

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI
“PARTHENOPE”



Dipartimento di Studi Economici e Giuridici (DiSEG)

Corso di Dottorato in:
Economia, Statistica e Sostenibilità

XXXVIII Ciclo

Settore Scientifico Disciplinare:
POLITICA ECONOMICA
ECON-02/A

L'impatto degli shock climatici sulla salute.
Un'analisi dei dati regionali italiani

Anno accademico 2024/2025

Autrice: Dott.ssa Liliana Striano | MATR. DR01000058

Tutor: Chiar.mo Prof. Massimiliano Agovino

Coordinatrice: Chiar.ma Prof.ssa Maria Ferrara

INDICE

Abstract	4
Introduzione	5
CAPITOLO I Clima Estremo e Sanità Italiana: Vulnerabilità, Resilienza e Sfide istituzionali	9
1.1. Gli impatti degli shock climatici sulla salute	11
1.2. Geografia del territorio e diversità climatiche.....	22
1.3. Evoluzione istituzionale del Servizio Sanitario Nazionale: architettura normativa e vulnerabilità sistemica nella prospettiva della resilienza climatica	35
1.3.1. Decentramento amministrativo ed eterogeneità dei modelli regionali: implicazioni per l'equità resiliente	35
1.3.2. Aziendalizzazione, efficienza allocativa e trade-off con la flessibilità operativa.....	36
1.3.3. Federalismo fiscale, vincoli di bilancio e capacità di investimento adattivo.....	37
1.4. La governance del Sistema Sanitario Regionale	39
1.4.1. Analisi comparativa Lombardia vs Campania.....	47
1.5. Quadro della letteratura e posizionamento della ricerca	50
Bibliografia Capitolo I	53
CAPITOLO II Analisi Clima-Salute in Italia: Dinamiche Temporali ed Eterogeneità Territoriale.....	56
2.1. Fonte dati e strumenti di raccolta	58
2.2. Metodologie di elaborazione e correzione dati	59
2.2.1. Gestione dei dati mancanti	59
2.2.2. Costruzione di serie storiche omogenee	60
2.3. Definizione e selezione degli indicatori	62
2.3.1. Indicatori di Contesto Socioeconomico e Demografico	62
2.3.2. Indicatori di Risorse Sanitarie	63
2.3.3. Indicatori di Attività e Accesso ai Servizi Sanitari.....	64
2.3.4. Indicatori di Esiti Sanitari <i>Climate-Sensitive</i>	64
2.3.5. Indicatori Climatici e di Eventi Estremi	65
2.4. Statistiche descrittive per macroarea e periodo degli indicatori	66

2.5.	Analisi descrittiva: disuguaglianze territoriali e dinamiche temporali nella resilienza climatico-sanitaria	80
2.5.1.	Metodologia: Un Approccio Multistrato all'Analisi Descrittiva.....	81
2.5.2.	FASE 1: Costruzione del dataset e standardizzazione dei dati climatici.....	84
2.5.3.	FASE 2: Decomposizione della varianza. Il Dualismo Strutturale – Una Fotografia delle Disuguaglianze Territoriali.....	92
2.5.4.	FASE 3: Analisi dei <i>Breakpoint</i> Endogeni nelle Serie Regionali	96
2.6.	Validazione della Robustezza dei Pattern Centrali	106
2.7.	Sintesi Operativa: Verso un Approccio <i>Place-Based</i> per macroaree.....	108
2.8.	Approccio alla Costruzione degli Indici Compositi.....	110
	Bibliografia Capitolo II.....	111
	CAPITOLO III Rischio Climatico–Sanitario in Italia: Costruzione dell’Indice di Resilienza Sanitaria Regionale e dell’Indice di Severità degli Shock Termici (1999–2021).....	112
3.1.	Scelta degli indici compositi e disegno empirico.....	116
3.2.	Risultati 1999: dalle analisi fattoriali agli indici finali.....	122
3.2.1.	Dominio sociodemografico (IVS)	122
3.2.2.	Dominio delle risorse e attività sanitarie (RAS).....	124
3.2.3.	Dominio <i>outcome</i> sanitari <i>climate-sensitive</i> (OCS)	127
3.2.4.	Dominio climatico (SevShoT).....	130
3.2.5.	Sintesi e preparazione agli step successivi	132
3.2.6.	Costruzione dell'Indice ReSaR 1999: Metodologie e Interpretazione.....	133
3.2.7.	L’Indice SevShoT: Un Dominio Mono-composito	134
3.2.8.	Risultati finali: ReSaR vs SevShoT 1999.....	134
3.3.	Risultati 2010: dalle analisi fattoriali agli indici finali.....	136
3.3.1.	Dominio sociodemografico (IVS)	137
3.3.2.	Dominio delle risorse e delle attività sanitarie (RAS)	138
3.3.3.	Dominio <i>outcome</i> sanitario <i>climate-sensitive</i> (OCS).....	140
3.3.4.	Dominio climatico (SevShoT).....	141
3.3.5.	Costruzione dell'Indice ReSaR 2010: Metodologie e Interpretazione.....	143
3.3.6.	Risultati finali: ReSaR vs SevShoT 2010.....	144
3.4.	Risultati 2021: dalle analisi fattoriali agli indici finali.....	148
3.4.1.	Dominio sociodemografico (IVS)	148
3.4.2.	Dominio delle risorse e delle attività sanitarie (RAS)	150

3.4.3.	Dominio <i>outcome</i> sanitari <i>climate-sensitive</i> (OCS)	152
3.4.4.	Dominio climatico (SevShoT).....	153
3.4.5.	Costruzione dell'indice ReSaR 2021: Metodologie e interpretazione.....	155
3.4.6.	Risultati finali: ReSaR vs SevShoT 2021	155
3.5.	La Geografia Divergente della Resilienza Sanitaria in Italia: Un'Analisi Longitudinale (1999-2021)	159
3.6.	Analisi di robustezza: metodo <i>Benefit-of-the-Doubt</i>	161
3.6.1.	Introduzione e motivazione metodologica.....	161
3.6.2.	Fondamenti teorici del BoD e collegamento con il modello DEA.....	162
3.6.3.	Risultati BoD pesi liberi	164
3.6.4.	Risultati BoD pesi vincolati.....	166
3.6.5.	Risultati: Ranking finale (liberi vs. vincolati)	169
3.6.6.	Discussione interpretativa e implicazioni	172
3.7.	Verso una lettura integrata della vulnerabilità regionale	173
	Bibliografia Capitolo III.....	175
	Conclusioni.....	176

Abstract

L'impatto crescente degli shock termici estremi sui Sistemi Sanitari Regionali italiani richiede un'analisi integrata che coniughi dati climatici con indicatori sanitari ed economici. Questo studio propone un framework innovativo basato sulla costruzione di un Indice Composito di Severità degli Shock Termici (SevShoT) e su un Indice di Resilienza Sanitaria Regionale (ReSaR) che sintetizza capacità infrastrutturale, dotazione di personale ed efficienza gestionale. Utilizzando modelli econometrici su dati panel, il lavoro si concentra sulle patologie più sensibili agli stress termici secondo la letteratura scientifica, evidenziando come la resilienza regionale moduli in modo significativo gli impatti sanitari. L'analisi identifica fattori cruciali nella mitigazione degli effetti avversi, con particolare riferimento alle dotazioni infrastrutturali e alle scelte di *governance*. I risultati suggeriscono l'opportunità di interventi mirati di adattamento climatico e di rafforzamento dei servizi sanitari territoriali, indicando direzioni strategiche per migliorare la resilienza dei sistemi sanitari nell'era del cambiamento climatico.

Introduzione

Il cambiamento climatico rappresenta oggi uno dei principali determinanti strutturali della salute pubblica e dell'evoluzione dei sistemi sanitari. Gli shock termici – ondate di calore, di gelo, oscillazioni improvvise della temperatura – sono riconosciuti dalla comunità scientifica internazionale come una delle manifestazioni più pervasive e rilevanti del riscaldamento globale, capaci di esercitare pressioni crescenti sulla domanda sanitaria, generare eccessi di morbosità e mortalità e mettere in tensione reti ospedaliere e servizi territoriali. L'Italia, per posizione geografica e configurazione demografica, costituisce un laboratorio naturale particolarmente sensibile: caratterizzata da una popolazione tra le più anziane al mondo, da forti differenziali territoriali e da un sistema sanitario universalistico ma profondamente eterogeneo nelle sue espressioni regionali, essa risulta esposta ad una gamma complessa e spesso sottostimata di rischi climatici sanitari.

Negli ultimi anni, numerosi contributi internazionali – a partire dai rapporti IPCC e dal Lancet Countdown – hanno richiamato l'attenzione sull'accelerazione degli eventi estremi e sulle loro ricadute in ambito clinico-epidemiologico. Tuttavia, nel contesto italiano permane una significativa frammentazione delle analisi, generalmente focalizzate su singole dimensioni: studi climatici sulle temperature estreme; studi epidemiologici su specifiche patologie; analisi istituzionali sulle differenze regionali; analisi socioeconomiche sui divari territoriali. Ciò che manca ancora è un approccio realmente integrato, capace di mettere in relazione l'evoluzione climatica, la struttura del Servizio Sanitario Nazionale, la vulnerabilità delle popolazioni e la resilienza dei sistemi sanitari regionali.

È in questo spazio analitico che si colloca il presente lavoro. La ricerca assume come punto di partenza un interrogativo centrale: ***il sistema sanitario italiano è oggi in grado di assorbire e gestire gli effetti indotti dagli shock climatici, in un contesto di marcata eterogeneità territoriale e organizzativa?*** Affrontare questa domanda significa chiarire, da un lato, la natura evolutiva degli eventi climatici estremi nel territorio italiano e, dall'altro, le capacità – divergenti – delle regioni di rispondere a pressioni straordinarie, mantenendo continuità, accessibilità ed equità delle cure.

Il Capitolo I costruisce la piattaforma teorica, empirica e istituzionale necessaria ad interpretare questa relazione. Esso ricostruisce criticamente l'evidenza epidemiologica internazionale e nazionale sugli shock termici, analizza la traiettoria climatica italiana nel periodo 1999–2022

mediante le serie SCIA, e approfondisce l'evoluzione del SSN delle riforme dagli anni Novanta all'assetto attuale, segnato da aziendalizzazione, federalismo fiscale e crescente pluralità dei modelli regionali. L'attenzione è posta sui concetti di vulnerabilità, esposizione e resilienza sanitaria, interpretati come proprietà emergenti di sistemi complessi. Il capitolo evolve poi verso una classificazione dei Sistemi Sanitari Regionali basata su capitale fisico e capitale umano, delineando divergenze strutturali persistenti e traiettorie regionali *path-dependent*.

Il Capitolo II traduce questo quadro teorico in un impianto empirico rigoroso, fondato su tre pilastri: (i) costruzione e armonizzazione di un *database* longitudinale (1999–2021) articolato per domini climatici, sanitari, demografici e socioeconomici; (ii) definizione degli indicatori e delle metriche *percentile-based* per misurare estremi termici in modo coerente con la climatologia locale; (iii) stima di modelli panel con effetti fissi e test di discontinuità, differenziati per macroarea geografica. Tale approccio consente di cogliere salti di livello (*level shift*) nella dinamica climatica e sanitaria, variazioni nella vulnerabilità degli esiti sanitari e profonde differenze interregionali nel gradiente temperatura–salute. Il capitolo si chiude con la motivazione della costruzione degli indici compositi di severità climatica (SevShoT) e resilienza sanitaria regionale (ReSaR), che verranno sviluppati successivamente.

Il Capitolo III rappresenta il cuore analitico del lavoro. Esso assume come riferimento teorico le principali definizioni internazionali di vulnerabilità (IPCC 2001), sociogeografia (Cutter 1996), strutturale (Adger e Kelly 1999) e adotta il Manuale OCSE–JRC come guida metodologica per la costruzione degli indici compositi. La vulnerabilità viene scomposta lungo i suoi assi fondamentali – esposizione, sensibilità, capacità adattativa – e tradotta in un impianto empirico multilivello che integra analisi fattoriali, normalizzazioni, aggregazioni e procedure robuste di ponderazione. Il capitolo sviluppa l'analisi per tre anni emblematici (1999, 2010, 2021), ricostruendo con precisione la geografia della severità degli shock e della resilienza sanitaria regionale, confrontando i due indici per cogliere *pattern* stabili, traiettorie di divergenza e *hotspot* climatici-sanitari. La robustezza dei risultati è verificata attraverso il metodo *Benefit-of-the-Doubt*, che consente di derivare profili regionali di pesi endogeni e vincolati, evidenziando tensioni interne tra domini e possibili criticità nella capacità di risposta.

Nel loro insieme, i tre capitoli definiscono un percorso coerente che integra approcci disciplinari diversi – epidemiologia, climatologia, economia sanitaria, analisi istituzionale, statistica avanzata – restituendo una lettura multidimensionale del rapporto tra clima estremo e salute pubblica in Italia. Il presente lavoro si posiziona, quindi, nella letteratura internazionale come

tentativo di ridurre la frammentazione degli studi esistenti e proporre un quadro interpretativo integrato, scalabile e replicabile.

In tale prospettiva, la questione centrale è rappresentata dalla capacità del sistema sanitario italiano di assorbire e gestire gli effetti indotti dagli shock climatici sul sistema sanitario italiano, con particolare attenzione alle differenze territoriali e organizzative. Il presente studio intende interrogare questa relazione a partire da una rassegna critica della letteratura, che evidenzia la frammentazione degli studi esistenti lungo quattro dimensioni – epidemiologica, climatica, organizzativa e territoriale – e la carenza di analisi integrate in contesto italiano.

La domanda di ricerca che guida il presente lavoro può essere così formalizzata: ***qual è l'impatto differenziale degli shock termici (ondate di calore, di gelo) sull'offerta sanitaria regionale italiana, in un contesto di marcata eterogeneità territoriale nella dotazione di risorse e nella resilienza dei sistemi sanitari?***

Per rispondere a questo interrogativo, il lavoro si articola lungo quattro assi tematici fondamentali:

- I. L'inquadramento concettuale degli eventi estremi e dei loro meccanismi di impatto clinico-sanitario, con particolare attenzione ai canali diretti e indiretti attraverso cui gli shock termici sollecitano la domanda e influenzano l'offerta di servizi sanitari;
- II. La ricostruzione delle traiettorie climatiche recenti in Italia e l'identificazione di *climate-health hotspot* a scala sub-nazionale, ovvero di aree caratterizzate dalla pericolosa convergenza tra alta esposizione ai rischi climatici e bassa resilienza strutturale del sistema sanitario;
- III. La valutazione comparata della vulnerabilità territoriale mediante la costruzione e l'analisi di indicatori compositi, che integrano dimensioni epidemiologiche, socioeconomiche e quelle relative alla dotazione, all'efficienza e alla capacità adattativa dell'offerta sanitaria regionale;
- IV. L'esplorazione delle lacune conoscitive e delle criticità istituzionali emerse, le quali hanno direttamente orientato le scelte metodologiche verso approcci in grado di catturare la multidimensionalità del fenomeno.

A questi si affiancano gli assi generali dell'impianto di tesi, che ne definiscono l'originalità e il contributo scientifico:

- i. Fornire una prospettiva integrata e sistemica della pressione esercitata dagli shock termici su un sistema sanitario universalistico ma frammentato dal decentramento, superando analisi settoriali o puramente climatiche;
- ii. Condurre un'analisi empirica multilivello attraverso la costruzione di indicatori compositi di stress e resilienza, permettendo di classificare e confrontare la capacità di risposta delle regioni italiane agli eventi estremi e di mapparne la vulnerabilità assoluta e relativa;
- iii. Fornire una *evidence-based* per le politiche di adattamento, indicando possibili interventi mirati per rafforzare la resilienza delle reti ospedaliere e dei servizi territoriali nelle regioni identificate come hotspot, in un contesto climatico in rapida evoluzione.

Ciascun capitolo affronta uno di questi snodi, contribuendo a una lettura multidimensionale del fenomeno e alla costruzione di un quadro coerente di relazione tra clima estremo, salute pubblica e capacità istituzionale. Il presente studio si propone così di offrire un contributo originale e rilevante al dibattito scientifico, integrando approcci disciplinari e scale di analisi diverse per indagare una sfida complessa che tocca al tempo stesso le politiche sanitarie, l'adattamento climatico e la coesione territoriale.

CAPITOLO I

Clima Estremo e Sanità Italiana:

Vulnerabilità, Resilienza e Sfide istituzionali

Il presente capitolo costituisce la piattaforma teorica, empirica e istituzionale su cui si fonda il percorso analitico della ricerca, offrendo un'inquadratura critica dell'interazione tra cambiamento climatico e salute pubblica, con particolare attenzione al contesto italiano. L'obiettivo è duplice: da un lato chiarire la rilevanza scientifica e sistemica del problema degli shock termici in ambito sanitario; dall'altro, fornire un apparato interpretativo coerente per indagare la capacità del Servizio Sanitario Nazionale (SSN) di rispondere a fenomeni meteorologici estremi in una prospettiva differenziata tra territori regionali.

In primo luogo, si analizzano le principali evidenze epidemiologiche e climatiche relative all'impatto delle ondate di calore e di gelo sulla salute, sia a livello internazionale sia nel caso italiano. Le fonti qui mobilitate includono le più recenti pubblicazioni dell'*Intergovernmental Panel on Climate Change* – Gruppo intergovernativo sui cambiamenti climatici – (IPCC), dell'Organizzazione Meteorologica Mondiale (OMM), del Lancet Countdown e dell'Agenzia Europea per l'Ambiente, nonché letteratura *peer-reviewed* con validazione su coorti di popolazione vulnerabile (over 65, neonati, gestanti, pazienti cronici). I risultati convergono nell'indicare una tendenza all'aumento di eventi termici estremi, sempre più frequenti, intensi e prolungati, i cui effetti sanitari si traducono in incrementi significativi di morbosità, mortalità e pressione organizzativa sui servizi di emergenza-urgenza.

Successivamente, viene analizzata la traiettoria climatica italiana, mediante l'utilizzo del Sistema nazionale per la raccolta, l'elaborazione e la diffusione dei dati climatici (SCIA) – piattaforma istituzionale coordinata dall'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) – per il periodo 1999–2022. La disamina delle temperature medie annuali e stagionali, disaggregate per macroarea geografica e illustrate attraverso mappe tematiche comparate, consente di evidenziare non solo il riscaldamento strutturale del territorio, ma anche la crescente tropicalizzazione del clima mediterraneo, con effetti differenziali tra Nord, Centro e Sud-Isole. Tale asimmetria climatica si traduce potenzialmente in una eterogenea esposizione della popolazione agli eventi estremi, con conseguenti implicazioni distributive in termini di rischio sanitario.

A partire da questa evidenza, la seconda parte del capitolo ricostruisce criticamente l'evoluzione istituzionale del SSN, con particolare attenzione alla trasformazione in senso aziendalista, all'attuazione del federalismo fiscale e alla definizione dei modelli regionali di governance sanitaria. Questo percorso consente di tematizzare la crescente eterogeneità organizzativa tra le regioni italiane, che si riflette nella diversa capacità di garantire accessibilità, continuità e qualità delle cure, soprattutto in condizioni di pressione straordinaria. La ricognizione include una lettura critica delle riforme normative dal 1992 al 2021 e una revisione dei modelli istituzionali regionali aggiornati, secondo la classificazione proposta da Mapelli et al. (2007) e successivamente rielaborata attraverso l'elaborazione di due indici sintetici: capitale fisico e capitale umano.

Il concetto di resilienza sanitaria, qui inteso nella sua duplice accezione infrastrutturale e organizzativa, rappresenta il *fil rouge* del capitolo: esso consente di collegare in modo coerente le dinamiche climatiche, gli esiti sanitari e le risposte istituzionali, in una prospettiva sistemica. Viene, quindi, tematizzata l'interazione tra vulnerabilità ambientale e capacità di risposta sanitaria, nel tentativo di spiegare se – e in che misura – l'architettura territoriale del SSN sia in grado di assorbire shock esogeni quali le ondate di calore, senza compromettere l'equità e l'efficienza del sistema.

Il capitolo sintetizza le criticità più evidenti della letteratura contemporanea: tra esse, spicca l'assenza di studi che analizzino contestualmente le variabili climatiche, sanitarie e istituzionali su scala sub-nazionale. La ricerca si propone, dunque, di contribuire al superamento di questa frammentazione conoscitiva, proponendo un quadro interpretativo integrato che valorizzi l'approccio territoriale e la multidimensionalità del fenomeno. Gli obiettivi specifici del lavoro consistono nella valutazione comparata della pressione esercitata dagli shock termici sulla domanda sanitaria regionale, nell'analisi del differenziale di capacità istituzionale tra i Servizi Sanitari Regionali (SSR) e nella proposta di elementi di policy per rafforzare la resilienza operativa del SSN nel suo complesso.

Nel paragrafo 1.1 si formalizzano le definizioni normative e operative degli eventi termici estremi (*heat-waves* e *cold-spells*), chiarendo soglie, metriche e finalità d'uso nei contesti internazionali e nazionali, e si sintetizzano i principali nessi clinico-epidemiologici con morbosità, mortalità e pressione sulla componente emergenza-urgenza, con particolare attenzione ai meccanismi fisiopatologici e alle popolazioni vulnerabili.

Nel paragrafo 1.2 si ricostruiscono le traiettorie climatiche recenti dell'Italia (1999–2022) utilizzando serie storiche del sistema SCIA per il periodo 1999–2022, con rappresentazioni cartografiche sinottiche e lettura critica dei gradienti Nord–Sud, urbano-rurale e alpino-mediterraneo, evidenziando pattern di esposizione differenziale e implicazioni distributive del rischio sanitario.

Il paragrafo 1.3 offre una disamina istituzionale del SSN lungo tre assi trasformativi: decentramento (alla luce della riforma del Titolo V), aziendalizzazione/managerializzazione (D.Lgs. 502/1992 e s.m.i.) ed evoluzione dei meccanismi di finanziamento (federalismo fiscale), al fine di derivarne vulnerabilità latenti e implicazioni sistemiche per la *climate resilience*.

Nel paragrafo 1.4 si aggiorna la tassonomia dei modelli regionali proposta da Mapelli et al. (2007) e si introduce un framework duale di diagnosi basato sull'Indice di Capitale Fisico (ICF) e sull'Indice di Capitale Umano (ICU), analizzato in prospettiva diacronica (2009–2021) con benchmark mediani nazionali, per interpretare capacità produttive e resilienza organizzativa dei SSR. Il paragrafo 1.4.1 presenta un'analisi comparata Lombardia-Campania, mettendo in luce la persistenza di traiettorie divergenti (*path-dependent virtuous cycle vs. incomplete transition*), il ruolo vincolante del capitale umano e gli effetti differenziali dell'accREDITAMENTO regolato vs. vincolato sulla capacità di assorbimento degli shock.

Infine, il paragrafo 1.5 sistematizza il quadro della letteratura internazionale sulla resilienza sanitaria ai cambiamenti climatici e posiziona il contributo originale della ricerca, motivando la costruzione di un Indice Composito di Severità degli Shock Termici (SevShoT) e di un Indice di Resilienza Sanitaria Regionale (ReSaR) e discutendone le implicazioni di policy in termini di *place-based interventions* e *adaptive governance*.

1.1. Gli impatti degli shock climatici sulla salute

Il cambiamento climatico si configura come una delle minacce più pericolose per la salute pubblica a livello mondiale. Tra le sue manifestazioni maggiormente consolidate, il progressivo riscaldamento della superficie terrestre ha determinato un incremento tanto dell'intensità quanto della frequenza degli eventi meteorologici che possono essere ragionevolmente considerati come estremi. In questo contesto, le ondate di calore – e in misura complementare quelle di gelo – emergono come fenomeni sempre più ricorrenti e severi. Sebbene non esista

una definizione universalmente valida di *heat-wave* (ondata di calore) o *cold-spell* (ondata di gelo) applicabile a tutti i contesti climatici (Broomandi et al., 2025) [1], diverse istituzioni hanno proposto formulazioni di riferimento. Per inquadrare adeguatamente il fenomeno delle ondate di calore e di gelo, è necessario distinguere tra definizioni normative – fornite da organismi internazionali a scopo concettuale – e definizioni operative, utilizzate in contesti applicativi (ad esempio dai servizi meteorologici o sanitari) per identificare concretamente tali eventi. Le definizioni normative delineano in termini generali cosa si intende per “ondata di calore” o “ondata di freddo”, mentre le definizioni operative stabiliscono criteri quantitativi e condizioni specifiche per dichiarare l’allerta o l’emergenza legata a questi episodi estremi. In ambito internazionale, la *World Meteorological Organization* (WMO, 2023) definisce le ondate di calore come: “*un fenomeno meteorologico esteso che comporta un aumento significativo di molteplici rischi, tra cui quelli sanitari ed economici. Tra gli impatti più rilevanti si annoverano l’aumento della mortalità umana, perdite nei raccolti agricoli, incendi boschivi e carenze nella fornitura di energia elettrica*”. Più tecnicamente, il Vocabolario Meteorologico Internazionale (OMM n. 182) le definisce come: “*un marcato riscaldamento dell’aria, o l’invasione di aria molto calda, su una vasta area; di solito dura da pochi giorni a poche settimane*”. L’IPCC (2021a) introduce, invece, una soglia relativa, caratterizzando le ondate di calore come “*un periodo di caldo anomalo, spesso definito con riferimento a una soglia di temperatura relativa, che dura da due giorni a mesi.*” Pertanto, un’ondata di calore può essere considerata un periodo di caldo intenso e fuori dalla norma che si protrae per almeno due giorni consecutivi. Diversamente, il termine “*ondata di caldo*” può riferirsi genericamente a un periodo anomalo di temperature elevate in qualunque momento dell’anno, mentre l’ondata di calore è una condizione riferita ai valori più estremi tipicamente osservati durante la stagione calda, rendendola più probabile nei mesi estivi nella maggior parte dei climi [2]. Questa pluralità di definizioni riflette la necessità di bilanciare standardizzazione internazionale e adattamento a specificità microclimatiche.

Le definizioni sopra esposte costituiscono riferimenti normativi utili a inquadrare il fenomeno. Tuttavia, nell’operatività quotidiana – sia meteorologica che sanitaria – occorre adottare soglie e criteri pratici adattati al contesto locale. Ad esempio, in Italia il *sistema nazionale di allerta caldo* definisce operativamente un’ondata di calore come un periodo di almeno 3 giorni consecutivi in cui si registrano condizioni di rischio \geq livello 2 (su una scala da 0 a 3) secondo il sistema *Heat Health Watch Warning* (HHWW) specifico per ciascuna città. Tale sistema si basa sull’identificazione, per ogni città, di soglie di temperatura (in particolare di temperatura

apparente massima, che combina temperatura e umidità) oltre le quali si osserva un incremento significativo della mortalità, considerando anche il numero di giorni consecutivi di superamento. In pratica, le autorità sanitarie italiane dichiarano lo stato di allerta (livello 3) quando queste condizioni di caldo intenso persistono, segnalando un rischio concreto per la salute pubblica (in particolare per le fasce vulnerabili).

Anche per le ondate di gelo esistono distinzioni tra definizioni normative e operative. In ambito internazionale, l'OMM le definisce come *“periodi di freddo marcato e insolito, associati a un brusco e significativo calo delle temperature vicino alla superficie terrestre”*. L'IPCC, nel glossario del sesto rapporto (AR6), include il concetto di *cold spell*, riferendosi a *“episodi di temperature anormalmente basse rispetto alla norma locale, tipicamente di durata pari ad almeno alcuni giorni”*. In ambito operativo, in Italia non esiste un sistema nazionale unitario analogo all'allerta caldo, ma le Agenzie Regionali per la Protezione Ambientale (ARPA) e la Protezione Civile adottano criteri di soglia per dichiarare stati di allerta meteo, spesso legati a temperature minime critiche persistenti per almeno due giorni, in combinazione con fattori aggravanti come gelo al suolo, nevicate o rischio ghiaccio. Inoltre, in diversi contesti urbani – in particolare nelle grandi città del Centro-Nord – i Comuni attivano Piani Emergenza Freddo, che prevedono l'attivazione di servizi di accoglienza straordinari e assistenza sanitaria per le persone senza fissa dimora, sulla base di soglie di rischio sociale più che strettamente meteorologico. Queste pratiche mostrano come la definizione di ondata di gelo non risponda univocamente a criteri fisico-climatici, ma venga declinata operativamente in funzione del contesto territoriale e del tipo di vulnerabilità esposta (infrastrutturale, sociale, sanitaria).

Questa distinzione tra definizioni normative generali e criteri operativi specifici è metodologicamente rilevante: le prime permettono un linguaggio comune a livello scientifico e istituzionale, le seconde consentono di attivare misure concrete di sorveglianza e intervento. Ad esempio, sapere che un'ondata di calore è *“un periodo insolitamente caldo prolungato”* (definizione generale) ha utilità descrittiva, ma per proteggere la salute pubblica è fondamentale disporre di parametri operativi come soglie termiche e durate, tarati sulla risposta clinica della popolazione. Proprio il legame tra parametri meteorologici ed effetti clinico-patologici diviene centrale: le definizioni operative integrano la dimensione climatologica con quella sanitaria, fungendo da ponte metodologico verso l'analisi degli impatti sulla salute umana. In sintesi, identificare chiaramente cosa costituisce un evento estremo di caldo o di freddo è il primo passo per poterne studiare sistematicamente le conseguenze sulle persone e sui sistemi sanitari.

Alla luce della pluralità di fonti e criteri utilizzati per definire gli eventi climatici estremi, risulta utile sintetizzare in forma tabellare le principali definizioni normative e operative di ondate di calore e di gelo. Le tabelle che seguono offrono un confronto sistematico tra i riferimenti adottati da organismi internazionali (OMM, IPCC, WMO) e quelli impiegati nei contesti applicativi nazionali, in particolare in Italia. Questa ricognizione comparativa consente di chiarire le differenze tra il livello concettuale (utile alla modellazione e alla comparazione scientifica) e quello operativo (fondamentale per l’attivazione di misure di prevenzione e risposta sanitaria). L’organizzazione schematica dei dati facilita, inoltre, l’individuazione delle soglie, durate e finalità d’uso associate a ciascuna definizione, fungendo da ponte metodologico tra la dimensione meteorologica e l’analisi clinico-epidemiologica che seguirà.

Tabella 1. 1 - Riepilogo definizioni normative e operative di ondate di calore

Tipo di definizione	Fonte	Definizione sintetica	Finalità
Normativa	OMM Vocabolario Internazionale	Marcato riscaldamento dell’aria o invasione di aria molto calda, su vasta area, per alcuni giorni o settimane.	Descrizione meteorologica generale
Normativa	IPCC – AR6 Glossario (2021)	Periodo di caldo anomalo rispetto alla norma locale, spesso sopra soglia percentile (es. 90° percentile), durata ≥ 2 giorni.	Modellistica climatica e valutazione rischio
Normativa	WMO Linee guida (2022)	Caldo eccezionale e persistente per almeno due giorni consecutivi (soglia minima raccomandata per uso globale comparabile).	Standardizzazione internazionale
Operativa	Ministero della Salute Sistema HHWW	periodo di caldo anomalo ≥ 3 giorni con superamento di soglie di temperatura apparente nelle 27 città italiane; attivazione livelli di allerta 2 o 3 per rischio sanitario acuto.	Prevenzione sanitaria urbana, sorveglianza
Operativa	ARPA Sistemi regionali	Alcune regioni integrano soglie locali (es. temperatura massima e umidità) su base storica per allerta mirata.	Allerta locale, adattamento territoriale

Tabella 1. 2 - Riepilogo definizioni normative e operative di ondate di freddo

Tipo di definizione	Fonte	Definizione sintetica	Finalità
Normativa	OMM Glossario internazionale di Meteorologia	“Periodo di freddo marcato e insolito, associato a un brusco e significativo calo delle temperature vicino al suolo.”	Descrizione meteorologica generale

Normativa	IPCC – AR6 Glossario (2021)	“Periodo di temperature eccezionalmente basse rispetto alla norma stagionale, di durata almeno pari a pochi giorni.”	Modellistica climatica e valutazione rischio
Operativa	Protezione civile ARPA	Temperature minime inferiori a soglia critica locale, per almeno due giorni; attivazione allerte meteo per rischio ghiaccio, gelo, nevicate.	Prevenzione sanitaria urbana, sorveglianza
Operativa	Comuni Enti locali	Criteri variabili basati su temperature minime critiche ed eventi atmosferici (ghiaccio, vento, interruzione energia). Attivazione di servizi di protezione per persone fragili o senza fissa dimora.	Allerta locale, adattamento territoriale

Chiarito il quadro definitorio degli eventi climatici estremi, si rende ora necessario un passaggio verso la dimensione clinico-epidemiologica, al fine di esaminare le principali implicazioni sanitarie associate a ondate di calore e di gelo. Tale transizione consente di collegare il piano concettuale alle evidenze emerse nella letteratura scientifica, approfondendo la natura e l'intensità degli effetti patologici documentati. In questa prospettiva, il caso italiano offre una base empirica particolarmente rilevante. Diversi studi e report istituzionali hanno evidenziato una correlazione statisticamente significativa tra shock termici e aumento di morbosità e mortalità, in particolare tra gli anziani e i soggetti fragili. Le ondate di calore dell'estate 2022, ad esempio, hanno prodotto un incremento del 15% della mortalità tra gli over 65 nelle 49 città monitorate dal Ministero della Salute, con un picco del 21% negli over 85. Impatti simili sono stati documentati in Toscana (+30% a luglio 2022), Lazio (+13% ad agosto 2024) e Piemonte (oltre 490 decessi in eccesso a Torino nella sola estate 2022). In Lombardia, l'ondata di calore del 2015 ha causato un sovraccarico ospedaliero con oltre 4.200 accessi in pronto soccorso in 24 ore, legati a episodi di ipertermia e disidratazione. Anche nel Sud Italia e nelle isole si osservano incrementi localizzati di mortalità durante i picchi termici (es. Napoli e Catania, estate 2023).

Queste evidenze, derivate da una combinazione di fonti istituzionali (Ministero della Salute, ARPA, assemblee sanitarie regionali), mostrano che non è possibile comprendere appieno l'impatto sanitario delle ondate di calore facendo affidamento esclusivo ai bollettini meteorologici. Sebbene fondamentali per identificare l'evento atmosferico, tali strumenti non integrano sistematicamente dati clinici, e non restituiscono la complessità dei quadri patologici associati, né la distribuzione socio-territoriale della vulnerabilità.

Il presente lavoro si concentra, quindi, sull'analisi di quei domini patologici che la letteratura riconosce come maggiormente sensibili agli stress termici – cardiovascolari, respiratori, diabetici, psichiatrici ed ostetrici – con l'obiettivo di ricostruire, attraverso un approccio integrato, la traiettoria che collega i fenomeni climatici estremi ai loro esiti sanitari concreti.

La letteratura economica si è ampiamente interrogata sull'impatto degli shock termici sulla salute (Masiero et al., 2022) [3]. L'innalzamento delle temperature medie globali emerge e si qualifica oggi come uno dei determinanti ambientali più insidiosi per la salute pubblica. Il rapporto del Lancet Countdown (2023) [4] documenta come il 2022 abbia segnato il valore termico più elevato dell'ultimo decennio, confermando l'accelerazione del riscaldamento planetario. L'impatto che questo ha sul sistema sanitario è in costante crescita: la letteratura convergente indica negli adulti over 65 anni e nei bambini al di sotto dei dodici mesi i gruppi maggiormente esposti. Numerosi sono gli studi che hanno analizzato gli effetti diretti e indiretti del caldo estremo, evidenziando un ventaglio di esiti sanitari sfavorevoli che include, ad esempio: incremento di mortalità e morbilità cardiovascolare e respiratoria, aggravamento di patologie croniche, complicanze ostetriche (è stata dimostrata una correlazione positiva tra donne in stato di gravidanza ed eventi climatici estremi come ondate di calore, disastri ambientali, ondate di gelo. Sbiroli et al, 2022) [5], incremento di mortalità perinatale (Trousdale et al., 2023) [6]. Per effetti diretti dei cambiamenti climatici si intendono gli impatti immediati e tangibili sulla salute generati da eventi meteorologici estremi – ondate di calore, tempeste, inondazioni e siccità – mentre, fra gli effetti indiretti sono catalogate le ripercussioni di lungo periodo che tali eventi esercitano su ecosistemi, risorse naturali e dinamiche socioeconomiche, con ricadute conseguenti sul benessere umano (Romanello et al., 2023) [4]. Con riferimento agli effetti diretti, un aumento delle temperature giornaliere al di sopra delle soglie locali di riferimento, infatti, amplifica l'incidenza di eventi cardiovascolari acuti (come ictus e infarto del miocardio) e di infezioni respiratorie (come la polmonite). Al contrario, l'esposizione prolungata a temperature rigide, riduce l'efficacia immunitaria, favorendo l'aumento di patologie respiratorie acute e, parallelamente, il rischio trombotico e i riflessi neuro-circolatori indotti dal freddo aggravano l'ischemia cardiaca e le malattie cerebrovascolari (Masiero et al., 2022) [3]. Inoltre, gli effetti sulla salute mentale che vengono prodotti da giornate nelle quali si registrano anomalie positive di temperatura, riportano una serie di incrementi riguardanti: accessi in pronto soccorso per disturbi psichiatrici e suicidi (Mullins e White, 2019) [7]. L'esposizione a temperature estreme aumenta la vulnerabilità di soggetti già fragili, in particolare persone con patologie croniche, disabilità o diabete (Rayput et al., 2023) [8]. Sul

versante degli effetti indiretti, il persistente aumento delle temperature globali favorisce l'espansione geografica di malattie infettive sensibili al clima e contribuisce al degrado delle risorse idriche e alimentari, amplificando così il carico di malattia a livello mondiale. Il presente studio indirizza l'analisi verso cinque domini patologici che la letteratura riconosce come i più sensibili agli stress termici: malattie cardiovascolari, patologie respiratorie, diabete mellito, disturbi neuro-psichiatrici e complicanze ostetriche. Queste condizioni, protagoniste delle stime più robuste di eccesso di morbosità e mortalità durante ondate di caldo e freddo, coprono un arco che va dall'adulto fragile, alla gestante e al neonato, offrendo così una lente trasversale sui molteplici stadi del ciclo di vita. La loro selezione consente di investigare con precisione quei quadri clinici in cui l'innalzamento o l'abbassamento repentino della temperatura agisce da potente amplificatore di rischio, fornendo un indicatore sensibile dell'impatto climatico sulla salute pubblica.

Con riguardo alle malattie cardiovascolari, dai dati relativi alla città di Rasht (Iran) emerge un'associazione positiva tra malattie cardiovascolari, in particolare tra gli arresti cardiaci e le variabili meteo-climatiche (temperature massime, temperature minime, umidità, pressione atmosferica) (Borghesi et al., 2020) [9]. Chaseling et al. (2021) [10] documentano un aumento di ricoveri e decessi tra i soggetti cardiopatici durante le ondate di calore; mentre metanalisi quantitative riportano eccessi di mortalità per cardiopatia ischemica, ictus e insufficienza cardiaca (Cheng et al. 2019) [11]. Il rischio risulta ulteriormente potenziato dall'interazione con l'inquinamento atmosferico: temperature elevate accrescono le concentrazioni di ozono troposferico e $PM_{2,5}$ ¹, configurando un'esposizione sinergica (Weilnhammer et al. 2021) [12]. De Vita et al. (2024) [13] osservano negli Stati Uniti, in Canada e in Cina, un incremento significativo di eventi cardiovascolari in presenza concomitante di caldo estremo e alti livelli di particolato. Tale sinergia viene attribuita a un'intensificazione di infiammazione sistemica e stress ossidativo indotti dal $PM_{2,5}$ (Jacobsen et al., 2022) [14]. Sul piano clinico, Alahmad et al. (2023) [15] segnalano picchi di accessi in pronto soccorso per ipertensione durante significative ondate di calore, confermando lo stress termico quale precipitante di emergenze cardiovascolari.

¹ Il $PM_{2,5}$ (particolato fine) è una miscela di particelle solide e liquide sospese nell'aria con un diametro inferiore a 2,5 micrometri. Proviene da combustioni, reazioni chimiche in atmosfera, polveri sottili naturali ed è uno dei principali inquinanti atmosferici (ISPRA).

Relativamente alle patologie respiratorie recenti evidenze consolidano il nesso fra stress termico atmosferico e aggravamento delle patologie respiratorie. L'inalazione di contaminanti aero-dispersi – soprattutto durante episodi di caldo intenso – provoca danni acuti e cronici all'apparato respiratorio, con esiti che vanno da riacutizzazioni allergiche e infettive alla destabilizzazione di Broncopneumopatia Cronica Ostruttiva (BPCO) e asma; l'impatto è più marcato in neonati, bambini, anziani e soggetti che presentano comorbidità preesistenti (Mirsaedi et al.,2016) [16]. D'Amato et al. (2014) [17] documentano un picco di mortalità precoce tra i pazienti con malattie polmonari croniche nelle settimane successive alle ondate di caldo, attribuito allo stress fisiologico da ipertermia e alla co-esposizione ambientale. In un'ampia rassegna, Ayres et al. (2009) [18] identificano ondate di calore e di gelo, variazioni allergeniche e fenomeni meteorologici intensi come principali driver di morbilità e mortalità respiratoria. L'evidenza europea conferma la sinergia tra variabili meteorologiche e salute respiratoria. In estate, ogni incremento di 1°C della temperatura massima oltre la soglia locale (23–29°C) corrisponda a uno 0,7% di aumento della mortalità respiratoria giornaliera, con il 3–5 % di ricoveri ospedalieri in più. Durante le ondate di caldo, la mortalità respiratoria aumenta ulteriormente (12–61%), soprattutto nei territori del bacino mediterraneo, dove la combinazione di condizioni climatiche avverse, infrastrutture meno adattate e profili demografici più anziani ne accresce la vulnerabilità (De Sario et al.,2013) [19].

In riferimento al diabete mellito studi clinico-epidemiologici hanno recentemente evidenziato come le ondate di calore aggravino ulteriormente gli esiti sanitari nei pazienti diabetici, confermando la loro particolare vulnerabilità agli stress termici, che in periodi di caldo intenso si associano a un marcato incremento di morbosità e mortalità. Dagli studi emerge un aumento complessivo dei ricoveri legati al diabete compreso tra il 6% e il 30%, con effetti più pronunciati negli over 65. In Brasile, un'analisi su oltre mezzo milione di ricoveri indica che un aumento di 5°C della temperatura media si traduce in un +6 % di ospedalizzazioni per diabete, di cui il 7,3 % attribuibile direttamente al calore, mentre ad Atlanta l'aumento della temperatura massima giornaliera incrementa le visite in pronto soccorso, specialmente nei soggetti over 65 anni (Al-Shihabi et al.,2023) [20]. Durante le ondate di calore i soggetti affetti da diabete, a causa dell'eccessiva sudorazione, subiscono conseguenze maggiori all'iperglicemia cronica, alla resistenza insulinica e alla vasodilatazione (Ratter-Rieck et al.,2023) [21].

Gli impatti climatici sulla salute psichica si manifestano sostanzialmente lungo due modalità: diretta (stress termico e traumi da disastri ambientali) e indiretta (dislocazioni economiche, insicurezza abitativa e alimentare, violenza collettiva, alienazione ambientale). Questa duplice

via rende i disturbi mentali un indicatore sentinella dell'urgenza di misure di mitigazione climatica e di resilienza psicosociale nei gruppi più esposti. Padhy et al. (2015) [22] collegano l'aumento delle temperature a ricadute psichiatriche: periodi di caldo estremo mostrano associazioni robuste con incremento di aggressività, disturbi dell'umore, ansia, demenza e suicidio, verosimilmente attraverso l'esaurimento fisiologico e psicologico indotto dallo stress da calore. L'insieme dei processi climatici estremi (innalzamento del mare, desertificazione, ondate di calore) erode la stabilità socioeconomica delle comunità rurali: riduzione della produttività agricola, perdita di reddito e insicurezza alimentare si sommano alla diminuzione della capacità lavorativa per stress termico, alimentando povertà, migrazioni forzate e conflitti, tutti fattori associati a un peggioramento della salute mentale (Palinkas et al., 2020) [23].

Infine, se è vero che l'esposizione alle temperature estreme è universale, gli esiti sanitari mostrano profonde diseguaglianze, modellate dal diverso grado di vulnerabilità biologica e socioeconomica. Analisi recenti indicano che le donne risultano essere una delle categorie maggiormente colpite dalle ondate di calore, tanto che la mortalità cardiovascolare e respiratoria femminile (soprattutto in stato di gravidanza) raddoppia, insieme al rischio di parto pretermine e morte fetale. Dati sulle nascite statunitensi (2009-2018), infatti, confermano che un solo giorno con temperatura media superiore a 27°C o inferiore a -12°C è sufficiente per incrementare l'incidenza di pretermine e ridurre il peso neonatale. Il quadro è tuttavia bidirezionale: studi multicentrici segnalano tassi più elevati di colpo di calore e una maggiore incidenza di ictus e cardiopatie negli uomini (Cil et. al., 2022) [24].

Le ondate di calore e di gelo, in quanto eventi estremi associati al cambiamento climatico, rappresentano un fattore esogeno in grado di generare una pressione acuta e repentina sulla domanda di servizi sanitari, soprattutto nei contesti di emergenza-urgenza. Come discusso in precedenza, tali shock termici sono noti per la loro associazione con un aumento della morbilità e della mortalità, in particolare tra i gruppi di popolazione più vulnerabili. Tuttavia, oltre alle implicazioni cliniche dirette, è fondamentale considerare anche le ricadute sistemiche che tali eventi producono sull'organizzazione e sulla capacità di risposta del sistema sanitario. In particolare, i dipartimenti di emergenza (DEA) e i pronto soccorso si trovano frequentemente al centro di un sovraccarico di domanda che, nella maggior parte dei casi, si manifesta senza un corrispondente adeguamento dell'offerta di servizi. Tale asimmetria, strutturalmente legata alla rigidità delle risorse disponibili (in termini di personale, posti letto, tecnologie e spazi fisici), si traduce in un allungamento dei tempi di attesa per le prestazioni sanitarie, intese non solo come accesso alla consulenza medica, ma anche come tempo trascorso tra il triage iniziale e il

trattamento effettivo. I tempi di attesa nei pronto soccorso sono oggi riconosciuti come uno degli indicatori chiave di performance sanitaria, in quanto riflettono la capacità del sistema di offrire cure tempestive e appropriate (McIntyre et al., 2020) [25]. In situazioni di pressione straordinaria – come quelle generate dagli shock termici – la gestione efficace dei tempi di attesa diventa ancora più critica, sia per la tutela della salute individuale, sia per la tenuta organizzativa del sistema stesso. La letteratura internazionale evidenzia che la misurazione dei tempi di attesa varia sensibilmente tra i sistemi sanitari, in quanto dipende da definizioni operative diverse, da differenti sistemi di triage e da strutture organizzative eterogenee. In questo contesto, il tempo di attesa per la prima valutazione medica viene spesso adottato come indicatore surrogato della qualità e tempestività dell’assistenza fornita (Shen et al., 2020) [26]. Tuttavia, tale metrica è fortemente influenzata dal mix di casi clinici (*case-mix*) e dalla loro urgenza relativa, che tende a cambiare in presenza di eventi estremi, rendendo difficili i confronti temporali e geografici. Uno dei problemi risiede nelle attività preliminari al trattamento, quali la registrazione e il triage che, pur essendo concepite come operazioni snelle e funzionali alla prioritizzazione clinica, rappresentano talvolta fonti strutturali di ritardo. Studi recenti suggeriscono che, in contesti di sovraccarico, la funzione stessa del triage può subire rallentamenti significativi, contribuendo a un peggioramento dei tempi di accesso alla visita medica vera e propria. È pertanto evidente che un incremento dei ricoveri ospedalieri non programmati – come frequentemente osservato durante ondate di calore estive o episodi di gelo invernale – comporta, in assenza di un ampliamento contestuale della capacità ricettiva, un prolungamento dei tempi di attesa lungo l’intero percorso del paziente. Questo fenomeno si inserisce all’interno di una più ampia tensione tra domanda sanitaria crescente e offerta sanitaria tendenzialmente rigida, che caratterizza gran parte dei sistemi sanitari pubblici contemporanei, incluso il servizio sanitario nazionale. Un contributo rilevante nell’analisi delle capacità operative del sistema sanitario in contesti di pressione è offerto dallo studio di Agovino et al. (2022) [27], che propone un modello di equilibrio del mercato del primo soccorso applicato al pronto soccorso di Sorrento. Questo approccio consente di interpretare l’efficienza dei servizi di emergenza non solo come risultato di fattori tecnici o gestionali, ma anche come esito dell’interazione dinamica tra domanda e offerta di primo soccorso, colmando così una lacuna importante nella letteratura sull’efficienza ospedaliera. I reparti d’emergenza e i pronto soccorso operano, ormai strutturalmente, in condizioni di sovraccarico cronico, come segnalato dagli autori, con lunghi tempi di attesa che possono protrarsi per diverse ore, in particolare nei momenti di picco stagionale o in risposta a eventi meteorologici anomali. L’arrivo simultaneo

di numerosi pazienti costituisce, a tutti gli effetti, un'esternalità negativa all'interno del sistema sanitario: più elevato è il numero di accessi, minore risulta la disponibilità di risorse da destinare a ciascun paziente, aumentando il rischio che condizioni cliniche inizialmente non gravi evolvano in quadri più complessi durante l'attesa. In tale contesto, i tempi di attesa diventano una variabile critica non solo per la valutazione della performance dei servizi ospedalieri, ma anche per la sicurezza e gli esiti clinici dei pazienti. L'allungamento dei tempi di attesa è associato a una serie di effetti deleteri: riduzione della soddisfazione del paziente, ritardo nell'accesso ai trattamenti, esiti sanitari peggiori, aumento dei costi di gestione, disuguaglianze nell'accesso alle cure e incremento dell'ansia tra i pazienti stessi [27]. Tali dinamiche risultano particolarmente critiche per i pazienti affetti da patologie croniche, che possono subire un onere cumulativo dovuto alla frequente esposizione a lunghe attese e al ridotto accesso tempestivo alle cure. Questo fenomeno, inoltre, può riflettersi negativamente sulla loro partecipazione al mercato del lavoro, aggravando il circolo vizioso tra fragilità sanitaria e deprivazione socioeconomica (McIntyre et al.,2020) [25].

In questo quadro, si delinea una tensione strutturale all'interno degli ospedali tra due obiettivi solo apparentemente convergenti: garantire la massima qualità assistenziale e mantenere livelli accettabili di efficienza operativa, soprattutto in presenza di risorse limitate. Tale tensione emerge chiaramente nella dicotomia tra efficienza e qualità. Come sottolineato da Mbau et al. (2023) [28], l'efficienza sanitaria non può essere misurata univocamente, anzi, questa richiede un'integrazione di metodi qualitativi e quantitativi, che considerino non solo input e output, ma anche variabili esogene (come le ondate di calore, di gelo), modelli decisionali e qualità percepita. Il contributo teorico di Donabedian (1990) rimane in tal senso imprescindibile, definendo la qualità sanitaria come l'equilibrio tra miglioramenti ottenuti e miglioramenti teoricamente raggiungibili, in base a conoscenze e risorse disponibili. La qualità si articola, secondo questo approccio, in tre dimensioni: organizzativa, professionale e percepita. Tuttavia, gli shock termici estremi rappresentano una variabile dirompente, in grado di compromettere equilibri già fragili. I tempi di attesa ospedalieri si configurano, in tale contesto, come uno degli indicatori più sensibili all'instabilità ambientale. Lo studio di Rizmie et al. (2022) [29] mostra come l'accesso ai servizi sanitari segua pattern stagionali, ma con variazioni impreviste determinate da eventi climatici estremi. Tali eventi amplificano l'afflusso di pazienti nei pronto soccorso, richiedendo una maggiore flessibilità nella gestione ospedaliera. L'esperienza dell'inverno 2012-2013 nel Regno Unito (National Audit Office, 2013) conferma che, in presenza di domanda acuta imprevista, il sistema tende a sacrificare le prestazioni programmate,

come le cure elettive, a favore dell'emergenza, compromettendo così la continuità assistenziale. Questi dati testimoniano non solo l'aumento del carico assistenziale, ma anche la natura specifica e acuta della domanda sanitaria generata dagli eventi termici estremi, con ricadute dirette sull'organizzazione ospedaliera, sui tempi di attesa e, in ultima istanza, sulla sicurezza e l'equità del sistema sanitario.

1.2. Geografia del territorio e diversità climatiche

Le variazioni climatiche che interessano l'Italia mostrano una marcata differenziazione a livello regionale, generando effetti sanitari non uniformi lungo il territorio nazionale. Tale differenziazione dipende principalmente da due fattori: da un lato, le caratteristiche climatiche locali, che determinano l'intensità e la frequenza degli eventi estremi (ondate di calore al Sud, episodi di gelo estremo nelle Alpi, fenomeno delle isole di calore urbane nelle grandi città); dall'altro, la capacità adattiva dei sistemi sanitari locali, che influisce sulla risposta operativa alle emergenze. In questo senso, le regioni meridionali – caratterizzate da una maggiore frequenza e intensità delle ondate di calore – tendono a subire maggiormente gli impatti sanitari acuti durante i periodi estivi (Ministero della Salute, 2023). Allo stesso tempo, le regioni alpine, esposte a episodi estremi di gelo e fenomeni di dissesto idrogeologico, evidenziano criticità diverse, principalmente legate all'accessibilità e alla continuità delle cure nelle fasi emergenziali (ISPRA, 2022). Le grandi aree urbane, infine, mostrano una combinazione tra elevate temperature, concentrazione demografica e peggioramento della qualità dell'aria, generando significative pressioni sanitarie nelle strutture di emergenza (ARPA Piemonte, 2022).

L'Italia si colloca nell'Europa meridionale tra il 47° e il 36° parallelo Nord, in una posizione geografica che la pone al centro della fascia temperata dell'emisfero settentrionale. La sua particolare morfologia, con catene montuose a Nord (le Alpi) e lungo tutta la dorsale appenninica, insieme alla presenza estesa del Mar Mediterraneo, influisce notevolmente sulla varietà climatica del Paese. In generale, si può parlare di un clima temperato, ma con significative variazioni regionali e stagionali. Negli ultimi decenni, tuttavia, il quadro climatico nazionale ha subito mutamenti importanti, riconducibili al cambiamento climatico (Salata et al., 2017) [30]. Secondo l'ISPRA (2025), nel periodo 1981-2023 si è registrato in Italia un aumento medio della temperatura di circa 0,40°C per decennio, un dato che risulta superiore rispetto alla media globale sulla terraferma. Il 2023 è stato il secondo anno più caldo dal 1961,

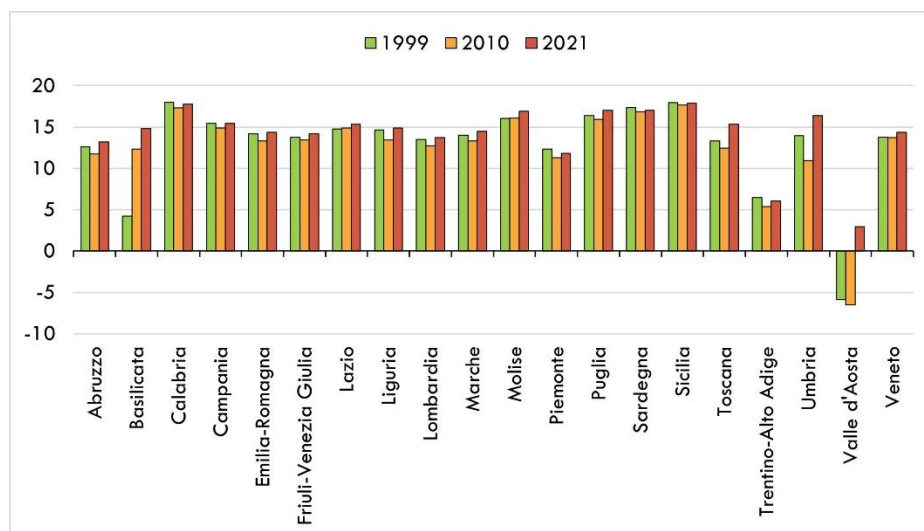
con un'anomalia termica di +1,14°C rispetto alla media climatologica 1991-2020. Le variazioni climatiche si osservano anche nella distribuzione delle precipitazioni. Sebbene il 2023 si sia collocato globalmente in linea con la media, sono emersi forti squilibri mensili e regionali. Ad esempio, al Sud e nelle Isole si sono verificate anomalie molto marcate, come l'eccesso di piogge a maggio (+222%) e giugno (+154%), alternato a lunghi periodi di siccità come quello di luglio (-84%). Altri indicatori confermano la tendenza verso un riscaldamento climatico e condizioni sempre più estreme: nel 2023 si è registrato un numero elevato di giorni estivi (temperature >25°C), giorni torridi (>35°C) e notti tropicali (temperature minime >20°C), tutti ai massimi storici. Le ondate di calore sono state particolarmente frequenti, con 29 giorni sopra la media storica. Un ulteriore segnale del riscaldamento climatico è fornito dallo stato dei ghiacciai alpini. Tra il 1995 e il 2023, essi hanno registrato una perdita media di oltre un metro di acqua equivalente all'anno, con punte di oltre 50 metri di perdita cumulata per alcuni ghiacciai come quello del Caresèr (Trentino) [31].

Nell'ambito della presente indagine sull'impatto del cambiamento climatico sul sistema sanitario nazionale italiano, si è ritenuto opportuno affiancare all'analisi qualitativa del fenomeno anche un contributo quantitativo fondato su dati osservati. A tal fine, sono stati utilizzati i dati climatici giornalieri utilizzando serie storiche del sistema SCIA al periodo 1999–2022. Tali dati rappresentano un riferimento autorevole e aggiornato per la ricostruzione storica delle condizioni climatiche italiane. In particolare, sono state analizzate le temperature medie giornaliere, ottenute come media aritmetica tra la temperatura massima media e la temperatura minima media registrate quotidianamente su scala nazionale. I dati sono stati, quindi, aggregati annualmente e mensilmente, al fine di evidenziare sia le tendenze a lungo termine sia la variabilità intra-annuale del clima italiano. I grafici che seguono mostrano:

- L'andamento delle temperature medie annuali dal 1999 al 2021, utile per cogliere il trend generale di riscaldamento;
- La distribuzione mensile delle temperature massime medie e minime medie, che consente di osservare le caratteristiche stagionali e la presenza di eventuali anomalie termiche. In particolare, osservando: da un lato i mesi caldi (da aprile a settembre) e dall'altro i mesi freddi (da ottobre a marzo).

L'analisi di tali dati riveste particolare rilevanza nel contesto del cambiamento climatico, permettendo di valutare in che misura anche il clima italiano stia seguendo le tendenze di riscaldamento globale evidenziate nei principali rapporti scientifici internazionali e nazionali.

Figura 1.1 - Temperatura media Italia 1999 – 2010 – 2021

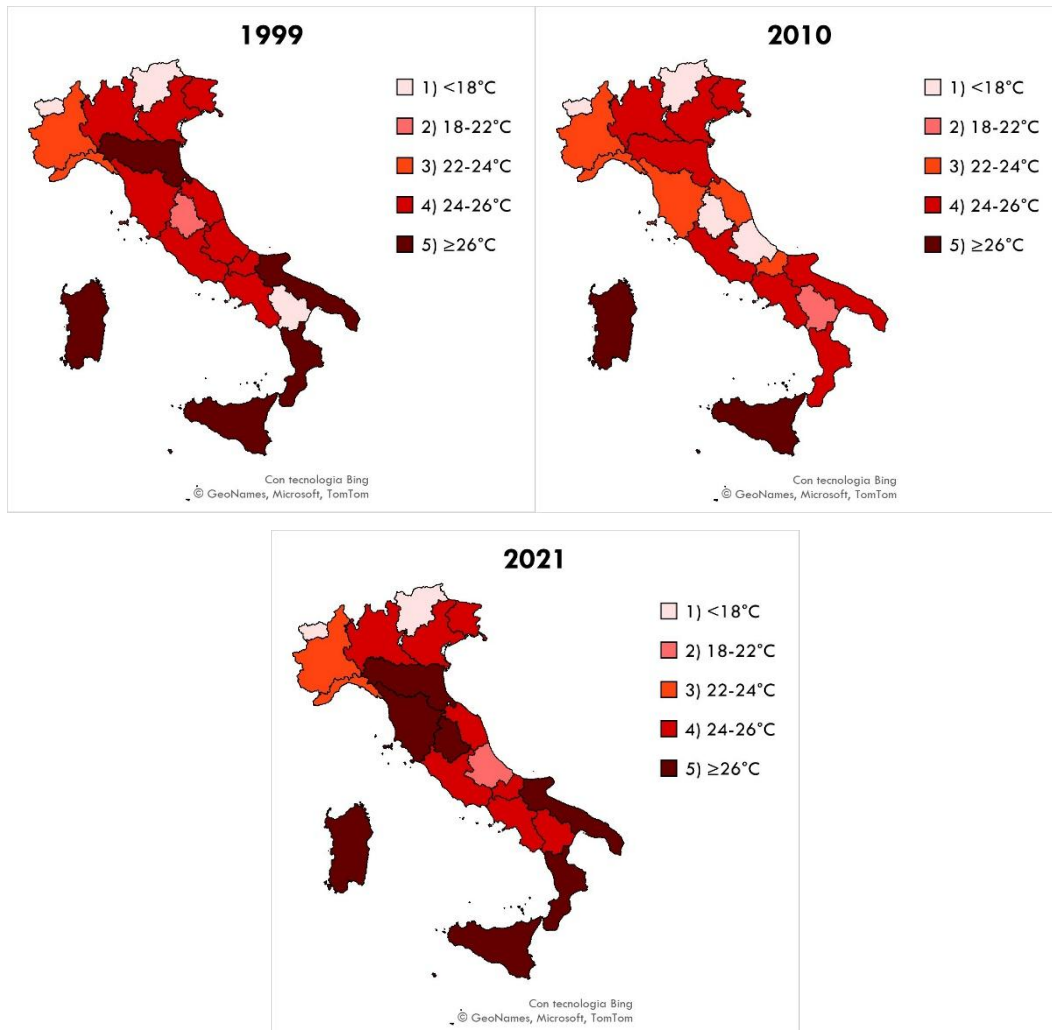


Fonte: propria elaborazione su fonte dati SCIA

La *Figura 1.1* rappresenta l'andamento della temperatura media annua, calcolata come media tra temperatura massima e minima giornaliera, per ciascuna regione italiana in tre anni campione: 1999, 2010 e 2021. I dati mostrano chiaramente come la distribuzione termica sul territorio nazionale presenti una significativa variabilità regionale, ma soprattutto una tendenza all'aumento delle temperature nel lungo periodo, coerentemente con le dinamiche del cambiamento climatico globale. In particolare, regioni del Sud Italia come Calabria, Sardegna, e Sicilia registrano già nel 1999 valori di temperatura mediamente più elevati rispetto al resto del Paese, con un incremento ulteriore evidente nel 2010 e consolidato nel 2021. Tale andamento è coerente con la maggiore esposizione del Mezzogiorno alle ondate di calore e alla desertificazione climatica. Lombardia, Piemonte e Emilia-Romagna, pur partendo da valori più moderati nel 1999, evidenziano un incremento significativo nel 2021, segnalando un'intensificazione degli effetti climatici anche nelle regioni dell'Italia settentrionale. Di particolare rilievo è il caso del Trentino-Alto Adige, che, pur mantenendo le temperature medie più contenute nel confronto nazionale, mostra un chiaro trend di crescita, verosimilmente associato al riscaldamento delle aree alpine. Una menzione a parte merita la Valle d'Aosta, unica regione a registrare valori medi negativi nei tre anni considerati. Tuttavia, anche qui si osserva un incremento progressivo, benché più contenuto, della temperatura media annua, a dimostrazione del fatto che anche le regioni tipicamente montane non sono immuni al riscaldamento globale. Questi risultati suggeriscono che, sebbene la struttura termica regionale

rimanga relativamente stabile nel tempo (le regioni calde restano tendenzialmente le stesse), i valori assoluti di temperatura sono in crescita, specie nel confronto tra le annate 1999 e 2021. Si tratta di un segnale coerente con quanto evidenziato anche nei rapporti nazionali ISPRA e nel Sesto Rapporto dell'IPCC, che descrivono il Mediterraneo – e l'Italia in particolare – come una zona ad alta vulnerabilità climatica.

Mappa 1. 1 – Temperatura massima media Italia nei mesi caldi aprile-settembre, Anni 1999-2010-2021



Fonte: propria elaborazione su fonte dati SCIA

L'analisi diacronica delle carte termiche relative ai mesi caldi (aprile-settembre) per l'Italia – con riferimento al 1999, al 2010 e al 2021 – restituisce con evidenza il processo di riscaldamento in atto, seppur caratterizzato da fisiologiche oscillazioni interannuali.

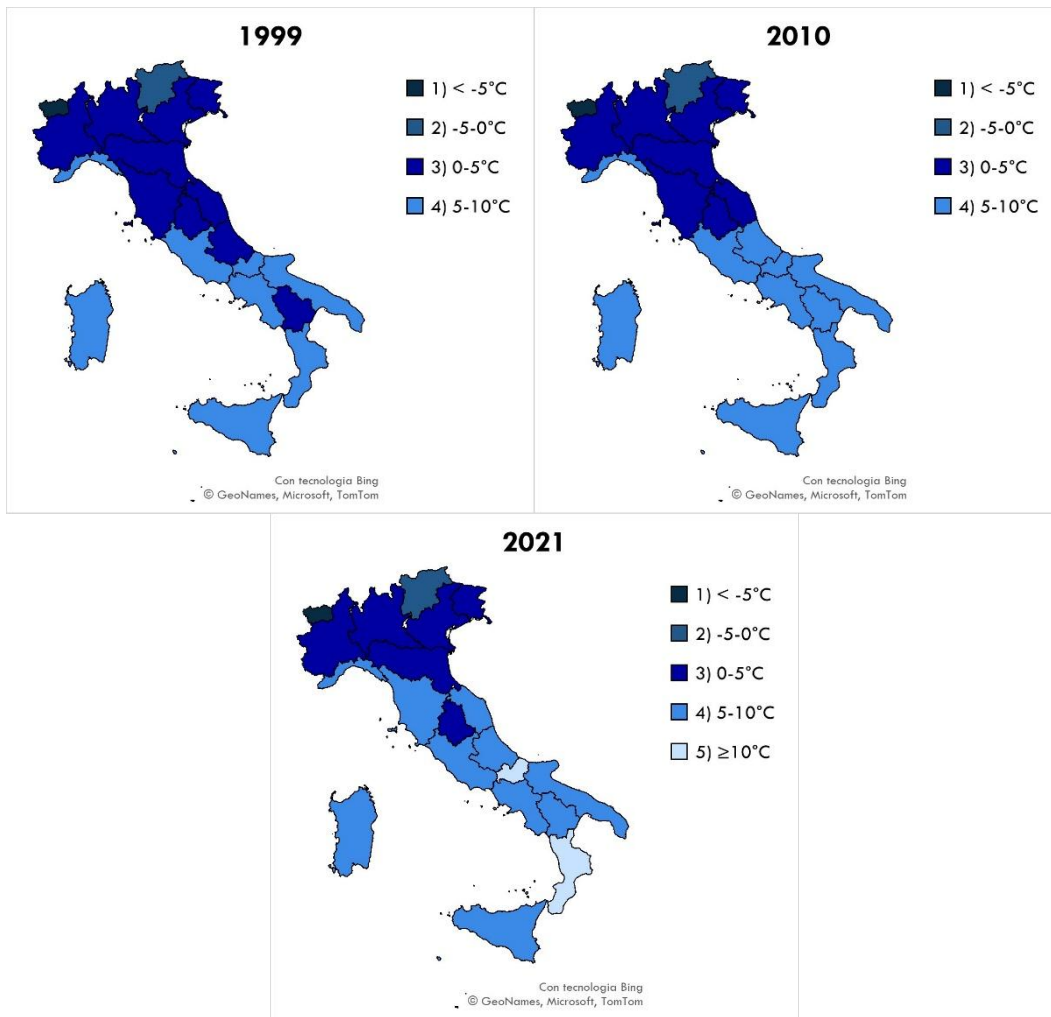
Nel 1999, il mosaico climatico nazionale si presentava ancora marcatamente differenziato. Le aree alpine e prealpine erano saldamente inserite nelle classi più fresche, mentre le pianure settentrionali e gran parte del Centro si distribuivano nelle fasce intermedie. Il Mezzogiorno e le isole maggiori, già all'epoca, segnalavano estesi nuclei di calore nella classe più elevata, delineando un netto gradiente latitudinale e altitudinale in linea con l'orografia e l'influenza marittima.

Segue, nel 2010, una fase di riorganizzazione del quadro termico. Si osserva un'espansione delle classi intermedie verso nord, a scapito di quelle più fredde, che rimangono confinate ai soli settori montani. Le temperature più elevate permangono saldamente al sud e sulle isole, mentre si registra un incremento della fascia 24-26°C su parte del Centro-Sud. Questo assetto configura un anno relativamente più temperato al Centro, se paragonato al 1999, sebbene inserito in un contesto di rialzo termico di fondo.

Il quadro del 2021, infine, testimonia un riscaldamento ormai marcato e diffusivo. Le classi fresche si riducono drasticamente, divenendo mere sacche confinate alle quote più elevate delle Alpi e di alcuni tratti appenninici. La fascia 24-26°C diventa predominante su gran parte del territorio peninsulare, mentre la classe $\geq 26^{\circ}\text{C}$, un tempo appannaggio quasi esclusivo del Sud, si espande in modo significativo, interessando in maniera più continua anche aree del Centro-Tirreno e tratti della Pianura Padana. L'esito di questa evoluzione è un sistema climatico nazionale percepibile più caldo e, al contempo, meno eterogeneo rispetto al passato.

In sintesi, la lettura integrata delle tre mappe conferma una tendenza chiara: si rileva un aumento generalizzato delle temperature massime medie, accompagnato da una progressiva rarefazione delle classi più fresche, ormai relegate alle quote elevate, e da una parallela crescita ed espansione delle classi più calde. Queste ultime, in particolare la fascia $\geq 26^{\circ}\text{C}$, non sono più solo dominanti nel Mezzogiorno, ma stanno diventando una presenza sempre più significativa anche nelle regioni del Centro-Nord.

Mappa 1. 2 – Temperatura minima media Italia nei freddi ottobre-marzo, Anni 1999-2010-2021



Fonte: propria elaborazione su fonte dati SCIA

La serie cartografica dedicata alle temperature minime medie del periodo freddo (ottobre-marzo) per il 1999, il 2010 e il 2021, consente di tracciare l'evoluzione del regime termico invernale con altrettanta chiarezza. È significativo notare come, a conferma della tendenza in atto, nel 2021 venga introdotta una nuova classe ($\geq 10^{\circ}\text{C}$), segno tangibile di condizioni climatiche più miti.

Nel 1999, il quadro climatico si presentava nettamente segmentato. Le regioni alpine e parte del Nord-Est erano saldamente inserite nelle fasce più rigide, mentre la gran parte del Centro-Nord rientrava nella classe intermedia. Il Mezzogiorno e le isole maggiori, d'altro canto, erano caratterizzati dalla fascia più mite allora disponibile (5-10°C), riflettendo un marcato gradiente latitudinale e l'influenza determinante dell'altitudine.

Una prima transizione verso condizioni più temperate è osservabile nel 2010. In quell'anno, si assiste a un generale ammorbidimento termico: le aree più fredde risultano confinate ai soli settori alpini, il Nord si concentra nella fascia centrale e la classe più mite (5-10°C) guadagna terreno, espandendosi su gran parte del Centro e del Sud. Questo assetto configura un inverno sensibilmente più “dolce” rispetto al 1999.

Il cambiamento diventa ancor più netto e strutturale nel 2021. La mappa di quest'anno non solo conferma, ma accentua la tendenza, mostrando un paesaggio termico profondamente riorganizzato. Le sacche di freddo più intenso resistono ormai solo alle quote più elevate, mentre la fascia intermedia si riduce notevolmente. Contemporaneamente, la classe 5-10°C diventa predominante sul Centro-Sud, e la nuova classe $\geq 10^\circ\text{C}$ fa la sua comparsa, affermandosi in varie regioni meridionali e insulari. Questo dato segnala in modo inequivocabile l'instaurarsi di condizioni invernali decisamente più miti.

In sintesi, l'analisi diacronica evidenzia tre dinamiche principali: il progressivo ritiro delle classi più fredde, l'espansione di quelle miti e la stessa necessità di introdurre una nuova categoria per rappresentare temperature prima non così diffuse. Conseguenza diretta di questo processo è l'attenuazione del tradizionale netto gradiente termico Nord-Sud. Affiancando questa ricostruzione a quella relativa ai mesi estivi, emerge con chiarezza una tendenza strutturale e pervasiva al riscaldamento del clima italiano su base annua. Gli inverni diventano sempre più miti e i periodi gelidi, ormai, risultano significativamente più brevi e circoscritti. Il confronto tra questi anni suggerisce due fenomeni principali:

- I. Aumento delle temperature massime medie estive: evidente tra 1999 e 2021, soprattutto nel Nord e nel Centro, con una progressiva tropicalizzazione del clima e una crescita del numero di giorni con temperature elevate;
- II. Mitigazione dei mesi invernali: pur con variazioni interannuali (come nel 2010), si osserva una leggera ma costante tendenza verso inverni meno rigidi, in particolare nelle regioni centrali.

Questi elementi, coerenti con il trend osservato nei dati SCIA, rafforzano la consapevolezza del fatto che l'Italia sta sperimentando modificazioni significative nella stagionalità termica, con estati sempre più calde e inverni progressivamente più miti. Alla luce di questi dati, diventa essenziale integrare l'analisi climatica con una lettura epidemiologica e territoriale che consenta di comprendere non solo l'intensità del fenomeno climatico, ma anche la capacità delle aree di assorbirne l'impatto sanitario. In questa prospettiva, il concetto di "*vulnerabilità climatica*"

deve essere declinato nella sua dimensione sanitaria, includendo l'adeguatezza infrastrutturale del sistema sanitario, la disponibilità di servizi territoriali e la distribuzione delle fragilità sociodemografiche. L'evidenza empirica suggerisce che l'Italia non è esposta in modo omogeneo al rischio climatico-sanitario. Tre contesti emergono per criticità:

- il *Mezzogiorno* che comprende le otto regioni dell'Italia meridionale e insulare: Abruzzo, Molise, Campania, Puglia, Basilicata, Calabria, Sicilia e Sardegna. Le condizioni climatiche estreme si manifestano con ondate di calore sempre più intense e prolungate, accompagnate da ricorrenti crisi idriche e anomalie pluviometriche. Le regioni meridionali — tra cui Campania, Puglia, Calabria e Sardegna — hanno mostrato incrementi negli accessi ai DEA pari al +20–30% durante i picchi estivi, con punte superiori registrate in contesti urbani come Napoli e Bari. Allo stesso tempo, l'eccesso di mortalità legato allo stress termico ha raggiunto valori significativi: +14% in Campania e +22% in Sardegna nell'estate 2024, secondo i bollettini del Ministero della Salute e dell'Istituto Superiore di Sanità (ISS). Tali effetti si sommano a una cronica fragilità infrastrutturale e sociosanitaria, che amplifica la vulnerabilità complessiva dell'area;
- le *regioni alpine* che comprendono i territori montani delle regioni che insistono sull'arco alpino: Piemonte, Valle d'Aosta, Lombardia, Trentino-Alto Adige, Veneto e Friuli-Venezia Giulia. Tali aree, pur eterogenee, condividono caratteristiche ambientali di alta quota e sono soggette a fenomeni specifici del cambiamento climatico, tra cui lo scioglimento accelerato dei ghiacciai, la riduzione dell'innevamento e l'incremento del rischio di dissesto idrogeologico (Sistema Nazionale Protezione Ambiente (SNPA), 2025). Sebbene i dati epidemiologici su base alpina siano meno sistematici, le evidenze locali raccolte dalle ARPA e dalle ASL regionali segnalano un aumento di ricoveri urgenti associati a eventi estremi, nonché criticità di accesso ai servizi sanitari in territori isolati. In questi contesti, la vulnerabilità sanitaria si intreccia con le difficoltà logistiche e infrastrutturali di un ambiente montano in trasformazione climatica;
- le *aree urbane metropolitane* che corrispondono alle 14 città metropolitane istituite dalla Legge 56/2014: Torino, Milano, Venezia, Genova, Bologna, Firenze, Roma, Bari, Napoli, Reggio Calabria, Palermo, Catania, Messina e Cagliari. Questi centri urbani sono soggetti al cosiddetto *effetto isola di calore*, che intensifica le temperature percepite, specialmente nelle ore notturne. L'alta densità abitativa, l'inquinamento atmosferico e le disuguaglianze socioeconomiche contribuiscono ad accrescere la

vulnerabilità sanitaria. Durante l'estate 2023, le città metropolitane hanno registrato incrementi significativi negli accessi in emergenza, con valori superiori alla media nazionale (Ministero della Salute, 2023). La mortalità correlata al caldo ha raggiunto incrementi del +10–20% nella fascia over 75, come evidenziato da studi locali su città come Modena e Roma (ARS Toscana, 2023), in particolare, l'accumulo di inquinanti atmosferici nei periodi di alta pressione termica aggrava l'incidenza di patologie respiratorie e cardiovascolari.

Per evidenziare il legame tra vulnerabilità climatica regionale e impatti sanitari, questa sezione propone un confronto mirato tra le tre categorie territoriali sopra esposte: Mezzogiorno, aree urbane metropolitane e regioni alpine, incrociando indicatori climatici prevalenti con variabili sanitarie chiave: accessi in DEA durante ondate di calore e incidenza di morbosità/mortalità estiva.

Tabella 1. 3 – Quadro comparativo tra aree ad alta vulnerabilità e variabili sanitarie chiave

Area geografica	Regioni/città incluse	Fattori climatici prevalenti	Accessi in DEA	Mortalità/ morbosità estiva osservata
Mezzogiorno	Abruzzo, Molise, Campania, Puglia, Basilicata, Calabria, Sicilia, Sardegna	Ondate di calore persistenti, siccità, anomalie pluviometriche	+20–30% (picchi in Campania, Puglia)	Mortalità in eccesso: +14% (Campania), +22% (Sardegna) (ISS, 2024)
Regioni alpine	Piemonte (zone montane), Valle d'Aosta, Lombardia (Valtellina, Alpi Orobie), Trentino-Alto Adige, Veneto, Friuli-Venezia Giulia	Scioglimento ghiacciai, eventi estremi montani, stress termico in quota	Aumenti episodici durante frane/alluvioni	Ricoveri acuti da eventi estremi; criticità d'accesso in aree isolate, rischio per popolazioni anziane fragili
Aree urbane metropolitane	Torino, Milano, Venezia, Genova, Bologna, Firenze, Roma, Bari, Napoli, Reggio Calabria, Palermo, Catania, Messina, Cagliari	Isola di calore, caldo notturno, inquinamento atmosferico	+20–30% nelle principali città (Roma, Milano, Napoli, Bologna)	Mortalità +10–20% nella fascia 75+, aumento patologie cardiovascolari e respiratorie

Alla luce di questa differenziazione territoriale, è possibile introdurre con maggiore precisione il concetto di *climate-health hotspot*, che nella letteratura internazionale indica i territori in cui gli impatti sanitari del cambiamento climatico risultano particolarmente intensi, sistemici o

persistenti. Secondo il sesto rapporto dell'IPCC (2022), l'area del bacino del Mediterraneo — e in particolare l'Italia — è da considerarsi un hotspot climatico globale, a causa del riscaldamento atmosferico più rapido della media mondiale, della crescente scarsità idrica e dell'aumento della frequenza e intensità degli eventi estremi. In questo contesto, il concetto di *hotspot sanitario* si sovrappone a quello climatico, laddove si osserva una combinazione critica tra esposizione a rischi climatici e fragilità strutturale dei sistemi sanitari. La Banca Mondiale (2017) definisce il *climate-health hotspot* come un'area geografica in cui si verifica — o si prevede — un cambiamento rilevante nel carico di malattia, dovuto sia agli impatti diretti, ecosistemici o socialmente mediati del cambiamento climatico (come ondate di calore, degrado ambientale, disastri naturali), sia all'esposizione della popolazione a inquinanti climatici co-emessi, come ozono e particolato fine.

Come prima fase esplorativa del lavoro, antecedente alla costruzione del vero e proprio Indice di Resilienza Sanitaria Regionale (ReSaR) presentato nel Capitolo 3, si è adottato un approccio descrittivo di analisi multidimensionale volto a delineare una mappatura preliminare dei profili regionali di resilienza sanitaria e della loro evoluzione nel tempo. L'obiettivo di questa fase è duplice:

- i. fornire una rappresentazione sintetica e immediatamente interpretabile delle differenziazioni territoriali presenti nel sistema sanitario italiano;
- ii. identificare traiettorie spazio-temporali e possibili pattern di vulnerabilità utili a orientare la successiva costruzione dell'indice composito.

A tal fine, è stato selezionato un insieme integrato di indicatori in grado di cogliere simultaneamente la dimensione sanitaria e quella climatica. Gli indicatori sanitari comprendono misure standardizzate di risorse, performance ed efficienza del sistema sanitario regionale: spesa sanitaria pubblica e privata pro capite, dotazione di personale del SSN, disponibilità di posti letto per popolazione, degenza media ospedaliera, tassi di ospedalizzazione complessivi, tassi di ricovero ordinario e tassi di ricorso al pronto soccorso. Questi indicatori consentono di misurare sia la capacità strutturale (input) sia l'efficienza operativa (output) dei sistemi sanitari regionali. Parallelamente, sono stati integrati indicatori climatici sintetici, volti a rappresentare l'esposizione territoriale a pressioni ambientali estreme: l'indice di caldo e l'indice di freddo, espressivi della frequenza (in giorni) di ondate termiche anomale, e l'indice di precipitazione, che cattura deviazioni rilevanti rispetto alla normalità pluviometrica. La combinazione di queste

variabili permette di collocare la resilienza sanitaria in un quadro socio-ecologico, cogliendo il ruolo dei fattori ambientali come moltiplicatori di vulnerabilità.

L'integrazione dei due domini informativi ha consentito l'applicazione di una tecnica di classificazione non supervisionata per ciascun periodo temporale considerato (1999–2000, 2010, 2021), con l'obiettivo di individuare profili omogenei di resilienza sanitaria regionale. È stato adottato l'algoritmo *k-means*, che consente di sintetizzare la multidimensionalità del fenomeno aggregando le regioni in cluster interpretabili (“Alta resilienza”, “Media resilienza”, “Bassa resilienza”). Formalmente, *k-means* ricerca la partizione: $\{C_k\}_{k=1}^K$ che minimizza la somma delle distanze *intra-cluster*:

$$\min_{\{C_k\}} \sum_{k=1}^K \sum_{x_i \in C_k} \|x_i - \mu_k\|^2$$

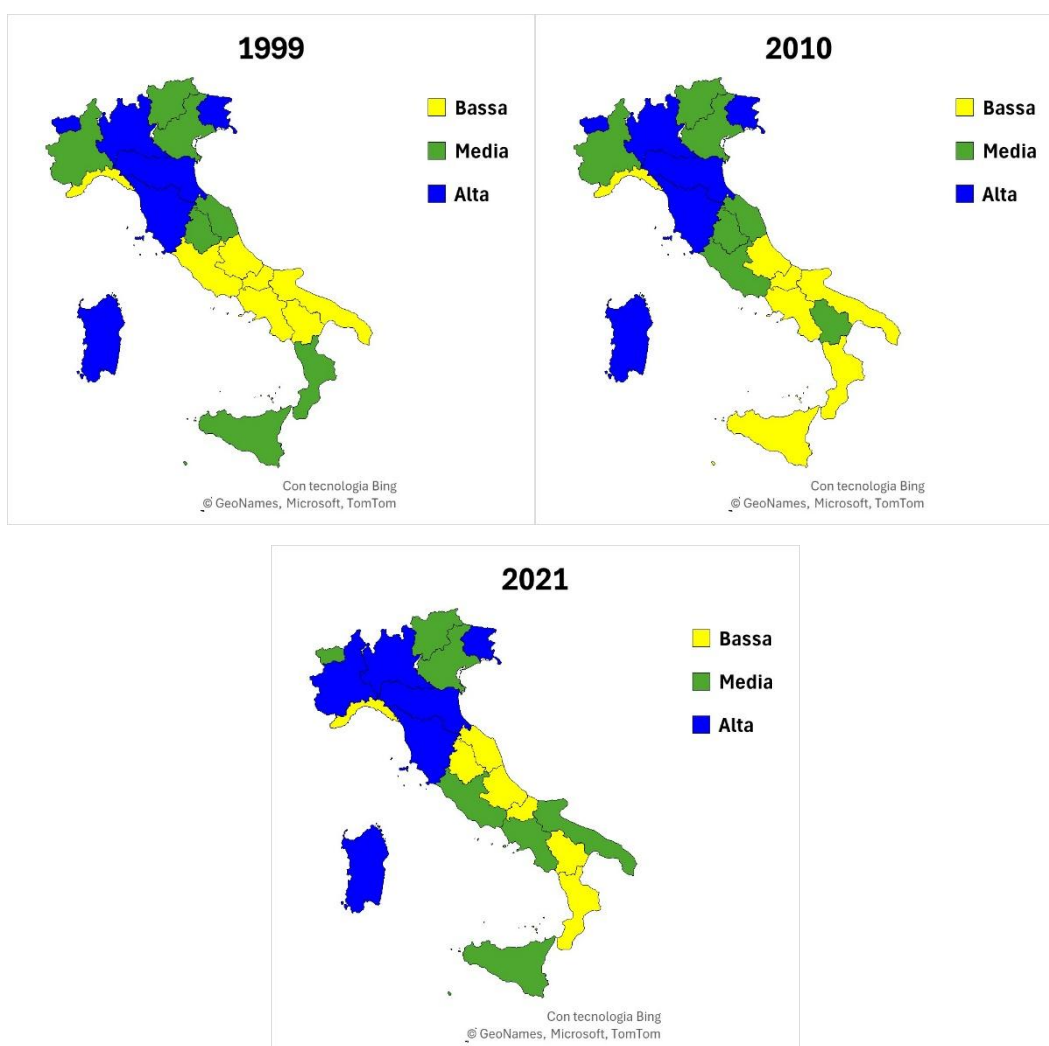
Dove:

- x_i è il vettore degli indicatori per la regione i ;
- $\mu_k = \frac{1}{|C_k|} \sum_{x_i \in C_k} x_i$ è il centroide di ciascun cluster.

Questa procedura non ha finalità predittive o inferenziali, ma svolge una funzione descrittiva-esplorativa, utile a preparare il terreno per l'analisi composita successiva, evidenziando strutture latenti nei dati e coerenze spaziali che meritano approfondimento.

Per rendere tali differenziazioni immediatamente leggibili, i risultati del *clustering* sono stati rappresentati attraverso mappe tematiche integrate, così da consentire una comparazione sinottica dei livelli di resilienza sanitaria e delle loro variazioni nel tempo. L'interpretazione congiunta dei cluster e degli indicatori climatici permette, inoltre, di formulare preliminarmente l'ipotesi di “*hotspot sanitari climaticamente sensibili*”, cioè aree in cui una bassa resilienza strutturale si combina con un'elevata esposizione climatica generando un rischio sanitario amplificato. L'evoluzione temporale della resilienza sanitaria regionale, sintetizzata nelle mappe del 1999, 2010 e 2021, non rappresenta una mera sequenza di stati istantanei, ma la manifestazione spaziale di traiettorie socio-ecologiche forgiate dall'interazione tra modello di governance sanitaria, divari di investimento e intensificazione della pressione climatica.

Mapa 1. 3 – Resilienza Sanitaria Regionale in Italia: Analisi Diacronica 1999-2010-2021



Fonte: propria elaborazione su fonte dati ISTAT

La mappa del 1999, a pochi anni dal completamento del decentramento sanitario (D.Lgs. 502/1992 e successive modifiche), evidenzia una struttura ancora embrionale delle divergenze regionali. Il cluster di “Alta resilienza” si concentra nel Nord-Ovest e nel Nord-Est (Lombardia, Veneto, Emilia-Romagna), territori in cui l’autonomia ha consentito di sviluppare sistemi sanitari efficienti, innovativi e con dotazioni infrastrutturali robuste. Il Mezzogiorno si colloca, invece, prevalentemente nel cluster di “Bassa resilienza”, riflettendo deficit preesistenti nella dotazione di personale, nelle infrastrutture e nella capacità amministrativa. Il Centro mostra livelli intermedi, coerenti con una fase di assestamento.

La mappa del 2010 segna una fase di stress sistemico. Alla crisi finanziaria globale del 2008 si sommano politiche di contenimento della spesa e, nel Mezzogiorno, l’attivazione dei Piani di

Rientro dal disavanzo sanitario. Sebbene finalizzati al riequilibrio fiscale, tali piani hanno spesso comportato tagli lineari più che riorganizzazioni strategiche, con un conseguente peggioramento delle *performance* sanitarie. Regioni del Centro come Lazio e Molise convergono verso cluster di resilienza media o bassa, mentre il Mezzogiorno consolida e approfondisce le proprie fragilità. Il Nord, pur sotto pressione, mantiene livelli elevati grazie a una maggiore capacità di assorbimento degli shock finanziari.

La mappa del 2021 riflette gli effetti cumulativi di crisi economica prolungata, pandemia da COVID-19 e crescente incidenza di eventi climatici estremi. Il Nord consolida il cluster di “Alta resilienza”, sostenuto da dotazioni strutturali, capitale umano e capacità di adattamento superiori. Il Centro presenta una configurazione eterogenea e tendenzialmente instabile, con una prevalenza di livelli medi. Il Sud e le Isole si configurano come hotspot persistenti *climate-health*, dove vulnerabilità intrinseche (bassa dotazione di risorse, *governance* fragile, carenze croniche di personale) si sommano a vulnerabilità climatiche estrinseche (temperature elevate, stress idrico, processi di desertificazione), amplificando il rischio sanitario.

Nel complesso, l’analisi di clustering longitudinale suggerisce che la resilienza sanitaria è il risultato dell’interazione tra:

- fattori strutturali di lungo periodo (capacità fiscale, capitale umano, qualità istituzionale);
- scelte di policy (*governance*, investimenti in innovazione, gestione della spesa);
- shock esogeni (crisi economiche, pandemie, eventi climatici).

La traiettoria italiana appare segnata da un divario di resilienza che tende ad auto-rinforzarsi nel tempo: le regioni settentrionali attivano circoli virtuosi di investimento ed efficienza, mentre quelle meridionali risultano intrappolate in un circolo vizioso in cui vincoli di bilancio e fragilità amministrative limitano la capacità di colmare il divario, aumentando la vulnerabilità agli shock futuri.

La rappresentazione cartografica del 2021 assume, dunque, valore non solo descrittivo ma predittivo del rischio sanitario associato ai futuri eventi climatici estremi. Le regioni nel cluster di “Bassa resilienza” costituiscono i contesti in cui l’impatto sanitario atteso è maggiore. Ciò richiede l’adozione di politiche integrate e *place-based* che intervengano simultaneamente sul rafforzamento dei servizi sanitari territoriali, sulla prevenzione, sulla messa in sicurezza del

territorio e sull'implementazione di strategie di adattamento climatico specifiche per gli hotspot individuati.

1.3. Evoluzione istituzionale del Servizio Sanitario Nazionale: architettura normativa e vulnerabilità sistemica nella prospettiva della resilienza climatica

L'analisi dell'evoluzione normativa e organizzativa del SSN italiano si configura come un presupposto epistemologicamente necessario per decodificare la sua attuale capacità di adattamento (*adaptive capacity*) e di risposta (*coping capacity*) agli shock climatici esogeni. Una mera cronistoria delle riforme risulterebbe, tuttavia, insufficiente. È indispensabile adottare una prospettiva di analisi istituzionale che, attraverso l'identificazione di assi concettuali trasversali, consenta di isolare le macro-tendenze strutturali e valutarne le implicazioni sistemiche per la *climate resilience*. Il percorso del SSN, dalla sua istituzione (L. 833/1978) ad oggi, può essere pertanto scomposto lungo tre dimensioni critiche principali: (i) il processo di decentramento amministrativo e la conseguente differenziazione regionale; (ii) l'introduzione di modelli di aziendalizzazione e managerializzazione; (iii) l'evoluzione dei meccanismi di finanziamento e la tensione verso la sostenibilità economica. È all'intersezione di questi vettori che si generano quelle vulnerabilità latenti che oggi condizionano la *preparedness* del sistema nel suo complesso.

1.3.1. Decentramento amministrativo ed eterogeneità dei modelli regionali: implicazioni per l'equità resiliente

Il primo *driver* trasformativo è costituito dal progressivo trasferimento di competenze alle amministrazioni regionali. Questo processo, avviato negli anni '90, ha ricevuto impulso definitivo dalla riforma del Titolo V della Costituzione (L. cost. 3/2001). Il nuovo art. 117 ha sancito il primato delle regioni nella legislazione concorrente in materia di "tutela della salute", demandando allo Stato la definizione dei soli Livelli Essenziali di Assistenza (LEA) – introdotti dal D.Lgs. 229/1999 e definiti operativamente dal DPCM 29/11/2001 – e dei principi generali.

L'impatto di tale transizione è di natura duplice. Da un lato, ha abilitato una sperimentazione policentrica di modelli di *governance* (es. il modello competitivo in Lombardia, l'integrazione pubblico-territoriale in Emilia-Romagna, la rete *hub-and-spoke* in Veneto), teoricamente idonei

a calibrare l'offerta sui bisogni specifici dei territori. Dall'altro lato, ha prodotto una frammentazione istituzionale, configurando un SSN formalmente unitario ma caratterizzato da una sostanziale disomogeneità operativa e progettuale. Questo quadro è stato gestito attraverso strumenti di governance negoziata come i Patti per la Salute (2001-2004, 2010-2012, 2014-2016, 2019-2021), che hanno tentato di conciliare l'autonomia regionale con la programmazione nazionale e il contenimento della spesa, istituendo anche i piani di rientro per le regioni in deficit. Questa eterogeneità assume rilevanza critica di fronte a shock climatici sistemici. Eventi come le ondate di calore o gli episodi di gelo intenso colpiscono territori dotati di sistemi sanitari con differenti livelli di *preparedness*. Alcune regioni (es. Emilia-Romagna, Lazio) hanno implementato piani di adattamento operativo strutturati (cd. "piani caldo"), mentre altre risultano sprovviste di strategie coerenti. Il decentramento, sebbene miri a incrementare la *responsiveness* locale, ha di fatto istituzionalizzato un rischio di resilienza differenziale, rendendo la capacità di risposta dipendente dalla volontà politica e dalla capienza fiscale regionale, piuttosto che da un coordinamento nazionale solidaristico. Ne deriva un'accentuazione delle disuguaglianze territoriali, che rappresenta una vulnerabilità strutturale per la sicurezza sanitaria nazionale.

1.3.2. Aziendalizzazione, efficienza allocativa e trade-off con la flessibilità operativa

Il secondo vettore di trasformazione è rappresentato dall'introduzione dei principi di aziendalizzazione (D.Lgs. 502/1992 e s.m.i.), che ha riconfigurato le Unità Sanitarie Locali in Aziende Sanitarie Locali (ASL) e Aziende Ospedaliere (AO), dotate di personalità giuridica e autonomia gestionale, guidate da direttori generali e soggette a logiche di performance accountability. Questo modello, integrato dalla riforma dei DRG (*Diagnosis Related Groups*) come sistema di remunerazione prospettico a tariffe predefinite, ha impresso una svolta manageriale orientata al quasi-mercato, con netta separazione tra funzione di acquisto (ASL) ed erogazione (AO pubbliche o private accreditate). Sebbene tali innovazioni abbiano indubbiamente migliorato l'efficienza allocativa nella gestione ordinaria, il loro impatto sulla resilienza climatica è potenzialmente negativo. La logica aziendalista, orientata alla minimizzazione degli sprechi e al *lean management*, tende a ridurre gli *slack resources* (risorse in eccesso) e i margini di capacità ricettiva non utilizzata (*surge capacity*). Un ospedale ottimizzato per la domanda media risulta strutturalmente fragile di fronte a picchi improvvisi e acuti di accessi, tipici delle emergenze climatiche. La carenza di personale (anche a seguito di politiche di spending review e del D.L. 112/2008 "Brunetta" sul controllo delle assenze), posti

letto e scorte strategiche, calibrate sulla "normalità", diviene un moltiplicatore di criticità durante eventi estremi. Pertanto, il paradigma dell'efficienza manageriale introduce un fondamentale *trade-off* con l'esigenza di flessibilità e ridondanza funzionale, elementi costitutivi di un sistema resiliente.

1.3.3. Federalismo fiscale, vincoli di bilancio e capacità di investimento adattivo

Il terzo asse analitico concerne il modello di finanziamento. La transizione verso il federalismo fiscale sanitario, avviata con l'introduzione dell'Imposta Regionale sulle Attività Produttive (IRAP) (D.Lgs. 446/1997) e sancita dalla L. 133/1999 e dal D.Lgs. 56/2000, ha trovato compiuta attuazione con il D.Lgs. 68/2011. Questo quadro normativo ha basato il finanziamento sull'autonomia impositiva regionale (IRAP, addizionale IRPEF, quote IVA) e sull'applicazione del criterio dei costi e fabbisogni standard, sopprimendo il tradizionale finanziamento statale a piè di lista e istituendo un fondo perequativo nazionale. Le implicazioni per la *preparedness* climatica sono dirette e significative. Le regioni con minore capienza finanziaria e base fiscale fragile dispongono di risorse limitate per investire in *adaptive investments*: potenziamento della climatizzazione degli edifici sanitari, adeguamento delle infrastrutture critiche, implementazione di sistemi avanzati di sorveglianza epidemiologica legata al clima (*climate-health surveillance*). Inoltre, le politiche di *spending review* (come quelle implementate tra il 2011 e il 2012, e.g. L. 106/2011 e D.L. 95/2012) hanno spesso agito sulla contrazione della spesa corrente (riduzione del personale, dei posti letto), ovvero sulle stesse variabili che determinano la *surge capacity* durante un'emergenza. Il vincolo finanziario, dunque, non limita solo lo sviluppo, ma erode la capacità di risposta reattiva, creando un circolo vizioso per cui le aree più esposte ai rischi climatici sono spesso anche quelle meno attrezzate per affrontarli.

Un potenziale cambio di paradigma è rappresentato dal Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR, 2021). La Missione 6 – "Salute" (15,63 mld € + Fondo Complementare) – attuata attraverso decreti di riparto, si articola in due componenti: M6C1 (Potenziamento dell'assistenza territoriale: Case della Comunità, Ospedali di Comunità, Centrali Operative Territoriali, assistenza domiciliare) e M6C2 (Innovazione, ricerca e digitalizzazione del SSN: Fascicolo Sanitario Elettronico, alta tecnologia ospedaliera). Questi investimenti possono favorire una transizione verso un modello sanitario più adattivo e distribuito, riducendo la pressione sui nodi critici (Pronto Soccorso) durante picchi di domanda indotti da eventi climatici. In termini teorici, questa traiettoria può essere interpretata attraverso il *framework*

della *Adaptive Governance*, un approccio che concepisce i sistemi socio-ecologici come complessi e dinamici, richiedendo meccanismi di apprendimento continuo, flessibilità istituzionale e coordinamento policentrico. La sfida per il SSN consisterà nell'integrare questi investimenti in una strategia nazionale coerente, superando la frammentazione gestionale e costruendo un'architettura *multi-level governance* in grado di tradurre i principi di adattamento in pratiche operative uniformi su tutto il territorio nazionale.

La tabella seguente schematizza le relazioni di causalità tra le principali riforme e le loro implicazioni per la *preparedness* climatica.

Tabella 1. 4 – Sintesi analitica: interdipendenze tra policy e resilienza

Riforma / Provvedimento	Contenuti Principali	Implicazioni per la <i>Climate Preparedness</i>
D.Lgs. 502/1992 e s.m.i.	Aziendalizzazione (ASL/AO), autonomia gestionale, DRG, modello di quasi-mercato.	Efficienza allocativa ordinaria; Riduzione della <i>surge capacity</i> e flessibilità operativa; trade-off resilienza-efficienza.
D.Lgs. 229/1999 (Riforma Bindi)	Definizione dei Livelli Essenziali di Assistenza (LEA); introduzione Fondi Sanitari Integrativi (FSI).	Standard minimi universali ma frammentazione nell'implementazione; potenziale disuguaglianza nell'accesso a servizi <i>resilienza-related</i> .
L. cost. 3/2001 (Titolo V)	Decentramento delle competenze legislative in materia di "tutela della salute" alle Regioni.	Differenziazione dei modelli → Frammentazione della <i>preparedness</i> e disuguaglianze territoriali nella risposta agli shock.
D.L. 112/2008 (Brunetta)	Misure per la produttività del PA (controllo assenze, performance).	Potenziale riduzione della flessibilità del personale sanitario durante crisi prolungate (es. ondate di calore).
Federalismo Fiscale (D.Lgs. 68/2011)	Finanziamento regionale basato su IRAP, addizionale IRPEF, quote IVA; costi e fabbisogni standard; perequazione.	Amplificazione dei divari di capacità di investimento in adattamento tra Nord e Sud; vincolo alla spesa corrente.
Spending Review (2011-2012)	Razionalizzazione della spesa, trasparenza negli acquisti, contenimento dei costi (personale, posti letto).	Erosione strutturale della capacità di riserva (<i>slack resources</i>) e della <i>surge capacity</i> necessaria per gli shock.
PNRR (2021) Missione 6	Investimenti in sanità territoriale (M6C1) e digitalizzazione/tecnologia (M6C2).	Opportunità per costruire <i>adaptive capacity</i> attraverso integrazione, prossimità, telemedicina e flessibilità tecnologica.

L'evoluzione del SSN italiano è il prodotto di un percorso non lineare, caratterizzato dalla coesistenza di spinte talvolta antitetiche: decentralizzazione vs. esigenza di coordinamento

nazionale; efficienza economica (aziendalizzazione, DRG, federalismo fiscale) vs. equità universalistica (LEA); managerializzazione vs. necessità di flessibilità. L'analisi condotta dimostra come queste tensioni abbiano plasmato un sistema capace di elevati standard di cura in condizioni ordinarie, ma intrinsecamente vulnerabile agli shock climatici a causa della sua frammentazione, rigidità operativa e disomogeneità finanziaria. La resilienza futura del sistema dipenderà dalla capacità di evolvere verso un modello di *adaptive governance*, in grado di tradurre gli ingenti investimenti del PNRR in meccanismi istituzionali flessibili, robusti e coordinati, trasformando le vulnerabilità strutturali in capacità di adattamento dinamico ed equo su tutto il territorio nazionale.

1.4. La governance del Sistema Sanitario Regionale

Il SSN nel suo attuale assetto derivante dal processo di decentramento amministrativo avviato negli anni Novanta, presenta una configurazione marcatamente eterogenea a livello regionale. Tale eterogeneità si manifesta, in primo luogo, nella scelta del modello istituzionale di erogazione dei servizi ospedalieri. Gli ospedali, in base al possesso di specifici requisiti, hanno potuto assumere lo status di AO, dando vita a nuove forme di impresa sanitaria pubblica. Da questa differenziazione derivano tre modelli territoriali principali:

- 1. Modello Integrato:** le ASL gestiscono direttamente sia i Presidi Ospedalieri (PO) che i servizi territoriali, mantenendo un controllo gerarchico completo sulla filiera produttiva;
- 2. Modello Separato:** la produzione ospedaliera è affidata alle AO, mentre le competenze delle ASL si limitano alla programmazione, all'acquisto dei servizi e al controllo di qualità, creando un mercato interno regolato con concorrenza tra erogatori pubblici e privati accreditati;
- 3. Modello Misto:** le ASL "espellono" le AO dal proprio perimetro gestionale diretto, pur mantenendo la gestione di alcuni PO, adottando quindi un mix di erogazione gerarchica (per alcune strutture) e contrattuale (per le AO e il privato accreditato).

Questi modelli di governance si riflettono su accessibilità, equità e tempi di risposta, tanto nelle condizioni ordinarie quanto durante stress climatici, incidendo su percorsi di cura, saturazione dei DEA e continuità dei servizi territoriali.

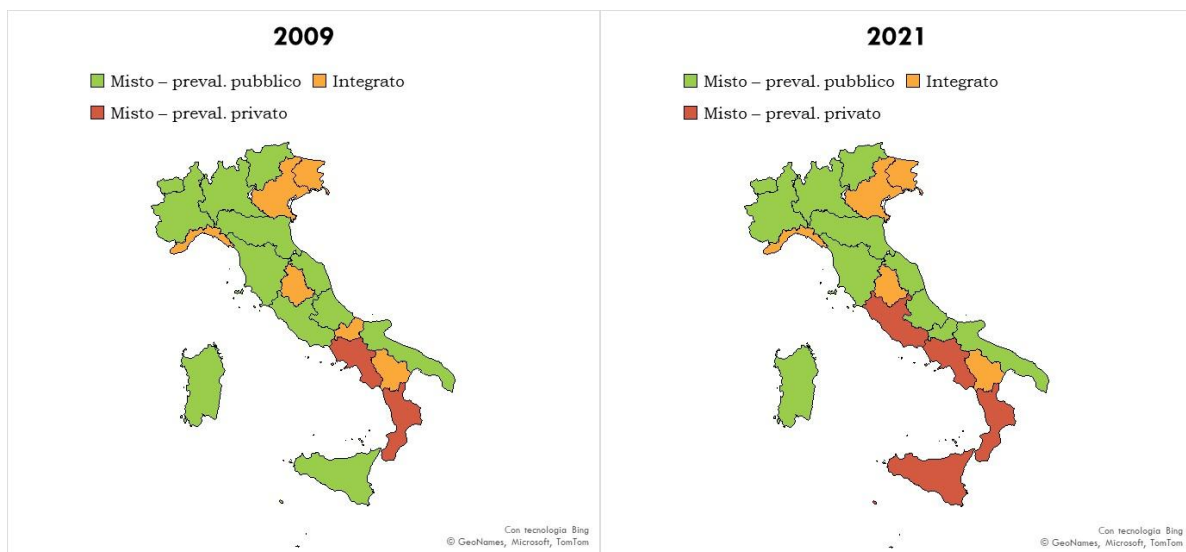
La scelta del modello, così come la definizione di numero, dimensione e struttura delle ASL, ricade sotto la competenza dei governi regionali, in coerenza con il principio di sussidiarietà

che caratterizza il SSN. Un riferimento seminale per la caratterizzazione dei modelli istituzionali regionali è il lavoro di Mapelli et al. (2007) [32]. Gli autori proposero una tassonomia basata sulla percentuale di posti letto per acuti a gestione diretta delle ASL (PO) rispetto al totale (pubblici e privati accreditati), identificando quattro tipologie ideali:

- **Integrato:** posti letto > 66% in gestione diretta ASL;
- **Misto-quasi integrato:** tra il 40% e il 66%;
- **Misto-quasi separato:** tra il 20% e il 40%;
- **Separato:** < 20%.

La replica di questo modello per il periodo 2009-2021, con un aggiornamento della soglia del "separato" a minore del 20% per adeguamento alla disponibilità dati, ha consentito di aggiornare il quadro istituzionale. I risultati evidenziano una significativa evoluzione.

Tabella 1. 5 – Classificazione SSR secondo Mapelli, anni 2009 – 2021



Fonte: propria elaborazione su dati fonte Istat – Health for all

Nel 2009 si osservava una predominanza di modelli integrati o a prevalenza pubblica, con la Lombardia quale unico caso di modello separato. Questa configurazione rifletteva un'inerzia istituzionale post-riforma del 1992.

Nel 2021 emerge un panorama più eterogeneo e frammentato. Accanto a regioni che mantengono un modello stabile (es. Emilia-Romagna, Umbria), si registra un marcato

spostamento di regioni come Campania e Sicilia verso modelli misti a prevalenza privata o separati, spesso guidato da vincoli di bilancio e piani di rientro.

Tuttavia, il modello di Mapelli, pur rimanendo un riferimento fondativo, presenta limiti euristici intrinseci che ne riducono la capacità esplicativa nel contesto attuale:

- i. Unidimensionalità: si fonda su un unico indicatore (posti letto ASL), trascurando altre componenti cruciali del capitale fisico (apparecchiature, tecnologie) e, soprattutto, il capitale umano;
- ii. Obsolescenza contestuale: non tiene conto delle profonde trasformazioni normative intervenute (es. DM 70/2015, Decreto Balduzzi, PNRR) che hanno ridefinito l'assetto della rete ospedaliera e territoriale;
- iii. Inadeguatezza descrittiva: la sola percentuale di posti letto non è più sufficiente a cogliere la complessità della governance sanitaria regionale e la sua capacità di risposta a shock sistemici.

Alla luce di tali limitazioni, questo lavoro propone un avanzamento epistemologico attraverso la costruzione di un modello analitico duale, capace di cogliere la multidimensionalità dei SSR. Il framework si articola su due assi compositi:

I. Indice di Capitale Fisico (ICF): Misura sintetica delle risorse infrastrutturali e tecnologiche, attraverso la dotazione pro-capite di:

- Posti letto ospedalieri (totali);
- Apparecchiature ad alta tecnologia (TAC, RMN, PET, camere iperbariche);
- Articolazione della rete amministrativa (numero di ASL).

Le variabili, standardizzate per 1.000 abitanti, sono aggregate tramite media aritmetica per ottenere un valore sintetico in scala continua.

II. Indice di Capitale Umano (ICU): Misura sintetica del patrimonio professionale, attraverso la dotazione pro-capite di:

- Personale sanitario complessivo (SSN + privato accreditato);
- Personale esclusivamente pubblico.

Anche in questo caso, le variabili sono standardizzate e aggregate.

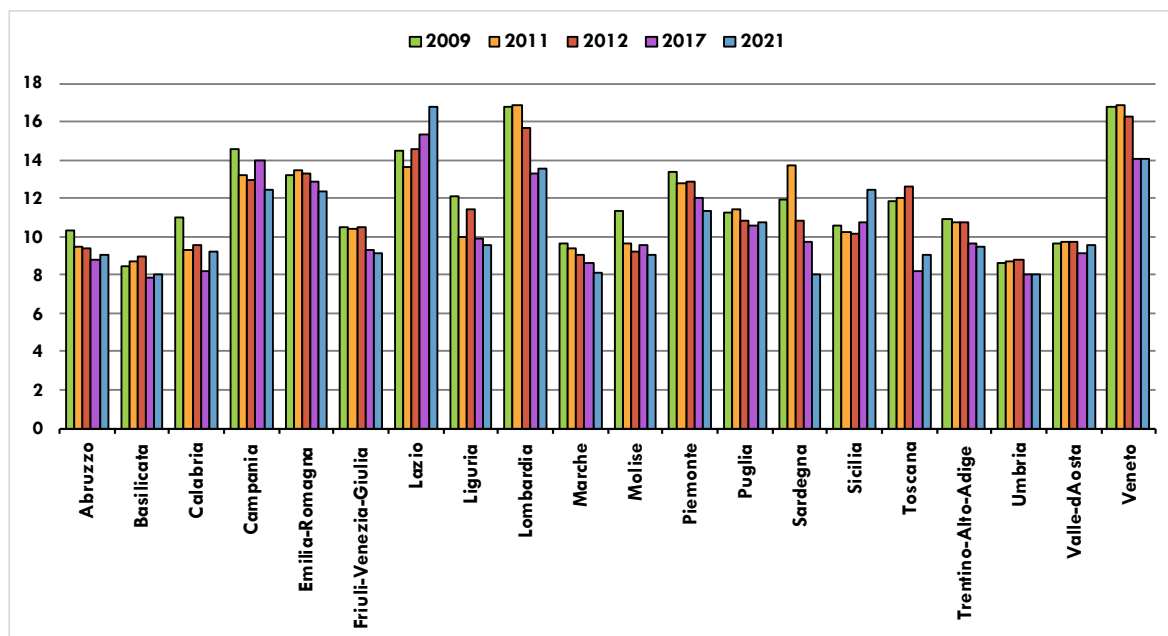
Entrambi gli indici sono costruiti su dati ISTAT, attraverso il database "*Health for All*"(HFA) e vengono analizzati in prospettiva diacronica (2009-2021), utilizzando la mediana nazionale come benchmark per la classificazione relativa delle regioni.

La scelta degli anni di analisi (2009, 2011, 2012, 2017, 2021) non è casuale, ma riflette precisi snodi di politica sanitaria: la crisi finanziaria globale e i vincoli di spending review; l'avvio del Piano Nazionale Esiti; l'implementazione del DM 70/2015 di riordino ospedaliero; la crisi pandemica da COVID-19. Da questo, quindi, si è ottenuto un modello riadattato del modello originale, il quale ha consentito:

1. **Conservazione della logica Mapelli**, applicata alla quota ospedaliera pubblica aggiornata;
2. **Calcolo indici compositi** su ICF e ICU per cogliere la multidimensionalità delle dotazioni regionali;
3. **Classificazione integrata**: utilizzo delle mediane nazionali per distinguere le regioni;
4. **Analisi temporale e comparazione strutturale**: confronto tra posizionamento regionale nei quadranti tra 2009 e 2021, evidenziando stabilità, miglioramenti e declini, in relazione alle riforme normative.

I grafici seguenti illustrano l'andamento dell'ICF e dell'ICU negli anni 2009, 2011, 2012, 2017 e 2021.

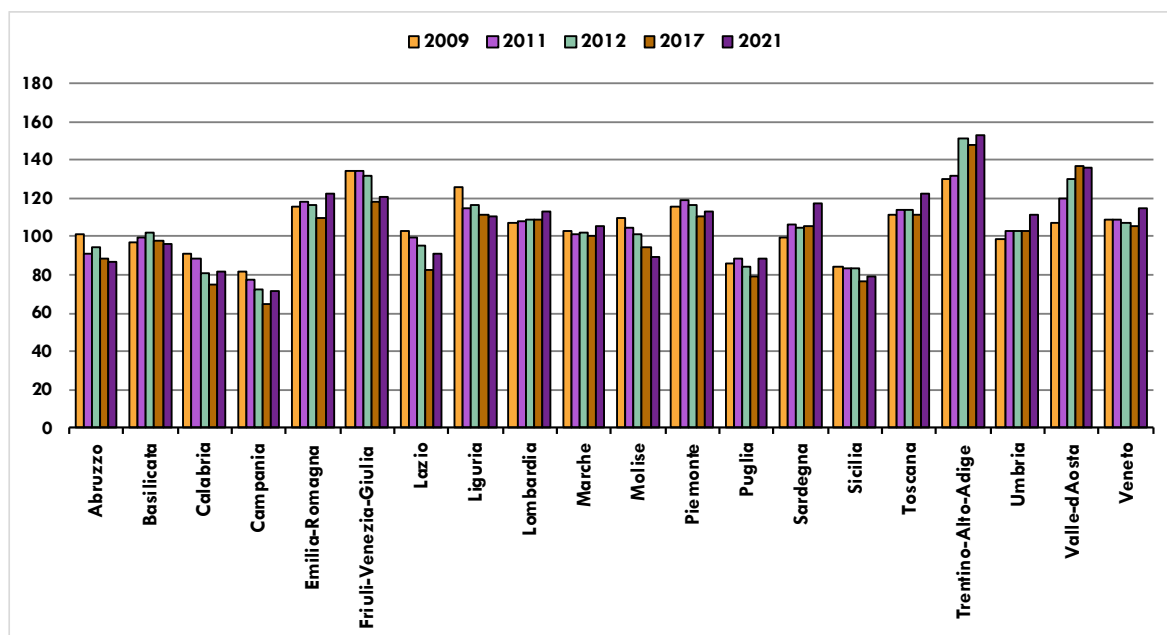
Grafico 1.1 – Indice di capitale fisico 2009 – 2021: andamento dell'ICF per ciascuna regione italiana in cinque anni chiave (2009, 2011, 2012, 2017 e 2021). L'indice combina componenti strutturali (posti letto totali, apparecchiature tecnologiche, camere iperbariche, numero di Asl) per misurare la dotazione fisica sanitaria standardizzata. Le variazioni evidenziano politiche regionale differenziate nella gestione delle infrastrutture ospedaliere.



Fonte: propria elaborazione su dati fonte Istat – Health for all

L'andamento dell'ICF (Grafico 1.1) registra un trend generale di stagnazione o contrazione, particolarmente accentuato nel Centro-Sud, coerentemente con le politiche di razionalizzazione della rete ospedaliera. Nel 2017, valori estremamente bassi (es. Campania, ~10 unità/1000 ab.) si contrappongono a dotazioni robuste (es. Veneto, ~16 unità/1000 ab.), indicando un divario infrastrutturale Nord-Sud persistente. Alcune regioni (es. Lazio, Veneto) mostrano segnali di ripresa nel 2021.

Grafico 1. 2 – Indice di capitale umano 2009 – 2021: evoluzione di capitale umano sanitario per regione. L'indice è costruito sulla base del personale sanitario complessivo: tra pubblico e privato accreditato. Il grafico evidenzia le regioni con maggiore intensità di risorse umane in sanità.



Fonte: propria elaborazione su dati fonte Istat – Health for all

L'andamento dell'ICU (Grafico 1.2) mostra una tenuta generale, con una lieve contrazione post-2008 seguita da un recupero nelle regioni del Nord (es. Trentino Alto-Adige., Emilia-Romagna, Toscana: ~140 unità/1000 ab.). Le regioni meridionali (es. Sicilia, Calabria) registrano valori sistematicamente inferiori (~90 unità/1000 ab.), denotando una carenza cronica di risorse professionali, aggravata da vincoli al turnover e da fenomeni migratori interni ("brain drain"). In entrambi i grafici, la visione comparativa su più anni consente di osservare pattern di consolidamento o di disinvestimento delle dotazioni regionali, in relazione alle scelte istituzionali di lungo periodo. Questo tipo di visualizzazione fornisce una lettura sintetica ma strutturata delle tendenze territoriali, evidenziando divergenze persistenti tra macroaree.

Dopo aver analizzato separatamente le dinamiche relative all'ICF e all'ICU, è possibile compiere un ulteriore passo avanti verso una lettura composita e multilivello dei sistemi sanitari regionali. Se considerati singolarmente, ciascun indice restituisce infatti un'immagine parziale: da un lato, la capacità infrastrutturale e tecnologica, dall'altro, il livello di dotazione in termini di personale degli ospedali. Tuttavia, è proprio la combinazione di queste due dimensioni che

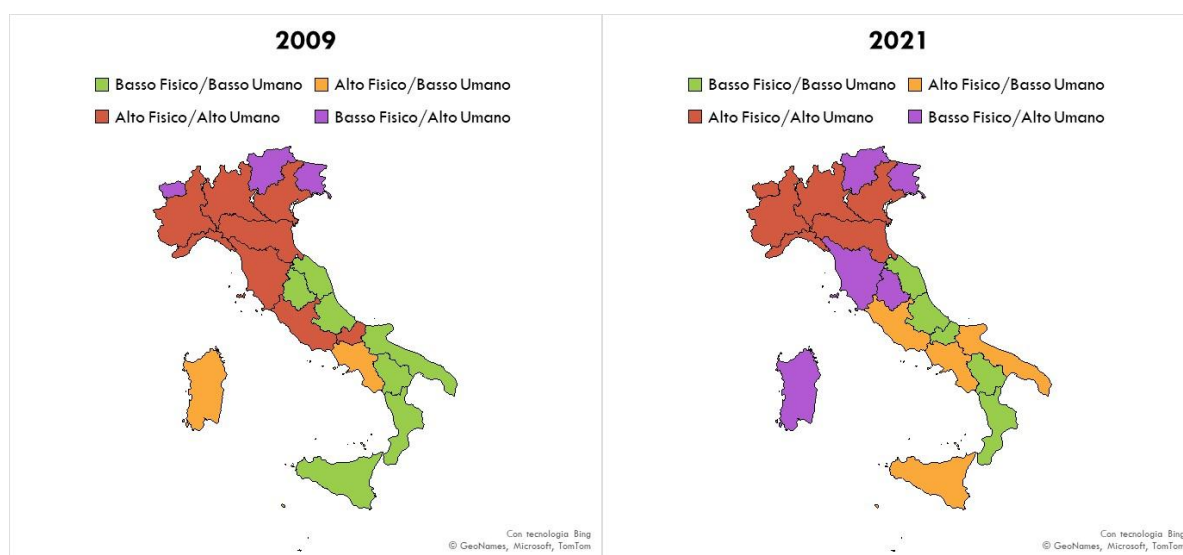
permette di cogliere in pieno la configurazione istituzionale e operativa del sistema sanitario a livello territoriale.

L'innovazione principale di questo lavoro consiste nella costruzione di una tassonomia integrata che incrocia ICF e ICU. Classificando le regioni in base alla loro posizione relativa rispetto alle mediane nazionali dei due indici, si ottengono quattro quadranti interpretativi:

- **Alto Fisico / Alto Umano**: (rosso): regioni dotate sia di una solida infrastruttura ospedaliera e territoriale (posti letto, tecnologie, numero Asl), sia di adeguato personale sanitario complessivo. **Configurazione ottimale** in termini di potenziale erogativo e di equilibrio tra risorse strutturali e operative;
- **Alto Fisico / Basso Umano**: (arancione): territori con dotazione fisica superiore alla media, ma personale sanitario relativamente limitato. Possibile **sovraccarico strutturale** e sottoutilizzo dei presidi per carenza di personale;
- **Basso Fisico / Alto Umano**: (viola): regioni che, pur avendo una dotazione infrastrutturale modesta, si caratterizzano per una buona presenza di personale. **Modello adattivo**, spesso legato a sistemi regionali più orientati alla medicina di prossimità;
- **Basso Fisico / Basso Umano**: (verde): territori con carenze simultanee in entrambe le dimensioni. Indica **fragilità strutturali** profonde, potenzialmente legate a vincoli finanziari, ritardi riformatori o condizioni di squilibrio cronico.

Questa classificazione, costruita su base relativa (mediane annue), si traduce graficamente in mappe che evidenziano la disomogeneità sistemica del SSN e l'evoluzione di lungo periodo. In particolare, sono stati selezionati gli anni 2009 e 2021 per mostrare l'effetto netto di oltre un decennio di riforme, vincoli di bilancio e cambiamenti normativi, offrendo una panoramica chiara dei percorsi regionali di rafforzamento o indebolimento integrato.

Mapa 1. 4 – Combinazione ICF e ICU, anni 2009-2021



Fonte: propria elaborazione su dati fonte Istat – Health for all

Dall'analisi diacronica delle mappe integrate (2009 vs. 2021) emerge che:

Nel 2009 si è registrata una marcata polarizzazione Nord-Sud, con le regioni meridionali concentrate nel quadrante "Basso/Basso" e quelle del Centro-Nord in "Alto/Alto".

Nel 2021 vi è stato un parziale riallineamento. Alcune regioni del Sud (es. Abruzzo, Puglia) compiono progressi, avvicinandosi al quadrante "Alto/Alto", anche grazie agli investimenti del PNRR. Tuttavia, permangono sacche di criticità profonda (es. Calabria, Campania), dove il divario di capitale umano appare il fattore più resistente al cambiamento. Emergono inoltre configurazioni sbilanciate ("Alto Fisico/Basso Umano"), che segnalano la necessità di politiche sinergiche e non solo infrastrutturali.

Tali dinamiche vanno lette alla luce degli interventi strutturali post-crisi economica e, più recentemente, dell'attivazione del PNRR, *Missione 6*, che ha tra i suoi obiettivi il potenziamento della medicina territoriale e la riduzione dei divari tra Nord e Sud. La presenza di regioni con dotazioni elevate ma sbilanciate (es. "Alto Fisico / Basso Umano") suggerisce la necessità di interventi coerenti e sinergici, che tengano conto non solo delle infrastrutture, ma anche delle risorse professionali.

In conclusione, il modello duale ICF/ICU rappresenta un significativo *advancement euristico* rispetto al framework unidimensionale di Mapelli. Esso consente di:

- i. Superare il riduzionismo della classificazione basata sul solo parametro dei posti letto;
- ii. Fornire una diagnosi multidimensionale delle dotazioni regionali, cogliendo le interazioni tra infrastrutture e competenze;
- iii. Leggere le disparità regionali non come mere differenze organizzative, ma come divari di resilienza e capacità di risposta a shock climatici e pandemici;
- iv. Inserire l'analisi nel solco teorico della *adaptive governance*, sottolineando come la *preparedness* dipenda dalla sinergia tra capitale fisico e umano.

Questa metodologia trasforma l'esercizio classificatorio in uno strumento diagnostico e prognostico, in grado di orientare le politiche sanitarie regionali e nazionali (es. PNRR, Missione 6) verso interventi più mirati e integrati, finalizzati a colmare non solo il divario infrastrutturale, ma soprattutto quello professionale, che costituisce la criticità più persistente del SSN italiano.

1.4.1. Analisi comparativa Lombardia vs Campania

L'analisi della governance sanitaria regionale richiede un approccio multidimensionale che eviti riduzionismi interpretativi. Questo focus si propone di decostruire il macro-fenomeno del divario Nord-Sud italiano attraverso la lente dei SSR, assumendo la Lombardia e la Campania quali casi paradigmatici. Alla classificazione istituzionale di Mapelli – che definisce i modelli di governance in base al peso della gestione diretta delle ASL – si affianca un'analisi funzionale fondata sulla complementarità tra due asset fondamentali: il Capitale Fisico (ICF), misurante le dotazioni infrastrutturali e tecnologiche, e il Capitale Umano (ICU), indicante le competenze, la stabilità e la qualità del personale.

Nel 2009, il panorama nazionale era polarizzato: la Lombardia si ergeva come un *outlier* consolidato del modello «separato», mentre la Campania incarnava le criticità del modello «non separato» tipico di molte regioni meridionali. Il dodicennio analizzato (2009-2021) ha tuttavia registrato dinamiche evolutive distinte. La Lombardia ha mantenuto una notevole continuità del suo assetto, mentre la Campania ha intrapreso un processo di riordino, spesso eterodiretto da vincoli di finanza pubblica e piani di rientro, migrando verso modelli misti a prevalenza privata. Questa transizione istituzionale, tuttavia, non si è tradotta in una convergenza sistemica negli *outcomes*.

Le Mappe 1.4 sintetizzano rispettivamente l'evoluzione dei modelli di governance e la combinazione ICF×ICU per gli anni estremi del periodo, permettendo una classificazione per quadranti che rivela asimmetrie profonde e persistenti.

Tabella 1 – Focus Lombardia vs Campania

Regione/modello	Lombardia	Campania
Modello istituzionale (Tassonomia Mapelli)	Separato (2009); continuità strutturale nel 2021.	Non separato (2009); transizione verso un modello misto a prevalenza privata/separato (2021), indotta da vincoli di bilancio e piani di rientro.
Complementarità fattoriale ICF×ICU (Mappa 1.4)	Alto-Alto (2009 e 2021) Configurazione di eccellenza e sinergia stabile.	Basso-Basso (2009); miglioramento parziale sull'ICF ma persistenza nel quadrante Basso-Alto (2021), denotando una criticità endemica e resistente sul capitale umano.
Traiettoria evolutiva (2009→2021)	Stabilità nell'eccellenza. Percorso di consolidamento e rafforzamento sinergico dei due fattori produttivi.	Transizione incompleta. Percorso di <i>catching-up</i> parziale e non organico, caratterizzato da un divario di complementarità (<i>gap</i> ICU/ICF).
Interpretazione di policy	Esternalizzazione regolata da una regia regionale forte → elevata capacità di coordinamento sistemico e di assorbimento degli shock di domanda.	Esternalizzazione spinta da necessità di contenimento della spesa → capacity building fragile , ICU come vincolo strutturale e rischio di colli di bottiglia operativi.

La stabilità del modello lombardo si traduce in una complementarità fattoriale stabile (Alto-Alto), frutto di un *path-dependence* virtuoso. Ciò consente una regia regionale efficace, in grado di governare l'offerta accreditata attraverso meccanismi di esternalizzazione regolata che minimizzano i costi di transazione e abilitano una flessibilità operativa nella riallocazione delle risorse. Al contrario, la transizione campana, recente e reattiva, è priva della medesima profondità istituzionale. La Mappa 1.4 ne è la cartina di tornasole: la persistenza di un ICU depresso segnala che la regia regionale possiede una leva limitata per superare i colli di bottiglia operativi, riflettendo una fragilità di *governance* sistemica del Mezzogiorno. Le politiche di razionalizzazione della spesa e di riordino della finanza pubblica, culminate nei provvedimenti di *spending review* del biennio 2011-2012 (in particolare la L. 106/2011 e il D.L. 95/2012), hanno imposto un riordino dei conti pubblici a livello nazionale. Tuttavia, l'impatto di queste politiche è stato asimmetrico. Nelle regioni soggette a piani di rientro, gli investimenti sono stati sequenziati in modo da privilegiare il contenimento imminente della spesa corrente, con

ritardi strutturali negli interventi sul fattore lavoro (ICU). Questo divario nel *timing* e nella priorità degli investimenti è perfettamente catturato dalla Mappa 1.4: la Lombardia mantiene un elevato livello di entrambi i fattori produttivi; la Campania manifesta un recupero parziale sull'ICF, mentre l'ICU rimane strutturalmente depresso, minato da fenomeni di alto *turnover* e migrazione professionale selettiva (*brain drain*). Ne derivano asimmetrie strutturali nella capacità produttiva del sistema, che si manifestano in modo eclatante in risposta a shock di domanda equiparabili. L'efficacia del ricorso all'accreditamento è condizionata dalla maturità del tessuto socioeconomico in cui opera. In Lombardia, l'esistenza di una platea ampia, competitiva e matura di erogatori privati accreditatisi in un contesto di programmazione regionale forte, trasforma l'esternalizzazione in uno strumento di *efficienza allocativa*. In Campania, lo stesso strumento, applicato in un contesto di debolezza dell'offerta e di fragilità istituzionale, è spesso dettato da imperativi finanziari. Ciò incrementa i costi di *agency* e di coordinamento, rendendo la traduzione degli indirizzi di *policy* in servizi più lenti e inefficaci. Il divario Nord-Sud emerso non è meramente riconducibile al modello istituzionale (Mapelli), ma alla sua interazione con le dotazioni fattoriali. Un elevato ICF coesistente con un ICU basso genera inefficienza, ossia un potenziale produttivo inespresso. Il divario di *policy* risiede dunque nel mix e nel *timing* degli interventi. La Lombardia ha preservato una strategia integrata; la Campania necessita di un ribaltamento del sequenziale investimenti, anticipando massicci interventi sul capitale umano (reclutamento, *retention*, *skill-mix*, integrazione sociosanitaria) per compiere una transizione autentica verso il quadrante "Alto-Alto".

La stabilità lombarda nel quadrante Alto-Alto e la persistenza campana in quadranti sub-ottimali non sono istantanee statiche, bensì il riflesso di traiettorie di politica economica profondamente divergenti, emblematiche del divario Nord-Sud. Da un lato, un circolo virtuoso di esternalizzazione regolata e investimenti sinergici; dall'altro, un circolo vizioso di esternalizzazione vincolata e investimenti sequenziati e squilibrati. È su questo differenziale di ***governance capacity*** (*capacità istituzionale climatica*) – intesa come l'insieme di risorse, regole e coordinamento interistituzionale che permettono al SSN di prevenire, assorbire e adattarsi agli shock meteorologici e climatici – che gioca la resilienza dei sistemi agli shock, come l'analisi empirica dei capitoli successivi si incaricherà di dimostrare.

1.5. Quadro della letteratura e posizionamento della ricerca

L'analisi della letteratura esistente sull'impatto climatico sui sistemi sanitari riveste un'importanza strategica per il posizionamento di questo lavoro, evidenziando un panorama articolato di modelli regionali eterogenei nella governance sanitaria italiana. Se da un lato questa articolazione riflette legittime differenze socio-territoriali, dall'altro identifica un ambito di ricerca fecondo volto a valutare la capacità del sistema nel suo complesso di garantire risposte coordinate, tempestive ed eque. Questa sezione sistematizza il dibattito scientifico per (i) identificare le principali questioni aperte, (ii) derivare da esse un set di domande di ricerca formalizzate e (iii) motivare la strategia metodologica scelta, fondata sull'impiego di indici compositi, come approccio più idoneo a cogliere le complessità degli shock climatici e della resilienza sanitaria in una prospettiva comparativa e dinamica.

La revisione della letteratura ha consentito di individuare quattro ambiti tematici che rappresentano il punto di partenza per lo sviluppo di questo studio:

- ***Ambito Epidemiologico:*** la ricerca si è spesso concentrata su studi di caso (singole città, coorti d'età o patologie specifiche), con una generalizzazione dei risultati su scala nazionale non sempre garantita. Si riscontra, inoltre, una trattazione spesso distinta delle ondate di calore e di gelo, con una comparazione limitata dei loro effetti potenzialmente asimmetrici. Un ulteriore ambito di sviluppo concerne l'analisi degli effetti indiretti (la congestione dei servizi e gli esiti a medio termine);
- ***Ambito Climatico:*** le misure di esposizione agli shock termici risultano spesso monodimensionali (es. basate su soglie giornaliere fisse), con una integrazione limitata di parametri multipli come intensità, durata, stagionalità e persistenza. Appaiono inoltre poco esplorate le differenze climatiche intra-regionali;
- ***Ambito Organizzativo-Istituzionale:*** le evidenze sul ruolo delle capacità infrastrutturali (ospedaliere e territoriali) quali determinanti della resilienza appaiono frammentarie. Risulta limitata, in particolare, un'analisi integrata che colleghi la programmazione regionale, le reti cliniche e gli strumenti di prevenzione e adattamento;
- ***Ambito Territoriale e della Governance:*** l'analisi della variabilità interregionale (NUTS-2) e dei divari Nord-Centro-Sud è spesso disomogenea. Manca una valutazione organica della capacità di coordinamento interregionale durante crisi sincrone e multi-sito, che rappresentano una sfida critica per la tenuta del sistema.

Alla luce di questo quadro, la presente ricerca si articola attorno alle seguenti domande, formalizzate per guidare l'analisi empirica:

- Qual è la pressione sanitaria netta associata a ondate di calore e di gelo sulle 20 regioni italiane (su scala NUTS-2)?
- In che misura le capacità organizzative del sistema (ospedaliere e territoriali) modulano l'impatto degli shock termici su indicatori chiave quali la spesa, i ricoveri, le degenze, il personale e l'incidenza di patologie selezionate?
- Quali profili regionali di vulnerabilità e resilienza emergono dall'integrazione sistematica di indicatori di esposizione, sensibilità e capacità adattiva?
- Quali leve di policy (ospedaliere, territoriali, preventive) risultano prioritarie per differenti cluster regionali in uno scenario di rapido cambiamento climatico?

Per rispondere efficacemente alle domande di ricerca emerse, è necessario superare gli approcci monodimensionali e adottare una metodologia in grado di catturare la complessità multidimensionale e spaziale del fenomeno. Il modello ARDL, sebbene solido per analisi di cointegrazione su serie storiche nazionali, presenta limiti nell'analisi comparata su unità geografiche cross-section (come le regioni NUTS-2) e nel modellare shock che sono intrinsecamente asimmetrici e multidimensionali per natura. La scelta di una strategia basata su indici compositi è motivata dalla sua superiorità nel:

- Catturare l'eterogeneità spaziale: fornire metriche comparabili tra diverse regioni, tenendo conto delle loro specificità climatiche e socio-strutturali;
- Integrare dimensioni multiple: fondere in un'unica misura standardizzata parametri di intensità, durata e persistenza degli shock, nonché capacità ospedaliere, territoriali e di risorse umane;
- Analizzare asimmetrie: permettere la creazione di indici specifici e con pesi potenzialmente diversi per il caldo e per il freddo, cogliendone le diverse nature;
- Supportare le policy: fornire strumenti di benchmarking immediatamente interpretabili per i decisori pubblici, identificando punti di forza e di debolezza per cluster omogenei di regioni.

La costruzione di un **Indice Composito di Severità degli Shock Termici** e un **Indice di Resilienza Sanitaria Regionale** con i loro pilastri, i metodi di ponderazione e le analisi di sensibilità, è stata dunque concepita come la risposta metodologica più robusta e appropriata per gli obiettivi di questa ricerca.

Questo lavoro si posiziona all'interno del dibattito scientifico più avanzato sulla resilienza dei sistemi sanitari ai cambiamenti climatici con tre contributi originali e distintivi:

- **Innovazione metodologica:** lo sviluppo di indici compositi di shock e resilienza rappresenta un avanzamento metodologico, offrendo strumenti replicabili e di immediata interpretazione per analisi comparative, superando i limiti degli approcci tradizionali in contesti spazialmente eterogenei;
- **Rilevanza geografica e per le policy:** la copertura sistematica a livello NUTS-2 fornisce per la prima volta una visione d'insieme della resilienza regionale italiana, offrendo una *evidence-based* per il disegno di politiche mirate e differenziate per contesto;
- **Multidimensionalità dell'analisi:** l'integrazione simultanea di dati climatici, economici (spesa), organizzativi (capacità, personale) ed epidemiologici (patologie, degenze) permette una quantificazione organica della pressione sistemica, identificando leve di adattamento prioritarie in uno scenario di *climate change*.

Bibliografia Capitolo I

- [1].Broomandi, P., Satyanaga, A., Bagheri, M., Hadei, M., Galán-Madruga, D., Fard, A. M., ... & Kim, J. R. (2025). Extreme Temperature Events in Kazakhstan and Their Impacts on Public Health and Energy Demand. *Global challenges*, 9(2), 2400207;
- [2].CLIMA, T., & TE, W. (2023). Guidelines on the Definition and Characterization of Extreme Weather and Climate Events;
- [3].Masiero, G., Mazzonna, F., & Santarossa, M. (2022). The effect of absolute versus relative temperature on health and the role of social care. *Health economics*, 31(6), 1228-1248;
- [4].Romanello, M., Di Napoli, C., Green, C., Kennard, H., Lampard, P., Scamman, D., ... & Costello, A. (2023), “The 2023 report of the Lancet Countdown on health and climate change: the imperative for a health-centred response in a world facing irreversible harms”, *The Lancet*, 402(10419), 2346-2394;
- [5].Emily Sbiroli, Julia Geynisman-Tan, Natasha Sood, Ben Allan Maines, Justin Hyuck-Jin Junn, Cecilia Sorensen (2022), “Climate change and women’s health in the United States: Impacts and opportunities”, *The Journal of Climate Change and Health*, n.8, pagg. 1-8;
- [6].Kristie Trousdale, Leyla E. McCurdy, Nsedu Obot Witherspoon, Abbey Alkon (2023) “Protecting Children’s Environmental Health in a Changing Climate: A Model Collaboration of the Maternal and Child Health Section and the Environment Section of APHA, *Maternal and Child Health Journal*;
- [7].Mullins, J. T., & White, C. (2019). Temperature and mental health: Evidence from the spectrum of mental health outcomes. *Journal of health economics*, 68, 102240;
- [8].Rajput, P., Singh, S., Singh, T. B., & Mall, R. K. (2023), “The nexus between climate change and public health: a global overview with perspectives for Indian cities”, *Arabian Journal of Geosciences*, 16(1), 15;
- [9].Yasaman Borghei, Mohammad Taghi Moghadamnia, Abdolhossein Emami Sigaroudi, Ali Ghanbari (2020), “Association between climate variables (cold and hot weathers, humidity, atmospheric pressures) with out-of-hospital cardiac arrests in Rasht, Iran”, *Journal of Thermal Biology*, n.93, pagg.1-8;
- [10]. Chaseling, G. K., Iglesias-Grau, J., Juneau, M., Nigam, A., Kaiser, D., & Gagnon, D. (2021). Extreme heat and cardiovascular health: what a cardiovascular health professional should know. *Canadian Journal of Cardiology*, 37(11), 1828-1836;

- [11]. Cheng, J., Xu, Z., Bambrick, H., Prescott, V., Wang, N., Zhang, Y., ... & Hu, W. (2019). Cardiorespiratory effects of heatwaves: A systematic review and meta-analysis of global epidemiological evidence. *Environmental research*, 177, 108610;
- [12]. Weilhhammer, V., Schmid, J., Mittermeier, I., Schreiber, F., Jiang, L., Pastuhovic, V., ... & Heinze, S. (2021). Extreme weather events in Europe and their health consequences—A systematic review. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 233, 113688;
- [13]. De Vita, A., Belmusto, A., Di Perna, F., Tremamunno, S., De Matteis, G., Franceschi, F., & Covino, M. (2024). “The Impact of Climate Change and Extreme Weather Conditions on Cardiovascular Health and Acute Cardiovascular Diseases” *Journal of Clinical Medicine*, 13(3), 759;
- [14]. Jacobsen, A. P., Khiew, Y. C., Duffy, E., O'Connell, J., Brown, E., Auwaerter, P. G., ... & McEvoy, J. W. (2022), “Climate change and the prevention of cardiovascular disease” *American Journal of Preventive Cardiology*, 12, 100391;
- [15]. Alahmad, B., Khraishah, H., Althalji, K., Borchert, W., Al-Mulla, F., & Koutrakis, P. (2023) “Connections between air pollution, climate change, and cardiovascular health” *Canadian Journal of Cardiology*;
- [16]. Mirsaedi, M., Motahari, H., Taghizadeh Khamesi, M., Sharifi, A., Campos, M., & Schraufnagel, D. E. (2016), “Climate change and respiratory infections”, *Annals of the American Thoracic Society*, 13(8), 1223-1230;
- [17]. D'Amato, G., Cecchi, L., D'Amato, M., & Annesi-Maesano, I. (2014) “Climate change and respiratory diseases”, *European Respiratory Review*, 23(132), 161-169;
- [18]. Ayres, J. G., Forsberg, B., Annesi-Maesano, I., Dey, R., Ebi, K. L., Helms, P. J., ... & Forastiere, F. (2009). Climate change and respiratory disease: European Respiratory Society position statement. *European Respiratory Journal*, 34(2), 295-302;
- [19]. De Sario, M., Katsouyanni, K., & Michelozzi, P. (2013), “Climate change, extreme weather events, air pollution and respiratory health in Europe”, *European Respiratory Journal*, 42(3), 826-843;
- [20]. Al-Shihabi, F., Moore, A., & Chowdhury, T. A. (2023), “Diabetes and climate change”, *Diabetic Medicine*, 40(3), e14971;
- [21]. Ratter-Rieck, J. M., Roden, M., & Herder, C. (2023), "Diabetes and climate change: current evidence and implications for people with diabetes, clinicians and policy stakeholders”, *Diabetologia*, 66(6), 1003-1015;

- [22]. Padhy, S. K., Sarkar, S., Panigrahi, M., & Paul, S. (2015), “Mental health effects of climate change”, *Indian journal of occupational and environmental medicine*, 19(1), 3-7;
- [23]. Palinkas, L. A., & Wong, M. (2020), “Global climate change and mental health”, *Current opinion in psychology*, 32, 12-16;
- [24]. Cil, G., & Kim, J. (2022). Extreme temperatures during pregnancy and adverse birth outcomes: Evidence from 2009 to 2018 US national birth data. *Health Economics*, 31(9), 1993-2024;
- [25]. McIntyre, D., & Chow, C. K. (2020). Waiting time as an indicator for health services under strain: a narrative review. *INQUIRY: The Journal of Health Care Organization, Provision, and Financing*, 57, 0046958020910305;
- [26]. Shen, Y., & Lee, L. H. (2020), “Improving the wait time to triage at the emergency department”, *BMJ Open Quality*, 9(1), e000708;
- [27]. Agovino, M., Musella, G., & Scaletti, A. (2022), “Equilibrium and efficiency in the first aid services market: The case of the emergency department of Sorrento”, *Socio-Economic Planning Sciences*, 82, 101313;
- [28]. Mbau, R., Musiega, A., Nyawira, L., Tsofa, B., Mulwa, A., Molyneux, S., ... & Barasa, E. (2023), “Analysing the efficiency of health systems: a systematic review of the literature”, *Applied health economics and health policy*, 21(2), 205-224;
- [29]. Rizmie, D., de Preux, L., Miraldo, M., & Atun, R. (2022). Impact of extreme temperatures on emergency hospital admissions by age and socio-economic deprivation in England. *Social Science & Medicine*, 308, 115193;
- [30]. Salata, F., Golasi, I., Proietti, R., & de Lieto Vollaro, A. (2017). Implications of climate and outdoor thermal comfort on tourism: the case of Italy. *International journal of biometeorology*, 61(12), 2229-2244;
- [31]. Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA). (2025). Ambiente in Italia: uno sguardo d’insieme. Annuario dei dati ambientali 2024 (Rapporto SNPA n. 102/2025). ISPRA–SNPA;
- [32]. Mapelli, V., De Stefano, A., Compagnoni, V., Gambino, A., & Ceccarelli, A. (2007). I sistemi di governance dei servizi sanitari regionali. *Quaderni Formez*, 57.

CAPITOLO II

Analisi Clima–Salute in Italia:

Dinamiche Temporali ed Eterogeneità Territoriale

Questo capitolo descrive le fonti, la costruzione degli indicatori e strategie metodologiche adottate per analizzare l'evoluzione climatica e i suoi nessi con la dinamica sanitaria regionale in Italia nel periodo 1999–2022. In particolare: le serie climatiche sono aggiornate al 2022; gli indicatori sociosanitari fino al 2021 (ultimo anno disponibile). Il disegno empirico integra tre livelli: i) preparazione del dato (armonizzazione, standardizzazione e controllo qualità); ii) misure di clima, sistema sanitario e contesto socioeconomico organizzati per domini; iii) modelli panel con effetti fissi e test di discontinuità (*breakpoint*) stimati separatamente per macroaree (Nord, Centro, Sud-Isole) al fine di cogliere l'eterogeneità territoriale.

Due scelte guidano l'intero capitolo:

- Primo, la misurazione degli estremi termici segue un approccio ancorato alla climatologia locale: gli estremi puntuali sono definiti tramite soglie *percentile-based* per area×mese (sopra il 90° e sotto il 10° percentile), distinguendo frequenza (indicatori binari) e intensità (gradi in eccesso sopra/sotto la soglia). Questa soluzione evita soglie in gradi fissi e rispetta l'adattamento climatico locale;
- Secondo, l'analisi delle relazioni clima–salute impiega due specificazioni complementari:
 - I. un modello di “salto di livello” (*level shift*) per variabili strutturali del sistema (clima, risorse, attività, spesa, quadro socioeconomico), che identifica differenze medie stabili prima/dopo il *break*;
 - II. un modello di “variazione di pendenza” (*Δ-slope*) per gli esiti sanitari, che stima come il gradiente temperatura-*outcome* cambi nel regime *post-break* rispetto al *pre-break* (maggiore vulnerabilità se $\Delta\text{-slope} > 0$; attenuazione/adattamento se $\Delta\text{-slope} < 0$).

Gli stimatori sono *cluster-robust* a livello regionale, con effetti fissi di regione e *dummies* mensili; in robustezza si includono anche effetti fissi di anno per assorbire shock nazionali comuni. Per la selezione del “*best break*” si applica una regola *data-driven* (priorità a $p < 0,10$;

$p < 0,05$; $p < 0,01$) e valore assoluto massimo del coefficiente; in assenza, *p-value* minimo), accompagnata da verifiche di robustezza inferenziale (controllo del rischio di I tipo su famiglie di test e bootstrap clusterizzato).

L'impostazione per macroarea risponde a tre razionali: (i) forte gradiente climatico Nord–Sud-Isole; (ii) modelli organizzativi regionali eterogenei (dotazioni, governance, vincoli finanziari); (iii) possibili differenze comportamentali (adattamento termico, uso dei servizi, mobilità sanitaria). Questo approccio consente di evitare “medie nazionali” che appiattiscono non linearità e cambi di regime per compensazione geografica.

Il paragrafo 2.1 è dedicato alle fonti e all'architettura del dataset. Si documentano copertura temporale e territoriale, le principali banche dati (clima, attività/risorse sanitarie, tassi di dimissioni delle patologie cd. “*climate-sensitive*”, quadro socioeconomico), le procedure di *linkage* e i controlli di qualità adottati (completezza, coerenze interne, trattamenti dei mancanti).

Il paragrafo 2.2 descrive il *data cleaning* e la ricostruzione delle serie: gestione dei mancanti; ricostruzione coerente nel tempo di variabili parziali. È dedicato alla preparazione del dato e alle trasformazioni dello stesso mediante: standardizzazioni, costruzione delle variabili di stagionalità, verifiche di stazionarietà/livello, tassi per popolazione e criteri per la climatologia locale per area×mese alla base di soglie ed eccessi.

Nel paragrafo 2.3 si definiscono gli indicatori suddivisi per domini. Si formalizzano gli indicatori di clima (temperatura media, temperatura massima media e temperatura minima media, estremi *percentile-based*, indici di giorni caldi/freddi e durate degli stessi), sistema sanitario (risorse sanitarie, attività sanitarie, spesa pubblica e privata sanitaria), tassi di dimissioni (per malattie cardiovascolari, malattie respiratorie, diabete, disturbi mentali e complicanze ostetriche) e contesto socioeconomico e demografico (reddito da lavoro pro-capite, PIL, indice di invecchiamento, percentuale di over 65, tasso di disoccupazione, popolazione residente). Per ogni indicatore si precisano unità di misura, scala e finalità analitica.

Il paragrafo 2.4 è dedicato alle statistiche descrittive. Indica il quadro comparativo Nord–Centro–Sud-Isole su tre sottoperiodi 1999–2006, 2007–2014, 2015–2021; tabelle (medie e deviazioni standard annue per macroarea×periodo) e grafici per evidenziare livelli/divari e traiettorie negli insiemi di indicatori definiti nel paragrafo 2.3.

Il paragrafo 2.5 è il cuore del capitolo dove si definisce il quadro metodologico alla base delle statistiche descrittive. Si presentano: (a) costruzione/standardizzazione degli indicatori

climatici su metrica comparabile; (b) modelli panel con effetti fissi (regione; *dummies* mensili; in robustezza effetti fissi di anno) con errori *cluster-robust*; (c) disegno dei test di *breakpoint* (griglia annuale esclusi gli estremi, regola di selezione, interpretazione del *level shift*); (d) specificazione Δ -slope per i tassi di dimissioni (*pre-break* vs *post-break* del gradiente temperatura-*outcome*). Vengono mostrati risultati sintetici: 2.5.1: costruzione del dataset e standardizzazione dei dati climatici – Analisi descrittiva; 2.5.2: *breakpoint* per anno e macroarea: conteggi annui e quote percentuali per area; finestre critiche e lettura congiunta dei domini; 2.5.3: *level shift* per clima/sistema: principali salti strutturali per indicatori climatici e del SSN, con interpretazione comparata Nord–Centro–Sud-Isole; 2.5.4: Δ -slope clima–salute: variazioni della sensibilità degli esiti sanitari alla temperatura nei regimi *post-break*; discussione dell’eterogeneità geografica e della non linearità (frequenza vs intensità degli estremi).

Il paragrafo 2.6 è dedicato all’analisi di robustezza e alle verifiche supplementari. In particolare, si denotano effetti fissi di anno, sottoperiodi, specifiche con temperatura massima, indicatori di intensità degli estremi (gradi in eccesso), *placebo-break*, controllo clusterizzato.

Nel paragrafo 2.7 si arriva alle prime implicazioni di policy e ad una prima sintesi operativa. Si sintetizzano i messaggi per programmazione *place-based* e vengono tradotti i risultati ottenuti in priorità territoriali.

Infine, nel paragrafo 2.8 si anticipa la costruzione dei due indici compositi: Indice Composito di Severità degli Shock Termici (SevShoT) e l’Indice di Resilienza Sanitaria Regionale (ReSaR). Si definiscono i prossimi passi operativi: normalizzazione (z-score/min-max), ponderazione (pesi uguali e sensibilità con PCA), analisi di robustezza (BoD), aggregazione multilivello e validazione con esiti e analisi di sensitività, fino alla graduatoria di vulnerabilità regionale.

2.1. Fonte dati e strumenti di raccolta

Il disegno di ricerca si basa su un approccio multi-sorgente che integra dati amministrativi, rilevazioni statistiche istituzionali e dati climatici, garantendo robustezza metodologica e completezza informativa. La fonte primaria è rappresentata dall’Istituto Nazionale di Statistica (ISTAT), dal cui database *Health for All* (HFA) sono stati estratti la maggior parte degli indicatori sanitari, sociodemografici ed economici. *Health for All* costituisce uno strumento

avanzato sviluppato dall'ISTAT specificamente per la ricerca e il monitoraggio nel settore della sanità pubblica. Esso fornisce accesso a un vasto ventaglio di informazioni statistiche strutturate, organizzate per tematiche che spaziano dai determinanti sociodemografici alla disponibilità di servizi, fino all'epidemiologia. I dati in esso contenuti sono il risultato di una raccolta sistematica e metodologicamente rigorosa, condotta attraverso indagini campionarie, rilevazioni amministrative e altre fonti istituzionali, assicurando elevati standard di qualità e rappresentatività territoriale.

I dati meteorologici giornalieri (temperature medie, minime e massime) sono stati forniti dall'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA), attingendo al Sistema Nazionale per la Raccolta, Elaborazione e Diffusione di dati Climatici (SCIA).

Per quanto concerne le informazioni strutturali sul sistema sanitario, i dati relativi alle strutture di ricovero pubbliche sono stati ricostruiti attraverso l'analisi sistematica degli Annuari Statistici del Ministero della Salute dal 1999 al 2021.

2.2. Metodologie di elaborazione e correzione dati

2.2.1. Gestione dei dati mancanti

La costruzione delle serie storiche regionali giornaliere di temperatura massima e minima (1999 – 2022) ha dovuto affrontare la sfida rappresentata dalla presenza di valori mancanti (*missing-values*). L'analisi preliminare ha rilevato l'assenza di 13.604 osservazioni per la temperatura massima, concentrate in modo pressoché esclusivo (99,99%) nelle regioni Abruzzo (6.486 *missing*) e Umbria (7.118 *missing*). Tale *pattern*, distribuito in modo uniforme lungo l'intero arco temporale, ha reso impraticabile una semplice interpolazione temporale, in quanto avrebbe prodotto stime inaffidabili a causa dell'entità e della durata delle lacune.

Per preservare l'integrità geografica dello studio e non ridurre il campione, è stata adottata una strategia di imputazione a due stadi, basata sul presupposto di una forte correlazione climatica tra regioni geograficamente contigue. Nella prima fase, per le due regioni critiche, i valori mancanti sono stati sostituiti con un dato *proxy*, calcolato come la media semplice della temperatura massima giornaliera registrata nelle regioni confinanti (per l'Abruzzo: Molise e Marche; per l'Umbria: Toscana e Marche). Nella seconda fase, i residuali valori mancanti

presenti nelle altre regioni (numericamente trascurabili) sono stati imputati tramite interpolazione lineare semplice della serie temporale regionale.

La bontà della procedura è stata convalidata mediante ispezione visiva (grafici sovrapposti delle serie originali e delle serie proxy) che ha evidenziato un allineamento pressoché perfetto tra l'andamento dei dati osservati e quello del dato proxy nei periodi in cui entrambi erano disponibili. Questo risultato conferma la validità dell'assunzione di base sulla similarità climatica e garantisce che la procedura di imputazione non abbia introdotto distorsioni sistematiche nel dataset finale, il quale si presenta così completo e pronto per le successive fasi di analisi volte al calcolo degli indicatori di ondate di calore e gelo.

2.2.2. Costruzione di serie storiche omogenee

Per gli indicatori disponibili solo parzialmente (come l'indice di povertà regionale e il numero di strutture pubbliche di ricovero), sono state sviluppate metodologie di stima che combinano modelli di regressione multipla con procedure di vincolo ai totali macroregionali, assicurando coerenza con i dati ufficiali ISTAT (approccio coerente con l'integrazione multi-dominio proposta da Dovie et al., 2017, e con i criteri di specificità/comparabilità di Cheng et al., 2013) [1] – [2]. Per l'indice di povertà relativa regionale la disponibilità dei dati ha presentato un vincolo fondamentale: i dati regionali sono disponibili solo a partire dal 2014, mentre per il periodo precedente (1999 – 2013) i dati ufficiali ISTAT sono pubblicati esclusivamente a livello di macroarea (Nord, Centro, Sud-Isole). Questo divario informativo preclude qualsiasi analisi di lungo periodo sulle dinamiche regionali della povertà. Per superare questa limitazione, è stato progettato e implementato un metodo statistico che combina modelli di regressione e procedure di vincolo ai totali noti. Il dataset finale è il risultato dell'integrazione di due diverse fonti: 1) dati regionali: sono state raccolte annualmente, per ogni regione, variabili sociodemografiche potenzialmente correlate con la povertà: popolazione residente, popolazione over 65, tasso di disoccupazione e indice di invecchiamento; 2) dati di macroarea (1999 – 2013): dati ufficiali ISTAT sull'incidenza della povertà relativa per le tre macroaree italiane (Nord, Centro, Sud-Isole).

La preparazione dei dati ha previsto l'unione dei due dataset attraverso un *merge many-to-one* sulla base dell'anno e di una variabile macroarea creata ad hoc, che associa ogni regione alla propria macroarea di appartenenza.

La strategia di stima si è articolata in due fasi fondamentali

– ***Fase 1: specificazione e stima del modello di regressione.***

È stato stimato un modello di regressione lineare multipla utilizzando il periodo 2014-2021, in cui sono disponibili sia le variabili esplicative che la variabile target (indice di povertà relativa):

$$\text{indice povertà relativa} = \beta_0 + \beta_1 * \text{tasso di disoccupazione} + \beta_2 * \text{percentuale over 65} + \epsilon$$

Il modello, stimato con il software Stata, ha restituito coefficienti tutti statisticamente significativi (p-value < 0,05) e un elevato potere esplicativo ($R^2 = 0,7547$). Ciò conferma che il tasso di disoccupazione e la struttura demografica sono predittori robusti dell'incidenza della povertà.

– ***Fase 2: stima vincolata ai dati macro.***

Per il periodo 1999 – 2013, i coefficienti del modello stimato sono stati applicati ai valori delle variabili esplicative per prevedere un valore di povertà per ogni regione e anno (indice di povertà relativa predetto). Tuttavia, per garantire la coerenza con la realtà economica aggregata, questa stima preliminare è stata vincolata al dato ufficiale di macroarea. La procedura è stata la seguente: dal valore predetto è stato calcolato il numero assoluto di individui in condizione di povertà stimati per regione. Per ogni macroarea e anno è stato calcolato il totale degli individui in condizione di povertà stimati. I valori regionali sono stati proporzionalmente scalati in modo che la loro somma coincidesse esattamente con il numero ufficiale di individui in condizioni di povertà della rispettiva macroarea, ottenuto dal dato ISTAT. Da questo numero "vincolato" è stato, infine, ricalcolato l'indice di povertà regionale stimato. Questa procedura ha assicurato che, pur stimando un valore per ogni regione, il totale macroarea resti identico al dato ufficiale ISTAT.

Un test di coerenza ha mostrato che le differenze tra il dato macro-originale e il dato macro ricostruito sommando le stime regionali sono infinitesimali (dell'ordine di 10^{-6}), dimostrando che il vincolo è stato applicato correttamente.

Grazie a questa metodologia, è stato possibile creare un dataset armonizzato unico nel suo genere, che contiene, tra l'altro: per il 1999 – 2013: l'indice di povertà relativa stimato a livello regionale, coerente con i totali di macroarea ISTAT; per il 2014-2021: l'indice di povertà relativa osservato a livello regionale. Questo dataset permette per la prima volta di analizzare le dinamiche spaziali e temporali della povertà in Italia su un arco di 23 anni, con il massimo livello di dettaglio geografico disponibile. La trasparenza del metodo e la sua validazione

statistica lo rendono uno strumento robusto per analisi economiche, sociologiche e per la valutazione delle politiche pubbliche contro la povertà a livello territoriale.

La fonte primaria per la ricostruzione delle serie storiche relative alla dotazione infrastrutturale del Servizio Sanitario Nazionale è rappresentata dagli archivi amministrativi storici del Ministero della Salute reperiti anno per anno.

2.3. Definizione e selezione degli indicatori

La selezione degli indicatori è stata guidata dal quadro teorico di riferimento e dalla loro rilevanza nella letteratura economico-sanitaria, con particolare attenzione alla costruzione di due indici compositi: l'Indice di Resilienza Climatica Sanitaria e l'Indice di Impatto Sanitario Climatico. La scelta privilegia indicatori con nesso clima–salute documentato, disponibilità/comparabilità e utilità per la programmazione (Cheng et al., 2013; Dovie et al., 2017) [1] – [2].

2.3.1. Indicatori di Contesto Socioeconomico e Demografico

La caratterizzazione del profilo di vulnerabilità regionale è stata effettuata attraverso indicatori strutturali, in linea con la letteratura. In particolare, è importante utilizzare indicatori di contesto forti e comparabili (Cheng et al., 2013) [1]; utilizzando soprattutto indicatori standard (ad esempio il PIL), robusti e facilmente confrontabili, che migliorano la specificità dell'analisi (Dovie et al., 2017) [2]. Sono stati presi in considerazione:

- Popolazione residente: base demografica di riferimento;
- Indice di invecchiamento e percentuale di over 65: indicatori di vulnerabilità demografica;
- Tasso di disoccupazione: indicatore di condizione economica;
- Indice di povertà relativa: ricostruito attraverso un metodo innovativo che combina modelli di regressione e procedure di vincolo ai totali macroregionali ISTAT (1999 – 2013), garantendo coerenza temporale e territoriale;
- Prodotto Interno Lordo (PIL) pro-capite: indicatore della ricchezza economica complessiva generata in una regione. Il PIL ai prezzi di mercato (valore assoluto in milioni di euro) è stato reperito dal database HFA. Il dato è stato successivamente trasformato in pro-capite (espresso in euro) dividendo il PIL totale per la popolazione

residente media dell'anno corrispondente. Questo indicatore fornisce una misura della capacità economica potenziale del territorio di far fronte agli shock e di investire in politiche di adattamento;

- Reddito da lavoro pro-capite: indicatore del reddito medio da lavoro (dipendente e autonomo) percepito dalla popolazione. La serie del reddito da lavoro totale è stata estratta dai conti economici regionali dell'ISTAT. Analogamente al PIL, il valore pro-capite (in euro) è stato calcolato dividendo il reddito da lavoro totale per la popolazione residente. Questo indicatore riflette più da vicino la condizione economica delle famiglie e la loro capacità di assorbire costi sanitari aggiuntivi (ad esempio, spese private o perdita di giornate lavorative) indotti da eventi climatici estremi.

2.3.2. Indicatori di Risorse Sanitarie

Input Economici:

- Spesa sanitaria pubblica pro-capite: risorse economiche del SSN. Quantifica le risorse economiche impiegate per i consumi di beni e servizi sanitari da parte della popolazione residente, al netto degli investimenti di capitale. Questo indicatore riflette l'impegno finanziario pubblico nel sostenere il sistema sanitario;
- Spesa sanitaria privata delle famiglie: complementarità del sistema di *welfare*. Rappresenta la quota di spesa sanitaria sostenuta direttamente dalle famiglie, attingendo al reddito disponibile o al risparmio. È un indicatore cruciale per valutare il carico *out-of-pocket* sui cittadini e l'adeguatezza della copertura pubblica.

Input Strutturali:

- Numero di strutture di ricovero pubbliche: dotazione infrastrutturale;
- Numero di ASL: articolazione organizzativa territoriale;
- Tasso di posti letto ospedalieri: capacità ricettiva. Specifica la disponibilità di posti letto destinati alla degenza ordinaria (con pernottamento), fornendo una misura più precisa dell'offerta dedicata alla cura delle patologie acute;
- Apparecchiature diagnostiche e terapeutiche (apparecchi portatili radio, camere iperbariche): tecnologia medica disponibile.

Input di Personale:

- Numero di medici di medicina generale: risorsa professionale primaria;

- Personale dipendente SSN: risorse umane complessive (l'inclusione della forza lavoro come determinante di *preparedness* e resilienza è coerente con Dovie et al., 2017) [2].

2.3.3. Indicatori di Attività e Accesso ai Servizi Sanitari

- Tasso di ospedalizzazione: intensità dell'attività ospedaliera. È il numero di dimissioni ospedaliere ogni 1.000 residenti, che esprime la frequenza di ricovero della popolazione;
- Volume di degenze e giornate di degenza: carico di lavoro ospedaliero;
- Degenza media: indicatore di efficienza e *case-mix*;
- Tasso di ricorso al Pronto Soccorso: proxy dell'accesso ai servizi urgenti;
- Tasso posti letto ospedalieri ordinari: l'ISTAT definisce il rapporto del numero di posti letto disponibili in regime di degenza ordinaria e la popolazione residente moltiplicato per mille. Secondo l'ISTAT (2017) per "regime ordinario" si intende l'ammissione in ospedale con pernottamento (di almeno una notte).

2.3.4. Indicatori di Esiti Sanitari *Climate-Sensitive*

Sono state analizzate le dimissioni ospedaliere per alcune patologie selezionate, classificate secondo l'ICD-10 dell'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS). Per ciascuna patologia, i tassi standardizzati di dimissione sono stati analizzati per il totale della popolazione e per genere (maschi, femmine). La selezione privilegia *outcome climate-sensitive* con evidenza epidemiologica e utilità di programmazione (Cheng et al., 2013) [1]. Le patologie investigate includono:

- Tasso di dimissioni per malattie cardiovascolari: infarto miocardico acuto (I21), malattie ischemiche del cuore (I20-I25), malattie cerebrovascolari (I60-I69);
- Tasso di dimissioni per malattie dell'apparato respiratorio: malattie dell'apparato respiratorio (ICD-10: J00-J99), polmonite e influenza (ICD-10: J09-J18), malattie polmonari croniche ostruttive (ICD-10: J40-J47);
- Tasso di dimissioni per diabete mellito;
- Tasso di dimissioni per disturbi mentali: Tasso disturbi psichici (ICD-10: F00-F99), Tasso disturbi psichici in età pre-adulta (<17 anni) (ICD-10: F90-F98), Tasso disturbi psichici: schizofrenia e disturbi correlati (ICD-10: F20-F29), Tasso disturbi psichici: ansia, somatoformi, dissociativi e della personalità (ICD-10: F40-F48);
- Complicanze ostetriche: età media di aborto spontaneo, tasso di complicazioni della gravidanza, del parto e del puerperio.

2.3.5. Indicatori Climatici e di Eventi Estremi

La temperatura media giornaliera è definita come: $temp_{media} = \frac{temp_{max} + temp_{min}}{2}$. Le soglie di estremi sono stimate per regione e mese sull'intero periodo 1999–2022: l'ondata di calore è definita quando la temperatura massima supera il 90° percentile locale per almeno 2 giorni consecutivi; l'ondata di freddo, invece, quando la temperatura minima scende sotto il 10° percentile per almeno 2 giorni. Per ciascun mese/anno è stata costruita: (a) frequenza (n. di ondate), (b) giorni in ondata, (c) durata massima delle ondate. Gli indicatori sono poi aggregati a livello macroarea.

La caratterizzazione climatica si basa su:

- Temperature medie, massime e minime giornaliere: elaborate per analisi di trend;
- Ondate di calore e gelo: nel quadro dell'analisi degli effetti dei cambiamenti climatici sulla salute pubblica, la definizione rigorosa e la quantificazione degli eventi climatici estremi costituiscono un prerequisito metodologico imprescindibile. Coerentemente alle linee guida del *Sixth Assessment Report* dell'IPCC (AR6, 2021), la presente ricerca adotta un approccio basato su soglie percentili al fine di garantire un'adeguata rappresentatività delle condizioni climatiche locali e una maggiore comparabilità spaziale rispetto a criteri basati su valori assoluti. In tale prospettiva, un'ondata di calore è stata operativamente definita come un periodo caratterizzato da temperature massime giornaliere superiori al 90° percentile della distribuzione storica locale, con una durata minima di almeno due giorni consecutivi. In modo analogo, un'ondata di gelo è stata identificata come una sequenza temporale in cui le temperature minime giornaliere risultano inferiori al 10° percentile della distribuzione storica, anch'essa di durata non inferiore a due giorni consecutivi. Tale approccio percentile consente di catturare deviazioni termiche anomale rispetto al clima di riferimento di ciascuna area, superando i limiti delle soglie fisse e migliorando la trasferibilità e la coerenza delle analisi tra regioni con condizioni climatiche eterogenee.

La stima delle soglie è stata effettuata utilizzando un dataset panel di osservazioni giornaliere di temperatura massima e minima per le 20 regioni italiane nel periodo 1999–2022. Per ciascuna regione e per ogni mese dell'anno sono stati calcolati:

- il 90° percentile della distribuzione delle temperature massime giornaliere;
- il 10° percentile della distribuzione delle temperature minime giornaliere.

L'intero arco temporale 1999–2022 è stato selezionato come periodo di riferimento al fine di garantire stabilità statistica nella stima delle soglie, riducendo la sensibilità a eventuali fluttuazioni di breve periodo o a condizioni climatiche anomale limitate a sotto-intervalli specifici. A partire dalle soglie definite, per ciascun giorno del dataset è stato attribuito uno stato di “giorno estremo” di calore o di gelo qualora la temperatura massima o minima superasse, rispettivamente, la soglia calcolata. Un algoritmo di raggruppamento temporale ha successivamente individuato le sequenze di giorni estremi consecutivi di durata ≥ 2 giorni, definendole come episodi di ondata. Per ogni regione e anno di osservazione sono stati, quindi, calcolati indicatori sintetici, quali:

- numero totale di ondate di calore e di gelo;
- numero complessivo di giorni appartenenti a tali eventi estremi;
- durata massima (in giorni) dell'ondata più lunga registrata nell'anno.

La scelta di una soglia minima di due giorni consecutivi si fonda sull'evidenza scientifica recente, secondo cui anche episodi termici brevi ma intensi possono produrre effetti significativi sui sistemi sanitari e sulla salute delle popolazioni vulnerabili, in particolare anziani e soggetti con patologie croniche. L'adozione di soglie percentili, in linea con gli standard IPCC, garantisce la robustezza statistica e la pertinenza epidemiologica delle misure di shock climatico, ponendo basi metodologiche solide per l'analisi empirica dell'interazione tra cambiamento climatico e salute pubblica nel contesto italiano (coerentemente con quanto ampliamento discusso nel Capitolo I del presente lavoro).

2.4. Statistiche descrittive per macroarea e periodo degli indicatori

Al fine di offrire una visione strutturata del contesto economico e sanitario italiano nel periodo di riferimento (1999–2021), questa sezione presenta un'analisi descrittiva degli indicatori raccolti, suddivisi per grandi aree geografiche (Nord, Centro, Sud-Isole) e per tre distinti sottoperiodi: 1999–2006, 2007–2014, e 2015–2021. Le statistiche sono articolate in quattro grandi insiemi di indicatori così come introdotti nel paragrafo 2.3:

- Indicatori di contesto socioeconomico e demografico: includono il tasso di disoccupazione, l'incidenza della povertà, il PIL pro-capite, il reddito da lavoro pro-capite e l'indice di invecchiamento;

- Indicatori di risorse sanitarie: comprendono la spesa sanitaria pubblica e privata, il numero di strutture pubbliche, il personale del SSN, e l’equipaggiamento tecnologico (es. apparecchiature diagnostiche e camere iperbariche);
- Indicatori di attività e accesso ai servizi sanitari: riguardano il tasso di ospedalizzazione, i tassi di ricovero ordinario e di pronto soccorso, la durata media della degenza e altri indicatori di utilizzo dei servizi;
- Indicatori di patologie *climate-sensitive*: misurati attraverso tassi di dimissioni per malattie cardiovascolari, respiratorie, disturbi psichiatrici, diabete e complicazioni legate alla gravidanza.

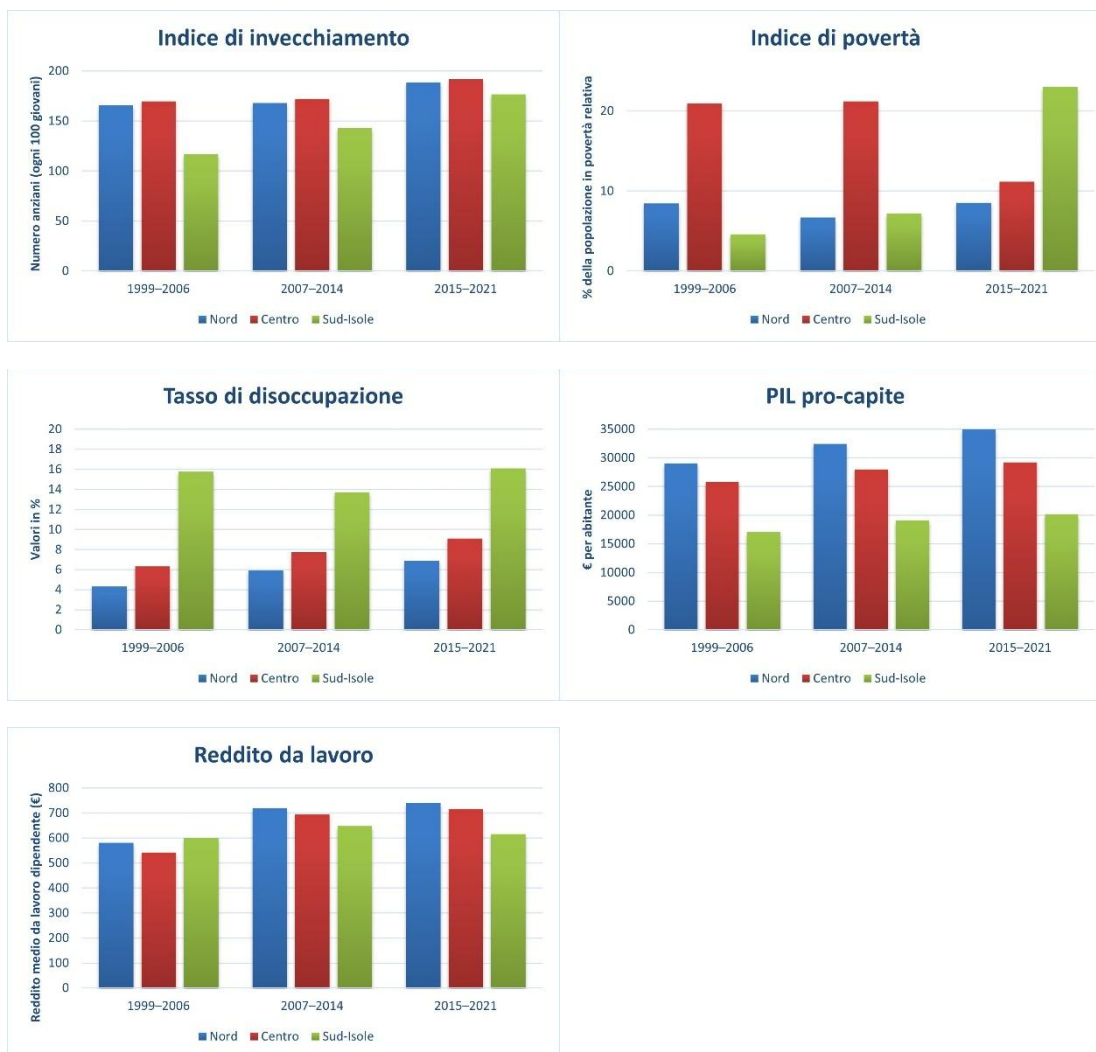
Per ciascun indicatore vengono riportati la media e la deviazione standard calcolate su base annua per ciascuna combinazione di macroarea e periodo. I valori sono presentati in tabelle strutturate, accompagnate da grafici che aiutano a visualizzare in modo immediato le principali tendenze e differenze territoriali.

Questa panoramica permette di evidenziare non solo le disuguaglianze storicamente consolidate tra Nord e Sud, ma anche l’evoluzione nel tempo di alcune dinamiche chiave, come la spesa sanitaria o la pressione sui servizi ospedalieri.

Tabella 2. 1 – Indicatori di contesto socioeconomico e demografico per macroarea e periodo

Variabile	Centro (1999– 2006)	Centro (2007– 2014)	Centro (2015– 2021)	Nord (1999– 2006)	Nord (2007– 2014)	Nord (2015– 2021)	Sud- Isole (1999– 2006)	Sud- Isole (2007– 2014)	Sud- Isole (2015– 2021)
Indice di invecchiamento	169.70 (23.43)	171.88 (16.93)	191.60 (19.56)	165.70 (39.00)	167.96 (34.46)	188.83 (34.27)	116.86 (25.15)	142.77 (25.44)	176.79 (30.04)
Indice di povertà	20.96 (5.89)	21.18 (5.80)	11.18 (3.14)	8.43 (5.97)	6.71 (2.61)	8.52 (2.57)	4.58 (1.42)	7.18 (6.76)	23.02 (6.32)
PIL pro-capite	25738.08 (3706.92)	28005.88 (3534.94)	29202.90 (3417.80)	29010.62 (3614.98)	32455.80 (3841.14)	34982.42 (4107.75)	17005.46 (2258.61)	19063.68 (2247.65)	20158.57 (2600.36)
Reddito da lavoro	541.56 (84.49)	694.60 (78.64)	716.10 (68.80)	581.22 (118.16)	719.08 (78.15)	740.66 (88.81)	599.68 (119.59)	647.38 (87.28)	615.71 (87.45)
Tasso di disoccupazione	6.33 (1.96)	7.73 (2.39)	9.09 (1.50)	4.31 (1.34)	5.93 (2.12)	6.88 (1.61)	15.74 (5.44)	13.70 (4.13)	16.08 (4.23)

Nota: i valori in tabella rappresentano le medie per ciascun indicatore, seguiti tra parentesi dalla deviazione standard.



Fonte: elaborazione propria su dati ISTAT–HFA–Ministero della salute

L'analisi degli indicatori socioeconomici territoriali relativi al periodo 1999–2021 mostra una persistente eterogeneità tra le macroaree italiane, con differenze che in alcuni casi si sono ampliate nel tempo. Le dinamiche osservate riflettono la combinazione di fattori strutturali di lungo periodo, politiche pubbliche territorialmente asimmetriche e un contesto macroeconomico caratterizzato da vincoli fiscali stringenti, riforme del mercato del lavoro non sempre efficaci e una distribuzione disomogenea degli investimenti.

L'indice di invecchiamento mostra un aumento generale, con valori più alti al Centro e al Nord. Questo riflette, da un lato, un aumento dell'aspettativa di vita – favorito da migliori condizioni socio-sanitarie – e, dall'altro, un persistente calo della natalità. L'effetto combinato comporta un aumento del carico potenziale sui sistemi di *welfare* e sanità pubblica, soprattutto in presenza di squilibri regionali nell'offerta di servizi alla popolazione anziana.

L'indicatore relativo alla povertà evidenzia una marcata e persistente fragilità socioeconomica nel Sud. La maggiore diffusione di condizioni di vulnerabilità è legata a bassi livelli di produttività, una presenza significativa di lavoro irregolare e un tessuto produttivo frammentato. A ciò si aggiungono difficoltà nel garantire un supporto adeguato al reddito da parte delle istituzioni locali, anche a causa di una limitata autonomia fiscale.

Il PIL pro-capite conferma il vantaggio strutturale del Nord, dove si concentra gran parte della capacità produttiva del Paese. Le differenze regionali riflettono la distribuzione degli investimenti, delle infrastrutture e del capitale umano. Il persistente divario, oltre a indicare livelli differenti di benessere economico, rappresenta una sfida rilevante per le politiche di riequilibrio territoriale.

Il reddito da lavoro dipendente segue un andamento simile a quello del PIL pro-capite. Le regioni settentrionali presentano livelli più elevati, associati ad una maggiore incidenza di contratti stabili e occupazioni qualificate. Tuttavia, la crescita limitata di questo indicatore nel periodo osservato segnala una tendenza alla stagnazione salariale su scala nazionale. Tale fenomeno, sebbene generalizzato, produce effetti più marcati nei contesti già svantaggiati, contribuendo ad ampliare le disuguaglianze territoriali.

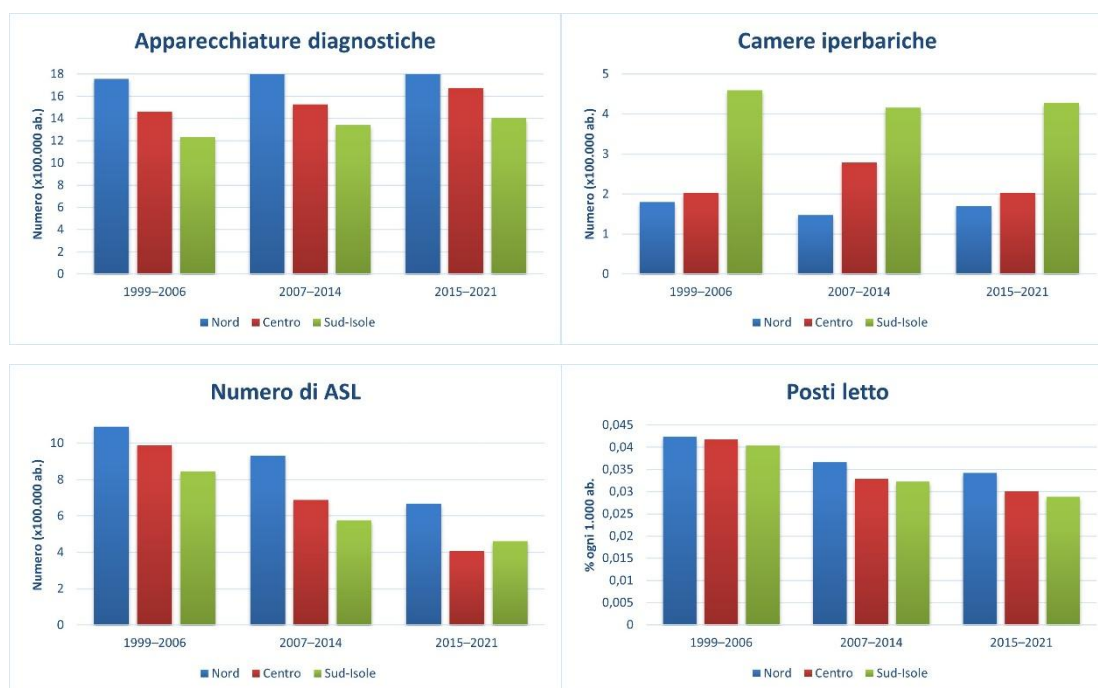
Il tasso di disoccupazione evidenzia una forte disomogeneità territoriale. Il Sud e le Isole presentano valori stabilmente più elevati, spesso doppi o tripli rispetto al Nord, anche nelle fasi di crescita economica. Questo suggerisce la presenza di rigidità strutturali nel mercato del lavoro locale, non risolte dalle politiche attive implementate nel periodo. Le difficoltà di inserimento lavorativo e la scarsa mobilità occupazionale contribuiscono a rafforzare le disparità regionali.

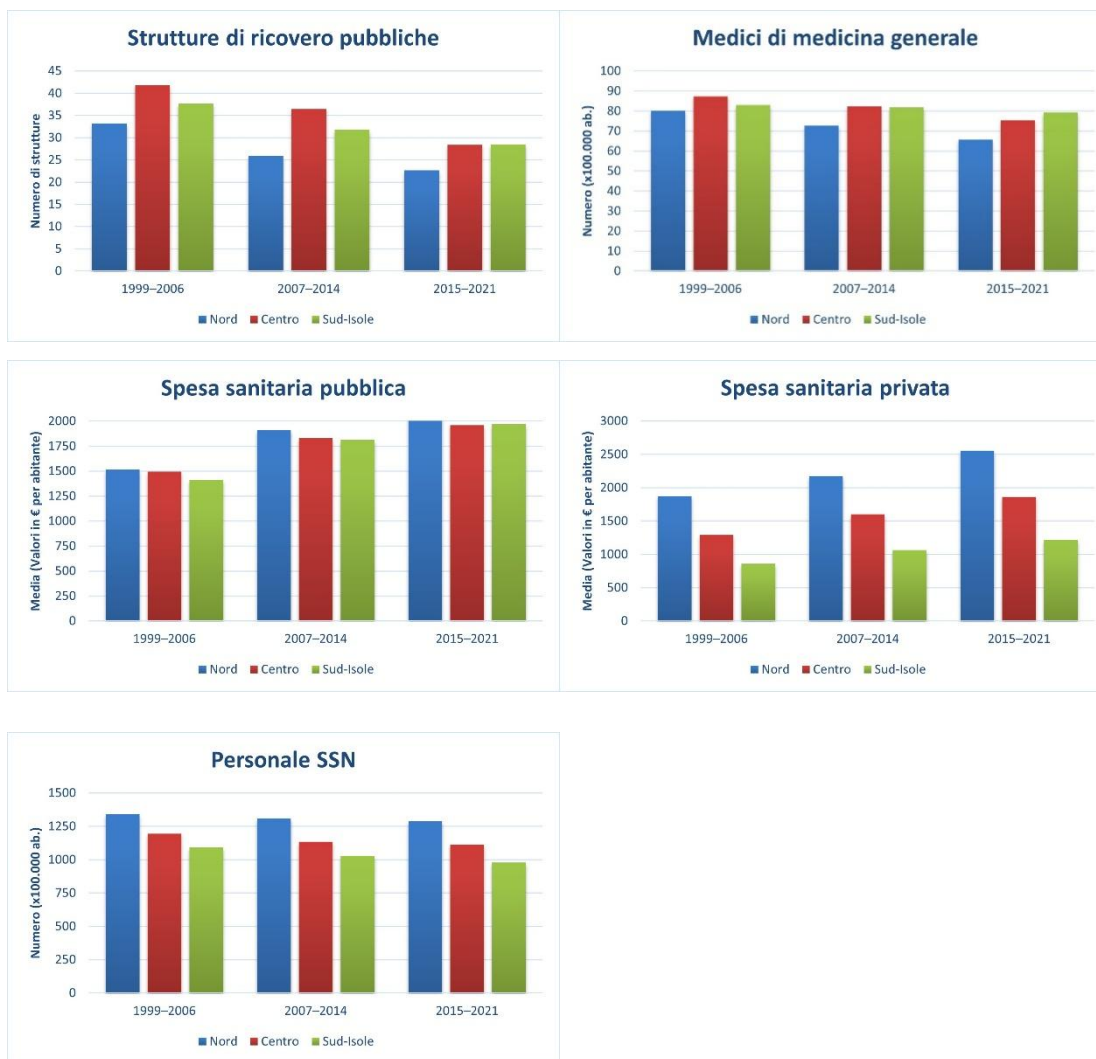
Tabella 2. 2 – Indicatori risorse sanitarie

Variabile	Nord (1999– 2006)	Nord (2007– 2014)	Nord (2015– 2021)	Centro (1999– 2006)	Centro (2007– 2014)	Centro (2015– 2021)	Sud- Isole (1999– 2006)	Sud- Isole (2007– 2014)	Sud- Isole (2015– 2021)
Apparecchiature diagnostiche	17.56 (14.94)	18.35 (15.04)	18.70 (15.65)	14.60 (10.42)	15.26 (9.93)	16.74 (10.53)	12.33 (9.39)	13.39 (10.22)	14.04 (11.13)
Camere iperbariche	0.18 (0.34)	0.15 (0.22)	0.17 (0.26)	0.20 (0.25)	0.28 (0.35)	0.20 (0.20)	0.46 (0.47)	0.42 (0.49)	0.43 (0.50)
Numero di ASL	10.91 (7.39)	9.31 (6.64)	6.68 (4.50)	9.88 (3.94)	6.88 (4.88)	4.07 (3.60)	8.45 (3.21)	5.77 (2.94)	4.62 (2.74)

Personale SSN	1339.81 (155.60)	1308.79 (222.79)	1285.92 (269.17)	1194.95 (161.63)	1133.53 (198.74)	1113.34 (253.68)	1091.68 (142.71)	1029.64 (142.33)	977.41 (179.78)
Spesa sanitaria privata (€)	1873.89 (1678.40)	2175.06 (1793.60)	2556.05 (2105.44)	1291.28 (772.53)	1600.52 (1016.75)	1863.19 (1226.33)	859.98 (582.99)	1062.82 (702.98)	1220.99 (809.02)
Spesa sanitaria pubblica (€)	1514.44 (216.85)	1908.06 (142.47)	2052.79 (191.85)	1493.45 (235.04)	1830.18 (108.62)	1957.96 (146.47)	1411.65 (237.20)	1812.26 (138.63)	1968.27 (194.81)
Strutture di ricovero	33.20 (22.17)	25.92 (17.97)	22.62 (16.94)	41.75 (23.71)	36.41 (22.97)	28.38 (20.09)	37.66 (23.38)	31.73 (19.71)	28.46 (19.19)
Tasso posti letto	0.04 (0.01)	0.04 (0.00)	0.03 (0.00)	0.04 (0.01)	0.03 (0.00)	0.03 (0.00)	0.04 (0.01)	0.03 (0.00)	0.03 (0.00)
Totale medici	80.06 (7.33)	72.82 (6.26)	65.76 (4.73)	87.23 (3.65)	82.28 (4.78)	75.41 (5.07)	83.01 (3.52)	81.87 (4.25)	79.34 (6.61)

Nota: i valori in tabella rappresentano le medie per ciascun indicatore, seguiti tra parentesi dalla deviazione standard.





Fonte: elaborazione propria su dati ISTAT-HFA-Ministero della salute

L'analisi delle risorse sanitarie nel periodo 1999-2021 evidenzia un'evoluzione differenziata tra le macroaree italiane. Nonostante l'impianto del SSN sia formalmente universalistico, i dati mostrano significative divergenze territoriali che si sono consolidate nel tempo. Tali differenze riflettono tanto le scelte politiche e gestionali regionali quanto l'assetto istituzionale del federalismo sanitario introdotto nei primi anni 2000.

La spesa sanitaria pubblica pro-capite è sistematicamente più elevata al Nord e al Centro rispetto al Sud-Isole. Questa asimmetria si manifesta nonostante il sistema di finanziamento nazionale sia incentrato su criteri perequativi. Tuttavia, regioni settentrionali e centrali mostrano generalmente una maggiore efficienza amministrativa, capacità di programmazione e gestione, nonché un più rapido accesso a fondi per investimenti e innovazione. Di conseguenza,

le risorse vengono utilizzate con maggiore efficacia, contribuendo a rafforzare i servizi sanitari locali.

La spesa sanitaria privata segue una distribuzione simile: è più alta al Centro e al Nord, dove le famiglie dispongono di maggiore capacità di spesa. Questo fenomeno può rappresentare sia una forma di integrazione del servizio pubblico – in risposta a tempi di attesa o carenze – sia un riflesso della maggiore diffusione di servizi assicurativi e cliniche private. Al Sud-Isole, invece, la spesa privata è più contenuta, segnalando sia una minore offerta privata sia un vincolo economico più stringente per le famiglie.

Il numero di strutture pubbliche di ricovero e di aziende sanitarie locali è diminuito in tutto il Paese, in linea con i processi di razionalizzazione e accorpamento promossi a livello nazionale. Tuttavia, gli effetti di queste politiche sono stati territorialmente disomogenei. Al Nord, dove la rete ospedaliera era già consolidata, i tagli sono stati accompagnati da una riorganizzazione efficiente e da investimenti nella medicina territoriale. Al Sud, invece, la riduzione delle strutture ha inciso maggiormente sull'accessibilità ai servizi, generando in alcuni casi una carenza effettiva dell'offerta.

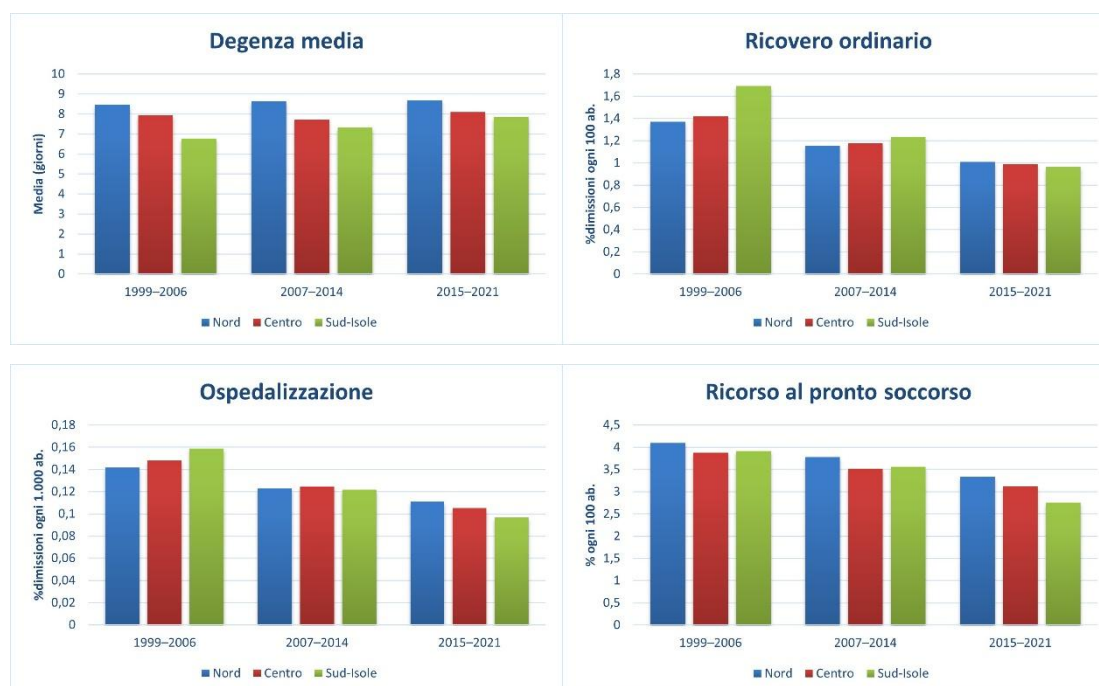
La presenza di apparecchiature sanitarie per diagnosi e terapia – come TAC, risonanze magnetiche o camere iperbariche – risulta superiore nel Centro e al Nord, fatta eccezione per le camere iperbariche maggiormente presenti al Sud-Isole. Questa dotazione riflette la capacità di investimento delle regioni più sviluppate e l'efficacia dei partenariati pubblico-privati. Il differenziale infrastrutturale ha conseguenze dirette sulla qualità dell'assistenza, sui tempi di attesa e sulla tempestività delle diagnosi, rappresentando un ulteriore elemento di diseguaglianza nell'accesso effettivo alle cure.

Anche la disponibilità di medici e di personale del SSN è maggiore nelle regioni settentrionali. Le cause sono molteplici: maggiore capacità di attrarre professionisti, condizioni lavorative più favorevoli, maggiore stabilità contrattuale e risorse finanziarie meno vincolate dai piani di rientro. Al Sud, invece, le difficoltà nel reclutamento, unite a limiti di bilancio, hanno prodotto una carenza strutturale di personale sanitario. Questa condizione incide negativamente sulla qualità e tempestività delle prestazioni, e può contribuire ad aumentare il ricorso alla mobilità sanitaria passiva.

Tabella 2. 3 – Indicatori di attività e accesso ai servizi sanitari

Variabile	Centro (1999– 2006)	Centro (2007– 2014)	Centro (2015– 2021)	Nord (1999– 2006)	Nord (2007– 2014)	Nord (2015– 2021)	Sud- Isole (1999– 2006)	Sud- Isole (2007– 2014)	Sud- Isole (2015– 2021)
Degenza media	7.93 (1.16)	7.70 (0.90)	8.09 (0.77)	8.47 (0.67)	8.62 (0.56)	8.69 (0.62)	6.77 (0.51)	7.33 (0.47)	7.86 (0.42)
Tasso di ricovero ordinario	1.42 (0.15)	1.18 (0.10)	0.99 (0.10)	1.37 (0.16)	1.15 (0.10)	1.01 (0.09)	1.69 (0.19)	1.24 (0.15)	0.96 (0.12)
Tasso di ospedalizzazione	0.15 (0.02)	0.12 (0.01)	0.11 (0.01)	0.14 (0.02)	0.12 (0.01)	0.11 (0.01)	0.16 (0.02)	0.12 (0.02)	0.10 (0.02)
Tasso di ricorso al pronto soccorso	3.88 (0.53)	3.52 (0.28)	3.12 (0.54)	4.09 (0.51)	3.78 (0.41)	3.34 (0.59)	3.91 (0.70)	3.56 (0.61)	2.76 (0.61)

Nota: i valori in tabella rappresentano le medie per ciascun indicatore, seguiti tra parentesi dalla deviazione standard.



Fonte: elaborazione propria su dati ISTAT–HFA–Ministero della salute

L’analisi degli indicatori relativi all’attività ospedaliera e all’utilizzo dei servizi sanitari offre una panoramica significativa delle modalità con cui le diverse macroaree italiane hanno risposto, nel tempo, ai cambiamenti organizzativi e finanziari introdotti nel SSN. Il quadro che emerge dalle evidenze restituisce traiettorie divergenti tra Nord, Centro e Sud-Isole, riconducibili a differenti capacità programmatiche, disponibilità infrastrutturali e assetti di

governance. Il progressivo calo del tasso di ospedalizzazione e del numero medio di giornate di degenza osservato in tutte le macroaree riflette l'attuazione di strategie nazionali volte a contenere la spesa sanitaria e a favorire modelli assistenziali più appropriati. In particolare, si è cercato di ridurre i ricoveri ospedalieri in favore di prestazioni ambulatoriali, cure domiciliari e *day hospital*. Tuttavia, il processo è avvenuto con tempistiche e intensità diverse: al Nord si è registrata una riduzione più netta e ordinata, coerente con un contesto organizzativo più solido. Al Sud-Isole, invece, la diminuzione più contenuta appare in parte legata ad un ritardo nell'adozione di alternative assistenziali territoriali. Ne consegue che la riduzione dell'attività ospedaliera non è sempre sinonimo di maggiore efficienza, ma può derivare anche da una limitata capacità di offerta.

Il costante aumento degli accessi al pronto soccorso, rilevabile in tutte le macroaree, è un indicatore chiave del malfunzionamento – o della percezione di inefficienza – della rete territoriale. Al Nord, la crescita può essere attribuita anche a una maggiore domanda di prestazioni tempestive ed a una cultura dell'accesso diretto ai servizi. Al Sud e sulle Isole, invece, l'elevato tasso di accessi al PS spesso sostituisce l'assenza di un'effettiva presa in carico da parte dei servizi di medicina generale e specialistica. Il pronto soccorso si trasforma così da struttura per l'emergenza a luogo di accesso ordinario alla sanità, sovraccaricando il sistema e aumentando il rischio di inappropriatezza clinica e organizzativa.

Le differenze nei tassi di ricovero ordinario tra le macroaree riflettono, in larga parte, la diversa capacità di programmazione e di offerta. Al Nord, la maggiore disponibilità di strutture, personale e tecnologie consente di gestire un numero più elevato di ricoveri, anche programmati. Il dato, quindi, non va letto come indice di maggiore domanda, ma come espressione di un sistema sanitario più capace di intercettare e soddisfare i bisogni clinici della popolazione. Al Sud-Isole, i livelli più bassi di ricoveri possono indicare una minore accessibilità o una capacità organizzativa ridotta, che spesso si traduce in mobilità sanitaria verso le regioni del Centro-Nord.

Tabella 2. 4 – Indicatori di patologie climate-sensitive: tassi di dimissioni per malattie cardiovascolari, respiratorie, disturbi psichiatrici, diabete e complicazioni legate alla gravidanza

<i>Malattie cardiovascolari</i>	Centro (1999–2006)	Centro (2007–2014)	Centro (2015–2021)	Nord (1999–2006)	Nord (2007–2014)	Nord (2015–2021)	Sud-Isole (1999–2006)	Sud-Isole (2007–2014)	Sud-Isole (2015–2021)
Tasso infarto del miocardio	0.02 (0.00)	0.02 (0.00)	0.02 (0.00)	0.02 (0.00)	0.02 (0.00)	0.02 (0.00)	0.02 (0.00)	0.02 (0.00)	0.02 (0.00)
Tasso malattie cerebrovascolari	0.06 (0.01)	0.05 (0.01)	0.04 (0.00)	0.05 (0.01)	0.04 (0.01)	0.03 (0.01)	0.05 (0.01)	0.05 (0.01)	0.04 (0.01)
Tasso malattie ischemiche	0.07 (0.01)	0.05 (0.00)	0.04 (0.00)	0.06 (0.01)	0.05 (0.01)	0.04 (0.01)	0.06 (0.01)	0.05 (0.01)	0.04 (0.01)

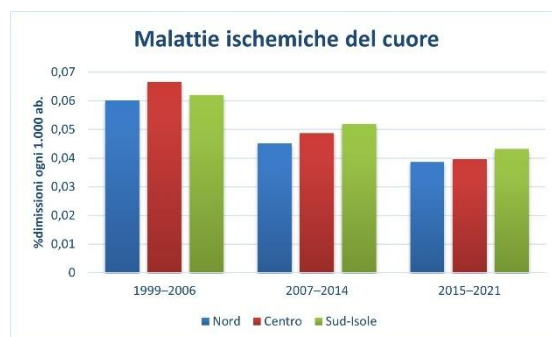
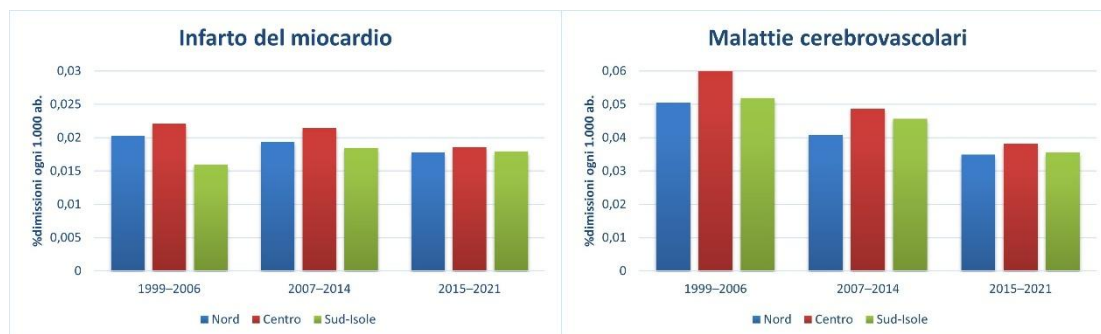
<i>Malattie respiratorie</i>	Centro (1999–2006)	Centro (2007–2014)	Centro (2015–2021)	Nord (1999–2006)	Nord (2007–2014)	Nord (2015–2021)	Sud-Isole (1999–2006)	Sud-Isole (2007–2014)	Sud-Isole (2015–2021)
Malattie polmonari croniche	0.03 (0.01)	0.01 (0.01)	0.01 (0.00)	0.02 (0.01)	0.01 (0.00)	0.01 (0.00)	0.04 (0.01)	0.02 (0.01)	0.01 (0.01)
Malattie respiratorie	0.13 (0.01)	0.11 (0.00)	0.11 (0.01)	0.13 (0.02)	0.11 (0.01)	0.12 (0.02)	0.15 (0.02)	0.11 (0.01)	0.09 (0.01)
Polmonite/Influenza	0.03 (0.00)	0.02 (0.00)	0.03 (0.01)	0.03 (0.00)	0.03 (0.00)	0.04 (0.01)	0.02 (0.00)	0.02 (0.00)	0.02 (0.01)

<i>Disturbi mentali</i>	Centro (1999–2006)	Centro (2007–2014)	Centro (2015–2021)	Nord (1999–2006)	Nord (2007–2014)	Nord (2015–2021)	Sud-Isole (1999–2006)	Sud-Isole (2007–2014)	Sud-Isole (2015–2021)
Disturbi psicologici	0.05 (0.01)	0.04 (0.01)	0.03 (0.01)	0.06 (0.02)	0.05 (0.01)	0.04 (0.01)	0.06 (0.02)	0.04 (0.01)	0.03 (0.01)
Disturbi d’ansia	0.01 (0.00)	0.01 (0.00)	0.00 (0.00)	0.01 (0.00)	0.01 (0.00)	0.01 (0.00)	0.01 (0.00)	0.01 (0.00)	0.00 (0.00)
Schizofrenia	0.01 (0.00)	0.01 (0.00)	0.00 (0.00)	0.01 (0.00)	0.01 (0.00)	0.01 (0.00)	0.01 (0.00)	0.01 (0.00)	0.01 (0.00)

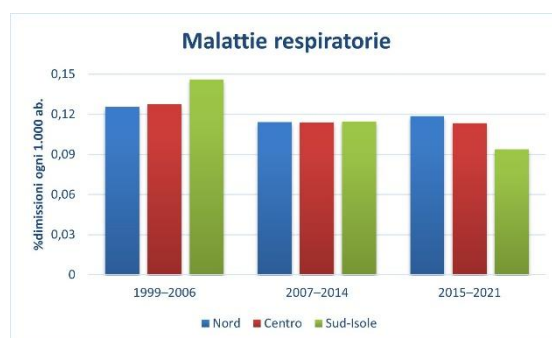
<i>Altre patologie</i>	Centro (1999–2006)	Centro (2007–2014)	Centro (2015–2021)	Nord (1999–2006)	Nord (2007–2014)	Nord (2015–2021)	Sud-Isole (1999–2006)	Sud-Isole (2007–2014)	Sud-Isole (2015–2021)
Complicazioni gravidanza	0.64 (0.03)	0.61 (0.04)	0.48 (0.04)	0.64 (0.03)	0.61 (0.05)	0.50 (0.04)	0.66 (0.06)	0.59 (0.05)	0.48 (0.04)

Diabete mellito	0.02 (0.01)	0.01 (0.01)	0.01 (0.00)	0.02 (0.01)	0.01 (0.00)	0.01 (0.00)	0.04 (0.01)	0.02 (0.01)	0.01 (0.00)
------------------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------

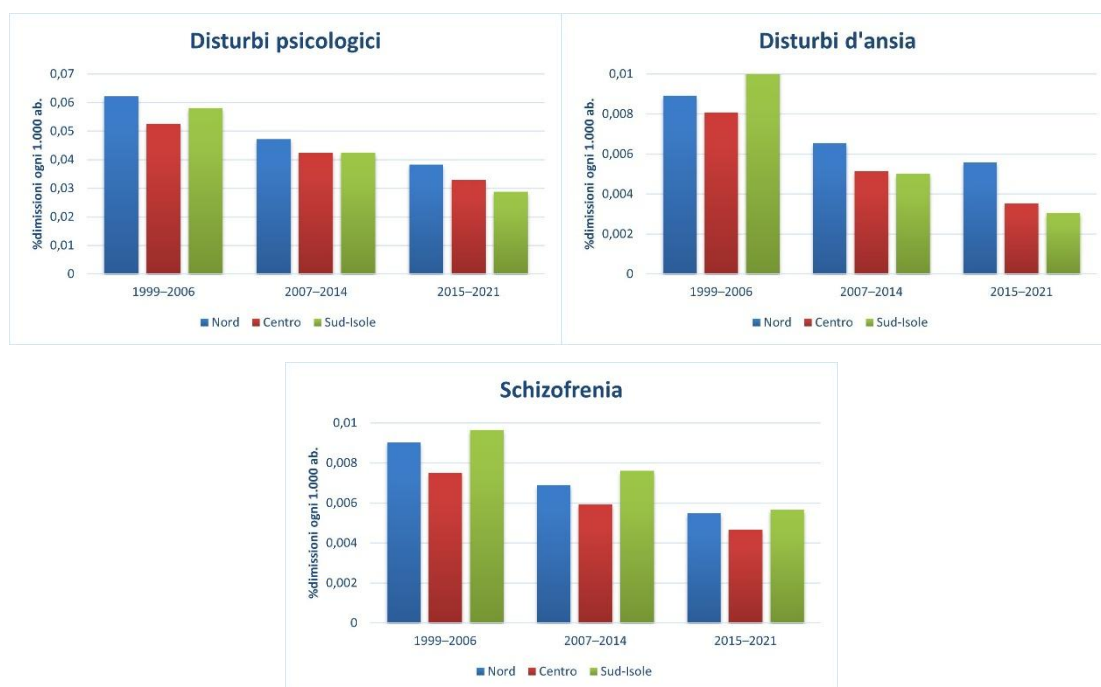
– *Malattie cardiovascolari*



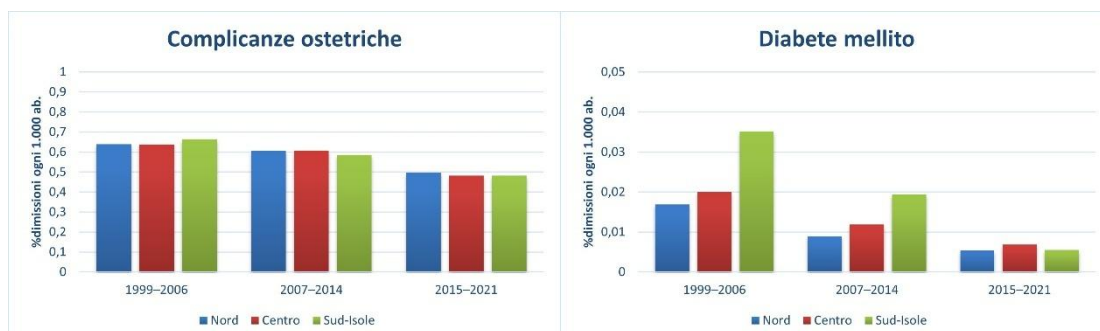
– *Malattie respiratorie*



– **Disturbi mentali**



– **Complicanze ostetriche e diabete mellito**



Fonte: elaborazione propria su dati ISTAT–HFA–Ministero della salute

Gli esiti sanitari legati alle patologie cardiovascolari rappresentano un indicatore cruciale per valutare lo stato di salute della popolazione e l'efficacia complessiva del SSN. Nel periodo 1999–2021, si osserva in Italia una riduzione generalizzata dei ricoveri per queste patologie, segnale positivo di miglioramenti nelle pratiche cliniche e nei percorsi di cura. Tuttavia, le differenze territoriali restano marcate, riflettendo squilibri nella dotazione infrastrutturale, nelle competenze cliniche disponibili e nella capacità di risposta del sistema nei diversi contesti regionali.

Il trend discendente dei ricoveri per infarto del miocardio in tutte le macroaree, più marcato nel Nord e nel Centro, suggerisce un'evoluzione positiva nella gestione dell'emergenza cardiovascolare. I fattori alla base di questo miglioramento includono la diffusione delle reti per l'infarto, la tempestività degli interventi di rivascolarizzazione e una migliore organizzazione del sistema dell'emergenza-urgenza. Al Sud e sulle Isole, tuttavia, la riduzione è più lenta, e questo può essere attribuito ad una combinazione di elementi: disponibilità più limitata di strutture di emodinamica, accesso meno rapido ai trattamenti d'urgenza, minore densità di ambulanze medicalizzate e ritardi nella presa in carico. Ciò evidenzia la necessità di rafforzare la rete dell'emergenza cardiovascolare, in particolare nei territori più svantaggiati. Anche per le patologie ischemiche si registra una riduzione dei tassi di ricovero, più consistente nelle regioni settentrionali. Questo andamento è coerente con un contesto sanitario più strutturato, dove la prevenzione cardiovascolare – sia primaria che secondaria – è maggiormente integrata nei servizi territoriali. Il maggiore ricorso a controlli specialistici, la diffusione di programmi di *screening* e una migliore aderenza terapeutica contribuiscono a prevenire l'evoluzione delle patologie cardiache. Al Sud-Isole, al contrario, la diminuzione più contenuta suggerisce un bisogno clinico meno intercettato in fase precoce, minore aderenza ai protocolli di prevenzione. I dati relativi alle malattie cerebrovascolari mostrano una minore variabilità nel tempo, ma confermano il divario Nord-Sud-Isole.

Le patologie respiratorie rappresentano un'area clinica particolarmente sensibile all'interazione tra fattori ambientali, condizioni socioeconomiche e capacità del sistema sanitario. L'analisi dei tassi di ricovero per malattie respiratorie consente di cogliere importanti segnali sulla vulnerabilità delle popolazioni e sull'efficacia della risposta sanitaria territoriale. I dati mostrano differenze territoriali persistenti, con un divario costante a sfavore delle regioni meridionali. Nel complesso, si osserva una relativa stabilità – talvolta un lieve aumento – dei ricoveri per malattie respiratorie, soprattutto nell'ultimo periodo considerato. I valori più elevati rilevati al Sud-Isole suggeriscono l'esistenza di fattori di rischio più diffusi e di una capacità preventiva meno sviluppata. La riduzione dei tassi di ricovero per malattie respiratorie croniche registrata soprattutto al Nord è indicativa di un sistema territoriale più maturo nella gestione delle patologie croniche. La diagnosi precoce, i programmi di monitoraggio e la riabilitazione respiratoria contribuiscono a contenere l'evoluzione della malattia ed a prevenire le riacutizzazioni. Al Sud e sulle Isole, invece, la situazione è diversa: la diagnosi avviene più tardi, la gestione è spesso discontinua e frammentata e la rete ambulatoriale presenta numerose carenze. Questo determina un maggior numero di ricoveri, che in molti casi potrebbero essere

evitabili con un adeguato supporto territoriale. I ricoveri per polmoniti e influenza, che tendono ad aumentare nell'ultima fase del periodo osservato, sono particolarmente indicativi dell'efficacia della prevenzione primaria. Al Sud-Isole, l'incremento risulta più marcato.

L'analisi dei ricoveri ospedalieri per disturbi mentali costituisce uno strumento fondamentale per valutare la capacità del sistema sanitario di riconoscere e gestire il disagio psichico. Tali esiti, tuttavia, riflettono anche aspetti culturali, livelli di stigma sociale e grado di sviluppo dei servizi territoriali. I dati mostrano una dinamica territoriale articolata, con differenze persistenti che evidenziano approcci assistenziali divergenti tra le macroaree. Il tasso più elevato di ricoveri osservato al Nord non va interpretato come un segnale di maggiore incidenza patologica, piuttosto come l'indicatore di un sistema in grado di intercettare precocemente il bisogno. La presenza più capillare di servizi territoriali (come i Centri di Salute Mentale) e una cultura sanitaria più orientata alla prevenzione e alla diagnosi precoce contribuiscono a rendere più visibile il disagio psichico ed a facilitare l'accesso ai percorsi di cura. Al Sud e sulle Isole, al contrario, la stabilità dei tassi e il loro livello più contenuto suggeriscono un fenomeno di sotto-diagnosi. La gestione del disagio mentale si affida ancora in misura significativa alla famiglia o al privato sociale, con accessi ospedalieri che avvengono spesso solo nelle fasi più avanzate o acute della patologia. Il lieve incremento dei ricoveri per disturbi d'ansia osservato soprattutto al Nord rappresenta un elemento importante per comprendere la trasformazione del disagio psicosociale in richiesta di cura. L'aumento può derivare da una maggiore consapevolezza individuale e collettiva, ma anche dalla crescente pressione socioeconomica. La medicalizzazione del disagio e l'utilizzo dell'ospedale come punto di accesso, in assenza di un filtro territoriale efficace, sollevano interrogativi sulla tenuta e sull'adeguatezza della rete dei servizi di supporto psicologico. I dati relativi ai disturbi schizofrenici, stabili nel tempo ma con un gradiente territoriale evidente, rivelano la diversa capacità delle regioni di affrontare la cronicità psichiatrica. Al Nord, il maggior numero di ricoveri è coerente con un sistema strutturato che contempla percorsi di presa in carico ospedaliera integrati con l'assistenza ambulatoriale e territoriale. Al Sud, i tassi inferiori non indicano una minore incidenza, piuttosto una difficoltà ad attivare percorsi terapeutici stabili e continuativi.

L'analisi dei tassi di complicanze ostetriche rappresenta un indicatore rilevante per valutare la qualità dell'assistenza sanitaria rivolta alle donne in stato di gravidanza. Questi dati riflettono non solo l'efficienza dei servizi ginecologici e ostetrici, ma anche la capacità del sistema sanitario di promuovere equità e tutela dei diritti di salute, in particolare in ottica di genere. Le evidenze emerse indicano l'esistenza di una disuguaglianza persistente e strutturale tra le

macroaree italiane. Nel periodo osservato, i tassi di complicanze ostetriche risultano stabilmente più elevati al Sud e sulle Isole rispetto al Centro e al Nord. Questa differenza geografica non appare legata a variazioni episodiche o cicliche, ma evidenzia un divario strutturale nella qualità e nell'accessibilità dei servizi assistenziali durante la gravidanza. La continuità del fenomeno su un arco temporale ventennale evidenzia la difficoltà delle politiche di riequilibrio nel colmare le disparità regionali in ambito ostetrico.

Il tasso di ricoveri ospedalieri per diabete è un indicatore indiretto dell'efficacia della gestione territoriale della malattia cronica. In un sistema efficace, il diabete dovrebbe essere trattato prevalentemente in ambito ambulatoriale. I dati mostrano, invece, valori sistematicamente più alti al Sud-Isole, dove il controllo glicemico è spesso inadeguato e i percorsi di prevenzione secondaria meno strutturati. A ciò si aggiungono fattori socioeconomici che incidono negativamente sull'aderenza terapeutica, sull'accesso ad una dieta equilibrata e sul ricorso a visite specialistiche. Il risultato è un maggior rischio di complicanze acute e croniche che richiedono il ricovero ospedaliero, con un aggravio sui costi e sulla qualità della vita dei pazienti.

La ricostruzione sistematica degli indicatori sanitari, socioeconomici e demografici rappresenta un passaggio fondamentale per comprendere il contesto territoriale in cui si inserisce l'analisi climatica. In un Paese segnato da marcate differenze regionali, avere contezza delle disuguaglianze preesistenti consente di interpretare correttamente l'impatto potenziale e differenziale del clima sulla salute. Solo integrando le dimensioni sociali, sanitarie e ambientali è possibile cogliere la complessità delle relazioni tra vulnerabilità strutturali e nuovi fattori di rischio ambientale.

2.5. Analisi descrittiva: disuguaglianze territoriali e dinamiche temporali nella resilienza climatico-sanitaria

D'ora in avanti si presenteranno i risultati di un'analisi descrittiva condotta su un dataset panel ad alta completezza temporale e copertura territoriale. Attraverso l'osservazione di 70 variabili fotografate per 23 anni, con cadenza mensile, per tutte le 20 regioni è stato possibile ricostruire l'evoluzione delle relazioni clima-salute in Italia, identificando *pattern* complessi che sfidano narrazioni consolidate e rivelano dinamiche inedite. L'approccio metodologico combina rigore statistico e profondità analitica, articolandosi in tre fasi complementari: decomposizione della

varianza, identificazione di *break* temporali e valutazione di *performance* relativa. I risultati forniscono una base empirica solida per le successive modellazioni econometriche e per la costruzione degli indici compositi di resilienza climatica sanitaria.

Tabella 2. 5 – Architettura del dataset

Dimensione	Periodo	Unità	Fonti	Note metodologiche
Temporale	1999 – 2022	288 mesi	ISTAT – HFA ISPRA – SCIA	Serie mensili complete
Geografica	20 regioni	NUTS-2	Ministero della salute	Copertura nazionale
Indicatori	70 variabili	Quattro domini: clima, sanità, economia, società	Multiple	Procedure di armonizzazione

La Tabella 2.5 delinea l'architettura del dataset panel che costituisce il fondamento empirico di questa ricerca. La combinazione di copertura temporale ventennale (1999 – 2022), completezza geografica (20 regioni NUTS-2) e ampiezza tematica (70 indicatori in quattro domini principali) rappresenta un *unicum* nel panorama della ricerca clima-salute in Italia. L'utilizzo esclusivo di fonti istituzionali – ISTAT – HFA per i dati sanitari, ISPRA – SCIA per i dati climatici, Ministero della Salute per i dati strutturali – garantisce l'affidabilità delle serie storiche, mentre le procedure di armonizzazione assicurano la comparabilità temporale e territoriale.

2.5.1. Metodologia: Un Approccio Multistrato all'Analisi Descrittiva

Per analizzare le disuguaglianze territoriali e le dinamiche temporali nella resilienza climatico-sanitaria, il presente studio adotta un approccio metodologico integrato e multilivello. La strategia di indagine si articola in tre fasi sequenziali: i) costruzione e standardizzazione dei dati climatici. Inizialmente, i dati climatici grezzi vengono sottoposti ad un processo di validazione, omogeneizzazione e correzione, finalizzato ad isolare i *forcing* climatici rilevanti (quali eventi estremi e *pattern* di stagionalità). Successivamente, tali segnali climatici vengono tradotti in un *set* di indicatori sintetici annuali, progettati per essere robusti, normalizzati e direttamente confrontabili sia attraverso le diverse unità territoriali (regioni) che lungo la serie temporale; ii) analisi esplorativa e inferenziale. Sulla base del panel di indicatori standardizzati, si procede con una serie di analisi statistiche volte a decostruire le fonti di variabilità e a identificare *pattern* temporali critici. Questo stadio include la diagnosi della variabilità attraverso la decomposizione della varianza: si quantifica il contributo relativo delle componenti spaziali (eterogeneità inter-regionale), temporali (tendenza generale) e dell'errore residuo alla variabilità

complessiva del sistema; iii) identificazione di *break* temporali: l'evoluzione temporale della resilienza viene esaminata mediante l'applicazione di test di rilevamento dei *breakpoint* per individuare date di potenziale transizione o "cambio di regime" nelle serie storiche. Infine, verrà effettuata una sintesi interpretativa: questa fase conclusiva integra in modo critico le evidenze emerse dalle analisi precedenti. L'obiettivo è pervenire ad una sintesi interpretativa multidimensionale che chiarisca l'interazione tra i gradienti spaziali di resilienza e le loro traiettorie temporali, offrendo così una visione olistica delle determinanti e delle evoluzioni della resilienza climatico-sanitaria. Lo Schema 2.1 che segue visualizza questo flusso metodologico a cascata, illustrando graficamente l'interdipendenza tra i vari blocchi e il percorso dai dati grezzi alle evidenze sintetiche.

Schema 2.1 – Framework concettuale dell'analisi.

FASE 1: COSTRUZIONE DEL DATASET E STANDARDIZZAZIONE DEI DATI CLIMATICI | Definire “cosa” misurare e “come” confrontarlo

Input: Dati climatici grezzi;

Metodo: Validazione, omogeneizzazione e correzione delle serie; identificazione di anomalie climatiche;

Obiettivo: Costituire un dataset panel solido e coerente, base analitica per le fasi successive di diagnosi;

Output: Matrice di dati standardizzati (Unità: Regioni-Anni) contenente gli indicatori climatico-sanitari definitivi.

Fase 2: DECOMPOSIZIONE VARIANZA | Identificare “cosa” varia e “dove”.

- **Input:** 70 variabili, 23 anni, 20 regioni;

- **Metodo:** Analisi componenti varianza;

- **Obiettivo:** Separare effetti strutturali da quelli dinamici;

- **Output:** Classificazione indicatori in base a σ -between / σ -within.

Fase 3: IDENTIFICAZIONE *BREAK TEMPORALI* | Rispondere al “quando” e al “perché”.

- **Metodo:** Regressione panel con *breakpoint*;
- **Focus:** Test e individuazione dei *breakpoint*;
- **Obiettivo:** Validare trasformazioni strutturali del sistema;
- **Output:** Coefficienti e significatività pre/post *break*.

SINTESI INTEGRATA E VALIDAZIONE | Convergenza delle evidenze *multilevel*

- Integrazione risultati multidimensionali;
- Validazione incrociata dei pattern;
- Identificazione priorità politiche;
- Preparazione agli indici compositi.

Lo Schema 2.1 illustra l'architettura metodologica dell'analisi descrittiva, articolata in una sequenza logica di tre fasi fondamentali che procedono da un'analisi diagnostica iniziale verso una valutazione integrata delle performance.

- Fase 1: Costruzione del Dataset e Standardizzazione dei dati climatici | Definire “cosa” misurare e “come” confrontarlo

Questa fase preliminare costituisce il fondamento empirico dell'intero studio. Attraverso un processo di validazione, omogeneizzazione e standardizzazione, i dati climatici grezzi vengono trasformati in un dataset panel coerente e robusto. L'obiettivo è generare una matrice di indicatori sintetici annuali, direttamente confrontabili tra le diverse unità territoriali (regioni) e lungo l'arco temporale di riferimento. Questo processo garantisce la comparabilità dei dati ed è un prerequisito essenziale per la validità delle analisi statistiche successive.

- Fase 2: Decomposizione della Varianza | Identificare “cosa” varia e “dove”

Questa fase diagnostica iniziale ha l'obiettivo di dissezionare la variabilità osservata negli indicatori. Attraverso un'analisi della varianza per dati panel, è stata decomposta la variabilità totale di ciascun indicatore in due componenti:

- i. Varianza *between* (σ -*between*): misura le differenze strutturali e persistenti tra le regioni. Un valore alto indica che le regioni mantengono posizioni relativamente fisse nel tempo (es.: un divario Nord-Sud-Isole stabile);
- ii. Varianza *within* (σ -*within*): misura la variabilità temporale all'interno di ciascuna regione. Un valore alto indica che l'indicatore è dinamico e sensibile a shock, *trend* o politiche nel corso del tempo.

Il rapporto σ -*between*/ σ -*within* permette di classificare gli indicatori in base alla loro natura prevalentemente strutturale (rapporto alto) o dinamica (rapporto basso). Questa classificazione è fondamentale per interpretare le disuguaglianze territoriali e per informare la successiva costruzione degli indici compositi.

- Fase 3: Identificazione dei *break* temporali | Rispondere al “quando” e al “perché”

La terza fase affronta la dimensione temporale, testando l'ipotesi di cambiamenti strutturali nel sistema. Utilizzando modelli di regressione panel con *breakpoint*, è stato testato statisticamente l'impatto di eventi sistemici, con un focus specifico. Questa analisi non solo identifica gli anni in cui le relazioni fondamentali (ad esempio, tra temperature e dimissioni sanitarie) sono mutate ma quantifica anche l'entità, la direzione e la significatività statistica di tale cambiamento, offrendo una spiegazione temporale per le dinamiche osservate.

- Sintesi Integrata e Validazione | Convergenza delle evidenze *multilevel*

I risultati delle tre fasi sono stati, infine, integrati in una sintesi coerente. La convergenza di evidenze provenienti da metodologie complementari, come la diagnosi della variabilità, l'identificazione di *breakpoint* temporali conferiscono robustezza e profondità alle conclusioni. Questo processo di validazione incrociata garantisce che i *pattern* identificati non siano artefatti di una singola tecnica analitica e fornisce una base empirica solida per tradurre i risultati in priorità politiche operative e per la successiva costruzione degli indici compositi (ReSar e SevShoT).

2.5.2. FASE 1: Costruzione del dataset e standardizzazione dei dati climatici

La Fase 1 porta il dominio climatico su una metrica comparabile nello spazio e nel tempo: traduce la variabilità giornaliera delle temperature in indicatori annuali di evento (ondate di calore e di freddo) che rispettano la stagionalità locale (soglie per regione×mese) e la dinamica episodica (sequenze di giorni consecutivi). In tal modo, l'informazione passa da una scala fisica eterogenea (valori termometrici giornalieri) a una scala epidemiologicamente interpretabile

(conteggi annui di ondate), coerente con la lettura di resilienza climatico-sanitaria che guida il capitolo. Operativamente, la fase 1 costruisce soglie basate sulla distribuzione storica locale (1999–2022), identifica i giorni “estremi”, ricompone i giorni in ondate e infine sintetizza a livello mensile e annuale. Il risultato – due serie panel $Y_{r,t}^{hot}$ e $Y_{r,t}^{cold}$ per regione r e anno t – diventa la base comune su cui applicare le successive fasi 2–3 (scomposizione della varianza e analisi dei *break*) e da cui ricavare le statistiche descrittive e i *focus* regionali.

Per ogni regione r e mese m sono state stimate due soglie, fissate sulla *baseline* 1999 – 2022:

$$\tau_{r,m}^{hot} = P_{90}\{T_{r,t,d}^{max}: t \in [1999,2022], d \in m\} \quad (1)$$

$$\tau_{r,m}^{cold} = P_{10}\{T_{r,t,d}^{min}: t \in [1999,2022], d \in m\} \quad (2)$$

Dove:

- $T_{r,t,d}^{max}$ è la temperatura massima giornaliera della regione r , al tempo t , del giorno d ;
- $T_{r,t,d}^{min}$ è la temperatura minima giornaliera della regione r , al tempo t , del giorno d ;
- P_{90} e P_{10} sono i percentili 90° e 10° calcolati sulla finestra temporale 1999 – 2022 per il mese m .

I giorni estremi (*hot/cold days*) sono stati classificati rispetto alle soglie:

$$H_{r,t,d} = 1(T_{r,t,d}^{max} \geq \tau_{r,m}^{hot}) \quad (3)$$

$$C_{r,t,d} = 1(T_{r,t,d}^{min} \leq \tau_{r,m}^{cold}) \quad (4)$$

Dove:

- $H_{r,t,d} = \begin{cases} 1 & \text{se } T_{r,t,d}^{max} \geq \tau_{r,m}^{hot}; \\ 0 & \text{altrimenti} \end{cases}$;
- $C_{r,t,d} = \begin{cases} 1 & \text{se } T_{r,t,d}^{min} \leq \tau_{r,m}^{cold}; \\ 0 & \text{altrimenti} \end{cases}$

Secondo l’IPCC (2021): *un’ondata di calore è una sequenza di almeno due giorni consecutivi estremi*. Sulla base di questa definizione, è stato individuato l’inizio e la durata delle ondate di calore e di gelo:

$$E_{r,t,d}^{hot} = 1\{H_{r,t,d} = 1 \wedge H_{r,t,d-1} = 0\} \quad (5)$$

$$L_{r,t,d}^{hot} = \max\{\ell \geq 1: H_{r,t,d^*} = 1 * \ell \text{ giorni consecutivi a partire da } d^*\} \quad (6)$$

Dove:

- $E_{r,t,d}^{hot}$ segnala che al giorno d inizia un'ondata di calore;
- L_{r,t,d^*}^{hot} è la durata (in giorni) dell'ondata iniziata in d^* .

L'ondata si verifica quando $L \geq 2$ (questo perché evita falsi positivi dovuti a picchi isolati e cattura la persistenza, che è la dimensione più rilevante per la salute pubblica). Analoghe formule valgono per le ondate di gelo sostituendo H con C .

Per l'aggregazione mensile (conteggi, giorni, durata massima) è stata utilizzata la seguente metrica. Per ogni r, t, m :

$$\left\{ \begin{array}{l} I_{r,t,m}^{hot} = \sum_{d \in m} E_{r,t,d}^{hot} \\ G_{r,t,m}^{hot} = \sum_{d \in m} H_{r,t,d}^{hot} \\ D_{r,t,m}^{(max,hot)} = \max\{L_{r,t,d^*}^{hot} : \text{episodi in } m\} \end{array} \right.$$

Dove:

- $I_{r,t,m}^{hot}$ è il numero di ondate che iniziano nel mese m ;
- $G_{r,t,m}^{hot}$ è il numero di giorni estremi nel mese;
- $D_{r,t,m}^{max,hot}$ è la durata massima dell'ondata che cade (anche parzialmente) nel mese.

Box metodologico 2. 1 – Riepilogo calcolo soglie locali, giorni estremi, ondate.

<p>Soglie locali (baseline 1999–2022): $\tau_{r,m}^{hot} = P_{90}\{T_{r,t,d}^{max}\}$; $\tau_{r,m}^{cold} = P_{10}\{T_{r,t,d}^{min}\}$</p> <p>Giorni estremi: $H_{r,t,d} = 1(T_{r,t,d}^{max} \geq \tau_{r,m}^{hot})$; $C_{r,t,d} = 1(T_{r,t,d}^{min} \leq \tau_{r,m}^{cold})$</p> <p>Ondata (IPCC): sequenza di almeno due giorni consecutivi estremi.</p> <p>Conteggio annuale: si contano gli inizi di ondata $Y_{r,t}^{hot} = \sum I$; $\sum g$; $D = Lmax$ (analogo per freddo).</p> <p>Motivazione: l'inizio evita doppio conteggio e rende i conteggi annuali comparabili; la soglia ≥ 2 giorni filtra picchi isolati e cattura la persistenza, più rilevante per la salute pubblica.</p>

Infine, è stata misurata anche l'intensità degli estremi come quota di giorni oltre soglia nell'anno (P_{90} caldo / P_{10} freddo). Per leggibilità epidemiologica: 5% \approx 18 gg/anno; 10% \approx 36–37; 15% \approx 55; 25% \approx 91; 30% \approx 110.

In conclusione, la sintesi annuale è data da:

$$Y_{r,t}^{hot} = \sum_{m=1}^{12} I_{r,t,m}^{hot} \quad (7)$$

$$Y_{r,t}^{cold} = \sum_{m=1}^{12} I_{r,t,m}^{cold} \quad (8)$$

Dove Y è il conteggio annuo di ondate (di calore/gelo) per regione.

L'analisi si focalizza su due serie temporali primarie di interesse: il conteggio annuo delle ondate di calore per regione e l'andamento delle corrispondenti temperature (media, massima e minima). Su queste serie viene condotta un'analisi statistica articolata su più livelli, finalizzata a una caratterizzazione sistematica del fenomeno:

- a. Statistiche descrittive univariate: per ciascuna regione e serie temporale, vengono calcolati gli indicatori di tendenza centrale e di dispersione, includendo media, mediana, deviazione standard e i principali quantili, al fine di delinearne la distribuzione fondamentale;
- b. Analisi di variazione temporale: la serie storica viene suddivisa in tre periodi climatici distinti (2000-2009, 2010-2019, 2020-2022). Per ciascuno di essi si stimano i valori medi, calcolando poi le differenze assolute (Δ) e relative ($\delta\%$) tra periodi consecutivi, quantificando così l'evoluzione e l'intensità del cambiamento;
- c. Gradienti e disomogeneità territoriali: le serie vengono aggregate a livello di macroaree geografiche (Nord, Centro, Sud-Isole) per identificare e quantificare pattern spaziali e gradienti climatici significativi nell'intensità e nella frequenza del fenomeno.
- d. Analisi di trend non parametrica: per valutare la direzione e la significatività statistica delle tendenze di lungo periodo, vengono applicati i test di correlazione per ranghi di Spearman e di Kendall (τ_b), noti per la loro robustezza in presenza di non linearità e valori anomali.

Questo quadro statistico integrato fornisce una caratterizzazione climatica ed episodica del fenomeno delle ondate di calore. I risultati costituiscono sia la base per un'interpretazione fenomenologica sostantiva nel contesto climatico italiano, sia il fondamento empirico per le successive sezioni di questa ricerca, che progrediranno verso una diagnosi strutturale e temporale avanzata, mediante tecniche di scomposizione della varianza.

Le tabelle che seguono riportano per macroarea e per regione: le medie per periodo climatico (2000–2009, 2010–2019, 2020–2022), le differenze assolute e relative tra il periodo recente (2020–2022) e il primo decennio (2000–2009), e i test di trend non parametrici (ρ di Spearman, con *p-value* e livelli di significatività). Questi ultimi, sono stati utilizzati per valutare la

direzione e la significatività delle tendenze di lungo periodo (1999–2022). È stato utilizzato il coefficiente di correlazione per ranghi di Spearman (ρ), affiancato da verifiche con il coefficiente τ_b di Kendall. Entrambi i test sono non parametrici, quindi non richiedono linearità né normalità della serie, risultando adatti a fenomeni climatici con andamenti irregolari o *outlier*. Il test valuta l'ipotesi nulla (H_0) di assenza di trend monotono; l'ipotesi alternativa (H_1) indica la presenza di una tendenza crescente ($\rho > 0$) o decrescente ($\rho < 0$). La significatività statistica è indicata con le consuete soglie:

- $p < 0,001$ (***) → trend altamente significativo
- $p < 0,01$ (**) → molto significativo
- $p < 0,05$ (*) → significativo
- $p < 0,10$ (†) → tendenza debole o marginalmente significativa

Per una lettura epidemiologica più immediata, l'intensità è espressa come percentuale di giorni oltre soglia e, quando utile, tradotta in giorni/anno (es.: 10% \approx 36–37 gg/anno).

Tabella 2. 6 – Ondate di calore (numero medio annuo) per macroarea e periodo climatico (2000–2009, 2010–2019, 2020–2022). Differenze assolute (Δ) e relative (%), con coefficiente di trend di Spearman (ρ) e livelli di significatività statistica.

Area	2000–2009	2010–2019	2020–2022	Δ	Var. %	Trend (ρ Spearman)	p	Signif.
Nord	6.8	9.28	11.96	5.16	76	0.64	0.001	***
Centro	6.73	7.47	14.08	7.36	109	0.56	0.004	**
Sud-Isole	8.15	7.09	10.75	2.6	32	-0.11	0.603	

Nota: Gli indicatori di ondate e intensità sono calcolati dall'autrice secondo la metodologia descritta in Fase 1

Fonte: elaborazione propria su dati climatici SCIA (ISPRA).

Tabella 2. 7 – Intensità del caldo (percentuale di giorni oltre soglia) per macroarea e periodo climatico (2000–2009, 2010–2019, 2020–2022). Differenze assolute (Δ) e relative (%), con trend di Spearman (ρ) e livelli di significatività

Area	2000–2009	2010–2019	2020–2022	Δ	Var. %	Trend (ρ Spearman)	p	Signif.
Nord	8.58	11.43	15.75	7.18	84	0.63	0.001	***
Centro	8.38	9.08	27.97	19.59	234	0.61	0.002	***
Sud-Isole	11.8	8.21	13.02	1.22	10	-0.28	0.179	

Nota: Gli indicatori di ondate e intensità sono calcolati dall'autrice secondo la metodologia descritta in Fase 1.

Fonte: elaborazione propria su dati climatici SCIA (ISPRA).

Tabella 2. 8 – Ondate di gelo (numero medio annuo) per macroarea e periodo climatico (2000–2009, 2010–2019, 2020–2022). Differenze assolute (Δ) e relative (%), con coefficiente di trend di Spearman (ρ) e livelli di significatività statistica.

Area	2000–2009	2010–2019	2020–2022	Δ	Var. %	Trend (ρ Spearman)	p	Signif.
Nord	10.15	6.09	4.75	-5.4	-53	-0.58	0.003	**
Centro	11.11	6.7	7.67	-3.44	-31	-0.49	0.015	*
Sud-Isole	9.83	4.96	4.58	-5.25	-53	-0.48	0.016	*

Nota: Gli indicatori di ondate e intensità sono calcolati dall'autrice secondo la metodologia descritta in Fase 1.

Fonte: elaborazione propria su dati climatici SCIA (ISPRA).

Tabella 2. 9 – Intensità del freddo (percentuale di giorni oltre soglia p10) per macroarea e periodo climatico (2000–2009, 2010–2019, 2020–2022). Differenze assolute (Δ) e relative (%), con coefficiente di trend di Spearman (ρ) e livelli di significatività statistica.

Area	2000–2009	2010–2019	2020–2022	Δ	Var. %	Trend (ρ Spearman)	p	Signif.
Nord	13.67	6.87	5.45	-8.21	-60	-0.78	0.001	***
Centro	13.35	7.69	8.72	-4.63	-35	-0.57	0.004	**
Sud-Isole	12.63	8.48	4.99	-7.63	-60	-0.5	0.013	*

Nota: Gli indicatori di ondate e intensità sono calcolati dall'autrice secondo la metodologia descritta in Fase 1.

Fonte: elaborazione propria su dati climatici SCIA (ISPRA).

Box metodologico 2. 2 – Lettura delle Tabb. 2–5.

Struttura delle tabelle: le tabelle riportano le medie per periodo climatico (2000–2009, 2010–2019, 2020–2022) e le differenze assolute (Δ) e relative (Var.%) tra periodi.

Letture dei valori:

Δ (punti percentuali, p.p.) = variazione assoluta (es. 8%→18% = +10 p.p.).

Var.% = variazione relativa (es. +125%).

Trend (ρ di Spearman) = direzione e forza del trend sul lungo periodo (1999–2022).

p = livello di significatività statistica associato al trend. Un trend è considerato significativo se $p < 0,05$.

Livelli di significatività:

*** $p < 0,001$; ** $p < 0,01$; * $p < 0,05$; † $p < 0,10$ (marginale).

Interpretazione sintetica:

Trend positivo (+ ρ): crescita significativa nel tempo.

Trend negativo (- ρ): diminuzione significativa.

Δ e Var.% indicano la magnitudo del cambiamento tra i periodi.

L'intensità misura la quota di giorni oltre soglia, traducibile in giorni/anno (es. +10 p.p. \approx +36 gg/anno).

Nel confronto fra periodi climatici emerge un segnale netto e coerente: la componente calda aumenta in frequenza e soprattutto in persistenza, mentre la componente fredda si ritira in modo

marcato. Questo spostamento delle code termiche è più pronunciato al Centro, seguito dal Nord, e risulta più attenuato al Sud-Isole. La combinazione di Δ periodali (2000–09 vs 2020–22) e trend non parametrici su tutto l'intervallo 1999–2022 conferma che non si stanno osservando solo fluttuazioni interannuali, ma una traslazione strutturale del regime degli estremi.

Sul fronte del caldo, le ondate crescono dappertutto ma con gradiente geografico: il Centro raddoppia il numero medio annuo (+7,36; +109%) e il Nord registra un incremento sostanziale (+5,16; +76%). La significatività dei trend ($\rho \approx 0,56-0,64$; $p \leq 0,004$) indica una monotonia crescente. Al Sud-Isole la differenza fra periodi è positiva (+2,60; +32%), ma il test di trend non risulta significativo: la serie appare non lineare sul lungo periodo, con riaccelerazione recente che non basta a rendere crescente l'intero 1999–2022. Il quadro si rafforza osservando l'intensità del caldo (quota di giorni oltre P_{90}), metrica più stabile e quindi preferibile per i confronti spazio-temporali: il Centro mostra un salto di 19,6 punti percentuali. ($\approx +71$ giorni/anno estremi), il Nord +7,2 punti percentuali ($\approx +26$ giorni/anno), mentre il Sud-Isole rimane quasi stazionario (+1,2 punti percentuali; $\approx +4-5$ giorni/anno). Anche qui i trend sono solidi a Nord/Centro ($\rho \approx 0,61-0,63$; $p \leq 0,002$), a conferma di una maggiore persistenza degli estremi caldi, non soltanto di più ondate.

In modo speculare, sul versante freddo si osserva una contrazione sia della frequenza delle ondate sia dell'intensità (quota di giorni sotto P_{10}), con magnitudini elevate in tutte le macroaree. Le ondate di gelo calano di -31% / -53% a seconda delle aree, e i trend negativi risultano significativi ($p \leq 0,016$), segnalando una discesa strutturale. L'intensità del freddo arretra di 4,6–8,2 punti percentuali. (≈ -17 fino a -30 giorni/anno oltre soglia): la stima più marcata al Nord ($\rho \approx -0,78$; $p < 0,001$) descrive un crollo persistente delle code fredde, coerente con il riposizionamento climatico del periodo recente. In termini epidemiologici, questo significa che l'onere potenziale si sposta verso la durata degli estremi caldi (più giorni dell'anno oltre soglia), che è la dimensione più rilevante per l'esposizione della popolazione e dei servizi.

Queste evidenze sono consistenti fra frequenza e intensità nelle aree dove i trend risultano significativi (Nord e Centro), il che rafforza l'interpretazione: non solo “più eventi”, ma eventi più persistenti. L'eccezione relativa del Sud-Isole per il caldo suggerisce un pattern non lineare con quasi-stazionarietà di lungo periodo e incremento recente; è un caso in cui le medie per periodo colgono il salto 2020–22, mentre lo *Spearman* sull'intero 1999–2022 non rileva monotonia.

Per visualizzare e convalidare il quadro emerso dalle tabelle, riportiamo per ciascuna macroarea (Nord, Centro, Sud-Isole) un confronto per periodi (2000–2009, 2010–2019, 2020–2022) su sei indicatori: ondate e giorni (caldo/freddo) e intensità (quota % di giorni oltre P_{90} / sotto P_{10}).

Queste barre orizzontali consentono di leggere a colpo d'occhio sia la direzione del cambiamento sia la sua magnitudine:

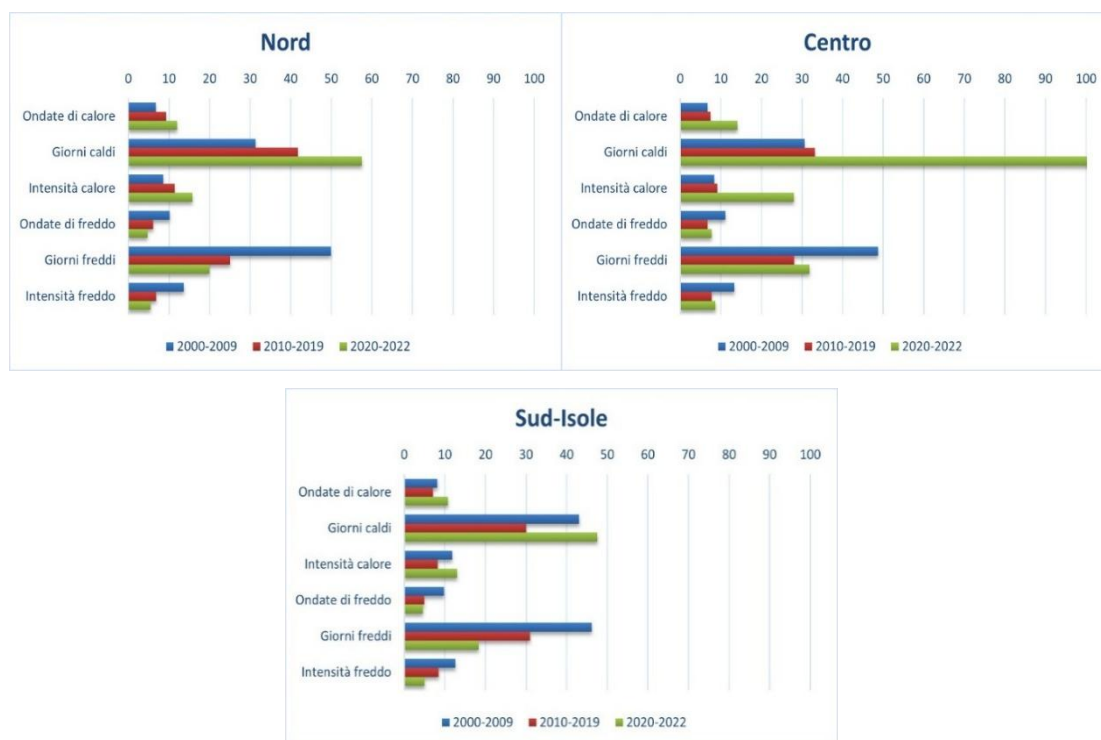
- Caldo: al Centro si osserva il salto più ampio, soprattutto su giorni caldi e intensità del caldo (valori del 2020–2022 nettamente superiori ai 2000–2009); il Nord mostra aumenti consistenti su ondate e intensità; il Sud-Isole evidenzia crescite più contenute;
- Freddo: in tutte le macroaree le barre del 2020–2022 risultano inferiori a quelle dei 2000–2009 per ondate, giorni e intensità, indicando una contrazione strutturale degli estremi freddi.

In sintesi, i grafici mostrati di seguito per macroarea non solo riassumono le statistiche per periodo, ma rendono evidente:

- a. l'accelerazione del caldo al Centro (e, in misura minore, al Nord);
- b. il ridimensionamento del freddo in tutte le aree;
- c. la coerenza tra frequenza (ondate) e persistenza (intensità), che orienta la lettura verso un riposizionamento del rischio climatico.

Questa rappresentazione mette in luce non solo la direzione del cambiamento, ma anche la simmetria opposta delle due code climatiche: il caldo avanza mentre il freddo arretra, con un'intensità maggiore nelle zone interne e centrali del Paese. Tale evidenza visiva rafforza le stime quantitative discusse nelle tabelle e costituisce la base per le analisi successive di scomposizione della varianza e identificazione di discontinuità temporali (Fasi 2–3).

Figura 2. 1 – Indicatori di estremi termici (ondate, giorni e intensità per caldo e freddo) per macroarea e periodo climatico (2000–2009, 2010–2019, 2020–2022).



Nota: Gli indicatori di ondate e intensità sono calcolati dall'autrice secondo la metodologia descritta in Fase 1.

Fonte: elaborazione propria su dati climatici SCIA

2.5.3. FASE 2: Decomposizione della varianza. Il Dualismo Strutturale – Una Fotografia delle Disuguaglianze Territoriali

I risultati della decomposizione della varianza rivelano un dualismo profondo nel sistema sanitario italiano. In altre parole, l'osservazione preliminare dei dati ha mostrato sin da subito una netta dicotomia tra due Italie. Da un lato, un'Italia fatta di differenze profonde e persistenti, come solchi scavati nella roccia. Dall'altro, un'Italia in movimento, che cambia volto con il passare degli anni. Per comprendere la natura delle disuguaglianze nel sistema clima-salute italiano, è stata applicata la tecnica della decomposizione della varianza. Questo approccio permette di distinguere tra due componenti fondamentali: la variabilità tra regioni (σ -between), che riflette disuguaglianze strutturali e persistenti, e la variabilità nel tempo all'interno di ciascuna regione (σ -within), che cattura dinamiche temporali e risposte a shock transitori. Il rapporto tra queste due componenti costituisce un indicatore sintetico della natura dei fenomeni osservati: valori elevati segnalano disuguaglianze territoriali cristallizzate, mentre valori bassi

indicano predominanza di dinamiche temporali. I risultati dell'analisi rivelano un quadro complesso e articolato, che possono essere sintetizzate nelle seguenti tabelle:

Tabella 2. 10 – Decomposizione della varianza: Indicatori Socio-Economici

Indicatore	Nord	Centro	Sud-Isole	σ -between/ σ -within	Classificazione
PIL pro-capite (€)	32.540	27.581	18.681	2,94	Strutturale
Spesa sanitaria privata pro-capite (€)	2.356	1.573	1.040	4,97	Strutturale
Spesa sanitaria pubblica pro-capite (€)	1.810	1.752	1.720	0,41	Temporale
Reddito da lavoro pro-capite (€)	687	648	621	1,21	Mista
Tasso di disoccupazione (%)	5,7	7,7	15,1	2,02	Strutturale
Indice di povertà (%)	7,7	18,1	11,1	0,69	Mista
Percentuale over 65 (%)	22,3	22,5	19,7	1,19	Mista

Fonte: elaborazione propria su dati fonte ISTAT-HFA-Ministero della Salute

Tabella 2. 11 – Decomposizione della varianza: Risorse Sanitarie

Indicatore	Nord	Centro	Sud -Isole	σ -between/ σ -within	Classificazione
Medici (x 100.000 ab.)	72,4	81,9	81,5	1,15	Mista
Personale SSN (x 100.000 ab)	1.295	1.149	1.035	2,76	Strutturale
Tasso posti letto (x 1.000 ab.)	0,04	0,04	0,03	0,65	Mista
Apparecchi Radiologici (x 100.000 ab)	19,9	15,5	13,2	8,08	Strutturale
Camere iperbariche (x 100.000 ab)	0,18	0,23	0,43	2,34	Strutturale
Strutture di ricovero pubbliche (x 100.000 ab)	29,3	35,8	32,8	2,81	Strutturale
Numero ASL (x 100.000 ab)	9,57	7,07	6,35	1,71	Mista

Fonte: elaborazione propria su dati fonte ISTAT-HFA-Ministero della Salute

Tabella 2. 12 – Decomposizione della varianza: Patologie Cardiovascolari (Tassi di dimissione per 1.000 abitanti)

Indicatore	Nord	Centro	Sud-Isole	σ -between/ σ -within	Classificazione
Malattie ischemiche	0,048	0,052	0,053	0,57	Mista
Infarto del miocardio	0,019	0,021	0,017	1,09	Mista
Malattie cerebrovascolari	0,043	0,050	0,045	0,76	Mista

Fonte: elaborazione propria su dati fonte ISTAT-HFA-Ministero della Salute

Tabella 2. 13 – Decomposizione della varianza: Patologie respiratorie (Tassi di dimissione per 1.000 abitanti)

Indicatore	Nord	Centro	Sud-Isole	σ -between/ σ -within	Classificazione
Malattie respiratorie	0,120	0,118	0,119	0,46	Temporale
BPCO	0,015	0,016	0,023	0,67	Mista
Polmonite/influenza	0,029	0,028	0,022	0,65	Mista

Fonte: elaborazione propria su dati fonte ISTAT-HFA-Ministero della Salute

Tabella 2. 14 – Decomposizione della varianza: Disturbi Mentali (Tassi di dimissione per 1.000 abitanti)

Indicatore	Nord	Centro	Sud-Isole	σ -between/ σ -within	Classificazione
Disturbi psichiatrici	0,053	0,043	0,044	0,87	Mista
Disturbi d’ansia	0,008	0,006	0,006	0,48	Temporale
Schizofrenia	0,008	0,006	0,008	1,19	Mista
Dist. Psi. età pre-adulta (<17anni)	0,0015	0,0012	0,0014	0,82	Mista

Fonte: elaborazione propria su dati fonte ISTAT-HFA-Ministero della Salute

Tabella 2. 15 – Decomposizione della varianza: Altre patologie climate-sensitive

Indicatore	Nord	Centro	Sud-Isole	σ -between/ σ -within	Classificazione
Diabete	0,011	0,013	0,021	0,67	Mista
Complicanze ostetriche	0,589	0,579	0,581	0,33	Temporale

Fonte: elaborazione propria su dati fonte ISTAT-HFA-Ministero della Salute

Tabella 2. 16 – Decomposizione della varianza: Attività sanitarie

Indicatore	Nord	Centro	Sud-Isole	σ -between/ σ -within	Classificazione
Tasso ospedalizzazione	0,13	0,13	0,13	0,15	Temporale
Ricorso al Pronto Soccorso	3,82	3,52	3,44	0,45	Temporale
Giornate di degenza pro-capite	1,09	1	0,91	0,52	Mista
Degenza media (in giorni)	8,68	7,9	7,3	0,85	Mista

Fonte: elaborazione propria su dati fonte ISTAT-HFA-Ministero della Salute

I dati rivelano un'Italia caratterizzata da molteplici vulnerabilità intersecanti. Il divario Nord-Sud-Isole non è semplicemente economico, ma si manifesta attraverso differenti gradienti di resilienza. La spesa sanitaria privata – con un rapporto σ -between/ σ -within di 4,97 – emerge

come il termometro più sensibile delle disuguaglianze nell'accesso alle cure. Questo non misura semplicemente la capacità di spesa delle famiglie, ma segnala un fallimento selettivo del sistema pubblico nel garantire livelli essenziali uniformi. Le regioni meridionali, con una spesa privata inferiore del 56% rispetto al Nord, non stanno optando per il mercato, ma stanno rinunciando alle cure. La spesa sanitaria pubblica mostra il rapporto σ -between/ σ -within più basso (0,41), testimoniando l'efficacia del patto di solidarietà nazionale nel contenere le divergenze estreme. Tuttavia, questa relativa uniformità della spesa non si traduce in uniformità di *outcome*. Il paradosso è evidente: si spendono risorse simili per ottenere risultati profondamente diversi. Questo suggerisce che l'equità di input non garantisce l'equità di output, e che i vincoli strutturali dei territori svantaggiati richiedono non solo trasferimenti monetari, ma investimenti trasversali in capitale umano, infrastrutture e capacità istituzionale. La distribuzione dei medici racconta una storia controintuitiva. Il Centro e il Sud mostrano densità più elevate (81,9 e 81,5 vs 72,4 del Nord), ma questo apparente vantaggio si scontra con la realtà di un personale SSN drasticamente inferiore al Sud (1.035 vs 1.295 del Nord). Questo paradosso svela le contraddizioni di un sistema che produce professionisti senza riuscire ad assorbirli in un'offerta di servizi strutturata. È la traccia statistica di un'Italia dove la sovrapproduzione non si traduce in migliore assistenza, ma in migrazione interna o precariato professionale. Le apparecchiature radiologiche rappresentano il caso più estremo di divario strutturale (σ -between/ σ -within = 8,08). Questo non è un semplice squilibrio quantitativo, ma una condanna allo sviluppo diseguale. La tecnologia medica non è solo strumento di cura, ma infrastruttura fondamentale per l'attrattività territoriale. Un sistema sanitario deprivato di tecnologie avanzate diventa incapace di trattenere professionisti qualificati, alimentando un circolo vizioso di desertificazione medica e declino socioeconomico. L'analisi completa delle patologie rivela pattern distinti di vulnerabilità climatica. Le malattie respiratorie emergono come indicatori a prevalente variabilità temporale (σ -between/ σ -within = 0,46), suggerendo una relativa "democrazia" nell'esposizione ai rischi climatici tra Nord e Sud-Isole. Tuttavia, questa apparente uniformità nasconde differenze qualitative: le BPCO mostrano concentrazioni significativamente più elevate al Sud (0,023 vs 0,015 Nord), rivelando l'impatto cumulativo di esposizioni ambientali prolungate e minore capacità di gestione territoriale delle cronicità. Il diabete rappresenta un caso emblematico di disuguaglianza strutturale nella cronicità, con tassi al Sud quasi doppi rispetto al Nord (0,021 vs 0,011). Questo divario non riflette solo differenze negli stili di vita, ma anche nell'accesso a programmi di prevenzione primaria e nella capacità di gestione integrata del paziente cronico. Le patologie cardiovascolari mostrano un pattern

complesso: mentre l'infarto miocardico presenta una distribuzione relativamente uniforme, le malattie ischemiche mostrano una leggera prevalenza al Sud (0,053 vs 0,048 Nord). Questo suggerisce che i fattori di rischio acuti siano distribuiti omogeneamente, mentre i determinanti di lungo periodo – controllo delle ipertensioni, gestione delle dislipidemie, *follow-up* cardiologico – siano più efficaci nelle regioni settentrionali. I disturbi mentali rivelano una geografia complessa. La schizofrenia ($\sigma\text{-between}/\sigma\text{-within} = 1,19$) mostra pattern strutturali più marcati, probabilmente legati a differenze nell'offerta di servizi di psichiatria territoriale e nella capacità di reinserimento sociale. I disturbi d'ansia, al contrario, mostrano una distribuzione più omogenea ($\sigma\text{-between}/\sigma\text{-within} = 0,48$), suggerendo una maggiore sensibilità a fattori stressogeni trasversali – dall'insicurezza economica all'esposizione a eventi climatici estremi. I dati sulle attività sanitarie rivelano un paradosso fondamentale: l'accesso ai servizi (tasso di ospedalizzazione, ricorso al pronto soccorso) mostrano variabilità prevalentemente temporale, indicando una certa uniformità nell'utilizzo dei servizi tra Nord e Sud-Isole. Tuttavia, l'efficienza del sistema – misurata attraverso la degenza media – mostra gradienti territoriali significativi (8,68 giorni al Nord vs 7,30 al Sud), suggerendo differenze nell'appropriatezza organizzativa, nella gravità dei casi e nella disponibilità di assistenza territoriale post-dimissione. Le complicanze ostetriche rappresentano un raro esempio di indicatore a bassa variabilità territoriale ($\sigma\text{-between}/\sigma\text{-within} = 0,33$), testimoniando il successo delle politiche di uniformazione dei LEA in ambito materno-infantile. Questo risultato dimostra che, laddove esistono protocolli nazionali stringenti e sistemi di monitoraggio efficaci, è possibile raggiungere equità di *outcome* anche in contesti territoriali disomogenei.

2.5.4. FASE 3: Analisi dei *Breakpoint* Endogeni nelle Serie Regionali

La terza fase del lavoro è volta ad individuare *break* strutturali (*breakpoint*) nelle serie storiche regionali relative a quattro domini: clima, socioeconomico, risorse/attività sanitarie, esiti sanitari (tassi di dimissione per cause cardio-vascolari, respiratorie, diabetiche, mentali e ostetriche). L'obiettivo è riconoscere cambi di regime – ovvero variazioni improvvise e statisticamente significative – potenzialmente riconducibili a shock ambientali e/o a transizioni istituzionali e finanziarie (es. ondate di calore, crisi 2008–2013, aggiustamenti di spesa a metà anni 2010, pandemia 2020). L'analisi è condotta su un panel mensile per gli anni 1999 – 2021 (20 regioni; ≈ 5.520 osservazioni). Per quanto concerne le stime, sono stati utilizzati effetti fissi regionali ed effetti fissi mensili; gli errori sono robusti e clusterizzati per regione. Questa sezione integra e riorganizza l'analisi dei *breakpoint* endogeni e delle relazioni clima–salute adottando una prospettiva geograficamente differenziata. Le stime vengono condotte

separatamente per Nord, Centro e Sud-Isole, per tre ragioni metodologiche: (i) il gradiente climatico Nord–Sud è marcato e stabile nel tempo; (ii) i modelli organizzativi regionali del SSN differiscono per *governance*, livelli di spesa e dotazioni; (iii) la componente comportamentale (adattamento, uso dei servizi, mobilità) è eterogenea. Un approccio nazionale “medio” tenderebbe a nascondere le non linearità e i cambi di regime per effetto di compensazioni geografiche.

Per ciascuna variabile y_{it} (dove i denota la regione e t il tempo mensile) per ciascuna macroarea, si testano tutti gli anni candidati: $A \in [\min(\text{anno}) + 1, \max(\text{anno}) - 1]$ ovvero $A \in [2000, 2020]$, escludendo gli estremi per evitare finestre troppo strette. Per ogni candidato A , poi, si crea una variabile *dummy break*:

$$D_{it}^{(A)} = \begin{cases} 1 & \text{se } \text{anno}_{it} > A \\ 0 & \text{altrimenti} \end{cases} \quad (1)$$

Si stima il modello appropriato a seconda della natura della variabile. I *break* migliori (*best breaks*) sono poi selezionati come quelli che massimizzano la significatività statistica, secondo la regola:

- i. se esistono anni con $p < 0,10$; $p < 0,05$; $p < 0,01 \rightarrow |\hat{\beta}|$ massimo;
- ii. altrimenti $\rightarrow p - \text{value minimo}$.

In questo modo, per ciascuna variabile si ottengono i *break* “rappresentativi”.

Due sono le tipologie di specificazione adottate in funzione del dominio di variabile:

A. Modello *level shift*: usato per le variabili strutturali o di sistema (clima, economia, risorse, attività, spesa). Rappresenta un cambiamento medio stabile prima e dopo il *break*, con la formula:

$$y_{it} = \alpha_i + \beta D_{it}^{(A)} + \epsilon_{it} \quad (2)$$

Dove:

- α_i è l’effetto fisso regionale e cattura l’eterogeneità invariata nel tempo tra regioni;
- β è la differenza di livello medio tra i due periodi. Misura il “salto medio” *post-break*;
- $D_{it}^{(A)}$ è la variabile *dummy post break*.

Il coefficiente stimato $\hat{\beta} > 0$ indica un innalzamento del livello medio dopo il *break*; mentre $\hat{\beta} < 0$ indica una riduzione strutturale;

B. Modello *slope change*: usato per le variabili di salute dove si ipotizza che l'effetto della temperatura cambi nel tempo, con la formula:

$$y_{it} = \alpha_i + \delta_m + \beta_1 temp_{it} + \beta_2 D_{it}^{(A)} + \beta_3 (temp_{it} * D_{it}^{(A)}) + \epsilon_{it} \quad (3)$$

Dove:

- δ_m sono gli effetti fissi mensili (stagionalità);
- $temp_{it}$ è la temperatura media nell'area i al tempo t ;
- β_1 è la pendenza *pre-break*;
- $\beta_1 + \beta_3$ è la pendenza *post-break*;
- β_3 è la variazione di pendenza ($\Delta - slope$).

Il coefficiente stimato $\hat{\beta}_3 > 0$ indica un aumento della sensibilità (vulnerabilità accresciuta); mentre $\hat{\beta}_3 < 0$ indica una riduzione della sensibilità all'aumento della temperatura (adattamento, mitigazione).

Inoltre, per le relazioni clima-salute sono stati adottati i criteri definiti secondo il framework IPCC AR6 (2021) come periodi di almeno 2 giorni consecutivi con temperature superiori al 90° percentile (calore) o inferiori al 10° percentile (gelo). Per modellare la non-linearità sono stati utilizzati indicatori endogeni agli estremi locali (per area×mese), coerenti con la letteratura su ondate ed estremi:

$$temperatura\ alta = 1 \{ temp_{it} > P_{90}(temp_{it} | area, mese) \} \quad (4)$$

$$temperatura\ bassa = 1 \{ temp_{it} < P_{10}(temp_{it} | area, mese) \} \quad (5)$$

mentre, per l'intensità sono stati calcolati i gradi in eccesso sopra P_{90} e sotto P_{10} :

$$eccesso\ alta\ temperatura = \max \{ 0, temp_{it} - P_{90}(\cdot) \} \quad (6)$$

$$eccesso\ bassa\ temperatura = \max \{ 0, P_{10}(\cdot) - temp_{it} \} \quad (7)$$

Queste definizioni sono comparabili ad indicatori di ondata (per es. 90° percentile) ma più adatte in regressioni lineari con FE perché separano intensità e frequenza degli estremi, rispettando l'adattamento locale. Per verificare se la sensibilità degli *outcome* alla temperatura cambi nel tempo, per ciascuna macroarea sono state stimate la variazione di pendenza *post-break* ($\Delta - slope$).

Sono stati identificati 1.142 *breakpoint* significativi ($p < 0,05$) distribuiti come segue: Nord 415, Centro 341, Sud-Isole 386. Tre finestre temporali risultano critiche: 2003, 2015, 2017 (caldo eccezionale e/o transizioni istituzionali). Questi picchi 2003/2015/2017 sono coerenti con stress termici e con shock di *policy*/finanziamenti; la geografia dei *break* riflette sia la dinamica climatica sia l'eterogeneità del sistema. Poiché è stata testata una griglia annua di possibili *breakpoint*, è stato controllato l'errore di I tipo su famiglie di test definite per dominio×macroarea. Oltre a errori standard clusterizzati a livello di regione, è stata applicata una correzione FDR (Benjamini–Hochberg) sui *p-value*. Di seguito, vengono discussi i risultati significativi dopo correzione.

Tabella 2. 17 – Distribuzione dei breakpoint per anno e macroarea | Conteggi annuali per Nord, Centro, Sud-Isole e quote dell'area sul totale annuo di break.

Anno	n_Nord	n_Centro	n_Sud-Isole	tot_break	%Nord	%Centro	% Sud-Isole
2000	18	19	17	54	33%	35%	32%
2001	19	19	16	54	35%	35%	30%
2002	21	14	16	51	41%	28%	31%
2003	22	13	17	52	42%	25%	33%
2004	19	12	17	48	40%	25%	35%
2005	18	11	19	48	38%	23%	40%
2006	19	12	18	49	39%	25%	37%
2007	21	14	19	54	39%	26%	35%
2008	19	15	20	54	35%	28%	37%
2009	23	15	20	58	40%	26%	35%
2010	24	16	20	60	40%	27%	33%
2011	23	17	20	60	38%	28%	33%
2012	20	17	20	57	35%	30%	35%
2013	19	17	18	54	35%	32%	33%
2014	19	18	18	55	35%	33%	33%
2015	19	18	17	54	35%	33%	32%
2016	18	19	17	54	33%	35%	32%
2017	18	19	17	54	33%	35%	32%
2018	18	19	18	55	33%	35%	33%
2019	19	18	20	57	33%	32%	35%
2020	19	19	22	60	32%	32%	37%

Note: (i) Le quote per area si riferiscono alla frazione sul totale di breakpoint dell'anno (le tre quote sommano a 1; (ii) stime panel con effetti fissi di regione e dummies mensili; errori standard clusterizzati per regione; (iii) periodo 1999–2021, griglia dei break 2000–2020 (estremi esclusi).

Fonte: elaborazione propria su dati fonte ISTAT-HFA-Ministero della Salute

I *break* non sono uniformi nel tempo e mostrano eterogeneità geografica. Tre finestre emergono come critiche: 2003, 2015 e 2017. La prima coincide con il grande evento di calore estremo europeo, che lascia impronte sia meteorologiche sia nei livelli/dinamiche del sistema sanitario. Le finestre 2015–2017 riflettono la combinazione di stress termici ripetuti e transizioni istituzionali/finanziarie (ri-calibrazione di spesa, riorganizzazioni), con ricomposizioni di livelli in più domini. Geograficamente, il Nord presenta quote spesso prevalenti nei picchi ($\approx 33-42\%$), coerenti con maggiore densità infrastrutturale e ciclicità economica; il Sud-Isole mostra quote elevate a metà anni 2010 ($\approx 33-40\%$), suggerendo aggiustamenti tardivi ma intensi in presenza di vincoli; il Centro segue un profilo intermedio e regolare. Nel complesso, la co-occorrenza dei *break* in anni “di svolta” e la divergenza delle quote per area sostengono l’idea di cambi di regime trainati da shock aggregati, cui le macroaree rispondono in modo differenziato per dotazioni, governance e capacità adattiva.

Tabella 2. 18 – Break endogeni e salti di livello (level shift) per indicatori climatici, socioeconomici e di sistema sanitario per macroarea.

Area	Dominio	Variabile	Anni break	Effetto (B)	p-value	Sig .
Nord	CLIMA	Giorni gelo (P10)	2011	-2,32	0,000	***
Nord	CLIMA	Giorni gelo (P10)	2013	-2,34	0,000	***
Nord	SOCIO-ECONOMICO	PIL pro-capite	2000	6.727.604	0,000	***
Nord	SOCIO-ECONOMICO	PIL pro-capite	2001	6.321.917	0,000	***
Nord	RISORSE SANITARIE	Strutture di ricovero pubbliche	2000	-13,64	0,012	**
Nord	RISORSE SANITARIE	Strutture di ricovero pubbliche	2001	-13,13	0,016	**
Nord	ATTIVITÀ SANITARIE	Giornate totali di degenza	2000	-38,55	0,000	***
Nord	ATTIVITÀ SANITARIE	Giornate totali di degenza	2001	-37,18	0,000	***
Centro	CLIMA	Giorni caldo (P90)	2001	1,89	0,037	**
Centro	CLIMA	Giorni caldo (P90)	2003	1,96	0,055	*
Centro	SOCIO-ECONOMICO	PIL pro-capite	2000	5.395.385	0,003	***
Centro	SOCIO-ECONOMICO	PIL pro-capite	2001	4.997.021	0,003	***
Centro	RISORSE SANITARIE	Medici	2013	-9,36	0,017	**
Centro	RISORSE SANITARIE	Medici	2015	-9,34	0,018	**
Centro	ATTIVITÀ SANITARIE	Giornate totali di degenza	2001	-42,29	0,000	***
Centro	ATTIVITÀ SANITARIE	Giornate totali di degenza	2000	-43,43	0,000	***
Sud-Isole	CLIMA	Durata max ondate di gelo (giorni)	2020	-3,95	0,013	**
Sud-Isole	CLIMA	Giorni gelo (P10)	2009	-2,00	0,018	**
Sud-Isole	SOCIO-ECONOMICO	PIL pro-capite	2000	3.931.348	0,000	***
Sud-Isole	SOCIO-ECONOMICO	PIL pro-capite	2001	3.689.471	0,000	***

Sud-Isole	RISORSE SANITARIE	Personale SSN	2011	-92,01	0,062	*
Sud-Isole	RISORSE SANITARIE	Personale SSN	2012	-91,75	0,062	*
Sud-Isole	ATTIVITÀ SANITARIE	Giornate totali di degenza	2002	-50,24	0,000	***
Sud-Isole	ATTIVITÀ SANITARIE	Giornate totali di degenza	2003	-50,02	0,000	***

Note: La tabella riporta le sole stime significative (* $p < 0,10$; ** $p < 0,05$; *** $p < 0,01$). (i) L' "Effetto (β)" è il **salto medio post-pre-break** nella stessa unità dell'indicatore (giorni, strutture, personale, euro); (ii) segno positivo = aumento del livello medio nel regime post-break; segno negativo = riduzione strutturale; (iii) stime con effetti fissi regionali e dummies mensili, errori standard clusterizzati a livello di regione.

Fonte: elaborazione propria su dati fonte SCIA-ISTAT-HFA-Ministero della Salute

Dalla Tabella 2.18 emerge che, sul fronte del dominio **Clima**:

- Al Nord: vi è riduzione permanente dei giorni di gelo ($\beta \approx -2,3$ nel 2011/2013), segnale netto di mitigazione del freddo;
- Al Centro: aumentano i giorni caldi ($\beta \approx +1,9$ nel 2001/2003), anticipando un profilo di caldo più frequente;
- Al Sud-Isole: la durata massima delle ondate di gelo si accorcia gradualmente ($\beta \approx -4$ nel 2020; giorni di gelo $\beta \approx -2$ nel 2009), ulteriore evidenza di smussamento degli estremi freddi.

Dal punto di vista del dominio **Socioeconomico**:

- Il PIL pro-capite salta in tutte le aree nel 2000–2001 ($\beta > 0$), catturando la ricomposizione di lungo periodo dei livelli.

Dal punto di vista delle **Risorse sanitarie**:

- Il Nord presenta: calo delle strutture di ricovero pubbliche ($\beta \approx -13$), segnale di razionalizzazione;
- Al Centro si manifesta un calo dei medici ($\beta \approx -9$), indicativo di compressione dell'offerta;
- Il Sud e le Isole anch'essi soffrono di un forte calo del personale SSN ($\beta \approx -92$), coerente con vincoli di finanza pubblica.

Il dominio delle **Attività sanitarie**:

- È caratterizzato da giornate totali di degenza in netto calo ovunque ($\beta \approx -38/-43$ Nord; $\beta \approx -42/-43$ Centro; $\beta \approx -50$ Sud-Isole): transizione strutturale verso degenze più brevi/appropriatezza, con probabile *shift* su *day-hospital-territorio*.

Il dominio “clima” documenta meno freddo e più caldo (Centro), mentre “risorse/attività sanitarie” segnalano convergenza verso modelli ospedalieri più snelli. Questo *coupling* (ambiente-organizzazione) è coerente con un adattamento di sistema: il rischio è che aree con tagli di personale/strutture (Sud-Isole) affrontino ondate estreme con minori margini operativi.

Tabella 2. 19 – Variazione di pendenza (Δ -slope) nella relazione temperatura–salute per macroarea. Effetto marginale addizionale per +1 °C nel regime post-break (β_3) rispetto al pre-break, per famiglia clinica e anno “best break”.

Area	Famiglia clinica	Anni (best-break)	Δ -slope β_3	SE	p-value	Sig.
Nord	Cardiovascolare	2011	-0,0001	0,00005	0,053	*
Nord	Cardiovascolare	2012	-0,0001	0,00006	0,073	*
Nord	Ostetrica	2010	-0,0008	0,00031	0,036	**
Nord	Ostetrica	2011	-0,0005	0,00021	0,052	*
Nord	Ostetrica	2009	-0,0009	0,00043	0,067	*
Nord	Ostetrica	2008	-0,0011	0,00052	0,075	*
Nord	Ostetrica	2007	-0,0011	0,00058	0,092	*
Nord	Psichica	2002	0,0000	0,00000	0,001	***
Nord	Psichica	2003	0,0000	0,00000	0,006	***
Nord	Psichica	2004	0,0000	0,00000	0,011	**
Nord	Psichica	2001	0,0000	0,00001	0,011	**
Nord	Psichica	2005	0,0000	0,00000	0,016	**
Nord	Psichica	2002	0,0001	0,00002	0,020	**
Nord	Psichica	2006	0,0000	0,00000	0,021	**
Nord	Psichica	2007	0,0000	0,00000	0,030	**
Nord	Psichica	2008	0,0000	0,00000	0,031	**
Nord	Psichica	2003	0,0000	0,00002	0,035	**
Nord	Psichica	2009	0,0000	0,00000	0,039	**
Nord	Psichica	2010	0,0000	0,00000	0,046	**
Nord	Psichica	2011	0,0000	0,00000	0,048	**
Nord	Psichica	2000	0,0000	0,00002	0,056	*
Nord	Psichica	2001	0,0000	0,00000	0,062	*
Nord	Psichica	2012	0,0000	0,00000	0,064	*
Nord	Psichica	2013	0,0000	0,00001	0,067	*
Nord	Psichica	2004	0,0000	0,00002	0,083	*
Nord	Psichica	2020	0,0003	0,00013	0,085	*
Nord	Psichica	2005	0,0002	0,00008	0,095	*
Nord	Psichica	2014	0,0000	0,00001	0,098	*
Nord	Psichica	2000	0,0000	0,00002	0,099	*
Nord	Respiratoria	2001	-0,0003	0,00010	0,030	**
Nord	Respiratoria	2002	-0,0003	0,00010	0,031	**

Nord	Respiratoria	2003	-0,0003	0,00011	0,037	**
Nord	Respiratoria	2000	-0,0003	0,00014	0,044	**
Nord	Respiratoria	2004	-0,0003	0,00011	0,049	**
Nord	Respiratoria	2005	-0,0002	0,00010	0,053	*
Nord	Respiratoria	2006	-0,0002	0,00009	0,053	*
Nord	Respiratoria	2007	-0,0002	0,00009	0,061	*
Nord	Respiratoria	2008	-0,0002	0,00009	0,079	*
Centro	Cardiovascolare	2019	0,0001	0,00001	0,006	***
Centro	Cardiovascolare	2001	-0,0001	0,00001	0,007	***
Centro	Cardiovascolare	2020	0,0000	0,00000	0,008	***
Centro	Cardiovascolare	2020	0,0001	0,00002	0,008	***
Centro	Cardiovascolare	2002	-0,0001	0,00001	0,018	**
Centro	Cardiovascolare	2003	-0,0001	0,00002	0,023	**
Centro	Cardiovascolare	2004	-0,0001	0,00001	0,023	**
Centro	Cardiovascolare	2005	-0,0001	0,00001	0,029	**
Centro	Cardiovascolare	2000	0,0000	0,00001	0,035	**
Centro	Cardiovascolare	2006	0,0000	0,00001	0,081	*
Centro	Cardiovascolare	2020	0,0001	0,00004	0,089	*
Centro	Cardiovascolare	2004	-0,0001	0,00005	0,092	*
Centro	Diabete	2000	-0,0001	0,00001	0,005	***
Centro	Diabete	2001	-0,0001	0,00002	0,048	**
Centro	Diabete	2002	-0,0001	0,00002	0,050	*
Centro	Diabete	2009	-0,0001	0,00003	0,065	*
Centro	Diabete	2020	0,0001	0,00002	0,070	*
Centro	Diabete	2007	-0,0001	0,00003	0,076	*
Centro	Diabete	2008	-0,0001	0,00003	0,081	*
Centro	Diabete	2010	-0,0001	0,00004	0,082	*
Centro	Ostetrica	2000	-0,0011	0,00025	0,021	**
Centro	Ostetrica	2001	-0,0015	0,00048	0,055	*
Centro	Ostetrica	2002	-0,0016	0,00060	0,078	*
Centro	Ostetrica	2003	-0,0016	0,00066	0,100	*
Centro	Psichica	2001	-0,0001	0,00001	0,003	***
Centro	Psichica	2002	-0,0001	0,00003	0,016	**
Centro	Psichica	2016	0,0000	0,00000	0,033	**
Centro	Psichica	2000	0,0000	0,00001	0,036	**
Centro	Psichica	2016	-0,0001	0,00002	0,037	**
Centro	Psichica	2020	0,0000	0,00001	0,038	**
Centro	Psichica	2015	0,0000	0,00000	0,038	**
Centro	Psichica	2014	0,0000	0,00000	0,038	**
Centro	Psichica	2013	0,0000	0,00001	0,042	**
Centro	Psichica	2020	0,0000	0,00001	0,045	**
Centro	Psichica	2012	0,0000	0,00001	0,049	**
Centro	Psichica	2015	-0,0001	0,00003	0,055	*
Centro	Psichica	2020	0,0001	0,00005	0,063	*
Centro	Psichica	2004	0,0000	0,00001	0,065	*
Centro	Psichica	2011	0,0000	0,00001	0,066	*

Centro	Psichica	2002	0,0000	0,00001	0,067	*
Centro	Psichica	2006	0,0000	0,00001	0,070	*
Centro	Psichica	2014	-0,0001	0,00004	0,073	*
Centro	Psichica	2009	0,0000	0,00001	0,073	*
Centro	Psichica	2007	0,0000	0,00001	0,076	*
Centro	Psichica	2008	0,0000	0,00001	0,085	*
Centro	Psichica	2005	0,0000	0,00001	0,089	*
Centro	Psichica	2003	-0,0001	0,00005	0,090	*
Centro	Psichica	2001	0,0000	0,00001	0,093	*
Centro	Psichica	2013	-0,0001	0,00006	0,095	*
Centro	Respiratoria	2000	-0,0001	0,00002	0,005	***
Centro	Respiratoria	2019	0,0001	0,00002	0,008	***
Centro	Respiratoria	2020	0,0001	0,00001	0,011	**
Centro	Respiratoria	2018	0,0001	0,00002	0,016	**
Centro	Respiratoria	2001	0,0002	0,00005	0,031	**
Centro	Respiratoria	2002	0,0002	0,00005	0,032	**
Centro	Respiratoria	2017	0,0001	0,00003	0,032	**
Centro	Respiratoria	2001	-0,0001	0,00003	0,038	**
Centro	Respiratoria	2016	0,0001	0,00004	0,051	*
Centro	Respiratoria	2002	-0,0001	0,00004	0,051	*
Centro	Respiratoria	2003	0,0001	0,00005	0,065	*
Centro	Respiratoria	2003	-0,0001	0,00005	0,071	*
Centro	Respiratoria	2019	0,0000	0,00002	0,077	*
Centro	Respiratoria	2008	0,0002	0,00006	0,080	*
Centro	Respiratoria	2004	0,0001	0,00005	0,081	*
Centro	Respiratoria	2000	0,0001	0,00005	0,083	*
Centro	Respiratoria	2012	0,0002	0,00006	0,085	*
Centro	Respiratoria	2009	0,0002	0,00006	0,086	*
Centro	Respiratoria	2004	-0,0001	0,00006	0,087	*
Centro	Respiratoria	2007	0,0001	0,00006	0,087	*
Centro	Respiratoria	2005	-0,0001	0,00006	0,091	*
Centro	Respiratoria	2010	0,0002	0,00007	0,092	*
Centro	Respiratoria	2013	0,0001	0,00006	0,093	*
Centro	Respiratoria	2006	-0,0001	0,00006	0,094	*
Centro	Respiratoria	2015	0,0001	0,00005	0,098	*
Centro	Respiratoria	2011	0,0002	0,00007	0,099	*
Sud-Isole	Cardiovascolare	2019	0,0000	0,00001	0,015	**
Sud-Isole	Cardiovascolare	2019	-0,0001	0,00005	0,032	**
Sud-Isole	Psichica	2019	-0,0001	0,00003	0,096	*
Sud-Isole	Respiratoria	2019	-0,0005	0,00022	0,072	*
Sud-Isole	Respiratoria	2011	-0,0003	0,00015	0,096	*

Note: (i) Δ -slope = β_3 del termine di interazione temperatura \times post-break; (ii) interpretazione: $\beta_3 > 0$ = maggiore sensibilità agli aumenti di temperatura nel regime post-break; $\beta_3 < 0$ = attenuazione/adattamento; (iii) significatività: *** $p < 0,01$; ** $p < 0,05$; $p < 0,10$; (iv) specifica con effetti fissi regionali e dummies mensili; errori standard clusterizzati per regione.

Fonte: elaborazione propria su dati fonte ISTAT-HFA-Ministero della Salute

Le stime Δ -slope evidenziano un'eterogeneità geografica marcata e una non linearità strutturale della relazione clima–salute. In sintesi:

– ***Al Nord:***

Famiglia clinica cardiovascolare: Δ -slope negativo (2008–2012: $\beta_3 \approx -1 \times 10^{-4}$), suggerisce attenuazione della risposta all'incremento $+1^\circ\text{C}$ *post-break*; compatibile con miglioramenti organizzativi e/o adattamenti comportamentali (prevenzione, gestione cronici);

Famiglia ostetrica: Δ -slope negativo e stabile ($\beta_3 \approx -(0,5-1,1) \times 10^{-3}$), coerente con standardizzazione dei percorsi e controllo del rischio stagionale;

Famiglia clinica Psicica: Δ -slope molto piccoli ma significativi (effetti statisticamente rilevabili, sostantivamente contenuti);

Famiglia clinica Respiratoria: Δ -slope negativo (2000–2008: $\beta_3 \approx -(0,2-0,3) \times 10^{-3}$), ossia minore pendenza *post-break*: compatibile con migliore gestione estiva o riduzione del ruolo del caldo medio;

– ***Centro:***

Famiglia clinica cardiovascolare: duale. Inizio anni 2000 negativo ($\beta_3 < 0$) indica protezione dal caldo moderato; 2019–2020 positivo ($\beta_3 \approx +1 \times 10^{-4}$), segnale di riacutizzazione recente della sensibilità (ondate di calore più intense, interazioni con inquinamento/fragilità);

Famiglia clinica diabete: Δ -slope negativo in più punti, coerente con attenuazione della risposta al caldo medio;

Famiglia clinica ostetrica: Δ -slope negativo, ancora in linea con standardizzazione dei percorsi.

Famiglia clinica respiratoria: misto e *time-varying*: positivi nel 2018–2020, negativi in alcuni anni 2000. Questo si traduce come un inizio periodo di attenuazione, per poi passare a maggiore vulnerabilità respiratoria al caldo ordinario;

– ***Sud-Isole:***

Famiglia clinica cardiovascolare: entrambi i segni nel 2019 (uno +, uno -): indicano eterogeneità intra-famiglia (infarti vs malattie cerebrovascolari);

Famiglia clinica respiratoria: Δ -slope negativo (2011; 2019), cioè minor pendenza *post-break* rispetto al caldo medio, il che risulta coerente con un rischio che si sposta sugli estremi (giorni molto caldi/freddi), come suggerito dalla Tab. 2.8 (riduzioni del freddo ma non del tutto neutralizzanti).

Il fatto che le differenze emergano soprattutto sui Δ -slope e sugli estremi conferma che la relazione clima–salute non è lineare e non è omogenea nel tempo: la scelta di *break* endogeni per macroarea evita mediazioni spurie e migliora l'identificazione. I P_{90}/P_{10} e “gradi in eccesso” separano frequenza (quanti giorni estremi) da intensità (quanto sono estremi), riducendo il *bias* da *threshold mis-specification*.

2.6. Validazione della Robustezza dei Pattern Centrali

L'obiettivo di questa analisi è sottoporre a test di robustezza i pattern centrali emersi dallo studio – in particolare, le finestre temporali di *breakpoint* strutturale (2003, 2015, 2017), la marcata eterogeneità geografica Nord-Centro-Sud-Isole e la natura non lineare della relazione clima–salute – per verificare che essi non siano un artefatto di specifiche scelte modellistiche, metriche operative o del periodo osservato.

A tal fine, è stato implementato un articolato dispositivo di controlli di sensibilità, in linea con le migliori pratiche per dati panel regionali mensili. L'insieme dei test concorda nel confermare la solidità dei risultati principali.

Innanzitutto, per isolare l'effetto del clima da shock nazionali comuni (quali variazioni normative, finanziamenti al SSN o crisi macroeconomiche), sono stati inclusi nel modello effetti fissi per anno. Questa specificazione assorbe le fluttuazioni aggregate, ma la distribuzione temporale dei *break* e la geografia del rischio rimangono stabili, con i picchi del 2003, 2015 e 2017 che persistono in modo netto.

Per sterilizzare l'influenza di eventi estremi come la Grande Recessione e la discontinuità pandemica del COVID-19, le stime sono state replicate sul sottoperiodo 2010-2019. I risultati mostrano che la direzione e la significatività statistica delle associazioni principali sono confermate, mentre le magnitudini dei coefficienti variano entro intervalli contenuti e privi di inversioni sistematiche, indicando una sostanziale stabilità delle relazioni sottostanti.

La definizione operativa delle misure climatiche ha rappresentato un ulteriore punto delicato e cruciale per la solidità delle inferenze. Sostituendo la temperatura media con la massima e impiegando indicatori basati su percentili (giorni sopra il 90° o sotto il 10° percentile) e sull'intensità (gradi in eccesso), i risultati si rivelano convergenti. Gli indicatori *percentile-based* replicano fedelmente la geografia dei rischi legata alla frequenza degli eventi estremi,

mentre gli indicatori di intensità catturano la relazione *dose-risposta*, rinforzando coerentemente l'interpretazione dei cambiamenti di pendenza (Δ -slope) osservati.

L'ipotesi di non linearità è stata esplorata mediante l'introduzione di termini quadratici e funzioni a soglia. I test confermano che la relazione non è lineare, rivelando curve a U o a J la cui accentuazione varia per patologia (es. più marcata per le dimissioni per malattie respiratorie) e stagione. I Δ -slope negativi riscontrati in alcune combinazioni area-famiglia clinica sono coerenti con ipotesi interpretative quali processi di adattamento o una peggior selezione all'accesso ospedaliero.

Ulteriori controlli, tra cui l'esclusione di *outlier* e l'uso di tassi di dimissione log-trasformati per mitigare asimmetrie, non alterano le conclusioni qualitative. Le trasformazioni preservano l'ordinamento geografico dei rischi (Nord vs Centro vs Sud-Isole) e confermano i segni dei coefficienti.

Infine, per rafforzare l'evidenza a favore dei *break* identificati, sono stati condotti due test decisivi. Il primo, basato su interazioni geografiche, respinge spesso l'ipotesi di omogeneità degli effetti tra macroaree, confermando i pattern differenziali. Il secondo, un test di *placebo-break*, che sposta artificialmente la finestra di *break* in anni "freddi" privi di picchi climatici, mostra un crollo della significatività statistica, a supporto della specificità temporale delle finestre reali.

In sintesi, la lettura congiunta di questa batteria di test fornisce una solida evidenza a sostegno di tre conclusioni principali:

- i. l'identificazione dei *break* strutturali è robusta rispetto alla scelta del periodo di studio e della metrica climatica;
- ii. il messaggio di una profonda eterogeneità geografica è stabile;
- iii. la non linearità è una caratteristica intrinseca del canale clima-salute e l'uso congiunto di indicatori di frequenza e intensità fornisce una lettura coerente e complementare dei meccanismi in gioco.

2.7. Sintesi Operativa: Verso un Approccio *Place-Based* per macroaree

L'analisi dei *break* strutturali e delle variazioni di pendenza (Δ -slope) suggerisce l'opportunità di politiche sanitarie differenziate su base territoriale, che tengano conto delle specifiche vulnerabilità cliniche e delle dinamiche di sistema emerse.

Nord Italia

L'evidenza più marcata riguarda la vulnerabilità respiratoria al caldo estivo. Ciò suggerisce di rafforzare i sistemi di *preparedness* estiva, con interventi quali filtri territoriali (ad esempio, potenziamento della medicina di prossimità), attenzione alla ventilazione degli ambienti e programmi di sorveglianza domiciliare per i pazienti cronici respiratori. Parallelamente, i *break* identificati nei livelli di attività (giornate di degenza) e nelle dotazioni indicano processi di ristrutturazione del sistema sanitario di lungo periodo. È dunque cruciale presidiare gli effetti di queste riorganizzazioni sull'accesso alle cure, monitorando indicatori come le liste d'attesa e i flussi di mobilità interregionale.

Centro Italia

In questa area, la principale criticità sembra legata alla sensibilità cardiovascolare al freddo invernale, come indicato dai Δ -slope negativi/positivi nelle relative specifiche. La priorità d'azione dovrebbe essere rivolta a piani invernali di prevenzione, focalizzati sul miglioramento dell'aderenza farmacologica, sulla qualità del riscaldamento abitativo (con particolare attenzione alle fasce vulnerabili) e sull'accesso tempestivo ai servizi di emergenza-urgenza. In termini di sistema, le contrazioni di personale e servizi rilevati in corrispondenza di anni critici richiedono strategie anticicliche di investimento nel capitale umano e l'evoluzione di modelli di presa in carico più resilienti.

Sud e Isole

Il profilo di rischio è più complesso, caratterizzato da una combinazione di vulnerabilità: da un lato, quella respiratoria al freddo, dall'altro segnali misti di impatto del caldo. Questo quadro orienta gli interventi verso il tema dell'abitabilità, promuovendo l'isolamento termico delle abitazioni e contrastando la povertà energetica, nonché verso un potenziamento della *primary care* per la gestione delle riacutizzazioni respiratorie. In termini di sistema, laddove i dati segnalano riduzioni strutturali di personale e dotazioni, si rendono necessari investimenti mirati e selettivi, piuttosto che interventi lineari e poco differenziati.

La lettura integrata di questi risultati motiva lo sviluppo, nel Capitolo 3, di due strumenti analitici complementari, finalizzati a una misurazione più sofisticata dell'esposizione e della capacità di risposta del sistema

1) *Indice Composito di Severità degli Shock Termici (SevShoT)*

Questo indice ha l'obiettivo di sintetizzare in un'unica metrica multidimensionale l'effettiva esposizione a stress termici, tenendo conto dell'adattamento climatico locale. Integra tre dimensioni chiave: la frequenza degli eventi estremi (numero di giorni sopra il 90° percentile o sotto il 10° percentile), la loro intensità (gradi in eccesso o in difetto rispetto a tali soglie) e la persistenza (durata massima di un singolo evento).

2) *Indice di Resilienza Sanitaria Regionale (ReSaR)*

L'indice ReSaR è concepito per misurare la capacità del sistema sanitario regionale di assorbire e rispondere ai picchi di stress climatico. Combina indicatori di dotazioni (strutture, posti letto, apparecchiature), capitale umano (personale), capacità operativa (giornate di degenza, tassi di ospedalizzazione) e finanziamento (spesa pubblica). La ponderazione di questi fattori potrà essere definita tramite metodi *data-driven* – come la *Principal Component Analysis* (PCA) – e basata su criteri normativi, permettendo una comparazione della resilienza tra Nord, Centro e Sud-Isole.

Il percorso metodologico del prossimo capitolo si articolerà in quattro fasi:

- 1) la costruzione degli indici SevShoT e ReSaR su base regionale e annuale;
- 2) la loro validazione contro esiti sanitari, anche *out-of-sample* e attraverso analisi di sensibilità;
- 3) l'esplorazione delle interazioni tra esposizione (SevShoT) e resilienza (ReSaR) per spiegare l'eterogeneità geografica dei Δ -slope osservata in questo capitolo;
- 4) la costruzione di una graduatoria di vulnerabilità climatica regionale che integri l'esposizione agli shock termici (SevShoT) e la resilienza del sistema sanitario (ReSaR) in un punteggio sintetico. Questa classifica comparativa ha l'obiettivo di identificare le regioni a più alto rischio cumulativo, supportando prioritizzazioni di intervento e allocazioni di risorse in un'ottica di prevenzione stagionale.

2.8. Approccio alla Costruzione degli Indici Compositi

La costruzione degli indici compositi seguirà un approccio multidimensionale che integra:

- Normalizzazione degli indicatori per garantire comparabilità: fase di *pre-processing*. Per variabili eterogenee si adotta la *standardizzazione z-score* (media zero, varianza uno) o *min-max* in analisi di sensibilità. Le variabili con distribuzioni asimmetriche sono trasformate (log/Box-Cox) ove necessario;
- Ponderazione delle dimensioni basata su evidenza scientifica e analisi di sensitività. La scelta dei pesi è oggetto di triangolazione metodologica, in linea con la letteratura (Brousset et al., 2020; Bao et al., 2015) [3] – [4]:
 - i. Pesi uguali (benchmark trasparente);
 - ii. PCA (pesi endogeni guidati dalla varianza comune).

La soluzione principale privilegia pesi uguali per la leggibilità *policy-oriented*, affiancata da analisi di sensibilità e confronto di *rank stability* (Kendall τ , Spearman ρ);

- Aggregazione multilivello che preserva la struttura concettuale del framework teorico. Si applica media geometrica quando si desidera penalizzare squilibri tra dimensioni; media aritmetica come confronto. La rotazione *varimax* (PCA) è usata per interpretabilità dei carichi. Le scale finali sono normalizzate 0–100 per facilitare comunicazione e confronto territoriale;
- Validazione robusta attraverso analisi di sensitività e analisi di robustezza tramite il metodo *Benefit-of-Doubt* (BoD) (con validazione rispetto a esiti osservati come raccomandato da Cheng et al., 2013; e coerenza con l'integrazione di indicatori socio-ecologici in Dovie et al., 2017) [1] – [2].

Bibliografia Capitolo II

- [1]. Cheng, J. J., & Berry, P. (2013). Development of key indicators to quantify the health impacts of climate change on Canadians. *International journal of public health*, 58(5), 765-775;
- [2]. Dovie, D. B., Dzodzomenyo, M., & Ogunseitan, O. A. (2017). Sensitivity of health sector indicators' response to climate change in Ghana. *Science of the Total Environment*, 574, 837-846;
- [3]. Brousmiche, D., Occelli, F., Genin, M., Cuny, D., Deram, A., & Lanier, C. (2020). Spatialized composite indices to evaluate environmental health inequalities: Meeting the challenge of selecting relevant variables. *Ecological Indicators*, 111, 106023;
- [4]. Bao, J., Li, X., & Yu, C. (2015). The construction and validation of the heat vulnerability index, a review. *International journal of environmental research and public health*, 12(7), 7220-7234;
- [5]. Barra, C., Lagravinese, R., & Zotti, R. (2022). Exploring hospital efficiency within and between Italian regions: new empirical evidence. *Journal of Productivity Analysis*, 57(3), 269-284;

CAPITOLO III

Rischio Climatico–Sanitario in Italia:

Costruzione dell’Indice di Resilienza Sanitaria Regionale e dell’Indice di Severità degli Shock Termici (1999–2021)

Lo studio degli impatti sanitari del cambiamento climatico si colloca all’incrocio tra più tradizioni scientifiche: climatologia, epidemiologia ambientale, sanità pubblica, geografia del rischio, politiche sociali. Questo carattere intrinsecamente multidisciplinare rende necessario un inquadramento teorico capace di cogliere la complessità delle interazioni tra ambiente fisico, popolazioni e sistemi sanitari. La letteratura internazionale concorda sul fatto che l’intensificazione degli eventi climatici estremi – in particolare le ondate di calore e gli shock termici – stia producendo nuovi profili di rischio, articolati territorialmente e socialmente e che tali rischi non possano essere interpretati attraverso indicatori isolati o approcci strettamente monodimensionali.

In questo contesto, la definizione concettuale di vulnerabilità assume un ruolo centrale. Il riferimento canonico è fornito dall’IPCC (2001) [1], ove si afferma che la vulnerabilità rappresenta:

“[...] the degree to which a system is susceptible to, or unable to cope with, adverse effects of climate change, including climate variability and extremes. Vulnerability is a function of the character, magnitude, and rate of climate variation to which a system is exposed, its sensitivity, and its adaptive capacity.”

In altri termini: la vulnerabilità di un sistema non coincide soltanto con la sua esposizione fisica ad un pericolo, ma deriva dall’interazione tra la forza dello shock climatico, la fragilità intrinseca del contesto e la capacità di adattamento che istituzioni, servizi e popolazioni sono in grado di attivare. Un sistema è vulnerabile nella misura in cui non possiede risorse, competenze e strutture adeguate a prevenire, mitigare o assorbire gli impatti derivanti da eventi climatici estremi.

Accanto alla definizione dell’IPCC, la letteratura socio-geografica ha contribuito a sviluppare una lettura più ampia del concetto. Ad esempio, Cutter (1996) [2] – uno dei riferimenti più influenti negli studi sulla geografia del rischio – sottolinea che:

“Vulnerability is the likelihood that an individual or group will be exposed to and adversely affected by a hazard. It is the interaction of the hazards of place with the social profile of communities.”

La vulnerabilità, quindi, è determinata tanto dalla natura fisica del luogo quanto dalle caratteristiche socioeconomiche delle popolazioni che lo abitano. Ciò significa che due territori esposti allo stesso shock climatico possono presentare livelli di vulnerabilità molto diversi, in funzione delle loro condizioni demografiche, della dotazione di servizi sanitari, della presenza di fasce fragili o marginali, e delle capacità istituzionali di risposta.

Un ulteriore contributo di riferimento è quello di Adger e Kelly (1999) [3], i quali interpretano la vulnerabilità come una condizione socialmente determinata, mettendo in evidenza la dimensione delle risorse e dei diritti di accesso alle risorse stesse:

“Vulnerability is the state of individuals, groups or communities in terms of their ability to cope with and adapt to external stress [...] determined by the availability of resources and by the entitlement to call on such resources.”

La vulnerabilità, in altre parole, non deriva solo dai rischi ambientali in senso stretto, ma dalla capacità (o incapacità) degli attori sociali di attivare risorse materiali, istituzionali e relazionali. La vulnerabilità, dunque, è un fenomeno multilivello: riguarda le caratteristiche delle comunità (età, salute, condizioni economiche), ma anche dalla struttura dei servizi pubblici, la qualità delle reti sanitarie e il funzionamento delle istituzioni.

L’articolazione di molteplici concetti interdipendenti conduce a una conseguenza concettuale decisiva per il presente lavoro: vulnerabilità e resilienza non sono concetti opposti, né intercambiabili. Sono, semmai, due costrutti complementari che operano su piani differenti. La vulnerabilità descrive ciò che espone un sistema al rischio; la resilienza descrive ciò che permette di reagire allo shock. Una popolazione può essere vulnerabile ma resiliente allo stesso tempo (ad esempio un territorio fragile in termini socioeconomici ma con un sistema sanitario efficiente), così come può essere relativamente esposta ma poco resiliente (ad esempio aree con bassa incidenza climatica ma con servizi sanitari deboli).

La resilienza sanitaria, in particolare, è oggi considerata un elemento strategico nei sistemi di salute pubblica. Essa è definita come la capacità del sistema – composto da ospedali, servizi territoriali, personale e *governance* – di prepararsi, assorbire, adattarsi e trasformarsi a fronte di shock inattesi, come eventi climatici estremi, crisi epidemiologiche o improvvisi picchi di

domanda sanitaria. La letteratura più recente (es. Rajapaksha et al., 2022 [4]; Copeland et al., 2023 [5]) sottolinea come la resilienza sia una proprietà emergente dei sistemi complessi: deriva dall'interazione tra risorse materiali, capacità organizzative, capitale umano e processi decisionali.

In questo senso, separare analiticamente la severità dello shock climatico dalla vulnerabilità sociosanitaria non è solo una scelta metodologica, ma una condizione necessaria per una corretta valutazione del rischio. Il rischio sanitario climatico, infatti, non è assimilabile alla semplice presenza di un evento estremo, ma dipende dalla combinazione tra:

- *Hazard* (lo shock termico: intensità, frequenza, persistenza);
- *Exposure* (la popolazione potenzialmente più sensibile);
- *Vulnerability* (caratteristiche sociosanitarie);
- *Resilience* (risposta istituzionale e capacità dei servizi).

Il presente capitolo si colloca, dunque, all'interno di questo quadro teorico consolidato e adotta come riferimento metodologico fondamentale il Manuale OCSE–JRC per la costruzione degli indici compositi, che esplicita in dettaglio le fasi della selezione degli indicatori, standardizzazione, analisi fattoriale, costruzione dei *pillar*, aggregazione e valutazione di robustezza.

Il capitolo ricostruisce in modo sistematico la geografia della vulnerabilità sociosanitaria italiana e della severità degli shock termici lungo oltre vent'anni, attraverso la costruzione di indici compositi capaci di sintetizzare domini complessi e correlati.

Dopo aver definito il quadro teorico generale, il capitolo si apre nel paragrafo 3.1 con la presentazione delle ragioni che motivano la scelta degli indici compositi e dell'impianto empirico che sorregge l'intero lavoro. Qui si descrive la logica della distinzione tra *hazard* climatico e vulnerabilità sanitaria, si introduce il ruolo del Manuale *Handbook on Constructing Composite Indicators* (OCSE–JRC) [6] come riferimento metodologico e si definisce l'architettura complessiva attraverso cui i dati vengono normalizzati, sintetizzati e poi aggregati fino a costruire gli indici finali.

A partire da questa impostazione, la parte centrale del capitolo sviluppa l'analisi sugli anni selezionati. Il paragrafo 3.2 è dedicato al 1999, e offre una lettura dettagliata delle analisi fattoriali utilizzate per derivare i *pillar* interni ai quattro domini. Il percorso segue un ordine coerente: si parte dal dominio sociodemografico nel paragrafo 3.2.1, si prosegue con le risorse

e le attività sanitarie nel paragrafo 3.2.2, si esaminano gli *outcome* sanitari sensibili al clima nel paragrafo 3.2.3, e infine, si analizza il dominio climatico, da cui discende l'indice della severità degli shock termici (SevShoT), presentato nel paragrafo 3.2.4. Il paragrafo 3.2.5 sintetizza i risultati dei domini e prepara il terreno per la costruzione dell'Indice di Resilienza Sanitaria Regionale (ReSaR), illustrata nel paragrafo 3.2.6, dove vengono discusse le diverse procedure di aggregazione e le loro implicazioni. A seguire, il paragrafo 3.2.7 chiarisce la specificità dell'indice SevShoT come dominio mono-composito, mentre il paragrafo 3.2.8 mette a confronto i due indici per il 1999, evidenziando concordanze, divergenze e primi pattern territoriali.

Il medesimo schema analitico viene applicato all'anno 2010 nel paragrafo 3.3, così da consentire un confronto strutturale e temporale. Anche in questo caso l'analisi procede dal dominio sociodemografico (3.3.1) alle risorse e attività sanitarie (3.3.2), agli *outcome* clinici (3.4.3) e al dominio climatico (3.3.4), per giungere alla costruzione dell'indice ReSaR 2010 nel paragrafo 3.3.5 e al confronto finale con l'indice SevShoT nel paragrafo 3.3.6. Questa sezione restituisce l'evoluzione dei sistemi sanitari e del quadro demografico-climatico nel decennio successivo.

Il paragrafo 3.4 replica la procedura per il 2021, offrendo uno sguardo aggiornato alle condizioni più recenti. Anche qui vengono analizzati in sequenza il dominio sociodemografico (3.4.1), quello delle risorse sanitarie (3.4.2), gli *outcome climate-sensitive* (3.4.3) e il dominio climatico (3.4.4), per poi giungere alla costruzione dell'indice ReSaR 2021 (3.4.5) e al confronto con l'indice SevShoT nello stesso anno (3.4.6). Questo arco quasi trentennale consente di osservare continuità e trasformazioni profonde nella struttura dei sistemi regionali.

L'insieme dei risultati dei tre anni viene ricomposto nel paragrafo 3.5, che analizza in chiave longitudinale la "geografia divergente" della resilienza sanitaria italiana tra 1999 e 2021. Qui emergono traiettorie territoriali, convergenze e divergenze, nonché il modo in cui la relazione tra vulnerabilità sanitaria e severità climatica si è trasformata nel tempo.

Infine, il paragrafo 3.6 introduce e sviluppa l'analisi di robustezza tramite il metodo *Benefit-of-the-Doubt* (BoD). Dopo una motivazione metodologica (3.6.1) e una discussione dei fondamenti teorici del BoD in relazione al modello *Data Envelopment Analysis* (DEA) (3.6.2), vengono presentati i risultati dei profili di pesi liberi (3.6.3) e vincolati (3.6.4), seguiti dal *ranking* finale (3.6.5) e da una discussione delle implicazioni interpretative (3.6.6) e di *policy* (3.6.7).

Il capitolo si chiude con il paragrafo 3.7, che propone una lettura integrata dei risultati complessivi, mettendo in relazione *hazard* e vulnerabilità.

3.1. Scelta degli indici compositi e disegno empirico

L'adozione di indici compositi in questo lavoro risponde a un'esigenza concettuale e operativa: ricondurre un fenomeno intrinsecamente multidimensionale – l'interazione tra shock termici, caratteristiche sociodemografiche e capacità di assorbimento del sistema sanitario regionale – ad oggetti misurabili e comparabili nel tempo e nello spazio. La sola lettura di indicatori disaggregati, per quanto accurata, non è in grado di restituire la struttura congiunta del rischio e della risposta; occorre un framework gerarchico (variabili → sotto-indicatori → *pillar* → indici) che selezioni, normalizzi e combini le informazioni preservando coerenza teorica e trasparenza metodologica. In tale prospettiva, il presente lavoro segue esplicitamente le raccomandazioni del OCSE–JRC, adottandone i principi cardine: definizione del costrutto teorico, controllo di qualità dei dati, normalizzazione e orientamento, analisi multivariata, pesatura, aggregazione, e analisi di robustezza.

Tre motivi, in particolare, giustificano l'uso degli indici compositi:

- **Multidimensionalità sostanziale.** La severità degli shock termici non è univocamente rappresentabile da un'unica misura: frequenza, intensità e persistenza sono dimensioni distinte e complementari. Simmetricamente, la condizione sociosanitaria di un territorio integra dotazioni, personale, attività/efficienza, esiti sanitari e contesto socioeconomico;
- **Comparabilità e sintesi.** La comparazione territoriale richiede scale omogenee e un oggetto sintetico in grado di ordinare le regioni in modo informato e interpretabile dagli *stakeholder* di policy;
- **Separazione concettuale tra “hazard” e “capacità di risposta”.** Per evitare confusione tra forza dello shock e vulnerabilità/risposta, il lavoro costruisce due indici compositi distinti:
 1. **SevShoT (Indice Composito di Severità degli Shock Termici):** espressione della componente esterna di rischio (*hazard*), nella fattispecie gli shock climatici, quali: ondate di calore/gelo;
 2. **ReSaR (Indice di Resilienza Sanitaria Regionale):** che sintetizza la componente interna – vulnerabilità strutturale e capacità di risposta –

combinando i *pillar* sociosanitari (risorse/attività/esiti) e il contesto demografico-economico.

Questa distinzione è coerente con il paradigma IPCC AR5 (2014): *hazard-exposure-vulnerability/adaptive capacity* e con la necessità analitica, discussa nel Capitolo 2, di leggere gli esiti sanitari condizionatamente alla climatologia locale e alla struttura dei sistemi regionali.

Il Capitolo 2 definisce il perimetro dati (climatici fino al 2022; sociosanitari fino al 2021) e le strategie metodologiche: i) preparazione e qualità del dato; ii) organizzazione per domini (clima, SSN, *outcome*, contesto); iii) modellazione panel con effetti fissi e test di discontinuità (*breakpoint*) per macroarea. L'architettura per domini e la climatologia *percentile-based area*×mese (90°/10°) impiegata per distinguere frequenza e intensità degli estremi garantiscono che l'indice SevShoT rifletta l'adattamento climatico locale, evitando soglie in gradi assoluti. Parallelamente, la scomposizione del sistema sanitario in dotazioni, attività/efficienza e *outcome* consente di attribuire significato strutturale ai salti di livello (*level shift*) e di interpretare, per gli esiti sanitari, le variazioni di pendenza (Δ -*slope*) del gradiente temperatura–*outcome* nel regime *post-break*. Questa infrastruttura empirica è il fondamento che rende legittima e informativa la successiva sintesi in forma di indici compositi.

Coerentemente con il manuale OCSE–JRC, la costruzione degli indici segue passaggi chiave:

- a. Normalizzazione e direzione.** Gli indicatori sono portati su scala comparabile attraverso il metodo di standardizzazione *min-max* che segue questa formula:

$$Z_i = \frac{X - \min(X)}{\max(X) - \min(X)} \quad (1)$$

con orientamento coerente: per i domini “di rischio” (es. tassi di dimissione *climate-sensitive*, indice di povertà, disoccupazione, ondate di calore/gelo) vale la teoria secondo cui più il valore è alto, peggiore è il risultato; per i domini “di capacità” (dotazioni, personale, efficienza) vale esattamente il contrario: più alto è il valore, migliore sarà il risultato. In alcuni casi che verranno spiegati di seguito, è stato necessario cambiare la “direzione” della variabile cambiando (1) in:

$$Z_i^{inv} = 1 - Z_i = 1 - \left(\frac{X - \min(X)}{\max(X) - \min(X)} \right) \quad (2)$$

- b. Analisi multivariata e pesi *data-driven*.** Tramite la *Principal Component Analysis* (PCA) e la *Factor Analysis* (FA) con rotazione *Varimax* (normalizzazione Kaiser), si verifica la struttura latente dei domini e si derivano pesi proporzionali alla varianza post-

rotazione (*Rotation Sums of Squared Loadings*), utilizzati per combinare i punteggi fattoriali in *pillar*;

- c. Trasparenza e tracciabilità.** Ogni scelta (inversione, esclusioni, *winsorization* mirata per code estreme) è documentata, così da garantire replicabilità e controllo degli effetti.

Gli indicatori utilizzati per la costruzione dei *pillar* sociosanitari e dell'indice climatico sono stati selezionati sulla base di criteri teorici (vulnerabilità sociodemografica, capacità strutturale del sistema sanitario, accesso ai servizi, tassi di dimissione delle patologie *climate-sensitive*) e di disponibilità informativa per il periodo 1999–2021. Gli indicatori climatici sono disponibili fino al 2022, mentre quelli sanitari e socioeconomici fino al 2021.

Il dataset è stato articolato in cinque domini analitici: (i) sociodemografico; (ii) risorse sanitarie; (iii) attività e accesso ai servizi; (iv) *outcome* sanitari *climate-sensitive*; (v) clima. Ogni dominio include variabili omogenee per natura e funzione analitica. L'obiettivo è garantire una rappresentazione multilivello delle componenti che contribuiscono alla vulnerabilità sanitaria e alla severità degli shock termici.

Il periodo analizzato include tre anni rappresentativi (1999, 2010, 2021), scelti per evidenziare l'evoluzione strutturale dei sistemi sanitari regionali, dell'adattamento climatico e della composizione sociodemografica. La distribuzione triennale consente di integrare gli indicatori compositi del Capitolo 3 con le dinamiche strutturali documentate nel Capitolo 2.

Gli indicatori climatici, strutturati secondo climatologia locale (soglie *percentile-based area*×mese), includono misure di temperatura (massima, minima, media) e indicatori di estremi (numero, durata e intensità delle ondate di calore e gelo). Poiché tutti rappresentano elementi di stress climatico, mantengono verso positivo.

Gli indicatori sanitari sono suddivisi nei domini di risorse (spesa, infrastrutture, personale), attività (ospedalizzazione, degenza, accesso al PS) e *outcome* (dimissioni per patologie *climate-sensitive*). Gli *outcome* assumono verso positivo per definizione, mentre alcune misure strutturali (spesa privata, ospedalizzazione, degenza media, accesso a PS) sono state invertite poiché interpretate come segnali di pressione o inefficienza.

L'insieme degli indicatori così orientati costituisce la struttura multilivello su cui sono stati costruiti i *pillar* compositi tramite PCA/Varimax e successivamente aggregati negli indici SevShoT e ReSaR. Di seguito si mostrano le variabili con i relativi versi:

Tabella 3. 1 – Dominio 1 – Socio-Demografico | Indicatori per dominio, definizione e verso di interpretazione

Variabile	Verso	Note metodologiche
Popolazione residente	+	Popolazioni numerose → maggiore esposizione
Indice di invecchiamento	+	Struttura demografica più fragile
Indice di povertà	+	Condizione socioeconomica critica
Percentuale over 65	+	Maggior vulnerabilità clinica
Tasso di disoccupazione	+	Proxy di rischio sociale
PIL pro-capite	– (<i>invertito</i>)	Valore alto = maggiore resilienza
Reddito da lavoro pro-capite	– (<i>invertito</i>)	Reddito alto migliora la capacità adattiva

Tabella 3. 2 – Dominio 2 – Risorse Sanitarie | Indicatori per dominio, definizione e verso di interpretazione

Variabile	Verso	Note metodologiche
Spesa sanitaria pubblica pro capite	+	Maggiore dotazione
Spesa sanitaria privata pro capite	– (<i>invertito</i>)	Elevata spesa privata = insufficienze pubbliche
Strutture pubbliche	+	Capacità sanitaria
Numero ASL	+	Governance territoriale
Tasso posti letto	+	Dotazione ospedaliera
Apparecchi diagnostici	+	Tecnologia
Camere iperbariche	+	Tecnologia
Medici	+	Capitale umano
Personale SSN	+	Capacità di risposta
Tasso ospedalizzazione	– (<i>invertito</i>)	Carico/inefficienza potenziale

Tabella 3. 3 – Dominio 3 – Attività e Accesso ai Servizi Sanitari | Indicatori per dominio, definizione e verso di interpretazione

Variabile	Verso	Note metodologiche
Degenza media	– (<i>invertito</i>)	Degenze lunghe = inefficienza
Tasso di accesso al PS	– (<i>invertito</i>)	Elevato ricorso → fragilità territoriale
Tasso dimissioni ordinarie (ricoveri ordinari)	+	Capacità di assorbimento, attività programmata

Tabella 3. 4 – Dominio 4 – Outcome sanitari climate-sensitive | Indicatori per dominio, definizione e verso di interpretazione

Variabili	Verso	Note metodologiche
Tasso di dimissioni per infarto del miocardio	+	Outcome avverso; mantenuto positivo
Tasso di dimissioni per malattie ischemiche	+	Outcome avverso; nessuna inversione
Tasso di dimissioni per malattie cerebrovascolari	+	Indicatori di rischio clinico; positivo
Tasso di dimissioni per malattie respiratorie	+	Maggiori valori = maggiore vulnerabilità
Tasso di dimissioni per polmoniti e influenza	+	Outcome sensibili alla temperatura
Tasso di dimissioni per BPCO	+	Carico clinico; mantenuto positivo
Tasso di dimissioni per diabete	+	Outcome clima-sensibile; valore alto negativo
Tasso di dimissioni per disturbi psichiatrici	+	Effetti indiretti del caldo; verso positivo
Tasso di dimissioni per psicosi e schizofrenia	+	Patologie aggravabili da estremi termici
Tasso di dimissioni per disturbi d'ansia	+	Esito avverso, verso positivo
Tasso di dimissioni per complicanze ostetriche	+	Outcome sensibile a caldo/umidità; positivo

Tabella 3. 5 – Dominio 5 – Clima (SevShoT) | Indicatori per dominio, definizione e verso di interpretazione

Variabili	Verso	Note metodologiche
Temperatura massima media annua	+	Proxy di esposizione termica
Temperatura minima media annua	+	Aumento → minore raffreddamento notturno
Temperatura media annua	+	Indicatore generale di riscaldamento
Numero ondate di calore	+	Episodi definiti su soglie 90° percentile
Numero ondate di gelo	+	Episodi 10° percentile; stress termico
Giorni in ondata di calore	+	Misura di persistenza degli estremi
Giorni in ondata di gelo	+	Persistenza del freddo estremo
Intensità ondate di calore (°C in eccesso)	+	Somma degli eccessi sopra soglia locale
Intensità ondate di gelo (°C in difetto)	+	Somma dei gradi sottosoglia locale

d. Aggregazione: compensabilità, alternative e giustificazione.

Nella letteratura OCSE–JRC, la media aritmetica è lo standard quando i sottoindici sono concettualmente compensabili (un miglioramento in una dimensione può parzialmente bilanciarne un'altra). Tuttavia, per testare la robustezza delle classifiche territoriali, questo lavoro affianca più criteri:

- i. Media aritmetica (lineare): semplice, trasparente, indicata quando i *pillar* rappresentano dimensioni di pari dignità;
- ii. Media geometrica: penalizza squilibri forti tra dimensioni (nessun *pillar* «zero-weight» di fatto), utile se si vuole privilegiare profili “bilanciati”;
- iii. Metodi ordinali (Borda, Condorcet): aggregano ranghi anziché valori, riducendo la sensibilità a *outlier* e scelte di metrica; sono particolarmente utili come controllo di robustezza delle graduatorie;
- iv. Pesi PCA vs. pesi uguali: la specificazione principale impiega pesi *data-driven* (quota di varianza spiegata), ma sono previsti confronti con pesi uguali per valutare la dipendenza dell'indice dalla struttura latente.

Questa pluralità di aggregazioni darà luogo a confronti sistematici.

e. Validazione e robustezza (incluso *Benefit of the Doubt*)

In linea con le raccomandazioni OCSE–JRC, la validazione avverrà lungo tre assi:

- i. Coerenza interna: correlazioni attese tra indici e domini (es. SevShoT con *outcome* sensibili al caldo; ReSaR composito inversamente correlato con esiti avversi), stabilità ai diversi criteri di aggregazione;
- ii. Sensibilità: analisi a pesi alternativi, esclusione di un *pillar* per volta, specifiche climatiche alternative (temperatura massima/minima; intensità vs. frequenza), e *placebo-break*;
- iii. *Benchmarking* metodologico: confronto con l'approccio *Benefit of the Doubt* – basato sulla *Data Envelopment Analysis* per derivare pesi endogeni e verificare se le graduatorie risultano congruenti con quelle ottenute da pesi esogeni o PCA. Questo passaggio non sostituisce l'indice principale ma ne rafforza la credibilità esterna.

In sintesi, l'uso di indici compositi strutturato in due strumenti distinti (SevShoT per lo shock climatico; ReSaR per la condizione sociosanitaria) è una scelta metodologica coerente con il quadro teorico (*hazard* vs. capacità di risposta). L'adozione dei principi OCSE–JRC (normalizzazione, orientamento, pesi *data-driven*, trasparenza in aggregazione e robustezza)

garantisce che la sintesi non sia un esercizio aggregativo *ex-post* ma il naturale esito di un processo inferenziale strutturato, capace di coniugare rigore statistico, interpretabilità e utilità per la programmazione di policy *place-based*.

3.2. Risultati 1999: dalle analisi fattoriali agli indici finali

3.2.1. Dominio sociodemografico (IVS)

L'analisi fattoriale condotta sul dominio sociodemografico ha considerato sette variabili rappresentative della struttura e della vulnerabilità della popolazione regionale (densità e crescita demografica, indice di invecchiamento, tasso di disoccupazione, indicatori di reddito e povertà). L'estrazione mediante PCA e rotazione Varimax ha restituito tre componenti principali, in linea con il criterio di Kaiser (autovalori > 1), che spiegano complessivamente l'82,3% della varianza totale.

Tabella 3. 6 – IVS 1999 – Varianza totale spiegata

Fattore	Autovalore	Var %	Var % cumulata
F1	2,956	42,225	42,225
F2	1,534	21,915	64,14
F3	1,273	18,185	82,325

La prima componente F1 (42,2% di varianza) è fortemente saturata dalle variabili tasso di disoccupazione (-0,91) e PIL pro-capite (-0,95), e può essere interpretata come un asse di benessere economico e occupazionale, dove valori elevati corrispondono a condizioni più svantaggiate.

La seconda componente F2 (21,9%) mostra forti correlazioni con popolazione residente (-0,90) e percentuale di anziani (0,62), evidenziando un asse di densità e struttura demografica.

Infine, la terza componente F3 (18,2%) è dominata dal reddito da lavoro pro-capite (0,93), configurandosi come un indicatore specifico delle risorse individuali e occupazionali.

La bontà di questa rappresentazione è confermata dai valori di comunalità che si mostrano di seguito:

Tabella 3. 7 – IVS 1999 – Comunalità variabili

Comunalità	Iniziale	Estrazione
Popolazione residente	1,000	,837
Indice di invecchiamento	1,000	,893
Indice di povertà	1,000	,476
Percentuale over 65	1,000	,819
Tasso di disoccupazione	1,000	,841
PIL pro-capite	1,000	,968
Reddito da lavoro pro-capite	1,000	,929

Le comunalità risultano sistematicamente elevate ($\geq 0,82$ per quasi tutte le variabili), indicando che gran parte della varianza di ciascun indicatore originale è efficacemente catturata dalla soluzione fattoriale a tre dimensioni.

Tabella 3. 8 – IVS 1999 – Valori dei fattori

Variabile	F1	F2	F3
Popolazione residente	0,072	-0,897	0,166
Indice di invecchiamento	0,691	0,416	0,492
Indice di povertà	0,577	0,29	0,243
Percentuale over 65	0,64	0,619	-0,16
Tasso di disoccupazione	-0,913	0,013	-0,087
PIL pro-capite	-0,947	0,154	0,218
Reddito da lavoro pro-capite	-0,019	-0,256	0,929

L'analisi dei loadings ruotati (Tabella 3.8) consente di interpretare la struttura fattoriale sottostante i dati. Emergono tre dimensioni latenti distinte:

- Il Fattore 1 (F1) si configura come una dimensione di tipo economico-occupazionale. Esso è caratterizzato da carichi fattoriali molto elevati e negativi sulle variabili tasso di disoccupazione e PIL pro-capite. Un punteggio alto su questo fattore identifica, quindi, un contesto territoriale più debole e svantaggiato sotto il profilo del mercato del lavoro e della ricchezza prodotta;
- Il Fattore 2 (F2) cattura un aspetto legato alla struttura demografica e alla scala insediativa. Questo fattore combina una componente di dimensione demografica (con un carico negativo sulla popolazione residente) con una di invecchiamento (carico positivo sulla percentuale di over-65), delineando un profilo territoriale specifico;

- Il Fattore 3 (F3) isola, invece, la dimensione delle risorse individuali, rappresentata principalmente dal reddito da lavoro pro-capite. La sua separazione dal Fattore 1 è significativa, in quanto scinde la componente del reddito delle famiglie da quella più strettamente macroeconomica e produttiva.

Per la costruzione del *pillar* IVS, i tre fattori vengono sintetizzati in un indice unico mediante una media ponderata. L'assegnazione dei pesi, calcolati in base alla varianza spiegata da ciascun fattore dopo la rotazione, assegna un contributo preponderante alla dimensione economico-occupazionale (F1, peso ~0,513). Tuttavia, i pesi non trascurabili attribuiti alla struttura demografica (F2, ~0,266) e alle risorse individuali (F3, ~0,221) evidenziano la natura intrinsecamente multidimensionale del *pillar*, che non si riduce a una mera lettura economica.

Tale indice è stato, infine, riscalato su una scala 0-100. Coerentemente con la preelaborazione dei dati, in cui le variabili "positive" (come il PIL) erano state preventivamente invertite, un punteggio più alto dell'IVS indica sempre una condizione di maggior svantaggio.

In termini analitici: $(F_1 * w_1) + (F_2 * w_2) + (F_3 * w_3) = Pillar_{IVS}$

Tabella 3. 9 – IVS 1999 – Pesi normalizzati dei fattori

Fattore	Var %	Peso
F1	42,225	0,513
F2	21,915	0,266
F3	18,185	0,221

3.2.2. Dominio delle risorse e attività sanitarie (RAS)

Nel dominio delle risorse sanitarie e dell'organizzazione dei servizi, la PCA con rotazione Varimax ha individuato sei fattori principali, che spiegano complessivamente il 91,7% della varianza.

Tabella 3. 10 – RAS 1999 – Varianza totale spiegata

Fattore	Autovalore	Var %	Var % cumulata
F1	3,843	29,561	29,561
F2	2,281	17,549	47,11
F3	1,99	15,308	62,418
F4	1,43	10,999	73,417
F5	1,206	9,28	82,697
F6	1,171	9,008	91,705

L'elevata copertura è tipica di domini "tecnici" con molte dotazioni/volumi tra loro correlati e legittima una lettura a "pilastri" distinti (infrastrutture, attività, tecnologia, personale, ecc.). La rotazione distribuisce bene: 29,6% + 17,5% + 15,3% + 11,0% + 9,3% + 9,0%.

Anche in questo caso, la bontà di questa rappresentazione è confermata dai valori di comunalità vicino ad 1 che si mostrano di seguito:

Tabella 3. 11 – RAS 1999 – Comunalità variabili

Comunalità	Iniziale	Estrazione
Spesa sanitaria pubblica pro-capite	1,000	,858
Spesa sanitaria privata pro-capite	1,000	,921
Strutture di ricovero pubbliche	1,000	,911
Numero di ASL	1,000	,948
Tasso di posti letto	1,000	,782
Apparecchiature diagnostiche	1,000	,970
Camere iperbariche	1,000	,913
Totale medici	1,000	,953
Personale SSN	1,000	,917
Tasso di ospedalizzazione	1,000	,952
Degenza media	1,000	,919
Tasso di ricorso al PS	1,000	,957
Tasso di dimissioni ricovero ordinario	1,000	,921

L'analisi dei loadings ruotati (Tabella 3.12) rivela una struttura fattoriale articolata in sei dimensioni latenti, ciascuna delle quali cattura un aspetto specifico e relativamente autonomo del sistema sanitario regionale:

Tabella 3. 12 – RAS 1999 – Valori dei fattori

Variabile	F1	F2	F3	F4	F5	F6
Spesa sanitaria pubblica pro-capite	-0,124	0,898	0,125	-0,122	0,016	-0,074
Spesa sanitaria privata pro-capite	-0,953	-0,074	-0,052	-0,029	0,005	-0,058
Strutture di ricovero pubbliche	0,895	-0,244	0,125	0,079	-0,015	-0,166
Numero di ASL	0,769	-0,261	0,363	-0,349	-0,146	-0,116
Tasso di posti letto	0,367	0,433	-0,213	-0,524	0,246	-0,28
Apparecchiature diagnostiche	0,959	-0,011	0,001	0,223	0,033	0,021
Camere iperbariche	0,364	-0,276	0,103	0,829	-0,066	-0,038
Totale medici	-0,077	-0,04	0,1	-0,101	0,942	0,196

Personale SSN	-0,394	0,759	0,236	-0,232	-0,262	0,09
Tasso di ospedalizzazione	-0,005	0,066	0,933	0,071	0,085	0,255
Degenza media	-0,252	-0,595	-0,366	0,448	-0,342	0,221
Tasso di ricorso al PS	-0,035	-0,072	0,182	0,038	0,19	0,938
Tasso di dimissioni ricovero ordinario	-0,337	-0,369	-0,816	-0,056	-0,048	0,02

La netta separazione tra questi fattori suggerisce che il sistema sanitario regionale si articoli in "blocchi funzionali" distinti, ciascuno dei quali contribuisce in modo specifico alla configurazione complessiva del servizio. In particolare:

- Il Fattore 1 (F1) riflette la dimensione infrastrutturale pubblica e tecnologica, essendo definito da carichi elevati sulle variabili relative alle strutture ricettive pubbliche e alla penetrazione della banda ultra-larga;
- Il Fattore 2 (F2) rappresenta l'ambito della spesa e organizzazione pubblica nel settore sanitario, sintetizzato dalla spesa sanitaria pubblica pro-capite e dal personale impiegato nel Servizio Sanitario Nazionale;
- Il Fattore 3 (F3) delinea un asse legato all'intensità ospedaliera e all'appropriatezza delle cure, caratterizzato da un'alta ospedalizzazione e, in opposizione, da un minore ricorso alla medicina di base (carico negativo sul tasso di medici);
- Il Fattore 4 (F4) è associato alla tecnologia e all'alta specializzazione, rappresentato dalla densità di camere iperbariche;
- Il Fattore 5 (F5) cattura la dotazione medica generale del territorio, misurata dal numero totale di medici per abitante;
- Il Fattore 6 (F6), infine, si concentra specificamente sull'attività del Pronto Soccorso, indicizzato dal tasso di ricovero da questo servizio.

Per la costruzione del *pillar* RAS, questi sei fattori sono stati sintetizzati in un unico indice composito mediante una media ponderata (Tabella 3.13 dedicata ai pesi). Sebbene il Fattore 1 (infrastrutturazione tecnologica) conferisca il contributo singolo più sostanziale (peso ~0,322), i restanti fattori presentano pesi significativi e decrescenti (da F2 ~0,191 a F6 ~0,098). Questa distribuzione evidenzia che l'indice ReSaR non è dominato da una singola dimensione, ma combina in modo bilanciato aspetti relativi a infrastrutture, risorse finanziarie e umane, modelli di utilizzo dei servizi e dotazione tecnologica, con pesi coerenti con l'evidenza statistica emersa dall'analisi.

La formula finale del *pillar* è data dalla combinazione lineare dei sei fattori, rendendo così trasparente il processo di sintesi che conduce all'indice ReSaR. È importante notare, come precisazione metodologica, che i segni dei loadings sono funzionali all'interpretazione semantica di ciascun fattore, mentre la direzione finale dell'indice (se un punteggio più alto indica una condizione migliore o peggiore) è determinata in fase di preelaborazione dei dati (attraverso l'eventuale inversione degli indicatori) e dal successivo passaggio all'intervallo 0-100.

In termini analitici:

$$(F_1 * w_1) + (F_2 * w_2) + (F_3 * w_3) + (F_4 * w_4) + (F_5 * w_5) + (F_6 * w_6) = Pillar_{RAS}$$

Tabella 3. 13 – RAS 1999 – Pesi normalizzati dei fattori

Fattore	Var %	Peso
F1	29,561	0,322
F2	17,549	0,191
F3	15,308	0,166
F4	10,999	0,119
F5	9,28	0,101
F6	9,008	0,098

3.2.3. Dominio *outcome* sanitari *climate-sensitive* (OCS)

L'analisi fattoriale condotta per il *pillar* degli esiti sanitari sensibili al clima (OCS) rivela una struttura solida e articolata. Come illustrato nella Tabella 3.14, la soluzione a cinque fattori è in grado di catturare l'89,3% della varianza totale dei dati, indicando una copertura molto elevata delle informazioni contenute negli indicatori originali.

Tabella 3. 14 – OCS 1999 – Varianza totale spiegata

Fattore	Autovalore	Var %	Var % cumulata
F1	2,838	25,796	25,796
F2	2,31	20,999	46,795
F3	2,172	19,746	66,541
F4	1,4	12,727	79,268
F5	1,1	10,0	89,268

La varianza spiegata viene bilanciata tra i fattori (25,8% + 21% + 19,7% + 12,7% + 10,0%), suggerendo una buona granularità e l'assenza di una dimensione eccessivamente dominante, che riflette la distinzione tra aree cliniche come quelle respiratorie, cardiovascolari, psichiatriche, diabetiche e complicanze ostetriche.

La bontà di questa rappresentazione è confermata dai valori di comunalità vicino ad 1 che si mostrano di seguito:

Tabella 3. 15 – OCS 1999 – Comunalità variabili

Comunalità	Iniziale	Estrazione
Tasso di dimissioni per infarto del miocardio	1,000	,873
Tasso di dimissioni per malattie ischemiche	1,000	,953
Tasso di dimissioni per malattie cerebrovascolari	1,000	,841
Tasso di dimissioni per malattie respiratorie	1,000	,878
Tasso di dimissioni per polmonite/influenza	1,000	,918
Tasso di dimissioni per malattie polmonari croniche	1,000	,776
Tasso di dimissioni per diabete	1,000	,881
Tasso di dimissioni per disturbi psicologici	1,000	,944
Tasso di dimissioni per schizofrenia	1,000	,948
Tasso di dimissioni per disturbi d'ansia	1,000	,878
Tasso di dimissioni per complicanze ostetriche	1,000	,930

Le comunalità risultano molto elevate (in prevalenza >0,85), a garanzia della robustezza del modello.

L'interpretazione dei *loadings* ruotati (Tabella 3.16) permette di identificare *cluster* clinici distinti, particolarmente rilevanti per lo studio dell'impatto dei picchi termici sulla salute:

Tabella 3. 16 – OCS 1999 – Valori dei fattori

Variabile	F1	F2	F3	F4	F5
Tasso di dimissioni per infarto del miocardio	-0,226	0,758	0,412	-0,172	-0,219
Tasso di dimissioni per malattie ischemiche	-0,105	0,965	-0,09	0,046	0,033
Tasso di dimissioni per malattie cerebrovascolari	0,231	0,77	0,125	-0,154	-0,394
Tasso di dimissioni per malattie respiratorie	0,918	-0,051	-0,103	0,036	0,146
Tasso di dimissioni per polmonite/influenza	0,167	0,249	0,506	-0,756	0,018
Tasso di dimissioni per malattie polmonari croniche	0,094	-0,002	-0,869	0,023	0,11

Tasso di dimissioni per diabete	0,578	-0,294	-0,676	-0,023	-0,058
Tasso di dimissioni per disturbi psicologici	0,71	0,101	0,626	0,193	0,009
Tasso di dimissioni per schizofrenia	0,342	0,017	0,297	0,85	0,142
Tasso di dimissioni per disturbi d'ansia	0,918	-0,035	-0,126	0,078	0,108
Tasso di dimissioni per complicanze ostetriche	0,214	-0,218	-0,066	0,075	0,909

- Il Fattore 1 (F1) combina patologie respiratorie e disturbi d'ansia, suggerendo una possibile comorbidità o una suscettibilità comune agli stressori climatici come il caldo estremo;
- Il Fattore 2 (F2) aggrega malattie cardiovascolari ischemiche e infarti, due gruppi di patologie notoriamente influenzati dalle temperature estreme;
- Il Fattore 3 (F3) rappresenta un *pattern* cronico-metabolico (diabete) e respiratorio cronico. L'interpretazione del segno negativo dei *loadings*, in questo caso, è di natura convenzionale e dipende dalla codifica iniziale; il dato sostanziale è la forte co-variazione tra diabete e malattie polmonari croniche;
- Il Fattore 4 (F4) isola la psichiatria grave (schizofrenia);
- Il Fattore 5 (F5) cattura, infine, le complicanze ostetriche.

Per la sintesi nell'indice ReSaR, i cinque fattori vengono ponderati in base alla loro varianza spiegata. I pesi normalizzati risultano decrescenti ma non eccessivamente sbilanciati. Questa distribuzione conferisce al *pillar* un carattere composito, attribuendo un rilievo sostanziale sia alla dimensione respiratorio-ansiosa (F1) che a quella cardiovascolare (F2), senza trascurare il contributo degli altri *cluster*. La formula finale del *pillar* è, dunque, la somma ponderata dei punteggi dei cinque fattori. Questo indice composito ha l'utilità di enfatizzare in modo bilanciato gli esiti sanitari più sensibili al clima. La sua costruzione risulta particolarmente preziosa per successivi confronti di coerenza con indicatori di esposizione ai rischi climatici (SevShoT) e di capacità di risposta del sistema sanitario (ReSaR), permettendo di valutare le relazioni tra *hazard* ambientale, vulnerabilità del territorio e stato di salute della popolazione.

In termini analitici:

$$(F_1 * w_1) + (F_2 * w_2) + (F_3 * w_3) + (F_4 * w_4) + (F_5 * w_5) = Pillar_{OCS}$$

Tabella 3. 17 – OCS 1999 – Pesi normalizzati dei fattori

Fattore	Var %	Peso
F1	25,796	0,289
F2	20,999	0,235
F3	19,746	0,221
F4	12,727	0,142
F5	10,0	0,112

3.2.4. Dominio climatico (SevShoT)

L'analisi fattoriale condotta per il *pillar* degli shock termici (SevShoT) restituisce una soluzione estremamente robusta. Come dettagliato nella Tabella 3.18, la struttura a quattro fattori spiega il 96,6% della varianza totale, una copertura quasi totale dei dati iniziali. Una percentuale così elevata era attesa, dato che il set di variabili climatiche legate alla temperatura è intrinsecamente caratterizzato da un'elevata correlazione. È stata rilevata un'annotazione tecnica del software SPSS su una "matrice non definita positiva", condizione tipica in presenza di collinearità molto alta; nonostante ciò, la soluzione fattoriale ruotata si è rivelata perfettamente stabile e interpretabile.

Tabella 3. 18 – SevShoT 1999 – Varianza totale spiegata

Fattore	Autovalore	Var %	Var % cumulata
F1	3,61	40,109	40,109
F2	3,004	33,379	73,488
F3	1,175	13,056	86,544
F4	0,906	10,069	96,613

Le comunalità, tutte comprese tra 0,90 e 0,99, indicano un'elevatissima coerenza interna.

Tabella 3. 19 – SevShoT 1999 – Comunalità variabili

Comunalità	Iniziale	Estrazione
Temperatura massima	1,000	,971
Temperatura minima	1,000	,969
Temperatura media	1,000	,989
Numero di ondate di calore	1,000	,928
Numero di ondate di gelo	1,000	,990
Giorni di ondate di calore	1,000	,993
Giorni di ondate di gelo	1,000	,996
Intensità di ondate di calore	1,000	,953

Intensità di ondate di gelo	1,000	,907
------------------------------------	-------	------

L'interpretazione dei *loadings* ruotati (Tabella 3.20) rivela una struttura concettuale molto chiara, che scompone il costrutto "shock termico" in dimensioni distinte e significative:

Tabella 3. 20 – SevShoT 1999 – Valori dei fattori

Variabile	F1	F2	F3	F4
Temperatura massima	0,895	0,318	-0,12	-0,235
Temperatura minima	0,914	0,296	-0,102	-0,188
Temperatura media	0,913	0,311	-0,113	-0,215
Numero di ondate di calore	0,271	0,91	0,036	-0,16
Numero di ondate di gelo	-0,269	0,01	0,933	0,216
Giorni di ondate di calore	0,193	0,976	0,014	-0,063
Giorni di ondate di gelo	-0,43	-0,154	0,32	0,827
Intensità di ondate di calore	0,179	0,956	-0,075	-0,021
Intensità di ondate di gelo	-0,861	-0,021	0,397	0,09

- Il Fattore 1 (F1) rappresenta la dimensione del calore e della termica estiva, sintetizzato dalle variabili di temperatura massima, minima e media;
- Il Fattore 2 (F2) cattura specificamente le ondate di calore in termini di durata e intensità;
- Il Fattore 3 (F3) e il Fattore 4 (F4) descrivono rispettivamente le ondate di gelo per frequenza/intensità e per persistenza.

Questa netta separazione tra gli shock da caldo da quelli da gelo, nonché la distinzione interna tra le diverse caratteristiche delle ondate (frequenza, durata, intensità), fornisce una base eccellente per sintetizzare la severità multidimensionale degli eventi termici estremi.

Per la costruzione dell'indice SevShoT, i quattro fattori sono stati combinati mediante una media ponderata con pesi normalizzati calcolati in base alla varianza spiegata. La formula finale del *pillar* è data dalla somma ponderata dei quattro punteggi fattoriali. L'indice risultante fornisce una misura composita della severità degli shock termici, dove un valore più alto indica condizioni peggiori.

In termini analitici:

$$(F_1 * w_1) + (F_2 * w_2) + (F_3 * w_3) + (F_4 * w_4) = Pillar_{SevShoT}$$

Tabella 3. 21 – SevShoT 1999 – Pesi normalizzati dei fattori

Fattore	Var %	Peso
F1	40,109	0,415
F2	33,379	0,345
F3	13,056	0,135
F4	10,069	0,104

È interessante notare dalla Tabella 3.21 che questa ripartizione attribuisce un peso preponderante ai fattori legati al calore (F1 e F2), che insieme costituiscono oltre il 76% del *pillar*, ma mantiene un contributo informativo significativo, anche se minore, del blocco relativo al gelo (F3 e F4). La predominanza dei fattori F1 e F2 nella composizione dell'indice spiega perché, per l'anno 1999 in esame, i *pattern* climatici estivi abbiano avuto un peso maggiore nel determinare il livello di shock termico complessivo rispetto a quelli invernali.

3.2.5. Sintesi e preparazione agli step successivi

Complessivamente, i risultati del 1999 mostrano strutture fattoriali robuste e interpretabili in tutti i domini analizzati. Le varianze spiegate sono elevate e le saturazioni coerenti con la logica teorica dei costrutti.

A seguito della costruzione dei *pillar* tramite analisi fattoriale, la prima fase procedurale per la costruzione degli indici regionali consiste nella standardizzazione delle metriche di misura. Ciascun dominio è stato, pertanto, riscalato su un intervallo comune 0–100, applicando la trasformazione direttamente ai punteggi dei *pillar*. Questa operazione è fondamentale per rendere confrontabili i domini costruiti a partire da variabili eterogenee per unità di misura, varianza e distribuzione. La scelta metodologica è caduta sulla classica normalizzazione *min-max*, che trasforma ciascun valore Z_i , secondo la funzione:

$$Z_{0-100,i} = 100 * \frac{[Z_i - \min(Z)]}{\max(Z) - \min(Z)}$$

È stata adottata una convenzione per cui un punteggio più elevato indica una condizione di maggiore vulnerabilità o severità. Questo consente una lettura immediata e intuitiva dei

risultati: un valore pari a 80, per esempio, segnala in qualsiasi dominio, una condizione significativamente più critica rispetto ad un valore di 20.

3.2.6. Costruzione dell'Indice ReSaR 1999: Metodologie e Interpretazione

Una volta standardizzati i tre *pillar* sociosanitari (IVS, RAS, OCS), si procede alla loro aggregazione nell'Indice di Resilienza Sanitaria Regionale (ReSaR). In coerenza con le migliori pratiche, e come raccomandato dal JRC–OECD, l'indice è stato calcolato impiegando quattro distinte tecniche di aggregazione: due di natura cardinale e due di natura ordinale. Questo approccio multi-metodo permette di testare la robustezza dei risultati e di valutare la sensibilità del *ranking* alle assunzioni metodologiche sottostanti.

I. *Media Aritmetica:* Rappresenta la forma di aggregazione più semplice, calcolata come:

$$ReSaR_i(\bar{X}) = \frac{IVS_i + RAS_i + OCS_i}{3}$$

Questa funzione ammette una piena compensazione (*full compensability*) tra i *pillar*, per cui un valore sfavorevole in un dominio può essere completamente bilanciato da valori favorevoli negli altri.

II. *Media Geometrica:* Per attenuare il principio di compensazione, è stata applicata anche la media geometrica:

$$ReSaR_i(\bar{X}_g) = (IVS_i * RAS_i * OCS_i)^{\frac{1}{3}}$$

Questo metodo attribuisce un peso maggiore agli squilibri, penalizzando le regioni che presentano uno o più *pillar* con valori estremamente elevati (e quindi ad alta vulnerabilità).

III. *Metodo di Borda:* Come tecnica ordinale, a ciascuna regione viene assegnata una posizione di rango per ogni *pillar* (dove 1 = migliore, 20 = peggiore). Il punteggio Borda è dato dalla somma dei tre ranghi:

$$ReSaR_{BORDA,i} = rank(IVS_i) + rank(RAS_i) + rank(OCS_i)$$

Le regioni sono ordinate in base al punteggio Borda crescente.

IV. *Metodo di Condorcet (Copeland):* Questa tecnica si basa su confronti binari. Ogni regione viene confrontata con tutte le altre su ciascun *pillar*. Il punteggio Copeland per la regione *i* è definito come:

$$ReSaR_{Condorcet,i} = W_i - L_i$$

dove W_i è il numero di vittorie (regioni peggiori della i -esima regione) e L_i è il numero di sconfitte (regioni migliori della i -esima regione). L'ordinamento finale è decrescente per punteggio Copeland.

3.2.7. L'Indice SevShoT: Un Dominio Mono-composito

Per il dominio climatico, la costruzione dell'indice risulta più diretta. L'Indice di Severità degli Shock Termici (SevShoT) è esso stesso un indicatore composito, che sintetizza la severità degli eventi estremi sulla base di soglie definite a livello regionale. Non essendo necessaria un'ulteriore aggregazione di *pillar*, lo scaling 0–100 viene applicato direttamente ai valori dell'indice SevShoT:

$$SevShoT_{0-100,i} = 100 * \frac{[SevShoT_i - \min(SevShoT)]}{\max(SevShoT) - \min(SevShoT)}$$

Il ranking climatico deriva, quindi, direttamente da questi valori standardizzati. In linea con le indicazioni del OCSE-JRC per indicatori mono-compositi, non sono state applicate metodologie di aggregazione alternative.

3.2.8. Risultati finali: ReSaR vs SevShoT 1999

La Tabella 3.18 sintetizza l'insieme dei risultati per il 1999, integrando i quattro metodi di aggregazione dell'Indice di Resilienza Sanitaria Regionale (ReSaR) con il *ranking* dell'Indice di Severità Climatica (SevShoT). Il quadro che ne emerge risulta di particolare chiarezza e si presta a un'analisi strutturata dei diversi profili regionali.

Tabella 3. 22 – Ranking ReSaR e SevShoT 1999

Indice	ReSaR	ReSaR	ReSaR	ReSaR	SevShoT
Metodo	Media	Media	Borda	Condorcet	
Regione	Aritmetica Rank	Geometrica Rank	Rank	Rank	Rank
Abruzzo	11	9	10	9	18
Basilicata	2	5	1	1	6
Calabria	3	1	3	2	16
Campania	4	4	3	2	10

Emilia-Romagna	18	18	18	18	11
Friuli-Venezia Giulia	12	11	9	9	3
Lazio	15	15	16	15	9
Liguria	20	20	19	20	5
Lombardia	17	17	17	15	12
Marche	14	13	14	17	15
Molise	5	1	5	2	19
Piemonte	13	14	10	12	7
Puglia	6	6	6	6	14
Sardegna	1	1	2	2	20
Sicilia	7	7	12	13	17
Toscana	16	16	14	14	13
Trentino-Alto Adige	8	8	7	7	2
Umbria	9	10	7	7	8
Valle d'Aosta	19	19	20	19	1
Veneto	10	12	13	9	4

In primo luogo, si osserva una notevole coerenza dei risultati forniti dai diversi metodi di aggregazione dell'indice ReSaR. Le regioni che presentano i valori più bassi – e quindi una minore vulnerabilità sociosanitaria – sono sistematicamente Basilicata, Calabria, Molise, Sardegna e Campania. La stabilità di questo gruppo nelle posizioni più favorevoli indica come, nel 1999, l'Italia meridionale e in particolare le sue aree interne mostrassero un profilo strutturale relativamente solido nei domini sociodemografici, nelle risorse e attività sanitarie e negli *outcome* sensibili al clima. Simmetricamente, le regioni che occupano le posizioni di maggiore vulnerabilità appaiono altrettanto stabili attraverso le diverse metodologie: Liguria, Valle d'Aosta, Emilia-Romagna, Lombardia e Lazio. Un caso di particolare interesse è rappresentato dalla Valle d'Aosta, la quale combina un punteggio ReSaR tra i più elevati (elevata vulnerabilità interna) con il valore SevShoT più basso a livello nazionale (pari a 0), configurandosi come un esempio pragmatico di discordanza tra la criticità del sistema sociosanitario e la favorevole condizione climatica.

Dall'analisi dell'indice SevShoT emerge, infatti, un marcato gradiente geografico Nord-Sud. Le regioni alpine e prealpine – Valle d'Aosta, Trentino-Alto Adige, Friuli-Venezia Giulia, Veneto – presentano condizioni climatiche relativamente miti. Al contrario, le regioni del Sud-Isole e le aree interne del Centro Italia registrano i valori di severità climatica più elevati. In questo contesto, la Sardegna si distingue per la massima esposizione climatica, nonostante sia tra le regioni più resilienti dal punto di vista socio-sanitario.

La rielaborazione dei dati tabellari consente di individuare quattro distinti profili di rischio regionale:

- Regioni strutturalmente solide e climaticamente avvantaggiate (es. Basilicata, Trentino-Alto Adige);
- Regioni strutturalmente solide ma climaticamente esposte (es. Calabria, Molise, Sardegna);
- Regioni strutturalmente vulnerabili ma climaticamente favorite (es. Liguria, Valle d'Aosta);
- Regioni caratterizzate da una doppia criticità, strutturale e climatica (es. Sicilia, Marche, Abruzzo).

In sintesi, l'analisi integrata per il 1999 rivela come la vulnerabilità interna dei sistemi socio-sanitari e la severità degli *hazard* climatici non presentino un andamento spaziale sovrapponibile. Tali discrepanze delineano un panorama territoriale complesso, le cui implicazioni sono rilevanti sia sul piano interpretativo che per la definizione di politiche mirate e differenziate.

3.3. Risultati 2010: dalle analisi fattoriali agli indici finali

Come per il 1999, tutti i *pillar* sono stati riportati su metrica 0–100 mediante trasformazione *min-max*. Con i *pillar* scalati, si procede alla sintesi per dominio (PCA con rotazione Varimax, pesi *data-driven*), alla costruzione dell'indice ReSaR (media aritmetica, media geometrica, Borda e Condorcet/Copeland) e al ranking del *pillar* climatico (SevShoT). Si riportano di seguito, i risultati principali.

3.3.1. Dominio sociodemografico (IVS)

Nel 2010 il dominio sociodemografico conferma una struttura latente articolata, con tre componenti che insieme spiegano oltre l'80% della varianza totale.

Tabella 3. 23 – IVS 2010 – Varianza totale spiegata

Fattore	Autovalore	Var %	Var % cumulata
F1	2,537	36,241	36,241
F2	2,040	29,149	65,391
F3	1,145	16,354	81,745

Le comunalità risultano elevate per la maggior parte delle variabili, indicando una buona capacità del modello di catturare l'informazione contenuta negli indicatori.

Tabella 3. 24 – IVS 2010 – Comunalità variabili

Comunalità	Iniziale	Estrazione
Popolazione residente	1,000	,762
Indice di invecchiamento	1,000	,929
Indice di povertà	1,000	,693
Percentuale over 65	1,000	,950
Tasso di disoccupazione	1,000	,853
PIL pro-capite	1,000	,896
Reddito da lavoro pro-capite	1,000	,639

La rotazione Varimax restituisce una configurazione interpretabile e coerente con quella osservata nel 1999:

Tabella 3. 25 – IVS 2010 – Valori dei fattori

Variabile	F1	F2	F3
Popolazione residente	-,474	-,070	,730
Indice di invecchiamento	,963	-,035	,019
Indice di povertà	,367	-,047	,745
Percentuale over 65	,960	-,162	,050
Tasso di disoccupazione	-,491	,781	-,046

PIL pro-capite	-,210	,898	-,213
Reddito da lavoro pro-capite	,208	,768	,075

La prima componente riflette dimensioni di pressione demografica e vulnerabilità strutturale (carichi elevati su densità/popolazione e anziani); la seconda componente sintetizza variabili economico-occupazionali (tasso di disoccupazione, PIL pro-capite, reddito); la terza componente esprime condizioni di fragilità socioeconomica legate agli indici di povertà e popolazione.

Sulla base delle somme dei quadrati di rotazione, i pesi risultano distribuiti come segue: 0,443 – 0,357 – 0,200. Il *pillar* IVS 2010 è, dunque, ottenuto come media ponderata dei punteggi fattoriali, con valore crescente al peggiorare della condizione sociodemografica. Rispetto al 1999, la struttura resta stabile: una componente “demografica”, una “economico-occupazionale” e una terza più improntata alla “densità/povertà”.

3.3.2. Dominio delle risorse e delle attività sanitarie (RAS)

Il dominio RAS presenta una struttura più articolata rispetto al 1999, con sei componenti selezionate secondo il criterio di Kaiser e supportate dall’interpretabilità sostantiva. La varianza cumulata supera il 70%, mostrando una buona capacità sintetica del modello.

Tabella 3. 26 – RAS 2010 – Varianza totale spiegata

Fattore	Autovalore	Var %	Var % cumulata
F1	3,308	25,443	25,443
F2	2,322	17,859	43,302
F3	2,141	16,473	59,774
F4	1,958	15,065	74,839
F5	1,282	9,865	84,704
F6	1,094	8,413	93,118

Le comunalità riflettono la bontà del metodo:

Tabella 3. 27 – RAS 2010 – Comunalità variabili

Comunalità	Iniziale	Estrazione
Spesa sanitaria pubblica pro-capite	1,000	,861

Spesa sanitaria privata pro-capite	1,000	,954
Strutture di ricovero pubbliche	1,000	,912
Numero di ASL	1,000	,926
Tasso di posti letto	1,000	,917
Apparecchiature diagnostiche	1,000	,966
Camere iperbariche	1,000	,889
Totale medici	1,000	,972
Personale SSN	1,000	,913
Tasso di ospedalizzazione	1,000	,951
Degenza media	1,000	,958
Tasso di ricorso al PS	1,000	,984
Tasso di dimissioni ricovero ordinario	1,000	,902

Le componenti estratte riflettono diverse dimensioni:

Tabella 3. 28 – RAS 2010 – Valori dei fattori

Variabile	F1	F2	F3	F4	F5	F6
Spesa sanitaria pubblica pro-capite	-,309	,789	-,343	-,118	-,042	,098
Spesa sanitaria privata pro-capite	-,801	-,114	-,507	-,009	,198	-,047
Strutture di ricovero pubbliche	,905	-,199	,122	,181	,026	,069
Numero di ASL	,537	,046	,756	,239	-,045	,079
Tasso di posti letto	-,065	,843	,128	-,364	-,206	-,100
Apparecchiature diagnostiche	,917	-,039	,323	,031	-,128	,045
Camere iperbariche	,246	-,054	,861	,113	-,249	-,096
Totale medici	-,078	-,186	-,259	-,029	,904	,215
Personale SSN	-,722	,407	,037	,093	-,463	,044
Tasso di ospedalizzazione	,037	-,146	,010	,938	,076	,207
Degenza media	-,035	-,829	-,168	-,421	,086	,238
Tasso di ricorso al PS	,093	-,112	-,023	,176	,171	,950
Tasso di dimissioni ricovero ordinario	-,141	-,082	-,470	-,782	,208	-,002

- disponibilità di risorse strutturali (posti letto, dotazioni ospedaliere);
- personale e capitale umano sanitario;
- attività territoriale e ospedaliera;
- intensità d'uso dei servizi;

- indicatori di prossimità e accesso;
- efficienza tecnico-organizzativa.

La rotazione Varimax restituisce un quadro leggibile, con *cluster* di variabili ben definiti e carichi elevati sulle dimensioni più omogenee.

I pesi risultano coerenti con tale configurazione e sono distribuiti come segue: 0,273 – 0,192 – 0,177 – 0,162 – 0,106 – 0,090. Il *pillar* RAS 2010 è, quindi, costruito come somma ponderata dei punteggi fattoriali, con valori più elevati associati a maggior stress del sistema di risorse e servizi.

3.3.3. Dominio *outcome* sanitario *climate-sensitive* (OCS)

L'analisi PCA sugli indicatori di *outcome* sanitari *climate-sensitive* seleziona cinque componenti, che complessivamente spiegano oltre il 90% della varianza totale, un risultato molto simile a quello ottenuto per il 1999.

Tabella 3. 29 – OCS 2010 – Varianza totale spiegata

Fattore	Autovalore	Var %	Var % cumulata
F1	2,451	22,279	22,279
F2	2,298	20,895	43,174
F3	1,947	17,704	60,878
F4	1,524	13,856	74,734
F5	1,236	11,239	85,973

Confermata dalla comunalità vicino ad 1:

Tabella 3. 30 – OCS 2010 – Comunalità variabili

Comunalità	Iniziale	Estrazione
Tasso di dimissioni per infarto del miocardio	1,000	,892
Tasso di dimissioni per malattie ischemiche	1,000	,896
Tasso di dimissioni per malattie cerebrovascolari	1,000	,866
Tasso di dimissioni per malattie respiratorie	1,000	,920
Tasso di dimissioni per polmonite/influenza	1,000	,915
Tasso di dimissioni per malattie polmonari croniche	1,000	,704
Tasso di dimissioni per diabete	1,000	,814

Tasso di dimissioni per disturbi psicologici	1,000	,907
Tasso di dimissioni per schizofrenia	1,000	,882
Tasso di dimissioni per disturbi d'ansia	1,000	,780
Tasso di dimissioni per complicanze ostetriche	1,000	,881

La rotazione Varimax evidenzia una distinzione chiara tra gli *outcome* climaticamente sensibili.

Tabella 3. 31 – OCS 2010 – Valori dei fattori

Variabile	F1	F2	F3	F4	F5
Tasso di dimissioni per infarto del miocardio	,108	-,098	,332	,871	-,043
Tasso di dimissioni per malattie ischemiche	,858	-,043	,312	,202	-,141
Tasso di dimissioni per malattie cerebrovascolari	,279	,204	,722	,347	-,325
Tasso di dimissioni per malattie respiratorie	,126	,160	,913	-,051	,206
Tasso di dimissioni per polmonite/influenza	-,948	,001	,044	,119	-,001
Tasso di dimissioni per malattie polmonari croniche	,667	-,146	,274	-,184	,359
Tasso di dimissioni per diabete	,330	-,062	,374	-,723	-,194
Tasso di dimissioni per disturbi psicologici	-,199	,884	,264	-,122	-,035
Tasso di dimissioni per schizofrenia	,289	,849	,264	,092	-,013
Tasso di dimissioni per disturbi d'ansia	-,181	,823	-,169	-,006	,206
Tasso di dimissioni per complicanze ostetriche	,036	,128	,025	,077	,926

I pesi post-rotazione, utilizzati per la sintesi del *pillar*, sono rispettivamente: 0,259 – 0,243 – 0,206 – 0,161 – 0,131. Anche in questo caso il *pillar* OCS assume valori più elevati al peggiorare degli esiti sanitari.

3.3.4. Dominio climatico (SevShoT)

L'analisi fattoriale condotta sul dominio climatico per il 2010 restituisce inizialmente quattro componenti (Tabella 3.32). Tuttavia, in coerenza con il criterio di Kaiser (autovalori ≥ 1) e con lo *scree-plot*, solo i primi tre fattori risultano rilevanti dal punto di vista sostantivo, spiegando complessivamente il 95,74% della varianza totale. Il quarto fattore, caratterizzato da un autovalore pari a 0,184 e da un contributo inferiore al 2%, viene pertanto considerato come componente residuale e non discusso ulteriormente. A differenza del 1999, per il 2010 il dominio climatico presenta una struttura latente più articolata e chiaramente interpretabile. L'ordinamento finale segue direttamente i valori dell'indice (\uparrow = shock più severi). Di seguito le Tabelle riassuntive:

Tabella 3. 32 – SevShoT 2010 – Varianza totale spiegata

Fattore	Autovalore	Var %	Var % cumulata
F1	3,913	43,483	43,483
F2	2,841	31,563	75,045
F3	1,862	20,694	95,739
F4	,184	2,042	97,781

L'analisi fattoriale conferma la presenza di tre fattori principali, che insieme spiegano oltre il 95% della varianza totale.

Tabella 3. 33 – SevShoT 2010 – Comunalità variabili

Comunalità	Iniziale	Estrazione
Temperatura massima	1,000	,983
Temperatura minima	1,000	,987
Temperatura media	1,000	,998
Numero di ondate di calore	1,000	,974
Numero di ondate di gelo	1,000	,970
Giorni di ondate di calore	1,000	,982
Giorni di ondate di gelo	1,000	,967
Intensità di ondate di calore	1,000	,983
Intensità di ondate di gelo	1,000	,987

Le comunalità risultano estremamente elevate per tutte le variabili climatiche (Tabella 3.33), con valori di estrazione sempre superiori a 0,96, indicando una forte coerenza interna del dominio e una sostanziale capacità dei fattori di sintetizzare l'intera variabilità osservata. In altre parole, quasi tutta l'informazione contenuta negli indicatori di temperatura, frequenza, durata e intensità delle ondate estreme viene efficacemente condensata nei primi quattro fattori estratti.

La matrice ruotata (Tabella 3.34) restituisce una struttura molto nitida:

Tabella 3. 34 – SevShoT 2010 – Valori dei fattori

Variabile	F1	F2	F3	F4
Temperatura massima	,983	,066	-,073	,078
Temperatura minima	,972	-,083	-,183	-,036

Temperatura media	,991	-,005	-,127	,024
Numero di ondate di calore	,026	,905	,276	-,277
Numero di ondate di gelo	-,138	,112	,967	-,059
Giorni di ondate di calore	,026	,979	,082	,124
Giorni di ondate di gelo	-,549	,288	,754	,119
Intensità di ondate di calore	-,087	,977	,028	,070
Intensità di ondate di gelo	-,831	,026	,470	,246

Il primo fattore (F1) sintetizza le condizioni termometriche generali (temperature massima, minima e media), tutte con carichi prossimi all'unità; il secondo fattore (F2) è associato in modo univoco alla dinamica delle ondate di calore (numero, giorni e intensità degli episodi), con *loadings* nell'ordine di 0,90–0,98; il terzo fattore (F3) cattura, invece, la variabilità delle ondate di gelo, con carichi elevati sulle rispettive misure di frequenza e intensità.

In linea con il quadro metodologico definito per il 1999, l'indice SevShoT non viene sintetizzato tramite i punteggi fattoriali, ma deriva direttamente dagli indicatori climatici elementari, successivamente normalizzati su scala 0–100 per garantire la confrontabilità tra regioni e anni. Il *ranking* conclusivo segue, quindi, direttamente i valori dell'indice, mantenendo la logica interpretativa dell'intero impianto (↑ = shock termici più severi).

3.3.5. Costruzione dell'Indice ReSaR 2010: Metodologie e Interpretazione

Per il 2010, l'Indice di Resilienza Sanitaria Regionale è costruito aggregando i tre *pillar* sociosanitari — IVS, RAS e OCS — previamente normalizzati su scala 0–100. La procedura segue esattamente lo schema adottato per il 1999, così da garantire coerenza temporale e confrontabilità dei risultati.

In primo luogo, è stata calcolata la media aritmetica semplice dei tre *pillar*, trattata come soluzione *baseline*. Tale aggregazione assume che ogni dominio contribuisca in misura uguale alla vulnerabilità complessiva, senza introdurre pesi differenziati. L'indice risultante restituisce un ordinamento stabile e coerente, con valori più elevati nelle regioni caratterizzate da maggiori criticità sociodemografiche o organizzative.

In secondo luogo, è stata applicata la media geometrica, che costituisce un'alternativa più prudente nei confronti di eventuali squilibri interni ai tre domini. Questo metodo penalizza esplicitamente le configurazioni “sbilanciate”, in cui una regione mostra performance molto deboli su almeno uno dei *pillar*, anche a fronte di valori più favorevoli sugli altri. Il ranking

ottenuto tende, quindi, a differenziarsi maggiormente rispetto alla media aritmetica nelle regioni con profili compositi eterogenei.

Ai fini di robustezza, sono stati applicati anche i due metodi di tipo ordinale:

- Il metodo Borda che assegna a ciascuna regione punteggi basati sui ranghi ottenuti in IVS, RAS e OCS, costruendo un ordinamento che dipende dalla posizione relativa e non dai valori assoluti;
- Il metodo Condorcet (Copeland score) che confronta, invece, le regioni “a coppie”, verificando quante volte ogni regione prevale sulle altre in almeno due dei tre *pillar*. Tale approccio fornisce una misura di dominanza più fine e spesso più selettiva, utile ad individuare configurazioni di vulnerabilità particolarmente robuste o, al contrario, fragili.

Il confronto tra le quattro aggregazioni (aritmetica, geometrica, Borda e Condorcet) restituisce un quadro ampiamente coerente. Le regioni caratterizzate da livelli persistentemente più elevati di stress sociosanitario tendono a collocarsi in posizioni alte nelle classifiche di tutti i metodi, mentre le regioni più resilienti mantengono posizioni basse. Le differenze più marcate emergono per alcune regioni “intermedie”, il cui ranking varia a seconda della maggiore o minore penalizzazione degli squilibri interni (media geometrica) o della forza relativa nei confronti bilaterali (Condorcet).

3.3.6. Risultati finali: ReSaR vs SevShoT 2010

La Tabella 3.35 riporta i ranking regionali ottenuti nel 2010 sulla base dei quattro metodi di aggregazione dell'indice ReSaR (media aritmetica, media geometrica, metodo di Borda e Condorcet) e, a completamento, la graduatoria dell'indice climatico SevShoT. Tale rappresentazione integrata permette di osservare in modo immediato quanto i posizionamenti regionali siano stabili al variare del metodo e, al contempo, di individuare i casi in cui la struttura multidimensionale della vulnerabilità produce esiti più sensibili alla tecnica aggregativa utilizzata.

Tabella 3. 35 – Ranking ReSaR e SevShoT 2010

Indice	ReSaR	ReSaR	ReSaR	ReSaR	SevShoT
Metodo	Media	Media	Borda	Condorcet	
Regione	Aritmetica Rank	Geometrica Rank	Rank	Rank	Rank
Abruzzo	7	10	6	7	3
Basilicata	10	11	12	10	2
Calabria	5	1	4	2	11
Campania	12	12	12	10	7
Emilia-Romagna	13	14	14	15	13
Friuli-Venezia Giulia	3	1	5	5	19
Lazio	19	19	18	17	9
Liguria	20	20	20	19	17
Lombardia	14	16	9	7	16
Marche	16	13	16	16	14
Molise	11	1	9	10	15
Piemonte	17	18	19	19	5
Puglia	4	9	2	4	18
Sardegna	6	1	8	9	12
Sicilia	18	17	17	17	8
Toscana	15	15	15	14	6
Trentino-Alto Adige	1	1	1	1	10
Umbria	8	1	11	13	4
Valle d'Aosta	2	7	3	2	1
Veneto	9	8	6	5	20

L'analisi relativa al 2010 mette in evidenza un quadro territoriale profondamente diverso rispetto a quello emerso per il 1999. La costruzione dell'indice ReSaR secondo i quattro metodi di aggregazione – media aritmetica, media geometrica, Borda e Condorcet – restituisce, infatti, una configurazione molto più polarizzata verso l'alto da parte delle regioni del Nord e di alcune

realità alpine, mentre il Centro-Sud-Isole mostrano una maggiore eterogeneità e, in diversi casi, un arretramento rispetto ai livelli osservati nell'anno base 1999.

Il dato più evidente è la performance decisamente positiva del Trentino-Alto Adige, che nel 2010 si colloca stabilmente al primo posto in quasi tutti i metodi (MA, MG e Borda) e conferma questa posizione anche nella procedura di confronto a coppie (Condorcet). Tale coerenza suggerisce una robusta superiorità relativa in tutte le componenti del sistema ReSaR, sia interne (IVS, RAS, OCS) sia climatiche (SevShoT), e rende il Trentino-Alto Adige il *benchmark* nazionale del 2010.

Tra le regioni che si avvicinano agli standard trentini, emergono Valle d'Aosta e Friuli-Venezia Giulia, entrambe significativamente migliorate rispetto al 1999. La Valle d'Aosta risulta addirittura prima nell'indice SevShoT, confermando una particolare tenuta climatica rispetto agli shock termici, mentre il Friuli-Venezia Giulia si colloca stabilmente nella fascia alta degli indici sintetici. Questi risultati indicano una maggiore compattezza dei sistemi territoriali alpini, capaci di coniugare buona dotazione infrastrutturale, efficienza dei servizi e minore vulnerabilità climatica.

Nel resto del Centro-Nord la situazione appare più diversificata: il Veneto si mantiene su livelli medio-alti, mentre regioni tipicamente forti come Emilia-Romagna, Lombardia e Toscana mostrano valori più moderati, indicando una minore omogeneità nelle componenti di resilienza interna. Più marcato è l'arretramento di regioni come Piemonte, che nel 2010 si posiziona nelle parti medio-basse della graduatoria indipendentemente dal metodo di aggregazione utilizzato.

Il quadro del Mezzogiorno presenta dinamiche ancora più marcate. Se Puglia e Calabria mostrano miglioramenti in alcune dimensioni (soprattutto Puglia nel metodo Borda), regioni come Basilicata, Molise e Sicilia perdono posizioni rispetto al 1999, collocandosi nel 2010 nella parte bassa della classifica complessiva. Particolarmente significativa è la retrocessione della Basilicata, che nel 1999 si collocava ai primi posti in quasi tutti i metodi, mentre nel 2010 scivola stabilmente nella metà inferiore. Anche Lazio e Campania si collocano in posizioni medio-basse, confermando la persistenza di criticità strutturali soprattutto nei pilastri IVS e RAS.

Infine, l'indice climatico SevShoT evidenzia un quadro molto chiaro: dominano le regioni alpine, mentre le aree meridionali risultano complessivamente più esposte agli shock termici.

Questo elemento contribuisce ad ampliare la distanza complessiva tra Nord e Sud-Isole nel 2010, rafforzando la lettura divergente proposta dall'indice ReSaR.

Nel loro insieme, i risultati del 2010 restituiscono, quindi, un'Italia più disomogenea rispetto al 1999, con un netto rafforzamento delle regioni settentrionali a maggiore vocazione montana e una perdita di posizioni di molte regioni meridionali. La coerenza tra i quattro metodi di aggregazione conferisce robustezza a questa lettura complessiva.

Oltre al cambiamento delle posizioni relative, i risultati del 2010 riflettono anche alcune dinamiche politico-economiche che hanno caratterizzato il decennio 2000–2010 e che possono contribuire a spiegare la divergenza osservata tra le diverse aree del Paese.

In primo luogo, il rafforzamento delle regioni alpine e nord-orientali (Trentino-Alto Adige, Valle d'Aosta, Friuli-Venezia Giulia) non è soltanto il risultato di migliori performance amministrative o infrastrutturali, ma si inserisce in un contesto territoriale segnato da:

- una maggiore autonomia istituzionale e fiscale;
- politiche pubbliche più stabili e con continuità pluriennale;
- un tessuto produttivo orientato verso settori ad alta intensità tecnologica o ad elevata qualità.

Questo mix ha favorito un rafforzamento della resilienza interna, una gestione più efficace dei servizi e una maggiore capacità di risposta ai cambiamenti socioeconomici, riflessa nei punteggi più elevati nei tre pilastri IVS, RAS e OCS.

In secondo luogo, il peggioramento relativo di molte regioni meridionali va inquadrato nella difficoltà strutturale di tradurre gli investimenti pubblici del periodo 2000–2010 in miglioramenti stabili della qualità istituzionale, infrastrutturale e di mercato del lavoro. La ridotta continuità delle politiche regionali, l'elevata frammentazione amministrativa e i livelli ancora bassi di partecipazione al mercato del lavoro hanno limitato la capacità del Sud-Isole di tenere il passo con le trasformazioni produttive e tecnologiche del decennio. Regioni come Basilicata, Molise o Calabria – che nel 1999 mostravano performance relativamente migliori – sembrano risentire nel 2010 di:

- scarsa diversificazione economica;
- debolezza del sistema dei servizi avanzati;
- difficoltà nel trattenere capitale umano qualificato;

- limitata capacità di attrarre investimenti privati esteri e nazionali.

Tutto ciò si riflette direttamente sulle componenti RAS e OCS, spiegandone la riduzione relativa.

Un terzo elemento riguarda il quadro macroeconomico nazionale e internazionale. Il periodo 2008–2010 è stato segnato dalla crisi finanziaria globale, che ha colpito in modo differenziato i territori italiani. Le regioni con sistemi produttivi più diversificati, maggiore presenza di imprese medie e forti reti di export hanno mostrato una maggiore resilienza. Viceversa, le economie più dipendenti da piccole imprese locali o da settori tradizionali hanno evidenziato maggiori difficoltà nel recupero post-crisi. Non sorprende, quindi, che regioni come Emilia-Romagna e Lombardia – pur non prime in classifica – mantengano posizioni relativamente stabili, mentre altre regioni con struttura economica più fragile mostrano arretramenti più evidenti.

Infine, la componente climatica (SevShoT) introduce una dimensione sempre più rilevante per le politiche territoriali. Le regioni meridionali – già segnate da fragilità economico-istituzionali – risultano contemporaneamente più vulnerabili agli shock termici, ampliando il divario Nord-Sud-Isole in termini di capacità di adattamento e resilienza complessiva.

3.4. Risultati 2021: dalle analisi fattoriali agli indici finali

Come per il 1999 e il 2010, tutti i *pillar* sono stati riportati su metrica 0–100 mediante trasformazione min–max. Con i *pillar* scalati, si procede alla sintesi per dominio (PCA con rotazione Varimax, pesi *data-driven*), alla costruzione dell'indice ReSaR (media aritmetica, media geometrica, Borda e Condorcet/Copeland) e al ranking del *pillar* climatico (SevShoT). Si riportano di seguito i risultati principali.

3.4.1. Dominio sociodemografico (IVS)

Nel 2021 il dominio sociodemografico conferma una struttura latente articolata, con tre componenti che insieme spiegano oltre il 90% della varianza totale (Tabella 3.36):

Tabella 3. 36 – IVS 2021 – Varianza totale spiegata

Fattore	Autovalore	Var %	Var % cumulata
F1	3,165	45,214	45,214
F2	2,186	31,232	76,446
F3	1,016	14,509	90,955

Le comunalità risultano elevate per tutte le variabili (sempre $\geq 0,81$), indicando una buona capacità del modello di catturare l'informazione (Tabella 3.37).

Tabella 3. 37 – IVS 2021 – Comunalità variabili

Comunalità	Iniziale	Estrazione
Popolazione residente	1,000	,884
Indice di invecchiamento	1,000	,958
Indice di povertà	1,000	,925
Percentuale over 65	1,000	,959
Tasso di disoccupazione	1,000	,863
PIL pro-capite	1,000	,968
Reddito da lavoro pro-capite	1,000	,810

La rotazione Varimax restituisce una configurazione coerente (Tabella 3.38):

Tabella 3. 38 – IVS 2021 – Valori dei fattori

Variabile	F1	F2	F3
Popolazione residente	-,077	-,399	,848
Indice di invecchiamento	-,030	,959	-,191
Indice di povertà	,940	-,204	-,002
Percentuale over 65	-,171	,949	-,170
Tasso di disoccupazione	,852	-,363	-,071
PIL pro-capite	,972	,068	-,137
Reddito da lavoro pro-capite	,758	,169	,455

- F1: condizioni economico-occupazionali/benessere materiale (carichi su PIL pro-capite, tasso di disoccupazione, indice di povertà, reddito);
- F2: struttura demografica/invecchiamento (% over 65, indice di invecchiamento);

- F3: scala insediativa/capitale reddituale (popolazione residente; componente specifica del reddito).

Il *pillar* IVS 2021 è ottenuto come media ponderata con i pesi post-rotazione (normalizzati sulla varianza spiegata): 0,497 – 0,343 – 0,160 dei punteggi fattoriali, con valore crescente al peggiorare della condizione sociodemografica (come negli anni precedenti).

3.4.2. Dominio delle risorse e delle attività sanitarie (RAS)

Il dominio RAS nel 2021 presenta una struttura più articolata, con sei componenti selezionate secondo il criterio di Kaiser e supportate dall'interpretabilità sostantiva. La varianza cumulata raggiunge 92,549% (Tabella 3.39).

Tabella 3. 39 – RAS 2021 – Varianza totale spiegata

Fattore	Autovalore	Var %	Var % cumulata
F1	3,854	29,648	29,648
F2	3,270	25,152	54,800
F3	1,487	11,438	66,238
F4	1,276	9,817	76,055
F5	1,183	9,100	85,155
F6	,961	7,394	92,549

Valori elevati e stabili su quasi tutte le variabili (Tabella 3.40), con picchi su apparecchiature diagnostiche e camere iperbariche.

Tabella 3. 40 – RAS 2021 – Comunalità variabili

Comunalità	Iniziale	Estrazione
Spesa sanitaria pubblica pro-capite	1,000	,972
Spesa sanitaria privata pro-capite	1,000	,935
Strutture di ricovero pubbliche	1,000	,926
Numero di ASL	1,000	,922
Tasso di posti letto	1,000	,935
Apparecchiature diagnostiche	1,000	,984
Camere iperbariche	1,000	,980
Totale medici	1,000	,931
Personale SSN	1,000	,890
Tasso di ospedalizzazione	1,000	,946
Degenza media	1,000	,935

Tasso di ricorso al PS	1,000	,751
Tasso di dimissioni ricovero ordinario	1,000	,924

Le componenti estratte riflettono dimensioni interpretabili (Tabella 3.41):

Tabella 3. 41 – RAS 2021 – Valori dei fattori

Variabile	F1	F2	F3	F4	F5	F6
Spesa sanitaria pubblica pro-capite	-,338	-,373	-,137	-,080	-,186	,812
Spesa sanitaria privata pro-capite	-,921	,081	,109	,188	-,142	,111
Strutture di ricovero pubbliche	,902	,309	,104	,057	-,044	-,020
Numero di ASL	,775	,101	-,437	,108	,209	-,256
Tasso di posti letto	,084	-,689	-,499	-,018	-,264	,366
Apparecchiature diagnostiche	,980	,024	-,002	-,013	,132	-,079
Camere iperbariche	,214	,129	,093	-,182	,924	-,147
Totale medici	-,182	,032	,265	,859	-,286	-,073
Personale SSN	-,434	-,571	-,015	-,586	-,175	-,011
Tasso di ospedalizzazione	-,058	,953	,043	-,046	,059	-,168
Degenza media	-,063	,033	,932	,219	,073	-,087
Tasso di ricorso al PS	,064	,805	-,158	,229	-,047	-,137
Tasso di dimissioni ricovero ordinario	-,481	-,801	-,174	,029	-,135	-,035

- F1: dotazione infrastrutturale/tecnologica e rete pubblica (apparecchiature, strutture di ricovero, ASL);
- F2: intensità d’uso ospedaliero (ospedalizzazione, ricorso al PS; in opposizione posti letto e dimissioni ordinarie);
- F3: complessità dei ricoveri (degenza media);
- F4: capitale professionale medico (totale medici);
- F5: tecnologie specialistiche (camere iperbariche);
- F6: finanziamento pubblico pro-capite (spesa sanitaria pubblica).

Il *pillar* RAS 2021 è costruito come somma ponderata dei punteggi fattoriali con pesi normalizzati post rotazione (rispettivamente: 0,320 – 0,272 – 0,124 – 0,106 – 0,098 – 0,080). Valori più elevati sono associati a maggior stress del sistema di risorse e servizi.

3.4.3. Dominio *outcome* sanitari *climate-sensitive* (OCS)

La PCA sugli *outcome* sanitari *climate-sensitive* seleziona cinque componenti, che complessivamente spiegano l'82,963% della varianza (Tabella 3.42).

Tabella 3. 42 – OCS 2021 – Varianza totale spiegata

Fattore	Autovalore	Var %	Var % cumulata
F1	2,771	25,188	25,188
F2	2,026	18,421	43,608
F3	1,583	14,390	57,999
F4	1,426	12,964	70,962
F5	1,320	12,000	82,963

Valori alti e omogenei per le comunalità (Tabella 3.43), a conferma della buona rappresentazione:

Tabella 3. 43 – OCS 2021 – Comunalità variabili

Comunalità	Iniziale	Estrazione
Tasso di dimissioni per infarto del miocardio	1,000	,848
Tasso di dimissioni per malattie ischemiche	1,000	,754
Tasso di dimissioni per malattie cerebrovascolari	1,000	,774
Tasso di dimissioni per malattie respiratorie	1,000	,924
Tasso di dimissioni per polmonite/influenza	1,000	,886
Tasso di dimissioni per malattie polmonari croniche	1,000	,748
Tasso di dimissioni per diabete	1,000	,925
Tasso di dimissioni per disturbi psicologici	1,000	,862
Tasso di dimissioni per schizofrenia	1,000	,789
Tasso di dimissioni per disturbi d'ansia	1,000	,858
Tasso di dimissioni per complicanze ostetriche	1,000	,758

La rotazione Varimax evidenzia una distinzione chiara tra i tassi di dimissione (Tabella 3.44):

Tabella 3. 44 – OCS 2021 – Valori dei fattori

Variabile	F1	F2	F3	F4	F5
Tasso di dimissioni per infarto del miocardio	,495	,011	-,029	,648	-,427
Tasso di dimissioni per malattie ischemiche	-,175	-,138	,815	,048	-,196
Tasso di dimissioni per malattie cerebrovascolari	,811	-,005	,296	,087	-,144
Tasso di dimissioni per malattie respiratorie	,900	,180	-,285	,013	,004
Tasso di dimissioni per polmonite/influenza	,871	,121	-,215	-,181	,183
Tasso di dimissioni per malattie polmonari croniche	-,119	-,139	,122	,829	,115
Tasso di dimissioni per diabete	,050	,051	-,081	,042	,955
Tasso di dimissioni per disturbi psicologici	,421	,760	,302	-,102	,072
Tasso di dimissioni per schizofrenia	,042	,449	,751	,080	,123
Tasso di dimissioni per disturbi d'ansia	,149	,846	,006	-,325	-,119
Tasso di dimissioni per complicanze ostetriche	-,225	,666	-,162	,390	,294

- F1: cardio-respiratorio acuto (respiratorie; polmonite/influenza; cerebrovascolari);
- F2: sfera psico-comportamentale/ostetrica (ansia; disturbi psicologici; complicanze ostetriche);
- F3: ischemico-metabolico (diabete) e disturbi mentali gravi (ischemia; schizofrenia);
- F4: cronicità cardio-respiratoria (malattie polmonari croniche; infarto);
- F5: cronicità metabolica (diabete).

Il *pillar* OCS 2021 assume valori più elevati al peggiorare degli esiti sanitari, in coerenza con 1999 e 2010, con media ponderata con i pesi post-rotazione con valori rispettivamente: 0,304 – 0,222 – 0,173 – 0,156 – 0,145.

3.4.4. Dominio climatico (SevShoT)

L'analisi fattoriale sul dominio climatico restituisce quattro componenti (Tabella 3.45) che spiegano 96,712% della varianza:

Tabella 3. 45 – SevShoT 2021 – Varianza totale spiegata

Fattore	Autovalore	Var %	Var % cumulata
F1	2,849	31,660	31,660
F2	2,717	30,190	61,850
F3	2,246	24,950	86,800

F4	,892	9,912	96,712
-----------	------	-------	--------

A conferma, le comunalità prossime all'unità, con la temperatura media che assume valore massimo spiegato:

Tabella 3. 46 – SevShoT 2021 – Comunalità variabili

Comunalità	Iniziale	Estrazione
Temperatura massima	1,000	,963
Temperatura minima	1,000	,968
Temperatura media	1,000	1,000
Numero di ondate di calore	1,000	,997
Numero di ondate di gelo	1,000	,890
Giorni di ondate di calore	1,000	,994
Giorni di ondate di gelo	1,000	,966
Intensità di ondate di calore	1,000	,988
Intensità di ondate di gelo	1,000	,938

Infine, i valori dei fattori rappresentati dalla Tabella 3.47, mostrano chiare distinzioni:

Tabella 3. 47 – SevShoT 2021 – Valori dei fattori

Variabile	F1	F2	F3	F4
Temperatura massima	,926	-,113	,303	,040
Temperatura minima	,968	-,091	-,133	,076
Temperatura media	,988	-,107	,088	,061
Numero di ondate di calore	,129	-,168	,433	,875
Numero di ondate di gelo	-,015	,923	-,188	-,044
Giorni di ondate di calore	,100	-,057	,945	,295
Giorni di ondate di gelo	-,107	,970	-,077	-,082
Intensità di ondate di calore	,066	-,009	,985	,115
Intensità di ondate di gelo	-,191	,927	,189	-,085

- F1: livello termico medio (temperatura massima, minima e media);
- F2: dinamica del gelo (numero, giorni, intensità ondate di gelo);
- F3: intensità/durata del calore (giorni e intensità ondate di calore);

- F4: frequenza degli eventi di calore (numero ondate di calore)

In linea con il quadro metodologico adottato per il 1999 e il 2010, l'indice SevShoT non viene sintetizzato tramite i punteggi fattoriali, ma deriva direttamente dagli indicatori climatici elementari, successivamente normalizzati su scala 0–100 per garantire la confrontabilità. Il ranking finale segue direttamente i valori dell'indice (\uparrow = shock più severi).

3.4.5. Costruzione dell'indice ReSaR 2021: Metodologie e interpretazione

Per il 2021, l'Indice di Resilienza Sanitaria Regionale è costruito aggregando i tre *pillar* sociosanitari — IVS, RAS e OCS — previamente normalizzati su scala 0–100. La procedura replica esattamente lo schema già adottato per 1999 e 2010, garantendo coerenza temporale e confrontabilità:

1. **Media aritmetica (baseline).** Tratta i tre *pillar* come egualmente rilevanti. L'indice risultante restituisce un ordinamento stabile e coerente: valori più elevati identificano condizioni più critiche;
2. **Media geometrica.** Alternativa più prudente rispetto a squilibri interni. Penalizza i profili sbilanciati, dove un *pillar* molto debole non è compensato dagli altri;
3. **Borda.** Costruisce il ranking sui ranghi ottenuti in IVS, RAS e OCS, prescindendo dai valori assoluti;
4. **Condorcet (Copeland).** Confronti a coppie tra regioni: misura di dominanza (vittorie–sconfitte) utile a distinguere configurazioni particolarmente robuste o fragili.

Il confronto tra le quattro aggregazioni (aritmetica, geometrica, Borda e Condorcet) restituisce, anche per il 2021, un quadro ampiamente coerente: le regioni persistentemente più esposte a stress sociosanitario risultano alte in tutte le classifiche; le regioni più resilienti mantengono posizioni basse. Differenze più marcate emergono per i profili intermedi, dove la media geometrica penalizza le disomogeneità e il metodo Condorcet valorizza la prevalenza nei confronti bilaterali.

3.4.6. Risultati finali: ReSaR vs SevShoT 2021

Nel 2021 la struttura territoriale della resilienza sanitaria italiana mostra alcune importanti riconferme e inversioni parziali rispetto al decennio precedente. I vertici della graduatoria si confermano appannaggio delle regioni alpine e nord-orientali, mentre le regioni del Mezzogiorno, pur con alcune eccezioni, tendono a occupare le posizioni inferiori della classifica. Di seguito i risultati:

Tabella 3. 48 – Ranking ReSaR e SevShoT 2021

Indice	ReSaR	ReSaR	ReSaR	ReSaR	SevShoT
Metodo	Media	Media	Borda	Condorcet	
Regione	Aritmetica Rank	Geometrica Rank	Rank	Rank	Rank
Abruzzo	16	17	16	16	2
Basilicata	4	7	7	9	14
Calabria	14	1	13	13	11
Campania	17	12	18	19	17
Emilia-Romagna	9	14	7	7	5
Friuli-Venezia Giulia	3	8	1	2	3
Lazio	18	18	14	15	9
Liguria	19	19	19	16	7
Lombardia	11	11	10	8	4
Marche	8	13	5	5	15
Molise	15	1	16	18	18
Piemonte	13	16	14	12	19
Puglia	10	1	12	14	8
Sardegna	6	1	8	10	16
Sicilia	20	20	20	20	12
Toscana	12	15	11	10	13
Trentino-Alto Adige	1	1	1	2	6
Umbria	5	9	3	4	20
Valle d'Aosta	2	1	3	1	1
Veneto	7	10	6	5	10

L'analisi relativa al 2021 restituisce un quadro territoriale ulteriormente diverso rispetto a quello osservato nel 2010 e ancor più lontano rispetto alla configurazione registrata nel 1999. Le quattro procedure di aggregazione dell'indice ReSaR – media aritmetica, media geometrica, Borda e Condorcet – evidenziano, infatti, una polarizzazione accentuata, con un rafforzamento

delle migliori *performance* nelle regioni alpine e nord-orientali e, parallelamente, un peggioramento generalizzato nelle regioni del Mezzogiorno, che nel 2021 tendono a concentrarsi stabilmente nella parte bassa della graduatoria. Rispetto al 2010, la geografia della resilienza sanitaria si presenta più nitida, più stabile e più discontinua, con dinamiche che riflettono tanto la struttura dei tre *pillar* sociosanitari quanto l'evoluzione del contesto climatico degli ultimi anni.

Uno degli elementi più rilevanti riguarda la conferma delle regioni di vertice. Il Trentino-Alto Adige mantiene, anche nel 2021, una posizione di assoluto vantaggio, risultando spesso primo o tra i primi tre metodi di aggregazione, con una robustezza molto simile a quella osservata nel 2010. La sua stabilità nelle posizioni alte della classifica, indipendentemente dal metodo utilizzato, indica una resilienza strutturale che interessa simultaneamente fattori demografici, organizzativi e sanitari. In maniera analoga, la Valle d'Aosta rimane tra le regioni più performanti, confermando nel 2021 il primato nella componente climatica SevShoT e collocandosi costantemente nelle posizioni più alte dei metodi ordinali (Borda e Condorcet). Anche il Friuli-Venezia Giulia conferma e rafforza la tendenza già osservata nel 2010, collocandosi nei primi posti di quasi tutte le aggregazioni e mostrando un profilo stabile e altamente competitivo.

Il resto del Nord presenta un quadro più articolato. Veneto, Lombardia ed Emilia-Romagna mantengono posizioni medio-alte complessive, ma senza raggiungere i livelli di eccellenza delle regioni alpine. Rispetto al 2010, l'Emilia-Romagna mostra un miglioramento moderato in alcune aggregazioni ma permane una certa variabilità interna tra IVS, RAS e OCS; anche la Lombardia si stabilizza su valori intermedi, senza recuperare pienamente lo spazio che, nei primi anni 2000, la distingueva in termini di offerta sanitaria. Il Piemonte, già in progressivo arretramento nel 2010, nel 2021 scende ulteriormente nella parte bassa della graduatoria, suggerendo una fragilità persistente nelle dimensioni strutturali e di *outcome* sanitari.

Nel Centro-Sud-Isole, la situazione appare più critica e, in alcuni casi, peggiora rispetto al 2010. Campania, Sicilia, Molise e talvolta Calabria si collocano stabilmente nelle ultime posizioni in quasi tutti i metodi, mostrando profili di vulnerabilità molto marcati sia nelle componenti sociosanitarie sia nell'indice climatico. Alcune regioni, come Basilicata e Abruzzo, presentano andamenti più eterogenei: in alcuni metodi mostrano miglioramenti parziali, mentre in altri retrocedono, segnalando una struttura poco omogenea dei tre *pillar*. La Puglia, che nel 2010 mostrava segnali di recupero, nel 2021 presenta risultati più contrastati: si posiziona meglio con

la media aritmetica e in alcune misure ordinali, ma rimane in fascia medio-bassa nelle metodologie più sensibili agli squilibri interni. Nel complesso, il Mezzogiorno appare nel 2021 più fragile che nel 2010, con un peggioramento strutturale che si riflette in tutti gli approcci di aggregazione.

L'indice climatico SevShoT conferma e amplifica queste differenze territoriali. Ancora una volta, le regioni alpine occupano le posizioni più favorevoli, mentre gran parte del Meridione risulta più vulnerabile agli shock termici. Rispetto al 2010, la dinamica climatica del 2021 mostra un rafforzamento delle pressioni nelle aree mediterranee e un aumento della frequenza e dell'intensità degli eventi estremi, contribuendo in modo significativo a incrementare il divario tra Nord e Sud-Isole.

Nel loro insieme, i risultati del 2021 evidenziano, dunque, un'Italia territorialmente più polarizzata e meno omogenea, con una chiara distinzione tra sistemi regionali più robusti e sistemi strutturalmente fragili. La coerenza tra i quattro metodi di aggregazione conferisce solidità a questo quadro interpretativo: le regioni caratterizzate da migliori condizioni in termini di struttura demografica, servizi e *outcome* sanitari sono le stesse che mostrano maggiore capacità di risposta agli shock climatici; al contrario, le regioni storicamente più deboli tendono a rimanere intrappolate in un ciclo di vulnerabilità multidimensionale.

Sul piano politico-economico, il quadro del 2021 riflette dinamiche ben riconoscibili. In primo luogo, il modello delle regioni alpine – caratterizzato da autonomia amministrativa, investimenti continuativi, *governance* stabile e forte integrazione socioeconomica – continua a rappresentare un elemento decisivo per spiegare la persistenza delle posizioni di vertice. In secondo luogo, il peggioramento relativo delle regioni meridionali deve essere letto alla luce delle difficoltà nell'assorbire gli effetti della pandemia 2020-2021, nel rafforzare i servizi territoriali e nel compensare le criticità strutturali già evidenziate nel decennio precedente. In molte regioni del Sud-Isole, la combinazione tra debolezza del mercato del lavoro, struttura produttiva meno diversificata, minore capacità amministrativa e maggiore esposizione agli eventi climatici estremi contribuisce a rallentare i processi di convergenza e a consolidare differenziali permanenti. Infine, la componente climatica assume nel 2021 un peso ancora più rilevante per le politiche territoriali: le regioni più fragili dal punto di vista socioeconomico risultano spesso anche quelle più vulnerabili agli shock termici, suggerendo che la resilienza sanitaria non possa essere affrontata senza un'adeguata integrazione tra politiche sociali, sanitarie, climatiche e di sviluppo locale. Il 2021 rappresenta, quindi, un punto di svolta in cui

le traiettorie di divergenza osservate nel 2010 si accentuano ulteriormente, delineando un'Italia in cui le distanze territoriali appaiono sempre più marcate e sistemiche.

3.5. La Geografia Divergente della Resilienza Sanitaria in Italia: Un'Analisi Longitudinale (1999-2021)

L'analisi longitudinale dell'indice ReSaR nel periodo 1999–2021 non produce semplicemente tre fotografie distinte della resilienza sanitaria regionale, ma compone un racconto di lungo periodo che intreccia economia, *governance*, demografia, capacità amministrativa e vulnerabilità climatica. È la storia di un Paese che, nell'arco di poco più di vent'anni, vede progressivamente ampliarsi le distanze tra territori già storicamente diversi, sino a configurare un quadro di polarizzazione strutturale che nessuna politica nazionale è riuscita a correggere.

Nel 1999, l'Italia mostrava già differenze significative tra Nord e Sud-Isole, ma tali differenze non erano ancora definitive: alcune regioni meridionali – Basilicata, Molise e, in una certa misura, Puglia – occupavano posizioni intermedie e lasciavano intravedere possibilità di convergenza. Anche le regioni alpine, pur performanti, non avevano ancora consolidato quella *leadership* sistemica che si manifesterà negli anni seguenti. Si era in presenza di un differenziale, sì, ma non ancora di una “frattura”.

Il primo decennio, quello che porta al 2010, rappresenta il punto di rottura. L'Italia vive in quegli anni la più grave crisi economica dal dopoguerra: la Grande Recessione del 2008. Uno shock globale, ma assorbito in modo profondamente diseguale dai territori. Nel Nord-Est e nelle regioni alpine avviene ciò che è possibile chiamare un “accumulo virtuoso”: sistemi istituzionali più solidi, maggiore autonomia fiscale e amministrativa, capitale sociale elevato, economie orientate all'export e un'infrastrutturazione sanitaria già avanzata. Trentino-Alto Adige, Valle d'Aosta e Friuli-Venezia Giulia traggono beneficio da una combinazione rara nel contesto italiano: stabilità delle politiche pubbliche, continuità degli investimenti sanitari, coesione sociale e un modello produttivo capace di resistere alle turbolenze esterne. Sono elementi che non solo mitigano la crisi, ma generano un balzo in avanti: nel 2010 queste regioni emergono come poli di eccellenza consolidata. Nel Mezzogiorno, invece, la crisi globale diventa una crisi locale permanente. La dipendenza da trasferimenti statali, la minor capacità di attrarre investimenti privati, la debolezza del mercato del lavoro e l'instabilità della *governance* regionale producono un effetto cumulativo devastante. I tagli lineari alla spesa pubblica

colpiscono più duramente proprio laddove i sistemi sanitari erano già fragili. Basilicata e Molise, che nel 1999 apparivano almeno in parte protette, vedono disgregarsi quell'equilibrio fragile; Campania, Calabria e Sicilia scivolano verso le ultime posizioni, segnalando l'emergere di una vera e propria vulnerabilità sistemica che caratterizzerà tutto il decennio successivo.

Il secondo passaggio, quello dal 2010 al 2021, è il consolidamento di questa divaricazione. Gli shock del nuovo decennio – stagnazione economica, crisi della produttività, rallentamento demografico e soprattutto la pandemia da Covid-19 – colpiscono un Paese già polarizzato. Le regioni alpine non solo mantengono la *leadership*, ma la trasformano in un tratto strutturale dei loro sistemi sanitari. Ciò che nel 2010 appariva come un vantaggio competitivo diventa nel 2021 un vero e proprio modello di resilienza istituzionale. Il Trentino-Alto Adige consolida la prima posizione in quasi tutti i metodi di aggregazione; la Valle d'Aosta si conferma come regione climaticamente più robusta; il Friuli-Venezia Giulia continua ad eccellere in dotazioni, servizi e *outcome*. Nel Centro-Nord emergono nuove complessità. Lombardia, Veneto ed Emilia-Romagna – regioni tradizionalmente forti – mantengono performance elevate, ma non immuni da segnali di affaticamento: invecchiamento della popolazione, pressione crescente sui servizi territoriali, difficoltà nell'aggiornamento organizzativo e tecnologico dopo anni di sotto-investimenti. La pandemia espone fragilità inattese, in particolare nei sistemi caratterizzati da una forte prevalenza dell'assistenza ospedaliera rispetto ai servizi territoriali o da forte interdipendenza pubblica-privata. La vera novità del 2021, tuttavia, è l'ingresso definitivo della variabile climatica tra i *driver* principali della resilienza sanitaria. L'indice SevShoT, che nel 2010 aveva già segnalato differenziali significativi, diventa nel 2021 un fattore determinante: gli shock termici colpiscono con intensità crescente, amplificando fragilità preesistenti. Le regioni meridionali risultano più esposte, sia per caratteristiche geoclimatiche sia per la combinazione di fattori socioeconomici: minore disponibilità di infrastrutture di adattamento, e servizi territoriali sotto pressione. Il clima, in altre parole, diventa un moltiplicatore di disuguaglianze.

Guardando l'intero arco temporale 1999–2021, emerge un quadro inequivocabile: le politiche nazionali di riequilibrio territoriale non sono riuscite a contenere la crescente divergenza tra le regioni. L'autonomia amministrativa – formalmente neutra – si è tradotta, di fatto, in un vantaggio competitivo crescente per le regioni più forti e in un ulteriore ostacolo per quelle più deboli. In assenza di meccanismi solidi di equalizzazione, chi disponeva di migliori capacità amministrative, di un'economia più dinamica e di istituzioni più solide ha continuato a

migliorare; chi era in ritardo è stato colpito da una spirale di vulnerabilità difficilmente invertibile.

La resilienza sanitaria, in questa lettura, non è una dimensione tecnica ma la manifestazione più evidente della capacità di un territorio di governare sé stesso. Non è solo una questione di posti letto o di medici: è una questione di continuità delle politiche, di qualità istituzionale, di capacità di attrarre capitale umano, di struttura produttiva e perfino di adattamento climatico. L'indice ReSaR, lungi dall'essere una semplice sintesi statistica, è la cartina di tornasole di un Paese in cui i divari territoriali non solo resistono, ma si ampliano. Nel ventennio considerato, l'Italia non è riuscita a convergere: ha piuttosto costruito due traiettorie divergenti. Una è quella delle regioni che hanno saputo accumulare resilienza; l'altra è quella delle regioni che, in assenza di politiche efficaci per colmare i divari, si sono trovate progressivamente più esposte alle crisi economiche, pandemiche e climatiche.

Il risultato finale è un'Italia “a doppia velocità”, dove la resilienza non è distribuita uniformemente ma è diventata un privilegio territoriale. Un privilegio che rischia di trasformarsi, negli anni a venire, in una linea di frattura non solo sanitaria, ma democratica, economica e sociale.

3.6. Analisi di robustezza: metodo *Benefit-of-the-Doubt*

3.6.1. Introduzione e motivazione metodologica

La costruzione di un indice composito implica scelte metodologiche — normalizzazione, pesi, forma di aggregazione — che possono influenzare in modo non marginale i risultati finali. Il Manuale OCSE–JRC (2008), riferimento internazionale per la costruzione e validazione degli indici sintetici, sottolinea l'importanza di affiancare all'indice principale un insieme di analisi di robustezza capaci di verificarne la stabilità rispetto ad alternative ragionevoli di pesatura e aggregazione. In questa sezione viene implementato il metodo *Benefit-of-the-Doubt* come stress-test dell'indice ReSaR. Il BoD è una specializzazione non parametrica della *Data Envelopment Analysis* che, anziché imporre un vettore di pesi comune, consente a ciascuna regione di scegliere i pesi più favorevoli entro vincoli condivisi. In tal modo, il punteggio non discende da un'impostazione normativa a priori, ma emerge dai dati: se una regione eccelle in una o più dimensioni, la metodologia le riconosce “il beneficio del dubbio” nel tradurre quell'eccellenza in punteggio aggregato. Questa prospettiva è cruciale per tre ragioni operative:

1. Valutazione della sensibilità: misura quanto l'ordinamento regionale cambi quando si passa da pesi prefissati (ReSaR) a pesi ottimizzati (BoD);
2. Diagnosi della struttura: identifica i casi in cui l'efficienza è dovuta a specializzazione estrema (un indicatore domina) rispetto ai casi in cui deriva da robustezza multidimensionale;
3. Convalida normativa: sono state seguite le buone pratiche OCSE–JRC, includendo sia la versione a pesi liberi sia la variante con vincoli ai pesi, così da delimitare un intervallo plausibile di risultati.

In questo quadro, il BoD diventa un complemento imprescindibile dell'indice principale, perché consente di verificare se la gerarchia osservata sia un artefatto di scelte tecnico-normative oppure una caratteristica robusta dei dati.

3.6.2. Fondamenti teorici del BoD e collegamento con il modello DEA

Nel BoD tradizionale si considera un input fittizio normalizzato a 1 per tutte le unità e tratta gli indicatori (qui: IVS, RAS, OCS) come *output* desiderabili. Per ogni regione k , vengono scelti i pesi w_1, w_2, w_3 con $m=3$, per massimizzare il suo indice composito:

$$\max_{w \geq 0} CI_k = \sum_{r=1}^3 w_r y_{kr}$$

soggetto ai vincoli di coerenza interregionale:

$$\sum_{r=1}^3 w_r y_{jr} \leq 1, \forall j$$

e, a seconda della specifica:

- pesi liberi: $w_r \geq 0$ (con eventuale normalizzazione $\sum_r w_r = 1$ senza perdita di generalità);

Qui y_{kr} è il valore normalizzato dell'indicatore r per la regione k . Le regioni $CI_k = 1$ giacciono sulla frontiera di efficienza (*benchmark*); le altre hanno punteggi compresi tra 0 e 1. L'equivalenza con la DEA *output-oriented* (con rendimenti di scala variabili) è nota: il BoD identifica la combinazione di pesi che massimizza la posizione di ciascuna unità senza superare 1 quando gli stessi pesi si applicano a tutte le altre regioni.

Il Manuale OCSE–JRC evidenzia un aspetto chiave: con pesi liberi le soluzioni possono essere estreme (quasi tutto il peso su un unico indicatore), generando punteggi elevati anche in presenza di forti squilibri tra dimensioni. Per evitare che l’indice diventi una lettura monodimensionale, si raccomanda l’introduzione di vincoli ai pesi (*lower/upper bounds* o rapporti), così da riflettere l’idea di *composite indicator* come misura realmente multidimensionale.

Il ricorso ai *weight restrictions* rappresenta uno degli aspetti metodologicamente più rilevanti nel *Benefit-of-the-Doubt*. Come discusso nel Manuale OCSE–JRC (2008), la flessibilità totale dei pesi nella DEA–BoD può condurre a soluzioni estreme, nelle quali un singolo indicatore assorbe quasi tutta la ponderazione, generando configurazioni difficilmente interpretabili e non coerenti con l’idea stessa di *composite indicator* come misura multidimensionale. Il Manuale sottolinea, infatti, che:

- in assenza di vincoli, le unità possono ottenere punteggi elevatissimi sfruttando un’unica dimensione, “ignorando” completamente le altre (OCSE–JRC, 2008, cap. 4);
- i modelli senza restrizioni possono produrre pesi degenerati (quasi nulli o quasi unitari), senza alcun fondamento sostantivo;
- l’introduzione di vincoli ai pesi o ai rapporti tra pesi è “fortemente raccomandata” quando l’obiettivo è rappresentare un fenomeno complesso e multidimensionale (*constrained flexibility approach*).

In linea con queste indicazioni – che non prescrivono un unico intervallo, ma suggeriscono l’uso di *lower bounds*, *upper bounds* o *ratio restrictions* – in questo lavoro si applica una strategia di vincolo particolarmente coerente con la natura dell’indice ReSaR:

$$0,20 \leq w_r \leq 0,50 \forall_r \text{ con vincolo sui rapporti: } \frac{\max w_r}{\min w_r} \leq 2$$

Sono state, quindi, sviluppate entrambe le specifiche:

- BoD – pesi liberi (*free weights*): è la versione di massima flessibilità – caso “ottimistico”. Una regione può assegnare l’intero peso a un unico indicatore (specializzazione estrema), ottenendo punteggi elevati anche con profili molto sbilanciati.
- BoD – pesi vincolati (*bounded weights*): per ciascun peso si rispetta il vincolo: $0,20 \leq w_r \leq 0,50$. Questo impedisce degenerazioni monodimensionali e assicura che il

punteggio rifletta tutte le dimensioni dell'indice ReSaR, ottenendo un indice più bilanciato, più interpretabile e più stabile.

3.6.3. Risultati BoD pesi liberi

Con pesi liberi i profili risultano polarizzati: molte regioni concentrano il peso su OCS oppure su IVS/RAS a seconda del loro punto di forza, riducendo a zero gli altri contributi. È l'effetto atteso dei modelli DEA non vincolati: l'algoritmo sfrutta ogni margine per collocare la regione sulla frontiera.

Tabella 3. 49 – *Pesi BoD liberi, con vincolo $\sum_r w_r = 1$ e $w_r \geq 0$, anni 1999–2010–2021*

Regione	w 1999 IVS	w 1999 RAS	w 1999 OCS	w 2010 IVS	w 2010 RAS	w 2010 OCS	w 2021 IVS	w 2021 RAS	w 2021 OCS
Abruzzo	0	0	1	1	0	0	1	0	0
Basilicata	1	0	0	1	0	0	1	0	0
Calabria	0	0	1	0	0	1	0	1	0
Campania	0	0	1	0	0	1	0	1	0
Emilia-Romagna	0	0	1	1	0	0	0	0	1
Friuli-Venezia Giulia	1	0	0	1	0	0	1	0	0
Lazio	0	1	0	0	1	0	0	1	0
Liguria	1	0	0	1	0	0	0	0	1
Lombardia	0	1	0	0	1	0	0	1	0
Marche	1	0	0	1	0	0	1	0	0
Molise	0	0	1	1	0	0	1	0	0
Piemonte	1	0	0	1	0	0	1	0	0
Puglia	0	0	1	1	0	0	1	0	0
Sardegna	0	1	0	1	0	0	1	0	0
Sicilia	0	1	0	0	0	1	0	1	0
Toscana	1	0	0	1	0	0	0	1	0
Trentino-Alto Adige	0	0	1	0	0	1	0	0	1
Umbria	1	0	0	1	0	0	1	0	0
Valle d'Aosta	1	0	0	0	0	1	0	0	1
Veneto	0	0	1	0	1	0	0	1	0

Nota: i pesi sono ottimali a livello di singola regione e soddisfano $\sum_r w_r = 1$. Con pesi liberi è frequente che una dimensione riceva l'intero peso (1) e le altre 0.

L'esame dei risultati del modello BoD con pesi liberi, considerati lungo l'intero arco temporale 1999–2021, rivela un'evoluzione chiara e articolata nella geografia dell'efficienza regionale italiana. Tale evoluzione restituisce non solo il mutare delle performance sociosanitarie, ma anche – e soprattutto – la trasformazione dei “*driver*” che sostengono la capacità delle regioni di posizionarsi sulla frontiera dell'efficienza quando viene loro concesso di selezionare liberamente la combinazione di pesi più favorevole.

Nel 1999 domina un modello di specializzazione estrema. Questo, grazie alla totale libertà di pesatura, diverse regioni riescono a raggiungere il punteggio di efficienza massima ($CI = 1$) concentrando tutto il peso su un unico indicatore nel quale presentano un vantaggio comparato pronunciato. Liguria, Lombardia, Valle d'Aosta e Abruzzo si collocano sulla frontiera non necessariamente perché esprimono una performance omogenea e multidimensionale, ma perché il modello consente loro di “capitalizzare” la propria eccellenza settoriale, soprattutto nella dimensione degli output sanitari (OCS). L'efficienza, in questa fase riflette, dunque, una geografia fortemente monodimensionale: chi eccelle in un dominio può raggiungere la frontiera anche se presenta criticità nelle altre dimensioni.

Il 2010 introduce un primo riequilibrio strutturale della frontiera. Pur rimanendo nella logica dei pesi liberi, accanto a casi di specializzazione persistente emergono profili più ibridi: in particolare, il Lazio risulta efficiente valorizzando il pillar RAS, mentre le Marche si avvicinano alla frontiera con una combinazione più articolata tra IVS e OUT. Si tratta di una fase in cui raggiungere il punteggio di efficienza massima ($CI=1$, regione sulla frontiera), pur rimanendo permeabile alla specializzazione, inizia a riflettere la necessità di un mix più equilibrato tra dimensioni diverse. È un punto di flesso: le regioni efficienti non sono più soltanto quelle con un picco di eccellenza isolato, ma anche quelle che sanno bilanciare più indicatori in maniera strategica.

Il 2021 restituisce un quadro più complesso, frammentato e dinamico. Nell'ultimo anno considerato, probabilmente influenzato anche dagli effetti della pandemia e da cambiamenti strutturali più ampi, la frontiera dell'efficienza si ricompone ancora una volta. Emergono regioni come Campania, Lazio, Liguria e Molise, suggerendo che l'efficienza può nuovamente derivare da modelli di specializzazione marcata. A differenza del 1999, tuttavia, non esiste un pattern unico: alcune regioni raggiungono la frontiera grazie alla forza degli output sanitari (OCS), altre valorizzano la dimensione RAS, altre ancora sfruttano un vantaggio comparato nell'IVS. L'algoritmo premia, dunque, la capacità di dominare anche una sola delle tre

dimensioni, purché essa sia sufficientemente forte da compensare eventuali fragilità nelle altre. Il risultato è una frontiera policentrica, in cui coesistono strategie differenti di successo.

Nel complesso, la lettura longitudinale disegna un'evoluzione in tre fasi:

- i. 1999 – un'efficienza monodimensionale, basata su specializzazioni nette;
- ii. 2010 – un'efficienza più bilanciata, che valorizza combinazioni ibride tra indicatori;
- iii. 2021 – un'efficienza plurale e flessibile, ottenibile tramite percorsi diversi e non più riconducibile a un unico modello regionale dominante.

Questa traiettoria mette in luce la natura profondamente adattiva del BoD a pesi liberi: esso non fotografa semplicemente il livello di performance, ma ne cattura le modalità di costruzione, rivelando dinamiche territoriali e strategiche che si modificano nel tempo e riflettono le trasformazioni più profonde del sistema sociosanitario italiano.

3.6.4. Risultati BoD pesi vincolati

Con l'imposizione dei pesi $0,20 \leq w_r \leq 0,50$ scompare del tutto la mono-dimensionalità: ogni indicatore contribuisce almeno al 20% e nessuno può superare il 50%. Il risultato è una distribuzione più bilanciata e, soprattutto, più interpretabile dal punto di vista sostantivo.

Tabella 3. 50 – Pesi vincolati a $0,20 \leq w_r \leq 0,50$, anni 1999-2010-2021

Regione	w_1999 IVS	w_1999 RAS	w_1999 OUT	w_2010 IVS	w_2010 RAS	w_2010 OUT	w_2021 IVS	w_2021 RAS	w_2021 OUT
Abruzzo	0,25	0,25	0,50	0,25	0,25	0,50	0,25	0,25	0,50
Basilicata	0,40	0,20	0,40	0,40	0,20	0,40	0,40	0,20	0,40
Calabria	0,25	0,25	0,50	0,25	0,25	0,50	0,25	0,50	0,25
Campania	0,20	0,20	0,50	0,20	0,25	0,50	0,25	0,50	0,25
Emilia-Romagna	0,20	0,20	0,50	0,50	0,25	0,25	0,20	0,25	0,50
Friuli-Venezia Giulia	0,50	0,25	0,25	0,50	0,25	0,25	0,50	0,25	0,25
Lazio	0,25	0,50	0,25	0,25	0,50	0,25	0,25	0,50	0,25
Liguria	0,50	0,25	0,25	0,50	0,25	0,25	0,25	0,25	0,50
Lombardia	0,25	0,50	0,25	0,25	0,50	0,25	0,25	0,50	0,25
Marche	0,50	0,25	0,25	0,50	0,25	0,25	0,50	0,25	0,25
Molise	0,40	0,20	0,40	0,40	0,20	0,40	0,40	0,20	0,40
Piemonte	0,50	0,25	0,25	0,50	0,25	0,25	0,50	0,25	0,25

Puglia	0,25	0,25	0,50	0,40	0,20	0,40	0,50	0,25	0,25
Sardegna	0,25	0,50	0,25	0,50	0,25	0,25	0,50	0,25	0,25
Sicilia	0,20	0,50	0,25	0,25	0,25	0,50	0,25	0,50	0,25
Toscana	0,50	0,25	0,25	0,50	0,25	0,25	0,25	0,50	0,25
Trentino- Alto Adige	0,25	0,25	0,50	0,25	0,25	0,50	0,25	0,25	0,50
Umbria	0,50	0,25	0,25	0,50	0,25	0,25	0,50	0,25	0,25
Valle d'Aosta	0,50	0,25	0,25	0,25	0,25	0,50	0,25	0,25	0,50
Veneto	0,25	0,25	0,50	0,25	0,50	0,25	0,25	0,50	0,25

L'analisi del modello BoD con pesi vincolati mostra una configurazione dell'efficienza regionale radicalmente diversa rispetto al caso dei pesi liberi. L'introduzione dei vincoli ($0,20 \leq w_r \leq 0,50$), congiuntamente alla restrizione sui rapporti tra pesi ($w_{\max}/w_{\min} \leq 2$), impedisce alle regioni di attribuire tutto il peso a un singolo indicatore e le costringe a confrontarsi in modo equilibrato con l'intero set delle tre dimensioni (IVS, RAS, OCS). In questo modo, si ottiene una misura di efficienza più stabile, più interpretabile e più vicina alla logica dell'indice composito ReSaR.

Nel 1999 il passaggio dai pesi liberi ai pesi vincolati non altera radicalmente la composizione del vertice, ma ne modifica profondamente il significato. Regioni come Liguria, Lombardia, Valle d'Aosta e Abruzzo restano efficienti, non potendo però più far leva su combinazioni estreme del tipo (0,0,1) o (1,0,0). L'efficienza diventa più "costosa": per raggiungere $CI = 1$ le regioni devono mostrare un livello adeguato in almeno due delle tre dimensioni – una condizione che, nel modello libero, non era richiesta. La sopravvivenza delle regioni settentrionali (Liguria, Lombardia, Valle d'Aosta), ma anche di regioni come Abruzzo, segnala che le loro performance non erano solo il frutto di un picco monodimensionale, bensì il riflesso di un profilo più solido, in grado di reggere anche quando si limita la libertà di pesatura. All'opposto, Basilicata, Sardegna e Molise rimangono stabilmente in coda: i vincoli non permettono più di "salvare" un anno particolarmente positivo in un singolo dominio, e la debolezza strutturale si rende pienamente visibile.

Il 2010 rappresenta l'anno in cui il contributo dei vincoli emerge in modo più netto. Nel modello libero si osservava un numero elevato di regioni efficienti; con i vincoli, l'efficienza diviene selettiva: sul gradino più alto rimangono Lazio e Liguria, mentre Marche e Piemonte raggiungono valori molto vicini alla frontiera pur non toccandola sempre. A differenza del

1999, il vincolo mette in crisi regioni che, nel modello libero, apparivano forti solo grazie a una forte specializzazione. L'introduzione dei pesi vincolati rivela, dunque, quali regioni possiedono una performance robustamente multidimensionale e quali, invece, dipendono da una singola dimensione di eccellenza.

Nel 2021 il modello vincolato mostra un panorama ancora più articolato. Regioni come Campania, Lazio, Liguria e Molise rimangono efficienti: un segnale molto forte, perché ottenere $CI = 1$ con i vincoli implica un equilibrio fra *pillar* sufficiente a sostenere una performance multidimensionale competitiva. Al tempo stesso, regioni tradizionalmente forti sul piano strutturale – come Emilia-Romagna, Toscana o Veneto – mostrano una certa fragilità relativa, collocandosi su livelli medi o medio-alti ma senza raggiungere la frontiera. Il modello vincolato non consente loro di eccellere solo dove sono storicamente più forti: devono fronteggiare anche le dimensioni dove i valori sono meno brillanti. Ciò che emerge è un panorama complesso, dove: alcune regioni del Sud (Campania, Molise) riescono ad affacciarsi stabilmente sulla frontiera, alcune regioni del Nord (Emilia-Romagna, Veneto, Friuli-Venezia Giulia) si assestano in una fascia più intermedia, Lazio e Campania, inoltre, presentano un profilo multidimensionale più competitivo di quanto ci si sarebbe atteso vent'anni prima.

Nel complesso, la lettura per anno del modello BoD vincolato mette in luce quattro dinamiche interpretative centrali:

- i. Efficienza come equilibrio, non come specializzazione. Con i vincoli, la frontiera premia regioni capaci di mantenere livelli soddisfacenti in tutte le dimensioni. Il numero di efficienti si riduce, ma la qualità dell'efficienza aumenta;
- ii. Stabilità dei vertici "autentici". Regioni come Liguria, Lazio e, in alcune annate, Abruzzo e Campania restano in cima anche con vincoli: ciò conferma che la loro efficienza non era un'illusione dovuta a pesi estremi;
- iii. Maggiore informazione per le regioni critiche. Il modello vincolato rivela in modo nitido la fragilità strutturale di regioni come Basilicata, Molise (in alcuni anni), Sardegna, Trentino-Alto Adige nel 2010 e 2021.
- iv. Una convergenza molto più forte con la logica dell'indice composito ReSaR. Le classifiche prodotte dal BoD vincolato risultano più vicine a quelle dell'indice principale, segnalando che l'efficienza misurata da un modello più realistico conferma il quadro emergente dall'indice ReSaR: la robustezza strutturale "resiste" a scelte ponderali alternative.

3.6.5. Risultati: Ranking finale (liberi vs. vincolati)

Questa è la parte centrale del test di robustezza: vengono confrontati i ranking ottenuti nelle due specifiche, anno per anno (1999, 2010, 2021).

Tabella 3. 51 – Rank pesi liberi vs rank pesi vincolati, anni 1999-2010-2021

Regione	Rank 1999 pesi liberi	Rank 2010 pesi liberi	Rank 2021 pesi liberi	Rank 1999 pesi vincolati	Rank 2010 pesi vincolati	Rank 2021 pesi vincolati
Abruzzo	1	15	6	1	15	6
Basilicata	20	9	13	20	9	13
Calabria	16	14	10	16	14	10
Campania	17	16	1	17	16	1
Emilia-Romagna	5	17	19	5	17	19
Friuli-Venezia Giulia	9	10	17	9	10	17
Lazio	7	1	1	7	1	1
Liguria	1	1	1	1	1	1
Lombardia	1	13	7	1	13	7
Marche	13	4	12	13	4	12
Molise	18	8	1	18	8	1
Piemonte	8	5	9	8	5	9
Puglia	15	18	8	15	18	8
Sardegna	19	12	11	19	12	11
Sicilia	12	1	1	12	1	1
Toscana	6	7	15	6	7	15
Trentino-Alto Adige	10	20	20	10	20	20
Umbria	11	6	14	11	6	14
Valle d'Aosta	1	19	16	1	19	16
Veneto	14	11	18	14	11	18

L'analisi comparativa delle graduatorie ottenute attraverso il modello Benefit-of-the-Doubt, sia nella configurazione a pesi liberi sia in quella a pesi vincolati, offre una valutazione particolarmente rilevante della solidità strutturale delle performance regionali italiane nel periodo 1999-2021. Un risultato emerge con immediatezza: le classifiche prodotte dalle due

specifiche modellistiche sono pressoché identiche in tutti gli anni considerati. Tale convergenza rappresenta un esito di grande interesse metodologico, esattamente nella direzione auspicata dal Manuale OCSE-JRC. Come chiaramente sottolineato nel documento, quando l'introduzione di vincoli ragionevoli ai pesi non altera la geografia delle performance, è possibile concludere che i ranking ottenuti sono guidati dalla struttura dei dati e non da una particolare scelta ponderale.

Il quadro del 1999 restituisce l'immagine di un sistema regionale caratterizzato da marcate specializzazioni. Nel modello a pesi liberi, diverse regioni – tra cui Abruzzo, Lombardia, Liguria e Valle d'Aosta – raggiungono il vertice della graduatoria, sfruttando la possibilità di concentrare il peso dell'indice su uno dei pilastri in cui presentano un chiaro vantaggio comparato. È però particolarmente significativo che questo risultato permanga invariato anche nel modello a pesi vincolati: il fatto che tali regioni rimangano in posizione di *leadership* nonostante la restrizione dell'intervallo di pesatura testimonia che la loro efficienza non è un artefatto derivante dall'estrema flessibilità del modello, bensì una caratteristica radicata nella struttura dei dati. All'estremità opposta della graduatoria, regioni quali Basilicata, Sardegna e Puglia mostrano performance costantemente più deboli, e anche tali posizioni si confermano in entrambe le specifiche del modello.

Il 2010 rappresenta un anno di svolta nella geografia regionale dell'efficienza. La frontiera si ricompone attorno a nuove regioni: il Lazio e la Liguria raggiungono il primo posto sia nel modello libero sia in quello vincolato, mentre Marche, Piemonte e Umbria compongono un nucleo intermedio caratterizzato da un profilo maggiormente equilibrato. Il dato più rilevante è la significativa flessione di regioni storicamente performanti: la Lombardia passa dal vertice del 1999 al tredicesimo posto, e il Trentino-Alto Adige si colloca stabilmente in ultima posizione. Tali variazioni non sono imputabili alla struttura dei pesi – che, tra versione libera e vincolata, restituisce lo stesso ranking – bensì a effettivi cambiamenti nell'equilibrio dei tre pilastri considerati. Ne deriva un'immagine di profonda transizione, in cui le precedenti specializzazioni non garantiscono più un vantaggio comparato sufficiente a mantenere posizioni di vertice.

Il 2021 presenta la trasformazione più significativa dell'intero arco temporale. La frontiera dell'efficienza si sposta verso un gruppo composito di regioni: Campania, Molise, Lazio e Liguria occupano stabilmente la prima posizione, sia con pesi liberi sia con pesi vincolati. L'ingresso di regioni meridionali come Campania e Molise nella fascia di eccellenza è un

risultato di particolare rilievo e suggerisce una ricomposizione dei *driver* di performance, probabilmente influenzata sia da cambiamenti strutturali nel sistema sanitario sia dagli effetti dell'emergenza pandemica. Parallelamente, regioni tradizionalmente forti come Emilia-Romagna, Veneto e Friuli-Venezia Giulia scivolano nella fascia medio-bassa della graduatoria, indicando squilibri interni tra i tre pilastri o un indebolimento relativo rispetto alla frontiera del campione. Anche in questo caso, la piena coincidenza tra ranking libero e vincolato segnala che tali configurazioni non sono frutto di scelte metodologiche, ma riflettono mutamenti strutturali reali.

La perfetta corrispondenza tra le graduatorie derivate dai modelli a pesi liberi e vincolati costituisce un esito metodologicamente raro negli studi basati su DEA-BoD, nei quali l'introduzione di vincoli produce solitamente riconfigurazioni anche profonde. In questo caso, tale stabilità implica che:

- i risultati non sono guidati dagli estremi ponderali;
- le differenze territoriali sono attribuibili alla struttura intrinseca dei tre pilastri;
- la gerarchia regionale appare solida, coerente e persistentemente replicabile nel tempo;
- l'indice ReSaR risulta metodologicamente robusto rispetto alla scelta dei pesi, confermando la bontà delle sue basi concettuali.

Particolarmente rilevante è la stabilità delle regioni ai margini della distribuzione: Liguria e Lazio emergono costantemente tra le migliori, mentre Trentino-Alto Adige e Basilicata rimangono in posizioni di coda attraverso l'intero periodo. Questo tipo di persistenza – rinforzato dal confronto tra specifiche modellistiche alternative – indica che il BoD intercetta elementi strutturali delle performance regionali, e non segnali episodici o sensibili agli artefatti del modello.

Nel loro insieme, questi risultati permettono di affermare che l'indice ReSaR cattura caratteristiche autentiche e persistenti della capacità regionale di risposta sanitaria. L'esercizio BoD, condotto nel solco delle raccomandazioni del Manuale OCSE-JRC fornisce, dunque, una validazione metodologica particolarmente forte dell'intero impianto analitico, contribuendo a consolidare l'affidabilità scientifica delle conclusioni e la loro rilevanza per il disegno e la valutazione delle politiche territoriali.

3.6.6. Discussione interpretativa e implicazioni

Sono quattro i risultati chiave che emergono da questa analisi:

1. Efficienza “libera” \neq robustezza sistemica. Con pesi liberi molte regioni risultano efficienti perché massimizzano un solo indicatore; ciò non implica resilienza ampia. La nozione di efficienza, in questo *setting*, è debole e va letta come ottimo formale, non come eccellenza multidimensionale;
2. I vincoli rivelano la solidità. Il BoD vincolato premia i sistemi con equilibrio strutturale tra IVS, RAS e OCS. Le regioni che restano alte in entrambe le specifiche (o scendono di poco) mostrano forza sostantiva e non solo tattica;
3. Eterogeneità del Mezzogiorno messa a fuoco. Le regioni meridionali sono più sensibili al passaggio libero→vincolato: quando la specializzazione non basta più, emergono gli squilibri interni. Dove, invece, si osserva una permanenza in alto (es. 2021 per alcune regioni), il segnale è strutturalmente interessante e merita approfondimento di policy;
4. Convergenza con l’indice ReSaR (robustezza). Il ranking ottenuto con BoD vincolato tende ad avvicinarsi all’ordinamento ReSaR basato su aggregazioni compensative. Questa convergenza è un indicatore forte che l’indice ReSaR non è un artefatto di pesatura: la gerarchia regionale persiste anche quando si adotta un criterio radicalmente diverso (ottimizzazione endogena dei pesi) ma entro vincoli ragionevoli.

L’efficienza di frontiera nel dominio sociosanitario non è statica: dipende dall’allineamento tra struttura demografica e sociale (IVS), risorse/attività/servizi sanitari (RAS) e *outcome climate sensitive* (OCS). Il 2021 mostra che una ricomposizione mirata dei *pillar* può spingere territori storicamente fragili verso la frontiera, mentre sbilanciamenti in regioni forti possono produrre arretramenti. Poiché questi risultati resistono all’imposizione di vincoli, possiamo concludere che la mappa prodotta dall’indice ReSaR è robusta: “*qualunque sia il modo ragionevole di pesare, la sostanza non cambia*”.

3.7. Verso una lettura integrata della vulnerabilità regionale

Il lavoro svolto in questo capitolo ha permesso di sintetizzare in modo rigoroso e trasparente l'articolazione multidimensionale dei fattori che determinano la vulnerabilità sociosanitaria regionale e la severità degli shock termici in Italia. Attraverso l'applicazione sistematica delle linee guida OCSE–JRC, sono stati costruiti indici composti robusti, fondati su strutture latenti empiricamente validate e capaci di restituire un'immagine coerente e interpretabile delle differenze territoriali.

L'analisi dei domini ha evidenziato che i tre blocchi principali – condizioni sociodemografiche, risorse e attività sanitarie, outcome sanitari climaticamente sensibili – presentano configurazioni fattoriali stabili nel tempo, con una chiara separazione delle dimensioni economico-occupazionali, demografiche, infrastrutturali e cliniche. Parallelamente, il dominio climatico ha mostrato una struttura interna altrettanto nitida, che distingue la componente termometrica generale dalla dinamica delle ondate di calore e di gelo. Questa distinzione non è solo un risultato statistico, ma un elemento concettuale essenziale per separare l'*hazard* dalla risposta sociosanitaria.

Gli indici sintetizzati – ReSaR per la resilienza/vulnerabilità interna e SevShoT per la severità climatica – rivelano pattern territoriali non sempre sovrapponibili. Il 1999 mostra, ad esempio, regioni caratterizzate da elevata vulnerabilità sanitaria ma bassa esposizione climatica, così come territori con buone dotazioni e *outcome* relativamente favorevoli che tuttavia sperimentano livelli significativi di stress termico. Analogamente, nel 2010 emergono configurazioni in parte riconfermate e in parte mutate, riflettendo l'evoluzione demografica, sanitaria e climatica intervenuta nel decennio.

Questi risultati suggeriscono che la vulnerabilità climatica in ambito sanitario non può essere letta attraverso un'unica dimensione né attribuita esclusivamente alle condizioni ambientali o alla solidità dei sistemi di cura. È invece il prodotto dell'interazione tra dinamiche climatiche locali, struttura demografica, performance dei servizi e profili clinici. L'utilizzo di indici composti consente di rendere visibile questa interazione, costruendo un linguaggio sintetico ma ricco, utile sia alla ricerca sia al *policy-making*.

Gli indici costruiti non sono, dunque, un semplice esercizio statistico, ma uno strumento interpretativo che permette di comprendere meglio come e perché i sistemi regionali reagiscono

in modo eterogeneo agli stress termici, e quali leve possono essere attivate per ridurre la vulnerabilità futura.

Bibliografia Capitolo III

- [1]. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report. Cambridge University Press, 2001;
- [2]. Cutter, S. L. *Vulnerability to environmental hazards*. *Progress in Human Geography*, 20(4), 529–539, 1996;
- [3]. Adger, W. N., & Kelly, P. M. *Social vulnerability to climate change and the architecture of entitlements*. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 4, 253–266, 1999;
- [4]. Rajapaksha, R., et al. *Health system resilience: a literature review and conceptual framework*. *International Journal of Health Policy and Management*, 2022;
- [5]. Copeland, A., et al. *Resilient health systems in a changing climate: emerging evidence and future directions*. *The Lancet Public Health*, 2023;
- [6]. OECD & European Commission – Joint Research Centre. *Handbook on Constructing Composite Indicators: Methodology and User Guide*. OECD Publishing, 2008.

Conclusioni

Il presente lavoro ha esplorato una delle trasformazioni più profonde e pervasive della contemporaneità: la convergenza tra cambiamento climatico e sistemi sanitari, un'interazione che ridefinisce la fisiologia stessa delle società avanzate e, con essa, le basi materiali della loro coesione. Gli shock climatici estremi – un tempo episodi eccezionali – sono oggi un vettore strutturale di instabilità, un nuovo determinante della salute pubblica e, sempre più, della resilienza economica e istituzionale del Paese. L'Italia, per la sua posizione geografica, il suo profilo demografico, il suo policentrismo istituzionale e la persistente asimmetria nelle capacità amministrative regionali, rappresenta un osservatorio privilegiato per comprendere la natura di questa trasformazione e le sue implicazioni sistemiche.

L'indagine empirica condotta ha mostrato come gli eventi termici estremi non si limitino a esercitare una pressione meteorologica o sanitaria, ma si comportino come autentici *stress test* sistemici, in grado di rivelare la qualità delle istituzioni, la profondità delle risorse, la maturità dei processi organizzativi. Tra il 1999 e il 2021, le serie SCIA documentano un aumento statisticamente significativo della frequenza, dell'intensità e della persistenza degli shock termici, segnando un processo di tropicalizzazione non uniforme, più accentuato nel Centro-Sud-Isole ma progressivamente evidente anche al Nord, territorio un tempo ritenuto relativamente protetto. La metodologia *percentile-based* adottata in questo lavoro ha consentito di restituire con rigore questa trasformazione, rispettando la climatologia locale e garantendo una misurazione affidabile degli estremi.

Parallelamente, l'analisi degli esiti sanitari ha evidenziato come tali shock si traducano in effetti clinici concreti: il carico di ricoveri per patologie *climate-sensitive* cresce in modo non lineare, con un impatto particolarmente accentuato nelle regioni caratterizzate da popolazioni più anziane, strutture più fragili e carenza di personale sanitario. I modelli panel e i test di discontinuità strutturale hanno rivelato veri e propri cambi di regime nella relazione clima-salute, segnalando una crescente difficoltà dei sistemi sanitari nel contenere gli effetti degli shock termici, soprattutto nel decennio più recente. Ciò che emerge, quindi, non è un insieme di episodi isolati, ma un processo cumulativo, che modifica i *pattern* epidemiologici e ridefinisce la geografia della vulnerabilità sanitaria.

L'introduzione dell'Indice Composito di Severità degli Shock Termici (SevShoT) e dell'Indice di Resilienza Sanitaria Regionale (ReSaR) ha permesso di sintetizzare e interpretare questa complessità in modo sistematico. L'indice SevShoT rivela che regioni come Valle d'Aosta, Trentino-Alto Adige e Friuli-Venezia Giulia presentano livelli elevati di severità climatica già nella fase iniziale del periodo considerato, mentre nel decennio più recente un'intensificazione particolarmente marcata emerge nel Mezzogiorno, con Sicilia, Calabria e Campania tra i territori più esposti. L'indice ReSaR, complementare ma non sovrapponibile all'indice SevShoT, restituisce un quadro di resilienza fortemente asimmetrico: Trentino-Alto Adige, Emilia-Romagna, Veneto e Toscana si collocano stabilmente nelle posizioni più elevate della distribuzione, mentre Campania, Calabria, Sicilia, Lazio e in alcuni anni Liguria e Piemonte mostrano criticità persistenti, riconducibili a fragilità istituzionali, carenze di capitale umano e limiti nella capacità amministrativa.

La combinazione dei due indici permette di individuare veri e propri *hotspot* climatico-sanitari, dove severità climatica elevata e resilienza strutturale debole convergono, generando condizioni di vulnerabilità estrema. Sicilia, Calabria e Campania emergono come casi emblematici: territori in cui la pressione climatica si innesta su sistemi sanitari già gravati da limiti storici, amplificando gli effetti clinici e creando condizioni di rischio sistemico. Al contrario, regioni come Veneto, Trentino-Alto Adige e Friuli-Venezia Giulia dimostrano che dotazioni solide, capitale umano qualificato e buone capacità gestionali possono attenuare significativamente l'impatto degli shock, anche in presenza di elevata severità climatica. L'Italia si presenta, dunque, come un mosaico complesso, in cui clima, demografia, istituzioni e capacità organizzativa producono esiti profondamente differenziati.

Le traiettorie longitudinali dell'indice ReSaR confermano che la resilienza è un processo dinamico, non uno stato permanente: la Basilicata passa da una resilienza relativamente elevata nel 1999 ad un indebolimento marcato nel 2010; la Puglia migliora temporaneamente nel 2010 per poi arretrare nel 2021; il Piemonte mostra segnali di progressivo deterioramento; mentre la Valle d'Aosta combina un'elevata severità climatica con una resilienza medio-alta, delineando una forma di adattamento compensato. Questi risultati interpretano la resilienza non come una proprietà statica, ma come l'esito contingente di investimenti, *governance*, organizzazione del lavoro, capacità amministrative e decisioni politiche.

Le implicazioni di *policy* che discendono da questo quadro sono nette e di ampia portata. La resilienza sanitaria deve essere considerata un investimento con ritorni elevati e persistenti, non un costo da comprimere. Gli shock climatici agiscono come amplificatori delle disuguaglianze territoriali: senza un rafforzamento delle capacità amministrative e organizzative, la politica climatica rischia di rimanere inefficace. La programmazione dei sistemi sanitari deve diventare *climate-informed*, integrando scenari climatici nella definizione dei fabbisogni di personale, nei modelli organizzativi della rete ospedaliera, nelle strategie territoriali e nella valutazione dell'allocazione ottimale delle risorse. Allo stesso modo, la crescente interazione tra clima e demografia impone un ripensamento dell'economia della cura: un Paese che invecchia in un clima sempre più instabile necessita di strumenti innovativi e integrati, capaci di proteggere i più vulnerabili e di prevenire la produzione cumulativa di fragilità.

Dal punto di vista scientifico, il lavoro offre un contributo metodologico e applicativo significativo: l'integrazione di dati climatologici, epidemiologici e sanitari tramite tecniche robuste di standardizzazione, ponderazione e analisi composita secondo il manuale OCSE–JRC, insieme alla validazione tramite il metodo *Benefit-of-the-Doubt*, rappresenta un approccio innovativo nel panorama europeo e una base solida per future analisi comparative. Le prospettive di ricerca che si aprono includono modelli causali non lineari, sistemi di allerta precoce clima–sanità, analisi infraregionali, utilizzo di *big data* ospedalieri e studi di ottimizzazione allocativa per il *decision-making* pubblico.

In ultima analisi, il cambiamento climatico non pone soltanto una questione ambientale o sanitaria: interpella la qualità delle istituzioni, la giustizia territoriale, la capacità di un Paese di proteggere chi è più fragile. Il rischio climatico-sanitario è un nuovo indicatore della qualità democratica: misura fino a che punto un sistema pubblico sa garantire equità, prevenzione, continuità della cura e protezione sociale in condizioni di stress estremo. La resilienza non è una dote naturale, ma una costruzione collettiva che richiede visione politica, *leadership* competente, investimenti strategici e un'amministrazione capace di apprendere nel tempo.

La risposta dell'Italia a questa sfida – la più grande sfida di civiltà del XXI secolo – determinerà non soltanto la tenuta del suo sistema sanitario, ma la sua capacità di custodire la salute, la dignità e i diritti fondamentali dei cittadini in un mondo sempre più complesso, interdipendente e vulnerabile. Solo costruendo sistemi sanitari resilienti, infrastrutture solide e istituzioni capaci di anticipare gli shock, sarà possibile garantire un futuro prospero, equo e sostenibile alle generazioni che verranno.

*La borsa di dottorato è stata finanziata con risorse dell'Unione Europea, sui fondi di cui
al DM n.351/2022 – Next Generation EU – Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza 2022-2025
Missione 4: “Istruzione e ricerca” – Componente 1: “Potenziamento dell’offerta dei servizi di istruzione:
dagli asili alle università” – Investimento 4.1: “Estensione del numero di dottorati di ricerca e dottorati
innovativi per la PA e il patrimonio culturale” – Tematica PNRR: “Salute” – CUP: I61I22000350007*



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA