COMITATO NAZIONALE ITALIANO PER LE GRANDI DIGHE

PROVINCIA AUTONOMA DI TRENTO

Workshop

Dighe e Territorio

La realtà del Trentino

8 - 9 Ottobre 2026

Sala Congressi Interbrennero

CLIMATE CHANGE E CONSUMO DI SUOLO: RIFLESSIONI PER UNA GESTIONE SOSTENIBILE DELLE RISORSE IDRICHE

Prof. Ing. Maurizio Giugni

Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale (DICEA)

Università degli Studi di Napoli Federico II

Criticità da affrontare



- **CLIMATE CHANGE**
  Variazioni del regime climatico (temperature, precipitazioni meteoriche, umidità del suolo, runoff)
- **URBANIZZAZIONE ED ANTROPIZZAZIONE**
  Consumo di suolo
- **POSSIBILE INCREMENTO DEI FABBISOGNI**
- **FRAMMENTAZIONE GESTIONALE E CRITICITÀ TECNICHE DEL SERVIZIO IDRICO INTEGRATO**





Le perdite del settore acquedottistico si attestano ancora intorno al 40%



DATI RELATIVI ALL'INDICATORE M1A (PERDITE LINEARI; MC/KM/GG) E M1B (PERDITE PERCENTUALI; %, MEDIA PONDERATA) [CAMPIONE RISTRETTO: 38 GESTORI; ANNI 2020-2023]

	M1a				M1b			
	2020	2021	2022	2023	2020	2021	2022	2023
Nord Est	10,33	10,23	10,27	10,22	29,8%	29,4%	29,6%	29,7%
Nord Ovest	20,81	20,74	20,27	18,91	28,4%	28,5%	28,9%	27,9%
Centro	23,90	22,29	21,97	21,50	47,2%	45,4%	45,8%	45,7%
Sud e Isole	33,73	32,19	34,65	32,56	45,6%	44,5%	46,5%	44,7%
TOTALE	**20,31**	**19,47**	**19,75**	**19,05**	**39,1%**	**38,0%**	**38,8%**	**38,2%**

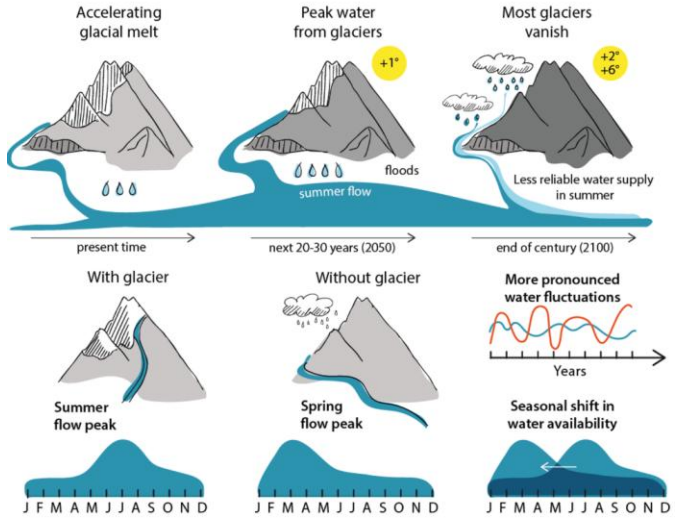
Fonte: elaborazione Fondazione Utilitatis su dati gestori

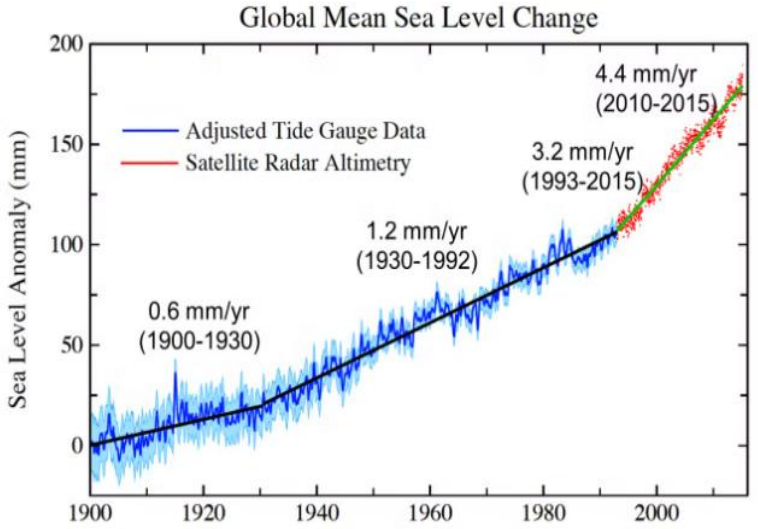
Climate Change

È in atto un complesso processo di variazione climatica, con evidenti conseguenze:

- **Temperature in aumento (heat waves, urban heat islands, extended droughts)**
- **Anomali pattern delle precipitazioni (frequent and intense rainfall events, flash floods and mud flows)**
- **Scioglimento progressivo dei ghiacciai**
- **Aumento del livello medio globale del mare**

Gli effetti futuri potranno variare in funzione dell'evoluzione delle attività antropiche (emissioni di gas a effetto serra), delle caratteristiche specifiche delle aree territoriali e degli eventuali interventi di mitigazione e adattamento.





IPCC Assessment Report 6 - 2023

SSP1: Sustainability (Taking the Green Road)

SSP2: Middle of the Road

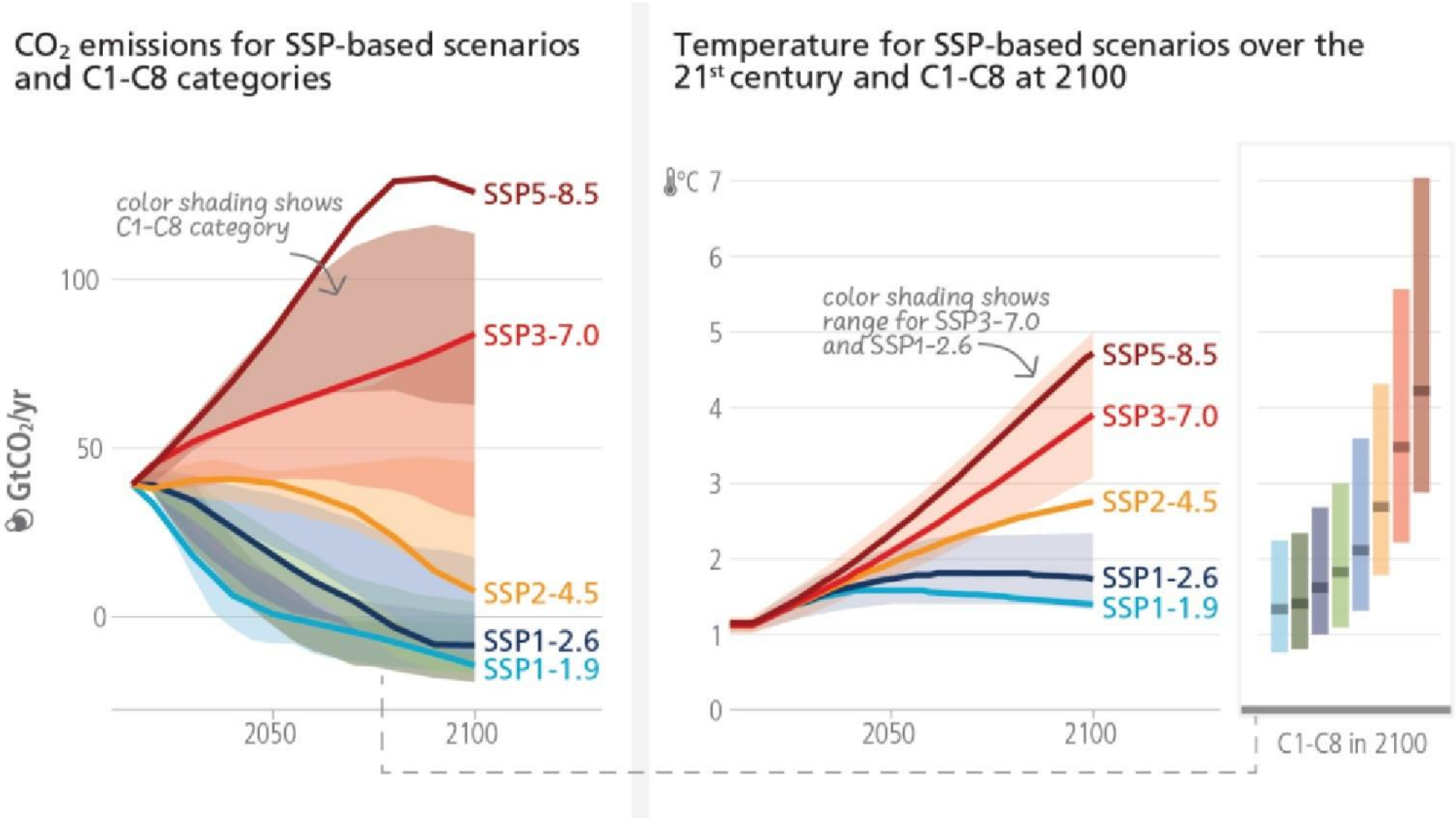
SSP3: Regional Rivalry (A Rocky Road)

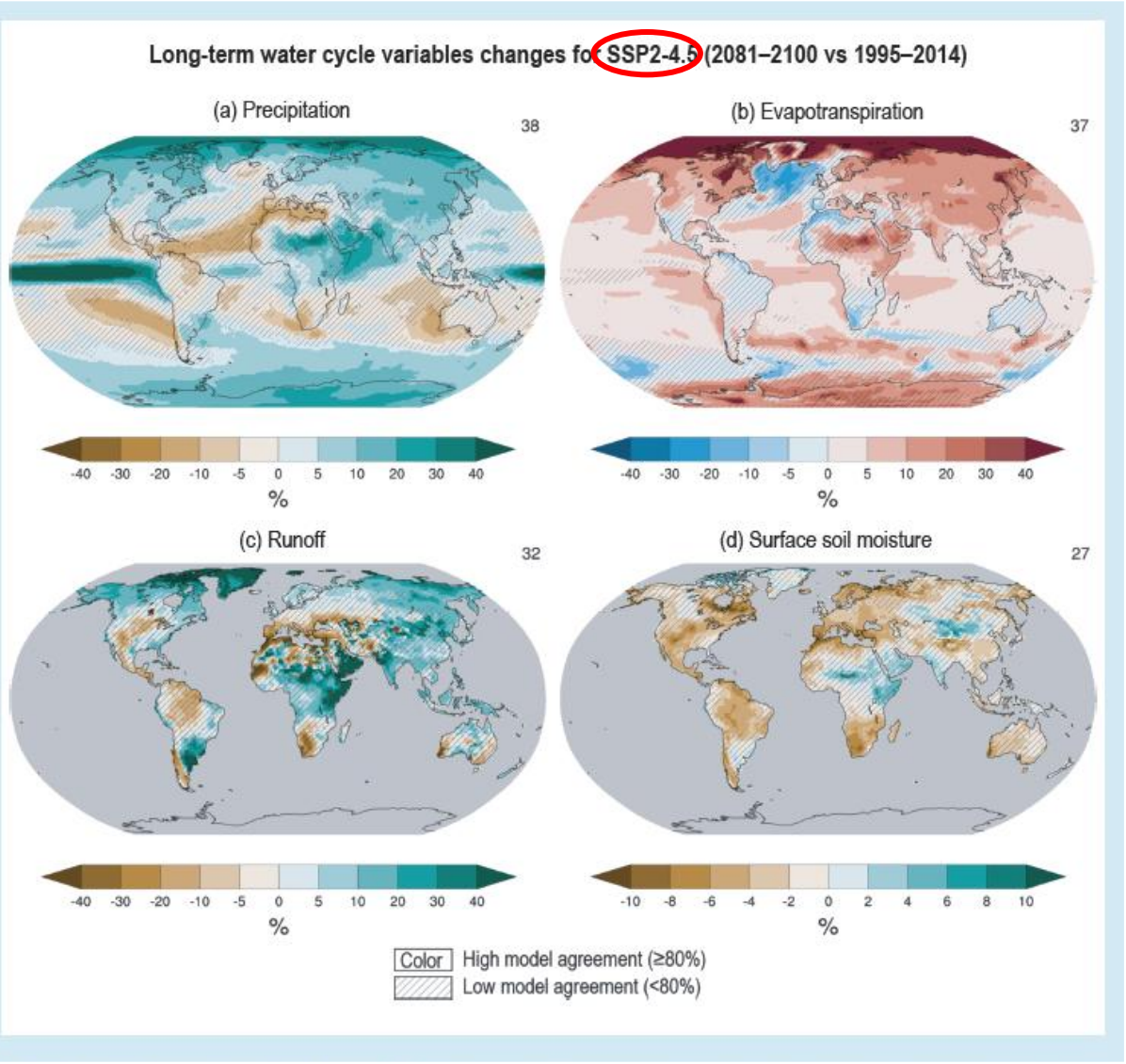
SSP4: Inequality (A Road divided)

SSP5: Fossil-fueled Development (Taking the Highway)

Shared Socioeconomic Pathways (SSPs)

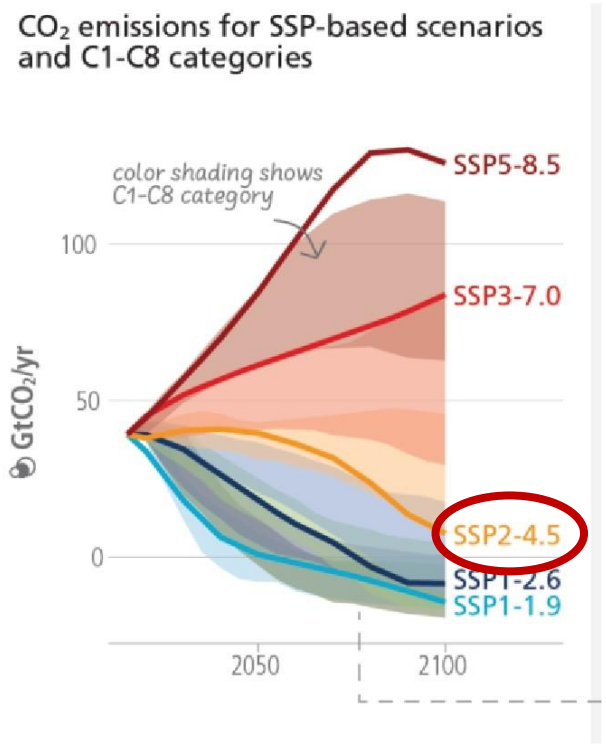
Category in WGIII	Category description
C1	limit warming to 1.5°C (>50%) with no or limited overshoot
C2	return warming to 1.5°C (>50%) after a high overshoot
C3	limit warming to 2°C (>67%)
C4	limit warming to 2°C (>50%)
C5	limit warming to 2.5°C (>50%)
C6	limit warming to 3°C (>50%)
C7	limit warming to 4°C (>50%)
C8	exceed warming of 4°C (>50%)





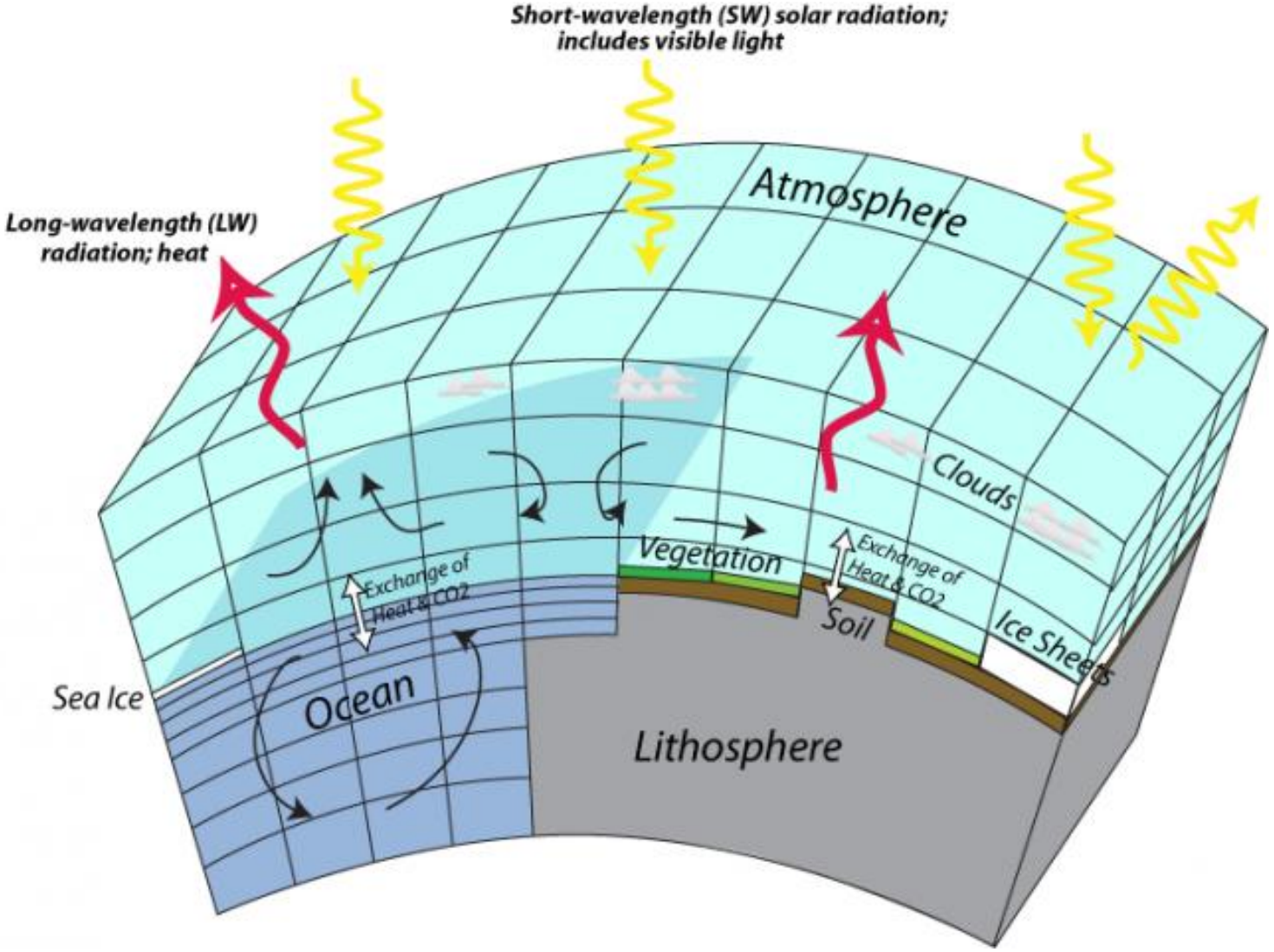
Climate scenario SSP2-4.5

Long-term spatial representation of water cycle variables (*precipitation*, *evapotranspiration*, *runoff* and *surface soil moisture*)



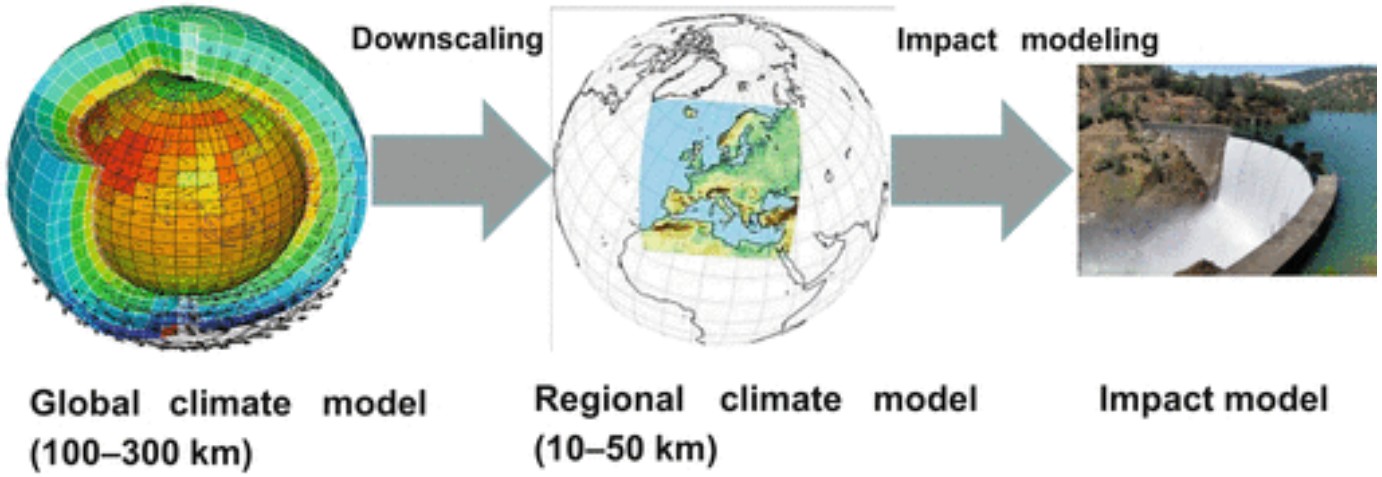
L’IPCC fornisce proiezioni climatiche inevitabilmente affette da incertezze:

- **Incertezze di scenario (SSP)**
- **Incertezze di modello,** dovute all’elevata complessità e non-linearità del sistema climatico
- **Incertezze legate alla scala territoriale:** i **GENERAL CIRCULATION MODELS (GCM)** forniscono proiezioni climatiche con **risoluzione spaziale variabile tra 100 e 300 km**



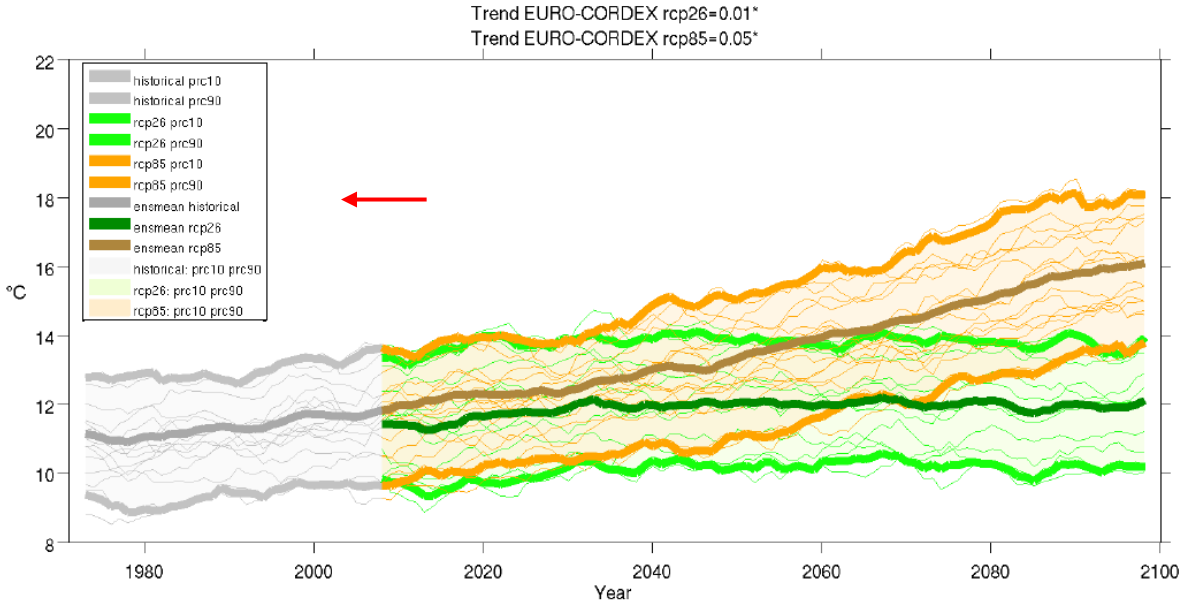
A queste incertezze può porsi in parte rimedio:

- facendo riferimento a **più scenari (SSP) diversi e ad un ensemble (insieme) di modelli diversi,** mirando alla valutazione di un **ensemble mean**
- utilizzando **Regional Climate Models (RCM),** che innestandosi su un modello globale da cui vengono acquisite le condizioni iniziali e al contorno, forniscono proiezioni climatiche su una specifica area ad una risoluzione più elevata (fino ad una massima risoluzione orizzontale di **10-50 km**)



Regional Climate Models selected by MED-CORDEX (Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment)

The growth of the mean value of the models is always positive: 1 °C in 100 years for RCP 2.6 and 5 °C in 100 years for RCP 8.5



La media delle **variazioni di temperatura** previste dai quattro modelli (ensemble mean) riduce notevolmente fin quasi ad annullare le differenze tra le diverse aree geografiche del nostro Paese.

L'ensemble mean prevede un incremento della temperatura media sul territorio rispetto al trentennio 1971-2000 compreso circa tra 1.25 e 1.75 °C nel trentennio 2021-2050, tra 1.75 e 2.25 °C nel 2041-2070 e tra 2.0 e 2.5 °C nel 2061-2090.

Acronimo	Istituto	RCM	GCM
ALADIN	Centre National de Recherches Météorologiques	CNRM-ALADIN 5.2	CNRM-CM5
GUF	Goethe University Frankfurt	GUF-CCLM 4-8-18	MPI-ESM-LR
CMCC	Centro EuroMediterraneo sui Cambiamenti Climatici	CMCC-CCLM 4-8-19	CMCC-CM
LMD	Laboratoire de Météorologie Dynamique	LMD-LMDZ4-NEMOMED8	ISPL-CM5A-MR

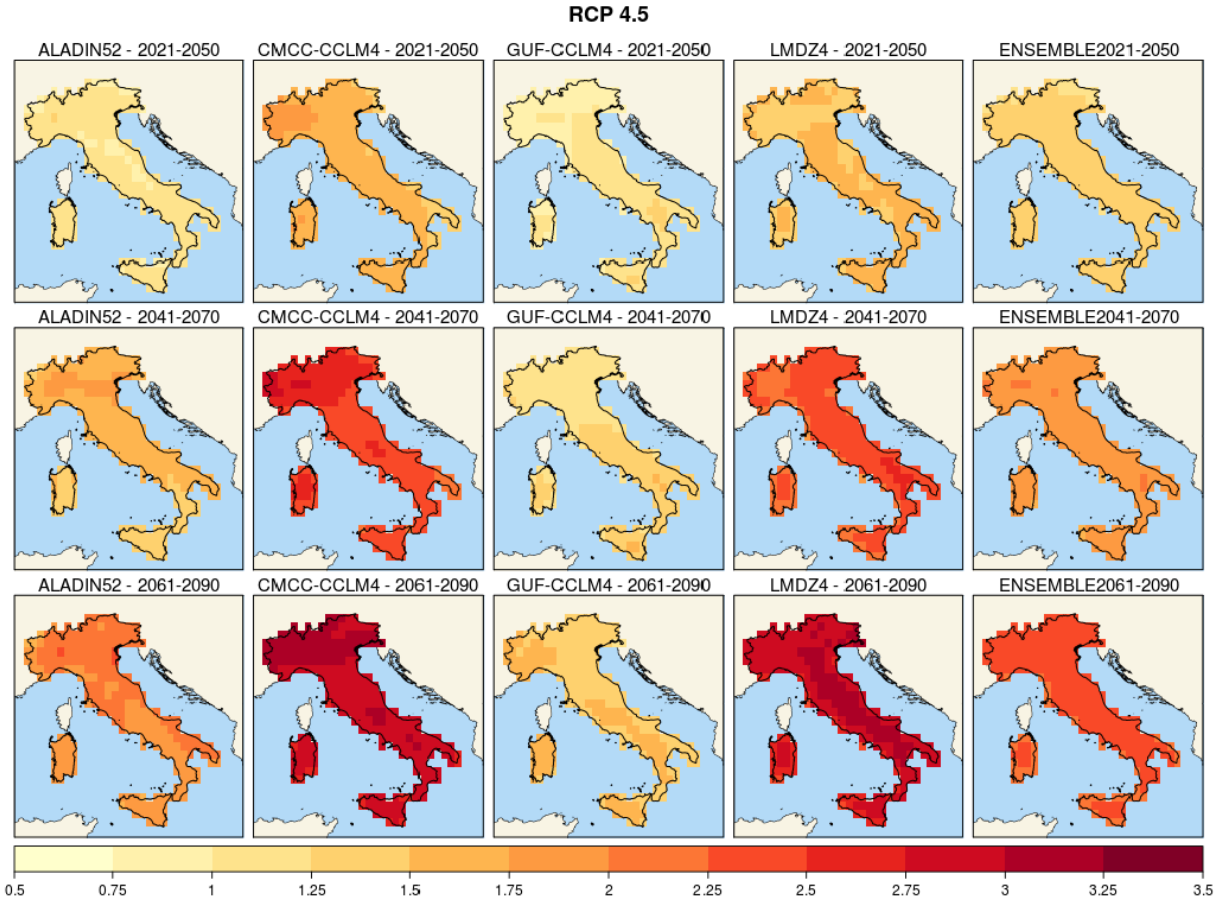
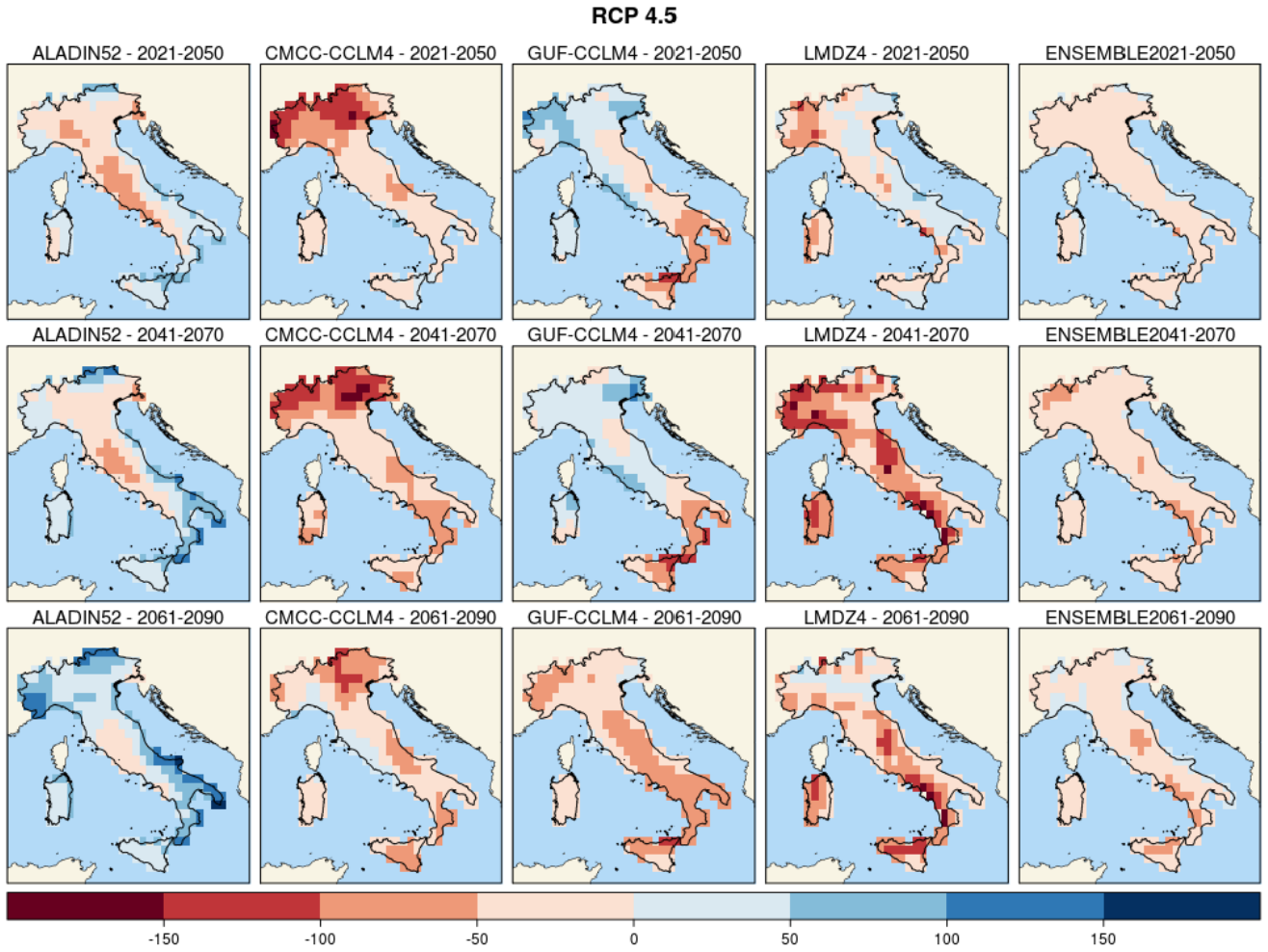


Figura 3.4 – *Temperatura media (°C), scenario RCP4.5. Mappe delle variazioni previste dai modelli e dall'ensemble mean ai tre orizzonti temporali 2021-2050 (prima riga), 2041-2070 (seconda riga), 2061-2090 (terza riga).*

Diversamente dalla temperatura, **l'andamento nel tempo e la distribuzione delle precipitazioni cumulate annuali** sono piuttosto diversificati da modello a modello.

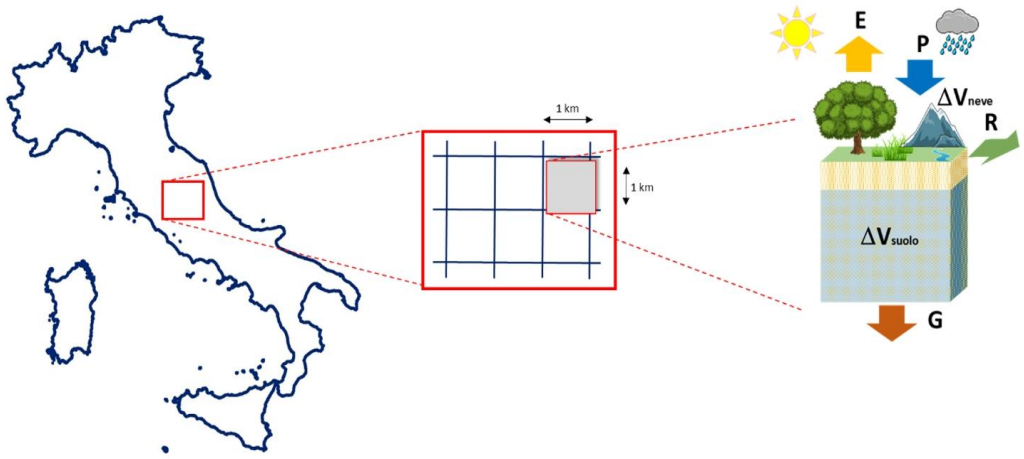
Dall'ensemble mean risulta **una debole diminuzione della precipitazione piuttosto uniforme su tutto il territorio nazionale al primo orizzonte temporale (trentennio 2021-2050).**

Per gli altri orizzonti temporali l'ensemble mean individua ancora una distribuzione abbastanza uniforme di valori prevalentemente negativi, ma con segnale debole.

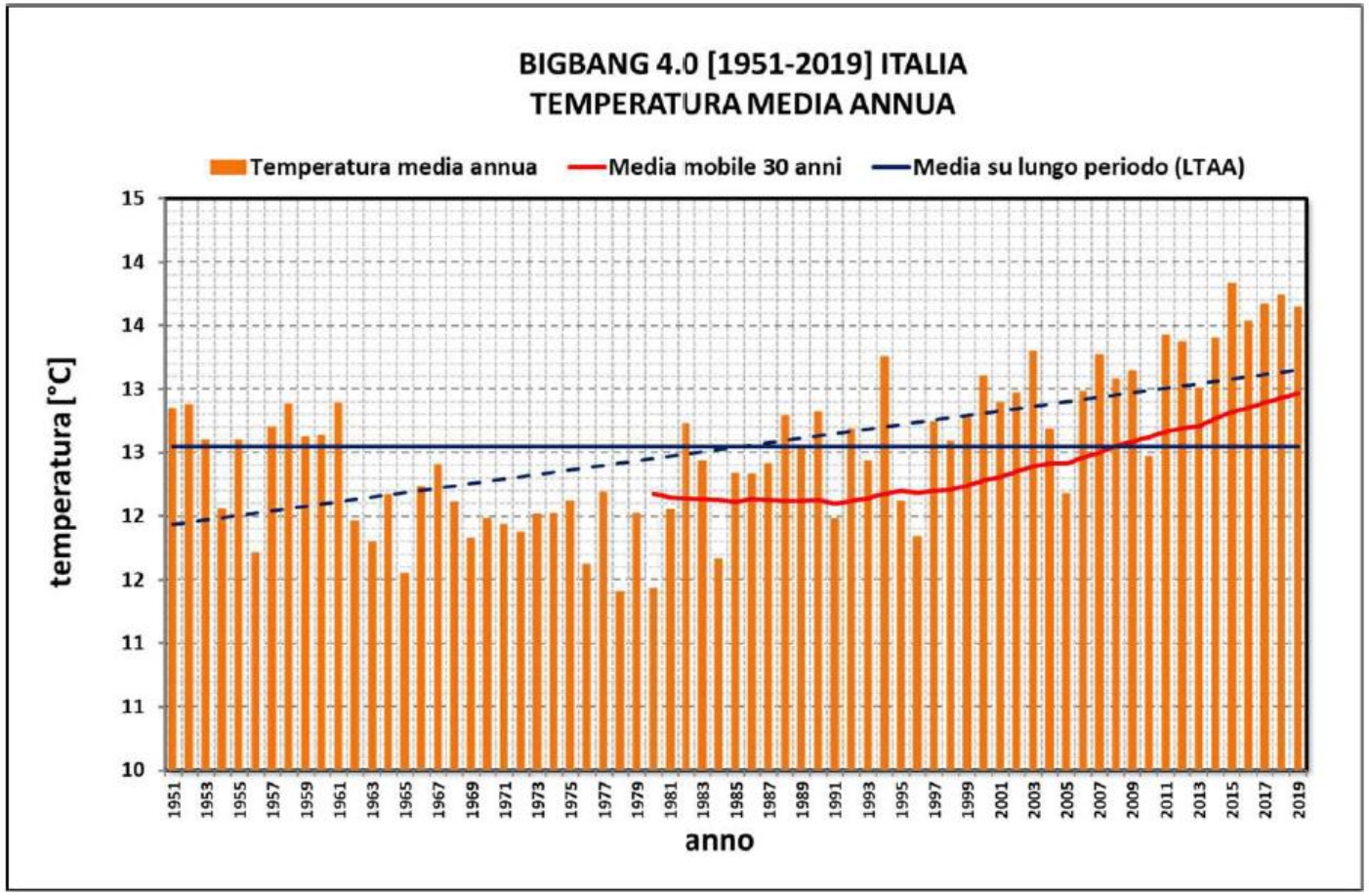


Precipitazione cumulata (mm) - scenario RCP 4.5. Mappe delle variazioni previste dai modelli e dall'ensemble mean ai tre orizzonti temporali 2021-2050 (prima riga), 2041-2070 (seconda riga), 2061-2090 (terza riga)

E considerando i dati climatici reali?



Progetto ISPRA BIGBANG - Bilancio Idrologico GIS BAsed a scala Nazionale su Griglia regolare per la stima delle componenti del bilancio idrologico a scala mensile per il territorio nazionale

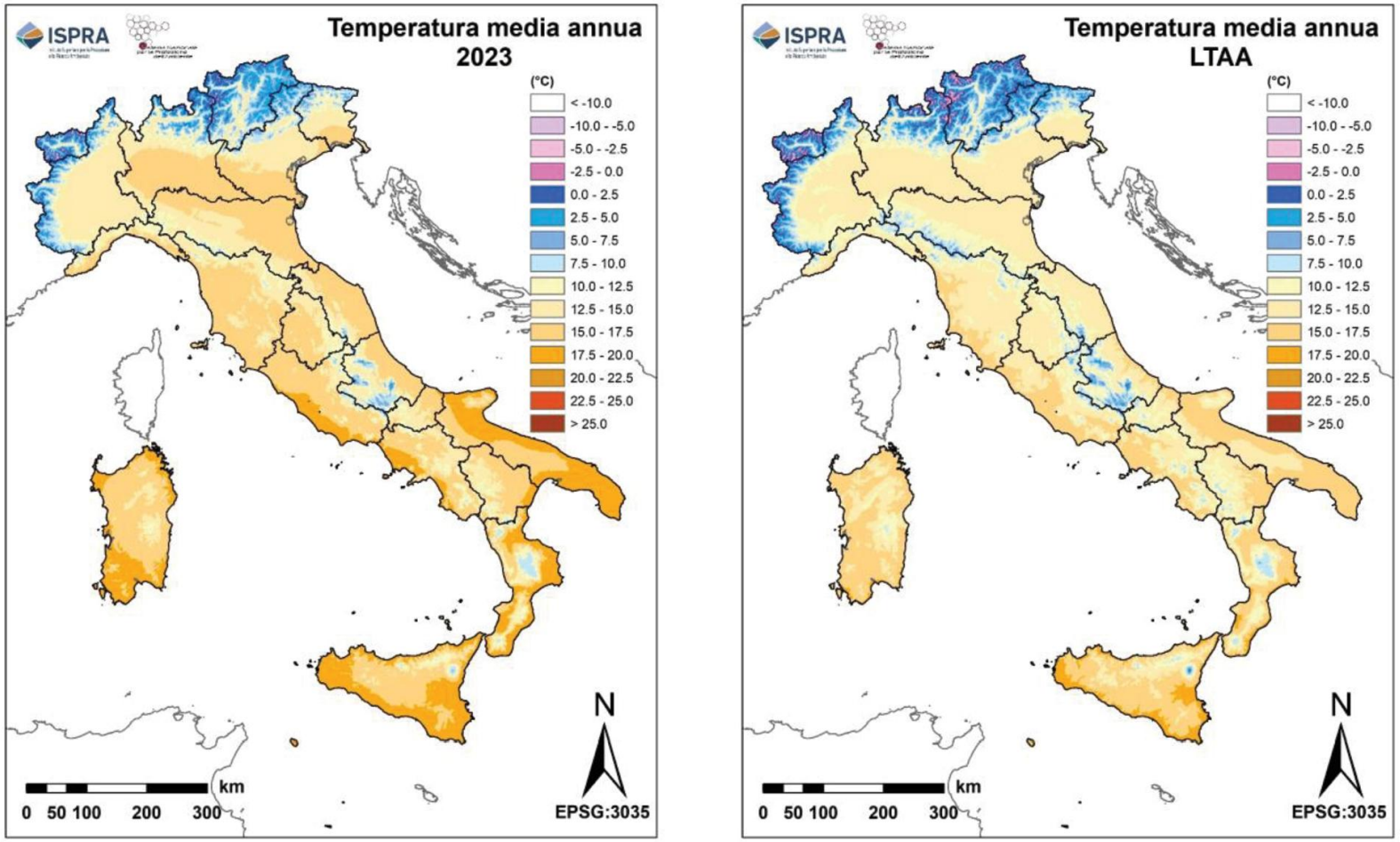


Serie storica della temperatura media annua dal 1951 al 2019, con l'indicazione della media annua, della retta di regressione e della media mobile su 30 anni

Temperatura Media Annua

LTAA
Long Term
Annual Average

Figura 2.9 – Temperatura media annua: (a) anno 2023; (b) LTAA (media su lungo periodo 1951–2023).

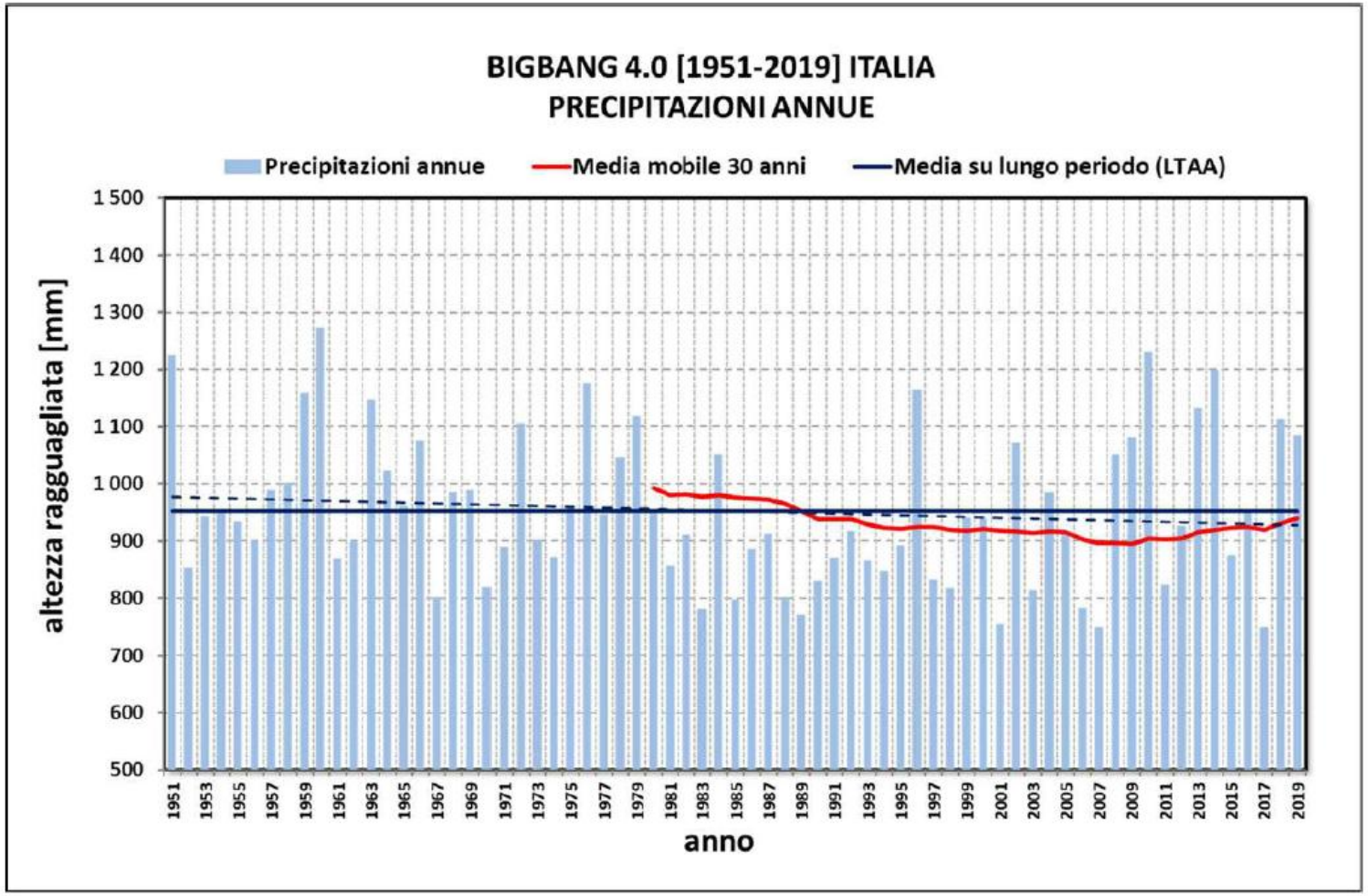


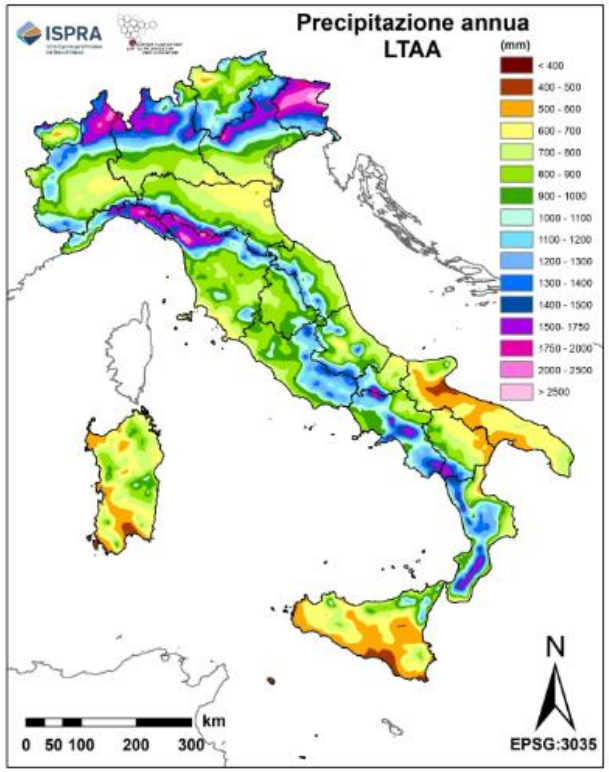
(a) (b)

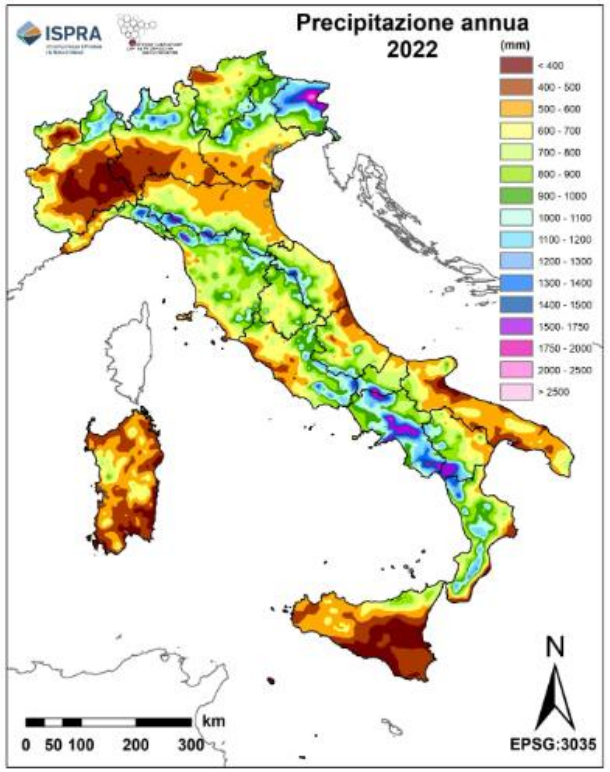
Fonte dati: Elaborazioni SCIA su dati dei servizi idro-meteorologici regionali e delle province autonome e del soppresso SIMN, ricampionate e proiettate sul grigliato adottato dal BIGBANG.

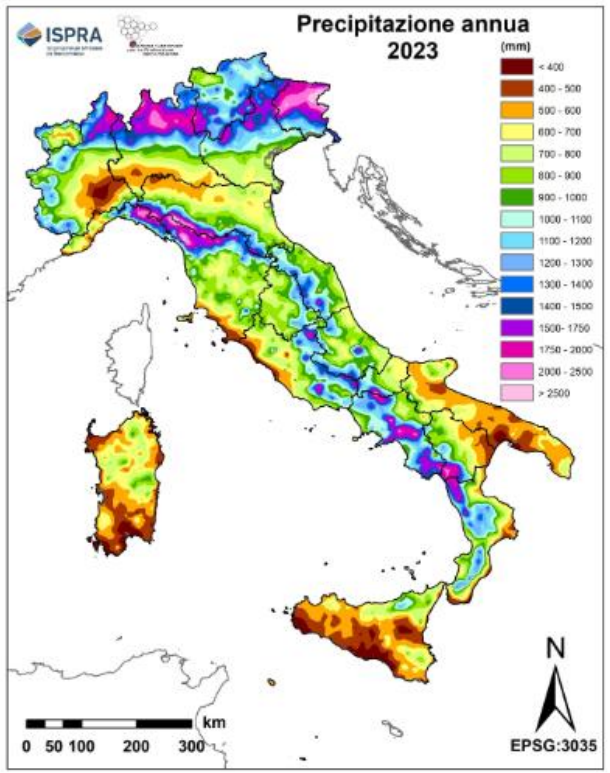
Serie storica delle **precipitazioni annue** dal 1951 al 2019 con l'indicazione della media annua, della retta di regressione e della media mobile su 30 anni

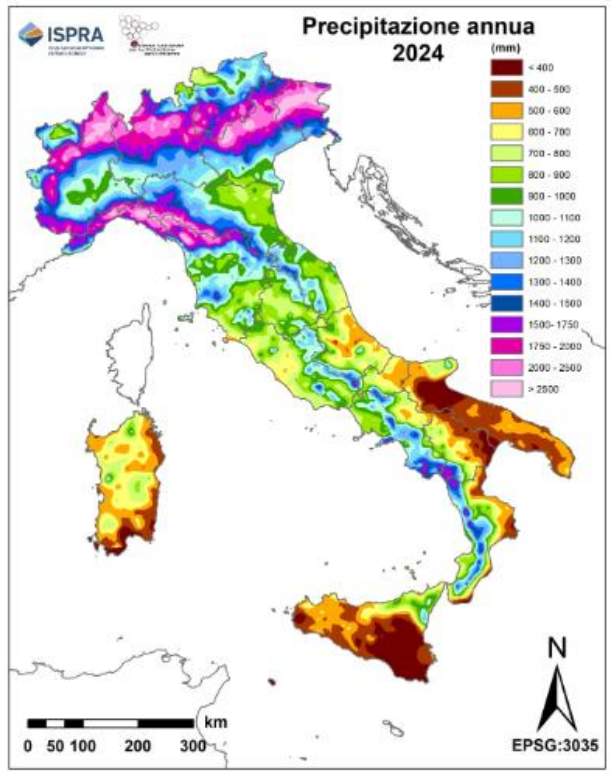
Progetto ISPRA BIGBANG - Bilancio Idrologico GIS BAsed a scala Nazionale su Griglia regolare



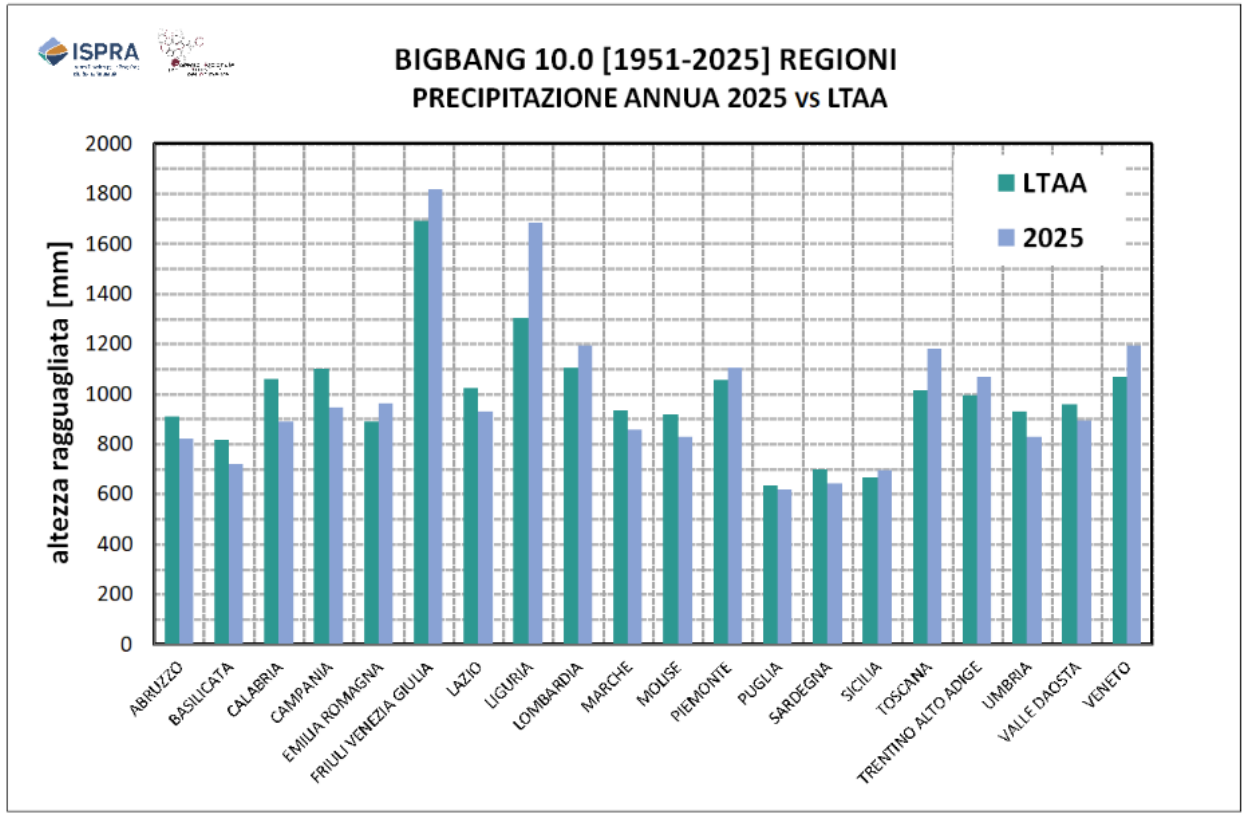








Precipitazione annua media sul lungo periodo 1951-2023 (LTAA) vs. precipitazione totale annua nel 2022, 2023 e 2024 (ISPRA, 2025)



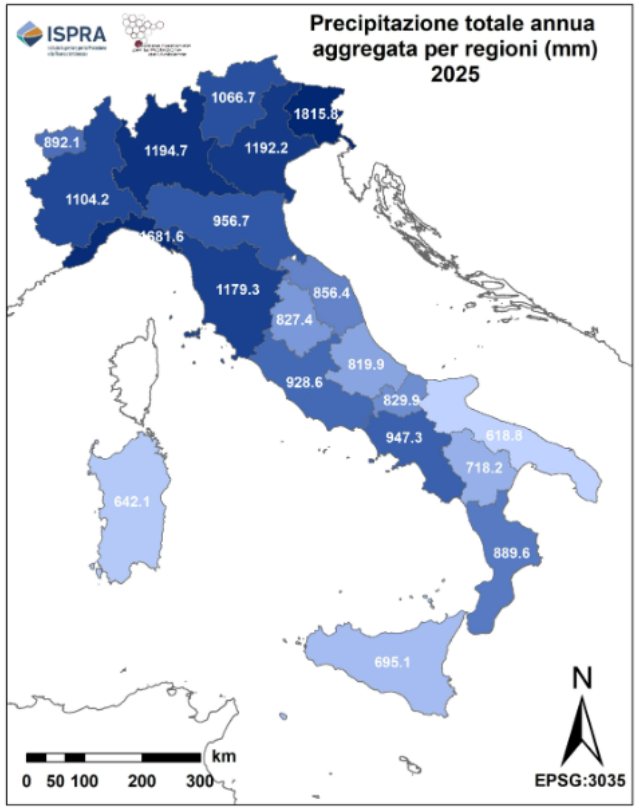
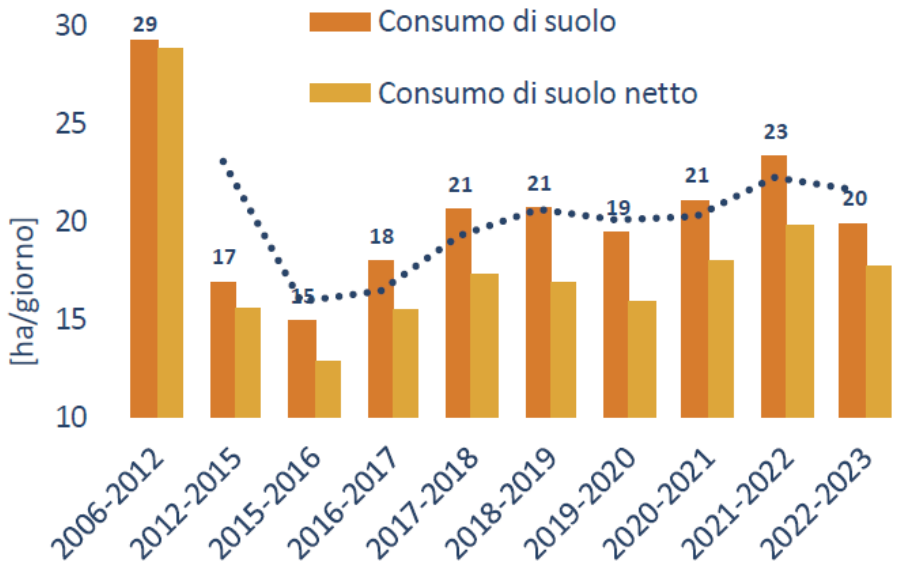


FIGURA 13. PRECIPITAZIONE ANNUA 2025 VS. PRECIPITAZIONE MEDIA SUL LUNGO PERIODO A SCALA REGIONALE (PRIMO PANNELLO) E DISTRIBUZIONE SPAZIALE DELLA PRECIPITAZIONE ANNUA 2025 PER REGIONE (SECONDO PANNELLO). FONTE: ISPRA, SU DATI UFFICIALI DEI SERVIZI IDROLOGICI REGIONALI E DELLE PROVINCIE AUTONOME E DEL SOPPRESSO SIMN-SERVIZIO IDROGRAFICO E MAREOGRAFICO NAZIONALE.

Urbanizzazione e Consumo di Suolo

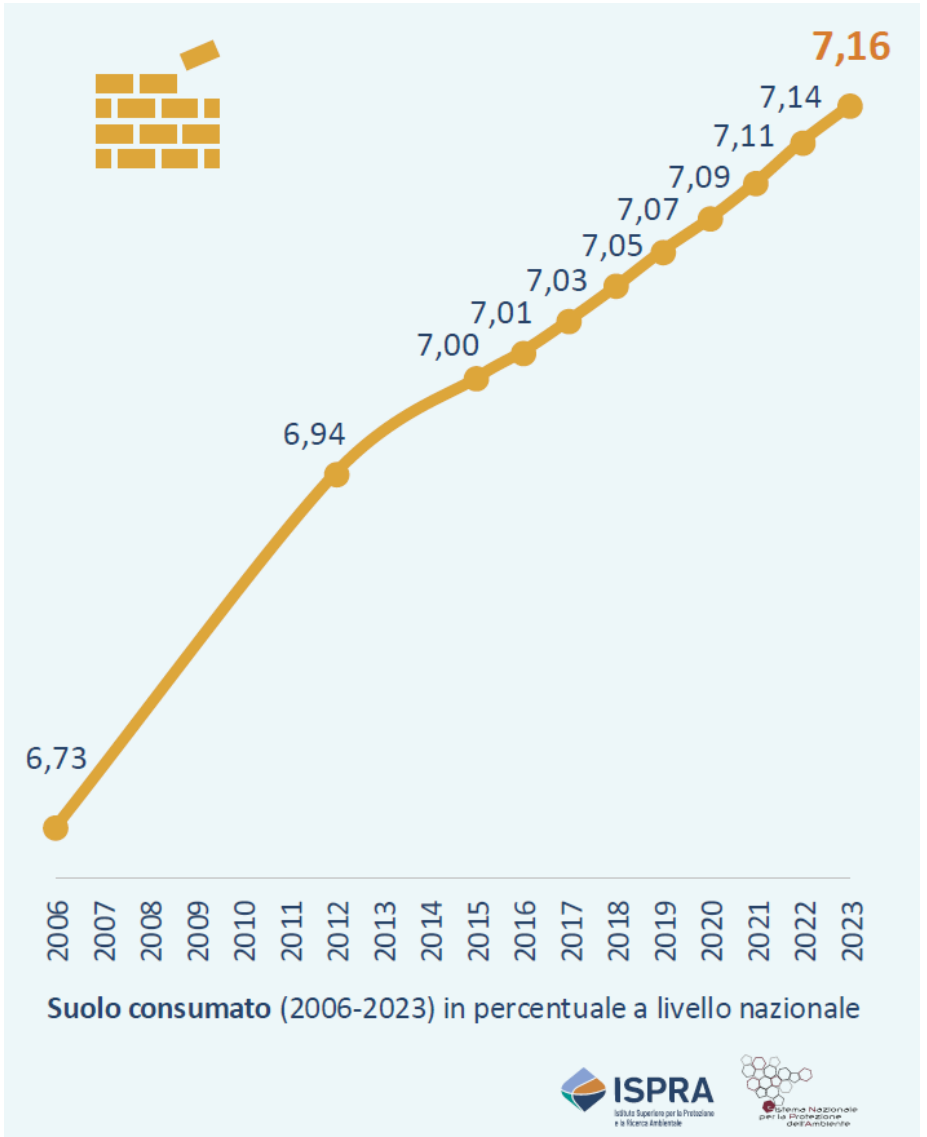


Velocità del consumo di suolo netto giornaliero (2006 – 2023)

Tra il 2022 e il 2023

20 ha/giorno

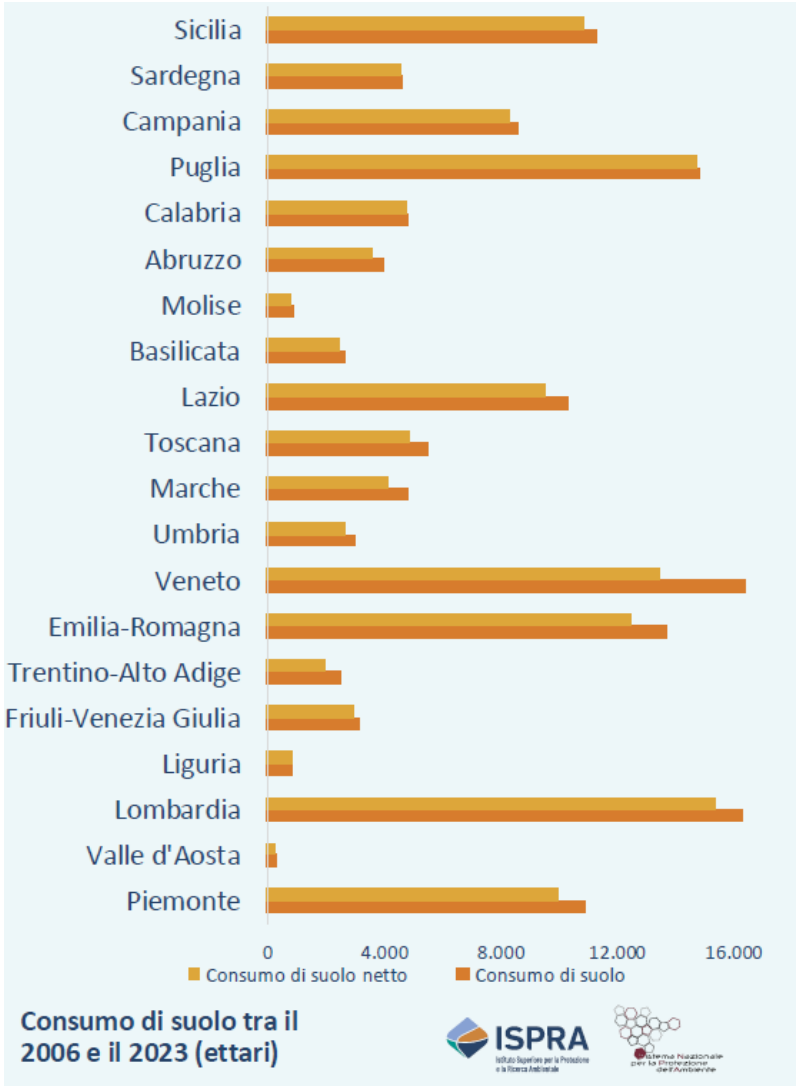
2,3 m^2/sec



Suolo consumato (2006-2023) in percentuale a livello nazionale

N.B.: 7,17% nel 2024

Consumo di suolo a scala regionale



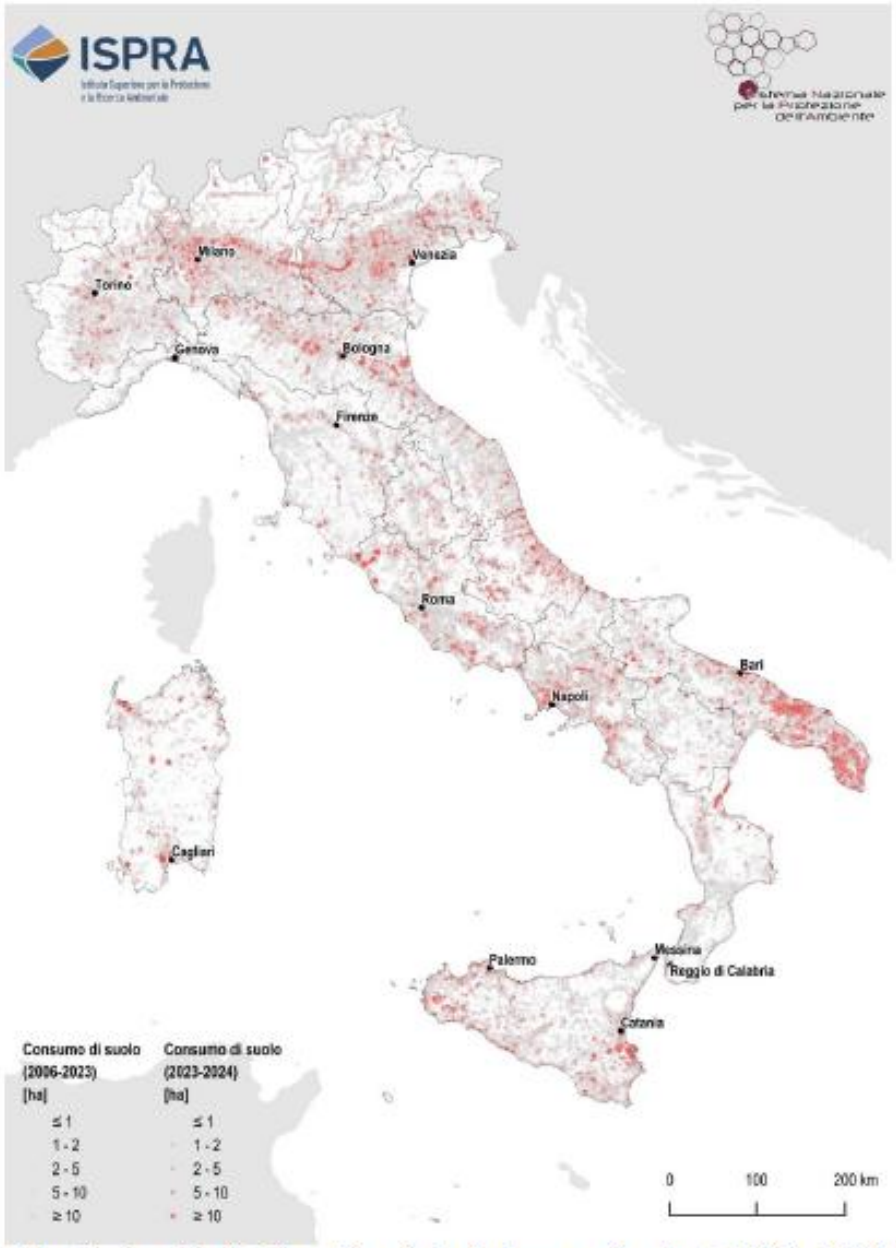


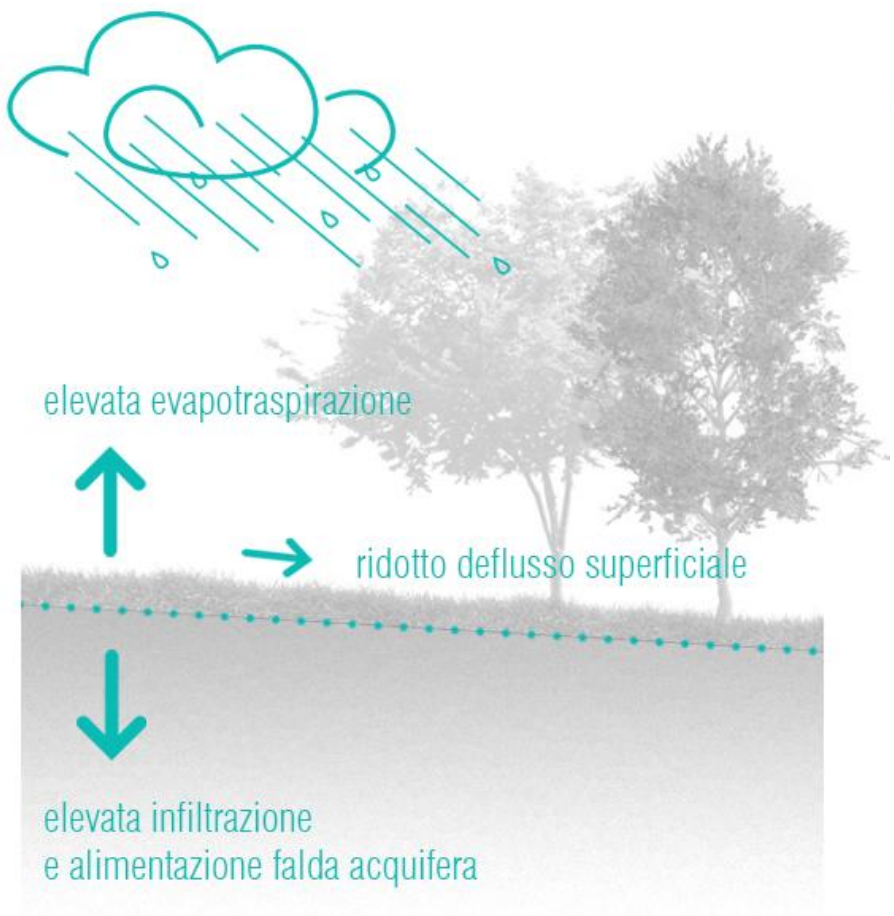
Figura 3. Localizzazione dei principali cambiamenti dovuti al consumo di suolo tra il 2006 e il 2024. Fonte: elaborazioni ISPRA su cartografia SNPA (2025)

Impatti del consumo di suolo

Il consumo di suolo ricopre un ruolo fondamentale per la gestione delle acque meteoriche

Conseguenze della impermeabilizzazione:

- **riduzione della evaporazione,** processo che garantisce il contenimento delle temperature
- **riduzione dell'infiltrazione negli strati superficiali del suolo,** con conseguente **riduzione dei processi di ricarica delle falde**
- **incremento del deflusso superficiale (*urban flash floods*)**



Green environment

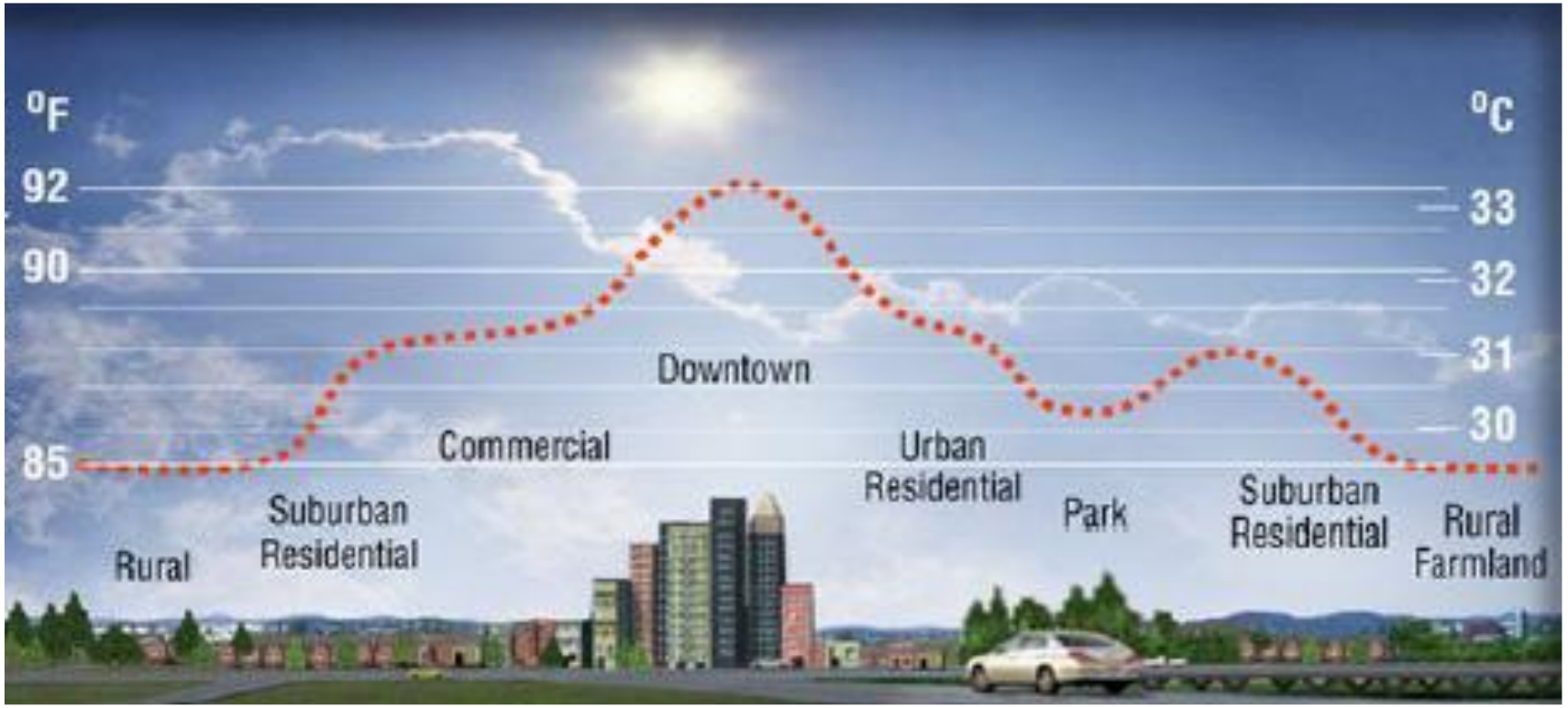


Urban environment

Impatto combinato CC e SC: urban heat islands

La riduzione della evapotraspirazione nelle aree urbane dovuta alla perdita di vegetazione per la impermeabilizzazione del suolo e **l'aumento dell'assorbimento di energia solare dalle superfici «scure»** (asfalto, cemento, coperture fabbricati) contribuiscono in modo significativo a produrre l'effetto di concentrazione del calore noto come **Isola di Calore Urbano (Urban Heat Island)**, tra l'altro più pronunciato nelle ore notturne.

Urban Heat Island Profile

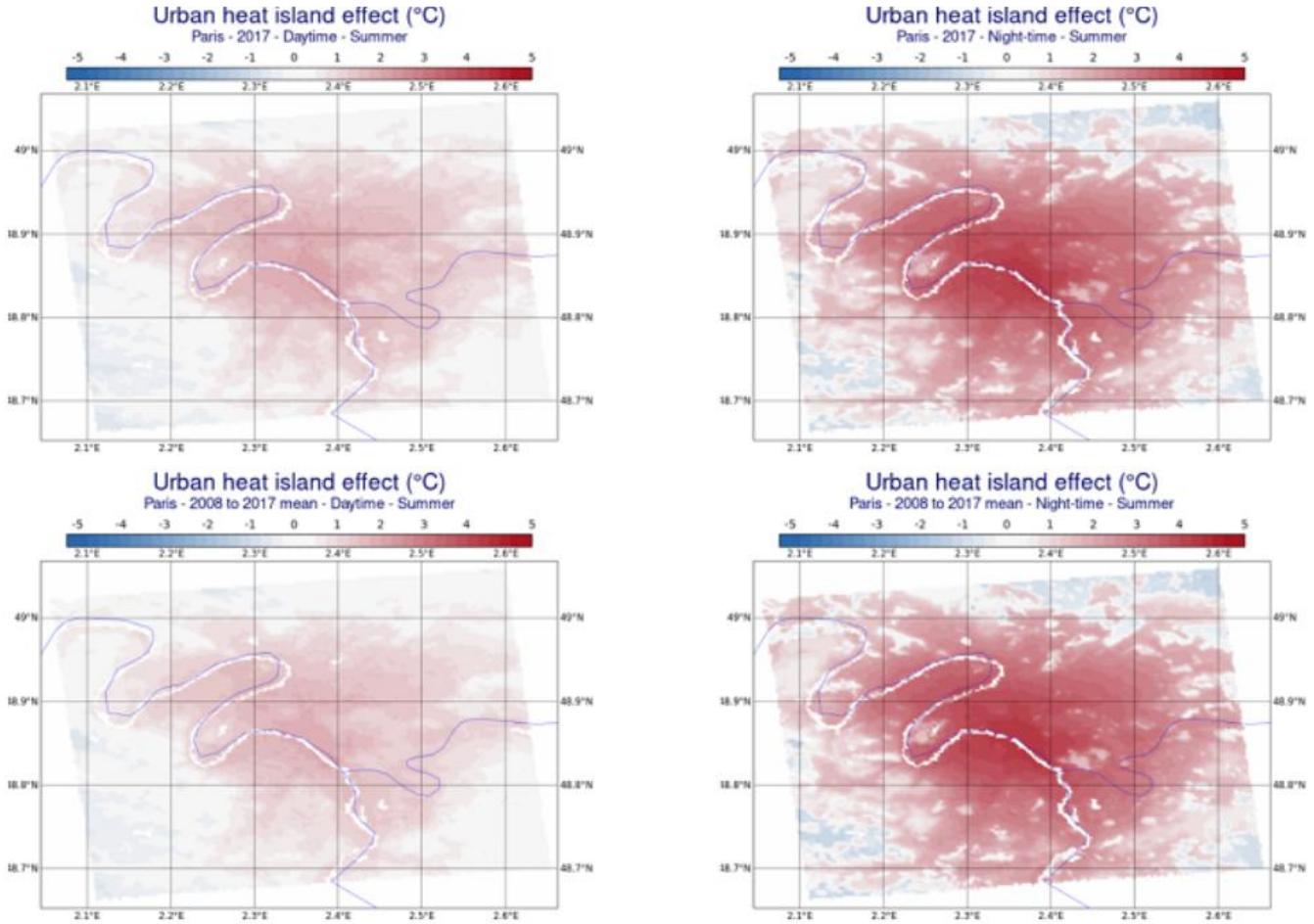


Impatto combinato CC e SS: urban heat islands

Top: The urban heat island effect in Paris in summer 2017 (left: day, right: night)

Bottom: the mean for 2008–2017 (left: day, right: night)

Credit: Copernicus Climate Change Service, ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts)



European Commission

opernicus
Europe's eyes on Earth

IMPLEMENTED BY ECMWF

Climate Change Service
climate.copernicus.eu

Siccità

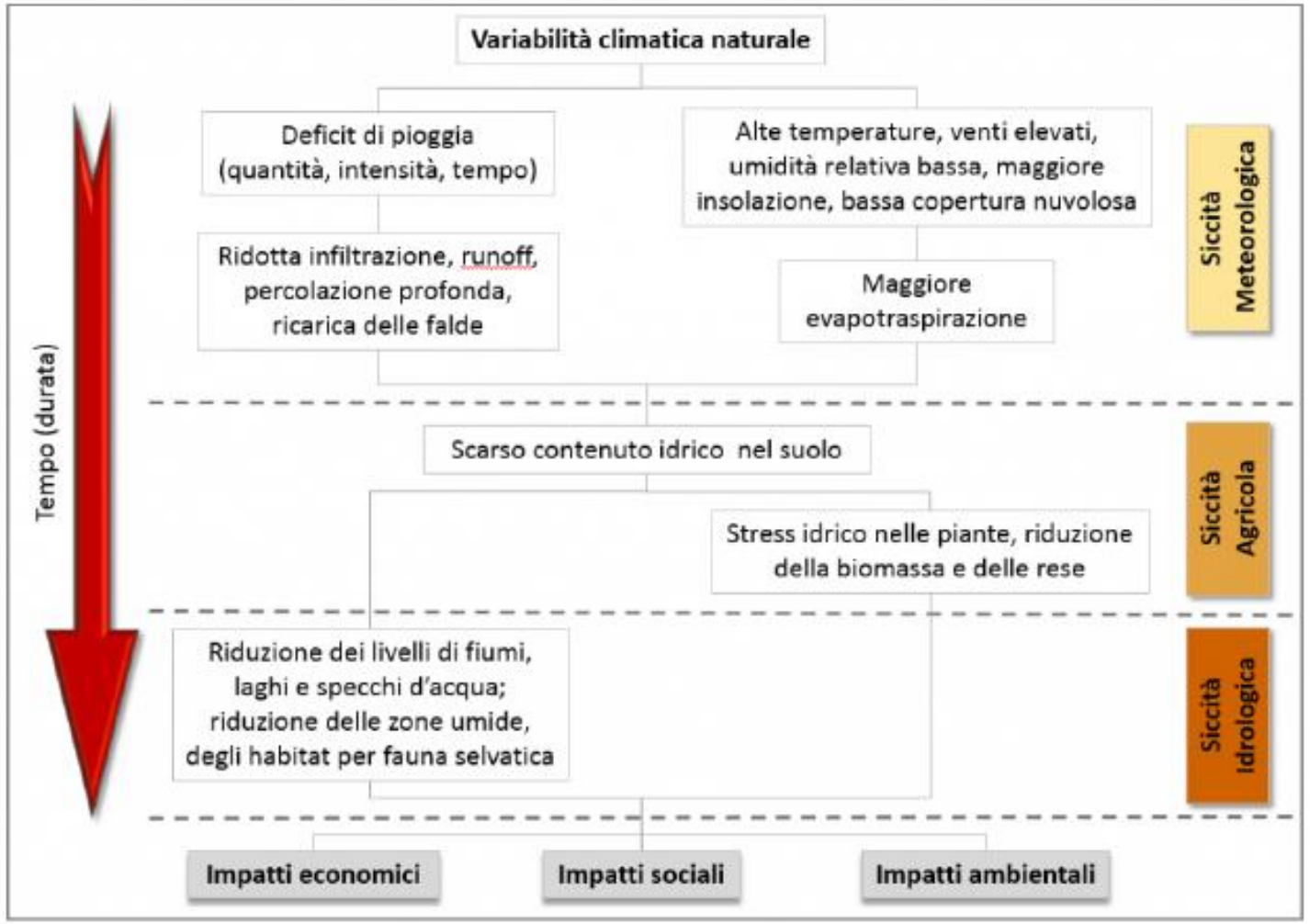


Fig. 1. *Schema riassuntivo delle diverse forme di siccità, e degli elementi che le caratterizzano, secondo un'evoluzione temporale.*

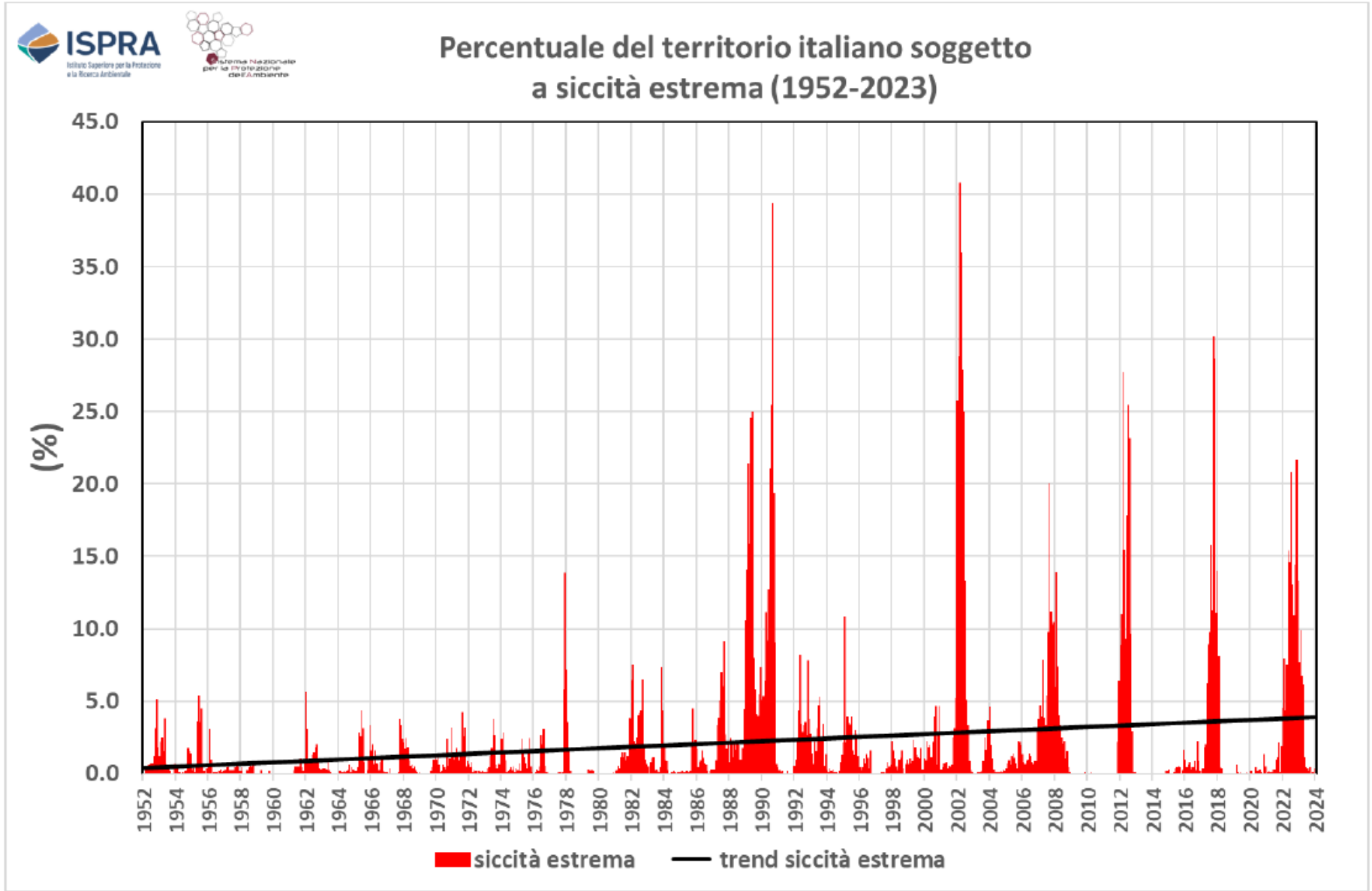
(figura presa da Osservatorio Siccità CNR, 2023)

Siccità



Fig.15. *Immagini satellitari dell'area del Delta del Po a confronto, relative alla stagione estiva rispettivamente del 2020 e 2022. Vengono messi in evidenza i danni della siccità a cui si aggiunge l'intrusione salina.*

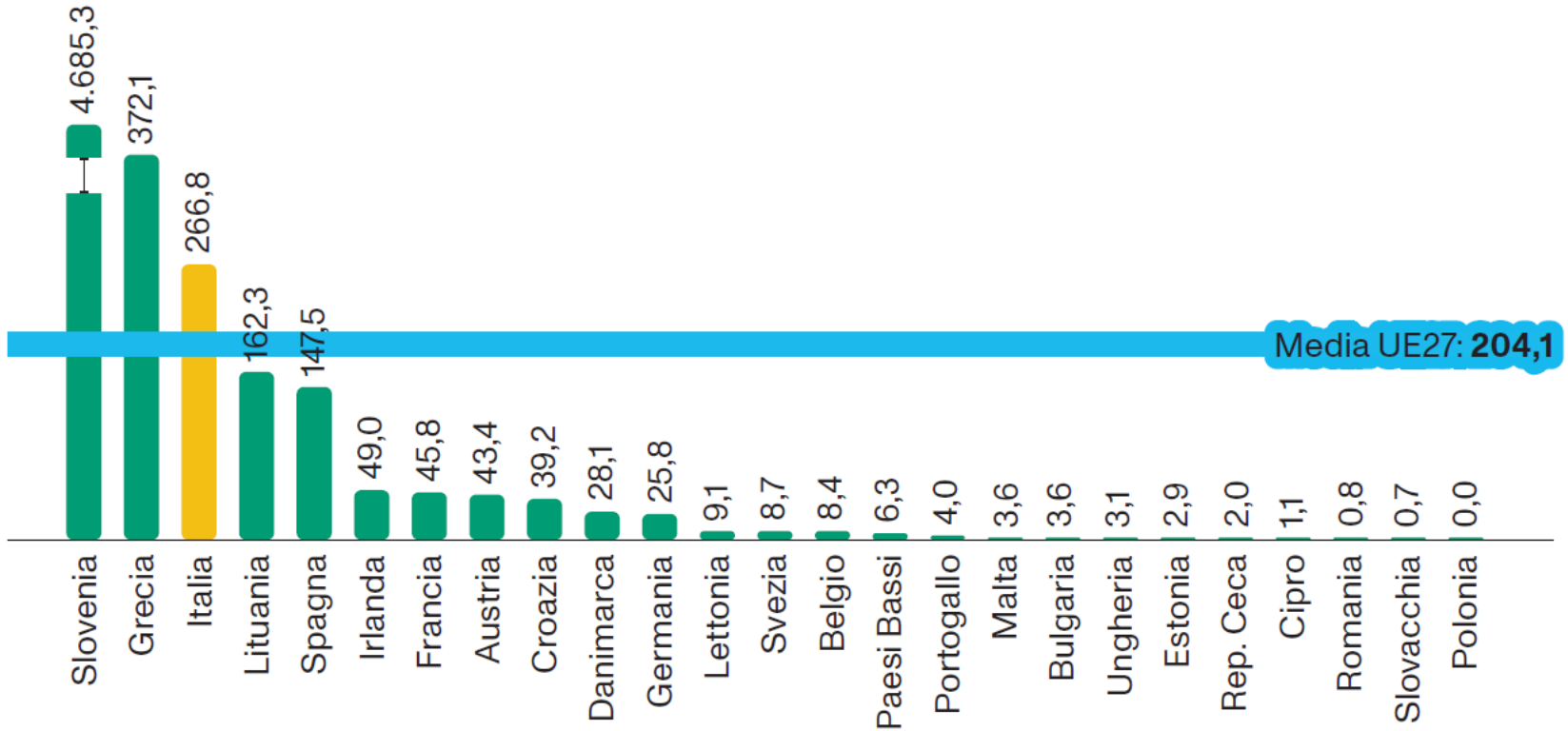
Figura 4.7 – Percentuale di territorio nazionale soggetto a siccità estrema per il periodo 1952-2023.



Fonte dati: Elaborazioni BIGBANG su dati dei servizi idro-meteorologici regionali e delle province autonome e del soppresso SIMN.

Impatto economico legato al clima

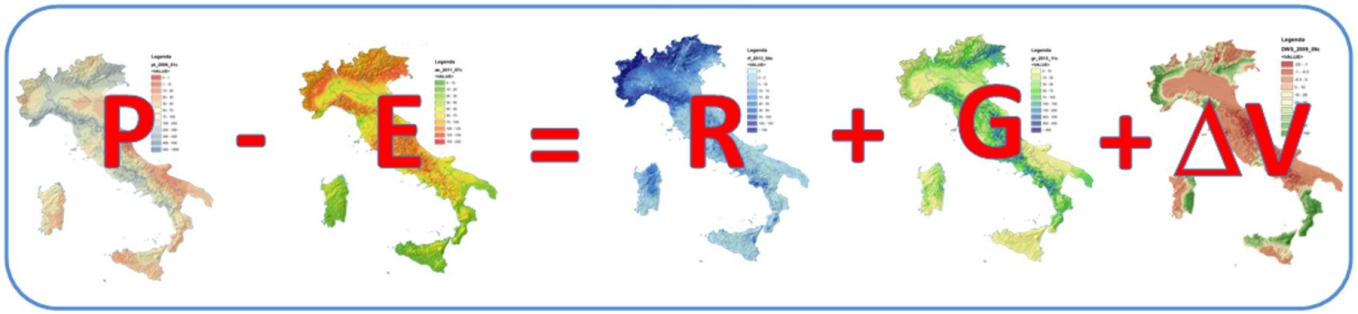
FIG 6 →
Perdite economiche legate al clima nei Paesi UE27 (Euro pro capite), 2023.



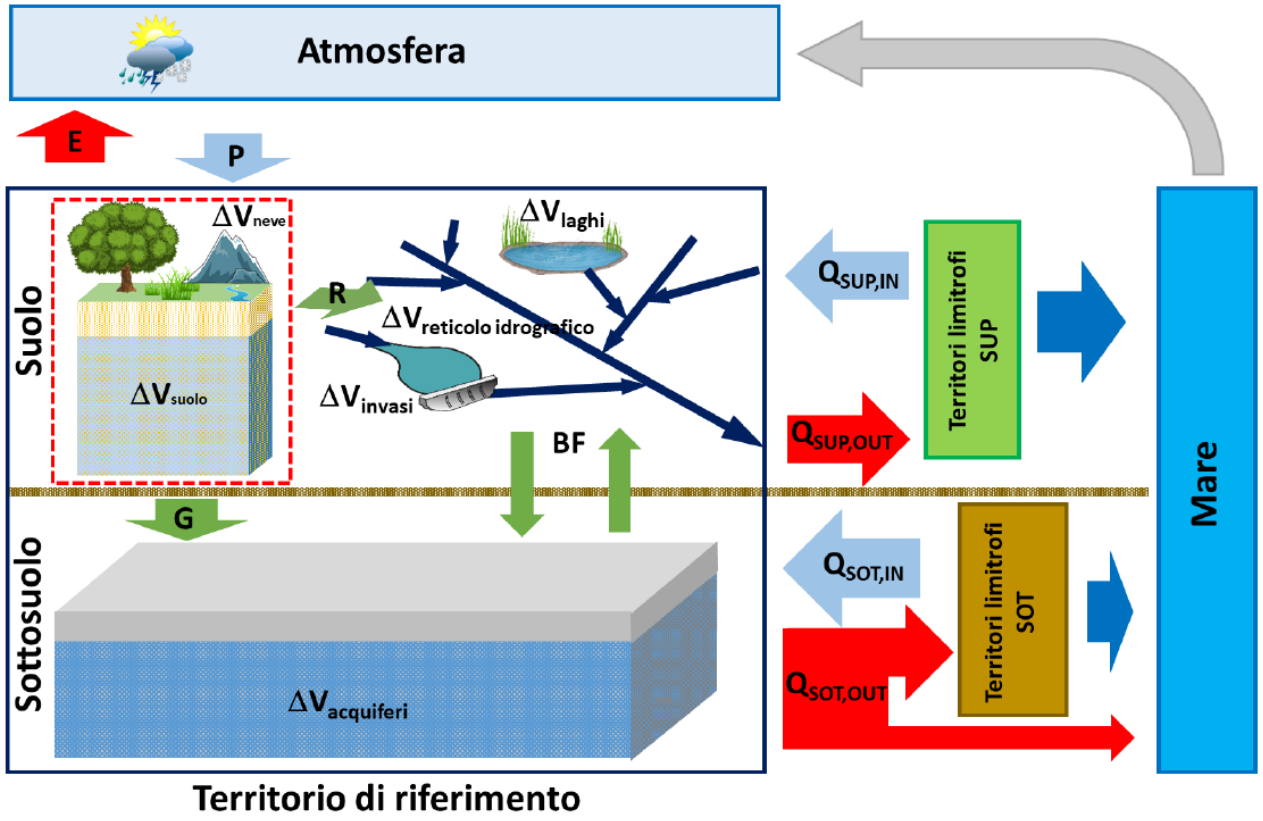
N.B. Non sono disponibili i dati per: Estonia, Irlanda, Cipro, Lettonia, Lussemburgo, Malta, Finlandia, Svezia.

Elaborazione TEHA Group su dati Eurostat, 2025.

SCHEMA DEL BILANCIO IDROLOGICO DEL SUOLO



- ***P*** Precipitazione Totale
- ***E*** Evapotraspirazione Reale
- ***R*** Ruscellamento superficiale"
- ***G*** Ricarica degli Acquiferi"
- ***ΔV*** Immagazzinamento di volumi idrici nel suolo e nella copertura nivale

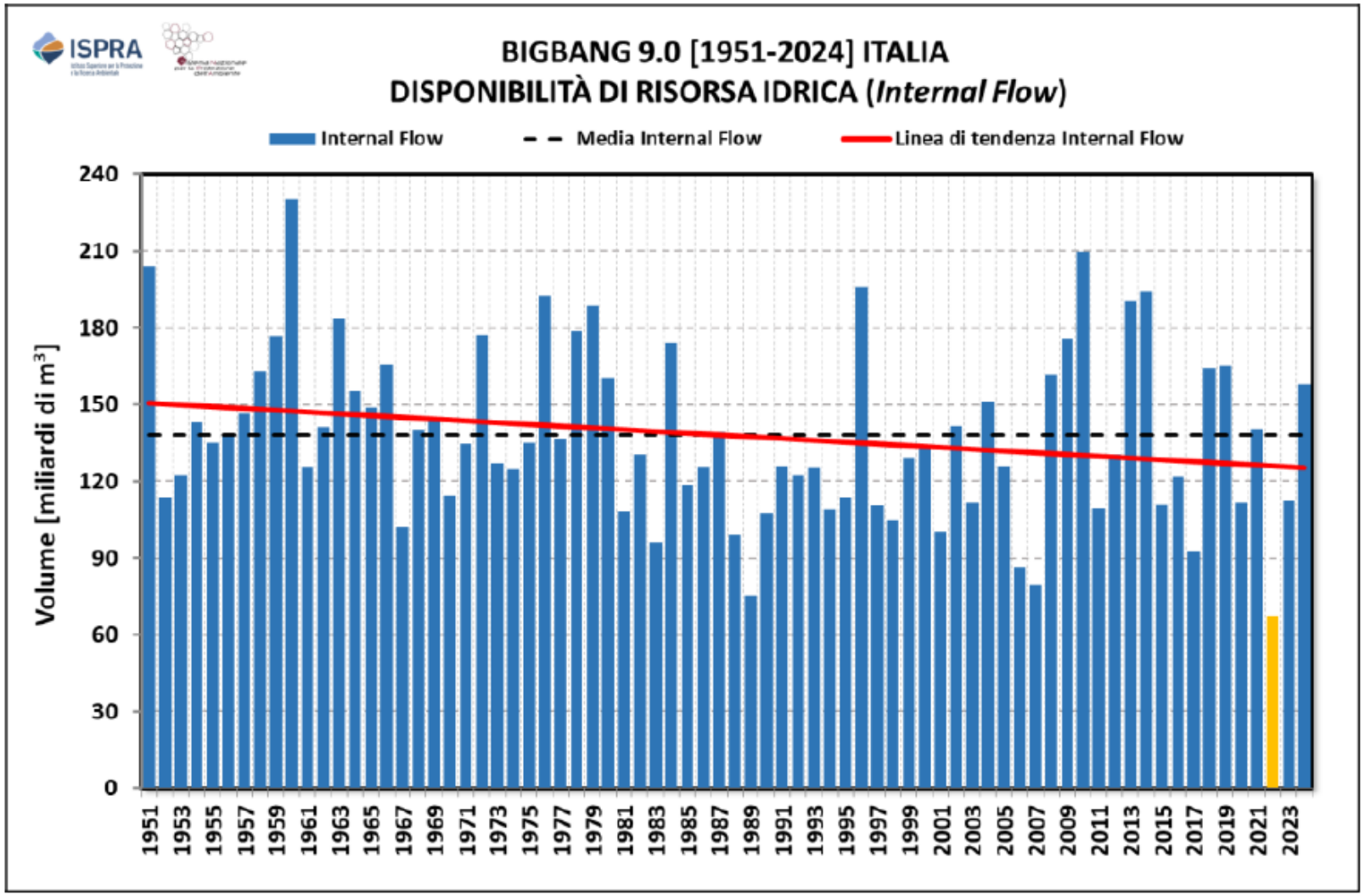


Fonte: Immagine ripresa da Braca et al. (2021).

Impatto combinato CC e SS: Internal Flow

$$IF_i = A_i - E_i$$

- *IF* : Internal Flow
- A_i : Rainfall (rain and snowmelt)
- E_i : Effective evapotranspiration



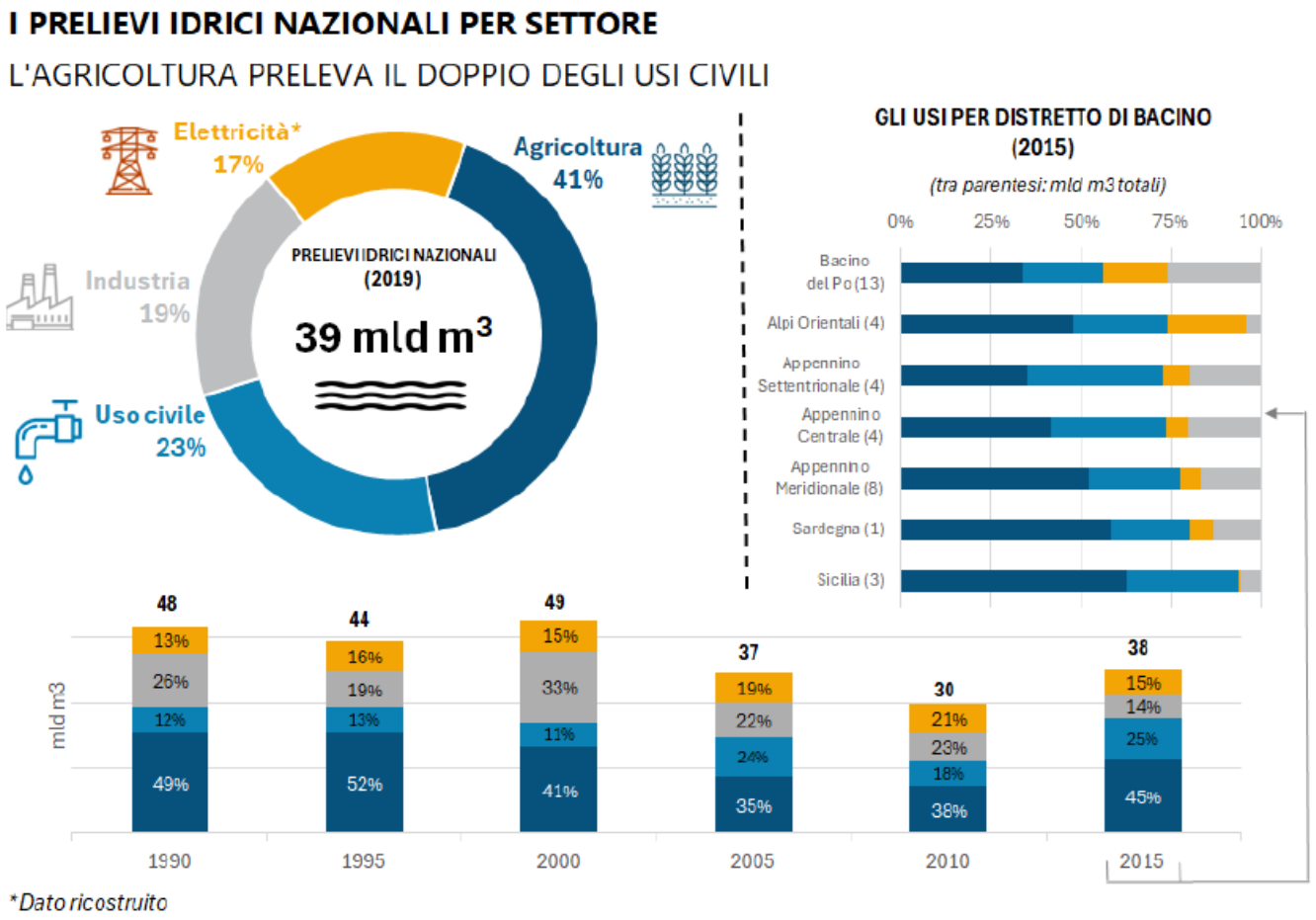
Internal flow at the national level from 1951 to 2024, with indication of the historical minimum (2022, yellow bar), of the average value (dashed black line) and of the trend line (solid red line) (ISPRA, BIGBANG version 9.0; SAPNA Report 2024 The Climate in Italy in 2024)

Utilizzi delle risorse idriche

- **Uso civile:** uso potabile domestico e in generale tutti gli usi autorizzati (uffici e servizi pubblici, innaffiamento di verde pubblico, fontane pubbliche, etc.)
- **Uso agricolo:** uso irriguo per il soddisfacimento del fabbisogno idrico delle colture e uso nel settore zootecnico
- **Uso industriale:** comprende tutto il settore manifatturiero
- **Produzione di energia:** include sia la produzione idroelettrica che qualsiasi modalità di produzione di energia che necessiti di risorse idriche
- **Uso turistico e ricreativo:** comprende tutte le attività che necessitano di livelli minimi dei corpi idrici superficiali (navigazione interna, pesca, etc.)
- **Uso ambientale:** portate minime nei corpi idrici superficiali (Deflusso Ecologico) e sotterranei per il mantenimento di un regime idrologico congruente con gli obiettivi ambientali indicati dalla Water Framework Directive, così come definito dalla Direttiva Deflussi Ecologici del 2017 (DD 30/STA)



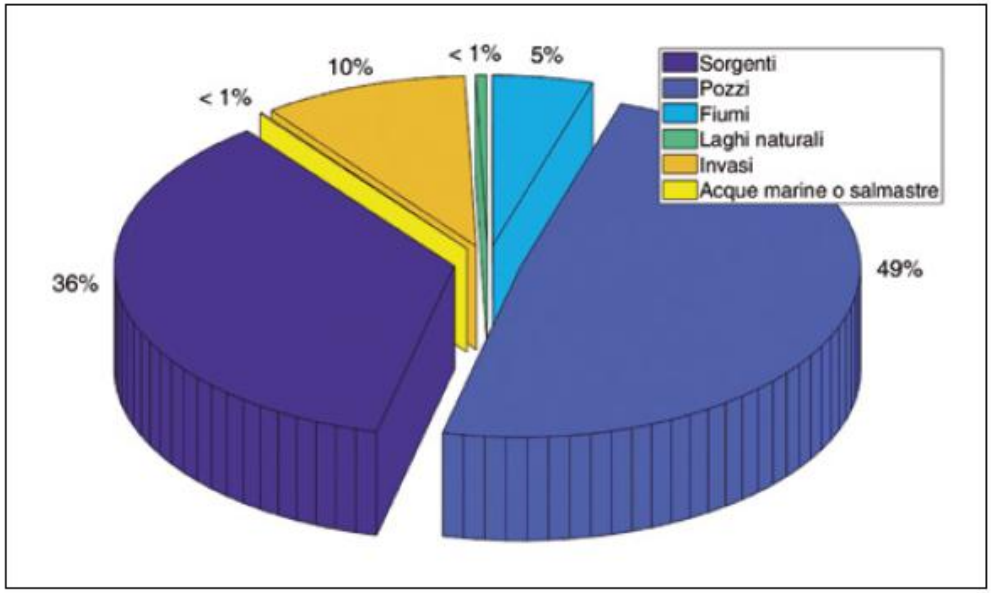
Uso delle risorse idriche in Italia



*Dato ricostruito

Fonte: elaborazione Laboratorio REF Ricerche su European Environment Information and Observation Network

L'uso potabile pesa per il 13% dei consumi complessivi; la quota più alta dei consumi spetta **all'agricoltura (41%)**, seguita da altri utilizzi (40%) e dall'industria (4%). **Invasi, riuso dei reflui depurati e dissalazione restano ancora marginali** (Utilitalia, 2026).



Risorse idriche captate per il consumo umano, dato nazionale (Istat, 2019)

Per **l'acqua potabile** il 94% dei consumi viene rilevato attraverso contatori, mentre per gli **usi irrigui, industriali e per le altre destinazioni** i volumi non vengono misurati direttamente, ma ricostruiti attraverso stime, calcoli induttivi o portate teoriche desunte dagli atti di concessione (Utilitalia, 2026).

Gestione integrata e sostenibile delle risorse idriche per un piano di mitigazione e adattamento al climate change



- **Recupero delle acque superficiali**
  - Regolazione dei deflussi (efficientamento invasi artificiali)
  - Piccoli invasi multifunzionali
- **Riduzione delle perdite idriche** (sia nel settore idropotabile che in quello irriguo
- **Rotazioni colturali e utilizzo di tecniche irrigue meno idro-esigenti**
- **Utilizzo di risorse idriche non convenzionali**
  - Riuso dei reflui depurati: oggi solo il 4% circa dei reflui è destinato al riutilizzo diretto in agricoltura per 4÷6 mesi all'anno, a fronte di un potenziale stimato del 23% (Utilitalia)
  - Ricarica dei corpi idrici sotterranei (Managed Aquifer Recharge, MAR)
  - Dissalazione



- **Strategie di gestione integrata della richiesta idrica ed interconnessione delle grandi adduzioni**
- Riduzione della domanda e degli sprechi nelle diverse fasi della filiera
- Maggiore attenzione all'impronta idrica (Water Footprint)



Fondamentale la digitalizzazione e l'evoluzione tecnologica del ciclo integrato delle acque

Invasi artificiali

Le grandi dighe in Italia realizzate sono 518, quelle in costruzione 4 per cui **il totale delle opere sulle quali il MIT esercita la vigilanza è pari a 522**.

La natura giuridica prevalente dei concessionari-gestori è privata, in particolare per le utilizzazioni idroelettriche e industriali, mentre i concessionari-gestori irrigui sono in prevalenza pubblici. **Il numero dei gestori è pari a 124**, tra essi il principale è Enel che gestisce 180 dighe; seguono l'Ente Acque della Sardegna con 34 opere e la Regione Siciliana con 26 dighe; 90 sono i concessionari-gestori di un solo sbarramento.

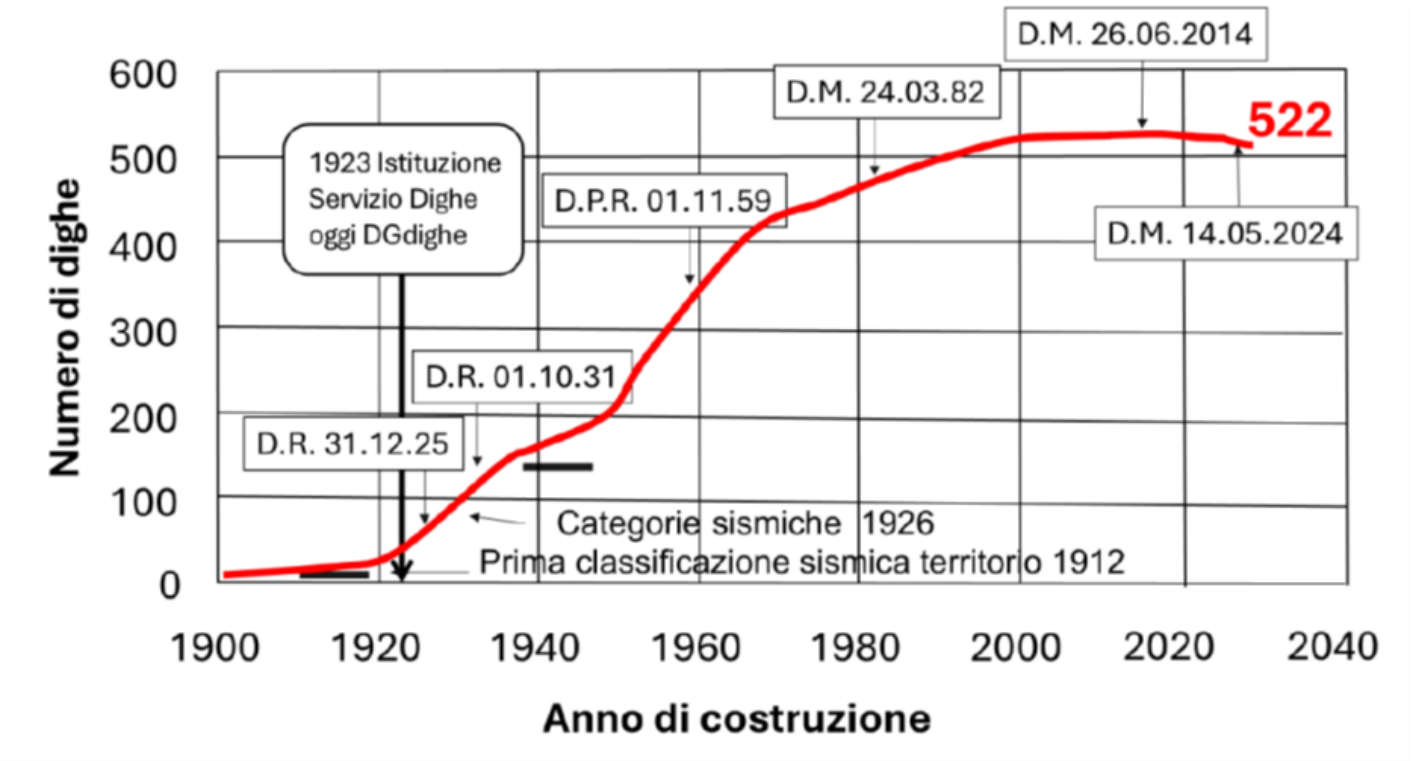
Gli utilizzi prevalenti delle grandi dighe italiane sono l'irriguo e l'idroelettrico, ma sono presenti anche opere ad uso potabile, industriale e per la laminazione delle piene, e molti sono i casi in cui la concessione ha previsto un uso multiplo della risorsa. Per diversi serbatoi negli anni all'impiego originario si sono aggiunti utilizzi differenti.



Invasi artificiali

In termini di utilizzo della risorsa idrica, il quadro degli invasi può essere così sintetizzato:

- **8.1 miliardi per uso irriguo (circa 40% della richiesta nazionale)**
- **4.8 miliardi per uso idroelettrico (47% della generazione da rinnovabili)**
- **470 milioni per uso potabile (circa 5% del fabbisogno nazionale)**
- **250 milioni per uso industriale (circa 5% della richiesta)**
- **190 milioni per la laminazione delle piene e la protezione dei territori**



I volumi dei serbatoi non sono mediamente molto rilevanti: 147 presentano un volume d'invaso inferiore a un milione di metri cubi, mentre 29 serbatoi superano al massimo riempimento i 100 Mmc

Invasi artificiali

A fronte di un quadro costantemente aggiornato delle condizioni di sicurezza, occorre rilevare che a causa dell'elevata età media delle dighe e della parcellizzazione degli enti gestori, lo stato manutentivo e di utilizzazione della risorsa idrica invasabile è interessato da numerose criticità con **una riduzione - per motivi di sicurezza - di quasi 2 miliardi di metri cubi invasabili**.

MACRO AREA	QUOTA	SERBATOI ESAMINATI	INTERRIMENTO > 5%	INTERRIMENTO < 5%	INTERRIMENTO INCERTO
	slm	numero	numero	numero	numero
ALPI	> 2000		2	30	
	>1000		14	54	4
	<1000		46	26	
Totale		176	62	110	4
APPENNINI	>1000		5	12	
	<1000		128	131	20
Totale		296	133	143	20
TOTALE		472	195	253	24

Interrimento dei serbatoi analizzati: analisi basata su altitudine sul livello medio marino e aggregazione per macro-aree (*La gestione dell'interrimento dei serbatoi artificiali italiani: situazione attuale e prospettive*, ITCOLD, 2016)

Una ulteriore diminuzione della capacità di invaso è costituita dal fenomeno dell'**interrimento** e del conseguente deposito di sedimenti sul fondo e lungo le sponde o all'incile degli invasi che, per i serbatoi in esercizio da decenni e di modeste dimensioni, costituisce una **diminuzione significativa del volume a disposizione** e, in alcuni casi, determina **possibili problemi in ordine all'ostruzione degli scarichi profondi**.
È evidente che eventuali interventi riabilitativi presuppongono la caratterizzazione chimico-fisica dei sedimenti presenti nel bacino artificiale e della colonna d'acqua sovrastante.

Invasi artificiali

Decreto interministeriale 12.10.2022, n. 205 (entrato in vigore il 25.01.2023) «**Regolamento recante criteri per la redazione del progetto di gestione degli invasi di cui all'articolo 114, commi 2, 3 e 4 del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152»,** decreto del MIT e del MASE con il concerto del Min. dello Sviluppo Economico e del Min. delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali.

Capacità utile sostenibile di un invaso artificiale: volume idrico massimo che il serbatoio può contenere e gestire in sicurezza, tenendo conto dell'effettivo interrimento da sedimenti e bilanciando le richieste idriche delle utenze con la tutela ambientale.

La possibilità di garantire le erogazioni alle utenze e la tutela ambientale scaturisce quindi non solo dagli afflussi al serbatoio (funzione tra l'altro del periodo di ritorno) ma anche dal volume utile attualmente invasabile, che dipende dall'interrimento cui l'invaso è stato soggetto nel tempo: la valutazione della capacità utile sostenibile di un invaso richiede, quindi, la caratterizzazione del bilancio idrologico dell'invaso e l'analisi dell'evoluzione degli interrimenti e della graduale riduzione nel tempo della capacità utile rispetto ai valori di inizio esercizio dell'opera di sbarramento.

Tema ambientale: valutare la **sostenibilità dello sfangamento**, nel rispetto della normativa vigente, sia per i quantitativi in gioco che per le oggettive difficoltà tecniche ed economiche.

Piccoli invasi multifunzionali

Piccoli invasi multifunzionali (irrigazione, uso idroelettrico, ricarica falda, uso ambientale): ad esempio, il **Piano Laghetti** di **ANBI in collaborazione con Coldiretti** prevede la costruzione di una serie di sbarramenti lungo i corsi d'acqua, creando piccoli invasi da utilizzare eventualmente anche come casse di espansione o vasche di fitodepurazione. L'obiettivo è di realizzare 10.000 invasi medio-piccoli e multifunzionali entro il 2030, in zone collinari e di pianura.

SKETCH DI SINTESI DEL "PIANO LAGHETTI"



Fonte: ANBI e Coldiretti



Grazie per la cortese attenzione

Prof. Ing. Maurizio Giugni
giugni@unina.it





