



Claudio Cassardo

Dipartimento di Fisica

Università degli Studi di Torino

Vice-presidente della Società Meteorologica Italiana

Coordinatore del gruppo sui cambiamenti climatici di UniToGO

claudio.cassardo@unito.it

claudiocassardo.wordpress.com

www.agi.it/blog-italia/autore/claudio_cassardo/

www.climalteranti.it

Esplorare il futuro - Spazio, Clima, Immaginazione



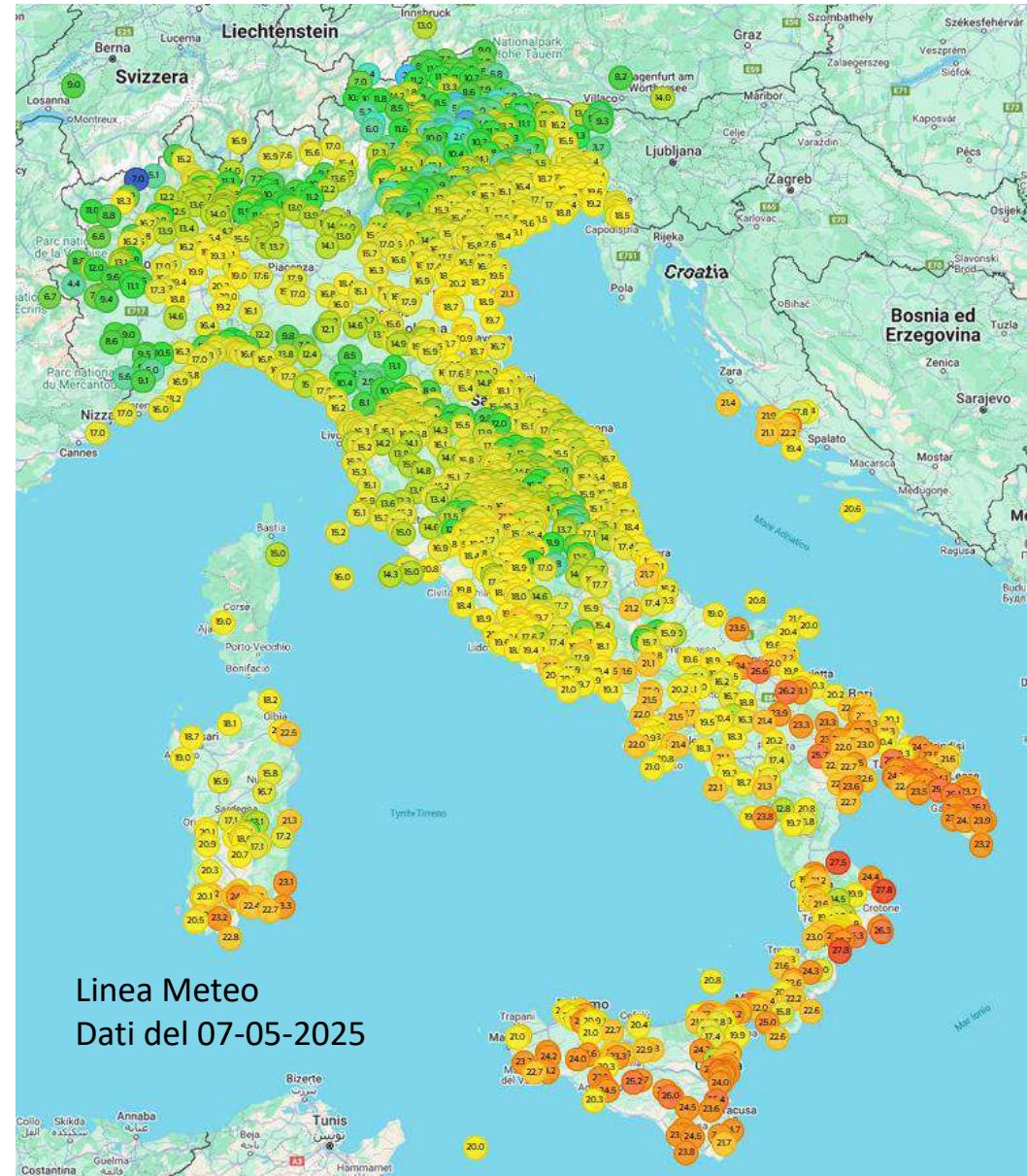
Tempo (meteorologia) ...



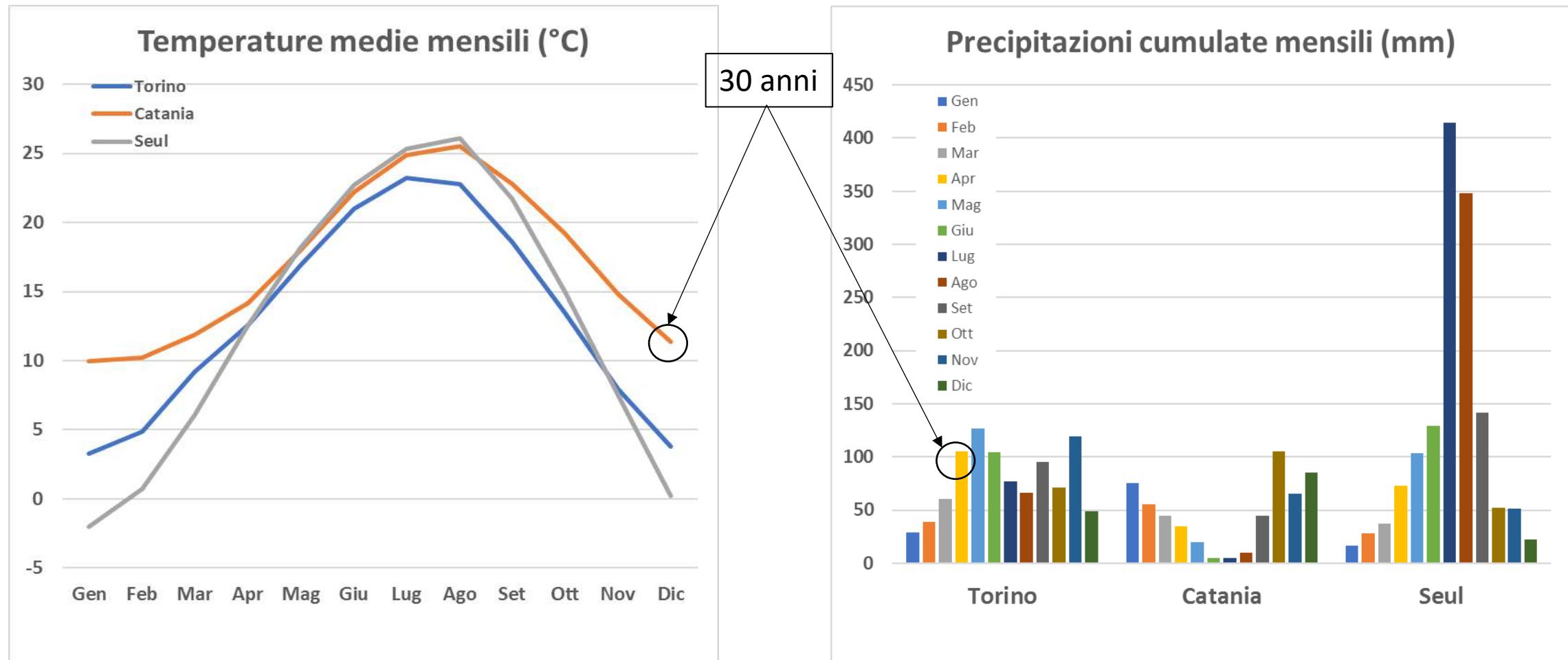
Osservatorio Meteorologico dell'Università di Torino, Dipartimento di Fisica

Via Pietro Giuria, 1 - Torino

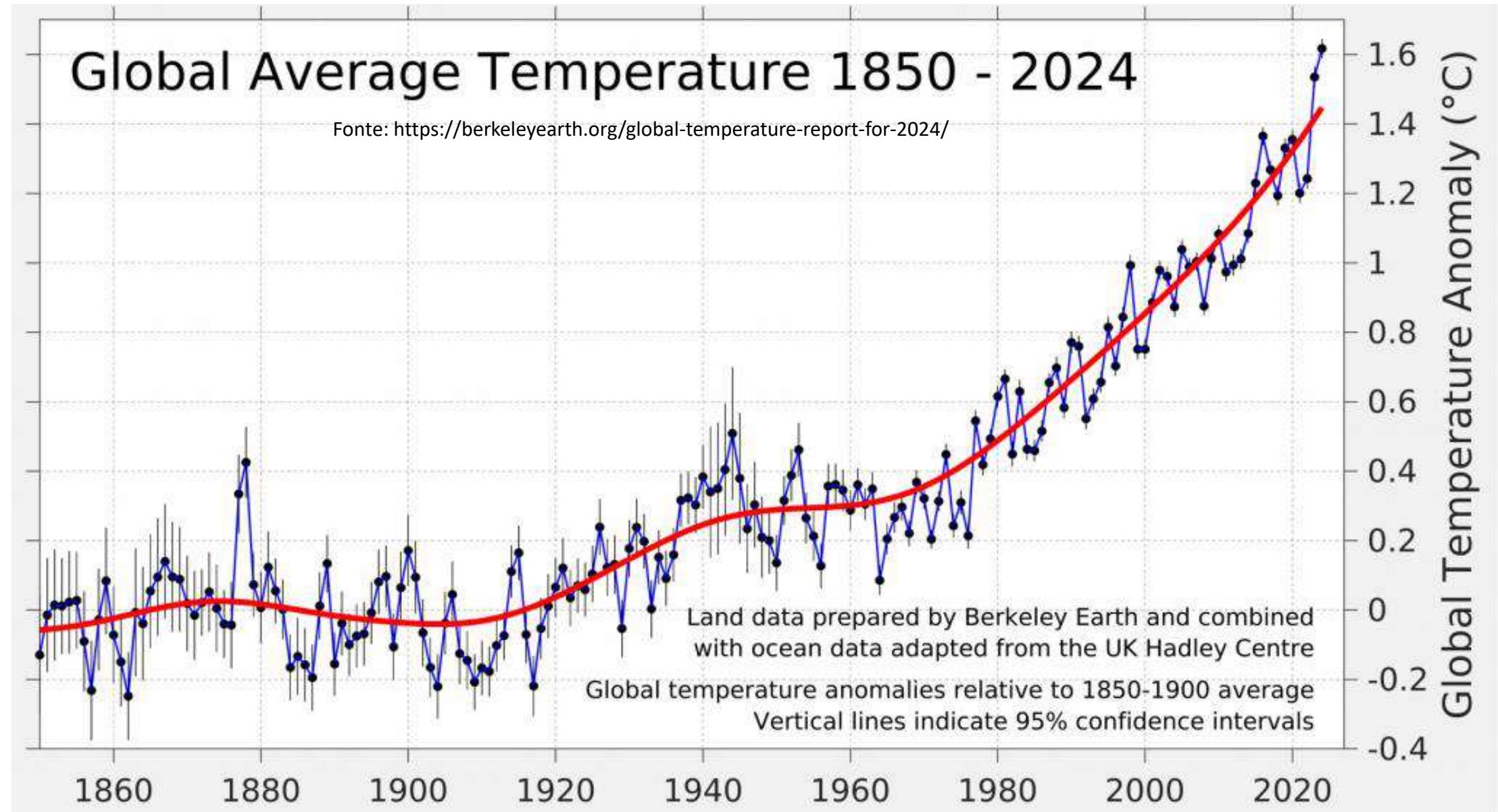
(Lat: 45°03'07,15" Nord , Long: 007°40'53,30" Est , Alt: 254 m s.l.m.)



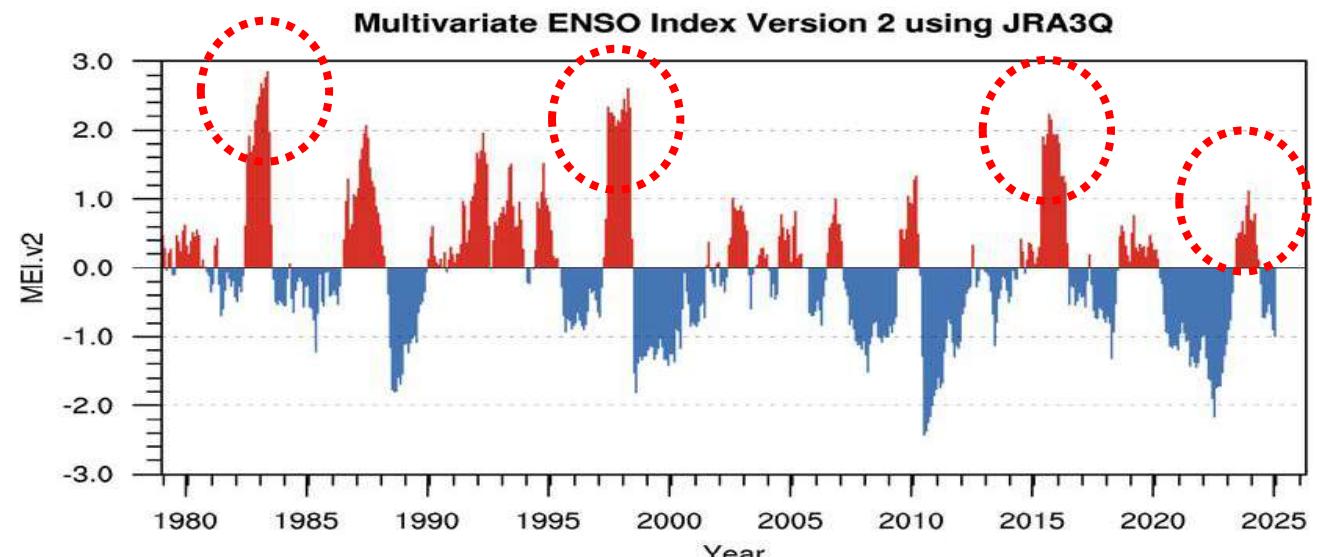
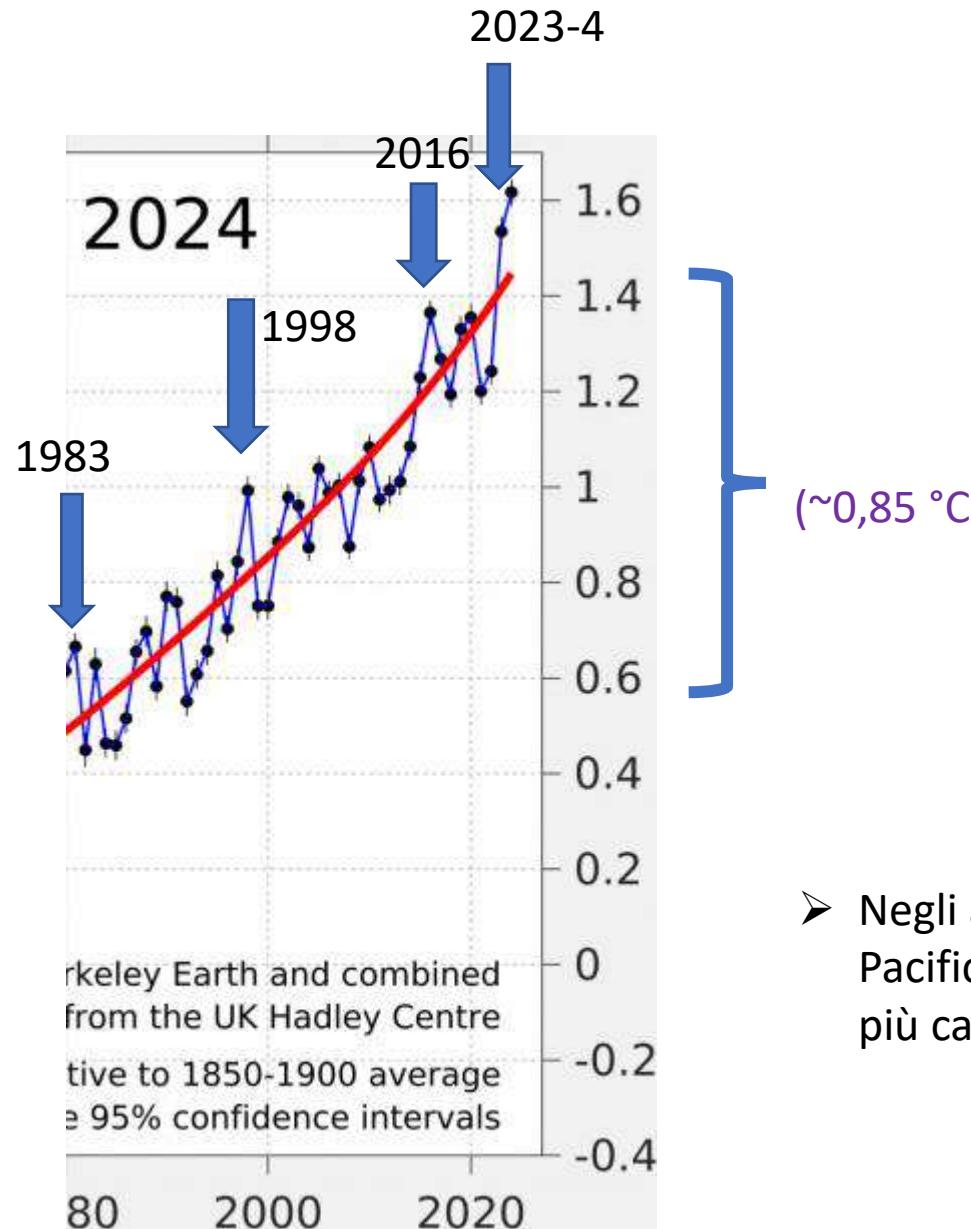
... e clima (climatologia)



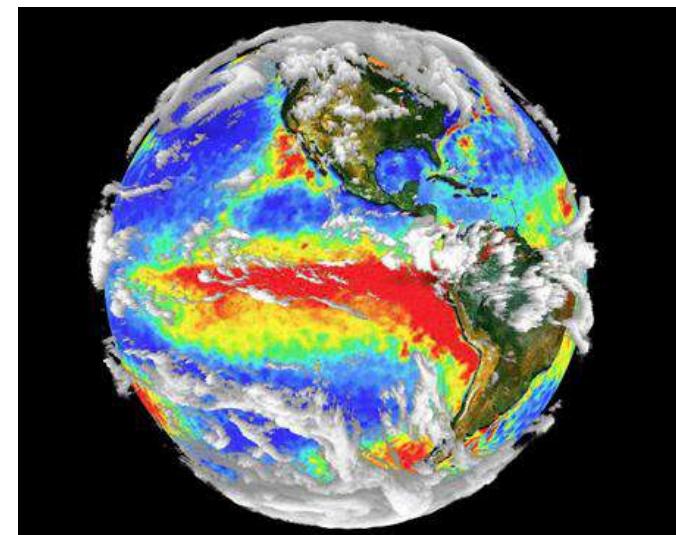
Aumento delle temperature globali, dal 1850 a oggi



La correlazione tra gli anni più caldi e El Niño (ENSO)



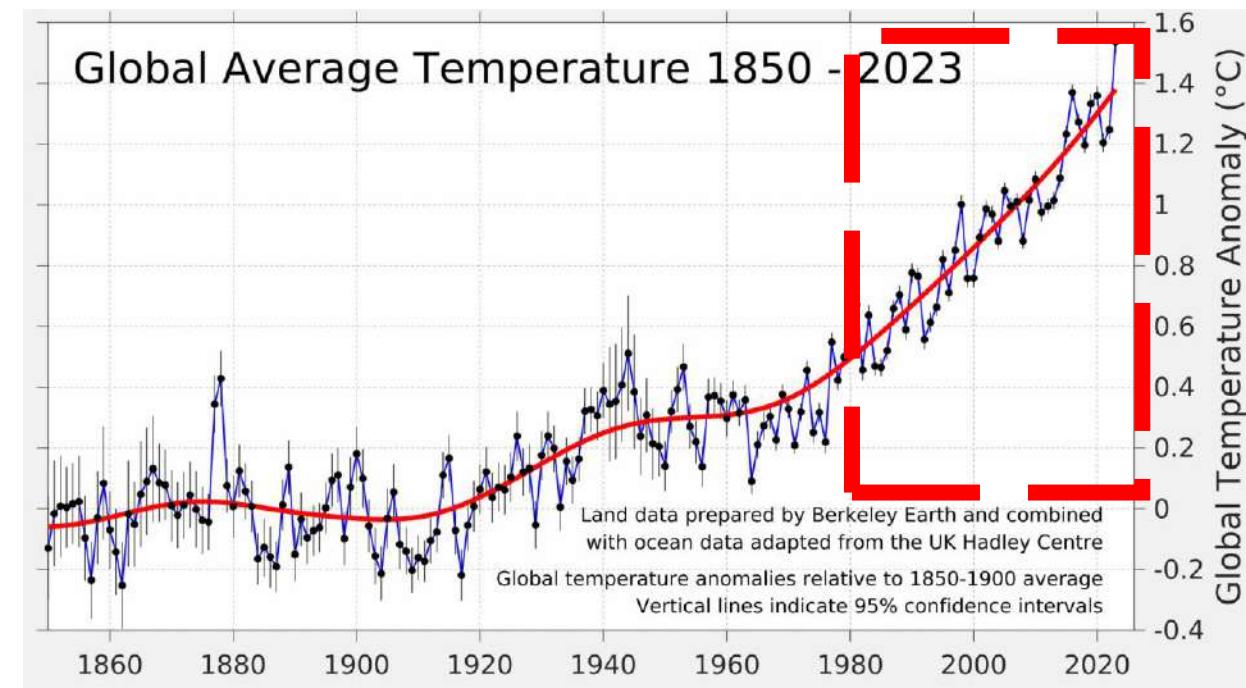
- Negli anni di El Niño il Pacifico tropicale è molto più caldo della media



L'Italia è uno «hot-spot»: le temperature dal 1980 (44 anni) sono aumentate (e aumenteranno) più del doppio

Mondo

(+ 0,85 °C)

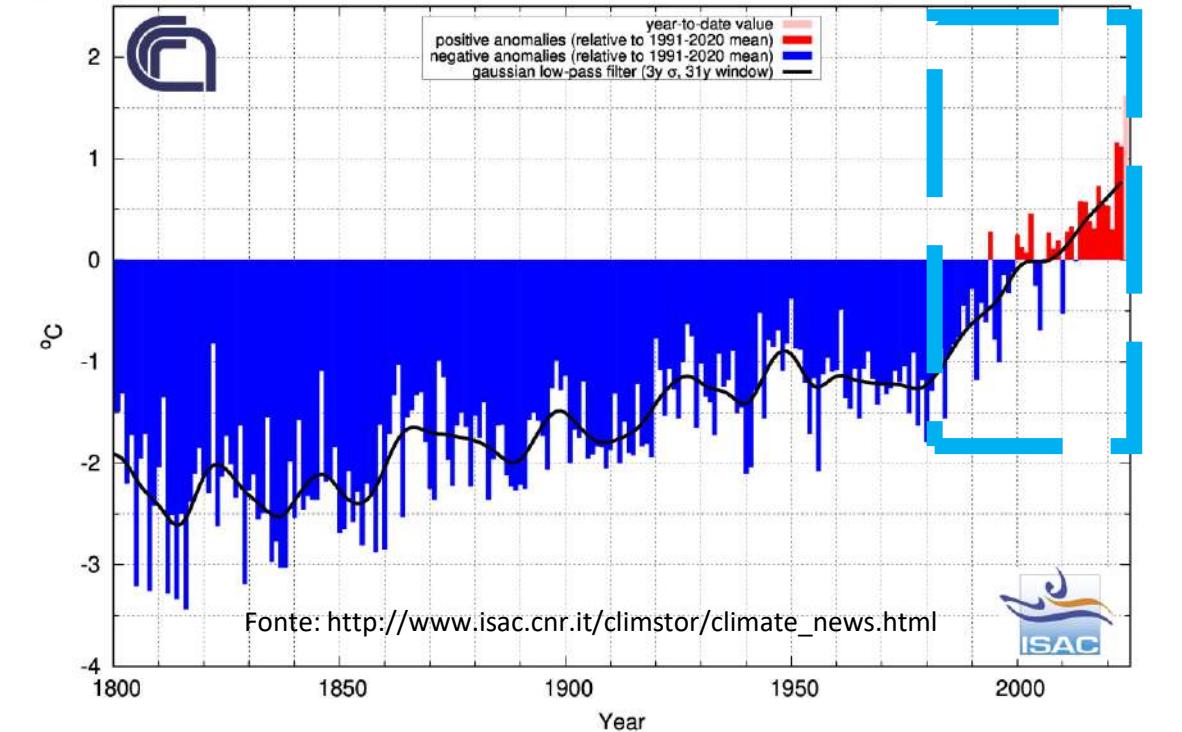


Italia

(+ 1,75 °C)



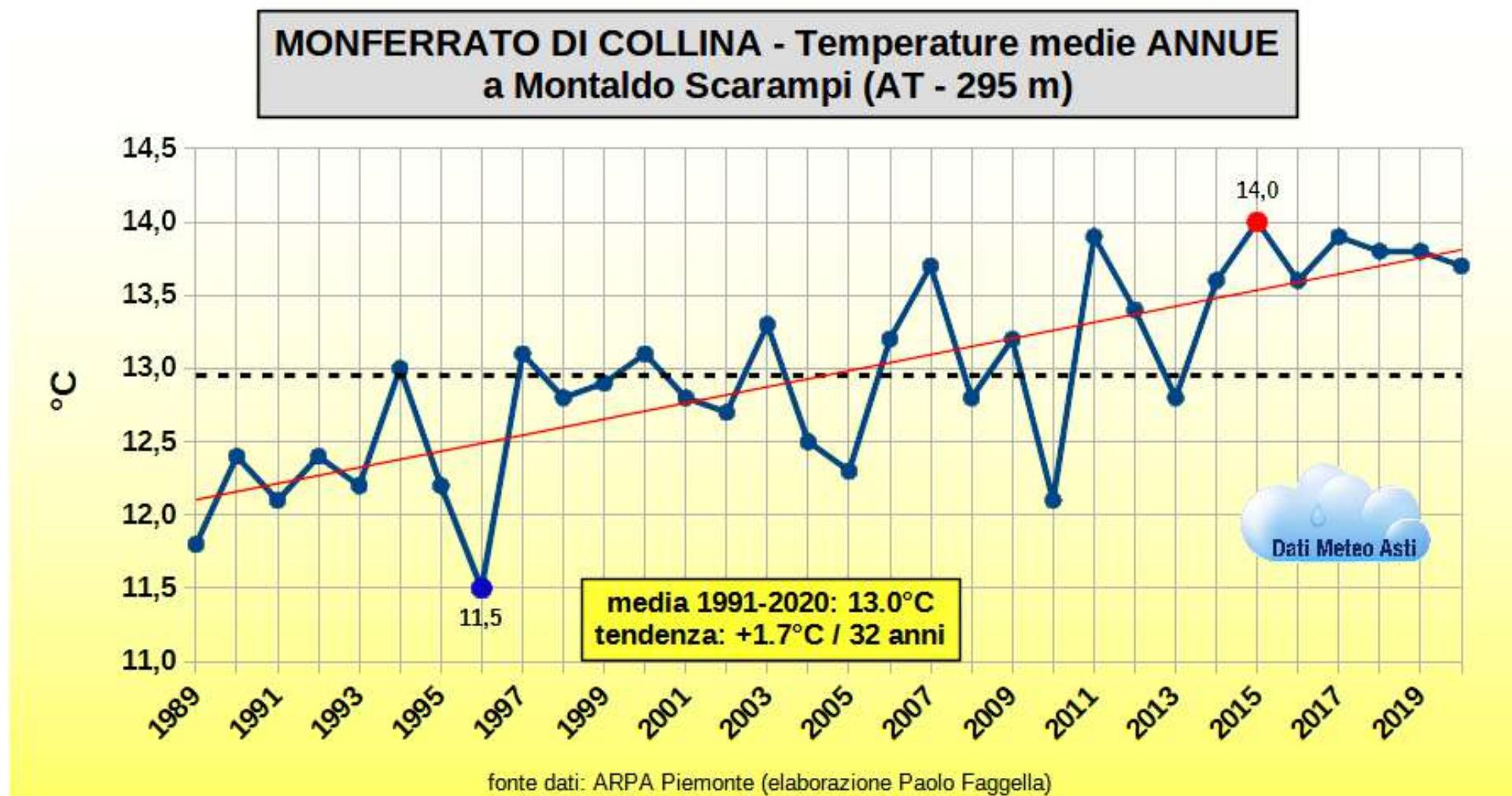
ANNUAL MEAN TEMPERATURE



«Soltanto» 1-2 °C in più. È tanto? È poco?

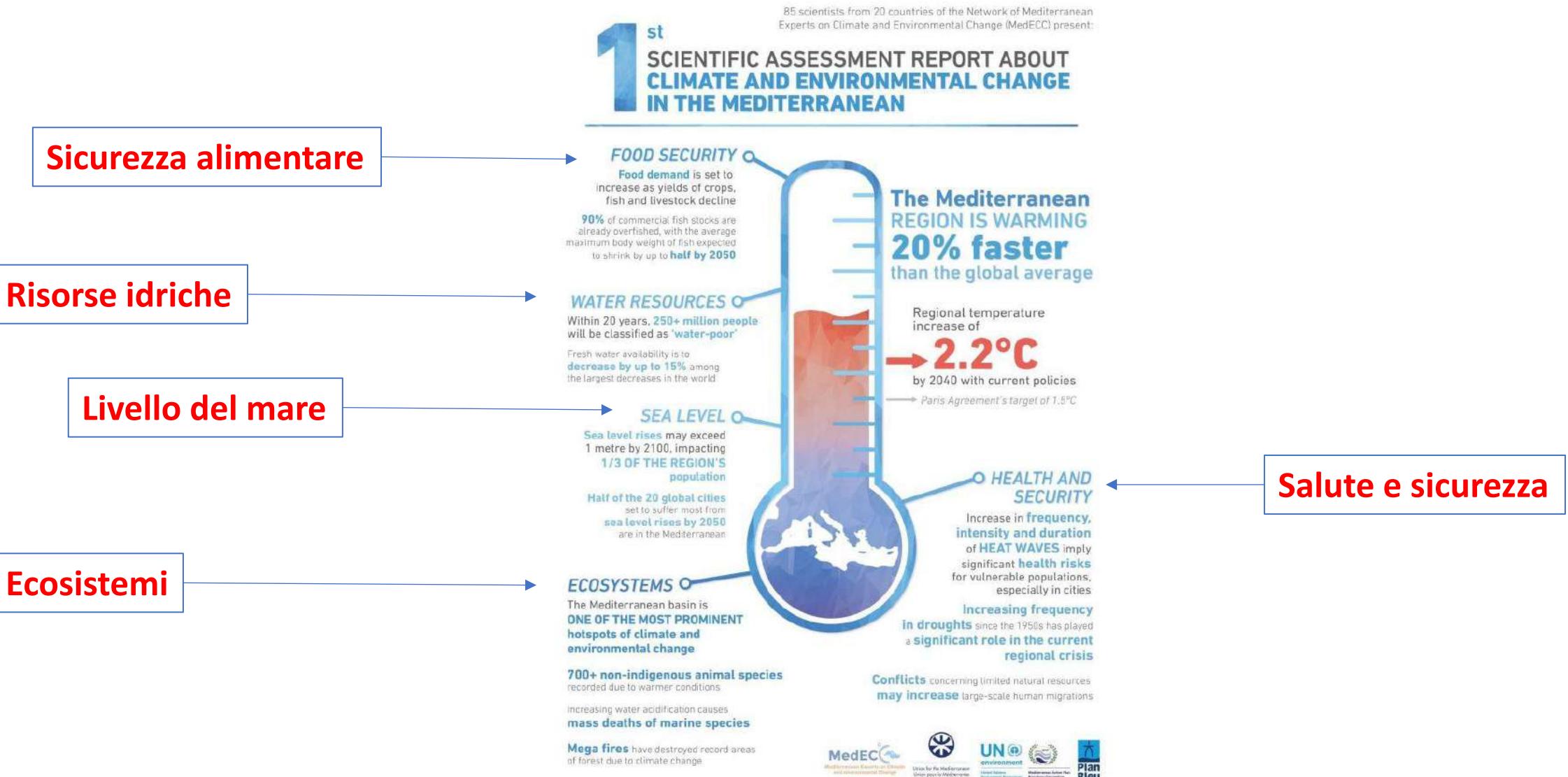


Termometria nel Monferrato



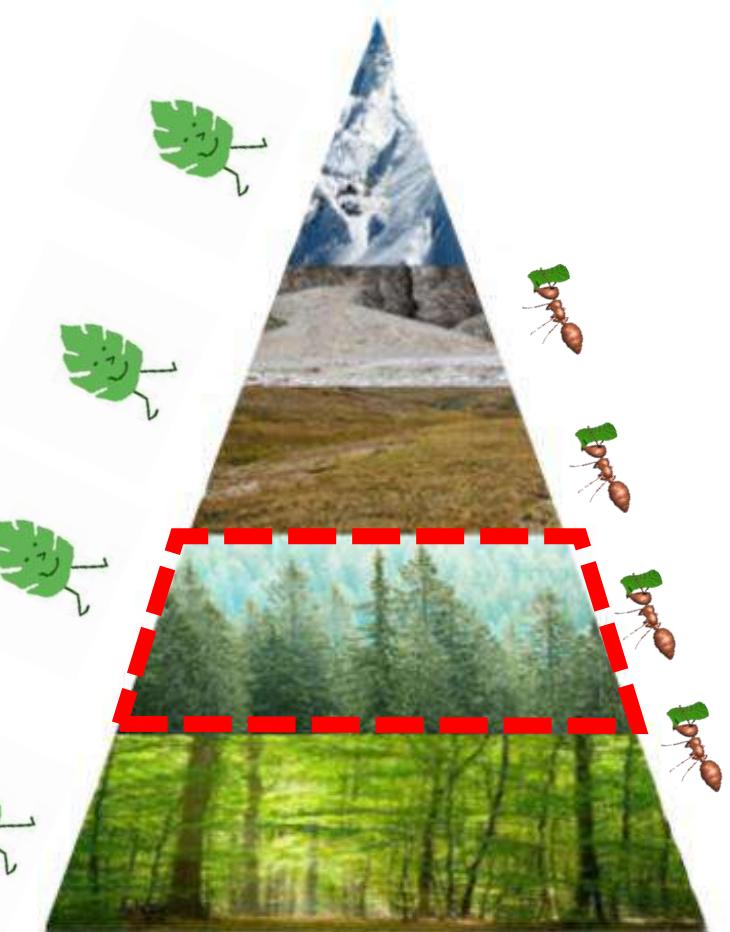
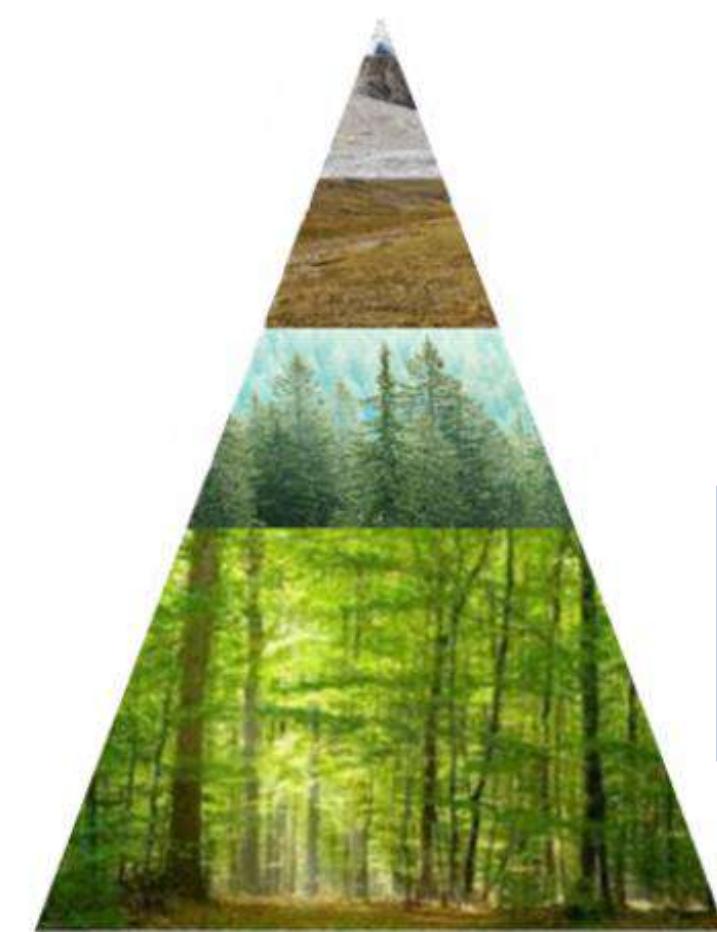
Anno più freddo: il 1996 con 11.5 °C. Anno più caldo: il 2015 con 14.0 °C. Trend: +1.7 °C in 32 anni.
NB: 1,7 °C in 32 anni → 2,3 °C in 44 anni: più della media nazionale

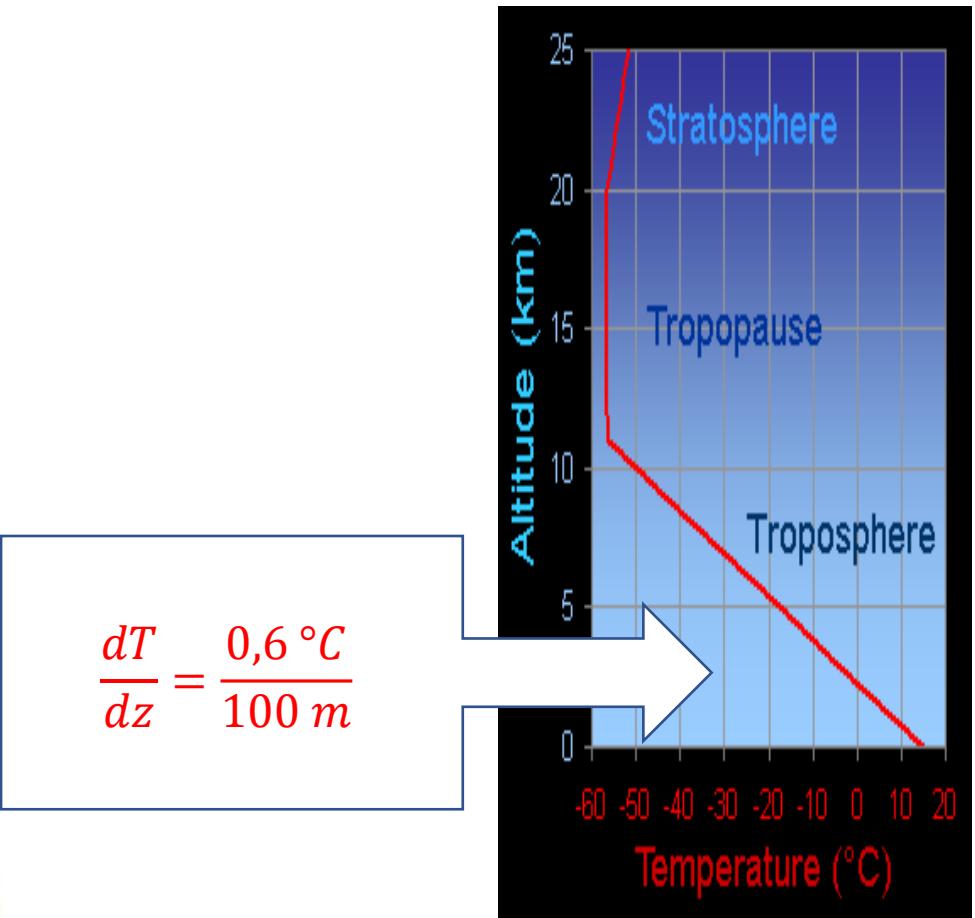
Impatti dei cambiamenti climatici sul Mediterraneo



Impatti: ecosistemi e biodiversità montana in rapido declino

Due grossi problemi

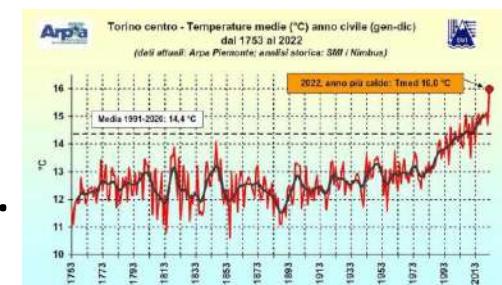
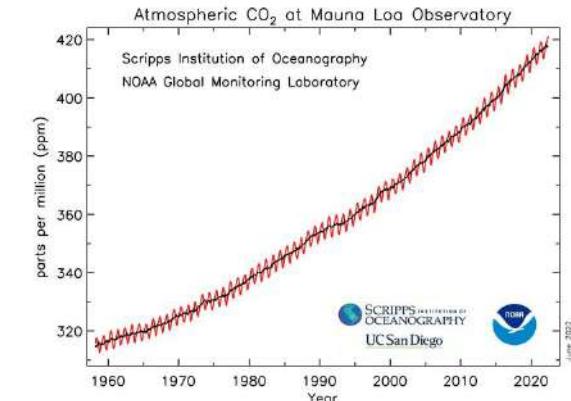
1. Gli habitat si spostano verso l'alto. In Italia **+1,85 °C in 44 anni**: animali e piante debbono **salire di 310 metri per inseguire il loro microclima** (e chi è già in cima?) – nel Monferrato 383 m...

2. Gli areali si restringono progressivamente




Impatti delle variazioni climatiche attese

- Aumento della concentrazione di CO₂
 - Effetto: incerto (impatti su fotosintesi e evapotraspirazione)

- Incremento della temperatura
 - Effetto: diminuzione produttiva per la riduzione del periodo vegetativo utile
 - Effetto: condizioni termiche ottimali per la coltivazione, anche a latitudini e quote più alte, di specie tipicamente mediterranee (es. olivo, vite, frumento duro)

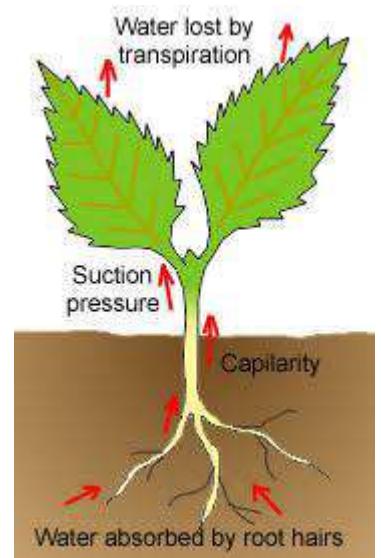


Fonte: https://www.mase.gov.it/sites/default/files/archivio/allegati/clima/snacc_2014_rapporto_stato_conoscenze.pdf

Impatti delle variazioni climatiche attese

➤ Disponibilità idrica

- Effetto: calo produttivo dovuto alla sostanziale diminuzione delle risorse idriche nelle fasi di sviluppo
- Effetto: aumento della traspirazione da piante e terreni potrebbe favorire un incremento della carenza idrica
- Effetto: competizione tra l'uso delle risorse idriche



➤ Variabilità meteo-climatica

- Effetto: l'aumento della frequenza degli eventi estremi nelle fasi dello sviluppo (ondate di freddo tardive, ondate di caldo, periodi siccitosi, ecc.) potrà portare a una forte variabilità nella produttività



Fonte: https://www.mase.gov.it/sites/default/files/archivio/allegati/clima/snacc_2014_rapporto_stato_conoscenze.pdf

Impatti delle variazioni climatiche attese



➤ Fertilità del terreno ed erosione

- Effetto: temperature più alte potranno accelerare la decomposizione naturale della sostanza organica (serve più fertilizzazione)
- Effetto: accelerazione dei cicli biologici del carbonio, dell'azoto, del fosforo, del potassio e dello zolfo nel sistema terreno-pianta-atmosfera, con conseguenze sulla qualità delle acque reflue
- Effetto: maggiore erosione eolica su suoli secchi; maggiore erosione pluviale a seguito di piogge intense

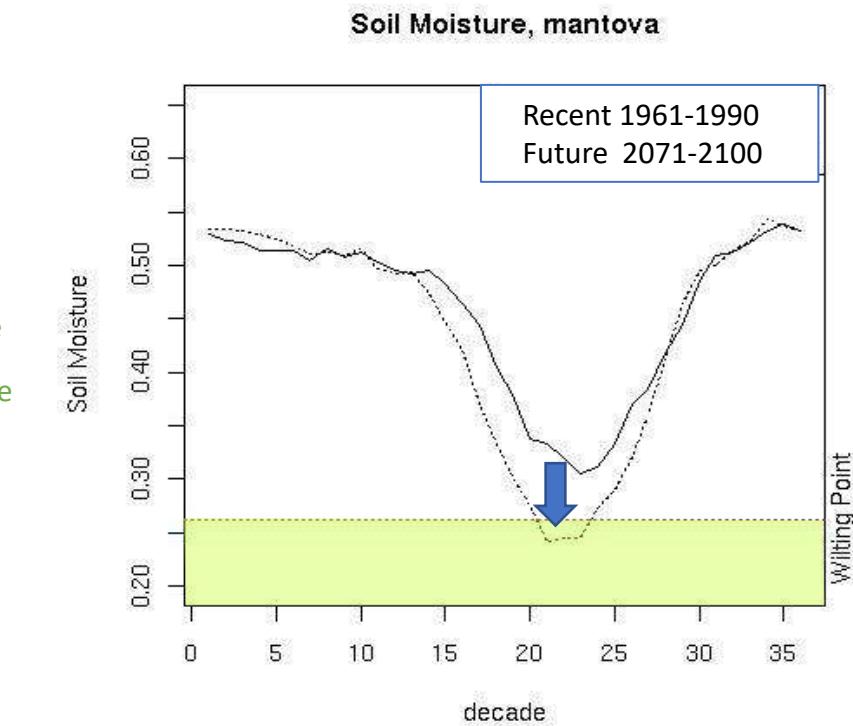
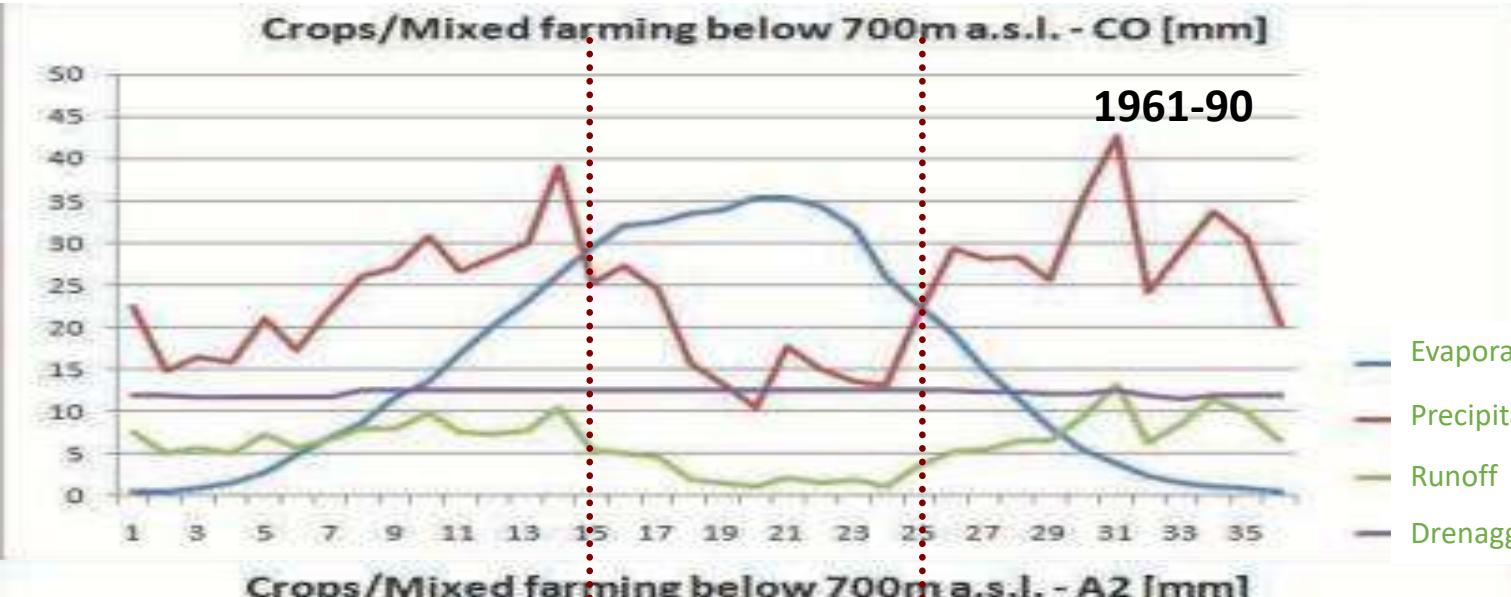
➤ Fitopatie e infestanti



- Effetto: l'alterazione dei regimi di temperatura, vento e precipitazioni potrebbero favorire un incremento delle fitopatie e delle infestanti

Fonte: https://www.mase.gov.it/sites/default/files/archivio/allegati/clima/snacc_2014_rapporto_stato_conoscenze.pdf

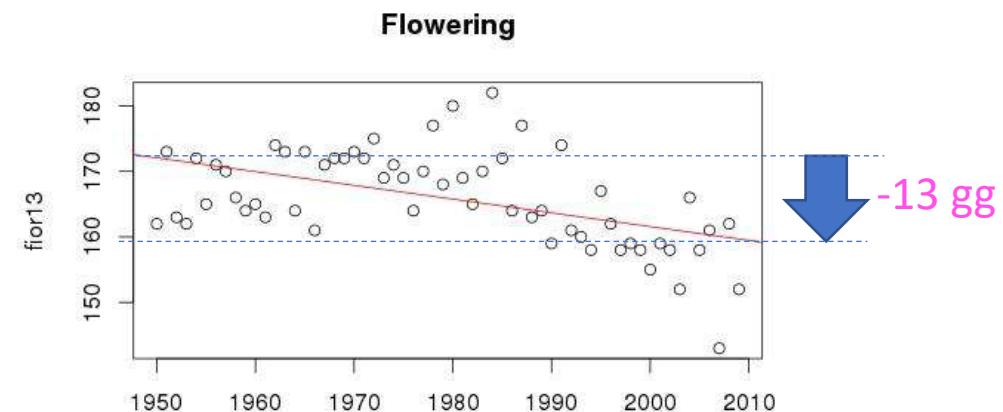
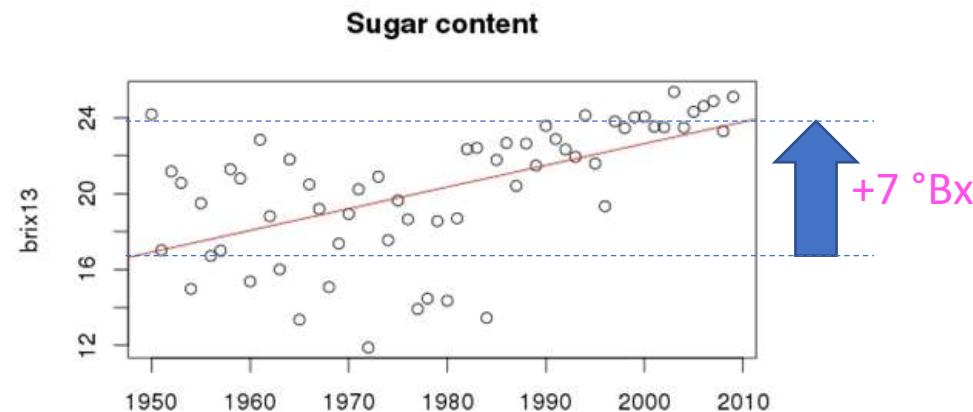
Bilancio idrologico: terreni coltivati in Pianura Padana



- D'estate umidità nello strato delle radici sotto il punto di appassimento perché il bilancio idrologico è negativo per un mese in più
- D'inverno bilancio idrologico più positivo

Fonte: Cassardo et al., 2018, Climate change over the high-mountain versus plain areas: Effects on the land surface hydrologic budget in the Alpine area and northern Italy, HESS

Il caso della vite in Piemonte



Zone vitivinicole piemontesi

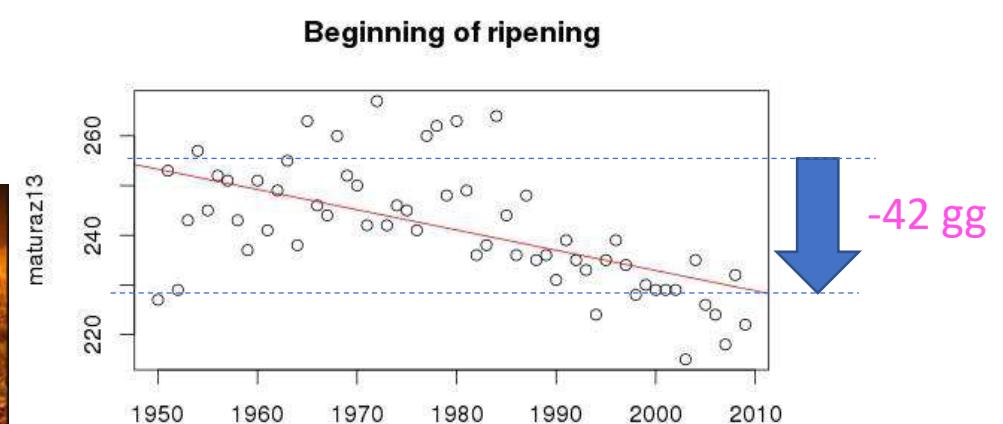
➤ Fioritura della vite e maturazione dell'uva **in anticipo di 2-3 settimane nell'ultimo trentennio**

□ Maggiore rischio di gelate tardive!!!

➤ Contenuto zuccherino degli acini **in forte aumento** (corrisponde a 1-2 gradi alcolici)

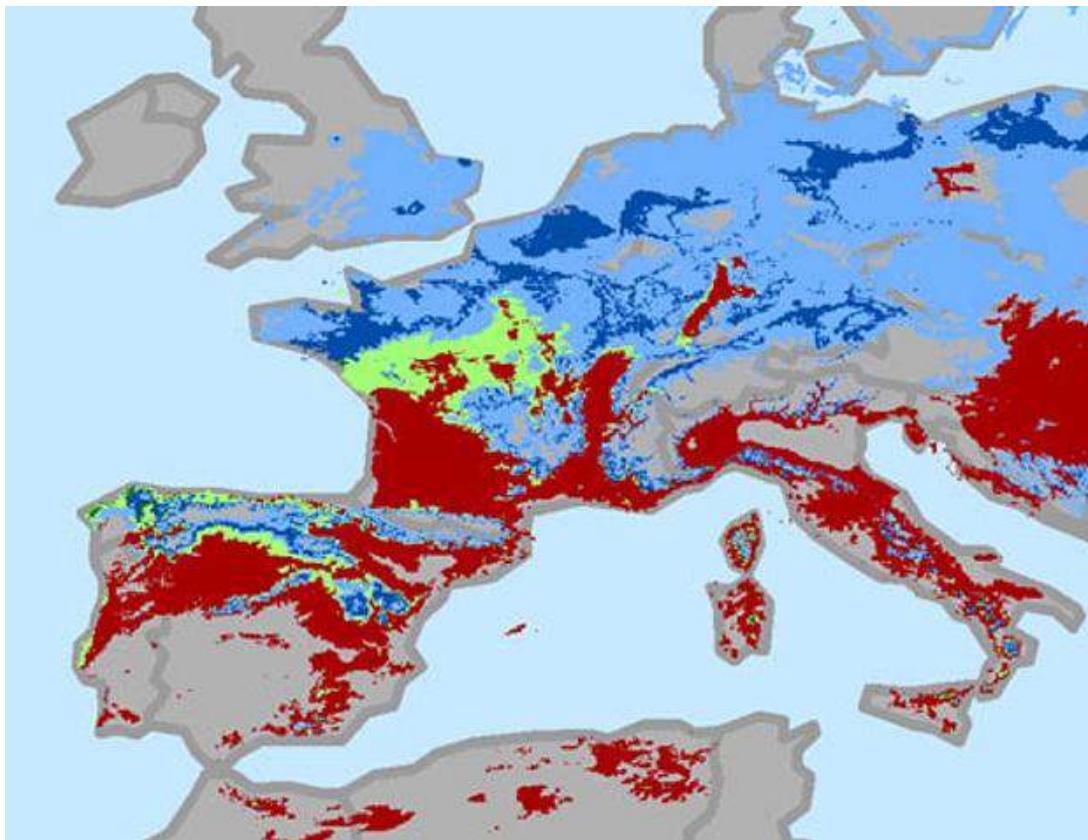


Nel clima futuro **questi trend continueranno**



Fonte: Andreoli et al. (2019), Agronomy

La fine del vino?



- █ Si produce oggi MA NON NEL FUTURO
- █ Si produce sia oggi che nel futuro
- █ Non si produce oggi ma si produrrà

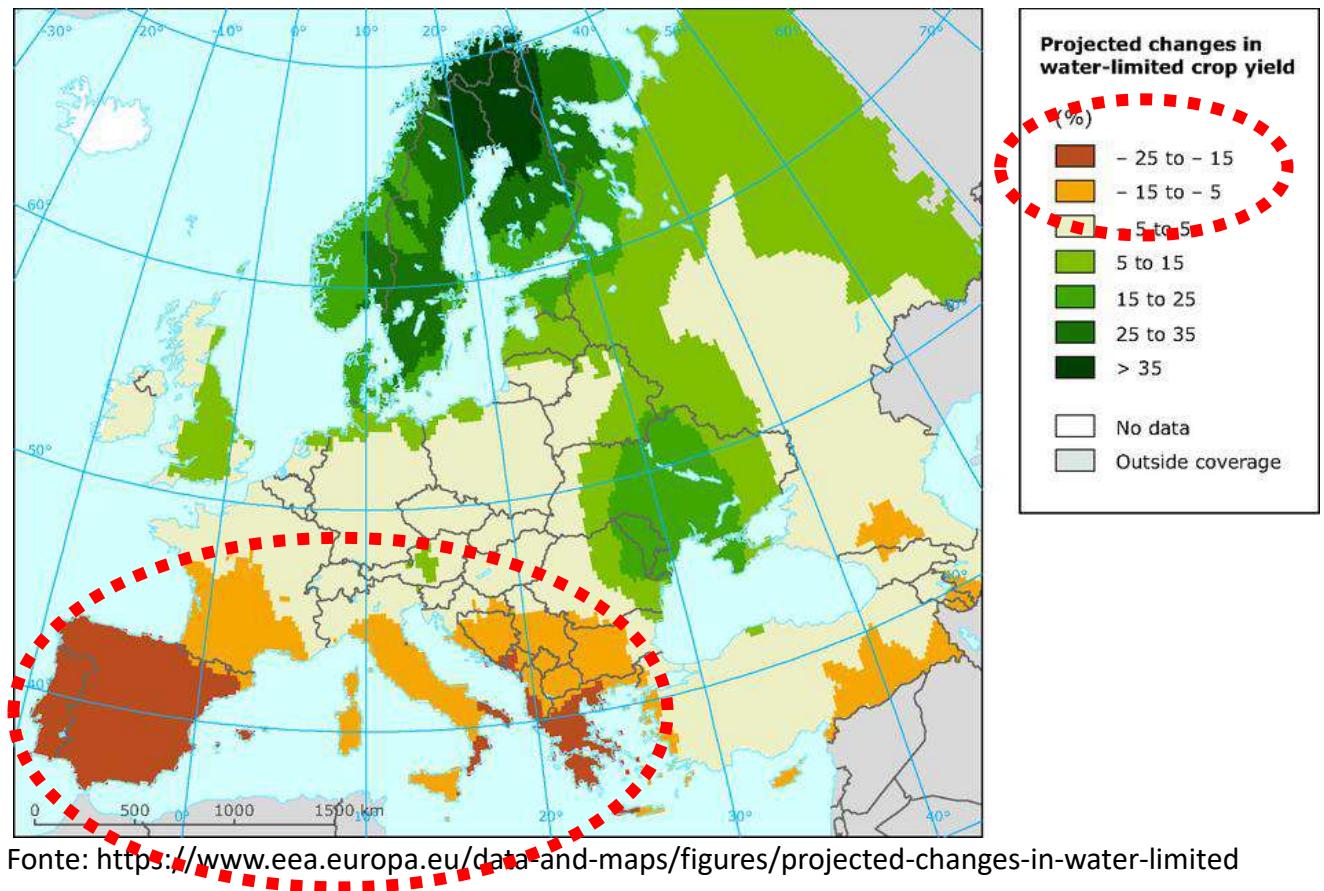
Fonte: Hannah et al., 2013, PNAS

- Il cambiamento climatico potrebbe spostare gli areali di produzione del vino molto lontano dalle zone vinicole tradizionali

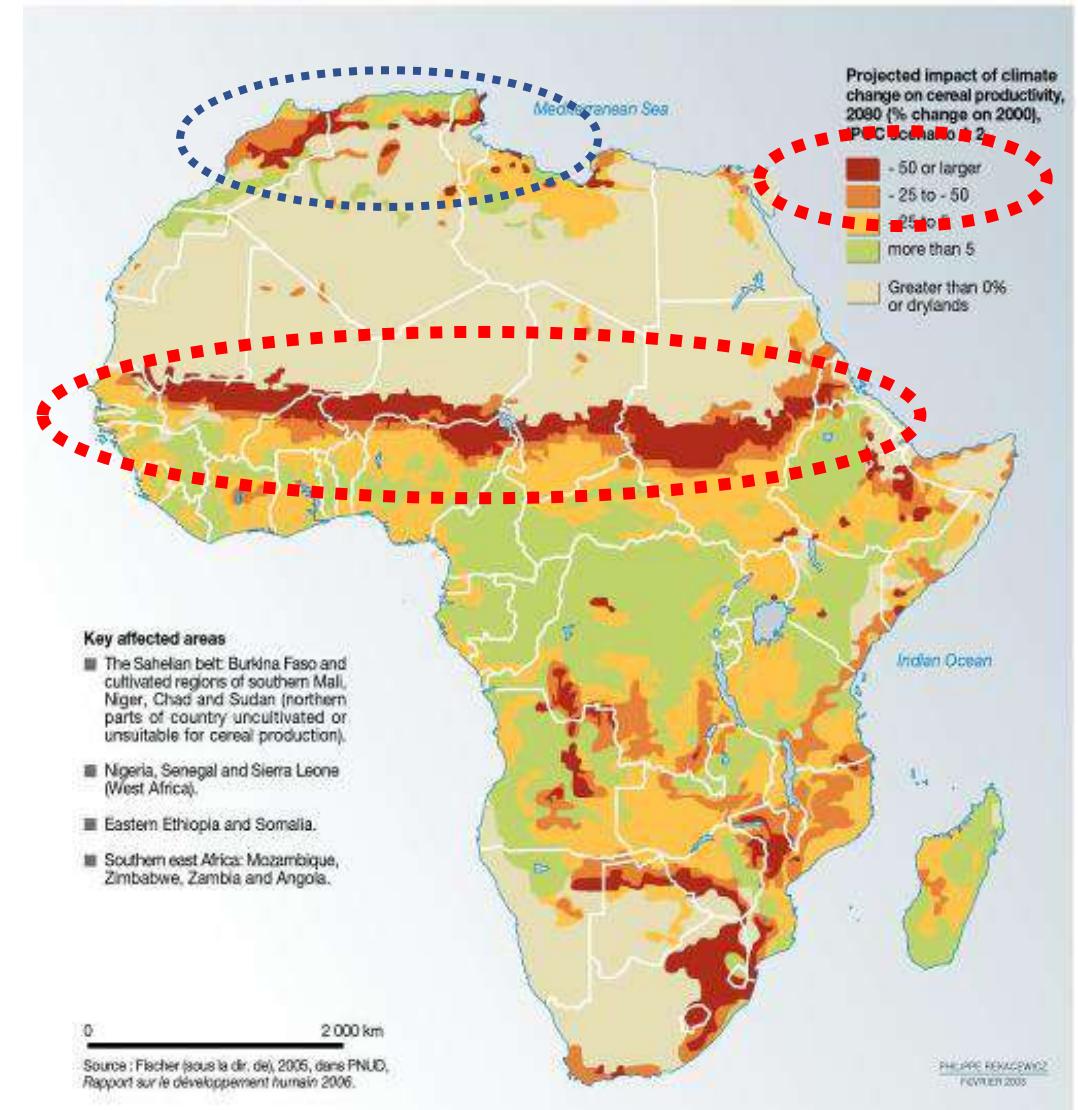


- In Piemonte, niente più vino? Ulivi?
- Il Barolo si produrrà in Svizzera? O in Inghilterra? E il terroir?

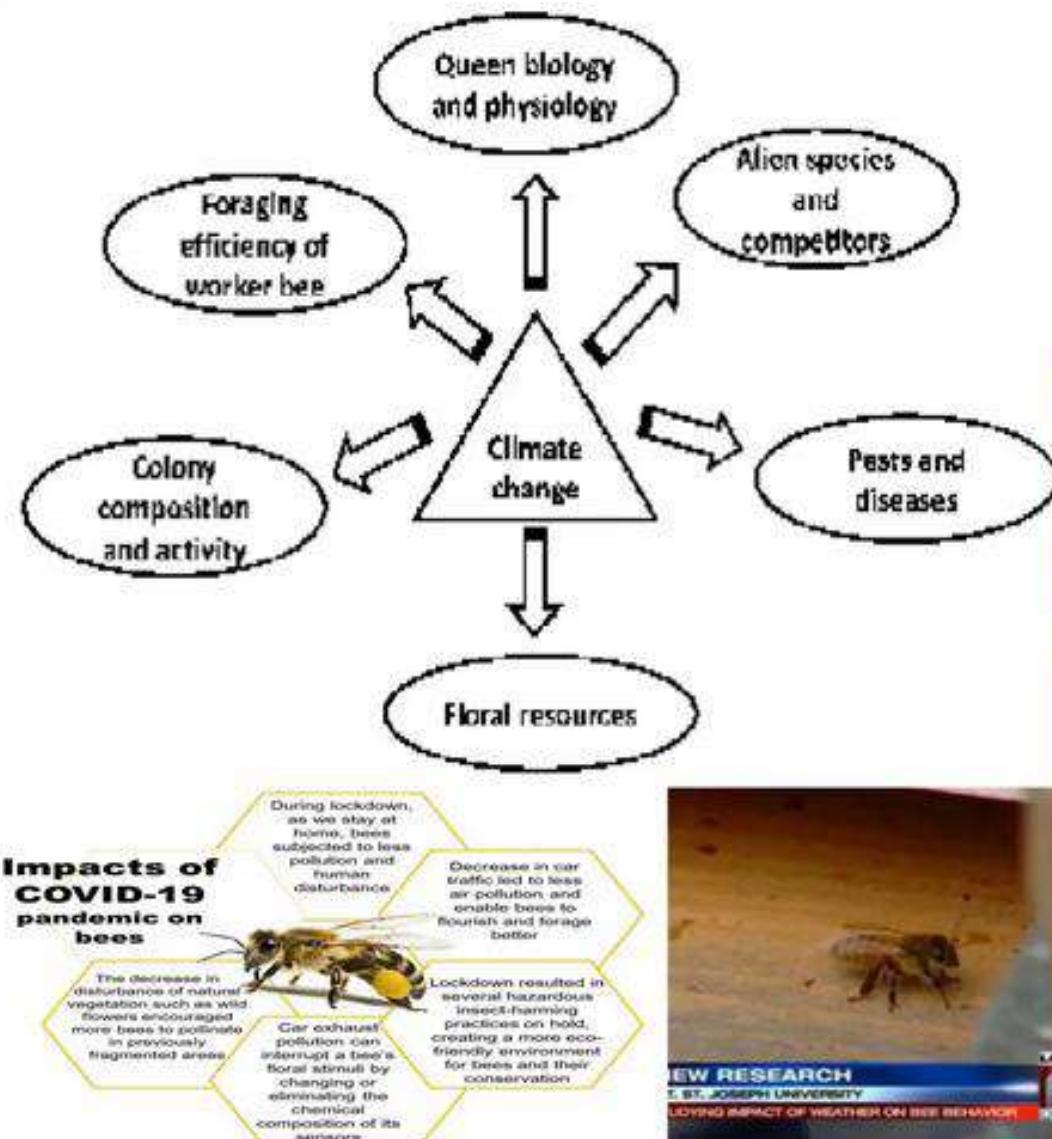
Produttività agricola futura in (forte) calo



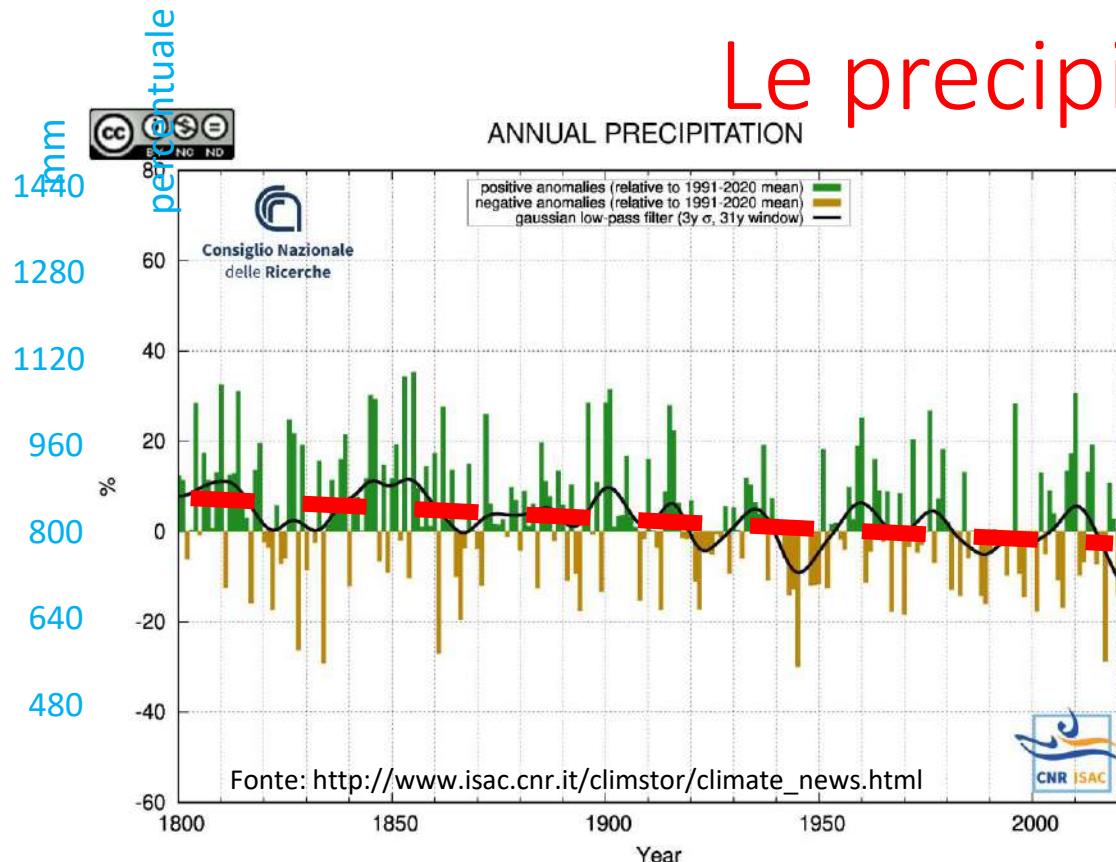
Cereal productivity in Sub-Saharan Africa under a scenario of the IPCC that shows CO₂ atmospheric concentrations at a level at 520-640 ppm by 2050



Impatto del cambiamento climatico sulle api



Le precipitazioni in Italia



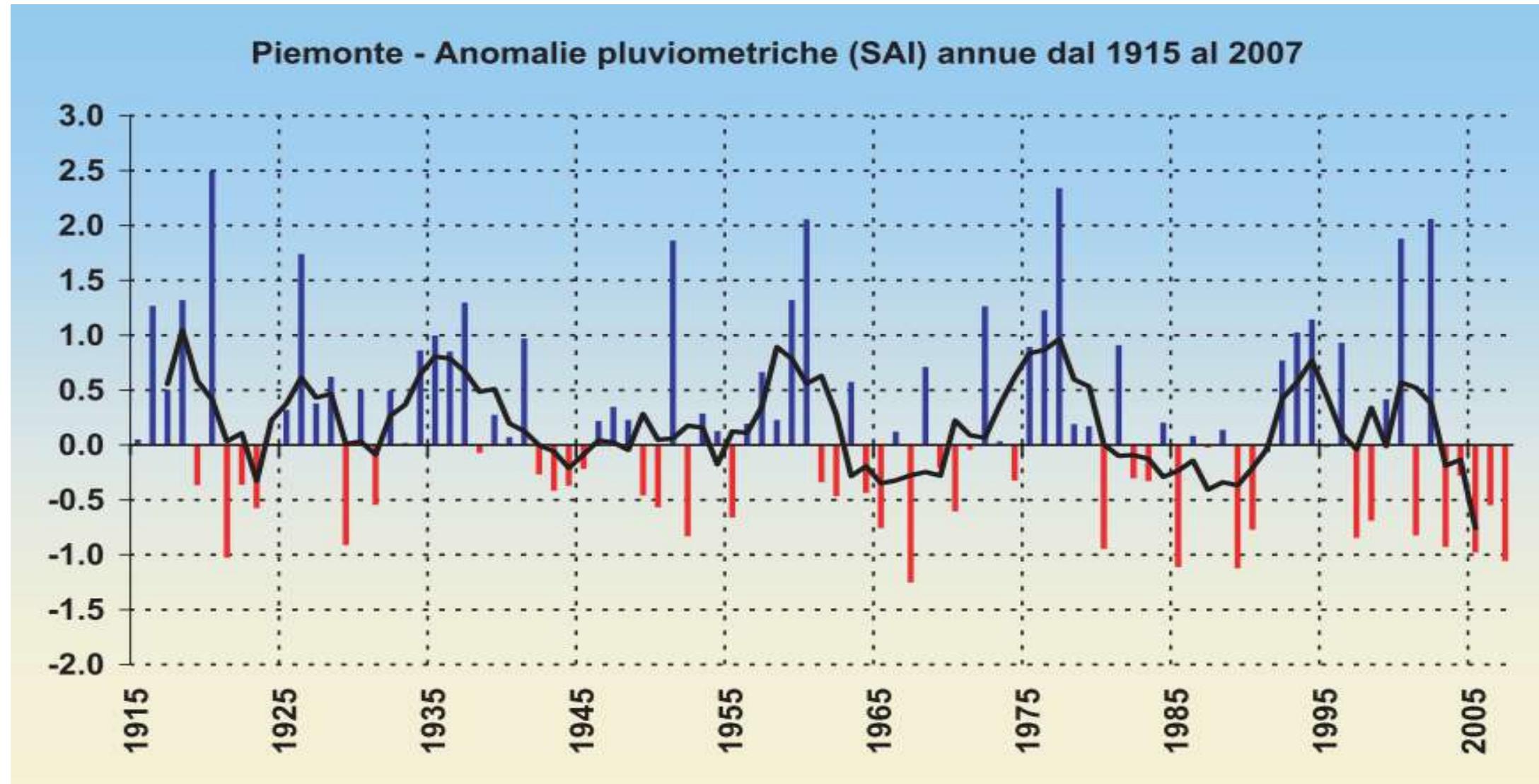
- Calo in due secoli del 10% (statisticamente non significativo) della piovosità media annua
- Calo recente (statisticamente non significativo) della portata del Po (annua e soprattutto nella stagione calda)



Fiume Po, sezione idrometrica di Pontelagoscuro (FE) - Andamento temporale delle portate medie mensili del 2022 e 2024 (in giallo), del periodo 1921-1970 (in blu) e del periodo 2001-2021 (in azzurro)

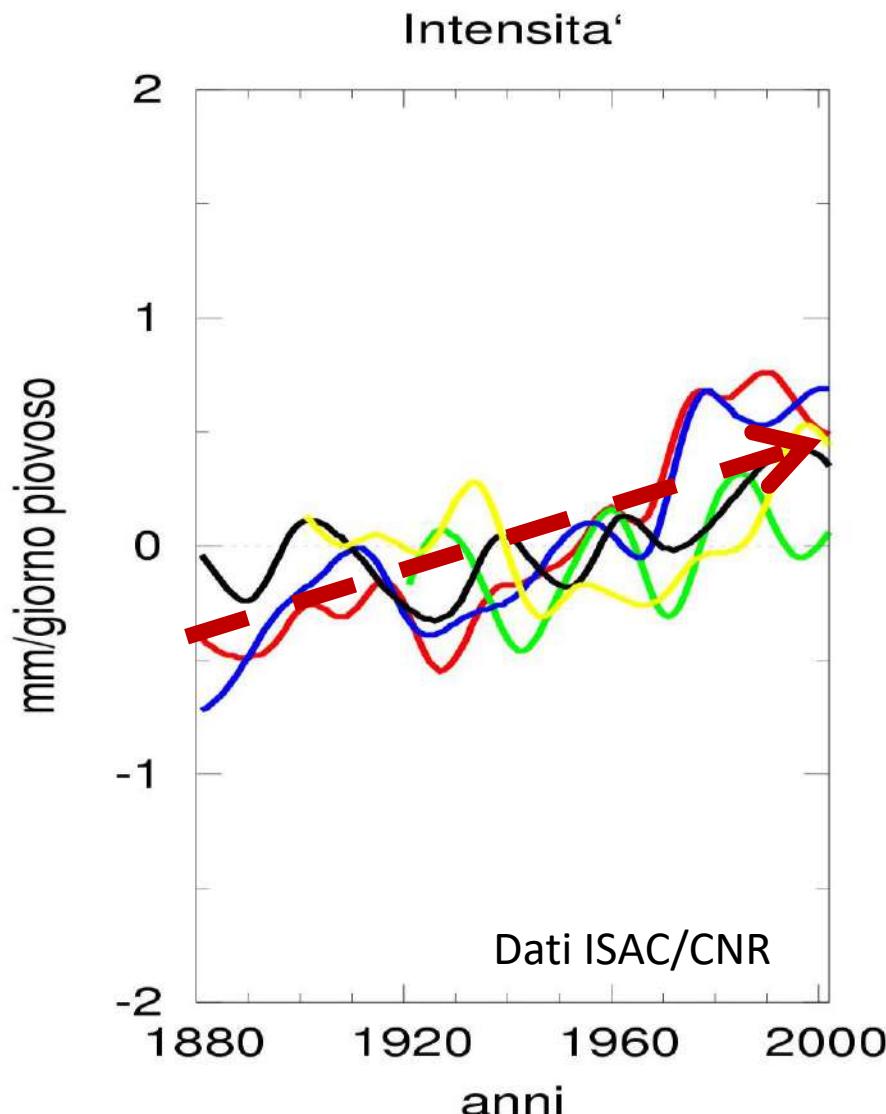
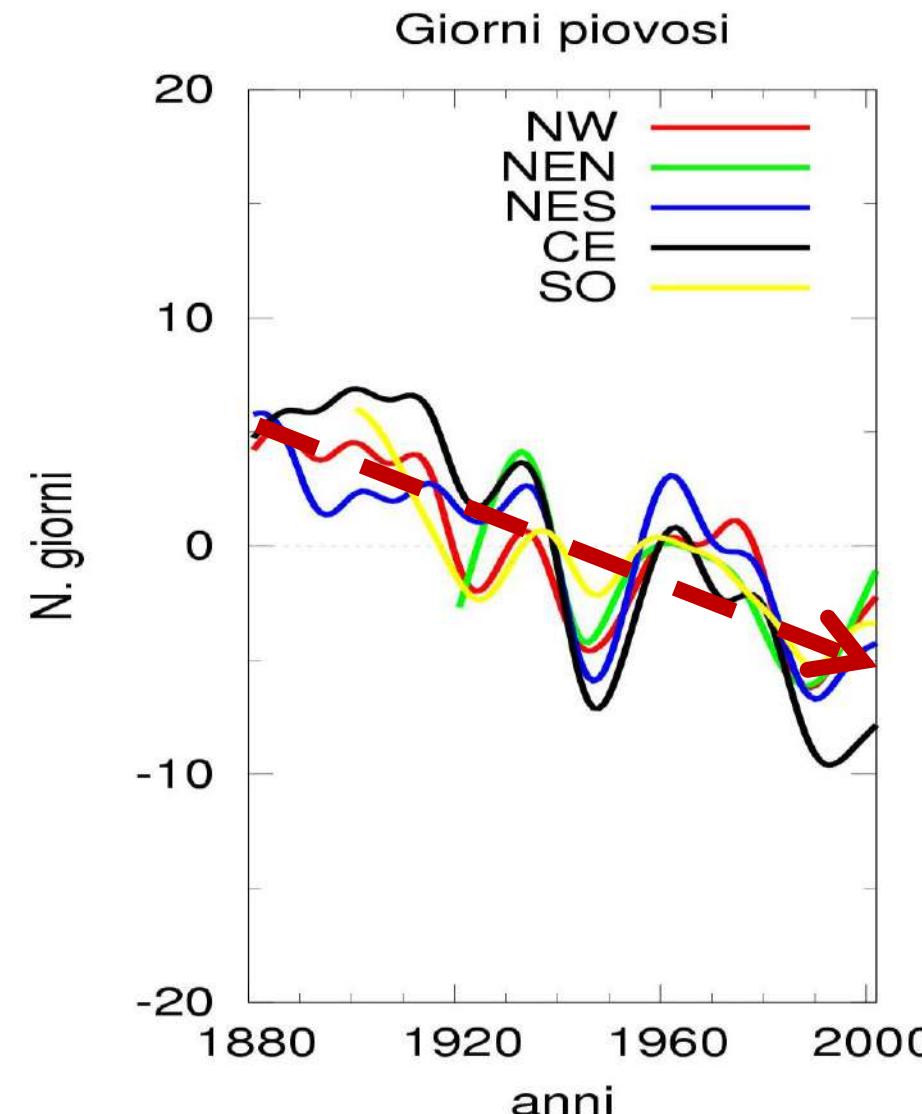
Fonte: Dati Ambientali Emilia Romagna

Pluviometria in Piemonte: stabile



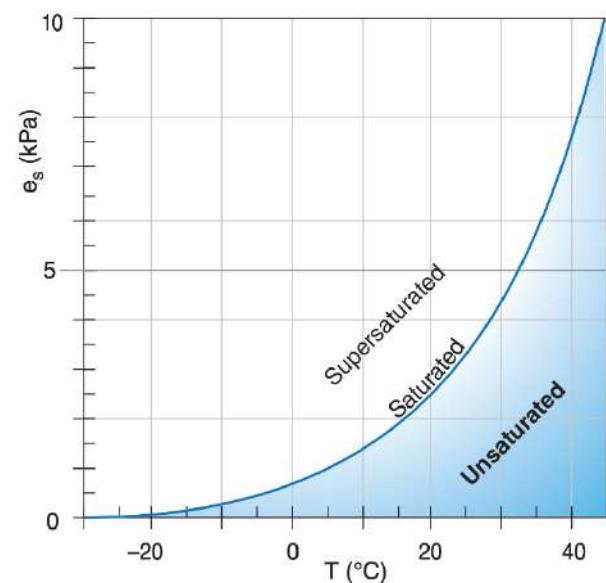
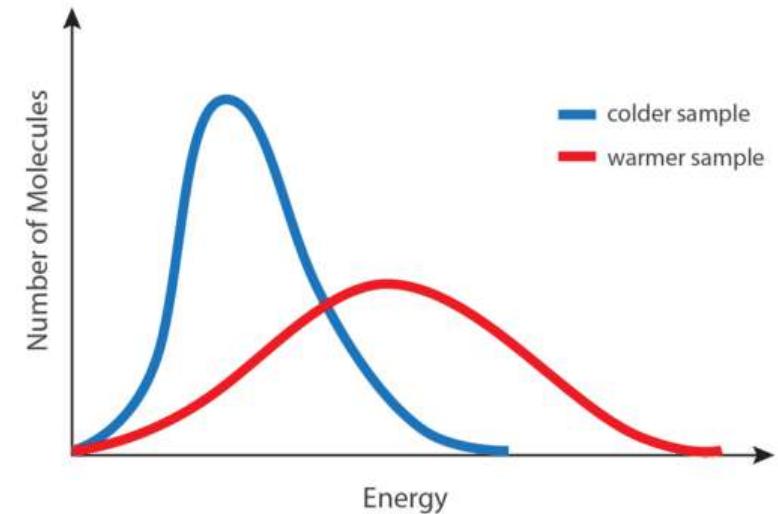
Fonte: Mercalli et al., Cambiamenti climatici sulla montagna piemontese. 2008

Aumentano le piogge intense: piove di più e meno spesso



Quindi, in un'atmosfera più calda, che succede?

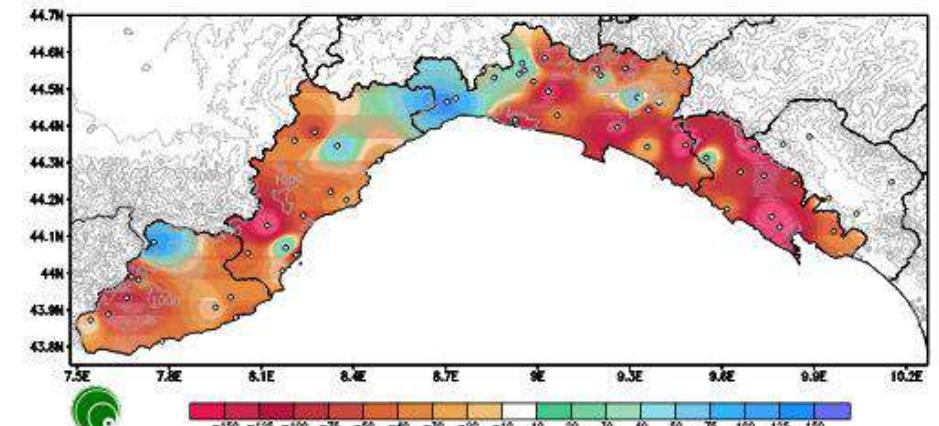
- La temperatura di una sostanza è correlata all'energia cinetica media delle particelle di quella sostanza
 - Temperatura maggiore \leftrightarrow energia cinetica maggiore, evaporazione maggiore, fenomeni più intensi
- La pressione del vapore saturo aumenta esponenzialmente con l'aumentare della temperatura (equazione di Clausius-Clapeyron)
 - In un'atmosfera più calda ci sono più goccioline d'acqua (o cristalli di ghiaccio) nelle nubi



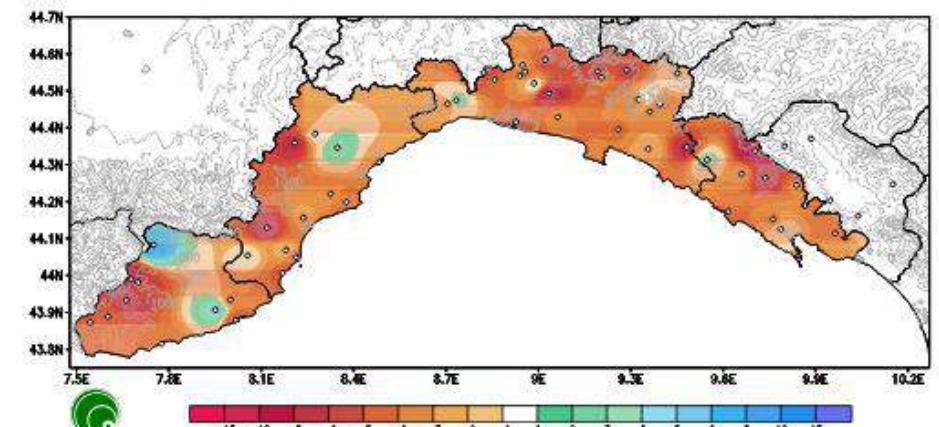
Precipitazioni in Liguria (1981-2010 vs 1961-1990)

- Levante significativamente più piovoso del Ponente, sia a livello di cumulate, che di giorni piovosi, di valori più elevati di precipitazione giornaliera e di minor numero di giorni secchi consecutivi
- Precipitazioni cumulate in diminuzione su base annuale, ma con significative differenze nella distribuzione stagionale
 - in aumento in autunno ($> +10\%$ in alcune aree), e in diminuzione negli altri mesi, specialmente inverno e primavera
- Tendenza analoga per gli altri indicatori (giorni di pioggia consecutivi, i giorni secchi consecutivi, e intensità della precipitazione giornaliera)
- Aumento piogge cumulate ed intensità in autunno possibile driver per eventi estremi, che sono in aumento

Precipitazione cumulata (mm) - Variazione della media annuale 1981-2010 rispetto a 1961-1990

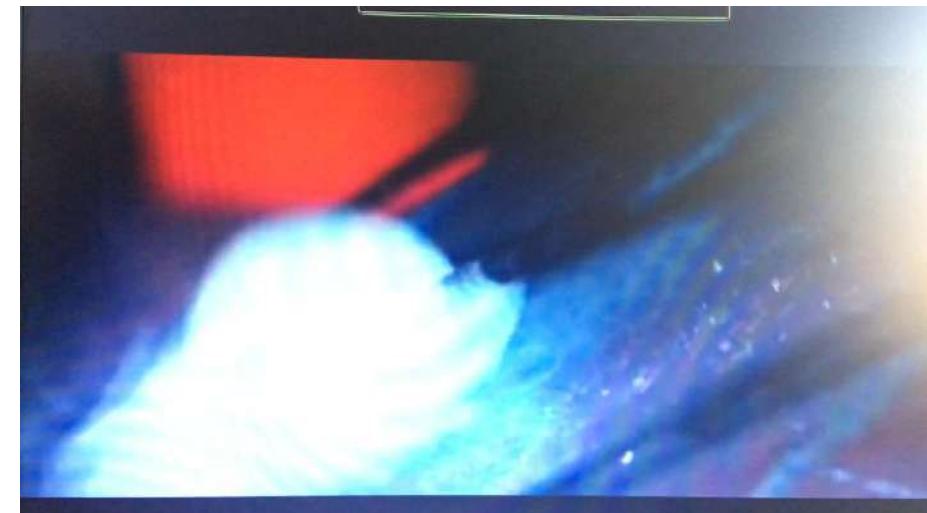
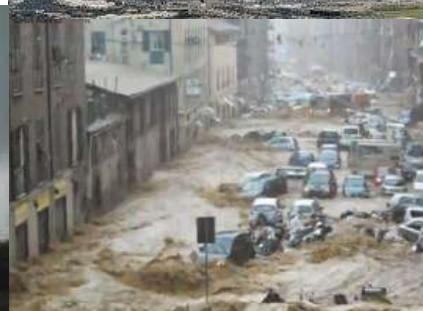


Numero giorni piovosi - Variazione della media annuale 1981-2010 rispetto a 1961-1990



Fonte: Atlante climatico della Liguria, 2013

Aumento degli estremi climatici



Da «L'alba del giorno dopo» (2004)
Scena della grandinata gigante a Tokyo



25/07/2023: a Tiezzo (frazione di Azzano Decimo, Friuli) cade un «chicco» di grandine di 19 cm, record europeo

- Il cambiamento climatico non causa gli eventi meteorologici estremi, ma rende più probabile il loro verificarsi, soprattutto di quelli più intensi

Alcuni eventi estremi dell'estate 2025

Grandine come "palle da tennis": auto distrutte e tetti danneggiati tra Ivrea e Pavone Canavese

Vetri in frantumi, infissi e carrozzerie ammaccate da pezzi di ghiaccio fino a 7-8 centimetri di diametro



30 AGOSTO 2025 - 09:32

f X in g



Centro Meteo Piemonte CMP
circa un mese fa

29/08/25 - Ancora immagini dei danni ingenti nell'Eporediese per via della forte supercella temporalesca che nel tardo pomeriggio ha prodotto grandine di grosse dimensioni: pannelli solari, parabrezza e lunotti distrutti.



17/11/2025 - Cavallerizza, Torino

L'"apocalisse" di Meda: interi quartieri sott'acqua centinaia di famiglie isolate

23 Settembre 2025 | 10:48



Melissa Ceccon

f X in p g @ d



CRONACA BARDONECCHIA

Maltempo nel Torinese: forte temporale in montagna, fiume esondato a Bardonecchia. Trovato morto il fruttivendolo del paese, Franco Chiaffrino

L'amministrazione comunale invita a non avvicinarsi ai ponti



Milano, il Seveso esonda e interi quartieri vanno sott'acqua: ecco perché non bastano le vasche di laminazione

DI LUISIANA GAITA

Damiano Di Simine, responsabile scientifico di Legambiente Lombardia: "Le infrastrutture non sono risolutive. Serve fermare il consumo di suolo e ricostruire la valle presa al torrente"



Verderio: violenta tromba d'aria si abbatte sul paese. Danni per migliaia di euro. Alberi abbattuti, tetti scoperti.

CRONACA DAL TERRITORIO

VENERDI, 29 AGOSTO 2025 - 17:22

Verderio

f X in g m +

Una violenta tromba d'aria se è abbattuta su Verderio e ha colpito diversi punti del paese, con l'abbattimento di svariati alberi.



Aumento degli eventi estremi in Liguria

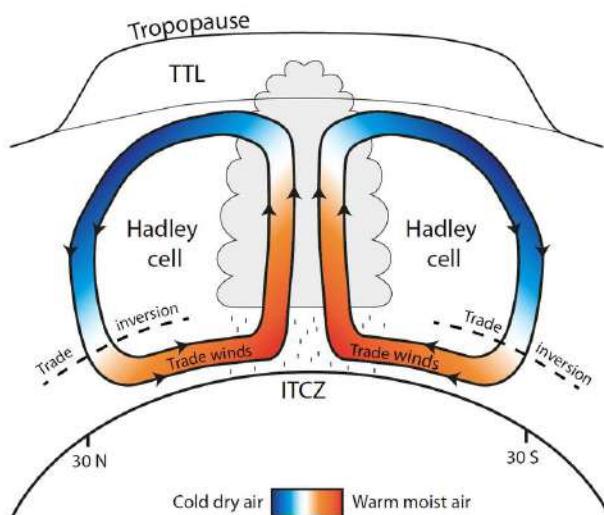
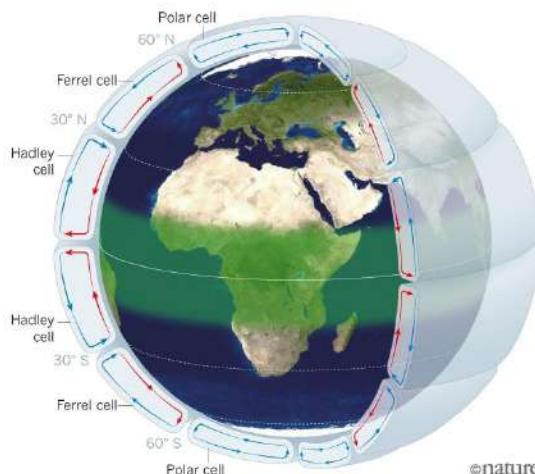
- Con eventi estremi si intendono piogge forti, temporali forti, eventi alluvionali, tornado, mareggiate, ondate di calore
- I dati mostrano un aumento nella frequenza di eventi pluviometrici intensi ed eventi estremi in generale



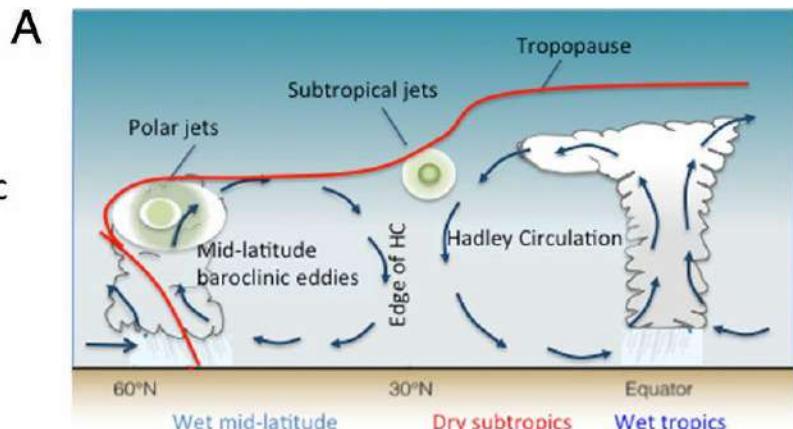
La dilatazione delle celle di Hadley

BULGING WAISTLINE

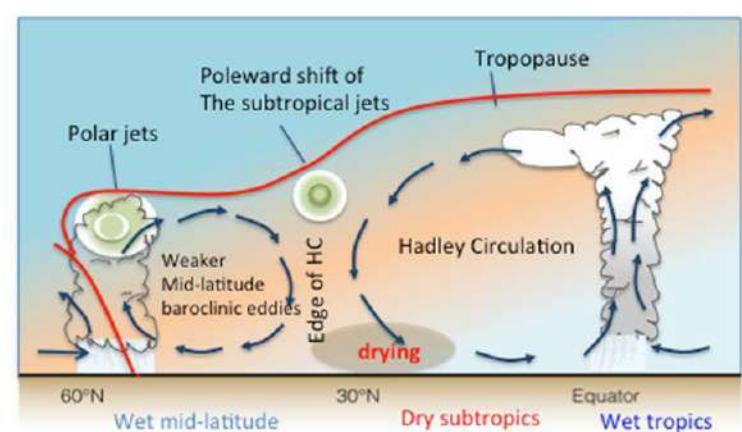
Expansion of the tropics can be seen in the Hadley cell, the circulation pattern that carries warm air upwards above the Equator and then down at about 30° N and 30° S. The descending limb of each Hadley cell is shifting towards the pole in both hemispheres, potentially altering climatic conditions in some regions.



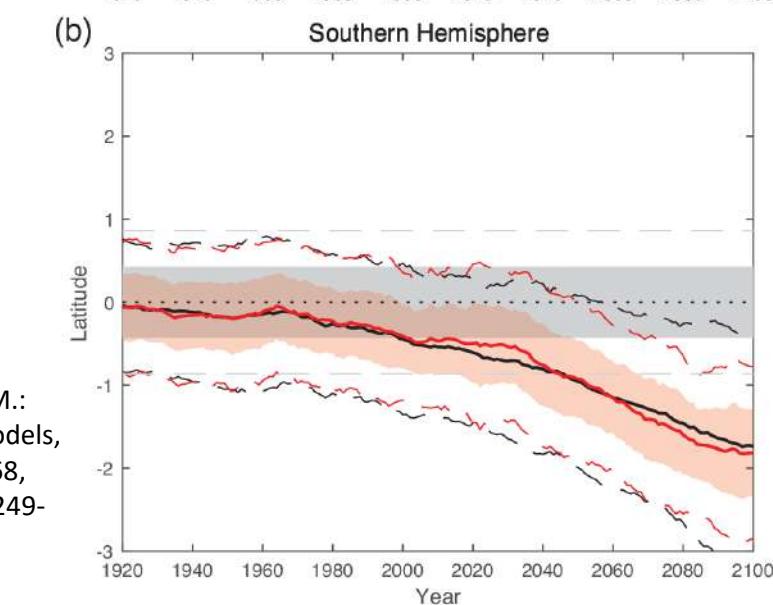
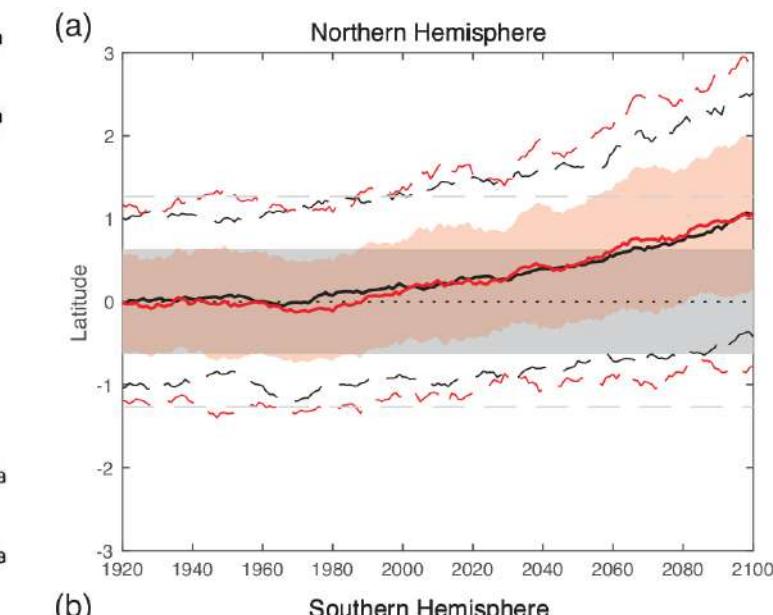
Current HC



Weak & broader HC in warmer climate

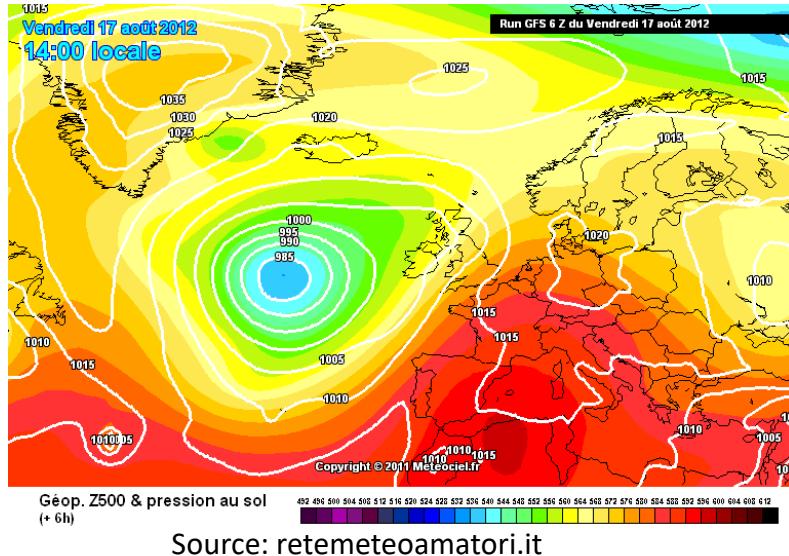


Source: Fu R., 2015, PNAS

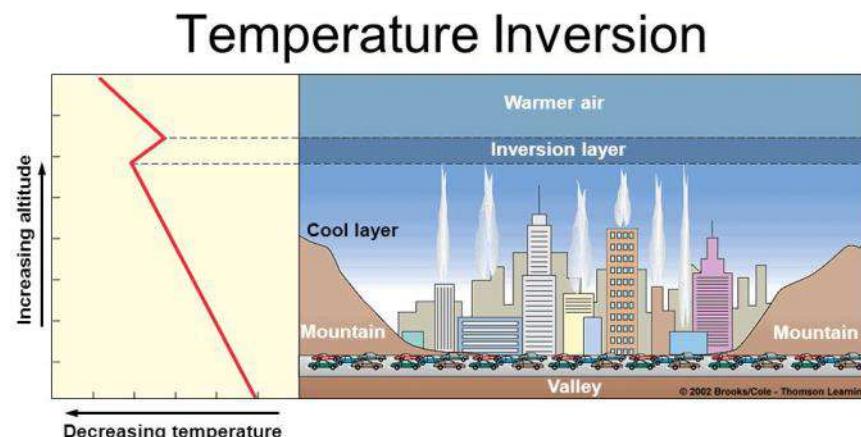


Source: Grise, K. M. and Davis, S. M.:
Hadley cell expansion in CMIP6 models,
Atmos. Chem. Phys., 20, 5249–5268,
<https://doi.org/10.5194/acp-20-5249-2020>, 2020.

Anticicloni, ondate di calore e inquinamento



- Le condizioni anticicloniche favoriscono d'estate le ondate di calore e d'inverno la persistenza dell'inquinamento negli strati bassi atmosferici (grazie alle inversion termiche, che agiscono da coperchio)

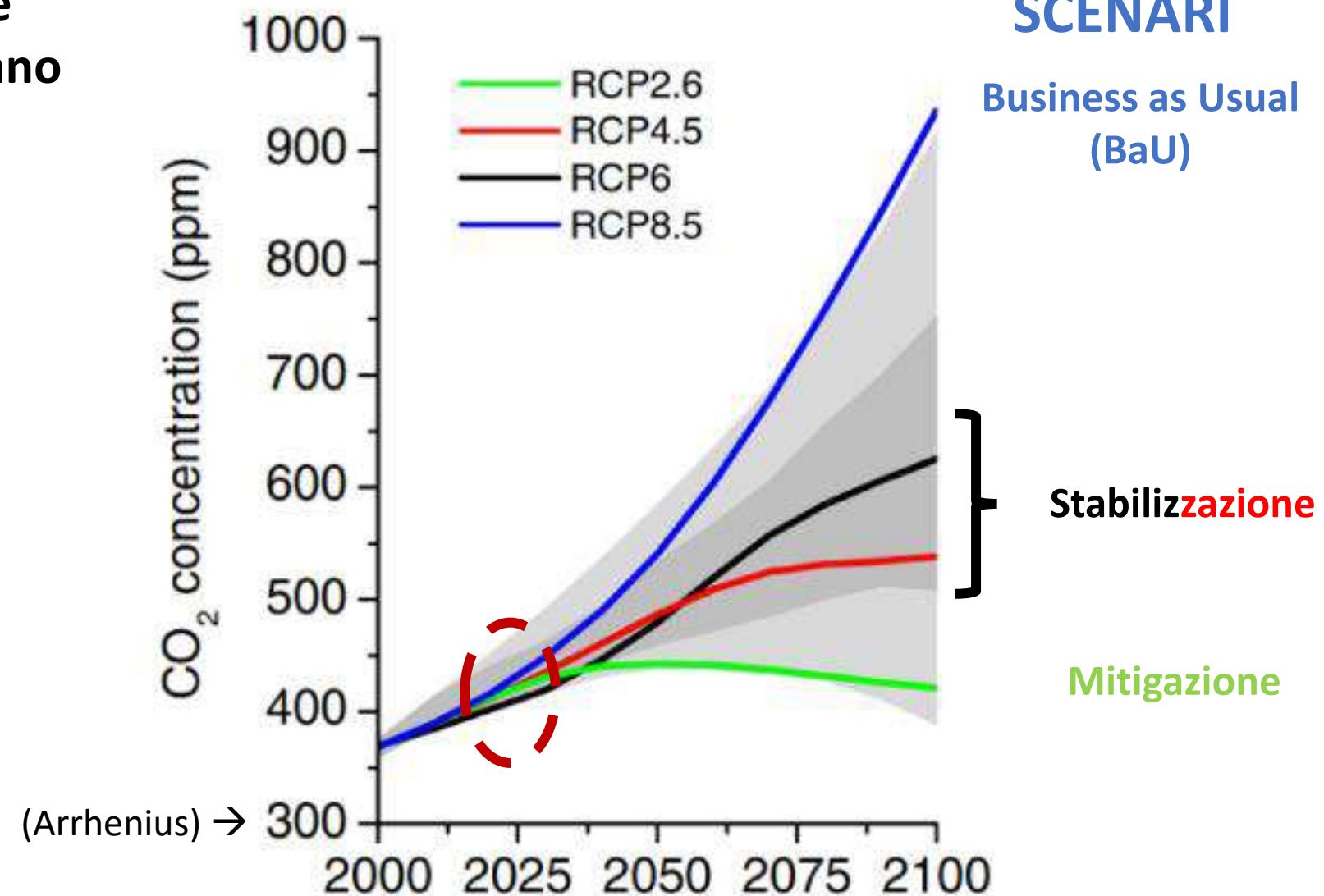


Source: <https://slideplayer.com/slide/766567/>

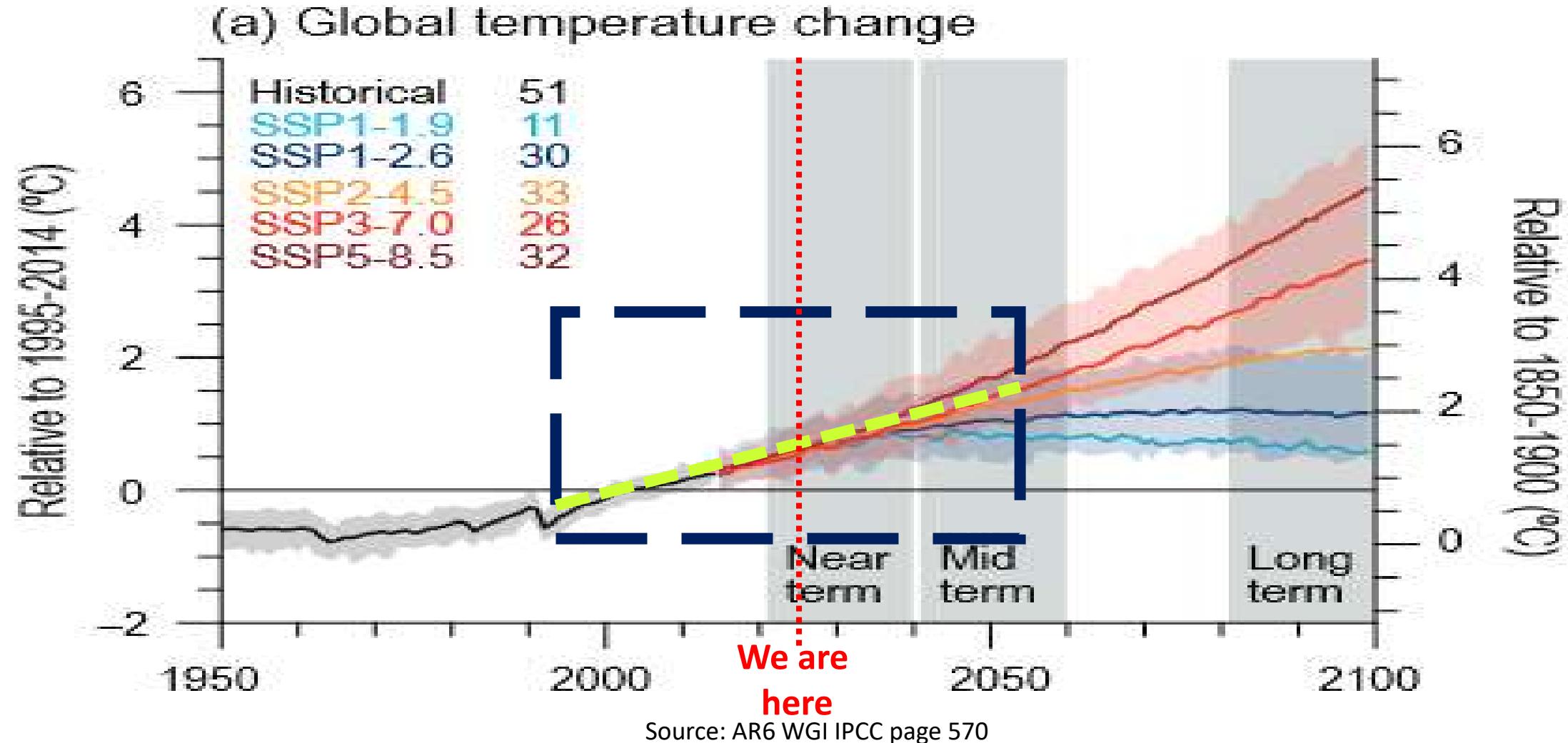


Emissioni → concentrazioni

Le proiezioni climatiche future effettuate con i modelli si basano su un insieme di possibili «scenari» che la società potrà intraprendere in termini di emissioni future di gas serra, crescita demografica, etc... chiamati **RCP (Representative Concentration Pathways)**



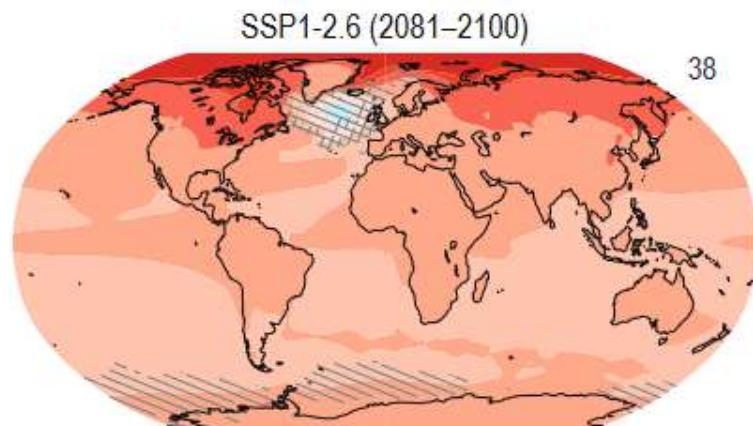
Dipende dagli scenari; probabilmente farà (molto) più caldo



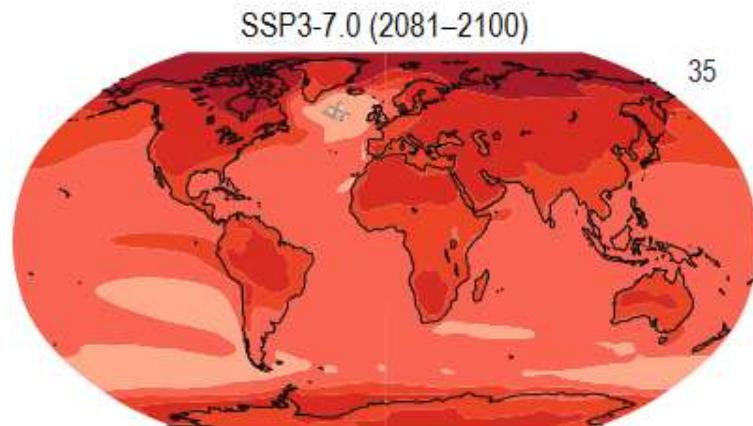
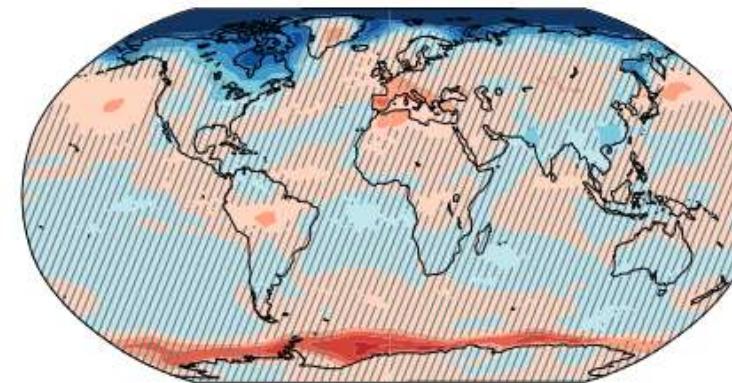
- Change in global mean temperature depending on SSP (shared socioeconomic pathways) scenarios: SSP1-1.9 (very low GHG emissions), SSP1-2.6 (low), SSP2-4.5 (intermediate), SSP3-7.0 (high), SSP5-8.5 (very high)

Distribuzione della temperatura media globale ...

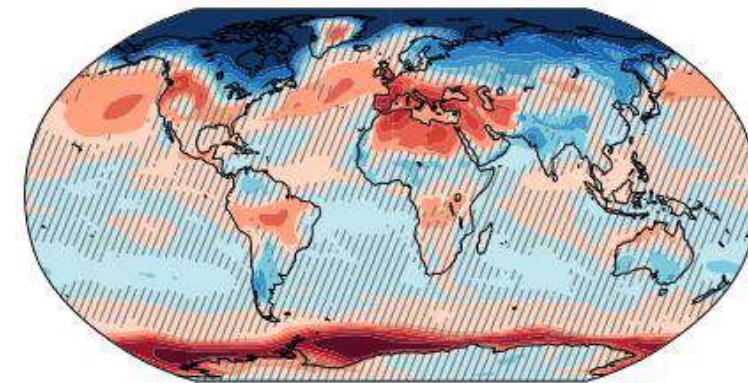
(2 scenari)



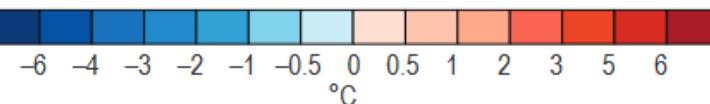
Warming difference JJA vs. DJF (SSP1-2.6)



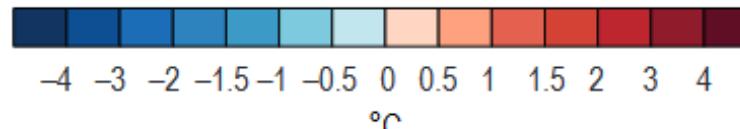
Warming difference JJA vs. DJF (SSP3-7.0)



- Colour Robust signal
- Hatching No change or no robust signal
- Cross-hatching Conflicting signals

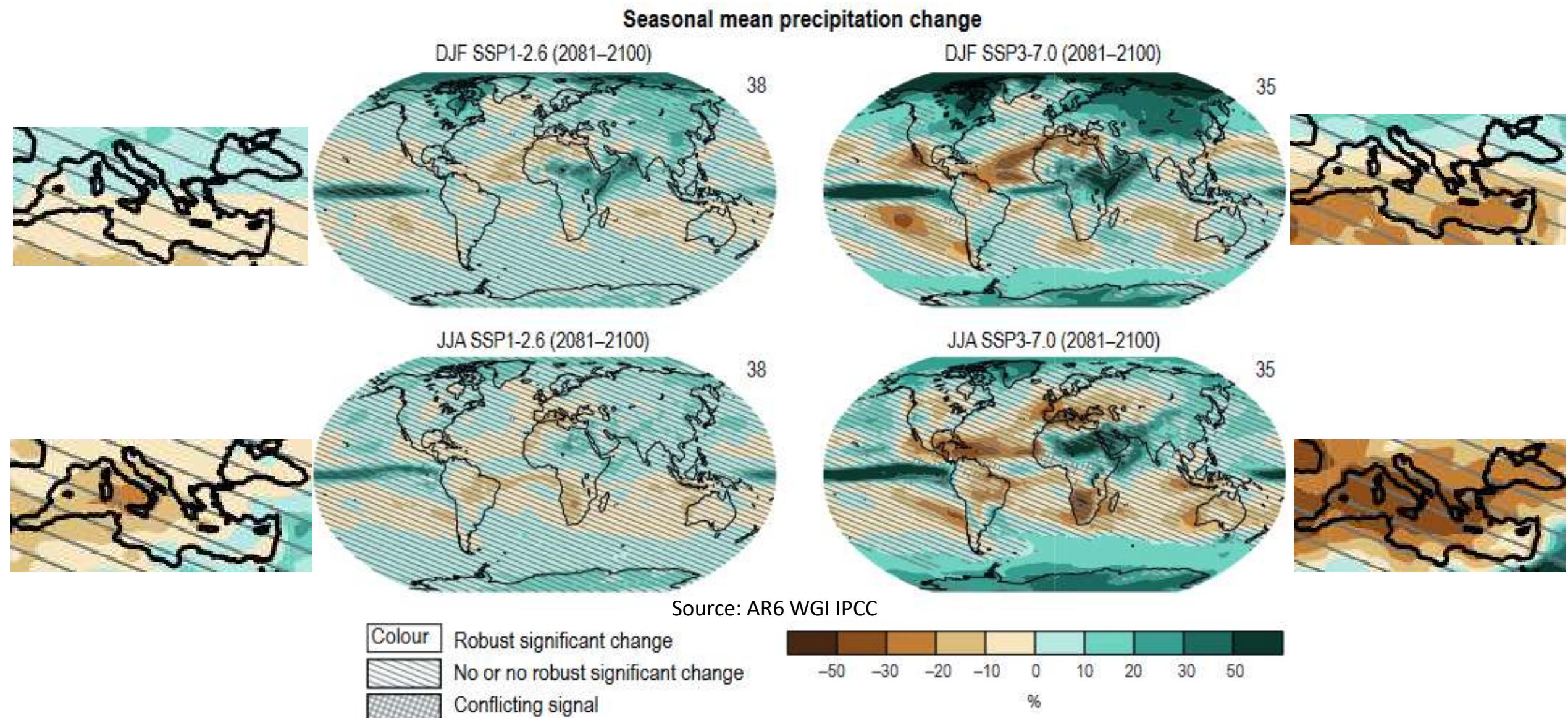


Source: AR6 WGI IPCC



Distribuzione delle precipitazioni medie globali ...

(2 scenari)



Come contrastare tali ricadute?

➤ Strategie di adattamento

- ❑ Inerbimento e sovescio; consociazioni e introduzione dell'intercropping; conservazione o creazione di fasce tampone vegetate o di barriere vegetate (tutte pratiche volte a preservare il suolo e tutte le sue funzioni); ...

➤ Strategie di mitigazione

- ❑ Riduzione delle emissioni dal suolo; sequestro di carbonio; riduzione dei fertilizzanti organici, preservazione dell'umidità del suolo; introduzione di specie e varietà diverse; ...

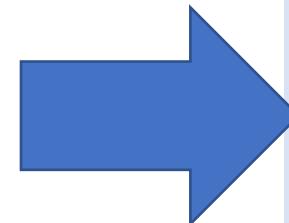
➤ Azione integrata tra interventi di mitigazione e di adattamento

- ❑ Un generale adattamento dell'agrotecnica
- ❑ Le azioni andranno valutate caso per caso
- ❑ i benefici della mitigazione potrebbero realizzarsi soltanto dopo molti anni dalla loro applicazione

Mitigazione: COP21 e Accordo di Parigi

OBIETTIVO 2°C

Ridurre le emissioni di gas serra per *“mantenere l’incremento della temperatura media globale sotto i 2°C rispetto ai livelli pre-industriali, cercando di limitare questo incremento a 1,5°C, riconoscendo che ciò ridurrebbe significativamente i rischi e gli impatti del cambiamento climatico”.*



CO₂ in atmosfera stabile a un valore non superiore a 450 ppm nel 2100

RICETTA

- Ridurre le emissioni globali antropiche del 40%-70% rispetto al 2010 entro il 2050
- Zero emissioni (nette) nel 2100
- Non superare le 2900 Gt di emissioni di CO₂ accumulate dall’inizio dell’era industriale

Affrontare le cause per ridurre e/o eliminare gli effetti futuri

MITIGAZIONE

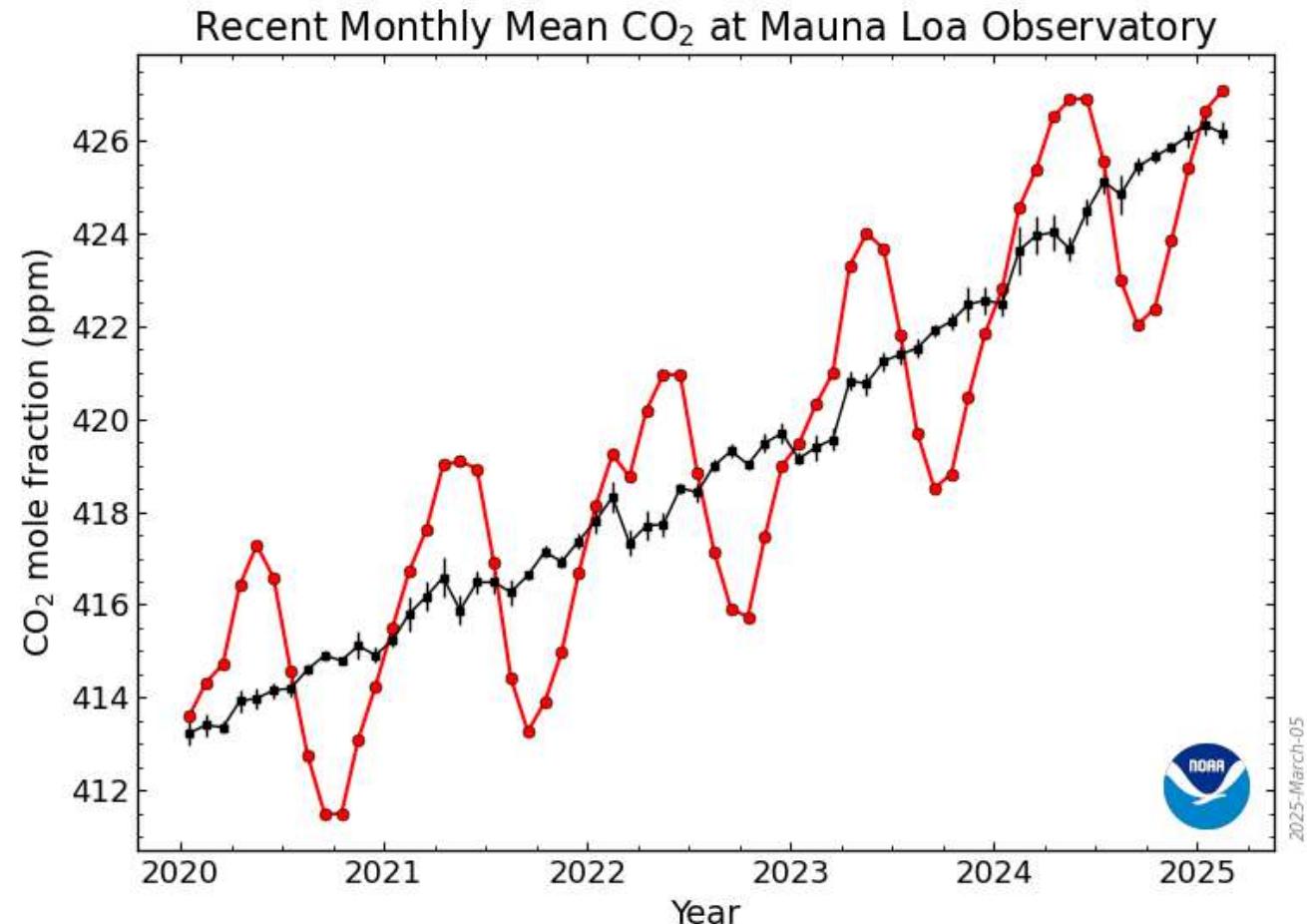
- Riduzione delle emissioni di gas-serra e di aerosol atmosferici
- Aumentare l'efficienza energetica
- Aumentare l'uso di energia no- e low-carbon
- Aumentare i “carbon sinks”
- **Modificare i nostri stili di vita → gestione virtuosa dei propri consumi energetici, scelte per la mobilità, abitudine al riciclo e la gestione dei rifiuti, abitudini alimentari.**

Convivere con gli effetti già in corso e attesi

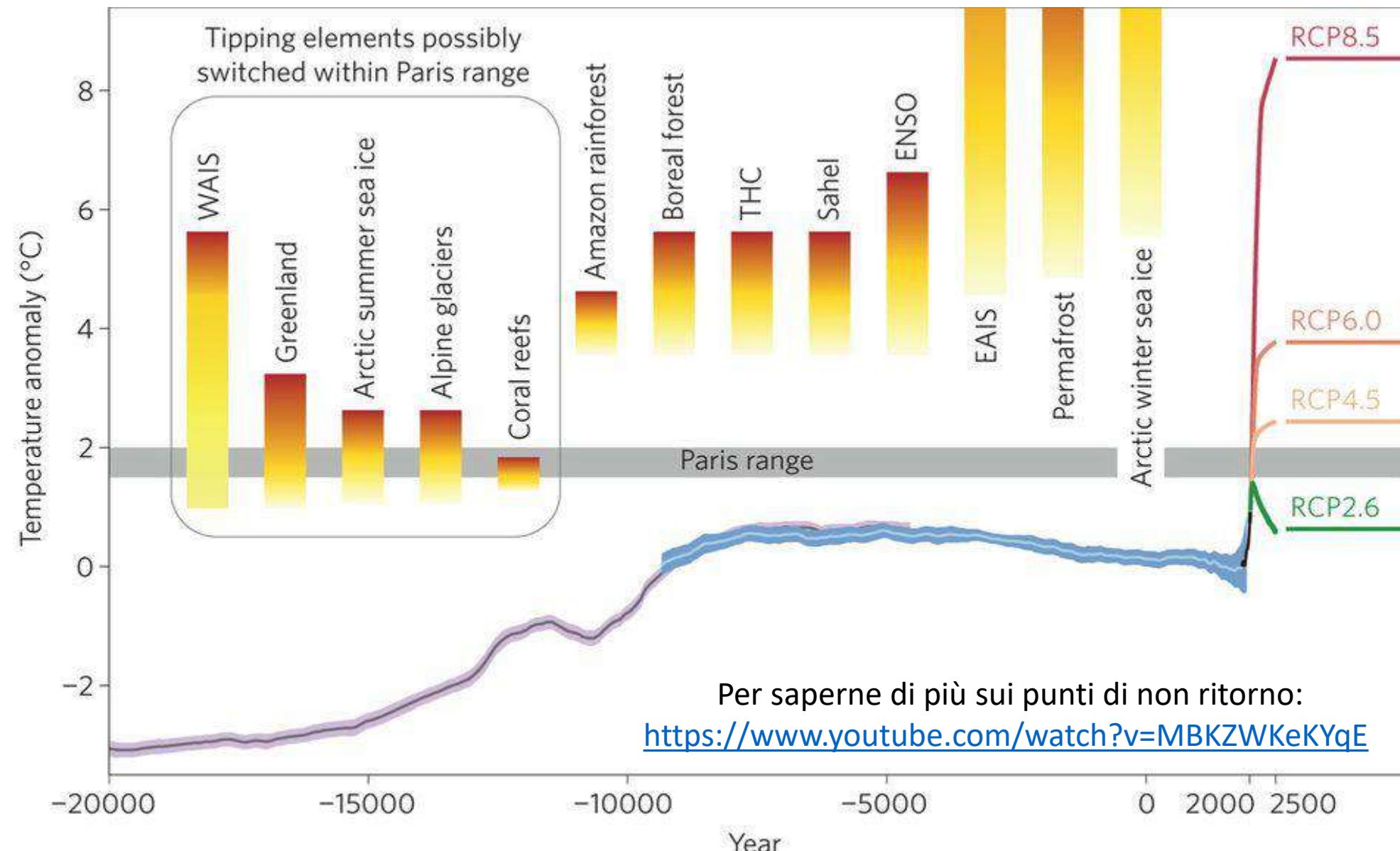
- Utilizzare le risorse idriche scarse in modo efficiente
- Adeguare le norme edilizie per far fronte alle future condizioni climatiche e ai fenomeni meteorologici estremi
- Costruire difese contro le inondazioni e innalzare argini artificiali
- Sviluppare colture resistenti alla siccità, selezionare specie e prassi silvicole meno sensibili alle precipitazioni violente e agli incendi
- Elaborare piani territoriali e corridoi per favorire la migrazione delle specie

Riflessione

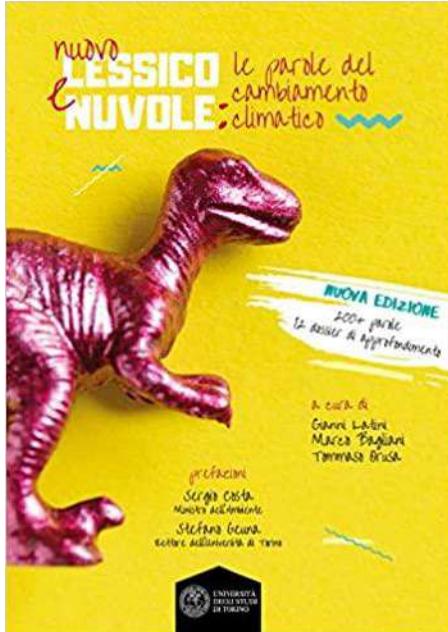
- Valore attuale: ~425,5 ppm (media annua)
- Rateo di aumento: ~2,6 ppm/anno (media ultimi 5 anni)
 - (negli ultimi due: ~3,3 ppm/anno)
- Valore limite: 450 ppm (accordo di Parigi)
- Tempo rimanente:
 $(450 - 425,5) / 2,6 = 9,4$ anni
 - cioè nel 2034-35...



Altrimenti? C'è il rischio di superare dei punti di non ritorno



Consigli di lettura



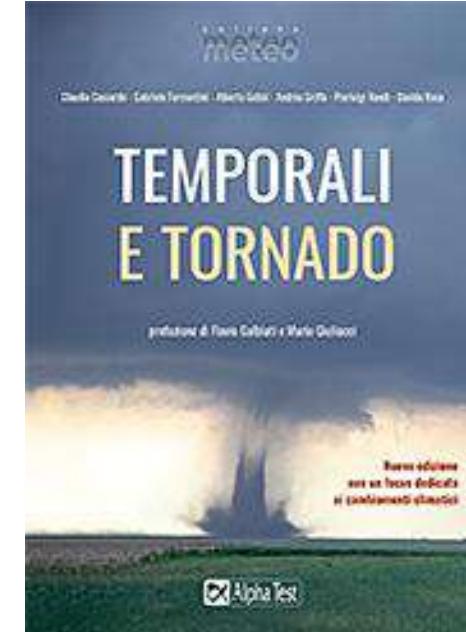
Titolo: Lessico e nuvole: le parole del cambiamento climatico

Curatori: G. Latini, M. Baglioni, T. Orusa

Autori: molti docenti dell'Università di Torino

Edizione: 2020 Zenodo

Pdf gratuito a [questo link](#)



Titolo: Temporali e tornado

Primo capitolo: Clima e cambiamenti climatici

Autori: C. Cassardo, G. Formentini, A. Gobbi, A. Griffà, P. Randi, D. Rosa

Edizione: 2022, Alpha Test

Link: [qui](#)