

# Relazione di analisi del rischio climatico relativo agli eventi estremi per le PMI ad alta intensità energetica

## D.1.1.1

**Progetto:** Climasafe

**ID del progetto:** ITA-SI0800340

**WP:** 1.1

**Data:** 25/02/2026

**Autore:** E-stream

**Co-Autori:** URES, COMET, OZS, GOLEA, PTP

**Versione N.:** 1.1

## Sommario

D.1.1.1 Relazione di analisi del rischio climatico relativo agli eventi estremi per le PMI ad alta intensità energetica

1. Quadro metodologico, contesto di riferimento e obiettivi del Deliverable	4
2. Ambito territoriale e settoriale dell'analisi	4
3. Mappatura delle PMI ad alta intensità energetica e individuazione dei cluster territoriali	5
4. Costruzione del database integrato territoriale, climatico e d'impresa	11
5. Analisi dei rischi climatici, delle vulnerabilità energetiche e degli impatti operativi	12
6. Allegato A	24

## Introduzione al progetto CLIMASAFE

### Contesto e razionale del progetto

Il progetto CLIMASAFE – Gestione dei Fenomeni Climatici Estremi e Resilienza: Strategie e Strumenti per le PMI ad Alta Incidenza Energetica nasce l'obiettivo di affrontare una sfida sempre più strutturale per il sistema produttivo transfrontaliero: l'interazione tra cambiamento climatico, sistemi energetici e vulnerabilità delle PMI energivore.

Negli ultimi anni, l'intensificazione e la crescente frequenza di eventi climatici estremi – ondate di calore, precipitazioni intense, alluvioni, picchi di domanda elettrica – hanno evidenziato la necessità di integrare il rischio climatico nella gestione ordinaria d'impresa. In particolare, le PMI ad alta incidenza energetica risultano esposte a rischi operativi e finanziari significativi, derivanti dalla dipendenza dalla continuità elettrica, dalla sensibilità dei processi produttivi alle variazioni climatiche e dalla limitata capacità di assorbimento degli shock.

CLIMASAFE interviene in questo scenario sviluppando un approccio metodologico integrato e strumenti operativi finalizzati a:

- analizzare il rischio climatico-energetico a livello territoriale e aziendale;
- supportare le PMI nella comprensione del proprio profilo di esposizione;
- rafforzare la resilienza energetica e la capacità di adattamento;
- promuovere un modello replicabile e trasferibile nell'area di cooperazione e oltre.

Il progetto si articola lungo tre direttrici principali:

1. Costruzione di una base conoscitiva integrata (database territoriale, climatico ed energetico);
2. Sviluppo dell'Indice di Rischio Climatico-Energetico (CERI);
3. Sperimentazione operativa e sviluppo di strumenti digitali di supporto decisionale.

L'evento di lancio oggetto del presente report si colloca nella fase conclusiva del WP1 e rappresenta il momento di presentazione pubblica dell'Indice CERI, nonché il passaggio verso la fase applicativa prevista nel WP2.

Il progetto CLIMASAFE è co-finanziato dall'Unione europea nell'ambito del Programma Interreg VI-A Italia-Slovenia.

A questo deliverable hanno collaborato i partner di progetto congiuntamente con i partner associati

# 1. Quadro metodologico, contesto di riferimento e obiettivi del Deliverable

Il presente deliverable è sviluppato nell'ambito delle attività di analisi e valutazione previste dal progetto CLIMASAFE e rappresenta il documento tecnico-scientifico di riferimento per la caratterizzazione del rischio clima-energia che interessa le piccole e medie imprese (PMI) ad alta intensità energetica operanti nell'area transfrontaliera tra Italia e Slovenia.

Il documento è concepito come strumento fondativo per lo sviluppo delle successive fasi progettuali, incluse la definizione delle azioni pilota, lo sviluppo della piattaforma digitale di supporto alle decisioni e la formulazione di raccomandazioni strategiche a supporto delle politiche pubbliche e delle strategie di adattamento aziendali.

L'obiettivo generale del deliverable è costruire un quadro conoscitivo integrato in grado di spiegare in modo sistematico come il cambiamento climatico — attraverso l'intensificazione e la crescente frequenza degli eventi estremi — interagisca con i sistemi energetici e con le strutture produttive delle PMI, generando nuove forme di rischio operativo.

In tale contesto, il **CERI – Climate–Energy Risk Index** è adottato quale principale strumento metodologico per la sintesi e l'interpretazione dei risultati analitici, consentendo di tradurre informazioni multidimensionali complesse in un indicatore normalizzato e comparabile, idoneo a supportare i processi decisionali.

## 2. Ambito territoriale e settoriale dell'analisi

L'analisi sviluppata nel presente deliverable fa riferimento all'area transfrontaliera individuata dal progetto CLIMASAFE, comprendente territori caratterizzati da forti interconnessioni economiche e produttive, ma anche da significative differenze strutturali in termini di organizzazione industriale e gestione delle risorse energetiche.

In particolare, l'attenzione è rivolta alle province italiane di Venezia e alla regione Friuli Venezia Giulia, nonché ai comuni sloveni con elevata concentrazione di attività industriali, selezionati sulla base della rilevanza dei consumi energetici e della presenza di PMI operanti in settori ad alta intensità energetica (Primorsko-notranjska / Carniola Interna; Osrednjeslovenska / Slovenia Centrale; Gorenjska / Alta Carniola; Obalno-kraška / Litorale-Carso; Goriška / Regione di Gorizia).

Dal punto di vista settoriale, l'analisi si concentra sui comparti produttivi che combinano un'elevata dipendenza dall'energia elettrica con una significativa esposizione agli impatti del cambiamento climatico. Tali settori includono, in particolare, l'industria agroalimentare, la metallurgia, la lavorazione dei metalli, la meccanica e la produzione di mobili.

La selezione di tali settori consente di analizzare una gamma diversificata di processi produttivi, caratterizzati da differenti profili di consumo energetico e specifiche vulnerabilità climatiche, garantendo al contempo la comparabilità tra i diversi contesti territoriali.

Ai fini della definizione delle imprese ad alta intensità energetica, si è fatto riferimento al quadro normativo italiano, nell'ambito del quale il concetto di impresa energivora assume particolare rilevanza per la caratterizzazione dell'esposizione energetica. Ai sensi del Decreto Ministeriale 21 dicembre 2017, e successive modifiche, sono considerate imprese a forte consumo di energia elettrica quelle con un consumo medio annuo pari o superiore a 1 GWh e che soddisfano almeno una delle seguenti condizioni:

- (i) appartenenza a settori economici individuati come esposti al rischio di carbon leakage; oppure
- (ii) rapporto tra costo dell'energia elettrica e Valore Aggiunto Lordo (VAL) pari o superiore al 20%.

Ai fini della presente analisi, non si applicano i criteri relativi al consumo superiore a 1 GWh e alla classificazione in termini di carbon leakage. Le imprese sono pertanto considerate ad alta intensità energetica qualora il rapporto tra costi energetici totali e Valore Aggiunto Lordo (VAL) sia pari o superiore al 20%.

### **3. Mappatura delle PMI ad alta intensità energetica e individuazione dei cluster territoriali**

La mappatura delle PMI ad alta intensità energetica costituisce una fase preliminare essenziale dell'analisi del rischio clima-energia, in quanto consente di individuare la distribuzione spaziale e settoriale delle attività produttive maggiormente esposte ai rischi oggetto di studio.

Tale attività è stata sviluppata mediante un approccio integrato che combina l'analisi dei dati energetici, la classificazione settoriale delle imprese e l'analisi territoriale dei sistemi produttivi.

Nel contesto italiano, la mappatura si basa sull'analisi dei Punti di Prelievo (POD) e sulla classificazione delle attività economiche secondo i codici ATECO.

I dati relativi ai consumi di energia elettrica degli utenti non domestici in bassa tensione sono stati acquisiti dal portale dei consumi energetici di ARERA, che fornisce informazioni sui consumi medi delle attività produttive alimentate in bassa tensione.

In particolare, sono stati utilizzati dati sui consumi elettrici (espressi in kWh), aggregati su base mensile. Tali dati sono consultabili per regione e provincia, con possibilità di disaggregazione per anno di riferimento, livello di potenza contrattuale e classificazione ATECO dell'attività economica.

I dati, disponibili sia in formato grafico sia tabellare nella sezione "Allegati" del portale, derivano da elaborazioni effettuate dal Gestore del Sistema Informativo Integrato (SII) sulla base delle misurazioni fornite dalle imprese di distribuzione dell'energia elettrica.

## PRELIEVO DEI CLIENTI NON DOMESTICI IN BT PER REGIONE

Mensili per regione

Confronto tra periodi per regione

Mensili per provincia

Anno	Tariffa-Potenza (kW)	Sezione ATECO	Divisione ATECO	Gruppo ATECO	Classe ATECO
2024	BTA6: potenza disponib...	(Tutti)	(Tutti)	(Tutti)	(Tutti)

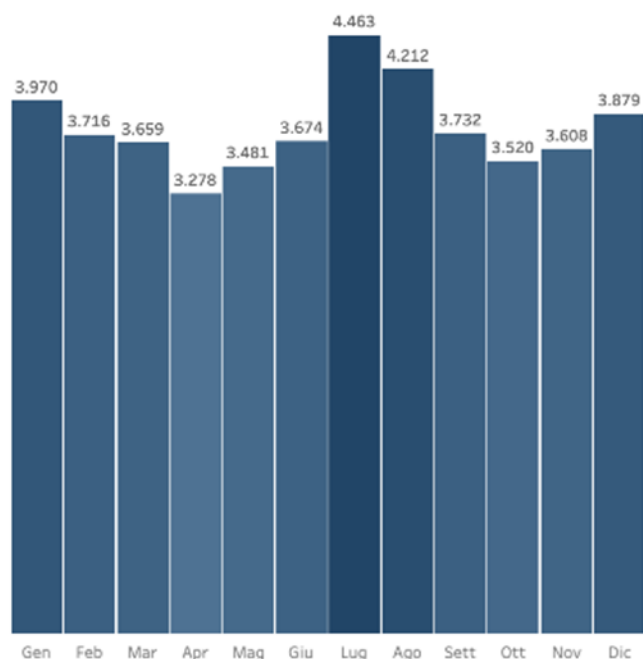
scarica dati

PRELIEVO MEDIO ANNUO (2024) : 45.191 kWh

POD ANNUO (2024) : 24.206



PRELIEVO MEDIO MENSILE (kWh) per Friuli-Venezia Giulia



Elaborazioni del Gestore del Sistema Informativo Integrato (SII) sulla base dei dati di misura messi a disposizione dalle imprese di distribuzione.

Figura 1 – Prelievi di energia elettrica in bassa tensione – Friuli Venezia Giulia

## PRELIEVO DEI CLIENTI NON DOMESTICI IN BT PER PROVINCIA

Mensili per regione

Confronto tra periodi per regione

Mensili per provincia

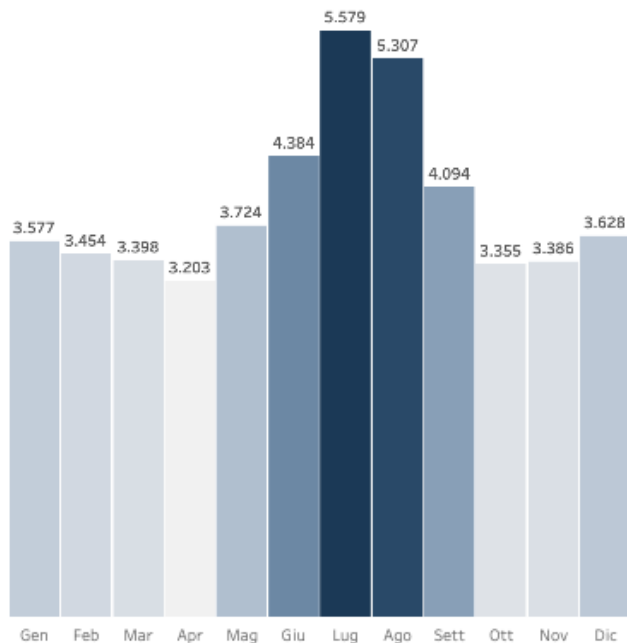
Anno	Tariffa-Potenza (kW)	Sezione ATECO	Divisione ATECO	Gruppo ATECO	Classe ATECO
2024	BTAG: potenza disponib...	(Tutti)	(Tutti)	(Tutti)	(Tutti)

scarica dati

PRELIEVO MEDIO ANNUO (2024): 47.087 kWh

POD ANNUO (2024): 19.669

PRELIEVO MEDIO MENSILE (kWh) per Venezia



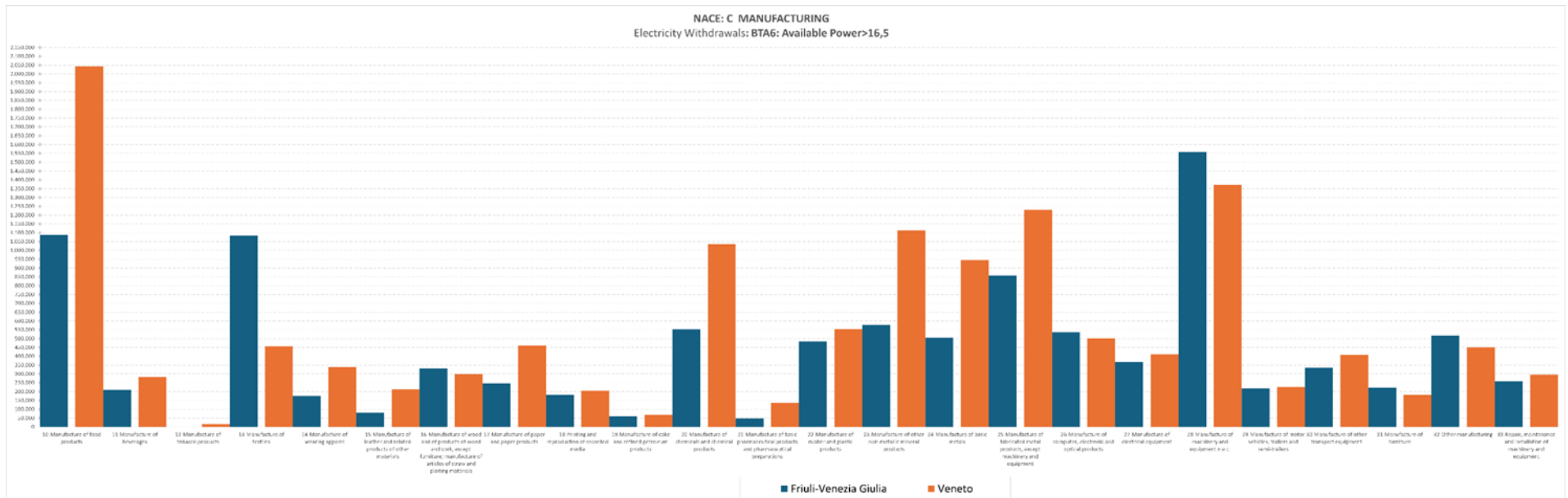
Elaborazioni del Gestore del Sistema Informativo Integrato (SII) sulla base dei dati di misura messi a disposizione dalle imprese di distribuzione.

Figura 2 – Prelievi di energia elettrica in bassa tensione – Venezia

## Settore manifatturiero

### Consumi di energia elettrica (kWh) – Utenti non domestici in bassa tensione

Codice NACE	Descrizione NACE Rev.2	Friuli Venezia Giulia (kWh)	Veneto (kWh)
10	Industria alimentare	1,087,011.00	2,042,453.00
11	Industria delle bevande	210,069.00	281,668.00
12	Industria del tabacco	0.00	15,257.00
13	Industrie tessili	1,084,849.00	455,235.00
14	Confezione di articoli di abbigliamento	175,269.00	339,772.00
15	Fabbricazione di articoli in pelle e simili	79,270.00	212,563.00
16	Industria del legno e dei prodotti in legno e sughero (esclusi i mobili); fabbricazione di articoli in paglia e materiali da intreccio	331,838.00	299,586.00
17	Fabbricazione di carta e prodotti di carta	246,607.00	460,487.00
18	Stampa e riproduzione di supporti registrati	182,209.00	203,925.00
19	Fabbricazione di coke e prodotti derivanti dalla raffinazione del petrolio	60,805.00	69,178.00
20	Fabbricazione di prodotti chimici	552,521.00	1,036,499.00
21	Fabbricazione di prodotti farmaceutici di base e preparati farmaceutici	48,728.00	135,347.00
22	Fabbricazione di articoli in gomma e materie plastiche	483,070.00	554,488.00
23	Fabbricazione di altri prodotti della lavorazione di minerali non metalliferi	576,972.00	1,114,007.00
24	Produzione di metalli di base	504,557.00	944,563.00
25	Fabbricazione di prodotti in metallo (esclusi macchinari e attrezzature)	856,778.00	1,231,211.00
26	Fabbricazione di computer e prodotti di elettronica e ottica	535,656.00	501,399.00
27	Fabbricazione di apparecchiature elettriche	366,879.00	410,271.00
28	Fabbricazione di macchinari e attrezzature n.c.a.	1,557,108.00	1,371,769.00
29	Fabbricazione di autoveicoli, rimorchi e semirimorchi	217,186.00	226,457.00
30	Fabbricazione di altri mezzi di trasporto	334,532.00	409,595.00
31	Fabbricazione di mobili	221,618.00	182,708.00
32	Altre industrie manifatturiere	517,444.00	450,750.00
33	Riparazione e installazione di macchinari e attrezzature	258,146.00	296,420.00



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

L'analisi evidenzia un tessuto produttivo altamente frammentato, caratterizzato da un elevato numero di PMI con consumi energetici individualmente limitati ma collettivamente significativi.

Tale configurazione determina una forma di rischio clima–energia diffuso, in cui l'esposizione non è concentrata in pochi nodi critici, bensì distribuita su un ampio numero di imprese potenzialmente vulnerabili, rafforzando la necessità di politiche di mitigazione e adattamento calibrate a livello territoriale e settoriale.

Nel contesto sloveno, l'analisi evidenzia che il sistema produttivo presenta una configurazione energetica fortemente polarizzata.

I consumi elettrici industriali risultano concentrati in un numero limitato di comuni e, al loro interno, in poche imprese ad altissima intensità energetica.

La mappatura territoriale consente di individuare cluster industriali in cui la dipendenza energetica assume una dimensione sistemica: l'esposizione a eventi climatici estremi (alluvioni, ondate di calore, interruzioni di rete) o a shock infrastrutturali può generare effetti a cascata sull'intero tessuto economico locale.

In tali contesti, il rischio clima–energia non è distribuito in modo uniforme, ma concentrato attorno a imprese “ancora” che assorbono quote predominanti dei consumi comunali.

L'analisi dei consumi elettrici annui (kWh) evidenzia tre elementi strutturali:

- Elevata concentrazione comunale dei consumi industriali
- Presenza di grandi imprese energivore dominanti
- Formazione di cluster territoriali monosettoriali o altamente specializzati

Tale configurazione determina una vulnerabilità sistemica locale: l'impatto su una singola infrastruttura critica o su un impianto di grandi dimensioni può compromettere l'occupazione, le catene di fornitura e la continuità produttiva dell'intero territorio.

## Principali cluster energetici individuati

Comune	Impresa/e ancora	Consumo annuo (kWh)	Settore dominante	Profilo di rischio sistemico
Kanal	Salonit Anhovo D.D.	1,041,551,777	Cemento	Estremo
Iirska Bistrica	Lesonit d.o.o.; Termoplasti-Plama	200,000,000; 13,649,607	Legno e materie plastiche	Elevato
Idrija	Kolektor Koling; Hidria d.o.o.	31,281,260; 27,035,549	Automotive / Meccanica	Medio-elevato
Ajdovščina	Mlinotest; Fructal; Incom	28,760,870; 24,507,972; 20,087,300	Agroalimentare	Sistemico
Pivka	Pivka Delamaris; RZ Pellets	18,995,580; 11,947,753	Alimentare e biocarburanti	Significativo
Cerkno	ETA d.o.o.	19,553,308	Apparecchiature elettriche	Elevato

La mappatura conferma che il sistema industriale sloveno non presenta una distribuzione diffusa dei consumi energetici, bensì una struttura concentrata e clusterizzata. Tale modello:

- Amplifica la vulnerabilità territoriale;
- Incrementa la dipendenza da singole infrastrutture di rete;
- Genera rischi economici sistemici in caso di shock climatici o energetici.

L'analisi comparativa tra i due contesti consente di individuare differenti tipologie di cluster territoriali e fornisce una solida base per l'applicazione del **CERI**, che considera non solo l'intensità dei consumi energetici, ma anche la configurazione strutturale e la distribuzione spaziale delle attività produttive.

## 4. Costruzione del database integrato territoriale, climatico e d'impresa

Lo sviluppo di un database integrato rappresenta una componente chiave delle attività svolte nell'ambito del progetto CLIMASAFE, in quanto costituisce l'infrastruttura informativa su cui si fonda l'intera analisi del rischio clima-energia.

Il database è stato progettato per integrare e armonizzare dati provenienti da fonti eterogenee, superando le differenze metodologiche e statistiche tra i sistemi nazionali italiano e sloveno.

Il database comprende dati energetici relativi ai consumi di energia elettrica e, ove disponibili, ai consumi di energia termica delle imprese, nonché dati territoriali e socio-economici e un insieme strutturato di indicatori climatici.

I dati climatici includono sia serie storiche sia proiezioni future fino all'orizzonte 2050, sviluppate sulla base degli scenari IPCC e fornite da fonti istituzionali quali Copernicus e le agenzie ambientali regionali.

L'integrazione di tali dataset consente di associare a ciascuna impresa o cluster produttivo uno specifico profilo di rischio climatico coerente con le caratteristiche territoriali e produttive del contesto di riferimento.

La struttura del database è concepita per supportare analisi integrate e il calcolo del CERI, garantendo tracciabilità delle fonti e riproducibilità dei risultati.

## **5. Analisi dei rischi climatici, delle vulnerabilità energetiche e degli impatti operativi**

L'analisi dei rischi climatici e delle vulnerabilità energetiche rappresenta il nucleo concettuale e metodologico del presente deliverable, in quanto consente il passaggio da una descrizione statica del contesto territoriale e produttivo a una valutazione dinamica dei potenziali effetti del cambiamento climatico sulle attività economiche.

In linea con i principi adottati nei principali framework internazionali di valutazione del rischio climatico, il rischio è inteso come il risultato dell'interazione tra pericolo climatico (hazard), esposizione del sistema produttivo e capacità di adattamento delle imprese, con particolare attenzione agli impatti operativi e alla continuità del servizio energetico.

Nel contesto delle PMI ad alta intensità energetica, tale interazione assume particolare rilevanza, poiché i processi produttivi dipendono fortemente dalla disponibilità di energia elettrica e, al contempo, risultano sensibili alle variazioni delle condizioni climatiche.

Eventi climatici estremi, anche di durata limitata, possono pertanto generare effetti sproporzionati rispetto alla loro intensità fisica, determinando interruzioni operative, perdite economiche e, nei casi più critici, un deterioramento della competitività aziendale.

### **5.1 Caratterizzazione dei pericoli climatici**

L'analisi dei pericoli climatici si concentra sugli eventi che, sulla base delle evidenze scientifiche e dei dati disponibili, risultano maggiormente rilevanti per il sistema produttivo dell'area transfrontaliera considerata.

In tale contesto, particolare attenzione è dedicata alle ondate di calore, alle ondate di freddo e agli eventi di precipitazione intensa, inclusi episodi di alluvione ed esondazione.

## Contesto Italiano

Le ondate di calore rappresentano uno dei pericoli climatici più significativi per le PMI ad alta intensità energetica.

L'analisi delle serie storiche e delle proiezioni climatiche evidenzia un aumento sia della frequenza sia dell'intensità di tali eventi.

In particolare, gli indicatori climatici mostrano un incremento generalizzato dei giorni estivi (SU95p) e dell'indice di durata delle ondate di calore (Warm Spell Duration Index – WSDI), con intensificazione più marcata nelle aree caratterizzate da elevata densità produttiva.

In tali contesti, le alte temperature determinano un aumento dei consumi elettrici legati al raffrescamento degli ambienti di lavoro.

Tale fenomeno può essere quantificato attraverso l'incremento dei Cooling Degree Days (CDD), indicatore che misura la domanda energetica per la climatizzazione estiva, la quale è prevista in crescita significativa, in particolare nelle aree di pianura e costiere.

Questa dinamica incide direttamente sui carichi elettrici, generando picchi di domanda estiva che possono superare la capacità delle infrastrutture esistenti, aumentando il rischio di blackout e interruzioni del servizio proprio nei periodi di massimo stress della rete.

Inoltre, tale effetto risulta aggravato dal fenomeno dell'isola di calore urbana, tipico delle aree densamente edificate e impermeabilizzate, dove le temperature medie possono essere significativamente superiori rispetto alle aree rurali circostanti.

Oltre ai consumi energetici, le ondate di calore incidono anche sulla produttività del lavoro, aumentando i rischi per la salute e la sicurezza dei lavoratori (colpi di calore, stress termico), in particolare per le attività svolte all'aperto o in ambienti industriali non climatizzati.

	Nord-ovest		Nord-est		Centro		Sud		Isole	
	Valore medio	±DS	Valore medio	±DS	Valore medio	±DS	Valore medio	±DS	Valore medio	±DS
TG (°C)	10,0	4,5	10,1	4,1	13,9	2,0	13,9	2,5	15,8	1,7
WD (giorni)	77	5	73	4	74	2	77	2	80	2
WW (giorni)	55	20	52	16	52	10	62	12	62	7
HDDS (GG)	3180	1448	3171	1293	1934	535	1925	669	1384	390
CDDS (GG)	78	81	97	97	157	91	164	128	225	155
PRCPTOT (mm)	912	277	922	288	897	246	667	227	561	121
R20 (giorni)	10	5	11	6	10	5	5	4	5	2
RX1DAY(mm)	50	12	51	15	51	13	35	16	39	10
SDII(mm)	10	2	10	2	10	2	8	2	8	1
PR99PRCTILE(mm)	46	11	46	12	46	11	34	13	39	8
CDD(giorni)	35	7	33	4	37	8	50	11	81	12
SPI3 classe siccità severa (%)	5	1	5	1	5	1	4	1	4	1
SPI3 classe siccità estrema (%)	3	1	3	1	3	1	2	1	2	1
SPI6 classe siccità severa (%)	4	1	5	1	5	1	4	1	5	1
SPI6 classe siccità estrema (%)	2	1	2	1	3	1	2	1	2	1
SPI12 classe siccità severa (%)	5	1	4	1	4	1	3	2	5	2
SPI12 classe siccità estrema (%)	2	1	2	1	3	1	2	1	2	1
SPI24 classe siccità severa (%)	6	2	4	2	4	1	3	2	4	2
SPI24 classe siccità estrema (%)	2	2	2	2	3	2	1	1	1	1
PET(mm)	650	138	658	130	757	68	750	88	806	72
CSDI(giorni)	6	2	5	2	5	1	6	1	5	1
FD(giorni)	93	63	98	56	34	22	23	26	3	7
WSDI(giorni)	7	1	8	2	8	1	6	2	5	1
HUMIDEX(giorni)	4	6	7	9	13	9	9	9	6	8
SU95P(giorni)	23	21	28	24	43	18	37	21	34	17
TR(giorni)	8	8	9	12	9	11	24	21	36	19

Figura 3 – Valori medi annui degli indicatori per area geografica (Fonte: PNACC)

Valori medi stagionali 1981-2010									
	DJF	±DS	MAM	±DS	JJA	±DS	SON	±DS	
Nord- Ovest	1,6	3,6	9,2	5,0	18,6	5,1	10,4	4,2	Temperatura media (°C)
	170	83	249	70	205	94	289	81	Precipitazione cumulata (mm)
Nord-Est	1,1	3,2	9,4	4,5	19,1	4,8	10,6	4,0	Temperatura media (°C)
	160	69	228	64	242	101	293	104	Precipitazione cumulata (mm)
Centro	6,3	2,0	12,4	1,9	22,1	1,9	14,8	2,1	Temperatura media (°C)
	247	75	217	61	118	41	314	87	Precipitazione cumulata (mm)
Sud	6,7	2,5	11,8	2,5	21,9	2,5	15,1	2,5	Temperatura media (°C)
	228	92	157	59	64	31	216	66	Precipitazione cumulata (mm)
Isole	9,2	1,5	13,4	1,8	23,1	1,9	17,3	1,7	Temperatura media (°C)
	216	36	129	46	23	11	194	33	Precipitazione cumulata (mm)

Figura 4 – Valori medi stagionali della temperatura media e delle precipitazioni per area geografica (Fonte: PNACC)

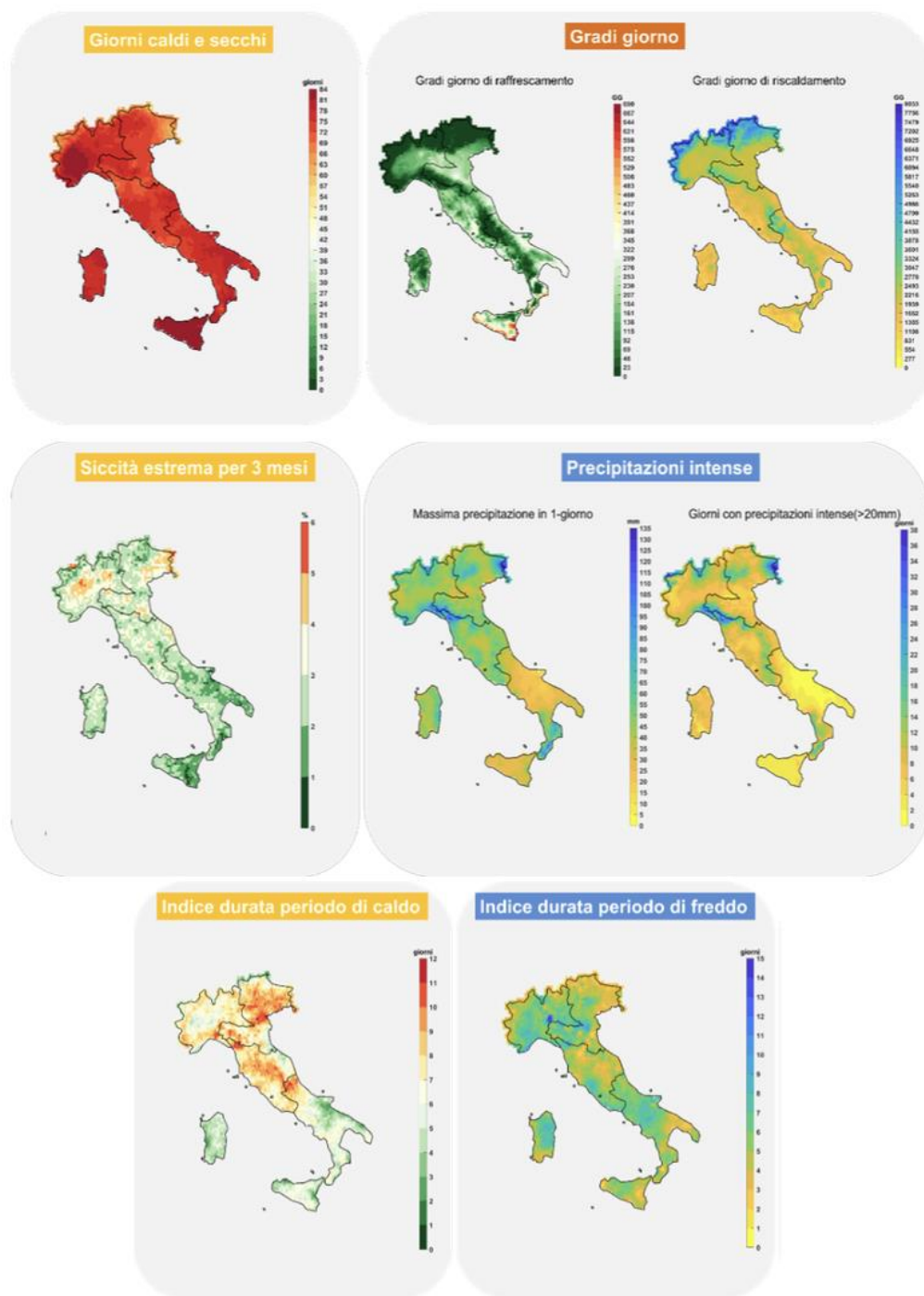


Figura 5 – Mappe degli indicatori (Fonte: PNACC)

Le ondate di freddo, pur mostrando una tendenza meno marcata rispetto agli eventi di calore estremo, continuano a rappresentare un pericolo per alcune tipologie di imprese.

Le proiezioni climatiche indicano una riduzione generalizzata degli Heating Degree Days (HDD) e dei giorni di gelo (FD), suggerendo una diminuzione della domanda energetica invernale.

Tuttavia, episodi di freddo intenso possono ancora verificarsi, incidendo in particolare sulle imprese che operano in ambienti non adeguatamente isolati o che dipendono da sistemi di riscaldamento ad alta intensità energetica.

In tali casi, le basse temperature possono influire negativamente sull'efficienza produttiva e generare criticità operative legate alle prestazioni delle apparecchiature (ad esempio congelamento di tubazioni o fluidi di processo) e alla sicurezza dei lavoratori, rendendo necessari interventi straordinari di manutenzione o adeguamenti strutturali.

Gli eventi di precipitazione intensa e le alluvioni costituiscono un ulteriore pericolo climatico significativo.

I dati evidenziano un trend crescente nell'intensità delle precipitazioni, monitorato attraverso indicatori quali il numero di giorni con precipitazioni superiori a 20 mm (R20) e il 95° percentile delle precipitazioni giornaliere (R95p), che segnalano una concentrazione delle piogge in eventi brevi e violenti.

Tali fenomeni possono generare impatti diretti rilevanti sulle attività produttive:

**Danni fisici:** allagamento di siti produttivi, magazzini e impianti (con particolare vulnerabilità dei macchinari elettrici, delle pompe e dei compressori ubicati al piano terra o nei locali interrati).

**Interruzione logistica:** blocco delle vie di accesso e delle reti logistiche, impedendo l'approvvigionamento di materie prime e la distribuzione dei prodotti finiti.

**Rischio NaTech (Natural triggering Technological disasters):** per le industrie che gestiscono sostanze pericolose, eventi naturali quali le alluvioni possono innescare incidenti tecnologici (rilascio di inquinanti, incendi, esplosioni), amplificando i danni ambientali ed economici e comportando rischi per la salute pubblica.

Le PMI, spesso caratterizzate da risorse finanziarie e organizzative limitate, risultano particolarmente vulnerabili, soprattutto quando localizzate in aree urbane dove l'elevata impermeabilizzazione del suolo riduce la capacità di drenaggio e favorisce fenomeni di allagamento pluviale anche in assenza di esondazioni fluviali di grande entità.

## Contesto sloveno

L'analisi dei pericoli climatici si concentra sugli eventi che, sulla base delle evidenze scientifiche e dei dati disponibili, risultano maggiormente rilevanti per il sistema territoriale e produttivo della

Slovenia. In tale contesto, particolare attenzione è rivolta alle ondate di calore, alla riduzione delle ondate di freddo e agli eventi di precipitazione intensa, inclusi gli episodi di alluvione.

Le ondate di calore rappresentano uno dei pericoli più significativi, con proiezioni che indicano un aumento della temperatura media annua in Slovenia compreso tra 1,3 °C e 4,1 °C entro la fine del XXI secolo, a seconda dello scenario emissivo considerato.

L'analisi dei modelli climatici evidenzia un incremento sia della frequenza sia dell'intensità di tali eventi. In particolare, gli indicatori mostrano un aumento generalizzato dei "giorni caldi" (temperatura massima superiore a 25 °C) e dei "giorni molto caldi" (superiore a 30 °C). Questi ultimi, in particolare nelle aree di pianura delle regioni centrali, nord-orientali e sud-occidentali, potrebbero aumentare di 5–10 giorni nel prossimo futuro e fino a 60 giorni entro la fine del secolo nello scenario più pessimistico.

Tale dinamica incide direttamente sul carico termico estivo, determinando una maggiore domanda di raffrescamento negli ambienti di lavoro.

Il fenomeno può essere ulteriormente quantificato attraverso l'aumento delle "notti tropicali" (temperatura minima non inferiore a 20 °C), il cui numero potrebbe crescere nelle aree di pianura fino a 20–60 giorni all'anno, impedendo il naturale raffreddamento notturno delle infrastrutture e dell'organismo umano. Tali condizioni aumentano lo stress sul sistema energetico e i rischi per la salute e la sicurezza dei lavoratori.

Per quanto concerne le ondate di freddo, le fonti indicano una tendenza opposta: il numero di giorni freddi (temperatura minima inferiore a 0 °C) e di giorni di ghiaccio (temperatura massima inferiore a 0 °C) è destinato a diminuire progressivamente. Entro la fine del secolo si prevede una riduzione di circa 20 giorni freddi all'anno nello scenario intermedio e fino a 40–60 giorni nello scenario più pessimistico, con effetti più marcati nelle aree montane di alta quota.

Infine, gli eventi di precipitazione intensa e le conseguenti alluvioni rappresentano una minaccia crescente per le attività economiche e le infrastrutture.

Le proiezioni indicano un aumento sia dell'intensità sia della frequenza delle precipitazioni estreme, in particolare nei periodi invernali e primaverili. Il numero di giorni con precipitazioni superiori a 20 mm è previsto in crescita su tutto il territorio nazionale.

Ciò si rifletterà in un incremento delle portate di piena (picchi medi annui) compreso mediamente tra il 20% e il 30%, con aumenti che potrebbero raggiungere il 40% in quasi tutte le stazioni di misura entro la fine del secolo, intensificando il rischio di esondazioni lungo i corsi d'acqua.

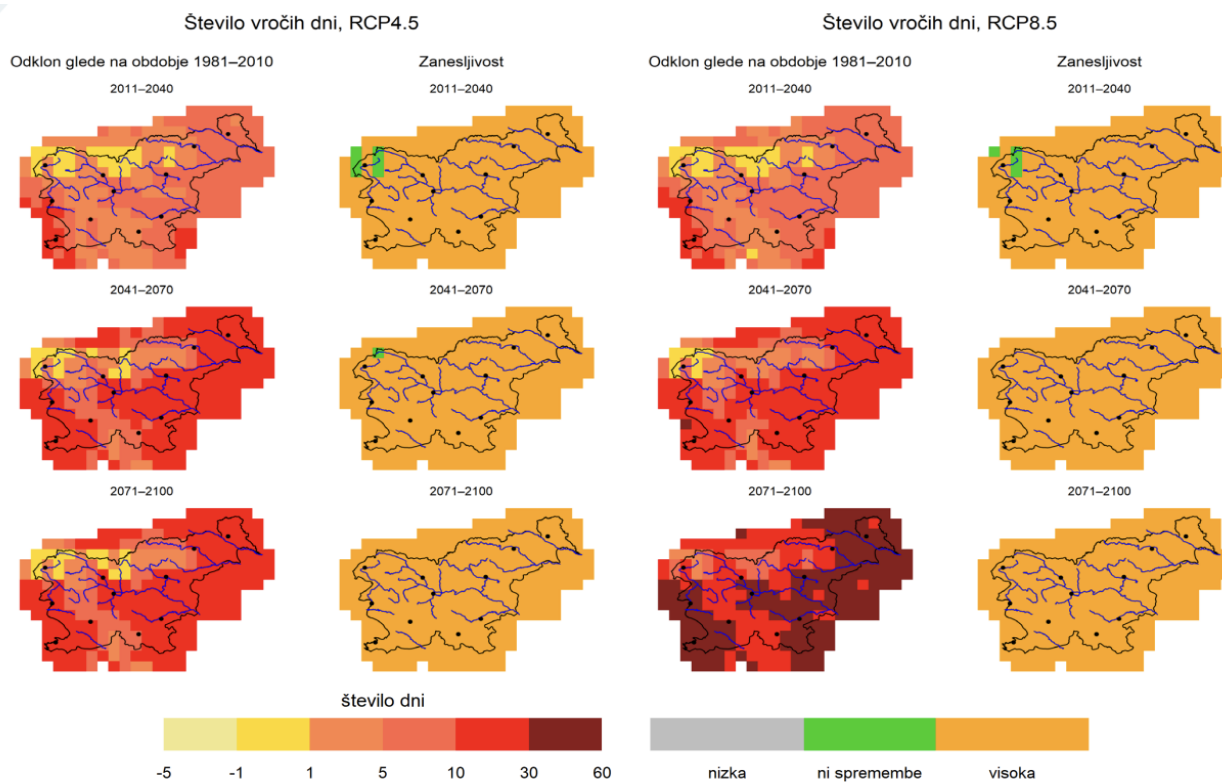


Figura 6 – Variazione prevista del numero di giorni caldi in Slovenia in tre periodi futuri, con livelli di confidenza nello scenario RCP4.5 (sinistra) e RCP8.5 (destra), espressa come scostamento rispetto al periodo di riferimento 1981–2010 (Fonte: OPS Slovenia – *Ocena podnebnih sprememb v Sloveniji*)

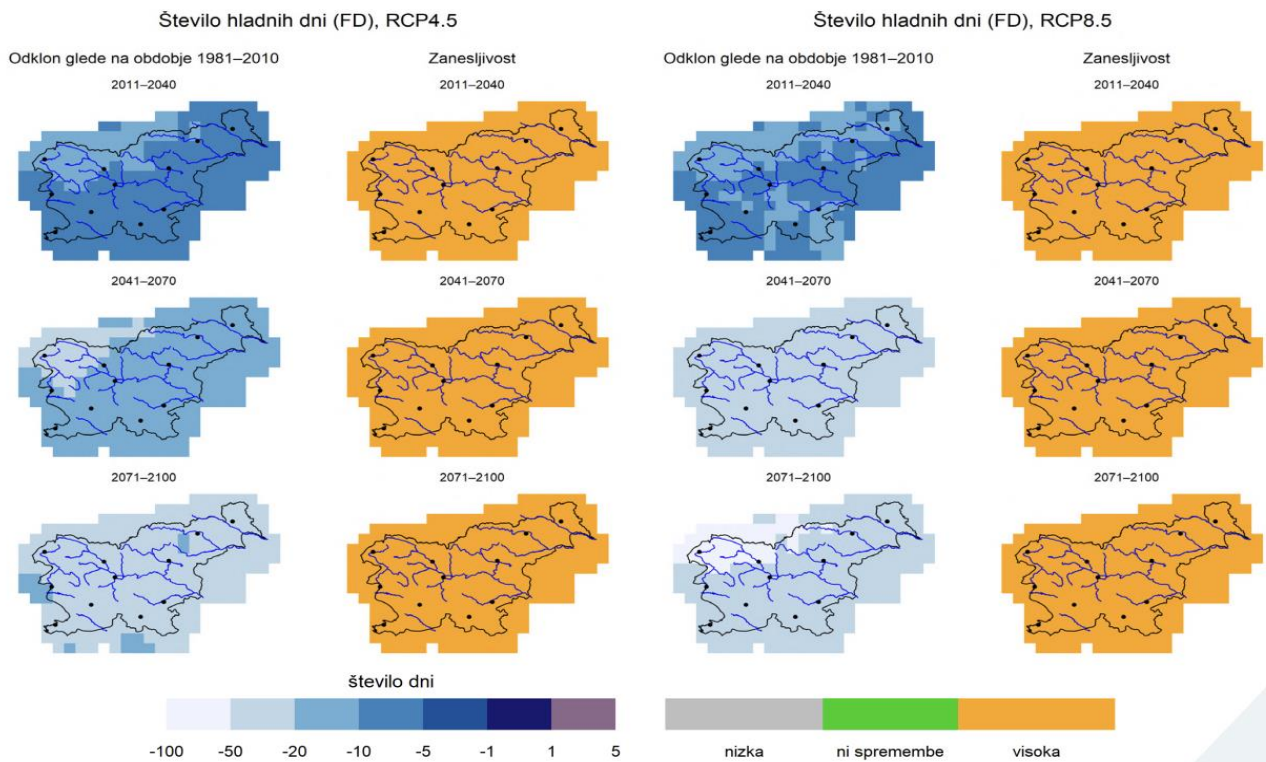


Figura 7 – Variazione prevista del numero di giorni freddi in Slovenia in tre periodi futuri, con livelli di confidenza nello scenario RCP4.5 (sinistra) e RCP8.5 (destra), espressa come scostamento rispetto al periodo di riferimento 1981–2010 (Fonte: OPS Slovenia – *Ocena podnebnih sprememb v Sloveniji*)

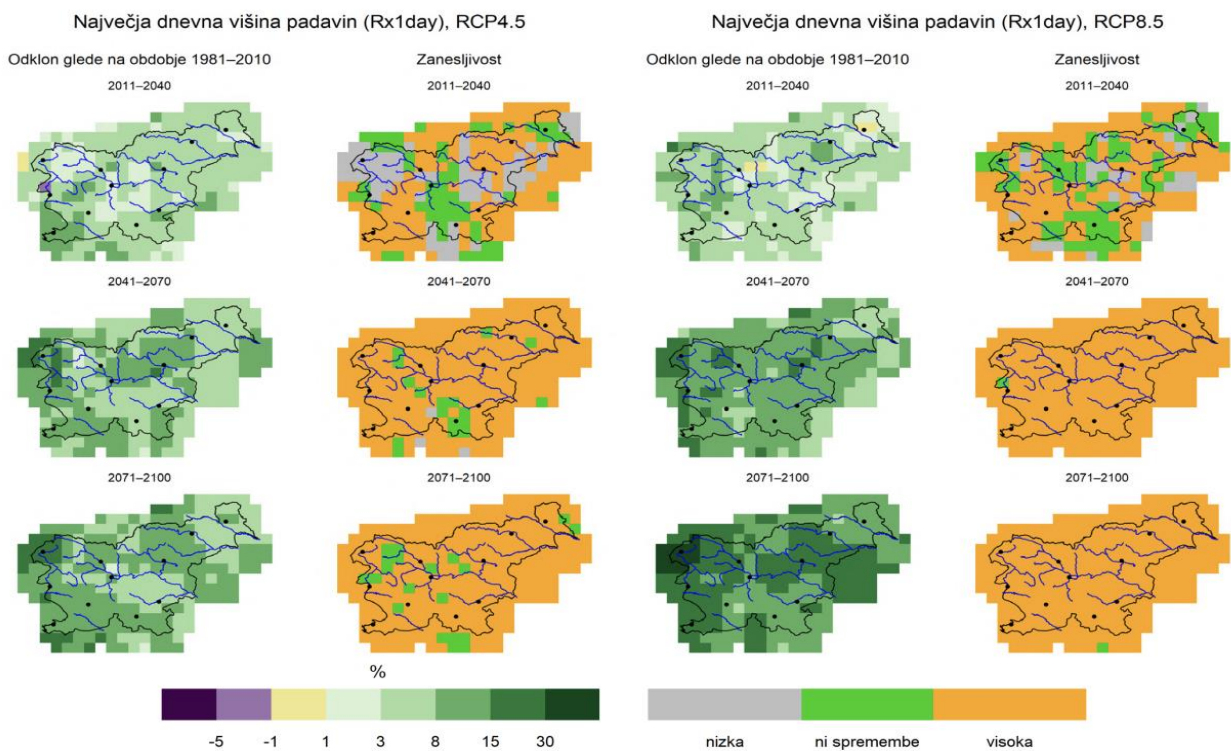


Figura 8 – Variazione prevista dell'intensità massima giornaliera delle precipitazioni in Slovenia in tre periodi futuri, con livelli di confidenza nello scenario RCP4.5 (sinistra) e RCP8.5 (destra), espressa come scostamento relativo rispetto al periodo di riferimento 1981–2010 (Fonte: OPS Slovenia – *Ocena podnebnih sprememb v Sloveniji*)

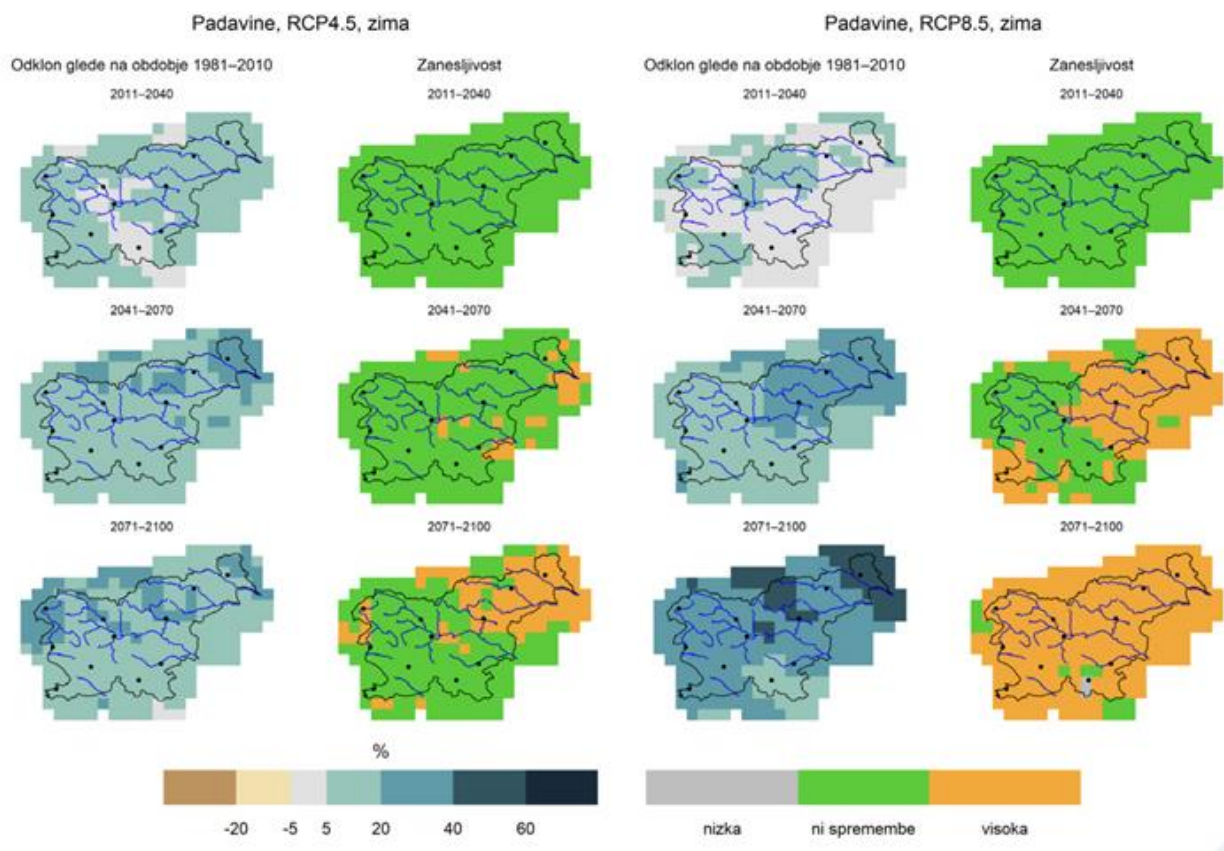


Figura 9 – Variazione prevista delle precipitazioni medie invernali in Slovenia in tre periodi futuri, con livelli di confidenza nello scenario RCP4.5 (sinistra) e RCP8.5 (destra), espressa come scostamento relativo rispetto al periodo di riferimento 1981–2010 (Fonte: OPS Slovenia – Ocena podnebnih sprememb v Sloveniji)

Le ondate di freddo, pur mostrando una tendenza meno marcata rispetto agli eventi di calore estremo, continuano a rappresentare un rischio per diverse tipologie di imprese. Le proiezioni climatiche indicano una riduzione generalizzata dei “giorni freddi” (giorni con temperatura minima inferiore a 0 °C) e dei “giorni di ghiaccio” (temperatura massima inferiore a 0 °C), suggerendo una diminuzione della domanda energetica invernale.

Nello scenario moderato RCP4.5, il numero di giorni freddi è previsto in diminuzione di circa 10 giorni nel breve termine (fino al 2040) e di circa 20 giorni all’anno nella seconda metà del secolo.

Tuttavia, episodi di freddo intenso possono ancora verificarsi, incidendo in particolare sulle imprese che operano in ambienti non isolati o che dipendono da sistemi di riscaldamento ad alta intensità energetica. In tali casi, le basse temperature possono compromettere l’efficienza produttiva e generare criticità operative legate alle prestazioni degli impianti e alla sicurezza dei lavoratori, rendendo necessari interventi straordinari di manutenzione o adeguamenti strutturali.

Gli eventi di precipitazione intensa e le alluvioni rappresentano un ulteriore pericolo climatico significativo, con proiezioni che indicano un aumento sia dell’intensità sia della frequenza delle precipitazioni estreme.

I dati evidenziano una tendenza crescente nell'intensità delle precipitazioni, monitorata attraverso indicatori quali il numero di giorni con piogge superiori a 20 mm. Secondo lo scenario RCP8.5, il numero di tali giorni è destinato ad aumentare in modo consistente su quasi l'intero territorio nazionale, indicando una concentrazione delle precipitazioni in eventi brevi e violenti. Inoltre, le precipitazioni estreme giornaliere sono previste in aumento soprattutto nei periodi invernali e primaverili.

Tali fenomeni possono generare impatti diretti rilevanti sulle attività produttive:

**Danni fisici:** l'aumento delle portate di piena fluviale (picchi medi annui) è stimato mediamente tra il 20% e il 30%, con punte che potrebbero raggiungere il 40% entro la fine del secolo, aggravando il rischio di allagamento di siti produttivi e magazzini. Anche i livelli delle piene con tempo di ritorno centennale sono destinati ad aumentare su quasi tutto il territorio sloveno.

**Interruzione logistica:** l'aumento delle precipitazioni invernali (che in alcune aree potrebbe raggiungere fino al +60% entro il 2100 nello scenario RCP8.5) e gli eventi estremi possono determinare l'interruzione delle vie di accesso e delle reti logistiche, impedendo l'approvvigionamento e la distribuzione.

**Rischio NaTech (Natural triggering Technological disasters):** per le industrie che gestiscono sostanze pericolose, eventi naturali quali le alluvioni possono innescare incidenti tecnologici (rilascio di inquinanti, incendi), amplificando i danni ambientali ed economici e comportando rischi per la salute pubblica.

## 5.2 Analisi dell'esposizione energetica

L'esposizione energetica delle PMI ad alta intensità energetica è analizzata in relazione alla struttura dei consumi, ai modelli di utilizzo dell'energia e al grado di dipendenza dalla continuità della fornitura elettrica.

In tale contesto, l'energia elettrica assume un ruolo centrale, in quanto rappresenta il principale vettore energetico per la maggior parte dei processi produttivi analizzati.

L'analisi evidenzia che l'esposizione energetica non è determinata esclusivamente dal volume totale dei consumi, ma anche dalla loro distribuzione temporale e dalla rigidità della domanda.

Le imprese caratterizzate da processi continui o da cicli produttivi difficilmente interrompibili risultano particolarmente vulnerabili agli eventi climatici che mettono sotto stress la rete elettrica, poiché anche brevi interruzioni del servizio possono comportare perdite significative in termini di produzione, qualità del prodotto e sicurezza degli impianti.

Inoltre, la crescente incidenza del raffrescamento estivo nei consumi elettrici amplifica l'esposizione energetica delle PMI durante i periodi di calore estremo, creando una forte correlazione tra pericolo climatico ed energia.

Tale correlazione rappresenta uno degli elementi centrali dell'analisi e costituisce una delle principali motivazioni alla base dello sviluppo e dell'applicazione del CERI.

## 5.3 Vulnerabilità strutturale e capacità di adattamento

La vulnerabilità delle PMI è analizzata considerando sia gli aspetti strutturali sia quelli organizzativi.

Dal punto di vista strutturale, elementi quali l'isolamento edilizio, l'efficienza degli impianti, la presenza di sistemi di raffrescamento e riscaldamento obsoleti o sovradimensionati e l'assenza di soluzioni di backup energetico contribuiscono ad aumentare la vulnerabilità complessiva.

Dal punto di vista organizzativo, la vulnerabilità è influenzata dalla capacità delle imprese di pianificare e gestire situazioni di emergenza, dalla disponibilità di procedure operative per la risposta a eventi estremi e dal livello di consapevolezza del rischio clima-energia.

In molti casi, le PMI presentano una capacità di adattamento limitata, dovuta sia a vincoli finanziari sia alla carenza di informazioni e competenze specifiche.

## 5.4 Impatti operativi ed economici

L'interazione tra pericoli climatici, esposizione energetica e vulnerabilità si traduce in una serie di impatti operativi ed economici che possono compromettere la continuità aziendale.

Tali impatti includono arresti degli impianti, perdite di prodotto, aumento dei costi energetici e riduzioni della qualità produttiva e della competitività.

In particolare, gli impatti connessi alle interruzioni della fornitura elettrica rivestono una rilevanza centrale, poiché possono generare effetti a cascata lungo le catene di approvvigionamento e incidere negativamente sull'intero sistema produttivo territoriale.

L'analisi di tali impatti fornisce elementi essenziali per la successiva fase di calcolo del CERI e per l'individuazione delle priorità di intervento.

## Allegato A – Analisi territoriale del rischio e della concentrazione energetica

Il presente Allegato fornisce una panoramica strutturata e basata su dati quantitativi della concentrazione energetica territoriale e del rischio nell'area transfrontaliera CLIMASAFE. Esso valorizza esplicitamente il lavoro di raccolta e armonizzazione dei dati realizzato attraverso i due dataset di progetto:

- **Slovenian LEK Industrial Energy Database** (schede industriali comunali)
- **ATT1.1 Cross-Border Initial Data Collection & Mapping Dataset**

Tali dataset costituiscono la base quantitativa per lo sviluppo del framework di Rischio Energetico Territoriale e per la futura calibrazione del **CERI**.

### Parte I – Concentrazione energetica industriale in Slovenia (Dataset LEK)

Consumo totale di energia elettrica industriale (comuni analizzati): **905.025.701 kWh/anno**.

L'analisi copre 18 comuni ed è basata su schede energetiche industriali a livello di singola impresa.

#### Top 10 comuni per consumo industriale di energia elettrica

Comune	Energia elettrica industriale (kWh/anno)	Quota sul totale (%)
Kanal	268.048.400	29,6
Iirska Bistrica	154.966.900	17,1
Koper	131.859.200	14,6
Idrija	74.566.000	8,2
Pivka	50.822.600	5,6
Ajdovščina	40.206.250	4,4
Cerkno	37.717.150	4,2
Logatec	30.946.290	3,4
Tolmin	25.443.410	2,8
Divača	25.422.990	2,8

I primi tre comuni rappresentano il **61,3%** della domanda totale di energia elettrica industriale, confermando una struttura territoriale fortemente concentrata.

I comuni sloveni analizzati nel presente Allegato appartengono prevalentemente alle regioni statistiche della Slovenia occidentale (Goriška, Primorsko-notranjska e Obalno-kraška),

corrispondenti all'area di cooperazione transfrontaliera CLIMASAFE. I risultati riflettono pertanto le caratteristiche strutturali di questo specifico cluster territoriale e non dell'intero territorio nazionale.

## Costruzione metodologica degli indicatori

### Energy Concentration Index (ECI)

L'ECI è derivato direttamente dal dataset LEK dividendo il consumo industriale di energia elettrica di ciascun comune per il totale dell'area analizzata:

$$ECI\_m = \text{Energia elettrica industriale\_m} / \text{Energia elettrica industriale totale\_area}$$

Esempio:

$$\text{Kanal} = 268.048.400 / 905.025.701 \approx 0,296.$$

### Energy Intensity per Capita (EIC)

L'EIC combina i dati LEK sui consumi industriali con informazioni demografiche:

$$EIC\_m = \text{Energia elettrica industriale\_m} / \text{Popolazione\_m}$$

Esso misura la dipendenza energetica strutturale del territorio.

### Territorial Energy Risk Score (TERS)

Il TERS aggrega tre componenti classificate:

1. Classe ECI
2. Classe EIC
3. Livello di concentrazione strutturale (CR3)

$$\text{TERS} = \text{Media dei tre punteggi di classe}$$

Questa struttura semplificata garantisce comunicabilità nei confronti delle PMI, preservando al contempo coerenza analitica.

## Parte II – Struttura energetica del manifatturiero italiano (Dataset ATT1.1)

L'analisi italiana deriva dal dataset transfrontaliero ATT1.1, che integra i prelievi di energia elettrica in bassa tensione per utenze non domestiche disaggregati per settore NACE.

Energia elettrica totale del manifatturiero – Friuli Venezia Giulia (FVG): **10.230.147 kWh**  
 Energia elettrica totale del manifatturiero – Provincia di Venezia: **14.398.808 kWh**

La struttura produttiva italiana evidenzia una diversificazione settoriale piuttosto che una concentrazione territoriale, confermando un modello di esposizione diffusa.

## Quadro comparativo finale – Slovenia vs Italia

Dimensione	Slovenia (Dataset LEK)	Italia – FVG & Venezia (Dataset ATT1.1)
Granularità dei dati	Schede industriali a livello di impresa per comune	Energia elettrica manifatturiera per settore NACE
Energia elettrica industriale totale (campione)	905 GWh	FVG: 10,2 GWh Venezia: 14,4 GWh
Modello strutturale	Concentrazione territoriale	Diversificazione settoriale
Quota Top 3	61,3% del consumo totale	Nessun nodo territoriale dominante
Tipologia di rischio energetico	Amplificazione sistemica territoriale	Esposizione diffusa distribuita
Driver principale del rischio	Imprese “ancora” e dipendenza da infrastrutture locali	Domanda cumulativa delle PMI e picchi stagionali
Implicazioni di policy	Resilienza infrastrutturale e coordinamento territoriale	Efficienza a livello d’impresa e adattamento settoriale

La tabella comparativa evidenzia il valore dell’attività di armonizzazione dei dati transfrontalieri. Il dataset LEK consente un’analisi della concentrazione a livello comunale per il lato sloveno, mentre il dataset ATT1.1 permette la mappatura dell’esposizione settoriale per il lato italiano.

Nel loro insieme, tali dataset forniscono una prospettiva complementare, territoriale e settoriale, necessaria per una calibrazione robusta del **CERI**.

L’integrazione di questi dataset rappresenta un elemento centrale di valore aggiunto del progetto CLIMASAFE, garantendo tracciabilità, trasparenza e replicabilità della valutazione del rischio clima-energia.