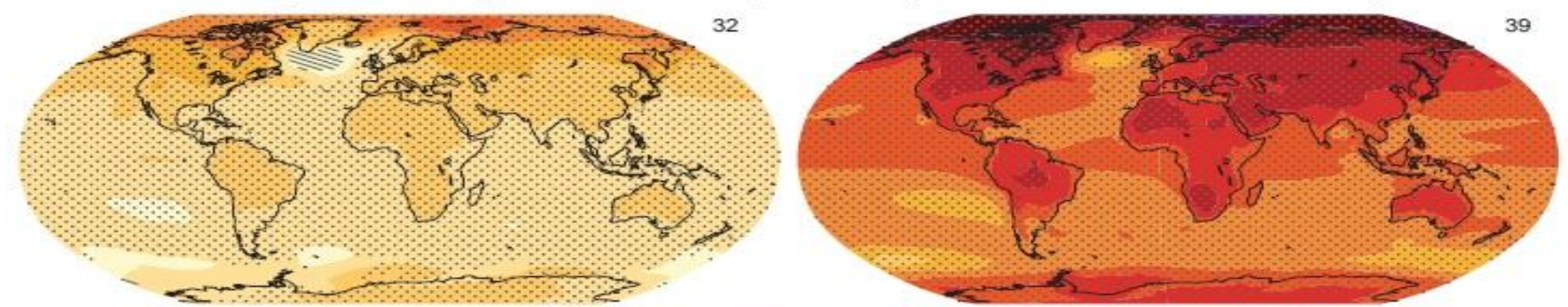


Distribuzione delle variazioni climatiche 2081-2100

RCP 2.6

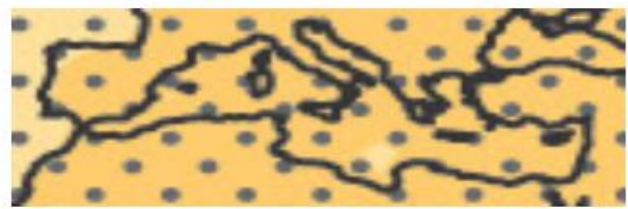
RCP 8.5

Change in average surface temperature (1986–2005 to 2081–2100)

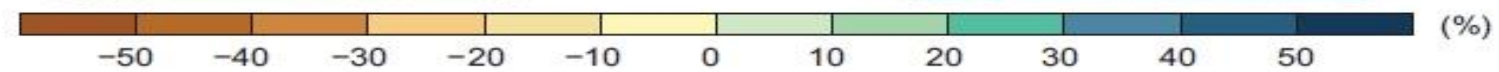
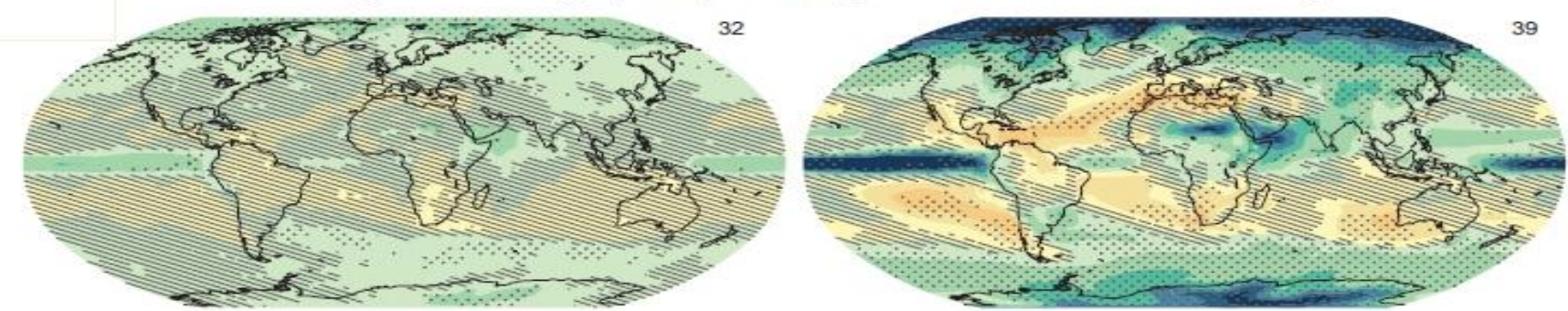


1 – 1,5 °C Aumento

4 – 7 °C Aumento



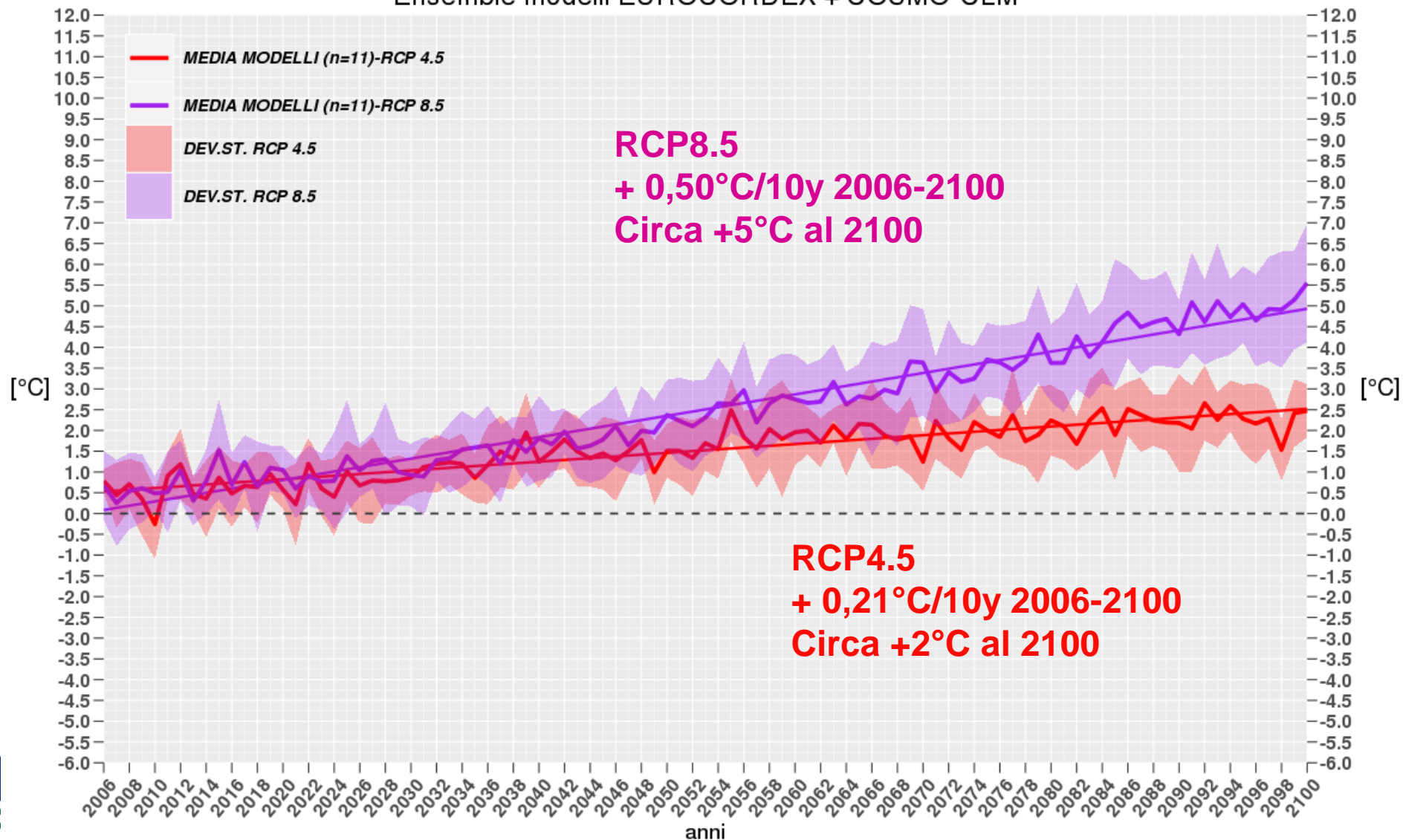
Change in average precipitation (1986–2005 to 2081–2100)





Scenari per la temperatura massima - Piemonte

Anomalia temperatura massima Piemonte 2006-2100 VS 1976-2005
Ensemble modelli EUROCORDEX + COSMO-CLM



MONTAGNA

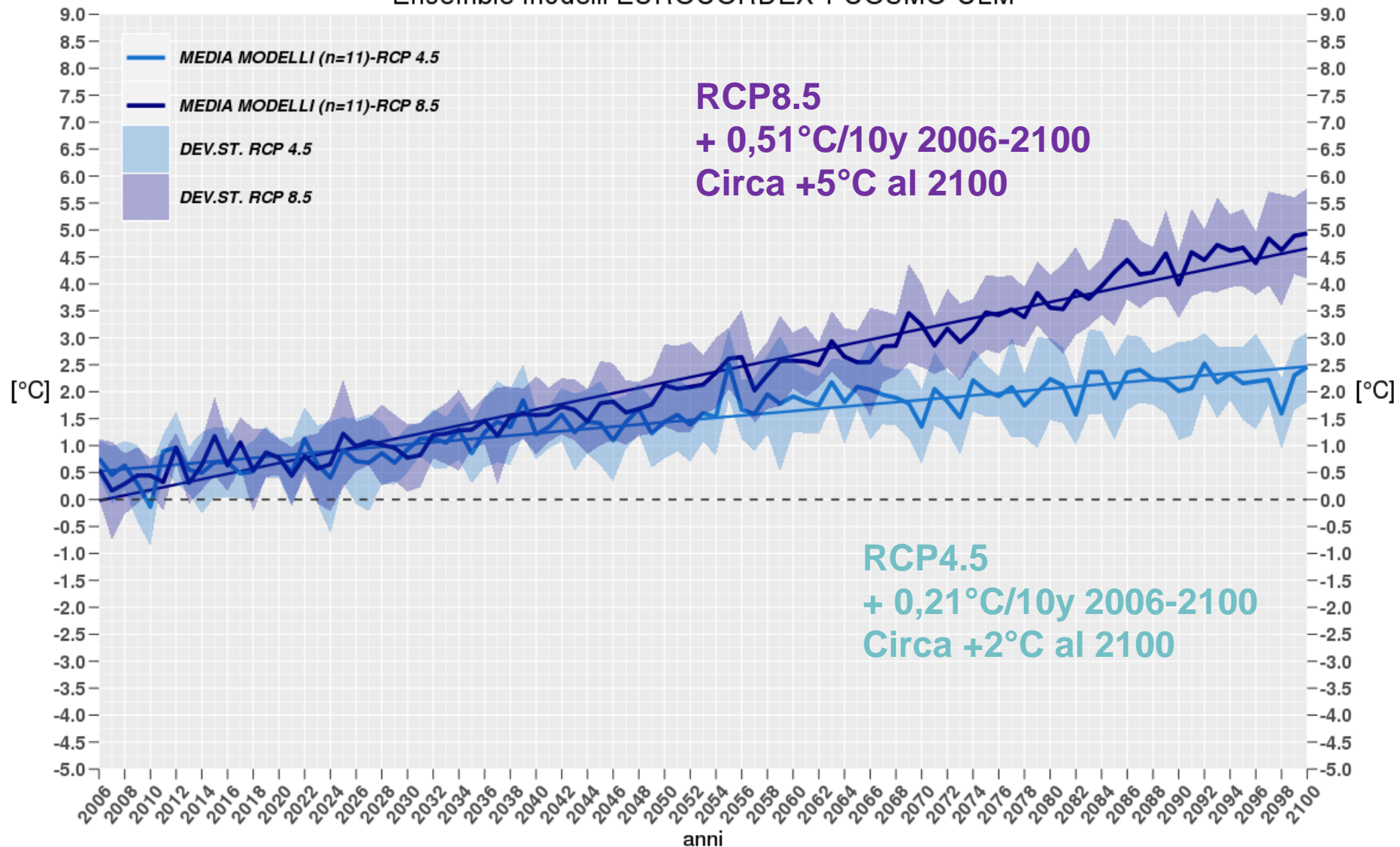
RCP8.5
+ 0,7°C/10y
+6°C al 2100

RCP4.5
+ 0,3°C/10y
+2,5°C al 2100

Scenari per la temperatura minima - Piemonte

Anomalia temperatura minima Piemonte 2006-2100 VS 1976-2005

Ensemble modelli EUROCORDEX + COSMO-CLM



2011-2040

2041-2070

2071-2100

DJF

MAM

JJA

SON

RCP4.5

11 [$\Delta^{\circ}\text{C}$]

10.5

10

9.5

9

8.5

8

7.5

7

6.5

6

5.5

5

4.5

4

3.5

3

2.5

2

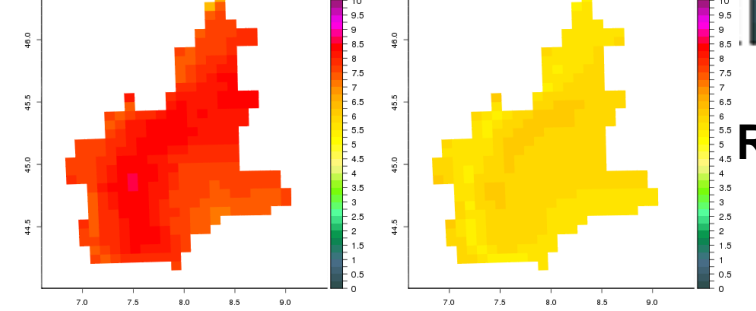
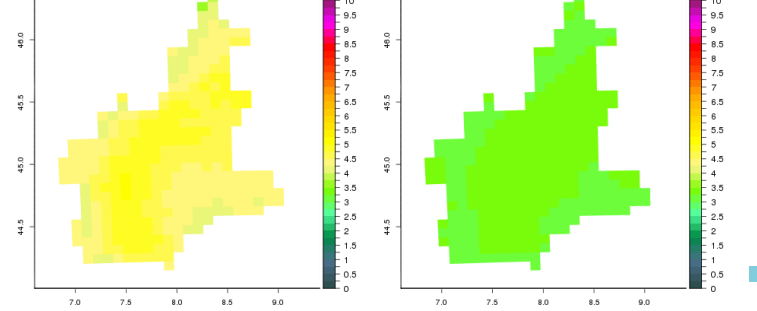
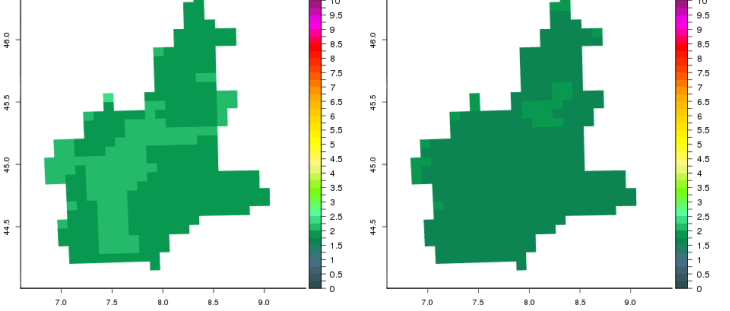
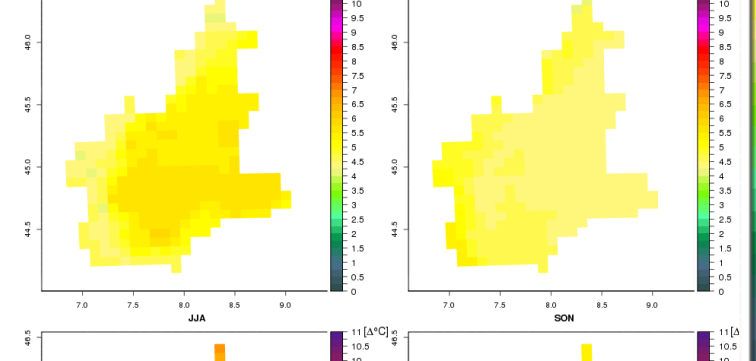
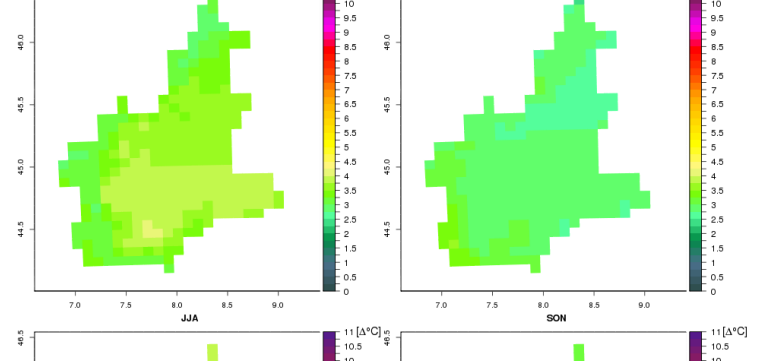
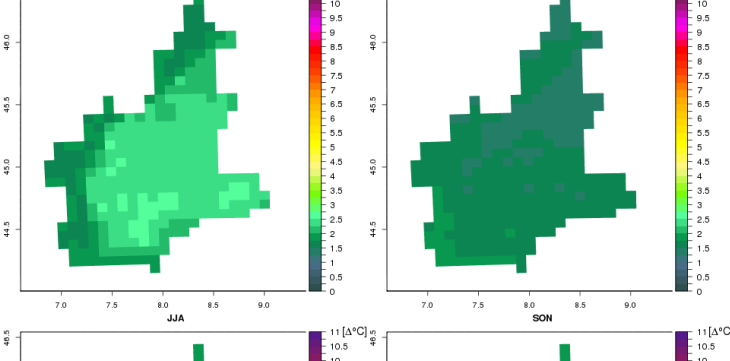
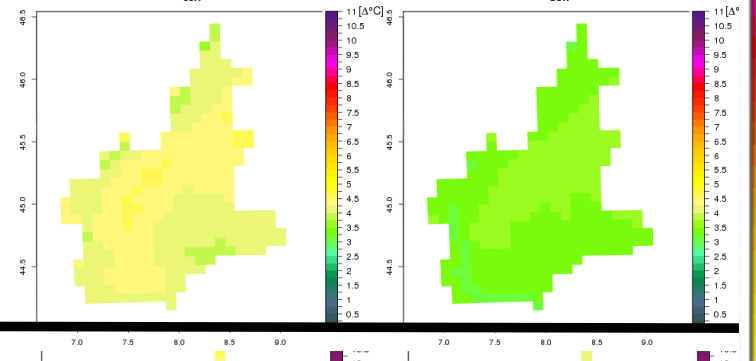
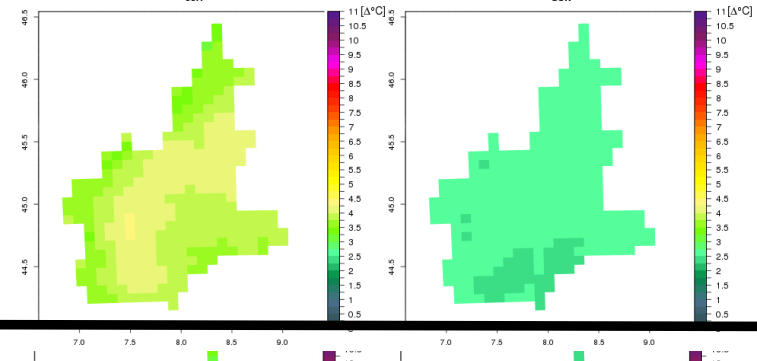
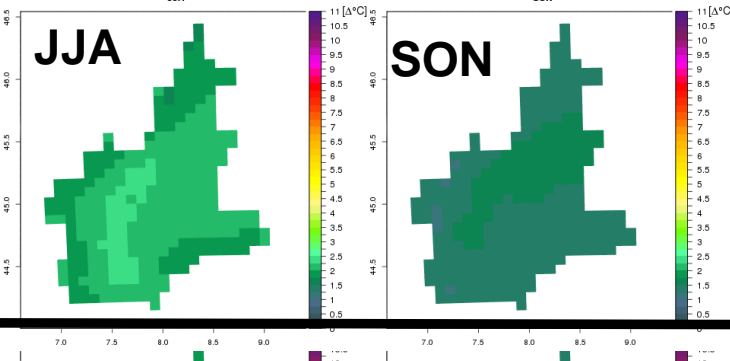
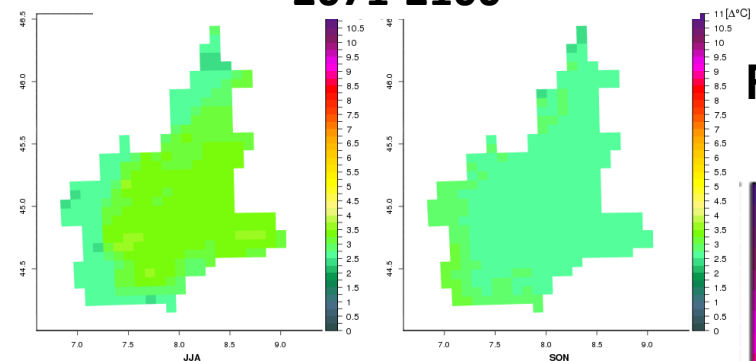
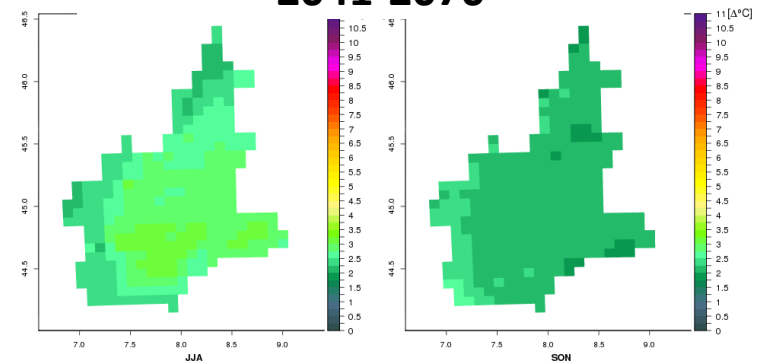
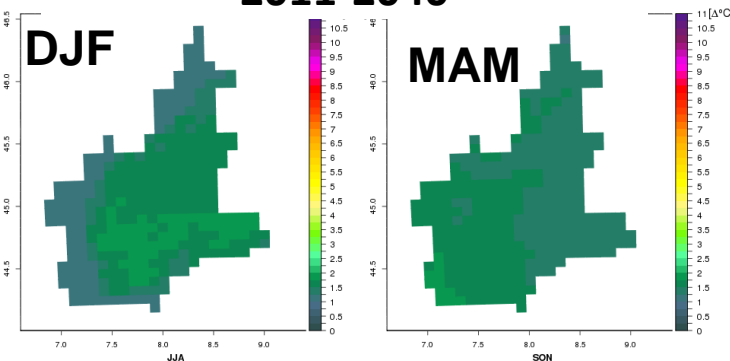
1.5

1

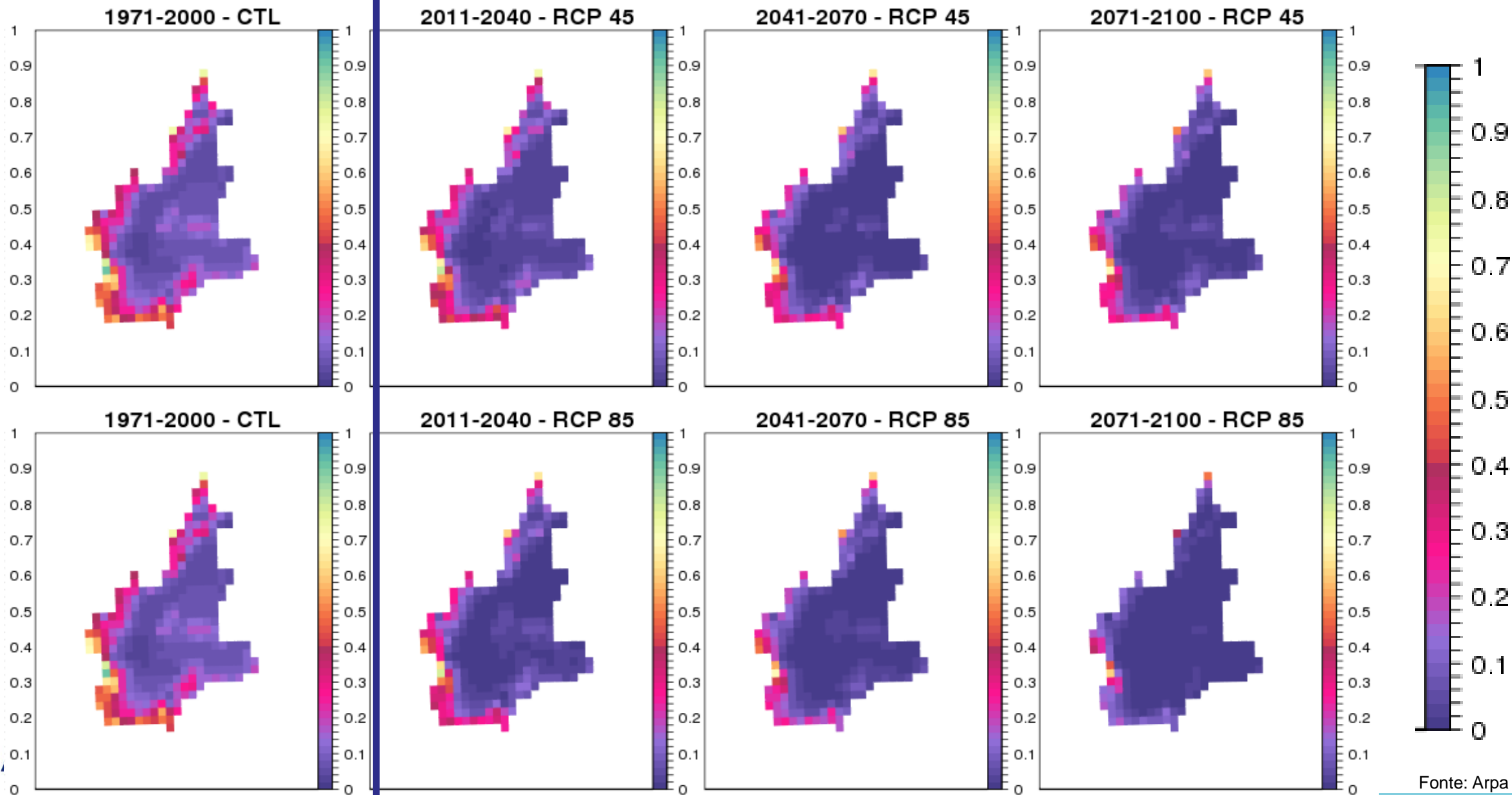
0.5

0

RCP8.5



Variazione della frazione neve/precipitazione totale





Impatti attesi a livello globale per le zone montuose

- Diminuzione dello **spessore della copertura nevosa** fino al 40% nel periodo 2031–2050 vs 1986–2005. Nel periodo 2081–2100 questa diminuzione è stimata del 40 % per RCP2.6 e 90% for RCP8.5
- Degradazione del **permafrost** per tutto il 2100 e oltre. Al 2100 è stimata una diminuzione dell'area a permafrost (primi 3–4 m) del $24 \pm 16\%$ for RCP2.6 and $69 \pm 20\%$ for RCP8.5. Lo scenario RCP8.5 porta al rilascio di 10-100 miliardi di tonnellate di carbonio (GtC) e 26 di metano
- Riduzione della **massa dei ghiacciai** dal 2015 al 2100 tra 18 % per RCP2.6 a 36% per RCP8.5, corrispondente ad un contributo all'**innalzamento del livello del mare** di circa 10 cm per RCP2.6 e 20 cm per RCP8.5. Regioni come l'Europa sono stimate perdere più dell'80% della massa attuale al 2100 con RCP8.5 e molti ghiacciai scompariranno.
- Incremento del **runoff** invernale e del picco primaverile –anticipato-. Sulle Alpi si stima che il picco del runoff medio annuale ed estivo dai ghiacciai sia già avvenuto
- aumento dei fenomeni di **instabilità di versante** e delle **piene improvvise**
- aumento del potenziale di **incendi boschivi**
- aumento della **variabilità meteorologica** (eventi fuori stagione....)
- aumento lunghezza e frequenza dei periodi di **siccità** e condizioni dryness del terreno



+/- probabili
+/- diffusi
+/- estesi
+/- intensi
iniquamente distribuiti
cumulativi
sinergici (impact chain)

nuovi scenari di rischio ...



Effetti sull'innevamento e la sua trasformazione al suolo

- Diminuzione complessiva della **quantità di neve**, importante a quote più basse, nelle valli esposte ovest-est, sui pendii più soleggiati
- Elevata **variabilità inter-annuale** in particolare sulla data di inizio e fine della copertura nevosa del suolo
- Incremento delle situazioni di **trasporto eolico** della neve
- Incremento **valanghe di neve umida**
- Diminuzione delle ore con condizioni favorevoli alla **produzione di neve**
- Aumentata **variabilità meteorologica** (importanti escursioni termiche in breve tempo, variazioni nel mese con accumuli maggiori di neve, fusione tardiva, rovesci/temporali di neve anticipati, siccità prolungata, episodi di neve sahariana più frequenti)



Socio economico

- ✓ Attività agro-silvo-pastorali
- ✓ Turismo
- ✓ Produttività forestale
- ✓ Incremento dei rischi naturali
- ✓ Incremento potenziale incendi boschivi
- ✓ Diminuzione risorsa idrica
- ✓ Modifiche produzione idroelettrica
- ✓ Alterazione qualità delle acque
- ✓ Assetti culturali e ricreativi
- ✓ Comunicazione e servizi

Conseguenze

Natura

- ✓ Invasione di specie
- ✓ Spostamento in quota e verso latitudini nord di specie vegetali e animali sensibili a stress termico
- ✓ Sparizione di habitat vulnerabili e/o di ridotta dimensione
- ✓ Variazione di densità delle popolazioni e possibili estinzioni locali
- ✓ Diversa temporizzazione delle fasi vitali
- ✓ Modifica dei periodi di migrazione
- ✓ Allungamento del periodo vegetativo
- ✓ Alterazione dei rapporti di competizione per desincronizzazioni e disaccoppiamenti nell'interazione tra specie (mismatch)
- ✓ Alterazioni del paesaggio

**La montagna è un capitale naturale di valore
inestimabile, non riacquistabile**

