Interreg Italia-Slovenija
Karst Firewall 5.0

Cofinanziato dall'Unione europea
Sofinancira Evropska unija

VALUTAZIONE DEL CAMBIAMENTO CLIMATICO SUL CARSO, TRA ITALIA E SLOVENIA

KARST FIREWALL 5.0

Adattamento innovativo al cambiamento climatico basato sugli ecosistemi nella regione del Carso. Promuovere una silvicoltura resistente agli incendi con il supporto di Industria 5.0

Inovativno ekosistemsko-zasnovano prilagajanje podnebnim spremembam na Krasu. Spodbujanje požarno odporne gmajne s podporo industrije 5.0

Il progetto Karst Firewall 5.0 è co-finanziato dall'Unione europea nell'ambito del Programma Interreg VI-A Italia-Slovenia.
Projekt Karst Firewall 5.0 sofinancira Evropska unija v okviru Programa Interreg VI-A Italija-Slovenija.
www.ita-slo.eu/karst-firewall-50

Interreg Italia-Slovenija
Karst Firewall 5.0
Cofinanziato dall'Unione europea
Sofinancira Evropska unija

DELIVERABLE INFORMAZIONI / INFORMACIJE	
Acronimo del progetto / Akronim projekta:	**KARST FIREWALL 5.0**
Titolo del progetto / Naslov projekta:	**Adattamento innovativo al cambiamento climatico basato sugli ecosistemi nella regione del Carso. Promuovere una silvicoltura resistente agli incendi con il supporto di Industria 5.0** **Inovativno ekosistemsko-zasnovano prilagajanje podnebnim spremembam na Krasu. Spodbujanje požarno odporne gmajne s podporo industrije 5.0**
Area prioritaria / Prednostno področje:	**Un'Europa più verde e a basse emissioni di carbonio, che si muove verso un'economia a zero emissioni di carbonio e resiliente** **Bolj zelena, nizkoogljična Evropa, ki prehaja na gospodarstvo z ničelno stopnjo neto emisij ogljika in je odporna**
Obiettivo specifico del programma / Specifični cilj programa:	**SO4: Promuovere l'adattamento ai cambiamenti climatici e la prevenzione del rischio di catastrofi e la resilienza, tenendo conto degli approcci ecosistemici.** **SO4: Spodbujanje prilagajanja podnebnim spremembam in preprečevanja tveganja nesreč ter odpornosti ob upoštevanju ekosistemskih pristopov**
URL del sito web del progetto / URL spletne strani projekta:	www.ita-slo.eu/karst-firewall-50
Numero del documento / Številka dokumenta:	KFW50-D111
Titolo del documento / Naslov dokumenta:	VALUTAZIONE DEL CAMBIAMENTO CLIMATICO SUL CARSO, TRA ITALIA E SLOVENIA
Work Package:	1
Attività / Aktivnost:	1.1
Partner responsabili (autori) / Odgovorni partnerji (avtorji):	IUAV Università di Venezia (Granceri Bradaschia, Massimiliano; Morassutti, Giacomo; Pintarič, Domen; Longato, Davide; Maragno, Denis; Musco, Francesco); ZRC-SAZU (Čonč, Špela; Breg Valjavec, Mateja; Ciglič, Rok)
Citazione / Citiranje	Granceri Bradaschia M., Morassutti G., Longato D., Pintarič D., Maragno D., Musco F., 2025, "VALUTAZIONE DEL CAMBIAMENTO CLIMATICO SUL CARSO, TRA ITALIA E SLOVENIA / OCENA PODNEBNIH SPREMEMB NA KRASU MED ITALIJO IN SLOVENIJO", Karst Firewall 5.0 project, EU Interreg Italia Slovenia, 10.5281/zenodo.18220008.
Partner coinvolti / Sodelujoči partnerji:	ARPA FVG (ITA)
Luogo e data di pubblicazione / Kraj in datum objave:	Trieste, 10/10/2025

INDICE

ABBREVIAZIONI 4
1 INTRODUZIONE 5
2 IL CLIMA DEL CARSO 7
3 PROIEZIONI CLIMATICHE FUTURE 11
3.1 Il report dell'ARPA FVG 11
3.2 Il report dell'ARSO – L'agenzia per l'Ambiente slovena 14
3.3 I dati climatici geospaziali aperti (EURO-CORDEX) 17
3.3.1 Italia 17
3.3.2 Slovenia 19
4 CONCLUSIONI 21
5 RIFERIMENTI 23

ABBREVIAZIONI

Abbreviazione	Definizione
ARPA FVG	Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente Friuli- Venezia Giulia
ARSO	Agenzia per l'Ambiente della Repubblica della Slovenia
GCM	Modello Climatico Globale
RCM	Modello Climatico Regionale
RCP	Representative Concentration Pathway – Percorso rappresentativo di Concentrazione
FVG	Friuli Venezia Giulia
HDD	Heating Degree Days - gradi-giorno di riscaldamento
CDD	Cooling Degree Days - gradi-giorno di raffreddamento
ISIMIP	Intersectoral Impact Model Intercomparison Project
PPCNE	Piattaforma per le proiezioni climatiche nel Nord-Est
CHELSA	Climatologies at High Resolution for the Earth's Land Surface Areas
ECF	Fattore Climatico Estremo

1 INTRODUZIONE

Il cambiamento climatico in atto è destinato a influenzare la gravità e la frequenza degli incendi boschivi (Dupuy et al., 2020), e l'area del Carso non fa eccezione. Soprattutto in questa regione, divisa tra Italia e Slovenia, la cooperazione transfrontaliera svolge un ruolo fondamentale, come ampiamente dimostrato dai catastrofici incendi dell'estate 2022. In quell'anno particolare, le temperature estive sono state costantemente superiori di 1 °C alla media del periodo di riferimento (1991-2020) (ARPA FVG, 2023). Gli incendi boschivi non sono solo direttamente correlati a periodi persistenti di caldo con scarse precipitazioni, che riducono la quantità di suolo e aumentano la disponibilità di biomassa legnosa secca, aumentando così la frequenza e la gravità degli incendi boschivi. I cambiamenti climatici contribuiscono anche al deterioramento dell'ecosistema forestale, spostando la composizione tassonomica della vegetazione verso specie più termofile e favorendo l'introduzione di specie aliene, influenzando così la vulnerabilità agli incendi boschivi. Le foreste del Carso stanno già soffrendo per l'invasione spontanea di arbusti nei pascoli secchi abbandonati, che sono ricchi di biodiversità e più resistenti agli incendi boschivi (Poldini et al., 2018).

Poiché i cambiamenti climatici avranno un impatto su ogni aspetto dei delicati ecosistemi come quello del Carso, comprendere i suoi sviluppi futuri è fondamentale per poter prevedere i cambiamenti nel regime degli incendi boschivi e per adattarsi e mitigare i potenziali cambiamenti negativi. Questo è il motivo per cui il progetto Karst Firewall 5.0 ha scelto di affrontare le attuali strategie di lotta e gestione degli incendi. Il primo pacchetto di lavoro del progetto si intitola “Come renderlo meno infiammabile: un quadro concettuale per ridurre il rischio di incendi transfrontalieri nel Carso” e si concentra sulla valutazione del rischio di incendi boschivi e della vulnerabilità del Carso e sullo sviluppo di piani d'azione congiunti per affrontare le sfide del futuro. A tal fine, è di fondamentale importanza comprendere le tendenze climatiche attuali e future, per cui sono necessari set di dati unificati sia per l'Italia che per la Slovenia. Il presente rapporto esamina le proiezioni climatiche future delle due agenzie transfrontaliere, l'Agenzia slovena per l'ambiente (ARSO) e l'Agenzia regionale per la protezione dell'ambiente del Friuli-Venezia Giulia (ARPA FVG).

L'obiettivo era quello di evidenziare le differenze e, per quanto riguarda le agenzie transfrontaliere, di valutarne la compatibilità e la comparabilità. Il rapporto si concentra sulle variabili climatiche più rilevanti per gli incendi boschivi e sulla loro disponibilità in formati compatibili con le analisi geospaziali di pericolosità e vulnerabilità (risultato del pacchetto di lavoro D1.1.2).

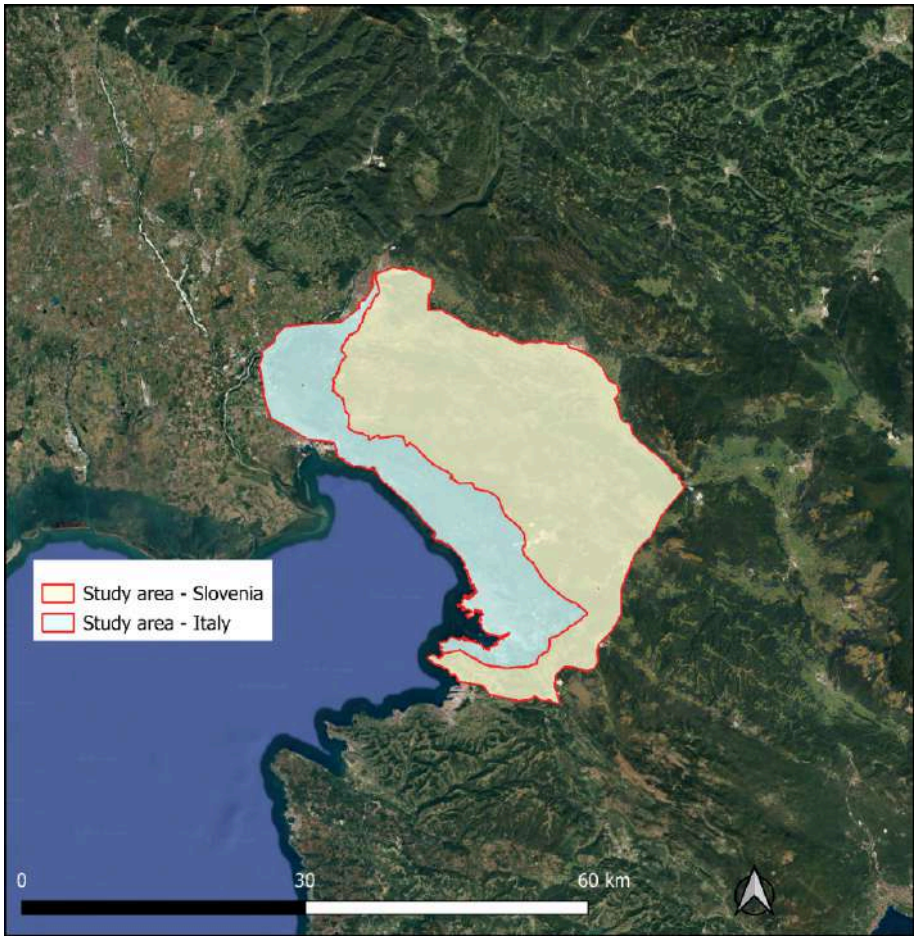


Figura 1 L'area oggetto dello studio comprende la regione del Carso e i suoi dintorni. A sinistra la parte appartenente all'Italia, a destra quella appartenente alla Slovenia.

2 IL CLIMA DEL CARSO

Il Carso è un altopiano calcareo che si innalza rapidamente dalla costa fino a 350 m sul livello del mare, con creste collinari che raggiungono dai 400 ai 700 m s.l.m. Il clima del Carso è influenzato dalla vicinanza sia delle Alpi a nord che del Mare Adriatico, la cui vicinanza mitiga le variazioni di temperatura. Il clima sul Carso è caratterizzato, secondo la classificazione bioclimatica di Köppen, da un clima temperato senza stagione secca, che varia da estati molto calde (Cfa) a estati calde (Cfb), a seconda della vicinanza al mare (ARPA FVG, 2023). La temperatura sulla costa è in media di 3° più calda rispetto all'altopiano a causa della maggiore distanza dal mare e del dislivello. Le precipitazioni annuali aumentano gradualmente dalle zone affacciate sul Golfo alle zone più orientali al confine con la Slovenia, passando da 1000-1200 mm lungo la cresta carsica a quasi 1400 mm nelle zone più interne. I periodi più piovosi vanno da settembre a dicembre e quelli più secchi da gennaio a marzo e da luglio ad agosto. Nelle figure 2 e 3 sono riportati i diagrammi climatici di due insediamenti nell'area di studio, uno, Sgonico/Zgonik, situato nella parte nord-occidentale sul versante italiano del confine, e l'altro, Kozina, situato nella parte sud-orientale, sul versante sloveno. Le temperature medie oscillano intorno ai 2-3 °C in inverno e ai 20-22 °C in estate.

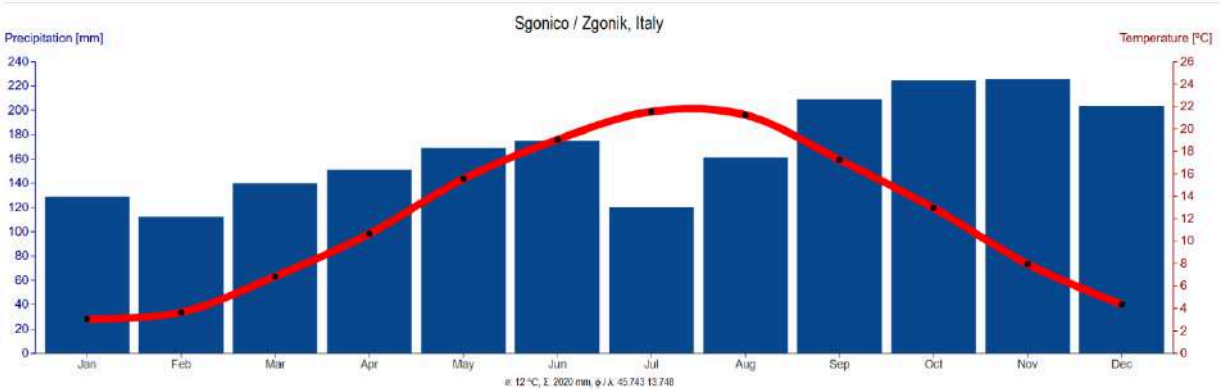


Figura 2 Climogramma di Sgonico/Zgonik, 278 m s.l.m (Karger et al., 2017).

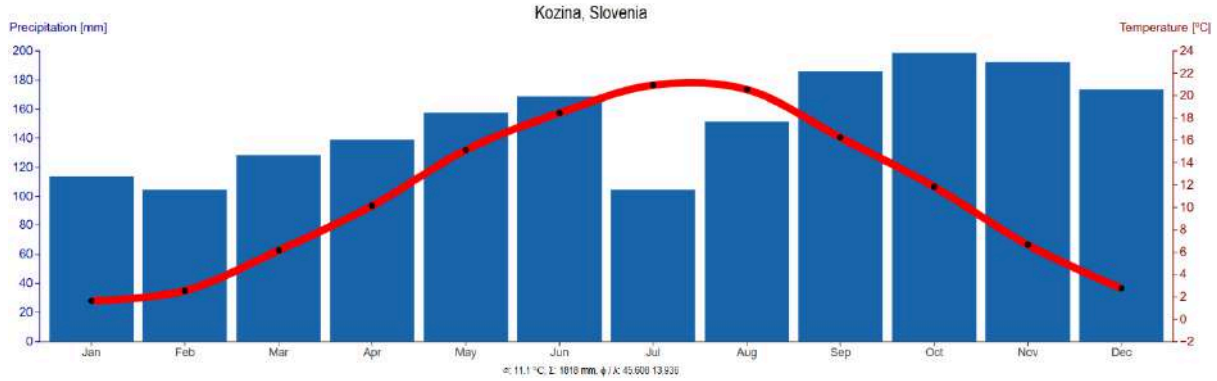


Figura 3 Climogramma di Kozina, 492 m s.l.m. (Karger et al., 2017).

Nel 2018, l'ARPA FVG ha pubblicato un rapporto sui cambiamenti climatici nella regione, analizzando l'andamento dell'aumento della temperatura nella regione Friuli-Venezia Giulia negli ultimi 60 anni. Secondo le osservazioni, negli ultimi 30 anni si è registrato un marcato aumento della temperatura, che è passata complessivamente nella Regione da 12,7 °C a 13,5 °C e negli ultimi 5 anni la media è stata di 14 °C (ARPA FVG, 2018). Questo andamento è particolarmente evidente durante la stagione estiva e il Carso non fa eccezione. Nella stazione meteorologica di Sgonico/Zgonik, a 278 m s.l.m., la temperatura media annuale è aumentata di 1,5 °C nello stesso periodo.

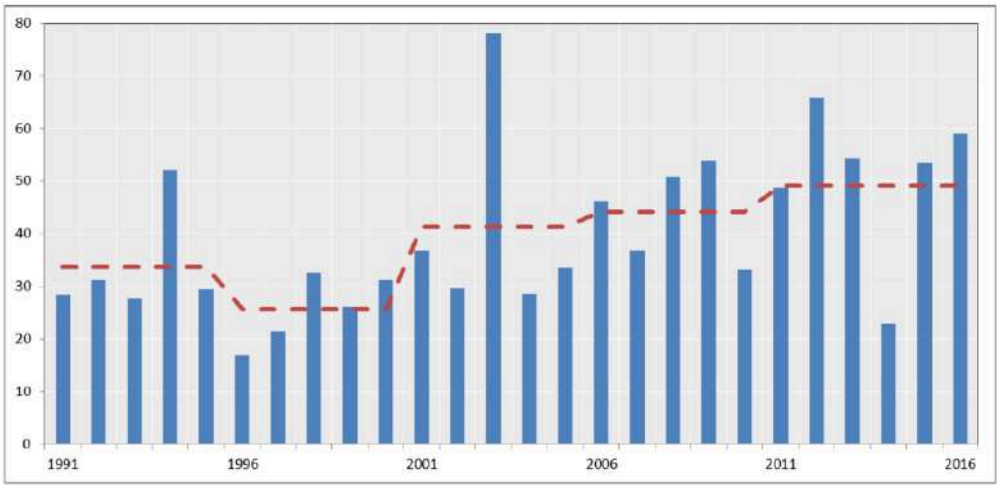


*Figura 4 SEQ Figure * ARABIC 4 Numero di giorni in cui la temperatura supera i 30 °C. Media di 8 stazioni meteorologiche nella pianura friulana. La linea rossa indica i valori medi dei 5 anni precedenti.*

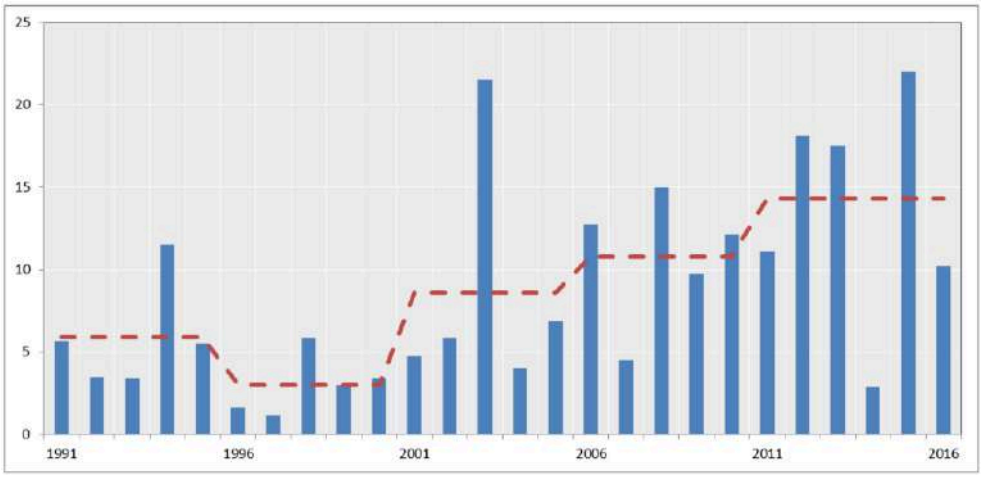
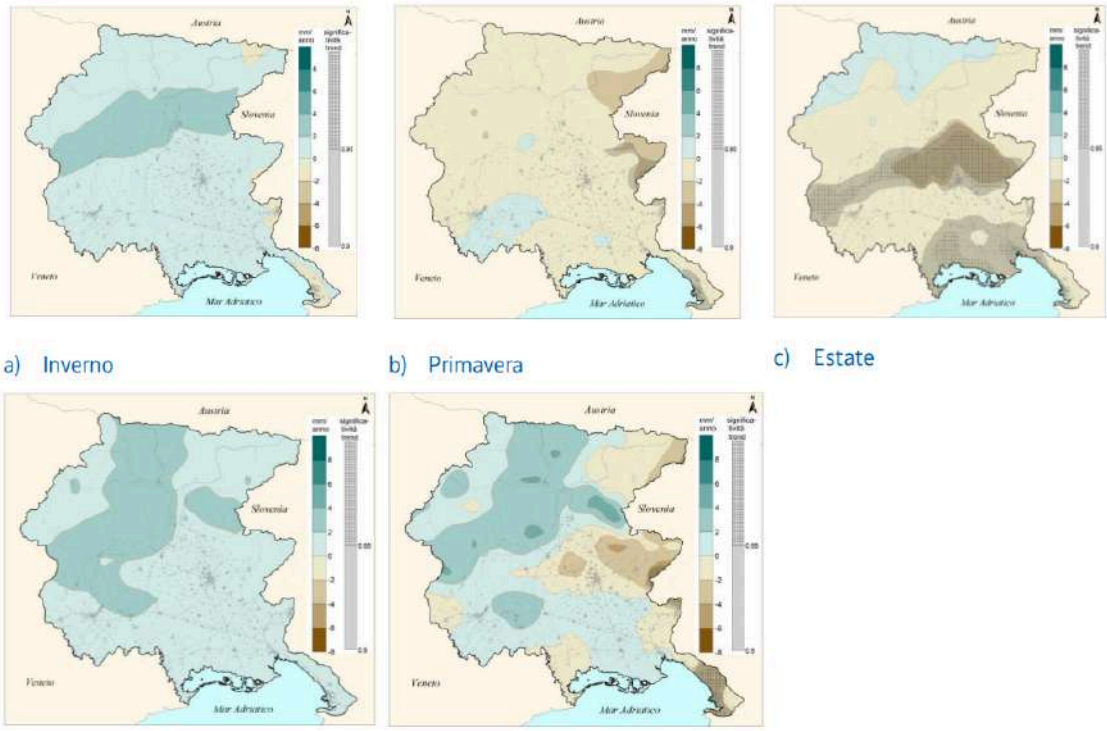


*Figura 5 SEQ Figure * ARABIC 5 Numero di notti tropicali in FVG (media di 8 stazioni meteorologiche nella pianura friulana). La linea rossa indica i valori medi degli ultimi 5 anni.*

Come evidenziato dal rapporto, l'aumento delle temperature è ancora più evidente se confrontato con altri indici termici, come il numero di giorni caldi e di notti tropicali. Infatti, la regione ha subito un marcato aumento dei giorni all'anno con temperature superiori ai 30 °C (da 30 giorni negli anni '90 fino a 50 giorni all'anno) (Fig. 4) e soprattutto un aumento delle notti tropicali (da 5 a 15), ovvero notti in cui la temperatura non scende sotto i 20 °C (Fig. 5).

Allo stesso tempo, le precipitazioni sono aumentate, anche se non in modo significativo, durante le stagioni autunnale e invernale, mentre sono diminuite nella stagione primaverile ed estiva di circa 4 mm/stagione (Fig. 6) (ARPA FVG, 2018). Questi valori sono statisticamente significativi e indicano che, sebbene le tendenze delle precipitazioni su media annuale sembrino meno allarmanti, stanno diventando sempre più volatili e la loro distribuzione durante l'anno più variabile.



a) Inverno b) Primavera c) Estate

d) Autunno e) Anno

*Figura 6 SEQ Figure * ARABIC 6 Andamento delle precipitazioni medie annuali e stagionali espresse in mm/anno dal 1961 al 2015. Fonte: ARPA FVG - OSMER e progetto ARCIS.*

3 PROIEZIONI CLIMATICHE FUTURE

3.1 Il report dell'ARPA FVG

Il rapporto sul cambiamento climatico dell'ARPA FVG presenta le proiezioni climatiche future ottenute calcolando la media di 14 diversi modelli climatici globali (GCM) per ciascuno dei tre scenari di emissione futuri, concentrandosi su quello più estremo e su quello più conservativo al fine di definire l'intervallo di variazione. Nella Fig. 7 è possibile osservare la media di tutti i GCM considerati per ciascuno scenario di emissione per la stagione invernale (in alto) e la stagione estiva (in basso). Nei due scenari di emissione più conservativi, RCP2.6 e RCP4.5, l'aumento costante della temperatura si arresterà gradualmente intorno al 2050-2060 per stabilizzarsi rispettivamente a +1 °C e +2 °C. Al contrario, nello scenario "business as usual", le temperature continueranno ad aumentare fino a +5 °C in inverno e +6 °C in estate. Le previsioni per tutti gli scenari di emissione differiscono leggermente nei primi 20 anni considerati fino al 2040 e diventano sempre più diverse man mano che il periodo di tempo considerato si allontana.

RCP – I PERCORSI RAPPRESENTATIVI DI CONCENTRAZIONE

Nel suo ultimo rapporto, l'IPCC ha utilizzato tre scenari di riferimento, o Representative Concentration Pathways (RCP), da utilizzare come input per le proiezioni climatiche utilizzando modelli climatici globali (GCM). Questi scenari sono: RCP2.6 (obiettivo di 2 °C di riscaldamento rispetto ai valori preindustriali, e quindi circa 1 °C al di sopra dei valori attuali), RCP4.5 (scenario intermedio), RCP8.5 (scenario intermedio), RCP8.5 (scenario più estremo, o cosiddetto scenario "business as usual", con un riscaldamento globale compreso tra 3,5 e 5,5 °C). 5,5 °C). Il numero associato a ciascun RCP rappresenta la forzante radiativa aggiuntiva dovuta all'aumento dei gas serra una volta che questi si sono stabilizzati nell'atmosfera.

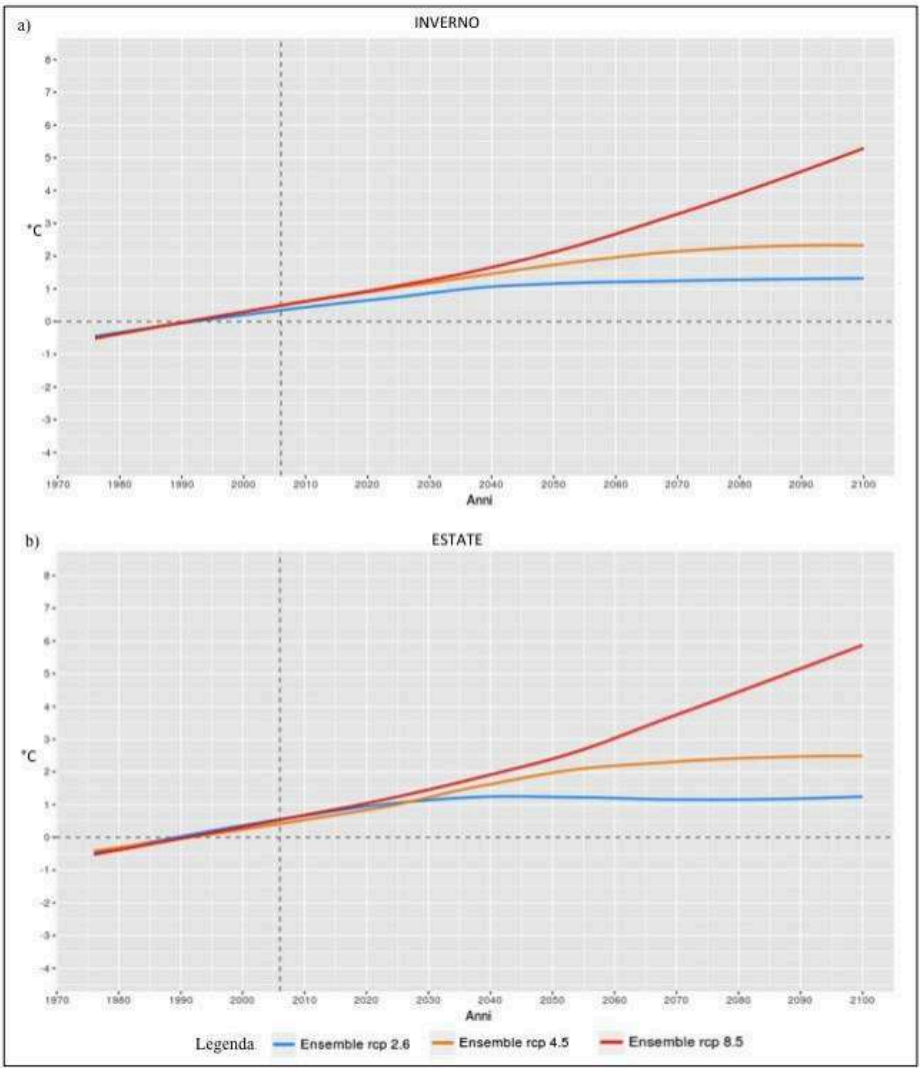


*Figura 7 SEQ Figure * ARABIC 7 Andamento delle anomalie termiche invernali (a) ed estive (b) in Friuli Venezia Giulia fino al 2100 rispetto al periodo di riferimento trentennale 1976-2005 per gli scenari RCP 2.6 (linea blu), 4.5 (linea arancione) e 8.5 (linea rossa). Fonte: ICTP, Earth System Physics*

Per quanto riguarda le proiezioni future relative alle precipitazioni, la simulazione è caratterizzata da una maggiore incertezza rispetto a quella relativa alla temperatura. Ciò è dovuto al fatto che le precipitazioni integrano molti processi difficili da rappresentare nei modelli climatici (ARPA FVG, 2018). Durante la stagione invernale, è possibile osservare nella Fig. 8 che le precipitazioni aumenteranno leggermente. Mentre l'aumento delle

precipitazioni invernali è coerente per tutti gli scenari RCP, durante l'estate gli scenari di emissione hanno impatti diversi. Sembra che nello scenario RCP2.6 le precipitazioni potrebbero subire un moderato aumento nei prossimi anni, per poi diminuire verso il 2100, mentre nello scenario RCP4.5 potrebbero diminuire nei prossimi 40 anni per poi aumentare nuovamente verso il 2100 (Fig. 8). Solo nello scenario RCP8.5 le precipitazioni sembrano diminuire in modo sostanziale durante la stagione estiva, come stiamo già sperimentando (Fig. 8).

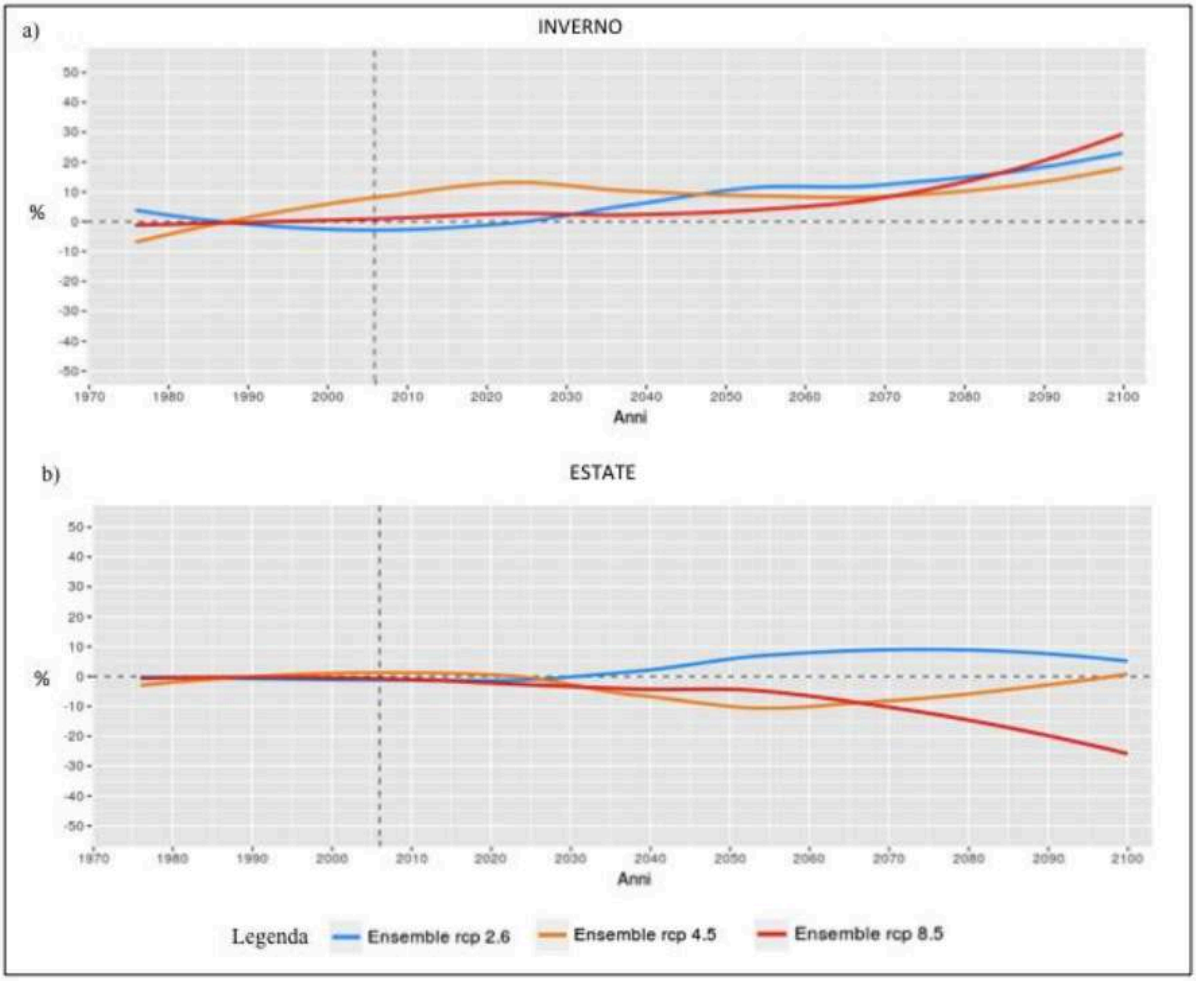


*Figura 8 SEQ Figure * ARABIC 8 Andamento delle anomalie delle precipitazioni invernali (a) ed estive (b) in Friuli Venezia Giulia fino al 2100 rispetto al periodo di riferimento trentennale 1976-2005 per gli scenari RCP 2.6 (linea blu), 4.5 (linea arancione) e 8.5 (linea rossa). Fonte: ICTP, Earth System Physics.*

3.2 Il report dell'ARSO – L'agenzia per l'Ambiente slovena

Nel rapporto ARSO sui cambiamenti climatici, la Slovenia è stata suddivisa in sei regioni meteorologiche per classificare aree climatiche uniformi (Bertalanič et al., 2018). La regione del Carso ricade per la maggior parte nella regione sud-occidentale, motivo per cui in questo rapporto faremo riferimento solo alle proiezioni meteorologiche di questa regione. Nella regione sud-occidentale, si prevede un aumento costante della temperatura in tutte le stagioni negli scenari RCP4.5 e RCP8.5, mentre nello scenario RCP2.6 la temperatura durante l'estate e l'autunno subirà un moderato aumento con un picco intorno al 2060, per poi diminuire verso il 2100 (Fig. 9) (Bertalanič et al., 2018).

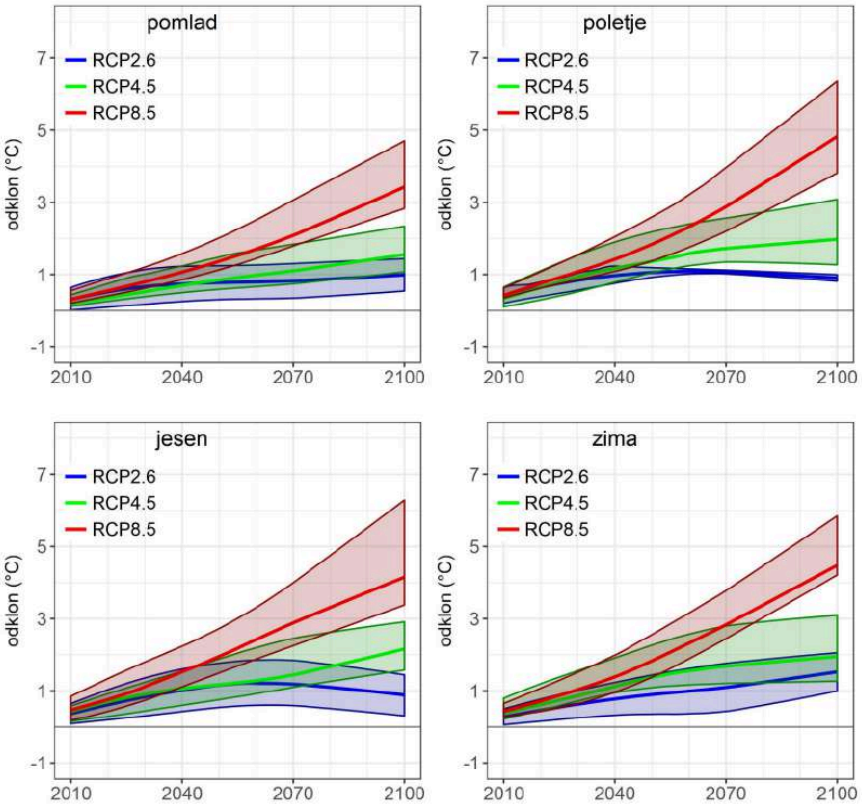


*Figura 9 SEQ Figure * ARABIC 9 Serie temporali della variazione della temperatura media dell'aria per stagione meteorologica fino alla fine del XXI secolo nella regione sud-occidentale per tre scenari, compresi gli intervalli di deviazione (da sinistra a destra: primavera ed estate nella riga superiore, autunno e inverno nella riga inferiore). È indicata la deviazione dalla media del periodo 1981-2010. Le linee mostrano la mediana delle proiezioni modellizzate, mentre i bordi superiore e inferiore rappresentano i valori massimi e minimi (Bertalanič et al., 2018).*

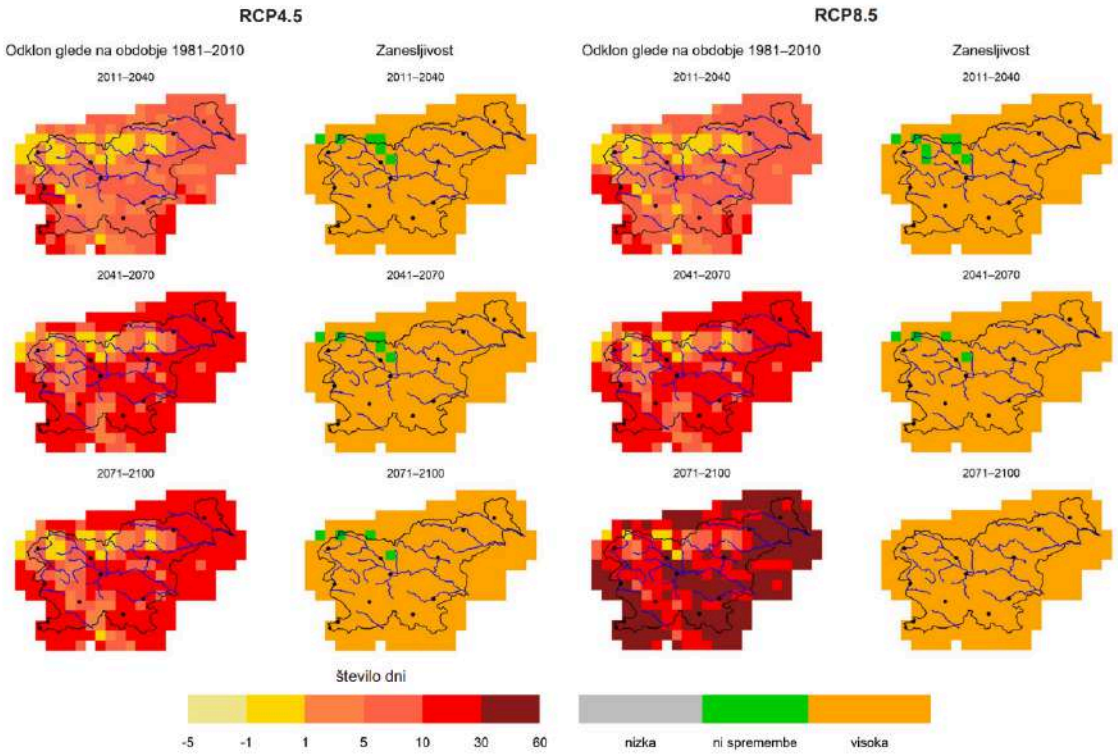


Figura 10 Variazione del numero medio di giorni caldi all'anno nei tre periodi di proiezione rispetto al periodo 1981-2010 e relativa affidabilità della variazione per gli scenari di emissione RCP4.5 (a sinistra) e RCP8.5 (a destra).

Come possiamo vedere nella Figura 10, per entrambi gli scenari RCP, 4.5 a sinistra e 8.5 a destra, la colonna a destra indica in arancione se la variazione prevista nella colonna a sinistra è significativa o meno (in tal caso il colore è verde). Ciò indica una grande certezza che nello scenario di mitigazione intermedio e in quello "business as usual" il numero di giorni caldi (con temperature superiori ai 30 °C) nell'area sud-occidentale aumenterà fino a 20 giorni all'anno. Allo stesso tempo, anche le ondate di calore secondo il fattore ECF diventeranno significativamente più frequenti (Bertalanič et al. 2018).

Come spiegato dal rapporto sui cambiamenti climatici dell'ARPA FVG, le proiezioni relative al

futuro andamento delle precipitazioni nella regione sud-occidentale nel corso delle stagioni possono essere piuttosto contraddittorie. Nella Figura 11 è possibile osservare che le precipitazioni aumenteranno moderatamente, al di sotto del 10% fino al 2100, in primavera (prima riga della colonna di sinistra) e in autunno (ultima riga della colonna di sinistra). Durante la stagione invernale subiranno un aumento più significativo, fino al 30% nello scenario RCP8.5.

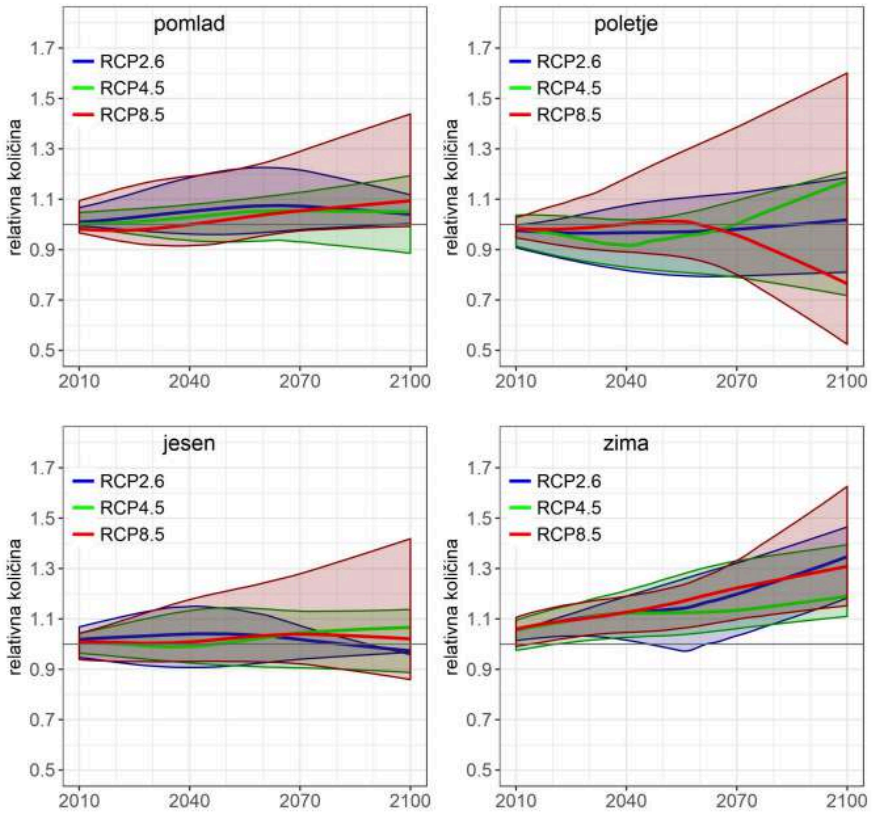


*Figura 11 SEQ Figure * ARABIC 11 Evoluzione temporale della variazione delle precipitazioni per stagione meteorologica fino alla fine del XXI secolo nella regione sud-occidentale per tre scenari, compresi gli intervalli di deviazione (da sinistra a destra: primavera ed estate nella riga superiore, autunno e inverno nella riga inferiore). È indicata la deviazione dalla media 1981-2010. Le linee mostrano la mediana delle proiezioni modellizzate, i bordi superiore e inferiore rappresentano i valori massimi e minimi (Bertalanič et al., 2018).*

Più il periodo di tempo è prossimo ad oggi, più le previsioni meteorologiche in tutti i diversi scenari sono allineate. Ciò indica che queste proiezioni sono più accurate, poiché vi è meno

variabilità tra gli scenari di cambiamento, ma anche che i cambiamenti osservati sono meno significativamente diversi dalle condizioni meteorologiche passate. Infatti, come mostrato nella Fig. 12 qui sotto, nella seconda e quarta colonna è visualizzata la confidenza dei cambiamenti previsti. Il colore verde indica che i cambiamenti osservati non sono statisticamente significativi. Più il periodo analizzato nelle previsioni meteorologiche è lontano, più le proiezioni sono affidabili.

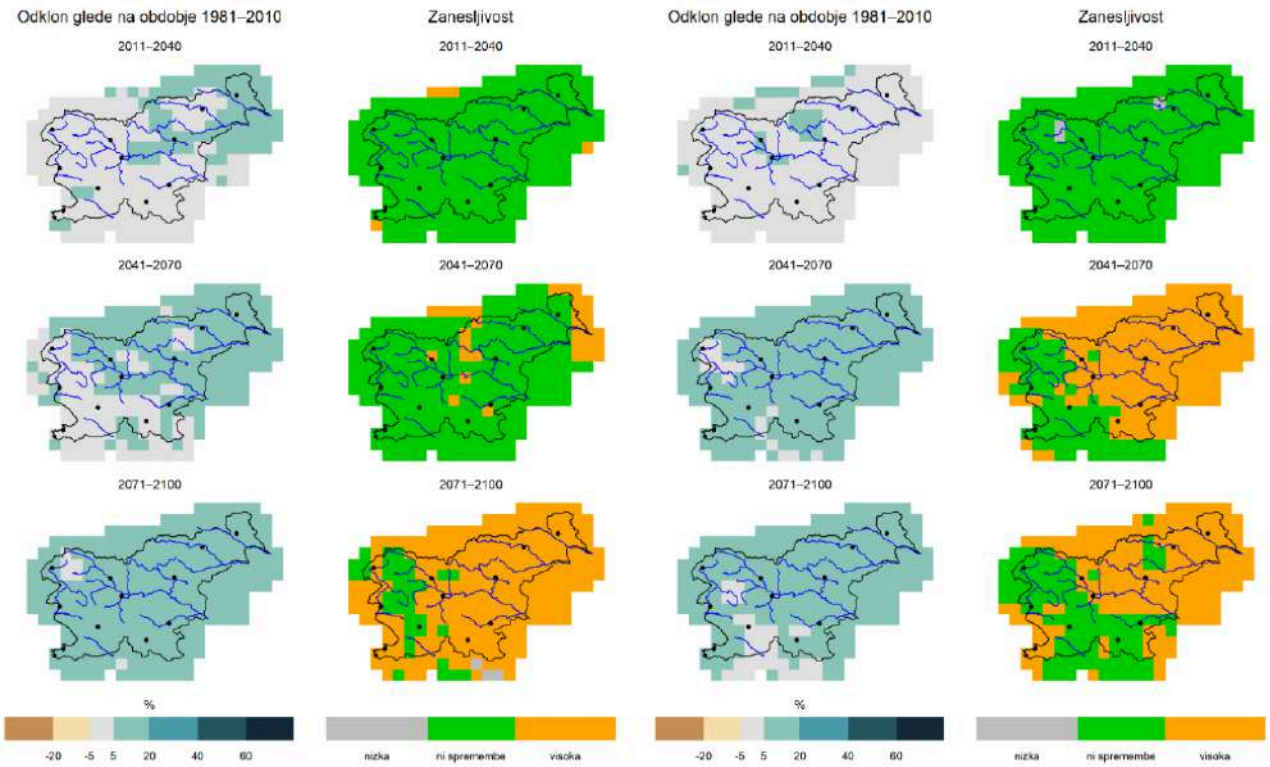


*Figura 12 SEQ Figure * ARABIC 12: Variazione delle precipitazioni medie annuali nei tre periodi di proiezione rispetto al periodo 1981-2010 e relativa affidabilità della variazione per gli scenari di emissione RCP4.5 (a sinistra) e 8.5 (a destra). Per quanto riguarda l'affidabilità delle stime, i valori in cui modelli diversi mostrano tendenze in direzioni diverse sono indicati in grigio, i cambiamenti in verde sono entrambi sufficientemente piccoli da essere indistinguibili dalla variabilità naturale, mentre l'arancione indica cambiamenti statisticamente significativi in cui modelli diversi mostrano anche una tendenza simile (Dolinar, 2018).*

3.3 I dati climatici geospaziali aperti (EURO-CORDEX)

3.3.1 Italia

I dati aperti per le proiezioni climatiche future sono disponibili sulla Piattaforma per le proiezioni climatiche nel Nord-Est dell'Italia (PPCNE), dove i modelli climatici regionali (RCM) utilizzati nel progetto Euro-Cordex (http://www.euro-cordex.net/) sono stati corretti con i dati di tutte le stazioni meteorologiche delle regioni Veneto e Friuli-Venezia Giulia/Furlanija Julijska Krajina. Gli strati informativi climatici raster sono quindi disponibili su base annuale o come medie su periodi di 30 anni, dal 2021 al 2050 o dal 2071 al 2100, per qualsiasi RCP (2.6, 4.5 o 8.5) e per qualsiasi dei 5 RCM.

I dati disponibili per le precipitazioni presentano i dati pluviometrici per gli anni 1991-2020 provenienti dalle registrazioni di tutte le stazioni meteorologiche regionali interpolate con algoritmi Natural Neighbor. Per la temperatura, l'interpolazione è stata effettuata con regressione lineare.

Le variabili climatiche disponibili includono:

- Temperatura media
- Temperatura minima
- Temperatura massima
- Notti tropicali (notti con temperatura minima > 20 °C) all'anno
- Giorni caldi (giorni con temperatura massima >30 °C) all'anno

- Giorni di gelo (giorni con temperatura minima < 0 °C) all'anno
- Indice di durata delle ondate di calore (numero di giorni con temperatura superiore di 5 °C alla media se di durata superiore a 5 giorni)
- Heating Degree Days (HDD) (somma di 20 °C meno la temperatura media giornaliera se inferiore a 20 °C)
- Cooling Degree Days (CDD) (somma della temperatura media giornaliera meno 21 °C se superiore a 24 °C)
- Precipitazioni in mm
- Giorni di precipitazioni estreme (giorni con precipitazioni superiori al 95° percentile per il periodo di riferimento)
- Numero massimo di giorni consecutivi senza precipitazioni (con meno di 1 mm di precipitazioni)
- Numero di giorni con neve fresca (temperatura inferiore a 2 °C e precipitazioni superiori a 1 mm) all'anno

La risoluzione disponibile è di 11 km x 11 km per una media di 30 anni per tutte le variabili e di 500 m x 500 m e 5 km x 5 km rispettivamente per i dati corretti per il bias relativi alla temperatura e alle precipitazioni. Questi dati ad alta risoluzione sono tuttavia disponibili solo su medie annuali.
I modelli climatici regionali (RCM) utilizzati per le proiezioni climatiche future del PCCNE sono:

- EC-EARTH_CCLM4-8-17
- EC-EARTH_RACMO22E

- EC-EARTH_RCA4
- HadGEM2-ES_RACMO22E
- MPI-ESM-LR_REMO2009

3.3.2 Slovenia

Gli strati informativi geospaziali climatici sono disponibili gratuitamente sull'Environment Atlas, una piattaforma webGIS creata dall'Agenzia per l'ambiente della Repubblica di Slovenia (https://gis.arso.gov.si/atlasokolja) in diversi formati vettoriali e raster. Le proiezioni climatiche future per la Slovenia derivano anch'esse dal progetto Euro-Cordex e sono disponibili sul Portale pubblico dei dati aperti della Repubblica di Slovenia (https://podatki.gov.si/), in due risoluzioni, 12 km x 12 km e 1 km x 1 km, e per 3 periodi di riferimento, 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100. Questi dati sono disponibili per tutti e 3 gli scenari RCP considerati. Le variabili prese in esame sono:

- Temperatura media, annuale e stagionale
- Temperatura massima giornaliera, annuale e stagionale
- Temperatura minima giornaliera, annuale e stagionale
- Quantità di precipitazioni, annuale e stagionale
- Potenziale di evapotraspirazione terrestre globale, annuale e stagionale.

Le proiezioni sono il risultato di sei diverse combinazioni di modelli climatici globali e regionali disponibili nel progetto EuroCordex:

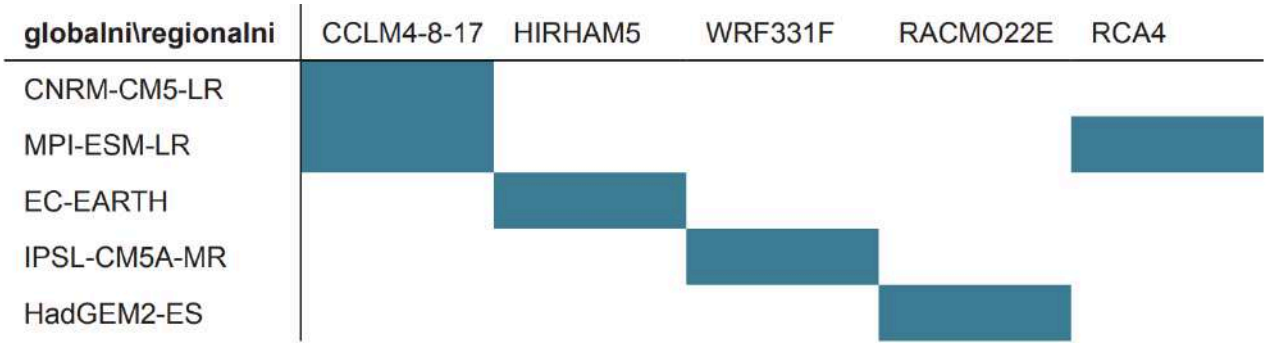


Figura 13 Combinazioni selezionate di modelli climatici globali (nella colonna di sinistra) e regionali (nella riga superiore)

4 CONCLUSIONI

Si può affermare con certezza che il cambiamento climatico nel Carso è già in atto, con un significativo aumento della temperatura. Ciò è particolarmente evidente durante la stagione estiva, con l'aumento delle notti tropicali (notti in cui la temperatura non scende sotto i 20 °C) e la diminuzione dei giorni in cui la temperatura minima scende sotto lo zero. Queste tendenze sono confermate dalle proiezioni climatiche future, in particolare quelle che considerano gli scenari di emissioni più elevate, “business as usual” RCP8.5.

Le tendenze delle precipitazioni, anche se meno marcate se si considerano le medie annuali, mostrano una maggiore variabilità nella distribuzione delle precipitazioni, con una significativa diminuzione durante i mesi estivi e un aumento durante la stagione invernale. Prevedere le dinamiche delle precipitazioni è più difficile a causa dei numerosi fattori coinvolti. Tuttavia, secondo le proiezioni dei modelli climatici globali, è probabile che aumentino durante la stagione invernale, mentre nella stagione estiva la loro variazione è meno consistente tra i diversi modelli; si prevede che i giorni con precipitazioni estreme (sotto al 5° percentile) diventeranno più frequenti, insieme a periodi di siccità prolungati. Lo strato informative relativo alle precipitazioni è particolarmente incerto durante il primo periodo 2041-2071, con variazioni annuali positive per lo più non significative ma distribuite in modo non uniforme tra le stagioni, con un aumento in inverno e una possibile diminuzione durante la stagione estiva, con un impatto soprattutto sul regime degli incendi boschivi.

Le proiezioni climatiche future fornite dalle agenzie meteorologiche locali sono notevolmente più accurate dei dati climatici globali disponibili. Tuttavia, le differenze nella risoluzione e nell'aggregazione dei dati possono rendere difficile la loro integrazione in contesti transnazionali. Ciò è particolarmente vero quando si lavora con dati in formati compatibili con le analisi geospaziali, come le valutazioni del rischio di incendi boschivi e della vulnerabilità. Per quanto riguarda la Slovenia, i dati climatici sono disponibili al pubblico in formato raster con una risoluzione di 100 m x 100 m, mentre quelli italiani hanno una risoluzione di 500 m x 500 m. Anche i periodi futuri considerati differiscono: le

proiezioni italiane prendono in considerazione il periodo 2021-2050 o 2071-2100, mentre quelle slovene il periodo 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100. Le proiezioni future per entrambi i paesi derivano dal progetto EuroCordex, che ha adottato 5 diversi modelli climatici regionali, e sono state ulteriormente corrette con misurazioni effettive provenienti da stazioni meteorologiche locali. Di conseguenza, le variabili climatiche adottate per gli studi sul rischio di incendi boschivi e sulla vulnerabilità (D1.1.2) per l'intera area del Carso sono state ricavate dalle proiezioni climatiche future mondiali di Chelsa. I dati climatici globali Chelsa sono stati ottenuti selezionando un sottoinsieme di modelli climatici globali e scenari RCP disponibili secondo l'Intersectoral Impact Model Intercomparison Project (ISIMIP) (Brun et al., 2022; Karger et al., 2023).

I risultati indicano che le foreste del Carso dovranno affrontare un aumento dello stress termico e della siccità durante la stagione estiva, aumentando la vulnerabilità agli incendi boschivi a causa della bassa umidità del suolo, delle alte temperature e dell'accumulo di necromassa legnosa. La richiesta di una gestione forestale transfrontaliera rigorosa è quindi più importante che mai, dalle prime fasi della valutazione del rischio di incendi boschivi alle operazioni di spegnimento.

5 RIFERIMENTI

ARPA FVG. (2018). *Studio conoscitivo dei cambiamenti climatici e di alcuni loro impatti in Friuli Venezia Giulia*. Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente del FVG.

ARPA FVG. (2023). *Il clima del Friuli Venezia Giulia*. https://www.arpa.fvg.it/temi/temi/meteo-e-clima/pubblicazioni/il-clima-del-friuli-venezia-giulia-2023/

Bertalanič, R., Dolinar, M., Draksler, Honzak, L., Kobold, M., Kozjek, K., Lokošek, N., Medved, A., Vertačnik, G., Vlahović, Ž., & Žust, A. (2018). *Ocena podnebnih sprememb v Sloveniji do konca 21. Stoletja—Sintezno poročilo*. Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija Republike Slovenije za Okolje.

Brun, P., Zimmermann, N. E., Hari, C., Pellissier, L., & Karger, D. N. (2022). Global climate-related predictors at kilometer resolution for the past and future. *Earth System Science Data*, *14*(12), 5573–5603. https://doi.org/10.5194/essd-14-5573-2022

Dupuy, J., Fargeon, H., Martin-StPaul, N., Pimont, F., Ruffault, J., Guijarro, M., Hernando, C., Madrigal, J., & Fernandes, P. (2020). Climate change impact on future wildfire danger and activity in southern Europe: A review. *Annals of Forest Science*, *77*(2), 35. https://doi.org/10.1007/s13595-020-00933-5

Karger, D. N., Conrad, O., Böhner, J., Kawohl, T., Kreft, H., Soria-Auza, R. W., Zimmermann, N. E., Linder, H. P., & Kessler, M. (2017). Climatologies at high resolution for the earth's land surface areas. *Scientific Data*, *4*(1), 170122. https://doi.org/10.1038/sdata.2017.122

Karger, D. N., Lange, S., Hari, C., Reyer, C. P. O., Conrad, O., Zimmermann, N. E., & Frieler, K. (2023). CHELSA-W5E5: Daily 1 km meteorological forcing data for climate impact studies. *Earth System Science Data*, *15*(6), 2445–2464. https://doi.org/10.5194/essd-15-2445-2023

Poldini, L., Ganis ,P., Vidali ,M., Altobelli ,A., Bader ,F., & and Cantele, S. (2018). Inclusion of phytosociological data in an index of vegetation fire danger: Application and mapping on the Karst area around Trieste (Italy). *Plant Biosystems - An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology*, *152*(4), 810–817. https://doi.org/10.1080/11263504.2017.1347110

Interreg Italia-Slovenija
Karst Firewall 5.0

Cofinanziato dall'Unione europea
Sofinancira Evropska unija

COLOPHON / KOLOFON

Editore / Založnik:
Servizio/agenzia di traduzione / Prevajalska služba/agencija:
Redazione / Uredništvo:
Crediti fotografici / Avtorstvo fotografij:
Stampa / Tisk:
Dati dell'edizione / Podatki o izdaji:
Luogo e data di pubblicazione / kraj in datum izdaje:

La presente pubblicazione è reperibile in formato elettronico all'indirizzo: www... /
To objavo lahko najdete v elektronski obliki na naslovu: www...

Il contenuto della presente pubblicazione non rispecchia necessariamente le posizioni ufficiali dell'Unione europea. La responsabilità del contenuto della presente pubblicazione appartiene all'autore [inserire nome dell'autore] / Vsebina te publikacije ne odraža nujno uradnih stališč Evropske unije. Odgovornost za vsebino te publikacije pripada avtorju [vstaviti avtorjevo ime]

Il progetto Karst Firewall 5.0 è co-finanziato dall'Unione europea nell'ambito del Programma Interreg VI-A Italia-Slovenia.
Projekt Karst Firewall 5.0 sofinancira Evropska unija v okviru Programa Interreg VI-A Italija-Slovenija.
www.ita-slo.eu/karst-firewall-50

Interreg Italia-Slovenija
Karst Firewall 5.0

Cofinanziato dall'Unione europea
Sofinancira Evropska unija

OCENA PODNEBNIH SPREMEMB NA KRASU MED ITALIJO IN SLOVENIJO

KARST FIREWALL 5.0

Adattamento innovativo al cambiamento climatico basato sugli ecosistemi nella regione del Carso. Promuovere una silvicoltura resistente agli incendi con il supporto di Industria 5.0

Inovativno ekosistemsko-zasnovano prilagajanje podnebnim spremembam na Krasu. Spodbujanje požarno odporne gmajne s podporo industrije 5.0

Il progetto Karst Firewall 5.0 è co-finanziato dall'Unione europea nell'ambito del Programma Interreg VI-A Italia-Slovenia.
Projekt Karst Firewall 5.0 sofinancira Evropska unija v okviru Programa Interreg VI-A Italija-Slovenija.
www.ita-slo.eu/karst-firewall-50

Interreg Italia-Slovenija
Karst Firewall 5.0
Cofinanziato dall'Unione europea
Sofinancira Evropska unija

DELIVERABLE INFORMAZIONI / INFORMACIJE	
Acronimo del progetto / Akronim projekta:	**KARST FIREWALL 5.0**
Titolo del progetto / Naslov projekta:	**Adattamento innovativo al cambiamento climatico basato sugli ecosistemi nella regione del Carso. Promuovere una silvicoltura resistente agli incendi con il supporto di Industria 5.0** **Inovativno ekosistemsko-zasnovano prilagajanje podnebnim spremembam na Krasu. Spodbujanje požarno odporne gmajne s podporo industrije 5.0**
Area prioritaria / Prednostno področje:	**Un'Europa più verde e a basse emissioni di carbonio, che si muove verso un'economia a zero emissioni di carbonio e resiliente** **Bolj zelena, nizkoogljična Evropa, ki prehaja na gospodarstvo z ničelno stopnjo neto emisij ogljika in je odporna**
Obiettivo specifico del programma / Specifični cilj programa:	**SO4: Promuovere l'adattamento ai cambiamenti climatici e la prevenzione del rischio di catastrofi e la resilienza, tenendo conto degli approcci ecosistemici.** **SO4: Spodbujanje prilagajanja podnebnim spremembam in preprečevanja tveganja nesreč ter odpornosti ob upoštevanju ekosistemskih pristopov**
URL del sito web del progetto / URL spletne strani projekta:	www.ita-slo.eu/karst-firewall-50
Numero del documento / Številka dokumenta:	KFW50-D111
Titolo del documento / Naslov dokumenta:	OCENA PODNEBNIH SPREMEMB NA KRASU MED ITALIJO IN SLOVENIJO
Work Package:	1
Attività / Aktivnost:	1.1
Partner responsabili (autori) / Odgovorni partnerji (avtorji):	IUAV Università di Venezia (Granceri Bradaschia, Massimiliano; Morassutti, Giacomo; Pintarič, Domen; Longato, Davide; Maragno, Denis; Musco, Francesco); ZRC-SAZU (Čonč, Špela; Breg Valjavec, Mateja; Ciglič, Rok)
Citazione / Citiranje	Granceri Bradaschia M., Morassutti G., Longato D., Pintarič D., Maragno D., Musco F., 2025, "VALUTAZIONE DEL CAMBIAMENTO CLIMATICO SUL CARSO, TRA ITALIA E SLOVENIA / OCENA PODNEBNIH SPREMEMB NA KRASU MED ITALIJO IN SLOVENIJO", Karst Firewall 5.0 project, EU Interreg Italia Slovenia, 10.5281/zenodo.18220008.
Partner coinvolti / Sodelujoči partnerji:	ARPA FVG
Luogo e data di pubblicazione / Kraj in datum objave:	Trst, 10/10/2025

KAZALO

Seznam kratic 4
1 UVOD 5
2 PODNEBJE NA KRASU 7
3 PODNEBNE PROJEKCIJE ZA PRIHODNOST 11
3.1 POROČILO O PODNEBNIH SPREMEMBAH – ARPA FVG 11
3.2 POROČILO O PODNEBNIH SPREMEMBAH – ARSO 13
3.3 Odprti geografski podnebni podatki (EURO-CORDEX) 17
3.3.1 Podatki za Italijo 17
3.3.2 Slovenija 19
4 ZAKLJUČEK 20
5 VIRI 22

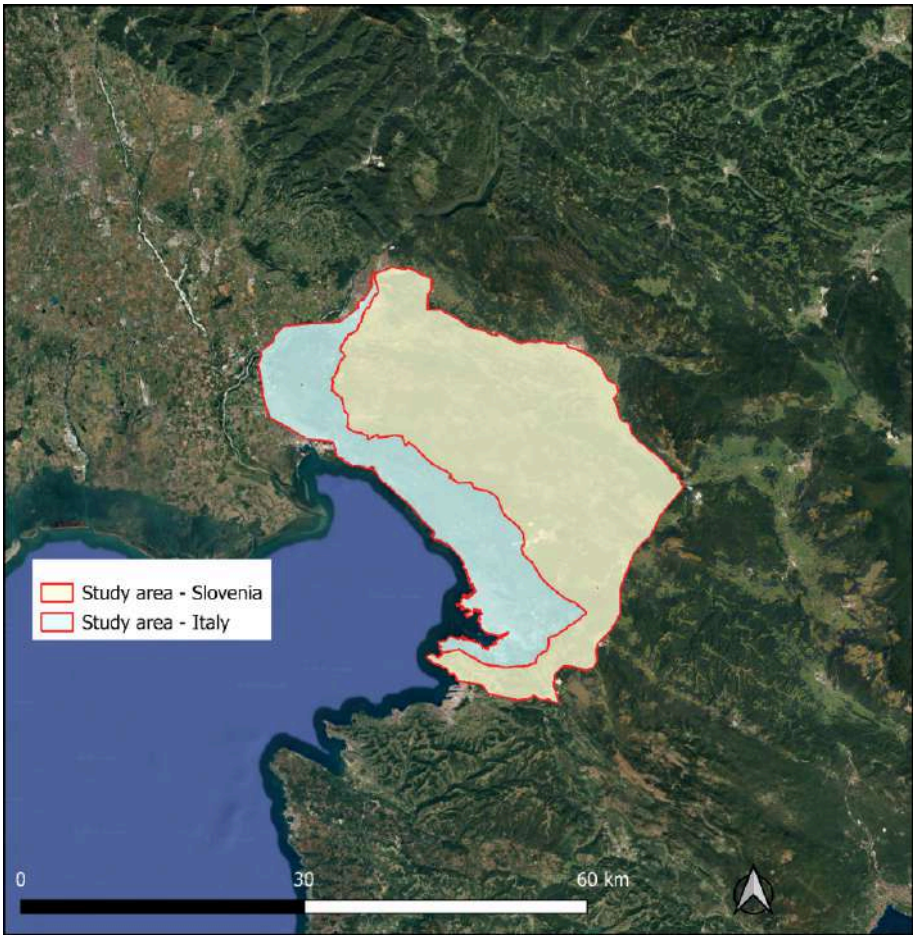
Seznam kratic

Kratica	Definicija
ARPA FVG	Deželna Agencija za varstvo okolja za Furlanijo-Julijsko krajino
ARSO	Agencija Republike Slovenije za okolje
GCM	Globalni podnebni model
RCM	Regionalni podnebni model
RCP	Reprezentativni scenariji poti koncentracije
FVG-FJK	Friuli Venezia Giulia- Furlanija-Julijska Krajina
HDD	Heating Degree Days
CDD	Cooling Degree Days
ISIMIP	Intersectoral Impact Model Intercomparison Project
PPCNE	Platforma za podnebne projekcije v severovzhodni Italiji
CHELSA	Klimatski podatki visoke resolucije za zemljino površje (Climatologies at High Resolution for the Earth's Land Surface Areas)
ECF	Extreme Climate Factor

1 UVOD

Podnebne spremembe, ki potekajo, bodo zagotovo vplivale na moč in pogostost požarov v naravi (Dupuy et al., 2020), pri čemer čezmejno območje Kras/Carso (v nadaljevanju Kras) ni izjema. Zlasti v tej regiji, ki je razdeljena med Italijo in Slovenijo, ima čezmejno sodelovanje ključno vlogo, kar so na široko pokazali katastrofalni gozdni požari poleti 2022. V tem posebnem letu so bile poletne temperature stalno 1 °C nad povprečjem referenčnega obdobja (1991-2020) (ARPA FVG, 2023). Požari v naravi niso neposredno povezani le z vztrajnimi obdobji vročega vremena z malo padavinami, ki zmanjšujejo količino tal in povečujejo razpoložljivost suhe lesne biomase ter tako povečujejo pogostost in resnost požarov v naravi. Podnebne spremembe prispevajo tudi k slabšanju gozdnega ekosistema, saj spreminjajo taksonomsko sestavo vegetacije v smeri bolj toploljubnih vrst in spodbujajo vnos tujerodnih vrst, kar vpliva na ranljivost gozdnih požarov. Gozdovi na Krasu že trpijo zaradi spontanega vdora grmovja na opuščene suhe pašnike, ki so bogati z biotsko raznovrstnostjo in bolj odporni na gozdne požare (Poldini et al., 2018).

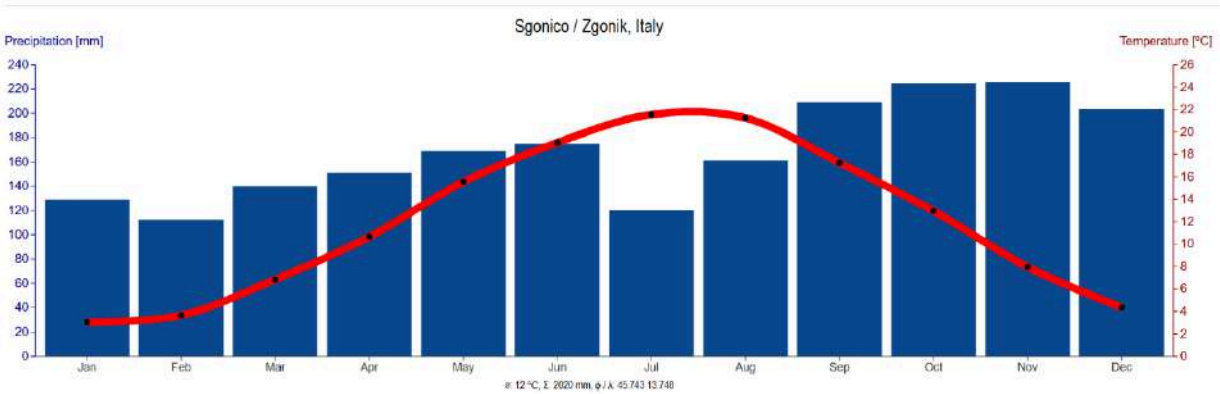
Ker bodo podnebne spremembe vplivale na vse vidike občutljivih ekosistemov, kot je tudi npr. območje Krasa, je razumevanje njihovega prihodnjega razvoja ključnega pomena, da bi lahko predvideli spremembe v režimu gozdnih požarov ter se prilagodili in ublažili morebitne negativne spremembe. Zato se je projekt Kras Firewall 5.0 odločil, da bo obravnaval trenutne strategije gašenja in upravljanja požarov. Prvi delovni paket projekta se imenuje „Kako ga narediti manj vnetljivega: konceptualni okvir za zmanjšanje tveganja čezmejnih kraških požarov“ in se osredotoča na ocenjevanje nevarnosti in ranljivosti gozdnih požarov v kraški regiji ter pripravo skupnih akcijskih načrtov za soočanje z izzivi prihodnosti. V ta namen je ključnega pomena razumevanje sedanjih in prihodnjih podnebnih trendov, za kar so potrebni enotni nabori podatkov za Italijo in Slovenijo. V tem poročilu so pregledane prihodnje podnebne napovedi dveh regionalnih agencij, Agencije Republike Slovenije za okolje (ARSO) in Regionalne agencije za varstvo okolja za Furlanijo Julijsko krajino (ARPA FVG). Cilj je bil poudariti razlike, v zvezi s podatki z agencij ter oceniti združljivost in primerljivost podatkov. Osrednja tema poročila so podnebne spremenljivke, ki so najpomembnejše za požare v naravi, in njihova razpoložljivost v združljivih oblikah z geoprostorskimi analizami nevarnosti in ranljivosti (rezultat projekta D1.1.2).



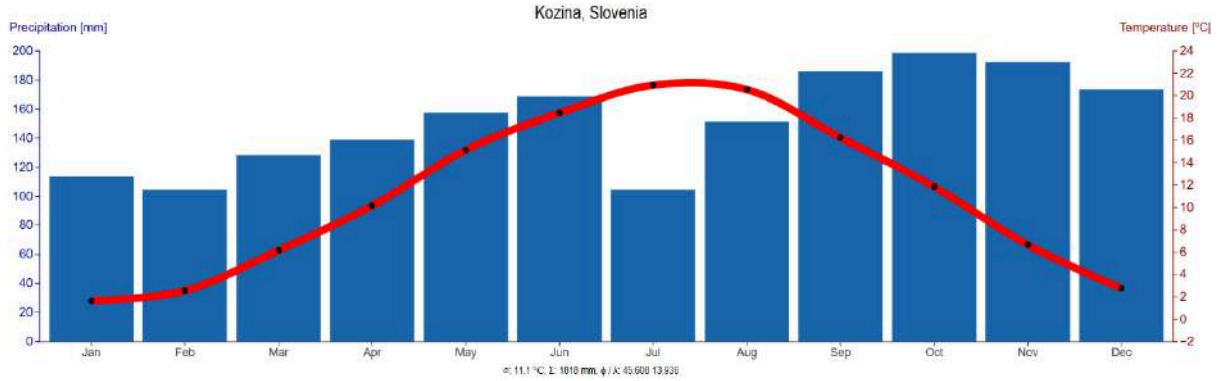
Slika 1 Območje študije projekta, ki zajema Kras in njegovo okolico. Na levi strani je del, ki pripada Italiji, na desni pa Sloveniji.

2 PODNEBJE NA KRASU

Kras je planota z apnenčasto podlago, ki se od obale hitro dviga do 350 m nadmorske višine, grebeni hribov pa segajo od 400 do 700 m n. m. Na vreme na Krasu vpliva bližina Alp na severu in Jadranskega morja, katerih bližina blaži temperaturna nihanja. Za podnebje na območju Krasa je po Köppenovi bioklimatski klasifikaciji značilno zmerno podnebje brez sušnega obdobja, od zelo vročih poletij (Cfa) do toplih poletij (Cfb), odvisno od bližine morja (ARPA FVG, 2023). Temperatura na obali je v povprečju za 3 °C višja kot na planoti zaradi večje oddaljenosti od morja in višinske razlike. Letna količina padavin se od območij, obrnjenih proti zalivu, do najbolj vzhodnih območij na meji s Slovenijo postopoma povečuje, od 1000-1200 mm ob kraškem grebenu do skoraj 1400 mm na najbolj notranjih območjih. Najbolj deževna obdobja so od septembra do decembra, sušna pa od januarja do marca in od julija do avgusta. Na slikah 2 in 3 sta prikazana podnebna diagrama dveh naselij na preučevanem območju, in sicer Sgonico/Zgonik na severozahodnem delu na italijanski strani meje in Kozino na jugovzhodnem delu na slovenski strani. Povprečne temperature se pozimi gibljejo okoli 2-3 °C, poleti pa 20-22 °C.

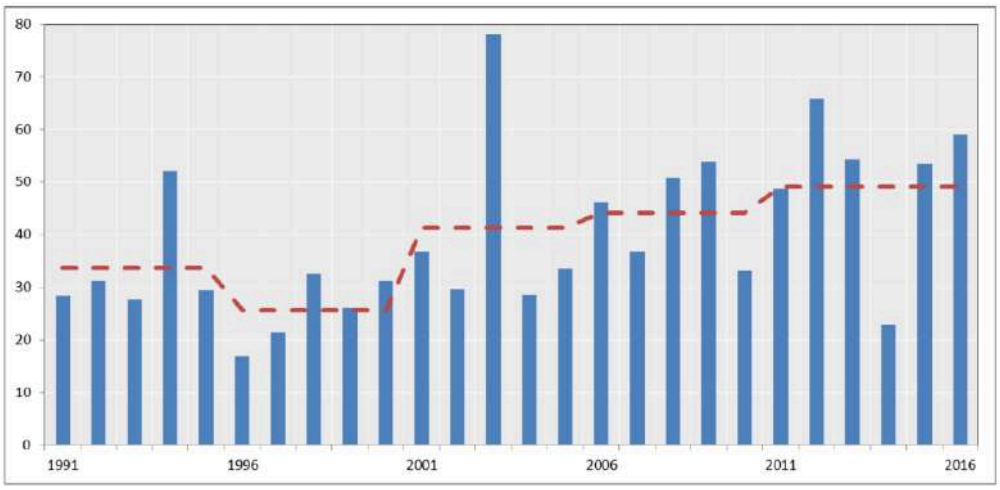


Slika 2 Podnebni diagram Zgonika 278 m n.v. (Karger et al., 2017).

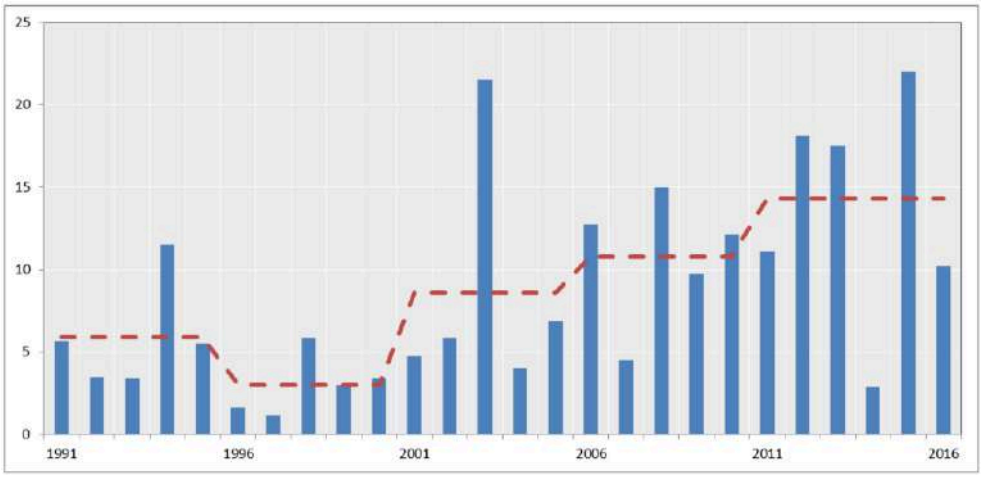


Slika 3 Podnebni diagram Kozine, 492 m n.v. (Karger et al., 2017).

Leta 2018 je ARPA FVG objavila poročilo o podnebnih spremembah v regiji, v katerem je analizirala trend naraščanja temperature v Furlaniji-Julijski krajini v zadnjih 60 letih. Glede na opažanja je v zadnjih 30 letih prišlo do izrazitega povečanja temperature, ki se je v regiji na splošno povečala z 12,7 °C na 13,5 °C, v zadnjih petih letih pa povprečje znaša 14 °C (ARPA FVG, 2018). Ta trend je še posebej očiten v poletni sezoni in Kras pri tem ni izjema. Na vremenski postaji Sgonico/Zgonik na nadmorski višini 278 m se je povprečna letna temperatura v istem obdobju povečala za 1,5 °C.



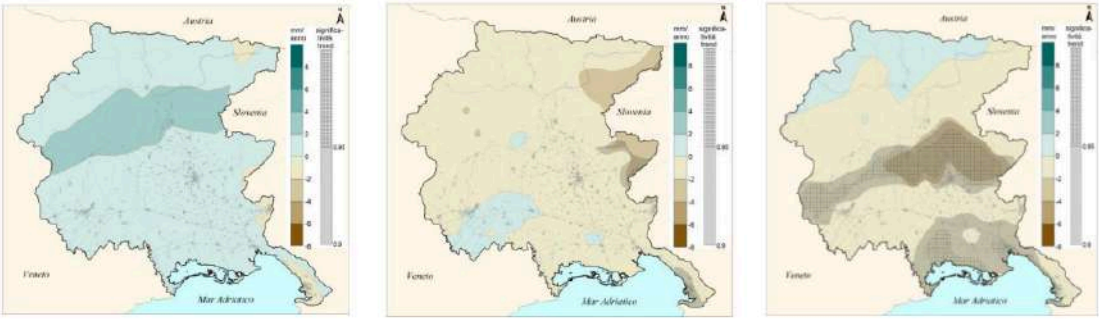
Slika 4 Število dni, ko je temperatura presegla 30 °C. Povprečje 8 vremenskih postaj na Furlaniji. Rdeča črta prikazuje povprečne vrednosti za preteklih 5 let.



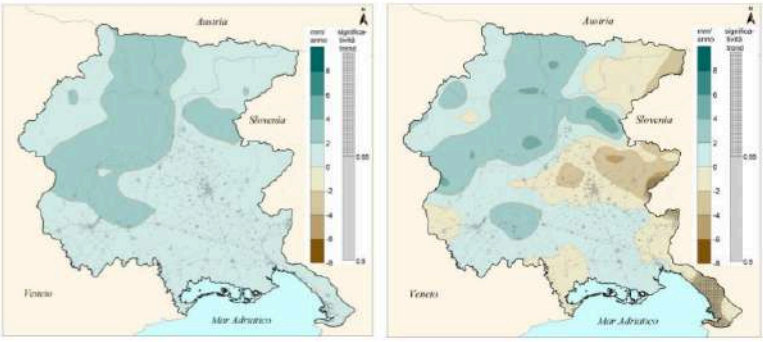
Slika 5 Število tropskih noči v FVG (povprečje 8 vremenskih postaj na furlanijski ravnini). Rdeča črta označuje povprečne vrednosti za preteklih 5 let.

Kot je poudarjeno v poročilu, so trendi naraščanja temperature še bolj očitni, če se soočimo z drugimi temperaturnimi kazalniki, kot sta število vročih dni in tropskih noči. Dejansko se je v regiji izrazito povečalo število dni, ko temperatura preseže 30 °C (s 30 dni v 90. letih na 50 dni na leto) (slika 4), in zlasti število tropskih noči (s 5 na 15), tj. noči, ko temperatura ne pade pod 20 °C (slika 5).

Hkrati so se padavine v jesenskem in zimskem obdobju povečale, čeprav ne bistveno, medtem ko so se v spomladanskem in poletnem obdobju zmanjšale za približno 4 mm na sezono (Slika 6; (ARPA FVG, 2018). Te vrednosti so statistično značilne in kažejo, da so trendi padavin v letnem povprečju sicer videti manj zaskrbljujoči, vendar postajajo vse bolj nestanovitni, njihova porazdelitev med letom pa bolj spremenljiva.



a) Inverno b) Primavera c) Estate



d) Autunno e) Anno

Slika 6 Trend povprečnih letnih in sezonskih padavin, izražen v mm/leto od leta 1961 do 2015. Vir: ARPA FVG - OSMER in projekt ARCIS

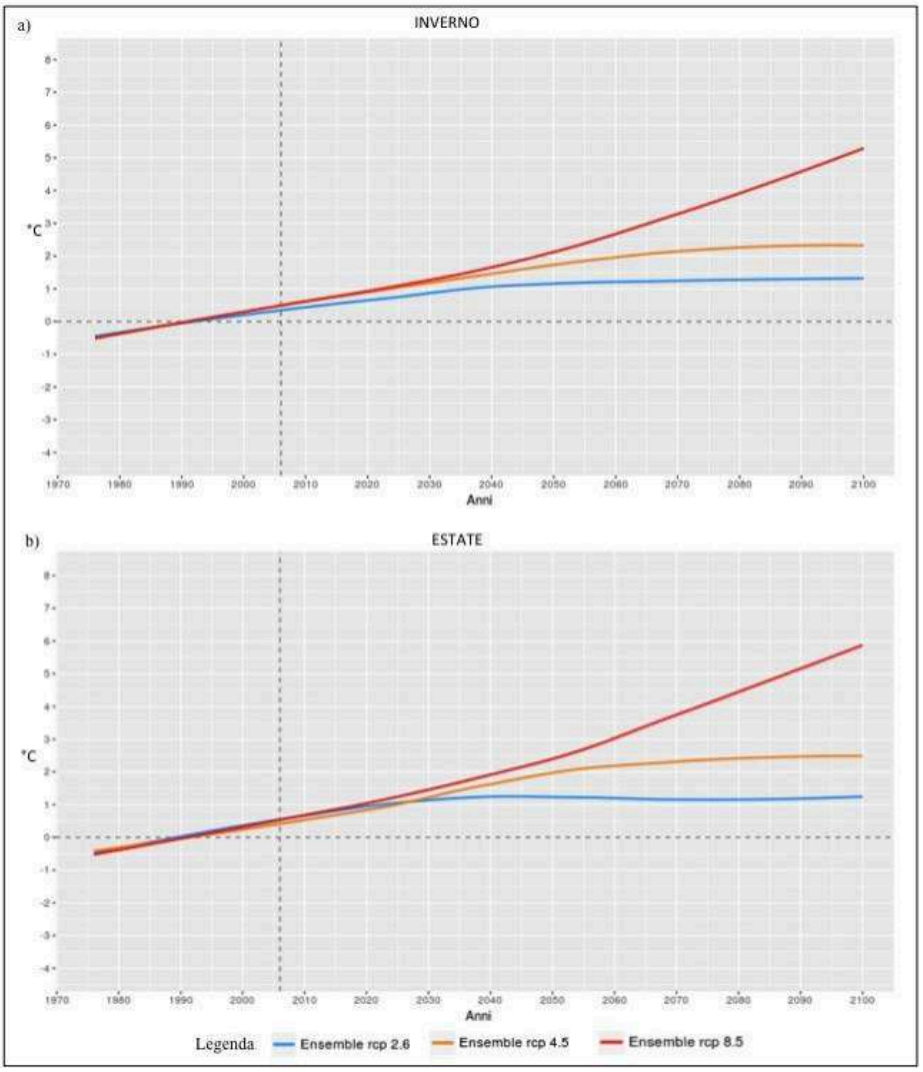
3 PODNEBNE PROJEKCIJE ZA PRIHODNOST

3.1 POROČILO O PODNEBNIH SPREMEMBAH – ARPA FVG

Poročilo ARPA FVG o podnebnih spremembah predstavlja napovedi prihodnjega podnebja, pridobljene s povprečenjem 14 različnih globalnih podnebnih modelov (GCM) za vsakega od treh scenarijev prihodnjih emisij, s poudarkom na najbolj ekstremnem in najbolj konservativnem scenariju, da bi določili razpon odstopanj. Na sliki 7 je prikazano povprečje vseh obravnavanih GCM za vsak scenarij emisij za zimsko sezono (zgoraj) in poletno sezono (spodaj). V dveh najbolj konservativnih scenarijih emisij, RCP2.6 in RCP4.5, se bo stalno naraščanje temperature postopoma ustavilo okoli leta 2050-2060 in se ustalilo na +1 °C oziroma +2 °C. Nasprotno pa se v scenariju „običajnega poslovanja“ temperatura ne bo prenehala povečevati do +5 °C pozimi in +6 °C poleti. Napovedi za vse scenarije emisij se nekoliko razlikujejo v prvih 20 letih do leta 2040 in se vse bolj razlikujejo glede na vse bolj oddaljeno obravnavano časovno obdobje.

REPREZENTATIVNI SCENARIJI POTI KONCENTRACIJE (RCPs)

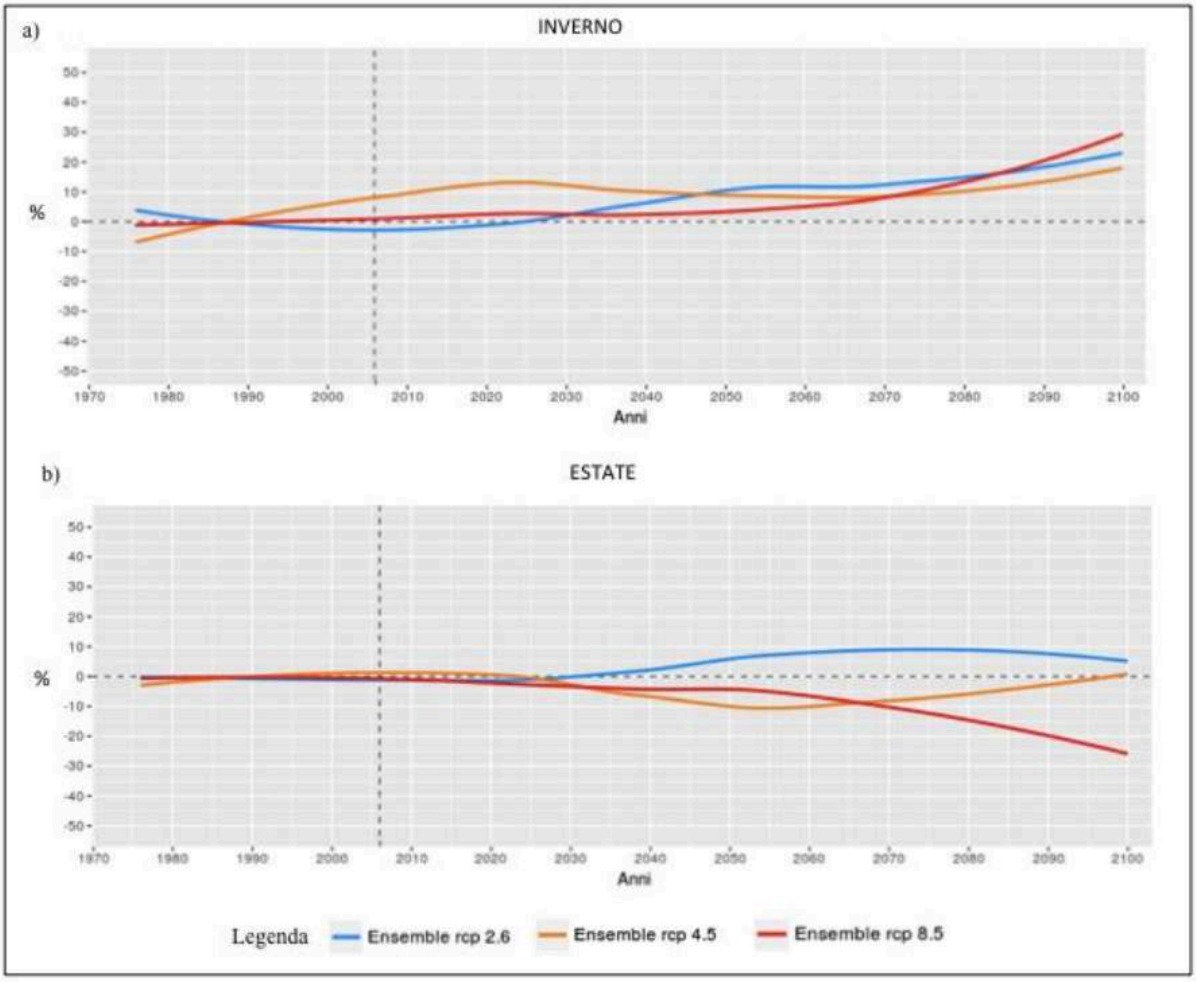
IPCC je v svojem zadnjem poročilu uporabil tri referenčne scenarije ali reprezentativne poti koncentracije (RCP), ki se uporabljajo kot vhodni podatki za podnebne napovedi z uporabo globalnih podnebnih modelov (GCM). Ti scenariji so: RCP2.6 (ciljni segrevanje za 2 °C glede na predindustrijske vrednosti, torej približno 1 °C nad sedanjimi vrednostmi), RCP4.5 (vmesni scenarij), RCP8.5 (vmesni scenarij), RCP8.5 (najbolj skrajni scenarij ali tako imenovani scenarij „poslovanja kot običajno“ z globalnim segrevanjem med 3,5 in 5,5 °C). Številka, povezana z vsakim RCP, predstavlja dodatno sevalno silo zaradi povečanja toplogrednih plinov, ko se ti stabilizirajo v ozračju.



Slika 7 Trend temperaturnih anomalij zimskih (a) in poletnih (b) temperatur v Furlaniji-Julijski krajini do leta 2100 v primerjavi s tridesetletnim referenčnim obdobjem 1976–2005 za scenarije RCP 2.6 (modra črta), 4.5 (oranžna črta) in 8.5 (rdeča črta). Vir: ICTP, Earth System Physics

Kar zadeva napovedi prihodnjih padavin, je za simulacijo značilna večja negotovost kot za temperaturo. To se zgodi, ker padavine vključujejo številne procese, ki jih je težko predstaviti v podnebnih modelih (ARPA FVG, 2018). Na sliki 8 je mogoče opaziti, da se bodo v zimski sezoni padavine nekoliko povečale. Medtem ko je zimsko povečanje količine padavin skladno za vse scenarije RCP, pa imajo poleti scenariji emisij različne učinke. Zdi se, da bi se v scenariju RCP2.6 količina padavin v prihodnjih letih lahko zmerno povečala in se proti letu 2100 zmanjšala, medtem ko bi se v scenariju RCP4.5 v naslednjih 40 letih lahko zmanjšala,

nato pa bi se proti letu 2100 spet povečala (slika 8). Le po scenariju RCP8.5 se zdi, da bi se količina padavin v poletni sezoni znatno zmanjšala, kar že doživljamo (slika 8).

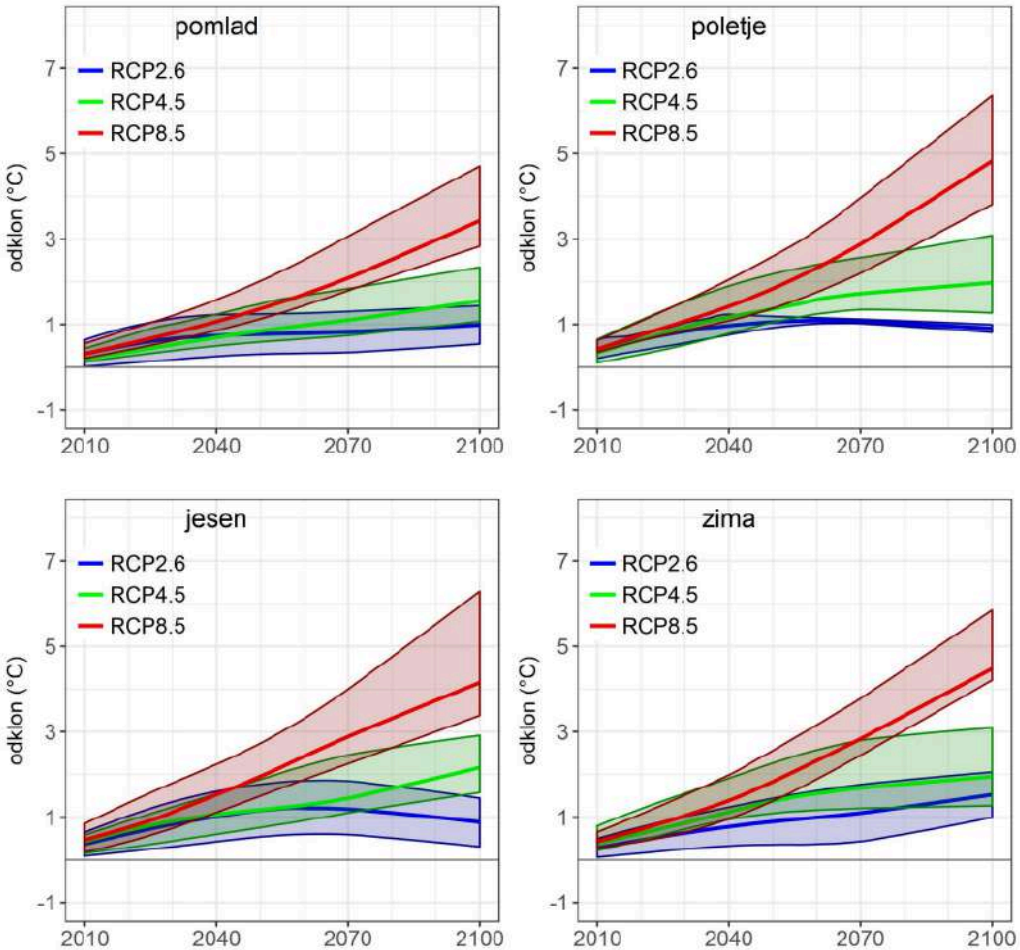


Slika 8 Trend temperaturnih anomalij zimskih (a) in poletnih (b) temperatur v Furlaniji-Julijski krajini do leta 2100 v primerjavi s tridesetletnim referenčnim obdobjem 1976–2005 za scenarije RCP 2.6 (modra črta), 4.5 (oranžna črta) in 8.5 (rdeča črta). Vir: ICTP, Earth System Physics

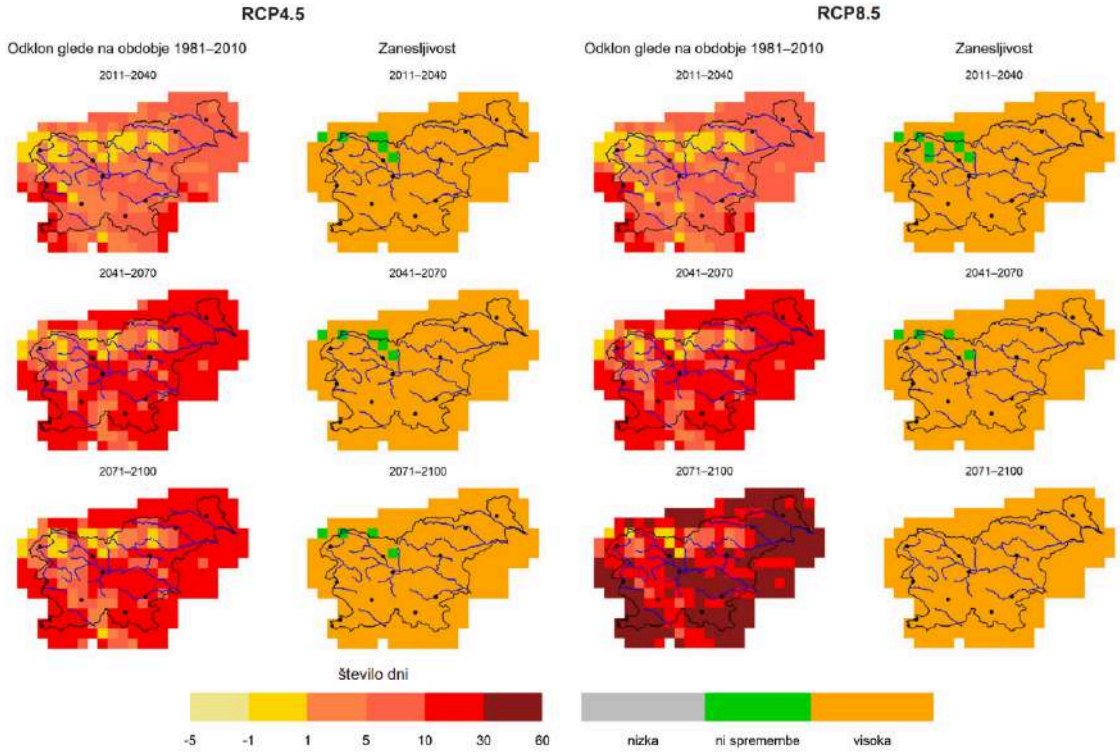
3.2 POROČILO O PODNEBNIH SPREMEMBAH – ARSO

V poročilu ARSO o podnebnih spremembah je Slovenija razdeljena na šest vremenskih regij za razvrstitev enotnih vremenskih območij (Bertalanič et al., 2018). Območje Krasa večinoma spada v jugozahodno regijo, zaradi česar se bomo v tem poročilu sklicevali na vremenske

projekcije le za to regijo. V jugozahodni regiji naj bi se po scenarijih RCP4.5 in RCP8.5 temperatura v vseh letnih časih dosledno zviševala, medtem ko naj bi se po scenariju RCP2.6 temperatura poleti in jeseni zmerno dvigala z vrhuncem okoli leta 2060 in se nato proti letu 2100 znižala (slika 9) (Bertalanič et al., 2018).



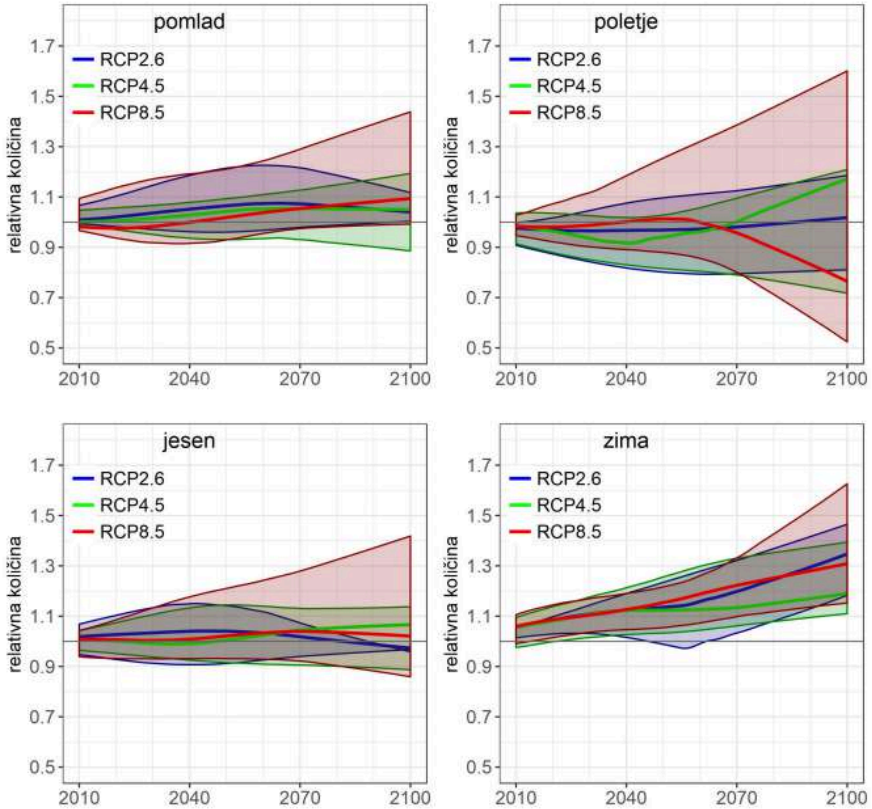
Slika 9 Časovna vrsta sprememb povprečne temperature zraka po meteoroloških letnih časih do konca 21. stoletja v jugozahodnem delu za tri scenarije, vključno z razponi odstopanj (od leve proti desni: pomlad in poletje v zgornji vrstici, jesen in zima v spodnji vrstici). Prikazano je odstopanje od povprečja v obdobju 1981–2010. Črte prikazujejo izravnano mediano modeliranih projekcij, zgornji in spodnji rob pa predstavljata največjo in najmanjšo vrednost (Bertalanič et al., 2018).



Slika 10 Sprememba povprečnega števila vročih dni na leto v treh projekcijskih obdobjih v primerjavi z obdobjem 1981–2010 in z njim povezana zanesljivost spremembe za scenarija emisij RCP4.5 (levo) in RCP8.5 (desno).

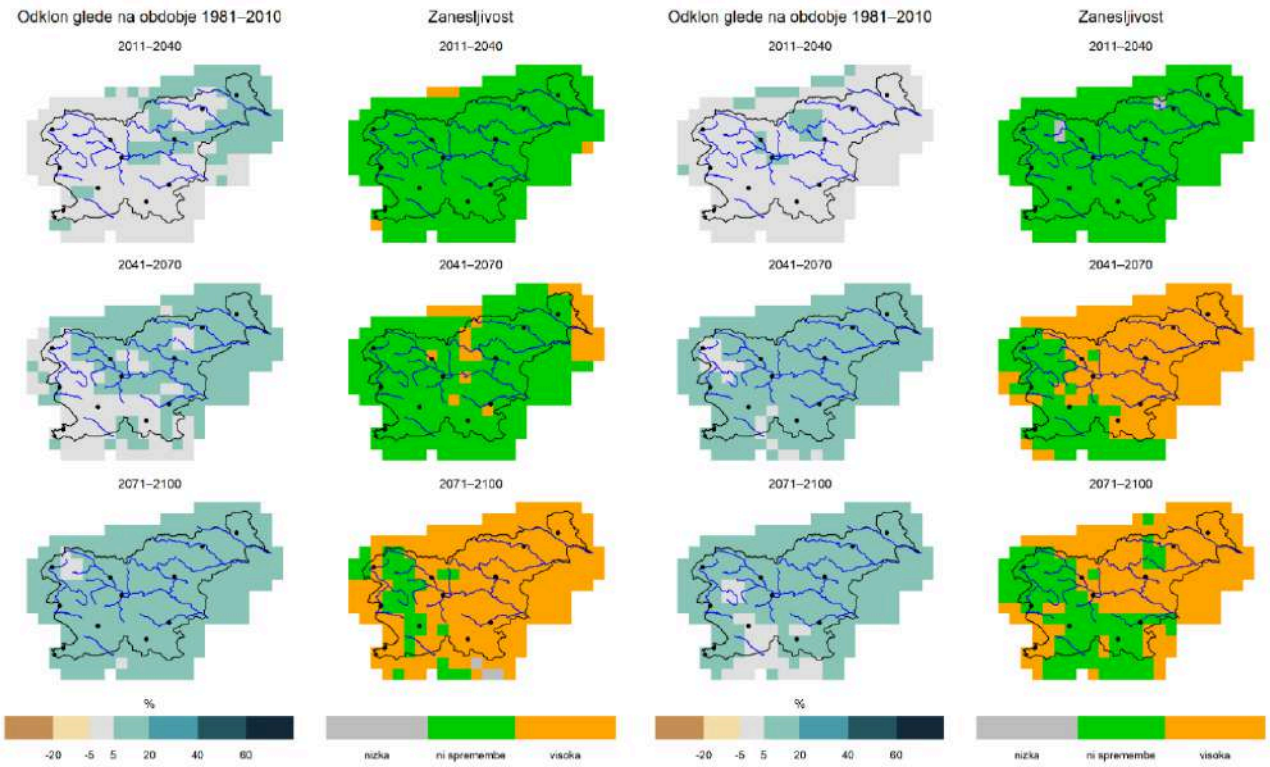
Kot vidimo na sliki 10, je za oba scenarija RCP4.5 na levi in RCP8.5 na desni, v stolpcu na desni z oranžno barvo označeno, ali je napovedana sprememba v levem stolpcu pomembna ali ne (v tem primeru je barva zelena). To kaže na veliko zanesljivost, da se bo v „vmesnem scenariju“ in v scenariju „brez sprememb“ število vročih dni (temperature nad 30 °C) na juhozahodnem območju povečalo za do 20 dni na leto. Hkrati bodo tudi vročinski valovi po faktorju ECF bistveno pogostejši (Bertalanič et al. 2018).

Kot pojasnjuje poročilo ARPA FVG o podnebnih spremembah, so si lahko napovedi o prihodnjem vzorcu padavin na jugozahodnem območju v posameznih letnih časih precej nasprotujoče. Na sliki 11 je mogoče opaziti, da se bo količina padavin spomladi (zgoraj levo) in jeseni (spodaj levo) zmerno povečala, in sicer manj kot 10 % do leta 2100. V zimskem obdobju se bodo padavine po scenariju RCP8.5 občutneje povečale, in sicer do 30 %.



Slika 11 Časovna evolucija sprememb v padavinah po meteoroloških letnih časih do konca 21. stoletja v jugozahodnem delu za tri scenarije, vključno z razponi odstopanj (od leve proti desni: pomlad in poletje v zgornji vrstici, jesen in zima v spodnji vrstici). Prikazano je odstopanje od povprečja v obdobju 1981–2010. Črte prikazujejo izravnano mediano modeliranih projekcij, zgornji in spodnji rob pa predstavljata največjo in najmanjšo vrednost (Bertalanič et al., 2018).

Bolj ko se časovno obdobje približuje današnjemu dnevu, bolj se vremenske napovedi v vseh različnih scenarijih ujemajo. To pomeni, da so prihodnje napovedi natančnejše, saj je variabilnost med scenariji sprememb manjša, pa tudi, da se opažene spremembe manj bistveno razlikujejo od preteklih vremenskih razmer. Dejansko je, kot je prikazano na sliki 12, v drugem in četrtem stolpcu prikazana zanesljivost napovedanih sprememb. Zelena barva pomeni, da opazovane spremembe niso statistično značilne. Bolj ko je analizirano obdobje oddaljeno od vremenskih napovedi, bolj zanesljive so napovedi.



Slika 12 Sprememba povprečnih letnih padavin v treh projekcijskih obdobjih v primerjavi z obdobjem 1981–2010 in zanesljivost spremembe za emisijska scenarija RCP4.5 (levo) in 8.5 (desno). Za zanesljivost ocenjenih vrednosti, kjer različni modeli kažejo trende v različnih smereh, so v sivi barvi, spremembe v zeleni barvi so dovolj majhne, da jih ni mogoče razlikovati od naravne spremenljivosti, oranžna barva pa označuje statistično pomembne spremembe, kjer različni modeli kažejo podoben trend (Dolinar, 2018).

3.3 Odprti geografski podnebni podatki (EURO-CORDEX)

3.3.1 Podatki za Italijo

Odprti podatki za prihodnje podnebne napovedi so na voljo na platformi za podnebne napovedi za območje severovzhodne Italije (PPCNE). Regionalni podnebni modeli (RCM) so bili uporabljeni v projektu Euro-Cordex (http://www.euro-cordex.net/) ter popravljeni na podlagi podatkov vseh vremenskih postaj v regijah Benečija in Furlanija-Julijska krajina. Podnebni rastrski sloji so tako na voljo na letni osnovi ali kot 30-letna povprečna obdobja, 2021-2050 ali 2071-2100, za vse scenarije RCP (2.6, 4.5 ali 8.5) in scenarije 5 RCM.

Razpoložljivi podatki o padavinah predstavljajo pluviometrične podatke za obdobje 1991-2020 iz zapisov vseh regionalnih vremenskih postaj, interpoliranih z algoritmi Natural Neighbor. Za temperaturo je bila interpolacija izvedena z linearno regresijo
Razpoložljive podnebne spremenljivke vključujejo:

- povprečno temperaturo
- najnižjo temperaturo
- najvišjo temperaturo
- število tropskih noči letno (noči z minimalno temperaturo > 20 °C)
- število vročih dni letno (dnevi z najvišjo temperaturo > 30 °C)
- število mrzlih dni letno (dnevi z najnižjo temperaturo < 0 °C)
- Indeks trajanja vročinskega vala (število dni s temperaturo 5 °C nad povprečjem, če traja več kot 5 dni)
- Stopinjske dni ogrevanja (HDD) (vsota 20 °C minus dnevna povprečna temperatura, če je nižja od 20 °C)
- Število hladnih dni (CDD) (vsota povprečne dnevne temperature minus 21 °C, če je ta višja od 24 °C)
- Padavine v mm
- število dni z ekstremnimi padavinami (dnevi s padavinami nad 95 percentilom za referenčno obdobje)
- Največje število zaporednih suhih dni (z manj kot 1 mm padavin)
- Število dni s svežim snegom letno (temperatura pod 2 °C in padavine nad 1 mm)

Razpoložljiva ločljivost je 11 km x 11 km za 30-letno povprečje vseh spremenljivk ter 500 m x 500 m in 5 km x 5 km za podatke o temperaturi in padavinah, popravljene zaradi pristranskosti. Ti podatki visoke ločljivosti so na voljo le za letna povprečja.
Modeli RCM, uporabljeni za prihodnje podnebne napovedi PCCNE, so:

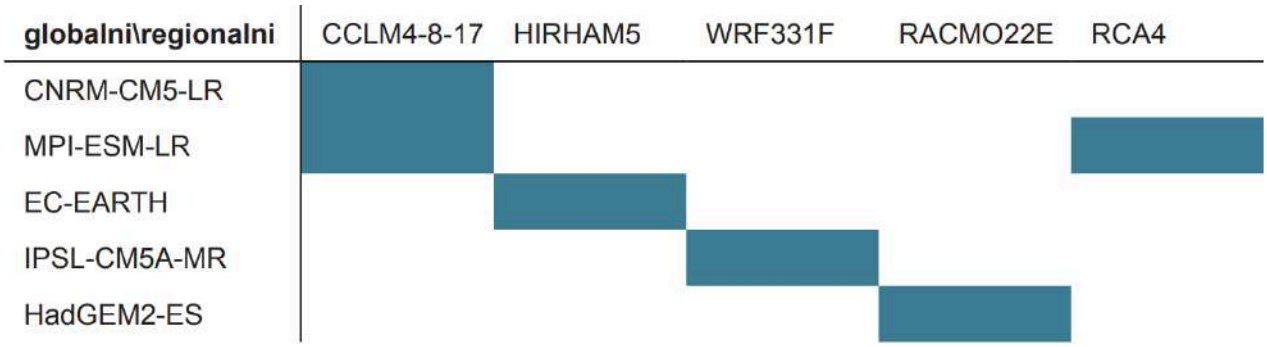
- EC-EARTH_CCLM4-8-17
- EC-EARTH_RACMO22E
- EC-EARTH_RCA4
- HadGEM2-ES_RACMO22E

- MPI-ESM-LR_REMO2009

3.3.2 Slovenija

Podnebni geoprostorski sloji so v različnih vektorskih in rastrskih formatih prosto dostopni na spletnem GIS portalu Atlas okolja, ki ga je vzpostavila Agencija Republike Slovenije za okolje (https://gis.arso.gov.si/atlasokolja). Projekcije prihodnjega podnebja za Slovenijo prav tako izhajajo iz projekta Euro-Cordex in so na voljo na Javnem portalu odprtih podatkov Republike Slovenije (https://podatki.gov.si/) v dveh ločljivostih, 12 km x 12 km in 1 km x 1 km, ter za tri referenčna obdobja, 2011-2040, 2041-2070 in 2071-2100. Ti podatki so na voljo za vse tri obravnavane scenarije RCP. Ciljne spremenljivke so:
- povprečna letna temperatura in temperatura po letnih časih
- najvišja dnevna temperatura, letno in po sezonah
- najnižja dnevna temperatura, letno in po sezonah
- količina padavin, letno in po sezonah
- globalni potencial kopenske evapotranspiracije, letno in po sezonah.

Projekcije so rezultat šestih različnih kombinacij GCM in RCM, ki so vsi na voljo na projektu EuroCordex:



Slika 13 Izbrane kombinacije GCM (v levem stolpcu) in RCM (v zgornji vrstici).

4 ZAKLJUČEK

Glede na podatke in poročila lahko trdimo, da se podnebne spremembe na Krasu že dogajajo, saj se temperatura stalno znatno povečuje. To je mogoče opaziti zlasti v poletni sezoni, in sicer s povečanjem števila tropskih noči (noči, ko se temperatura ne spusti pod 20 °C) in zmanjšanjem števila dni, ko najnižja temperatura pade pod 0 °C. Te trende potrjujejo prihodnje podnebne napovedi, zlasti tiste, ki obravnavajo scenarije z najvišjimi emisijami, tj. scenarij RCP8.5, ki predvideva, da se trend ne bo spremenil.

Pretekli trendi padavin, čeprav so manj izraziti, če upoštevamo letna povprečja, kažejo večjo spremenljivost porazdelitve padavin, ki se v poletnih mesecih znatno zmanjšuje, v zimskem obdobju pa povečuje. Napovedovanje dinamike padavin je zaradi številnih dejavnikov težje. Glede na napovedi GCM se bodo padavine v zimski sezoni verjetno povečale, medtem ko je v poletni sezoni njihova variabilnost med različnimi modeli manj skladna. Predvideva se, da bodo dnevi z ekstremno količino padavin (pod 95 pc) postali pogostejši, skupaj z daljšimi sušnimi obdobji. Podatkovni sloj za padavine je še posebej negotov v prvem obdobju 2041-2071, ki prikazuje neznačilno pozitivno letno nihanje. Nihanje je neenakomerno razporejeno po letnih časih, s povečanjem v zimskem in morebitnim zmanjšanjem v poletnem obdobju, kar večinoma vpliva na režim požarov v naravi.

Projekcije prihodnjega podnebja, ki jih pripravljajo lokalne vremenske agencije, so bistveno natančnejše od globalnih razpoložljivih podnebnih podatkov. Vendar lahko razlike v ločljivosti in združevanju podatkov otežijo njihovo vključevanje v nadnacionalne okvire. To še posebej velja za delo s podatki v oblikah, ki so združljive z geoprostorskimi analizami, kot so ocene nevarnosti in ranljivosti požarov v naravi. Za slovensko stran so podnebni podatki javno dostopni v rastrski obliki z ločljivostjo 100 m x 100 m, za italijansko pa z ločljivostjo 500 m x 500 m. Razlikujejo se tudi obravnavana prihodnja obdobja: italijanske projekcije upoštevajo obdobje 2021-2050 in 2071-2100, slovenske pa 2011-2040, 2041-2070 in 2071-2100. Projekcije za prihodnost za obe državi izhajajo iz projekta EuroCordex, v katerem je bilo sprejetih pet različnih RCM, in so bile dodatno popravljene z dejanskimi meritvami z lokalnih vremenskih postaj. Zato so bile podnebne spremenljivke, vključene v študiji nevarnosti in ranljivosti zaradi požarov v naravi (D1.1.2) za celotno območje Krasa, pridobljene iz baze podatkov, ki prikazujejo projekcije za cel svet (CHELSA). Svetovni

podnebni podatki CHELSA so bili pridobljeni z izbiro podskupine razpoložljivih GCM in scenarijev RCP v skladu s projektom ISIMIP (Intersectoral Impact Model Intercomparion Project) (Brun et al., 2022; Karger et al., 2023).

Rezultati kažejo, da se bo gozd na Krasu v poletni sezoni soočal z vse večjim vročinskim in sušnim stresom, kar bo povečalo ranljivost za požare v naravi zaradi nizke vlažnosti tal, visokih temperatur in kopičenja lesne odmrle mase. Poziv k strogemu čezmejnemu gospodarjenju z gozdovi je zato še kako pomemben, in sicer od zgodnjih faz ocenjevanja nevarnosti požarov v naravi do gašenja požarov.

5 VIRI

ARPA FVG. (2018). *Studio conoscitivo dei cambiamenti climatici e di alcuni loro impatti in Friuli Venezia Giulia*. Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente del FVG.

ARPA FVG. (2023). *Il clima del Friuli Venezia Giulia*. https://www.arpa.fvg.it/temi/temi/meteo-e-clima/pubblicazioni/il-clima-del-friuli-venezia-giulia-2023/

Bertalanič, R., Dolinar, M., Draksler, Honzak, L., Kobold, M., Kozjek, K., Lokošek, N., Medved, A., Vertačnik, G., Vlahović, Ž., & Žust, A. (2018). *Ocena podnebnih sprememb v Sloveniji do konca 21. Stoletja—Sintezno poročilo*. Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija Republike Slovenije za Okolje.

Brun, P., Zimmermann, N. E., Hari, C., Pellissier, L., & Karger, D. N. (2022). Global climate-related predictors at kilometer resolution for the past and future. *Earth System Science Data*, *14*(12), 5573–5603. https://doi.org/10.5194/essd-14-5573-2022

Dupuy, J., Fargeon, H., Martin-StPaul, N., Pimont, F., Ruffault, J., Guijarro, M., Hernando, C., Madrigal, J., & Fernandes, P. (2020). Climate change impact on future wildfire danger and activity in southern Europe: A review. *Annals of Forest Science*, *77*(2), 35. https://doi.org/10.1007/s13595-020-00933-5

Karger, D. N., Conrad, O., Böhner, J., Kawohl, T., Kreft, H., Soria-Auza, R. W., Zimmermann, N. E., Linder, H. P., & Kessler, M. (2017). Climatologies at high resolution for the earth's land surface areas. *Scientific Data*, *4*(1), 170122. https://doi.org/10.1038/sdata.2017.122

Karger, D. N., Lange, S., Hari, C., Reyer, C. P. O., Conrad, O., Zimmermann, N. E., & Frieler, K. (2023). CHELSA-W5E5: Daily 1 km meteorological forcing data for climate impact studies. *Earth System Science Data*, *15*(6), 2445–2464. https://doi.org/10.5194/essd-15-2445-2023

Poldini, L., Ganis ,P., Vidali ,M., Altobelli ,A., Bader ,F., & and Cantele, S. (2018). Inclusion of phytosociological data in an index of vegetation fire danger: Application and mapping on the Karst area around Trieste (Italy). *Plant Biosystems - An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology*, *152*(4), 810–817. https://doi.org/10.1080/11263504.2017.1347110

Interreg Italia-Slovenija
Karst Firewall 5.0

Cofinanziato dall'Unione europea
Sofinancira Evropska unija

COLOPHON / KOLOFON

Editore / Založnik:
Servizio/agenzia di traduzione / Prevajalska služba/agencija:
Redazione / Uredništvo:
Crediti fotografici / Avtorstvo fotografij:
Stampa / Tisk:
Dati dell'edizione / Podatki o izdaji:
Luogo e data di pubblicazione / kraj in datum izdaje:

La presente pubblicazione è reperibile in formato elettronico all'indirizzo: www... /
To objavo lahko najdete v elektronski obliki na naslovu: www...

Il contenuto della presente pubblicazione non rispecchia necessariamente le posizioni ufficiali dell'Unione europea. La responsabilità del contenuto della presente pubblicazione appartiene all'autore [inserire nome dell'autore] / Vsebina te publikacije ne odraža nujno uradnih stališč Evropske unije. Odgovornost za vsebino te publikacije pripada avtorju [vstaviti avtorjevo ime]

Il progetto Karst Firewall 5.0 è co-finanziato dall'Unione europea nell'ambito del Programma Interreg VI-A Italia-Slovenia.
Projekt Karst Firewall 5.0 sofinancira Evropska unija v okviru Programa Interreg VI-A Italija-Slovenija.
www.ita-slo.eu/karst-firewall-50

Interreg Italia-Slovenija

Karst Firewall 5.0

Cofinanziato dall'Unione europea
Sofinancira Evropska unija

Il progetto Karst Firewall 5.0 è co-finanziato dall'Unione europea nell'ambito del Programma Interreg VI-A Italia-Slovenia.
Projekt Karst Firewall 5.0 sofinancira Evropska unija v okviru Programa Interreg VI-A Italija-Slovenija.

www.ita-slo.eu/karst-firewall-50