



*Cambiamenti
climatici.
Passato e futuro*

MARC ZEBISCH

1

IN EUROPA E NEL MONDO

Da circa un secolo a questa parte i ricercatori osservano un inconsueto e rapido innalzamento della temperatura terrestre. I 15 anni compresi tra il 2000 e il 2015 sono stati i più caldi dall'inizio dell'industrializzazione. A livello globale la temperatura media dal 1880 è aumentata di 0,85°C (1) (Figura 1). In particolare, dagli anni settanta l'aumento di temperatura è stato accelerato e continuo. In Europa le temperature si sono alzate di 1,5°C (2), e addirittura di 2°C (3) sulle Alpi. Questo maggiore riscaldamento sull'arco alpino è dovuto alla posizione al centro dell'Europa. Da un lato i continenti si riscaldano di più rispetto agli oceani, dall'altro

con i cambiamenti climatici mutano anche le condizioni meteorologiche e i regimi climatici, così che le Alpi – e soprattutto il loro versante meridionale – risentono molto di più dell'influsso di un clima mediterraneo caratterizzato da inverni miti e umidi ed estati calde e prive di precipitazioni. Gli effetti diretti del riscaldamento si possono già percepire a livello globale: il livello del mare aumenta, ghiacciai e calotte polari si sciolgono, i cicli vegetativi sono anticipati, i periodi di siccità si moltiplicano. Agli effetti in Alto Adige sono dedicati i testi → “Ghiacciai e neve”, p. 38, → “Acqua”, p. 43, e → “Flora e fauna”, p. 50. La ragione principale di questi cambiamenti cli-

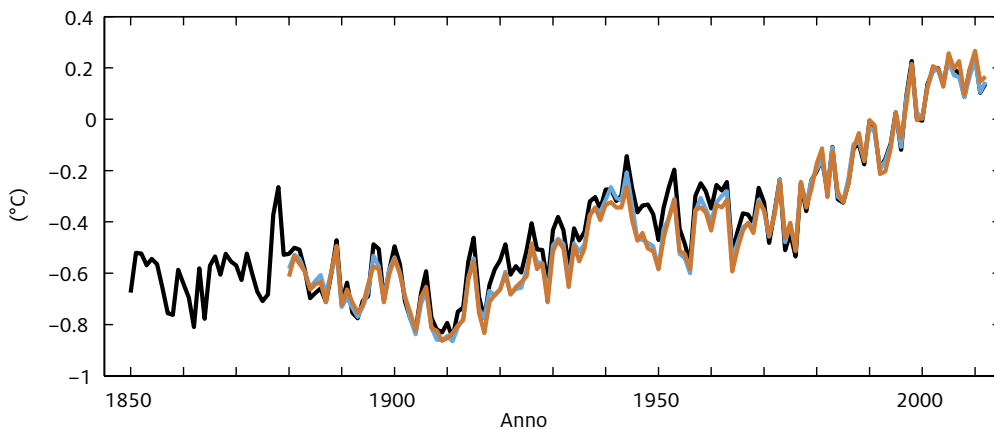


FIG. 1: Media globale annuale delle anomalie della temperatura sulla terraferma e sulla superficie degli oceani. Il calcolo si riferisce ai valori medi del periodo 1986-2005. I colori si riferiscono a serie di dati diverse. (Dati: IPCC, 2014)

ACCORDO DI PARIGI

Nel dicembre del 2015 i rappresentanti di quasi tutti i paesi del mondo si sono riuniti a Parigi per siglare un accordo volto a limitare il riscaldamento globale. Punto centrale dell'accordo è la dichiarazione d'intenti comune che ha lo scopo di contenere il riscaldamento globale almeno entro i 2°C, sforzandosi di fermarsi a +1,5°C rispetto al livello di temperatura pre-industriale. I paesi e le

regioni firmatarie si impegnano anche a ridurre le loro emissioni. In verità, poiché il riscaldamento globale negli ultimi decenni ha già registrato un innalzamento di quasi 1°C, persino l'obiettivo meno ambizioso dei 2°C si potrebbe ottenere solo deviando immediatamente la rotta verso lo scenario RCP2.6 (curva verde nella Figura 3). Infatti, se anche tutti gli stati riducessero le proprie emissio-

1972

Stoccolma: nasce UNEP, il Programma delle Nazioni Unite per l'ambiente

1988

Nasce l'IPCC, il Gruppo intergovernativo sul cambiamento climatico

1990

Primo rapporto IPCC

1992

Summit della Terra di Rio de Janeiro: prima conferenza mondiale dei capi di stato sull'ambiente

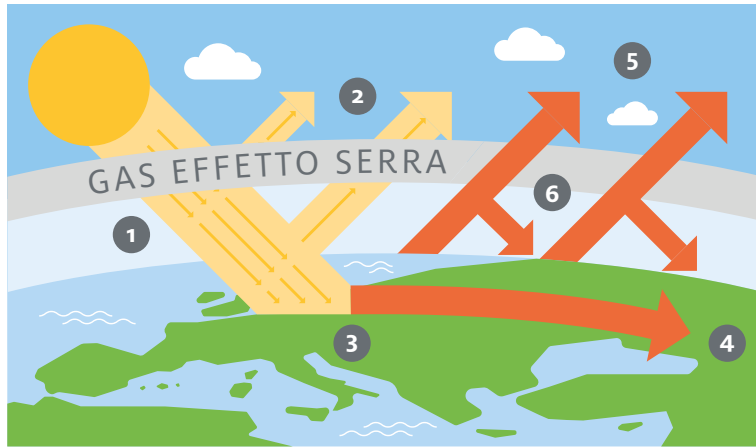


FIG. 2: L'effetto serra

matici risiede nelle emissioni di gas serra provocate dall'uomo, responsabile anche dell'aumento della loro concentrazione nell'atmosfera. I gas serra riflettono in parte la radiazione termica emessa dalla Terra e contribuiscono con questo "effetto serra" al riscaldamento dell'atmosfera, della superficie terrestre e dei mari. Espresso in percentuale, l'innalzamento della temperatura si deve per quasi l'80% all'anidride carbonica (CO₂) generata dai processi industriali e dalla combustione di sostanze fossili come olio combustibile, carbone, gas. Anche le emissioni di metano (CH₄) e di protossido di azoto (N₂O), provocate soprattutto dalle attività agricole, contribuiscono a creare l'effetto

serra. A causa di queste emissioni, **oggi i gas serra sono presenti nell'atmosfera come in nessun altro momento negli ultimi 800.000 anni**. Dall'inizio dell'industrializzazione la loro concentrazione è cresciuta di circa il 40%. Alle emissioni di gas serra a livello globale e in Alto Adige è dedicato il → capitolo 2, p. 29.

Pur non potendo prevedere con precisione il futuro del clima, modelli climatici consentono di realizzare delle proiezioni sui possibili sviluppi. L'entità e la velocità dei cambiamenti climatici dipende soprattutto dall'andamento delle emissioni di gas serra. Il Gruppo intergovernativo sul cambiamento climatico (Intergovernmental Panel

ni del valore concordato, dovremmo comunque prevedere un riscaldamento ben superiore ai 3°C. Ciononostante il summit è da considerarsi un successo, perché per la prima volta anche i più grandi produttori di gas serra, cioè USA e Cina, hanno firmato un accordo per la protezione del clima. A giugno 2017 il presidente USA Donald Trump ha annunciato di ritiro dell'America dall'Accordo di

Parigi, suscitando così proteste e dissensi a livello internazionale. Diversi stati, città e addirittura aziende statunitensi hanno dichiarato di continuare a riconoscersi nel contenuto dell'accordo. Di conseguenza esiste una speranza che l'Accordo di Parigi rappresenti, anche dopo l'uscita del governo USA, un segnale efficace a favore della tutela del clima.

1997

Protocollo di Kyoto: i paesi industrializzati si impegnano a ridurre le emissioni di gas serra

2008

Piano 2020: l'Unione europea vuole ridurre del 20% le emissioni di CO₂ entro il 2020, rispetto ai valori del 1990

2015

Accordo di Parigi, Aggiornamento del Piano 2020: - 40% delle emissioni entro il 2030.

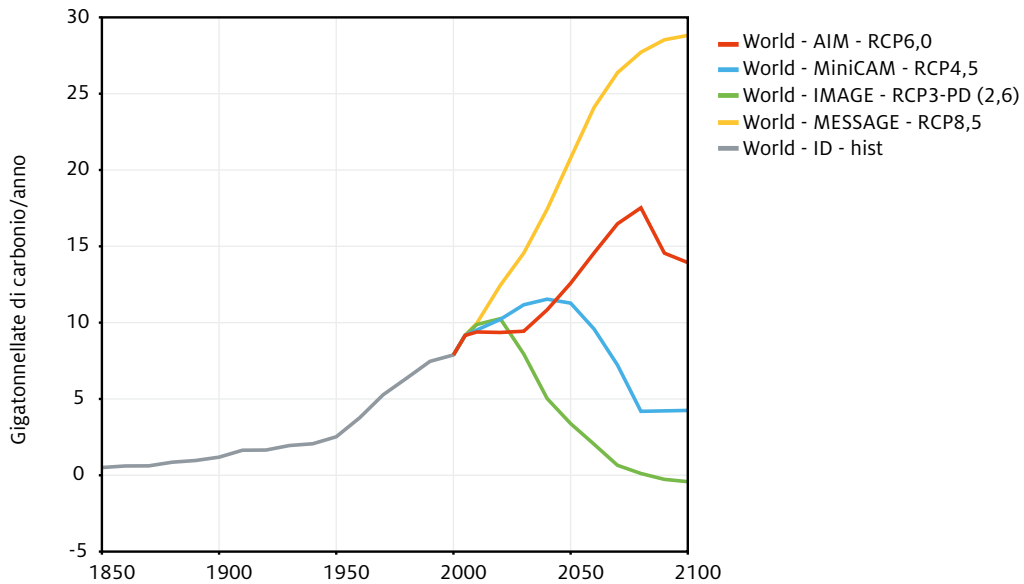


FIG. 3: Scenari sull'andamento futuro delle emissioni globali di gas serra (Dati: RCP Database (Version 2.0.5) 30/10/2017)

on Climate Change) ha elaborato a questo riguardo quattro possibili scenari chiamati "Representative Concentration Pathways - RCP" (Figura 3). Questi scenari spaziano da ipotesi *business-as-usual*, che presumono cioè un incremento invariato delle emissioni (RCP8.5), a proiezioni più ottimistiche. Uno scenario ipotizza una riduzione delle emissioni a partire dal 2080 (RCP6.0), un altro una riduzione a partire dal 2040 (RCP4.5) e quello più ottimista vede le emissioni ridursi massicciamente già dal 2020, per interrompersi totalmente nella seconda metà del secolo (RCP2.6).

Sulla base di questi scenari raffiguranti il possibile andamento delle emissioni di gas serra in futuro, gli scienziati realizzano i modelli climatici. Lo scenario RCP8.5 prevede entro la fine del secolo un riscaldamento massimo di 4,1 °C al di sopra del

livello pre-industriale. Lo scenario più ottimista comporterebbe l'aumento di 1° C.

In genere, gli scenari climatici dai quali dedurre i possibili impatti sono gravati da ampi margini di insicurezza. **Una cosa certa** però è l'**aumento delle temperature**. Questa tendenza è supportata sia nel mondo che in Alto Adige da una cospicua serie di osservazioni. Anche i modelli climatici sono unanimi su questo punto. Meno sicure sono invece le affermazioni riguardanti le variazioni delle precipitazioni e le precipitazioni estreme. Specie rispetto a fenomeni locali come i temporali, i trend si possono documentare solo in parte sotto il profilo scientifico e difficilmente si possono ridurre a modelli di previsione, perché le reti di misurazione non sono sufficientemente fitte oppure le serie temporali di misurazione sono troppo brevi.

METODI

Per questo report abbiamo analizzato le misurazioni dell'Ufficio idrografico della Provincia autonoma di Bolzano, i dati del progetto 3PClim (4) e i più recenti scenari climatici per l'Europa forniti dalla banca dati Euro-Cordex (5). Per il passato e il futuro abbiamo calcolato oltre 30 parametri climatici diversi. A tal proposito abbiamo studiato a titolo esemplificativo sei stazioni: Bolzano, Bresanone, Vipiteno, Vernago, Sesto, Monte Maria.

Per queste stazioni, dislocate a quote diverse e distribuite nelle varie aree dell'Alto Adige, sono disponibili serie temporali sufficientemente lunghe. Abbiamo scelto due possibili scenari climatici per l'Alto Adige: lo scenario RCP4.5 come opzione ottimistica e lo scenario RCP8.5 come opzione pessimistica. Oltre a quelli presenti in questo capitolo, abbiamo distribuito negli altri capitoli ulteriori indici climatici rilevanti per le rispettive tematiche.



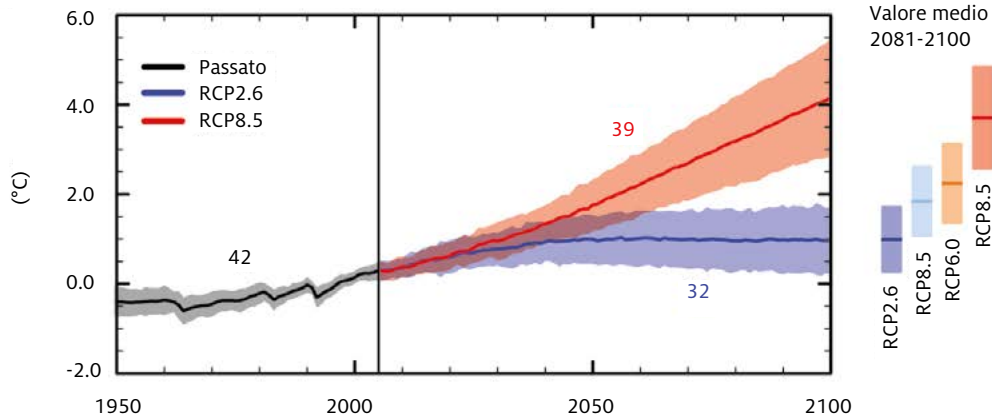


FIG. 4: Andamento della temperatura media globale in funzione degli scenari relativi ai gas serra

Ciononostante, nell'ottica della prevenzione, dovremmo comunque considerare anche queste tendenze, perché appare quanto meno probabile che i cambiamenti climatici determineranno l'acuirsi di fenomeni quali le precipitazioni intense.

IN ALTO ADIGE

Negli ultimi 50 anni (1966-2015) l'Alto Adige ha registrato un aumento delle temperature al di sopra della media. Dagli anni sessanta nelle sei stazioni selezionate le estati sono state mediamente più calde di 2,2°C, gli inverni di circa 0,8°C (Tabella 1). Il maggior aumento della temperatura si è registrato nelle stazioni di **Bolzano e Bressanone**. Qui dagli anni sessanta **la temperatura media è aumentata di circa 3°C in estate e di circa 1,5°C – 2°C in inverno** (Figura 6). La zona circostante alla stazione di rilevamento di Bolzano è leggermente cambiata per la costruzione della nuova ala dell'ospedale e la stazione di Bressanone è stata spostata, dunque il riscaldamento potrebbe essere riconducibile, almeno in minima parte, anche a questi fatti. Non in tutte le stazioni selezionate il riscaldamento è stato così notevole. Soprattutto le stazioni ad altitudine più elevata e ubicate più a nord (Vernago) hanno evidenziato in passato solo una lieve tendenza all'aumento in estate e un trend negativo in inverno. Per il futuro, tuttavia, stimiamo che anche queste stazioni registreranno un innalzamento della temperatura paragonabile a quello di

Bolzano. Temperature record sono state registrate in particolare nelle calde estati del 2003 e del 2015.

RECORD CLIMATICI IN ALTO ADIGE DALL'INIZIO DELLA RILEVAZIONE METEOROLOGICA

Fonte: Dieter Peterlin, Servizio meteorologico della Provincia autonoma di Bolzano

Anno più caldo: 2015

Inverno più mite: 2006/2007

Giugno più caldo: 2003

Luglio più caldo: 2015

Agosto più caldo: 2003

Numero massimo di notti tropicali: 29 (2015)

Notte più calda: 25,7°C (Bolzano, 16 luglio 2015)

Temperatura massima: 40,1°C (Termeno, 11 agosto 2003)

Temperatura più bassa a valle: -29°C, Dobbiaco (10 febbraio 1969)

Periodo di siccità più lungo: 103 giorni ininterrotti durante l'inverno 1992/1993

Intensità massima delle precipitazioni negli ultimi anni: 124 mm in 6 ore a San Martino in Passiria (5 agosto 2015)

Giornata a maggiore densità di fulmini: 24 giugno 2017 con 11 500 fulmini



FIG. 5: Stazioni prese in considerazione per l'analisi

Da qui al 2050, in Alto Adige stimiamo un ulteriore riscaldamento in estate compreso tra circa 1,4°C e 1,6°C e fino al 2100 addirittura tra 2,1°C (RCP4,5) e 5,4°C (RCP8,5). Gli inverni potrebbero registrare un aumento della temperatura da qui al 2050 compreso tra 1,1°C e 1,3°C e fino al 2100 tra 1,8°C e 4,7°C (Tabella 1). Una mappa mostra i possibili scenari futuri fino al 2050: il riscaldamento sulle Alpi – e dunque in Alto Adige – sarà più marcato che in altre regioni (Figura 7). Al crescere delle temperature si innalza anche il numero dei giorni segnati da temperature

estreme. Per esempio a Bolzano il numero delle giornate estive, cioè i giorni in cui le temperature massime sono al di sopra dei 20°C, è già passato da circa 100 negli anni sessanta alle attuali 115. Da qui alla fine del secolo questa cifra potrebbe arrivare a 175 giorni. Anche Vernago, che oggi registra mediamente meno di dieci giornate estive l'anno, potrebbe entro la fine del secolo avere oltre 60 giorni estivi. Aumentano allo stesso modo anche le notti tropicali, cioè le notti in cui la temperatura non scende al di sotto di 20°C (Figura 8). Finora l'anno record è stato il 2015, con 29 notti tropicali.

Temperature [°C]

	1966-2015		2011-2050 RCP4.5		2011-2050 RCP8.5		2011-2100 RCP4.5		2011-2100 RCP8.5	
	Estate	Inverno	Estate	Inverno	Estate	Inverno	Estate	Inverno	Estate	Inverno
Bolzano	+3,15	+1,55	+1,32	+1,12	+1,48	+1,40	+1,82	+1,97	+5,18	+4,80
Bressanone	+3,10	+2,60	+1,56	+1,04	+1,80	+1,28	+2,31	+1,94	+5,65	+4,73
Monte Maria	+2,00	+0,10	+1,48	+1,04	+1,64	+1,08	+2,18	+1,59	+5,74	+4,23
Sesto	+1,90	+0,65	+1,28	+1,16	+1,44	+1,28	+1,83	+2,11	+4,84	+5,18
Vipiteno	+2,05	+0,75	+1,80	+0,96	+2,04	+1,28	+2,65	+1,71	+6,29	+4,78
Vernago	+0,95	-1,10	+1,20	+1,12	+1,32	+1,28	+1,65	+1,72	+4,82	+4,63
Media	+2,19	+0,76	+1,44	+1,07	+1,62	+1,27	+2,07	+1,84	+5,42	+4,73

TAB. 1: Tendenze della temperatura nelle stazioni dell'Alto Adige nel passato e per i periodi futuri selezionati

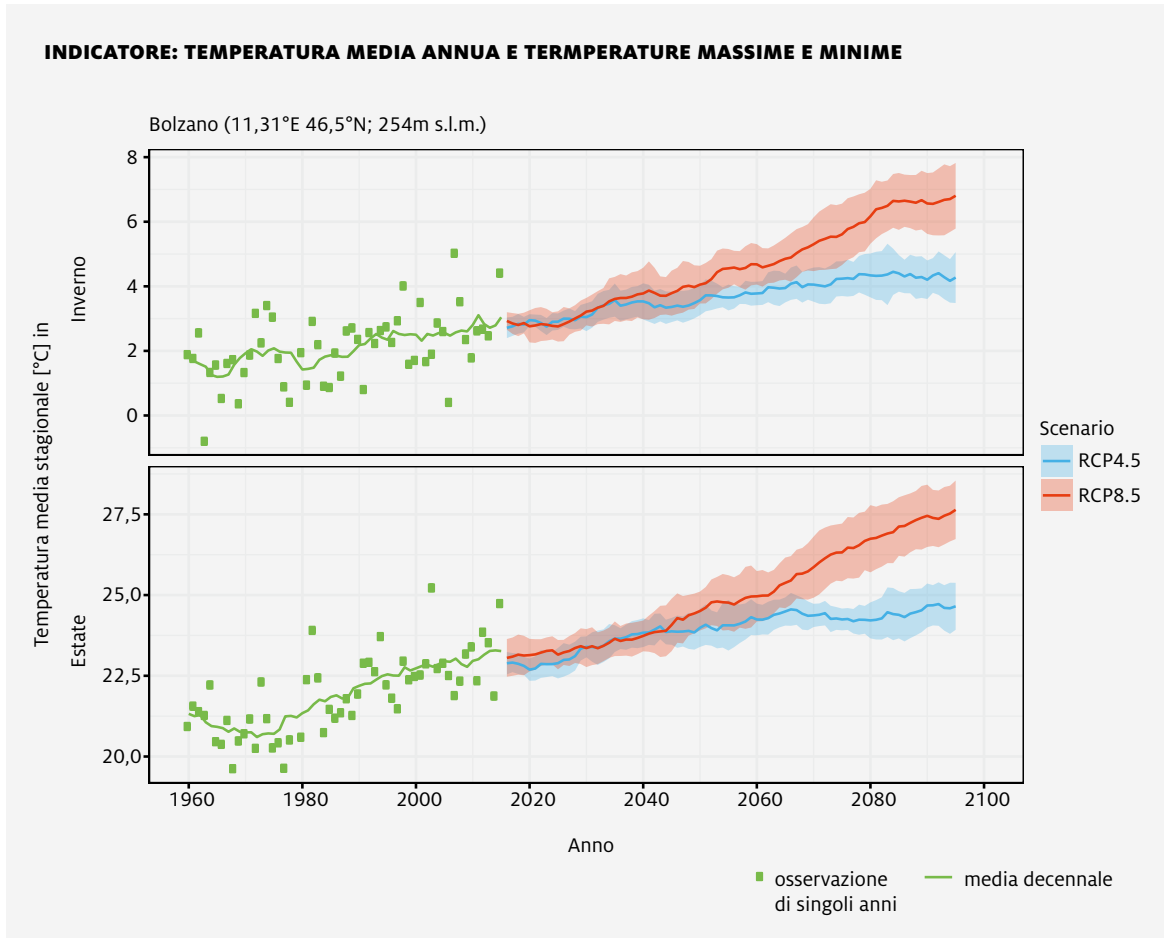


FIG. 6: Temperatura in corrispondenza della stazione di Bolzano (punti verdi: osservazione di singoli anni, linea: media decennale) e possibile andamento della temperatura per uno scenario *business-as-usual* (RCP8.5, area rossa) e per uno scenario ottimistico con rapida riduzione delle emissioni di gas serra (RCP4.5, area blu). (Dati: Euro-Cordex e Bancadati WISKI, Provincia autonoma di Bolzano. Elaborazione e rappresentazione: Eurac Research)

Un indicatore simile è dato dal numero di giorni in cui la temperatura minima non scende al di sotto di 20°C. 24 di queste giornate si sono avute nell'anno record 2015. Tuttavia secondo i calcoli ciò che oggi significa record già nel 2050 potrebbe essere considerato normale. Da qui al 2100 a Bolzano ci potrebbero essere mediamente più di 60 giorni in cui anche di notte la temperatura potrebbe non scendere al di sotto di 20°C, le cosiddette "notti tropicali" (Figura 8).

Diversa è la situazione delle precipitazioni. Per la maggior parte delle stazioni non possiamo identificare alcun trend particolare, bensì una prevalenza di oscillazioni di anno in anno. In futuro la

situazione rimarrà pressoché invariata, tuttavia possiamo osservare una leggera tendenza all'aumento delle precipitazioni invernali (Figura 9).

Abbiamo analizzato i giorni con precipitazioni >10mm, >20 mm e >50 mm e i dati ci inducono a pensare che negli ultimi decenni la pioggia in alcune stazioni, per esempio a Bolzano, sia caduta per lo più sotto forma di precipitazione intensa. Soprattutto in estate i fenomeni di precipitazioni intense sono accompagnati da eventi temporaleschi. I climatologi presumono che con l'innalzamento delle temperature aumenterà anche il numero e l'intensità dei temporali. Anche se

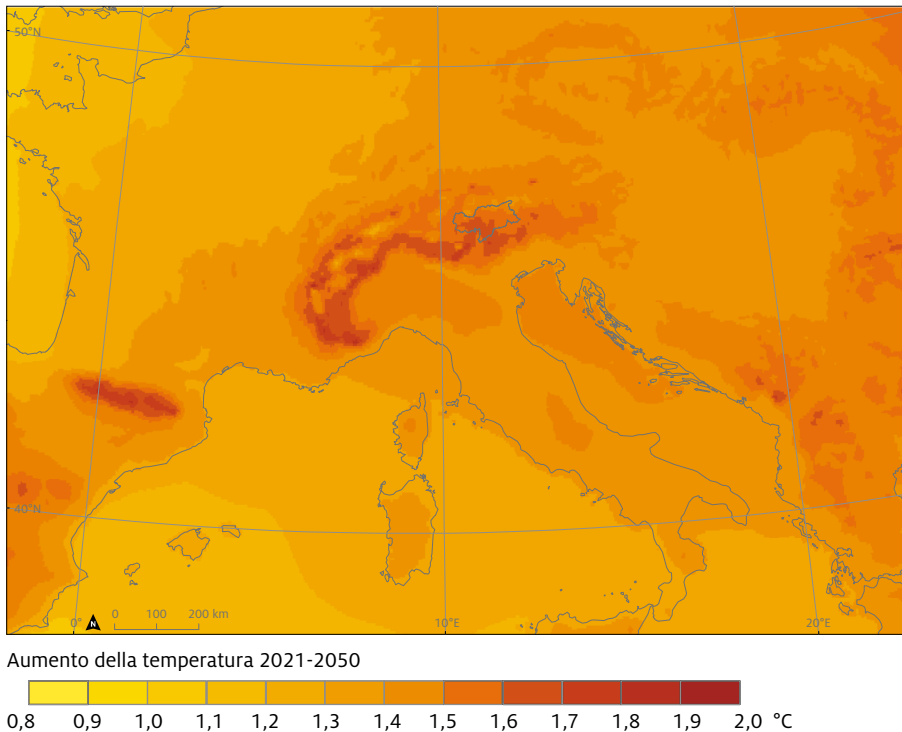


FIG. 7: Variazione delle temperature nel periodo 2021-2050, calcolata sulla *ensemble mean*, la media d'insieme, delle simulazioni Euro-Cordex RCP4.5. (Dati: Euro-Cordex. Elaborazione: Eurac Research).

finora per l'Alto Adige non è ancora possibile documentare questa tendenza con dati sufficienti, in futuro la quantità di fulmini in questa regione potrebbe essere un buon indicatore per valutare l'attività temporalesca. Dal 2007 i dati sui fulmini vengono rilevati automaticamente dalla rete di misurazione Nowcast.de per l'intero Alto Adige e messi a disposizione tramite l'Ufficio idrografico della Provincia autonoma di Bolzano (Figura 10). Il 2017, con oltre 100.000 fulmini fino a fine agosto, è stato l'anno più ricco in tal senso dall'inizio dei rilevamenti. In ugual modo l'estate è stata segnata da numerose forti precipitazioni e relativi effetti come frane, smottamenti, esondazioni. Inoltre dobbiamo presumere che in futuro l'Alto Adige dovrà fare i conti con una maggiore siccità nei mesi estivi. Ciò dipende soprattutto dal fatto che il crescere delle temperature si accompagna a una maggiore quantità di acqua persa a causa

dell'evaporazione, sia attraverso le piante che attraverso il terreno (evapotraspirazione). Attraverso lo speciale indice di siccità SPEI (Standardised Precipitation-Evapotranspiration Index) possiamo conteggiare quanti mesi presentino valori al di là delle medie, tanto da potersi considerare "estremamente" siccitosi o umidi. Per la maggior parte delle stazioni in Alto Adige si delinea per il futuro un forte incremento dei mesi estremamente secchi, soprattutto dopo il 2040. Anche il numero dei mesi estremamente umidi aumenta in leggera misura (Figura 11).

Complessivamente prosegue quindi la tendenza per cui **le estati diventano sempre più torride e secche, con valori estremi di caldo e siccità. Gli inverni, invece, diventeranno più miti e umidi. Le precipitazioni saranno maggiormente connotate da pioggia intensa.**

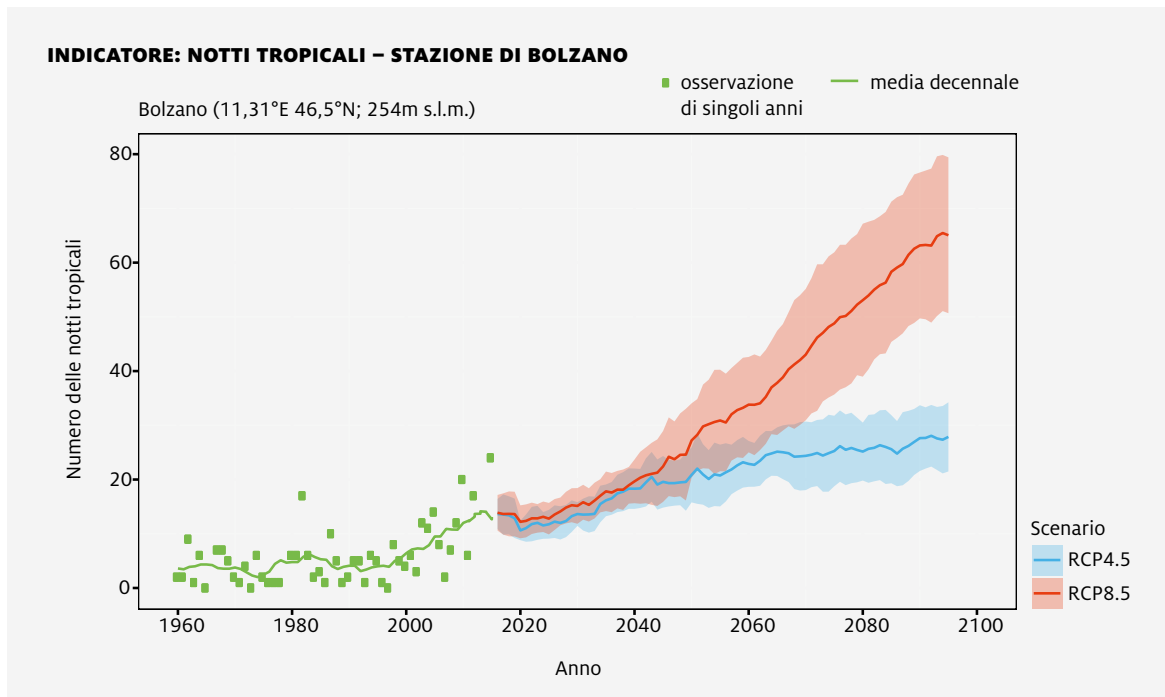


FIG. 8: Numero di giorni con temperature minime superiori a 20°C a Bolzano (corrisponde al numero di notti tropicali)
(Dati: Euro-Cordex e Bancadati WISKI, Provincia autonoma di Bolzano. Elaborazione e rappresentazione: Eurac Research)

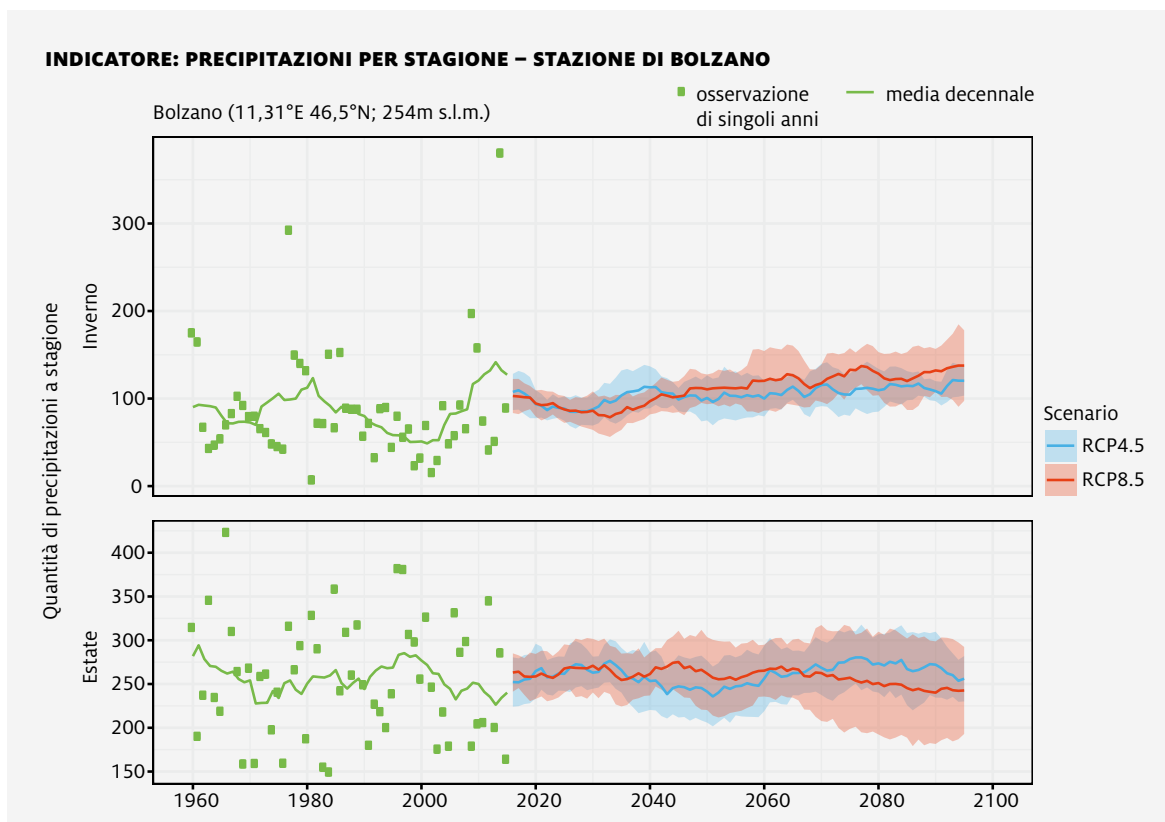


FIG. 9: Variazione delle precipitazioni per stagione nella stazione di Bolzano. Prevalgono le oscillazioni di anno in anno.
(Dati: Euro-Cordex e Bancadati WISKI, Provincia autonoma di Bolzano. Elaborazione e rappresentazione: Eurac Research)

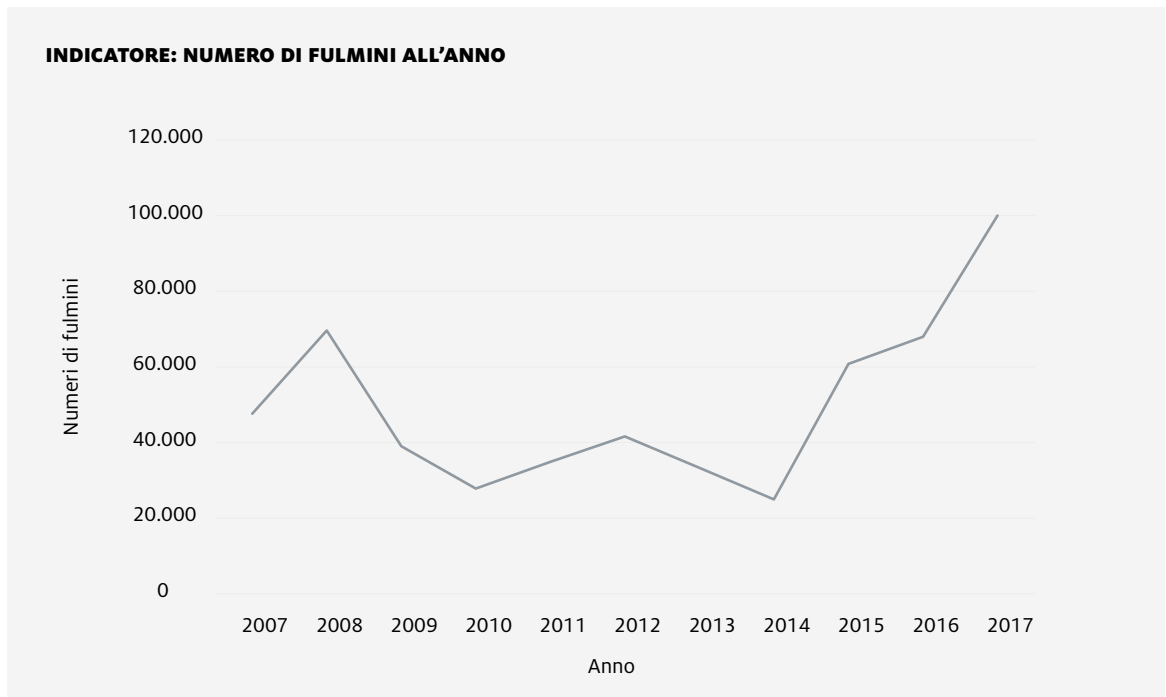


FIG. 10: Numero di fulmini all'anno. Dati della rete nowcast.de ed elaborati dall'Ufficio idrografico della Provincia autonoma di Bolzano. Spicca l'anno 2017, con oltre 100.000 fulmini. Una piccola variazione del dato potrebbe essere riconducibile all'utilizzo di metodi più sofisticati. Il numero di fulmini è un buon indicatore per il numero di temporali, spesso accompagnati da piogge intense e da conseguenti pericoli naturali come frane, smottamenti, esondazioni. (Dati: Ufficio idrografico, Provincia autonoma di Bolzano. Rappresentazione: Eurac Research)

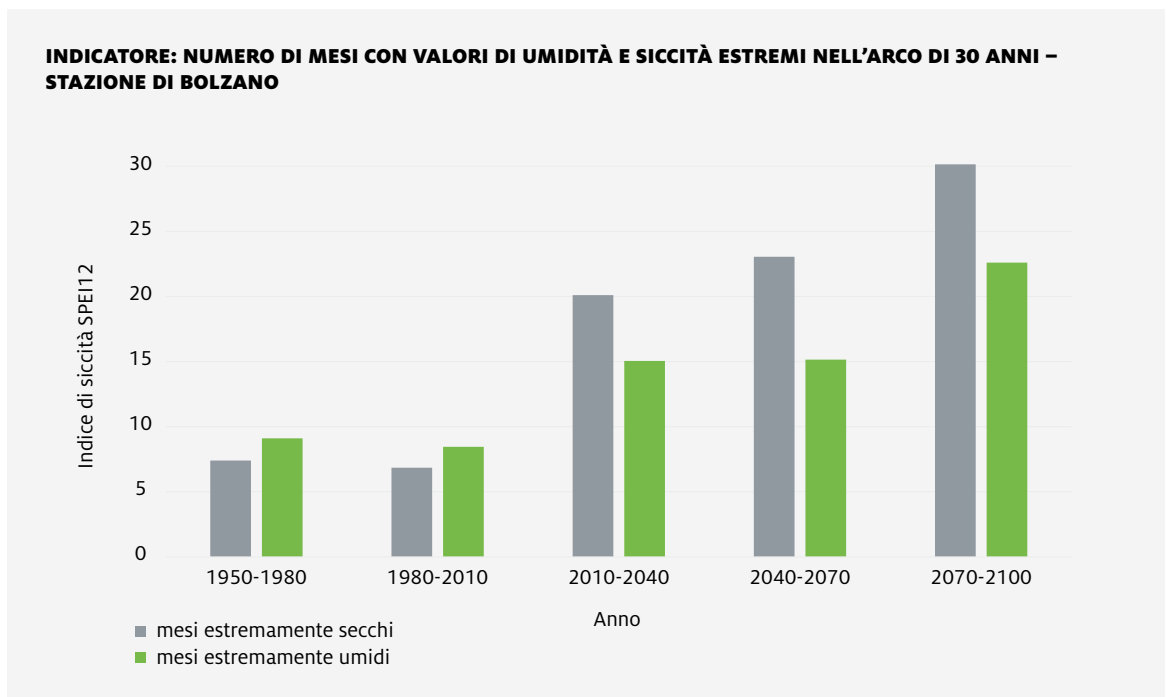


FIG. 11: L'indice di siccità SPEI12 evidenzia per Bolzano un futuro caratterizzato da un forte incremento di mesi con valori di umidità e siccità oltre la media, con una prevalenza del trend secco, scenario RCP8.5. (Dati: Euro-Cordex e Bancadati WISKI, Provincia autonoma di Bolzano. Elaborazione e rappresentazione: Eurac Research)

DUE DOMANDE A DIETER PETERLIN, METEOROLOGO DEL SERVIZIO METEOROLOGICO DELLA PROVINCIA AUTONOMA DI BOLZANO

Nella sua attività quotidiana osserva un'influenza dei cambiamenti climatici sul meteo?

Per quel che concerne la temperatura, l'influenza è evidente. I soli rilevamenti degli anni scorsi mostrano come le temperature siano complessivamente salite, in tutte le stagioni. Riguardo agli altri fattori il dato non è così chiaro: la quantità e l'intensità delle precipitazioni varia di anno in anno. Anche per gli eventi estremi non possiamo osservare una tendenza univoca. Ritengo che il cambiamento climatico non stabilisca record, ma sia piuttosto una somma di record a determinare il cambiamento del clima. Due notti tropicali già nel mese di giugno non sono di per sé una prova del cambiamento climatico. Una cosa è il meteo, un'altra è il clima.

Estate così secca da non avere evapotraspirazione e dunque non consentire nemmeno la formazione di un temporale. Sarebbe possibile in Alto Adige?

In questo caso la siccità dovrebbe essere davvero estrema – e siamo ancora ben lontani dal trovarci in un deserto. E l'acqua non dovrebbe mancare solo in Alto Adige, ma anche nel Mediterraneo, perché da lì il vento potrebbe comunque sospingere verso di noi temporali e piovoschi.



Referenze

1. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2014): Fifth Assessment Report. Climate Change 2014 Synthesis report – Summary for Policymakers, http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5_SYR_FINAL_SPM.pdf
2. EEA (European Environment Agency) (2017): Climate Change, impacts and vulnerability in Europe 2016, Copenhagen, <https://www.eea.europa.eu/publications/climate-change-impacts-and-vulnerability-2016>
3. Auer, I., Böhm, R., Jurkovic, A., Lipa, W., Orlik, A., Potzmann, R., Schöner, W., Ungersböck, M., Matulla, C., Briffa, K., Jones, P., Efthymiadis, D., Brunetti, M., Nanni, T., Maugeri, M., Mercalli, L., Mestre, O., Moisselin, J., Begert, M., Müller-Westermeier, G., Kveton, V., Bochnicek, O., Stastny, P., Lapin, M., Szalai, S., Szentimrey, T., Cegnar, T., Dolinar, M., Gajic-Capka, M., Zaninovic, Z., Majstorovic, Z. and Nieplová, E. (2007): HISTALP – historical instrumental climatological surface time series of the greater Alpine region. *International Journal of Climatology* 27, pp 17–46, <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/joc.1377/abstract>
4. Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG), Abteilung Brand- und Zivilschutz - Autonome Provinz Bozen, Agenzia Regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale del Veneto (ARPAV) (a cura di) (2015): Das Klima von Tirol – Südtirol – Belluno, <http://www.alpenklima.eu/>
5. <http://www.euro-cordex.net/> (Ultimo accesso: 31.01.2018)