

SEGNALI DAL CLIMA

Vincitore dell'EMS2025
Outreach & Communication Award

FVG

CAMBIAMENTI
IMPATTI
AZIONI

IL VERDE GLI ANIMALI LA SALUTE

CAPIRE LE CONNESSIONI
PER AFFRONTARE I CAMBIAMENTI

VERSO
LA STRATEGIA
E IL PIANO
CLIMA FVG
LA ROADMAP REGIONALE,
LE CATENE DI IMPATTO,
LA PARTECIPAZIONE

2024: L'ANNO PIÙ CALDO
A LIVELLO GLOBALE E IN FVG

GHIACCI, FIUMI, MARE:
AMBIENTI VULNERABILI DA MONITORARE

CAMBIAMENTI CLIMATICI E SALUTE:
GLI IMPATTI E GLI STRUMENTI PER LA PREVENZIONE

RIPRISTINARE LA NATURA: LE SOLUZIONI
PER UNO SVILUPPO CLIMATICAMENTE RESILIENTE

DALLE FORESTE INTELLIGENTI ALLA LINCE SENZA FRIGORIFERO:
COME CAMBIANO E SI ADATTANO GLI ECOSISTEMI

NOI E IL CLIMA

ONDATE DI CALORE, ZANZARE,
ALIMENTAZIONE, PSICOLOGIA:
COSA POSSIAMO FARE
PER RIDURRE GLI IMPATTI
E COMBATTERE LE CAUSE
DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI

NOTIZIE DAL
GRUPPO DI LAVORO
TECNICO SCIENTIFICO
CLIMA FVG

settembre 2025

STAMPA:

Centro stampa regionale della
Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia

SEGNALI DAL CLIMA FVG

CAMBIAMENTI
IMPATTI
AZIONI

notizie dal

GRUPPO DI LAVORO TECNICO SCIENTIFICO CLIMA FVG

Settembre 2025

“Segnali dal Clima in FVG” è realizzato da:

ARPA FVG - Agenzia Regionale per la Protezione dell’Ambiente del Friuli Venezia Giulia
nell’ambito dell’attività di coordinamento e segreteria del “Gruppo di lavoro tecnico scientifico Clima FVG”
istituito dalla Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia con Decreto DC Difesa dell’ambiente, energia e sviluppo sostenibile,
n. 2137 del 04/05/2022

Coordinamento editoriale:
Federica Flapp, Fulvio Stel

Elaborazione grafica:
Michela Mauro

“Segnali dal Clima in FVG” ospita articoli firmati da vari autori: ciascun autore è responsabile per i contenuti (testi, dati e immagini) dei propri articoli ed esclusivamente di essi.

ARPA FVG, gli altri enti del “Gruppo di lavoro tecnico scientifico Clima FVG” e i singoli autori non sono responsabili per l’uso che può essere fatto delle informazioni contenute in questa pubblicazione.

Ove non diversamente specificato, le immagini sono state fornite dagli autori dei diversi contributi, che se ne assumono la responsabilità, o sono tratte da:

<https://pixabay.com/it/>
<https://www.google.com/maps>
<https://climatevisual.org>
<https://unsplash.com/it>
<https://www.pexels.com/it-it/>
<https://www.flickr.com>

La foto di copertina è di Emanuele Esposito

ARPA FVG

Via Cairoli, 14 - 33057 Palmanova (UD)
Tel +39 0432 922 611 - Fax +39 0432 922 626

www.arpa.fvg.it
<https://x.com/arpafvg>
<https://www.instagram.com/arpafvg/>
https://www.youtube.com/channel/UCd04ue_5J9nkZzuTet2ISrg
<https://www.linkedin.com/company/arpa-fvg/posts/?feedView=all>
<https://www.facebook.com/arpafvg/>

Questo prodotto è rilasciato con licenza Creative Commons - Attribuzione 4.0 Internazionale (CC BY 4.0):

Può essere quindi utilizzato citando la fonte, nel rispetto delle condizioni qui specificate:

informazioni generali <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.it>

licenza <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode.it>



Come citare questa pubblicazione:

Segnali dal clima in FVG. Notizie dal Gruppo di lavoro tecnico-scientifico Clima FVG. (ARPA FVG, 2025)

Segnali dal Clima

Come sta cambiando il clima in Friuli Venezia Giulia e come cambierà in futuro? Con quali effetti su ambiente, economia e società? Quali strumenti e conoscenze abbiamo a disposizione, nella nostra regione, per agire sulle cause dei cambiamenti climatici e per ridurre gli impatti? Come si stanno attivando le istituzioni, la società, gli enti scientifici e di ricerca?

A queste domande, anno dopo anno, cerca di rispondere *Segnali dal clima in FVG*, una pubblicazione divulgativa che racconta i cambiamenti climatici partendo da un'ottica locale e regionale e affrontando questo grande tema da tre prospettive: CAMBIAMENTI, IMPATTI, AZIONI.

Il 2024 è stato l'anno più caldo mai registrato in Friuli Venezia Giulia, come anche a livello globale: un record che si inserisce in una tendenza climatica ben evidenziata dai dati e che proseguirà in futuro. Per far fronte ai cambiamenti del clima e alle loro molteplici implicazioni, nel 2025 la Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia ha avviato il percorso per elaborare LA STRATEGIA E IL PIANO CLIMA FVG: gli strumenti per pianificare, con un approccio integrato e innovativo, le azioni regionali per la mitigazione e per l'adattamento ai cambiamenti climatici. L'edizione 2025 dei *Segnali* si apre quindi con una sezione che illustra questo percorso, che si svilupperà con la partecipazione dei diversi attori del territorio e della cittadinanza. È quindi fondamentale promuovere la conoscenza e la consapevolezza di tutta la popolazione riguardo a questi temi.

Attraverso le pagine dei *Segnali*, gli esperti degli enti che compongono il Gruppo di lavoro tecnico-scientifico Clima FVG raccontano e spiegano i diversi eventi, fenomeni e attività collegati ai cambiamenti climatici, mettendo a disposizione le loro conoscenze con l'obiettivo di renderle accessibili e interessanti per tutta la cittadinanza. Come? Traducendo le informazioni tecnico-scientifiche in un linguaggio comprensibile e utilizzando esempi, immagini, infografiche che le rendono più chiare e immediate. Ma rendere più semplici e accessibili argomenti complessi non significa banalizzarli: attraverso la lettura di *Segnali dal clima in FVG* il lettore può rendersi conto di come tutti gli elementi - i cambiamenti dei diversi fattori climatici, le

implicazioni per i vari sistemi naturali e settori socio-economici, le risposte che possiamo mettere in campo - siano interconnessi. E di come ciò che avviene nella nostra regione sia collegato a ciò che accade su scala planetaria.

“Capire le connessioni per affrontare i cambiamenti” diventa quindi il filo conduttore che ci accompagna nel percorso di lettura di questa terza edizione dei *Segnali*, che esplora alcune nuove tematiche: IL VERDE, nelle sue diverse declinazioni; la FAUNA SELVATICA; la SALUTE UMANA. Quest'ultima è tema centrale della sezione NOI E IL CLIMA, che quest'anno si arricchisce anche di nuovi contributi sulla psicologia ambientale, l'alimentazione sostenibile e i consumi energetici futuri per climatizzare le nostre case. Tema già presente nelle precedenti edizioni è quello delle acque interne, che viene qui sviluppato con particolare riferimento alla VITA NEI FIUMI.

Nell'intero percorso di lettura, ritroviamo più volte alcuni concetti e principi trasversali, fondamentali per uno sviluppo climaticamente resiliente: i servizi ecosistemici, la naturalità e connettività degli habitat, la necessità di affrontare con approcci integrati la crisi climatica che sta diventando sistemica.

Capisaldi di questo progetto editoriale rimangono le sezioni dedicate a IL METEO E IL CLIMA, I GHIACCIAI e IL MARE, che ogni anno forniscono aggiornamenti sugli andamenti di ciascun settore grazie alle serie storiche di dati analizzate dagli esperti, a cui si aggiungono nuovi approfondimenti.

Gli articoli di *Segnali dal Clima in FVG* sono il risultato del lavoro di decine di autori appartenenti agli enti del Gruppo di lavoro Clima FVG, che vi contribuiscono su base volontaria: perciò di anno in anno variano i temi generali e gli aspetti specifici che vengono esplorati e messi in evidenza. Ma *Segnali dal clima in FVG* non “invecchia” rapidamente: rimangono quindi a disposizione online le edizioni precedenti e tutta la ricchezza delle tematiche esplorate e degli argomenti trattati.

Questo impegno divulgativo condiviso ha ricevuto un importante riconoscimento internazionale, vincendo l'*EMS 2025 Outreach & Communication Award*, il premio per la sensibilizzazione e la comunicazione attribuito dalla European Meteorological Society.

**Il gruppo di lavoro tecnico-scientifico
Clima FVG**

L'ABC DEL CLIMA

I box o le pagine a sfondo arancione spiegano termini e concetti specifici utilizzati nell'articolo, fornendo le informazioni di base necessarie per una piena comprensione.

Lo sfondo arancione evidenzia anche i MINI-RIASSUNTI inseriti nella prima pagina di ciascun articolo.

APPROFONDIMENTI

I box o le pagine a sfondo azzurro contengono ulteriori informazioni sull'argomento, esempi specifici, contenuti extra e spiegazioni tecniche per chi sia interessato a una lettura più approfondita.

CONSIGLI PRATICI

I box o le pagine a sfondo verde propongono suggerimenti sui comportamenti che ciascuno può adottare a livello personale per adattarsi a cambiamenti climatici e/o ridurre le emissioni di gas serra.

GRUPPO DI LAVORO TECNICO- SCIENTIFICO CLIMA FVG

CHI SIAMO

Enti che producono, diffondono e utilizzano la conoscenza sui cambiamenti climatici e sui loro impatti in Friuli Venezia Giulia:

- ARPA FVG
- CNR-ISMAR e CNR-ISP
- ICTP
- OGS
- REGIONE FVG
- UNIVERSITÀ DI TRIESTE
- UNIVERSITÀ DI UDINE

LA NOSTRA STORIA

Abbiamo condiviso le nostre conoscenze e competenze per realizzare nel 2018 il primo Studio conoscitivo sui cambiamenti climatici in FVG.

Nel 2022 la Regione FVG ha istituito formalmente il Gruppo di lavoro.

COSA FACCIAMO

- collaboriamo e condividiamo le conoscenze prodotte dai diversi esperti in FVG sui cambiamenti climatici e le tematiche collegate
- forniamo un orientamento tecnico-scientifico e un supporto alle decisioni a chi pianifica l'azione climatica e in particolare l'adattamento
- facilitiamo il trasferimento delle conoscenze tecnico-scientifiche a chi le deve applicare
- divulghiamo al pubblico le conoscenze sui cambiamenti climatici, sui loro effetti e sulle azioni per fronteggiarli, in modo che ciascuno possa accrescere la propria consapevolezza di come il clima agisce su di noi e di come noi agiamo sul clima

Il gruppo di lavoro tecnico-scientifico “Clima FVG” istituito dalla Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia nel 2022 riunisce le eccellenze tecniche e scientifiche presenti in FVG, in grado di fornire all’amministrazione regionale e a tutti gli enti e soggetti del FVG le conoscenze più aggiornate per affrontare i cambiamenti climatici sul nostro territorio.

Ad ARPA FVG è stato affidato il coordinamento del team, che è composto da esperti di ICTP, OGS, CNR, delle Università di Udine e di Trieste e della stessa Regione: gli stessi che avevano elaborato e pubblicato, nel 2018, il primo **Studio conoscitivo dei cambiamenti climatici e di alcuni loro impatti in Friuli Venezia Giulia**.

Il Gruppo di lavoro Clima FVG innanzitutto facilita la condivisione e la collaborazione tra i soggetti esperti che in regione producono conoscenze tecnico-scientifiche sui cambiamenti climatici e sui loro effetti.

Fornisce quindi un **orientamento** e un **supporto consultivo alla pianificazione** regionale delle azioni per il clima e in particolare per **l’adattamento ai cambiamenti climatici**.

L’attività del gruppo Clima FVG favorisce poi il **trasferimento delle conoscenze** scientifiche ai tecnici che le applicheranno sul territorio.

E infine, tutti i componenti del gruppo di lavoro credono che sia indispensabile divulgare queste **conoscenze alla cittadinanza**, promuovendo quella che si chiama “climate literacy” ovvero **l’alfabetizzazione climatica** che mette ciascuno di noi in condizione di comprendere la propria influenza sul clima e l’influenza del clima su ciascuna persona e sulla società.

La redazione di “Segnali dal Clima in FVG” è un primo passo per dare concretezza a questo fondamentale obiettivo.

GLI ENTI E LE PERSONE



ARPA FVG – Agenzia Regionale per la Protezione dell’Ambiente



Fulvio Stel (coordinatore) e Federica Flapp



CNR - Istituto di Scienze Marine di Trieste



Fabio Raicich



CNR - Istituto di Scienze Polari



Renato R. Colucci



ICTP - International Centre for Theoretical Physics di Trieste



Filippo Giorgi



OGS - Istituto nazionale di oceanografia e di geofisica sperimentale di Trieste



Cosimo Solidoro



Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia



Silvia Stefanelli



Università degli Studi di Trieste



Giovanni Bacaro



Università degli Studi di Udine



Alessandro Peressotti

SOMMARIO



11 VERSO LA STRATEGIA E IL PIANO CLIMA FVG

- 13 VERSO LA STRATEGIA E IL PIANO REGIONALE DI MITIGAZIONE E ADATTAMENTO AI CAMBIAMENTI CLIMATICI
- 17 LA ROADMAP REGIONALE PER SVILUPPARE LA STRATEGIA E IL PIANO CLIMA FVG
- 27 LE “CATENE DI IMPATTO” PER VALUTARE I RISCHI CLIMATICI E PIANIFICARE L’ADATTAMENTO
- 33 CAMBIAMENTI CLIMATICI E CITTADINANZA ATTIVA



37 IL METEO E IL CLIMA

- 39 DATI METEO 2024: L’ANNO PIÙ CALDO IN FVG, CON PIOGGE SUPERIORI ALLA MEDIA
- 45 IL 2024 L’ANNO PIÙ CALDO A LIVELLO GLOBALE. ANOMALIE CLIMATICHE ED EVENTI ESTREMI NEL MONDO
- 47 LE PRECIPITAZIONI NEL CAMBIAMENTO CLIMATICO IN FRIULI VENEZIA GIULIA
- 53 MODIFICHE DELLE CIRCOLAZIONI DI LARGA SCALA LEGATE AL RISCALDAMENTO GLOBALE
- 57 PROGETTO *HEATISLANDS ADAPT*: AFFRONTARE LE ISOLE DI CALORE URBANE ATTRAVERSO LA COOPERAZIONE TRANSFRONTALIERA



61 I GHIACCIAI E IL PERMAFROST

- 63 I GHIACCIAI DELLE ALPI GIULIE TRA FUSIONE E RESILIENZA: BILANCIO DI MASSA 2023-24
- 67 PERMAFROST E CAMBIAMENTO CLIMATICO: RISCHI E CONSEGUENZE PER LE AREE ALPINE



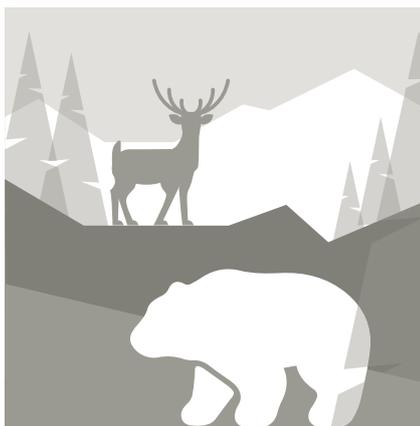
71 LA VITA NEI FIUMI

- 73 GLI IMPATTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SUGLI ECOSISTEMI DELLE ACQUE DOLCI
- 79 FIUMI SEMPRE PIÙ INTERMITTENTI: MONITORARE IL CAMBIAMENTO CON LE DIATOMEE
- 85 MACROFITE: LE PIANTE ACQUATICHE CHE REGISTRANO I CAMBIAMENTI NEL TEMPO
- 91 MACROINVERTEBRATI: PICCOLI ANIMALI, GRANDI BIO-INDICATORI PER GLI ECOSISTEMI ACQUATICI



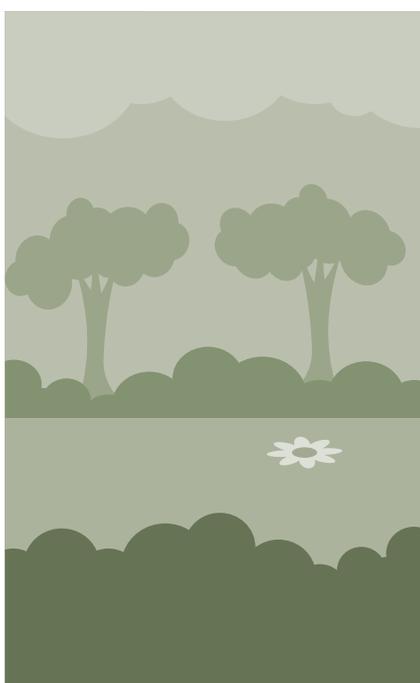
101 IL MARE

- 103 LIVELLO DEL MARE NEL 2024: IL SECONDO PIÙ ALTO DELLA SERIE STORICA. E IN FUTURO?
- 107 TEMPERATURA DEL MARE NEL 2024: UN NUOVO RECORD
- 109 UN MEDITERRANEO SEMPRE PIÙ CALDO: GLI EFFETTI SUL MARE E SULL’ATMOSFERA



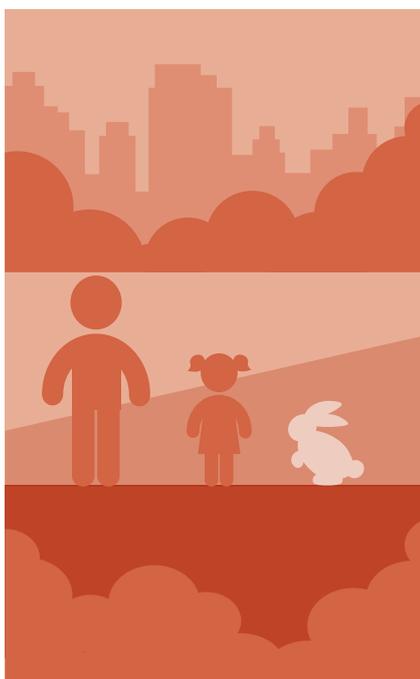
115 LA FAUNA SELVATICA

- 117 AUMENTA LA TEMPERATURA, CAMBIANO CONDIZIONI DI VITA E RISORSE PER LA FAUNA SELVATICA
- 123 IL BIANCO NON VA PIÙ DI MODA: CAMBIA IL RAPPORTO TRA ANIMALI E INVERNO
- 127 LA GRANDE CORSA VERSO IL NORD E VERSO LA CIMA (MA LA CIMA PRIMA O POI FINISCE)
- 133 PREDATORI SENZA FRIGORIFERO
- 137 COME SI STUDIANO GLI EFFETTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SULLA FAUNA



143 DAL VERDE URBANO ALLE FORESTE

- 145 I SERVIZI ECOSISTEMICI DELLA RETE ECOLOGICA DI TRIESTE CONTRO I CAMBIAMENTI CLIMATICI
- 155 SOLUZIONI BASATE SULLA NATURA PER L'ADATTAMENTO CLIMATICO: IL SUPPORTO DELLA REGIONE FVG AI COMUNI PER IL VERDE URBANO
- 161 IL CUORE VERDE DEL TERRITORIO: CONNETTIVITÀ E SERVIZI PER LA RESILIENZA CLIMATICA
- 169 UNA NUOVA TECNOLOGIA PER "ASCOLTARE" GLI ALBERI: I *TREETALKERS*®
- 175 LE STRATEGIE DELLE SPECIE FORESTALI PER ADATTARSI AI CAMBIAMENTI CLIMATICI
- 183 IL CARBONIO CATTURATO DALLE FORESTE: LA MAPPATURA PER IL FRIULI VENEZIA GIULIA
- 189 IL *REWILDING* PER CONTRASTARE LA PERDITA DI BIODIVERSITÀ E PER MITIGARE IL CAMBIAMENTO CLIMATICO
- 197 CONSERVARE LA BIODIVERSITÀ DEL FUTURO



201 NOI E IL CLIMA

- 203 PIATTAFORMA CLIMA PER IL NORD-EST: NUOVI INDICATORI SULLA DOMANDA DI ENERGIA PER RAFFRESCAMENTO E RISCALDAMENTO
- 213 I MOLTEPLICI EFFETTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SULLA SALUTE
- 217 CLIMA, ZANZARE E MALATTIE ESOTICHE: COSA STA CAMBIANDO IN FVG
- 227 STRESS DA CALORE SUL LAVORO: UN PROBLEMA SEMPRE PIÙ RILEVANTE
- 233 PREVENIRE GLI EFFETTI DELLE ONDATE DI CALORE SULLA SALUTE IN FVG
- 245 "*ONE HEALTH*": INTEGRARE AMBIENTE, CLIMA E SALUTE NEI PIANI DELLA PREVENZIONE
- 251 CLIMA E ALIMENTAZIONE: COME RIDURRE IL NOSTRO IMPATTO CON LA "DIETA SOSTENIBILE"
- 265 ALCUNE RIFLESSIONI SULLA CRISI CLIMATICA DAL PUNTO DI VISTA DELLA PSICOLOGIA AMBIENTALE

VERSO LA STRATEGIA E IL PIANO CLIMA FVG



VERSO LA STRATEGIA E IL PIANO CLIMA FVG

La roadmap regionale, le catene di impatto, la partecipazione

Nel 2025 la Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia ha avviato l'elaborazione della *Strategia e del Piano regionale di mitigazione e adattamento ai cambiamenti climatici*: un impegno sancito dalla legge FVGreen, che anticipa gli obiettivi del Green Deal europeo e punta a uno sviluppo sostenibile e resiliente.

A partire dal contesto in cui è maturato e dagli obiettivi di questo percorso, molto complesso, scopriamo come si svilupperà seguendo la *Roadmap Clima FVG*, un programma di lavoro triennale e strutturato in 15 moduli operativi che delinea in modo preciso le attività e le metodologie per elaborare i documenti chiave.

Entriamo poi nel vivo della metodologia con l'approfondimento sulle *"catene di impatto"*: uno strumento analitico fondamentale per valutare i rischi climatici, mostrando in modo chiaro le relazioni tra pericoli, vulnerabilità e gli effetti a cascata.

La lettura di questa sezione si conclude con un articolo che riguarda direttamente tutti noi, illustrando il percorso partecipativo che accompagnerà l'elaborazione della *Strategia e del Piano Clima FVG*. L'obiettivo è chiaro: non lasciare nessuno indietro, ma coinvolgere attivamente cittadini, comunità e stakeholder.

VERSO LA STRATEGIA E IL PIANO REGIONALE DI MITIGAZIONE E ADATTAMENTO AI CAMBIAMENTI CLIMATICI

La Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia ha avviato l'elaborazione della *Strategia e del Piano regionale di mitigazione e adattamento ai cambiamenti climatici* per allinearsi alle politiche europee e nazionali e rispondere alle esigenze del territorio.

Con la legge FVGreen del 2023 anticipa di 5 anni gli obiettivi del *Green Deal* europeo, puntando su uno sviluppo sostenibile, resiliente e inclusivo.

Il FVG si pone così all'avanguardia nel fronteggiare le sfide climatiche, attraverso politiche integrate e strumenti innovativi.

La Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia, consapevole dell'urgenza posta dai cambiamenti climatici, ha iniziato il percorso di sviluppo della *Strategia e del Piano regionale di mitigazione e adattamento ai cambiamenti climatici*. Questo impegno nasce dalla necessità sia di allinearsi alle politiche europee e nazionali, sia, soprattutto, di rispondere alle specifiche esigenze che emergono dal territorio regionale.



A livello europeo, il Green Deal rappresenta la strategia principale per rendere l'Europa il primo continente a impatto climatico zero entro il 2050. In linea con questo obiettivo, l'Italia ha adottato la Strategia nazionale per lo sviluppo sostenibile, il Piano nazionale integrato per l'energia e il clima, e il Piano nazionale di adattamento ai cambiamenti climatici. Il Friuli Venezia Giulia, consapevole dell'importanza di contribuire attivamente a questi obiettivi, ha deciso di anticipare di cinque anni i traguardi fissati dal Green Deal europeo, ponendosi come regione all'avanguardia nell'attuazione delle politiche climatiche.

LA LEGGE REGIONALE “FVGREEN”

In questo contesto, è stata approvata la legge regionale 17 febbraio 2023, n. 4, nota come Legge FVGreen. Questa legge disciplina la Strategia regionale per lo sviluppo sostenibile, la Strategia regionale di mitigazione e di adattamento ai cambiamenti climatici e il relativo Piano regionale. L'obiettivo è promuovere un modello di sviluppo sostenibile, equilibrato e inclusivo, basato sulla gestione responsabile delle risorse naturali, la tutela dell'ambiente e l'economia circolare.

IL FVG, UN “HOT SPOT” CLIMATICO

Il Friuli Venezia Giulia si colloca tra il Mediterraneo e le Alpi, due “hot spot” in cui gli effetti del riscaldamento globale si manifestano in modo particolarmente accentuato: caratterizzata da

una notevole diversità geografica che include zone montuose, collinari e costiere, la nostra regione è particolarmente vulnerabile agli effetti dei cambiamenti climatici. L'aumento delle temperature, la variazione dei regimi delle precipitazioni e i fenomeni che ne conseguono hanno impatti significativi sull'ambiente, sull'economia e sulla società regionale. Settori cruciali come l'agricoltura, il turismo e le infrastrutture sono direttamente influenzati da queste trasformazioni climatiche, rendendo indispensabile l'adozione di misure mirate.

UN OBIETTIVO AMBIZIOSO

A sottolineare l'importanza di questo percorso anche quanto dichiarato dall'assessore alla difesa dell'ambiente, energia e sviluppo sostenibile Fabio Scoccimarro in occasione dell'approvazione della legge FVGreen da parte del Consiglio regionale. L'assessore ha evidenziato che la volontà di anticipare di cinque anni gli obiettivi del Green Deal europeo è uno degli obiettivi strategici dell'amministrazione regionale. “La sfida – ha chiarito l'assessore – è quella di delineare una via efficace e non ideologica per raggiungere i traguardi di sostenibilità, garantendo una posizione di avanguardia al Friuli Venezia Giulia nell'attuazione delle politiche ambientali a livello internazionale”. E questo progetto ambizioso è stato delineato, con un approccio pragmatico e non dogmatico, dalla legge FVGreen.

LE INIZIATIVE GIÀ AVVIATE: UNA BASE IMPORTANTE PER IL PERCORSO DELLA STRATEGIA E DEL PIANO CLIMA FVG

Sono state numerose le iniziative che, in questi anni, l'amministrazione regionale ha avviato per sviluppare le proprie politiche in tema di mitigazione e adattamento ai cambiamenti climatici.

Nel maggio 2022 è stato istituito il **Gruppo di lavoro Clima FVG**, che riunisce i rappresentanti delle istituzioni e degli enti che svolgono attività tecnico-scientifiche e di ricerca in materia di cambiamenti climatici, dei loro impatti sull'ambiente e sui diversi settori socio-economici.

Nel novembre di quello stesso anno l'assessore Scoccimarro, su mandato della Giunta regionale, ha sottoscritto la **Carta della Missione UE sull'adattamento ai cambiamenti climatici**, una importante iniziativa che riunisce le regioni e le comunità che, a livello europeo, si impegnano a perseguire la resilienza ai cambiamenti climatici e a promuovere gli sforzi di adattamento a livello regionale e locale.

Nel febbraio 2023 il Consiglio regionale ha approvato la **legge regionale FVGreen**, norma quadro per le politiche in tema di cambiamenti climatici, e la Giunta regionale ha adottato la Strategia regionale per lo sviluppo sostenibile.

È stata poi istituita la **Cabina di regia regionale**, e sono stati avviati alcuni progetti quali, in particolare, il progetto **MountResilience**, finanziato dal programma Horizon, sull'adattamento ai cambiamenti climatici in ambiente montano, e il progetto **North Adriatic Hydrogen Valley**, anch'esso finanziato da Horizon, per lo sviluppo di un ecosistema dell'idrogeno rinnovabile, finalizzato alla decarbonizzazione del sistema economico del Friuli Venezia Giulia.

L'amministrazione regionale, inoltre, partecipa dal 2023 al progetto **Agora**, sviluppato dalla Fondazione CMCC, sul tema dei processi partecipativi nelle politiche climatiche e, grazie al **supporto dell'iniziativa europea MIP4Adapt**, ha realizzato una azione pilota su clima e risorse idriche.

Nel 2024 l'amministrazione, in collaborazione con l'ARPA FVG e con l'Insiel, ha avviato lo sviluppo della **piattaforma Irgas**, che raccoglierà i dati sui gas a effetto serra, elemento fondamentale per la progettazione, la realizzazione e il monitoraggio di azioni di mitigazione dei cambiamenti climatici.

È stato inoltre approvato il **Piano energetico regionale**, ed è stato anche stipulato un **accordo con l'agenzia Enea** per la redazione del bilancio energetico regionale.

Infine, è stata predisposta la **Roadmap** per la redazione della Strategia e del Piano clima della regione, definendo il percorso e le attività dell'amministrazione fino all'adozione dei due strumenti di programmazione.





L'Assessore regionale alla Difesa dell'ambiente, energia e sviluppo sostenibile, Fabio Scoccimarro.

POLITICHE INTEGRATE PER UN FVG RESILIENTE

L'elaborazione di una strategia e di un piano di mitigazione e adattamento ai cambiamenti climatici rappresenterà, quindi, un tassello essenziale per garantire uno sviluppo sostenibile e resiliente del Friuli Venezia Giulia, in armonia con le direttive europee e nazionali, e in risposta alle specifiche esigenze del territorio regionale. Questi sforzi testimoniano l'impegno della Regione nel **fronteggiare le sfide climatiche, attraverso politiche integrate, strumenti innovativi e una collaborazione attiva** sia a livello nazionale che internazionale.

Elena Caprotti, Nicolò Tudorov
Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia

LA ROADMAP REGIONALE PER SVILUPPARE LA STRATEGIA E IL PIANO CLIMA FVG

Foto: Freepik

Il percorso triennale per elaborare la *Strategia e il Piano Regionale di Mitigazione e Adattamento ai Cambiamenti Climatici* sarà molto complesso.

Per organizzarlo e gestirlo efficacemente la Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia ha definito un programma di lavoro denominato “Roadmap Clima FVG”, che struttura il processo in 15 moduli operativi (*Work Package*) e descrive le attività previste, l’organizzazione del lavoro, le metodologie impiegate per dare forma a questi due documenti chiave per l’azione climatica regionale.

Per rispondere alle sfide urgenti che i cambiamenti ci pongono, sia a livello globale che nel nostro contesto regionale, la Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia ha intrapreso un percorso di lavoro che durerà tre anni e che produrrà due importanti documenti di programmazione per pianificare in maniera integrata l’azione regionale per la Mitigazione e per l’Adattamento:

- la **Strategia Regionale di Mitigazione e Adattamento ai Cambiamenti Climatici**, che delinea le indicazioni generali su come ridurre le emissioni di gas a effetto serra e come proteggere il nostro territorio dai rischi legati al cambiamento del clima;
- il **Piano Regionale di Mitigazione e Adattamento ai Cambiamenti Climatici**, che definisce le azioni da realizzare per rendere il Friuli Venezia Giulia una regione a emissioni nette zero e resiliente agli effetti del clima che cambia, individuando i soggetti responsabili per le diverse azioni e le relative risorse finanziarie.

Con l'elaborazione di questi due documenti la Regione si impegna quindi in un'azione climatica a tutto campo, con un approccio integrato e sistemico alle politiche sia di Mitigazione che di Adattamento.

LA NECESSITÀ DI UNA “ROADMAP”

La complessità del lavoro ha motivato la Direzione centrale difesa dell'ambiente, energia e sviluppo sostenibile a pianificare con cura il percorso di lavoro da compiere, definendo un programma di lavoro denominato “Roadmap Clima FVG”.

La roadmap identifica le attività necessarie, descrivendo passo per passo come la Strategia e il Piano regionale Clima FVG prenderanno forma nei prossimi tre anni.

La roadmap descrive quindi:

- Come viene organizzato il lavoro
- Quali sono i passaggi fondamentali da fare
- I soggetti coinvolti e come possono contribuire
- Quali metodologie di analisi usare
- Quanto tempo serve
- Le modalità per il monitoraggio del lavoro in corso d'opera

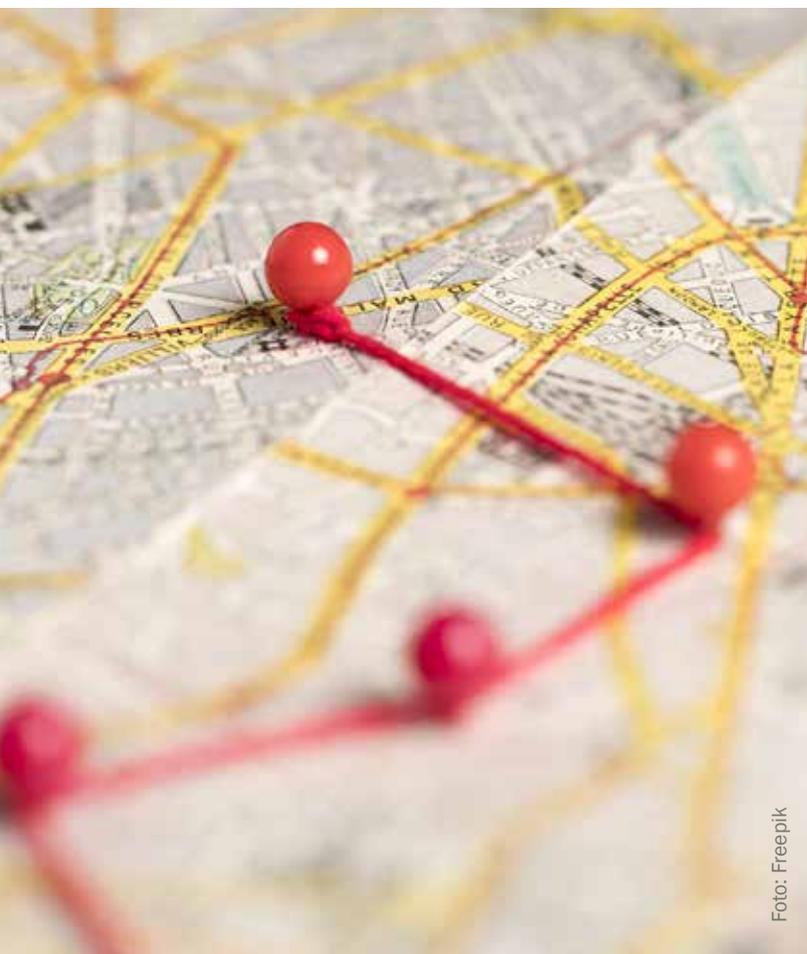


Foto: Freepik

LA MITIGAZIONE E L'ADATTAMENTO: LE DUE FACCE DELL'AZIONE PER IL CLIMA

Agire per il clima significa attivarsi a tutti i livelli – individuale e collettivo, locale e globale – per limitare il riscaldamento globale agendo sulle sue cause e per ridurre gli impatti attuali e futuri. Due sono quindi le linee di azione, indispensabili e complementari: la “mitigazione” e l’“adattamento”, termini che nell'ambito delle politiche climatiche hanno un significato ben preciso.

MITIGAZIONE (del cambiamento climatico)

qualsiasi intervento umano che riduca le fonti (*sources*) di rilascio, o rafforzi e potenzi le fonti di assorbimento (*sinks*) dei gas serra.

La mitigazione agisce sulle cause antropiche dei cambiamenti climatici e quindi, in tempi lunghi, sulla sorgente di pericolo (*hazard*).

ADATTAMENTO

il processo di adeguamento al clima attuale o atteso e ai suoi effetti. Nei sistemi umani, l'adattamento cerca di limitare i danni o di sfruttare le opportunità favorevoli. Nei sistemi naturali, l'intervento umano può agevolare l'adattamento al clima atteso e ai suoi effetti.

L'adattamento agisce sugli effetti del cambiamento climatico: ne riduce i rischi intervenendo sull'esposizione e sulla vulnerabilità

COM'È ORGANIZZATO IL LAVORO: I “WORK PACKAGE”

Il percorso di lavoro è suddiviso in moduli, chiamati “*Work Package*” (WP), ognuno dedicato a uno specifico tema, processo o documento da produrre. Ogni WP prevede diverse attività ben dettagliate. Alcuni WP sono sviluppati da esperti esterni che collaborano con la Regione.

I moduli di lavoro sono i seguenti:

- WP0: avvio del servizio, strutturazione, gestione, monitoraggio delle attività**
- WP1: governance e processo partecipativo**
- WP2: *capacity building* (attività formative)**
- WP3: analisi di contesto: territorio, clima, emissioni, norme;**
- WP4: valutazione delle vulnerabilità e dei rischi e associati ai cambiamenti climatici per i settori di riferimento (adattamento)**
- WP5: valutazione delle criticità e opportunità di intervento sulla riduzione dei gas serra (mitigazione)**
- WP6: co-creazione di una visione per la risposta al cambiamento climatico**
- WP7: dalla visione agli obiettivi strategici e azioni nei vari settori**
- WP8: azioni di piano**
- WP9: elaborazione della strategia e del piano di mitigazione e adattamento ai cambiamenti climatici**
- WP10: piano di monitoraggio**
- WP11: piano di investimenti**
- WP12: mainstreaming nei piani, programmi e strumenti di governo**
- WP13: piano di comunicazione e diffusione**
- WP14: procedura VAS**
- WP15: strumenti di lavoro e dati**

WPO: AVVIO DEL SERVIZIO, STRUTTURAZIONE, GESTIONE, MONITORAGGIO DELLE ATTIVITÀ

Il *Work Package* 0 (WPO) rappresenta la **fase iniziale del progetto**, focalizzata sull'avvio e sulla gestione delle attività. Questa fase è cruciale per assicurare una struttura organizzativa solida, un monitoraggio efficace e un coordinamento coerente delle azioni previste e dei soggetti coinvolti.

Il WPO prevede la definizione di un cronoprogramma condiviso con le tempistiche per ogni attività, l'istituzione di modalità operative per incontri, scambio dati e discussioni, la strutturazione di tavoli di lavoro con gli uffici regionali e gli enti interessati, e l'organizzazione di una serie di incontri informativi per presentare il progetto.

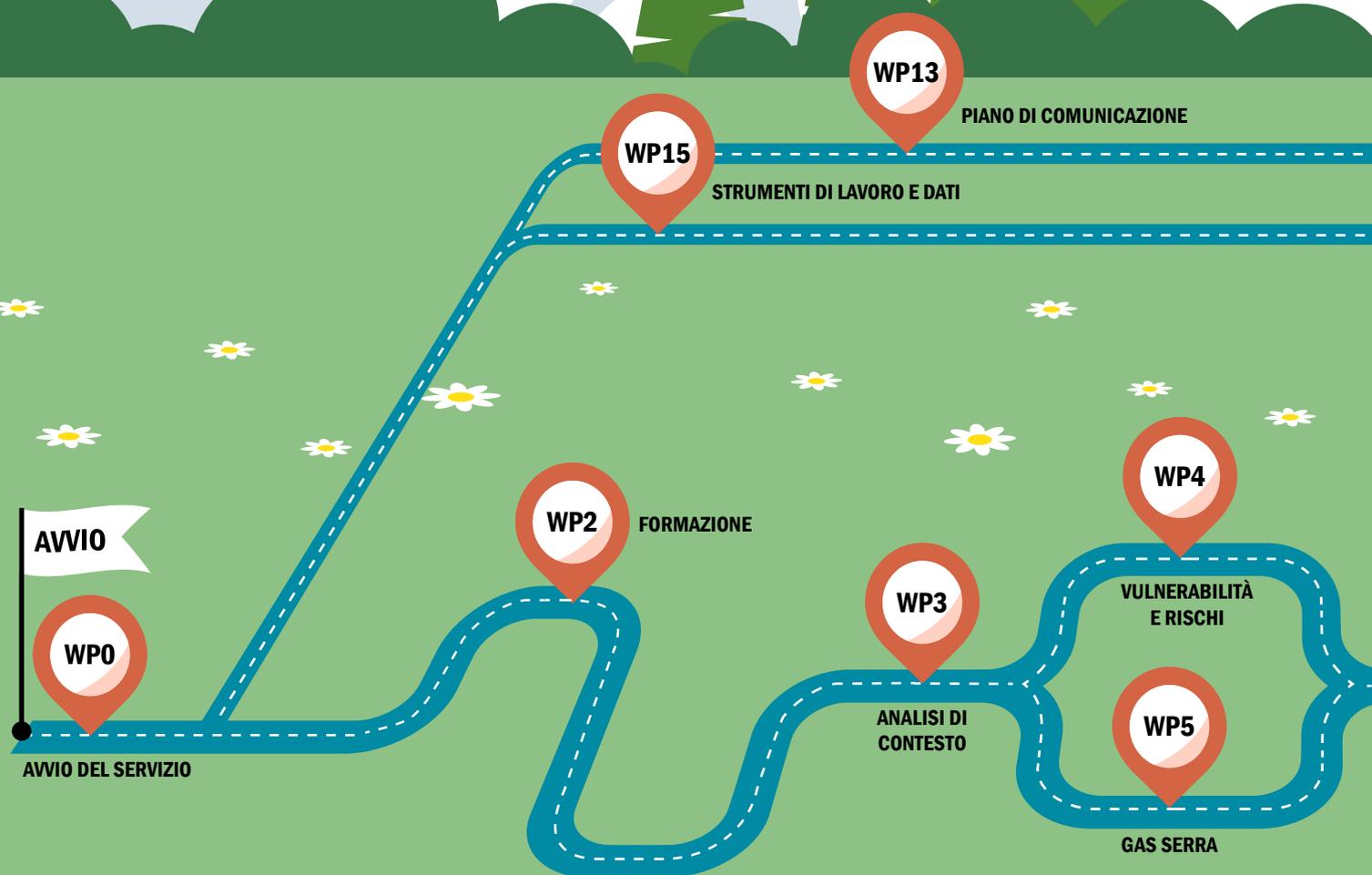
Una parte importante del WPO è la condivisione del percorso programmato con il Gruppo di lavoro tecnico-scientifico Clima FVG, che faciliterà il coinvolgimento di esperti dei rispettivi enti in alcuni WP.

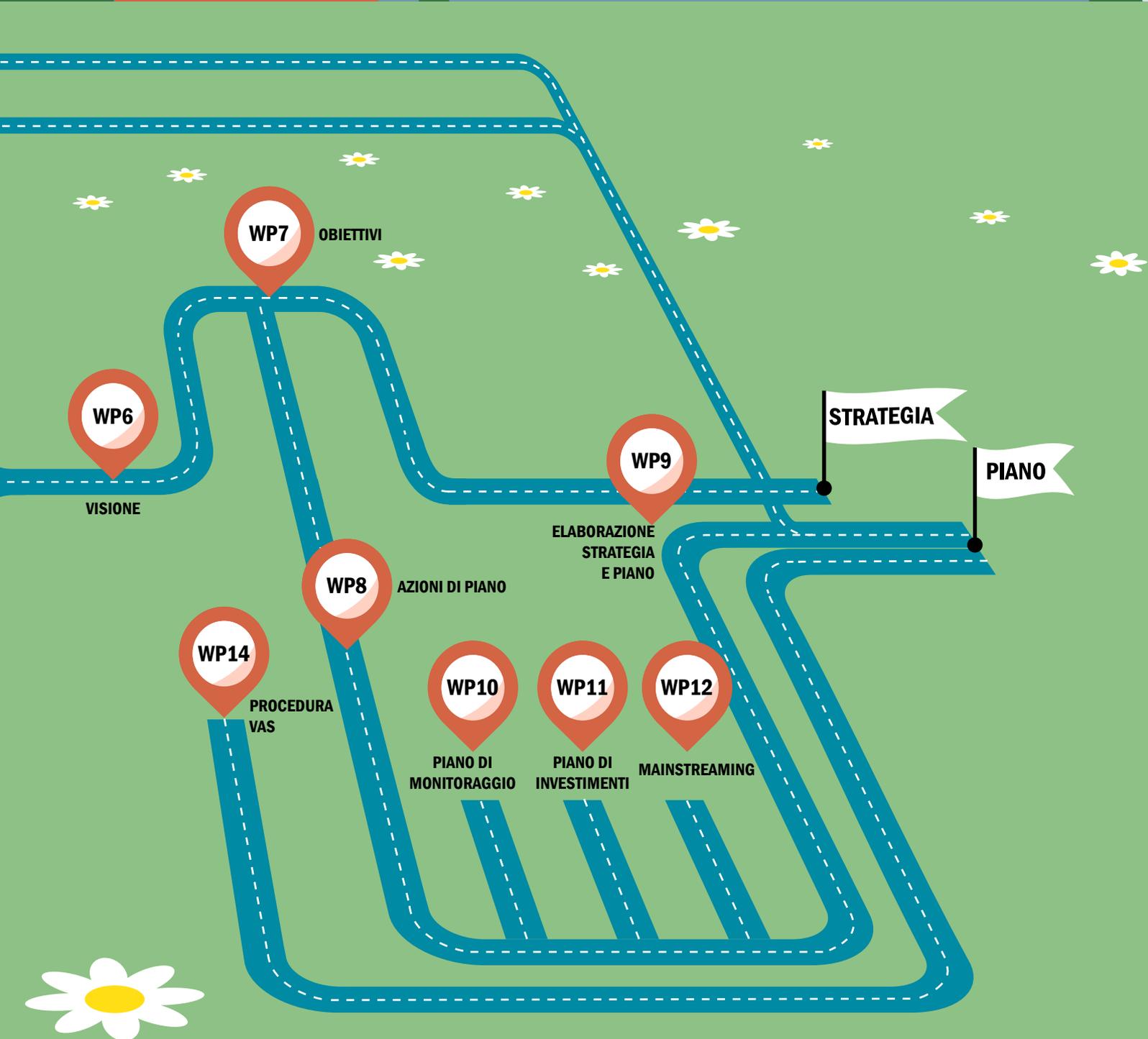
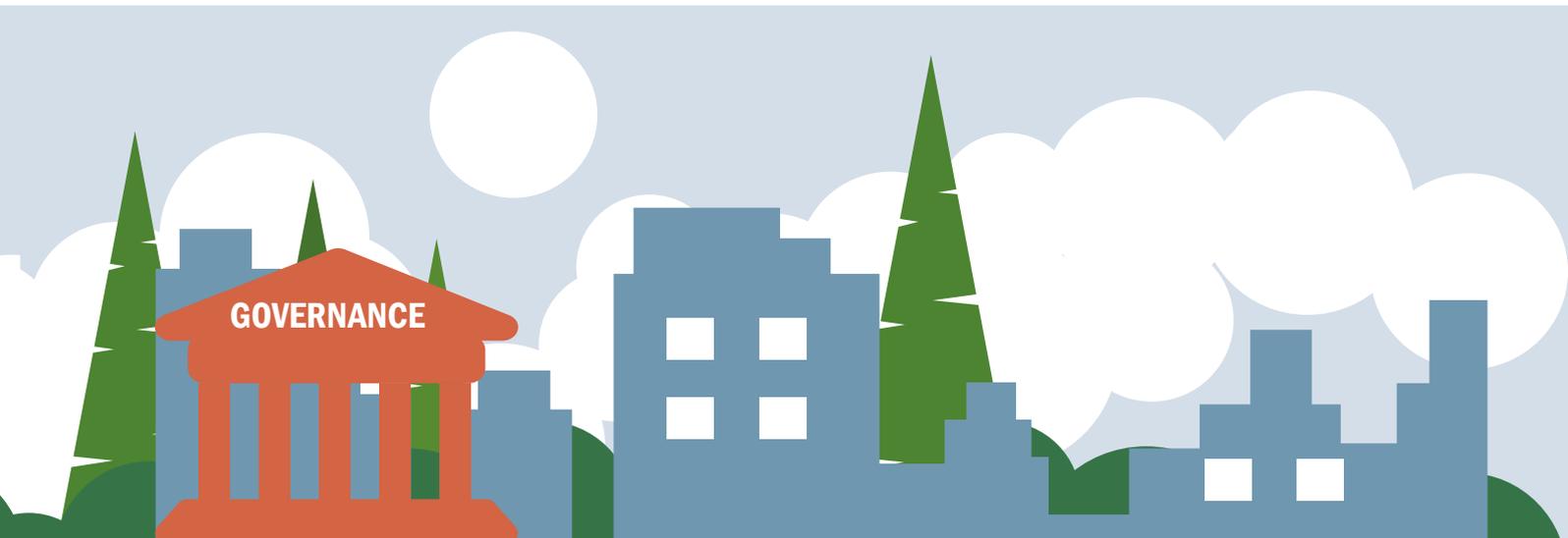
IL GRUPPO DI LAVORO TECNICO-SCIENTIFICO CLIMA FVG

Il Gruppo di Lavoro Clima FVG, istituito dalla Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia nel 2022 e coordinato da ARPA FVG, riunisce le eccellenze tecniche e scientifiche regionali con competenze sui cambiamenti climatici e sulle tematiche connesse: oltre alla stessa Regione, ne fanno parte CNR-ISMAR, CNR-ISP, ICTP, OGS e le due Università di Udine e di Trieste.

Il gruppo Clima FVG svolge una funzione consultiva e di orientamento a supporto dei processi decisionali e di pianificazione relativi all'azione climatica in FVG. Le competenze messe a disposizione dagli esperti sono fondamentali per ad esempio l'adattamento ai cambiamenti climatici e per la promozione della “*climate literacy*”, ovvero la comprensione dell'influenza reciproca tra clima e società.

LA ROADMAP PER L'ELABORAZIONE DELLA STRATEGIA E DEL PIANO REGIONALE DI MITIGAZIONE E ADATTAMENTO AI CAMBIAMENTI CLIMATICI





WP6
VISIONE

WP7
OBIETTIVI

WP8
AZIONI DI PIANO

WP14
PROCEDURA VAS

WP9
ELABORAZIONE STRATEGIA E PIANO

WP10
PIANO DI MONITORAGGIO

WP11
PIANO DI INVESTIMENTI

WP12
MAINSTREAMING

STRATEGIA

PIANO

WP1: GOVERNANCE E PROCESSO PARTECIPATIVO

La definizione di un modello di governance e l'attivazione di un processo partecipativo gettano le fondamenta per lo sviluppo dell'intero percorso di lavoro.

La “*governance*” è concepita come l'insieme dei principi, delle regole, delle leggi, delle procedure, dei processi dinamici che definiscono in quale modo gli attori coinvolti (amministrazioni pubbliche, decisori politici, comunità scientifica, società civile) si interfacciano, collaborano, decidono, esercitano il loro potere e i loro ruoli riguardo il cambiamento climatico.

Per poter gestire il lavoro che porterà alla definizione della Strategia e del Piano Clima, si strutturerà un **modello di governance multi-livello, multi settoriale e multi attore**, che preveda ad esempio l'interazione orizzontale tra le diverse Direzioni regionali e l'interazione verticale tra i diversi livelli amministrativi.

La Strategia e il Piano Clima non possono essere concepiti come strumenti calati dall'alto, basati esclusivamente su decisioni prese all'interno delle istituzioni regionali. Al contrario, devono nascere da un **processo inclusivo e partecipativo** che coinvolga attivamente tutti gli attori del territorio.

Per questo motivo, la Regione ha deciso di adottare un approccio partecipativo che sarà il “collante” dell'intero percorso di lavoro che coinvolge:

Soggetti interni all'Amministrazione regionale e alle Agenzie regionali, che contribuiscono con le loro competenze tecniche e amministrative.

Stakeholder del territorio regionale, ovvero organizzazioni pubbliche e private, associazioni di categoria e altri attori economici e sociali che operano sul territorio.

Cittadini, il cui contributo è fondamentale per garantire che le politiche climatiche siano in linea con le esigenze e le aspettative della popolazione.

Questi soggetti verranno coinvolti secondo le necessità di confronto e condivisione che prenderanno forma durante il lavoro, con le modalità descritte nell'articolo **CAMBIAMENTI CLIMATICI E CITTADINANZA ATTIVA**.

Le attività saranno realizzate con la collaborazione di Kallipolis, un soggetto esperto in processi partecipativi.

WP2: CAPACITY BUILDING

Uno dei pilastri fondamentali della Strategia e del Piano Regionale Clima è la **formazione**: non si può progettare un'azione efficace contro il cambiamento climatico senza prima consolidare le competenze di chi sarà chiamato a realizzarla.

Il *Work Package 2* è dedicato proprio alla **capacity building**, ovvero al **rafforzamento delle conoscenze e delle capacità operative** del personale coinvolto.

In particolare, a giugno 2025 si è svolto un incontro formativo per preparare lo sviluppo di altre attività previste nella roadmap, che ha incluso:

- una sessione introduttiva dedicata a creare una base conoscitiva condivisa riguardo al contesto climatico ed emissivo regionale e al concetto di rischio climatico;
- una sessione formativa sulla metodologia delle **catene di impatto**, uno strumento fondamentale per comprendere come i cambiamenti climatici generano rischi nei territori, mostrando le relazioni causali tra i pericoli climatici, i settori e sistemi esposti, le loro vulnerabilità e gli impatti.

WP3: ANALISI DI CONTESTO: TERRITORIO, CLIMA, EMISSIONI, NORME, STRUMENTI REGOLATORI

Prima di pianificare interventi concreti, è fondamentale **conoscere a fondo la realtà** su cui si andrà a operare. Il *Work Package 3* è dedicato all'**analisi del contesto regionale**, e rappresenta le fondamenta conoscitive della Strategia e del Piano Regionale Clima. L'obiettivo è costruire una solida base di dati e informazioni che guidi le azioni future di adattamento e mitigazione.

Questa analisi si sviluppa con la raccolta dei dati tecnici e oggettivi riguardanti il territorio, che vengono descritti in diversi documenti tecnici.

Il **Quadro territoriale** raccoglie informazioni su settori cruciali come salute, agricoltura, trasporti, risorse naturali, dissesto idrogeologico e molto altro facendo tesoro del patrimonio di conoscenze dell'ente regionale. Le informazioni relative a geografia, ambiente, paesaggio, infrastrutture, economia, demografia del Friuli Venezia Giulia sono fondamentali, ad esempio, per l'elaborazione delle catene d'impatto e l'analisi dei rischi previste nel WP 4.

Il **Quadro climatico**, curato da ARPA FVG, fornisce dati aggiornati sull'evoluzione del clima in regione, sia attraverso analisi storiche che proiezioni future.

A questo si affianca il **Quadro emissivo**, anch'esso curato da ARPA FVG, che fotografa le principali fonti di gas serra e guiderà le azioni di mitigazione.

Completano il *Work Package 3* l'analisi delle **normative esistenti** a livello europeo, nazionale e regionale, e una ricognizione degli **strumenti di pianificazione** già attivi.

Queste attività vedono la collaborazione degli esperti degli enti tecnico scientifici e delle istituzioni regionali.

A questo percorso di conoscenza oggettiva si aggiungerà una serie di interviste sul territorio a testimoni significativi, per raccogliere le percezioni e i punti di vista dei cittadini e degli attori locali, per elaborare una **mappa percettiva dei cambiamenti climatici**.

WP4: VALUTAZIONE DELLE VULNERABILITÀ E DEI RISCHI E ASSOCIATI AI CAMBIAMENTI CLIMATICI PER I SETTORI DI RIFERIMENTO (ADATTAMENTO)

Il *Work Package 4* (WP4) è il cuore dell'**analisi dei rischi climatici** e ha lo scopo di capire a quali rischi è esposto il nostro territorio regionale, analizzando gli effetti che i cambiamenti climatici possono avere sui diversi sistemi ambientali e socioeconomici ed evidenziandone le vulnerabilità. Da qui si sviluppa il percorso che permette di individuare le azioni di adattamento più efficaci per ridurre l'esposizione e le vulnerabilità dei diversi settori agli impatti dei cambiamenti climatici.

La metodologia usata è quella delle **catene di impatto** (illustrata nell'articolo **LE "CATENE DI IMPATTO": UNO STRUMENTO CHIAVE PER VALUTARE I RISCHI CLIMATICI E PIANIFICARE L'ADATTAMENTO**). Questo approccio consente di rappresentare chiaramente il legame tra gli "*hazard*" ossia i pericoli climatici (che possono essere sia eventi estremi che cambiamenti gradualmente), gli elementi del territorio che possono essere colpiti, la loro fragilità e la capacità di adattamento.

Le catene di impatto vengono elaborate **attraverso un percorso condiviso e partecipato**

strutturato con dei tavoli di lavoro tecnici tematici a cui parteciperanno attivamente le direzioni regionali, gli esperti scientifici, i soggetti privati che operano sul territorio regionale nei diversi settori (es. salute, agricoltura, turismo ecc.).

L'obiettivo finale è arrivare a una mappatura delle criticità climatiche dalla regione, che possa costituire una base solida da cui sviluppare gli obiettivi strategici di adattamento e **individuare con chiarezza le priorità su cui intervenire**.

Questo lavoro sarà realizzato con la collaborazione di Eurac Research, un soggetto esperto in materia di adattamento.

WP5: VALUTAZIONE DELLE CRITICITÀ E OPPORTUNITÀ DI INTERVENTO SULLA RIDUZIONE DEI GAS SERRA (MITIGAZIONE)

Il *Work Package 5* (WP5) è dedicato a individuare percorsi realistici per raggiungere la **neutralità climatica** con emissioni nette zero: cioè l'equilibrio complessivo tra le emissioni di gas serra generate dall'attività umana e quelle assorbite in FVG, come previsto dalla LR FVGreen.

Il lavoro prevede una prima fase di **mappatura delle azioni di mitigazione già inserite nei diversi strumenti di pianificazione regionali**, con il loro contributo emissivo e di assorbimento e stoccaggio della CO₂.

Queste azioni vengono poi monitorate nel tempo con degli indicatori specifici.

In fase successiva attraverso una serie di tavoli tecnici settoriali **le azioni individuate vengono valutate** in base alla loro efficacia e vengono modificate o integrate.

A questa parte del percorso si affianca lo **sviluppo della piattaforma informatica IRGAS**, un inventario dei gas climalteranti in atmosfera divisi per tipologia di sorgente.

Il lavoro fornisce una base tecnica e strategica per individuare nuove politiche di mitigazione e definire linee di intervento coerenti con le misure di adattamento, tenendo conto delle risorse economiche e sociali del territorio.

WP6: CO-CREAZIONE DI UNA VISIONE PER LA RISPOSTA AL CAMBIAMENTO CLIMATICO

Il *Work Package 6* (WP6) si concentra sull'ascolto del territorio attraverso **la costruzione partecipata e condivisa di una visione comune** per affrontare il cambiamento climatico in Friuli Venezia Giulia.

Il **processo partecipativo è ampio e strutturato** e coinvolge un'ampia rete di attori, tra cui le Direzioni regionali, la Cabina di Regia, ARPA FVG, esperti del settore, stakeholder, cittadini e giovani, con l'obiettivo di captare e recepire le esigenze, le specificità e le diversità del territorio regionale, di identificare i temi prioritari e le leve di cambiamento necessarie per affrontare le sfide poste dal cambiamento climatico.

Si organizzeranno interviste e incontri con gruppi target e soggetti chiave, al fine di garantire che **tutte le voci**, anche quelle meno "udibili", siano prese in considerazione nella costruzione della visione condivisa.

La visione comune che emergerà sarà non solo una risposta alle criticità climatiche, ma anche una **valorizzazione delle opportunità** per uno sviluppo regionale sostenibile e resiliente.

WP7: OBIETTIVI STRATEGICI E AZIONI NEI VARI SETTORI

Il *Work Package 7* (WP7) prevede, attraverso varie attività, la definizione di obiettivi strategici che costituiranno il quadro delle politiche regionali di riduzione delle emissioni di gas serra e per la gestione della vulnerabilità del territorio ai cambiamenti climatici e sarà l'ossatura della Strategia Regionale Clima.

La Strategia regionale per affrontare le sfide legate ai cambiamenti climatici si sviluppa attorno a due **macro-obiettivi** principali.

Il primo obiettivo, la mitigazione, si concentra sulla riduzione delle emissioni di gas a effetto serra, con l'intento di limitare il riscaldamento globale nel lungo periodo. Questo approccio si fonda sulla necessità di ridurre l'impatto delle attività umane sull'ambiente, promuovendo soluzioni sostenibili che possano contribuire al rallentamento dei cambiamenti climatici.

Il secondo obiettivo, l'adattamento, riguarda invece l'incremento della resilienza delle attività umane e degli ecosistemi. Questa componente della

strategia ha l'obiettivo di preparare la società e l'ambiente a fronteggiare gli impatti inevitabili dei cambiamenti climatici nel breve periodo, cercando di prevenire o attenuare le conseguenze più dannose.

Da questi due macro obiettivi concettuali nascono gli **Obiettivi generali** di mitigazione e adattamento, che rappresenteranno le intenzioni e le aspettative generali e condivise che orienteranno le politiche climatiche regionali.

L'elaborazione di questi obiettivi generali avviene attraverso dei **momenti di lavoro partecipati**, che coinvolgono attivamente le direzioni regionali competenti, gli stakeholder, le comunità locali e le amministrazioni.

Successivamente gli obiettivi generali vengono valutati in base a priorità, orizzonte temporale, consenso e tipo di misure associate: da qui prendono forma gli **Obiettivi strategici**. La Cabina di Regia regionale, coordinata dal Direttore Generale, avrà un ruolo fondamentale nell'orientare le decisioni e garantire che gli obiettivi strategici siano in linea con le esigenze del territorio.

Gli obiettivi strategici identificati nelle fasi precedenti prenderanno forma in **azioni concrete di mitigazione e adattamento**, suddivise in tre categorie principali: *soft*, *green* e *grey*. Le azioni *soft* riguardano interventi gestionali, politici, di studio e formazione; le azioni *green* si concentrano su soluzioni eco-sistemiche; mentre le azioni *grey* coinvolgono tecnologie e ingegneria.

Sono previsti la creazione di **due portafogli distinti di macro azioni: uno in materia di adattamento e uno di mitigazione** che devono essere in linea con tutte le strategie e piani nazionali e regionali in materia di Clima. Le azioni già previste nei piani e nei programmi in corso di attuazione sono il punto di partenza per la costruzione del quadro di riferimento per le future azioni di piano.

L'elaborazione di questo carnet di azioni avviene attraverso un processo partecipativo, che coinvolge direzioni regionali competenti e gli stakeholder di settore, assicurando così soluzioni condivise e rispondenti alle necessità del territorio.

Un'analisi di coerenza garantisce la sinergia degli obiettivi e le azioni di mitigazioni e adattamento e la sostenibilità.

WP8: AZIONI DI PIANO

La fase successiva e finale del nostro percorso si concentra sulla definizione di azioni di piano, ossatura del Piano Regionale Clima. Questa attività prevede un confronto approfondito e partecipativo all'interno dell'amministrazione regionale, attraverso workshop settoriali e tematici e Interviste.

Per poter scegliere le azioni di piano più adatte a ogni settore in materia di adattamento e mitigazione, ma anche per garantire un uso efficiente delle risorse a disposizione, queste vengono sottoposte a una serie di valutazioni chiave:

- **Adeguatezza di scala:** quanto l'azione si adatta al livello amministrativo, nel rispetto del principio di sussidiarietà territoriale.
- **Rilevanza:** il suo legame con gli impatti più significativi del cambiamento climatico.
- **Urgenza:** la necessità di agire su impatti che richiedono interventi a lungo termine.
- **Trasversalità:** la sua capacità di generare effetti positivi su più settori.
- **Flessibilità:** la possibilità di modificare l'azione nel tempo, considerando l'incertezza delle previsioni climatiche.
- **Coerenza:** la sua armonia con i piani e le azioni già esistenti.
- **Efficacia:** la sua capacità di ridurre gli impatti negativi del cambiamento climatico.
- **Efficienza:** la massimizzazione del rapporto costi-efficacia.
- **Fattibilità economica:** la sostenibilità finanziaria dell'intervento.
- **Implementazione politica:** la sua percorribilità istituzionale e sociale, la sua multidimensionalità e l'urgenza di metterla in atto.

Questa fase prevede una valutazione delle risorse finanziarie necessarie per la programmazione e l'attuazione di ogni singola azione, nonché una serie di passaggi fondamentali per permettere una pianificazione realistica e sostenibile.

WP10: PIANO DI MONITORAGGIO

Il *Work Package* 10 (WP10) è dedicato a progettare un sistema di monitoraggio, reporting, e valutazione che consenta di valutare con regolarità se gli obiettivi prefissati siano stati raggiunti e se le azioni adottate siano state efficaci.

Verranno selezionati alcuni indicatori di processo e di risultato, semplici e sintetici che serviranno per costruire il sistema di misurazione. Il sistema di reporting dovrà essere molto flessibile per permettere un'integrazione semplice e tempestiva delle eventuali modifiche future legate alle indicazioni politiche internazionali e nazionali.

Una volta approvato il Piano Regionale di Mitigazione e Adattamento ai Cambiamenti Climatici sarà soggetto a monitoraggio e valutazione ogni sei anni e potrà essere modificato e integrato in ogni tempo con la medesima procedura prevista per la sua approvazione.

WP11: PIANO DI INVESTIMENTI

Nel *Work Package* 11 (WP11) verrà definito un piano di investimenti che consenta di stimare le risorse economiche necessarie, di definirne le fonti e l'allocazione per attuare le azioni previste dal Piano Regionale di Mitigazione e Adattamento ai Cambiamenti Climatici.

WP12: MAINSTREAMING NEI PIANI, PROGRAMMI E STRUMENTI DI GOVERNO

Per affrontare efficacemente le sfide climatiche, è fondamentale **integrare i temi di adattamento e mitigazione nei Piani regionali**, attraverso una governance che li regoli. L'integrazione degli obiettivi di adattamento e mitigazione avviene attraverso un processo detto di "*mainstreaming*", sia orizzontale che verticale.

Il **mainstreaming orizzontale** garantisce che gli obiettivi di adattamento e mitigazione vengono integrati nelle programmazioni regionali, orientando gli indirizzi e le azioni dei piani e dei programmi settoriali.

Il processo di **mainstreaming verticale** invece viene inteso come l'integrazione degli obiettivi comuni su scala sub-regionale, affinché le strategie e le azioni per il territorio in materia di clima si traducano in interventi concreti e coordinati anche a livello locale.

WP13: PIANO DI COMUNICAZIONE E DIFFUSIONE

Per garantire un'efficace diffusione delle informazioni relative al Piano, è previsto di sviluppare un Piano di comunicazione e diffusione articolato, che includerà una serie di eventi informativi sul territorio.

L'obiettivo principale di questo piano è ambizioso: **ampliare l'audience del "progetto", e aumentare il numero degli stakeholder coinvolti**. Si vuole accrescere la consapevolezza e l'interesse a diversi livelli – dai rappresentanti delle autorità locali ai dipendenti pubblici, fino ai semplici cittadini – sull'importanza delle misure e delle azioni di mitigazione e adattamento per affrontare il cambiamento climatico. Sarà fondamentale **informare il pubblico sulle politiche di mitigazione e di adattamento, e sulle soluzioni praticabili**, creando al contempo un'identità visiva riconoscibile per il progetto. Il piano mira inoltre a comunicare e disseminare in modo capillare le attività e i risultati raggiunti, coinvolgendo attivamente gli stakeholder nelle diverse fasi del progetto per consolidare ulteriormente la loro consapevolezza.

WP14: PROCEDURA VAS

A giugno 2026 prenderà avvio la Valutazione Ambientale Strategica (VAS) del Piano Regionale Clima. Il suo scopo principale è assicurare che tutte le azioni proposte all'interno del Piano regionale Clima siano **pienamente compatibili con i principi dello sviluppo sostenibile**. Questo significa che ogni iniziativa deve essere attentamente vagliata per garantire il rispetto dell'ambiente, degli ecosistemi, della biodiversità e delle risorse naturali. In sostanza, la VAS mira a garantire un elevato livello di protezione ambientale. Attraverso questo processo, il Piano stesso e i suoi possibili impatti sull'ambiente e sul patrimonio culturale verranno scrupolosamente valutati, prevenendo effetti negativi e promuovendo soluzioni che tutelino il nostro territorio.

WP15: STRUMENTI DI LAVORO E DATI

Il *Work Package 15* (WP15) è dedicato allo sviluppo, miglioramento e implementazione di strumenti che supportino l'elaborazione della Strategia e del Piano Clima FVG e le successive fasi di realizzazione e monitoraggio delle azioni pianificate, garantendo la disponibilità dei dati necessari a monitorare da un lato le **emissioni dei gas serra**, dall'altro i **cambiamenti del clima** in Friuli Venezia Giulia.

Elena Caprotti, Nicolò Tudorov
Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia





LE “CATENE DI IMPATTO” PER VALUTARE I RISCHI CLIMATICI E PIANIFICARE L’ADATTAMENTO

Foto: Oleksandr Pidvalnyi by Pixabay

Le catene di impatto sono strumenti chiave per la valutazione dei rischi climatici, mostrando le relazioni causali tra i pericoli, i settori e sistemi esposti, le loro vulnerabilità e gli impatti (spesso “a cascata”).

Esse facilitano il processo decisionale e aiutano a identificare misure di adattamento efficaci.

Grazie a un approccio strutturato e interdisciplinare, permettono di comprendere meglio gli effetti del cambiamento climatico e di sviluppare strategie più mirate per la resilienza dei territori e delle comunità.

Con l’evidenza sempre più chiara degli impatti del cambiamento climatico, la necessità di strumenti e metodologie solidi per valutare e gestire i rischi climatici non è mai stata così grande. Uno di questi strumenti, che ha guadagnato rilevanza negli ultimi anni, è la “catena di impatto”. Questo articolo esplora il concetto di catene di impatto, il loro ruolo nella valutazione del rischio climatico e la loro applicazione nel contesto della pianificazione dell’adattamento al cambiamento climatico.

Per una corretta comprensione delle catene di impatto è utile avere ben chiaro il concetto di “rischio”, di cui forniamo un breve inquadramento nel box dedicato.

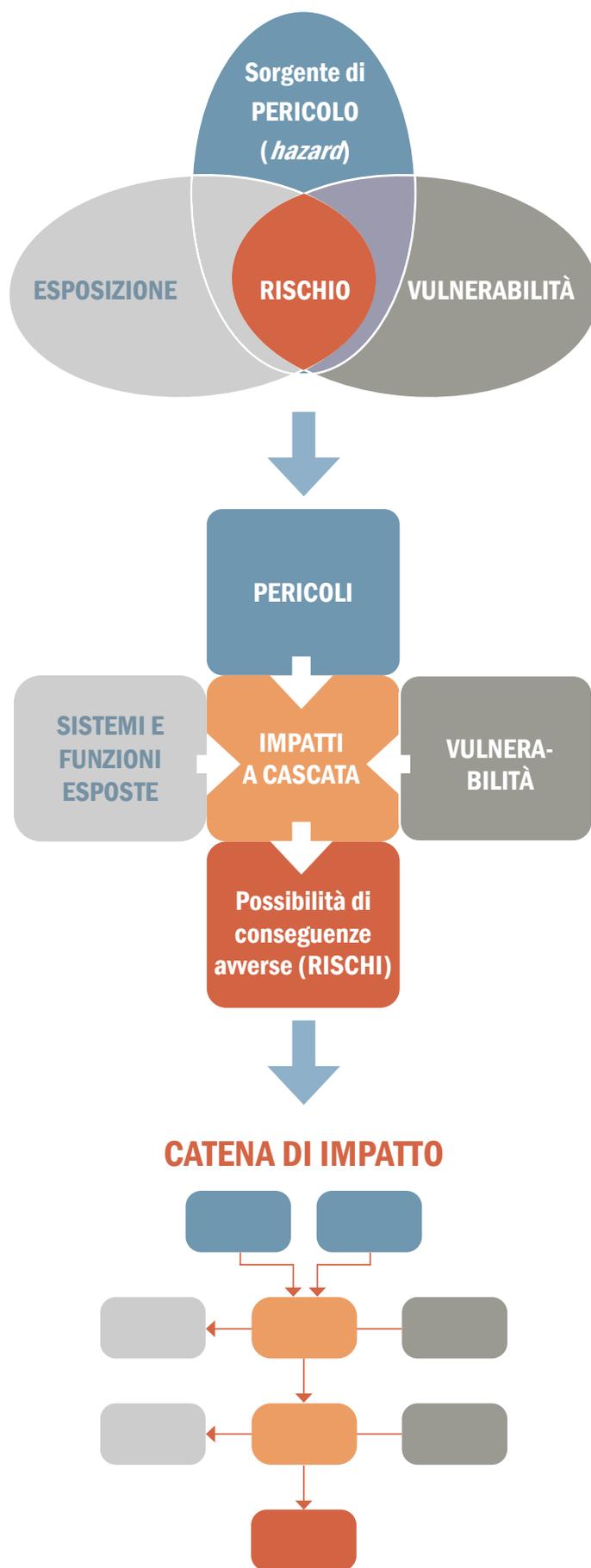
IL CONCETTO DI RISCHIO E LE SUE CONNOTAZIONI

Il termine rischio si riferisce alla possibilità di conseguenze avverse di un pericolo (eventualmente legato al clima), o di risposte di adattamento o mitigazione a tale pericolo, su vite umane, mezzi di sussistenza, salute e benessere, ecosistemi, beni economici, sociali e culturali, servizi (inclusi i servizi ecosistemici) e infrastrutture, seguendo la definizione dell'*Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC).

Questa definizione è anche coerente con quella proposta dall'UNISDR (l'Ufficio delle Nazioni Unite per la riduzione del rischio di catastrofi) nel 2009, dove il rischio è definito come "La combinazione della probabilità di un evento e delle sue conseguenze negative", seguendo lo standard ISO/FDIS 31000:2009. Secondo l'UNISDR "la parola "rischio" ha due connotazioni distintive: nell'uso comune l'enfasi è solitamente posta sul concetto di possibilità, come ad esempio nel "rischio di un incidente"; mentre in contesti tecnici l'enfasi è solitamente posta sulle conseguenze, in termini di "potenziali perdite" per una causa, un luogo e un periodo particolare".

Oltre alla definizione concettuale, il rischio è comunemente inteso come il risultato dell'interazione tra la vulnerabilità (del sistema o settore interessato, ad esempio il "sistema energia" include sia gli impianti di generazione, sia la funzione di fornire energia a consumatori e aziende), la sua esposizione nel tempo (al pericolo), così come il pericolo (eventualmente legato al clima) e la probabilità del suo verificarsi.

Una rappresentazione grafica di questa interpretazione, comunemente utilizzata nella Riduzione del Rischio Disastri e proposta anche dall'[IPCC](#) a partire dal quinto *Assessment Report* (AR) è mostrata nella figura accanto.



In alto: concetto di rischio e suoi determinanti (IPCC 2021).

Al centro e in basso: le catene di impatto come rappresentazione grafica, sistematica e strutturata dei determinanti del rischio climatico.

COSA SONO LE CATENE DI IMPATTO?

Le catene di impatto sono rappresentazioni visive e concettuali che mappano le **relazioni causali** tra i rischi climatici, la vulnerabilità dei sistemi e settori e gli impatti risultanti. Esse fungono da **ponte tra i dati scientifici e il processo decisionale pratico**, illustrando come i rischi climatici possono influenzare vari componenti dei sistemi socioeconomici e ambientali. Una catena di impatto generalmente consiste di almeno quattro elementi principali: **pericoli; settori, sistemi o funzioni esposte; impatti; vulnerabilità**. A questi elementi si aggiungono inoltre i **rischi principali** e le potenziali **azioni di adattamento**.

PERICOLI

In questo contesto sono rappresentati dagli eventi o fenomeni climatici che rappresentano una minaccia potenziale, come ad esempio il caldo estremo, le forti piogge o l'innalzamento del livello del mare.

IMPATTI

rappresentano invece le conseguenze avverse e possono essere amplificati dalle vulnerabilità dei sistemi esposti.

SISTEMI O FUNZIONI ESPOSTE

si riferiscono alla presenza di persone, proprietà, ecosistemi o altri beni in aree che potrebbero essere colpite negativamente dai pericoli identificati.

VULNERABILITÀ

descrive la misura in cui gli effetti del cambiamento climatico possono provocare danni e perdite ai sistemi e settori esposti a questi fenomeni. La vulnerabilità può essere influenzata da fattori come le condizioni socioeconomiche, la fragilità delle infrastrutture e la ridotta capacità di adattamento e di prevenzione.

Una caratteristica importante delle catene di impatto è inoltre la rappresentazione esplicita delle **relazioni causali tra diversi impatti, che spesso sono a "cascata" tra di loro**.

Questo aspetto è rilevante in particolare nella definizione di strategie di adattamento, che quindi dovrebbero focalizzarsi sugli impatti a monte e sui relativi fattori di esposizione e vulnerabilità per una più efficace riduzione dei rischi climatici.

IL RUOLO DELLE CATENE DI IMPATTO NELLA VALUTAZIONE DEL RISCHIO CLIMATICO

La valutazione del rischio climatico coinvolge la **stima delle possibili conseguenze dei pericoli climatici** su vari sistemi e l'identificazione di strategie per attenuare tali conseguenze o ridurre la frequenza con la quale le stesse potrebbero verificarsi. Le catene di impatto giocano un ruolo cruciale in questo processo, fornendo un approccio strutturato per comprendere e visualizzare i percorsi attraverso i quali i fenomeni climatici possono portare a esiti negativi. In particolare, le catene di impatto offrono una **visualizzazione chiara e concisa di relazioni complesse**, rendendo più facile la comprensione degli effetti potenziali dei fenomeni climatici e quindi agevolando il processo decisionale alla base dei percorsi di adattamento.

Considerando inoltre molteplici fattori e le loro interazioni, le catene di impatto consentono un'analisi completa dei rischi climatici sfruttando un **approccio olistico e multidisciplinare**. Le informazioni e conoscenze descritte dalle catene di impatto aiutano i decisori politici e i pianificatori a **identificare le aree di intervento prioritario** e sviluppare **strategie di adattamento più mirate ed efficienti**.

ALCUNI ESEMPI APPLICATIVI

Le catene di impatto sono state utilizzate per lo sviluppo di piani di adattamento regionale ai cambiamenti climatici, ad esempio nel caso della Regione Marche (2022), la Regione Liguria (2023) e la Provincia Autonoma di Bolzano (2024), e per l'analisi dei rischi a livello continentale nel contesto della Valutazione del Rischio Climatico in Europa ([EUCRA https://www.eea.europa.eu/en/about/who-we-are/projects-and-cooperation-agreements/european-climate-risk-assessment](https://www.eea.europa.eu/en/about/who-we-are/projects-and-cooperation-agreements/european-climate-risk-assessment)).

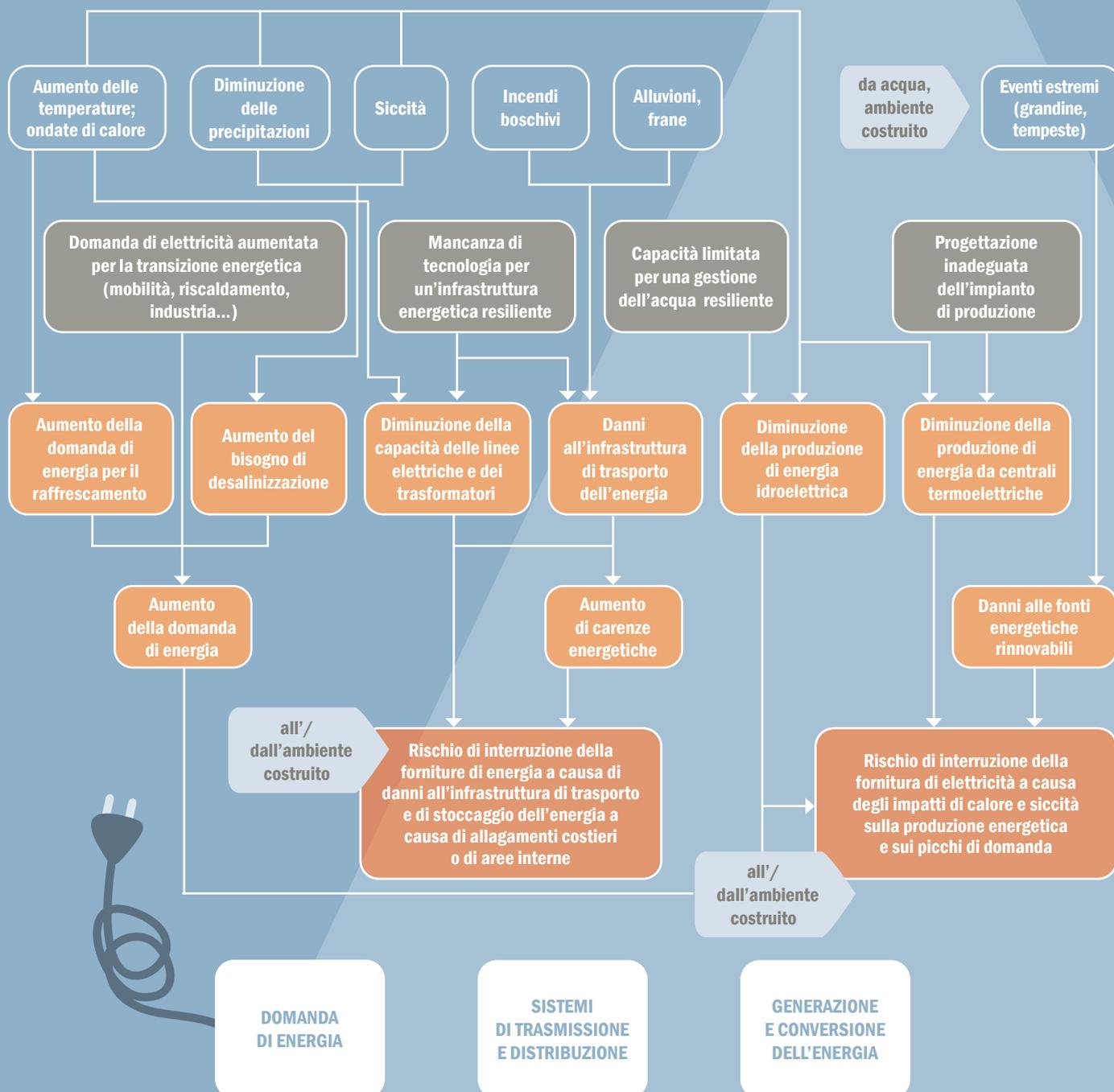
CATENA DI IMPATTO ECOSISTEMI MARINI E COSTIERI



- Pericoli di natura climatica
- Fattori di rischio non climatici
- Impatto diretto o indiretto
- Rischio climatico principale
- Sottosistemi esposti

Catena di impatto relativa ai principali rischi climatici per gli ecosistemi marini e costieri in Europa (rielaborazione e traduzione da EUCRA 2023).

CATENA DI IMPATTO PRODUZIONE, TRASPORTO E CONSUMO DI ENERGIA



- Pericoli di natura climatica
- Fattori di rischio non climatici
- Impatto diretto o indiretto
- Rischio climatico principale
- Sottosistemi esposti

Catena di impatto relativa ai principali rischi climatici per il sistema di produzione, trasporto e consumo di energia in Europa (rielaborazione e traduzione da EUCRA 2023).

Le catene di impatto forniscono un quadro chiaro delle interazioni tra rischi climatici, esposizione e vulnerabilità, come mostrato ad esempio nelle figure precedenti e sono applicate in progetti nazionali e internazionali per supportare la pianificazione di risorse critiche e promuovere la resilienza climatica.

La pianificazione dell'adattamento mira a ridurre la vulnerabilità delle comunità e degli ecosistemi agli effetti negativi del cambiamento climatico. Le catene di impatto sono strumentali in questo processo, poiché facilitano l'identificazione e l'implementazione di misure di adattamento efficaci.

SVILUPPARE LE CATENE DI IMPATTO PER LA PIANIFICAZIONE DELL'ADATTAMENTO

Le catene di impatto si sviluppano mediante una combinazione di ricerca ed elaborazione di dati e informazioni, consultazioni con esperti di settore, e approcci partecipativi che coinvolgano diversi portatori di interessi. Il processo di sviluppo e analisi comprende **diverse fasi**:

- 1. Definire il Contesto:** descrivere chiaramente il contesto che si intende analizzare attraverso la catena di impatto, indicando l'obiettivo e il metodo di costruzione della catena stessa (workshop, analisi di dati, ecc.), il contesto amministrativo, l'area geografica di riferimento e l'orizzonte temporale.
- 2. Mappare Esposizione e Vulnerabilità:** analizzare l'esposizione dei beni e dei sistemi ai rischi identificati e valutarne la vulnerabilità agli impatti potenziali.
- 3. Costruire la Catena di Impatto:** sviluppare una rappresentazione visiva che colleghi i rischi climatici ai loro effetti potenziali sui sistemi esposti e vulnerabili.
- 4. Identificare i Rischi Chiave:** determinare i rischi climatici rilevanti per la regione o il settore in esame.
- 5. Analizzare e Prioritizzare i Rischi:** valutare la catena di impatto per identificare le aree ad alto rischio e prioritizzare le misure di adattamento in base alla loro efficacia potenziale e fattibilità.

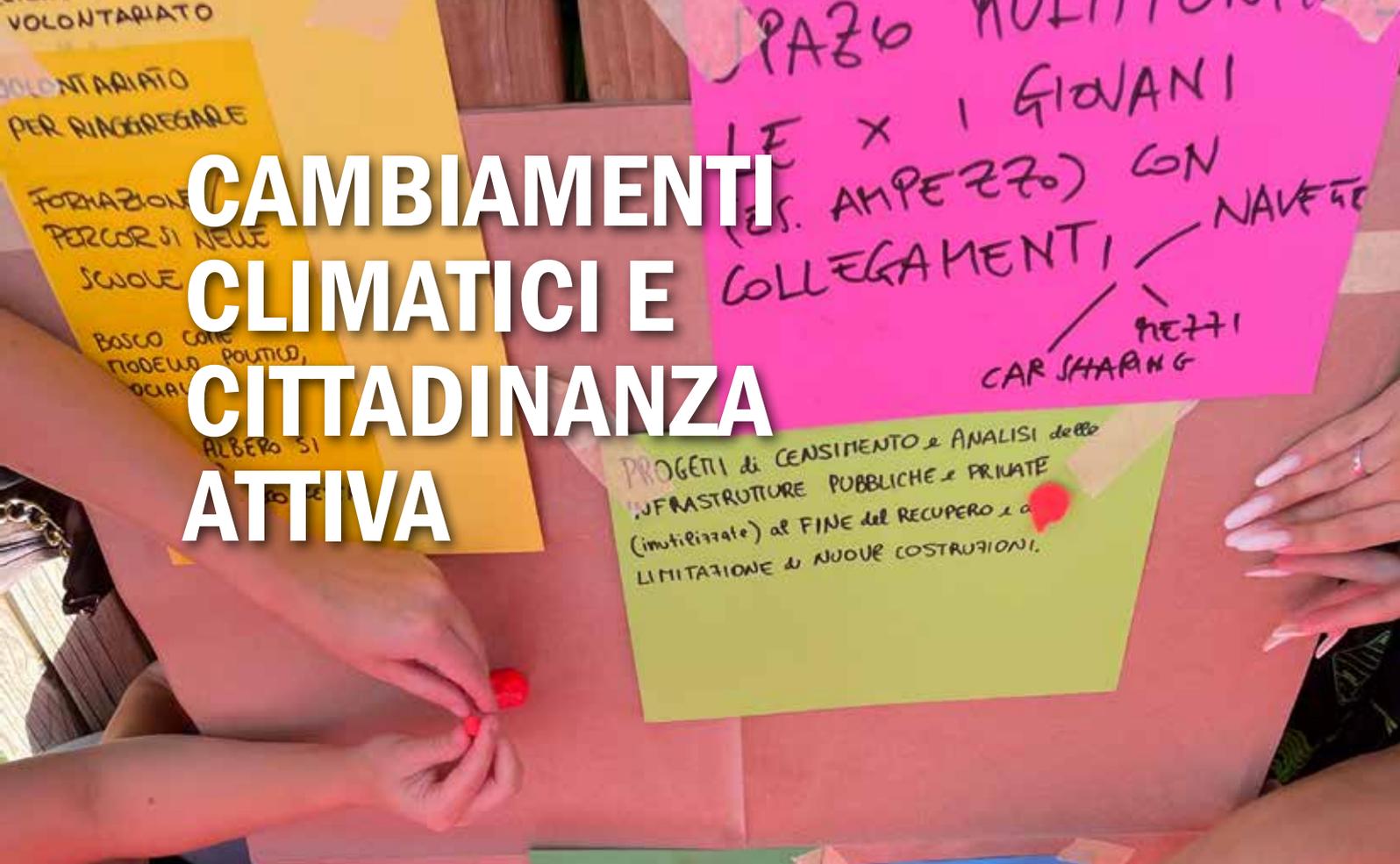
- 6. Individuare potenziali azioni di adattamento:** valutare, per ogni fattore di vulnerabilità e di esposizione nella catena di impatto, quali relative misure di adattamento si potrebbero implementare per ridurre i rischi identificati e la resilienza dei sistemi esposti.

CONCLUSIONE

Le catene di impatto sono strumenti utili ed efficaci che migliorano la nostra comprensione delle complesse interazioni tra gli impatti dei pericoli climatici e i loro fattori determinanti, come esposizione e vulnerabilità. Fornendo un quadro chiaro e completo per la valutazione del rischio climatico e la pianificazione dell'adattamento, le catene di impatto consentono alle parti interessate di **prendere decisioni informate e attuare strategie efficaci per costruire la resilienza climatica**. Persfruttare al meglio questo innovativo strumento di analisi è inoltre fondamentale il coinvolgimento attivo e la collaborazione di esperti scientifici e tecnici e referenti delle autorità coinvolte.

Lo sviluppo di **catene di impatto contestualizzate per il Friuli Venezia Giulia**, attraverso un processo partecipato, costituirà quindi un passaggio fondamentale per l'elaborazione della *Strategia* e del *Piano regionale di mitigazione e adattamento ai cambiamenti climatici*.

Massimiliano Pittore, Silvia Cocuccioni
EURAC Research



CAMBIAMENTI CLIMATICI E CITTADINANZA ATTIVA

La Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia sta avviando un percorso partecipativo che accompagnerà tutte le fasi di elaborazione della *Strategia e del Piano regionale di mitigazione e adattamento ai cambiamenti climatici*, coinvolgendo cittadini, comunità, stakeholder e attori pubblici.

L'obiettivo è sensibilizzare e rendere la società protagonista del cambiamento, promuovendo azioni condivise e inclusive.

Il processo seguirà il modello della quintupla elica, includendo anche i giovani per favorire la cittadinanza attiva.

Avviare un percorso partecipativo per l'accompagnamento alla definizione della "Strategia regionale di mitigazione e adattamento ai cambiamenti climatici" e del "Piano regionale di mitigazione e adattamento ai cambiamenti climatici" della Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia significa anche attivare un processo di crescita e consapevolezza della cittadinanza.

L'aumento delle temperature, particolarmente accentuato in estate, e le variazioni nel regime delle precipitazioni sono solo alcuni degli aspetti legati al cambiamento climatico che si possono osservare anche in modo empirico attorno a noi.

I cambiamenti climatici e il degrado dell'ambiente, infatti, costituiscono oggi una minaccia importante per il mondo intero: è necessario coinvolgere i singoli e le comunità locali in sinergia con gli attori pubblici per sperimentare nuovi processi in grado di sviluppare idee, servizi e modelli per prevenire le cause e contrastare gli effetti della crisi climatica in corso.



DIVENTARE ATTORI DEL CAMBIAMENTO

Il coinvolgimento delle **comunità locali** e delle amministrazioni in percorsi di partecipazione attiva permette a tutti di diventare attori del cambiamento e di sperimentare nuove risposte ai reali bisogni del territorio.

La partecipazione intesa come co-creazione o azione condivisa è un fattore chiave per la riuscita di iniziative intraprese dal soggetto pubblico sul territorio anche in linea con il **Patto Europeo per il Clima** (*European Climate Pact*), un'iniziativa a livello dell'Unione Europea che invita persone, comunità e organizzazioni a partecipare all'azione per il clima e a costruire un'Europa più verde e il primo continente a impatto climatico zero.

IL PERCORSO PARTECIPATO PER LA STRATEGIA E IL PIANO CLIMA FVG

Nel percorso avviato dalla Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia per elaborare prima la *Strategia* e poi il *Piano regionale di mitigazione e adattamento ai cambiamenti climatici*, prevedere la partecipazione dei cittadini ai processi di governo e trasformazione del territorio significa offrire a ogni abitante la possibilità di **apportare il proprio contributo in merito alla visione e alle**

possibili azioni che riguardano l'ambiente in cui vive. Questo implica che i soggetti coinvolti siano chiamati a esprimere la propria opinione su tematiche di interesse collettivo e a diventare partecipi alle possibili delle scelte che si decide di attuare per un territorio.

Mitigazione e adattamento, considerate insieme, vanno così a identificare una Strategia e un Piano integrati di risposta ai cambiamenti climatici che **preparano le comunità ad agire consapevolmente per la riduzione dei gas serra e ad affrontare gli impatti climatici in corso.**

Il **percorso partecipato multilivello e multistakeholder** che sarà realizzato nei prossimi due anni, mira infatti ad attuare politiche più inclusive, che riflettono le esigenze e i desideri dei gruppi coinvolti.

COINVOLGERE DIVERSI STAKEHOLDER E I GIOVANI

Per la **scelta degli stakeholder** che saranno coinvolti nel percorso sarà utilizzato il **modello della quintupla elica** attraverso il quale si mira al potenziamento delle relazioni territoriali tramite una maggiore interazione tra le istituzioni pubbliche, le organizzazioni private, gli istituti di ricerca, le agenzie locali e i cittadini.

IL MODELLO DELLA “QUINTUPLA ELICA”

La Quintupla Elica è un modello di governance che coinvolge cinque tipologie di “attori” del territorio: Istituzioni Pubbliche, Istituzioni che producono conoscenza (Università e Ricerca), Settore Privato, Organizzazioni della Società Civile e Cittadini Attivi. Questo modello, più complesso di altri modelli precedenti, mira a promuovere lo sviluppo locale e l’innovazione attraverso la collaborazione e la condivisione.

Il modello della Quintupla Elica, applicato alla mitigazione e all’adattamento ai cambiamenti climatici, si basa quindi su un’interazione sinergica tra istituzioni pubbliche, settore privato, istituti di ricerca, società civile e cittadini. In questo modo mira a una pianificazione innovativa, più inclusiva e orientata al territorio, coinvolgendo tutti gli attori per affrontare sfide climatiche come inondazioni, siccità e ondate di calore:

- **Istituzioni Pubbliche**
Sono le autorità locali, regionali e nazionali che definiscono le politiche, regolano le attività e forniscono le risorse per affrontare i cambiamenti climatici.
- **Università e Ricerca**
Università, centri di ricerca e istituti che svolgono studi e sviluppano soluzioni innovative per affrontare i cambiamenti climatici.



- **Settore Privato**
Imprese, organizzazioni e startup che sviluppano o potrebbero sviluppare tecnologie, prodotti e servizi per l’adattamento e la mitigazione
- **Società Civile**
Organizzazioni non governative, associazioni, movimenti che svolgono o potrebbero svolgere un ruolo chiave nella sensibilizzazione, nella partecipazione e nell’azione locale.
- **Cittadini attivi**
Sono i singoli individui che vivono il territorio, sono direttamente colpiti dai cambiamenti climatici e possono contribuire attivamente a trovare soluzioni.

Inoltre, in accordo con la “Carta europea riveduta della partecipazione dei giovani alla vita locale e regionale” (Consiglio d’Europa, 2017) il percorso si propone di **coinvolgere i giovani** in un’ottica di promozione della cittadinanza attiva, inclusione e democraticità delineando incontri e utilizzando **metodologie a loro dedicate**.

UN PERCORSO IN PIÙ FASI

Il percorso partecipativo prevede varie fasi caratterizzate dal coinvolgimento di diversi attori e un costante confronto con le Direzioni e i Servizi della Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia, ARPA FVG e il gruppo di lavoro composto da consulenti esterni.

Si inizia con una **fase di analisi conoscitiva** caratterizzata dalla raccolta di dati quantitativi e qualitativi anche attraverso la realizzazione di interviste semi - strutturate a testimoni significativi, arrivando alla definizione di una **mappa della percezione dei cambiamenti climatici**, che andrà a definire temi e luoghi rilevanti per il territorio regionale.

Successivamente saranno organizzati gli **incontri con la cittadinanza** nei quali saranno raccolte le visioni sul **futuro per il territorio** rispetto ai cambiamenti climatici: tutte le istanze raccolte andranno così a implementare il quadro di definizione della visione della strategia e dei suoi obiettivi prioritari.

Raccolti bisogni e visioni, sarà compito dei tecnici, degli esperti e dei decisori fare sintesi di quanto emerso nel percorso e tradurlo nella Strategia e nelle azioni del Piano.

Il processo diventa così **un’opportunità per preparare le comunità ad affrontare le sfide future** sia in un’ottica di mitigazione e quindi riduzione delle cause dei cambiamenti climatici sia di adattamento, rendendo i sistemi più resilienti a essi.

Maria Cecilia Corsini
Ileana Toscano
Nadia Vedova
Kallipolis

IL METEO E IL CLIMA



IL METEO E IL CLIMA

La temperatura atmosferica, le precipitazioni, il fenomeno “isola di calore urbana”

Meteo, clima e cambiamenti climatici sono termini ben distinti, ma collegati. Affrontiamo questo tema partendo dal racconto delle condizioni atmosferiche che hanno caratterizzato il 2024 in FVG (meteo), confrontandole con la norma (clima) ed analizzando poi le tendenze nel lungo periodo (cambiamenti climatici): si evidenzia così come il 2024 sia stato l'anno più caldo finora registrato in Friuli Venezia Giulia, con piogge annuali superiori alla norma, ma piogge estive scarse.

Proprio alle precipitazioni è dedicato un articolo di approfondimento, poiché l'effetto dei cambiamenti climatici sulle piogge in regione è complesso.

Un tema emergente è poi quello dell'isola di calore urbana, che sarà affrontato tramite la cooperazione transfrontaliera con il progetto Interreg Italia-Slovenija *HeatIsland Adapt*, avviato nel 2025.

Ciò che accade nella nostra regione si inquadra anche in una prospettiva geograficamente più ampia, che ci viene offerta dall'articolo sulle anomalie climatiche e sugli eventi estremi del 2024 nel mondo, nonché da un approfondimento che ci aiuta a comprendere come le modifiche delle circolazioni di larga scala legate al riscaldamento globale influenzano il clima di varie regioni del mondo.

DATI METEO 2024: L'ANNO PIÙ CALDO IN FVG, CON PIOGGE SUPERIORI ALLA MEDIA

Foto: Federica Fiapp

Nel 2024 le temperature dell'aria e del mare hanno fatto registrare record assoluti da quando si hanno misurazioni in Friuli Venezia Giulia, "segnali" di un cambiamento climatico in atto anche nella nostra regione.

Le piogge totali sono state, complessivamente, superiori alla media climatica.

Gli eventi degni di nota dell'anno passato riguardano principalmente gli estremi di temperatura, oltre alcuni episodi di pioggia particolarmente intensi e localizzati.

Quali "segnali dal clima" possiamo cogliere guardando ai dati meteo registrati in Friuli Venezia Giulia nel 2024?

Pur ricordandoci di tener sempre presente la distinzione tra meteo e clima, gli andamenti della temperatura dell'aria e del mare dell'anno scorso confermano ancora una volta le tendenze già evidenziate negli ultimi decenni: un progressivo riscaldamento del clima anche nella nostra regione.

METEO

Il meteo o tempo meteorologico è dato da condizioni e fenomeni atmosferici che si verificano in un determinato momento e in un **breve periodo** di tempo (alcune ore o giorni).

CLIMA

Il clima è dato dalla media delle condizioni atmosferiche registrate in **lunghi periodi di tempo** (in genere 30 anni) in un determinato territorio.

CAMBIAMENTI CLIMATICI

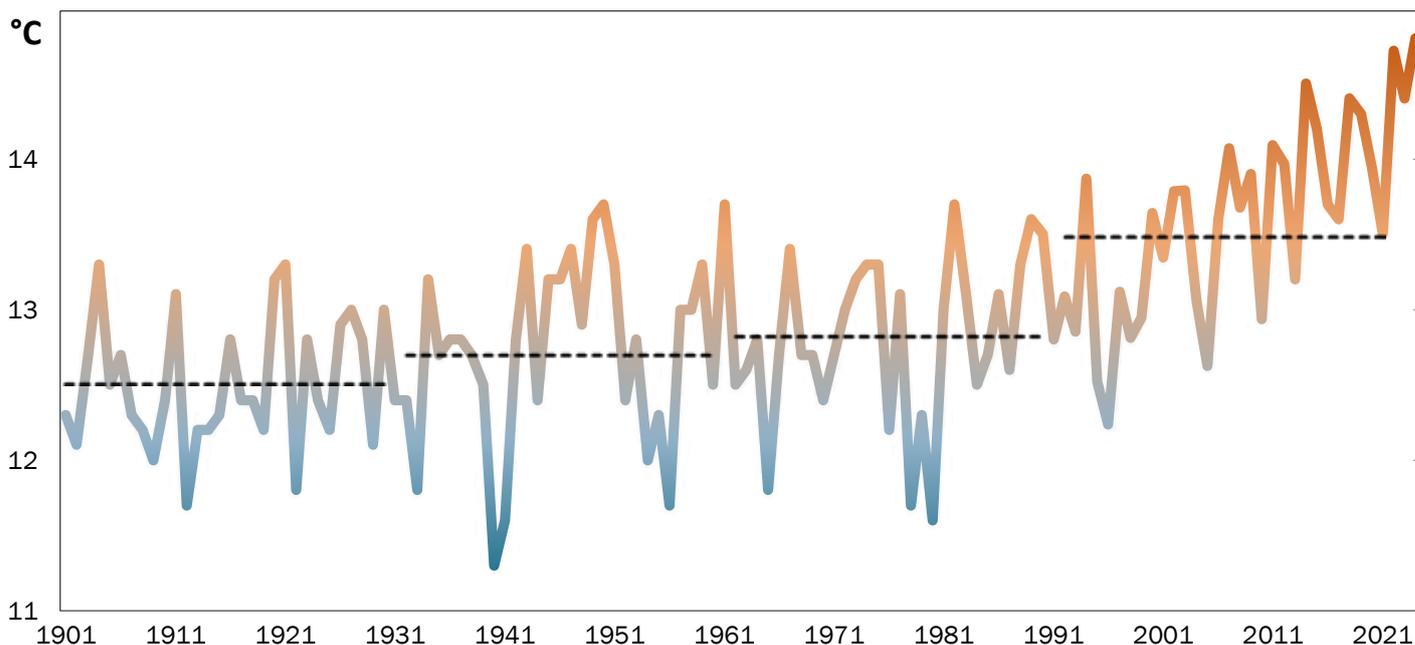
I cambiamenti climatici portano a variazioni statisticamente significative delle condizioni medie climatiche e tali variazioni persistono per un periodo esteso, decine o centinaia di anni. Le attività umane sono la causa principale di cambiamenti climatici rilevati negli ultimi due secoli

L'ANNO PIÙ CALDO

La serie termometrica più che secolare di Udine mostra come il 2024 in Friuli Venezia Giulia sia stato **l'anno più caldo** almeno dal 1900, seguito al secondo posto dal 2022, al terzo dal 2014 e al quarto dal 2023.

In **confronto** al trentennio climatico di riferimento **1991-2020** la temperatura del 2024 nella pianura del FVG è risultata **più alta di 1.3 °C**, mentre l'incremento è ancora più accentuato **se consideriamo la media del secolo scorso: +2.1 °C**.

TEMPERATURA MEDIA ANNUALE A UDINE DAL 1901 AL 2024



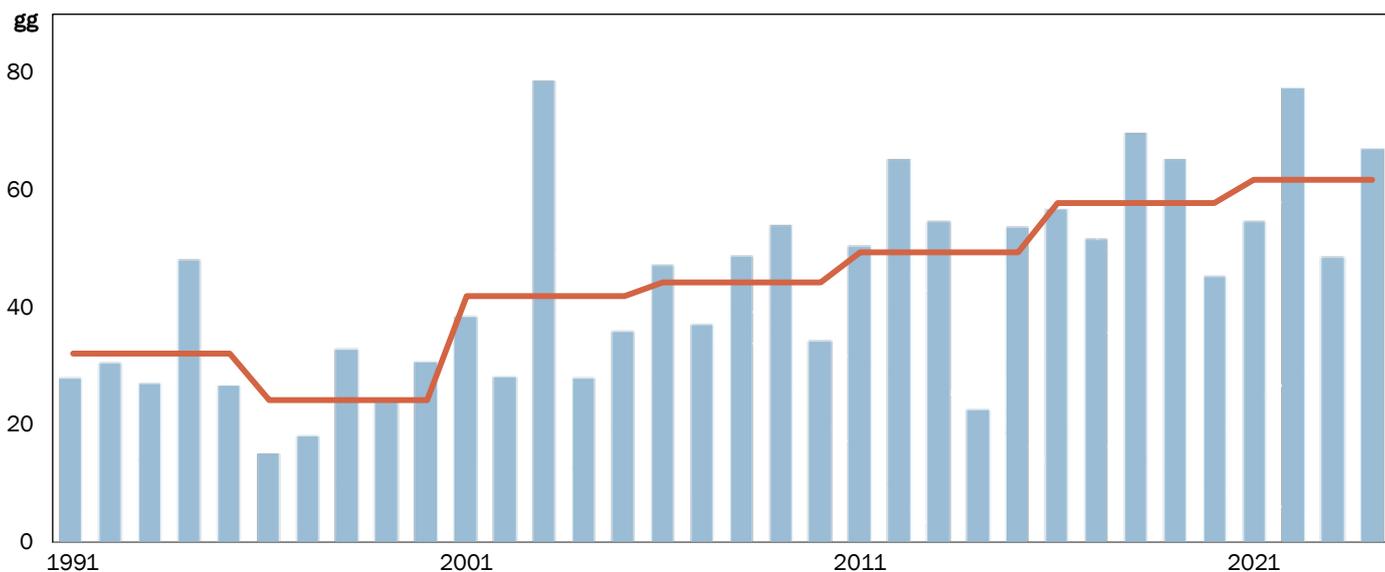
Andamento secolare della temperatura media annuale a Udine. (Dati: serie HistAlp 1901-1991, RAFVG 1992-2024).
Le linee tratteggiate orizzontali indicano le temperature medie trentennali.

Le **temperature medie dei mesi estivi** (soprattutto luglio e agosto) e **di settembre** si sono mantenute su valori molto elevati e la sensazione di **disagio bioclimatico** per la popolazione ha raggiunto valori simili a quelli dell'estate 2003.

Nella pianura regionale i **"giorni caldi"** sono stati **67**, 25 giorni in più rispetto alla media del

trentennio di riferimento 1991-2020 (42 giorni): il 2024 ha visto **quindi quasi un mese in più con temperature massime superiori ai 30 °C**. Si può notare come negli **ultimi 10 anni** il numero annuo di giorni caldi sia risultato costantemente più alto della media 1991-2020.

NUMERO DI GIORNI CALDI (TMAX > 30 °C) IN PIANURA DAL 1991 AL 2024

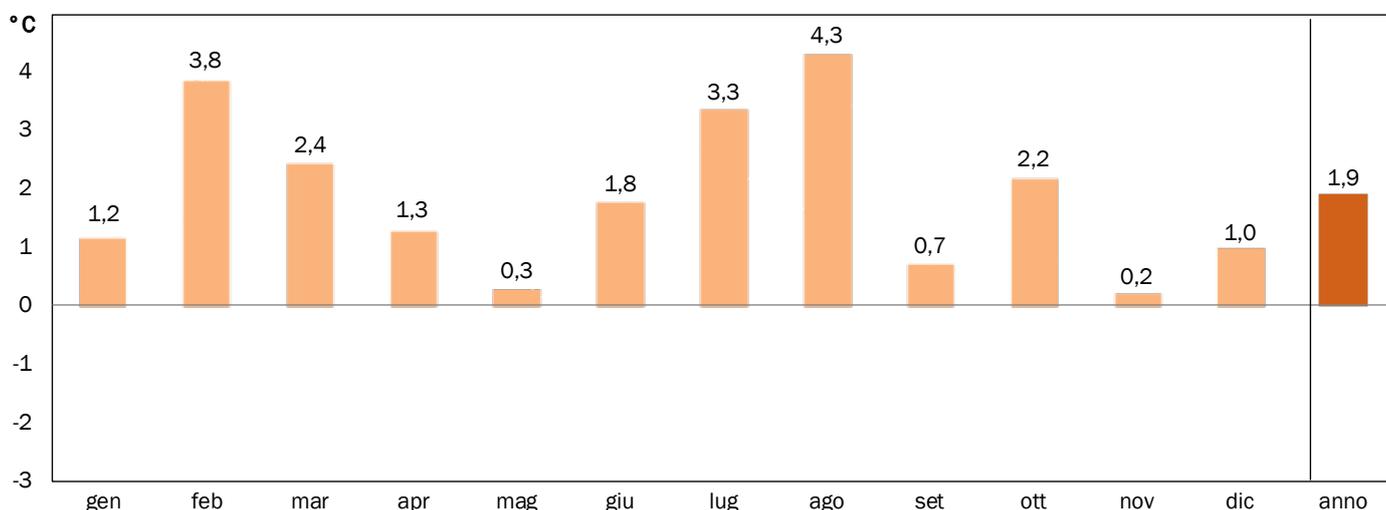


Il grafico rappresenta il numero di giorni caldi (Tmax > 30 °C, istogrammi azzurri) mediato su 14 località rappresentative dell'intera pianura regionale (Brugnera, Capriva del Friuli, Cervignano del Friuli, Cividale del Friuli, Codroipo, Fagagna, Gemona del Friuli, Gradisca d'Isonzo, Palazzolo dello Stella, Pordenone, San Vito al Tagliamento, Talmassons, Udine e Vivaro). La linea arancione rappresenta la media quinquennale.

Confrontando i **dati termici medi mensili** di quest'anno con le medie dei 120 anni precedenti (1901-2023), si può notare come in pianura la temperatura sia risultata sempre superiore alla media ultracentenaria.

Particolarmente rilevanti le **anomalie positive di febbraio, marzo, luglio, agosto e ottobre** con valori eccedenti la media da 2.2 a 4.3 °C. Considerando l'intero anno, l'anomalia è di 1.9 °C più alta rispetto al periodo considerato.

ANOMALIA TERMICA MENSILE - 2024



Anomalia delle temperature medie mensili del 2024 a Udine rispetto al periodo 1901-2023 (serie HistAlp 1901-1991, RAFVG 1992-2024).

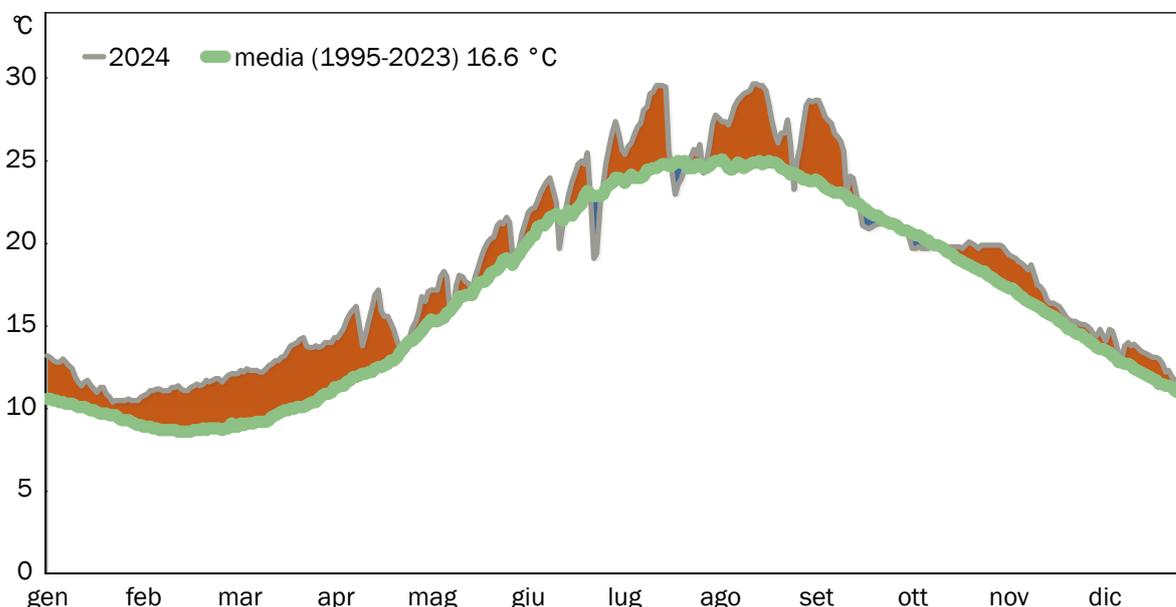


PER GRAN PARTE DELL'ANNO UN MARE PIÙ CALDO DELLA NORMA

Anche la **temperatura media del mare** - misurata a Trieste a 2 metri di profondità - è risultata **più alta di 1.9 °C** rispetto alla norma (1995-2023).

Le anomalie positive più importanti si sono registrate a gennaio, a marzo, a inizio aprile, a luglio, agosto e a settembre. Dal confronto con i dati storici disponibili (1934-2023) risulta che **aprile 2024 è stato il più caldo mai registrato**, con 15.1 °C rispetto alla media di circa 12 °C del periodo secolare di misura.

ANOMALIA TERMICA MENSILE - 2024



Anomalia delle temperature medie mensili del 2024 a Udine rispetto al periodo 1901-2023 (Dati: RAFVG 1995-2024).

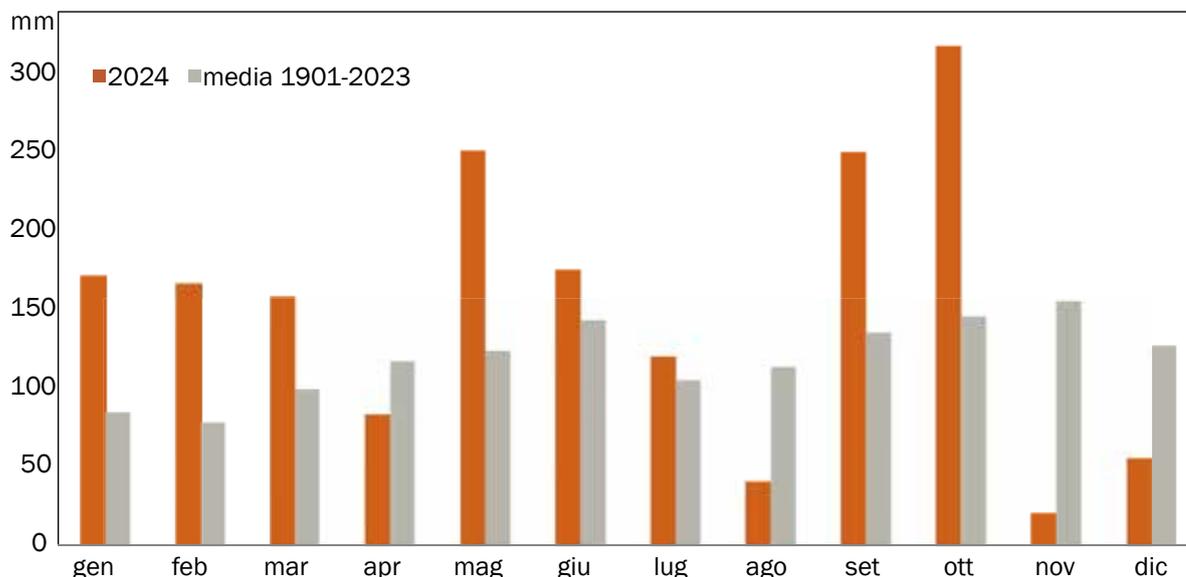
PIOGGE ANNUALI ABBONDANTI

Il 2024 ha fatto registrare precipitazioni totali superiori alla norma: le misure annuali sono variate dagli 850-1200 mm della costa (a Fossalon di Grado sono piovuti 1484 mm), ai 1300-1800 mm della pianura, toccando i 4400 mm sulle Prealpi

Giulie, per poi scendere sotto i 2000 mm nelle zone alpine più interne.

Mediamente su tutta la regione le piogge sono risultate superiori del 25% rispetto alla climatologia 1991-2020. Si può stimare che pluviometrie annuali di questo livello si ripresentino un anno ogni cinque.

PIOVOSITÀ MENSILE A UDINE



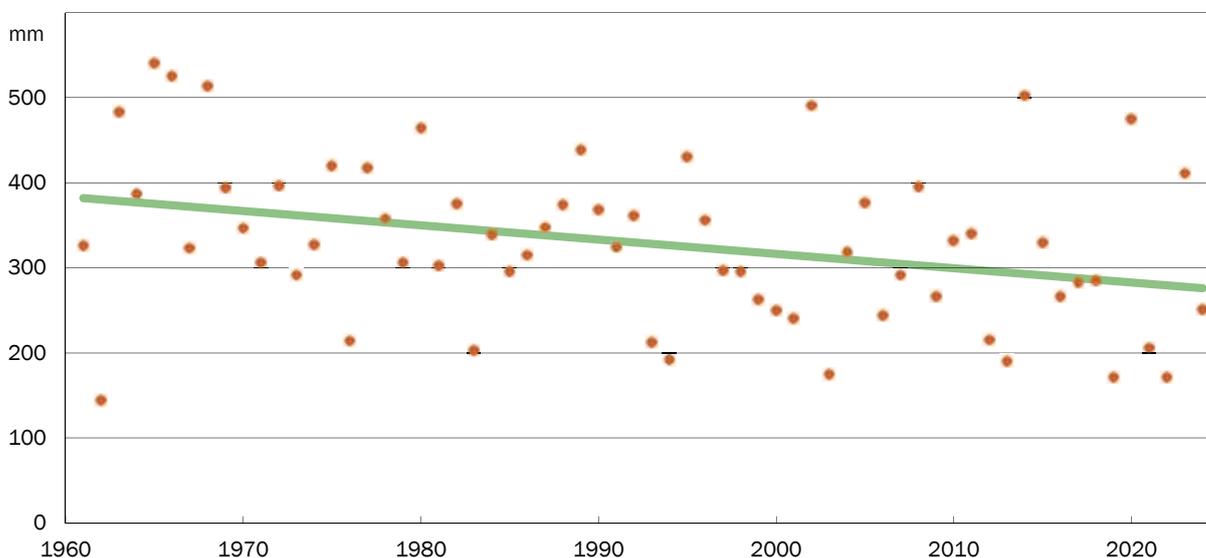
Precipitazioni mensili nel 2024 e confronto con la media del periodo 1901-2023 a Udine (Dati: HistAlp 1901-1991, RAFVG 1992-2024).

PIOGGE ESTIVE SCARSE

A fronte di piogge annuali elevate, nel 2024 i cumuli estivi sono risultati molto bassi: le piogge estive a Udine sono state pari a 338 mm; mentre considerando 29 stazioni distribuite sulla pianura e sulla costa, la media delle piogge estive è stata di 251 mm. Questo valore conferma una tendenza

ormai chiara, infatti l'analisi dei dati di pioggia estiva, mediata su queste 29 stazioni, dal 1961 a oggi evidenzia una diminuzione delle pluviometrie di circa 20 mm a decennio. Seppure vi sia un'alta variabilità nei dati, il trend negativo individuato è statisticamente molto significativo.

PIOGGE ESTIVE SU PIANURA E COSTA



Media delle precipitazioni estive in 29 stazioni di pianura e costa (punti arancioni) dal 1961 al 2024.

La linea verde indica il trend che interpola i dati (pendenza 2 mm/anno, r^2 0.10).

(Dati: RAFVG 1961-2024)

Andrea Cicogna, Valentina Gallina, Federica Flapp
ARPA FVG

2024: ALCUNI EVENTI METEO DA RICORDARE

MARZO E GIUGNO

le polveri sahariane hanno raggiunto la nostra regione in questi mesi e hanno portato a precipitazioni caratterizzate da un'anomala colorazione rossa

1° SETTEMBRE

si registra la temperatura più alta mai registrata in regione per questo mese (anche considerando i dati storici a disposizione)

LUGLIO E AGOSTO

sono stati due mesi in cui la temperatura media è stata superiore ai 25 °C e la temperatura massima ha superato i 30 °C

OTTOBRE

questo mese ha visto piovere abbondantemente ovunque, a Piancavallo sono stati registrati ben 1012 mm. Questo valore risulta essere tra i più alti, a livello mensile, nella località negli ultimi vent'anni, anche se non è da record per le nostre Prealpi che talvolta hanno visto accumuli di pioggia dell'ordine di 1500 mm

26 AGOSTO

i temporali a carattere stazionario avvenuti a Barcis: in 3 ore sono piovuti 144 mm di pioggia, di cui 138 mm in 60 minuti consecutivi; eventi di questa intensità si ripresentano nella stessa località con tempi di ritorno superiori ai 30 anni

TUTTO L'ANNO

la temperatura del mare misurata a 2 m di profondità a Trieste è la più alta almeno dal 1995

IL 2024 L'ANNO PIÙ CALDO A LIVELLO GLOBALE. ANOMALIE CLIMATICHE ED EVENTI ESTREMI NEL MONDO



Foto: freepik

Dal punto di vista climatico, il 2024 è stato un **anno record**.

La concentrazione media di **anidride carbonica** è stata di circa 422 ppm, **il valore più alto dall'inizio del 20mo secolo**.

Sulla base dei dati di Copernicus, il 2024 ha registrato **la più alta temperatura globale nel record storico** almeno dal 1850, superando il 2023 che aveva registrato il record precedente.

L'ANOMALIA DELLA TEMPERATURA GLOBALE SUPERFICIALE

La temperatura globale superficiale nel 2024 è stata di circa 15.1 °C, 0.15 °C maggiore che nel 2023, circa 0.72 °C maggiore della temperatura media sul periodo 1991-2020 e circa **1.6 °C maggiore della media pre-industriale** (1850-1900). Il range di anomalie di temperatura superficiale rispetto ai valori pre-industriali stimati da vari laboratori è 1.46-1.62 °C. **Per 11 mesi** del 2024 la anomalia di temperatura media globale è stata al di sopra di 1.5 °C rispetto ai corrispondenti valori pre-industriali, quindi

al di sopra dell'obiettivo dell'Accordo di Parigi del 2015.

A livello di macro-regioni, il 2024 è stato l'anno più caldo nel record storico in tutti i continenti eccetto Australasia e Antartide. Le temperature superficiali in Europa sono state le più alte dal 1850, con una anomalia rispetto al periodo 1991-2020 di 1.47 °C e rispetto ai valori pre-industriali di 2.92 °C. **Le anomalie di temperatura in Europa** quindi sono state circa **il doppio di quelle globali**.

GLI OCEANI E I GHIACCI MARINI

La **temperatura media oceanica superficiale** (sea surface temperature, o SST) ha raggiunto il **valore record** di 20.87 °C, ed è stata influenzata dalla coda della fase positiva di El Nino iniziata nel 2023. Valori record di SST sono stati riscontrati nell'Atlantico Settentrionale, il Pacifico Occidentale, e l'Oceano Indiano.

La **copertura di ghiaccio marino** in Artico è stata **molto al di sotto della media** da luglio a dicembre, mentre in Antartico ha raggiunto **valori minimi record** in novembre e valori fra i due più bassi fra da giugno a dicembre.

EVENTI ESTREMI

Durante il 2024 si è verificato un alto numero di eventi estremi, inclusi ondate di calore, alluvioni, siccità e incendi. Fra gli **eventi alluvionali più distruttivi** troviamo i casi della California in gennaio, il Golfo di Persia in aprile e la Spagna orientale (e.g. Valencia) in ottobre, in aggiunta a piogge monsoniche estreme in Australia e Asia meridionale. Nel 2024 ci sono state **86 tempeste tropicali**, delle quali **43** sono diventate **cicloni tropicali** e **22** cicloni particolarmente intensi che hanno causato danni ingenti a popolazione e infrastrutture.

Da notare che **il 6 ottobre 2024 tre uragani si trovavano simultaneamente nell'Atlantico**: Milton, uno dei più intensi mai registrati, Kirk, che ha anche impattato alcune zone dell'Europa, e Leslie. Questo fatto è senza precedenti per il mese di ottobre.

Nel 2024 ci sono state numerose **ondate di calore** che hanno infranto record precedenti. Le più importanti si sono riscontrate in Europa sud-orientale, Nordafrica e Sahel, Medio Oriente e zone delle Americhe, Asia Orientale e Australia. Periodi siccitosi sono occorsi in centro e sud America, Sudafrica e regioni del Mediterraneo e dell'Europa Orientale.

Filippo Giorgi

Emeritus Scientist

ICTP - Centro Internazionale di Fisica Teorica

LE PRECIPITAZIONI NEL CAMBIAMENTO CLIMATICO IN FRIULI VENEZIA GIULIA

L'effetto dei cambiamenti climatici sulle piogge in regione è complesso. L'analisi dei dati storici non evidenzia un trend annuale delle pluviometrie.

Però, su gran parte del territorio, variazioni significative sono evidenti a livello stagionale: durante l'estate diminuiscono le pluviometrie e il numero di giorni di pioggia mentre aumenta la durata dei periodi secchi.

In generale non si riscontra un incremento in termini di intensità o di frequenza degli eventi di pioggia giornalieri se non durante il periodo invernale.

In Friuli Venezia Giulia l'effetto più evidente dei cambiamenti climatici è l'incremento delle temperature: in pianura rispetto a una **temperatura media annua** di 12.8 °C, che era la norma nel trentennio 1961-1990, negli ultimi anni si sono raggiunti valori decisamente superiori, con il record di 14.8 °C del 2024 (come illustrato nell'articolo **DATI METEO DEL 2024: L'ANNO PIÙ CALDO IN FVG, CON PIOGGE SUPERIORI ALLA MEDIA**). Questo trend positivo lo si ritrova in tutte le stagioni ed è forse più marcato nella stagione estiva.

L'analisi dell'effetto dei cambiamenti climatici sulle piogge dà risultati più variegati e risulta più complesso: a livello annuale non è evidente un trend delle pluviometrie tuttavia nelle diverse stagioni, si possono individuare delle variazioni significative che sono a loro volta fortemente diversificate sul territorio regionale.

PIOGGE ANNUE, PIOGGE STAGIONALI

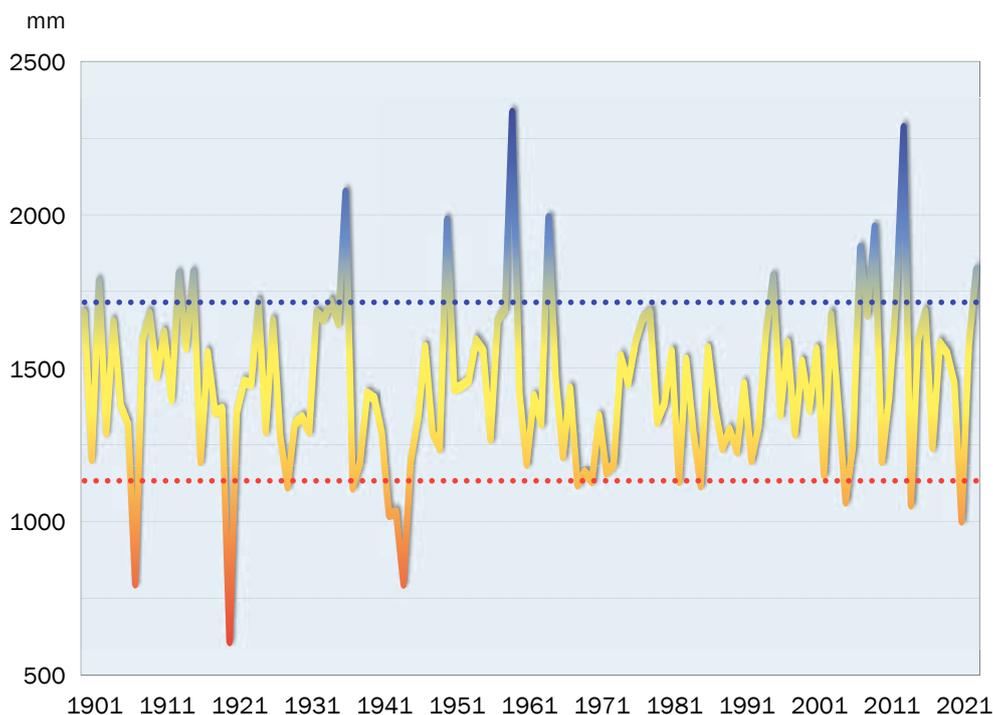
L'analisi degli andamenti pluviometrici annuali (i cumulati totali di pioggia di tutto l'anno) non mostra segnali positivi o negativi sulla nostra regione, anche per la forte variabilità interannuale di questa grandezza meteorologica. Il grafico di Udine dal 1901 risulta esemplificativo.

Al contrario l'analisi sulle precipitazioni stagionali, suddivise a livello territoriale, mostra come dal 1961 al 2024 le pluviometrie estive (e il numero dei giorni di pioggia estivi) su pianura-costa e sulle Prealpi stiano diminuendo in modo statisticamente significativo.

Questa analisi, che ha considerato dati di 57 stazioni (29 su pianura e costa, 13 Prealpi e 15 Alpi), vede dei tassi di diminuzione media delle pluviometrie estive su pianura-costa e Prealpi pari a 16-17 mm a decennio, mentre sulle medesime zone il tasso di diminuzione del numero medio di giorni di pioggia estivi è di 0.5-0.6 giorni a decennio. Nelle altre stagioni (inverno, primavera autunno) o sulle zone alpine non si riscontrano dei trend crescenti o decrescenti statisticamente significativi.

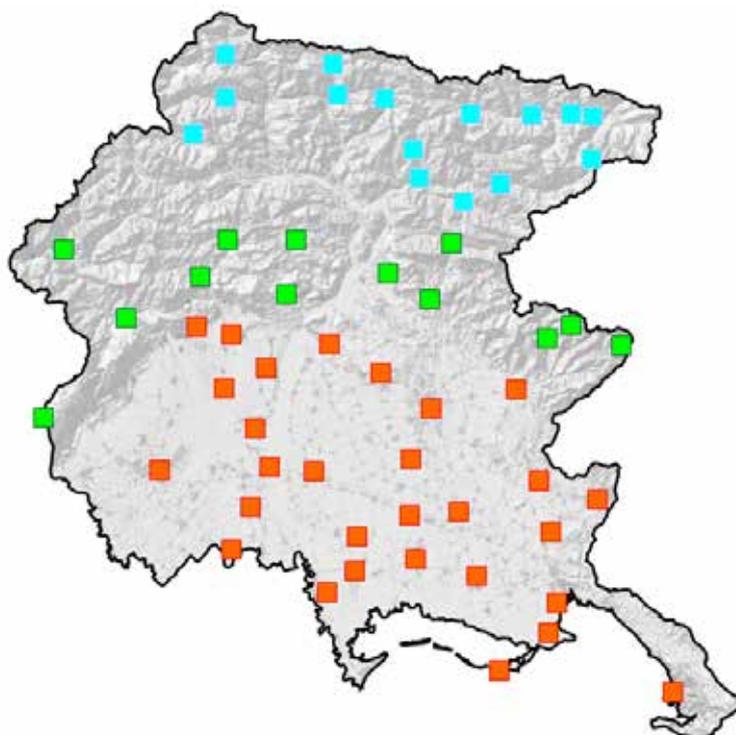
Queste analisi sono in accordo con quelle condotte a livello italiano (progetto ARCIS Archivio Climatologico per l'Italia Centro-Settentrionale; www.arcis.it).

PIOGGE CUMULATE ANNUALI A UDINE



Andamento secolare delle precipitazioni cumulate annuali a Udine. Dati: serieHistAlp 1901-1991, RAFVG 1992-2024. Le linee punteggiate rappresentano il 10° percentile (linea rossa) e il 90° percentile (linea blu).

STAZIONI METEOROLOGICHE UTILIZZATE PER L'ANALISI DELLE PIOGGE

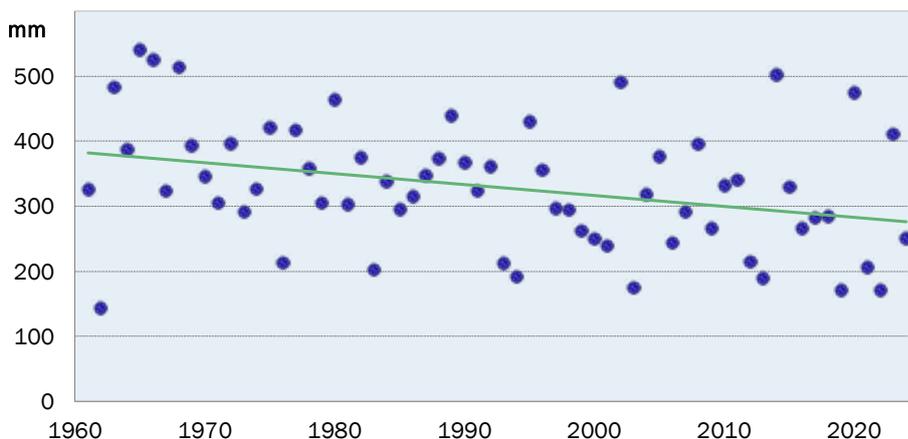


Mapa del Friuli Venezia Giulia con le stazioni della rete meteorologica regionale utilizzate per l'analisi, segnalate coi quadratini e rappresentative delle varie aree analizzate: in rosso le 29 stazioni di costa e pianura, in verde le 13 stazioni delle Prealpi, in azzurro le 15 stazioni delle Alpi.

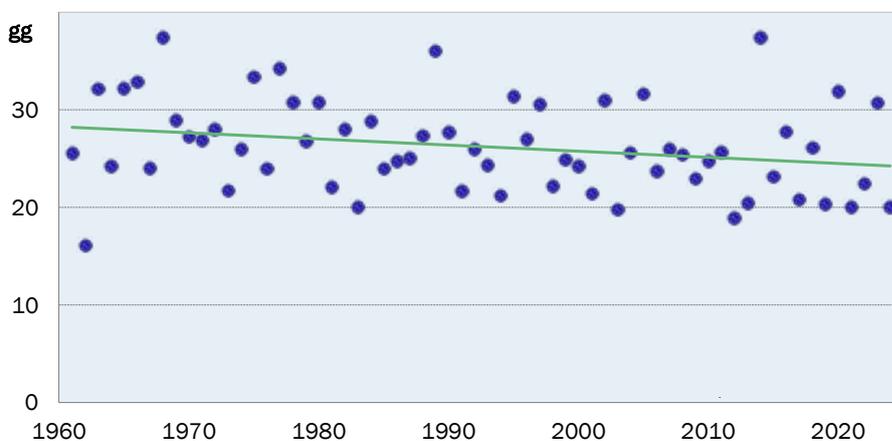
PLUVIOMETRIE ESTIVE E NUMERO DI GIORNI DI PIOGGIA ESTIVI

PIANURA E COSTA

Media delle **pluviometrie estive** in 29 stazioni di pianura e costa (punti blu). La linea verde indica il trend che interpola i dati (pendenza 17 mm a decennio).

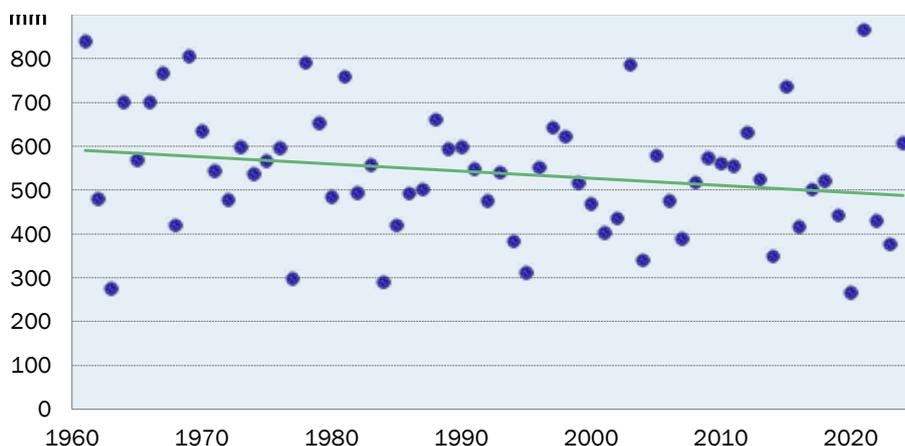


Media del **numero di giorni di pioggia estivi** in 29 stazioni di pianura e costa (punti blu). La linea verde indica il trend che interpola i dati (pendenza 0.6 giorni a decennio).



PREALPI

Media delle **pluviometrie estive** in 13 stazioni delle Prealpi. La linea verde indica il trend che interpola i dati (pendenza 16 mm a decennio).



Media del **numero di giorni di pioggia estivi** in 13 stazioni delle Prealpi (punti blu). La linea verde indica il trend che interpola i dati (pendenza 0.5 giorni a decennio).

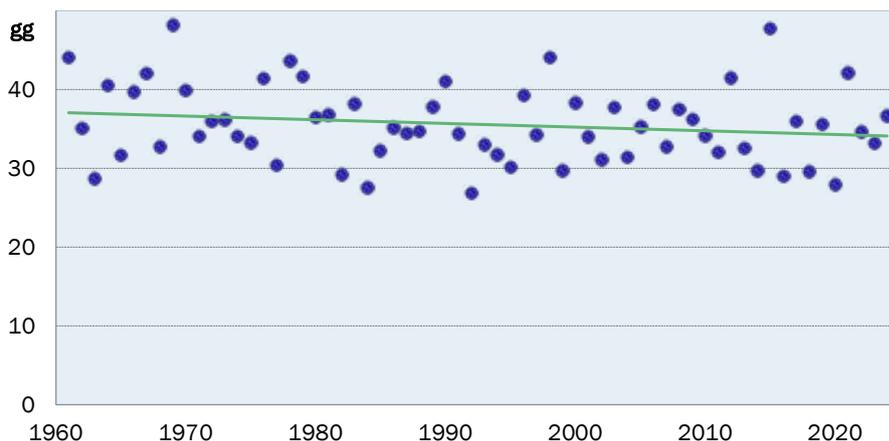




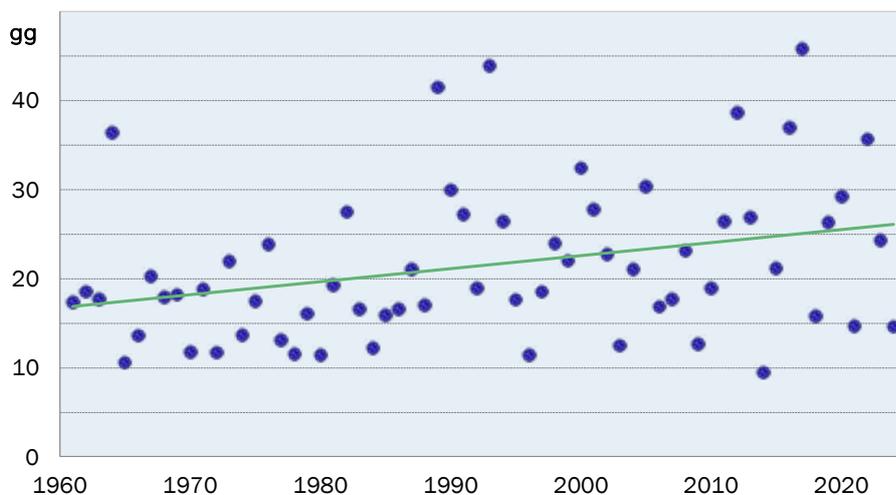
Foto: Federica Flapp

Siccità inverno-primavera 2022.

LUNGHEZZA MASSIMA DEI PERIODI SENZA PIOGGIA

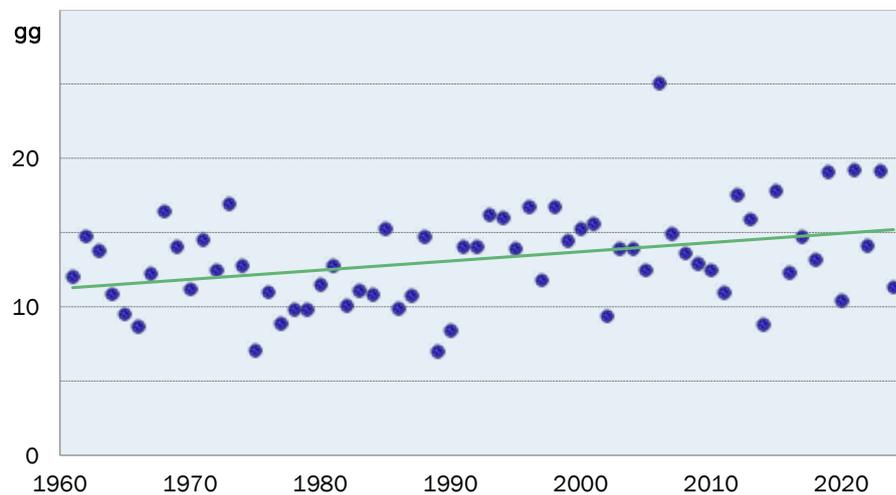
INVERNO PIANURA E COSTA

Media del **numero massimo di giorni consecutivi senza pioggia in inverno** su 29 stazioni di pianura e costa (punti blu). La linea verde indica il trend che interpola i dati (pendenza 0.15 gg/anno).



ESTATE PIANURA E COSTA

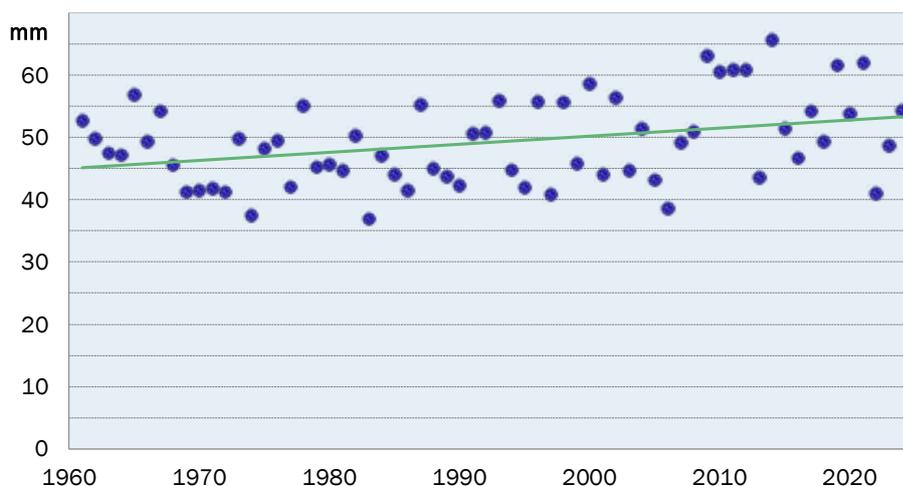
Media del **numero massimo di giorni consecutivi senza pioggia in estate** su 29 stazioni di pianura e costa (punti blu). La linea verde indica il trend che interpola i dati (pendenza 0.06 gg/anno).



INTENSITÀ DELLE PIOGGE INVERNALI

**INVERNO
FVG**

Media del 95° percentile delle intensità delle piogge invernali di 57 stazioni regionali (punti blu). La linea verde indica il trend che interpola i dati (pendenza 1.2 mm a decennio).



LUNGHEZZA DEI PERIODI SECCHI

Non stupisce quindi che, se da un lato diminuiscono i giorni di pioggia, dall'altro aumenti il numero di giorni consecutivi senza pioggia. Parlando di periodi secchi è bene ricordare che, contrariamente a quanto comunemente si potrebbe pensare, non è l'estate ma bensì **l'inverno la stagione in cui si verificano i periodi senza pioggia più lunghi**: su tutta la regione nella stagione più fredda il periodo di secco massimo si attesta mediamente tra i 20 e i 28 giorni (dati climatici 1991-2020). Nel corso dell'estate il numero di giorni senza pioggia aumenta scendendo dalle montagne verso il mare: dagli 8-10 giorni senza pioggia in montagna si passa ai 12-16 giorni in pianura, fino ad arrivare a sfiorare i 20 giorni sulla costa. L'andamento in primavera e in autunno è piuttosto simile in tutta la regione, con una media di giorni consecutivi senza pioggia che varia tra i 14 e i 18.

Come anticipato l'analisi dei trend dal 1961 al 2024 mostra come il **numero massimo di giorni consecutivi senza pioggia tenda ad aumentare** (in modo statisticamente significativo) **soprattutto su pianura-costa nei mesi invernali, primaverili ed estivi** con dei tassi di incremento medio rispettivamente di 1.5, 1.2 e 0.6 giorni a decennio.

ESTREMI DI PIOGGIA, INDICI DI INSTABILITÀ E GRANDINE

Uno dei temi più delicati in relazione ai cambiamenti climatici è quello dell'aumento dei **fenomeni estremi** e in particolare dell'**intensità delle piogge**. Naturalmente per quantificare l'intensità delle piogge in Friuli Venezia Giulia bisogna riferirsi alla climatologia regionale: sulla base dei dati dal 1961 al 2024 emerge che, mediamente ogni 20 anni, ci si possa aspettare il verificarsi di eventi di precipitazione che possano portare a livelli di piovosità massima giornaliera fino a 100-200 mm su costa e pianura e intorno ai 300-400 mm sulla zona prealpina, dove localmente si possono registrare precipitazioni giornaliere di oltre 500 mm.

Per meglio capire se l'intensità delle piogge stagionali sta mediamente aumentando o diminuendo, nello studio dei trend si è analizzato il 95° percentile delle intensità di ogni stagione e di ogni zona. Emerge come l'**intensità delle piogge giornaliere dal 1961 a oggi stia incrementando** (in modo statisticamente significativo) **solamente durante la stagione invernale** su tutte le zone della regione.

Nelle altre stagioni, e in particolare in estate, non si riscontra un incremento nel tempo del valore delle piogge massime. Tale analisi è confermata da lavori nazionali e internazionali.

In uno studio approfondito eseguito a livello locale sono stati confrontati **indici di instabilità atmosferica da aprile a settembre**, desunti dall'analisi dei radiosondaggi di Udine dal 1992-2022. Questi indici sono stati confrontati con vari dati osservativi: le pluviometrie regionali (cumulate in 6, 12 e 24 ore su 104 stazioni dal 2002 al 2022), i fulmini e i dati sulla grandine ottenuti dalla rete regionale di gregimetri (ossia i pannelli utilizzati per rilevare numero e intensità delle grandinate). La maggior parte degli **indici desunti dai radiosondaggi** esaminati, in particolare quelli legati al contenuto di vapore acqueo in atmosfera e all'instabilità potenziale, sono caratterizzati da un **marcato trend al rialzo** che dovrebbe potenzialmente favorire la formazione e l'intensificarsi dei temporali. **Tuttavia** l'esame dell'**intensità delle piogge**, del **numero dei fulmini** e del **numero di grandinate non evidenziano tendenze statisticamente significative**. Interessante eccezione è il trend statisticamente significativo all'aumento della mediana dei diametri dei chicchi di grandine.

CONCLUSIONI

Dall'analisi dei dati il Friuli Venezia Giulia sembra presentare quindi dei **risultati apparentemente inattesi**. L'analisi dei radiosondaggi comparata con le osservazioni mostra come l'ambiente atmosferico del Friuli Venezia Giulia risulti in estate progressivamente più umido e caldo, ma a questo non sembrano corrispondere temporali "più forti" (intendendo con questo termine piogge più intense o aumento del numero di fulmini).

Passare dai risultati a una loro spiegazione non è tuttavia così facile né diretto. Si potrebbe ipotizzare che quanto trovato sia legato a un discorso di dinamica atmosferica. In altri termini, **le condizioni ambientali per temporali più forti sembrerebbero esserci, tuttavia potrebbero diminuire le situazioni che effettivamente potrebbero innescare i temporali**. Una possibile ipotesi potrebbe essere la maggiore presenza, durante l'estate, dell'anticiclone subtropicale sul Nord-Italia che porta, in genere, a stabilità atmosferica e disincentiva la convezione temporalesca. Questo potrebbe spiegare anche l'aumento del numero dei giorni secchi e conseguentemente la complessiva diminuzione delle piogge estive.

D'inverno invece la situazione cambia essendo una stagione dinamicamente più attiva a livello sinottico. Il succedersi di fronti sulla regione in un ambiente notevole più umido e caldo rispetto al passato, potrebbe favorire l'aumento complessivo dell'intensità piogge.

Andrea Cicogna, Valentina Gallina, Francesco Sioni
ARPA FVG



MODIFICHE DELLE CIRCOLAZIONI DI LARGA SCALA LEGATE AL RISCALDAMENTO GLOBALE

Foto: NASA su Unsplash

Il riscaldamento globale indotto dalle emissioni di gas serra da attività umane produce delle modifiche sulle circolazioni di larga scala che a loro volta influenzano il clima di varie regioni del mondo.

CELLA DI HADLEY, CORRENTI A GETTO E TRAIETTORIE DELLE PERTURBAZIONI

Una delle modifiche più evidenti è l'espansione della cella di Hadley*, che provoca uno spostamento verso i poli della corrente a getto* con conseguente **spostamento verso i poli delle traiettorie delle perturbazioni di medie latitudini**. Questo fenomeno è legato al fatto che il riscaldamento della superficie degli oceani causa un aumento di convezione* nelle zone equatoriali e tropicali e il calore latente rilasciato in troposfera* dalla formazione della pioggia convettiva sposta verso i poli il massimo di gradiente orizzontale di temperature troposferica, che è il motore principale della corrente a getto.

La deviazione verso i poli della traiettoria delle

perturbazioni causa un aumento di precipitazione ad alte latitudini (e.g. centro e nord Europa) e una diminuzione di precipitazione a più basse latitudini (e.g. l'area del Mediterraneo). Questo fenomeno è stato riscontrato sia nei dati osservati delle ultime decadi che nelle proiezioni di clima futuro effettuate con modelli climatici globali.

ONDE ATMOSFERICHE DI LARGA SCALA SULLE ZONE POLARI ARTICHE

Un'altra potenziale modifica della circolazione generale legata al riscaldamento globale è un aumento dell'ampiezza delle onde atmosferiche di larga scala (onde di Rossby*) sulle zone polari artiche. Questo amplificherebbe le intrusioni di aria fredda dal polo alle medie latitudini (e.g. sopra l'Europa) causando in queste aree delle ondate di temperature relativamente basse. Alcuni studi hanno mostrato che questo fenomeno può essere legato alla riduzione della copertura di ghiaccio marino Artico, ma i dati sono ancora insufficienti per identificare trend significativi nel record storico.

ENSO E NAO

Il riscaldamento globale potrebbe anche modificare la struttura di alcuni fenomeni di variabilità naturale, come la *El Nino Southern Oscillation* (ENSO*) o la *North Atlantic Oscillation* (NAO*), il che modificherebbe i regimi delle piogge influenzati da questi fenomeni. A tutt'oggi però, le conclusioni su eventuali modifiche di questi modi di variabilità indotte dal riscaldamento globale sono ancora molto incerte.

MONSONI

Infine, il riscaldamento globale influenza alcune circolazioni regionali, come per esempio i monsoni, che sono alimentati dal gradiente di temperatura fra continenti e oceani, ma dipendono da molteplici fattori aggiuntivi, come ENSO o la migrazione stagionale della *Intertropical Convergence Zone* (ITCZ*). Per questo, la risposta delle circolazioni monsoniche al riscaldamento

globale varia da regione a regione. In generale, però, l'intensità delle piogge monsoniche tende ad aumentare con il riscaldamento globale a causa della maggiore evaporazione dagli oceani e del maggior contenuto di vapor d'acqua in un'atmosfera più calda. Questo aumenta il rischio di alluvioni monsoniche.

CICLONI TROPICALI

Da notare che il riscaldamento globale può anche influenzare la generazione di cicloni tropicali*. In particolare, l'aumento delle temperature superficiali oceaniche può estendere l'area di formazione dei cicloni tropicali verso le alte latitudini, cioè in zone dove oggi questi cicloni non si formano.

Filippo Giorgi

Emeritus Scientist

ICTP - Centro Internazionale di Fisica Teorica

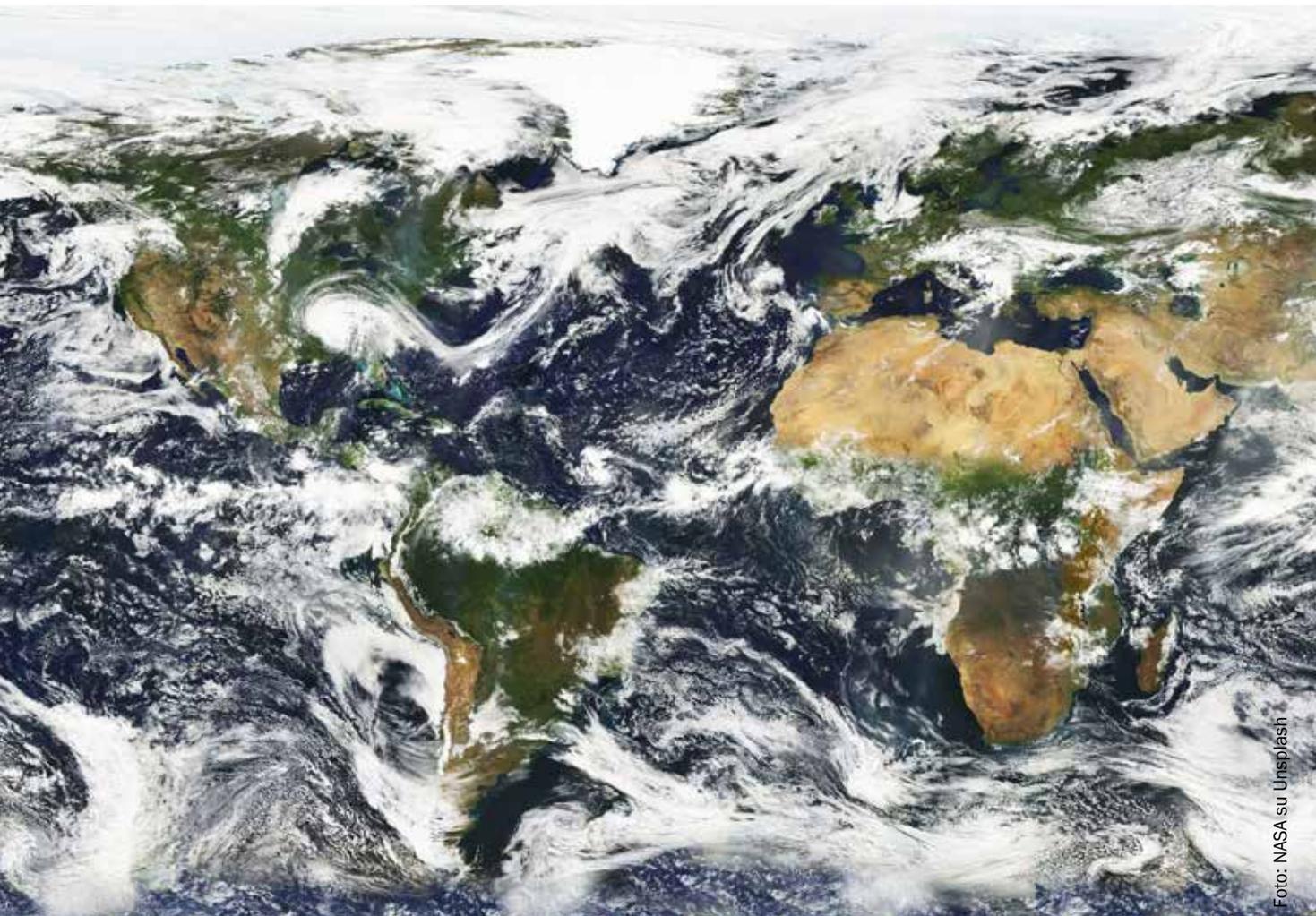


Foto: NASA su Unsplash

PAROLE CHIAVE

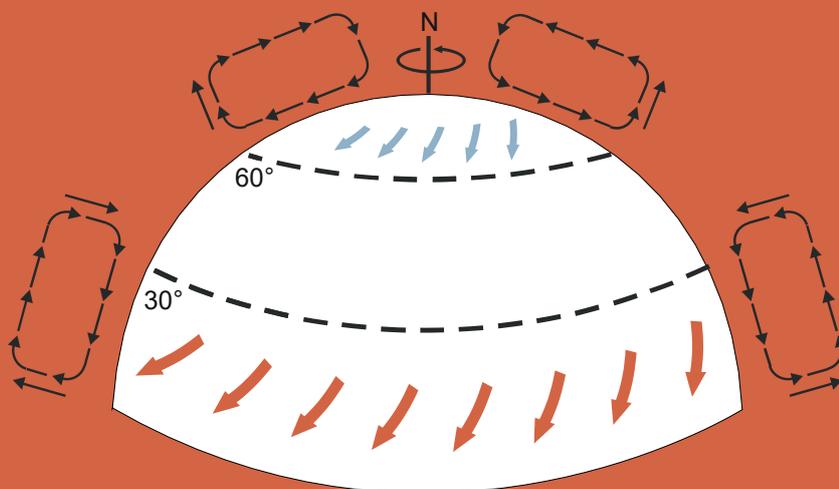


A cura di ARPA FVG – OSMER

CELLA DI HADLEY E ITCZ

È la circolazione atmosferica principale che riguarda la fascia tra l'equatore e i tropici. Implica una convergenza al suolo degli alisei nella zona equatoriale (ITCZ), la massa d'aria umida e calda tende a salire verso l'alto, raffreddandosi e condensando.

L'aria, che in seguito alla condensazione è più secca, si muove in quota verso i tropici, per poi ridiscendere al suolo, e infine chiudere la cella all'equatore.



Cella equatoriale (cella di Hadley) e cella polare*.

CICLONI TROPICALI

Sono tempeste in rotazione che si originano sulle acque dei mari tropicali e subtropicali. Sono caratterizzati da un centro di bassa pressione e alte temperature al loro interno e portano generalmente forti venti e piogge molto intense. Vengono anche chiamati uragani o tifoni a seconda delle zone del globo in cui si verificano.

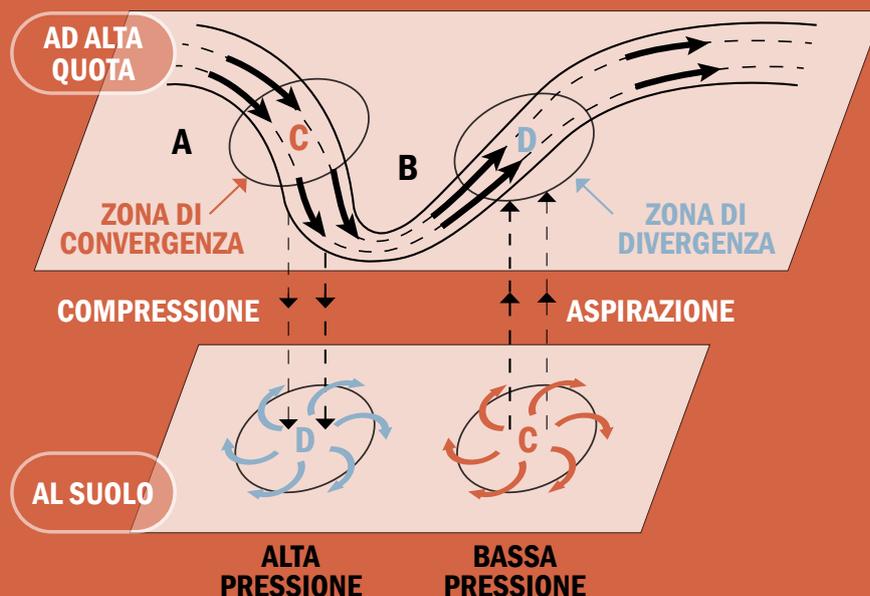
CONVEZIONE

È una forma di trasmissione del calore. Nel caso dell'atmosfera la convezione è solitamente legata a un riscaldamento dell'aria nei bassi strati che determina una diminuzione della densità e quindi il naturale sollevamento dell'aria dal basso verso l'alto.

CORRENTE A GETTO E ONDE DI ROSSBY

La corrente a getto è un forte vento che scorre alle medie latitudini da ovest verso est tra 9 e 11 km circa di altitudine.

Le ondulazioni della corrente a getto (onde di Rossby) sono le principali responsabili della variabilità del tempo meteorologico alle medie latitudini determinando la formazione dei cicloni e degli anticicloni.



Corrente a getto in quota e formazione di cicloni e anticicloni al suolo*.

*Fonte: quaderno divulgativo "Appunti di meteorologia per il Friuli Venezia Giulia", ARPA FVG - OSMER, 2010, https://www.meteo.fvg.it/pubblicazioni/appunti_meteo_fvg.pdf

ENSO E NAO

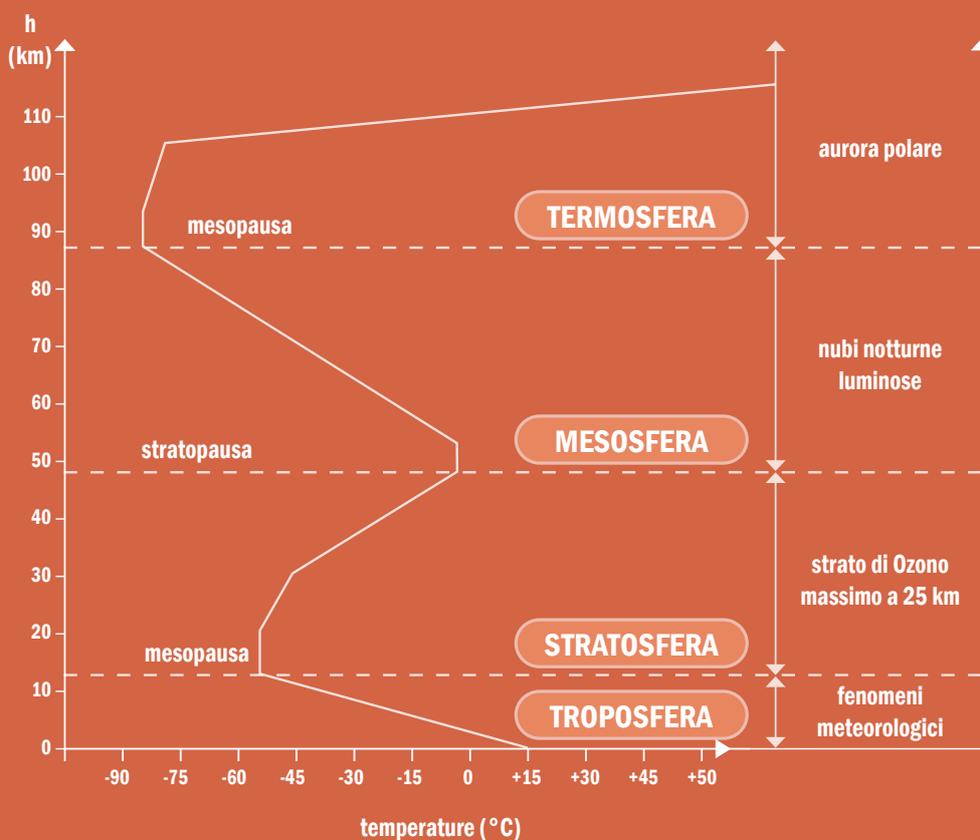
L'ENSO (*El Nino Southern Oscillation*), è una variabilità climatica periodica che influenza la distribuzione di temperature e precipitazione principalmente nell'Oceano Pacifico, con effetti anche su altre regioni del mondo.

La NAO (*North Atlantic Oscillation*) è un'oscillazione della circolazione atmosferica basata sulla differenza di pressione tra l'Islanda e le Azzorre. Questa variazione influenza fortemente il clima in Europa.

TROPOSFERA

È lo strato dell'atmosfera compreso tra il suolo e circa 10 km di altitudine, contenente il 75% della massa d'aria, dove si verificano quasi tutti i fenomeni meteorologici.

La struttura verticale dell'atmosfera: sono indicati i quattro strati principali dell'atmosfera e il profilo della temperatura media*.



*Fonte: quaderno divulgativo "Appunti di meteorologia per il Friuli Venezia Giulia", ARPA FVG - OSMER, 2010, https://www.meteo.fvg.it/pubblicazioni/appunti_meteo_fvg.pdf



PROGETTO *HEATISLANDS ADAPT*: AFFRONTARE LE ISOLE DI CALORE URBANE ATTRAVERSO LA COOPERAZIONE TRANSFRONTALIERA

Foto: Lookstudio by Freepik

L'effetto isola di calore urbana, causato da infrastrutture e attività umane, aggrava le ondate di calore e i rischi per la salute nelle città.

Il progetto Interreg Italia-Slovenija *HeatIslands Adapt*, avviato nel 2025, mira a ridurre questi impatti: analisi locali, effettuate con tecnologie avanzate, consentiranno di progettare misure di adattamento mirate, armonizzando i sistemi di allertamento e comunicazione attraverso la cooperazione transfrontaliera.

ARPA FVG ne coordina l'attività "Sfide climatiche e scenari futuri".

Le aree urbane sono caratterizzate da temperature più elevate rispetto alle aree rurali circostanti. Questo fenomeno è definito "isola di calore urbana" (*urban heat island*) ed è causato dalla presenza di infrastrutture, dai materiali artificiali di rivestimento delle superfici e dalle attività umane.

Mentre le aree urbane presentano una maggiore percentuale di terreno asfaltato, le aree rurali sono ricoperte da erba, colture, arbusti o boschi: questa vegetazione contribuisce a raffreddare l'aria, mentre l'asfalto e il cemento assorbono e poi rilasciano il calore, causando un aumento della temperatura. Inoltre, edifici e strade strette intrappolano il calore riducendo il flusso d'aria. Anche attività umane come il riscaldamento e il condizionamento degli edifici e il traffico veicolare contribuiscono ad aumentare il calore nell'ambiente urbano.

UN FENOMENO RILEVANTE PER LA SALUTE UMANA

Tutti questi fattori contribuiscono all'effetto isola di calore urbano, che è **più pronunciato durante la notte**, quando le temperature nelle aree urbane possono essere di diversi gradi superiori a quelle delle aree rurali: ciò è dovuto al calore trattenuto in strutture come edifici e strade che viene rilasciato durante la notte. Questa **inerzia termica della città** fa sì che la temperatura diminuisca più lentamente, mentre nelle aree rurali il calore si disperde molto più rapidamente:

la massima differenza di temperatura tra la città e le campagne circostanti si rileva solitamente nella prima parte della notte.

Questo fenomeno contribuisce quindi ad **accentuare le ondate di calore estive** e ad aggravare i **rischi di impatti sulla salute umana** per la popolazione delle aree urbane. È quindi fondamentale analizzarlo nei contesti locali per poter pianificare e realizzare **misure di adattamento mirate** che riducano lo stress da calore nelle nostre città.

I MECCANISMI CHE CAUSANO L'EFFETTO "ISOLA DI CALORE URBANO"

Grazie a decenni di intense ricerche realizzate in tutto il mondo, ora si comprendono nei dettagli i meccanismi che spingono le aree urbane a comportarsi come una cupola invisibile, che intrappola il calore e aumenta notevolmente la temperatura ambiente.

Un fattore importante è il denso raggruppamento di **edifici alti** che possono bloccare e deviare i flussi d'aria naturali, riducendo la ventilazione nei centri delle città. Strade strette e canyon urbani possono intrappolare l'aria calda, facendola ristagnare e intensificando la sensazione di calore a livello stradale.

Un altro fattore chiave è la prevalenza di **materiali che assorbono il calore** come asfalto, cemento e mattoni. Queste superfici assorbono l'energia solare durante il giorno, trattenendo il calore fino a notte fonda. Di conseguenza, le aree urbane possono rimanere calde anche dopo il tramonto, prolungando il disagio e aumentando la domanda di raffrescamento (che a sua volta aumenta il consumo di energia).

Le città riducono anche la capacità naturale del terreno di raffreddarsi attraverso l'evaporazione.

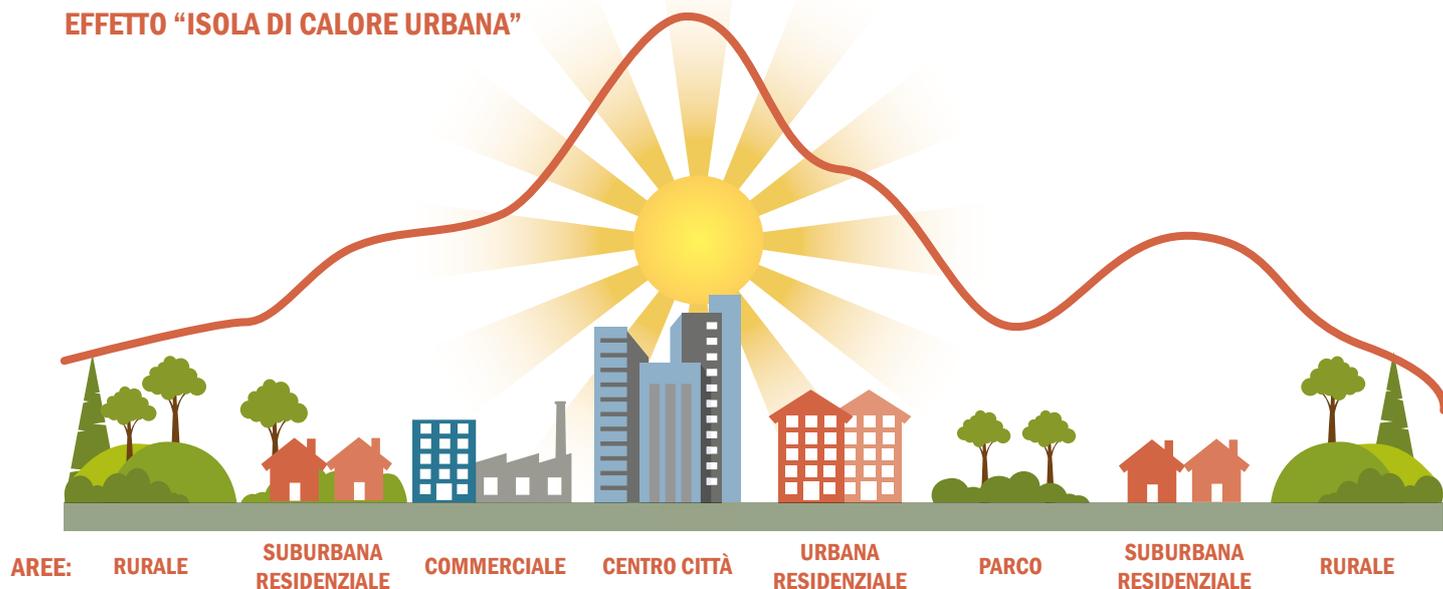
Superfici pavimentate e terreni impermeabili impediscono all'acqua piovana di essere assorbita dal suolo, privando l'ambiente dell'umidità che normalmente evaporerebbe e porterebbe via il calore. La **mancanza di** questo processo, chiamato **raffrescamento evaporativo**, rende le aree urbane più calde e secche rispetto ai paesaggi circostanti.

Il colore gioca un ruolo sorprendentemente importante. Le **superfici scure** come l'asfalto e i tetti assorbono molta più luce solare rispetto alle superfici più chiare e riflettenti che si trovano negli ambienti naturali. Questo calore immagazzinato si irradia nell'aria circostante, amplificando le differenze di temperatura tra aree/zone urbane e rurali.

Ma è soprattutto l'**assenza di vegetazione** che elimina un meccanismo di raffreddamento fondamentale. Le piante non solo forniscono ombra, ma rilasciano anche umidità attraverso la traspirazione, raffreddando l'aria circostante. Nelle città dove gli spazi verdi sono limitati, questa mancanza di aria condizionata naturale aggrava l'effetto isola di calore.

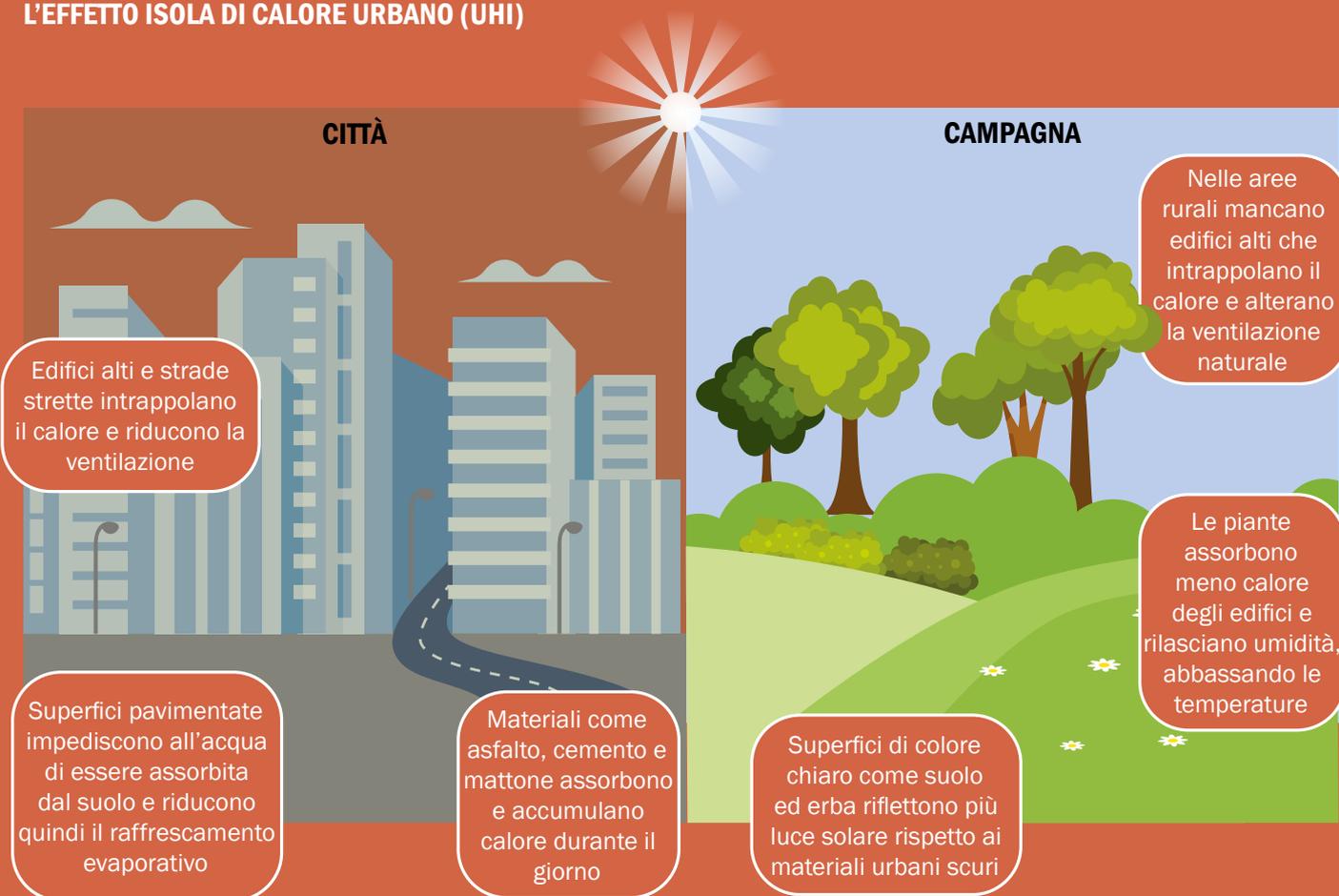
Il risultato di tutto ciò è che, durante le ondate di calore o altri eventi estremi, le città possono raggiungere temperature molto più elevate rispetto alle aree rurali circostanti.

EFFETTO "ISOLA DI CALORE URBANA"



Schema generale dell'effetto "isola di calore urbana"
 (rielaborato e tradotto da <https://community.wmo.int/en/activity-areas/urban/urban-heat-island>).

PRINCIPALI FATTORI CHE DETERMINANO L'EFFETTO ISOLA DI CALORE URBANO (UHI)



Le aree urbane intrappolano il calore grazie a edifici alti, superfici impermeabili e materiali che trattengono il calore, mentre le aree rurali rimangono più fresche grazie alla vegetazione, al rilascio di umidità e alle superfici riflettenti di colore chiaro.

Testi e immagini tradotti e rielaborati da: <https://land.copernicus.eu/en/feature-articles/urban-heat-islands-measured-mapped-and-managed>



IL PROGETTO HEATISLANDS ADAPT

Per affrontare la sfida rappresentata dalle isole di calore urbane e dallo stress termico che saranno in futuro via via più intensi a causa della crisi climatica, ad aprile 2025 è stato approvato il [progetto Interreg ITALIA-SLOVENIJA “HeatIslands Adapt”](#) che durerà due anni e vede coinvolta ARPA FVG tra i diversi partner transfrontalieri, tre per parte italiana e tre per parte slovena.

La **necessità di una cooperazione transfrontaliera** deriva dalla complessità del cambiamento climatico, che supera i confini nazionali e richiede **l’armonizzazione delle misure di adattamento** tra le zone di confine del Friuli Venezia Giulia e della Slovenia. Il progetto intende incentivare questa armonizzazione sviluppando procedure che consentano un’informazione uniforme, condivisa e tempestiva alla popolazione.

L’obiettivo generale del progetto è quello di ridurre gli effetti delle isole di calore urbane e fornire misure di adattamento per le aree urbane al fine di **rafforzare la resilienza delle città e migliorare la qualità della vita della popolazione**.

OBIETTIVI SPECIFICI E CONCRETI

In particolare il progetto mira a realizzare **un sistema transfrontaliero per l’allerta** sui picchi di calore, **identificare le aree vulnerabili** tramite l’analisi delle condizioni caratteristiche delle isole di calore urbane, integrare i risultati in **sistemi georeferenziati che siano utili ai piani urbanistici** per l’implementazione di misure di adattamento (ad es. tetti freddi, spazi verdi e ristrutturazioni energetiche degli edifici). Il progetto prevede anche lo sviluppo di una **biblioteca digitale per collezionare le migliori pratiche** messe in atto in alcune aree pilota al fine di promuovere l’adozione di soluzioni efficaci anche in altri contesti urbani.

TECNOLOGIE AVANZATE E COLLABORAZIONE

Il progetto si basa sull’uso di tecnologie avanzate, come **droni per osservazioni ad alta risoluzione** nelle aree urbane, l’integrazione dei dati Copernicus e la valutazione dei cambiamenti futuri dello stress termico mediante proiezioni climatiche.

Questi strumenti e la collaborazione tra i partner del progetto forniranno, tra le altre cose, le basi per un **maggiore coordinamento transfrontaliero** per la previsione delle ondate di calore basato sulla condivisione di dati meteorologici e climatici, migliorando quindi la **gestione emergenziale** delle ondate di calore e la **comunicazione con i cittadini** dei due Paesi.

IL MODULO DI LAVORO COORDINATO DA ARPA FVG

ARPA FVG ha il ruolo di coordinare il primo modulo di lavoro del progetto (Work Package 1), dal titolo **“Sfide climatiche e scenari futuri”**, che ha l’obiettivo di stabilire una procedura transfrontaliera completa per l’emissione di avvisi sulle ondate di calore. Le attività previste in questa prima parte del progetto, condivise con l’Agenzia per l’Ambiente slovena (ARSO), riguardano:

- l’individuazione di **indicatori di surriscaldamento** per valutare i rischi connessi, attuali e futuri, nelle aree urbane, a partire dai dati storici e attuali di temperatura,
- l’analisi delle **condizioni climatiche attuali** e dell’**impatto dell’urbanizzazione** nelle città di Gorizia e Nova Gorica e nelle aree rurali circostanti, anche attraverso il monitoraggio con droni,
- la definizione di un quadro dei **rischi futuri** utilizzando le proiezioni climatiche su diversi scenari emissivi e diversi orizzonti temporali futuri,
- lo sviluppo di una **nuova procedura** per la previsione e l’**emissione** degli **avvisi sullo stress termico** nelle aree urbane.

Alle attività svolte da ARPA FVG per il progetto è dedicata la pagina web <https://www.arpa.fvg.it/temi/progetti/progetti-europei/heatisland-adapt/>

Federica Flapp, Valentina Gallina, Arturo Pucillo
ARPA FVG

I GHIACCIAI E IL PERMAFROST



I GHIACCIAI E IL PERMAFROST

L'aggiornamento annuale sui nostri ghiacciai e un nuovo approfondimento su un tema cruciale

Questa sezione della rivista ci porta in alta quota per esplorare due elementi chiave del paesaggio alpino, che risentono direttamente dell'innalzamento delle temperature.

Il primo articolo analizza la salute dei ghiacciai delle Alpi Giulie, monitorata tramite i rilievi effettuati dai glaciologi. Attraverso il bilancio di massa per il 2023-24, scopriamo come ghiacciai storici come quello del Canin e del Montasio stiano reagendo. Sebbene la fusione estiva sia stata elevata, un inverno nevoso ha permesso un bilancio leggermente positivo.

Il viaggio in alta quota prosegue con il secondo articolo affrontando un argomento meno visibile ma altrettanto cruciale: il permafrost, un terreno perennemente ghiacciato che si trova in alcune aree delle nostre Alpi. Il suo degrado a causa del riscaldamento globale può portare a frane, instabilità del suolo e pericoli per le infrastrutture: l'articolo ci fa riflettere sull'importanza di monitorare questi fenomeni per garantire la sicurezza delle aree montane.

I GHIACCIAI DELLE ALPI GIULIE TRA FUSIONE E RESILIENZA: BILANCIO DI MASSA 2023-24

I ghiacciai delle Alpi Giulie, tra cui quello del Canin e l'Occidentale del Montasio, hanno subito forti perdite di massa nell'ultimo secolo.

L'anno idrologico 2023-24 ha registrato una fusione estiva elevata, ma grazie al precedente inverno nevoso il bilancio di massa è risultato leggermente positivo in entrambi.

Il Montasio ha mostrato un accumulo importante nella parte sommitale.

Questi rilievi sono cruciali per monitorare l'impatto del cambiamento climatico sulle Alpi.

Il ghiacciaio occidentale di Montasio (UD) il 1 ottobre 2024.

In Friuli sono presenti numerosi piccoli corpi glaciali, in particolare nelle Alpi Giulie dove il clima, relativamente fresco e nevoso, è favorevole alla loro sopravvivenza. I ghiacciai storicamente più studiati sono quelli del Canin e l'Occidentale del Montasio. Si tratta dei **corpi glaciali a più bassa quota del sistema alpino**, sui quali le misure sono iniziate oltre un secolo fa a opera rispettivamente di Giacomo Savorgnan di Brazzà (1883) e di Ardito Desio (1920). **Nell'ultimo secolo la perdita di massa è stata particolarmente significativa** e pari al 96% per l'area glacializzata del massiccio del Canin e il 75% per l'area dello Jof di Montasio. In quest'ultima, nel corpo glaciale occidentale, sono presenti ancora evidenti morfologie di flusso deformativo come ad esempio alcuni crepacci nella parte più alta dell'apparato. Solchi di ruscellamento e piccoli mulini glaciali costituiscono invece le morfologie estive prevalenti durante il periodo di ablazione sugli apparati glaciali del Canin.

L'ANNO IDROLOGICO 2023-24

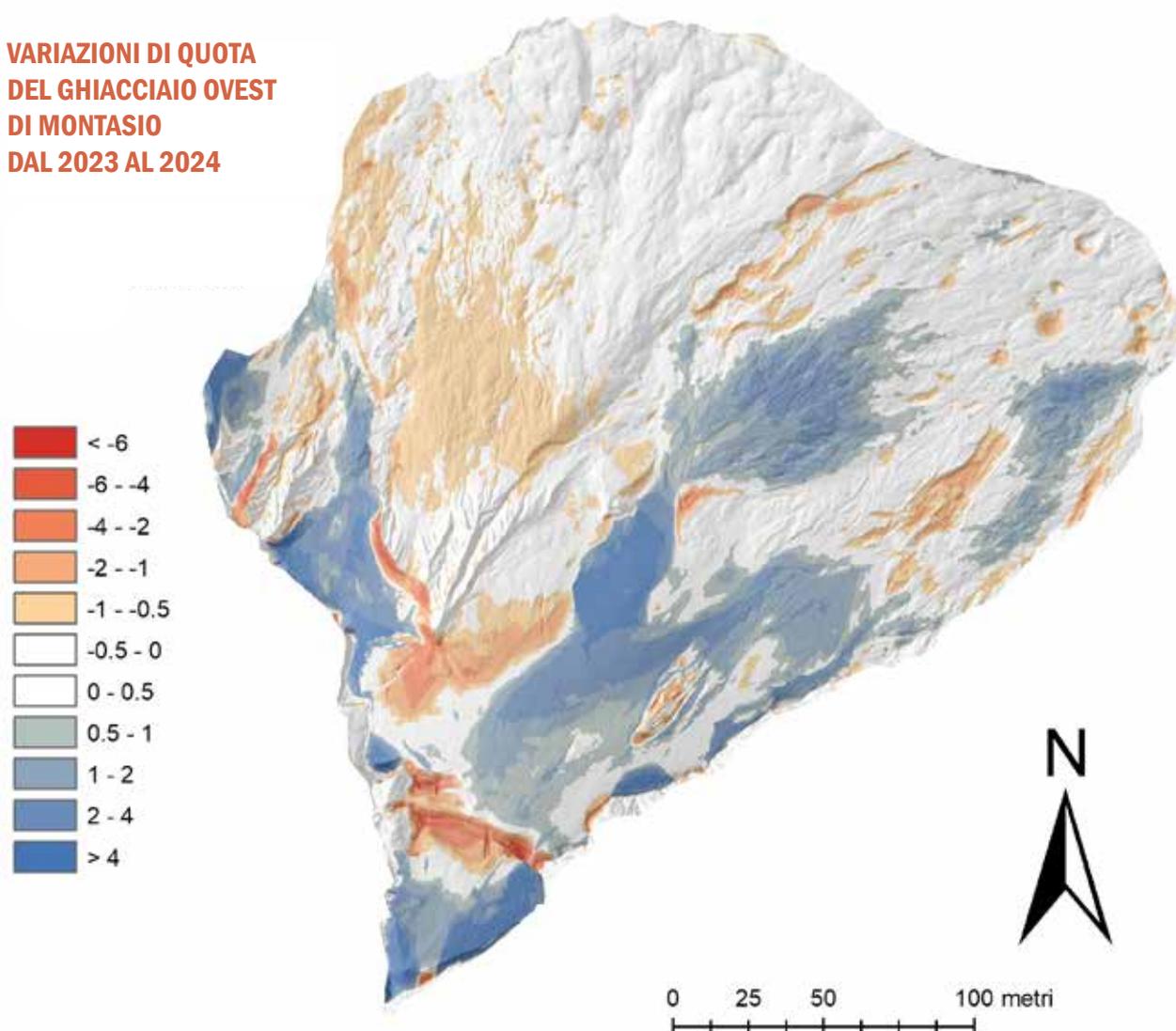
L'anno idrologico 2023-24 è stato **un anno caratterizzato da un inverno più nevoso rispetto alle due annate precedenti**, ma da un'estate tra le più calde mai osservate in Alpi Giulie in almeno 170 anni di osservazioni (dati diretti pregressi non sono a disposizione). Ciò nonostante, anche con una fusione estiva tra le più alte mai osservate, proprio l'ingente accumulo nevoso ha permesso **un bilancio di massa leggermente positivo** e non si sono verificate perdite ulteriori dopo le ultime 2 annate particolarmente negative

MONTASIO OCCIDENTALE

L'accumulo invernale medio sul ghiacciaio del Montasio è stato di 8.22 m (4.20 m di equivalente in acqua). Lo spessore massimo della neve, nella parte sommitale del ghiacciaio, ha superato i 30 m grazie ad accumuli di neve da valanga dalla parete nord dello Jôf di Montasio.

Il primo ottobre 2024, data del rilievo autunnale, il ghiacciaio mostrava ancora un **cospicuo accumulo nella parte sommitale**, con l'evidenza marcata della crepacciata terminale (*bergschrund*) che ne dimostra la dinamica. L'accumulo residuo era tale da compensare la perdita di massa della parte bassa e il bilancio annuale è risultato leggermente positivo con un incremento medio di quota di 0.24 m, **corrispondenti a un bilancio annuale di +0.16 m di acqua equivalente**. Il dato risulta estremamente significativo se confrontato con la generalizzata abbondante perdita di massa di tutti i ghiacciai alpini nello stesso periodo. **La grande cavità che si era formata nel 2023 è risultata quasi completamente chiusa**, tuttavia dalla piccola apertura residua è stato possibile esplorarne il tratto terminale che evidenziava uno spessore del ghiaccio ancora importante.

VARIAZIONI DI QUOTA DEL GHIACCIAIO OVEST DI MONTASIO DAL 2023 AL 2024



Variazioni di quota (m) della superficie del ghiacciaio occidentale di Montasio tra il 3 ottobre 2023 e il 1 ottobre 2024.

CANIN ORIENTALE

Settembre 2023

Maggio 2024

Settembre 2024

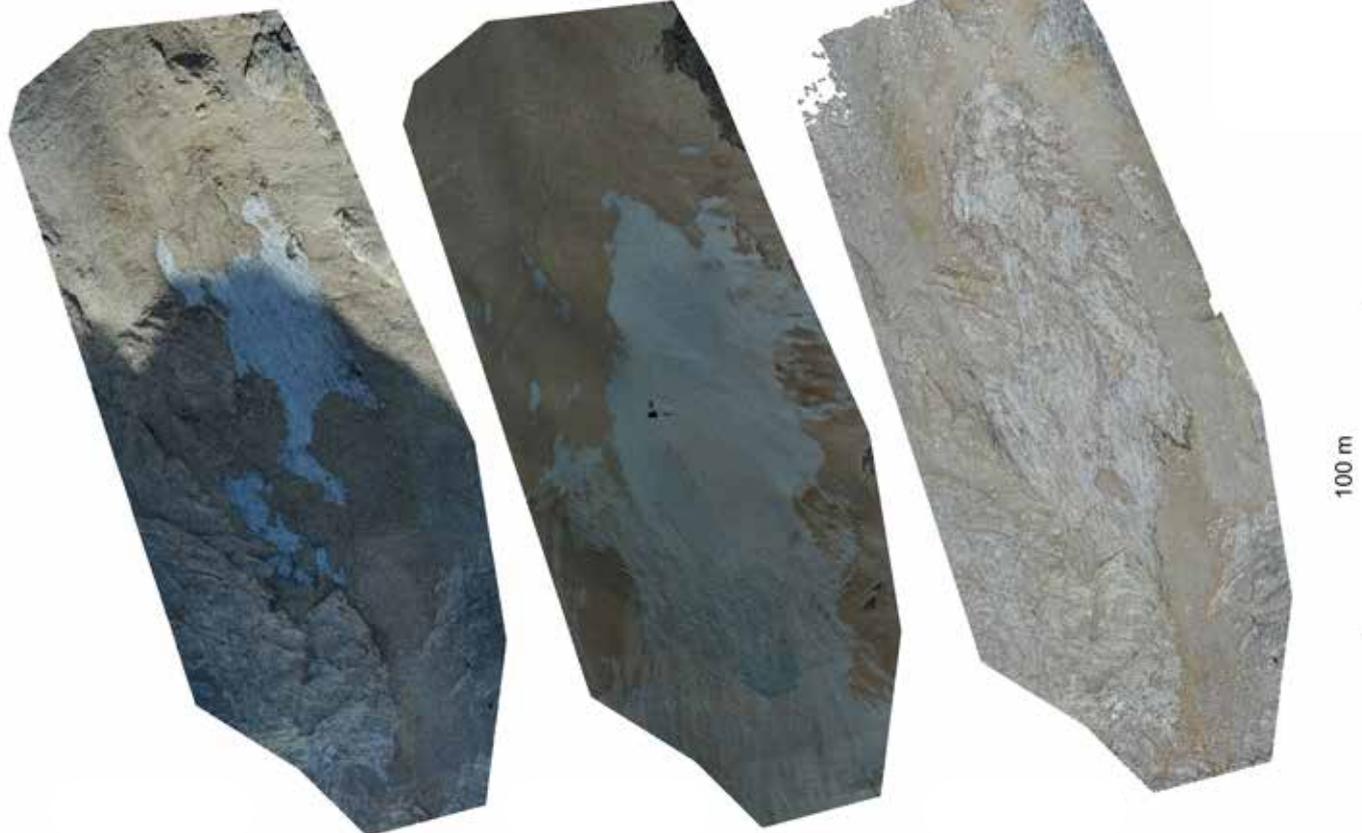


Foto da drone del corpo glaciale orientale del Canin il 3 ottobre 2023, il 29 maggio 2024 e il 1 ottobre 2024. Si noti la massiccia presenza di detrito nell'immagine del 2023 e gli ingenti depositi di polvere Sahariana a maggio 2024 in seguito a episodi ricorrenti di neve "sporca" nella primavera 2024.

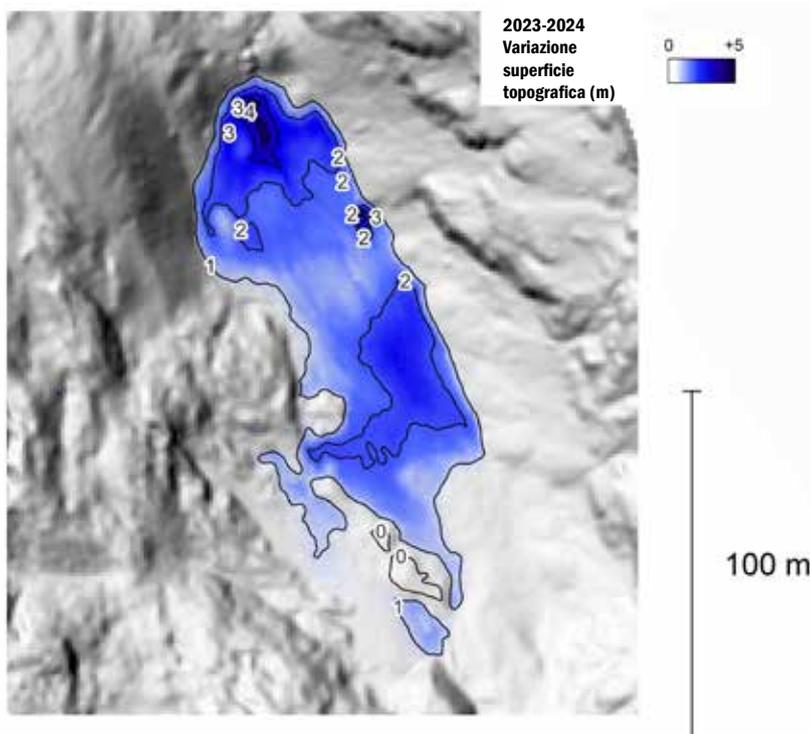
CANIN ORIENTALE

In area Canin i rilievi annuali sono eseguiti dalla Società Meteorologica Alpino-Adriatica. L'accumulo invernale sul corpo glaciale orientale, a circa 300 m di quota più in alto dell'occidentale di Montasio, è stato di 9.65 m (4.92 m di acqua equivalente) e le perdite estive 4.38 metri di acqua equivalente pari a un **bilancio annuale di +0.54 m di acqua equivalente**.

Renato R. Colucci
ISP-CNR e SMAA

Federico Cazorzi, Sara Cucchiario
Università degli Studi di Udine

Andrea Securo
Università Cà Foscari e SMAA



Variazioni di quota (m) della superficie del corpo glaciale orientale del Canin tra il 3 ottobre 2023 e il 1 ottobre 2024.

IL BILANCIO DI MASSA

Il bilancio di massa serve a misurare le variazioni di massa del ghiacciaio. Le variazioni di massa si misurano in “equivalente in acqua” (internazionalmente *w.e.* - *water equivalent*) che corrisponde alla massa d’acqua che si otterrebbe dalla fusione della neve o del ghiaccio. Così, data la diversa densità, una variazione di 1 m in spessore corrisponde a circa 900 mm *w.e.* se si tratta di ghiaccio, mentre, se si tratta di neve, lo stesso metro di spessore corrisponde a una variazione compresa tra 100 mm (se neve fresca) e oltre 500 mm (se neve a fine stagione).

Di norma ogni anno si fanno due rilievi principali della superficie del ghiacciaio, a fine maggio e a fine settembre.

A fine maggio si misura l’accumulo di neve che, per differenza con il precedente rilievo di fine settembre, costituisce il bilancio invernale, sempre positivo.

A fine settembre si rileva la quota della superficie del ghiacciaio e, per differenza con il rilievo effettuato 12 mesi prima, si determina se, e dove, ci sono stati incrementi di quota o perdite di quota. Il valore medio degli incrementi e delle perdite determina il bilancio annuo, positivo se il ghiacciaio è cresciuto, negativo se la fusione è stata dominante.

PERMAFROST E CAMBIAMENTO CLIMATICO: RISCHI E CONSEGUENZE PER LE AREE ALPINE

Foto: Boris Radosavjevic, CC BY 2.0, via Wikimedia Commons

Il permafrost è un terreno perennemente al di sotto degli 0°C che si trova in ambienti freddi e alpini, dove è presente in modo discontinuo alle quote più elevate.

La sua degradazione, accelerato dal riscaldamento globale, porta instabilità del suolo, frane e rischi per le infrastrutture di alta quota.

Inoltre, il suo scongelamento nelle aree polari può liberare CO₂ e metano, intensificando il riscaldamento globale.

Monitorare e gestire il permafrost è cruciale per prevenire impatti ambientali e garantire la sicurezza delle aree montane.

Degradazione del permafrost, Herschel Island – Canada .

Il permafrost è un aspetto importante della criosfera, parte fondamentale e integrante del sistema climatico nei paesaggi periglaciali e in quelli alpini di alta quota. In questo contesto presentiamo il concetto generale e, in particolare, le condizioni climatiche che portano alla formazione e alla conservazione del permafrost nei diversi ambienti terrestri.

Il permafrost, per definizione, è il terreno che rimane al di sotto degli 0°C per almeno due anni consecutivi. Più brevemente, possiamo definirlo come terreno perennemente criotico. Il termine criotico, più appropriato rispetto a congelato (che implica la presenza di ghiaccio), indica semplicemente una temperatura del suolo inferiore a 0°C. In effetti, la presenza di acqua in fase solida non è necessaria per caratterizzare il permafrost, che viene definito esclusivamente in base allo stato termico del terreno. Solo per questo motivo, è importante ricordare che il permafrost si scongela o si degrada con temperature superiori agli 0°C, mentre il ghiaccio fonde.

LA TEMPERATURA NEI DIVERSI STRATI

Salvo in circostanze molto particolari, il permafrost non si estende fino alla superficie del suolo, poiché la radiazione solare e le temperature sopra lo zero determinano lo scongelamento dello strato più superficiale durante l'estate. Fanno eccezione le aree al di sotto di nevai perenni o ghiacciai a base fredda. **Lo strato più superficiale, che gela e scongela su base stagionale, è chiamato strato attivo (active layer).**

Per comprendere come si comporta la temperatura del terreno nelle aree interessate dal permafrost, il diagramma a "Y" illustra **l'andamento della temperatura del suolo dalla superficie verso il basso**. Gli estremi annuali sono naturalmente più accentuati vicino alla superficie, e diventano gradualmente meno marcati con l'aumentare della profondità.

A una certa profondità, la temperatura rimane costante durante tutto l'anno e viene indicata con l'acronimo ZAA = *Zero Annual Amplitude*. Da quel punto in poi, la temperatura comincia a salire costantemente secondo il gradiente geotermico, a un ritmo di circa 25–30 °C al chilometro.

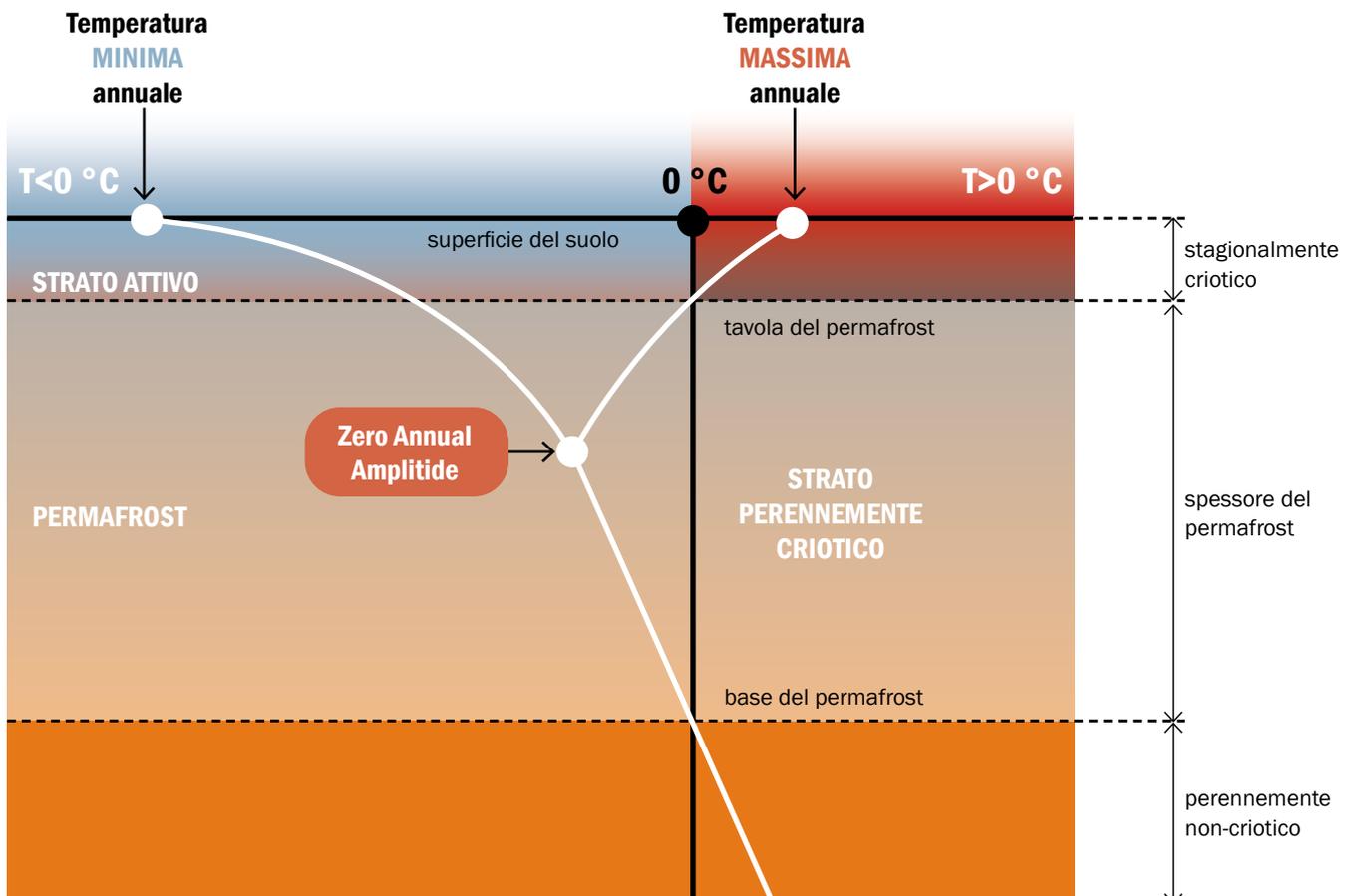
Quando la curva a "Y" interseca l'isoterma degli 0 °C nel terreno, si incontra la così detta **tavola del permafrost (permafrost table)**, situata appena al di sotto dello strato attivo. Al di sotto di questa profondità si trova lo **strato perennemente criotico, ovvero il permafrost vero e proprio**. Quando la curva a "Y" interseca per la seconda volta l'isoterma degli 0 °C nel terreno, si è raggiunta la **base del permafrost**. Da questa profondità in poi, il terreno è perennemente non criotico e sempre scongelato.

IL DOMINIO PERIGLACIALE

Il dominio periglaciale si riferisce, per definizione, all'estensione globale della cosiddetta zona periglaciale. In base all'associazione spaziale di alcune microforme del terreno e ai valori soglia climatici che le caratterizzano, è possibile riconoscere **diverse zone periglaciali**.

Nell'emisfero settentrionale esse includono i deserti polari e i semi-deserti dell'Artico, la tundra, la foresta boreale, le aree sub-artiche di natura sia marittima sia continentale, e l'esteso altopiano Qinghai-Xizang in Tibet, ad alta quota.

Nell'emisfero meridionale, una simile distribuzione comprende le quote più elevate e



la punta meridionale del Sud America, le isole sub-antartiche, la Penisola Antartica e le varie aree libere dai ghiacci nel continente antartico, come ad esempio le *Dry Valleys* (Valli Secche).

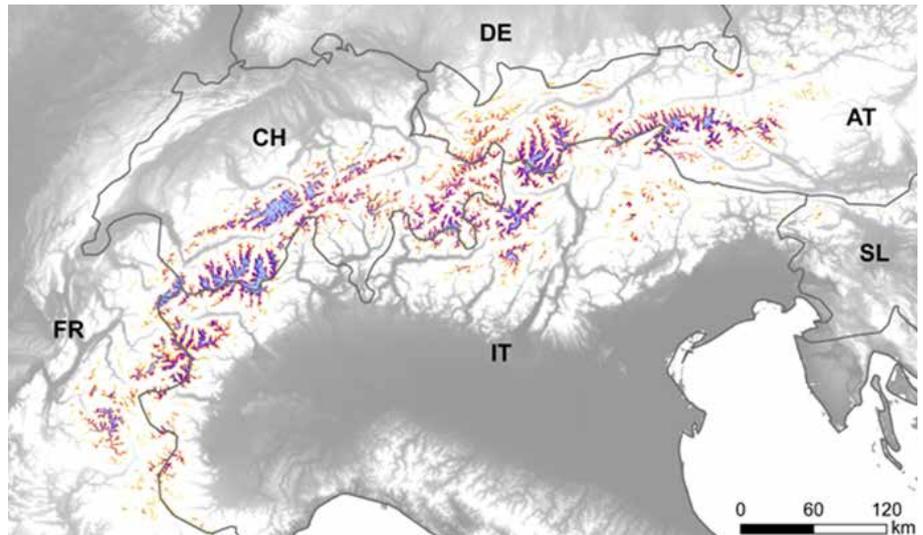
I climi periglaciali alpini sono quelli in cui altitudine, esposizione dei versanti e ombreggiamento controllano l'andamento annuale della temperatura. Non sono estesi quanto gli altri ambienti climatici precedentemente descritti. Nelle Alpi europee e nelle Montagne Rocciose nordamericane, il limite superiore del bosco (*timberline*) si colloca generalmente a un'altitudine compresa tra i 2000 e i 4000 metri.

IL PERMAFROST NELLE AREE ALPINE

Nelle aree alpine, il permafrost è generalmente assente al di sotto del limite degli alberi, ma è presente in modo discontinuo alle quote più elevate. Solo sulle vette più alte e in particolare sui versanti in ombra, il permafrost è continuo. La carta della distribuzione del permafrost nelle Alpi elaborata in seno al progetto Permanet è stata redatta tenendo in considerazione un indice di probabilità di terreni interessati da permafrost a seconda di una molteplicità di parametri quali ad esempio il clima locale, la copertura vegetale, la copertura nevosa, l'esposizione dei versanti, la presenza di *rock glacier* ecc.

LA DEGRADAZIONE DEL PERMAFROST: RISCHI GLOBALI E LOCALI

C'è in effetti molta preoccupazione legata alla degradazione del permafrost nelle aree polari, principalmente perché potrebbe innescare potenti feedback positivi dovuti al rilascio di biossido di carbonio e metano in atmosfera, con la possibilità di accelerare ulteriormente il riscaldamento globale. Poiché la temperatura superficiale globale ha continuato a salire negli ultimi decenni, anche il rischio di degradazione del permafrost è aumentato.



Carta della distribuzione del permafrost nelle Alpi (progetto Permanet <https://www.permanet-alpinespace.eu/home.html>).

Uno degli aspetti pratici più rilevanti della degradazione del permafrost in ambiente alpino riguarda le infrastrutture di alta quota, i crolli in roccia, la destabilizzazione di rifugi e impianti di risalita, e mutamenti nella dinamica dei *rock glacier*.

Temperature più miti in inverno, diminuzione della copertura nevosa estiva indotta da estati sempre più calde e lunghe sono solo i principali fattori che contribuiscono a questo fenomeno. Quando il permafrost inizia a perdere la sua condizione criotica, le lenti di ghiaccio al suo interno tendono a fondere, riducendo la coesione del suolo e aumentando il rischio di frane e crolli. Le aree esposte maggiormente alla radiazione solare e con meno vegetazione sono quelle generalmente più vulnerabili.

AUMENTA L'INSTABILITÀ DEL SUOLO

Le frane sono uno dei rischi più evidenti associati alla degradazione del permafrost. Vari studi dimostrano che, a seguito del riscaldamento, le frane nel territorio alpino sono aumentate in frequenza e intensità. La destabilizzazione delle masse rocciose può avere conseguenze catastrofiche e la crescente instabilità del suolo richiede una continua sorveglianza e un adattamento delle politiche di gestione del territorio.

La presenza di permafrost è fondamentale anche per la stabilità delle costruzioni umane, quali impianti di risalita, rifugi montani e strade. La degradazione del permafrost compromette la base su cui queste strutture si reggono,

causando crepe, cedimenti e malfunzionamenti. I costi di riparazione e rinforzo delle infrastrutture sono di conseguenza in aumento, e molti operatori turistici e amministratori locali si trovano a volte a dover affrontare l'impossibilità di garantire la sicurezza dei visitatori e degli abitanti locali. Alcuni impianti di risalita ad alta quota stanno valutando strategie di riposizionamento o ricostruzione, aumentando i costi e la complessità della gestione territoriale.

SI SCONGELANO I *ROCK GLACIER*, SI PERDE STABILITÀ E ACQUA

Infine i *rock glacier*, corpi lobati costituiti da una **combinazione di ghiaccio e detriti**, svolgono un ruolo sempre più cruciale nel **bilancio idrico** delle regioni alpine dal momento che i ghiacciai montani sono in rapida fusione. Lo scongelamento delle lenti di ghiaccio all'interno di queste formazioni altera le loro dinamiche di scorrimento, aumentando il **rischio di movimenti rapidi e inaspettati**. Tali cambiamenti non solo influenzano il paesaggio, ma possono anche avere impatti significativi sulle risorse idriche locali.

SERVE UN APPROCCIO MULTIDISCIPLINARE

È evidente che le problematiche legate alla degradazione del permafrost richiedono un approccio multidisciplinare per la complessità e le possibili ricadute del problema, con conseguenze che vanno ben oltre la semplice perdita di terreno congelato. Ricercatori, ingegneri, e pianificatori devono collaborare per sviluppare strategie efficaci di monitoraggio e gestione. Le tecniche di ingegneria civile possono contribuire a rinforzare le strutture a rischio, mentre un attento monitoraggio delle temperature e della stabilità del suolo può prevenire incidenti. Inoltre, è fondamentale sensibilizzare le comunità locali e i turisti sui rischi connessi e sulle misure di prevenzione.

Nel prossimo futuro sarà sempre più fondamentale adottare misure di adattamento e mitigazione per affrontare queste sfide, garantendo la sicurezza e la sostenibilità delle aree alpine nel contesto di un clima in cambiamento.

Renato R. Colucci
ISP-CNR

Rock glacier, Alpi della Zillertal - Austria.



LA VITA NEI FIUMI



LA VITA NEI FIUMI

Organismi ed ecosistemi fluviali nel cambiamento climatico: monitorare gli impatti, accrescere la resilienza

In questa sezione ci immergiamo letteralmente nel tema, esplorando l'impatto dei cambiamenti climatici sui fragili ecosistemi delle acque dolci. Gli articoli che seguono ci guidano attraverso un percorso di scoperta, mostrandoci come i nostri fiumi e i loro abitanti stiano reagendo alle nuove condizioni.

Il primo articolo ci offre un'ampia panoramica degli impatti diretti sugli ecosistemi fluviali che includono l'alterazione dei flussi, l'aumento della temperatura dell'acqua e la perdita di biodiversità, con la conseguente invasione di specie esotiche.

Da qui, scendiamo nel dettaglio con un approfondimento sui fiumi sempre più intermittenti, che ci spiega come i periodi di magra prolungati, alternati a piene significative, stiano modificando le dinamiche ecologiche: un fenomeno che si può studiare utilizzando le diatomee come bioindicatori.

I successivi due articoli ci presentano altri due potenti strumenti di monitoraggio. Il primo si concentra sulle macrofite, le piante acquatiche visibili a occhio nudo, che rispondono gradualmente ai cambiamenti ambientali. L'ultimo articolo ci fa conoscere i macroinvertebrati, piccoli animali che sono già ampiamente utilizzati come bioindicatori dello stato ecologico dei fiumi.

Ne riemergiamo con la consapevolezza che i cambiamenti climatici stanno amplificando gli effetti delle attività umane su questi ecosistemi e che una gestione ecologica dei fiumi può contribuire in modo importante ad accrescerne la resilienza.



GLI IMPATTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SUGLI ECOSISTEMI DELLE ACQUE DOLCI

I cambiamenti climatici hanno un impatto diretto sugli ecosistemi delle acque dolci, in particolare sui fiumi: alterano i flussi e accentuano l'intermittenza dei corsi d'acqua; ne aumentano la temperatura, accelerando l'evaporazione e aumentando la concentrazione di inquinanti; modificano la biodiversità, favorendo anche l'invasione di specie esotiche e mettendo a rischio la resilienza* degli ecosistemi acquatici.

Sono quindi necessari monitoraggi specifici e azioni per tutelare le acque interne e gli ecosistemi fluviali.

L'elemento acqua, indispensabile per la vita, è direttamente esposto agli effetti del riscaldamento globale, che poi si riversano a cascata sugli organismi e sugli ecosistemi acquatici.

L'acqua rappresenta infatti il **principale costituente della biosfera**; ricopre infatti circa il 70% dell'intero globo terrestre in termini di superficie, senza contare la percentuale presente come vapore acqueo nell'atmosfera e quella presente nel sottosuolo.

Di tutta l'acqua presente sulla superficie della Terra, meno del 3% è acqua dolce e di questa **solo una piccolissima parte (0,01% dell'acqua totale) è rappresentata dall'acqua dolce superficiale** - quella che costituisce fiumi, laghi, stagni - mentre la parte maggiore si trova nelle calotte polari e nei ghiacciai, in forma solida, e nelle acque sotterranee.

L'acqua dolce è quindi una **risorsa limitata** e seppure possa essere considerata una risorsa che si rinnova continuamente, la sua disponibilità e la sua qualità sono messe **sempre più a rischio** dalle pressioni dirette operate dall'uomo sui corpi idrici e dai cambiamenti climatici in corso, anch'essi sostanzialmente causati dalle attività antropiche.

ECOSISTEMI ACQUATICI: UN PATRIMONIO DA SALVAGUARDARE

Una situazione ancora più critica riguarda la **biodiversità** legata ai corpi idrici. La **capacità resiliente** degli ecosistemi acquatici, che in vari modi consente a essi di reagire e sopportare un discreto livello di pressioni, risulta in molti casi ormai compromessa. Conservare l'integrità di un ecosistema acquatico e la qualità delle sue acque risulta di fondamentale importanza anche per i **"servizi ecosistemici"** che esso offre, come ad esempio la capacità di filtrare e diluire le sostanze inquinanti, il contenimento delle alluvioni, il mantenimento delle condizioni microclimatiche e la salvaguardia della biodiversità.

GLI IMPATTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SULLE PORTATE

Per quanto riguarda specificatamente le problematiche generate dai cambiamenti climatici sugli ecosistemi di acqua dolce superficiali interni europei - e in particolare i fiumi - le principali conoscenze e serie storiche di confronto riguardano soprattutto le **variazioni di flusso e di portate** in atto, grazie alla presenza di una fitta rete di stazioni idrometriche presente nel territorio europeo. Il risultato a livello globale

è che i cambiamenti climatici hanno un chiaro effetto sull'**andamento stagionale delle portate**, principalmente nel naturale trend delle piene (in anticipo o in ritardo rispetto alla naturale stagionalità) e del flusso. Questo effetto, esteso a un'area così ampia, non può essere esclusivamente ricondotto a dei fenomeni locali, quali il cambio dell'uso del suolo o interventi negli alvei dei fiumi (captazioni idriche, arginature, briglie ecc.), bensì a fenomeni estesi e globali come i cambiamenti climatici.

SI ACCENTUA L'INTERMITTENZA

Un'altra problematica emergente legata ai cambiamenti climatici è anche l'**aumento dei fenomeni di intermittenza dei fiumi** cioè di quei corsi d'acqua che non scorrono tutto l'anno e che in alcuni periodi, soprattutto durante le stagioni secche o in assenza di precipitazioni, possono persino scomparire del tutto.

Questo fenomeno è sempre più accentuato anche a causa delle variazioni nelle frequenze delle precipitazioni e nelle temperature **rendendo gli ecosistemi acquatici sempre meno resilienti** e più vulnerabili in quanto le specie che non riescono ad adattarsi ai periodi di secca possono diminuire di numero o estinguersi, riducendo la biodiversità dell'ecosistema stesso.

AUMENTA LA TEMPERATURA DELLE ACQUE

L'impatto del cambiamento climatico sui fiumi e sui corsi d'acqua non sta modificando soltanto il flusso, ma anche le **caratteristiche termiche delle risorse idriche**.

La temperatura delle acque in generale è influenzata direttamente dalla temperatura



atmosferica. Questo effetto varia a seconda del tipo di corpo idrico, della sua dimensione/profondità e della quantità d'acqua presente.

- **Corsi d'acqua** (fiumi e torrenti): Poiché l'acqua è in movimento, la temperatura può cambiare rapidamente in risposta alle variazioni atmosferiche. I corsi d'acqua più piccoli reagiscono più velocemente rispetto a quelli più grandi.
- **Laghi**: La temperatura dei laghi dipende dalla loro profondità e dimensione. Laghi poco profondi rispondono più rapidamente ai cambiamenti atmosferici, mentre quelli profondi hanno una maggiore capacità di assorbimento termico, rendendo le variazioni più lente.
- **Stagni**: Questi corpi idrici più piccoli e poco profondi possono subire variazioni rapide e significative della temperatura in risposta ai cambiamenti atmosferici, rendendoli più suscettibili agli sbalzi termici.

In sintesi, **la risposta termica dei corpi idrici varia in base alla loro tipologia, dimensione, profondità, velocità della corrente**: i corpi idrici più piccoli, poco profondi e con acque più ferme risentono maggiormente delle variazioni atmosferiche.

Anche la temperatura atmosferica quindi contribuisce direttamente all'impatto dei cambiamenti climatici sui fiumi poiché può portare a un **aumento dell'evaporazione** dell'acqua, a cui può essere correlato un aumento **della concentrazione dei livelli di contaminazione** che già esistono in essi.

L'INVASIONE DI SPECIE ESOTICHE

Dal punto di vista biologico, l'effetto più evidente è che i cambiamenti climatici stanno favorendo **l'invasione di specie di latitudini più calde**.

Nel mar Mediterraneo, per esempio, negli ultimi anni si sta assistendo alla invasione di diverse specie di alghe caratteristiche di mari caldi dell'America, dell'Africa e dell'Asia, giunte probabilmente attraverso le acque di zavorra delle navi. Queste specie, che minacciano l'esistenza delle specie animali e vegetali autoctone*, si vedranno favorite dall'aumento di temperatura conseguente al cambiamento climatico nelle prossime decadi.

È prevedibile che un simile fenomeno possa manifestarsi **anche nei sistemi dulciacquicoli**,

con la diffusione di **specie animali e vegetali alloctone***, provenienti da altre aree geografiche e introdotte nell'ambiente attraverso diverse vie (siano esse di tipo antropico o naturale), e la riduzione della presenza di specie autoctone*. I cambiamenti climatici possono esacerbare l'impatto delle specie alloctone* incrementando il loro potenziale riproduttivo.

Gli ecosistemi di acqua dolce risultano particolarmente suscettibili all'invasione di specie non indigene, anche perché i cambiamenti climatici possono svincolare alcune specie esotiche dagli attuali limiti di temperatura, aumentando così le loro tendenze invasive.

CAMBIANO LE CONDIZIONI ALLE FOCI DEI FIUMI

È inoltre da considerare che l'espansione termica delle masse oceaniche e la fusione delle calotte di ghiaccio continentali, conseguente all'innalzamento delle temperature, sta già comportando da decenni **l'innalzamento del livello del mare** e quindi una **variazione del regime di flusso a livello delle foci dei fiumi**.

Tale fenomeno, oltre a determinare **variazioni di salinità** delle porzioni terminali dei corsi d'acqua in tratti di lunghezza sempre maggiore, e impattare quindi sulle specie stenoaline*, influisce in modo rilevante anche sugli eventi di deposizione delle uova e sulle migrazioni delle specie anadrome* e catadrome* e, in generale, sulle **dinamiche ecologiche delle biocenosi acquatiche**.

MONITORARE I CAMBIAMENTI: DIFFICOLTÀ E PROSPETTIVE

Per quanto riguarda le acque dolci, attualmente sul territorio regionale non esistono evidenze degli effetti dei cambiamenti climatici a livello ecosistemico, anche a causa delle **numerose pressioni che, in maniera sinergica, concorrono ad alterare lo stato di un corpo idrico**, rendendo così difficile discernere le alterazioni generate da ciascuna di esse.

La disponibilità di dati raccolti nel corso di lunghi periodi può però restituire informazioni importanti riguardo all'evoluzione delle comunità biologiche e alla distribuzione dei diversi taxa* (gruppi di piante e di animali), permettendo forse nel tempo di individuare eventuali conseguenze di tali cambiamenti.

IL MONITORAGGIO DEI CORPI IDRICI FLUVIALI

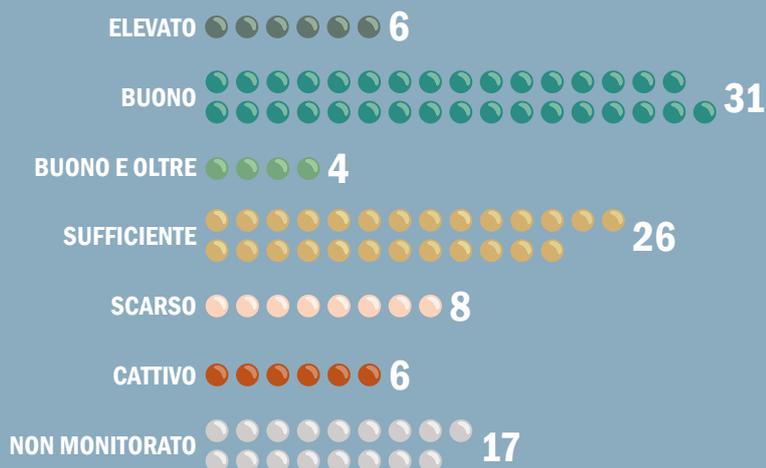
LO STATO ECOLOGICO DI FIUMI

Uno degli obiettivi principali per permettere un uso sostenibile della risorsa idrica è la conservazione degli ecosistemi acquatici e il conseguente raggiungimento del “buono” stato ecologico in un contesto geografico, come quello europeo, in cui i fiumi sono gli ecosistemi di acqua dolce più frammentati al mondo.

Lo stato ecologico viene stabilito sulla base dei dati raccolti da ARPA FVG in un arco temporale di sei anni; l’Agenzia effettua il monitoraggio dei corpi idrici fluviali con una rete di 328 stazioni di campionamento per lo stato ecologico.

Dall’ultima determinazione dello stato ecologico dei fiumi del Friuli Venezia Giulia, si evince che almeno il 41% dei corpi idrici presentano uno stato ecologico buono o elevato. Le percentuali osservate sono in linea con le valutazioni effettuate dall’Agenzia Europea per l’Ambiente (AEA) su tutto il territorio dell’Europa, dove lo stato ecologico buono è stato raggiunto in circa il 40% dei corpi idrici (fiumi, laghi e acque marine e di transizione).

STATO ECOLOGICO DEI CORPI IDRICI 2014-2019



Stato ecologico dei corpi idrici fluviali (dati sessennio 2014-2019) suddiviso nelle sei classi di qualità.

Nella mappa la linea tratteggiata indica i corpi idrici fortemente modificati o che hanno subito profonde alterazioni idromorfologiche e, a causa di queste, non sono più in grado di raggiungere uno “stato ecologico” ma solo un “potenziale ecologico”.

Attualmente ARPA FVG sta lavorando per la raccolta dei dati relativi ai monitoraggi previsti dal Piano Gestione Acque 2021-2027 che saranno necessari per la redazione del III Piano di Gestione.

LE PRESSIONI ESERCITATE SUI CORPI IDRICI (RSA 2024)

Dall'analisi territoriale effettuata da ARPA FVG emerge che le pressioni antropiche più significative risultano essere: nella zona montana i prelievi a uso idroelettrico, ittiogenico e irriguo e le alterazioni morfologiche; nell'alta e bassa pianura friulana gli scarichi di acque reflue urbane e l'agricoltura diffusa.

Queste pressioni sono tra le più rilevanti anche a livello europeo. Proprio a tal riguardo la Commissione Europea ha dato indicazioni prioritarie sull'inserimento nei Piani di Gestione delle Acque di misure specifiche e necessarie al raggiungimento degli obiettivi di qualità volte a mitigare l'impatto delle pressioni soprariportate al fine di migliorare lo stato dell'ecosistema fluviale.

PRINCIPALI PRESSIONI DEI CORPI IDRICI 2014-2019

1 diffuse agricole

2 scarichi urbani

3 dighe, barriere chiuse
(per uso idroelettrico, potabile, irrigazione, ricreativo, industriale, navigazione per difesa dalle piene)

4 dilavamento superfici urbane

5 alterazione fisica dei canali/alveo/fascia riparia/sponde

7 altre alterazioni idromorfologiche

8 impianti di acquacoltura

6 prelievi/diversioni per uso idroelettrico

9 pressioni antropiche sconosciute

10 scarichi non allacciati alla fognatura

Le 10 pressioni più significative presenti nei corpi idrici fluviali regionali (riferimento sessennio 2014-2019).



Personale di ARPA FVG effettua campionamento per il monitoraggio dello stato ecologico dei fiumi (Fiume Torre, UD).

Dal 2009 ARPA FVG svolge un'attività di **monitoraggio biologico su un grande numero di corsi d'acqua (naturali e artificiali) e sui principali laghi/invasi** presenti sul territorio regionale. I dati biologici vengono raccolti per valutare lo stato ecologico dei corpi idrici regionali (ai sensi della Direttiva Europea Quadro Acque 2000/60) e interessano principalmente comunità acquatiche (vegetali e animali), come viene illustrato nella scheda **IL MONITORAGGIO DEI CORPI IDRICI FLUVIALI**.

Tra i vari siti attualmente monitorati ve ne sono anche alcuni **esenti da pressioni** e quindi potenzialmente utilizzabili per identificare gli effetti dei cambiamenti climatici a lungo termine, siano essi intesi come semplice alterazione delle condizioni chimico-fisiche, o come modificazioni che interessano gli ecosistemi, la composizione delle comunità e/o gli areali di distribuzione di alcune specie. A oggi però non è ancora possibile trarre alcuna deduzione in quanto **la serie temporale di dati disponibili non è sufficiente** a tracciare dei trend o a evidenziare specificamente gli effetti dei cambiamenti climatici sugli ecosistemi acquatici.

**Arianna Macor, Erica Rancati, Gabriele Piazza,
Alessandra Sinesi, Elisa Zanut, Raffaella Zorza**
ARPA FVG

PAROLE CHIAVE

RESILIENZA

la capacità di un ecosistema, un'organizzazione o un individuo di recuperare rapidamente e adattarsi positivamente a condizioni avverse, stress o cambiamenti.

SPECIE AUTOCTONE

specie che sono originarie e presenti naturalmente in una determinata regione o ambiente. Si sono evolute e adattate al loro habitat nel corso del tempo.

SPECIE ALLOCTONE O ESOTICHE

specie che non sono native di una determinata regione o ambiente, ma sono state introdotte, intenzionalmente o accidentalmente, da altre aree geografiche. Possono avere effetti negativi sugli ecosistemi locali.

SPECIE STENOALINE

specie che hanno una tolleranza ristretta a variazioni di salinità nell'ambiente acquatico. Di solito vivono in ambienti con salinità relativamente costante.

SPECIE ANADROME

nascono nei fiumi e poi soggiornano per anni nel mare, dove si sviluppano. Poi migrano di nuovo verso i fiumi di origine per riprodursi (es. Lampreda di fiume).

SPECIE CATADROME

nascono in mare e poi si portano verso i fiumi dove si sviluppano prima di ritornare in mare per la riproduzione (es. Anguilla europea).

TAXA

termine usato in biologia per riferirsi a qualsiasi gruppo di organismi classificati insieme in una categoria tassonomica (es. famiglia, genere, specie).



FIUMI SEMPRE PIÙ INTERMITTENTI: MONITORARE IL CAMBIAMENTO CON LE DIATOMEE

Fioritura di diatomee nel Fiume Torre a Tarcento (UD).

I cambiamenti climatici stanno modificando le dinamiche ecologiche dei fiumi e ne accentuano il regime intermittente.

L'inasprimento dei periodi di magra, alternati a piene rilevanti, ha importanti impatti sugli ecosistemi fluviali, che possono essere studiati utilizzando le diatomee come bioindicatori.

Questi effetti possono essere aggravati da varie pressioni antropiche o, invece, attenuati da azioni di rinaturalizzazione dei fiumi.

A livello europeo i cambiamenti climatici, in molti casi abbinati a un uso non equilibrato delle risorse idriche, stanno portando a un inasprimento del fenomeno dell'intermittenza nei fiumi. Questo si traduce in un aumento della frequenza e dell'intensità delle secche, coinvolgendo aree sempre più vaste e fiumi precedentemente considerati permanenti.

Queste modifiche nel regime dei fiumi hanno importanti ripercussioni sugli ecosistemi acquatici, che sono state studiate in altre regioni italiane e in altri Paesi mediterranei. Spesso in questi studi vengono utilizzate le diatomee, importanti bioindicatori* che anche ARPA FVG impiega nel contesto più generale della valutazione della qualità ecologica dei corpi idrici.



SI ACCENTUA IL REGIME INTERMITTENTE DEI FIUMI

Il clima mediterraneo è tipicamente contraddistinto da inverni temperati e piovosi, alternati a estati calde e secche, con un'intensa irradiazione solare e alti tassi di evaporazione. Questa caratteristica climatica dà luogo a un forte contrasto stagionale che influisce notevolmente sui corsi d'acqua che diventano soggetti a un **regime idrologico irregolare**, con periodi di forte magra o secca durante l'estate, alternati da piene e inondazioni in inverno. Questi fiumi vengono definiti "**temporanei**" o "**intermittenti**", in quanto la loro portata varia considerevolmente durante l'anno, con effetti significativi su tutto l'ecosistema fluviale.

In questi corsi d'acqua l'irregolarità del flusso idrico ha un naturale impatto diretto sui processi abiotici e sugli habitat acquatici, influenzando – per esempio – la struttura delle comunità e il metabolismo degli organismi che li abitano. Negli ultimi anni nell'area mediterranea, l'uso eccessivo e spesso non regolamentato delle risorse idriche da parte delle attività umane ha **inasprito questo naturale fenomeno delle secche**, soprattutto quando non viene rispettato il deflusso minimo vitale*, fondamentale per la sopravvivenza degli ecosistemi acquatici, mettendo a rischio la salute di questi ambienti naturali. Ne deriva che attualmente i tratti fluviali che soffrono di scarsità idrica sono **sempre più diffusi, anche al di fuori delle tipiche zone mediterranee** in cui tale situazione è sempre stata peculiare.

I FATTORI CHE INFLUENZANO L'INTERMITTENZA

Il cambiamento climatico sta causando una **diminuzione del deflusso** in molte regioni a media latitudine, accompagnata da un **aumento delle temperature**, con effetti particolarmente evidenti in alcune zone. In termini generali in tali regioni le precipitazioni annuali stanno diminuendo, mentre gli eventi meteo-climatici estremi sono diventati più frequenti. I fiumi intermittenti, già diffusi nel bacino del Mediterraneo, sono destinati ad aumentare rapidamente sia in numero che in estensione.

Fiume Natisone (UD) che presenta caratteristiche di intermittenza nel suo tratto di corso inferiore a confluenza con il fiume Torre (UD).

Tali cambiamenti climatici e le variazioni nei modelli di precipitazione influenzano la temperatura dell'acqua e la durata delle fasi umide e secche dei fiumi.

A ciò si aggiungono **modifiche nell'uso del suolo**, come la conversione delle terre naturali in aree agricole e urbane, che frammentano gli habitat e alterano la morfologia dei fiumi, aggravando gli effetti negativi del flusso intermittente sulla flora e fauna acquatica.

La **frammentazione degli habitat** causata dall'essiccamento dei letti fluviali limita la possibilità di sopravvivenza delle specie, compromettendo la distribuzione e l'abbondanza degli organismi acquatici. Questi cambiamenti ambientali sono particolarmente preoccupanti in quanto il Mediterraneo è uno degli "hot spots" di biodiversità* a livello globale.

LE CONSEGUENZE PER GLI ECOSISTEMI ACQUATICI

Le implicazioni dei cambiamenti nel regime idrico dei corsi d'acqua includono:

- **impatto sulla biodiversità:** le comunità di diatomee e altri organismi acquatici risentono degli effetti di un regime idrico intermittente, con una maggiore variabilità delle comunità bentoniche e una maggiore eterogeneità dei microhabitat;
- **alterazione degli ecosistemi:** la scarsità idrica influisce sui processi abiotici* e sugli habitat, condizionando vari aspetti del metabolismo degli organismi acquatici e portando a una diminuzione della biodiversità;
- **necessità di monitoraggio:** è fondamentale sviluppare strumenti per rilevare gli impatti della scarsità idrica sulla componente biotica*, per comprendere meglio come le comunità acquatiche si adattano a queste condizioni variabili.

VULNERABILITÀ E RESILIENZA DELLE DIATOMEE

Le **diatomee**, che giocano un ruolo importante negli ecosistemi fluviali, sono **tra le specie più minacciate**. L'essiccamento riduce la diversità di queste comunità, anche se **alcune specie hanno sviluppato adattamenti**, come la formazione di strati protettivi o il movimento verso rifugi.



Fioritura anomala di una specie del genere Diatoma sul fiume Torre nei pressi di Tarcento (UD).

Durante i **periodi di flusso ridotto**, le diatomee che preferiscono condizioni di bassa corrente possono proliferare. Al contrario, durante i **periodi di alta corrente**, le specie adattate a condizioni di flusso rapido possono diventare predominanti. Questo ciclo di cambiamenti può essere osservato come una **successione ecologica**, dove diverse specie di diatomee dominano in momenti diversi.

La composizione delle comunità di diatomee in questo modo cambia naturalmente durante l'anno, passando da specie adattate e resistenti a flussi idrici elevati a quelle più tolleranti alla stagnazione.

MONITORARE GLI IMPATTI TRAMITE LE DIATOMEE

Al giorno d'oggi, lo studio delle diatomee bentoniche è largamente utilizzato per valutare la qualità dei corsi d'acqua attraverso l'analisi della composizione specifica delle comunità: la loro grande **sensibilità al disturbo fisico-chimico**, nonché la **semplicità di campionamento**, le rendono un ottimo bioindicatore ambientale.

Il protocollo di campionamento attualmente in vigore prevede che si selezioni per il prelievo un transetto standard il più possibile rappresentativo del sito in questione. Questa modalità di campionamento però non tiene conto dell'**elevata eterogeneità che caratterizza i fiumi intermittenti** durante il periodo estivo. Le **pozze isolate** che si creano con il progredire della secca, infatti, differiscono dal corso d'acqua principale in termini di parametri sia fisici sia chimici:

la temperatura della colonna d'acqua e la concentrazione di nutrienti aumentano, mentre la concentrazione di ossigeno disciolto diminuisce. Una metodologia di campionamento che includa l'analisi di questi peculiari microhabitat potrebbe quindi riflettere maggiormente la grande biodiversità che caratterizza questi ambienti. Siti omogenei, infatti, ospitano generalmente comunità di diatomee con bassi valori di diversità e ricchezza specifica.

FORME DI CRESCITA E GUILD ECOLOGICHE

Studi recenti hanno inoltre dimostrato l'importanza di utilizzare ai fini del monitoraggio, oltre alla composizione in specie, anche metriche complementari come, ad esempio, le forme di crescita e le *guild* ecologiche.

In particolare le **forme di crescita** nelle diatomee si riferiscono ai **diversi modelli di organizzazione delle cellule** che queste microalghe possono assumere durante la loro crescita. Le diatomee possono crescere in forma solitaria, in colonie o in filamenti, a seconda delle specie e delle condizioni ambientali. Queste forme di crescita influenzano la loro capacità di adattarsi e sopravvivere in diversi ambienti acquatici.

Le *guild* ecologiche, invece, sono gruppi di diatomee che condividono **simili esigenze ecologiche e comportamenti**, come l'utilizzo di risorse simili o la risposta a determinati fattori ambientali. Le *guild* ecologiche possono essere formate da diatomee che occupano nicchie ecologiche specifiche, come zone di alta produttività o aree con particolari condizioni fisico-chimiche dell'acqua (es. velocità corrente). Questi gruppi di diatomee si influenzano reciprocamente e possono svolgere ruoli simili in termini di ciclo dei nutrienti e produttività primaria negli ecosistemi acquatici.

ADATTARE I MONITORAGGI

ARPA FVG monitora le diatomee nelle acque interne per valutare lo stato degli ecosistemi acquatici. Le diatomee, sensibili ai cambiamenti ambientali, forniscono preziose informazioni sulla qualità dell'acqua e sulle condizioni ecologiche. Tuttavia, per monitorare gli effetti dei cambiamenti climatici, sono **necessarie ulteriori indagini e nuovi approcci metodologici**. Questo sottolinea l'importanza di adattare le strategie di monitoraggio per continuare a tutelare efficacemente l'ambiente.

Campionamento di diatomee effettuato da ARPA FVG.



LE DIATOMEE

Cosa sono le diatomee?

Le diatomee sono microalghe unicellulari caratterizzate da un guscio di silice, chiamato frustulo. Sono uno dei gruppi più comuni di alghe bentoniche e planctoniche e sono presenti in ambienti acquatici sia dolci che salati.

Ruolo nella comunità

Le diatomee svolgono un ruolo cruciale negli ecosistemi acquatici. Costituiscono una parte significativa della base della catena alimentare, fornendo nutrimento a numerosi organismi acquatici, dai piccoli invertebrati fino ai grandi pesci.

Perché sono studiate?

Le diatomee sono particolarmente studiate per la loro sensibilità ai cambiamenti ambientali. La composizione delle comunità di diatomee può variare significativamente in risposta a fattori come la qualità dell'acqua, il pH, la temperatura e la disponibilità di nutrienti, rendendole ottimi bioindicatori delle condizioni ambientali. Studiando le comunità di diatomee, è possibile monitorare la qualità dell'acqua e identificare eventuali cambiamenti dovuti anche all'intermittenza del regime fluviale. Questo è particolarmente utile per valutare l'impatto delle variazioni di flusso e per monitorare la salute degli ecosistemi fluviali.

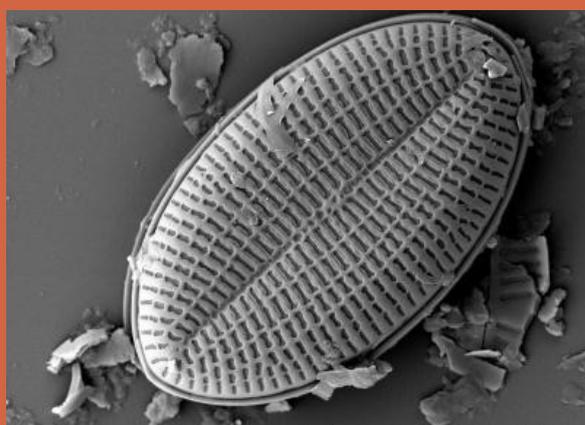
Modellazione e Monitoraggio

L'uso di modelli idrologici e di monitoraggio continuo può aiutare a comprendere meglio come le variazioni di flusso influenzano le comunità di diatomee. Questi modelli possono simulare diversi scenari di flusso e prevedere come le comunità di diatomee potrebbero rispondere a tali cambiamenti.

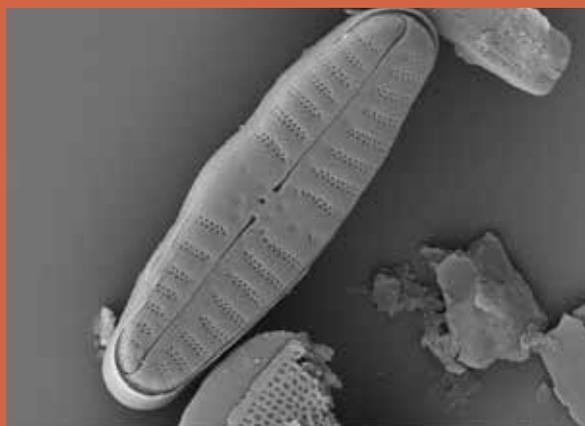
In sintesi, le diatomee offrono una finestra unica per osservare e comprendere gli effetti dell'intermittenza del regime fluviale sugli ecosistemi acquatici. La loro sensibilità ai cambiamenti ambientali le rende strumenti preziosi per il monitoraggio e la gestione delle risorse idriche.



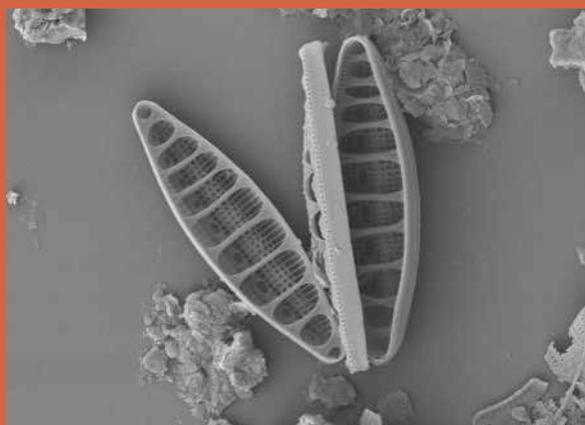
Frustuli di diatomee viste al microscopio ottico.



Diatomea vista al microscopio a scansione (*Cocconeis euglypta*).



Diatomea vista al microscopio a scansione (*Reimeria sinuata*).



Diatomea vista al microscopio a scansione (*Denticula tenuis*).

PAROLE CHIAVE

BIOINDICATORI

sono organismi, gruppi di organismi o caratteristiche biologiche che forniscono informazioni sulla qualità dell'ambiente e sugli effetti delle attività umane o dei cambiamenti naturali. Sono utilizzati per monitorare la salute degli ecosistemi, come la presenza di inquinanti o il cambiamento delle condizioni ambientali. Un esempio comune sono alcune specie di pesci o insetti che reagiscono sensibilmente a modifiche dell'acqua o dell'aria.

COMPONENTE BIOTICA

si riferisce agli elementi viventi di un ecosistema, che includono tutte le forme di vita come piante, animali, funghi e microrganismi. Le componenti biotiche interagiscono tra loro e con gli elementi abiotici (non viventi) per mantenere l'equilibrio dell'ecosistema.

COMPONENTI E PROCESSI ABIOTICI

sono gli aspetti non viventi di un ecosistema, come l'aria, l'acqua, il suolo, la luce solare, la temperatura e i minerali. I processi abiotici includono le interazioni fisiche e chimiche che avvengono in un ecosistema, come il ciclo dell'acqua, la fotosintesi, l'evaporazione, la sedimentazione e i processi geologici.

COMUNITÀ BENTONICHE

sono insieme di organismi che vivono sul fondo dei corpi idrici (come laghi, fiumi o mari) o nel sedimento. Questi organismi, che includono molluschi, crostacei, vermi e microrganismi, interagiscono tra loro e con il substrato per formare un ecosistema unico.

DEFLUSSO MINIMO VITALE

(DMV) è la quantità minima di acqua che deve essere mantenuta in un corso d'acqua per garantire la sopravvivenza degli ecosistemi acquatici. Questo flusso è fondamentale per la biodiversità, soprattutto durante i periodi di siccità, quando l'acqua disponibile potrebbe diminuire.

HOT SPOT DI BIODIVERSITÀ

sono aree geografiche caratterizzate da una straordinaria ricchezza di specie, molte delle quali endemiche, e un elevato rischio di estinzione. Queste zone sono considerate cruciali per la conservazione globale, poiché ospitano una grande parte della biodiversità terrestre e acquatica.

LA GESTIONE ECOLOGICA DEI FIUMI” PER ATTENUARE GLI EFFETTI DELL'INTERMITTENZA

Risulta quindi fondamentale applicare ai corsi d'acqua i principi di **gestione ecologica**, che possono in generale contribuire a mitigare gli effetti dell'accentuata intermittenza dei corsi d'acqua. Questo tipo di approccio, in linea con gli obiettivi del recente regolamento Europeo sul Ripristino della Natura (*Restoration Law*) e della Strategia per la Biodiversità, mira a ripristinare la naturalità degli ecosistemi acquatici, **migliorandone la resilienza agli impatti dei cambiamenti climatici** e favorendo la conservazione della biodiversità, inclusi gli habitat delle diatomee bentoniche e di altre specie acquatiche.

Quindi azioni come il **ripristino degli habitat naturali** e la **riqualificazione delle sponde fluviali** sono effettuate al fine di favorire la ricomposizione di ambienti ecologicamente equilibrati, creando condizioni più favorevoli per le comunità di diatomee bentoniche e altri organismi acquatici. Tali azioni non solo contribuiscono alla **conservazione della biodiversità**, ma rappresentano anche un passo cruciale nella lotta contro gli effetti dei cambiamenti climatici.

Anche altre misure gestionali come la rinaturalizzazione delle sponde attraverso la **piantumazione di vegetazione autoctona** o la creazione di **zone tampone vegetate** aiuta a stabilizzare il suolo, riducendo l'erosione e migliorare la qualità dell'acqua, creando un habitat più favorevole per le diatomee e altri organismi acquatici e **garantendo la continuità ecologica** degli ecosistemi acquatici e migliorando la resilienza alle variazioni stagionali e climatiche.



MACROFITE: LE PIANTE ACQUATICHE CHE REGISTRANO I CAMBIAMENTI NEL TEMPO

Le macrofite, organismi vegetali acquatici visibili a occhio nudo, rispondono gradualmente ai cambiamenti ambientali, di cui sono ottimi bioindicatori*.

Con i cambiamenti climatici si modifica il regime delle piogge, si accentuano eventi siccitosi, aumenta la temperatura delle acque: questi fenomeni si sommano ad altre pressioni e alterano gli habitat, le tipologie e l'abbondanza degli organismi, i loro cicli di vita e i benefici che gli ecosistemi acquatici generano per l'uomo.

Le macrofite, rispetto ad altri organismi autotrofi* che popolano gli ambienti acquatici (tra cui fitoplancton e diatomee), sono bioindicatori* che per la loro stessa fisiologia e caratteristiche biologiche integrano informazioni su un tempo maggiormente lungo. Non presentano infatti reazioni immediate a cambiamenti nello stato trofico* (ossia la disponibilità di sostanze nutrienti, tra cui si ricordano i composti dell'azoto e del fosforo). Inoltre le macrofite, essendo organismi stanziali, possono registrare con la loro composizione (presenza/assenza) o abbondanza altri impatti ambientali e possono così consentire un'accurata localizzazione delle sorgenti degli impatti causati dalle pressioni che insistono sul corpo idrico.

LE MACROFITE DEGLI AMBIENTI ACQUATICI

Le macrofite acquatiche sono un gruppo funzionale che comprende gli organismi vegetali visibili a occhio nudo che popolano gli ambienti acquatici fluviali o lacustri. Tale gruppo comprende Alghe, Licheni, Briofite (tra cui Epatiche e Muschi), Pteridofite (tra cui le felci) e Fanerogame (ossia piante superiori, che si riproducono tramite semi). Esse colonizzano ambienti acquatici, sviluppando spesso adattamenti morfologici all'ambiente acquatico, o anche ambienti in connessione con le sponde fluviali. La presenza di questi adattamenti morfologici caratterizza soprattutto le Fanerogame, che sono presenti nell'ecosistema fluviale con diverse forme biologiche.

La **forma biologica**, secondo il sistema di Raunkiær (sistema di classificazione ideato dal botanico danese Christen Raunkiær), corrisponde alle strategie adottate dalle piante per proteggere i tessuti embrionali o i semi che permettono la ripresa della vita vegetativa a seguito di stagioni avverse. Negli ambienti acquatici interni si ritrovano soprattutto:

ELOFITE, ovvero piante erbacee perenni con radice sommersa in acqua e fusto e foglie aeree (tra cui si ricordano le specie *Berula erecta* o Sedanina d'acqua, *Mentha aquatica*, *Myosotis scorpioides*

o Nontiscordardime delle paludi, *Nasturtium officinale* ovvero il Crescione d'acqua);

IDROFITE, ovvero piante perenni che vivono quasi completamente immerse in acqua, radicanti (ad es. il genere *Potamogeton*) o galleggianti (ad es. il genere *Lemna*, conosciuta più comunemente come lenticchia d'acqua).

Le macrofite acquatiche sono organismi sensibili a diversi fattori ambientali:

- principalmente la luminosità e l'arricchimento in nutrienti dell'ambiente acquatico;
- in secondo luogo rispondono bene anche ai cambiamenti nel regime idrico e idrologico;
- inoltre integrano bene tutte le informazioni delle condizioni strutturali che si rilevano lungo le sponde, tra cui per esempio la composizione del substrato.

Per questo motivo sono da tempo considerate ottimi bioindicatori* per la valutazione dello stato trofico* in base alle Direttive europee (tra cui si ricorda la Direttiva Nitrati 91/676/CEE). Sono state inserite nella normativa italiana per la classificazione dei corpi idrici superficiali solo a seguito del recepimento della Direttiva Quadro della Acque con il D.Lgs. 152/2006.



Comunità di alghe rilevata nel fiume Isonzo in comune di Savogna d'Isonzo, GO, (G0003) durante il progetto Grevislin.

LE PREZIOSE FUNZIONI ECOLOGICHE DELLE MACROFITE ACQUATICHE

La principale funzione ecologica delle macrofite acquatiche nelle acque correnti è quella di introdurre l'energia nella rete trofica attraverso la **fotosintesi**. In tal modo l'energia solare viene utilizzata per produrre sostanza organica e ossigeno. Questo processo permette lo sviluppo della comunità vegetale; tale accrescimento implica anche l'**assorbimento di sostanze** quali fonti di azoto (principalmente nitrati) e fosforo.

Secondariamente le macrofite possono essere usare come zone di **rifugio per lo zooplancton e la fauna ittica**, macroinvertebrati e anfibi, oltre che **fonte di nutrimento** per molti organismi acquatici e non.

Questi importanti ruoli negli ecosistemi acquatici generano diversi **benefici per l'uomo, i cosiddetti servizi ecosistemici**, tra i quali si ricorda:

- produzione di ossigeno;
- abbattimento del carico dei nutrienti e degli inquinanti (fitodepurazione);
- riduzione della sospensione del sedimento, che viene consolidato dagli apparati radicali.

I MOLTEPLICI EFFETTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI

I cambiamenti climatici si traducono in **impatti fisici diretti sulle acque e sul loro regime**. Questi impatti fisici (innanzitutto la variazione del regime idrologico dei fiumi) si sommano ad altre pressioni già esistenti sull'ambiente e **hanno effetti importanti sulla vegetazione acquatica**.

Diverse problematiche sono state evidenziate in altri Paesi europei, mentre è difficile reperire studi relativi al nostro territorio nazionale. Nonostante siano disponibili **pochi studi specifici** relativi alla relazione tra macrofite acquatiche e cambiamenti climatici in ambiente fluviale, risultano **evidenti alcuni effetti**, descritti nei prossimi paragrafi.

PIOGGE INTENSE, DILAVAMENTO DEL SUOLO E AUMENTO DEI NUTRIENTI

La **concentrazione degli eventi di precipitazioni** in un minor numero di giorni può comportare, ad alcune condizioni, una **maggiore presenza**

di nutrienti che vengono confluiti nei corsi d'acqua dagli scarichi o vengono dilavati dal territorio circostante, in particolare in aree in cui la vegetazione riparia/perifluviale* è molto semplificata e quindi non svolge efficacemente le proprie funzioni ecologiche di filtro. La condizione maggiormente eutrofica, data dall'eccesso di nutrienti, può favorire un **bloom delle alghe** (ossia un rapido aumento della loro abbondanza) rispetto alle piante sommerse: ciò avviene perché le alghe, essendo organismi dalla fisiologia e morfologia più semplice, hanno un accrescimento più rapido rispetto alle piante superiori e rispondono in modo rapido alle variazioni ambientali.

AUMENTO DEGLI EVENTI DI PIENA ESTREMI

L'aumento degli eventi di piena estremi si verifica a causa dei fenomeni piovosi intensi, ma può essere anche conseguenza del rapido scioglimento del manto nevoso e del trend di regressione dei ghiacciai perenni a causa dell'aumento della temperatura media.

Gli eventi di piena fanno parte della naturale dinamica fluviale: le acque che esondano riportano poi nel corso d'acqua organismi e nutrienti e, in quanto elemento di disturbo, non consentono l'instaurarsi di comunità stabili. Tale 'immaturità' ha un'alta produttività e capacità di ciclizzazione dei nutrienti. Il fiume pertanto non è un sistema statico, ma dinamico: gli eventi di piena **facilitano lo scambio con il territorio circostante**, con una grande importanza della connessione tra il corso d'acqua stesso e la zona perifluviale. **Se però gli eventi di piena diventano più estremi**, le cosiddette piene straordinarie, e maggiormente frequenti, il **rischio è di danneggiare gli habitat** con compromissione delle specie vegetali esistenti (fino alla rimozione delle comunità), aumento dei fenomeni erosivi a carico delle sponde e del territorio circostante e inquinamento da sostanze chimiche.

AUMENTO DEGLI EVENTI DI MAGRA

La **riduzione nelle precipitazioni**, soprattutto in estate (come si osserva in Friuli Venezia Giulia), e/o la riduzione dei volumi e della durata della copertura nevosa può causare forti periodi di magra.

Una situazione di magra può portare a un'alterazione del regime idrologico, con



Alghe verdi (per lo più *Chlorophyceae*) nel Rio Barman (Resia, UD).

creazione di ambienti maggiormente lentici (ossia di acque non correnti), a un aumento della temperatura dell'acqua e a un peggioramento della qualità chimica dell'acqua per una ridotta diluizione degli inquinanti. Nei casi in cui a questa situazione si somma anche una maggiore presenza di nutrienti, può aumentare l'abbondanza delle specie vegetali acquatiche che meglio tollerano condizioni di elevata trofia, tra cui in modo particolare le alghe.

In generale, negli eventi di magra si può verificare quindi uno stress maggiore a carico delle comunità acquatiche, con variazioni nella composizione e abbondanza degli organismi. Questo potrà accadere sia in corsi d'acqua naturali senza pressioni che in corsi d'acqua alterati da pressioni antropiche: un esempio sono i tratti fluviali interessati da derivazioni idriche con rilascio del Deflusso Minimo Vitale, considerato che in queste situazioni potrà essere presente uno stress maggiore a carico delle comunità rispetto a quello rilevato con la variabilità naturale delle portate.

AUMENTO DELLA TEMPERATURA DELL'ACQUA

Gli eventi di magra sono tra le cause dell'aumento della temperatura dell'acqua soprattutto per il rallentamento della corrente: in queste condizioni

la temperatura dell'acqua risente più direttamente dell'aumento della temperatura atmosferica.

Tale situazione può avere sia impatti diretti, considerando che molti organismi acquatici hanno fasi di vita che si sviluppano in determinati intervalli di temperatura, sia impatti indiretti, dato che la temperatura regola molti processi chimici e biologici che avvengono all'interno dei sistemi fluviali.

Un esempio di impatto diretto interessa molte specie che, in assenza dell'habitat ideale, andranno incontro a scomparire dall'habitat originario, per periodi più o meno lunghi, se non saranno in grado di spostarsi su zone più fresche o maggiormente ossigenate

Come effetti indiretti, ci possono essere alterazioni, anticipazioni o ritardi nelle condizioni idonee a determinate funzioni biologiche ed ecologiche degli ecosistemi fluviali, con un aumento nella presenza e abbondanza di specie vegetali tolleranti alle variazioni dell'habitat fluviale.

L'aumento delle temperature può inoltre influenzare la durata del periodo vegetativo. Anche nel periodo invernale, dove si conta un minor numero di giorni 'freddi' rispetto alla media, gli effetti possono essere diversi a seconda degli ambienti e del tasso di nutrienti presente.

ALTRI FATTORI CHE IMPATTANO SULLA VEGETAZIONE ACQUATICA

A queste conseguenze dei cambiamenti climatici si sommano gli **effetti delle modalità di gestione degli ecosistemi fluviali**, sia in senso trasversale con arginature o difese spondali, sia in senso longitudinale per briglie o captazioni idriche che possono causare alterazioni idrologiche e variazione dei volumi di sedimenti.

Alterazioni delle caratteristiche fisiche e naturali dell'ambiente acquatico perfluviale possono inoltre favorire l'ingresso e lo sviluppo di **specie alloctone*** e possono causare una perdita di biodiversità. Un esempio di pianta acquatica alloctona frequentemente rilevata nel territorio

regionale è *Elodea canadensis* (conosciuta come Peste d'acqua comune), che predilige acque calme in un'ampia gamma di condizioni fisiche, ma caratterizzata da una crescita e riproduzione vegetativa rapida tale da ridurre la biodiversità di un luogo.

IL MONITORAGGIO DELLE MACROFITE DA PARTE DI ARPA FVG: ALCUNI SEGNALI

Le macrofite sono uno degli elementi inclusi nel monitoraggio che ARPA FVG effettua per la **classificazione dello stato ambientale delle acque** nelle modalità definite dal Codice dell'Ambiente (D.Lgs. 152/2006) che recependo la Direttiva Quadro Acque 2000/60/CE ha come obiettivo il buono stato di tutte le acque superficiali interne.

Il **campionamento** delle macrofite viene effettuato **due volte all'anno**, tra la tarda primavera e l'inizio della stagione autunnale, in tutti i corpi idrici considerati "non a rischio di raggiungere l'obiettivo di qualità" (rete di monitoraggio di sorveglianza) con **cadenza sessennale**, nonché nei corpi idrici della cosiddetta "rete nucleo" dove il monitoraggio ha **cadenza triennale**. Nei corpi idrici in "a rischio di non raggiungere gli obiettivi ambientali" (rete di monitoraggio operativo) il campionamento è previsto in base agli impatti previsti e agli esiti dei monitoraggi delle annualità precedenti.

Le stazioni dove viene condotto il campionamento sono generalmente localizzate in punti che consentono di verificare i possibili effetti di tutte le pressioni che insistono sul corpo idrico. Questi monitoraggi sono pertanto finalizzati a valutare lo stato ambientale del corpo idrico, **non a rilevare altri fenomeni, tra cui gli effetti dei cambiamenti climatici**. Nonostante ciò **qualche segnale è emerso** negli anni: ad esempio alcune stazioni monitorate durante la crisi idrica registrata nell'anno 2022 hanno registrato un aumento delle coperture vegetali e della biomassa complessiva, in riferimento al periodo primaverile.

Per un monitoraggio finalizzato a rilevare gli effetti dei cambiamenti climatici sarebbe necessario adottare modalità di campionamento specifiche: ad esempio effettuare i campionamenti ogni anno e scegliere delle aree maggiormente rappresentative, caratterizzate da comunità di



Campionamento di macrofite effettuato dal personale tecnico di ARPA FVG.

macrofite acquatiche ben strutturate e tipiche delle diverse condizioni idrologiche che caratterizzano tutto il territorio regionale. Andrebbero anche affiancate valutazioni periodiche sulle condizioni idrologiche e chimiche delle acque.

POSSIBILI SOLUZIONI PER RIDURRE GLI IMPATTI CLIMATICI SUI CORSI D'ACQUA

Visti gli effetti sopra dettagliati dei cambiamenti climatici sull'idrologia dei corsi d'acqua, una soluzione potrebbe essere garantita dal **mantenimento della naturalità** sia nell'ambiente acquatico sia nell'ambiente perifluviale. Un'adeguata estensione e composizione in **specie autoctone*** e **riparie** della vegetazione presso le sponde può garantire il mantenimento di una buona funzionalità (ovvero la capacità di mantenere i processi ecologici fluviali). Una **fascia vegetativa ben strutturata** è in grado di intercettare il flusso subsuperficiale tramite l'apparato radicale e compiendo la traspirazione **sottrae calore** raffreddando gli apporti idrici laterali. Tale effetto positivo si

somma all'**ombreggiamento** garantito dalle chiome per mantenere fresche le acque fluviali. Le caratteristiche morfologiche della vegetazione riparia*, soprattutto riguardo all'apparato radicale, garantiscono inoltre una **funzione di filtro** dal territorio circostante, intercettando i nutrienti.

Sarebbe necessario inoltre garantire il mantenimento di condizioni naturali secondo tutte le dimensioni attraverso cui può essere valutato un corso d'acqua (longitudinale da monte a valle, trasversale da sponda a sponda e verticale in collegamento con la falda sotterranea), a garanzia di una **maggiore naturalità nel regime** delle portate e del **mantenimento dell'ecosistema** acquatico e fluviale. La scelta di queste soluzioni deve essere valutata caso per caso, tenendo conto del contesto locale, delle diverse esigenze del territorio e dei vincoli determinati dalle normative dei diversi settori coinvolti.

Arianna Macor, Damiano Virgilio, Elisa Zanut
ARPA FVG

PAROLE CHIAVE

STATO TROFICO

condizione di presenza e quantità di nutrienti in un ambiente acquatico. Si distinguono ambienti oligotrofici (con poche sostanze nutritive disciolte), mesotrofico (a condizioni intermedie, potenzialmente a rischio eutrofizzazione) ed eutrofici (ambienti ricchi di sostanze nutritive).

ORGANISMI AUTOTROFI

organismi che sono in grado di sintetizzare composti organici essenziali a partire da sostanze inorganiche, utilizzando principalmente energia luminosa (fotosintesi clorofilliana).

BIOINDICATORI

(o indicatore biologico) organismo o sistema biologico usato in genere per valutare una modifica della qualità dell'ambiente. Non è altro che un bersaglio biologico che, in presenza di stress naturale o antropico, subisce variazioni rilevabili del proprio stato naturale a diversi livelli (genetico, morfologico e della comunità).

VEGETAZIONE RIPARIA

vegetazione erbacea, arborea e arbustiva che vive nell'interfaccia tra l'ambiente acquatico e il territorio circostante, contigua al corso d'acqua e interessata dalle piene o dalla falda freatica fluviale.

VEGETAZIONE PERIFLUVIALE

vegetazione arborea e arbustiva che vive nella fascia di territorio immediatamente esterna al corso d'acqua.

SPECIE ALLOCTONE

specie che si trovano fuori dal loro areale naturale di distribuzione e dispersione naturale per cause antropiche, poiché introdotte in modo intenzionale o accidentale dall'uomo. Si distinguono dalle **SPECIE AUTOCTONE**, che si trovano nella loro naturale area di distribuzione e di dispersione potenziale senza l'intervento dell'uomo.

MACROINVERTEBRATI: PICCOLI ANIMALI, GRANDI BIO-INDICATORI PER GLI ECOSISTEMI ACQUATICI



Tecnici di ARPA FVG effettuano un campionamento di macroinvertebrati.

I cambiamenti climatici amplificano gli effetti di altre pressioni antropiche sugli ecosistemi fluviali.

I principali impatti sui macroinvertebrati si manifestano come modificazioni della fisiologia, cicli di vita, riproduzione, comportamenti, ecc.

I macroinvertebrati sono già utilizzati come bioindicatori dello stato ecologico dei fiumi, ma serviranno nuovi studi per monitorare gli effetti specificamente collegati ai cambiamenti climatici.

Il riscaldamento globale e le variazioni nel regime delle precipitazioni contribuiscono, tra i vari effetti che riguardano le acque interne, all'aumento degli eventi di piena e di magra estremi, all'abbassamento delle falde e all'aumento della temperatura. Questi impatti fisici amplificano le conseguenze sulla biodiversità e sui servizi ecosistemici delle pressioni antropiche che già insistono sugli ambienti fluviali: ad esempio, tratti rettificati e confinati tramite arginature, estrazione di inerti, sponde devegetate, riduzione delle portate, *hydropeaking* (ossia oscillazioni periodiche delle portate indotte da opere di derivazione delle acque superficiali), scarichi e agricoltura intensiva. Gli effetti sopra descritti colpiscono anche le comunità di macroinvertebrati, tra i più conosciuti e utilizzati bioindicatori degli ecosistemi acquatici.

MACROINVERTEBRATI: UNA GRAN VARIETÀ DI ORGANISMI CON UN RUOLO IMPORTANTE

I macroinvertebrati sono un raggruppamento di invertebrati che vivono almeno per una parte della loro vita negli ambienti acquatici e sono visibili a occhio nudo. Essi si trovano in vari ecosistemi quali mari, fiumi, torrenti, sorgenti, laghi, stagni, lagune e zone umide. Le comunità di macroinvertebrati sono molto diverse e comprendono migliaia di specie appartenenti a diversi phyla (grandi suddivisioni del regno animale), tra cui in particolare **Artropodi** (es. crostacei e insetti), **Molluschi** (gasteropodi e bivalvi), **Anellidi** (vermi segmentati), **Nematodi** (vermi cilindrici), **Platelminti** (vermi piatti).

I macroinvertebrati sono un importante anello della catena alimentare degli ambienti acquatici e possono ricoprire diversi ruoli trofici (detritivori*, erbivori*, predatori*).

Grazie alla loro abbondanza, diversità e sensibilità alle variazioni ambientali, i macroinvertebrati sono ampiamente utilizzati come bioindicatori per valutare lo stato di salute degli ecosistemi in cui vivono e monitorare gli effetti degli stress ambientali, come l'inquinamento, le alterazioni idromorfologiche e i cambiamenti climatici.



Famiglia Tubificidae

ANELLIDI OLIGOCHETI

La maggior parte vive in acque lente. Sono per lo più detritivori. Alcune specie sono molto resistenti a fenomeni di inquinamento e a bassi livelli di ossigeno disciolto. Si muovono strisciando sul fondo e possono formare dei tubuli nel fango in cui si infossano tenendo scoperta solo la parte posteriore che ha funzione respiratoria.



Famiglia Emmericidae

MOLLUSCHI GASTEROPODI

Hanno una conchiglia con avvolgimento a spirale. Vivono in ambienti acquatici per lo più calmi e ricchi di vegetazione. Sono raschiatori e filtratori e capaci di muoversi attraverso un «piede» che secerne muco. Piuttosto sensibili ai fenomeni di inquinamento che alterino il pH delle acque e meno a quello di carico organico.



Famiglia Elmidae

INSETTI COLEOTTERI

In alcuni casi vivono in ambiente acquatico sia le larve (a destra) sia gli adulti (a sinistra). Sono per lo più detritivori o predatori e olometaboli (cioè hanno metamorfosi completa larva - pupa - adulto). Le diverse fasi possono durare da alcuni mesi ad alcuni anni a seconda delle specie. Sono discreti indicatori della qualità delle acque.



Famiglia Gammaridae

CROSTACEI ANFIPODI

Presentano un corpo compresso in senso laterale. Vivono in acque a decorso lento o moderato con substrato fine e sono detritivori. Discreti indicatori delle qualità delle acque anche se diverse specie tollerano condizioni di elevato carico organico.



Famiglia Chironomidae

INSETTI DITERI

Gruppo vasto delle mosche e delle zanzare. Hanno una metamorfosi completa. Solo le larve vivono in ambiente acquatico e possono vivere in condizioni ecologiche diverse (es. acque correnti o stagnanti). Ricoprono tutti i ruoli trofici a seconda delle specie (detritivori, erbivori, predatori). In generale sono piuttosto resistenti all'inquinamento e alle alterazioni ambientali in genere a seconda delle specie



Famiglia Perlodidae

INSETTI PLECOPTERI

Vita acquatica solo larvale e adulti che assomigliano alle larve ma con sviluppo alare e perdita delle due protuberanze terminali. La maggior parte delle specie necessita di acque fredde e ben ossigenate. Sono per lo più predatori o detritivori e molto sensibili all'inquinamento. La vita larvale può durare da pochi mesi a qualche anno.

LA TEMPERATURA DELL'ACQUA: UN FATTORE CRUCIALE

La temperatura dell'acqua è uno dei principali fattori abiotici che influenzano la struttura e il funzionamento degli ecosistemi acquatici e la sua alterazione **può avere effetti importanti anche sui macroinvertebrati**; tuttavia, le loro risposte alla temperatura sono scarsamente documentate e non sono state ancora valutate sistematicamente. Abbiamo comunque a disposizione una recente revisione, a cura dell'Università Bicocca di Milano, di 223 pubblicazioni internazionali che prendevano in considerazione gli effetti della temperatura sui macroinvertebrati di acqua dolce.

GLI EFFETTI SUI MACROINVERTEBRATI

I principali effetti diretti e indiretti della temperatura sulla comunità di macroinvertebrati possono essere riassunti in:

1. EFFETTI FISIOLGICI E METABOLICI

La temperatura influisce sull'espressione genica, la capacità di osmoregolazione, la respirazione, la dimensione corporea, i tassi di crescita e la dimensione al momento dell'emergenza (la fase in cui gli insetti escono dall'acqua per diventare adulti). Ad esempio, temperature più elevate accelerano il metabolismo, portando a una crescita più rapida ma a una dimensione corporea inferiore.

2. EFFETTI SUI CICLI DI VITA

Temperature più alte possono influenzare i cicli di vita dei macroinvertebrati, accelerando lo sviluppo e riducendo la durata delle fasi larvali. Questo può portare a cambiamenti nei tempi di emergenza e nella sincronizzazione delle popolazioni.

3. EFFETTI SULLA RIPRODUZIONE

Temperature elevate possono ridurre la fecondità e il successo della schiusa, mentre temperature ottimali promuovono una maggiore produzione di uova e un maggiore successo riproduttivo.

4. **EFFETTI COMPORIMENTALI** La temperatura può influenzare la migrazione, la deriva, l'alimentazione e la predazione. Ad esempio, temperature elevate possono aumentare la deriva e alterare i comportamenti di alimentazione. I predatori possono diventare più attivi a temperature più alte, aumentando la pressione predatoria sui macroinvertebrati. Tuttavia, in alcuni casi, i predatori possono essere più vulnerabili alle alte temperature rispetto alle loro prede.
5. **EFFETTI ECOLOGICI** La temperatura influisce sulla ricchezza della comunità, la composizione tassonomica (ossia quali specie sono presenti), la densità, la distribuzione, la lunghezza della catena alimentare e la struttura della comunità. Temperature più alte possono favorire specie euriterme* e generaliste, mentre specie stenoterme* e specializzate possono subire una riduzione dell'habitat disponibile e un aumento del rischio di estinzione, portando a una maggiore omogeneizzazione delle comunità di macroinvertebrati.
6. **EFFETTI EVOLUTIVI** L'aumento di temperatura può causare divergenze evolutive di popolazioni di una stessa specie causate da esposizioni a temperature diverse su scale temporali estese che portano alla frammentazione e all'isolamento delle popolazioni, con conseguente perdita di diversità genetica.
7. **DISPONIBILITÀ DI OSSIGENO** Temperature più elevate riducono la solubilità dell'ossigeno nell'acqua, aumentando la domanda di ossigeno per la respirazione. Questo può causare stress respiratorio nei macroinvertebrati, specialmente in quelli con una tolleranza termica più bassa.
8. **CAMBIAMENTI NELLA QUALITÀ E QUANTITÀ DEL CIBO** L'aumento della temperatura può influenzare la produzione primaria e la decomposizione della materia organica, alterando la disponibilità di risorse alimentari per i macroinvertebrati. Ad esempio, temperature più alte possono accelerare la decomposizione della materia organica, riducendo la disponibilità di cibo per i detritivori.

STUDI ANCORA DA APPROFONDIRE

La temperatura, dunque, influenza in modo determinante la disponibilità di risorse, le interazioni ecologiche, la distribuzione delle specie e la struttura delle comunità. Tuttavia, è solo dagli anni 2000 che si sono cominciati a sviluppare studi che coinvolgevano scale spaziotemporali estese e che indagavano gli effetti del riscaldamento globale, oltre che, in tempi ancora più recenti, gli effetti della temperatura a livello genetico ed evolutivo. Le risposte fisiologiche, metaboliche e riproduttive a livello di comunità testate su individui o popolazioni dovrebbero essere studiate più in dettaglio, dato che è probabile che i loro effetti macroecologici siano potenziati dal riscaldamento climatico.

I MACROINVERTEBRATI MONITORATI DA ARPA FVG

Il monitoraggio dei macroinvertebrati bentonici effettuato da ARPA FVG è parte di un **approccio ecosistemico ampio** in cui vengono integrate più informazioni fornite da diversi indicatori. La Direttiva Europea sulle Acque 2000/60/CE, poi recepita dall'Italia con il D.Lgs.152/06, ha stabilito un quadro d'azione comunitaria per la protezione di tutte le acque presenti sul territorio della comunità europea. In Italia le diverse ARPA/APPA sono incaricate di eseguire i monitoraggi e la classificazione dello stato ambientale secondo i **protocolli ufficiali** definiti a livello europeo.

Per quanto riguarda i macroinvertebrati bentonici, **i campionamenti vengono eseguiti tre volte in un anno** in stagioni diverse (inverno, primavera, estate) e sono ripetuti **ogni tre anni** oppure a distanze maggiori a seconda della presenza o meno di pressioni e degli eventuali impatti che vengono evidenziati. Sono effettuati da valle verso monte utilizzando un retino immanicato che termina con un bicchiere di raccolta in cui finiscono gli esemplari tramite la movimentazione del substrato minerale o vegetale all'interno di un'area definita posta davanti alla bocca del retino. In generale ogni punto prevede il campionamento di 10 zone individuate tra quelle più rappresentative rispetto agli habitat presenti e definite su base percentuale.

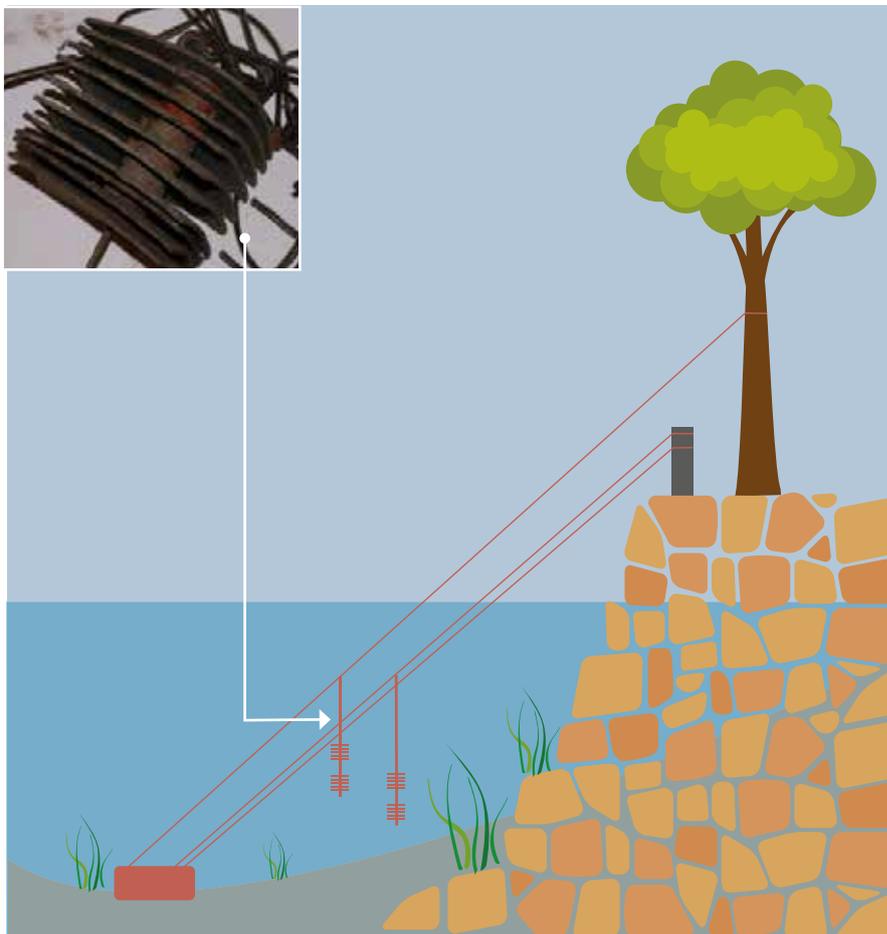


Retino immanicato con bicchiere di raccolta, utilizzato per il campionamento dei macroinvertebrati.



Personale di ARPA FVG effettua un campionamento di macroinvertebrati.

Nel caso in cui un fiume sia troppo profondo per essere guadato, al posto dei retini si utilizzano dei supporti artificiali fissati a strutture quali ad esempio alberi, palizzate, banchine e lasciati lungo la colonna d'acqua per circa un mese affinché vengano colonizzati dagli invertebrati. Successivamente il campione raccolto viene **analizzato in campo** per una prima determinazione degli esemplari e una parte di essi viene conservata per l'identificazione in **laboratorio** tramite microscopi. Alla fine viene redatta una **lista faunistica** completa dei dati raccolti in campo e in laboratorio e infine, tramite **analisi** che utilizzano specifici indici e valori di riferimento, si definisce lo **stato ecologico complessivo**.



Schema di come i supporti artificiali possono essere fissati tramite cima a strutture (es. albero). In alto a sinistra: foto dei supporti artificiali formati da lamelle di faesite riunite insieme tramite viti e distanziate da gommini a formare dei grappoli ad area definita.

UNA GRAN VARIETÀ DI CONDIZIONI E RISPOSTE DEI MACROINVERTEBRATI

Pur essendo una regione relativamente piccola il Friuli Venezia Giulia presenta **una grande varietà di condizioni ecologiche** e climatiche oltre che una diversità nella distribuzione delle principali pressioni, pertanto le risposte degli indicatori biologici e in particolare dei macroinvertebrati bentonici sono molto complesse e articolate. I risultati ottenuti dal 2009, anno in cui sono iniziati i campionamenti secondo le richieste della Direttiva Europea sulle Acque, indicano che **in condizioni inalterate, per lo più rinvenibili nelle aree montane** lontane da grandi agglomerati urbani e insediamenti industriali e non interessate da prelievi idrici e da alterazioni morfologiche, **le comunità di macroinvertebrati sono spesso ricche e diversificate**, caratterizzate dai gruppi più adattati a questi ambienti, dove le temperature dell'acqua sono rigide, la corrente impetuosa e la disponibilità di ossigeno disciolto elevata.

Scendendo **dalla montagna alla pianura** si osserva **un calo generale di biodiversità** legato in parte a condizioni naturali ma soprattutto alla maggior presenza di pressioni. **L'effetto delle pressioni antropiche** sulle comunità è evidente soprattutto in ambienti già intrinsecamente fragili come **i tratti dell'alta pianura**, in quanto in molti casi l'acqua non presenta uno scorrimento superficiale per lunghezze più o meno ampie dato che finisce in subalveo a causa della permeabilità del letto del fiume. Viceversa, le **rogge di risorgiva** che riemergono a seguito della presenza di strati di argilla impermeabili, consentono uno scorrimento costante nel tempo e la presenza di comunità di invertebrati piuttosto ampie e differenziate grazie soprattutto alla ricchezza degli habitat vegetali presenti, anche se in molti casi, possono essere presenti in grande numero anche gruppi maggiormente capaci di adattarsi agli impatti antropici.

SPECIE ALIENE NEI NOSTRI FIUMI

Uno degli obiettivi principali per permettere un uso sostenibile della risorsa idrica è la conservazione degli ecosistemi acquatici e il conseguente raggiungimento del "buono" stato ecologico in un contesto geografico, come quello europeo, in cui i fiumi sono gli ecosistemi di acqua dolce più frammentati al mondo.

LA VONGOLA ASIATICA E IL GAMBERETTO KILLER

Altre specie alloctone con caratteristiche molto evidenti quali ad esempio il crostaceo anfipode detto Gamberetto killer (*Dikerogammarus villosus*) o il mollusco bivalve Vongola asiatica (*Corbicula fluminea*) non sono mai state rinvenute durante i campionamenti effettuati da ARPA FVG anche se ormai sono una componente comune in molte acque di regioni vicine e in aumento costante.

In questi casi l'introduzione accidentale è dovuta in particolare agli spostamenti attraverso nuovi canali aperti a opera dell'uomo per la connessione di fiumi e laghi, trasporto passivo nelle acque di zavorra delle navi, acquacoltura nonché le sempre più numerose attività acquatiche sportive e ricreative soprattutto nei laghi.



Vongola asiatica
(*Corbicula fluminea*)

Gamberetto killer
(*Dikerogammarus villosus*).



Foto: MikeMurphy

Gambero rosso della Louisiana (*Procambarus clarkii*).

IL GAMBERO DELLA LOUISIANA

Uno degli esempi più conosciuti è quello del Gambero della Louisiana (*Procambarus clarkii*), per il cui controllo ed eradicazione in regione è stato sviluppato il progetto internazionale LIFE Rarity durato tra il 2011 e il 2014 il cui capofila era l'ETP ora ETPI (Ente Tutela Patrimonio Ittico del Friuli Venezia Giulia). I risultati ottenuti hanno indicato una presenza piuttosto limitata del gambero alloctono, interessando poche aree al di sotto della linea delle risorgive e con popolazioni contenute (report finale [Rarity, 2014 - https://www.etpi.fvg.it/media/files/ETPI/attachment/VI_report-monitoraggio_bdZnlW.pdf](https://www.etpi.fvg.it/media/files/ETPI/attachment/VI_report-monitoraggio_bdZnlW.pdf)).

I campionamenti di ARPA FVG, pur non essendo strutturati specificamente per il monitoraggio dei gamberi di fiume, non hanno mai portato a catture di esemplari del Gambero della Louisiana o di altre specie invasive di decapodi mentre in alcune stazioni sono risultati presenti i gamberi autoctoni appartenenti al complesso di specie *Austropotamobius pallipes complex*. A seguito di interconfronti effettuati a cadenza quasi annuale con altre ARPA/APPA di regioni vicine è stato possibile verificare durante alcuni campionamenti in Veneto e Lombardia la presenza di popolazioni molto strutturate in aree di pianura del Gambero della Louisiana.

INDAGINI COMPLESSE CHE VALE LA PENA DI PROSEGUIRE

Se per quanto riguarda le specie più facilmente individuabili le conoscenze cominciano a consolidarsi, il problema riguarda quelle meno appariscenti e di più piccole dimensioni, dato che richiedono il riconoscimento a un livello molto dettagliato che necessita di una capacità tassonomica elevata. Per lo stesso motivo, gli indici utilizzati per la classificazione dello stato ecologico tramite macroinvertebrati non prendono in considerazione le specie aliene. Eppure in tutta Italia c'è stato un incremento della diffusione di specie alloctone con un progressivo mutamento delle comunità acquatiche che ha subito un'accelerazione negli ultimi decenni.

Non si può, pertanto, escludere che se fossero approntate analisi più di dettaglio potrebbero essere rinvenute specie alloctone non ancora conosciute nelle acque del Friuli Venezia Giulia. Ad esempio, grazie al progetto *Interreg Grevislin* tra Italia e Slovenia (2018-2021) per lo sviluppo di infrastrutture verdi e il monitoraggio delle acque e degli habitat nelle aree transfrontaliere del bacino dell'Isonzo, è stato possibile un confronto coi colleghi sloveni che ha permesso di accertare la presenza della planaria *Dugesia tigrina*, specie alloctona proveniente dal Nord America. Pertanto, sarebbe auspicabile che le analisi effettuate per la classificazione dello stato



Foto: Dick Belgers

Planaria
Dugesia tigrina

ecologico tenessero conto anche di queste problematiche che potrebbero essere in gran parte ancora sconosciute e che potrebbero essere accelerate dai cambiamenti climatici, poiché le specie aliene spesso tollerano uno spettro più ampio di condizioni ambientali rispetto alle specie locali, adattate a condizioni più specifiche (ad esempio temperature più fresche delle acque).

PROLIFERAZIONI E CAMBIAMENTI NELLE POPOLAZIONI DEI SIMULIDI

Uno dei fenomeni più conosciuti legati ai macroinvertebrati acquatici in Friuli Venezia Giulia a partire dagli anni '80 del secolo scorso è stata la proliferazione nelle aree della bassa pianura dei Simulidi, insetti dell'ordine dei Ditteri (zanzare e mosche).

LARVE FILTRATRICI E FEMMINE ADULTE EMATOFAGHE

Sono dei moscerini che fanno la fase larvale e di pupa all'interno dei corsi d'acqua dalla montagna alla pianura. Le larve sono dotate di apparato boccale filtratore e si fissano al substrato con la porzione terminale dell'addome modificata come una sorta di ventosa per stare vicino al pelo dell'acqua, al fine di raccogliere il materiale particolato fine trasportato dalla corrente. Nelle rogge, mancando rocce e altri elementi minerali di grandi dimensioni, si fissano sulla vegetazione flutuante. La contemporanea presenza di una grande abbondanza di habitat idonei e di risorse alimentari ha portato al drastico

aumento di individui con problematiche sociali e sanitarie legate al fatto che le femmine adulte sono ematofaghe, anche se alcune specie prediligono l'uomo mentre altre bovini ed equini.



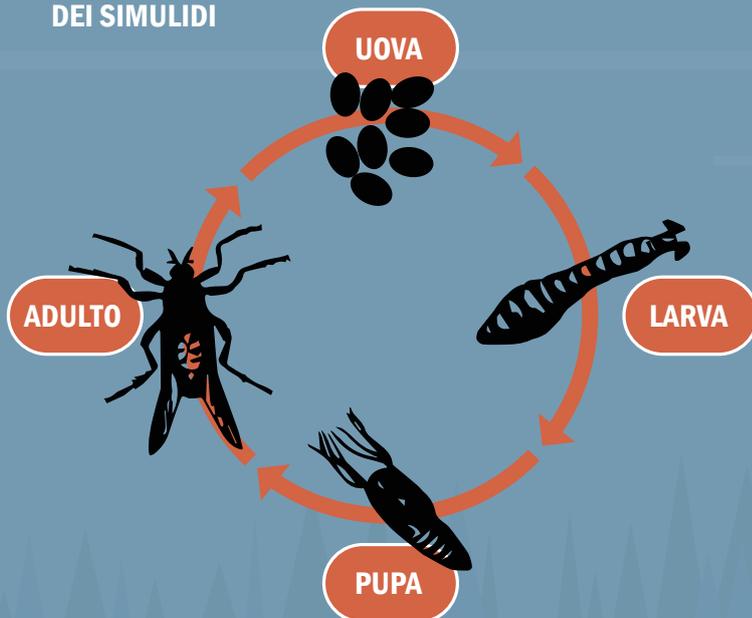
Foto: ARPA FVG

Larve di Simulidi

I MONITORAGGI DI ARPA FVG

ARPA FVG aveva effettuato dei monitoraggi appositi al fine di verificare i risultati dell'utilizzo dell'endotossina di un ceppo specifico del batterio sporigeno *Bacillus thuringiensis* per contrastare la diffusione delle larve di questi Ditteri.

CICLO VITALE DEI SIMULIDI



Gli ultimi monitoraggi effettuati nel 2009 avevano verificato un decremento delle popolazioni di Simulidi con la presenza di quattro specie i cui adulti possono colpire l'uomo o gli animali.

Da allora non sono più stati effettuati campionamenti specifici dato che l'emergenza sembra essere rientrata, anche se le larve di Simulidi continuano a essere ben presenti soprattutto nelle rogge.

LE CAUSE DELLA PROLIFERAZIONE

Uno dei maggiori esperti italiani di tale gruppo, il Dott. Rivosecchi, aveva pubblicato nel 2005 un articolo in cui considerava anche gli effetti della modificazione del paesaggio sulla proliferazione di tali insetti in diverse aree italiane, citando, tra le altre, le problematiche registrate in Friuli Venezia Giulia. In sostanza, pur considerando fondamentali le modificazioni alle condizioni

PAROLE CHIAVE

ERBIVORI

organismi che si nutrono della materia vegetale vivente dalle microalghe alle piante superiori.

DETRITIVORI

organismi che si nutrono della componente organica in decomposizione presente nel detrito.

PREDATORI

organismi che si nutrono di altri animali.

SPECIE EURITERME

sono quelle specie in grado di sopportare ampie variazioni di temperatura

SPECIE STENOTERME

sono specie che non sono in grado di sopportare ampie e brusche variazioni di temperatura per poter vivere.

dei corsi d'acqua, ritiene che non possano essere trascurati anche i cambiamenti delle abitudini e del paesaggio agrario, in particolare l'eliminazione di barriere naturali vegetazionali a ridosso dei corsi d'acqua nonché la riduzione del bestiame allo stato brado che avrebbe determinato un passaggio da specie di Simulidi per lo più legate ai bovini a quelle che attaccano prevalentemente l'uomo. Di particolare interesse sono anche le considerazioni relative ai massicci attacchi con morie a volte numerose di bovini al pascolo in diverse zone alpine italiane che si registrano da decenni e a cui potrebbero aver contribuito azioni umane quali, nei casi specifici considerati, la cattura delle acque per vari scopi antropici e cementificazioni che avrebbero determinato un riscaldamento dell'aria, favorendo il trasferimento di Simulidi a quote elevate. Immaginando la problematica su una scala più ampia, si può comprendere come il riscaldamento globale possa incrementare fortemente la tendenza osservata.

UNA VISIONE AMPIA PER CAPIRE FENOMENI COMPLESSI

La perdita di diverse specie di Simulidi e la proliferazione di poche, meglio adattate a nuove condizioni ambientali, rappresenta un esempio di come occorra una visione ampia alla cui base stia il concetto di sostenibilità. In generale si possono ottenere alcuni risultati con misure eccezionali ma il rischio è che siano limitati nel tempo e che non permettano di affrontare le problematiche a monte, a partire da quelle ambientali a scala locale (ad esempio riduzione dei nutrienti, fasce tampone ecc.) per arrivare a quelle più imponenti su scala globale.



Secca del Fiume Isonzo nei pressi di Turriaco, GO (15/09/2022).

ALTERAZIONI AMPLIFICATE DAI CAMBIAMENTI CLIMATICI

In molti casi, gli effetti descritti possono non essere facilmente individuati a livello di popolazioni su scale temporali così ristrette. È, però, indubbio che tali alterazioni siano in atto e, in certi casi, sono più evidenti perché derivano dall'**azione sinergica di diverse pressioni** e potrebbero essere **amplificate dai cambiamenti climatici** in atto.

Ad esempio, le problematiche sopra evidenziate per quanto riguarda gli ambienti di pianura potrebbero essere accelerate dai fenomeni di siccità prolungata alternati a fasi di precipitazioni estreme, come avvenuto negli ultimi anni.

Anche gli effetti dell'**hydropeaking**, ben evidenti ad esempio sul fiume Isonzo, potrebbero essere incrementati e accelerati dai cambiamenti climatici. Le comunità, infatti, allo stato attuale rispondono alle diverse fasi giornaliere di picchi di rilascio e di riduzione forzata delle portate con una contrazione del numero di taxa presenti e spesso con pochi esemplari. Se a fasi di riduzione di portata si assommassero periodi di siccità estrema, come avvenuto ad esempio nel 2022, ciò potrebbe alterare ancor più pesantemente la composizione di una comunità già fortemente ridotta. Il rischio è anche la **perdita di quelle aree inondabili laterali rispetto all'alveo** che funzionano da riserva di acqua e ricovero per specie animali e vegetali in attesa di poter ritornare al fiume a seguito dei periodi di morbida.

I cambiamenti climatici possono anche concorrere a favorire la diffusione e il successo di **specie aliene**, cioè provenienti da aree molto diverse da quelle di origine a causa di condizioni favorevoli per il loro sviluppo, spesso a scapito di quelle autoctone (come vediamo nel box di approfondimento sulle **SPECIE ALIENE NEI NOSTRI FIUMI**). L'aumento delle temperature può inoltre influenzare anche la diffusione di specie collegate a problematiche sanitarie (come vediamo nel box di approfondimento **PROLIFERAZIONI E CAMBIAMENTI NELLE POPOLAZIONI DEI SIMULIDI**).

PER UN FUTURO RESILIENTE

Al fine di non perdere il contributo che i macroinvertebrati forniscono ai **servizi ecosistemici** e per potere continuare ad ammirare loro meravigliosa complessità è necessaria un'inversione di rotta, innanzitutto prendendo coscienza degli interventi fondamentali per ristabilire e migliorare condizioni compromesse dall'uomo, *in primis* la **restituzione dell'acqua** laddove è stata sottratta del tutto o quasi, una maggior attenzione alla capacità recettiva dei corpi idrici rispetto agli scarichi, il **ripristino delle connessioni** laterali con l'ambiente esterno, le sponde e il subalveo e il rispetto delle fasce tampone lungo i corsi d'acqua tramite le strategie della **riqualificazione fluviale**. Solo così sarà possibile affrontare anche i cambiamenti climatici e le ulteriori conseguenze che essi comportano.

Gabriele Piazza
ARPA FVG

IL MARE



IL MARE

Il nostro mare: sempre più alto e sempre più caldo

In questa sezione gli esperti illustrano alcuni effetti diretti dei cambiamenti climatici sul Mar Adriatico e sul Mediterraneo, fornendoci dati concreti e proiezioni per il futuro.

Nel 2024 a Trieste è stato registrato il secondo valore più alto del livello medio del mare dal lontano 1869: sebbene non si siano verificati eventi di “acqua alta”, il dato è un chiaro segnale di una tendenza ormai evidente, come ci illustra il primo articolo. La velocità di aumento del livello medio è quasi raddoppiata dal 1993, mentre gli scenari futuri dipendono dalle nostre azioni in merito alle emissioni di gas serra.

Il secondo articolo si concentra su un altro record preoccupante: la temperatura del mare. Il 2024 ha segnato un nuovo primato assoluto, con una temperatura media annua superiore ai 18 °C e picchi che hanno eguagliato il record storico di 30.8 °C. Un dato che conferma come il nostro mare stia diventando sempre più caldo.

L'ultimo articolo ci aiuta a comprendere le conseguenze di questo riscaldamento, analizzando gli effetti di un Mediterraneo sempre più caldo, che influisce non solo sulla vita marina ma anche sull'atmosfera, favorendo l'evaporazione e aumentando il rischio di eventi estremi.

LIVELLO DEL MARE NEL 2024: IL SECONDO PIÙ ALTO DELLA SERIE STORICA. E IN FUTURO?

Foto: Federica Flapp

Nel 2024 a Trieste si è registrato il secondo valore più alto del livello medio del mare dal 1869 dopo il record del 2010, ma non sono stati osservati eventi di “acqua alta”.

Dal 1993 la velocità di aumento del livello medio è 3.1mm/anno, quasi doppia rispetto a quella stimata per il 20° secolo.

Il livello del mare in futuro aumenterà ancora: di quanto, dipende dagli scenari di emissioni dei gas serra.

Il riscaldamento atmosferico globale in corso è responsabile dell'aumento del livello medio del mare attraverso due meccanismi, cioè l'aumento del volume dell'Oceano per dilatazione termica e l'aumento della massa oceanica dovuto alla fusione dei ghiacci continentali. Durante il 20° secolo il livello medio globale è aumentato alla velocità di 1.5-2.0 mm/anno, ma **durante gli ultimi 30 anni** l'aumento ha raggiunto **circa 3 mm/anno**.

I dati della stazione mareografica di Trieste Molo Sartorio, attiva da oltre 150 anni e la più antica dell'Adriatico, confermano che l'andamento del livello medio dell'Adriatico segue quello medio globale. In particolare dal 1993 l'aumento è avvenuto alla velocità di 3.1 mm/anno.

IL LIVELLO DEL MARE A TRIESTE NEL 2024

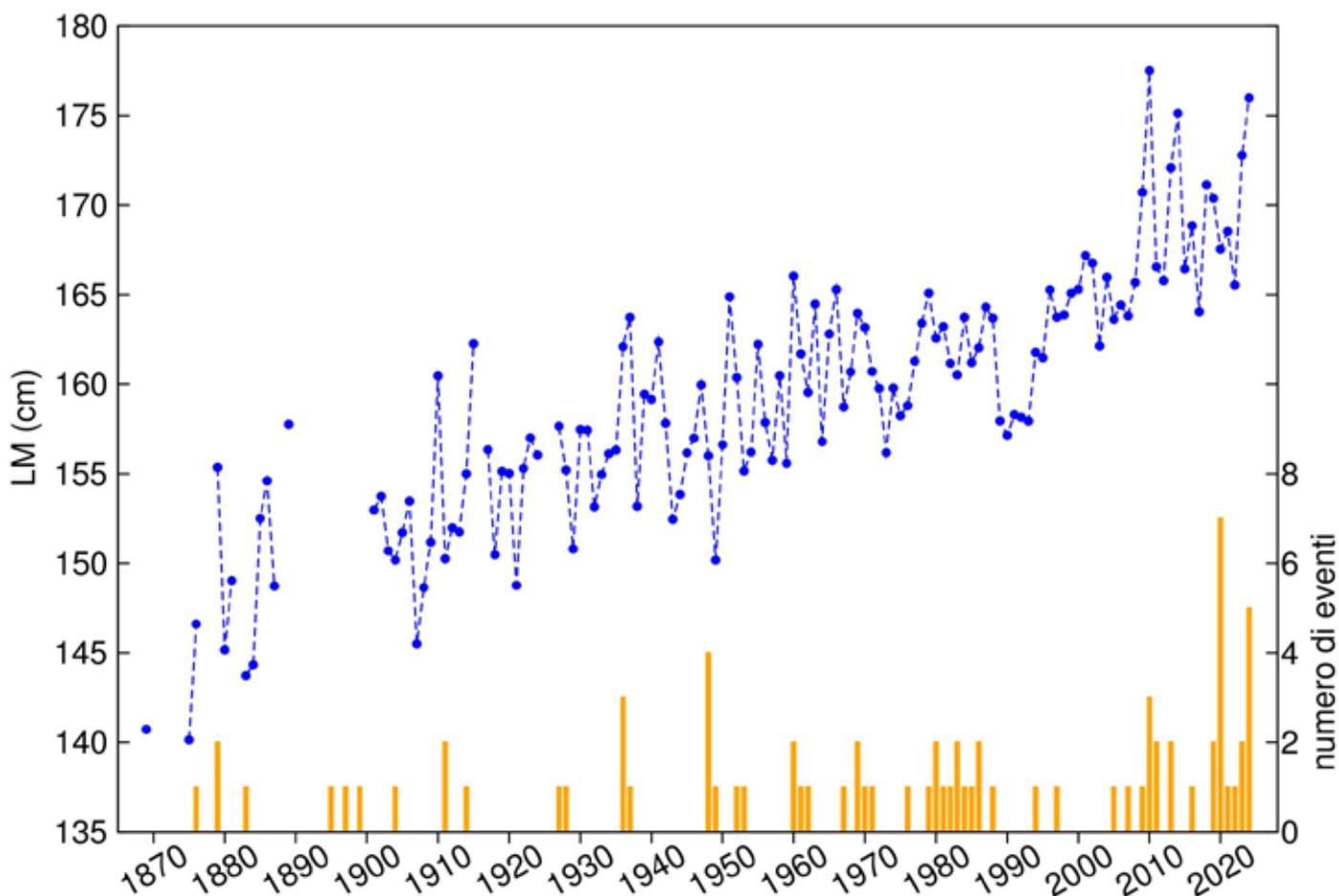
Al Molo Sartorio il livello marino viene misurato rispetto allo “Zero Istituto Talassografico”, che si trova 166.2 cm sotto lo Zero altimetrico dell’Istituto Geografico Militare Italiano.

Nel 2024 il livello è stato decisamente superiore alla norma fino a tutto ottobre. Il livello medio annuale è stato di 176.0 cm, cioè il secondo valore più alto dal 1869 dopo quello del 2010 (curva blu in figura).

Tra le conseguenze dell’aumento del livello medio si ha, in media, la crescente frequenza di eventi di “acqua alta”, dovuti a bassa pressione atmosferica e correnti di Scirocco lungo l’Adriatico, specie in autunno e inverno.

Questi eventi estremi provocano allagamenti e incrementano l’erosione costiera, anche a causa del forte moto ondoso che spesso li accompagna. L’aumento medio di frequenza di tali eventi non esclude le eccezioni come quella del 2024, che ne è stato privo: non sono state infatti osservate tracimazioni sopra il Molo Sartorio (istogramma arancione nella figura seguente). La principale ragione di questa assenza di eventi di “acqua alta” è che le profonde depressioni, con forti venti meridionali sull’Adriatico, sono state rare e relativamente deboli.

LIVELLO MEDIO ANNUALE DEL MARE ED EVENTI DI ACQUA ALTA A TRIESTE



Livello medio (LM) annuale dal 1869 al 2024 osservato a Trieste Molo Sartorio (curva blu); l’altezza è misurata rispetto alla zero mareografico.

Numero annuo di eventi di superamento del piano del molo Sartorio (istogramma arancione). (Dati: CNR-ISMAR, Trieste.)

COME POTREBBE EVOLVERE IL LIVELLO MEDIO A TRIESTE DURANTE IL 21° SECOLO?

La NASA ha recentemente messo a disposizione le proiezioni basate sugli scenari adottati nel Sesto Rapporto di Valutazione dell'IPCC (sealevel.nasa.gov/data_tools/17/; ipcc.ch/assessment-report/ar6/).

Il report fornisce **proiezioni del livello medio del mare** relative al periodo 1995-2014 per cinque diversi scenari, che dipendono dall'evoluzione della temperatura atmosferica media globale e della politica relativa alle emissioni di gas serra. I dettagli su tutti gli scenari sono disponibili in ipcc.ch/assessment-report/ar6/, mentre qui ci limitiamo a presentare i risultati in due scenari estremi.

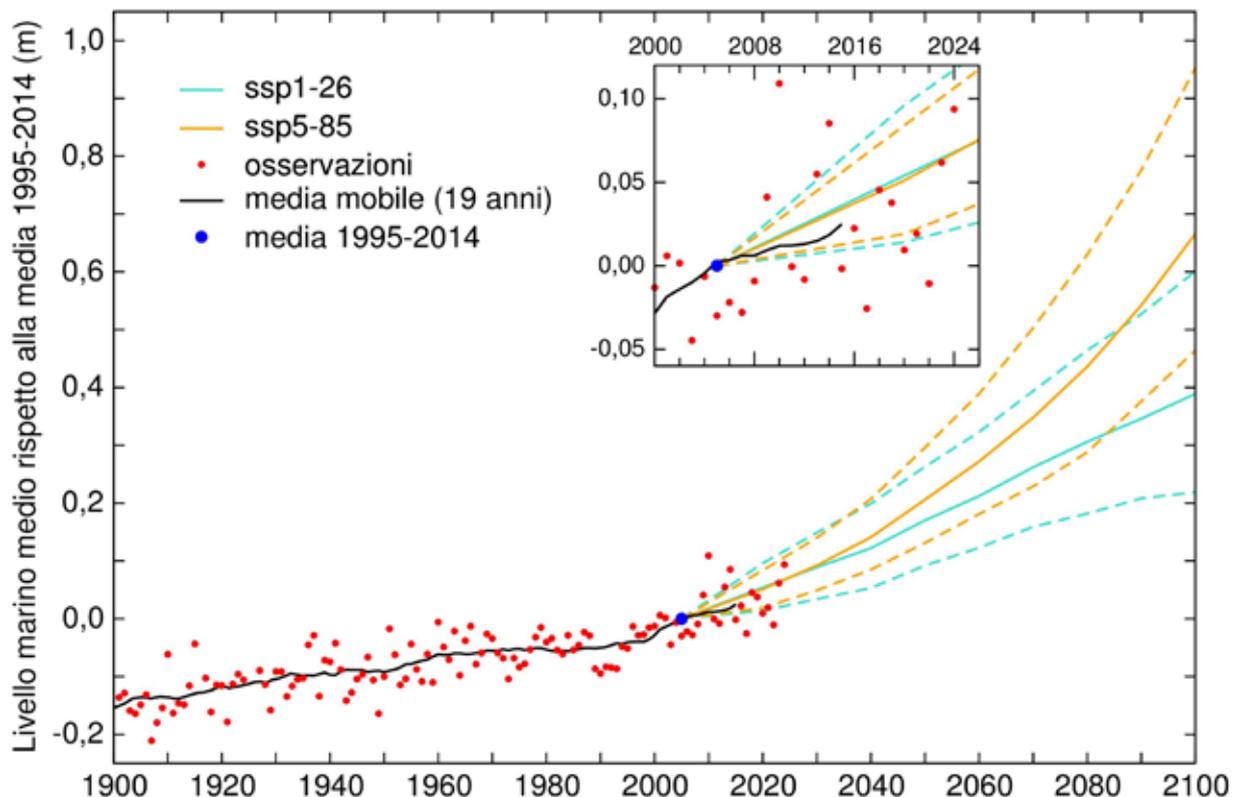
Lo **scenario più ottimistico** è chiamato SSP1-2.6: esso contempla il contenimento del riscaldamento globale nel 2100 al di sotto di 2.0 °C sopra la media del periodo 1850-1900 e implica zero emissioni nette di anidride carbonica nella seconda metà del secolo. Lo **scenario più pessimistico** è chiamato SSP5-8.5 e in sostanza non prevede alcuna politica di

contenimento; in questo caso il riscaldamento globale si colloca tra 3.3 e 5.7 °C.

La figura seguente riporta le medie annuali del livello osservate a Trieste, normalizzate in modo che la media 1995-2014 sia zero, e le proiezioni nei due scenari descritti sopra. Alle osservazioni è stata sovrapposta una media mobile, che consente di eliminare la variabilità di corto periodo. Ogni proiezione consiste di tre curve: quella continua rappresenta la media e quelle tratteggiate definiscono l'intervallo di incertezza corrispondente a una probabilità del 66%. Fino circa al 2030 le proiezioni sono quasi uguali, poi la loro differenza aumenta sempre più rapidamente. Rispetto alla media 1995-2014, **nello scenario più ottimistico (SSP2.6)** c'è una probabilità del 66% che nel **2100** il livello medio sia più alto **tra 22 e 60 cm**, in media 39 cm, e **nello scenario più pessimistico (SP8.5)** **tra 46 e 95 cm**, in media 67 cm.

Confrontando osservazioni e proiezioni si può notare come la media mobile del livello osservato si collochi circa 1 cm sotto le proiezioni, comunque entro l'intervallo di incertezza.

LIVELLO MEDIO ANNUALE DEL MARE A TRIESTE: PASSATO E FUTURO



Livello medio annuale dal 1901 al 2024 osservato a Trieste Molo Sartorio (punti rossi; dati: CNR-ISMAR, Trieste), normalizzato al 1995-2014 (punto blu); media mobile su 19 anni (linea nera). Proiezioni dell'IPCC e bande di incertezza del 66% negli scenari SSP1-26 e SSP5-85. Il periodo 2000-2024 è ingrandito nell'inserito.

CONTA ANCHE LA SUBSIDENZA

L'andamento medio del livello marino osservato a Trieste è rappresentativo dell'Adriatico settentrionale e quindi anche delle aree costiere del Friuli Venezia Giulia. Tuttavia si deve tenere presente che, mentre il suolo a Trieste è relativamente

stabile, quello delle aree lagunari è localmente soggetto a un significativo abbassamento per subsidenza. In questi casi, per un osservatore situato sulla costa, il livello medio marino manifesta un aumento più rapido.

Fabio Raicich
CNR-ISMAR

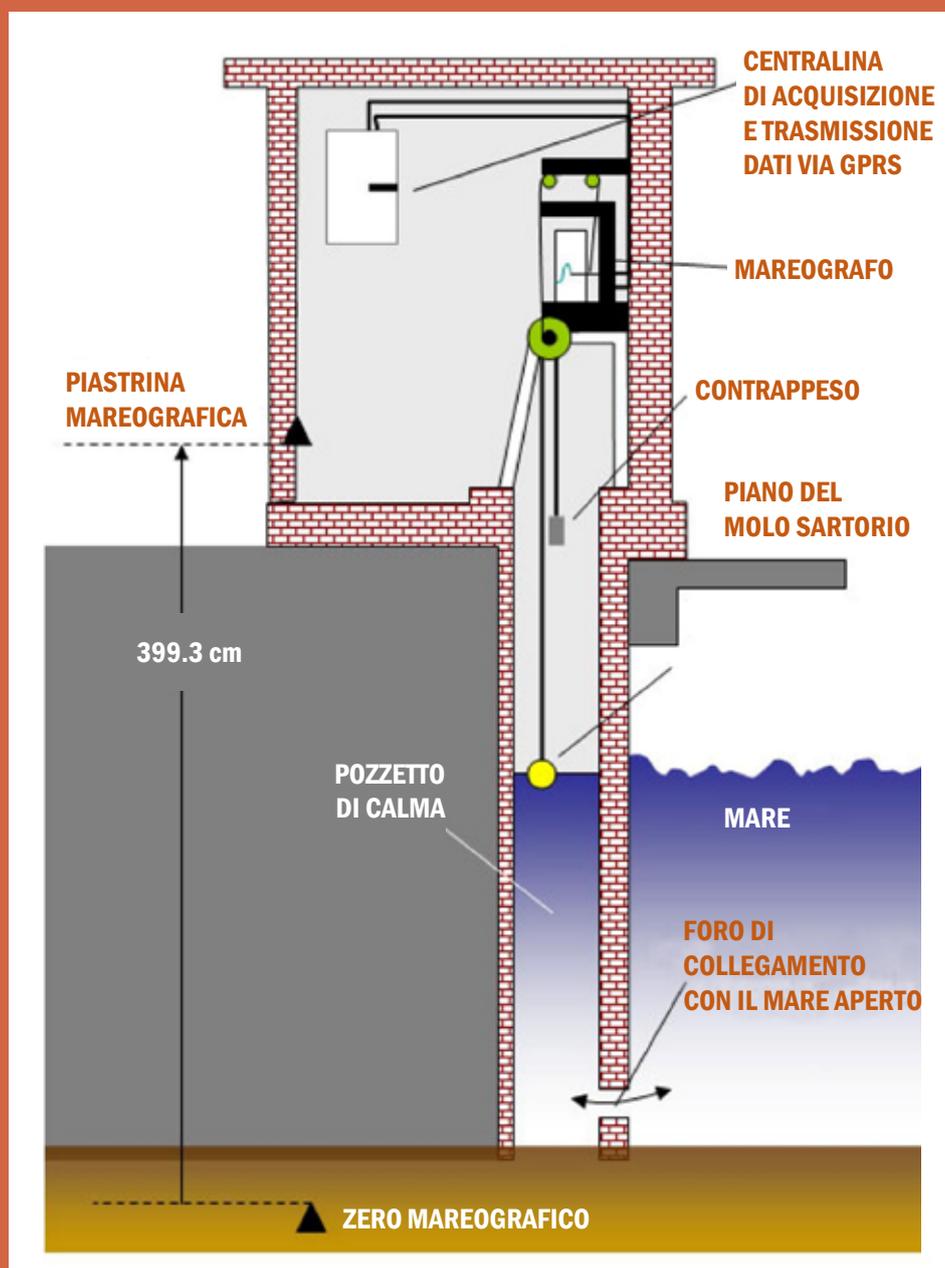
DOVE E COME VIENE MISURATO IL LIVELLO MARINO A TRIESTE?

La stazione mareografica della Sede di Trieste dell'Istituto di Scienze Marine del CNR è situata in una cabina sul lato nord-est del Molo Sartorio, nel porto di Trieste. La stazione è la più antica dell'Adriatico poiché le prime osservazioni mareografiche risalgono al 1859.

Al Molo Sartorio il livello marino viene misurato rispetto allo zero mareografico chiamato "Zero Istituto Talassografico", che si trova 166.2 cm sotto lo Zero altimetrico dell'Istituto Geografico Militare Italiano.

Attualmente la stazione include quattro mareografi. Uno, piezometrico, è collegato con la centrale operativa della Protezione Civile del FVG e trasmette i dati del livello ogni 30 minuti. Gli altri, due dei quali digitali e uno analogico, sono dotati di sensore a galleggiante e fanno parte della rete meteomarina del CNR-ISMAR di Trieste; la registrazione dell'altezza istantanea del livello avviene ogni minuto.

La principale funzione della cabina mareografica, oltre ad alloggiare la strumentazione, è quella di ospitare un pozzetto, che si apre sul pavimento ed è collegato al mare aperto tramite un foro, la cui sezione è pari a 1/400 della sezione orizzontale del pozzetto. In questo modo si ottiene la sufficiente attenuazione delle oscillazioni di alta frequenza causate dal moto ondoso, conservando quelle di più lungo periodo che sono rilevanti per la mareografia.



Sezione della cabina mareografica del Molo Sartorio (Trieste).

TEMPERATURA DEL MARE NEL 2024: UN NUOVO RECORD

Foto: Federica Flapp

Nel 2024 la temperatura del mare è stata quasi sempre sopra la norma.

Per la prima volta la temperatura media annua è stata superiore a 18 °C, segnando un record assoluto.

La temperatura istantanea ha uguagliato il record di 30.8 °C già osservato nel 2010 e in ben 12 giorni la temperatura ha toccato o superato i 30 °C.

La temperatura del mare rappresenta uno degli indicatori dell'evoluzione del clima. Dal 1899, sebbene con interruzioni, nel porto di Trieste sono disponibili osservazioni della temperatura del mare a 2 m di profondità. La scarsa profondità del bacino e il fatto che sia in gran parte circondato dal continente fa sì che le variazioni di temperatura siano fortemente influenzate dagli scambi di calore con l'atmosfera, specialmente su scale temporali fino a qualche settimana.

LA TEMPERATURA DEL MARE NEL 2024

La **temperatura media annua** del 2024 è stata di 18.4 °C, oltre 1.5 °C più alta della media del ventennio 2001-2020, e **la più alta dell'intera serie storica disponibile**, di cui la figura riporta il periodo dal 1934. Ha quindi battuto il precedente record segnato nel 2023. Tutti i mesi del 2024, specie nella prima parte dell'anno, sono stati **notevolmente più caldi della norma**.

Il 2024 ha fatto registrare il **massimo storico di temperatura con 30.8 °C**, come nel 2010, e ben 12 giorni con almeno 30 °C. In precedenza, la soglia dei 30 °C era stata raggiunta solo nel 1957 e nel 2010.

Anche la temperatura minima, di 10.2 °C, ha **uguagliato il record del valore minimo annuale più alto**, registrato nel 2020.

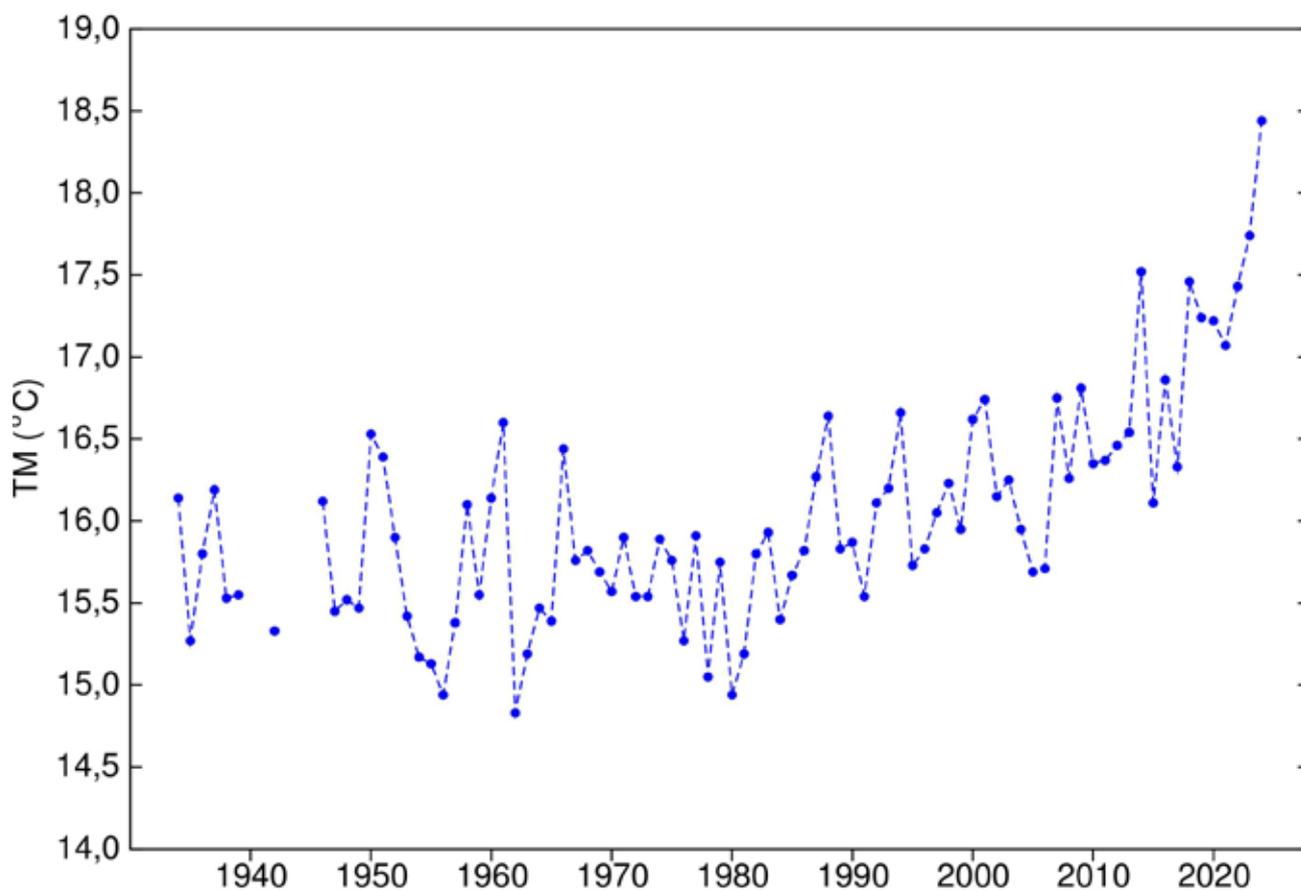
UN RISCALDAMENTO PROGRESSIVO, SEMPRE PIÙ VELOCE

La figura mette in evidenza il notevole recente riscaldamento del mare. Si noti che per il settimo anno consecutivo, cioè dal 2018, la media annua è stata superiore a 17 °C, fatto verificatosi in precedenza solo nel 2014.

Dal 2000 la **velocità con cui è aumentata la temperatura** è pari a 0.7 °C per decennio, corrispondente a un aumento complessivo di **1.6 °C in 24 anni**.

Fabio Raicich
CNR-ISMAR

TEMPERATURA MEDIA ANNUALE DEL MARE A TRIESTE



Temperatura media annuale (TM) dal 1934 al 2024, osservata a 2 m di profondità. (Dati: CNR-ISMAR, Trieste e ARPA FVG - RAFVG).

UN MEDITERRANEO SEMPRE PIÙ CALDO: GLI EFFETTI SUL MARE E SULL'ATMOSFERA

Foto: Arturo Puccillo

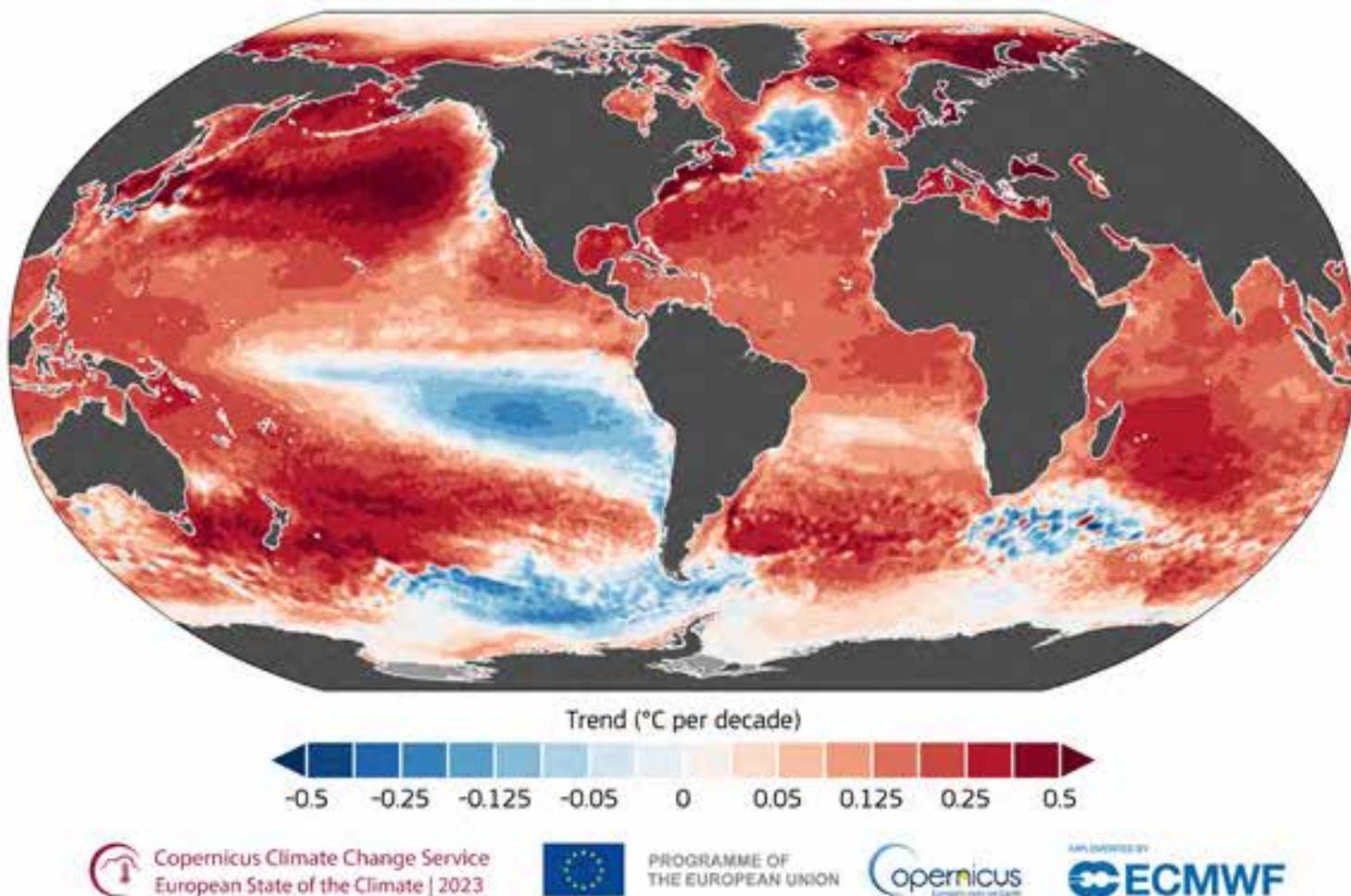
Il riscaldamento del mare sta accelerando, con il Mediterraneo tra le aree più colpite.

Questo fenomeno influisce sulla vita marina, ostacolando la circolazione delle acque e intensificando le ondate di calore. Inoltre, mari più caldi favoriscono evaporazione e cicloni, aumentando il rischio di precipitazioni estreme e uragani mediterranei.

Il mare è sempre più caldo. Negli ultimi 30 anni, periodo in cui abbiamo potuto monitorare la temperatura superficiale del mare attraverso una combinazione di dati satellitari e misurazioni dirette in mare, le registrazioni di questa variabile indicano un aumento inequivocabile.

Le analisi effettuate dal programma del Servizio Ambiente Marino del programma europeo Copernicus (cui anche OGS contribuisce) permettono di affermare che nel corso di queste decadi l'oceano superficiale si è riscaldato di 0.4 °C ogni 10 anni, e quindi di più di un grado nel trentennio, che l'estensione dei ghiacci artici si è ridotta di più di 2 milioni di chilometri quadrati e che il livello del mare si è alzato di circa 10 cm. A fronte di questi valori medi, relativi a tutto il pianeta, alcune zone registrano cambiamenti più alti e altre minori.

ANDAMENTO DELLA TEMPERATURA SUPERFICIALE DEL MARE PER IL PERIODO 1993-2023



Distribuzione spaziale della velocità di riscaldamento osservata nello strato superficiale dell'oceano durante gli ultimi 30 anni.

Dati: ESA CCI SST v3.0 Periodo di riferimento: 1991-2020 Crediti: C3S/ECMWF.

IL MEDITERRANEO: UN "HOT SPOT" CLIMATICO

Se calcoliamo la velocità di riscaldamento (trend) e analizziamo una mappa (vedi figura sopra) di come tale velocità varia da zona a zona, è possibile notare come le zone rosse siano molto più ampie di quelle blu, a illustrare come quasi tutto l'oceano globale si sia riscaldato, e anche che il Mar Mediterraneo è una delle aree che si sono riscaldate più velocemente, insieme al Baltico, al Mar Nero, parti dell'oceano artico e del Pacifico. Per questo si dice che il Mar Mediterraneo è un 'hot spot' climatico.

GLI IMPATTI SU STRATIFICAZIONE, CIRCOLAZIONE E VITA MARINA

L'aumento di temperatura superficiale del mare ha **effetti rilevanti sulla dinamica delle masse oceaniche**. Infatti la differenza di temperatura fra fondo e superficie può causare fenomeni di stratificazione che inibiscono i fenomeni di mescolamento verticale lungo la colonna d'acqua, o, nel periodo invernale, la formazione di acqua particolarmente densa, che (come spiegato nella edizione 2022 di "Segnali del Clima in FVG") che origina la circolazione termoalina. Questi processi sono entrambi fondamentali per il mantenimento della vita marina.

Il riscaldamento del mare ha inoltre ovvi **effetti diretti sugli organismi** che si trovano esposti a temperature diverse da quelle per loro ottimali. In questo contesto è importante evidenziare come il riscaldamento debba essere considerato anche in relazione ai **valori estremi**, quali estati che diventano sempre più calde, e in cui molti organismi possono trovarsi in situazioni di forte difficoltà. È il caso delle ondate di calore, che sono sempre più frequenti, lunghe, intense, e capaci di raggiungere profondità maggiori. A solo titolo di esempio possiamo ricordare che **il numero di ondate di calore marine è raddoppiato in confronto al 1982**.

2024: TEMPERATURE RECORD PER IL MEDITERRANEO

In Mediterraneo il 2024 è stato un anno eccezionalmente caldo. Il grafico della figura a lato riporta, sovrapposti come i fili di una matassa, gli andamenti annuali di temperatura registrati -anno dopo anno- a partire dal 1979, insieme al valore medio (curva tratteggiata), in arancione l'anno 2023 e in rosso il 2024. Dal grafico appare chiaramente che **l'estate 2024 è stata la più calda fra gli anni considerati**, con valori giornalieri da metà luglio a fine settembre costantemente sopra i valori mai registrati nei 30 anni precedenti. La mappa in basso integra questa informazione mostrando la distribuzione spaziale delle anomalie di temperatura rispetto il valore tipico, e mostra che se tutto il Mediterraneo era da considerarsi in agosto molto più caldo di quanto non sia normalmente, le anomalie sono particolarmente alte intorno alla penisola italiana, e che **il nord Adriatico era fra le zone più eccezionalmente calde**, con valori di 5 o più gradi sopra le medie del periodo. L'impatto di questo evento sulle comunità marine è stato sicuramente rilevante, ma non è ancora stato completamente quantificato.

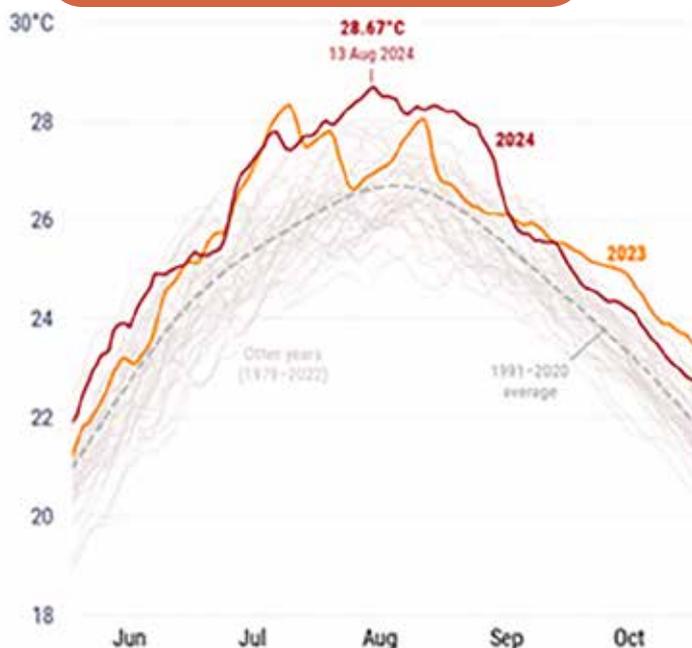
MARI PIÙ CALDI, PIOGGE PIÙ INTENSE

L'aumento della temperatura del mare non ha effetti solo sul mare, ma anche sul clima.

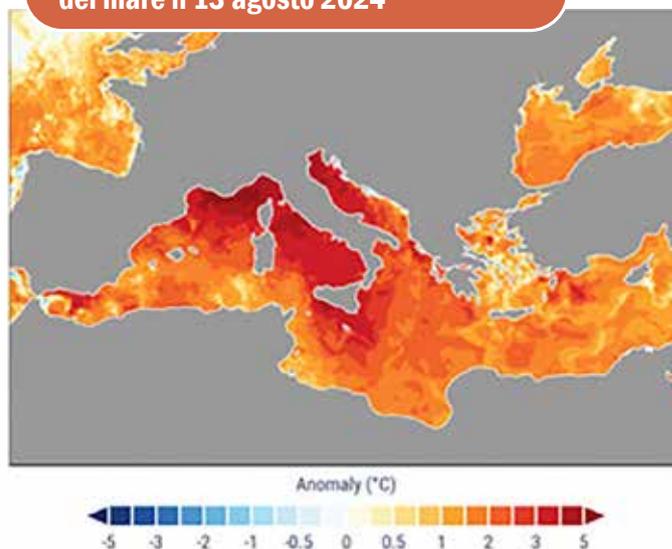
Il mare infatti è una componente essenziale del cosiddetto **ciclo idrologico**, ossia l'insieme di trasformazioni continue di circolazione dell'acqua fra acque superficiali (fiumi e oceani), sotterranee (falde) e atmosfera (nuvole).

ONDATA DI CALORE MARINO NEL MAR MEDITERRANEO NELL'AGOSTO 2024

Temperatura superficiale del mare giornaliera in tutto il Mar Mediterraneo



Anomalia nella temperatura superficiale del mare il 13 agosto 2024



In alto l'andamento stagionale del valore medio della temperatura superficiale del Mediterraneo per i diversi anni dal 1979 a oggi, l'andamento medio (a tratteggio) e gli andamenti registrati per gli anni 2023 e 2024. In basso la differenza (anomalia) fra il valore osservato nel 13 agosto 2024 nelle diverse aree del Mediterraneo e i valori tipici per le stesse aree. L'insieme dei due grafici evidenzia che l'agosto 2024 è stato eccezionalmente caldo per tutto il Mediterraneo, ma in particolare per i mari italiani, e fra questi il nord Adriatico.

Dati: C3S Temperatura superficiale del mare e del ghiaccio marino
Periodo di riferimento 1911-2020 Credit: C3S/ECMWF/DMI.



Foto: Arturo Puccillo

Possiamo immaginare che l'oceano sia un grande serbatoio di acqua (salata) a cielo aperto, da cui evaporano ingenti quantità di acqua, che nel processo di evaporazione diventa vapore di acqua dolce. Il vapore sale nell'atmosfera, viene trasportato dai venti e quando si trova in determinate condizioni di pressione e di temperatura condensa formando nubi e precipitazioni piovose o nevose che riportano l'acqua al mare, direttamente se le precipitazioni si verificano sopra i mari, o indirettamente attraverso i fenomeni di ruscellamento che alimentano fiumi e acquiferi quando le precipitazioni si verificano sulla terra emersa.

Risulta quindi evidente che, che pur non essendovi una corrispondenza geografica esatta fra il dove avviene l'evaporazione e dove avviene la precipitazione, l'intensità dei fenomeni piovosi è in media pari alla intensità dei fenomeni di evaporazione. A periodi eccezionalmente caldi, cui

corrisponde un'evaporazione particolarmente intensa, devono corrispondere precipitazioni complessivamente più abbondanti. Se tali precipitazioni vengo, per qualche motivo, concentrate in aree e periodi limitati, diventano eccezionalmente intense.

CICLONI MEDITERRANEI

La grande massa d'acqua del mar Mediterraneo gioca un ruolo fondamentale nella dinamica atmosferica della nostra regione, in quanto rappresenta una sorgente di energia e di umidità per i moti atmosferici. Di recente l'attenzione della ricerca scientifica si è focalizzata su determinare in che misura il riscaldamento delle acque mediterranee influenzi la dinamica dei sistemi meteorologici che interessano la regione a diversa scala spaziale, come i cicloni mediterranei e le supercelle temporalesche.

I cicloni rappresentano una delle componenti più

importanti della circolazione atmosferica nella regione mediterranea e sono importanti nell'influenzare la distribuzione e l'intensità delle precipitazioni. Il loro passaggio può quindi produrre **effetti benefici** per determinati settori economici quali ad esempio l'agricoltura, ma può anche essere associato al verificarsi di **eventi estremi** quali mareggiate lungo le coste del Nord-Est, precipitazioni intense, tempeste di vento, alluvioni e frane. Con il termine generico ciclone si indica a volte **un insieme variegato di sistemi atmosferici**, anche con caratteristiche e dinamiche spesso differenti tra loro. Negli ultimi anni, comunque, l'interesse della comunità scientifica si è focalizzato anche su una specifica classe di cicloni mediterranei con effetti particolarmente intensi, detti **Medicanes**, contrazione di *Mediterranean Hurricanes*, ossia **uragani mediterranei**. Questi sistemi mostrano delle caratteristiche morfologiche simili ai cicloni tropicali, con un 'occhio' centrale circondato da una banda di nuvole a sviluppo convettivo.

AUMENTANO I MEDICANES

Negli ultimi decenni si è osservato un **aumento della frequenza e intensità di questi fenomeni**, e si ritiene che la causa principale sia legata ai cambiamenti climatici. Infatti, in presenza di una evaporazione più intensa, e anche considerando che **un'atmosfera più calda può trattenere più vapore acqueo**, l'atmosfera ha più umidità e quindi più energia, immagazzinata nel vapore acqueo come "calore latente". In presenza di condensazione del vapore, questa energia viene liberata, l'aria che riceve l'energia diventa più calda e leggera, e sale velocemente verso l'alto, generando correnti ascendenti anche forti, che possono provocare ulteriori condensazioni. Queste **condizioni atmosferiche energetiche, dinamiche e instabili**, sono condizioni favorevoli alla formazione di temporali, piogge intense, e in certe condizioni dei *Medicanes*. In sintesi, quindi, i *Medicanes* traggono energia dalle acque calde del Mediterraneo e

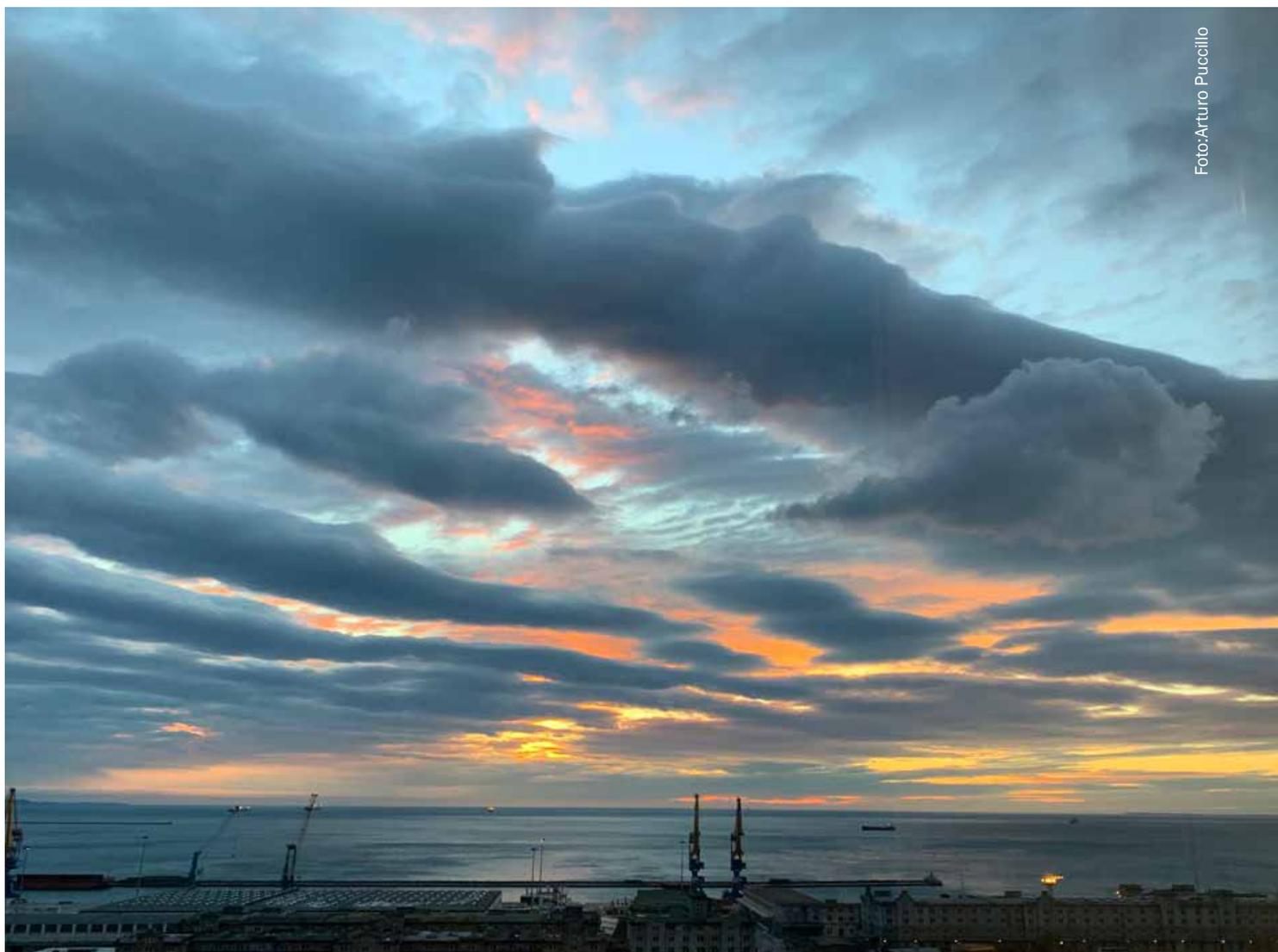


Foto:Arturo Puccillo

con l'aumento delle temperature marine possono diventare più intensi, con venti più forti e precipitazioni più abbondanti. Sebbene la frequenza annuale dei *Medicane* sia variabile, si prevede che nel prossimo futuro la loro intensità aumenterà, a causa del riscaldamento del mare.

LE SUPERCILLE TEMPORALESCHIE

Un meccanismo analogo può spiegare anche l'aumento di frequenza dei **fenomeni temporaleschi particolarmente intensi** noti come supercelle temporalesche. Questi eventi si distinguono dagli altri temporali perché hanno una corrente ascensionale rotante al loro interno, possono durare molte ore e generare grandine, piogge torrenziali, raffiche di vento molto forti e a volte trombe d'aria. Anche nel caso delle supercelle, infatti, la necessaria **presenza di alta umidità, energia e instabilità** può essere collegata all'aumento della temperatura dell'aria, che determina la possibilità di contenere più vapore acqueo, e a una maggior evaporazione dalla superficie marina. Le supercelle temporalesche si osservano frequentemente **anche nel nord Italia**, dove l'interazione tra le masse d'aria fredda deviate dalla complessa topografia dell'area e i flussi di aria umida e calda provenienti dal Nord Adriatico producono una convezione particolarmente intensa.

E IN FUTURO?

È oggetto di dibattito come le caratteristiche di questi sistemi e dei relativi eventi estremi, quali ad esempio le precipitazioni, risponderanno in futuro all'aumento delle temperature globali e più localmente al riscaldamento delle acque mediterranee, ma studi basati su insiemi di simulazioni climatiche suggeriscono che nel futuro questi eventi saranno forse meno frequenti, ma con precipitazioni più intense, a causa dell'aumento dell'umidità negli strati bassi dell'atmosfera causata dal riscaldamento marino.

Stefano Piani, Marco Reale, Stefano Salon, Cosimo Solidoro
Istituto Nazionale di Oceanografia
e di Geofisica Sperimentale - OGS

LA FAUNA SELVATICA



LA FAUNA SELVATICA

Vulnerabilità e adattamenti degli animali selvatici di fronte al clima che cambia

I cambiamenti climatici hanno impatti molteplici e interconnessi sulla fauna selvatica, che gli articoli di questa sezione ci aiutano a comprendere.

L'aumento delle temperature influenza in diversi modi il comportamento e la fisiologia degli animali selvatici, accrescendo lo sforzo che devono fare per adattarsi e alterando la disponibilità di risorse.

L'inverno, ad esempio, sta perdendo le sue caratteristiche tradizionali, rendendo "obsoleto" le strategie di sopravvivenza che le specie hanno sviluppato nel tempo, come pellicce invernali e letargo.

Considerando gli impatti a livello di habitat, vediamo poi come l'aumento della temperatura stia spingendo alcune specie a rifugiarsi in quote più alte o a espandersi verso nord. Alcuni animali ne traggono vantaggio, mentre per altri gli areali idonei si riducono.

L'aumento delle temperature influenza anche la mortalità invernale degli ungulati e la disponibilità di carcasse, innescando una serie di conseguenze lungo la catena alimentare.

Gli esperti studiano questi fenomeni con diverse tecniche, dal tracciamento GPS alle fotocamere a infrarossi, ma per comprenderli bene servono studi di lungo periodo.

AUMENTA LA TEMPERATURA, CAMBIANO CONDIZIONI DI VITA E RISORSE PER LA FAUNA SELVATICA



Foto: Wanax01, CC BY-SA 4.0 via Wikimedia Commons

Cervo (*Cervus elaphus*).

Le specie animali si sono evolute in periodi relativamente lunghi, in contesti ambientali e climatici che ne hanno selezionato la forma, la fisiologia e il comportamento.

Il riscaldamento globale e il cambiamento climatico stanno producendo effetti diversi e repentini sul mondo animale: da un lato inducono gli individui a rispondere all'innalzamento della temperatura attraverso maggiori consumi di energia e ne modificando il comportamento, dall'altro agiscono sulla disponibilità delle risorse.

L'innalzamento della temperatura può influenzare in diversi modi la vita, la sopravvivenza e la distribuzione delle specie animali selvatiche. Il sistema alpino e di riflesso le aree a più alta latitudine rappresentano un ottimo campo di lettura dell'effetto dell'innalzamento della temperatura e del cambiamento climatico sulla fauna.

L'innalzamento della temperatura influenza infatti lo sforzo che una specie deve fare per adattarsi a queste nuove condizioni, ma anche indirettamente la disponibilità di risorse.



Foto: Università degli Studi di Udine

La lince eurasiatica mostra adattamento ai climi freddi anche grazie alla presenza di una coda corta.

CAMBIA LA TEMPERATURA, AUMENTA LO SFORZO PER TERMOREGOLARSI

Come primo effetto diretto, la variazione della temperatura influenza lo “sforzo” che la specie, di mammifero o di uccello, deve fare per termoregolarsi: infatti ogni specie ha un **range di “termoneutralità”** specifico entro il quale il suo dispendio energetico per mantenere la temperatura corporea costante è minimo. Invece nel caso delle specie che variano la loro temperatura al variare di quella esterna - invertebrati, pesci, anfibi e rettili - quest'ultima ne influenza direttamente i ritmi di vita, la sopravvivenza e la distribuzione.

I mammiferi, così come altri gruppi di animali, adottano **strategie per adattarsi alle variazioni di temperatura**:

- andare in **ibernazione** (o letargo), ovvero rallentare i ritmi di vita, e spendere meno energie;
- trovare **luoghi**, più o meno vicini, dove minore è la variazione di temperatura e questa temperatura meglio si adatta alla termoneutralità;

- cambiare **sistemi di isolamento** (ad esempio il pelo o aggregarsi in gruppo o deporre grasso).

La **temperatura** non influenza solo le strategie metaboliche, di muta e i movimenti, ma **influenza anche il fenotipo** (ovvero le caratteristiche morfologiche e fisiologiche e comportamentali osservabili) delle singole popolazioni di una stessa specie, motivo per cui, proprio a causa di aspetti termoregolativi, il lupo italiano pesa 30 kg mentre i lupi del nord del Nord America possono superare i 50 kg.

Altro esempio utile a comprendere come le specie animali si adattano a temperature che sono esterne alla termoneutralità è la riduzione della lunghezza della coda o degli arti, al fine di disperdere meno calore. In questo senso **i felini che hanno dei range di termo neutralità relativamente ridotti**, che li rendono più sensibili alle basse e alle alte temperature, possono adottare delle strategie anche morfologiche come la coda corta: un esempio è la lince eurasiatica. Inoltre possono variare la massa corporea, come già illustrato nell'esempio del lupo, nel rispetto della regola di Bermann e di Allen

LE REGOLE DI BERGMANN E ALLEN SU FORMA E DIMENSIONI DEGLI ANIMALI IN RELAZIONE AL CLIMA

Le regole di Bergmann e Allen sono principi ecologici che descrivono come la dimensione e la forma del corpo degli animali, specialmente gli omeotermi, può variare in relazione al clima.

La regola di Bergmann afferma che, in media, le popolazioni di animali a sangue caldo che vivono in climi più freddi tendono ad avere dimensioni corporee maggiori rispetto a quelle che vivono in climi più caldi.

Questa regola è basata sull'evidenza che un corpo più grande ha un rapporto superficie/volume inferiore, il che significa che disperde meno calore rispetto a un corpo più piccolo, aiutando a mantenere il calore corporeo in ambienti freddi.

La regola di Allen invece, stabilisce che gli animali omeotermi in climi freddi tendono ad avere appendici corporee (come zampe, orecchie, code) più corte, rispetto a quelli che vivono in climi più caldi. Le appendici, come le zampe o le orecchie, hanno un rapporto superficie/volume maggiore, il che significa che disperdono più calore: quindi, in climi freddi, gli animali tendono ad avere appendici più corte per ridurre la perdita di calore.



Foto: Università degli Studi di Udine

La zampa della linca con la presenza di molti peli negli spazi interdigitali evidenzia l'adattamento alla copertura nevosa.

CAMBIA LA DISPONIBILITÀ DELLE RISORSE

Accanto a questi effetti diretti, la temperatura, che in ecologia viene definita come una condizione, influenza la disponibilità di risorse, ovvero tutto quello che è consumabile. Nel nostro immaginario possiamo pensare all'erba per i cervi o i cervi per i lupi, ma non è solo così: tra le risorse ci sono pure le aree che queste specie possono occupare. Ritornando alla temperatura, usando l'esempio dell'erba, è facile capire come alte temperature possono "invecchiare" l'erba e combinate a scarse e meno estese precipitazioni possono di fatto influenzare in maniera decisa l'uso del territorio e addirittura la sopravvivenza e il successo riproduttivo della specie, che trova meno risorse e più localizzate o concentrate.



25.78 inHg - 0 32°F (01/08/2024 07:54AM CAMERA1



26.10 inHg ↑ 0 -1°C (01/20/2020 01:01AM RAMARA2

Immagine di lupo e cerva nelle Alpi Carniche durante il mese di gennaio: l'innalzamento delle temperatura negli inverni influenza la quantità di neve a terra, la disponibilità alimentare, i movimenti e l'uso degli spazi di prede e predatori.

EFFETTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SUI FATTORI ABIOTICI



Aumento della temperatura



Diminuzione della neve a terra, fino a certe altitudini (qualità e durata)



Variazione dell'umidità



Eventi catastrofici, alluvioni, tempeste e relativa modifica degli aspetti morfologici



Modifica delle precipitazioni

SOPRAVVIVENZA E DISTRIBUZIONE DELLE SPECIE ANIMALI: QUALI ASPETTI SONO INFLUENZATI DAI CAMBIAMENTI CLIMATICI



Capacità termoregolative delle specie e cambiamenti fenotipici e morfologici



Disponibilità di cibo (qualità e quantità)



Rapporti intra e interspecifici



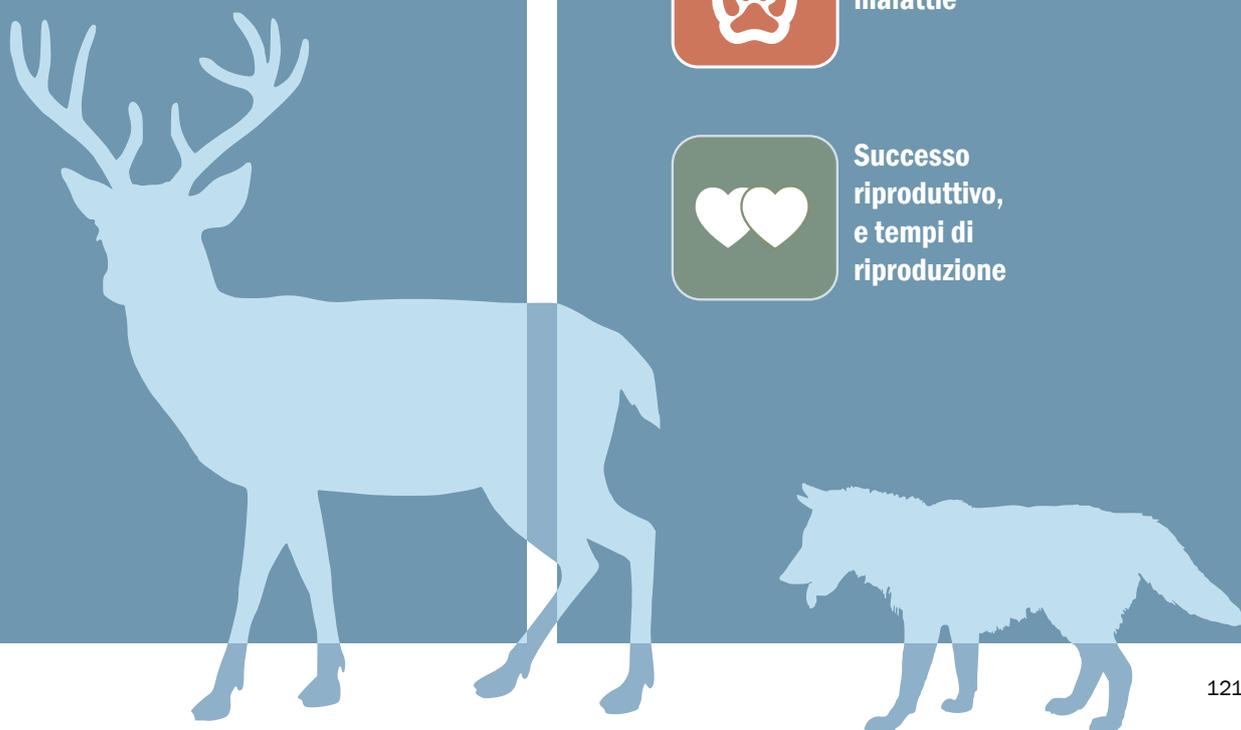
Adattamento nel breve e lungo periodo



Vulnerabilità alla predazione e alle malattie



Successo riproduttivo, e tempi di riproduzione



TEMPERATURE PIÙ ALTE INFLUENZANO LE CICLICITÀ DEGLI ANIMALI, DAL PICCOLO AL PIÙ GRANDE

In questo contesto un gruppo di specie interessanti sono i micro mammiferi: alcuni lavori hanno messo in luce come le fluttuazioni numeriche di queste specie di fatto dipendono da diversi fattori, tra cui la profondità del suolo ghiacciato e lo spessore della neve. Inverni miti e con scarse coperture nevose, combinati a variazione delle produttività vegetale (ad esempio anche al produzione di semi), potrebbero quindi influenzare queste ciclicità da cui dipendono successivamente, con un effetto *botton up* (dal basso verso l'alto della catena alimentare), le ciclicità di specie di consumatori primari e predatori: ad esempio le popolazioni di rapaci e carnivori, quali mustelidi e canidi, ma anche le popolazioni di tetraonidi, tra cui per primo il gallo forcello, che vengono influenzati, a loro volta, indirettamente dalle fluttuazioni di altre specie (ad esempio micro mammiferi) di prede e predatori. L'aumento della temperatura può di conseguenza avere un effetto importante sulle catene trofiche, partendo dall'animale più piccolo per giungere alla specie più grande.

ALTRI FATTORI CLIMATICI ED EFFETTI A CASCATA

Accanto alla temperatura è necessario considerare molti **altri fattori, considerati come condizioni**, come l'umidità, le precipitazioni, la loro tipologia (pioggia, neve, o grandine), il vento e le loro interazioni con le produzioni primarie (l'erba) e anche con l'efficienza con cui i consumatori utilizzano queste produzioni.

Possiamo quindi capire che **le condizioni influenzano la disponibilità di risorse e di conseguenza le comunità animali**, che a loro volta possono influenzare anche elementi ambientali inanimati quali **la morfologia delle nostre montagne e dei fiumi**. Questo è stato osservato a Yellowstone dove il lupo, reintrodotta dopo 70 anni di assenza, ha ridotto il numero di cervi, che grazie alla loro numerosità avevano portato a un cambiamento della struttura della vegetazione, e di fatto sembra avere modificato un'intera comunità animale e di conseguenza

anche l'aspetto dei fiumi, attraverso quella che poi è stata definita come "cascata trofica".

Se sembra chiaro l'effetto del lupo come "*top predator*", che può influenzare l'intera comunità animale, potremmo anche parlare di **cascata climatica**, parlando della temperatura, visto che a sua volta va a influenzare le produzioni primarie e le comunità animali? Per cercare di dare una risposta vediamo come le specie di mammiferi stanno reagendo a questo fattore partendo dall'uomo.

IL FATTORE UMANO: L'ESEMPIO DEGLI ALPEGGI

In questo sistema complesso in cui si combinano attori inanimati e animati **un ruolo determinante lo svolge l'uomo**. La nostra specie infatti con le sue attività **influenza direttamente la parte inanimata degli ecosistemi**, come la temperatura (attraverso l'emissione dei gas climalteranti) o il movimento delle acque (attraverso i suoi interventi sui corsi d'acqua). Inoltre l'uomo esercita anche un **effetto nell'uso le risorse** in ragione delle modificazioni climatiche e quelle ambientali a esso associate: un semplice esempio è il cambiamento di uso dei pascoli di alta quota, con la **modificazione dei tempi di alpeggio** in relazione alla produttività dei pascoli e soprattutto all'arrivo sempre più tardivo dell'inverno. Una maggiore estensione del periodo di alpeggio comporta **un più lungo tempo di interazione tra specie domestiche e le specie selvatiche** e una diversa influenza sul pascolo stesso di cui poi dovremo tenere conto. Se da un lato l'innalzamento della temperatura può permettere tempi più lunghi di alpeggio, dall'altro combinata a scarsa piovosità o nevosità potrebbe limitarne la durata o indurre pascolamenti più localizzati. Come si intuisce, la temperatura combinata ad altri fattori climatici può generare effetti a scale diverse sia spaziali che temporali, creando nuove condizioni di interazioni tra specie selvatiche e domestiche, ad esempio aumentando il **rischio di competizione per gli stessi pascoli** e l'aumento del **rischio della trasmissibilità di parassiti**.

Stefano Filacorda
Università degli Studi di Udine

IL BIANCO NON VA PIÙ DI MODA: CAMBIA IL RAPPORTO TRA ANIMALI E INVERNO



Foto: Natalia Kollegova - Наталья Ковалева da Pixabay

I cambiamenti nella durata e nelle caratteristiche dell'inverno rendono meno efficaci le strategie che le diverse specie hanno sviluppato per superare questa stagione: pellicce invernali, letargo, tane nella neve.

Gli animali che abitano le nostre montagne risentono di questi effetti e reagiscono con diverse modalità a cambiamenti spesso troppo veloci rispetto alle loro capacità di adattamento.

Lepre variabile (*Lepus timidus*) in abito invernale

C'è un modo di dire molto comune tra noi umani per definire se una persona è fortunata dalla nascita, ovvero la definiamo "nata con la camicia".

L'origine di questo detto secondo alcuni sembra essere associata ai bambini che nascevano con il sacco amniotico mentre per altri, questo modo di dire, è collegato allo stato sociale delle famiglie, poiché in quelle benestanti i bambini venivano subito vestiti dopo la nascita con una camicia. Se vogliamo, con un po' di fantasia, trasferire questo detto al mondo animale, potremmo dire che nelle aree alpine e boreali nascere con la pelliccia o il cappotto potrebbe rappresentare un vantaggio adattivo di non poco conto.

Ma ora questo è proprio vero?
Semberebbe di no: vediamo il perché.

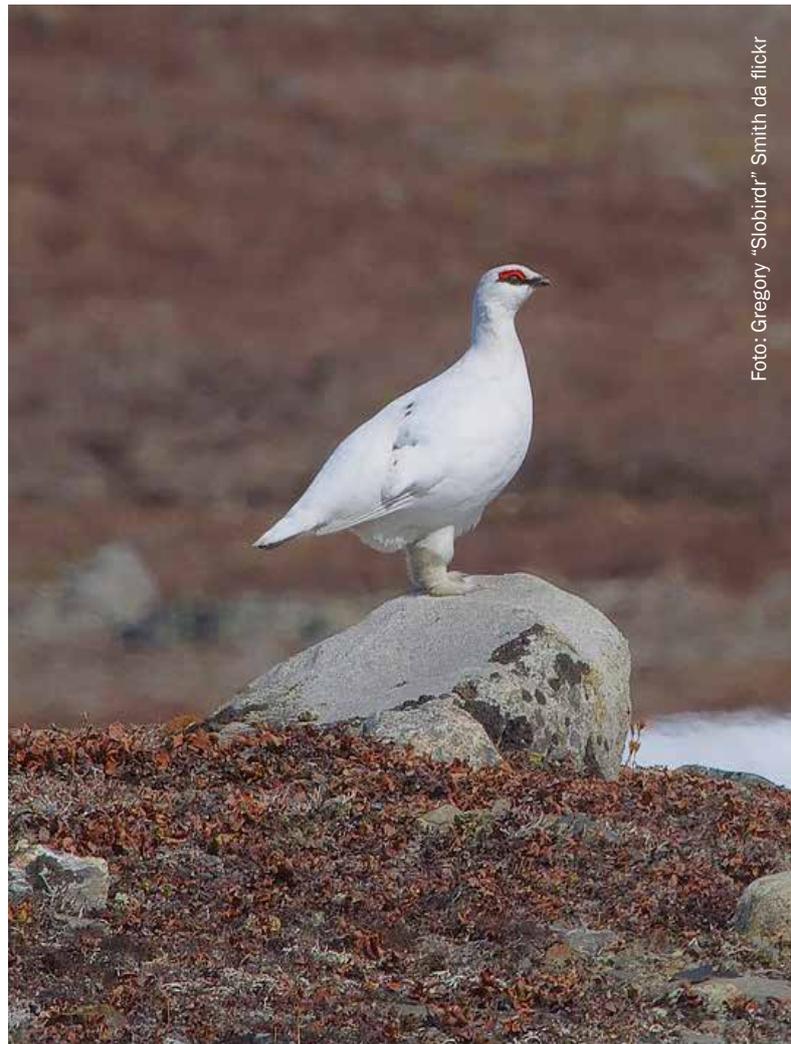
NATI CON LA CAMICIA (O IL CAPPOTTO): UN MODO DI DIRE CHE NON FUNZIONA PIÙ

La presenza di una pelliccia folta (o di un piumaggio), combinato a strategie di muta che permettono la presenza di pellicce e piumaggi diversi per le diverse stagioni, sono sicuramente strumenti importanti di **adattamento sia in termini di isolamento che di colore, ovvero di mimetismo**. Alcune specie sulle nostre Alpi ne sono uno straordinario esempio: la lepre variabile (*Lepus timidus*) e l'ermellino (*Mustela erminia*), tra i mammiferi, così come la pernice bianca (*Lagopus muta*) tra gli uccelli, mutano il pelo (o piumaggio) con l'inverno diventando bianche e quindi altamente mimetiche con la coltre nevosa. Ma **se la copertura nevosa si riduce** in relazione alle diverse altitudine e ai diversi periodi, cosa accade? Come possono gli animali adattarsi nel tempo a questo cambiamento di condizioni?

ADATTARSI SEGUENDO LA NEVE O RIDUCENDO I TEMPI DELLA MUTA

Inevitabilmente due sono le principali strategie che queste specie possono adottare: la prima è **muoversi inverno dopo inverno**, seguendo il progressivo salire del limite della neve; la seconda è **cambiare il pelo per un tempo sempre più ridotto**. La prima strategia porterà ad aumentare la competizione tra individui e aumenterà la vulnerabilità alle predazioni e alle malattie. La seconda necessita di tempi di selezione, generazione dopo generazione, apparentemente lunghi: **la riduzione progressiva dei tempi di muta sarà rapida quanto la velocità con cui si sta innalzando la temperatura?** Dobbiamo verificare se questo accade e con quale velocità e se ciò permette un adattamento compatibile con la velocità del cambiamento ambientale.

In questo contesto è comunque da ricordare come in Nord America il cambiamento dei tempi di muta e la riduzione del periodo con il mantello invernale si stia osservando anno dopo anno nel caso delle lepri variabili, e come in Irlanda viva una sottospecie di lepri variabile che però non muta più (o lo fa molto raramente). Quindi la speranza esiste, ma deve essere verificata attraverso ricerche specifiche.



Pernice bianca (*Lagopus muta*) in abito invernale.

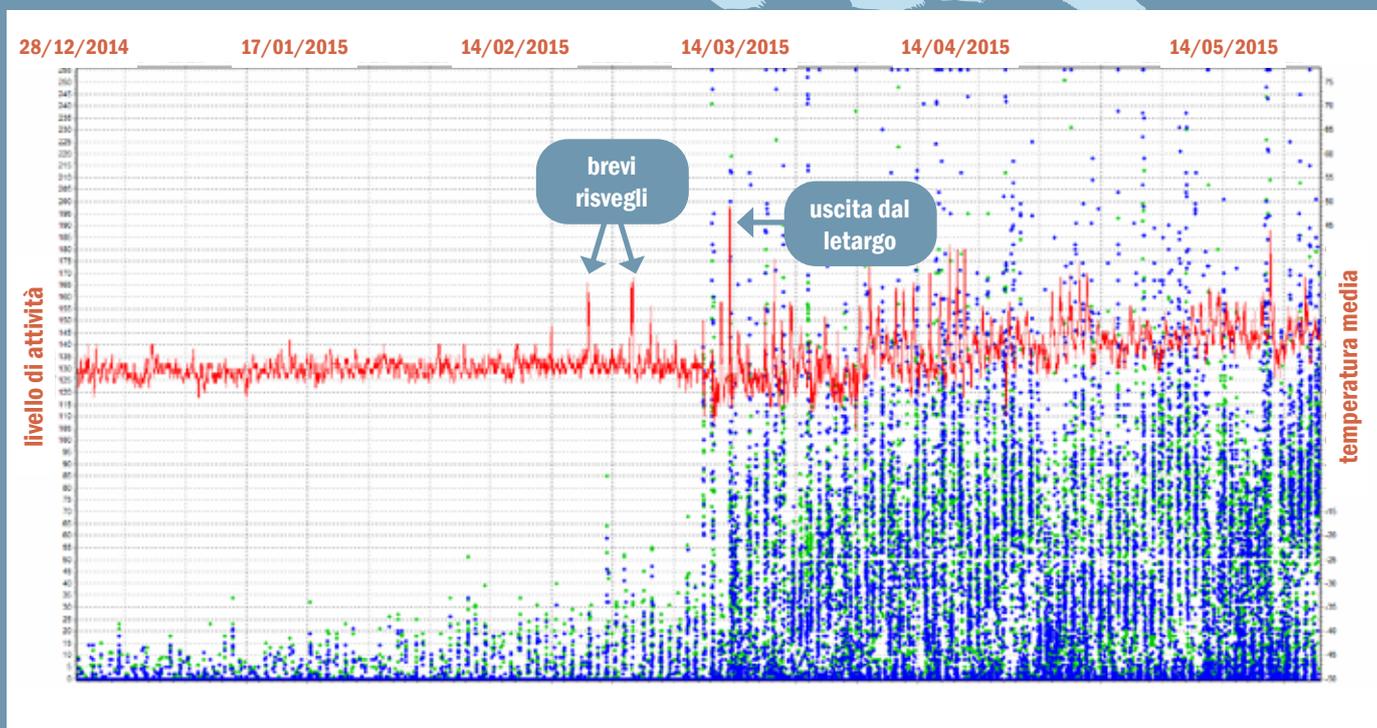
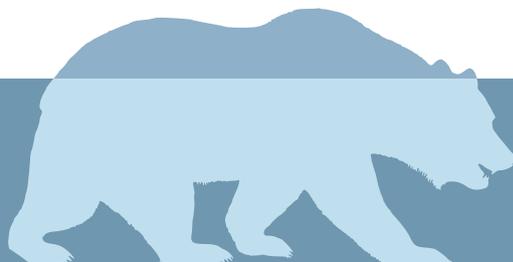
Foto: Gregory "Slobirdr" Smith da flickr

SI RIDUCE IL PERIODO DI LETARGO

Anche la durata del letargo o ibernazione sembra variare, sia nel caso di marmotte e orsi, che per piccoli mammiferi e chiroteri (ossia pipistrelli): **con temperatura più alte sembra terminare prima e avere durate ridotte**.

Come l'aumento della temperatura può influenzare la condizione corporea, la riproduzione e la sopravvivenza appare meno chiaro: sembrano rilevanti anche **ulteriori fattori** quali la piovosità, la copertura nevosa e la velocità con cui la neve si scioglie, che andrà poi a influenzare la disponibilità alimentare per gli animali che escono dal letargo o ibernazione prima di quanto si osservava qualche anno fa. È evidente quindi che il vero problema è un potenziale **"mismatch" ovvero uno sfasamento tra uscite dal letargo o ibernazione e le disponibilità alimentari**: questo può variare di anno in anno e da zona in zona, motivo per cui molti lavori scientifici presentano risultati talvolta contraddittori.

TEMPERATURA E ATTIVITÀ DELL'ORSO DURANTE IL LETARGO E AL RISVEGLIO



Periodo di rilevamento: dal 28 dicembre 2014 al 20 maggio 2015

La linea rossa rappresenta la temperatura media (tra ambiente esterno e corpo dell'animale).

Con i punti verdi e blu sono rappresentati i movimenti verticali e laterali della testa dell'orso e quindi il livello di attività dell'animale.

Si possono osservare a fine febbraio due brevi momenti di aumento di attività all'interno della tana (brevi risvegli), che anticipano l'uscita dal letargo, la quale corrisponde al picco di

temperatura e al marcato aumento di attività registrati a metà marzo.

I dati sono rilevati da alcuni sensori posti sul collare: due accelerometri che misurano i movimenti in senso orizzontale e verticale; un termometro che misura la combinazione tra la temperatura esterna e quella del corpo dell'animale e permette di osservare un calo della temperatura corporea (combinato a quella esterna ambientale) durante il letargo.

Un classico esempio sono i lavori sulle marmotte, perché può accadere che queste specie e popolazioni possano avere successi riproduttivi diversi a parità di riduzione del periodo di letargo in ragione delle diverse disponibilità alimentari.

Nel caso dell'orso l'innalzamento annuale della temperatura sembra ridurre la durata del letargo così come dei **picchi improvvisi di caldo durante l'inverno sembrano indurre l'uscita dal letargo**. Questi fenomeni poi avranno degli effetti

diversi in ragione delle disponibilità alimentari che l'orso troverà in mesi invernali: **nel caso di scarse disponibilità di cibo** gli individui potranno mostrare problemi di cattiva condizione corporea e difficoltà a recuperare il peso di preletargo, e ciò potrà anche influenzare la sopravvivenza e il successo riproduttivo, nonché indurre maggiori interazioni con fonti alimentari antropiche e maggiori rischi di contatti con l'uomo.



L'orso "Madi" uscito dal letargo nell'area del Cansiglio, l'orso è stato poi catturato e gli è stato rimosso il collare il 27 aprile 2014

MANCA LA COPERTA: CON MENO NEVE SI SOFFRE DI PIÙ IL FREDDO

La neve oltre a proteggere la vegetazione da sbalzi di temperatura e da altri fenomeni meteorologici, protegge anche gli animali, come ad esempio, le marmotte durante il letargo o i tetraonidi (es. gallo forcello, pernice bianca) che durante l'inverno si possono "lanciare o scavare nella neve delle buche" (*snow burrow* o *roosting*) dove poi staranno in un ambiente più caldo rispetto all'esterno e nel quale c'è minore rischio di predazione. Se la copertura nevosa diminuisce a causa dei cambiamenti climatici, diminuisce anche questa "protezione".

Ad esempio, nel caso delle marmotte è stato osservato che poca copertura nevosa ha ridotto l'isolamento della tana e di conseguenza il successo di sopravvivenza delle marmotte; in alcuni casi questo fenomeno è stato in parte compensato dalla socialità delle marmotte che passano il letargo insieme una vicino all'altra.

Stefano Filacorda
Università degli Studi di Udine

LA GRANDE CORSA VERSO IL NORD E VERSO LA CIMA (MA LA CIMA PRIMA O POI FINISCE)



Foto: Parth Kansala, CC BY 4.0 by Wikimedia Commons

L'aumento della temperatura e una minore e più breve copertura nevosa modificano gli areali geografici e gli habitat usati da molte specie.

Alcune appaiono favorite (es. sciacallo dorato, gatto selvatico, cinghiale) perché possono frequentare maggiormente le aree alpine più elevate ed espandersi in aree più a nord.

Per altri animali (es. camoscio, stambecco, lepre variabile, pernice bianca) si riducono invece gli areali idonei con conseguenze sul loro stato di conservazione e sui rapporti con predatori, malattie e competitori.

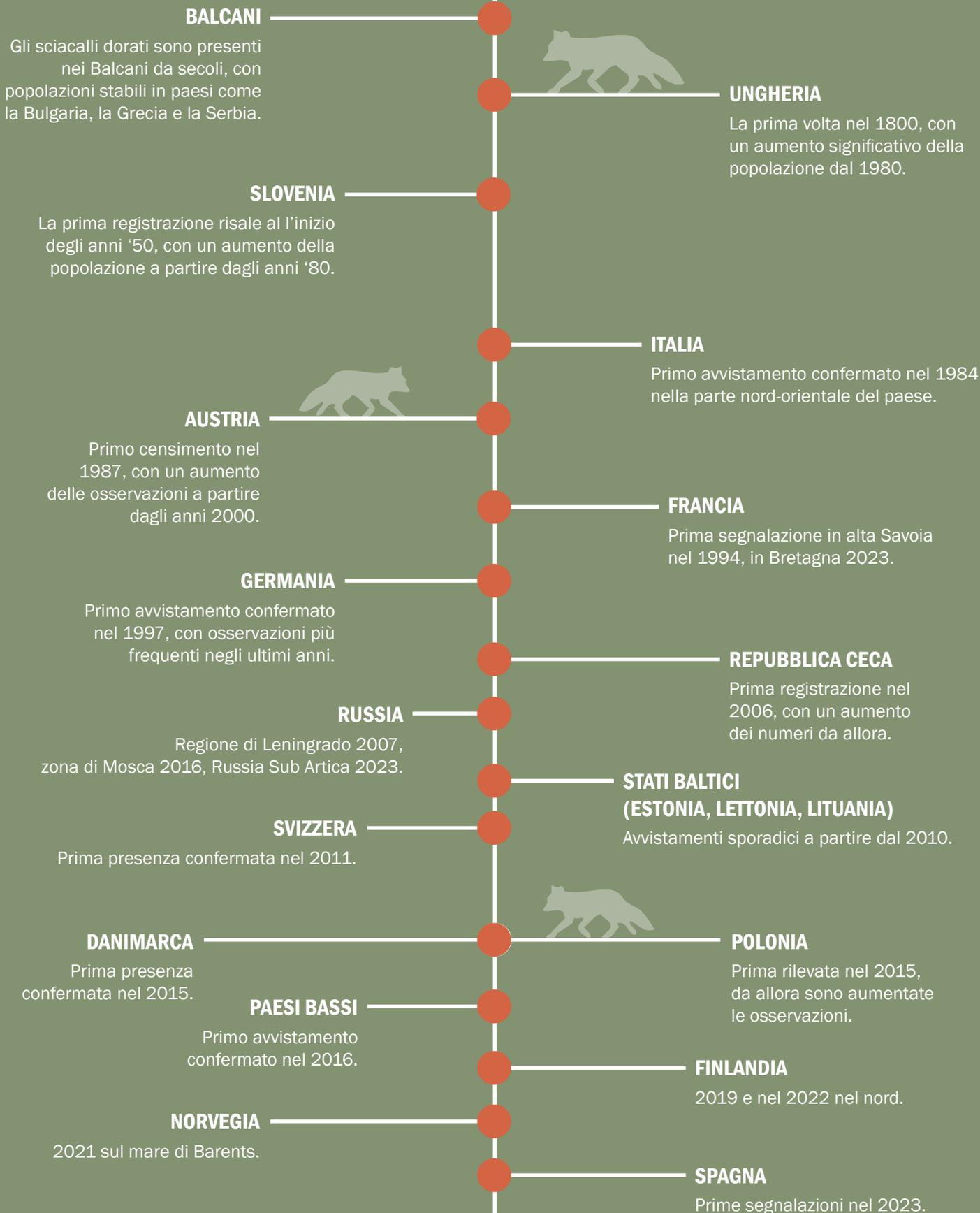
Sciacallo dorato (*Canis aureus*).

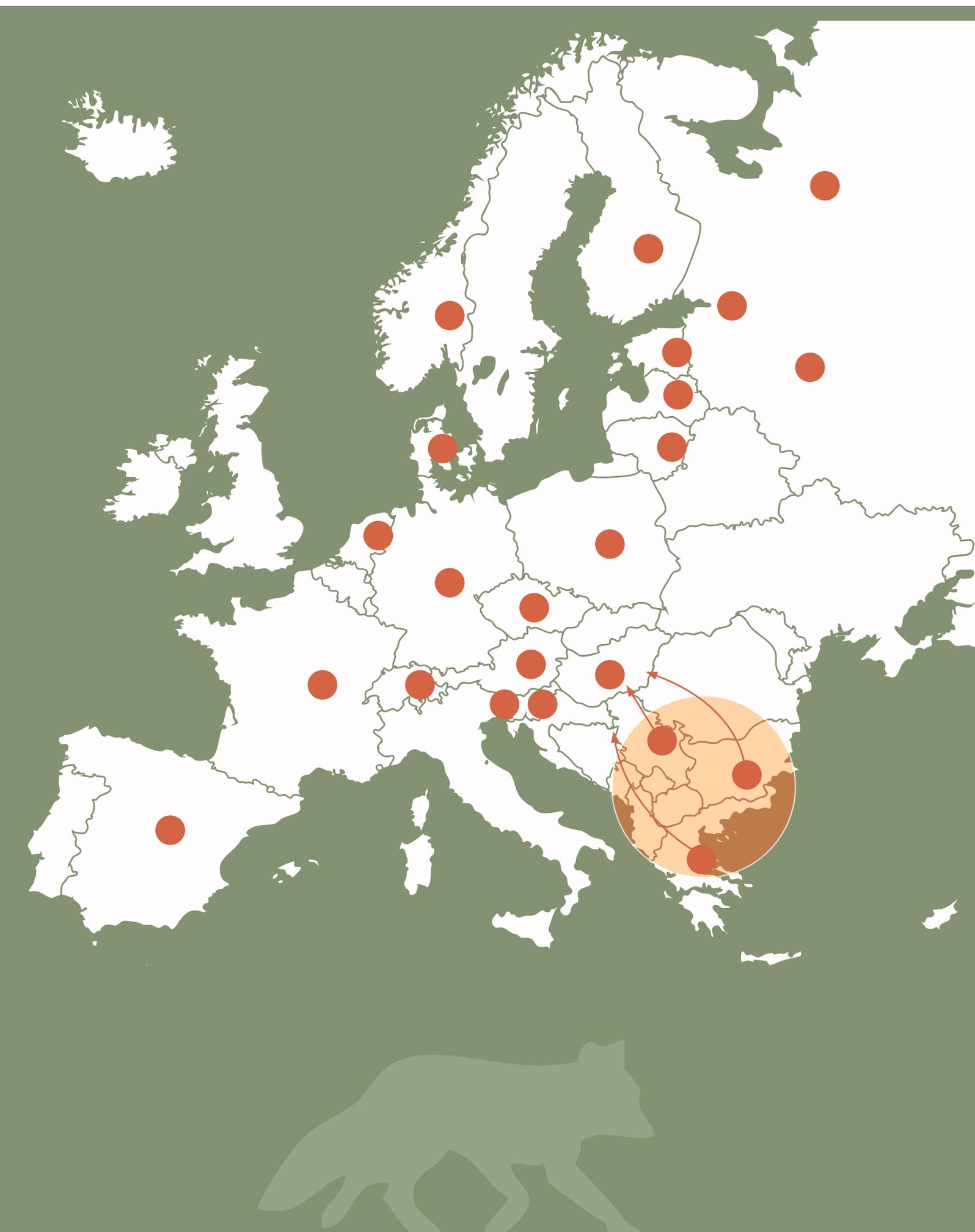
La variazione della temperatura globale e alcune variazioni climatiche collegate, tra le quali la durata sul terreno e l'altezza della neve, sembrano indurre da un lato una graduale riduzione delle aree utilizzate da alcune specie, con processi di crescente isolamento, dall'altro un aumento della velocità di espansione per altre specie che un tempo erano limitate dalle coperture nevose.

Questa variazione negli areali e nell'uso specifico degli habitat nelle diverse stagioni sta portando anche a una variazione dei rapporti di competizione nonché di predazione, con importanti conseguenze sulle comunità animali.

Spesso questi processi sono molto difficili da descrivere a causa della sovrapposizione di diversi fenomeni.

L'ESPANSIONE DELLO SCIACALLO DORATO IN EUROPA





VERSO NORD: LO SCIACALLO E IL GATTO SELVATICO

Grazie alla diminuzione della presenza della neve, ad altri fattori ambientali, al cambiamento di uso degli habitat da parte dell'uomo e all'assenza di competitori, **lo sciacallo dorato in pochi decenni si è espanso**, dalle aree balcaniche **verso nord**, fino a giungere in Siberia e nell'Europa settentrionale, oltre che **verso ovest** fino in Spagna. Anche il **gatto selvatico si sta espandendo nell'area alpina**. Nel caso di queste specie possiamo parlare di espansione del loro areale, mentre in altri casi, soprattutto per gli ungulati, quali stambecchi e camosci, si tratta di utilizzazioni differenziali delle diverse altitudini e dei diversi versanti. I motivi sono in parte analoghi ovvero collegati alla variazione della disponibilità delle risorse.

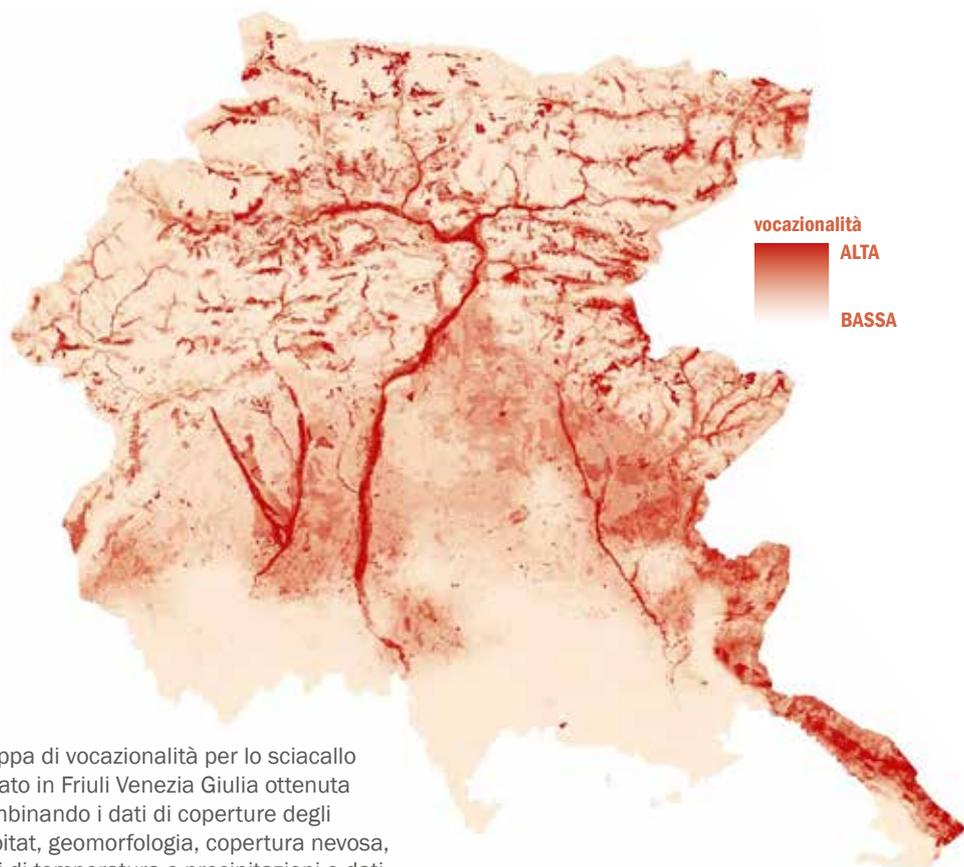
Nel caso del gatto selvatico, la minore copertura nevosa gli consente una maggiore facilità di movimento e una migliore efficacia di caccia nei confronti dei micromammiferi, così come temperature più miti riducono i forti dispendi energetici per la regolazione della temperatura nel periodo invernale.



Foto: Luc Viatour, CC BY-SA 3.0 by Wikimedia Commons

Gatto selvatico europeo (*Felis silvestris silvestris*).

MAPPA DI VOCAZIONALITÀ DELLO SCIACALLO



Mappa di vocazionalità per lo sciacallo dorato in Friuli Venezia Giulia ottenuta combinando i dati di coperture degli habitat, geomorfologia, copertura nevosa, dati di temperatura e precipitazioni e dati di presenza dello Sciacallo fino al 2019.

Ricerche realizzate anche dall'Università di Udine hanno evidenziato nel caso dello sciacallo il ruolo della copertura nevosa che riduce la vocazionalità per la specie alle altitudini elevate: **con l'aumentare del limite altitudinale della neve** conseguente ai cambiamenti climatici ci si può quindi attendere **una maggiore presenza della specie anche ad altitudini medio alte**, processo che si sta già osservando grazie ai monitoraggi effettuati e che può essere in parte contrastato dalla presenza del lupo.

VERSO LA CIMA: IL CINGHIALE E ALTRI UNGULATI

Un caso abbastanza eclatante è la frequentazione invernale delle aree alpine da parte del **cinghiale** e la sua **sempre più ampia frequentazione dei pascoli in quota durante l'estate e l'autunno**. La presenza di questa specie in tali aree di fatto va a creare danni importanti ai cotici dei pascoli e nel contempo genera anche **interazioni con altre specie**, che possono determinare effetti negativi su uccelli che nidificano a terra e **competizione per le carcasse di animali predati** (ad esempio da sciacalli e linci) con gli stessi predatori e con altri necrofagi, in un processo che viene chiamato "cleptoparassitismo". Questo fenomeno può causare importanti effetti sulla conservazione delle specie quali i predatori come la lince, che di fatto devono impegnarsi in altre predazioni per soddisfare le loro esigenze energetiche e nutrizionali a causa "dei furti" da parte del cinghiale e non solo.

Per quanto riguarda **gli stambecchi e i camosci**, l'innalzamento delle temperature li induce a spostarsi **a quote sempre più alte** e a frequentare aree e versanti meno caldi: si creano così anche delle condizioni di crescente **competizione**, sia tra le due specie che anche con specie domestiche. Inoltre aumenta sia la probabilità di **trasmissione di parassiti** tra diverse specie che la vulnerabilità alle predazioni.

CAMOSCIO E STAMBECCO: ALTRI COMPLESSI EFFETTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI

Nel caso specifico del **camoscio d'Abruzzo** appare come l'innalzamento della temperatura favorisca un'anticipazione dello sviluppo vegetativo di 25 giorni di una specie di trifoglio che rappresenta un elemento chiave nella sua dieta, in particolare tra i 1700 e i 2000 metri di altitudine. Le ricerche mostrano come è ipotizzabile un declino significativo del camoscio appenninico nei prossimi 50 anni a causa della **mancata armonizzazione tra il risveglio vegetativo e la produzione di trifoglio e le esigenze nutrizionali del camoscio**, che ne potrebbero causare un maggiore tasso di mortalità negli inverni successivi: un ennesimo esempio di "mismatch".

Lavori sul **camoscio alpino** mostrano come degli **effetti positivi durante il periodo invernale**, ovvero

Il camoscio d'Abruzzo (*Rupicapra pyrenaica ornata*) sembra aumentare la frequentazione delle aree boscate durante il periodo estivo a causa dell'aumento delle temperature, questo potrebbe indurre processi di competizione con il cervo e maggiori rischi di predazione da parte del lupo.



Foto: Gabriele Brancati by Pexels



Camoscio in Località Plan di Tapou (800 m. slm), Prealpi Giulie, in zona di bosco.

La presenza della specie in aree boscate appare sempre più frequente a causa dell'aumento delle specie e del cambiamento climatico.

meno neve e più alte temperature che abbassano la mortalità e migliorano la condizione corporea grazie alla maggiore disponibilità di foraggio e minori costi di termoregolazione, sono **sovracompensati dagli effetti negativi durante l'estate**, dovuti a minore disponibilità di cibo e maggiori costi di termoregolazione, con un aumento delle mortalità dei giovani camosci nell'inverno successivo. Generalmente durante l'estate i camosci appaiono frequentare i versanti a nord e le aree boscate: questo aspetto dovrebbe essere valutato anche in relazione ad una maggiore vulnerabilità ai predatori, ad esempio i lupi.

Sullo **stambecco** il riscaldamento e i cambiamenti climatici appaiono avere **effetti contrastanti** con un aumento della massa corporea grazie a inverni corti e precoce ricrescita vegetale, ma nel contempo si osservano cali nell'aumento del peso nei mesi estivi; inoltre parte degli effetti del clima sono complicati anche da altri processi quali la competizione con il cervo se questo è ad alte densità. Per lo stambecco appare importante, soprattutto per i maschi adulti, il ruolo della temperatura e dei costi di termoregolazione che spingono gli animali in estate a spostarsi ad altitudini più elevate e mangiare di meno.

Stefano Filacorda

Università degli Studi di Udine

PREDATORI SENZA FRIGORIFERO



Foto: Freepik

Lince eurasiatica (*Lynx lynx*).

L'aumento delle temperature influenza le comunità animali alpine, riducendo la mortalità invernale degli ungulati e aumentandone il successo riproduttivo, ma limitando per i necrofagi la disponibilità di carcasse, che inoltre si decompongono più rapidamente.

La lince ne risente, ma i lupi compensano questo fenomeno con la predazione, sostituendosi all'azione del freddo invernale.

Le alte temperature favoriscono la diffusione di malattie, ma ecosistemi complessi possono limitarne trasmissione e impatti anche sull'uomo.

Il freddo, ovvero gli inverni rigidi, spesso se combinati a inverni molto nevosi, inducono alti tassi di mortalità soprattutto negli erbivori, così come una riduzione dei successi riproduttivi; questa mortalità influenza a sua volta l'impatto degli ungulati sulla rinnovazione forestale.

Negli ultimi anni abbiamo potuto osservare nelle nostre Alpi un incremento notevole del cervo: alcuni fattori che possono avere favorito il suo incremento e diffusione devono essere ancora definiti e confermati, ma il riscaldamento climatico potrebbe essere uno di questi, che si combina con il cambiamento delle coperture forestali e delle loro strutture, con boschi sempre più maturi.

Sembra che in generale, con dei specifici distinguo, l'innalzamento della temperatura combinato comunque a buone disponibilità alimentari potrebbero favorire maggiori successi riproduttivi per gli ungulati: ma questa è una notizia positiva?

PIÙ UNGULATI: NON È UNA BUONA NOTIZIA PER TUTTI

Una crescente presenza di ungulati non è un fatto del tutto positivo: oltre all'impatto che queste specie hanno sulla vegetazione e sulle attività umane, quali ad esempio la raccolta dei foraggio e l'aumento degli incidenti stradali, la diminuzione della mortalità causa anche meno disponibilità alimentare per altre specie che si nutrono di carcasse. Queste specie sono numerose, dagli invertebrati ai mammiferi quali mustelidi e canidi, ma anche rapaci e altre specie di uccelli.

Ma accanto a ciò c'è un ulteriore aspetto che amplifica questo fenomeno: le carcasse durano sempre di meno sia per i necrofagi che per i predatori che le hanno "generate", in ragione del loro sistema digestivo, a causa dell'accelerazione dei processi di decomposizione, tra cui anche la putrefazione, favoriti dalle alte temperature.

L'effetto della temperatura deve essere comunque considerata a scala locale e in relazione alle evoluzioni stagionali anche in termini di copertura nevosa, quantità e velocità di scioglimento e di piovosità primaverili ed estive.

L'innalzamento della temperatura sta favorendo un anticipo della stagione riproduttiva per i cervi e un aumento del numero di piccoli nati, ma poi risultano molto importanti le condizioni di piovosità e temperature successive ai parti nel determinare la successiva sopravvivenza dei piccoli nel medio periodo.



26.27 inHg ↑ 8°C 08/08/2023 09:07AM RAMARA2



26.14 inHg - 13°C 06/11/2023 05:22AM RAMARA2



Foto di femmine di cervo con piccoli nell'area delle Alpi Carniche, 11 giugno 2023.

LA LINCE “SCHIZZINOSA” E L'UTILITÀ DEL LUPO

Carcasse ricche di putrescina e cadaverina possono diventare anche meno appetibili per specie che non sono in grado di degradarle: pensiamo alla lince che generalmente impiega 4-5 giorni per consumare un capriolo. Quindi i fenomeni di decomposizione, generati da alte temperature, vanno a influenzare l'utilizzazione delle carcasse da parte dei predatori, in questo caso i felini, inducendoli a consumi ridotti e, di conseguenza, a nuove predazioni: ciò comporta un ulteriore sforzo per il predatore e anche una maggiore influenza sulla popolazione di prede, soprattutto caprioli.

In questo contesto avere delle comunità animali complesse può aiutare: un esempio è il lupo che potrebbe in parte compensare le minori mortalità invernali degli ungulati grazie alla sua attività di predazione e fungere da “buffer” agli effetti del cambiamento climatico, generando le carcasse che l'inverno non genera più.



Cerva predata da lupi e consumo successivo da parte di mustelidi.
Il lupo grazie alle sue predazioni crea le condizioni per la sopravvivenza di molte altre specie di necrofagi, tra cui martora, faina, volpe, rapaci.

Predazione di lince su capriolo nel Parco delle Prealpi Giulie.
L'aumento delle temperature potrebbe influenzare l'uso delle carcasse frutto delle predazioni della lince a causa dell'aumento dei processi di putrefazione che le rendono meno appetibili.



LA SQUADRA PIÙ CHE IL SINGOLO PUÒ DIFENDERE LA BIODIVERSITÀ DAL RISCALDAMENTO GLOBALE

Dobbiamo quindi proteggere e favorire catene trofiche complesse che possono compensare la minore mortalità delle specie dovute alla neve sempre più scarsa, all'innalzamento della temperatura e alla successiva minore durata delle carcasse, utili alla sopravvivenza di molte specie necrofaghe. Una comunità complessa, con la presenza anche dei grandi carnivori, può quindi compensare le scarse mortalità invernali e nel contempo una comunità animale ricca in necrofagi (quali martore, faine, volpi, rapaci...) può velocizzare la scomparsa delle carcasse stesse, che potrebbe rappresentare una fonte di trasmissibilità di diverse malattie verso altre specie di fauna selvatica nonché verso l'uomo. Questi necrofagi nel contempo potrebbero fungere da specie di controllo sui micromammiferi e il loro parassiti, tra cui le zecche, che beneficiano di condizioni climatiche sempre più miti e che a loro volta potrebbero veicolare alcune malattie anche all'uomo.

Stefano Filacorda

Università degli Studi di Udine

COME SI STUDIANO GLI EFFETTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SULLA FAUNA

Foto: Tapani Hellman da Pixabay

Per studiare gli effetti del cambiamento climatico su mammiferi e uccelli, si usano tecniche come tracciamento, osservazioni dirette, fotocamere a infrarossi, sensori fisiologici e GPS.

È fondamentale combinare questi strumenti in studi di lungo periodo, condotti con metodologie condivise a livello internazionale.

Solo così si può comprendere l'impatto delle variazioni climatiche, spesso difficile da isolare per la complessità degli ecosistemi e la moltitudine di fattori coinvolti.

Orso bruno (*Ursus arctos*).

Capire gli effetti dell'aumento della temperatura e dei cambiamenti climatici, sulla fauna selvatica in particolari mammiferi e uccelli, non è facile: lo si può ben comprendere leggendo gli articoli precedenti. Studiare come l'innalzamento della temperatura, anno dopo anno piuttosto che su anni specifici, influenza la vita dei nostri animali, necessita di un sforzo importante in termini di periodi di osservazione, aree studiate e tecniche e conoscenze che devono essere contestualizzate in disegni di ricerca robusti e devono essere standardizzate, per fornire molti dati confrontabili. Questi tipi di studi importantissimi per la sopravvivenza della vita sul pianeta richiedono un'approfondita conoscenza della natura e dei suoi processi unitamente all'uso di nuove tecnologia. Questa strategia integrata spesso deve avere come elemento di partenza anche la conoscenza del passato da parte delle comunità locali e serie storiche antiche, con la successiva integrazione di dati raccolti con nuove ricerche.

RICERCA DI TRACCE E DEI SEGNI DI PRESENZA

La ricerca di tracce è una delle più antiche tecniche di monitoraggio degli animali, utilizzata soprattutto, ma non solo, in zone in cui c'è neve o su terreni sabbiosi e fangosi. Questa tecnica un tempo era utilizzata soprattutto a fini di caccia. Ora, nonostante la presenza di nuove tecniche molto sofisticate, rimane una tecnica utile a rilevare la presenza e anche l'abbondanza di specie di mammiferi, ma anche di uccelli quali i tetraonidi; se combinata anche allo studio dell'uso di diversi habitat permette inoltre di studiare la loro ecologia.

Con l'evoluzione e l'adozione dell'intelligenza artificiale e di tecniche di analisi di immagini, l'individuazione della singola impronta permette addirittura di distinguere il singolo individuo, che viene individuato grazie alle creste papillari.

Oltre alla ricerca delle impronte, si utilizza anche la ricerca dei segni di alimentazione, come ad esempio i segni di brucamento che permettono di studiare variazioni del comportamento alimentare in ragione dell'aumento della temperatura e uso di diversi habitat.

OSSERVAZIONE DIRETTA

L'osservazione diretta insieme allo studio della tracce, è un'antica forma di studio degli animali, che permette innanzitutto di rilevare la presenza e distribuzione di una specie o uno specifico individuo, grazie a particolari caratteristiche individuali (ad esempio la forma e struttura delle corna piuttosto che particolari caratteristiche dei mantelli). Inoltre consente anche di descrivere il comportamento dell'individuo e mettere questi aspetti (presenza e comportamento) in relazione a variabili stagionali, ambientali e climatiche. Come vedremo successivamente, l'evoluzione delle tecnologie attraverso ottiche sempre più sofisticate e uso di termocamere permette di studiare gli animali anche a grandi distanze e durante le ore notturne.

Le osservazioni dirette - del singolo individuo e specie o della singola traccia o segno di presenza - anche grazie al contributo dei cittadini (citizen science), supportato da applicazioni digitali usate a livello planetario, stanno contribuendo a valutare a livello globale la distribuzione delle specie, anche in relazioni a diverse momenti della



Rilievo di tracce di lince da parte dell'Università di Udine, la ricerca delle tracce è uno degli strumenti più antichi di ricerca e legato anche alla storia di popolazioni native e della caccia.

stagione: pensiamo ad esempio all'osservazione dei tempi di migrazione di diverse specie, che sono influenzate dall'aumento della temperatura e dai cambiamenti climatici.

TELEMETRIA

La telemetria ovvero l'uso di collari dotati di sistemi di georeferenziazione e sensori di attività, permette di studiare l'uso dello spazio e nel contempo di ritmi di attività. L'uso dello spazio ci permette di studiare se ad esempio le specie utilizzano particolari aree e versanti nonché fasce altitudinali, per poi correlare questi utilizzi con le diverse stagioni, il giorno e la notte, la presenza e copertura della neve, la temperatura e i diversi tipi di habitat.

I sensori di attività ci permettono di vedere se e quando una specie va ed esce dal letargo e i ritmi giornalieri ovvero quando una specie si muove, si alimenta o si riposa, tutti comportamenti che sono anche associati alle temperature. Come si

è visto precedentemente, con l'aumento della temperatura e il precoce scioglimento della neve, l'orso ad esempio sembra ridurre il periodo di letargo e l'utilizzazione di collari dotati di sistema gps, o altri sistemi di localizzazione, combinato a sensori di attività che misurano l'oscillazione della testa hanno permesso di determinare questi processi e i tempi di riduzione.

In alcune specie di uccelli i sistemi satellitari (che possono essere zainetti piuttosto che anelli predisposti sulle zampe) sono utilizzati per studiare le migrazioni, anche su grandi distanze, e hanno permesso di evidenziare come l'innalzamento della temperatura sta influenzando i tempi di migrazione di alcune specie. Spesso la cattura necessaria per predisporre questi



Predisposizione di sistemi satellitari su grifoni presso la Riserva naturale regionale del Lago di Cornino, nell'ambito del progetto Interreg Italia - Slovenia Nat2Care. Lo studio dei movimenti giornalieri, stagionali e le migrazioni degli uccelli è fondamentale per studiare l'effetto dell'innalzamento della temperatura e dei cambiamenti climatici sul comportamento di queste specie.

strumenti consente di poter predisporre sensori che possono rilevare ulteriori dati a livello metabolico e fisiologico, molto importanti ad esempio per studiare le migrazioni o i periodi di letargo.

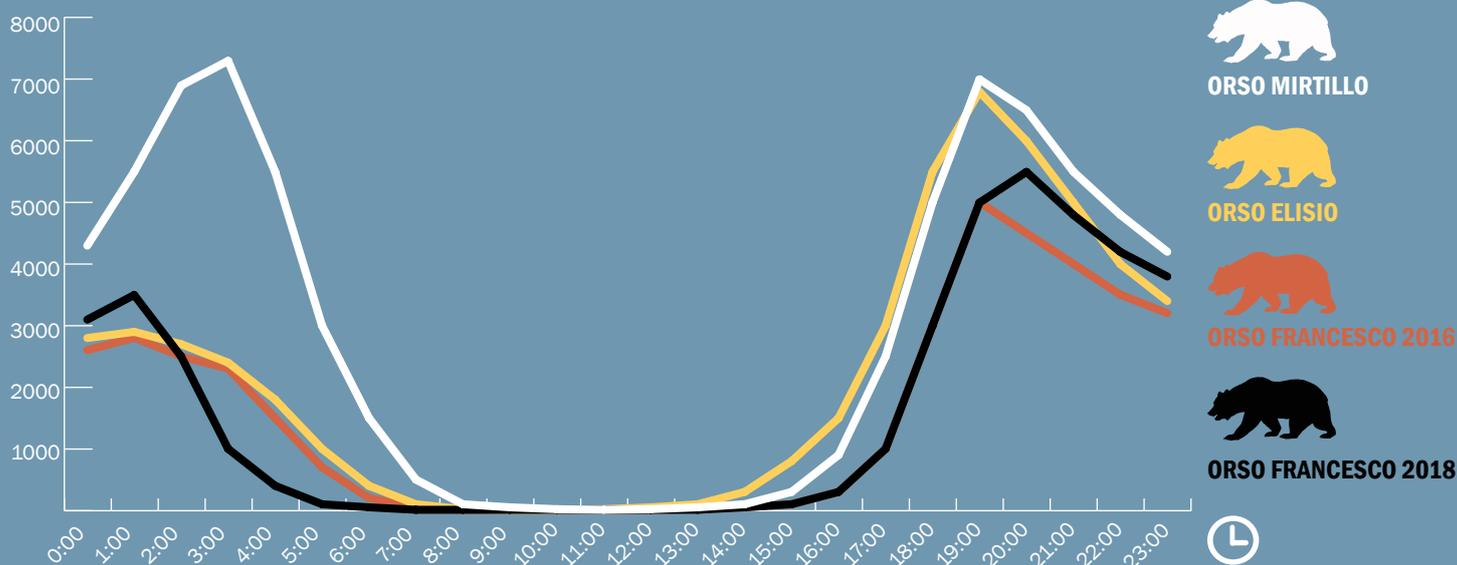
L'Università di Udine sta utilizzando questi strumenti per studiare come la stagionalità e la diversa disponibilità alimentare, influenzata anche dall'aumento delle temperature, possa modificare il comportamento di orsi, così come anche i movimenti dei grifoni, dei lupi e degli sciacalli.

ATTIVITÀ MEDIA ORARIA DEGLI ORSI

Il grafico illustra la media dei ritmi di attività di tre orsi rilevati in primavera/estate con gli accelerometri presenti sui collari. Sull'asse verticale è rappresentata l'intensità del movimento

misurato (combinazione di movimenti verticali e orizzontali della testa); sull'asse orizzontale sono indicate le ore del giorno.

Si può notare come gli orsi non si muovono durante le ore centrali della giornata mentre hanno picchi di attività dopo il tramonto e prima dell'alba.



ORSO MIRTILLO



ORSO ELISIO



ORSO FRANCESCO 2018



ORSO FRANCESCO 2018



IL FOTOTRAPPOLAGGIO

Il fototrappolaggio è diventata una delle tecniche “moderne” più utilizzato a livello planetario (si stimano volumi di vendita di 200.000 -300.000 mila fotocamere per anno) grazie a costi molto bassi (da 30 euro fino a superare i 1000 euro) per singola fotocamera e al numero di informazioni ovvero foto e video che può raccogliere.

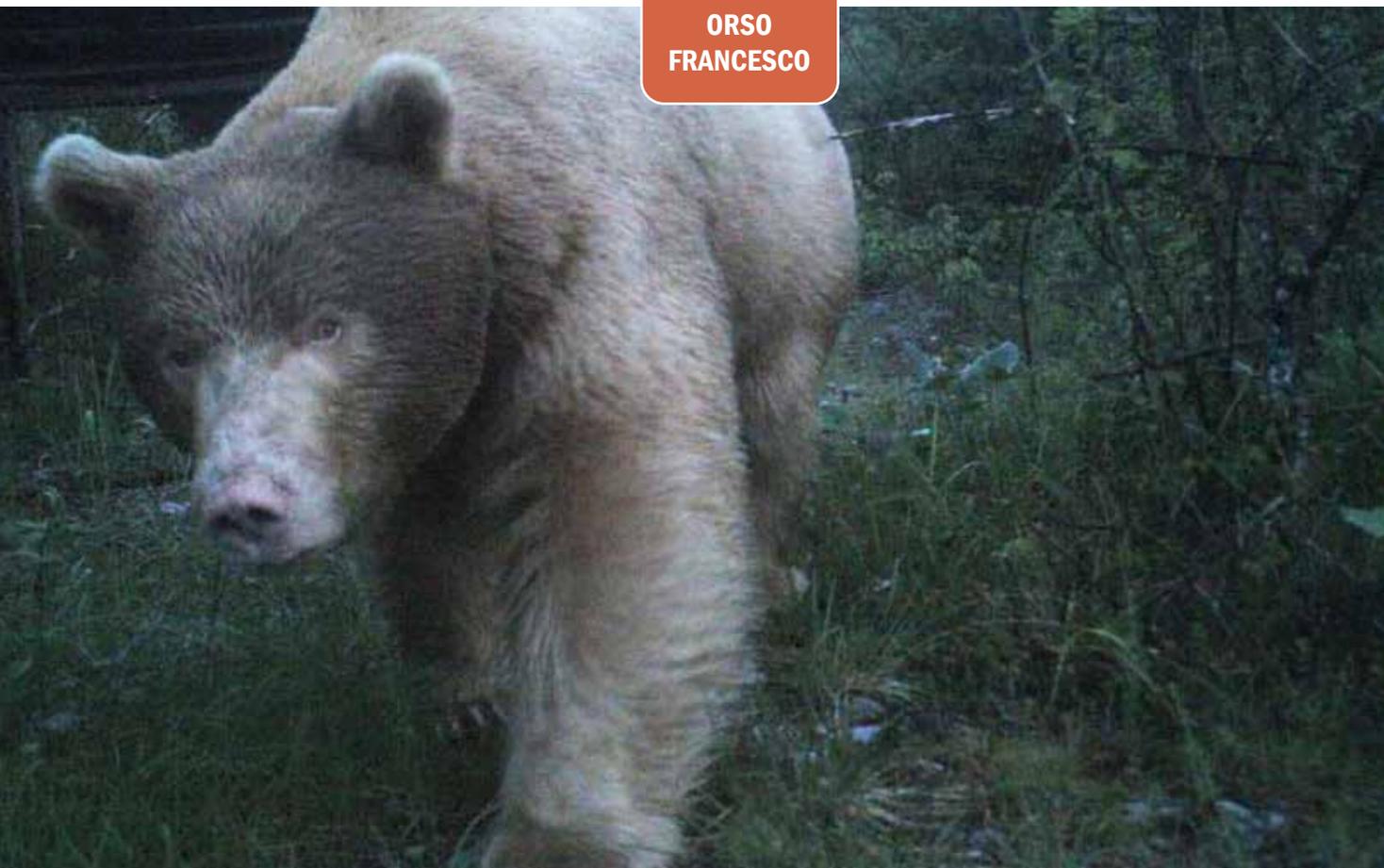
Oltre al singolo cittadino o utente (ad esempio i cacciatori), le fotocamere sono utilizzate da enti di ricerca, di protezione della natura e di vigilanza e **se incardinate in disegni sperimentali “robusti”** permettono di ottenere informazioni importanti su distribuzione, uso degli habitat e ritmi stagionali delle specie, anche in relazione ai cambiamenti climatici. Il crescente uso di **tecniche di analisi delle immagini combinate all’Intelligenza artificiale** stanno consentendo di elaborare e interpretare grandissime quantità di foto e video.

L’**Università di Udine** sta utilizzando questi strumenti, grazie a **ricerche iniziate già negli anni 2000**, per rilevare se esistono diversi tempi dei

parti (ovvero una loro anticipazione) e un diverso successo riproduttivo per le specie di ungulati, influenzati dall’innalzamento della temperatura, da altre variabili climatiche e da cambiamento di l’uso dei diversi habitat e altitudini, anno per anno e in funzione di diverse zone. Ulteriore sforzo è impegnato per studiare come **eventi estremi** (incendi o il Vaia) hanno modificato i comportamenti e l’uso degli habitat da parte di specie di mammiferi e come in generale si stanno modificando le diverse comunità animali anche in ragione dell’altimetria. Negli articoli precedenti è stato ad esempio riportato come l’attività di ricerca dell’Università di Udine ha messo in evidenza il ruolo delle neve nell’uso dello spazio da parte dello **sciacallo**.

TERMOCAMERE E DRONI

Un nuovo sistema sempre più utilizzato, che prevede comunque il controllo umano, sono le termocamere e l’uso dei droni dotati di termocamere: questi sistemi permettono di osservare le specie e studiarne i comportamenti in relazione a variabili ambientali e climatiche.



ORSO
FRANCESCO

L’uso del fototrappolaggio è diventato uno strumento fondamentale per la ricerca dell’influenza dell’innalzamento della temperatura sul comportamento della fauna selvatica. L’orso “Francesco”, M4.



Immagine ottenuta con termocamera su tre individui di sciacallo.

IL BENESSERE DEGLI ANIMALI

Nell'ambito di tutte queste tecniche descritte, rimane sempre fondamentale tenere conto del benessere degli animali che studiamo. Risulta chiaro che per dotare un animale di tag o di strumenti utili a studiare i movimenti e i ritmi di attività dobbiamo catturarli e questo comporta **rischi e stress sia per gli animali che per gli operatori**. Al contempo anche gli strumenti di cui sarà dotato l'animale potrebbero modificarne il comportamento, oltre che la sopravvivenza: in questo senso esistono **protocolli rigidi** sulle catture e sul peso degli strumenti rispetto al peso vivo degli animali. Tutti questi rischi li dobbiamo ridurre al minimo così come essere consapevoli che anche la predisposizione di una fotocamera in un luogo chiave per la vita della specie (ad esempio un sito di riproduzione) può indurre l'individuo ad abbandonare l'area e modificarne il comportamento, così come portare un drone a pochi metri dall'animale o

seguirlo nella sua direzione di marcia sulla neve. È quindi importante rispettare la vita di queste specie e trovare **modalità di ricerca adeguate** agli scopi della stessa e compatibili con il benessere degli animali.



La predisposizione di collari per ricerca deve rispettare protocolli rigorosi nel rispetto del benessere degli animali sia durante la cattura che poi successivamente durante il monitoraggio. Cattura dell'Orso "Francesco" da parte dell'Università di Udine nell'ambito del progetto Interreg Italia Slovenia Nat2Care.

L'IMPORTANZA DEL DISEGNO SPERIMENTALE E L'INTEGRAZIONE DI DATI

Le tecniche fin qui descritte necessitano spesso di **integrazione** tra di loro e soprattutto di **disegni sperimentali robusti**, ovvero con raccolte di dati effettuate su più anni e con la raccolta di molte informazioni (ad esempio grazie all'uso di diverse decine e centinaia di fotocamere), da effettuare in maniera standardizzata e tenendo conto delle molte variabili ambientali in gioco. Per alcune ricerche risulta fondamentale creare dei **gruppi di lavoro internazionali** che contribuiscono a creare dei data base molto grandi che possano poi soddisfare dei requisiti di tempo (periodi di ricerca lunghi), analizzando aree ampie dove poter confrontare diverse evoluzioni della temperatura.

Solo schemi di ricerca di questo tipo permettono di evidenziare gli effetti dell'innalzamento della temperatura e dei cambiamenti climatici, che spesso però rimangono difficili da dimostrare e interpretare per la numerosità delle variabili in gioco e dell'intrinseca complessità dei sistemi ecologici. In questo contesto il sempre più importante contributo dei cittadini attraverso la **citizen science**, a livello globale, può dare un importante supporto così come l'importante sviluppo dell'Intelligenza artificiale, che consente l'elaborazione e l'interpretazione di grandi masse di dati.

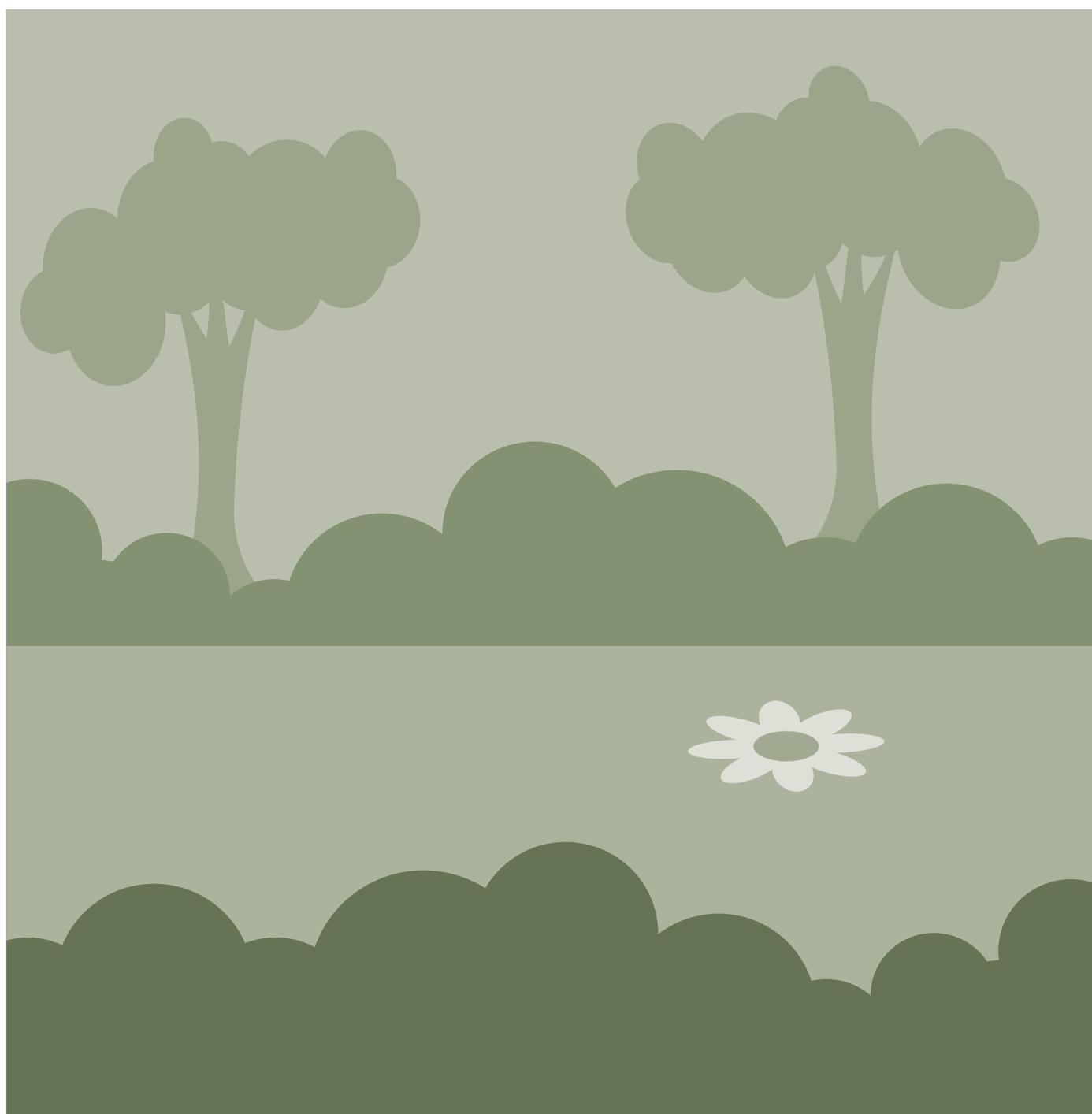
Stefano Filacorda

Università degli Studi di Udine



Orso presso il passo di Tanamea (Prealpi Giulie, UD).

DAL VERDE URBANO ALLE FORESTE



DAL VERDE URBANO ALLE FORESTE

Alberi, siepi, ecosistemi: dall'ambiente cittadino ai grandi spazi naturali, i rischi che corrono e le soluzioni che ci offrono

Il “verde” rappresenta non solo un elemento esposto e vulnerabile agli impatti dei cambiamenti climatici, ma anche uno dei nostri alleati più preziosi per contrastarne le cause e gli effetti. Gli articoli di questa sezione ci guidano attraverso un viaggio che parte dalle nostre città, arriva fino alle foreste e fa emergere il ruolo fondamentale che la natura gioca sia per la mitigazione che per l'adattamento ai cambiamenti climatici, oltre che per il benessere e la salute di persone e ambiente.

La rete ecologica urbana, composta da parchi e giardini, fornisce una molteplicità di servizi ecosistemici, tra cui la difesa contro ondate di calore e piogge intense e l'assorbimento del carbonio dall'atmosfera. Sono sempre più evidenti i vantaggi delle “soluzioni basate sulla natura”, promosse anche dalla Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia che supporta concretamente i Comuni nell'adozione di strategie innovative, dai giardini pluviali ai corridoi di ventilazione, per contrastare l'effetto “isola di calore urbana” e migliorare la qualità della vita.

Uscendo dalla città, il viaggio prosegue verso il “cuore verde” del territorio: siepi e filari di alberi che popolano la nostra campagna formano un'infrastruttura verde, ora mappata tramite immagini satellitari, che contribuisce ad assorbire CO₂ dall'atmosfera e garantisce la connettività ecologica, essenziale per la sopravvivenza di piante e animali.

Addentrando nelle foreste, scopriamo come la tecnologia più avanzata, come i sensori *TreeTalkers*®, permetta di “ascoltare” gli alberi in tempo reale per monitorare la loro salute e la loro capacità di adattamento ai cambiamenti climatici. Le specie forestali hanno infatti diverse strategie per adattarsi al clima che cambia, ma possono essere anche aiutate con una “migrazione assistita”.

Le foreste svolgono inoltre un ruolo fondamentale per la mitigazione del riscaldamento globale grazie alla loro capacità di catturare e stoccare il carbonio: il telerilevamento consente di quantificare questo contributo per pianificare una gestione forestale più efficace.

Il percorso di lettura ci porta quindi a comprendere come perdita di biodiversità e cambiamento climatico siano due crisi interconnesse, che possono essere affrontate con una strategia comune: ripristinare la natura. Il *rewilding*, mira a ripristinare la natura e a promuovere un nuovo equilibrio tra gli ecosistemi e le attività umane: la sua applicazione all'ambito forestale è oggetto di studio in FVG.

Il viaggio nel “verde” si conclude con un approfondimento di ampio respiro, che evidenzia come oggi sia necessario adottare forme di conservazione dinamiche della natura, che si adattino ai cambiamenti, per garantire che la biodiversità del futuro possa prosperare.

I SERVIZI ECOSISTEMICI DELLA RETE ECOLOGICA DI TRIESTE CONTRO I CAMBIAMENTI CLIMATICI



Le infrastrutture verdi migliorano la qualità della vita urbana integrando la natura negli spazi cittadini.

A Trieste la rete ecologica formata da ecosistemi urbani e periurbani favorisce la biodiversità e la resilienza climatica, attenuando gli effetti di ondate di calore e piogge intense.

Inoltre, sequestro e stoccaggio del carbonio contribuiscono alla mitigazione del cambiamento climatico.

Ma i servizi ecosistemici forniti dagli alberi sono a rischio in scenari climatici futuri associati a emissioni crescenti di gas serra.

Le aree urbane ospitano una parte crescente, ormai già oltre il 50%, della popolazione mondiale, configurandosi come luoghi complessi dove le dinamiche ambientali, sociali ed economiche si intrecciano in maniera profonda. In questo contesto, i servizi ecosistemici rivestono un ruolo fondamentale nel miglioramento della qualità della vita e nella sostenibilità delle città. Questi servizi, che provengono dagli **ecosistemi naturali e seminaturali** presenti negli spazi urbani e periurbani, offrono una vasta gamma di benefici cruciali per il benessere dei cittadini. Tra i principali **servizi ecosistemici** si possono ricordare la regolazione del microclima, il miglioramento della qualità dell'aria, il controllo delle acque meteoriche, la conservazione della biodiversità e il rafforzamento del benessere psico-fisico delle persone.

INFRASTRUTTURE VERDI: UNA STRATEGIA EMERGENTE

Le infrastrutture verdi, intese come reti di spazi naturali e seminaturali progettati e gestiti per fornire tali servizi alle persone, stanno emergendo, in Europa come nel resto del mondo, come una strategia chiave per **affrontare le sfide ambientali e migliorare la resilienza del territorio e delle città**. Tali soluzioni, che comprendono una varietà di spazi naturali e seminaturali progettati e gestiti con l'obiettivo di fornire servizi ecosistemici, non solo migliorano la qualità dell'ambiente urbano, ma contribuiscono anche a ridurre gli effetti dei cambiamenti climatici. Parchi, giardini, tetti e pareti verdi, corridoi ecologici e aree umide artificiali sono solo alcune delle forme di infrastrutture verdi che, oltre a incrementare la **biodiversità**, migliorano la **qualità dell'aria**, contrastano il fenomeno di **isola di calore urbana** e favoriscono l'infiltrazione delle **acque piovane**. Questi spazi, inoltre, promuovono la **coesione sociale**, offrendo aree accessibili per la comunità dove è possibile socializzare, fare attività fisica e godere del contatto con la natura.

LA RETE ECOLOGICA DELLA CITTÀ DI TRIESTE...

Nel caso della città di Trieste, l'analisi delle infrastrutture verdi non può prescindere dalla comprensione della sua rete ecologica complessa, che si inserisce all'interno della più ampia rete ecologica regionale. La città si caratterizza per una **notevole varietà di ambienti naturali e seminaturali**, che spaziano dagli altopiani carsici agli ambienti costieri e marini, con formazioni forestali e prati aridi inseriti in un diversificato mosaico agricolo ad alto valore ecologico e paesaggistico. L'integrazione delle infrastrutture verdi nella pianificazione urbana a Trieste non si limita alla creazione di nuovi spazi verdi, ma implica anche un processo di **valorizzazione e miglioramento della rete ecologica esistente**. La conformazione geografica della città e la sua posizione strategica, tra il mare Adriatico e le Alpi Giulie, offrono opportunità uniche per l'integrazione di soluzioni basate sulla natura, che rafforzano la connettività ecologica tra le diverse aree naturali.



... NEL CONTESTO DELLA RETE ECOLOGICA REGIONALE

La rete ecologica di Trieste si inserisce nel contesto della rete ecologica regionale, un sistema di aree protette e corridoi ecologici che **collega ecosistemi significativi e favorisce la continuità biologica tra habitat naturali e seminaturali**. Trieste, infatti, è un nodo cruciale di questa rete, poiché le sue caratteristiche geografiche e naturali determinano una serie di potenzialità per il miglioramento della connessione tra gli ecosistemi urbani e quelli circostanti. L'analisi di questa rete ecologica comprende la **valutazione degli ambienti naturali e seminaturali, dei corridoi ecologici esistenti e delle connessioni** tra i diversi habitat, così da individuare le possibili aree di intervento per potenziare la resilienza della città e la sua capacità di adattamento ai cambiamenti climatici.

In questo contesto, le infrastrutture verdi a Trieste non solo contribuiscono alla sostenibilità ambientale, ma svolgono anche un ruolo cruciale nella **conservazione della biodiversità locale**, creando habitat per le specie animali e vegetali tipiche dell'area. La progettazione e la gestione di questi spazi devono quindi essere strettamente legate alla rete ecologica regionale, affinché la città possa mantenere e potenziare la connessione tra gli ambienti naturali e urbani.

IL COINVOLGIMENTO DELLA COMUNITÀ

Un aspetto fondamentale per il successo di queste infrastrutture è il coinvolgimento attivo della comunità. La **partecipazione dei cittadini alla progettazione, realizzazione e manutenzione degli spazi verdi** è un elemento chiave per promuovere una gestione sostenibile e inclusiva. Trieste, in questo senso, si distingue per un modello di governance che promuove la collaborazione tra le istituzioni locali, le organizzazioni non governative, i cittadini e i vari attori sociali. Il coinvolgimento attivo della comunità non solo aumenta la consapevolezza riguardo l'importanza delle infrastrutture verdi, ma favorisce anche la **creazione di legami più stretti tra le persone e l'ambiente**.

Guardando al futuro, le infrastrutture verdi rappresentano una delle risposte più promettenti

alle sfide ambientali e climatiche che Trieste si troverà a fronteggiare. Con l'aumento delle temperature, l'intensificarsi degli eventi climatici estremi e la crescente pressione urbana, le soluzioni basate sulla natura sono destinate a diventare sempre più cruciali. Trieste, attraverso l'analisi e il potenziamento della sua rete ecologica, potrà continuare a migliorare la qualità della vita dei suoi abitanti, promuovendo la resilienza urbana e contribuendo alla sostenibilità dell'intero territorio.

GLI ECOSISTEMI ASSORBONO E SEQUESTRANO CO₂

Tra i numerosi servizi ecosistemici forniti dalle aree naturali, seminaturali e urbane, **la capacità di assorbire e immagazzinare anidride carbonica (CO₂)** rappresenta uno dei contributi più rilevanti degli ecosistemi alla regolazione del clima. Questo servizio, noto come sequestro e stoccaggio del carbonio, permette di ridurre la concentrazione di gas serra in atmosfera e contribuisce quindi alla **mitigazione del cambiamento climatico**, in sinergia con le politiche di riduzione delle emissioni. Attraverso la fotosintesi, le piante e gli ecosistemi di cui esse fanno parte trasformano la CO₂ atmosferica in biomassa, trattenendola nei tronchi, nelle foglie, nelle radici e nel suolo. Questo processo consente non solo di **sottrarre carbonio dall'atmosfera** (sequestro annuale), ma anche di **conservarlo nel tempo** (stoccaggio), svolgendo una funzione assimilabile a quella di una "infrastruttura verde" (IV) invisibile ma vitale per la resilienza del sistema urbano e periurbano.

Uno studio condotto dall'Università degli Studi di Trieste per il Comune di Trieste ha calcolato la quantità di carbonio fissata e stoccata dagli ecosistemi del territorio comunale e dagli alberi all'interno della città, come spiegato nell'approfondimento **IL SEQUESTRO E LO STOCCAGGIO DI CARBONIO: UN SERVIZIO ECOSISTEMICO CHIAVE NELLA RETE ECOLOGICA DEL COMUNE DI TRIESTE**.

IL SEQUESTRO E LO STOCCAGGIO DI CARBONIO: UN SERVIZIO ECOSISTEMICO CHIAVE NEL COMUNE DI TRIESTE

LO STOCCAGGIO DI CARBONIO NEGLI ECOSISTEMI DEL COMUNE DI TRIESTE

La quantificazione del carbonio stoccato all'interno della rete ecologica del Comune di Trieste, effettuata mediante il modello InVEST (*Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs*), applicato a una mappa degli habitat aggiornata con risoluzione spaziale di 5 metri (Figura 1), ha permesso di stimare il carbonio immagazzinato nei principali comparti ecologici: biomassa epigea, biomassa ipogea, sostanza organica del suolo e lettiera forestale. I risultati ottenuti offrono una fotografia scientificamente fondata ma al contempo sorprendentemente concreta dell'infrastruttura ecologica triestina. In termini assoluti, la quantità di carbonio attualmente stoccata nei comparti vegetazionali e pedologici del Comune di Trieste corrisponde a circa 700,000 tonnellate di carbonio.

IL CONTRIBUTO DELLA FORESTA URBANA: ALBERI CITTADINI COME ATTORI CLIMATICI

Se il territorio comunale, nella sua dimensione vasta e articolata, costituisce un importante serbatoio di carbonio, anche la porzione urbana offre un contributo significativo. In particolare, gli alberi censiti all'interno della città di Trieste sono stati oggetto di una stima puntuale grazie alla piattaforma i-Tree Eco, strumento adottato a livello internazionale per quantificare i servizi ecosistemici delle foreste urbane. L'analisi ha considerato 28.692 alberi censiti dall'Unità Tecnica Alberature e Parchi del Comune di Trieste, per i quali sono stati raccolti dati dettagliati su specie, diametro del tronco, altezza, condizione fitosanitaria, esposizione e posizione. Attraverso i-Tree, è stato possibile calcolare tanto il carbonio attualmente stoccato (Figura 2) quanto quello sequestrato ogni anno.

In termini di equivalenza funzionale, il carbonio immagazzinato nelle alberature urbane corrisponde alle emissioni annuali di circa 8.180 automobili di media cilindrata, mentre annualmente la foresta urbana di Trieste sequestra carbonio corrispondente alle emissioni prodotte in un anno da circa 300 automobili o, ancora, alle emissioni generate in un anno da circa 100 abitazioni monofamiliari.

Pur trattandosi di quantità inferiori rispetto al patrimonio vegetale periurbano (circa 1,5%), le alberature urbane offrono un contributo tutt'altro che trascurabile. Infatti, gli alberi in ambiente urbano svolgono molteplici funzioni oltre al sequestro di CO₂: offrono ombra e mitigano l'isola di calore, migliorano la qualità dell'aria, favoriscono la salute mentale e fisica, aumentano la biodiversità locale e contribuiscono al valore estetico e identitario dei quartieri.

Il raffronto con le emissioni cittadine sottolinea quanto anche piccoli interventi di forestazione urbana o cura del verde possano generare benefici cumulativi misurabili. Il mantenimento e la valorizzazione del patrimonio arboreo urbano rappresentano, dunque, una strategia accessibile e immediata per rafforzare la resilienza climatica locale e promuovere una cultura ambientale diffusa.



Carta habitat e aree verdi

- Habitat
- Mosaico agricolo
- Verde pubblico (area gestita)
- Verde privato e altre tipologie di verde

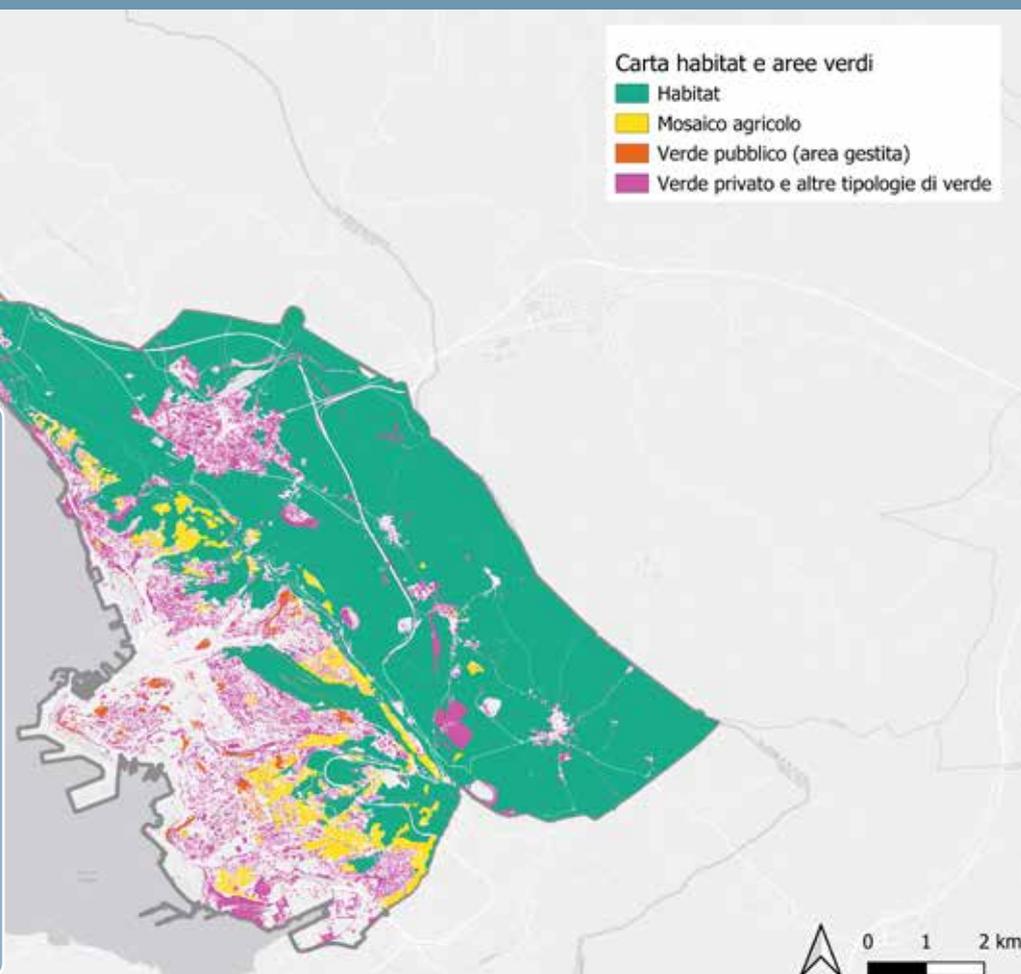
Figura 1

Il comune di Trieste possiede complessivamente una superficie ampiamente vegetata (73%).

Le aree verdi pubbliche e private e quelle di mosaico agricolo ammontano a 14.01 km² (17% della superficie totale), mentre le aree naturali, cioè quelle che ricadono nella categoria "Habitat", raggiungono i 47.89 km² (56%).

Le aree impermeabilizzate coprono 22.96 km² (27%).

Elaborazione Dipartimento di Scienze della Vita, Università di Trieste.



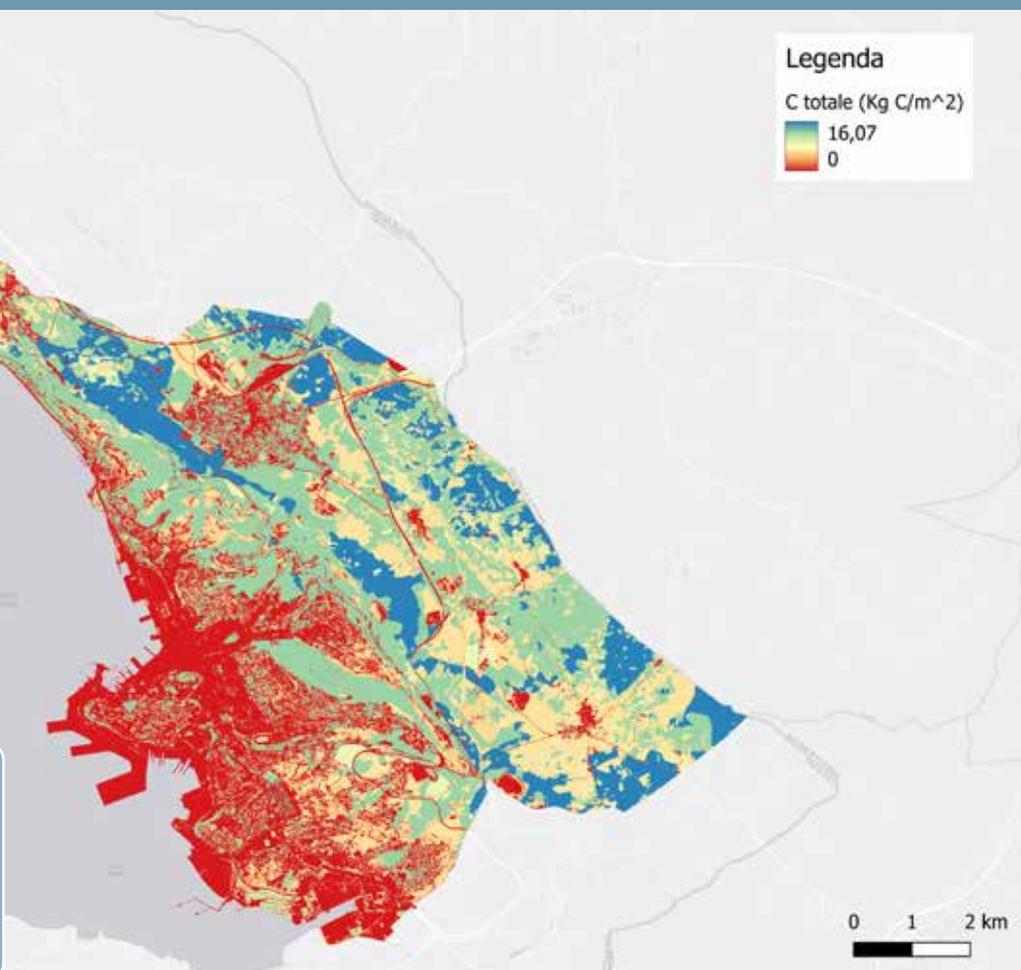
Legenda

- C totale (Kg C/m²)
- 16,07
 - 0

Figura 2

Carbonio stoccato totale nel Comune di Trieste.

Elaborazione Dipartimento di Scienze della Vita, Università di Trieste (kg C m⁻²).



L'INFRASTRUTTURA VERDE ATTENUA L'EFFETTO "ISOLA DI CALORE URBANO"

Uno degli effetti più evidenti e problematici legati all'urbanizzazione è il fenomeno dell'isola di calore urbana, conosciuto anche come *Urban Heat Island* (UHI). Questo termine descrive l'aumento della temperatura che si verifica nelle aree urbanizzate rispetto a quelle rurali circostanti. Le superfici costruite, come strade, edifici e tetti, tendono infatti ad assorbire e trattenere il calore derivato dalla radiazione solare durante il giorno, rilasciandolo lentamente durante la notte, determinando un persistente aumento delle temperature locali.

L'isola di calore può essere osservata sia come differenza tra le temperature dell'aria (*urban canopy UHI*), sia come differenza tra le temperature di superficie (*surface UHI*). In entrambi i casi, l'effetto si traduce in una maggiore esposizione al caldo per chi vive in città, aggravata dai cambiamenti climatici e dalla crescente impermeabilizzazione del suolo.

Questa condizione comporta conseguenze rilevanti per la salute pubblica, in particolare durante le ondate di calore estive, ma incide anche sul consumo energetico, sull'equilibrio ecologico urbano e sulla qualità della vita in generale.

In questo scenario, il ruolo delle aree verdi urbane e della rete ecologica diventa cruciale. Gli spazi naturali e seminaturali, come parchi, giardini, viali e filari alberati e aree boscate, hanno una riconosciuta capacità di mitigare l'isola di calore attraverso diversi meccanismi ecologici. Gli alberi e la vegetazione contribuiscono all'abbassamento della temperatura attraverso l'ombreggiamento diretto, la riduzione dell'assorbimento di calore da parte delle superfici sottostanti e i processi di evapotraspirazione, che rilasciano umidità nell'aria raffrescando l'ambiente. I benefici variano a seconda della tipologia, dell'estensione e della struttura delle aree verdi, ma possono produrre differenze termiche anche significative.

REGOLAZIONE DEL MICROCLIMA URBANO: IL CONTRIBUTO DELL'INFRASTRUTTURA VERDE DI TRIESTE ALLA MITIGAZIONE DELL'ISOLA DI CALORE

Nel contesto della città di Trieste, la regolazione del microclima attraverso l'infrastruttura verde locale riveste un'importanza strategica, anche alla luce delle caratteristiche climatiche locali e della peculiare configurazione urbanistica.

Trieste, situata in una fascia climatica di transizione tra il clima mediterraneo e quello continentale, presenta un tessuto urbano fortemente antropizzato e in alcune zone più densamente edificate ha una ridotta copertura vegetale. Al tempo stesso, la città è circondata da un mosaico di ambienti naturali e seminaturali, dai boschi del Carso alle aree verdi collinari e costiere, che offrono un grande potenziale per la mitigazione degli impatti microclimatici negativi.

LE AREE URBANE CENTRALI: MOLTO PIÙ CALDE

Le analisi condotte tramite tecniche di telerilevamento, hanno evidenziato come le aree urbane centrali di Trieste, in particolare i quartieri con elevata densità edilizia e scarsa presenza di verde (es. Borgo Teresiano, San Giacomo), sperimentino temperature superficiali estive significativamente superiori rispetto alle zone periferiche o collinari, dove la vegetazione è più abbondante (Figura 3). Durante le ondate di calore estive, le temperature superficiali nel centro città possono mantenersi anche di 8-9 °C superiori rispetto alle aree boscate del Carso o alle zone con maggiore copertura vegetale, aggravando i rischi per la salute delle fasce più vulnerabili della popolazione.

I PARCHI URBANI: "REGOLATORI TERMICI"

Al contrario, parchi urbani come il Giardino Pubblico Muzio de Tommasini, il Parco di Villa Revoltella o il Bosco Farneto mostrano una significativa capacità di abbattimento della temperatura locale, fungendo da veri e propri "regolatori termici" della città. Le analisi condotte mostrano che entro un raggio di circa 90 metri da queste aree verdi, in particolare nel centro cittadino, si osserva una riduzione sensibile della temperatura, che può raggiungere 2°C in meno

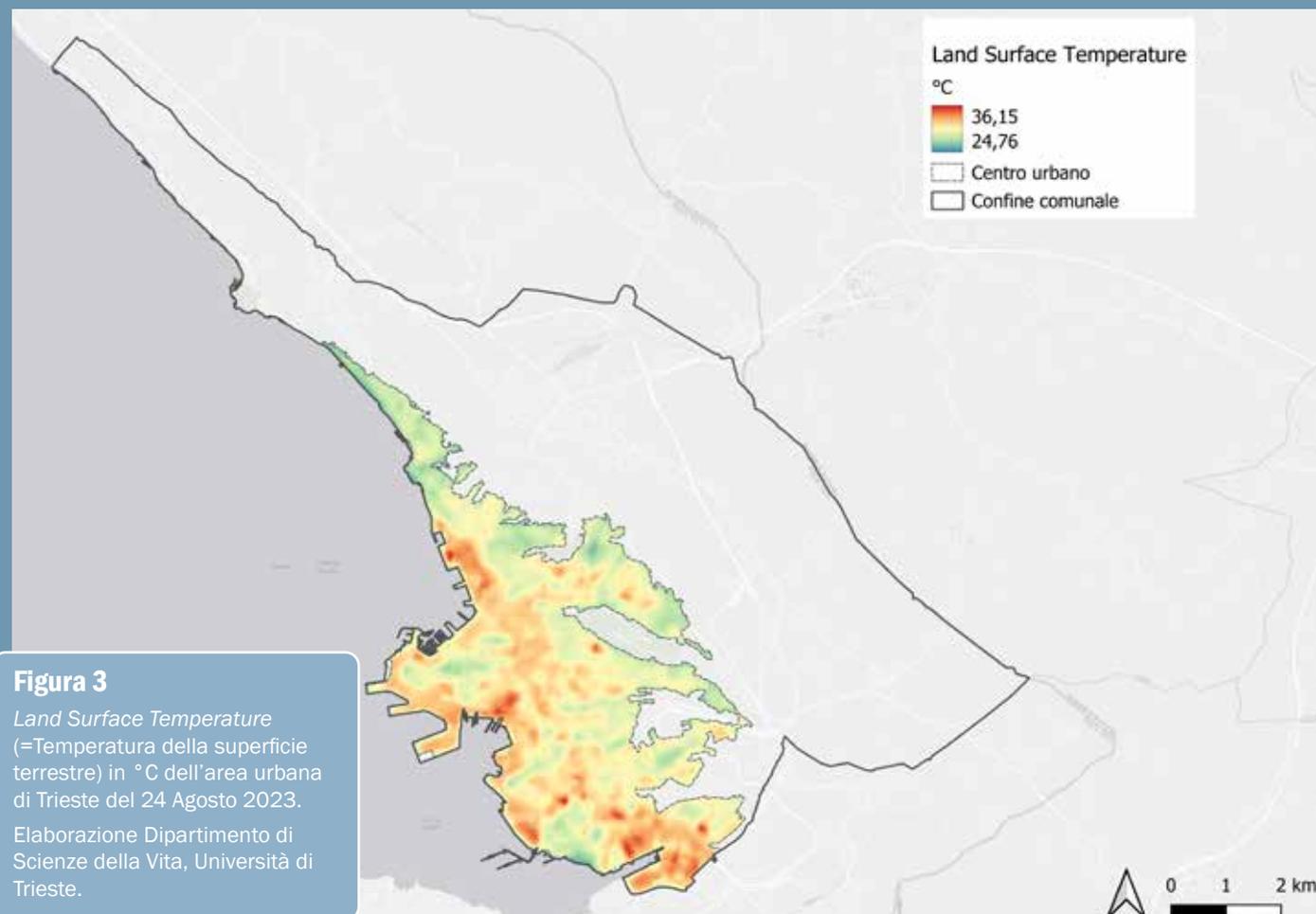


Figura 3

Land Surface Temperature (=Temperatura della superficie terrestre) in °C dell'area urbana di Trieste del 24 Agosto 2023.

Elaborazione Dipartimento di Scienze della Vita, Università di Trieste.

rispetto alle aree asfaltate circostanti durante le ore più calde della giornata. Questa differenza è ancora più notevole se si pensa alla scala spaziale relativamente ridotta.

IL VERDE: STRUMENTO DI SALUTE PUBBLICA E RESILIENZA CLIMATICA

La promozione e il rafforzamento delle infrastrutture verdi a Trieste, anche attraverso interventi mirati di afforestazione urbana, la realizzazione di tetti e pareti verdi, e la valorizzazione ecologica di spazi pubblici residuali, può quindi rappresentare una risposta concreta alla sfida climatica. La pianificazione urbanistica orientata all'integrazione del verde non dovrebbe dunque essere considerata solo come una misura ambientale, ma come un vero e proprio strumento di salute pubblica e resilienza climatica. Nel quadro della rete ecologica locale e regionale, potenziare la continuità vegetale tra le aree urbane e periurbane di Trieste, favorendo la connettività tra gli spazi verdi esistenti e creando nuovi elementi vegetati nei vuoti urbani, consente di massimizzare i benefici della regolazione microclimatica.



Misurazioni effettuate nel Giardino Pubblico Muzio de Tommasini di Trieste dal Dipartimento di Scienze della Vita dell'Università di Trieste.

Strumenti avanzati, come i sensori termici montati su piattaforme satellitari o droni, consentono oggi di monitorare con precisione l'entità di questo effetto rinfrescante, offrendo evidenze concrete del beneficio apportato dal verde urbano.

A Trieste rilievi e misurazioni effettuati con diverse tecniche hanno consentito di misurare la capacità del verde urbano di abbattere le alte temperature estive, come illustrato nell'approfondimento **REGOLAZIONE DEL MICROCLIMA URBANO: IL CONTRIBUTO DELLA RETE ECOLOGICA DI TRIESTE ALLA MITIGAZIONE DELL'ISOLA DI CALORE.**

ALBERI E SERVIZI ECOSISTEMICI A RISCHIO NEL CLIMA ATTUALE E FUTURO

L'aumento delle temperature medie, l'intensificazione della stagionalità climatica e la maggiore frequenza di eventi meteorologici estremi, in particolare di lunghi periodi di siccità, compromettono la **disponibilità idrica per le piante** e, di conseguenza, la **salute delle foreste urbane**. In ambito urbano, questi effetti risultano ulteriormente amplificati dalla presenza di **estese superfici impermeabili**, che impediscono l'infiltrazione dell'acqua nel suolo e aggravano le condizioni di stress idrico. Questa combinazione di fattori rende **gli alberi della città particolarmente vulnerabili**, soprattutto quelli con scarsa tolleranza alla siccità.

Lo studio condotto dall'Università di Trieste per il Comune di Trieste ha permesso di stimare come in futuro le condizioni degli alberi cittadini e i servizi ecosistemici che essi offrono risentiranno dei cambiamenti climatici in due possibili scenari: con una rapida e decisa riduzione delle emissioni di gas serra oppure con emissioni che continueranno a crescere. La compromissione della foresta urbana e dei suoi servizi ecosistemici saranno molto più marcati nel secondo caso, come illustrato nell'approfondimento **SCENARI DI CAMBIAMENTI CLIMATICI E LORO IMPATTO SUI SERVIZI ECOSISTEMICI DELLA FORESTA URBANA DI TRIESTE** (a destra).

SCENARI DI CAMBIAMENTI CLIMATICI E LORO IMPATTO SUI SERVIZI ECOSISTEMICI DELLA FORESTA URBANA DI TRIESTE

Dalle analisi di scenario effettuate sulla vulnerabilità ai cambiamenti climatici della foresta urbana del Comune di Trieste, la modellazione condotta ha consentito di stimare lo stato di salute degli alberi in condizioni attuali e di proiettare tale stato in due scenari futuri di cambiamento climatico, il primo ipotizza una forte riduzione delle emissioni, mentre il secondo descrive un mondo in cui le emissioni continuano a crescere ai ritmi attuali. Ai due scenari corrispondono conseguenze diverse sul clima e sull'aumento delle temperature (corrispondenti agli scenari di emissione di gas serra RCP2.6 e RCP8.5 dell'IPCC).

I risultati ottenuti indicano una correlazione negativa tra la tolleranza alla siccità delle specie arboree e lo stato di salute osservato, evidenziando come le aree caratterizzate da elevata stagionalità delle precipitazioni e bassa resilienza idrica delle piante mostrino già oggi segni di maggiore vulnerabilità.

UN MERCATO DECLINO DELLA FORESTA URBANA E DEI SERVIZI ECOSISTEMICI NELLO SCENARIO A EMISSIONI CRESCENTI

Nel confronto tra scenari futuri, lo scenario RCP8.5, associato a un'elevata emissione di gas serra, prevede un marcato declino della salute della foresta urbana, con conseguente perdita di numerosi individui appartenenti a specie particolarmente diffuse come *Acer campestre* (acero campestre), *Tilia cordata* (tiglio selvatico), *Ligustrum lucidum* (ligustro del Giappone) e *Carpinus betulus* (carpino bianco). La perdita stimata di queste specie, dovuta alla loro vulnerabilità funzionale e alla distribuzione in aree che diventeranno climaticamente sfavorevoli, potrebbe tradursi in una sostanziale riduzione della capacità della foresta urbana di Trieste di fornire servizi ecosistemici.

In termini di variazioni attese nella fornitura dei servizi ecosistemici associati alla salute degli alberi urbani, nello scenario RCP8.5, si prevede una significativa riduzione dei servizi legati alla regolazione climatica (sequestro e stoccaggio del

carbonio), al miglioramento della qualità dell'aria e alla gestione delle acque meteoriche. Due specie particolarmente rappresentative, *Platanus x acerifolia* (platano) e *Aesculus hippocastanum* (ippocastano), che oggi contribuiscono per circa il 28,4% alla fornitura totale di servizi ecosistemici della foresta urbana di Trieste, mostrano alti valori di vulnerabilità nello scenario più critico.

La loro eventuale perdita comporterebbe impatti rilevanti anche in termini economici, con diminuzioni significative del valore di mercato legato allo stoccaggio e alla fissazione del carbonio (Figura 4).

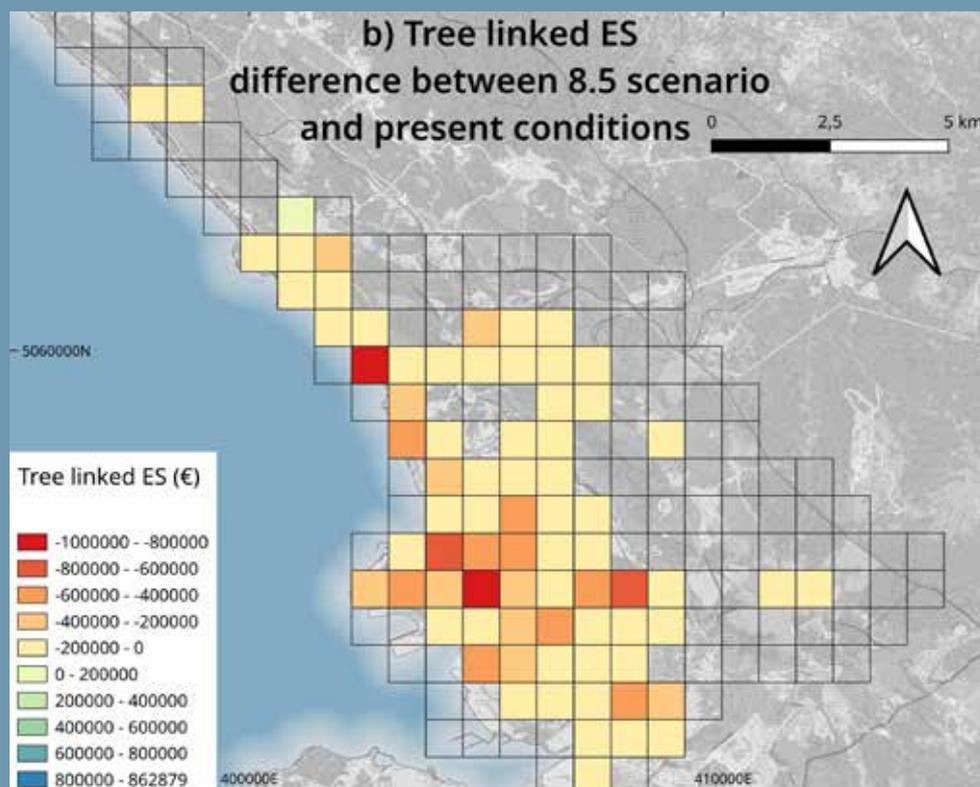
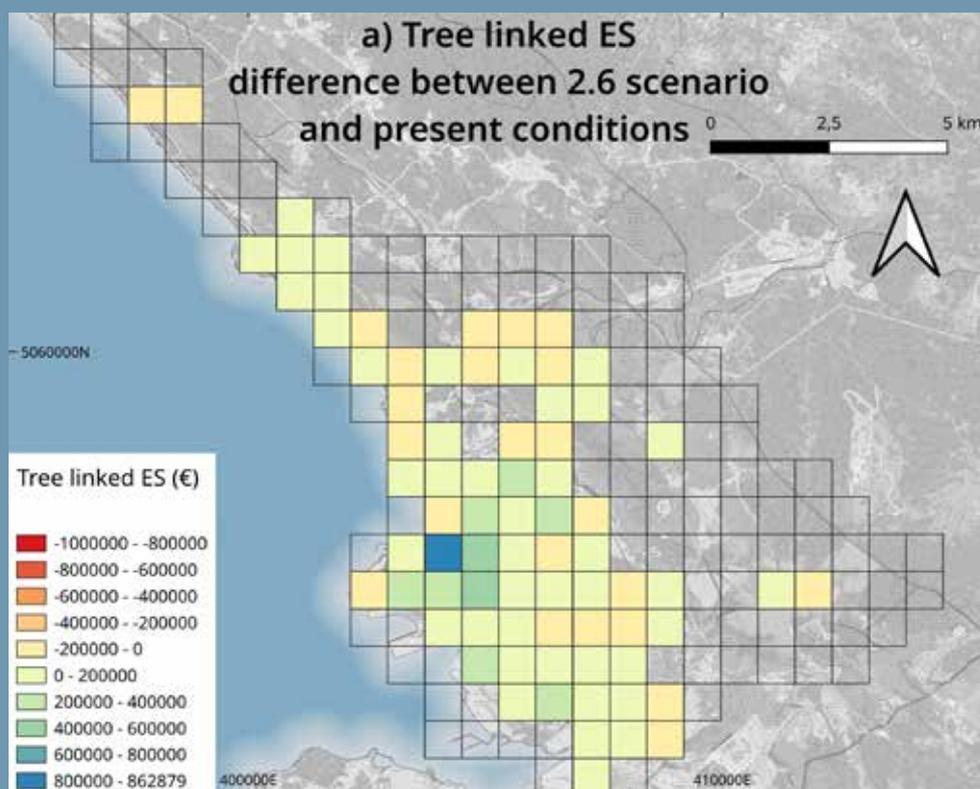


Figura 4

Servizi Ecosistemici legati agli alberi (espressi in €).

In (a), differenza dei valori tra lo scenario RPC2.6 e le condizioni attuali a Trieste. In (b), differenza dei valori tra lo scenario 8.5 e le condizioni attuali a Trieste. È evidente la forte riduzione attesa (con associata perdita economica) di servizi ecosistemici nello scenario climatico peggiore (RCP8.5).

Elaborazione Dipartimento di Scienze della Vita, Università di Trieste.



STRATEGIE DI ADATTAMENTO PER CONSERVARE LA FORESTA URBANA E I SERVIZI ECOSISTEMICI

I risultati emersi pongono in evidenza la necessità di un'attenta pianificazione nella **selezione delle specie da utilizzare nei futuri interventi di forestazione urbana**. La scelta delle specie dovrà prioritariamente basarsi sulla considerazione delle condizioni ambientali di vincolanti previste per il futuro, come ad esempio lo spazio disponibile per le radici, la vulnerabilità ai patogeni, o di carattere pratico come la disponibilità nei vivai e la manutenzione della specie.

Insieme a questi criteri si dovranno considerare le caratteristiche ecofisiologiche delle specie, come la tipologia di suolo richiesta e la tolleranza sia al ristagno idrico che alla siccità.

Nel complesso, si è evidenziato che il cambiamento climatico, se non adeguatamente contrastato, comporterà una riduzione generalizzata della funzionalità ecologica della foresta urbana triestina. La perdita di individui e specie vulnerabili comprometterà la capacità del sistema forestale urbano di garantire benefici fondamentali per la salute, il benessere e la resilienza ambientale della città. Diventa pertanto urgente integrare strategie adattive e di gestione proattiva nella pianificazione urbana, **promuovendo la diversificazione funzionale delle specie e potenziando le aree verdi urbane**. Solo in questo modo sarà possibile assicurare la continuità nella fornitura dei servizi ecosistemici urbani e mantenere la foresta urbana come elemento strategico per la sostenibilità delle nostre città.

**Giovanni Bacaro, Valentina Olmo,
Miris Castello, Francesco Bagnolini**
Università degli Studi di Trieste
Roberto Prodan, Anna Trani, Eddi Dalla Betta
Comune di Trieste

SOLUZIONI BASATE SULLA NATURA PER L'ADATTAMENTO CLIMATICO: IL SUPPORTO DELLA REGIONE FVG AI COMUNI PER IL VERDE URBANO

Foto: Silvia Stefanelli

Le città sono molto vulnerabili ai cambiamenti climatici e agli eventi estremi quali piogge intense e ondate di calore.

L'effetto "*isola di calore urbana*" accentua i rischi per la salute umana.

Infrastrutture verdi e blu e soluzioni basate sulla natura attenuano questi effetti con una vasta gamma di interventi: dal verde urbano tradizionale a giardini pluviali, parcheggi verdi e corridoi di ventilazione.

In FVG la Regione supporta i Comuni con finanziamenti per azioni di mitigazione e adattamento climatico basate sulla natura.

Giardino pluviale (dettaglio) a Mechelen, Fiandre - Belgio.

Le città sono in prima linea nell'adattamento al cambiamento climatico, un fenomeno globale che ha un impatto notevole sulla vita urbana. L'aumento delle temperature globali determina un incremento del numero di eventi meteorologici estremi, come alluvioni e siccità. Tutti questi fattori hanno un impatto sui servizi di base delle città, sulle infrastrutture, sugli alloggi e sulla salute delle persone.

Tra gli eventi estremi che si intensificano in città, ci sono le ondate di calore. L'effetto "*isola di calore urbana*", causato da un diffuso sviluppo edilizio e da un consumo di suolo, può portare a temperature molto più elevate rispetto a quelle delle aree rurali. A questo fenomeno consegue che le città si stanno riscaldando a un ritmo doppio rispetto alla media globale...

Le ondate di calore peggiorano la qualità dell'aria nelle città e comportano rischi specifici per la salute, aggravando l'impatto climatico attraverso la formazione di ozono, [un gas serra dannoso per le vie respiratorie](#), a livello del suolo.

L'IMPORTANZA DEL VERDE URBANO E IL SUPPORTO DELLA REGIONE AI COMUNI

Gli spazi verdi urbani come parchi, giardini pluviali, tetti e muri verdi, sono ottimi esempi di **soluzioni basate sulla natura per ridurre l'impatto di eventi climatici estremi**: migliorano la qualità dell'aria, riducono le isole di calore urbane, promuovono la biodiversità, offrono aree ricreative ai residenti e contrastano il cambiamento climatico. Integrando più spazi verdi nella pianificazione

Panchina in legno a protezione del suolo - Mechelen, Fiandre, Belgio.



Foto: Silvia Stefanelli

urbanistica, le città possono aumentare la loro resilienza ai cambiamenti climatici, migliorare la salute pubblica e creare ambienti di vita più sostenibili.

Per proteggere le popolazioni urbane e le infrastrutture da queste sfide in continua evoluzione, è fondamentale attuare misure di adattamento e **rafforzare la resilienza delle città e dei loro residenti**.

Questo articolo esplora l'ampia gamma di **soluzioni basate sulla natura promosse e finanziate dalla Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia** e rivolte ai Comuni, al fine di coinvolgerli nell'adattamento climatico e di integrare le infrastrutture blu e verdi nella pianificazione urbana.

Dal 2021, due bandi regionali hanno incoraggiato i Comuni a pianificare e attuare misure volte a ridurre l'impatto delle inondazioni, quali sistemi sostenibili di drenaggio delle acque e giardini pluviali, e l'impatto delle isole di calore, realizzando parcheggi verdi, parchi urbani e prati. Quasi sessanta Comuni hanno richiesto queste sovvenzioni e stanno implementando soluzioni basate sulla natura, in alcuni casi integrandole nei piani locali di adattamento al clima.

IL CALDO ESTREMO IN EUROPA E LE CITTÀ VULNERABILI

Negli ultimi decenni, il caldo estremo è stato di gran lunga la causa principale dei decessi causati da eventi meteorologici e climatici estremi in Europa. Si stima che tra 55.000 e 72.000 decessi siano stati registrati in ogni estate del 2003, 2010 e 2022 a causa delle ondate di calore. Nella regione europea, secondo l'Organizzazione Mondiale della Sanità, la **mortalità correlata al caldo** è aumentata di circa il 30% negli ultimi 20 anni.

Le aree urbane sono particolarmente vulnerabili alle ondate di calore a causa dell'artificializzazione del suolo, della densità di popolazione, delle infrastrutture grigie diffuse e delle attività economiche. La combinazione di tali fattori contribuisce ad amplificare gli effetti degli eventi meteorologici estremi, mettendo a repentaglio la salute degli abitanti delle città. Infatti, sebbene le aree urbane coprano solo il 3% della superficie terrestre, ospitano oltre il 50% della popolazione mondiale e contribuiscono fino al 70% dei gas serra globali emessi, utilizzando circa il 75% delle risorse mondiali.



Foto: Silvia Stefanelli



Foto: Silvia Stefanelli

Dall'alto: Parcheggio verde con trincee drenanti – Mechelen Fiandre Belgio; Piede d'albero vegetalizzato – Bruxelles.

I BENEFICI DELLA VEGETAZIONE IN CITTÀ

Le infrastrutture verdi, ovvero **la vegetazione integrata nelle infrastrutture urbane**, forniscono un effetto rinfrescante in grado di mitigare l'effetto isola di calore urbana. Uno studio del 2022 ha stimato che la **capacità di raffreddamento degli alberi** in più di 600 città europee varia in media tra 1,1 °C e un massimo di 2,9 °C. La legge europea sul ripristino della natura racco-

manda **una copertura arborea minima del 10% per le città europee**, mentre studi recenti hanno raccomandato che i quartieri urbani dovrebbero puntare a una copertura arborea **del 30% per migliorare il microclima, la qualità dell'aria e la salute**.

La presenza diffusa di alberature in città è relativamente semplice ed economica da implementare, affermano i ricercatori che hanno condotto lo studio sui benefici che gli alberi potrebbero conferire alla riduzione della mortalità estiva.

LA FINALITÀ DELLE MISURE FINANZIATE DALLA REGIONE

La Regione, a partire dal 2021, ha predisposto dei finanziamenti – fino a un massimo di 200.000 euro per Comune - dedicati alle amministrazioni che decidono di intraprendere delle **azioni di adattamento ispirate a soluzioni basate sulla natura**.

L'obiettivo è stato di incoraggiare l'implementazione di un ampio portafoglio di misure di adatta-

mento climatico, seguendo un concetto di **verde diffuso integrato alla pianificazione urbanistica e alle infrastrutture di supporto alla mobilità**. La finalità del bando, rivolto a tutti i Comuni della Regione, è stata di supportare azioni di mitigazione e adattamento climatico basate sulla natura, con un costo contenuto e che potessero adattarsi a diversi contesti climatici, geografici e di esposizione ai rischi climatici.



Foto: Silvia Stefanelli



Foto: Silvia Stefanelli

Realizzazione di un'area alberata peri-urbana – Comune di Fontanafredda.

UN FORUM SU VERDE PUBBLICO E ADATTAMENTO PER IL COMUNI

Nel maggio 2021 è stato organizzato dalla Regione un Forum digitale sul verde pubblico e l'adattamento ai cambiamenti climatici, destinato ai Comuni. Esso ha avuto come finalità l'illustrazione degli interventi possibili in base agli obiettivi di adattamento. Tra le misure possibili, ampio spazio è stato destinato alle **infrastrutture blu come i bacini pluviali, le trincee drenanti, le pavimentazioni permeabili e i bacini di ritenzione**. Il Comune di Santorso Vicentino, tramite il Progetto LIFE Beware, ha illustrato i risultati positivi, nella riduzione dell'impatto di eventi alluvionali, ottenuti dall'implementazione di infrastrutture blu in ambito urbano e periurbano.

Sono stati illustrati gli strumenti europei, predisposti dalla **piattaforma europea per l'adattamento climatico *Climate Adapt***, per visualizzare tramite il GIS (*Geographical Information Systems*) "**Urban Adaptation Map Viewer**" le isole di calore urbane con **Indice di calore urbano**. In aggiunta il **GIS predisposto dall'ISPRA** sul consumo di suolo consente ai Comuni di visualizzare le **mappe sul consumo di suolo** - tendenzialmente aree artificializzate dove gli eventi estremi hanno maggiore impatto - e di diffusione del verde urbano. In questo modo i Comuni possono definire delle aree prioritarie dove implementare le misure di verde urbano ma anche cercare di sviluppare il verde in modo diffuso nella città, con lo scopo di **ridurre le disuguaglianze sociali urbane generate dal vivere in zone con verde diffuso o meno**.

Investire in infrastrutture urbane verdi e costruirle richiede approcci intelligenti e integrati alla gestione del suolo, al design urbano e alla pianificazione spaziale strategica, prendendo in considerazione le caratteristiche locali e la distribuzione spaziale delle vulnerabilità ai cambiamenti climatici.

LE SOLUZIONI BASATE SULLA NATURA PROPOSTE NEL BANDO

Le soluzioni basate sulla natura hanno incluso i seguenti interventi volti a integrare **misure di adattamento, mitigazione e biodiversità in ambito urbano e periurbano**

- **Realizzare infrastrutture blu e reti fluviali:** opere di ritenzione naturale delle acque, gestione

sostenibile dei deflussi di pioggia e riduzione del loro impatto, riutilizzo di acqua piovana. Tra le misure finanziate ci sono i giardini pluviali, i sistemi di drenaggio sostenibili, le trincee drenanti, la rinaturalizzazione di canali, la realizzazione di bacini di bio-ritenzione

- **Ripristinare la connettività ecologica e la biodiversità urbana,** inclusa la fauna selvatica, con corridoi ecologici, la rigenerazione verde di scarpate e aiuole, gli ecodotti - passaggi faunistici e per anfibi- i dissuasori ottici riflettenti per uccelli e pipistrelli
- **Realizzazione di infrastrutture verdi** tra cui parcheggi, tetti, muri e marciapiedi verdi.
- **Realizzazione di parchi e aree verdi:** alberature e siepi, parchi urbani e corridoi di ventilazione

OLTRE IL VERDE URBANO TRADIZIONALE: GIARDINI PLUVIALI, PARCHEGGI VERDI E CORRIDOI DI VENTILAZIONE

Tra le misure proposte nel bando, sono state inserite delle soluzioni a basso costo e a ridotta esigenza di spazio come **i giardini pluviali e i parcheggi verdi**, per convertire i parcheggi, aree che tipicamente rappresentano isole di calore nel periodo estivo, in aree verdi che assorbono la CO₂, l'acqua in eccesso e raffrescano l'area.

- **I giardini pluviali sono un sistema di drenaggio che cattura l'acqua piovana** prima che entri nella rete di tubazioni e la rilascia lentamente nella rete o ne consente l'infiltrazione nel terreno. I giardini pluviali possono contribuire a migliorare la gestione delle acque superficiali mentre svolgono una serie di altre funzioni come comfort climatico, riduzione dell'inquinamento e miglioramento della biodiversità.
- **I parcheggi verdi sono la versione verde di un parcheggio tradizionale,** realizzato con materiali non riflettenti e infrastrutture non permeabili e che amplificano l'isola di calore. I parcheggi verdi utilizzano la vegetazione per la gestione delle acque piovane e per raffrescare l'area. Sono caratterizzati dalla presenza diffusa di alberature, arbusti, aree inerbiti ed erbe aromatiche. Nelle aree di transito si utilizzano materiali chiari, riflettenti come i bio-asfalti e drenanti.

In aggiunta, una misura innovativa ed efficace per contrastare le isole di calore è rappresentata dai **corridoi di ventilazione**. Tale misura, benché ancora non utilizzata dai Comuni, rappresenterebbe un'ottima opportunità per potenziare il raffrescamento naturale nelle città nel periodo estivo e ridurre l'inquinamento.

- **I corridoi di ventilazione urbana possono ridurre efficacemente le isole di calore urbane.**

A livello urbano, secondo studi recenti, le infrastrutture che hanno maggiore influenza nel ridurre le isole di calore sono gli spazi verdi molto grandi, i corsi d'acqua e i viali molto ampi. I corridoi verdi di ventilazione sono lunghi spazi verdi, anche intesi come corridoi tra spazi esistenti, che possono modificare i micro climi dell'area e migliorare la ventilazione urbana: creano un corridoio per l'aria più fresca affinché possa penetrare dall'esterno verso le aree più densamente edificate, riducendo anche l'effetto isole di calore. I corridoi verdi sono anche parchi lineari che collegano tra loro le aree verdi per formare reti di infrastrutture verdi urbane e corridoi ecologici. Spesso vengono adattati a infrastrutture stradali abbandonate, linee ferroviarie dismesse e realizzati lungo corsi d'acqua per creare parchi interconnessi. I corridoi verdi sono particolarmente utili per la biodiversità urbana, contribuiscono al raffreddamento delle città e al miglioramento della qualità dell'aria, poiché favoriscono la ventilazione.

SVILUPPI FUTURI

È auspicabile che in futuro i Comuni integrino nella pianificazione urbanistica anche la **pianificazione climatica**, a cui appartengono le soluzioni basate sulla natura, che la Regione continuerà a supportare. In Regione uno sviluppo potrebbe essere rappresentato dall'**integrazione delle misure descritte nell'attuazione della Rete Ecologica Locale prevista dal Piano Paesaggistico Regionale**.

Uno sviluppo significativo potrebbe essere la creazione di un **Atlante del clima cittadino**, che fornisca valutazioni climatiche standardizzate per le città e i Comuni. L'Atlante comprende mappe che mostrano i modelli eolici regionali, i flussi di aria fredda, le concentrazioni di inquinamento atmosferico e altre informazioni pertinenti necessarie

per informare i pianificatori su come migliorare le condizioni climatiche che potrebbero informare i nuovi progetti e l'adattamento climatico. L'Atlante classifica le aree urbane sulla base del ruolo che svolgono nello scambio d'aria e nel flusso d'aria fresco, così come la loro topografia, densità di sviluppo e presenza di spazio verde. L'Atlante distingue diverse zone della città non solo sulla base della destinazione urbanistica tradizionale ma per ciascuna di esse vengono fornite diverse misure di pianificazione e raccomandazioni in base al clima, il consumo di suolo e la presenza o meno di verde.

Ulteriori sviluppi sono rappresentati dalla **sostituzione di materiali come cemento e asfalto con materiali riflettenti e permeabili** nelle pavimentazioni e sui tetti per ridurre al minimo l'assorbimento del calore.

Le infrastrutture di mobilità e l'edilizia possono tenere conto nella progettazione di soluzioni per migliorare il flusso d'aria e ridurre gli effetti dell'intrappolamento del calore negli spazi urbani ristretti. Adottare una pianificazione urbanistica intelligente per **migliorare l'illuminazione e l'ombreggiatura naturale** aiuta a ridurre la necessità di raffrescamento artificiale.

Infine, le infrastrutture blu e verdi urbane e le soluzioni basate sulla natura rappresentano un **portafoglio imprescindibile di misure di adattamento climatico** e devono essere ampliate nell'ambito di un pacchetto di protezione del clima, tra cui: inverdimento degli edifici, ombreggiamento dei percorsi di traffico con sentieri pedonali e piste ciclabili, ombreggiamento delle facciate di edifici attraverso alberature stradali e ammodernamento di aree pubbliche con "punti freddi", quali aree dotate di acqua potabile, fontane d'acqua, spruzzi d'acqua e zone ombreggiate. Inoltre, le città devono migliorare le infrastrutture blu urbane, con sistemi di drenaggio come trincee e rotonde drenanti ma anche attraverso fontane e altri elementi d'acqua. Le superfici d'acqua e l'acqua in movimento contribuiscono a ridurre i carichi termici attraverso l'evaporazione.

Solo in questo modo avremo **città preparate ad adattarsi a un clima che cambia**.

Silvia Stefanelli

Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia



IL CUORE VERDE DEL TERRITORIO: CONNETTIVITÀ E SERVIZI PER LA RESILIENZA CLIMATICA

Urbanizzazione e agricoltura intensiva frammentano gli habitat naturali, compromettendone la biodiversità, sempre più minacciata anche dal cambiamento climatico.

La rete ecologica e l'infrastruttura verde, che fornisce importanti servizi ecosistemici, contrastano questi impatti, favorendo il movimento delle specie e la resilienza degli ecosistemi.

Mappare le siepi con immagini satellitari aiuta a proteggere gli habitat e pianificare strategie sostenibili per il territorio.

L'intensificazione agricola, l'urbanizzazione e in generale i processi di antropizzazione del territorio hanno rimodellato massicciamente i paesaggi, causando una diffusa perdita e frammentazione di habitat naturali e seminaturali: ciò ha portato a un progressivo declino della biodiversità, che è ora messa ancora più a rischio a causa dei cambiamenti climatici. L'aumento delle temperature, le piogge sempre più imprevedibili e gli eventi estremi come incendi, siccità e alluvioni stanno modificando profondamente gli ambienti naturali. Di conseguenza, molte specie animali e vegetali faticano ad adattarsi, alcune vedono ridursi il proprio habitat, altre tendono a spostarsi verso zone più favorevoli. Questo movimento è però spesso reso difficile da fattori come la frammentazione degli ambienti naturali, che diventano più piccoli e isolati, e la presenza di infrastrutture artificiali, come autostrade, centri urbani e industriali, che rappresentano vere e proprie barriere.

CONNETTIVITÀ ECOLOGICA

La connettività ecologica, esprime quanto un paesaggio sia “permeabile” agli spostamenti delle specie e ai processi naturali. Nei paesaggi antropizzati le limitate porzioni di spazi naturali e seminaturali, (es boschi residuali, siepi e filari di alberi, verde urbano) non sono sufficientemente grandi e complessi per sostenere singolarmente la diversità di fauna e flora. Tuttavia, se messi in connessione tra loro possono permettere il movimento delle specie per l’utilizzo delle risorse presenti nell’insieme degli ambienti frammentati, facilitando lo scambio genetico e il successo riproduttivo delle popolazioni e aumentando complessivamente la biodiversità.

CONNETTIVITÀ STRUTTURALE

La connettività strutturale è data dalla presenza di elementi del paesaggio che collegano tra loro gli habitat naturali di maggiori estensione. Ne sono un esempio i corridoi ecologici, come siepi, filari alberati, aree ripariali, fasce boscate o zone umide che formano una rete attraverso la quale gli organismi possono spostarsi. Anche infrastrutture artificiali, opportunamente progettate per facilitare il passaggio della fauna, come i sottopassi faunistici, contribuiscono alla connettività strutturale. Allo stesso modo, zone agricole gestite in modo sostenibile possono rappresentare ambienti di passaggio che non interrompono completamente la continuità ecologica del territorio.

CONNETTIVITÀ FUNZIONALE

La connettività funzionale, riguarda invece il comportamento e le esigenze degli organismi presenti all’interno del paesaggio. Infatti, la capacità di muoversi tra habitat non dipende solo dalla presenza dei collegamenti ambientali, ma anche dalle caratteristiche delle singole specie. Alcune sono in grado di attraversare spazi aperti, o aree disturbate dall’uomo, come i campi coltivati o le strade, mentre altre risultano più sensibili e necessitano di ambienti più protetti. Per esempio, una farfalla può sorvolare una strada per raggiungere un prato fiorito, mentre un piccolo anfibio potrebbe avere bisogno di una copertura vegetale del suolo continua per spostarsi in sicurezza.

LA CONNETTIVITÀ ECOLOGICA

Per far fronte a questi ostacoli, entra in gioco il concetto di connettività ecologica, ovvero la capacità del paesaggio di **permettere agli organismi di muoversi liberamente tra diversi habitat**, sia per motivi stagionali (migrazione), sia per trovare cibo e rifugio, riprodursi o colonizzare nuove aree.

Ma da cosa dipende questa capacità? **Dipende dalle caratteristiche delle specie, ma soprattutto da come è strutturato il paesaggio stesso**, ossia da come sono organizzati gli spazi naturali e artificiali che lo compongono e dalle relazioni che instaurano tra di loro. Infatti, si parla di connettività, sia in termini strutturali, sia funzionali (come spiegato nel box a sinistra dedicato alla **CONNETTIVITÀ ECOLOGICA**).

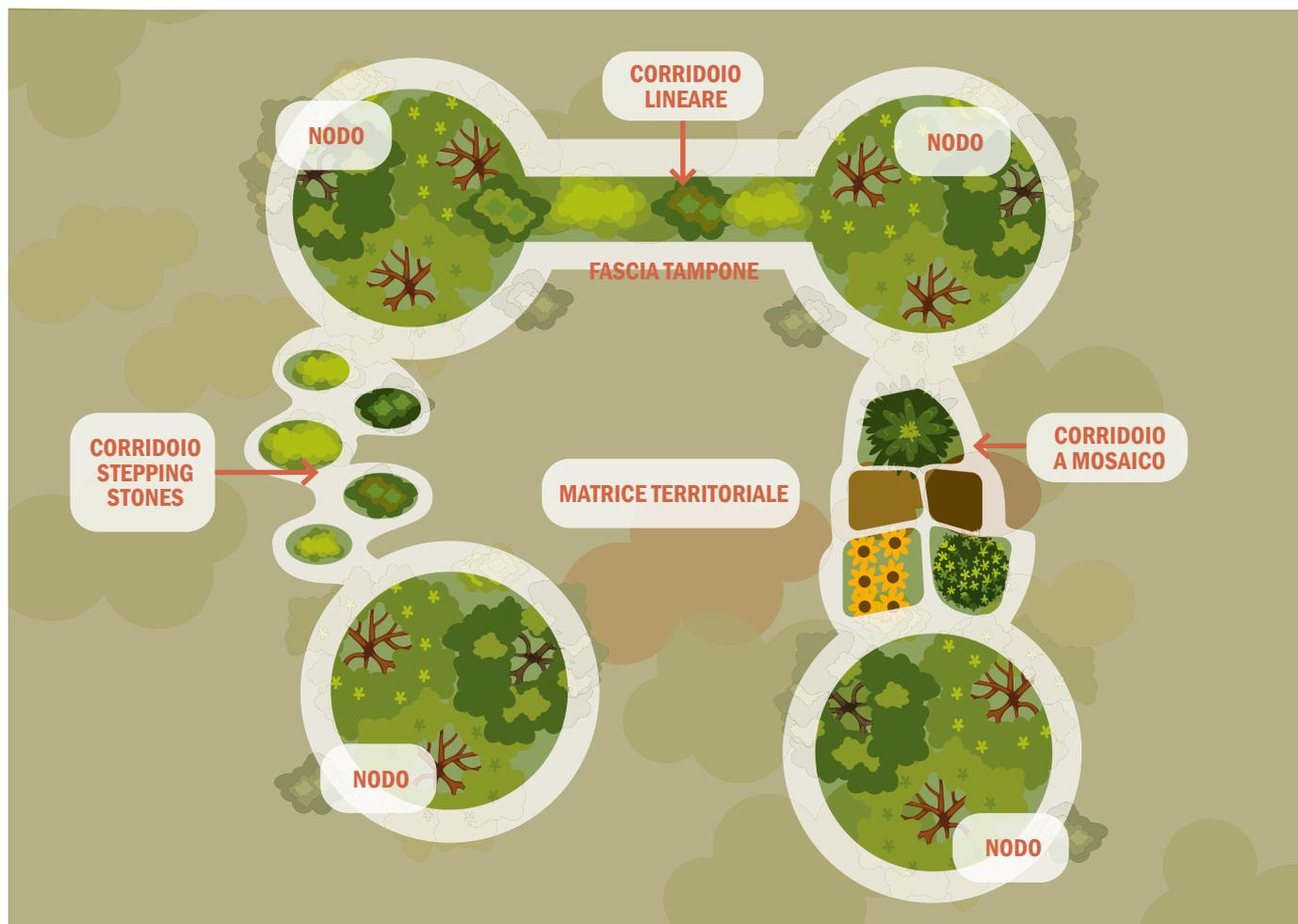
LA RETE ECOLOGICA GARANTISCE LA CONNETTIVITÀ

Per garantire la connettività ecologica del paesaggio è fondamentale riconoscere il ruolo della **rete ecologica**. Con questo termine si intende la messa a sistema delle aree naturali, semi-naturali del territorio che, nel loro insieme, formano una **struttura reticolare che permea la matrice territoriale** ed è capace di sostenere la biodiversità e i processi ecologici nel lungo periodo. Tale rete è composta da **nodi**, ovvero ecosistemi principali, che per estensione e caratteristiche assumono una elevata valenza ecologica, e da **corridoi ecologici**, che permettono il movimento delle specie tra i nodi.

I DIVERSI TIPI DI “CORRIDOI ECOLOGICI”

Diversi sono i tipi di corridoio ecologico che possiamo riconoscere, come il **corridoio lineare**, che consiste in una fascia continua di vegetazione, come una siepe, un filare di alberi o una fascia boscata lungo un fiume. Questi corridoi rappresentano vere e proprie vie naturali di passaggio per molte specie, soprattutto quelle di piccole dimensioni, come insetti, rettili, piccoli mammiferi e uccelli, poiché offrono rifugio, cibo e protezione lungo il tragitto.

LA RETE ECOLOGICA



In altri casi, i collegamenti tra habitat non sono lineari e continui, ma si realizzano attraverso una porzione di territorio costellata di ambienti naturali e semi-naturali, come prati, boschetti e campi coltivati. Questi possono costituire **corridoi stepping stones** (pietre nel ruscello), che pur non essendo continui risultano efficaci per le specie più mobili che riescono a spostarsi sfruttando le varie aree naturali come punti di sosta o di passaggio, oppure **corridoi a mosaico**, ossia porzioni più ampie di territorio in cui si concentrano una serie di habitat frammentati che nel loro insieme formano un mosaico di ecosistemi diversi.

Accanto a questi elementi ricchi di naturalità, possono essere sviluppati anche **corridoi artificiali**, cioè infrastrutture costruite appositamente per superare le barriere create dall'uomo, come strade o ferrovie. Si tratta, ad esempio, di ponti verdi che attraversano le autostrade, o di sottopassi faunistici realizzati per permettere il passaggio in sicurezza degli animali. **Anche piccoli interventi**, come tunnel per anfibi lungo le strade, **possono fare una grande differenza** in contesti frammentati.



Sottopassaggio per anfibi e piccoli animali.

LA MATRICE TERRITORIALE

Oltre agli elementi che compongono la rete ecologica, non va dimenticato che anche la **matrice territoriale**, ovvero l'elemento più diffuso e dominante del paesaggio spesso legato a specifiche coperture del suolo, **influenza la permeabilità del paesaggio**. Infatti, questa a seconda del contesto, assume caratteristiche diverse che possono favorire, o limitare la presenza e la diffusione della biodiversità:

- **in pianura**, la matrice è rappresentata dagli ambienti trasformati, con città, infrastrutture e coltivazioni intensive, che generano una matrice generalmente inospitale,
- **in montagna**, l'abbandono progressivo delle attività agro-pastorali favorisce l'espansione dei boschi, che rappresentano la copertura del suolo più diffusa, ma penalizza le specie legate agli ambienti aperti e alla diversità delle formazioni forestali,
- **in contesti urbanizzati**, la matrice è rappresentata dalle superfici impermeabilizzate in cui si inseriscono gli spazi verdi residuali come parchi, giardini, corsi d'acqua e aree non edificate.

LA RETE ECOLOGICA ACCRESCE LA RESILIENZA CLIMATICA

Ma come la rete ecologica può essere d'aiuto in uno scenario di cambiamento climatico? Perché **favorisce lo scambio genetico tra popolazioni isolate**, mantenendo la diversità genetica, un elemento essenziale per l'adattamento delle specie alle nuove condizioni ambientali. Popolazioni isolate, al contrario, sono più vulnerabili a malattie, eventi estremi o cambiamenti improvvisi del loro habitat. D'altra parte, **ecosistemi ben connessi possono funzionare in modo più efficiente**, poiché gli scambi di nutrienti, energia e specie tra gli stessi li rendono più equilibrati e resilienti. Ciò significa che **riescono ad assorbire meglio gli shock** – come ondate di calore, incendi, siccità o inquinamento – e a ritornare a uno stato di equilibrio mantenendo le loro funzioni.

Tuttavia, va detto che la sfida posta dal cambiamento climatico impone una visione più ampia e integrata della pianificazione del territorio, orientata alla **sostenibilità ambientale, ecologica e sociale**. Infatti, attualmente, accanto a quello della rete ecologica, sta emergendo il concetto di infrastruttura verde.

SERVIZI ECOSISTEMICI

La natura non è solo bella da vedere, ci offre costantemente molti benefici, spesso sottovalutati o dei quali abbiamo scarsa consapevolezza. Questi benefici si chiamano servizi ecosistemici: derivano dai processi e dalle funzioni ecologiche che la natura svolge e da cui l'uomo trae vantaggio diretto o indiretto.

I servizi ecosistemici possono essere suddivisi in quattro grandi categorie:

SERVIZI DI APPROVVIGIONAMENTO

forniscono risorse materiali che i sistemi viventi producono e che possono essere usati dalla società umana come acqua potabile, cibo, legname, fibre e medicinali.

SERVIZI DI SUPPORTO

mantengono le condizioni di base per la vita sulla Terra, attraverso processi biotici e abiotici (biologici, fisici e chimici) come la formazione del suolo, il ciclo dei nutrienti e la fotosintesi clorofilliana

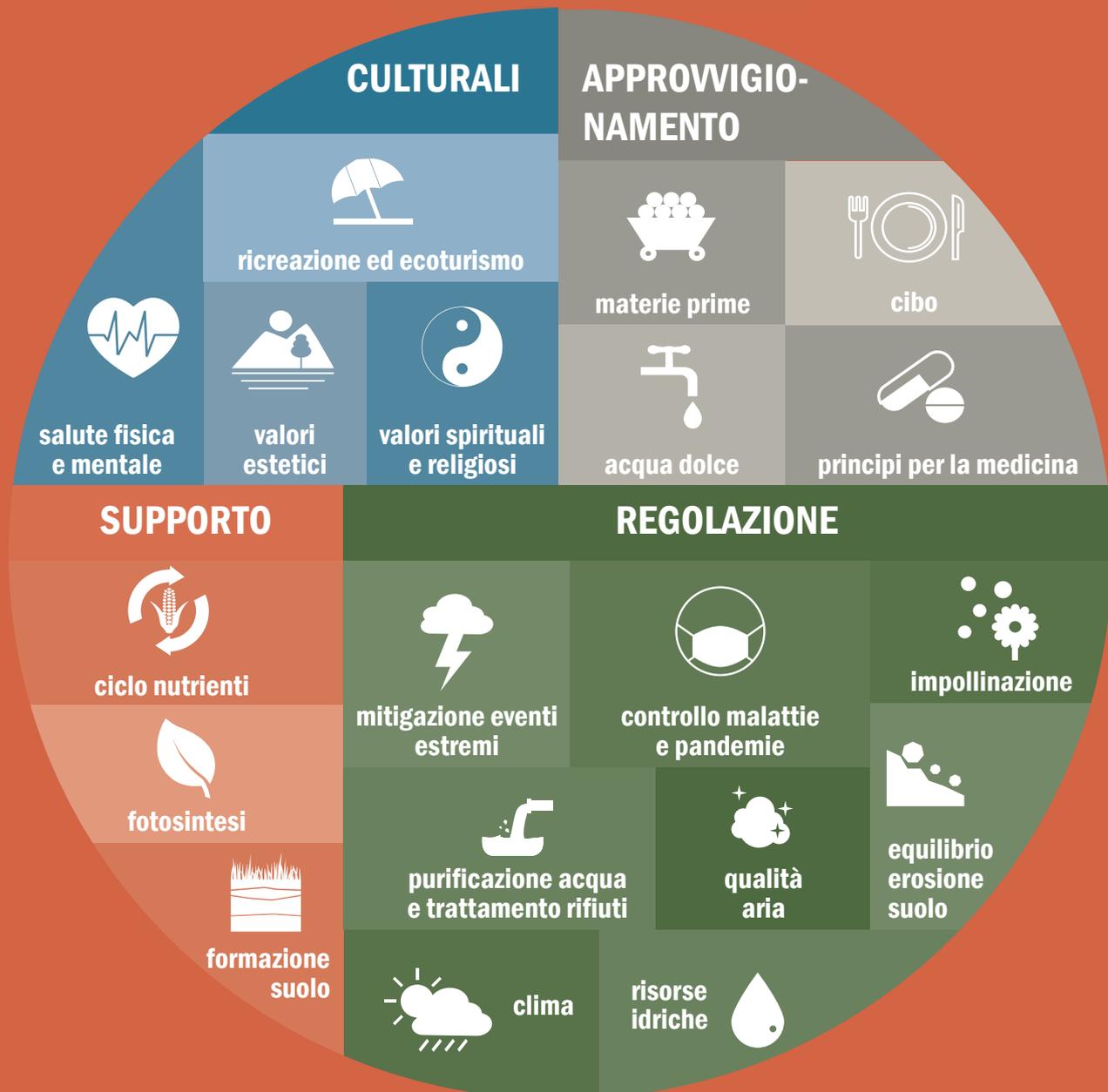
SERVIZI DI REGOLAZIONE

contribuiscono a regolare il clima, la qualità dell'aria e dell'acqua, l'impollinazione, il controllo dei patogeni delle piante (controllo biologico) e delle inondazioni, mantenendo le condizioni dell'ambiente di cui beneficia la popolazione umana.

SERVIZI CULTURALI

comprendono benefici immateriali che influenzano lo stato mentale e fisico della popolazione come il valore ricreativo, spirituale, educativo e estetico degli ecosistemi.

Solo riconoscendo l'importanza dei servizi ecosistemici possiamo comprendere davvero il valore dell'ambiente che ci circonda



La descrizione e quantificazione dei servizi ecosistemici fornisce informazioni fondamentali per prendere decisioni basate sulla conoscenza di ogni componente del complesso sistema socio-economico-ecologico.

Il concetto di “servizi ecosistemici” fornisce quindi un quadro di riferimento fondamentale per politiche e strategie di pianificazione volte a promuovere lo sviluppo sostenibile e la conservazione della biodiversità, che sono il presupposto per accrescere la resilienza del territorio e della società di fronte ai rischi e alle sfide poste dai cambiamenti climatici.

Bisogna però tener presente che questo approccio ha un carattere antropocentrico e

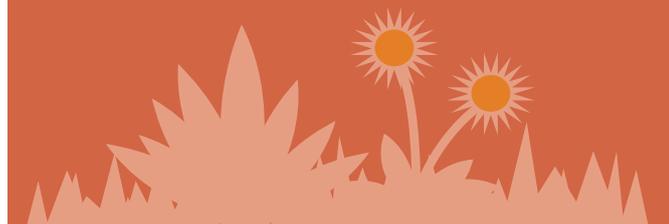
può comportare il rischio di escludere l’idea che ecosistemi e biodiversità possedano un valore intrinseco indipendente dai bisogni umani. Per salvaguardare la multifunzionalità del sistema è invece necessario tener conto di tutte le relazioni e degli ecosistemi coinvolti e salvaguardare la biodiversità nel suo complesso. Solo ecosistemi ricchi in biodiversità possono fornire servizi ecosistemici nel lungo periodo.

In altre parole: più diverse sono le specie presenti in un ecosistema, più quell’ecosistema è in grado di svolgere le sue funzioni ecologiche e mantenere i flussi di energia e materia, continuando a offrirci i suoi benefici nel tempo.

LA MULTIFUNZIONALITÀ DELLE AREE VERDI

La multifunzionalità, esprime la capacità di svolgere funzioni multiple attivando sinergie tra i diversi utilizzi degli spazi verdi consentendo di aumentarne l'efficacia, in particolare dove la loro disponibilità è limitata come nei centri urbani o in paesaggi fortemente antropizzati.

Ad esempio il bosco assolve a una vasta gamma di funzioni, riconducibili ad altrettanti servizi ecosistemici, legati alla produzione di legno, alla regolazione del clima (es assorbimento anidride carbonica dall'atmosfera, produzione di ossigeno, attenuazione delle alte temperature estive), alla protezione del suolo (produzione di sostanza organica, limitazione dell'erosione), al valore culturale e ricreativo (benessere psico-fisico, riconoscibilità del paesaggio), ecc.



DALLA RETE ECOLOGICA ALL'INFRASTRUTTURA VERDE

La rete ecologica si concentra principalmente sulla capacità del paesaggio di permettere il movimento e la sopravvivenza delle specie attraverso una rete di habitat interconnessi. L'**infrastruttura verde** (IV), invece, amplia questa visione, integrando la dimensione ecologica con quella dei servizi ecosistemici, ossia dei benefici che la natura fornisce all'uomo, gratuitamente e spesso senza che ce ne accorgiamo. L'infrastruttura verde, viene definita come **una rete strategica di spazi naturali, seminaturali, o ripristinati progettata e gestita in modo da fornire una vasta gamma di servizi ecosistemici**, dalla regolazione climatica e delle acque meteoriche, al miglioramento della qualità dell'aria, alla produzione di alimenti e fibre, fino al benessere psico-fisico e alla fruizione sociale e ricreativa degli spazi aperti. Essa rappresenta una

vera e propria infrastruttura territoriale progettata e gestita, con l'obiettivo di garantire la fornitura di servizi ecosistemici nel lungo periodo, come presupposto per la **multifunzionalità del territorio**.

LE DIVERSE SCALE SPAZIALI DELL'INFRASTRUTTURA VERDE

Ma dove nel territorio possiamo ritrovare l'infrastruttura verde e i servizi ecosistemici a essa collegati? L'infrastruttura verde agisce e genera benefici a diverse scale spaziali, dal singolo edificio fino al territorio più ampio regionale, nazionale e globale.

- **A livello di singolo edificio**, l'infrastruttura verde può concretizzarsi sotto forma di **tetti verdi, giardini pensili, o pareti vegetali**, contribuendo a migliorare la qualità dell'aria, a mitigare i picchi di calore e a favorire la biodiversità urbana.
- **A scala di quartiere**, può **riguardare le aree verdi, la riqualificazione di aree degradate**, la creazione di parchi urbani, oppure la realizzazione di **sistemi di drenaggio** basati su coperture verdi a favore di aree impermeabilizzate (esempio parcheggi, piazze, ...) per la gestione delle acque meteoriche superficiali.
- **Alla scala di intera città** l'IV può essere pianificata per creare **nuove aree di verde urbano, corridoi ecologici** e di fruizione tra gli spazi del verde pubblico, contribuendo a migliorare la **qualità della vita** dei cittadini, e a mitigare gli effetti dei cambiamenti climatici (esempio mitigazione dell'effetto isola di calore).
- **Alla scala regionale** concorre al raggiungimento degli obiettivi di supporto alla **biodiversità** della rete ecologica, accompagna lo sviluppo della **mobilità dolce** (piste ciclabili, ippovie), consente una **migliore gestione della risorsa idrica** ecc.

L'organizzazione a diverse "scale spaziali" dell'infrastruttura verde consente di leggerla come una **struttura nidificata**, in cui ogni suo elemento costituente è formato da singole parti, che nel loro insieme creano una sorta di gerarchia in cui i diversi livelli sono collegati tra loro, e a cui corrisponde un insieme di relazioni complesse. Questo legame fa sì che **anche il singolo elemento**, come una siepe, un gruppo di alberi, le scarpate stradali, all'apparenza di scarso valore, **diventa importante** per la struttura complessiva.

SIEPI, FILARI, FASCE BOScate: ELEMENTI CRUCIALI DEL PAESAGGIO IN FVG

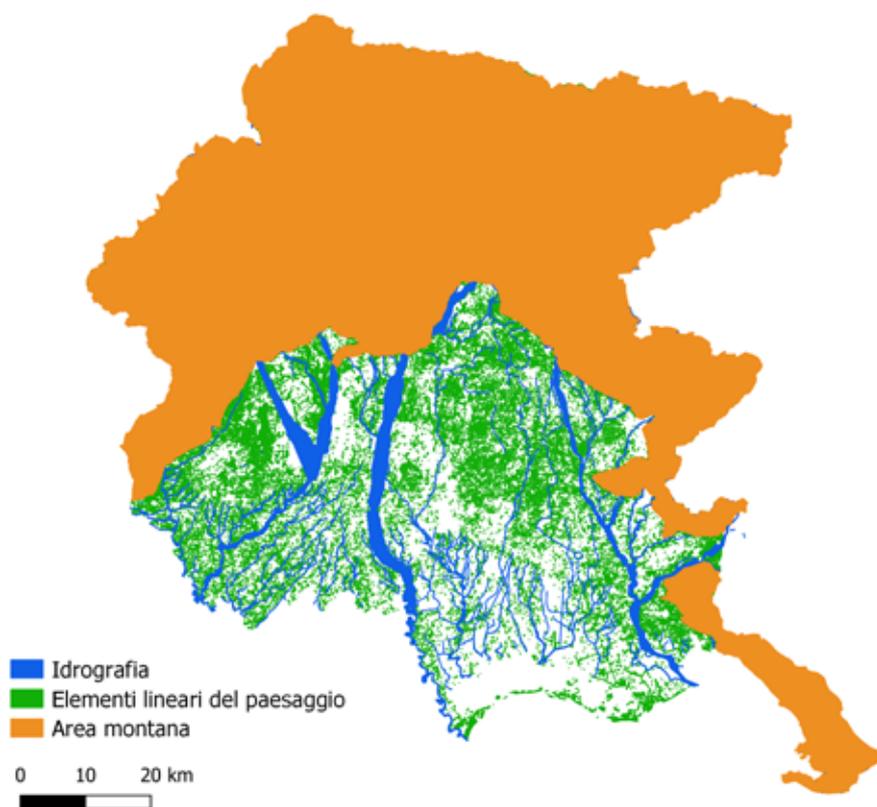
Quanto gli elementi lineari del paesaggio come siepi, filari di alberi, fasce boscate, boschi residui contribuiscono all'infrastruttura verde in FVG?

Il *Land Monitoring Service* del progetto Europeo Copernicus rende disponibile il **database aggiornato degli elementi lineari arborei/arbustivi del paesaggio** (filari di alberi, siepi, fasce boscate, boschetti residui) presenti in Europa (<https://land.copernicus.eu/en/products/high-resolution-layer-small-woody-features>).

Da questi dati emerge che **nell'area di collina e pianura della regione Friuli Venezia Giulia sono presenti più di 60.600 elementi lineari**, che occupano complessivamente 14.460 ettari di superficie, e sono distribuiti nel territorio a dare un mosaico disomogeneo. Si tratta dei così detti "elementi minori del paesaggio" poiché modesti in dimensioni, a volte piantumati, ma molto spesso cresciuti spontaneamente in prossimità degli appezzamenti coltivati, o occupando le tare, ossia le superfici agricole non produttive. Questi elementi rappresentano **componenti cruciali del paesaggio** poiché forniscono numerosi **servizi ecosistemici**, fungendo da oasi di habitat per la biodiversità e il controllo biologico, aiutando nella prevenzione dell'erosione superficiale, contribuendo alla conservazione della qualità del suolo. Anche il loro **valore estetico e culturale** è significativo, in quanto elementi delle pratiche agricole tradizionali e parte del patrimonio rurale, basti pensare al significato dei filari di gelso, o di salici della campagna regionale.

Per una mappatura ancora più dettagliata degli elementi verdi lineari si possono utilizzare analisi più sofisticate come descritto nell'approfondimento **UN OCCHIO SUL VERDE: LO STUDIO CHE MAPPA LE SIEPI DALLO SPAZIO**.

DISTRIBUZIONE DEGLI ELEMENTI LINEARI DEL PAESAGGIO NELLE AREE DI COLLINA E PIANURA IN FRIULI VENEZIA GIULIA



Maurizia Sigura, elaborato da dati Small Woody Features 2018.

Sebbene abbiano origini e finalità specifiche, entrambi i concetti, di rete ecologica e di infrastruttura verde, condividono l'obiettivo comune di arrivare a **un territorio** caratterizzato da un maggiore equilibrio tra presenza umana e sistemi naturali, **multifunzionale e resiliente rispetto alle sfide imposte dai cambiamenti climatici**.

Maurizia Sigura, Anna Lilian Gardossi, Antonio Tomao
Università degli Studi di Udine

UN OCCHIO SUL VERDE: LO STUDIO CHE MAPPA LE SIEPI DALLO SPAZIO

Gli elementi lineari arborei come le siepi, i filari di alberi, piccoli boschi relitti, situati al di fuori delle aree forestali propriamente dette, formano un mosaico di risorse ecosistemiche interconnesse, influenzando significativamente i processi ecologici del paesaggio.

La loro importanza ecologica va oltre la loro estensione spaziale, poiché contribuiscono alla connettività e alla conservazione della biodiversità mitigando la frammentazione degli habitat e migliorando la complessità strutturale. Oltre a questo forniscono servizi ecosistemici essenziali, tra cui il sequestro del carbonio (contribuendo a ridurre i gas serra dell'atmosfera), la filtrazione dell'acqua, il controllo dell'erosione e la regolazione del microclima.

Ma come facciamo a sapere dove si trovano tutte queste siepi, queste componenti di paesaggio così piccole e disperse e a monitorarle? È qui che entra in gioco la tecnologia. **Un recente studio, realizzato dal gruppo di ricerca "Biodiversità, servizi ecosistemici e cambiamenti climatici"** del Dipartimento di Scienze Agroalimentari, Ambientali e Animali dell'Università di Udine si è concentrato proprio su questo: trovare un modo semi-automatico per identificare le siepi usando immagini satellitari ad alta risoluzione. Si tratta del progetto di rilevante interesse nazionale *Eye-Land* "A crowd-sensing geospatial database for the monitoring of rural areas" (PRIN 2020 – Settore ERC LS9 – Bando 2020 Prot. 2020EMLWTN). I ricercatori hanno utilizzato un sistema di analisi di immagini basato sugli oggetti chiamato OBIA

(*Object-Based Image Analysis*), che consente di raggruppare elementi simili per identificare oggetti completi come, appunto, le siepi. Per mettere alla prova questo metodo, sono stati utilizzati dati di due diversi satelliti: *PlanetScope* e *Copernicus Sentinel-2*. Entrambi forniscono immagini multitemporali, cioè scattate in diversi momenti, permettendo di osservare i cambiamenti e distinguere meglio le caratteristiche del territorio.

I risultati sono stati promettenti. L'algoritmo è riuscito a classificare e individuare le siepi con un'ottima precisione. Con i dati di *PlanetScope*, sono stati individuati correttamente il 95% degli elementi, mentre con i dati di *Sentinel-2* (che hanno una risoluzione leggermente inferiore) si è comunque ottenuto un buon 85%.

Questo significa che l'approccio utilizzato è molto efficace nell'utilizzare le immagini satellitari, per creare mappe dettagliate degli elementi lineari. Saper esattamente dove si trovano le siepi e come sono distribuite è fondamentale per supportare le scelte di cambiamento nell'utilizzo delle risorse del territorio e per migliorare le "infrastrutture verdi" del paesaggio. In altre parole, la tecnologia ci offre nuovi strumenti per prenderci cura delle risorse del territorio.





UNA NUOVA TECNOLOGIA PER “ASCOLTARE” GLI ALBERI: I TREETALKERS®

Il cambiamento climatico pone nuove sfide per la sopravvivenza delle foreste.

Per valutare la loro capacità di adattamento è necessario monitorare la loro salute e crescita nel tempo: ora è possibile farlo in continuo e in tempo reale grazie a sensori innovativi, i *TreeTalkers*.

La rete italiana di monitoraggio include tre siti in FVG, che contribuiscono a creare “foreste intelligenti” più resilienti ai cambiamenti climatici.

Le foreste sono tra gli ecosistemi che maggiormente contribuiscono alla conservazione della biodiversità e all’assorbimento del carbonio atmosferico. Inoltre, hanno un ruolo chiave nel supportare il benessere delle popolazioni che abitano e visitano i nostri territori. Oggi, tuttavia, la loro capacità di fornire questi benefici è sempre più compromessa a causa del cambiamento climatico. In particolare, i regimi di temperatura e piovosità stanno cambiando radicalmente, con eventi siccitosi sempre più frequenti, tali da determinare lunghi periodi di stress nella vegetazione. Ciò innesca **effetti a catena sulle foreste**, in quanto gli alberi sottoposti a stress prolungato sono più vulnerabili all’attacco di “patogeni di debolezza” come insetti e funghi, che possono causarne la morte, rallentarne la capacità di ripresa e ridurre il tasso di crescita (e quindi di assorbimento di CO₂).

In generale, tutte le foreste sono esposte a queste problematiche, ma quelle **in area montana** risultano **particolarmente a rischio**, poiché il riscaldamento globale avanza più rapidamente in queste aree rispetto alle pianure.

SENSORI INNOVATIVI PER STUDIARE LE FORESTE IN TEMPO REALE

Per affrontare queste sfide, il primo passo da compiere è valutare la capacità di adattamento delle foreste al clima che cambia, monitorandone lo stato di salute e la crescita nel tempo. Attualmente, questi parametri sono valutati effettuando **rilievi in bosco** durante gli inventari forestali*. Tuttavia i dati raccolti in questo modo non hanno una risoluzione spaziale e temporale sufficiente (i rilievi, visti i costi, sono **eseguiti con cadenza decennale**) né misurano direttamente lo stato fisiologico delle piante, ma registrano solamente l'accrescimento cumulato nel periodo considerato, la mortalità o lo stato di sofferenza dei singoli individui o delle foreste.

Per ovviare a questo limite, di recente è stato proposto **un monitoraggio con una maggiore risoluzione temporale**, che analizzi i **singoli alberi** e la loro capacità di adattarsi alle nuove condizioni climatiche. Una *start-up* innovativa dell'Università della Tuscia (Natura 4.0) ha sviluppato una nuova tipologia di sensori che consentono un monitoraggio **in continuo e in tempo reale: i TreeTalker®** ("l'albero che parla"). Questi dispositivi sono progettati per essere installati sugli alberi e raccogliere una varietà di dati fondamentali per descrivere lo stato di salute delle foreste.

"INTERNET OF TREES" E GESTIONE FORESTALE SMART

Grazie alla tecnologia di connessione *wireless* a lungo raggio (LoRa), i dati raccolti da ciascun albero sono trasmessi verso **centraline esterne al bosco**, per poi essere immessi in rete e consultati facilmente su computer o smartphone. Gli utenti possono monitorare quindi l'andamento dei parametri ambientali con tabelle e grafici dedicati, ottenendo una **visione chiara e immediata dell'evoluzione delle condizioni della foresta**. Questa innovazione segna il passaggio dal cosiddetto *Internet of Things* (IoT), ovvero quella tecnologia che permette agli oggetti di comunicare tra loro e con noi tramite Internet, all'**Internet of Trees**, rendendo la gestione forestale più smart e accessibile.

I TREETALKERS: COME SONO FATTI E COSA MISURANO

I *TreeTalkers* sono direttamente installati sugli alberi e sono formati da un'unità centrale, che al suo interno ha un processore e una scheda di memoria collegata a diversi sensori, che misurano a una data frequenza (generalmente, un'ora) alcuni parametri tra cui:

- accrescimento radiale, tramite un "dendrometro" equipaggiato con piccolo pistone fissato sulla corteccia, che registra l'aumento del diametro del fusto con precisione del centesimo di millimetro;
- quantità di acqua che scorre attraverso il fusto (traspirazione);
- spostamento della pianta rispetto all'asse verticale, grazie a un sensore di movimento (accelerometro);
- qualità della radiazione luminosa trasmessa dalla chioma, grazie a un sensore che misura non solo la radiazione visibile, ma anche quella infrarossa;
- caratteristiche ambientali, tra cui temperatura e umidità dell'aria.



LA RETE TREETALKER ITALIA E I TRE TIPI DI BOSCO MONITORATI

Nell'ambito di due progetti finanziati dal Piano Nazionale di Resistenza e Resilienza (Geoscience IR e il Centro nazionale per la biodiversità) e con il supporto scientifico della Società Italiana di Selvicoltura ed Ecologia Forestale (SISEF) è stata costituita una **rete italiana di siti per il monitoraggio in tempo reale delle foreste** utilizzando i *TreeTalker®* (*Italian TreeTalker network*). La rete è costituita da una serie di aree sperimentali distribuite tra le Alpi e gli Appennini seguendo "Il sentiero Italia", la più famosa infrastruttura escursionistica a livello nazionale.

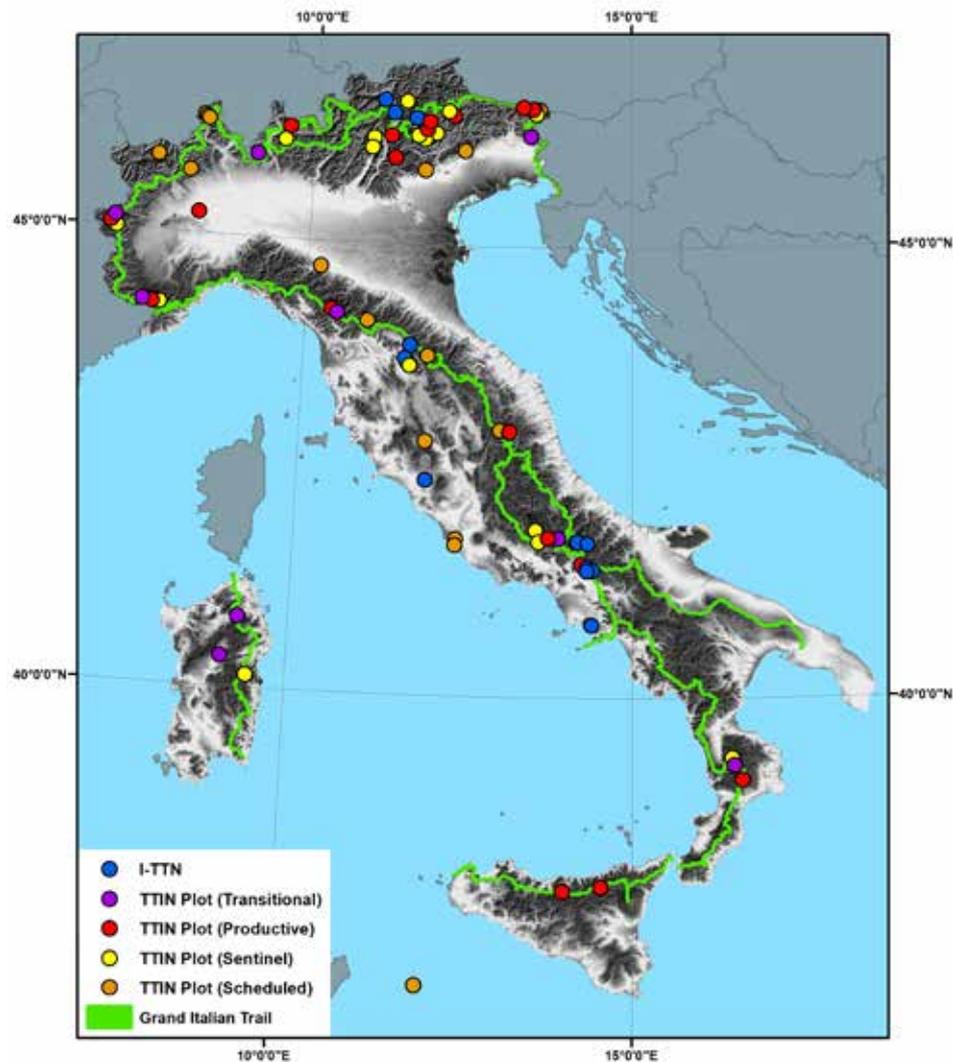
Dal momento che non tutte le foreste reagiscono allo stesso modo al cambiamento climatico, ogni area sperimentale prevede il monitoraggio di **tre tipologie di bosco**:

- un bosco sottoposto a gestione forestale ordinaria;
- un bosco al limite superiore della vegetazione (bosco "sentinella");
- e un bosco di neo-formazione, ovvero che si è insediato su terreni agricoli o pascoli abbandonati negli ultimi 50-60 anni.

I SITI IN FVG

Nel caso della regione **Friuli Venezia Giulia**, il bosco sentinella e il bosco produttivo sono stati individuati nel Tarvisiano. Il primo si trova al limite superiore della vegetazione presso **Sella Acomizza**, in uno spazio limitrofo al confine orografico italiano-austriaco, il secondo nel territorio della **foresta di Tarvisio**. Il bosco di neo-formazione è stato invece individuato nei pressi di **Passo Pramollo**, nel Comune di Pontebba.

In ciascun sito, i *TreeTalkers* sono stati installati su **cinque alberi rappresentativi**, scelti tra quelli dominanti e disposti secondo un preciso disegno sperimentale. I soprassuoli* attorno a ciascun albero sono stati caratterizzati con elevato dettaglio attraverso misure dendrometriche*



La rete italiana di siti per il monitoraggio in tempo reale delle foreste tramite i *TreeTalker®*.

realizzate con un protocollo comune all'intera rete di monitoraggio. In FVG l'attività di ricerca è condotta dal gruppo di ricerca coordinato dal Prof. Giorgio Alberti e dal Prof. Antonio Tomao, docenti di selvicoltura e assestamento forestale presso il Dipartimento di Scienze Agroalimentari, Ambientali e Animali (Di4A) dell'**Università di Udine** con la **collaborazione della Regione Friuli Venezia Giulia**, che ha messo a disposizione una foresta di proprietà regionale per l'installazione dei sensori.

I DIVERSI TIPI DI FORESTA

Le foreste non sono tutte uguali: la loro struttura e la capacità di resistere ai cambiamenti climatici dipendono da fattori come l'altitudine, la gestione umana e il loro stadio di crescita.

FORESTE PRODUTTIVE

Sono foreste gestite attivamente dall'uomo, spesso situate a media altitudine.

Grazie alla gestione regolare, ci si aspetta una minore vulnerabilità agli effetti climatici nel breve e medio termine, ma la loro evoluzione dipende molto dalle attività umane e solo un monitoraggio in continuo può consentire di valutarne la capacità di adattamento.



Foto: Antonio Tomao

Bosco gestito in Val Alba nel comune di Moggio Udinese.

FORESTE DI NEO-FORMAZIONE

Si trovano in aree in cui il bosco sta ricrescendo dopo un cambiamento nell'uso del suolo, ad esempio dopo l'abbandono di terreni agricoli.

Essendo ancora giovani e in evoluzione, queste foreste possono risultare più sensibili agli impatti climatici.



Foto: Lorenzo Orzan

Bosco di neoformazione presso Lusevera.

FORESTE SENTINELLA

Crescono ad altitudini elevate, vicino al limite degli alberi.

Queste foreste, spesso poco o per nulla sfruttate dall'uomo, sono tra le più vulnerabili al cambiamento climatico: il clima più caldo e secco degli ultimi anni le sta trasformando rapidamente.



Foto: Antonio Tomao

Bosco "sentinella", al limite superiore della vegetazione, in prossimità di Monte Acomizza (Tarvisio, UD).

DIAGNOSI PREVENTIVA, INTERVENTI TEMPESTIVI

Nonostante il finanziamento iniziale per la realizzazione della rete sia avvenuto grazie a progetti finanziati principalmente dal PNRR, l'obiettivo della rete è quello di realizzare una infrastruttura di ricerca aperta, in continuo allargamento e innovazione e da mantenere in modo continuo nel tempo.

L'obiettivo finale della rete di monitoraggio è quello di **creare foreste "intelligenti" dal punto di vista climatico**, capaci di resistere meglio agli stress ambientali e di continuare a svolgere il loro ruolo fondamentale per l'ecosistema e il benessere umano. I dispositivi, infatti, permettono di **individuare prontamente stress ambientali** come siccità o malattie, consentendo **interventi mirati e tempestivi**. Inoltre, i dati raccolti dai *TreeTalkers* sulle condizioni ambientali e sulla traspirazione degli alberi contribuiscono a migliorare le proiezioni climatiche in quanto possono essere utilizzati per validare gli attuali modelli di previsione a una scala temporale di elevato dettaglio. Inoltre, le informazioni raccolte, analizzando come gli alberi reagiscono a stress termici, siccità o eventi estremi, possono aiutare a sviluppare strategie di adattamento ai cambiamenti climatici.

Antonio Tomao, Luca Cadez, Giorgio Alberti

Università degli Studi di Udine

Vittorio Garfi, Marco Ottaviano

Università degli Studi del Molise

Marco Marchetti

Sapienza, Università di Roma

Fondazione Alberitalia



PAROLE CHIAVE

INVENTARI FORESTALI

Gli inventari forestali, come l'Inventario Nazionale delle Foreste e dei serbatoi forestali di Carbonio (INFC) sono indagini campionarie periodiche finalizzate alla conoscenza della qualità e quantità delle risorse forestali del Paese, fonte di statistiche forestali a livello nazionale e regionale. L'INFC è uno strumento di monitoraggio che produce conoscenza concreta a supporto della politica forestale e ambientale realizzato dall'Arma dei Carabinieri tramite il Comando Unità Forestali Ambientali e Agroalimentari in collaborazione con partner scientifico il CREA (Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi per l'economia agraria) e il contributo dei Corpi Forestali delle Regioni e Province Autonome.

DENDROMETRIA

La dendrometria (dal greco *déndron*, che significa "albero" e *métron*, che significa "misura") è la scienza che si occupa di misurare e quantificare le caratteristiche degli alberi e delle foreste. È una disciplina fondamentale per chi lavora nella gestione forestale, nell'industria del legno e nella conservazione dell'ambiente. Attraverso la dendrometria, è possibile determinare grandezze come il diametro e l'altezza degli alberi, il volume del legname e persino la quantità di carbonio immagazzinata nelle foreste. Questi dati sono essenziali per monitorare la crescita delle piante, valutare la produttività di un bosco e pianificare interventi selvicolturali sostenibili.

SOPRASSUOLO FORESTALE

Il soprassuolo forestale è l'insieme della vegetazione arborea e arbustiva presente in un'area boschiva in un determinato momento. Comprende tutti gli alberi e gli arbusti, indipendentemente dall'età, dalle dimensioni e dallo stato di salute. Il soprassuolo forestale è una componente fondamentale dell'ecosistema forestale, in quanto influisce sul microclima, sulla biodiversità e sulla produttività del bosco.



REGIONE AUTONOMA
FRIULI VENEZIA GIULIA

Questo contributo è stato realizzato con il supporto del Centro Nazionale per la Biodiversità (National Biodiversity Future Centre - NBFC - Missione 4 Componente 2, Investimento 1.4 - D.D. 1034 17/06/2022, CN00000033) e di GeoSciencesIR: un'infrastruttura di ricerca per la Rete Italiana dei Servizi Geologici - PNRR per la Missione 4, Componente 2, Investimento 3.1, Avviso 3264/2021. CUP I53C22000800006 - IR0000037. Finanziato dall'Unione europea - Next Generation EU



LE STRATEGIE DELLE SPECIE FORESTALI PER ADATTARSI AI CAMBIAMENTI CLIMATICI

I cambiamenti climatici hanno effetti sia positivi che negativi sulle foreste. Gli alberi possono adattarsi alle nuove condizioni in vari modi: variabilità genetica, modifica delle caratteristiche morfologiche e funzionali, migrazione verso nuove aree.

La migrazione delle specie può essere “assistita” da interventi che favoriscono il trasferimento di individui con geni più adatti alle nuove condizioni climatiche, come, in FVG, nel progetto delle Università di Udine e Trieste supportato dalla Regione.

Il cambiamento climatico in atto sta esercitando un impatto significativo su composizione, struttura e funzionamento degli ecosistemi forestali. Guardando il **bicchiere mezzo pieno**, l'aumento della temperatura media del nostro pianeta, combinato con l'effetto fertilizzante della maggiore concentrazione di CO₂ in atmosfera e delle deposizioni azotate, ha determinato un **aumento dell'accrescimento delle nostre foreste negli ultimi decenni**, andando a modificare la lunghezza della stagione vegetativa e le fasi fenologiche (per esempio anticipando la fioritura e/o ritardando la caduta delle foglie). Infatti, diversi studi hanno messo in evidenza come le foreste europee nei primi anni duemila crescessero fino al 67% in più rispetto agli anni cinquanta del secolo scorso. Dal punto di vista dell'estensione delle foreste, l'aumento della temperatura media favorisce anche un'**espansione della vegetazione forestale verso quote superiori** andando a innalzare il limite superiore della vegetazione arborea.

IMPATTI NEGATIVI E POSSIBILI ADATTAMENTI

Tuttavia, guardando al **bicchiere mezzo vuoto**, il cambiamento climatico in atto sta esponendo le foreste a **eventi estremi** (fattori di stress) che stanno aumentando in frequenza e intensità e che possono portare alla morte di singoli individui arborei o all'insorgenza di fenomeni di disturbo come gli incendi o gli attacchi parassitari (come spieghiamo nel box **FATTORI DI STRESS E DISTURBI**). Inoltre, il maggiore accrescimento degli alberi richiamato in precedenza si traduce spesso in una **più precoce mortalità** legata al fatto che le piante, investendo maggiori risorse nel loro sviluppo in altezza e in diametro, investono meno nelle loro difese o a conferire maggiore resistenza meccanica al legno.

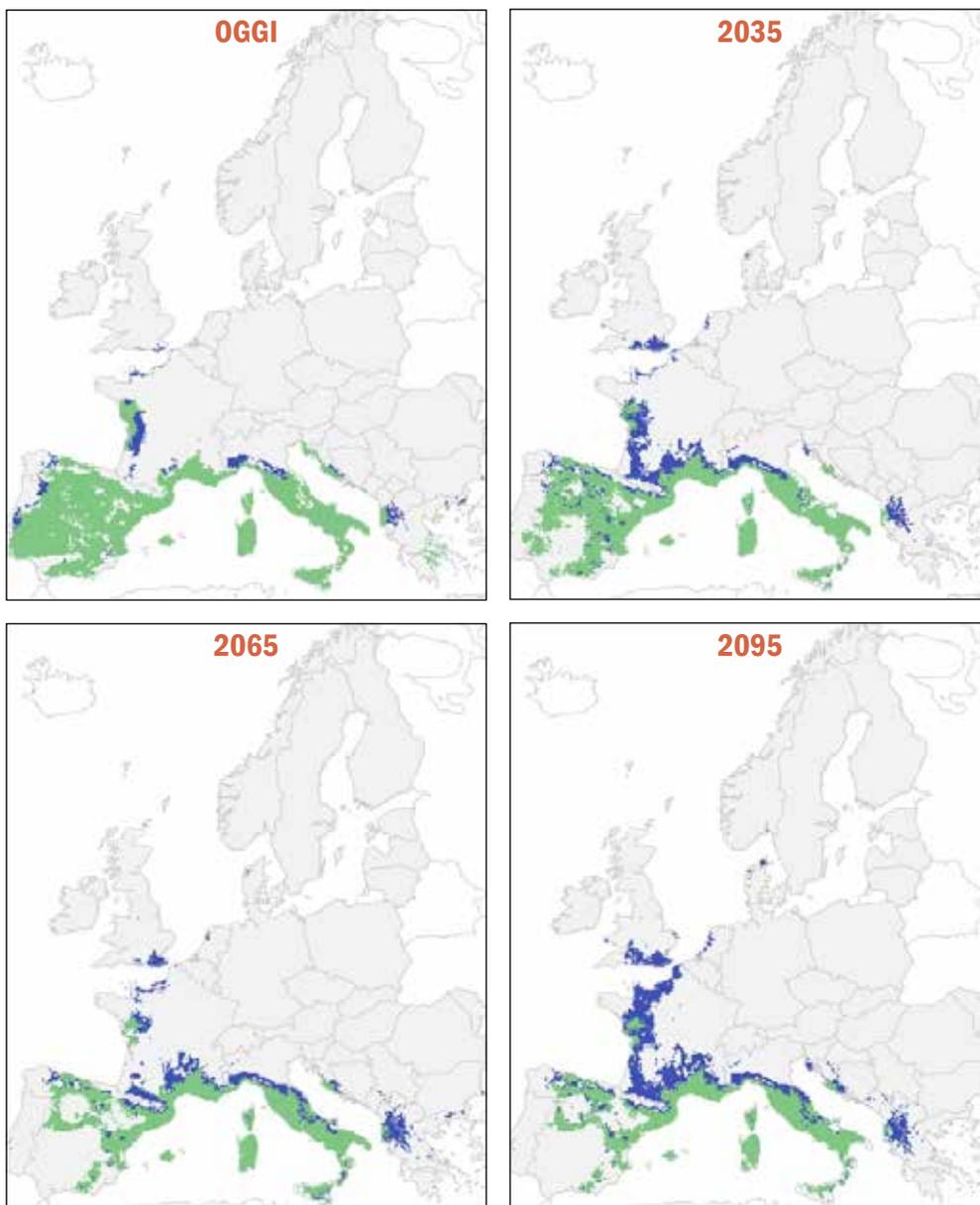
Alcune specie saranno in grado di tollerare le condizioni ambientali in rapido cambiamento attraverso la **variabilità genetica** (plasticità genotipica*) già esistente all'interno delle popolazioni. In alternativa, è possibile che i singoli individui riescano ad acclimatarsi all'ambiente mutato grazie alla propria **plasticità fenotipica***, ovvero la capacità degli individui di sviluppare un diverso fenotipo (l'insieme delle loro caratteristiche morfologiche e funzionali) in relazione a differenti condizioni ambientali. Un'ulteriore possibilità di risposta per le specie è rappresentata dalla **migrazione verso nuove aree** che presentano condizioni ambientali compatibili con le loro esigenze ecologiche (come vediamo nella figura che illustra l'areale potenziale del leccio).

AREALE POTENZIALE DEL LECCIO

Esempio di variazione nell'areale di distribuzione potenziale del leccio (*Quercus ilex*) a scala europea (verde + blu) secondo le proiezioni climatiche per lo scenario emissivo intermedio (RCP4.5, con emissioni né fortemente ridotte né crescenti).

L'area blu rappresenta l'areale potenzialmente idoneo non occupato dalla specie a causa dei limiti nella sua dispersione.

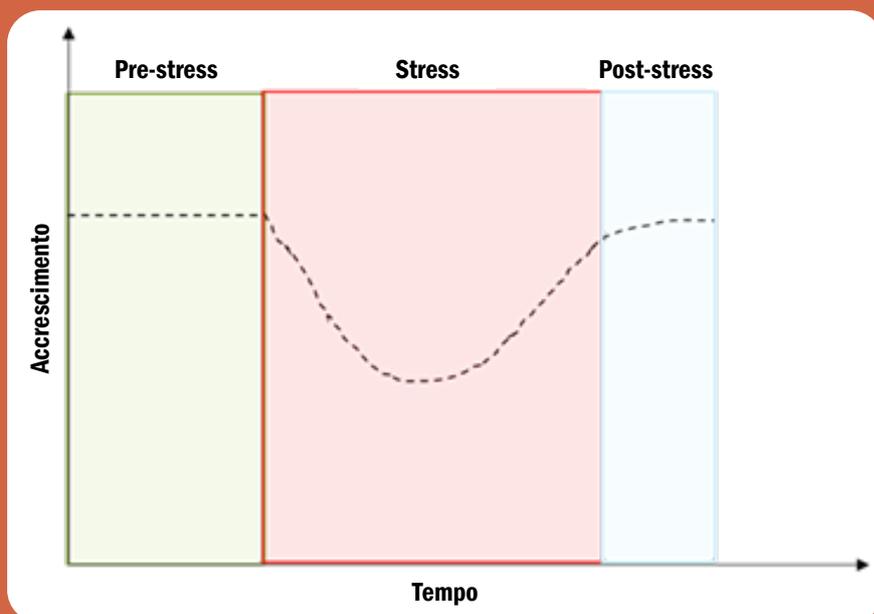
Immagine (licenza Creative Commons CC-BY 4.0) tratta e tradotta da Mauri, A., Girardello, M., Strona, G. et al. *EU-Trees4F, a dataset on the future distribution of European tree species*. *Sci Data* 9, 37 (2022) - <https://doi.org/10.1038/s41597-022-01128-5>



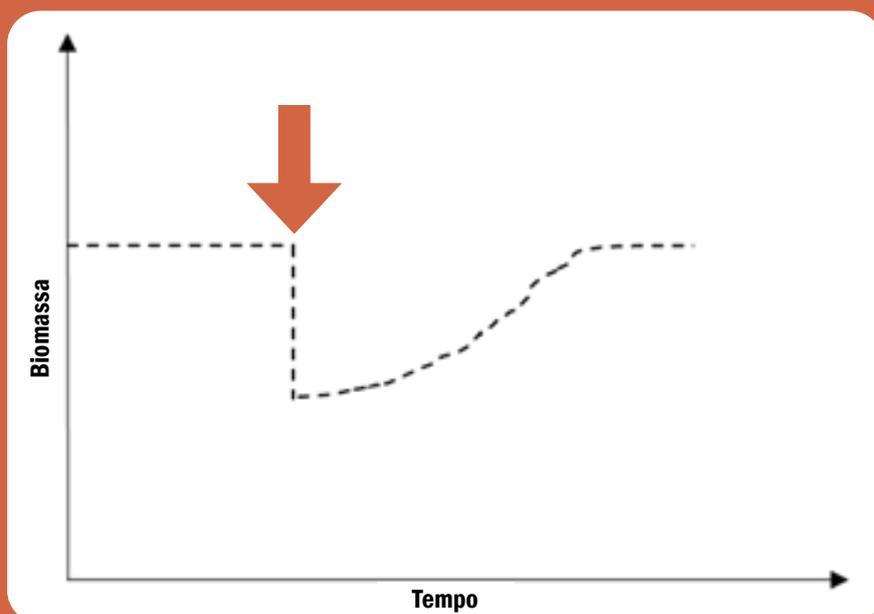
FATTORI DI STRESS E DISTURBI

In ecologia forestale, i termini “fattore di stress” e “disturbo” sono utilizzati per descrivere eventi o condizioni che influenzano gli ecosistemi forestali, ma si riferiscono a concetti diversi. Un fattore di stress è una condizione ambientale che agisce sugli alberi riducendo la loro capacità di crescere. I fattori di stress (per esempio, siccità, temperature estreme, inquinanti atmosferici) non portano necessariamente alla morte immediata degli organismi ma li indeboliscono o compromettono la salute degli individui e degli ecosistemi, aumentando la loro vulnerabilità ad altri fattori di stress o disturbi.

Un disturbo è un evento che causa un'alterazione drastica e immediata della struttura o della composizione dell'ecosistema. I disturbi (per esempio, vento, parassiti, incendi) sono spesso brevi e intensi e comportano la morte di organismi, la perdita di biomassa e la modifica permanente della struttura dell'ecosistema forestale. I disturbi sono fattori ecologici estremamente importanti perché portano a una rigenerazione o a una rinnovata diversità dell'ecosistema nel lungo periodo. Le specie forestali si sono evolute per rispondere e adattarsi ai disturbi attraverso varie strategie, ma la modifica nella frequenza e nell'intensità di questi eventi a seguito del cambiamento climatico sta mettendo a dura prova tali strategie e quindi la resistenza (capacità di opporsi al disturbo) e la resilienza (capacità di riprendersi dal disturbo) degli ecosistemi forestali.



Effetto di un fattore di stress (siccità) sull'accrescimento delle specie forestali nel tempo.



Effetto di un fattore di disturbo (per esempio, tromba d'aria; freccia rossa) sulla biomassa dell'ecosistema forestale nel tempo.

LA MIGRAZIONE SPONTANEA

Il fenomeno della migrazione delle specie non è nuovo, in quanto tutte le **modifiche passate del clima hanno portato le specie a “muoversi” verso sud o nord**. Ciò ha interessato non solo gli animali ma anche le piante. Infatti, sebbene queste ultime non possano migrare in modo attivo come gli animali, lo fanno tramite meccanismi di dispersione dei semi e altre modalità di propagazione. **Nel corso dell’ultima glaciazione**, ad esempio, alcune specie forestali tipiche dei climi freddi (quali abeti o betulle) sono migrate verso sud e hanno raggiunto anche le isole del Mediterraneo. Al mutare del clima e con la fine del periodo di glaciazione (20.000-11.700 anni fa) sono rimaste confinate alle aree montane più alte, dove ora rappresentano dei **“relitti glaciali”** e col tempo sono diventate delle vere e proprie nuove specie. È il caso ad esempio dell’abete bianco dei Nebrodi o *Abies nebrodensis*, parente dell’abete bianco (*Abies alba*), che attualmente sopravvive in qualche centinaio di esemplari solamente sulle cime più elevate delle Madonie in Sicilia. **Con l’aumento delle temperature globali** degli ultimi decenni **stiamo osservando il fenomeno inverso**: molte specie arboree stanno cercando di spostarsi verso latitudini settentrionali o a quote più elevate, in cerca di condizioni climatiche più fresche. Altre specie, tuttavia non saranno in grado di tollerare questo cambiamento e, conseguentemente, diminuiranno in abbondanza e/o si estingueranno.

LA “MIGRAZIONE ASSISTITA”

In generale, **le specie arboree possono impiegare secoli o millenni per migrare** su lunghe distanze naturali, come nel caso degli esempi citati in precedenza. Le modalità e i tempi con cui le specie forestali possono migrare dipendono dalle **modalità di dispersione** adottate dalle specie, dalla **frammentazione dell’habitat** (le aree urbane, agricole o altre barriere artificiali limitano la capacità delle specie arboree di migrare liberamente) e dalla **velocità con cui il clima cambia** (se il cambiamento climatico avviene troppo velocemente, molte specie potrebbero non essere in grado di adattarsi o spostarsi abbastanza rapidamente, con il rischio di estinzione in alcune regioni). Ciò ha determinato la necessità di valutare l’opportunità di un intervento umano volto a **favorire il trasferimento di individui con geni più adatti alle nuove condizioni climatiche**.

In particolare, la migrazione assistita di specie forestali è una strategia di conservazione e gestione ecologica che prevede il trasferimento deliberato di **individui resistenti** all’interno dell’areale della specie verso aree che sono state colpite dal cambiamento climatico o di individui della stessa specie o di altre specie in ambienti che non sono il loro habitat naturale, ma che potrebbero diventarlo a causa di cambiamenti climatici o altre minacce ambientali. Questo processo è principalmente utilizzato per **aiutare le specie a far fronte al cambiamento climatico** e ad altri disturbi ambientali che potrebbero compromettere la loro capacità di adattarsi autonomamente.

Nonostante i benefici, la **migrazione assistita con sostituzione di specie** presenta una serie di **sfide e rischi** che comprendono l’adattabilità delle specie ai nuovi habitat, i rischi per gli ecosistemi locali legati all’introduzione di specie forestali diverse, l’etica e gestione della biodiversità in quanto alcuni esperti ritengono che si debba cercare di preservare gli ecosistemi nel loro stato naturale, evitando di interferire con i processi evolutivi naturali, il rischio di perdita di adattamento locale.

COME INDIVIDUARE LE POPOLAZIONI RESISTENTI O RESILIENTI AL CAMBIAMENTO CLIMATICO

L’individuazione di **popolazioni resistenti* o resilienti*** ai cambiamenti climatici in atto può oggi avvalersi di diversi approcci, tra cui quelli basati su studi empirici condotti attraverso **piantagioni sperimentali** in condizioni ambientali condivise, utilizzando materiale di base proveniente da popolazioni presenti in località geografiche distinte (**“common garden experiments”**), eventualmente abbinati alla manipolazione dei fattori ambientali come la disponibilità idrica, la temperatura o la concentrazione di CO₂ in atmosfera.

Un recente **progetto di ricerca, finanziato dalla Regione FVG** e condotto in collaborazione dalle Università di Udine e di Trieste, si è posto l’obiettivo di identificare materiali selezionati per la loro capacità di rispondere al cambiamento delle variabili climatiche e, in particolare, alle condizioni che conducono allo stress idrico. A tal fine, il progetto ha lo scopo di caratterizzare popolazioni di specie forestali di interesse per la vivaistica regionale attraverso un confronto diretto con popolazioni provenienti da altre località italiane.

LO SCHEMA SPERIMENTALE DELLA RICERCA IN FVG

L'attività di ricerca si svolge seguendo uno schema sperimentale che prevede innanzitutto di individuare con l'Amministrazione regionale **tre specie forestali di particolare interesse vivaistico**. La prima specie scelta è stato il **faggio** (*Fagus sylvatica*), per la diffusione sul territorio regionale e per la rilevanza per la produzione di legname con molteplici utilizzi. Il faggio inoltre è una delle specie che ci si attende sia maggiormente favorita dall'innalzamento delle temperature nelle aree montane, a discapito dell'abete bianco e dell'abete rosso. La seconda specie scelta è l'**orniello** (*Fraxinus ornus*), per il suo interesse negli impianti su terreni poveri, anche finalizzati alla produzione di legna da ardere. La terza specie è il **carpino bianco** (*Carpinus betulus*), di rilevanza per le alberature urbane e per il suo utilizzo negli impianti nelle aree di pianura.

Per ciascuna specie si è proceduto a selezionare **molteplici popolazioni a livello nazionale** utilizzando le informazioni geografiche contenute nel Registro nazionale dei materiali di base in modo da coprire un ampio spettro di valori di precipitazioni e temperature. Tra le popolazioni studiate, sono state considerate anche alcune presenti in FVG in modo da confrontarle con le popolazioni extra-regionali. D'accordo con i vivaisti delle regioni interessate, si è proceduto alla **raccolta dei semi** da almeno 5 alberi selezionati casualmente per ciascuna popolazione. I semi sono stati opportunamente conservati per la successiva semina con l'assistenza del **vivaio regionale Pascual**.

Dopo la semina sono state effettuate misure relative ai principali parametri morfologici e fisiologici delle foglie che la letteratura indica come correlati al livello di tolleranza all'aridità.

L'esperimento permetterà quindi di ottenere dati importanti per **comprendere come le specie selezionate rispondano allo stress idrico**, utili sia per la gestione dell'allevamento in vivaio che per progetti di reintroduzione in ambiente naturale o di impianto.

FAGGIO (1)



ORNIELLO (2)



CARPINO BIANCO (3)



Giovani piante di *Fagus sylvatica* L. (1), *Fraxinus ornus* L. (2) e *Carpinus betulus* L. (3) allevate nel vivaio regionale Pascual di Tarcento (UD).Foto: Luca Redivo.



Foto: Luca Redivo

Specie forestali allevate nel vivaio regionale Pascul di Tarcento (UD).

LE MISURE EFFETTUATE E PREVISTE

Nel corso dell'estate 2024 sono state effettuate misure relative di area fogliare (LA) e area fogliare specifica (SLA), e misure del punto di perdita di turgore fogliare (TLP). Quest'ultimo parametro, espresso in MPa, indica il potenziale idrico al quale le foglie iniziano ad appassire ed è un indicatore chiave della resistenza alla siccità nelle diverse specie e popolazioni di alberi. Infatti, le piante caratterizzate da un TLP più basso mantengono le funzioni cellulari più a lungo anche in condizioni di limitata disponibilità idrica, dimostrando una maggiore resilienza in scenari di stress idrico.

Le prime misure, effettuate sulle diverse provenienze di *Carpinus betulus*, sono incoraggianti, indicando una certa variabilità di questo parametro nelle diverse popolazioni.

Nel corso dell'anno 2025 saranno eseguite ulteriori misurazioni per approfondire la caratterizzazione di questa e delle altre specie. Verranno analizzati altri tratti morfometrici, come l'altezza e il diametro del fusto, la biomassa totale e il rapporto tra biomassa radicale ed epigea, che forniscono indicazioni cruciali sulla strategia di allocazione delle risorse e sullo sviluppo strutturale degli individui. Inoltre, saranno valutati ulteriori parametri fisiologici fondamentali, tra cui l'efficienza degli scambi gassosi, la tolleranza dell'apparato fotosintetico allo stress termico, e la vulnerabilità all'embolia xilematica.

COMPRENDERE LA BASE GENETICA DELLA VARIABILITÀ

Assieme a questa attività in vivaio è necessario comprendere la base genetica di tale variabilità, distinguendo tra la componente geografica e quella ecologica, dovute alla diversa provenienza. Questo obiettivo sarà raggiunto mediante il **sequenziamento del genoma** di singole piante rappresentanti le diverse famiglie di **ogni popolazione (provenienza)** in ciascuna delle specie considerate.

Attraverso la tecnologia *Next Generation Sequencing* denominata ddRAD-seq, sarà possibile ottenere una **mappa genetica dettagliata** delle piante studiate, di comprendere meglio la loro variabilità genetica e di sviluppare in futuro varietà più resistenti e adatte ai cambiamenti ambientali, accelerando il processo di selezione e riducendo i costi.

I BOSCHI DA SEME SELEZIONATI PER L'ADATTAMENTO

Accanto a queste attività in ambiente controllato, si è anche proceduto all'identificazione sul territorio regionale di boschi da seme qualificati ossia di popolamenti forestali di almeno 10 ha con **potenzialità di crescita superiore** a quella che si considera come media in analoghe condizioni ecologiche e di gestione selvicolturale, con un'**elevata resistenza** a fattori di stress come la siccità e con individui caratterizzati da **caratteri morfologici particolarmente favorevoli**, con particolare riferimento al fusto che deve essere diritto e circolare.

LA TECNOLOGIA NEXT GENERATION SEQUENCING

La tecnologia ddRAD-seq è una tecnica avanzata che permette di “leggere” il DNA delle piante in modo molto preciso, ma concentrandosi su una parte selezionata del loro genoma, piuttosto che sequenziarlo tutto. In pratica, si ottiene una “fotografia” del DNA che rappresenta in modo efficace e informativo le informazioni genetiche principali di ogni pianta analizzata.

Una volta che il DNA è stato sequenziato con questa tecnologia, i dati raccolti vengono analizzati usando strumenti bioinformatici (cioè software e algoritmi) che permettono di assegnare un’identità genotipica a ciascuna pianta, valutare le relazioni genetiche tra piante di diverse popolazioni aiutando in questo modo a capire quanto siano simili o diverse le piante provenienti da luoghi differenti e misurare la diversità genetica nelle piante analizzate, cioè quanto è ampia e varia la base genetica che viene studiata.

La successiva identificazione di piccole variazioni nel DNA tra gli individui (polimorfismi di sequenza) consentirà in futuro di aiutare a scegliere le piante migliori in base alle loro caratteristiche genetiche (selezione assistita) e di sviluppare nuove varietà di piante più resistenti più velocemente e con minori costi (selezione genomica).



Foto: Alessandro Foscarì

Bosco da seme di faggio in Val Alba.

Combinando dati rilevati da remoto circa le capacità produttive dei boschi della regione (accrescimento in volume) con quelli relativi alla resistenza alla siccità utilizzando specifici indici di risposta da satellite e successive osservazioni in campo, sono stati **individuati 13 popolamenti** che comprendono al loro interno le principali specie di interesse economico a scala regionale (**abete rosso, abete bianco e faggio**). Dai dati raccolti, si può comunque affermare che i boschi da seme identificati nel presente studio, oltre a presentare elevati valori di accrescimento (incremento corrente superiore al novantesimo percentile della categoria forestale di appartenenza) e una buona resistenza agli stress idrici, hanno anche dimo-

strato di avere una ottima percentuale di fusti di elevata qualità in termini di rettilineità del fusto, di circolarità dello stesso, dell’assenza di biforcazioni critiche, di andamento della fibratura e di altezza di inserzione della chioma (auto-potatura) nonché di dimensione dei nodi.

IN CONCLUSIONE

Coniugando esperimenti in vivaio, indagini genetiche e selezione di boschi da seme, con questa ricerca si stanno quindi ponendo le basi per facilitare l’adattamento delle nostre foreste al cambiamento attuale e futuro delle condizioni climatiche in Friuli Venezia Giulia.

PAROLE CHIAVE

RESISTENZA

è la capacità di una specie vegetale di limitare l'impatto negativo di fattori di stress (abiotici, come siccità o gelo, o biotici, come parassiti o patogeni) o di disturbi (es. gli incendi) mantenendo le proprie funzioni fisiologiche senza subire danni significativi.

RESILIENZA

è la capacità di una specie vegetale di reazione, di auto-riparazione e rinnovamento dopo un evento di disturbo o stress, anche se ha subito dei danni iniziali. Comprende sia la capacità di rigenerazione sia l'adattabilità a lungo termine.



GENOTIPO

è l'insieme delle informazioni genetiche (cioè il DNA) contenute nel corredo genetico di una pianta. Il genotipo determina il potenziale ereditario della pianta, ovvero le sue caratteristiche possibili, come l'altezza, il colore dei fiori, la resistenza a certe malattie, ecc.

FENOTIPO

è l'insieme delle caratteristiche osservabili di una pianta, cioè come il genotipo si esprime nell'ambiente reale. Il fenotipo è il risultato dell'interazione tra genotipo e ambiente. Ad esempio, una specie di albero può avere un genotipo che la predispone a una crescita rapida. Tuttavia, se viene trovata a crescere in un terreno povero, con poca disponibilità d'acqua o in una zona con alta competizione per la luce, il suo fenotipo potrebbe risultare in una pianta che cresce lentamente, con un fusto più sottile e una chioma ridotta.

Luca Redivo

Università degli Studi di Udine e di Trieste

Antonio Tomao, Emanuele De Paoli, Giorgio Alberti

Università degli Studi di Udine

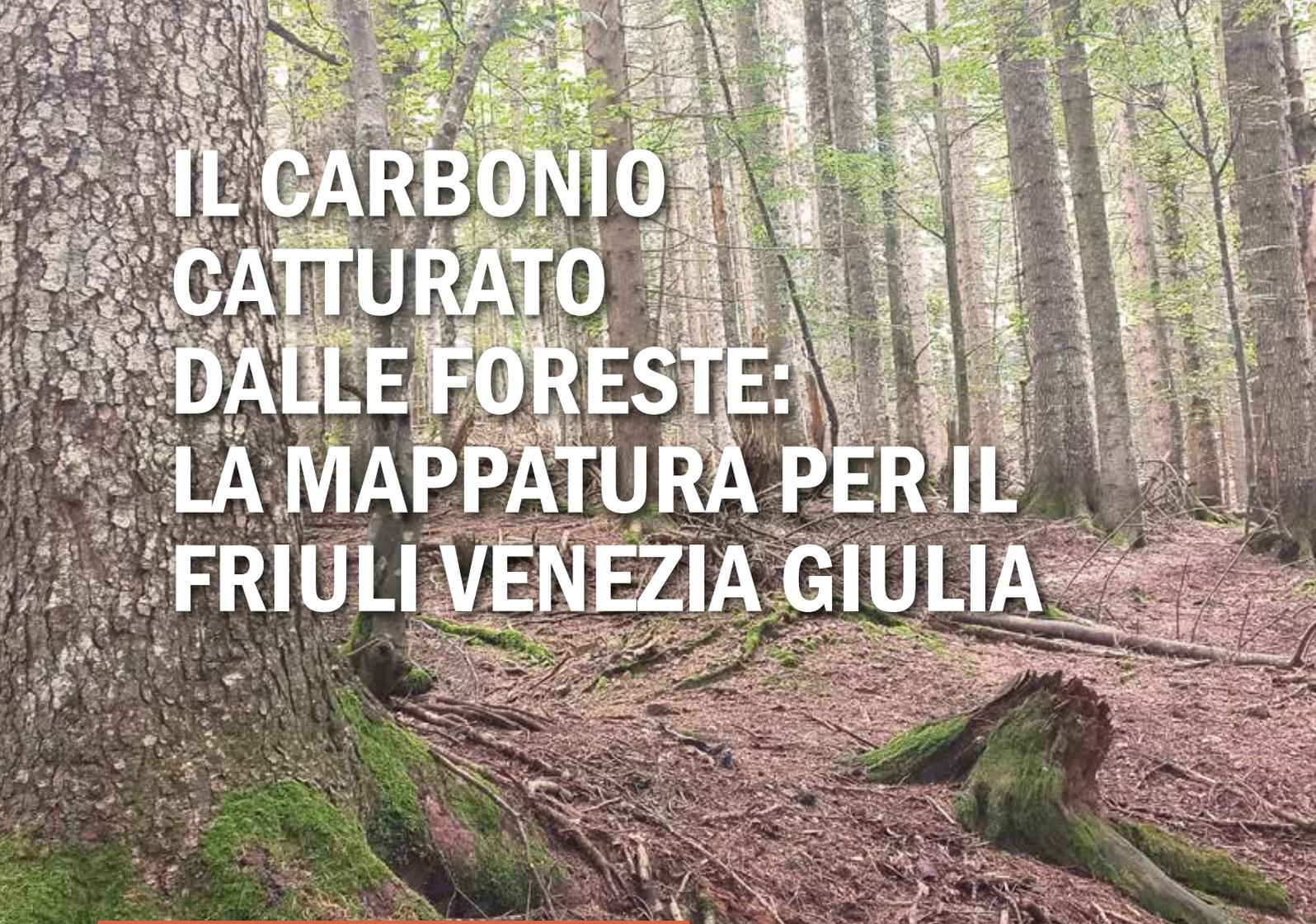
Andrea Nardini

Università degli Studi di Trieste



REGIONE AUTONOMA
FRIULI VENEZIA GIULIA

Questo contributo è stato realizzato con il supporto della Direzione centrale risorse agroalimentari, forestali e ittiche della Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia nell'ambito della convenzione di ricerca per la gestione, la tutela e l'identificazione delle aree definibili come boschi vetusti e di revisione e/o integrazione degli attuali materiali di base (CUP G23C23000690002).



IL CARBONIO CATTURATO DALLE FORESTE: LA MAPPATURA PER IL FRIULI VENEZIA GIULIA

Per limitare il riscaldamento globale è necessario sia ridurre le emissioni di gas serra che aumentare la rimozione del carbonio presente in atmosfera: a ciò le foreste contribuiscono in modo importante per la loro capacità di assorbire e fissare la CO₂.

Con il telerilevamento è possibile stimare questa capacità con precisione e su ampia scala, come si sta facendo in FVG, per pianificare una gestione delle foreste che favorisca la loro capacità di stoccare carbonio e di contribuire, così, alla regolazione del clima.

Due delle principali sfide che l'umanità si trova ad affrontare sono:

- ridurre e adattarsi ai cambiamenti climatici e
- prevenire la perdita di biodiversità.

Per quanto riguarda il primo aspetto, raggiungere emissioni nette di gas serra pari a zero entro il 2050 è ritenuto un obiettivo fondamentale per limitare il riscaldamento globale a 1,5 °C e per raggiungere gli obiettivi fissati nell'Accordo di Parigi sul clima. Per fare ciò, l'Europa deve ridurre le sue emissioni di gas serra, passando da 58 Gt (Gigatonnellate ossia miliardi di tonnellate) di CO₂ equivalente (anno di riferimento 2019) a 25 Gt di CO₂ equivalente entro il 2030. Questo obiettivo ambizioso richiede cambiamenti nei nostri stili di vita e transizioni rapide e profonde nella gestione dell'energia, del territorio e delle città, nonché sistemi infrastrutturali e industriali adeguati. Ma anche le foreste possono dare un importante contributo.

Infatti, le tecniche tradizionali di mitigazione, come l'uso delle energie rinnovabili e l'indipendenza dai combustibili fossili, devono essere integrate con **strategie attive di rimozione del carbonio** per compensare le emissioni residue e addirittura raggiungere emissioni nette negative. Tra queste, le cosiddette **soluzioni basate sulla natura** possono essere in grado di compensare, almeno parzialmente, le emissioni antropiche di gas climalteranti.

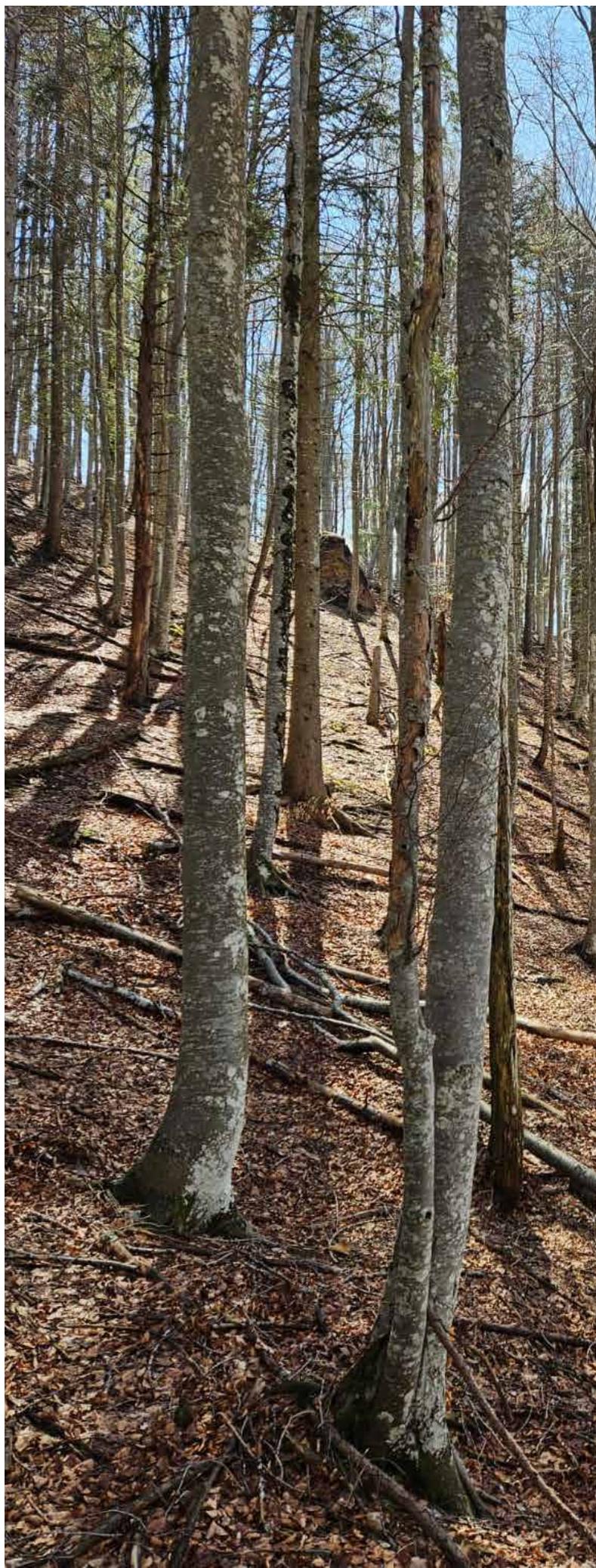
LE FORESTE: UN IMPORTANTE SERBATOIO DI CARBONIO

In questo contesto, le foreste sono un importante serbatoio di carbonio, con una capacità di rimozione netta stimata di circa 7,5 Gt di CO₂ equivalente all'anno a scala globale (15,6 Gt sono rimosse attraverso la fotosintesi e 8,1 Gt sono rimesse attraverso processi respiratori). Per questo motivo, **l'aumento della superficie forestale** attraverso rimboschimenti e piantumazioni, se attentamente pianificata per non entrare in conflitto con altri usi del suolo, può rappresentare una misura attiva ed efficace di rimozione del carbonio.

Accanto a ciò, la **conservazione degli ecosistemi forestali esistenti**, anche attraverso politiche volte alla riduzione della deforestazione nei Paesi della fascia tropicale e sub-tropicale e alla gestione sostenibile a scala globale, è uno strumento fondamentale per conservare gli stock di carbonio attualmente presenti, evitando ulteriori emissioni di CO₂ in atmosfera, e per aumentare il contributo di questi ecosistemi al bilanciamento delle emissioni antropiche nell'attesa di mettere in atto strategie efficaci per ridurre queste ultime. Infatti, si stima che **le foreste potrebbero contribuire a circa il 10% della riduzione** necessaria delle emissioni di gas serra nel periodo 2020-2030 a scala globale.

STIMARE LA CAPACITÀ DELLE FORESTE DI CATTURARE IL CARBONIO

Da queste premesse, appare evidente come una stima accurata della capacità delle foreste di fissare carbonio e sequestrarlo nel lungo periodo, sia a scala locale che globale, sia fondamentale per fornire ai decisori politici e coloro che si occupano della gestione del territorio **informazioni affidabili e aggiornate** al fine di elaborare strategie efficaci





per contribuire al bilanciamento delle emissioni antropiche di CO₂ in atmosfera.

I **metodi attualmente impiegati** sono generalmente basati su schemi di campionamento statistico e sulla misura di variabili dendrometriche (es. altezza e diametro degli alberi) in aree di saggio a terra attraverso gli inventari forestali. Tali metodi, sebbene precisi, **non sono pratici per valutazioni su vasta scala** poiché consentono di stimare gli stock di carbonio e la crescita delle foreste solo a livello di provincia o regione e, generalmente, consentono di arrivare a una ripartizione a livello di singola categoria forestale.

INFORMAZIONI PIÙ PRECISE GRAZIE AL TELERILEVAMENTO

Per ottenere informazioni più precise e spazialmente esplicite, **oggi sono disponibili nuove tecnologie**. Tra queste, il telerilevamento è emerso come uno strumento cruciale per stimare e mappare la biomassa forestale a diverse scale spaziali e con un'elevata risoluzione. Il **telerilevamento (remote sensing)** rappresenta l'insieme delle tecnologie che consentono l'ottenimento di dati da oggetti a terra senza entrare in diretto contatto con essi. Esso utilizza **satelliti, aerei e droni** per osservare e analizzare caratteristiche qualitative e quantitative da lontano, fornendo dati su ampie aree e permettendo l'accesso a luoghi difficili da raggiungere.

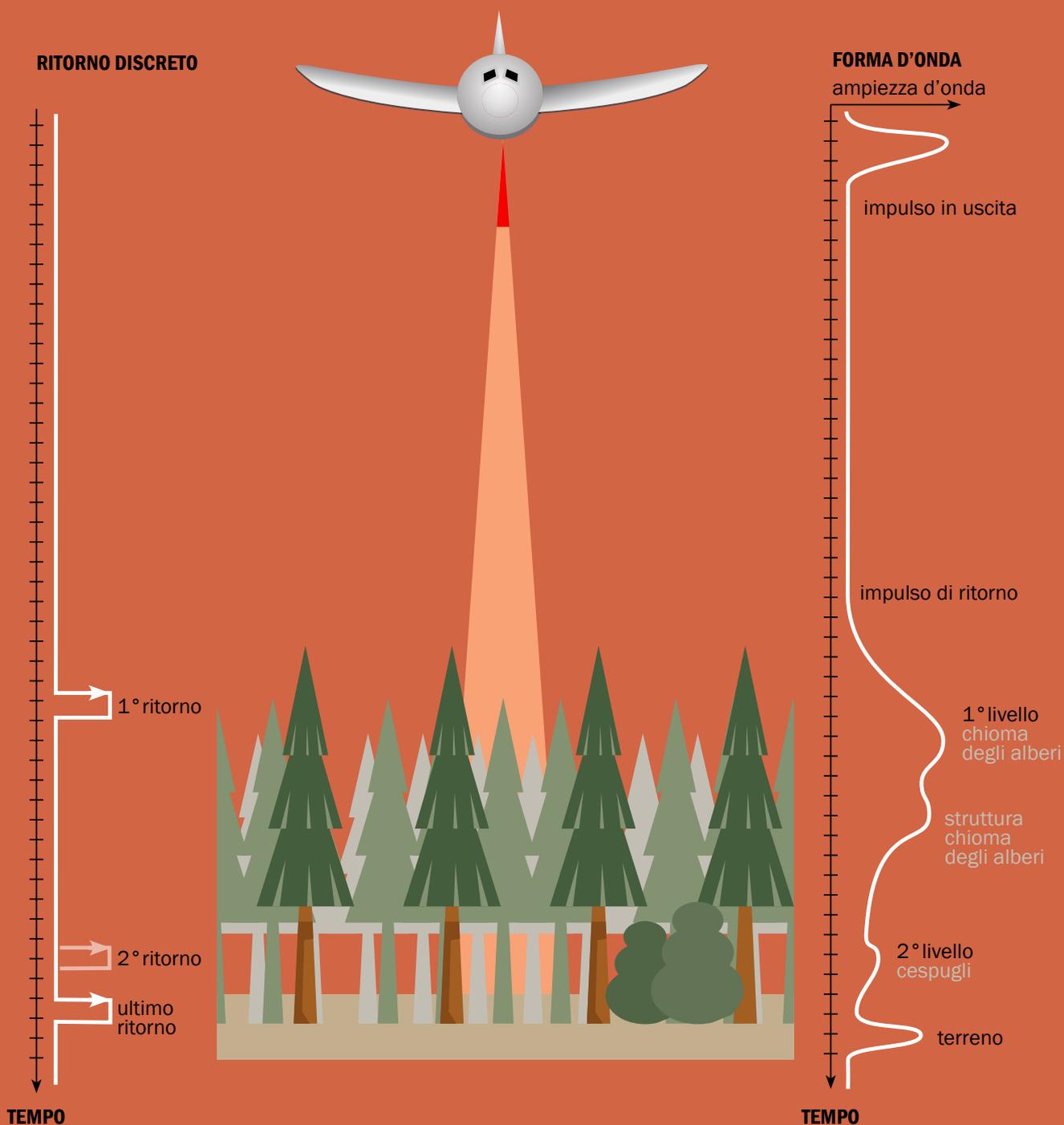
IL FVG ALL'AVANGUARDIA NELL'IMPIEGO DEI RILEVAMENTI TRAMITE LASER (LIDAR)

Tra le diverse tecniche utilizzate, il **LiDAR (Light Detection and Ranging)** è un approccio particolarmente promettente. Si tratta di una tecnica di telerilevamento che utilizza impulsi laser per misurare la distanza tra il sensore e gli oggetti sulla superficie terrestre per creare **mappe tridimensionali** molto precise del terreno, delle foreste e di altre caratteristiche geografiche, fornendo dati dettagliati sulla forma e sull'altezza degli oggetti e, nel caso delle foreste, sulla biomassa presente. Tuttavia, la disponibilità dei dati LiDAR è ancora limitata in termini di copertura spaziale e temporale a causa dei costi elevati di acquisizione, dei volumi di dati e

IL LIDAR: COS'È E COME FUNZIONA

Il LiDAR (*Light Detection and Ranging*) è una tecnologia di telerilevamento che utilizza impulsi laser per misurare con elevata precisione la distanza tra un sensore e un oggetto o una superficie.

I sensori LiDAR emettono impulsi di luce e misurano il tempo impiegato per il loro ritorno dopo essere stati riflessi dagli oggetti circostanti. Conoscendo il tempo che l'impulso impiega a tornare al sensore si riesce facilmente a calcolare la distanza con l'oggetto. I sensori LiDAR possono essere montati su satelliti, aerei e, di recente, anche su droni a pilotaggio remoto.



Schema di funzionamento di un LiDAR in versione aerotrasportata (rielaborazione dello schema proposto da [CNR-IRPI](#))

delle alte esigenze di pre-elaborazione dei dati. In questo contesto, però, la nostra regione è una delle poche dove, nel tempo, sono stati condotti **due voli LiDAR sull'intera superficie regionale** (l'ultimo risale al 2018-2020) e questi dati sono stati utilizzati come **base per l'elaborazione di strumenti di pianificazione specifici**, come i piani di gestione forestale a scala di comprensorio o di singola proprietà forestale.

UNA REGIONE RICCA DI FORESTE...

Il Friuli Venezia Giulia è sicuramente una regione ricca di foreste. Esse, infatti, occupano più di 330.000 ha, ossia il **42% del territorio regionale**, e la loro estensione è praticamente duplicata nel secondo dopoguerra, principalmente a causa dello spopolamento della montagna e dell'abbandono delle pratiche agricole tradizionali. Al contrario, la presenza di boschi nelle zone di pianura è relativamente bassa, principalmente a causa dell'intensificazione delle attività agricole e dell'espansione dei centri urbani.

... CHE CATTURANO MOLTO CARBONIO

Combinando tecniche di **intelligenza artificiale**, **dati rilevati a terra** durante l'ultimo inventario forestale nazionale (2015) con dati telerilevati (indici spettrali derivati da immagini satellitari Sentinel 2 e modelli digitali delle altezze delle superfici boscate derivati dal volo LiDAR a scala regionale del 2018), è stato possibile realizzare delle **mappe ad alta risoluzione** (23x23 m la dimensione del pixel) della distribuzione degli **stock di carbonio nelle foreste regionali** e della loro capacità di fissazione annua della CO₂ come vediamo nella figura.

Da questa analisi è emerso che le foreste regionali hanno, complessivamente, uno stock di carbonio pari a 25.504.581 tC (tonnellate di carbonio), corrispondenti a circa 71 tC per ettaro in media, e la capacità di fissare ogni anno 549.360 tC (=2.014.320 tonnellate di CO₂ equivalente all'anno).

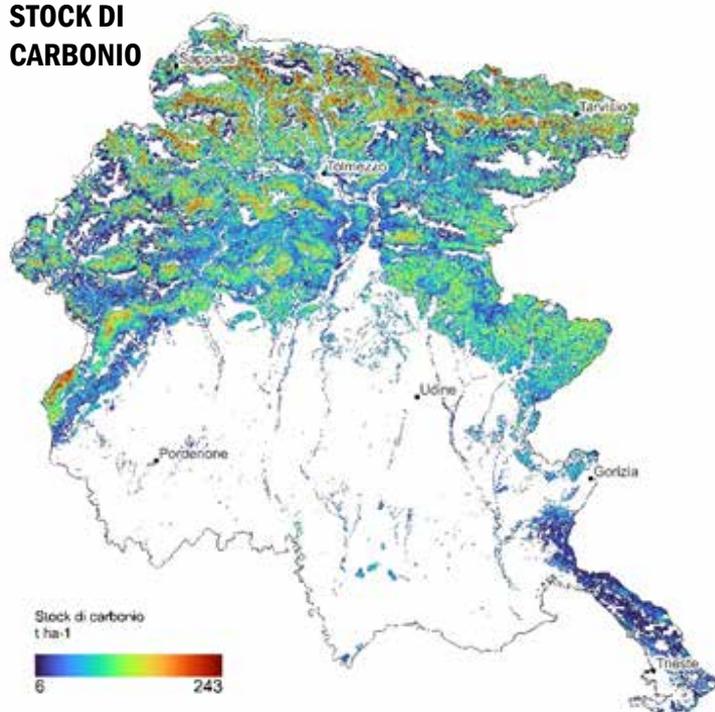
Quindi ogni ettaro delle nostre foreste cattura in media 1,52 tC per ettaro all'anno (=5.6 tCO₂ equivalente per ettaro all'anno).

I valori più elevati per entrambe le variabili - stock di carbonio e fissazione annua - sono stati

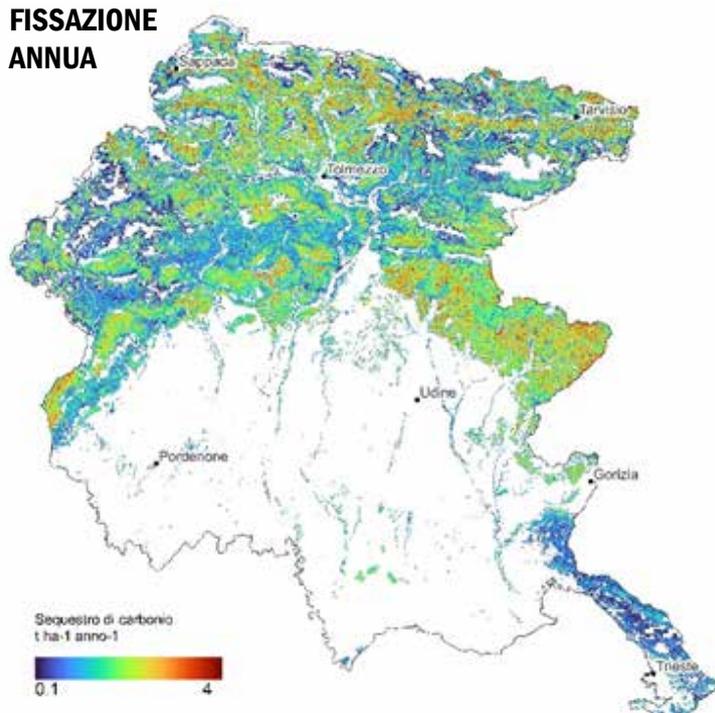
registrati nei boschi di abete bianco e **nei boschi misti di abete rosso e faggio** nella parte interna delle Alpi. Valori di stock e di fissazione annua di poco inferiori sono stati misurati per le faggete e i boschi misti di acero e frassino della zona prealpina.

FORESTE DEL FRIULI VENEZIA GIULIA

STOCK DI CARBONIO



FISSAZIONE ANNUA



Stock di carbonio a ettaro (tC ha-1; sinistra) e fissazione annua (tC ha-1 anno-1; destra) nelle foreste del Friuli Venezia Giulia.

QUANTE EMISSIONI REGIONALI BILANCIANO LE FORESTE DEL FVG

Da queste stime, è possibile concludere che il nostro patrimonio forestale contribuisce, annualmente, a bilanciare **circa il 23% delle emissioni di CO₂** a scala regionale che sono pari a 8.798.483 tonnellate di CO₂ equivalente all'anno (dati ARPA FVG - [Emissioni Regionali Dirette dei Gas Serra 2021](#)).

Se si considerano le sole emissioni da parte delle automobili, assumendo un fattore di emissione medio pari a circa 162 g CO₂ per ogni kilometro percorso, **un ettaro di bosco** è in grado di bilanciare le emissioni di **quasi due automobili** che percorrono poco più di **15.000 km all'anno**.

Bisogna considerare anche che le nostre foreste contribuiscono allo stoccaggio del carbonio anche quando gli alberi sono tagliati. Infatti **se il legname estratto viene trasformato in prodotti legnosi durevoli** (es. legno strutturale per costruzioni, legname per manifattura), **il carbonio rimane catturato nel legno** anche oltre l'asportazione dell'albero dal bosco.

Questi dati e le mappe che sono state prodotte ci fanno quindi capire l'importanza che le foreste regionali svolgono nel ciclo del carbonio e come questo **servizio ecosistemico** sia distribuito a scala regionale. Tuttavia, **i cambiamenti climatici in atto**, e in particolare l'aumento della frequenza di fattori di stress (per esempio, la siccità) o di disturbo (per esempio, gli incendi e gli attacchi parassitari), **potrebbero ridurre lo stock di carbonio** presente in questi ecosistemi e la loro capacità di stoccare carbonio e di contribuire, così, alla regolazione del clima. Per questo, un'attenta **pianificazione forestale** basata su una conoscenza approfondita delle risorse e sulla loro distribuzione a scala territoriale può favorire l'adozione di tecniche gestionali appropriate volte alla loro conservazione e alla valorizzazione delle loro molteplici funzioni ecosistemiche.

**Luca Cadez, Mehdi Fasihi,
Antonio Tomao, Giuseppe Serra, Giorgio Alberti**
Università degli Studi di Udine



Questo contributo è stato realizzato con il supporto del Programma Europeo di Sviluppo Rurale della Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia, misura 16.1.1, decreto n. 422/AGFOR del 22/01/2020; del Piano Nazionale di Recupero e Resilienza (PNRR), Missione 4 Componente 2 Investimento 1.4, Centro Nazionale Agritech; della Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia, Direzione Centrale del Territorio e delle Infrastrutture, Servizio Territorio, Paesaggio e Pianificazione Strategica, Accordo Quadro "Vegetazione per l'erogazione di servizi ecosistemici a scala regionale" CUP G55F21001140002 (2021).



IL *REWILDING* PER CONTRASTARE LA PERDITA DI BIODIVERSITÀ E PER MITIGARE IL CAMBIAMENTO CLIMATICO

Foto: Luca Cadez

Possiamo affrontare perdita di biodiversità e cambiamento climatico, due crisi interconnesse, con una strategia comune: ripristinare la natura.

Il *rewilding* può avvenire con l'espansione naturale del bosco o la pro-forestazione: porta molteplici benefici, ma servono studi - come quelli in corso in FVG - per valutarne il contributo all'assorbimento della CO₂ e promuovere un nuovo equilibrio tra il recupero degli ecosistemi e le attività umane.

L'umanità si trova a un punto cruciale, di fronte a due crisi tra loro interconnesse: la perdita di biodiversità e il cambiamento climatico. Mentre questo ultimo sta accelerando e le specie vegetali e animali scompaiono a un ritmo sempre più rapido, è essenziale ripensare radicalmente il nostro rapporto con la natura e rivedere le nostre strategie di gestione del territorio (come spieghiamo nel box **DUE APPROCCI PER BILANCIARE LE ATTIVITÀ UMANE CON LA PROTEZIONE DELLA NATURA**).

È NECESSARIO RIPRISTINARE LA NATURA

Gli sforzi di conservazione rivolti alla protezione delle specie e degli habitat hanno prodotto risultati contrastanti in termini di efficacia, e per questo è sempre maggiore la consapevolezza che la protezione della biodiversità a lungo termine richieda azioni di ripristino della natura, che vadano a **integrare la semplice conservazione degli habitat e delle specie**. In questa direzione, l'Assemblea Generale delle Nazioni Unite (ONU) ha proclamato il periodo dal 2021 al 2030 come il **Decennio delle Nazioni Unite per il Ripristino degli Ecosistemi**, con l'obiettivo di *“prevenire, fermare e invertire il degrado degli ecosistemi a livello globale”*. Inoltre, nel tentativo di fermare e invertire la perdita di biodiversità sia a livello nazionale che internazionale, il Parlamento Europeo ha recentemente approvato una regolamentazione specifica: la legge sul ripristino della natura (il regolamento noto come **Nature Restoration Law**, NRL). Sebbene alcuni degli obiettivi e degli approcci della NRL si sovrappongano con altre direttive e politiche dell'UE, la NRL interessa la maggior parte degli ecosistemi presenti in Europa, e ha come obiettivo principale **il ripristino e l'introduzione di obiettivi vincolanti** per gli Stati membri entro tempistiche certe. Infatti, la NRL stabilisce chiari obiettivi quantitativi per le aree da ripristinare, con obiettivi fissati per il 2030, il 2040 e il 2050, e definisce indicatori quantitativi per valutare il successo del ripristino.

DUE APPROCCI PER BILANCIARE LE ATTIVITÀ UMANE CON LA PROTEZIONE DELLA NATURA

Oggi esistono due approcci differenti all'uso del suolo e alla conservazione che mirano a bilanciare le attività umane con la protezione della natura:

LAND SHARING (CONDIVISIONE DEL TERRITORIO)

questo approccio promuove l'integrazione di attività agricole e conservazione della biodiversità nello stesso spazio. In pratica, significa che le terre agricole vengono gestite in modo da ridurre l'impatto negativo sull'ambiente, cercando di mantenere la biodiversità all'interno delle aree agricole stesse. Ad esempio, si possono adottare pratiche agricole più sostenibili, come l'agricoltura biologica, l'uso di colture miste o la conservazione di aree naturali all'interno delle terre agricole.

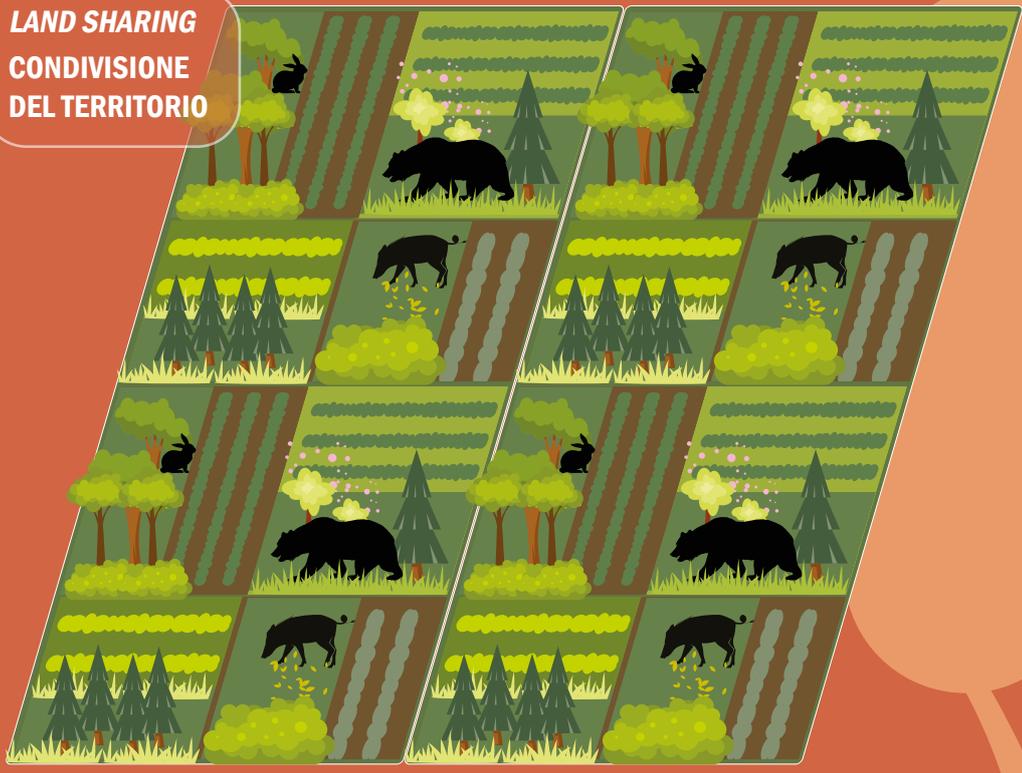
L'idea è che la produzione agricola e la conservazione della natura possano coesistere senza separare le due attività

LAND SPARING (RISPARMIO DEL TERRITORIO)

questo approccio, al contrario, prevede la separazione netta tra terre agricole e aree dedicate alla conservazione della biodiversità. In pratica, significa destinare aree specifiche, come parchi naturali o riserve, esclusivamente alla conservazione della natura, mentre le terre agricole sono utilizzate intensivamente per produrre cibo in modo da ridurre al minimo la necessità di espandere l'uso del suolo agricolo a scapito delle risorse naturali.

L'idea alla base del *land sparing* è che l'intensificazione dell'agricoltura in alcune aree possa liberare altre terre da dedicare esclusivamente alla protezione della biodiversità.

LAND SHARING
CONDIVISIONE
DEL TERRITORIO



Aree agricole "amiche della natura" diffuse su tutto il territori

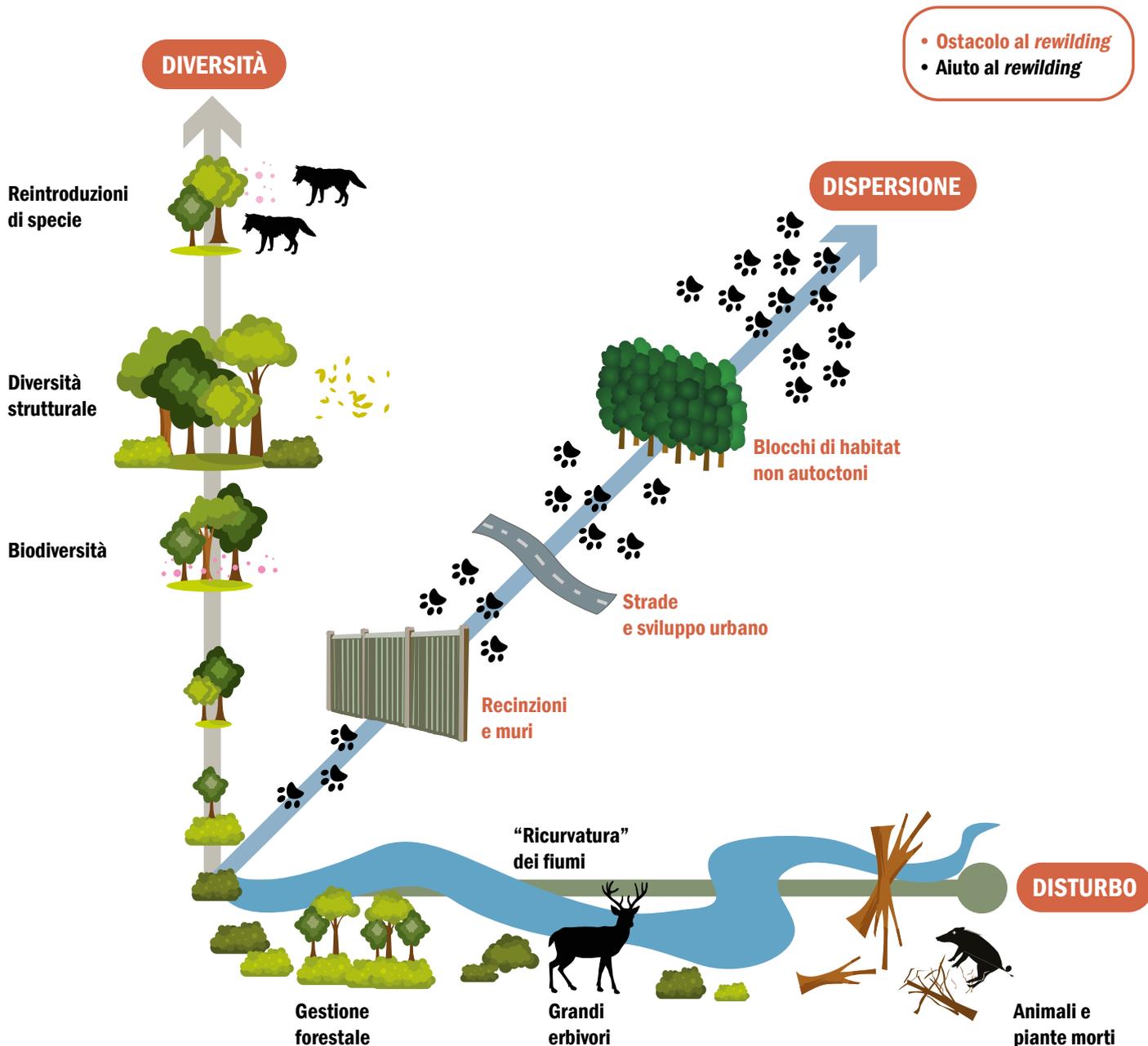
LAND SPARING
RISPARMIO
DEL TERRITORIO



Alcuni habitat "naturali" e alcune aree agricole utilizzate intensivamente



LE TRE DIMENSIONI DEL REWILDING



RIPRISTINARE GLI ECOSISTEMI ATTRAVERSO IL REWILDING

Il ripristino della natura è inteso dalla NRL come un **processo attivo o passivo di recupero degli ecosistemi**, finalizzato a migliorarne la struttura e le funzioni, con l’obiettivo di conservare o rafforzare la biodiversità e la resilienza degli ecosistemi. Tra le misure passive, è possibile anche includere il **rewilding**, una strategia che punta a **ripristinare ecosistemi complessi e autosostenibili**, riducendo progressivamente gli interventi umani. Più nello specifico, il **rewilding** mira a ripristinare la complessità trofica (rete

alimentare) degli ecosistemi, la dispersione delle specie, i regimi di disturbo naturali e le loro interazioni, al fine di mantenere la biodiversità e garantire la resilienza degli ecosistemi di fronte ai cambiamenti globali in atto.

- **La complessità delle reti alimentari** Le specie che occupano i livelli trofici superiori (**grandi erbivori, carnivori**) sono particolarmente connesse e funzionalmente cruciali per gli ecosistemi, poiché possono influenzare notevolmente la diversità e l’abbondanza di altri gruppi tassonomici. Specialmente nell’ultimo secolo, gli esseri umani hanno

contribuito a causare cambiamenti nella composizione delle specie e nelle loro interazioni attraverso attività come la caccia, la raccolta e la piantagione di specie vegetali. Il *rewilding* cerca di aumentare la complessità trofica attraverso **azioni che siano mirate per ciascun ecosistema** e che spaziano dalla creazione di aree di protezione totale, come le zone di divieto di caccia, alla reintroduzione di grandi mammiferi.

- **La dispersione delle specie** Per quanto riguarda la dispersione delle specie, le popolazioni all'interno di un ecosistema dipendono dalla possibilità di spostarsi e diffondersi tra gli habitat per evitare un eccessivo sfruttamento delle risorse disponibili, un'eccessiva competizione intraspecifica e/o una perdita di diversità genetica. Il **degrado degli habitat** e le **barriere antropiche** (strade, insediamenti, ecc.) riducono la connettività tra gli habitat e quindi la capacità di dispersione delle specie. Il *rewilding* mira a **migliorare la connettività** sia tra gli ecosistemi che al loro interno.
- **I disturbi naturali** Infine, per quanto riguarda i disturbi naturali, nei paesaggi dominati dall'uomo, essi sono spesso soppressi o alterati nella loro intensità e frequenza (e.g. mitigazione dell'infestazione da bostrico o la soppressione del fuoco), **sostituiti da disturbi prevedibili e costanti** come, per esempio, il prelievo del legname. Il *rewilding* punta a liberare gli ecosistemi da disturbi antropici continui e controllati, per **favorire la variabilità naturale e la casualità** insita nei disturbi naturali.

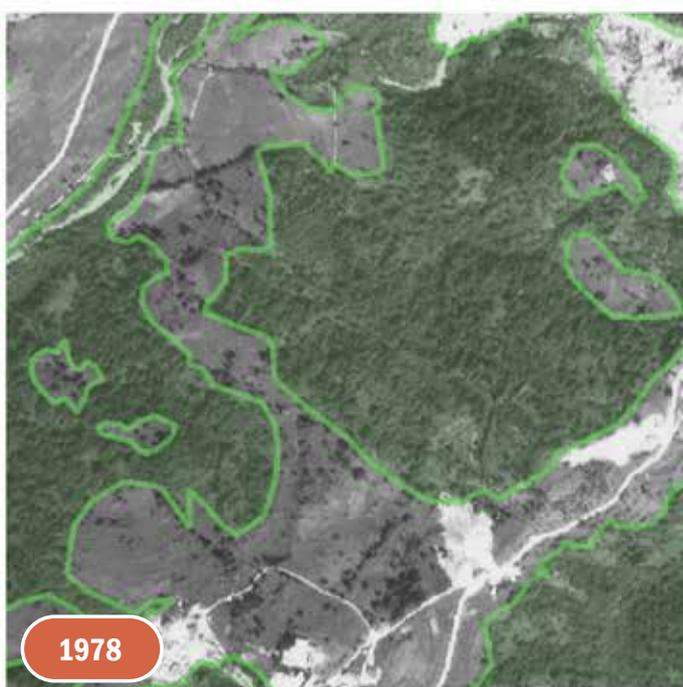
Sebbene il *rewilding* possa essere considerato complementare al ripristino attivo degli ecosistemi, **mancano ancora solide evidenze scientifiche sul suo potenziale contributo alla mitigazione del cambiamento climatico** attraverso la rimozione della CO₂ atmosferica, così come sull'impatto sul mantenimento della biodiversità e dei servizi ecosistemici a scala europea. Questo ha impedito di includere il *rewilding* come parte integrante della strategia europea di mitigazione del cambiamento climatico.



L'ESPANSIONE NATURALE DEL BOSCO

Per millenni, l'umanità ha modellato i paesaggi europei, in particolare tramite l'agricoltura, il pascolo e la gestione dei boschi. Oggi, però, ampie aree agricole vengono abbandonate, soprattutto nelle regioni più remote, favorendo in questo modo l'espansione naturale delle foreste. Parimenti stiamo assistendo all'**innalzamento del limite superiore del bosco** come **effetto combinato dell'abbandono dei pascoli in quota**

e del riscaldamento globale. Infatti, nel periodo 1990-2020, l'area forestale nell'UE è aumentata di quasi 14 milioni di ettari (+10%) e si prevede che tra il 2000 e il 2030 verranno abbandonati ulteriori 10-29 milioni di ettari di terreni agricoli. Se guardiamo anche al Friuli Venezia Giulia, **negli ultimi 50-60 anni, la superficie forestale è praticamente raddoppiata**, raggiungendo quasi il 40% della superficie regionale. Questo fenomeno non è il risultato di rimboschimenti artificiali, bensì di una lenta e costante espansione del bosco.

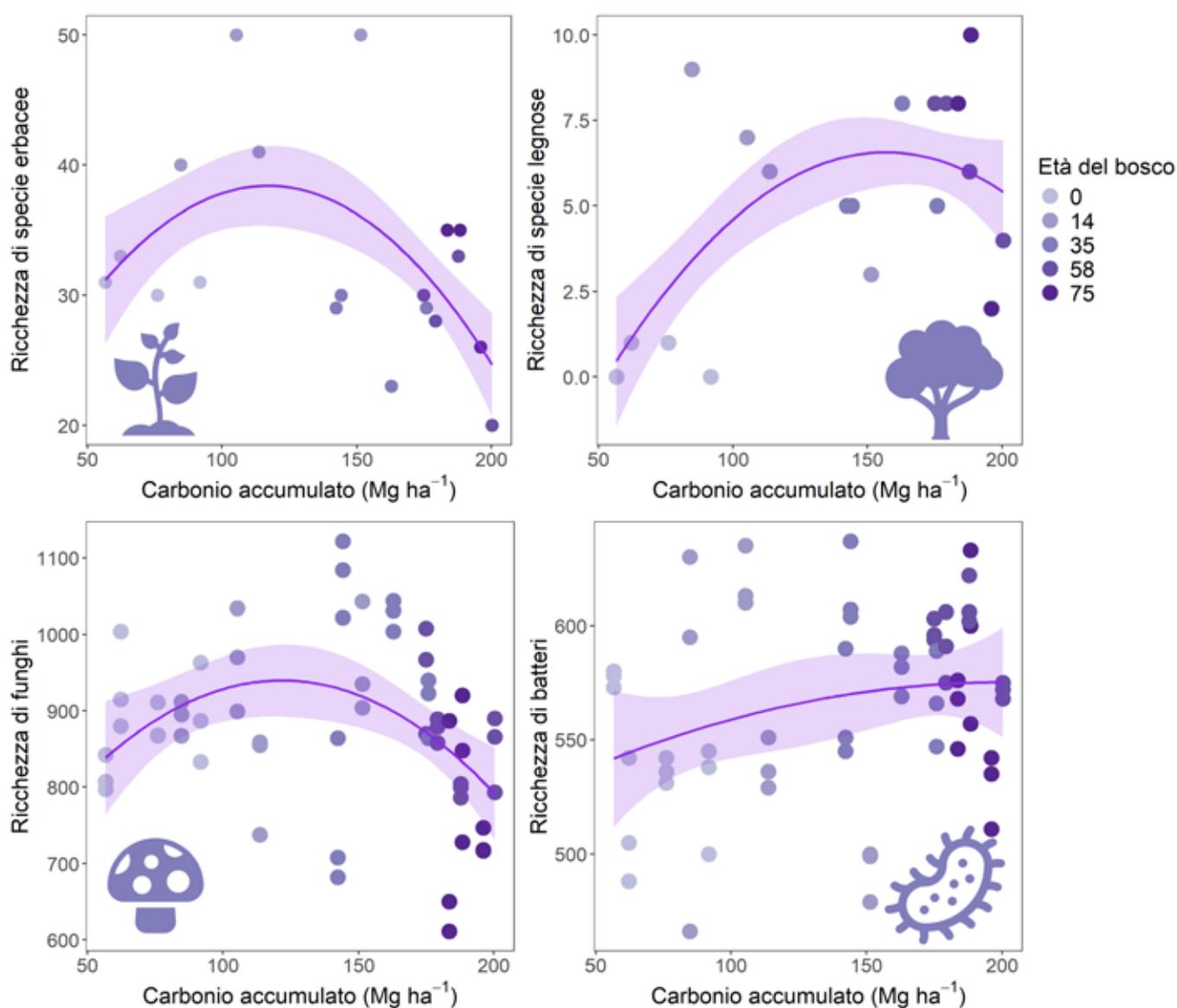


Esempio di ricolonizzazione di prati abbandonati da parte della vegetazione forestale nel comune di Taipana, Udine. (Elaborazione: Luca Cadez).

ANALIZZARE I PRO E I CONTRO DEL REWILDING

La perdita dei paesaggi agricoli tradizionali e le sue conseguenze sulla biodiversità e sugli altri servizi ecosistemici non sono sempre positivi ed è per questo che numerosi progetti nazionali (per esempio, il Centro Nazionale per la Biodiversità (NBFC) finanziato dal PNRR e il progetto PRIN “Rewildfire”) e internazionali (per esempio, il progetto Horizon EU “Wildcard”) stanno investigando non solo **gli impatti della**

riforestazione naturale sulle dinamiche degli stock di carbonio nelle diverse componenti dell’ecosistema (piante, legno morto, lettiera e suolo) e sulla biodiversità vegetale e dei microorganismi, ma stanno anche verificando il **livello di accettabilità** di questi processi di **rewilding da parte delle popolazioni locali** e i possibili **trade-off** di tipo economico. A tale riguardo, i primi risultati ottenuti hanno evidenziato come le traiettorie della biodiversità vegetale e microbica del suolo (funghi e batteri) e quelle del carbonio non sono sempre coincidenti o sempre positive.



La linea viola nei quattro grafici riportati rappresenta l’andamento della ricchezza (numero di specie) di piante erbacee, piante legnose, funghi e batteri all’aumentare del carbonio accumulato in popolamenti forestali di diversa età, originati dall’abbandono di terreni agricoli. Si osserva che il numero di specie, in particolare di piante e funghi, aumenta con l’incremento del carbonio accumulato (e dell’età del popolamento) fino a un certo punto, per poi diminuire. Per quanto riguarda i batteri, invece, si nota una crescita quasi lineare in relazione al carbonio accumulato. Questo suggerisce che non sempre gli ecosistemi con maggiore accumulo di carbonio sono anche i più favorevoli alla tutela della biodiversità, e che questa relazione dipende dagli organismi considerati (elaborazione: Lorenzo Orzan).

LA “PROFORESTAZIONE” E LO STUDIO IN FVG

Parimenti, per quanto riguarda la pianificazione forestale, la proforestazione, cioè la **sospensione della gestione forestale per permettere lo sviluppo spontaneo dell’ecosistema**, è un altro approccio di rewilding a basso costo **che può incrementare il sequestro del carbonio atmosferico**, con potenziali benefici a lungo termine per la biodiversità attraverso un aumento del legno morto in piedi e a terra e la creazione di micro-habitat favorevoli a numerose specie. Anche in questo caso, i cambiamenti indotti dall’assenza di gestione forestale nonché le modifiche nella **resistenza e resilienza di questi ecosistemi al**

cambiamento climatico sono oggetto di studio nell’ambito del **progetto Wildcard** e dell’appena istituito **registro dei boschi vetusti** finanziato dal Ministero e realizzato dalla Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia. In questo caso, l’applicazione della proforestazione su ampia scala deve anche tener conto degli **aspetti produttivi**, e quindi economici, connessi alle foreste e degli **altri servizi** che questi ecosistemi erogano alla società (regolazione delle acque, difesa del suolo, servizi turistico-ricreativi).

È pertanto necessario un confronto tra scienziati, pianificatori e portatori di interesse al fine di trovare un punto di equilibrio tra le diverse esigenze e posizioni.

**Lorenzo Orzan, Speranza C. Panico,
Natalie Piazza, Guido Incerti,
Antonio Tomao, Giorgio Alberti**
Università degli Studi di Udine

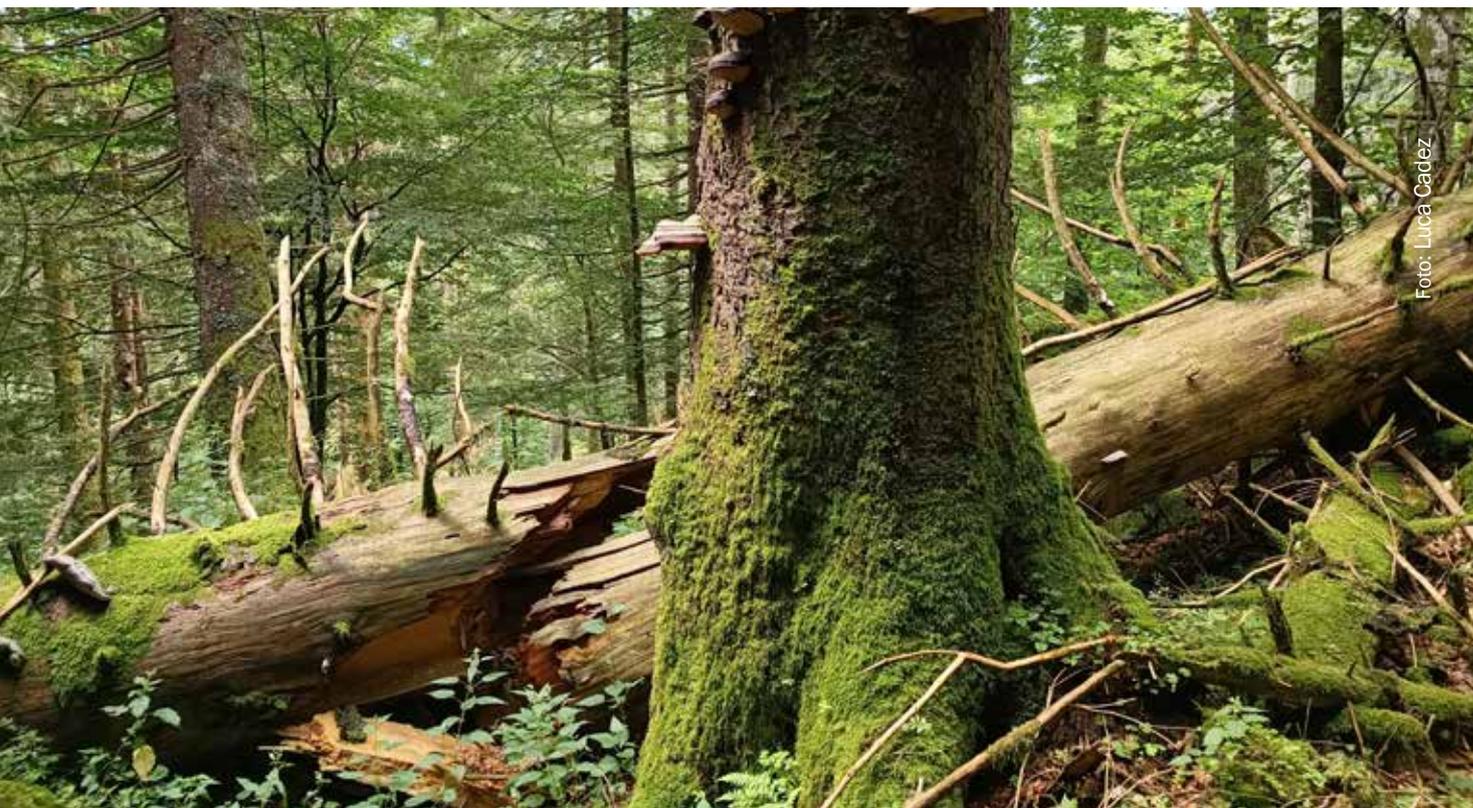


Foto: Luca Cadez

Esempio di accumulo di legno morto nel caso di boschi non gestiti (proforestazione) come serbatoio di carbonio e di biodiversità (funghi, insetti e micro-organismi). Pian delle Stele (Polcenigo – PN).



Questo contributo è stato realizzato con il supporto del Centro Nazionale per la Biodiversità (National Biodiversity Future Centre - NBFC – Missione 4 Componente 2, Investimento 1.4 – D.D. 1034 17/06/2022, CN00000033), del progetto Wildcard finanziato dall’European Climate, Infrastructure and Environment Executive Agency (CINEA) dell’Unione Europea con il contratto numero 101081177 e dal progetto “Rewilding policies for carbon sequestration under increasing fire risk (REWILD-FIRE)” (2022R7F259) finanziato dalla Missione 4 “Istruzione e Ricerca” - Componente C2, Investimento 1.1 “Fondo per il Programma Nazionale di Ricerca e Progetti di Rilevante Interesse Nazionale (PRIN)”.

CONSERVARE LA BIODIVERSITÀ DEL FUTURO

Piante e animali cercano nuovi ambienti per adattarsi ai cambiamenti climatici causati dall'uomo, ma i loro spostamenti incontrano limiti geografici.

Le specie più flessibili e invasive tendono a prevalere, mentre quelle specializzate rischiano di scomparire.

Migliorando la conservazione di habitat e specie si favoriscono i processi naturali di adattamento, ma per affrontare la crisi della biodiversità servono interventi attivi, strategie adattative e forme di conservazione dinamiche che seguano i cambiamenti degli habitat.

Boschi di Muzzana (UD), boschi umidi che risentono gravemente delle prolungate siccità.

Foto: Pierpaolo Zanchetta

Il giorno 16 giugno 2023 e il giorno 8 novembre 2024 rispettivamente a Socchieve e a Cimolais, si sono tenuti due appuntamenti della Dolomiti Mountain School che hanno affrontato il tema dell'effetto del riscaldamento globale sulla vegetazione e sulla fauna. Sono stati due momenti utili per approfondire le strategie di adattamento che vengono perseguite dalle specie vegetali e animali spinte a cercare in altri luoghi la stabilità climatica che noi umani abbiamo invece modificato drasticamente. Si sale di quota, si cercano i versanti più freschi si penetra nelle parti più interne delle Alpi ma con il rischio che prima o poi tale fuga si arresti di fronte ai limiti altitudinali e morfologici dello stesso sistema montuoso alpino.

Intanto per fortuna altre specie risalgono dalle pianure e delle coste, ma attenzione, perché l'entropia del sistema porta inevitabilmente a **favorire le specie più generaliste** e con maggiore capacità di adattamento rispetto a quelle che si sono coevolute in sistemi specifici non riproducibili a diversa quota o latitudine. Prevalgono così le specie più ruderali e meno esigenti, capaci di adattarsi a condizioni diverse, o le specie alloctone e invasive che ritrovano anche in contesti sempre nuovi gli spazi ideali per la loro diffusione.

GESTIRE LA BIODIVERSITÀ IN UN CLIMA CHE CAMBIA

Come funzionari regionali, responsabili della conservazione della biodiversità, non abbiamo il ruolo che hanno ricercatori e studiosi il cui impegno è quello di interpretare le dinamiche ecologiche in evoluzione, ma abbiamo il compito di gestire operativamente, e sulla base di quadri normativi ben definiti, il sistema delle aree naturali protette, attraverso **una gestione attiva e adattativa** per mantenere, ripristinare, migliorare ambienti naturali ad alta biodiversità.

È ormai accettato da tutto il mondo scientifico e tecnico-gestionale che la protezione passiva non produce effetti sufficienti a una conservazione di lungo periodo e che l'esigenza di **conservare e possibilmente incrementare la biodiversità** è una sfida ben più ardua, ma necessaria, rispetto alla generica conservazione della Natura o della naturalità. Tuttavia su questo obiettivo generalmente condivisibile si insinua il dubbio relativamente a quale assetto naturale e a quale livello di biodiversità siamo tenuti a conservare e ripristinare **nel contesto di una evoluzione climatica che modifica uno dei fattori cardine di ogni equilibrio ecosistemico**. Pensiamo che la direttiva 92/43/CEE Habitat risale al 1992 e la direttiva 79/142/CEE Uccelli addirittura al 1979 senza che abbiano subito sostanziali aggiornamenti. Direttive comunitarie con una grande capacità di inquadrare i temi e le possibili soluzioni con grande anticipo rispetto alle legislazioni di altri paesi del mondo ma oggi decisamente carenti rispetto all'**accelerazione della crisi della biodiversità** dovuta da una parte dalla globalizzazione delle merci, compresi organismi viventi spostati consapevolmente o accidentalmente, dall'altra dal riscaldamento globale che modificando e rendendo instabile il

clima agisce come un macrotrend su una delle principali forzanti che determinano l'assetto di un territorio.

LA CRISI DEGLI HABITAT

Velocità di cambiamento e instabilità climatica portano a una **crisi dei diversi habitat** in particolare di **quelli connessi alla presenza di acqua nelle falde superficiali** il cui livello si è progressivamente abbassato per gli emungimenti generalizzati e ora subisce una ulteriore crisi dovuta alla mancata ricarica da monte a causa della scarsità del manto nevoso invernale.

L'**innalzamento del mare e l'ingressione del cuneo salino**, a sua volta condizionato dalla minore pressione delle falde artesiane, porta alla **scomparsa degli ambienti di transizione dulciacquicoli costieri** che, nel mosaico di condizioni di salinità delle lagune e fasce costiere, costituiscono un fattore di esaltazione della diversità di habitat e quindi di presenze floristiche e faunistiche.

L'ampio sistema di drenaggio e bonifica idraulica della **bassa pianura**, determina effetti anche sulle **porzioni di boschi di origine altomedievale** che ora subiscono un ulteriore fattore di pressione dalla riduzione della presenza idrica al suolo, da ondate di calore che alterano l'apparato fogliare, da tempeste estreme che si abbattono su organismi già debilitati. Fitopatogeni trovano dunque la strada aperta per debilitare ulteriormente le singole piante frammentando l'unitarietà del bosco. La consequenzialità tra la tempesta Vaia del 2018 e lo svilupparsi di un esteso proliferare del bostrico tipografo, probabilmente ulteriormente favorito da ripetute estati siccitose, è solo il caso più evidente di come il riscaldamento globale agisce determinando diverse forme di catene di pressione che amplificano l'effetto critico sulle componenti biologiche.

ACCOMPAGNARE I PROCESSI DI ADATTAMENTO NATURALI

Come gli ambienti naturali reagiscono attraverso processi di adattamento e come possiamo aiutare questi processi con pratiche di accompagnamento verso nuovi equilibri?

Si sa che entro certi limiti le pressioni selettive dell'ambiente tendono a far emergere individui più resistenti o adattabili alle nuove condizioni

BOSCHI UMIDI: IL DECLINO DEGLI ONTANI NERI

Casi di impatto meno noti ma in fase di veloce espansione riguardano anche i boschi umidi, ritenuti un tempo immuni dalla siccità o dalle alte temperature. Nell'ambito della realizzazione di un ripristino ambientale nelle Risorgive del Vinchiaruzzo (Cordenons) è stata osservata la diffusa presenza di ontani neri in gravi condizioni fitosanitarie, dove le iniziali clorosi e rarefazioni della chioma portavano rapidamente al **disseccamento degli individui**. Le indagini effettuate dai ricercatori dell'Università di Padova su campioni di rizosfera raccolti alla base delle piante hanno evidenziato la presenza di **due funghi patogeni** (*Phytophthora plurivora* e *P. pseudocryptogea*) responsabili del declino dell'ontano nero in Europa.

Il primo rappresenta un patogeno polifago e invasivo diffuso in tutto il continente, segnalato come agente di gravi marciumi radicali su moltissime specie di interesse forestale e agrario, il secondo è stato descritto nel 2015 in Australia e si è diffuso in numerose aree del pianeta tra cui l'Italia.

Anche l'ontano nero, albero autoctono e caratteristico degli ambienti palustri nonché specie costitutiva di boschi riconosciuti come habitat prioritario, **risente dei cambiamenti del clima**. Ricerche francesi sulla diffusione di queste malattie hanno rilevato come un'influenza importante possa derivare dalle maggiori temperature invernali ed estive dell'anno precedente; la calda e siccitosa estate del 2022 potrebbe essere stata la causa dell'incremento della moria rilevata nell'inverno 2023.

Giovani piante colpite dal patogeno (a sinistra) e particolare del cancro basale (a destra).



Foto: Davide Pasut



Foto: Davide Pasut

che potrebbero venire favoriti da pratiche gestionali di supporto allo sviluppo di popolazioni in grado di adattarsi. Ma **adattarsi a cosa?** Le previsioni sull'evoluzione del clima ci parlano di una temperatura media in progressiva crescita e di una variazione del regime pluviometrico in costante mutamento che non prevede, o è difficile da prevedere, un raggiungimento di un nuovo equilibrio, se le emissioni di gas climalteranti continueranno ad aumentare.

Sistemi complessi, come l'ecosfera, possono innescare processi di feedback che spostano l'equilibrio, in questo caso climatico, da un livello a un altro, mantenendo una stabilità complessiva del sistema (danni all'assetto della antroposfera a parte), ma la possibilità che tali feedback si inneschino è al momento sconosciuta e non scontata, non essendo l'ecosfera retta da un disegno finalistico. Ma se restringiamo le nostre previsioni a un periodo di alcuni decenni è evidente che dovremmo già ora assecondare una **espansione verso nord della regione biogeografica mediterranea** a fronte di una **migrazione verso il contesto alpino della regione biogeografica continentale** con perdita, per mancanza di alternative spaziali, di vaste parti di quella alpina. Quindi una strategia di adattamento non dovrebbe perseguire la conservazione dell'attuale assetto biologico ma la sua progressiva sostituzione da parte di popolazioni più adatte al cambiamento dinamico. Ma questa forma di **conservazione dinamica** non è quella prevista dalle vigenti direttive comunitarie risalenti al secolo scorso.

SERVONO RIPRISTINI ADATTATIVI DINAMICI

Più recentemente la Strategia europea per la biodiversità per il 2030 (COM(2020) 380 final del 20/5/2020), la Strategia nazionale per la biodiversità al 2030 (Decreto Ministeriale 252 del 3/8/2023) e la **Restoration law (Regulation (EU) 2024/1991)** aggiornano le primigenie direttive introducendo l'obiettivo del taumaturgico valore del numero 3 (30% di aree protette al 2030, ripristino del 30% di ecosistemi degradati al 2030) **ma non risolvono il problema della migrazione ecosistemica**, parlando genericamente di ripristino di ecosistemi (e il riferimento è sempre all'allegato 1 della direttiva Habitat) ma non di come **le diverse condizioni climatiche rendono**

necessario un adattamento anche del modo in cui si effettuano i ripristini che potremmo definire ripristini adattativi dinamici. La previsione sembra invece essere quella di aumentare la superficie di aree protette e in queste, prioritariamente ma non esclusivamente, effettuare ripristini di habitat degradati, perseguendo l'idea, e la speranza, che ecosistemi ad alta biodiversità estesi, continui e interconnessi aumentino la resilienza degli stessi (termine abusato a sproposito ma qui invece appropriato) in modo da resistere al riscaldamento globale o essere più efficaci in un processo di adattamento spontaneo.

GLI INTERVENTI E LE STRATEGIE ATTUALI

Un esempio tipico di tale problematica attiene agli investimenti e all'organizzazione per **contenere e se possibile eradicare le specie alloctone invasive (IAS)** che limitano un ulteriore elemento di pressione sugli ecosistemi naturali ma probabilmente non riescono ad agire sui fattori determinanti che generano la diffusione delle IAS e ne favoriscono l'espansione. D'altra parte va segnalato che lo scarso uso nelle pratiche amministrative e negli studi tecnici del modello logico DPSIR, che consente di inquadrare un determinato tema ambientale rappresentando le relazioni tra le sue diverse componenti: Determinanti-Pressioni-Stato dell'ambiente-Impatti-Risposte) porta a nascondere molte volte i fattori determinanti che generano un problema. Si pone molta attenzione agli elementi del problema e meno al processo che genera tale problema.

Quindi la strategia che perseguiamo, per ora, è quella di **garantire buone condizioni iniziali portando gli habitat e le specie a uno stato di conservazione migliore possibile**, per lasciare che poi l'adattamento naturale alle nuove condizioni inneschi possibili evoluzioni adattative.

Più massa critica e soprattutto più interconnessioni territoriali sono sicuramente fattori fondamentali per una salvaguardia della biodiversità europea che tuttavia non sarà esattamente la biodiversità che conosciamo oggi.

Pierpaolo Zanchetta
Servizio biodiversità
della Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia
Davide Pasut
Dottore forestale
Biosfera SRL STP

NOI E IL CLIMA



NOI E IL CLIMA

Come il clima influenza la nostra salute e la nostra vita quotidiana, come le nostre scelte influenzano il clima

Questa sezione ci propone un percorso di lettura che esplora il nostro rapporto personale con i cambiamenti climatici, mettendo in luce come essi influenzino il benessere individuale e collettivo, attraverso una serie di articoli che, partendo dall'analisi dei dati climatici, arrivano a toccare la nostra quotidianità, fino a suggerire come le nostre scelte possano fare la differenza.

Si inizia dal cuore dell'analisi climatica con la Piattaforma CLima per il Nord-Est (CLiNE), uno strumento che permette di comprendere i possibili futuri climatici del Friuli Venezia Giulia. Due nuovi indicatori evidenziano i cambiamenti nella domanda di energia per riscaldamento e raffrescamento, offrendoci una prima, tangibile visione degli impatti del clima sulla nostra vita.

La lettura procede esplorando le diverse sfaccettature degli impatti del clima sulla salute. Il primo articolo ci offre una panoramica generale, evidenziando come l'aumento delle temperature, gli eventi estremi e la diffusione di nuove malattie costituiscano una minaccia per la salute globale. Un focus sulle malattie esotiche trasmesse da zanzare e zecche ci mostra come i cambiamenti climatici stiano alterando la diffusione di vettori infettivi anche nella nostra regione, ma sottolinea anche il ruolo attivo che ogni cittadino può avere nella prevenzione.

Gli effetti diretti del caldo sono tra gli impatti più rilevanti per la salute, approfonditi in due articoli. Il primo evidenzia come l'aumento delle temperature comporti rischi concreti per i lavoratori all'aperto e quali misure, semplici ed efficaci, possano essere adottate per la loro sicurezza. Il secondo descrive i rischi per la popolazione e spiega come la Regione FVG si stia muovendo per proteggere i soggetti più vulnerabili, attraverso un piano operativo e un sistema di allarme basato su indicatori di disagio bioclimatico.

Ricollegando tutti questi aspetti in una visione d'insieme, l'approccio "One Health" consente di affrontare in modo integrato le sfide legate al

clima, promuovendo insieme la salute umana, animale e ambientale: un principio che guida già la pianificazione sanitaria a livello nazionale e regionale.

Concludendo la lettura di questa sezione, prendiamo consapevolezza del potere delle nostre azioni quotidiane. L'articolo su clima e alimentazione ci mostra come le nostre scelte a tavola possano contribuire a ridurre le emissioni di gas serra, introducendoci al concetto di "dieta sostenibile". Lo sguardo della psicologia ambientale ci aiuta infine a capire quali barriere psicologiche ci impediscano di agire in senso pro-ambientale e come superarle, trasformando la crisi climatica in un'opportunità di cambiamento equo e condiviso.



PIATTAFORMA CLIMA PER IL NORD-EST: NUOVI INDICATORI SULLA DOMANDA DI ENERGIA PER RAFFRESCAMENTO E RISCALDAMENTO

La piattaforma CLima per il Nord-Est (CLiNE) è uno strumento che permette di conoscere i possibili futuri climatici di ogni località del FVG.

Nella sua nuova versione si è arricchita di due nuovi indicatori che permettono di valutare come cambierà la domanda di energia per il raffrescamento estivo e per il riscaldamento invernale a seconda degli scenari analizzati.

Osservando i segnali del cambiamento climatico in atto nella nostra pianura regionale si può osservare che stanno aumentando sensibilmente i giorni caldi (con temperatura massima più alta di 30 °C) e le notti tropicali (con temperatura minima che non scende al di sotto dei 20 °C), che sono quasi raddoppiati in 25-30 anni. Stanno anche diminuendo i giorni di gelo (con temperatura minima che scende sottozero), anche se in misura minore, con una riduzione di circa 10-20 giorni.

Queste variazioni determinano già adesso una maggiore o una minore domanda di energia, soprattutto nel settore residenziale, legata in gran parte alla climatizzazione: è aumentata la necessità dei cittadini di raffrescare le proprie abitazioni mentre è diminuita la necessità di riscaldarle.

La nuova versione della piattaforma CLiNE (CLima per il Nord-Est) fornisce due indicatori climatici utili come proxy (variabile collegata) per stimare i consumi energetici che saranno necessari in futuro per il raffrescamento e il riscaldamento.

LA PIATTAFORMA CLiNE

La piattaforma CLiMA per il Nord-Est (CLiNE, <https://clima.arpa.veneto.it/>) è uno strumento utile per la conoscenza dei cambiamenti climatici in FVG nel futuro attraverso **proiezioni ad alta risoluzione** per il nostro territorio.

CLiNE è stata sviluppata nell'ambito di una collaborazione tra le ARPA del Friuli Venezia Giulia e del Veneto e propone proiezioni climatiche per il territorio del Nord-Est Italia. Vengono presentati diversi indicatori climatici (relativi a temperatura, precipitazioni e loro valori estremi), calcolati per 3 possibili scenari climatici futuri, che tengono conto di diversi possibili sviluppi demografici, sociali ed economici responsabili delle emissioni di gas climalteranti.

Per i **diversi scenari** (emissioni crescenti, emissioni fortemente ridotte e uno scenario intermedio) vengono presentate delle proiezioni che sono state rese maggiormente aderenti alle peculiarità del nostro territorio attraverso metodi di bias-correction che tengono conto dei dati effettivamente misurati delle reti meteorologiche regionali.

CLiNE è uno strumento adatto per acquisire **maggior consapevolezza** sul cambiamento climatico in atto nella nostra regione; permette di reperire le **informazioni** utili per **delineare un quadro climatico** futuro a livello comunale (ma anche regionale o, al contrario, puntuale); fornisce le **informazioni di base** sui cambiamenti climatici in FVG per elaborazioni più complesse che possono aiutare a includere il clima futuro nella progettazione.

CLiNE permette di **comparare diversi futuri possibili** attraverso **mappe** o **grafici** puntuali: queste rappresentazioni grafiche consentono di visualizzare efficacemente come le scelte attuali possano influenzare il clima futuro.

La **nuova versione** di CLiNE (dicembre 2024) permette di visualizzare l'incertezza delle proiezioni climatiche (dove il segnale è robusto significa che i vari modelli climatici danno risposte simili), avere informazioni più dettagliate sul consumo di energia, scegliere un punto di interesse selezionando le coordinate geografiche (latitudine-longitudine) o il punto dove è situato il Municipio.

Vediamo quali sono gli **indicatori** presenti in CLiNE utili per un'analisi **sui consumi energetici** per il raffrescamento e il riscaldamento.



GRADI GIORNO DI RAFFRESCAMENTO ESTIVO

Questo indicatore è legato ai **consumi energetici per il condizionamento estivo** e ha a che fare con le condizioni di salute per la popolazione, specie nelle sue componenti più vulnerabili (anziani, bambini, malati).

CLINE permette di visualizzare la **distribuzione territoriale** dell'indicatore CDDs tramite mappe che aiutano a confrontare le anomalie (cioè le differenze rispetto al periodo di riferimento 1976-2005) in diversi futuri (futuro vicino 2021-2050 e futuro lontano 2071-2100) e per diversi scenari.

Le diverse mappe forniscono una **rappresentazione immediata** di come le scelte attuali potranno **modificare in futuro le richieste energetiche** per il condizionamento in FVG: soprattutto lungo la costa, in pianura e nelle valli i gradi giorno per il raffrescamento **aumenteranno** in modo significativo nello scenario a emissioni crescenti (RCP8.5) nel futuro più lontano (2071-2100). Queste mappe forniscono una **base informativa** per poter fare scelte relative al dimensionamento della rete elettrica, per la costruzione di nuovi edifici o la ristrutturazione dei vecchi.

Partendo dallo scenario RCP8.5 per il trentennio futuro 2071-2100 (la configurazione in cui è più evidente una variazione dell'indicatore) e cliccando su un punto della mappa appare un box bianco in cui è segnato il valore di anomalia dell'indicatore CDDs per quel punto.

GRADI GIORNO DI RAFFRESCAMENTO (CDDs)

somma delle differenze tra la temperatura media giornaliera esterna e la temperatura di comfort climatico (21 °C) nell'anno solare (1 gennaio - 31 dicembre); la differenza viene conteggiata solo se la temperatura media esterna supera i 24 °C (definizione dal *Joint Research Centre*).

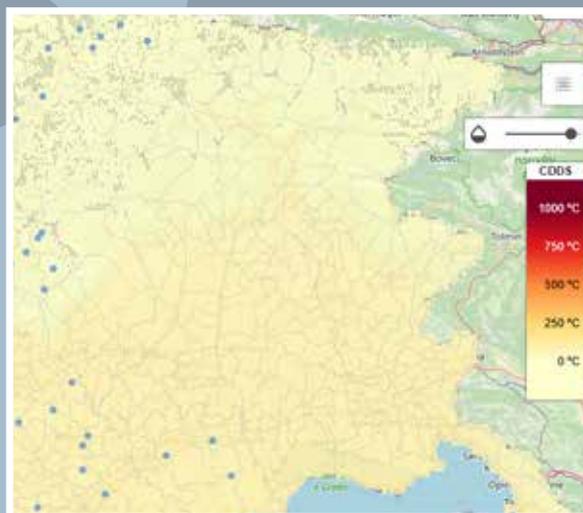
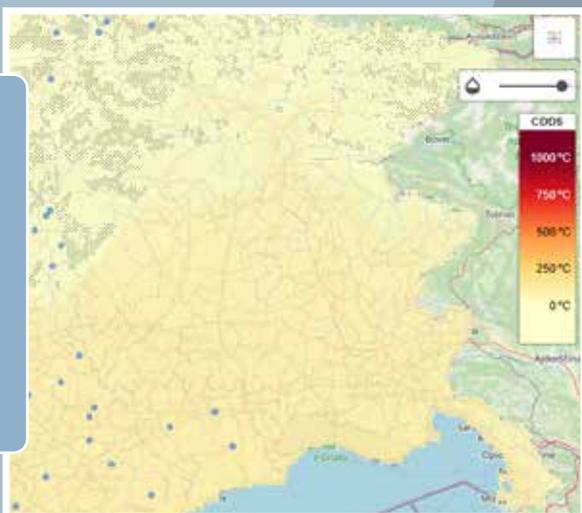
EFFETTI DEI DIVERSI SCENARI CLIMATICI A CONFRONTO

2021-2050

2071-2100

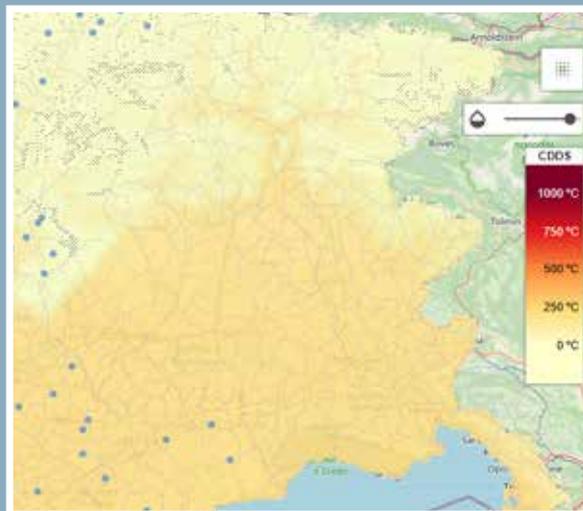
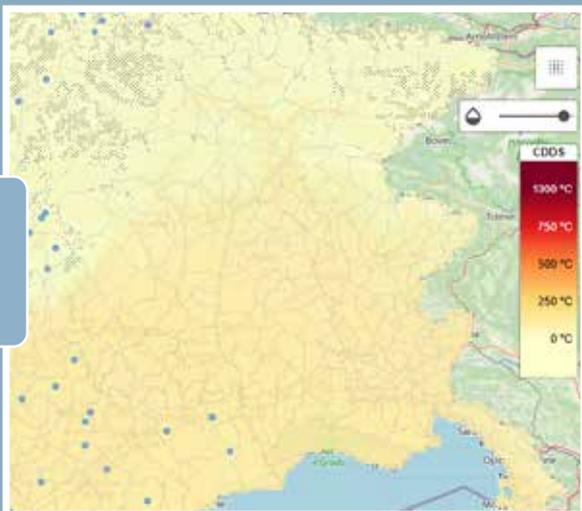
RCP2.6

Forte riduzione delle emissioni, Accordo di Parigi rispettato



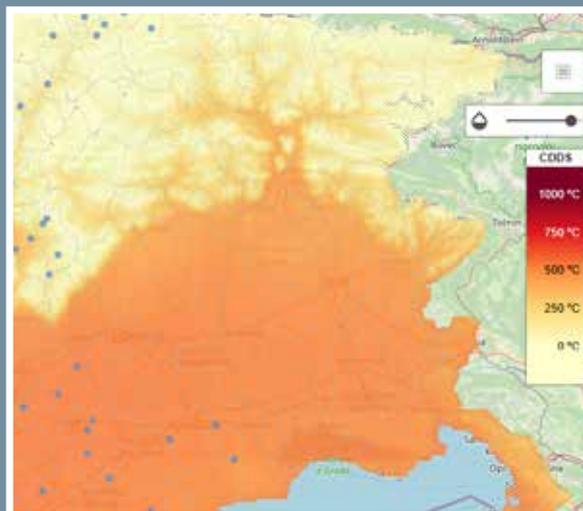
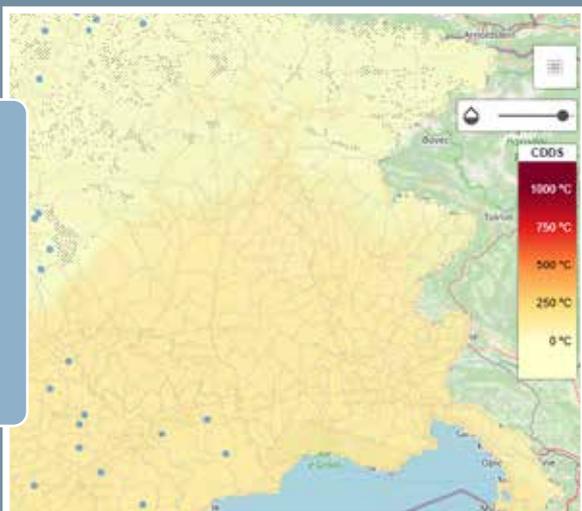
RCP4.5

Scenario intermedio

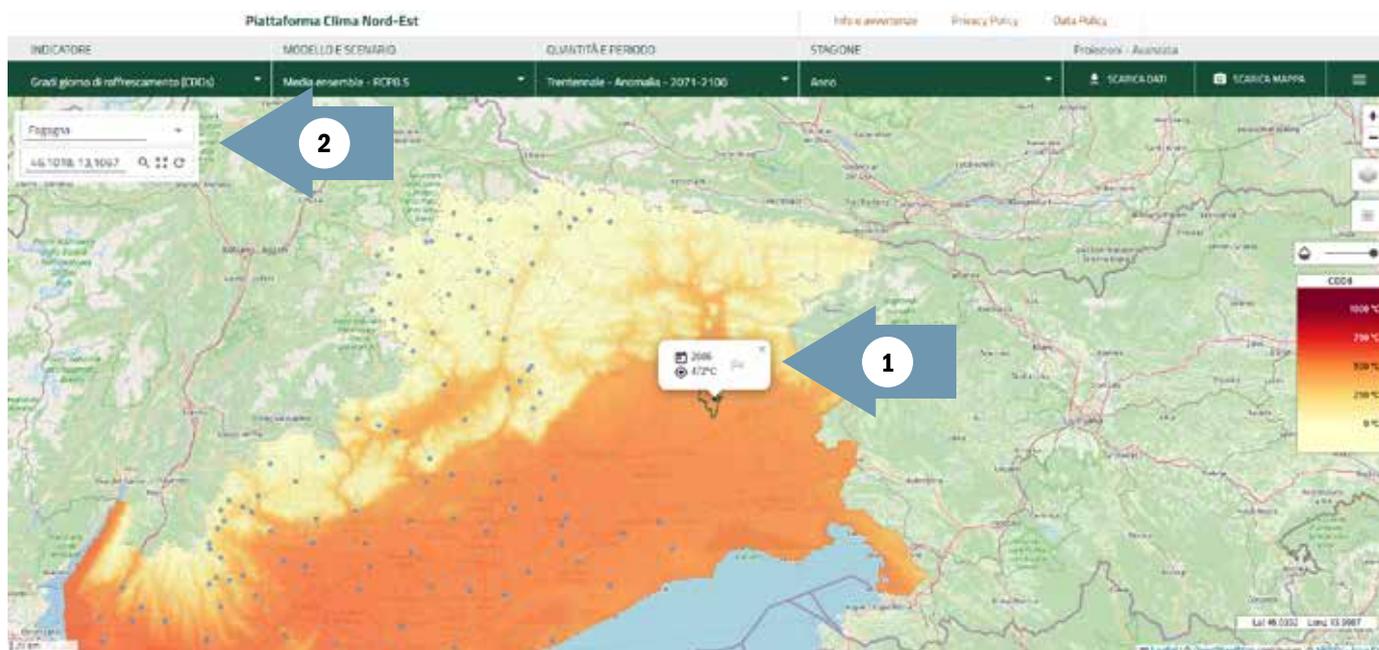


RCP8.5

Emissioni in continua crescita, scenario "business as usual"



Schermata di CLiNE per il FVG dell'indicatore gradi giorno di raffrescamento (CDDs), nel menu "MEDIA" si seleziona "Trentennale" e automaticamente in "QUANTITÀ" viene selezionata l'"Anomalia". La rappresentazione in mappe permette di visualizzare la distribuzione spaziale dell'indicatore; confrontare diversi futuri e diversi scenari consente di visualizzare come le scelte attuali potranno modificare in futuro le richieste energetiche per il raffrescamento: è soprattutto nel futuro più lontano (2071-2100) nello scenario a emissioni crescenti (RCP8.5) che i gradi giorno per raffrescamento aumenteranno e di conseguenza il consumo energetico.

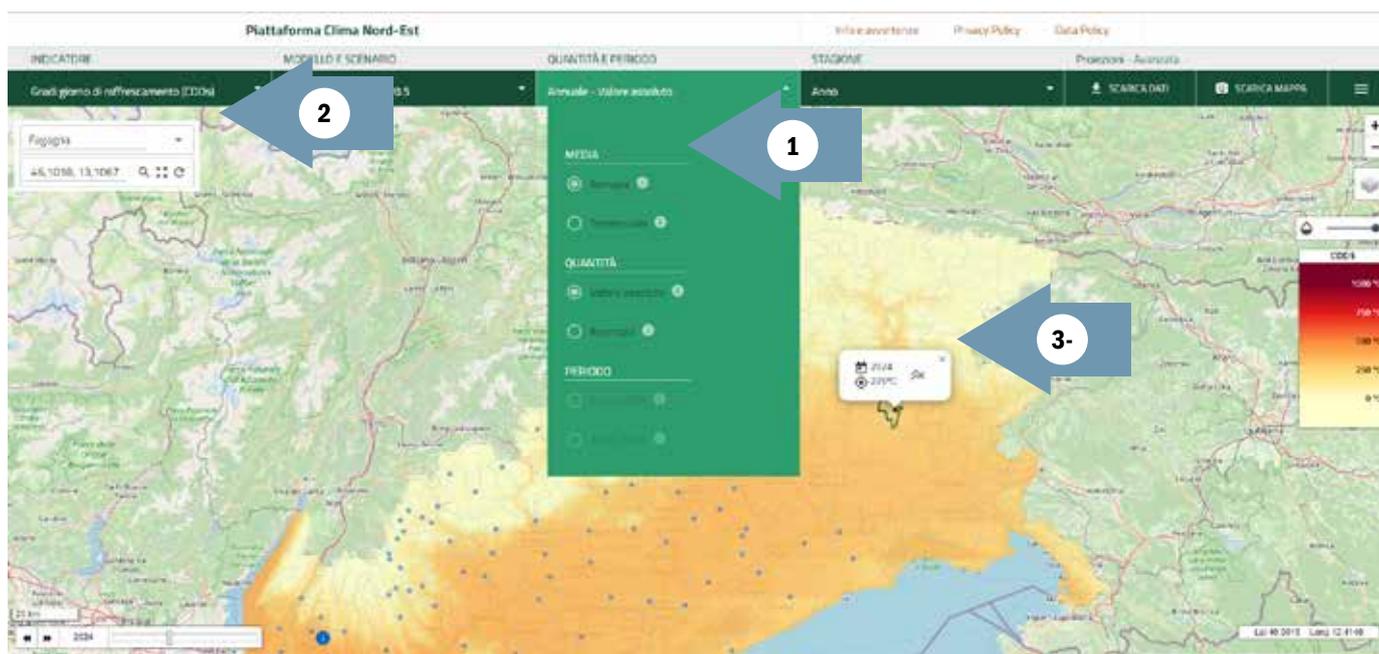


Schermata di CLiNE con la selezione dell'indicatore "gradi giorno di raffreddamento", nel menu "MEDIA" si seleziona "Trentennale" e automaticamente in "QUANTITÀ" viene selezionata l'"Anomalia". In questa elaborazione è stato selezionato un punto del FVG (freccia 1) appartenente al comune di Fagagna (freccia 2). Nel box bianco che appare sul punto selezionato della mappa (freccia 1) è indicata l'anomalia dell'indicatore CDDs per quel punto rispetto al periodo di riferimento 1976-2005 (472 °C) per il trentennio futuro selezionato (2071-2100). N.B. l'anno evidenziato nel box bianco è rappresentativo di tutto il trentennio futuro selezionato (2036 significa 2021-2050, 2086 significa 2071-2100).

Il **valore sul singolo punto** permette una **progettazione a livello comunale** e ancor di più puntuale, adatta proprio quando l'intento è **riqualificare edifici specifici** e si conosce la zona di una nuova costruzione. CLiNE permette di

avere un **quadro climatico preciso** di quel punto che può essere utile nella **progettazione futura**.

CLiNE permette anche di **visualizzare l'andamento del valore assoluto** dell'indicatore CDDs per ogni singolo punto della mappa.



Schermata di CLiNE con la selezione dell'indicatore "gradi giorno di raffreddamento", nel menu "MEDIA" si seleziona "Annuale" (freccia 1) e automaticamente in "QUANTITÀ" viene selezionato il "Valore assoluto". In questa schermata è stato selezionato lo stesso punto precedente appartenente al comune di Fagagna (freccia 2). Con questa configurazione nel box bianco in mappa (freccia 3) appare un'icona da selezionare per far apparire il grafico con gli andamenti al 2100 dell'indicatore selezionato per i tre scenari presenti sulla piattaforma.

Il grafico permette di comparare i diversi futuri possibili confrontandoli con il passato e il presente. La linea blu rappresenta lo scenario RCP2.6 che potremmo aspettarci **se rispettassimo l'Accordo di Parigi** e quindi se da subito decidessimo di ridurre le emissioni di gas climalteranti. Quello che si osserva è che **a fine secolo i gradi giorno per raffrescamento saranno molto simili a quello che viviamo attualmente.**

La linea rossa rappresenta lo scenario RCP8.5 che si potrebbe realizzare se le **emissioni di gas climalteranti continuassero ad aumentare.** In questo caso a fine secolo è evidente come

i gradi giorno per raffrescamento aumenteranno in modo considerevole: si passerà dai circa 160-180 gradi giorno attuali ai 600-900 a fine secolo.

La linea arancione rappresenta lo scenario RCP4.5, uno scenario intermedio tra i due sopra citati.

Quello che emerge osservando questo grafico è quanto sia importante ricorrere a delle azioni di mitigazione immediate in modo da limitare il più possibile delle modifiche del clima (in questo caso un aumento delle giornate calde) che potrebbero essere anche irreversibili.

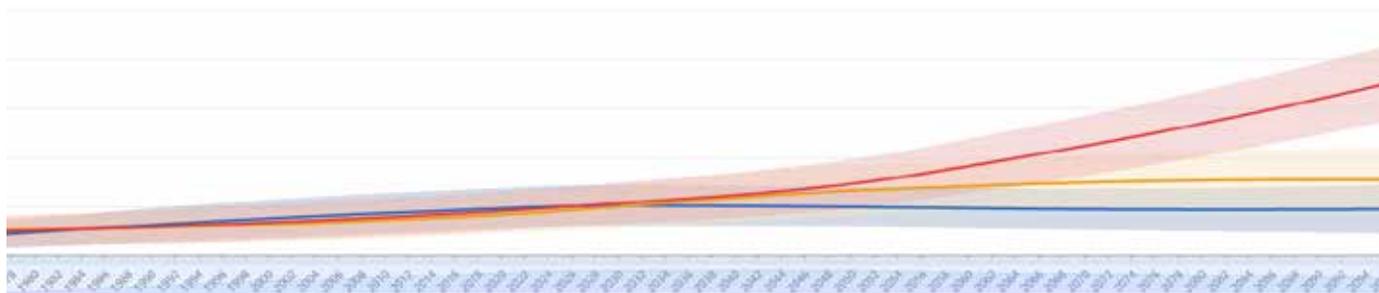


Grafico dell'andamento dal 1976 al 2100 dei gradi giorno di raffrescamento (CDDs) per il punto appartenente al comune di Fagagna nei tre diversi scenari: scenario a emissioni crescenti (RCP8.5, linea rossa), scenario intermedio (RCP4.5, linea arancione), scenario a emissioni fortemente ridotte (RCP2.6, linea blu). Il periodo 1976 - 2005 è il periodo storico di riferimento ed è rappresentato da un'unica linea. Le bande di colore più trasparente identificano l'incertezza dei modelli. In questo grafico le linee sono state "smussate" utilizzando il metodo LOESS (*locally estimated scatterplot smoothing*).

GRADI GIORNO DI RISCALDAMENTO INVERNALE

Questo indicatore è legato ai **consumi energetici per il riscaldamento invernale** e può essere utile impiegato in fase di progettazione per il corretto dimensionamento dell'isolamento degli edifici dal freddo.

CLiNE permette di visualizzare la **distribuzione territoriale** dell'indicatore HDDs tramite mappe che aiutano a confrontare le anomalie (cioè le differenze rispetto al periodo di riferimento 1976-2005) in diversi futuri (futuro vicino 2021-2050 e futuro lontano 2071-2100) e per diversi scenari.

GRADI GIORNO DI RISCALDAMENTO (HDDs):

somma delle differenze tra la temperatura dell'ambiente (20 °C) e la temperatura media giornaliera esterna nell'anno solare (1 gennaio - 31 dicembre); vengono conteggiate solo le differenze superiori allo zero. Rispetto alla normativa (D.P.R.412/93, D.P.R. 74/2013) che prevede il calcolo dei HDD dal 15 ottobre al 15 aprile, si è preferito estendere il computo dei gradi giorno a tutto l'anno per mettere meglio in luce le variazioni dell'indice nelle zone più fredde come quelle di montagna.

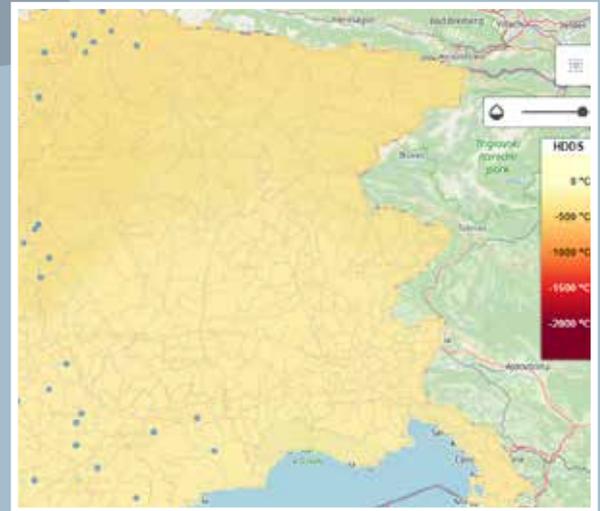
EFFETTI DEI DIVERSI SCENARI CLIMATICI A CONFRONTO

2021-2050

2071-2100

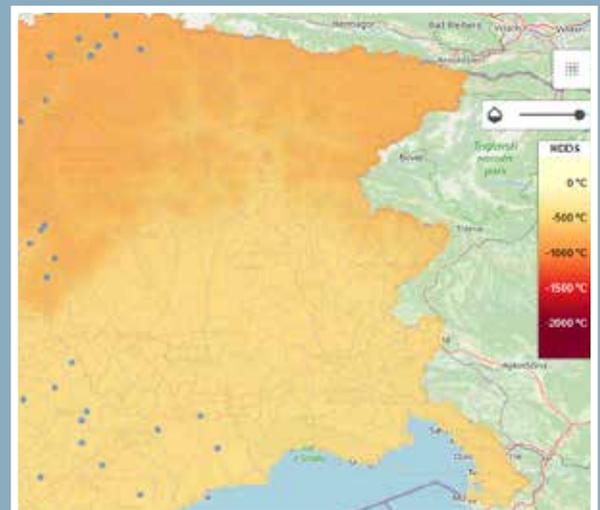
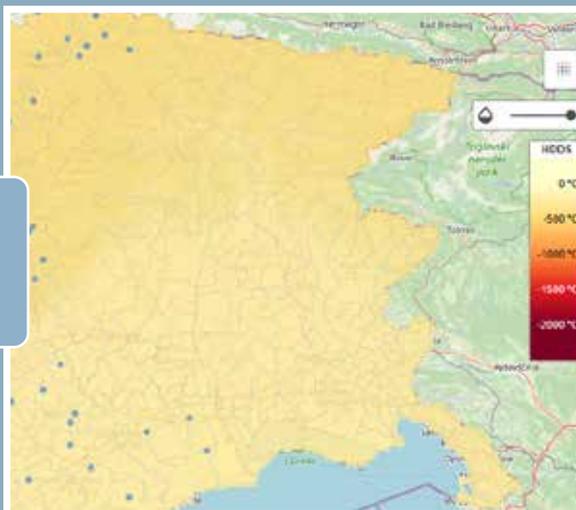
RCP2.6

Forte riduzione delle emissioni, Accordo di Parigi rispettato



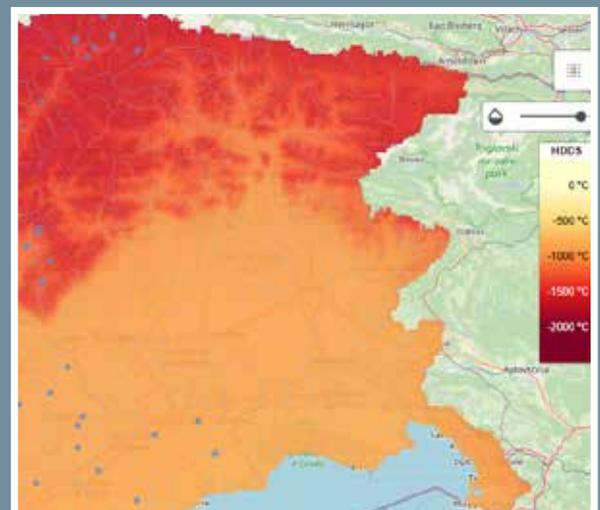
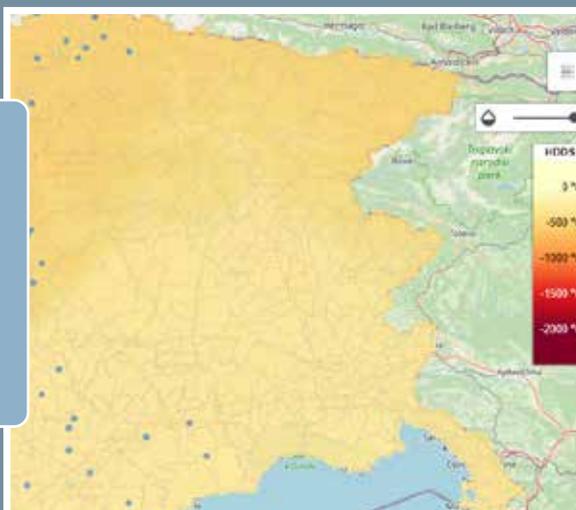
RCP4.5

Scenario intermedio

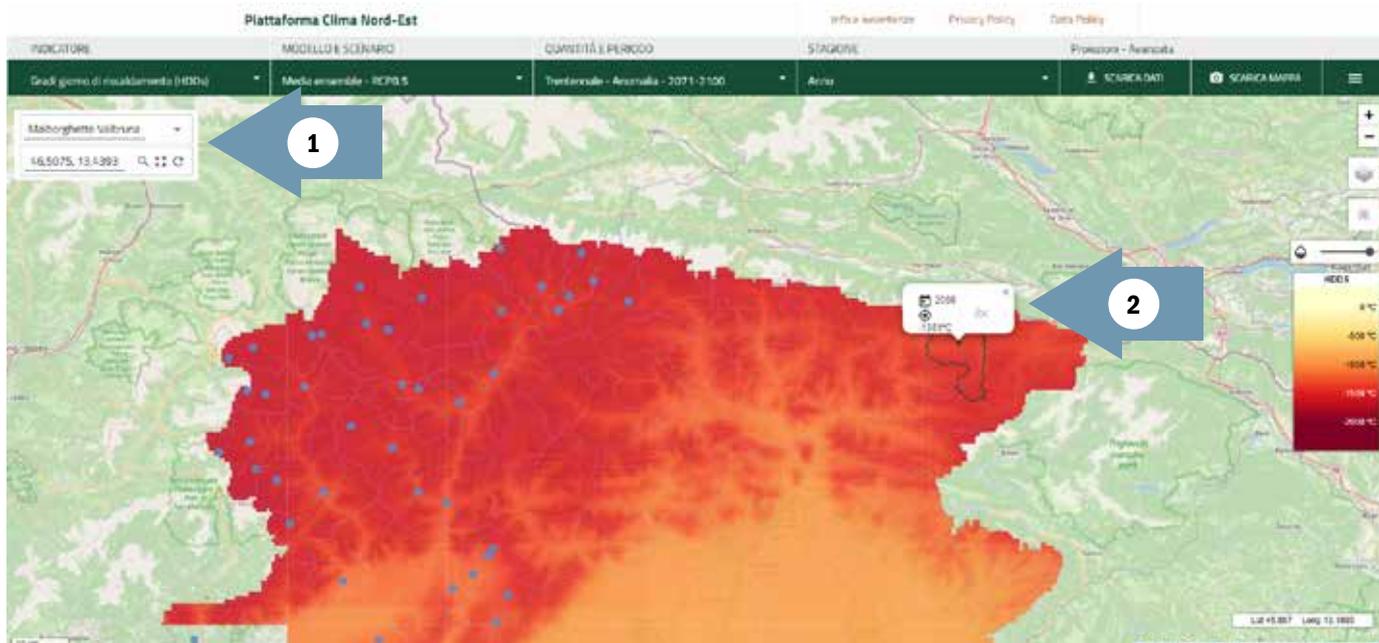


RCP8.5

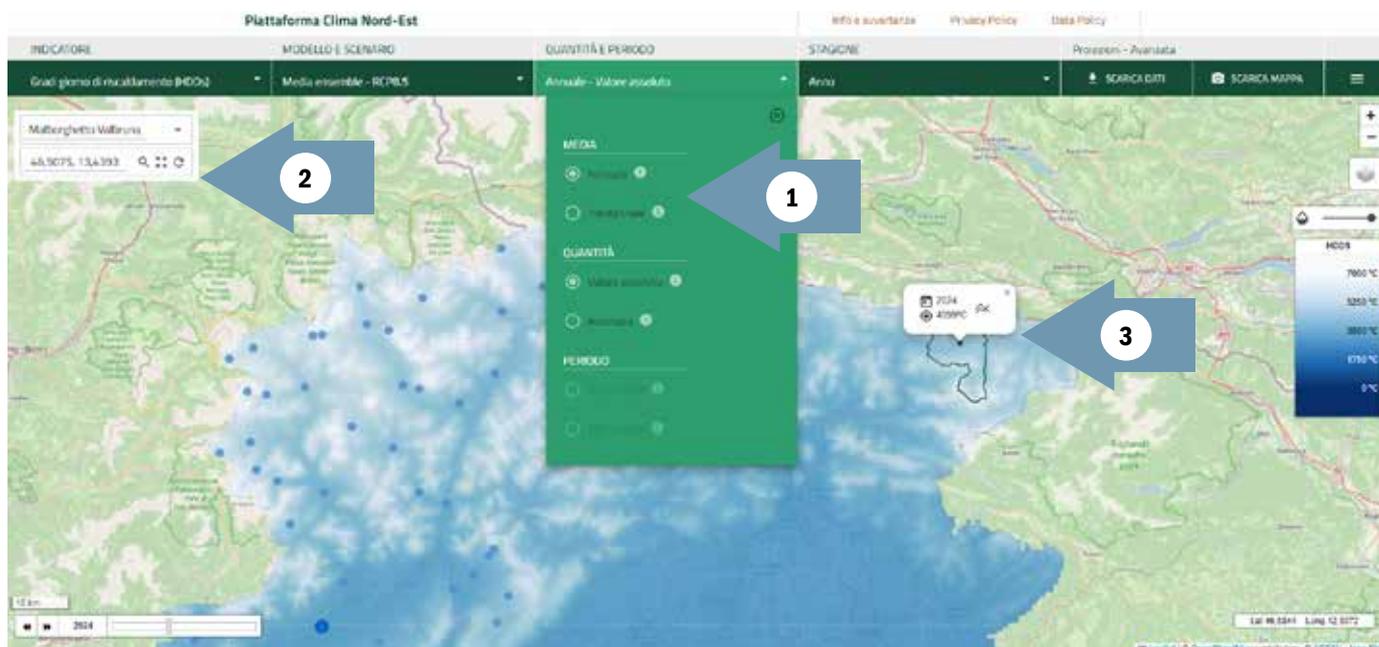
Emissioni in continua crescita, scenario "business as usual"



Schermata di CLiNE per il FVG dell'indicatore gradi giorno di riscaldamento (HDDs), nel menu "MEDIA" si seleziona "Trentennale" e automaticamente in "QUANTITÀ" viene selezionata l'"Anomalia". La rappresentazione in mappe permette di visualizzare la distribuzione spaziale dell'indicatore; confrontare diversi futuri e diversi scenari consente di visualizzare come le scelte attuali potranno modificare in futuro le richieste energetiche per il riscaldamento: è soprattutto nel futuro più lontano (2071-2100) nello scenario a emissioni crescenti (RCP8.5) ma anche in quello intermedio (RCP4.5) che i gradi giorno per riscaldamento diminuiranno e di conseguenza il consumo energetico soprattutto nelle aree montane del FVG.



Schermata di CLiNE con la selezione dell'indicatore "gradi giorno di riscaldamento", nel menu "MEDIA" si seleziona "Trentennale" e automaticamente in "QUANTITÀ" viene selezionata l'"Anomalia". In questa elaborazione è stato selezionato il comune di Malborghetto Valbruna (freccia 1) e automaticamente in mappa appaiono i confini comunali e la localizzazione del centroide ISTAT ossia dove è situato il Municipio (freccia 2). Nel box bianco che appare sul punto del Municipio in mappa (freccia 2) è indicata l'anomalia dell'indicatore HDDs per quel punto rispetto al periodo di riferimento 1976-2005 (-1381 °C) per il trentennio futuro selezionato (2071-2100). N.B. l'anno evidenziato nel box bianco è rappresentativo di tutto il trentennio futuro selezionato (2036 significa 2021-2050, 2086 significa 2071-2100).



Schermata di CLiNE con la selezione dell'indicatore "gradi giorno di riscaldamento", nel menu "MEDIA" si seleziona "Annuale" (freccia 1) e automaticamente in "QUANTITÀ" viene selezionato il "Valore assoluto". In questa schermata è stato selezionato il comune di Malborghetto Valbruna (freccia 2). Con questa configurazione nel box bianco in mappa (freccia 3) appare un'icona da selezionare per far apparire il grafico con gli andamenti al 2100 dell'indicatore selezionato per i tre scenari presenti sulla piattaforma.

In futuro le **richieste energetiche per il riscaldamento invernale** potranno subire delle modifiche: soprattutto in **montagna** i gradi giorno per il riscaldamento **diminuiranno** nello scenario intermedio (RCP4.5) e in quello a emissioni crescenti (RCP8.5) nel futuro più lontano (2071-2100). Queste mappe forniscono una **base informativa** per poter fare scelte relative all'efficientamento energetico degli edifici, alle caratteristiche di isolamento dal freddo dei nuovi edifici.

Partendo dallo scenario RCP8.5 per il trentennio futuro 2071-2100 (la configurazione in cui è più evidente una variazione dell'indicatore) e selezionando sul box bianco in alto a sinistra il

comune di Malborghetto Valbruna appare un box bianco sulla mappa dove è localizzato il centroide del comune (dove è situato il Municipio) in cui è segnato il valore di anomalia dell'indicatore HDDs per quel punto.

Avere il valore sul singolo punto permette una **progettazione a livello comunale** e ancor di più puntuale, adatta proprio quando si intende efficientare edifici specifici o si conosce la zona di una nuova costruzione. CLiNE permette di avere un **quadro climatico** preciso di quel punto che può essere utile nella progettazione futura.

CLiNE permette anche di visualizzare l'**andamento del valore assoluto** dell'indicatore HDDs per ogni singolo punto della mappa.

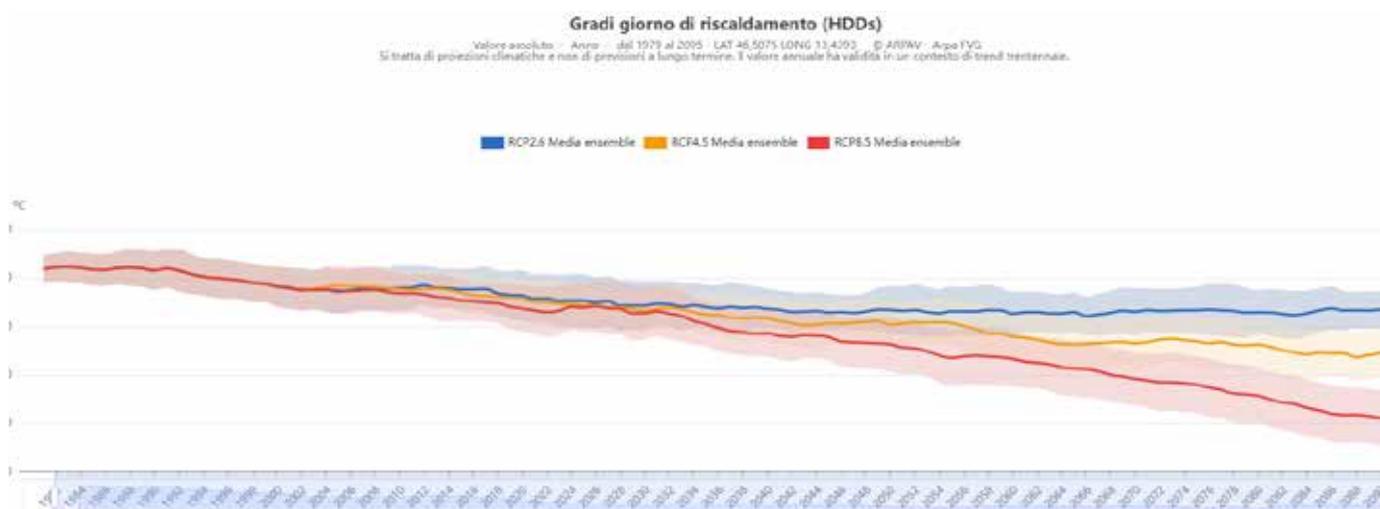


Grafico dell'andamento dal 1976 al 2100 dei gradi giorno di riscaldamento (HDDs) per il punto dove è localizzato il Municipio del comune di Malborghetto Valbruna nei tre diversi scenari: scenario a emissioni crescenti (RCP8.5, linea rossa), scenario intermedio (RCP4.5, linea arancione), scenario a emissioni fortemente ridotte (RCP2.6, linea blu). Il periodo 1976 - 2005 è il periodo storico di riferimento ed è rappresentato da un'unica linea. Le bande di colore più trasparente identificano l'incertezza dei modelli. In questo grafico le linee sono state mediate su 11 anni per una migliore visualizzazione dell'andamento.

Il grafico permette di comparare i diversi futuri possibili confrontandoli con il passato e il presente. La linea blu rappresenta lo scenario RCP2.6 che potremmo aspettarci **se rispettassimo l'Accordo di Parigi** e quindi se da subito decidessimo di ridurre le emissioni di gas climalteranti. Quello che si osserva è che **a fine secolo i gradi giorno per riscaldamento saranno molto simili a quello che viviamo attualmente**.

La linea rossa rappresenta lo scenario RCP8.5 che si potrebbe realizzare **se le emissioni di gas climalteranti continuassero ad aumentare**. In questo caso a fine secolo è evidente come **i gradi**

giorno per riscaldamento diminuiranno in modo considerevole: si passerà dai circa 4500 gradi giorno attuali ai circa 3000 a fine secolo.

La linea arancione rappresenta lo scenario RCP4.5, uno scenario intermedio tra i due sopra citati.

In questo caso è evidente che vi sarà **un risparmio nel consumo di energia per riscaldamento invernale**, più ridotto di quanto invece si suppone sarà **l'aumento del consumo di energia per raffrescamento estivo**.

LE IMPLICAZIONI PER LA GESTIONE DEGLI IMPIANTI DI RISCALDAMENTO

Possiamo infine considerare l'attuale normativa relativa alla gestione degli impianti di riscaldamento sul territorio nazionale (D.P.R.412/93, D.P.R. 74/2013). Questa normativa classifica la **pianura regionale** come afferente alla **zona climatica E (zona fredda)**. In queste zona, l'attivazione dei sistemi di riscaldamento è consentita dal 15 ottobre al 15 aprile, con un limite di funzionamento giornaliero fino a 14 ore. La piattaforma CLiNE, attraverso l'indicatore "gradi giorno di riscaldamento" (HDDs), indica che **secondo lo scenario RCP8.5 nel futuro lontano (2071-2100) buona parte della pianura regionale** passerebbe da zona E a **zona D (zona fresca)** dove i riscaldamenti possono essere accesi dal 1° novembre al 15 aprile per un massimo di 12 ore al giorno.

PER CONCLUDERE...

I due indicatori sul consumo di energia per raffrescamento invernale e riscaldamento estivo, assieme agli altri indicatori climatici presenti su CLiNE permettono di avere un quadro climatico futuro che dovrebbe essere considerato per una migliore progettazione in un'ottica di adattamento ai cambiamenti climatici. Inoltre aumentare la **consapevolezza di come le nostre scelte attuali possono compromettere/modificare il clima futuro** è il primo passo per un'azione informata.

Valentina Gallina, Andrea Cicogna
ARPA FVG

GLI INDICATORI PER IL FVG SULLA PIATTAFORMA NAZIONALE SULL'ADATTAMENTO AI CAMBIAMENTI CLIMATICI

La Piattaforma Nazionale sull'Adattamento ai Cambiamenti Climatici <https://climadat.isprambiente.it/>, promossa dal Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica e realizzata dall'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) include una sezione dedicata agli indicatori di impatto dei cambiamenti climatici. Questi indicatori sono stati sviluppati per i diversi settori di impatto, sia a scala nazionale che a scala regionale, per alcuni settori e per alcune regioni, a cura delle rispettive Agenzie ambientali.

Tra gli indicatori elaborati da ARPA FVG per il Friuli Venezia Giulia, dal 2024 si sono aggiunti i due indicatori trattati in questo articolo:

GRADI GIORNO DI RAFFRESCAMENTO –

Indicatore proxy (Friuli Venezia Giulia)

<https://climadat.isprambiente.it/dati-e-indicatori/indicatori-di-impatto-dei-cambiamenti-climatici/gradi-giorno-di-raffrescamento-indicatore-proxy-fvg/>

Scheda tecnica:

https://climadat.isprambiente.it/wp-content/uploads/2024/12/En_CDD_Fvg_2024.pdf

GRADI GIORNO DI RISCALDAMENTO –

Indicatore proxy (Friuli Venezia Giulia)

<https://climadat.isprambiente.it/dati-e-indicatori/indicatori-di-impatto-dei-cambiamenti-climatici/gradi-giorno-di-riscaldamento-indicatore-proxy-fvg/>

Scheda tecnica:

https://climadat.isprambiente.it/wp-content/uploads/2024/12/En_HDD_FVG_2024.pdf

I MOLTEPLICI EFFETTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SULLA SALUTE



Foto: Amanda Dalbjorn by Unsplash

Il cambiamento climatico rappresenta una grave minaccia per la salute globale, con impatti su malattie infettive, sicurezza alimentare, qualità dell'aria e salute mentale.

Milioni di persone sono esposte ai suoi effetti, con costi sanitari enormi e un numero di vittime crescente.

Ondate di calore, eventi estremi e migrazioni forzate aggravano la situazione.

In Italia l'aumento della mortalità estiva e delle malattie respiratorie richiede politiche sanitarie integrate con la mitigazione e l'adattamento climatico.

Il cambiamento climatico è ormai riconosciuto come una delle principali sfide globali del XXI secolo, con implicazioni che travalicano l'ambito ambientale per investire la sfera sociale, economica e, soprattutto, sanitaria. L'aumento delle temperature globali, la modifica dei regimi delle precipitazioni, l'innalzamento del livello del mare e la frequenza crescente di eventi climatici estremi rappresentano minacce concrete non solo per l'ambiente naturale, ma anche per la salute umana, incidendo sulla sicurezza alimentare, sulla disponibilità di acqua potabile, sulla qualità dell'aria e sulla diffusione di malattie infettive e croniche.

CAMBIAMENTI CLIMATICI

EFFETTI SULLA SALUTE



EVENTI METEOROLOGICI ESTREMI

- Traumatismi
- Decessi
- Disturbi Psicici



ONDATE DI CALORE

- Malattie e decessi associati al caldo
- Aumenti dei ricoveri e degli accessi in Pronto Soccorso
- Aumento dei sintomi respiratori
- Esiti riproduttivi



INQUINAMENTO ATMOSFERICO

- Mortalità a breve termine
- Asma e altre malattie respiratorie
- Allergie
- Malattie cardiovascolari
- Disturbi Psicici
- Esiti riproduttivi



QUALITÀ DELLE RISORSE IDRICHE

- Infezione da Campylobacter
- Colera
- Criptosporidiosi
- Fioriture di alghe tossiche
- Leptosirosi



QUALITÀ DELLE RISORSE ALIMENTARI

- Malnutrizione
- Salmonellosi e altre malattie trasmesse da alimenti
- Micotossine



DISTRIBUZIONE ED ECOLOGIA DEI VETTORI

- Chikungunya
- Dengue
- Encefalite
- Infezione da Hantavirus
- Malattia di Lyme
- Malaria
- Febbre della Rift Valley
- Infezione da virus West Nile
- Infezione da virus Zika



FATTORI SOCIALI

- Malattia fisica e mentale causata da conflitti e migrazioni forzate

UNA DELLE PRINCIPALI MINACCE ALLA SALUTE GLOBALE

In questo contesto, l'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) ha identificato il cambiamento climatico come una delle maggiori minacce alla salute globale, sottolineando come **milioni di persone** siano **già esposte ai suoi effetti negativi**. Secondo le stime diffuse, tra il 2030 e il 2050 ci potrebbero essere 250mila morti in più ogni anno per malaria, diarrea, ondate di calore e malnutrizione a causa dei cambiamenti climatici e i costi connessi alla salute potrebbero essere pari a due-quattro miliardi di dollari annui entro il 2030.

Eventi estremi, come ondate di calore, incendi boschivi, uragani e alluvioni, stanno diventando sempre più frequenti e intensi, imponendo nuove sfide ai sistemi sanitari già sotto pressione. A ciò si aggiunge la proliferazione di vettori di malattie come zanzare e zecche, responsabili della trasmissione di patologie quali la dengue, la malaria, il virus del Nilo Occidentale e la malattia di Lyme, che si stanno espandendo verso aree geografiche prima considerate sicure.

LA MALNUTRIZIONE

A causa della crisi climatica in futuro potrebbero aumentare anche i casi di malnutrizione: secondo il Programma alimentare mondiale (Wfp) delle Nazioni unite, il rischio di soffrire la fame potrebbe aumentare del 20% entro il 2050 se non verranno adottate misure per mitigare e prevenire l'impatto dei cambiamenti climatici. Siccità e alluvioni potrebbero **ridurre le rese agricole**, causando un **aumento dei prezzi dei beni alimentari** e diminuendo le possibilità di accedere a una alimentazione sana ed equilibrata.

LA SALUTE MENTALE

Da quando le conseguenze dei cambiamenti climatici sono diventate più evidenti si è cominciato a parlare anche degli effetti spesso nascosti che il cambiamento climatico ha sulla salute mentale delle persone.

La ricerca in questo campo è in continua crescita e mostra come **eventi climatici estremi** – diventati ormai più frequenti e intensi – possano provocare **gravi conseguenze psicologiche**. Tra queste ci sono il disturbo post-traumatico da stress (PTSD),

depressione maggiore, ansia, senso di colpa del sopravvissuto, abuso di sostanze, pensieri suicidi e altre forme di disagio mentale, anche a lungo termine.

Non solo gli eventi improvvisi, ma **anche i cambiamenti gradual**i come l'aumento delle temperature, l'innalzamento del livello del mare o le siccità prolungate possono influenzare negativamente la salute mentale. Questi fenomeni modificano i paesaggi, compromettono l'accesso a cibo e acqua, colpiscono l'agricoltura, danneggiano le infrastrutture e possono costringere intere comunità a spostarsi, causando stress, **problemi economici e relazionali**, e aumentando il rischio di **conflitti e violenze**.

Uno studio pubblicato su The Lancet nel dicembre 2021 ha rilevato che il **45% dei 10 mila giovani tra i 16 e i 25 anni** di dieci Paesi si sente negativamente impattato dai pensieri legati al cambiamento climatico.

L'angoscia per il cambiamento climatico è associata alla paura di non avere un futuro, al fatto che l'umanità sia "condannata" e che i governi non rispondano adeguatamente.

GLI IMPATTI OSSERVATI IN ITALIA

In Italia, l'impatto del cambiamento climatico sulla salute è già osservabile attraverso **l'aumento della mortalità estiva** legata alle ondate di calore, la maggiore incidenza di patologie respiratorie connesse all'inquinamento atmosferico e l'intensificazione di fenomeni di siccità e alluvioni che compromettono la qualità delle acque potabili. Questo scenario richiede un ripensamento radicale delle politiche sanitarie, attraverso un'integrazione sistematica delle strategie di mitigazione e adattamento ai cambiamenti climatici.

Gabriella Trani

Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia

Si ringrazia Annunziata De Crescenzo per il contributo dato con la sua tesi di laurea "Cambiamento climatico e rischi per la salute: un'indagine conoscitiva tra i dipendenti del Dipartimento di Prevenzione dell'Azienda Sanitaria Universitaria Friuli Centrale"

CRISI CLIMATICA E CRISI SANITARIA: AFFRONTARLE INSIEME PER PROTEGGERE PERSONE E PIANETA

In occasione della COP29 (Conferenza delle Parti della Convenzione delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici -Baku novembre2024) l'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) ha pubblicato un rapporto speciale su clima e salute, accompagnato da una guida tecnica per integrare la salute nei piani nazionali sul clima. L'OMS invita i leader mondiali a non trattare la crisi climatica e quella sanitaria separatamente, ma a considerarle insieme, mettendo la salute al centro delle decisioni politiche, dei negoziati e delle strategie contro il cambiamento climatico. Questo approccio potrebbe salvare vite e migliorare il benessere delle generazioni attuali e future.

Il direttore generale dell'OMS, Tedros Adhanom Ghebreyesus, ha dichiarato che il cambiamento climatico è anche una crisi sanitaria. Dare priorità alla salute nelle politiche climatiche non è solo una questione morale o legale, ma un'occasione per ottenere grandi benefici per la salute pubblica e per creare un futuro più equo. La COP29 rappresenta un momento chiave per includere la salute nelle azioni contro il cambiamento climatico, e l'OMS è pronta a sostenere i Paesi con strumenti pratici e supporto tecnico.

Il rapporto è stato sviluppato con l'aiuto di oltre 100 organizzazioni e 300 esperti, e si concentra su tre aspetti fondamentali: le persone, i luoghi e il pianeta. Contiene raccomandazioni per proteggere la salute di tutti, con un'attenzione speciale per i 3,6 miliardi di persone che vivono in aree particolarmente vulnerabili ai cambiamenti climatici.



Le principali proposte del rapporto sono:

- usare la salute come parametro centrale per valutare i progressi nella lotta al cambiamento climatico;
- eliminare i sussidi ai combustibili fossili e investire in energie pulite, per migliorare la salute e ridurre l'inquinamento;
- destinare più fondi alle iniziative che collegano salute e clima, per rafforzare i sistemi sanitari e prepararli alle sfide climatiche;
- puntare su soluzioni già collaudate, come sistemi di allerta per le ondate di calore o l'uso di energia pulita in casa, che potrebbero salvare milioni di vite e portare un ritorno economico significativo;
- dare più attenzione alle città, promuovendo progetti urbani sostenibili e accesso a servizi sanitari, abitazioni resistenti e igiene adeguata;
- proteggere e ripristinare la natura e la biodiversità, riconoscendo i benefici per la salute legati a un ambiente sano, come aria e acqua pulite e sicurezza alimentare.

CLIMA, ZANZARE E MALATTIE ESOTICHE: COSA STA CAMBIANDO IN FVG



Foto: Davide Qualizza

I cambiamenti climatici influenzano la diffusione di malattie infettive trasmesse da vettori, come zanzare e zecche, che trovano condizioni più favorevoli alla loro diffusione.

In FVG alcune specie esotiche sono ormai invasive e sono segnalati casi di alcune malattie tropicali.

Monitoraggi mirati e piani di prevenzione sono strumenti istituzionali fondamentali per affrontare questi nuovi rischi, ma anche i singoli cittadini possono fare molto per limitare la proliferazione delle zanzare e proteggersi dalle punture.

Esemplare di alato di *Aedes Japonicus* -
Sauris di Sopra - novembre 2019

Il cambiamento climatico che si sta verificando a livello globale sta modificando anche l'insorgenza di malattie infettive in Europa, in Italia e nel nostro territorio, in particolare quelle trasmesse da vettori, come zanzare e zecche, che trovano nuovi habitat e nuove condizioni favorevoli alla propagazione e alla diffusione.

Il clima infatti influisce direttamente sulla riproduzione, longevità e distribuzione geografica dei vettori, modificando così la loro capacità di trasmettere virus, batteri e altri patogeni. L'aumento della temperatura, inoltre, favorisce la possibilità di introduzione di nuove specie sul territorio e di conseguenza aumenta il rischio di sviluppo sia di nuove malattie emergenti, sia di malattie riemergenti che erano state debellate in passato (malaria).

LE ARBOVIROSI, FAVORITE DAI CAMBIAMENTI CLIMATICI

Tra le malattie trasmesse da vettori, una quota prevalente è rappresentata dalle arbovirosi, ossia le **infezioni virali trasmesse dagli artropodi**. A oggi oltre 100 virus sono classificati come arbovirus in quanto in grado di causare malattia umana. Sul panorama Italiano tali arbovirus possono essere causa di infezioni sia importate sia autoctone, alcune delle quali sono soggette a regimi di sorveglianza speciale (es. Dengue, Chikungunya, Zika, West Nile/Usutu, encefalite virale da zecche, Toscana virus).

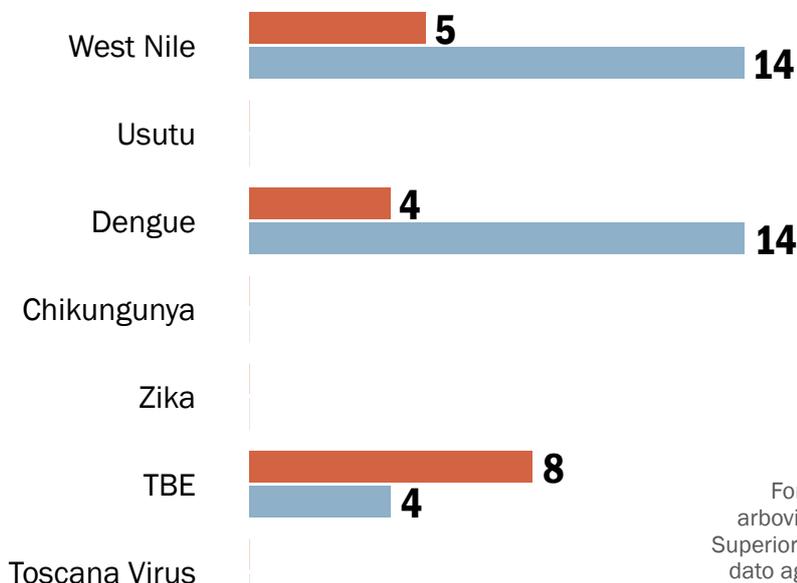
Tali malattie assumono grande rilevanza a causa di diversi fattori che vanno dalla globalizzazione, ai processi di urbanizzazione, ai **cambiamenti climatici**. Quest'ultimi hanno effetti sulla fisiologia, sul comportamento, sul ciclo vitale e sulla distribuzione geografica dei vettori e potrebbero favorire la comparsa di malattie tropicali/emergenti in Europa, nonché la loro diffusione e persistenza in nuove aree.

Malaria, febbre Dengue, febbre del Nilo occidentale, virus Zika, malattia di Lyme: sono tutte **patologie trasmesse da zanzare e zecche**, che, con l'aumento delle temperature e dell'umidità, riescono oggi a sopravvivere in una più ampia fetta di mondo.

Anche nella nostra regione si è assistito a un **aumento di casi negli ultimi anni**, sia legati ai viaggi all'estero che a un aumento di alcune malattie trasmesse proprio nel nostro territorio.

CONFRONTO TRA I CASI CONFERMATI DI ARBOVIROSI NEL 2023 E NEL 2024 IN FVG

■ 2023
■ 2024



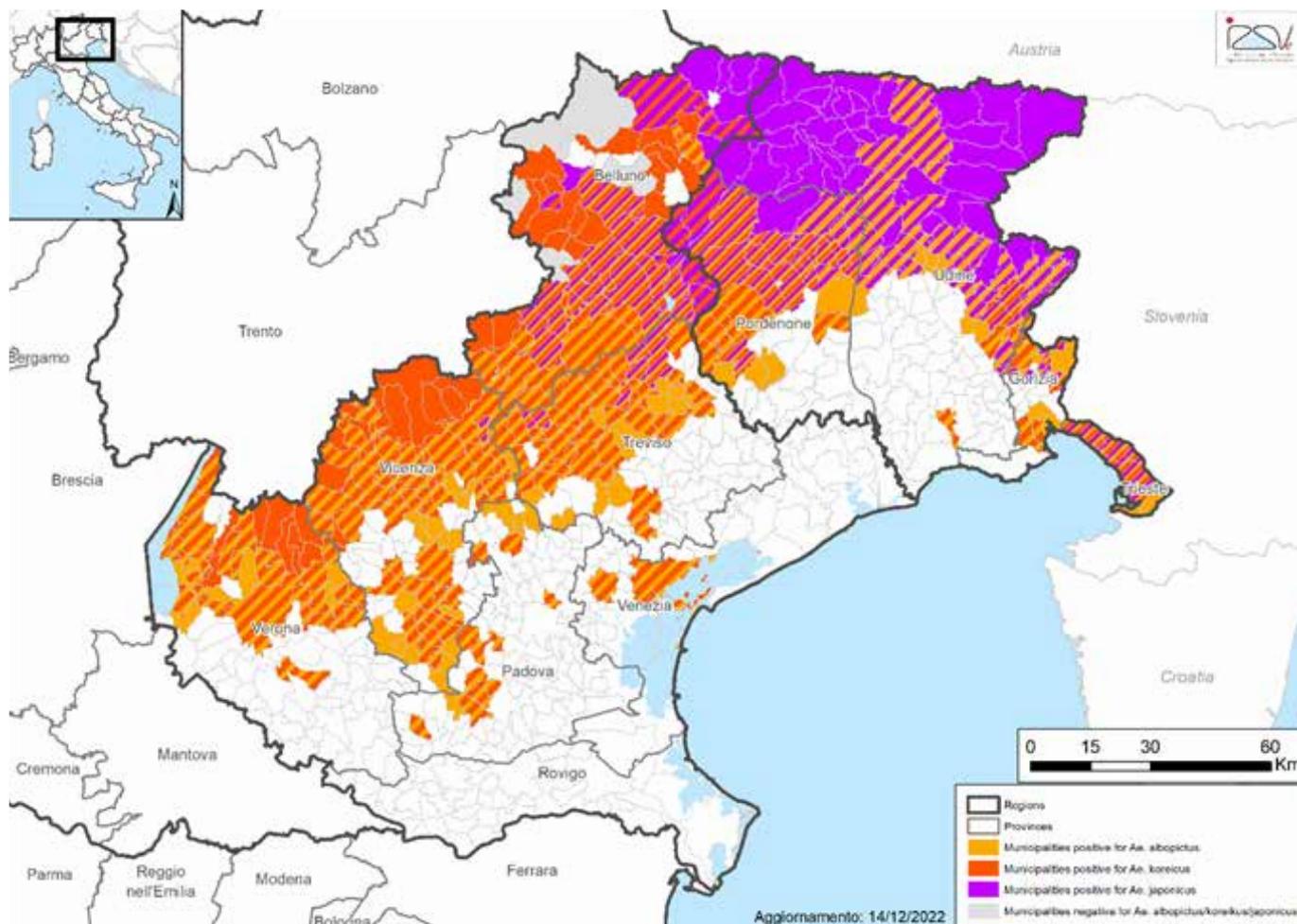
LE MALATTIE TRASMESSE DA VETTORI

Le malattie trasmesse da vettori (*Vector Borne Disease - VBD*) sono infezioni umane causate da parassiti, virus e batteri trasmessi da organismi viventi, spesso artropodi (zanzare, zecche, flebotomi, mosche, pulci, pidocchi, ecc.), che fungono appunto da "vettori" e possono trasmettere malattie infettive sia attivamente che passivamente. I vettori biologici come le zanzare e le zecche, ingeriscono microrganismi patogeni durante un pasto di sangue da un ospite infetto (umano o animale) e, dopo che l'agente patogeno si è replicato, lo trasmettono a un nuovo ospite, mediante punture o morsi.

L'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) stima che le malattie trasmesse da vettori rappresentino a livello globale oltre il 17% di tutte le malattie infettive e che più di 700.000 decessi l'anno siano dovuti a malattie come la malaria, la Dengue, la schistosomiasi, la tripanosomiasi umana africana, la leishmaniosi, la malattia di Chagas, la febbre gialla o l'encefalite giapponese.

Fonte: Portale arbovirosi Istituto Superiore di Sanità, dato aggiornato al 12/11/2024

DISTRIBUZIONE DELLE ZANZARE IN VENETO E FRIULI VENEZIA GIULIA NEL 2022



Distribuzione di *Aedes Albopictus* (zanzara tigre, aree in giallo), *Aedes Koreicus* (zanzara coreana, aree in arancione) e *Aedes Japonicus* (zanzara giapponese, aree in fucsia) nelle regioni Veneto e Friuli Venezia Giulia – 2022. Fonte: IZSVe.

TIGRE, COREANA, GIAPPONESE: ZANZARE ESOTICHE ORMAI DI CASA IN FVG

A riprova di quanto sopra detto, nuove specie di zanzare invasive sono state introdotte nel nostro Paese a partire dagli anni '90 del secolo scorso. La prima specie trovata è stata l'*Aedes Albopictus* ovvero la **zanzara tigre**, che nell'arco di pochi anni ha colonizzato l'intero territorio italiano risultando a oggi endemica. Nel 2011 in provincia di Belluno, è stata segnalata per la prima volta in Italia l'*Aedes Koreicus* ovvero la **zanzara coreana**. Tale specie, successivamente, è stata rilevata anche in Friuli Venezia Giulia.

L'ultima specie invasiva arrivata in Italia è stata l'*Aedes Japonicus* ovvero la **zanzara giapponese**, trovata per la prima volta a Pontebba (UD) nel 2015. Si presume che tale zanzara si sia introdotta nel nostro territorio dalla vicina Carinzia (Austria), lì pervenuta attraverso il commercio di pneumatici.

MALATTIE TRASMESSE DA VETTORI: CONOSCKERLE E PREVENIRLE



WEST NILE DISEASE (WND)

Il virus del Nilo Occidentale è una malattia molto diffusa in tutto il mondo, trasmessa agli esseri umani attraverso la puntura delle zanzare comuni e non tramite la zanzara tigre. In Italia e in Europa e nella Regione Friuli Venezia Giulia, la malattia è presente da tempo.

I serbatoi del virus sono gli uccelli selvatici e le zanzare, le cui punture rappresentano il principale mezzo di trasmissione all'uomo. Il virus può infettare anche altri mammiferi, principalmente cavalli, ma occasionalmente anche cani, gatti, conigli e altri animali.

La maggior parte delle persone infette (80%) non presenta sintomi. Circa il 20% manifesta sintomi lievi come febbre, mal di testa, nausea, vomito, linfonodi ingrossati e rash cutaneo, che possono durare alcuni giorni, raramente alcune settimane.

I sintomi più gravi, noti come malattia neuroinvasiva da West Nile, si presentano in circa 1 persona su 150 e includono febbre alta, forti mal di testa, debolezza muscolare e problemi neurologici.

Nei casi più gravi (circa 1 su 1.000), il virus può causare encefalite letale o lasciare esiti permanenti. Le forme gravi colpiscono principalmente anziani o persone con un sistema immunitario compromesso.

Il virus del Nilo Occidentale è diffuso in Africa, Asia occidentale, Europa, Australia e America. In quasi tutte le regioni italiane è stata rilevata la presenza del virus.

Non esiste un vaccino contro il virus del Nilo Occidentale. Le uniche misure efficaci per prevenire l'infezione sono quelle di protezione individuale per evitare le punture di zanzara.

FEBBRE DENGUE

La febbre Dengue è causata dall'omonimo virus della Dengue, trasmesso principalmente dalle zanzare del genere Aedes. I sintomi includono febbre alta, mal di testa, dolore muscolare e articolare, e in alcuni casi può evolvere in dengue grave, per la quale può essere necessario il ricovero ospedaliero e in alcuni casi il ricovero in rianimazione per il supporto delle funzioni vitali.

La Dengue è diffusa soprattutto nelle zone tropicali e subtropicali dell'Africa, Sudest asiatico, Cina, India, Medio Oriente, America Latina e Centrale, Australia e in alcune aree del Pacifico. Negli ultimi decenni la Dengue è diventata più frequente anche nei paesi del Nord e a livello globale principalmente come malattia di importazione.

I sintomi tipici includono febbre alta, mal di testa, dolori oculari, muscolari e articolari, nausea, vomito e rash cutanei e in alcuni casi può evolvere in dengue grave, che può essere fatale. Nei bambini, i sintomi possono essere meno evidenti. La diagnosi si basa sui sintomi clinici e può essere confermata con test specifici su campioni di sangue.

La malattia non si trasmette direttamente tra persone, ma il virus può circolare nel sangue di una persona infetta per 2-7 giorni, periodo durante il quale le zanzare possono contrarre l'infezione dalle persone infette e diffondere il virus.

Non esiste un trattamento specifico per la dengue. La gestione si basa su riposo, farmaci per abbassare la febbre e idratazione.

La prevenzione si basa sull'evitare le punture di zanzara attraverso l'uso di repellenti, abiti protettivi e zanzariere. È cruciale eliminare i ristagni d'acqua e condurre campagne di disinfestazione per ridurre le popolazioni di Aedes.

CHIKUNGUNYA

La chikungunya è una malattia virale trasmessa principalmente dalle punture di zanzare che sono presenti anche nel nostro territorio.

La chikungunya si manifesta con febbre alta improvvisa, forti dolori articolari e muscolari, mal di testa, nausea, affaticamento e rash cutaneo. I dolori articolari possono essere debilitanti e

durare per settimane o mesi. Il trattamento è sintomatico, con riposo, idratazione e farmaci per alleviare febbre e dolori.

Non esiste un vaccino o un trattamento specifico per la chikungunya. La prevenzione si basa sull'evitare le punture di zanzara tramite l'uso di repellenti, indumenti protettivi e zanzariere.

ENCEFALITE DA ZECCHE (TBE, *Tick-Borne Encephalitis*)



L'encefalite da zecche, nota come TBE (*Tick-Borne Encephalitis*), generalmente si presenta con sintomi simili all'influenza: febbre, mal di testa e dolori muscolari che compaiono 7-14 giorni dopo il morso di una zecca infetta.

In circa due terzi dei casi, l'infezione non presenta sintomi, mentre nel 20-30% dei casi, dopo un periodo di miglioramento, i sintomi possono ricomparire con febbre molto alta, mal di testa, dolore alla schiena, perdita di sensibilità e paralisi agli arti, oltre a confusione mentale.

Le forme più gravi richiedono il ricovero ospedaliero e una lunga convalescenza. In alcuni casi, la malattia può lasciare conseguenze permanenti e invalidanti.

Il morso di zecche portatrici del virus TBE rappresenta un rischio anche per giovani e persone in buona salute, con possibili complicanze gravi o invalidanti in un caso su cinque.

Poiché non esiste una cura per la TBE, la prevenzione attraverso la vaccinazione è la migliore difesa. La vaccinazione è raccomandata per chi vive, lavora o frequenta regolarmente aree a rischio. Il ciclo vaccinale consiste in tre dosi somministrate per via intramuscolare a intervalli periodici: le prime tre dosi nell'arco di un anno, seguite da un richiamo dopo tre anni. La protezione inizia a svilupparsi dopo la seconda dose. Il vaccino è disponibile presso gli ambulatori di vaccinazione delle Aziende per i Servizi Sanitari ed è offerto gratuitamente ai residenti della regione Friuli Venezia Giulia.

MORBO DI LYME

La malattia di Lyme è oggi la più diffusa e rilevante patologia trasmessa da vettore (le zecche) con diffusione nelle zone geografiche temperate ed è seconda, per numero di casi, solo alla malaria fra le malattie che richiedono un vettore artropode per la diffusione. L'infezione, di origine batterica, colpisce prevalentemente la pelle, le articolazioni, il sistema nervoso e gli organi interni. Può manifestarsi con sintomi gravi, persistenti e, se non viene curata, assume un decorso cronico. L'agente patogeno, la *Borrelia*, è un genere di batterio.

Clinicamente l'infezione da *Borrelia* inizia più frequentemente con un arrossamento della pelle localizzato nella zona del morso. La lesione compare a distanza di circa due settimane (da 7 a 30 giorni) e tende lentamente a ingrandirsi progressivamente; per questo motivo è chiamata eritema migrante.

In alcuni casi la malattia può esordire con inusuale stanchezza, dolori ai muscoli e alle articolazioni, mal di testa, difficoltà di concentrazione, paralisi del nervo facciale.

Se non curata in questa fase, la malattia può progredire e cronicizzare causando seri danni alle articolazioni, al sistema nervoso, al cuore e ad altri organi.

La malattia di Lyme può essere trattata in modo efficace con l'assunzione di antibiotici nelle dosi, con le modalità e per i tempi prescritti dal medico. Una terapia corretta, iniziata tempestivamente, è in grado di stroncare l'infezione e di evitarne le complicanze.

Per questa malattia non esiste un vaccino e ci si può ammalare più volte.



Foto: Entostudio S.r.l

Zanzara giapponese (*Aedes Japonicus*)

LA ZANZARA GIAPPONESE: UN SORVEGLIATO SPECIALE

Dal 2015, l'Istituto Zooprofilattico Sperimentale delle Venezie (IZSVE) ha avviato un **monitoraggio più intensivo** sul nostro territorio al fine di definire la diffusione di *Aedes Japonicus*. A questa attività hanno contribuito a partire dal 2018 anche alcune Aziende Sanitarie, mettendo a disposizione personale per le attività di ricerca e campionamento sul campo di larve e adulti della predetta specie.

Il monitoraggio si è concluso nel 2020 e ha portato alla luce una **distribuzione diffusa della zanzara giapponese sul nostro territorio, in particolare sull'arco alpino**, in toto colonizzato, fino ad altitudini di 1263 mslm. Tale specie, inoltre, è stata riscontrata in diversi comuni del Collinare, del Cividalese/Valli del Natisone, dell'area Isontina e Giuliana. *Aedes Japonicus* predilige infatti ambienti silvestri, rurali o, comunque, poco antropizzati (la maggior parte dei Comuni positivi ha meno di 10.000 abitanti).

Le ricerche condotte hanno altresì mostrato come in diversi comuni vi sia **coesistenza di più specie invasive**; alcuni territori, in particolare dell'area Giuliana, sono stati colonizzati da tutte e tre le specie (*A. Albopictus*, *A. Koreicus*, *A. Japonicus*).

Le caratteristiche biologiche della zanzara giapponese sono simili a quelle delle altre due specie di *Aedes* sopraccitate, con la caratteristica peculiare di una maggior resistenza alle temperature rigide. Sono insetti diurni, molesti, pungono l'uomo e depongono uova, perlopiù in



Foto: Davide Qualizza

siti artificiali (es. pneumatici, contenitori di varia dimensione, pozzetti, etc.), resistenti al freddo invernale.

Nell'arco di pochi anni tale zanzara si è ben radicata nel nord-est d'Italia, colonizzando due regioni (Friuli Venezia Giulia e Veneto) in aree collinari-montuose, inserendosi inoltre nella competizione con altre specie già insediate. L'esito del monitoraggio condotto lascia ipotizzare, con alta probabilità, un'invasione di altre regioni dell'Italia settentrionale da parte di *Aedes Japonicus*.

MALATTIE “DI IMPORTAZIONE” E MALATTIE CIRCOLANTI

Dal punto di vista sanitario, la zanzara giapponese è nota per comportarsi da vettore per alcuni arbovirus tra i quali possiamo elencare l'encefalite giapponese, il virus Dengue e il virus della Chikungunya. Questi ultimi patogeni elencati a oggi non hanno circolato nel nostro territorio. I casi umani di malattia sono stati di importazione dall'estero. Recenti studi di laboratorio, che devono essere confermati sul campo, hanno dimostrato una potenziale competenza vettoriale di questa specie anche per il West Nile Virus. **Negli ultimi 5 anni, il virus del Nilo Occidentale** – che nel nostro territorio viene trasmesso all'uomo principalmente dalla zanzara comune - **ha circolato in Friuli Venezia Giulia** portando a classificare la nostra regione nel Piano Nazionale Arbovirosi 2020-2025 come ad area ad alto rischio di trasmissione.

Da una prospettiva di Sanità Pubblica, la presenza di questi vettori di patogeni per animali e uomini, anche in aree precedentemente “vergini”, rappresenta la sfida futura per il Sistema Sanitario.

MISURE DI PREVENZIONE

Il modo più efficace per evitare queste malattie è essere consapevoli dei rischi, prevenire le punture e i morsi di insetti, e contrastare la diffusione delle zanzare adottando misure specifiche per la prevenzione e il controllo della loro proliferazione.

È fondamentale utilizzare **repellenti sulla pelle e sui vestiti**: applicare prodotti commerciali contenenti icaridina (KBR 3023), DEET (N,N-dietil-m-toluammide), butilacetilaminopropionato (IR3535) o Paramatandiolo (PMD o Citrodioil)

e riapplicare il prodotto più volte al giorno, specialmente se fa caldo e si suda. Vanno trattati anche gli indumenti, con prodotti specifici a base di permetrina se sono presenti molte zanzare.

È consigliato indossare **vestiti lunghi e coprenti** (es. maniche e pantaloni lunghi di tessuti leggeri come lino e cotone). Durante le escursioni in montagna, usare **calzature adeguate e coprenti** (evitare sandali e infradito), calzini alti e abbigliamento di **colori chiari**.

È consigliato anche l'uso delle **zanzariere**.

Per le zecche è consigliato controllare ogni parte del corpo dopo un'escursione, la **rimozione tempestiva della zecca** riduce il rischio di infezione e in caso di animali, si consiglia il controllo tempestivo dopo escursione.

COME EVITARE LA PROLIFERAZIONE DELLE ZANZARE

Le zanzare hanno bisogno di pochissima acqua per riprodursi, pertanto è necessario **evitare ristagni di acqua** anche minimi, svuotando quotidianamente vasi, sottovasi e coprendo cisterne e tombini con teli o microreti.

Sulle raccolte d'acqua che non possono essere svuotate è possibile applicare periodicamente prodotti a base di larvicidi .

Pesci che si nutrono di larve di zanzara (come l'Alborella) sono utili in laghetti e stagni privati e la **pulizia del giardino** regolare con erba tagliata e siepi potate rende l'habitat meno favorevole alla riproduzione degli insetti.

I **prodotti larvicidi** devono essere applicati periodicamente, almeno ogni 3-4 settimane, nei tombini e nelle caditoie dove c'è acqua stagnante.

RACCOMANDAZIONI PER VIAGGIATORI

In alcuni Paesi, il rischio di malattie trasmesse da zanzare o altri insetti può essere molto più alto.

I **servizi di prevenzione delle Aziende sanitarie** hanno degli ambulatori dedicati dove è possibile effettuare una consulenza specialistica, un mese prima della partenza. Durante la consulenza, il personale esperto fornirà informazioni utili per ridurre i rischi e raccomanderà eventuali vaccinazioni.

COME DIFENDERCI DALLE ZANZARE



COME EVITARE UNA PUNTURA DI ZANZARE

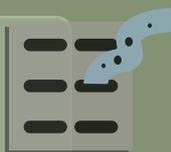
I Comuni dove la zanzara è presente a partire dal mese di aprile, fino a ottobre devono effettuare i trattamenti larvicidi di tutti i focolai larvali (tombini, caditoie, ecc.) posti in aree pubbliche.

La disinfestazione delle aree pubbliche da parte dei Comuni non è però sufficiente.

I singoli cittadini devono adottare sistematicamente semplici regole nelle aree private perché solo un intervento collettivo può ridurre la presenza dalle zanzare.

TOMBINI

trattare periodicamente (da aprile a ottobre) i tombini presenti nelle aree private con i prodotti larvicidi in vendita nelle agrarie o nelle farmacie
pulirli prima dell'inizio dei trattamenti



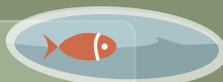
GRONDAIE

verificare che le grondaie non siano otturate per evitare ristagni d'acqua



PESCI LARVIVORI AUTOCTONI

introdurre pesci larvivori autoctoni (ad es. l'Alborella), che si nutrono delle larve di zanzara, nelle vasche ornamentali



PROTEGGERSI DALLE PUNTURE

ALL'ESTERNO

applicare i **repellenti** antizanzare prestando attenzione alle donne in gravidanza e ai bambini, seguire le indicazioni riportate sul prodotto.

indossare **abiti lunghi e chiari**



CONTENITORI

eliminare le raccolte d'acqua da sottovasi, annaffiatoi, bidoni, copertoni e da qualsiasi altro contenitore, mantenendoli al riparo dalle piogge



nell'impossibilità, **coprire** i bidoni e altre riserve d'acqua con coperchi a tenuta o con zanzariera integra, fissata e ben tesa

evitare l'abbandono e l'accumulo all'aperto di materiali che possano trattenere l'**acqua piovana** (copertoni, vasi, sottovasi, teli plastici, bottiglie, barattoli...)



GIARDINI

innaffiare **direttamente**, tramite pompe, gli orti e i giardini

provvedere al **regolare** sfalcio dell'erba

CONTINUITÀ

assicurare la continuità **dei trattamenti** e delle altre azioni anche nei periodi di assenza

IN CASA

installare le **zanzariere** alle finestre

usare **diffusori** antizanzare, prestando attenzione alle donne in gravidanza e ai bambini, seguire le indicazioni riportate sul prodotto



COME DIFENDERCI DALLE ZECCHÉ



ABBIGLIAMENTO

indossare un abbigliamento appropriato, di colore **chiaro** (che rende più evidente la presenza delle zecche), in grado di coprire quanto più possibile il corpo (pantaloni lunghi infilati nei calzettoni e camicia a maniche lunghe infilata nei pantaloni) e proteggere i piedi con **scarpe alte** sulle caviglie



DURANTE E DOPO LE ESCURSIONI

durante l'escursione controllarsi frequentemente per rimuovere eventuali zecche non ancora attaccate

al rientro dall'escursione spazzolare i vestiti, lavarsi e controllare tutto il corpo (meglio se con l'aiuto di qualcuno), senza trascurare la schiena e il cuoio capelluto



IN NATURA

camminare al centro dei **sentieri** non sedersi e non sostare nell'**erba alta** o in prossimità di cespugli e vegetazione incolta



PRODOTTI REPELLENTI

applicarli sulla pelle scoperta o sui vestiti, seguendo scrupolosamente le avvertenze riportate nelle confezioni.



COME TOGLIERE UNA ZECCA

- Nel caso si trovi una zecca sulla pelle, bisogna **rimuoverla subito** evitando di cospargerla con sostanze oleose o irritanti e proteggendo le mani.
- Per asportarla correttamente è necessario prendere una pinzetta e con questa afferrare la zecca il più vicino possibile al punto di inserzione nella cute, senza schiacciarla; tirare delicatamente, senza strappi fino al distacco
- **Disinfettare** la zona



- È utile **annotare la data di rimozione** ed eventualmente la località in cui si è stati morsi
- Controllare **tutti i giorni** l'area interessata per individuare eventuali segni di infezione
- Qualora si manifesti un **arrossamento** in corrispondenza del morso o compaiano **sintomi** simil-influenzali (febbre, stanchezza, dolori muscolari, ecc.) è necessario consultare un medico, segnalando il morso di zecca

LE PROSPETTIVE PER IL FUTURO

Tenuto conto dell'incessante aumento delle temperature medie al suolo e degli eventi meteorologici avversi occorsi in questi ultimi anni, con elevata probabilità assisteremo sempre più a una **maggior attività e densità dei vettori durante tutto l'anno**, una loro **espansione latitudinale/altitudinale**, una possibile introduzione e stabilizzazione di **nuove specie e patogeni**. Inoltre gli effetti dei cambiamenti climatici avranno un impatto anche su questi ultimi in quanto, presumibilmente, aumenterà l'accelerazione del loro **ciclo di sviluppo** nel vettore e si allungherà la **stagione di trasmissione**.

Le future politiche di prevenzione, sorveglianza e risposta alle arbovirosi dovranno sempre più integrarsi in un'**ottica one health**. A oggi sono già stati predisposti alcuni Piani da parte di diversi Enti sia a livello nazionale che regionale (Piano Nazionale della Prevenzione, Piano Regionale della Prevenzione, Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici etc.) che affrontano la tematica e indicano delle misure da attuare per prevenire e contrastare la diffusione di questi vettori.

Il binomio cambiamenti climatici e malattie infettive rappresenta la sfida, complessa e drammatica, che ci attende ora e nel futuro prossimo.

ULTERIORI INFORMAZIONI

Nel sito della Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia si possono trovare contenuti su:

Campagna di prevenzione contro le zecche

<https://www.regione.fvg.it/rafvfg/cms/RAFVG/salute-sociale/zecche/>

Campagna di prevenzione contro la zanzara tigre

<https://www.regione.fvg.it/rafvfg/cms/RAFVG/salute-sociale/zanzara-tigre/>

Campagne di prevenzione "Malattie trasmesse da vettori"

<https://www.regione.fvg.it/rafvfg/cms/RAFVG/salute-sociale/promozione-salute-prevenzione/FOGLIA40/>

Cristina Zappetti

Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia

Daide Qualizza

Azienda Sanitaria Universitaria Friuli Centrale

STRESS DA CALORE SUL LAVORO: UN PROBLEMA SEMPRE PIÙ RILEVANTE



L'aumento delle temperature comporta rischi crescenti per chi lavora all'aperto nei mesi più caldi dell'anno.

Nel 2024 ASUFC ha condotto un'indagine per valutare rischi e misure di prevenzione per i lavoratori agricoli esposti a calore in FVG.

In molti casi si è evidenziata una situazione di rischio per la loro salute, ma con interventi facilmente implementabili, poco costosi, e con un'adeguata formazione e sensibilizzazione si può tutelare la salute e sicurezza dei lavoratori e mantenere la produttività delle aziende.

Il cambiamento climatico e il relativo innalzamento delle temperature impattano sulla salute e sulla sicurezza del lavoro anche nella nostra regione. I dati elaborati dall'Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente confermano questa "evoluzione climatica", con un trend di aumento delle temperature ben evidente negli ultimi decenni: il 2024 è stato l'anno più caldo mai registrato in Friuli Venezia Giulia (vedi l'articolo **DATI METEO DEL 2024: L'ANNO PIÙ CALDO IN FVG, CON PIOGGE SUPERIORI ALLA MEDIA**) e anche le proiezioni per il futuro prospettano un ulteriore riscaldamento che, in assenza di una riduzione delle emissioni di gas serra, rappresenterà un ulteriore fattore di rischio per la salute e la sicurezza dei lavoratori, in particolare per coloro che sono impegnati in attività all'aperto nei mesi più caldi dell'anno (agricoltori, operai addetti alla manutenzione del verde, operai edili, etc.).

GLI IMPATTI DEL CALDO SU LAVORATORI E PRODUTTIVITÀ

Oltre alle note **patologie indotte dal caldo** quali crampi, sincopa da calore, colpo di calore che può avere anche esiti fatali, recenti studi evidenziano una significativa associazione tra elevate temperature e **aumento degli infortuni sul lavoro**. L'esposizione al calore nei luoghi di lavoro causa inoltre una **diminuzione della produttività**, si stima infatti che nei paesi dell'Europa meridionale nel 2030 le ore di lavoro perse a causa dell'aumento della temperatura raddoppieranno rispetto al 1995.

Queste premesse impongono a tutti i soggetti coinvolti (lavoratori, datori di lavoro, associazioni di categoria, operatori della prevenzione, istituzioni) di confrontarsi con il rischio da stress termico e individuare strategie per una sua corretta ed efficace gestione.

LO STUDIO IN FVG

Per studiare questo fenomeno e indicare azioni di prevenzione, durante i mesi di luglio e agosto 2024 il personale della Struttura Operativa di Prevenzione e Sicurezza negli Ambienti di Lavoro afferente al Dipartimento di Prevenzione dell'Azienda Sanitaria Universitaria Friuli Centrale (tecnici della prevenzione, medici del lavoro e assistenti sanitari) ha condotto una campagna di misurazioni sul campo per valutare il **rischio stress termico da calore a cui sono esposti i cosiddetti "lavoratori outdoor"**. Oltre alle misure effettuate tramite strumentazioni sul campo, sono stati somministrati dei questionari per verificare la percezione del rischio da parte dei lavoratori e valutare le misure di prevenzione aziendali e individuali messe in atto in presenza di elevate temperature.

In particolare l'indagine ha preso in considerazione i **lavoratori agricoli del territorio del Medio Friuli**, impegnati nelle attività di coltivazione ortaggi e piante ornamentali, in pieno campo e all'interno di serre, e nelle attività di sfalcio di aree verdi.

Sono stati coinvolti una quarantina di lavoratori che hanno risposto a domande riguardanti le abitudini lavorative e hanno potuto testare alcuni indumenti refrigeranti.

EFFETTI DELLE ELEVATE TEMPERATURE SUL MONDO DEL LAVORO

PATOLOGIE

Crampi da calore, dermatiti, squilibri idrominerali, sincopa da calore, esaurimento da calore, colpo di calore.

INFORTUNI SUL LAVORO

Vi è una significativa associazione tra elevate temperature e rischio di infortunio anche nel comparto agricolo.

PERDITA DI PRODUTTIVITÀ

A causa delle elevate temperature è prevista una forte perdita di produttività del lavoro e una perdita di ore di lavoro perse in particolare nel settore agricolo.

COME SI MISURA LO STRESS TERMICO AL SOLE

Il grado di stress termico da calore è conseguenza di un importante squilibrio del bilancio termico della persona.

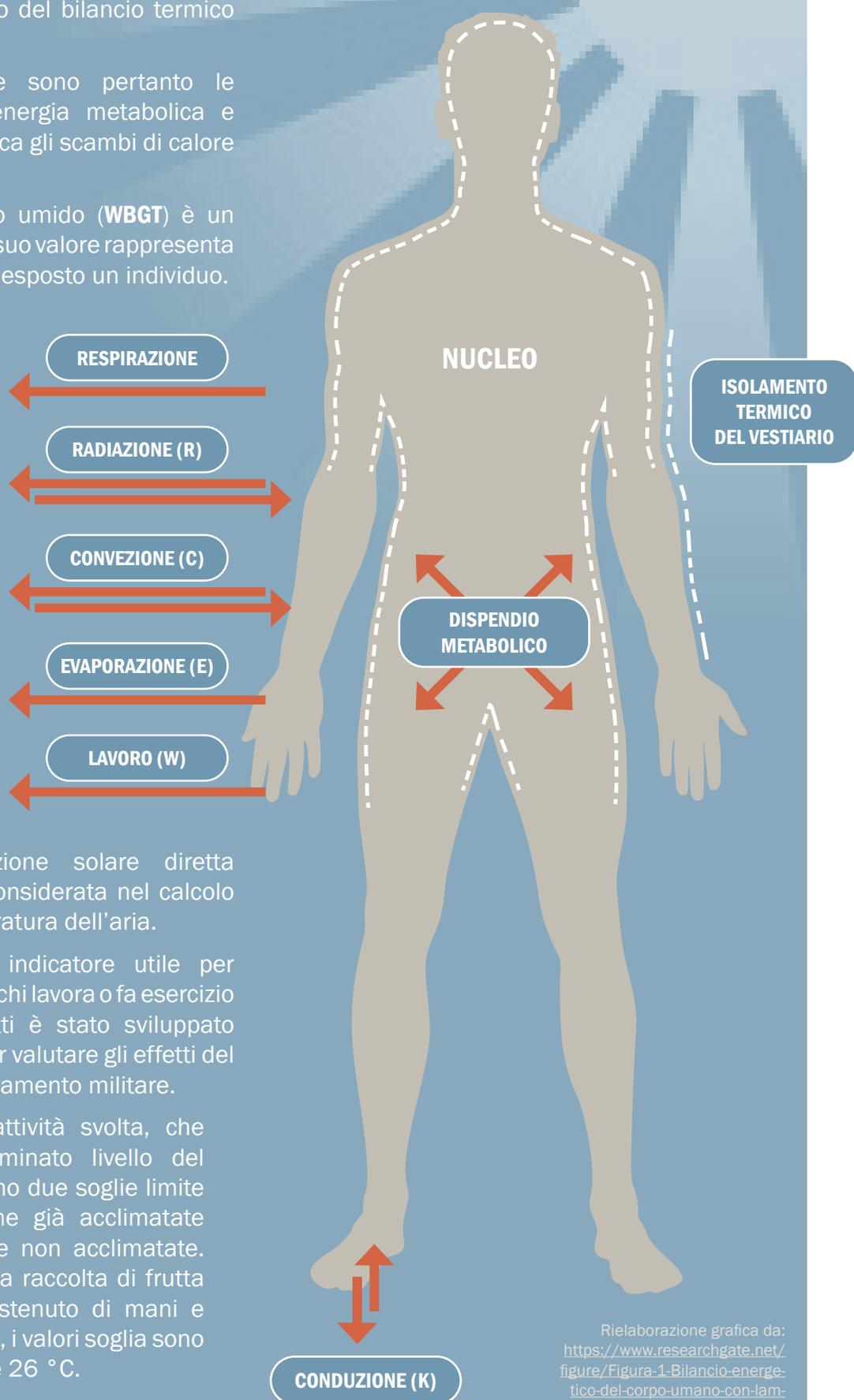
Le variabili da valutare sono pertanto le condizioni ambientali, l'energia metabolica e l'abbigliamento che modifica gli scambi di calore con l'ambiente.

La temperatura del bulbo umido (**WBGT**) è un indice di stress termico e il suo valore rappresenta l'ambiente termico a cui è esposto un individuo.

Questo indice è facile da determinare nella maggior parte degli ambienti e può essere utilizzato come un metodo di screening per stabilire la presenza o l'assenza di stress termico da calore. Il WBGT deriva dalla misura di due parametri: la temperatura del bulbo umido a ventilazione naturale e la temperatura del globotermometro; dove la misura è influenzata dalla radiazione solare diretta (misure *outdoor*), viene considerata nel calcolo del WBGT anche la temperatura dell'aria.

La WBGT è quindi un indicatore utile per monitorare le condizioni di chi lavora o fa esercizio fisico in pieno sole infatti è stato sviluppato dall'esercito americano per valutare gli effetti del caldo nei campi di addestramento militare.

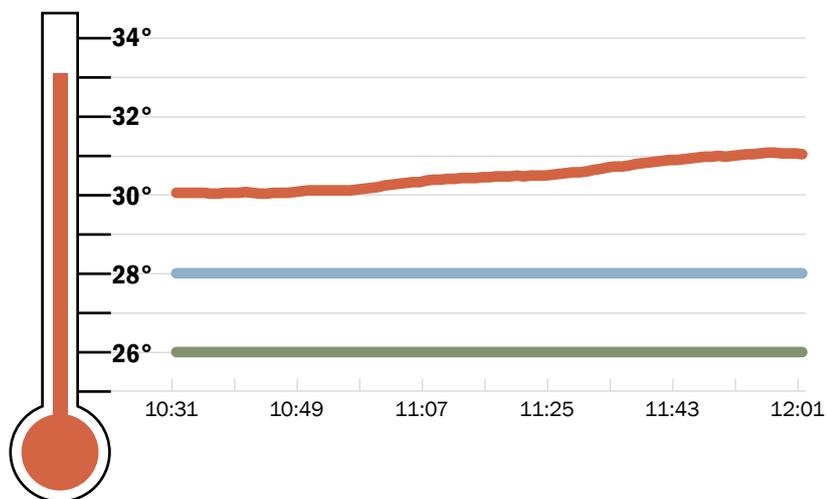
A seconda del tipo di attività svolta, che corrisponde a un determinato livello del metabolismo, si individuano due soglie limite del WBGT, per le persone già acclimatate al caldo e per le persone non acclimatate. Ad esempio, nel caso della raccolta di frutta e verdura, con lavoro sostenuto di mani e braccia e utilizzo di utensili, i valori soglia sono rispettivamente di 28 °C e 26 °C.



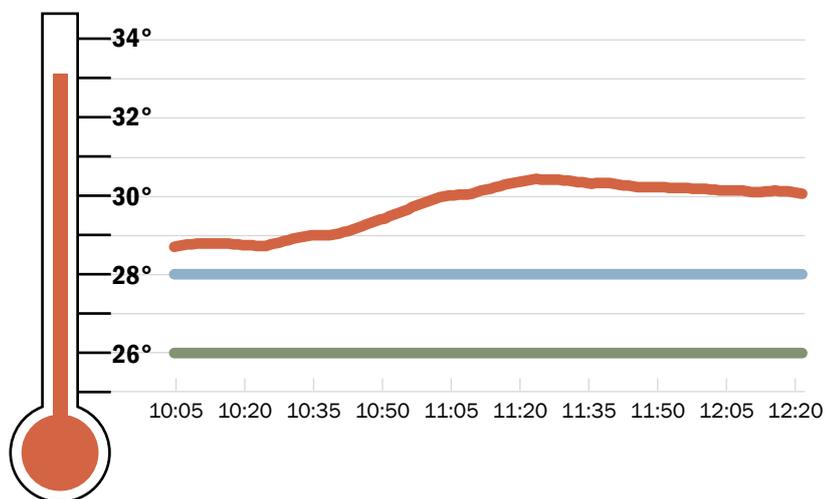
Rielaborazione grafica da:
https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Bilancio-energetico-del-corpo-umano-con-lambiente_fig1_345982461

ESEMPI DI LIVELLI DI STRESS TERMICO A LUGLIO 2024 IN AGRICOLTURA

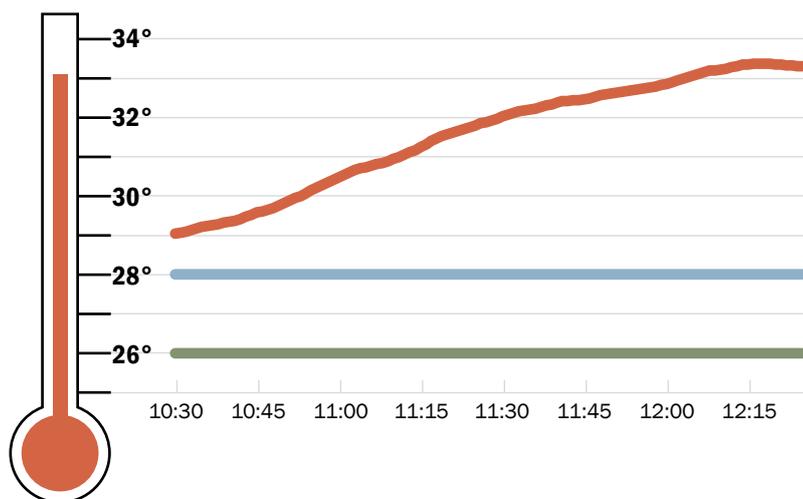
17 luglio 2024
spollonatura
in pieno campo,
al sole



22 luglio 2024
raccolta meloni
in pieno campo,
al sole



22 luglio 2024
raccolta pomodori
in serra,
al sole



- indice di stress termico WBGT: combina la temperatura con l'umidità e la velocità dell'aria
- soglia limite dell'indice WBGT di riferimento per soggetti acclimatati: 28 °C
- soglia limite dell'indice WBGT di riferimento per soggetti NON acclimatati: 26 °C

I RISULTATI

I dati rilevati dalle centraline microclimatiche ed elaborati secondo l'indice WBGT (wet bulb globe temperature, o globotermometro a bulbo umido), che combina la temperatura con l'umidità e la velocità dell'aria, hanno evidenziato come **nella maggior parte delle misure effettuate sono stati superati i valori limite di riferimento** che indicano una situazione di rischio per la salute dei lavoratori. Dalle informazioni raccolte attraverso i questionari è emerso che spesso questa situazione di rischio non è fronteggiata con adeguate azioni e accorgimenti per ridurre lo stress termico. Un tema che dovrà entrare sempre con maggior pregnanza nella **Valutazione dei Rischi che le Aziende devono predisporre** e aggiornare ai mutamenti dei fattori di rischio, come quello microclimatico.

COSA FARE: LE STRATEGIE PER IL FUTURO IMMEDIATO

Visti i risultati delle misurazioni, è prioritario che le aziende individuino corrette strategie per la gestione di tale rischio sia per tutelare la salute e sicurezza dei dipendenti sia per mantenere la produttività nei periodi più caldi dell'anno.

Gli interventi sono facilmente implementabili e a basso costo, come ad esempio la realizzazione di aree ombreggiate per le pause con gazebo od ombrelloni, la fornitura ai dipendenti di acqua fresca e potabile durante l'intero arco della giornata lavorativa; la programmazione di pause, preferibilmente brevi ma frequenti.

Anche **la formazione e la sensibilizzazione dei lavoratori** sul rischio da stress termico sono suscettibili di miglioramento, in quanto trattati probabilmente ancora in maniera superficiale nei percorsi formativi.

Maggiori informazioni si possono reperire sul sito specializzato: workclimate.it

Barbara Alessandrini

Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia
e ASU Friuli Centrale

Carlo Bacchetti, Marco Fabozzi, Mariagrazia Pellegrini
ASU Friuli Centrale



PROTETTI DALLO STRESS TERMICO SUL POSTO DI LAVORO



Per difendere i lavoratori dagli effetti negativi dell'esposizione al caldo è necessario garantire:

SORVEGLIANZA SANITARIA
IDONEITÀ ALLA MANSIONE
ACCLIMATAMENTO ALLE PARTICOLARI
CONDIZIONI DI CALDO



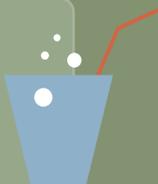
UTILIZZO DI:

INDUMENTI TRASPIRANTI
LUNGI E COPRENTI



OCCHIALI CON PROTEZIONE UV
CREME SOLARI CON ELEVATO SPF

IDRATAZIONE COSTANTE (1L/ORA)
PAUSE BREVI E FREQUENTI IN ZONE
OMBREGGIATE
ALIMENTAZIONE RICCA DI FRUTTA E
VERDURA



CONOSCENZA DEL RISCHIO
CONSAPEVOLEZZA DELL'IMPORTANZA
DELLE AZIONI INDIVIDUALI (ES.
AUTOCONTROLLO IDRATAZIONE)



A young child, seen from the back, is playing in a water fountain. The child is wearing a pink long-sleeved outfit and a colorful striped hat. Water is spraying upwards and outwards from the fountain, creating a misty atmosphere. The child's hands are near the water jets.

PREVENIRE GLI EFFETTI DELLE ONDATE DI CALORE SULLA SALUTE IN FVG

Foto: Lukas by Pexels

Le ondate di calore hanno impatti molto rilevanti sulla salute umana.

Gli effetti sono più accentuati in alcuni soggetti, più vulnerabili per determinate condizioni di età, di salute e socio-economiche

Per proteggere la popolazione e in particolare i soggetti più fragili la Regione ha predisposto un piano operativo che prevede un sistema di allarme basato su specifiche soglie di disagio bioclimatico calcolate tramite uno specifico indicatore (Thom).

Le ondate di calore sono condizioni meteorologiche estreme che si verificano quando si registrano temperature molto elevate e decisamente superiori alla media per più giorni consecutivi, spesso associate a tassi elevati di umidità, forte irraggiamento solare e assenza di ventilazione.

Studi epidemiologici hanno evidenziato come tali condizioni abbiano un impatto significativo sulla salute della popolazione residente nelle aree urbane, in particolare sulla mortalità della popolazione anziana e con comorbidità. L'identificazione dei soggetti a maggior rischio per gli effetti del caldo è un aspetto essenziale della programmazione dei piani di prevenzione che devono prevedere attività mirate ai quei sottogruppi di popolazione che necessitano maggiormente di assistenza sanitaria e supporto sociale.

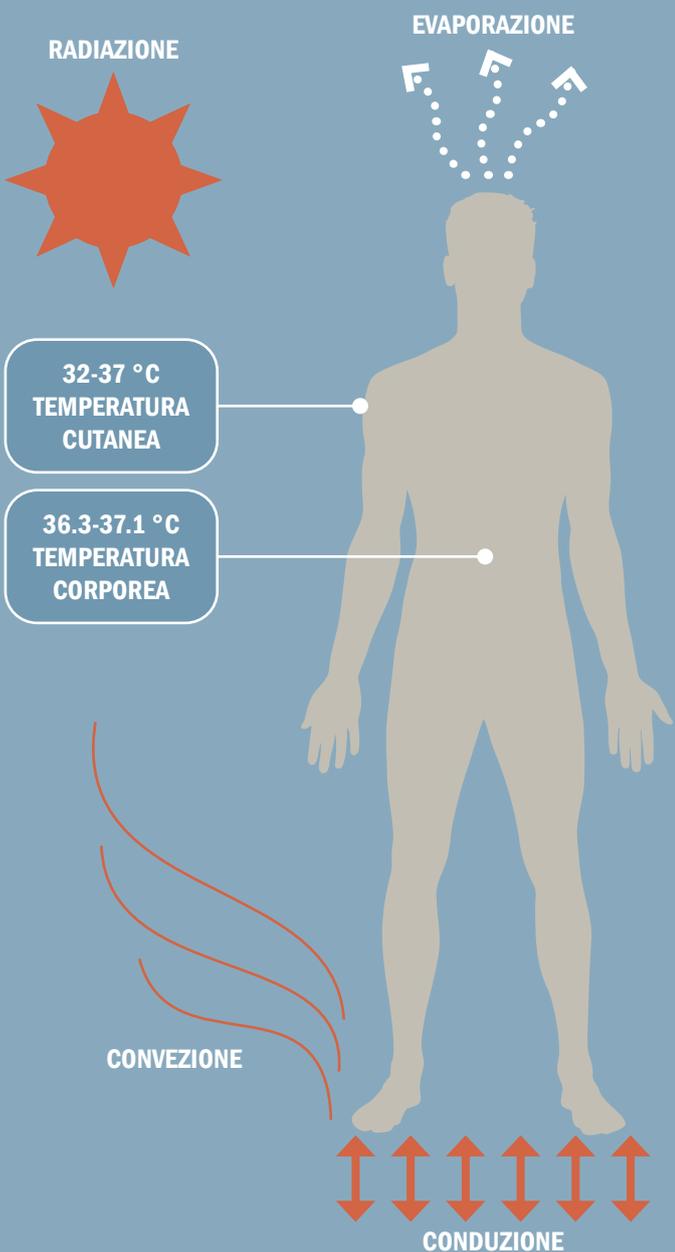
GLI EFFETTI DELLE ONDATE DI CALORE SULLA SALUTE

Gli effetti delle alte temperature sulla salute umana includono una vasta gamma di sintomi, manifestazioni patologiche e conseguenze. Come evidenziato dall'Organizzazione Mondiale della Sanità, sono sempre più consistenti le evidenze di come le ondate di calore causino un aumento di:

- mortalità respiratoria e cardiovascolare;
- ricoveri/accessi in PS per deficit respiratori, diabete, disagi psichici, demenza;
- tosse, dispnea in pazienti con BPCO, broncocostrizione in asmatici;
- rischio di infortuni sul lavoro;
- rischio di nascita pretermine;
- ricoveri.

Questi fenomeni sono collegati ai meccanismi con cui le temperature molto elevate agiscono sull'organismo umano, che includono stress da calore, vasodilatazione, stress cardiovascolare, aumento della frequenza cardiaca, rischio di ischemia cardiaca, infarto, collasso cardiovascolare.

FATTORI CHE INFLUENZANO LA TERMOREGOLAZIONE E IL RISCHIO DI PATOLOGIE ASSOCIATE AL CALDO



FATTORI CHE INFLUENZANO IL COMPORTAMENTO

- deficit fisici o cognitivi
- malattie psichiatriche
- età 0-4 anni

FATTORI CHE AUMENTANO LA PRODUZIONE DI CALORE

- attività fisica
- attività all'aperto
- uso di farmaci

FATTORI CHE INFLUENZANO SULLA GITTATA CARDIACA

- malattie cardiovascolari
- malattie respiratorie
- uso di farmaci

FATTORI CHE RIDUCONO IL VOLUME PLASMATICO

- diarrea
- pregresse malattie renali e metaboliche
- uso di farmaci

FATTORI CHE INFLUENZANO LA SUDORAZIONE

- disidratazioni
- età avanzata
- diabete, sclerodermia
- fibrosi cistica
- uso di farmaci

ANDAMENTO DELLE TEMPERATURE E DELLA MORTALITÀ

L'effetto delle alte temperature sulla mortalità è relativamente immediato, con una latenza solitamente di 1-3 giorni tra il verificarsi di un rapido innalzamento della temperatura e un successivo aumento del numero di decessi. Numerosi studi hanno analizzato l'andamento della mortalità in relazione alle temperature estive: nella figura vediamo un esempio tratto dalla Banca dati indicatori di ISPRA (<https://indicatoriambientali.isprambiente.it/it>) in cui è presente l'indicatore "ondate di calore e mortalità" elaborato a cura del Ministero della salute e del Dipartimento di Epidemiologia del Servizio Sanitario Regionale-Regione Lazio ASL Roma 1.

CHI È PIÙ VULNERABILE AGLI EFFETTI DELLE ONDATE DI CALORE

Sono stati condotti numerosi studi epidemiologici con l'obiettivo di identificare le condizioni associate a una maggiore suscettibilità agli effetti delle alte temperature e delle ondate di calore.

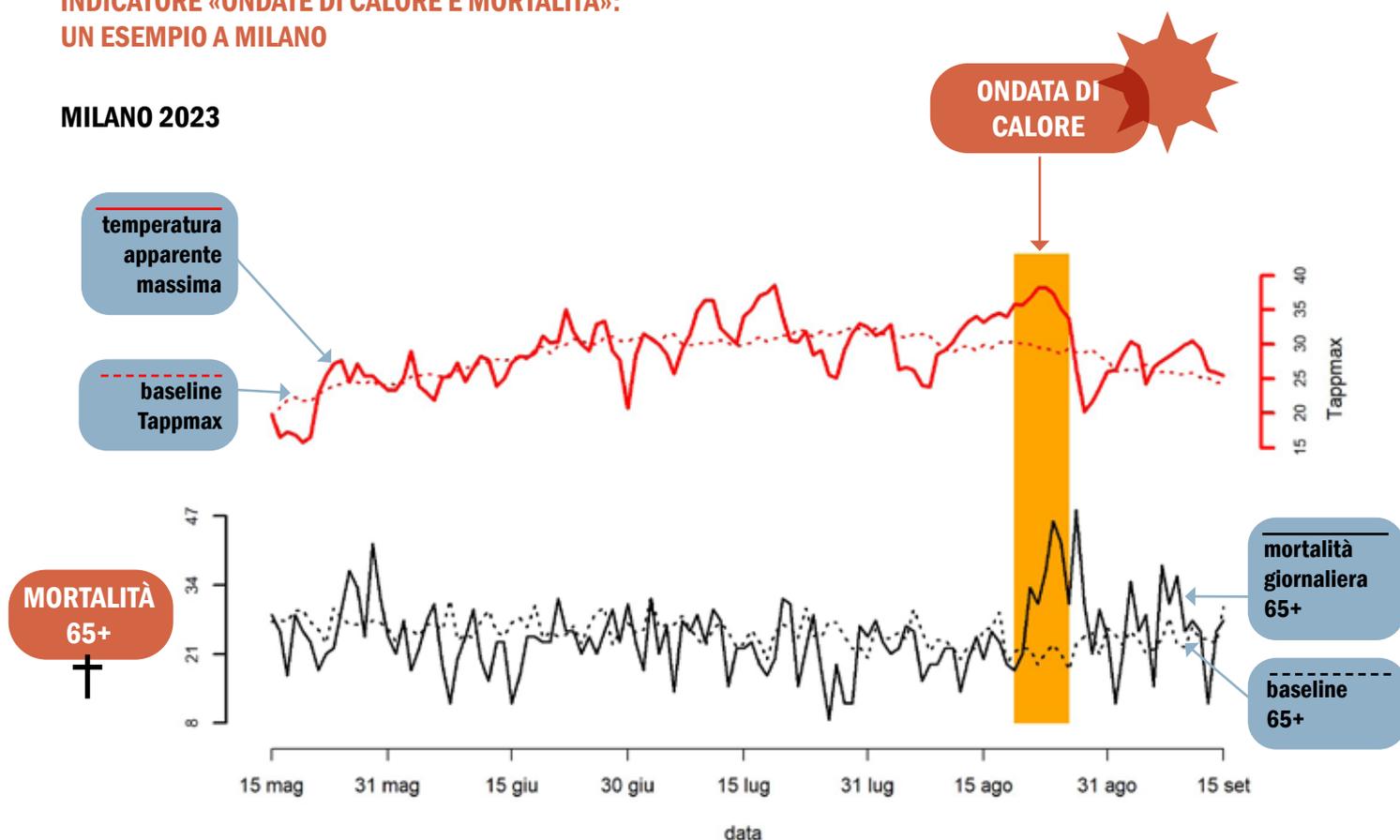
Questi studi evidenziano che gli effetti sono maggiori in alcuni sottogruppi vulnerabili:

- anziani;
- persone con cronicità;
- basso livello socio-economico;
- isolamento sociale;
- persone in condizioni abitative inadeguate;
- lavoratori all'aperto;
- donne in gravidanza;
- bambini piccoli, bambini con patologie croniche (es. fibrosi cistica).

Alcuni aspetti di queste vulnerabilità sono riassunti nell'infografica precedente, tratta dalla sezione "Vulnerabilità della popolazione e fattori di rischio" delle [Linee di indirizzo per la prevenzione del caldo sulla salute](#) (Ministero della Salute e Centro Nazionale Prevenzione e Controllo Malattie, 2019), a cui si rimanda per le descrizioni complete e per informazioni più approfondite, anche sui meccanismi con cui le alte temperature agiscono sull'organismo umano e sulla sua fisiologia.

INDICATORE «ONDATE DI CALORE E MORTALITÀ»: UN ESEMPIO A MILANO

MILANO 2023



Milano - Andamento giornaliero della temperatura apparente massima e del numero di decessi osservati e attesi nella classe di età 65 anni e oltre (2023). Fonte: ISPRA, Annuario dei dati ambientali 2024, indicatore ONDATE DI CALORE E MORTALITÀ (Figura 3a) <https://indicatoriambientali.isprambiente.it/it/clima/ondate-di-calore-e-mortalita>

VULNERABILITÀ DELLA POPOLAZIONE E FATTORI DI RISCHIO

PERSONE MOLTO ANZIANE E/O NON AUTOSUFFICIENTI



Gli studi epidemiologici hanno evidenziato che i rischi maggiori sono a carico delle fasce di popolazione anziane (65-84 anni) e molto anziane (85 anni e oltre) se affetti da una o più patologie croniche o non autosufficienti a livello motorio o psichico, in particolare se vivono da soli senza supporto familiare o sociale. [...]

PERSONE CON MALATTIE RESPIRATORIE



Le elevate temperature e le ondate di calore sono associate a incrementi della mortalità e dei ricoveri ospedalieri per patologie respiratorie, con gli effetti maggiori a carico delle persone anziane affette da malattie polmonari croniche. [...]

PERSONE CON DISTURBI PSICHICI O NEUROLOGICI



Le persone che soffrono di disturbi psichici possono essere più vulnerabili perché a causa del loro minore grado di consapevolezza del rischio possono assumere comportamenti inadeguati. Anche alcune malattie neurologiche e alcuni farmaci possono accrescere la vulnerabilità. [...]

PERSONE CON MALATTIE CARDIOVASCOLARI



Il soggetto cardiopatico ha una ridotta capacità di reagire allo stress termico a causa della difficoltà di potenziare il lavoro cardiaco, necessaria per aumentare il volume del circolo cutaneo e quindi la dispersione di calore. [...]

PERSONE CON MALATTIE METABOLICHE



Le persone con diabete hanno minore capacità di disperdere il calore corporeo attraverso il flusso sanguigno periferico e la sudorazione e questo ha conseguenze sulla regolazione cardiovascolare e sul controllo della glicemia. [...]

PERSONE CON INSUFFICIENZA RENALE



Un altro gruppo a rischio è quello dei pazienti con insufficienza renale sia per problemi legati alla disidratazione, sia perché possono andare incontro più facilmente a sbalzi di pressione durante i periodi di caldo intenso. [...]

DONNE IN GRAVIDANZA



Le donne in gravidanza sono più suscettibili alle elevate temperature, per la loro ridotta capacità di termoregolazione, dovuta ai cambiamenti fisiologici che il loro organismo subisce. Le ondate di calore possono favorire un aumento di nascite pretermine e di bambini con peso inferiore all'atteso. [...]



NEONATI E BAMBINI PICCOLI

I neonati e i bambini piccoli sono più a rischio di disidratazione degli adulti per il maggiore rapporto superficie/volume e per il maggior ricambio giornaliero di liquidi. Temperatura e umidità elevate possono inoltre favorire, sia direttamente sia indirettamente mediante l'incremento della concentrazione di ozono e di altri inquinanti atmosferici, fenomeni di broncospasmo nei soggetti predisposti. [...]



LAVORATORI ALL'APERTO

Molte attività lavorative si svolgono all'aperto e spesso attività complesse e pesanti sono programmate d'estate. Molte attività professionali che richiedono anche intenso sforzo fisico sono svolte anche nelle ore più calde della giornata a elevato rischio di stress termico. In situazioni in cui il carico termico totale (ambiente più calore metabolico) supera le capacità del corpo di mantenere le normali funzioni corporee si verifica uno stress termico. [...]



TURISTI E PARTECIPANTI A EVENTI DI MASSA

Sebbene la popolazione che viaggia sia più giovane della popolazione generale, i turisti possono essere maggiormente esposti ad alcuni rischi associati al caldo in quanto possono avere un minore acclimatemento al clima locale, una maggiore esposizione diretta al caldo e al sole, una minore capacità di conservare correttamente gli alimenti esponendosi al rischio di gastroenteriti, maggiori difficoltà di comunicazione nell'accesso ai servizi sanitari in caso di emergenza.

Durante l'estate, nelle persone che partecipano a grandi eventi (concerti, raduni sportivi ecc.) aumenta il rischio di disidratazione, di sovraesposizione al caldo e conseguente rischio di patologie associate al caldo. [...]



PERSONE SOCIALMENTE ISOLATE, PERSONE SENZA FISSA DIMORA

L'isolamento sociale, soprattutto nelle persone anziane e nelle persone con malattie croniche, aumenta il rischio di disidratazione e altri disturbi associati al caldo a causa di una minore capacità di risposta della persona che vive da sola, senza supporto familiare o sociale, di una minore consapevolezza dei rischi, di minore capacità di controllare l'idratazione e una corretta alimentazione, e in generale di una minore capacità di proteggersi dal caldo in casa e fuori.

Un altro gruppo a rischio è costituito dalle persone senza fissa dimora, a causa della mancanza di riparo, idratazione inadeguata e concomitanza di altre condizioni. [...]

DALL'ONDATA DI CALORE DEL 2003 UN NUOVO IMPULSO ALLA PREVENZIONE

A seguito dell'ondata di calore che ha segnato l'estate 2003 e che in Europa causò **circa 70.000 morti in eccesso con maggiore impatto sulla popolazione anziana**, in particolare su persone con diverse patologie concomitanti o in situazioni di isolamento sociale, il Ministero della Salute in collaborazione con il Centro per il Controllo delle Malattie (CCM) avviò una serie di iniziative per **superare le carenze conoscitive** sul fenomeno e sulle misure per fronteggiarlo e per **fornire supporto tecnico** alle autorità locali per far sì che, nelle estati successive, ci fosse una maggiore preparazione e coordinamento. Tra le prime iniziative avviate dal Ministero, ci fu la costituzione di un **gruppo di lavoro nazionale** che elaborò delle specifiche linee guida diffuse alle Regioni affinché disponessero di **indirizzi operativi, fondati sulle evidenze scientifiche**, per preparare Piani locali di prevenzione e risposta all'emergenza. Durante l'emergenza del 2003 emerse, infatti, l'assenza di protocolli operativi con la definizione di ruoli, tempistica, modalità operative che facilitasse il coordinamento tra i diversi attori. A livello nazionale il Ministero della Salute in collaborazione con il CCM a partire dal 2005 ha attivato il **"Piano Nazionale di Prevenzione degli effetti del caldo sulla salute"**. Il progetto sviluppato dal CCM, che include 27 città, compresa Trieste, prevede l'attivazione di sistemi di previsione e allarme città-specifici: **Heat Health Watch Warning** (HHWWs) che, utilizzando le previsioni meteorologiche, sono in grado di prevedere il verificarsi di situazioni a rischio per la salute.

GIÀ DAL 2004 UN SISTEMA DI ALLARME IN FVG

La Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia, già a partire dall'estate del 2004, ritenendo di avvalersi di un sistema di allarme sviluppato a livello locale, ha predisposto un protocollo operativo con l'Agenzia Regionale per la Protezione dell'ambiente (ARPA FVG) che prevede l'attivazione dei **sistemi di previsione e allarme** che, con **72 ore di anticipo**, fa conoscere l'arrivo dell'ondata di calore per una o più delle cinque (ora sette) aree cui è stata suddivisa la Regione. Ciò consente di attivare

tempestivamente adeguati interventi preventivi e assistenziali necessari per prevenire danni gravi alla salute delle categorie più esposte e, in particolare, delle persone anziane che versano in condizioni di difficoltà fisiche, socioeconomiche o in solitudine. Nel 2013 la Regione e l'ARPA FVG hanno aggiornato la procedura di allertamento passando dal criterio di temperatura maggiore di 33°C e concomitante umidità maggiore del 50%, all'utilizzo di una nuova modalità basata sull'indice di Thom.

2024: IL NUOVO PIANO OPERATIVO

Nel 2024 la regione FVG ha ritenuto necessario predisporre un **"Piano Operativo per la prevenzione degli effetti degli effetti del caldo sulla salute"** coinvolgendo le strutture, regionali e non, che sono titolari di competenze in materia: l'Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale (ARPA FVG), la Direzione Centrale Salute, Politiche Sociali e Disabilità (DCS), l'Azienda Regionale di Coordinamento per la Salute (ARCS), la Struttura Operativa Regionale Emergenza Sanitaria (SORES), le Aziende Sanitarie regionali con tutte le strutture operative aziendali implicate nella problematica (in particolare Ospedali e Distretti Sanitari), gli Istituti Ricovero Cura a Carattere Scientifico (IRCCS), i medici di medicina generale (MMG), i Comuni (Servizi Sociali) e le sezioni comunali della Protezione Civile Regionale (PC).

Il Piano contiene le **linee di indirizzo** per la gestione organizzata e strutturata delle problematiche relative alle ondate di calore, che dovranno essere recepite ed elaborate da ciascuna Azienda Sanitaria della regione attraverso uno specifico Piano Operativo Aziendale.

SISTEMA DI ALLARME REGIONALE: INDICE DI THOM

A livello regionale si è ritenuto di adottare il sistema di allarme sviluppato dalla regione Emilia-Romagna basato sull'indicatore "Discomfort Index" (DI), introdotto da Thom nel 1959, dove le **soglie del disagio bioclimatico** utilizzate per il sistema di previsione sono state identificate tramite uno studio sulla mortalità condotto nell'area urbana di Bologna.

L'indice di Thom (DI) viene **aggiornato quotidianamente** nei mesi estivi da ARPA FVG e copre tutte le 7 aree climatiche del territorio

regionale: Costa occidentale, Costa orientale e Trieste, Carso, Bassa e Media pianura, Colli e Alta pianura, Tolmezzino, Monti.

Tale sistema è stato utilizzato a livello regionale dopo anni di confronto con il sistema HHWWs applicato nella città di Trieste, evidenziando la sostanziale equivalenza dei due sistemi ai fini della previsione del rischio ma con il vantaggio della sua estensione alle altre località regionali. Sono state definite quattro classi di disagio climatico: nessun disagio, debole disagio, disagio, forte disagio e corrispondono al colore verde, giallo, arancione, rosso. La fase di allarme si attiva quando si prevede che nelle suddette aree vengano superate per due giorni consecutivi una e/o l'altra delle soglie previste:

- la soglia di **25** per il **valore medio giornaliero** dell'indice di Thom;
- la soglia di **28** per il **valore massimo giornaliero** dell'indice di Thom.

LA PROCEDURA DI ALLERTAMENTO PER IL FVG

In Friuli Venezia Giulia, l'ARPA FVG gestisce l'attivazione del sistema di allarme e, sulla base dei livelli di disagio bioclimatico, allerta la Direzione Centrale Salute e la Struttura Operativa Regionale Emergenza Sanitaria (SORES).

Il **livello di disagio** indicato dall'indice di Thom, **specifico per ciascuna area omogenea**, permette di attivare le procedure di allerta e di allarme e di modulare gli interventi sulla base dei livelli di disagio evidenziati.

Il livello di disagio per una zona si ritiene raggiunto quando l'indice supera il valore previsto in almeno il 30% delle località.

In caso di primo raggiungimento stagionale, anche di una giornata, del **Livello 1 - Debole disagio**, per almeno una delle 7 aree omogenee regionali, ARPA FVG invia una comunicazione di **attivazione della fase di Allerta** alla DCS e alla SORES.

In caso di raggiungimento per almeno due giornate consecutive (una giornata nel caso di primo raggiungimento stagionale) del **Livello 2 - Disagio**, per almeno una delle 7 aree omogenee regionali, ARPA FVG invia una comunicazione di **attivazione della fase di Allarme** alla DCS e alla SORES che ha il compito di diffondere l'allarme per il disagio bioclimatico dovuto al caldo agli enti e soggetti individuati dalla DCS, tramite PEC anticipata via e-mail.

L'indice previsto è inoltre visualizzabile in codice colore anche sul sito tematico di ARPA FVG (<https://www.meteo.fvg.it/caldo.php?ln>). La fase di Allarme si attiva quando una zona si colora di arancio o rosso per due giornate consecutive.

SOGLIE DI ALLERTAMENTO IN FVG

		LIVELLO 1		LIVELLO 2	
Indice di Thom medio giornaliero	DI <23	23 ≤ DI <25	25 ≤ DI <26	DI ≥ 26 oppure DI ≥ 25 per tre o più giorni consecutivi	
Indice di Thom massimo giornaliero	DI <26	26 ≤ DI <28	28 ≤ DI <29	DI ≥ 29 oppure DI ≥ 28 per tre o più giorni consecutivi	
Livello di disagio	0 - Nessun disagio	1 - Debole disagio	2 - Disagio	3 - Forte disagio	
Colore	Verde	Giallo	Arancione	Rosso	

L'allertamento avviene con una comunicazione alla Direzione Centrale Salute e alla SORES quando in almeno il 30% delle località di un'area si prevede:

- Primo superamento stagionale anche per una sola giornata del **Livello 1**
- Dal secondo superamento stagionale per almeno due giornate consecutive del **Livello 2**

L'INDICE DI DISAGIO BIOCLIMATICO (THOM) E LA SUA APPLICAZIONE IN FVG

INDICE DI THOM

L'indice di disagio proposto da Thom, il "Discomfort Index" (DI), è considerato uno dei migliori indici di stima della temperatura effettiva ed è usato per scopi di allertamento anche in altre regioni italiane (Emilia-Romagna). Questo "indice arbitrario" combina, in un singolo valore, l'effetto di temperatura e umidità, in assenza di movimento dell'aria, sulla sensazione di caldo o freddo percepita dal corpo umano. Il DI tiene conto della temperatura di bulbo umido e della temperatura di bulbo asciutto di posti ombreggiati e protetti dal vento secondo la seguente formula:

$$DI = 0.4 \times (Ta + Tw) + 4.8$$

Ta = temperatura di bulbo asciutto (°C); Tw = temperatura di bulbo umido (°C).

Oppure secondo la seguente formula semplificata:

$$DI = Ta - (0.55 - 0.0055 \times UR) \times (Ta - 14.5)$$

Ta = temperatura di bulbo asciutto (°C); UR = umidità relativa (%). Questo indice è adatto per descrivere le condizioni di disagio fisiologico dovute al caldo-umido ed è sensibile in un intervallo termico compreso tra 21 °C e 47 °C. Al di fuori di tale intervallo, anche al variare dell'umidità relativa, l'indice attribuisce sempre la condizione fisiologica alle classi estreme, cioè "benessere" per temperature inferiori a 21 °C e "stato di emergenza medica" per temperature superiori a 47 °C.

L'indice di Thom è stato originalmente usato per dare una stima del disagio fisico dovuto al calore. Questa classificazione viene riportata in tabella 1 (Matzarakis e Majer, 1991).

Poiché la formula di Thom è approssimabile con una formula semplificata, che utilizza solo la temperatura di bulbo asciutto e l'umidità relativa, in tabella 2 vengono riportate le stesse classi di disagio in funzione di questi valori.

L'esperienza della Regione Emilia Romagna ha evidenziato un aumento della mortalità con il superamento di valori medi giornalieri dell'indice pari a 25 e di valori massimi giornalieri pari a 28, oltre a una correlazione tra l'aumento dei decessi e la persistenza della stessa classe di disagio per più giorni consecutivi.

INDICE DI THOM – LA DEFINIZIONE DELLE SOGLIE IN FRIULI VENEZIA GIULIA

Sulla base dei dati sopra esposti e in considerazione del fatto che ARPA FVG non elabora solo valori interi approssimati dell'indice di Thom ma valori fino al primo decimale, in Friuli Venezia Giulia si è deciso di procedere alla seguente classificazione (tabella 3).

INDICE DI THOM – PROCEDURA DI CALCOLO DEL VALORE PREVISTO

Per ogni ora del giorno vengono elaborati, sulla base dei dati misurati da tutte le stazioni meteorologiche regionali disponibili al momento, grigliati di temperatura e umidità relativa. Per ogni ora del giorno e per i successivi tre giorni vengono elaborati, sulla base dei dati del modello meteorologico IFS HRES di ECMWF, grigliati di temperatura e di umidità relativa previsti.

Per ognuna delle sette zone in cui è stata suddivisa la regione sono state scelte alcune località di riferimento, in corrispondenza delle stazioni meteorologiche esistenti sul territorio, e il confronto tra i dati misurati e quelli che erano stati previsti negli ultimi 7 giorni consente di correggere il dato orario di temperatura e umidità relativa previsto dal modello nei successivi tre giorni.

Con questi dati modellistici corretti, sulle stesse località viene elaborato l'indice di Thom previsto per il giorno stesso e per i due giorni successivi evidenziandone il valore medio e il valore massimo giornaliero.

SUDDIVISIONE AREE FRIULI VENEZIA GIULIA

Sulla base di considerazioni meteoroclimatiche e tenendo conto dell'esperienza delle altre regioni, anche la regione Friuli Venezia Giulia è stata suddivisa in sette aree:

- **Costa occidentale** (località di riferimento di Grado e Lignano),
- **Costa orientale e Trieste** (località di riferimento di Trieste),
- **Carso** (località di riferimento di Sgonico),
- **Bassa e Media pianura** (località di riferimento di Brugnera, Capriva del Friuli, Cervignano del Friuli, Codroipo, Gradisca d'Isonzo, Palazzolo dello Stella, Pordenone-Cordenons, Villotta di Chions, Talmassons e Udine)
- **Colli e Alta pianura** (località di riferimento di Cividale del Friuli, Zompitta, Fagagna, Gemona del Friuli, Vivaro)
- **Tolmezzino** (località di riferimento di Enemonzo e Tolmezzo)
- **Monti** (località di riferimento di Forni di Sopra, Musi, Piancavallo, Pontebba, Tarvisio, Barcis).

È stata mantenuta la divisione amministrativa dei comuni tra alta pianura e media pianura, ma verso la montagna, verso il mare e sul Carso questo non era possibile e quindi molti comuni in queste aree climatiche sono stati tagliati in due zone in base all'altitudine o alla distanza dal mare: tra bassa pianura e costa la linea di demarcazione si attesta a una distanza dal mare di un paio di km; tra i monti e l'alta pianura il taglio si attesta attorno ai 500-600 metri di quota; sul Carso invece il taglio si può pensare in parte sul ciglione carsico e a Trieste sui 200 m di quota circa.

CLASSIFICAZIONE LIVELLI DI DISAGIO

DESCRIZIONE	CLASSE DI
Benessere	DI <21
Leggero disagio avvertito da meno del 50% della popolazione	21 ≤ DI < 24
Crescente disagio avvertito da più del 50% della popolazione	24 ≤ DI < 27
Disagio e significativo deterioramento delle condizioni psicofisiche	27 ≤ DI < 29
Forte disagio nella popolazione	29 ≤ DI < 32
Stato di emergenza medica. Forte disagio rischio di colpi di calore elevato e pericoloso.	DI ≥ 32

Tabella 1: Indice di Thom: classificazione dei livelli di disagio (Matzarakis e Majer, 1991- Giles e al. 1990).

LIVELLI DI DISAGIO IN FUNZIONE DELLA TEMPERATURA E DELL'UMIDITÀ

temperatura di bulbo asciutto °C	umidità																			
	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	
20	16	16	16	17	17	17	18	18	18	19	19	19	19	20	20	20	20	21	21	
21	16	17	17	17	18	18	18	19	19	19	20	20	20	20	21	21	21	21	22	
22	17	17	18	18	18	19	19	19	20	20	20	21	21	21	21	22	22	22	22	
23	18	18	18	19	19	20	20	20	20	21	21	21	22	22	22	22	23	23	23	
24	18	19	19	19	20	20	21	21	21	22	22	22	22	23	23	23	23	24	24	
25	19	19	20	20	21	21	21	22	22	22	23	23	23	23	24	24	24	25	25	
26	20	20	20	21	21	22	22	22	23	23	23	24	24	24	25	25	25	25	26	
27	20	21	21	22	22	22	23	23	23	24	24	24	25	25	25	26	26	26	26	
28	21	21	22	22	23	23	23	24	24	24	25	25	25	26	26	26	27	27	27	
29	21	22	22	23	23	24	24	24	25	25	26	26	26	27	27	27	27	28	28	
30	22	23	23	24	24	24	25	25	26	26	26	27	27	27	28	28	28	29	29	
31	23	23	24	24	25	25	26	26	26	27	27	27	28	28	28	29	29	29	30	
32	23	24	24	25	25	26	26	27	27	27	28	28	29	29	29	30	30	30	30	
33	24	24	25	26	26	26	27	27	28	28	29	29	29	30	30	30	31	31	31	
34	25	25	26	26	27	27	28	28	29	29	29	30	30	30	31	31	31	32	32	
35	25	26	26	27	27	28	28	29	29	30	30	30	31	31	32	32	32	32	33	
36	26	26	27	28	28	29	29	30	30	30	31	31	32	32	32	33	33	33	34	
37	26	27	28	28	29	29	30	30	31	31	32	32	32	33	33	33	34	34	34	
38	27	28	28	29	29	30	30	31	31	32	32	33	33	33	34	34	35	35	35	
39	28	28	29	30	30	31	31	32	32	33	33	33	34	34	35	35	35	36	36	
40	28	29	30	30	31	31	32	32	33	33	34	34	35	35	35	36	36	36	37	

Tabella 2: Indice di Thom: DI in funzione di valori interi della temperatura di bulbo asciutto e dell'umidità relativa.

CLASSIFICAZIONE LIVELLI DI DISAGIO IN FRIULI VENEZIA GIULIA

DI Indice di Thom medio giornaliero	DI <23	23 ≤ DI <25	25 ≤ DI <26	DI ≥ 26 oppure DI ≥25 per tre o più giorni consecutivi
DI Indice di Thom massimo giornaliero	DI <26	26 ≤ DI <28	28 ≤ DI <29	DI ≥ 29 oppure DI ≥28 per tre o più giorni consecutivi
Livello di disagio	0 - Nessun disagio	1 - Debole disagio	2 - Disagio	3 - Forte disagio
Colore	Verde	Giallo	Arancione	Rosso

Tabella 3: classificazione del disagio bioclimatico in base all'indice di Thom in Friuli Venezia Giulia.

INTERVENTI DI PREVENZIONE LOCALI

Il Piano Operativo Regionale (POR) prevede **interventi differenziati** a seconda del livello di disagio bioclimatico in atto e della suscettibilità della popolazione.

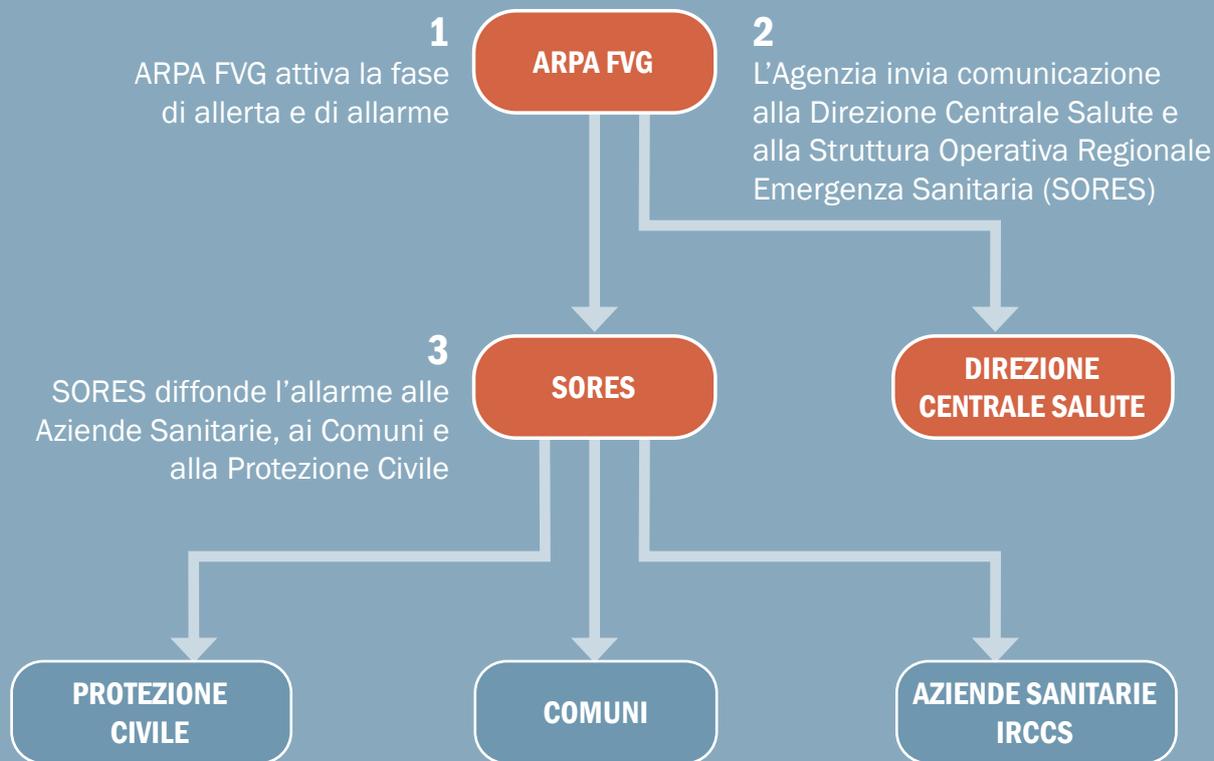
Le **azioni** da mettere in campo a livello locale vengono raccomandate dal POR e **devono essere declinate e contestualizzate, per quanto di competenza di ciascun ente** o istituzione. Le modalità di attivazione e i protocolli devono essere realizzati in maniera integrata e sinergica. In particolare, ciascuna Azienda Sanitaria deve predisporre un Piano Operativo Aziendale per l'emergenza caldo da attivare per il territorio di competenza.

Per ciascun ente o istituzione i criteri di attivazione devono essere basati sul sistema di allarme regionale, le modalità di attivazione devono essere coerenti e basate sulla **collaborazione interistituzionale**.

È fortemente raccomandato il **coinvolgimento del volontariato e della popolazione** in particolare negli interventi di domiciliarità al servizio di persone anziane e disabili, soprattutto se vivono da sole.

Contestualmente al POR la Direzione Centrale Salute realizza una serie di raccomandazioni per la popolazione generale.

SCHEMA DEL SISTEMA DI ALLERTAMENTO



Schematizzazione del sistema di allertamento previsto dal Piano Operativo Regionale

LE MAPPE DELL'INDICE DI DISAGIO BIOCLIMATICO ELABORATE DA ARPA FVG

L'indice di Thom (DI) previsto viene aggiornato quotidianamente nei mesi estivi da ARPA FVG e copre tutte le aree climatiche omogenee del territorio regionale.

Sulla base di considerazioni meteorologiche la regione Friuli Venezia Giulia è stata suddivisa in 7 aree omogenee, contenenti un certo numero di località di riferimento corrispondenti a stazioni meteorologiche automatiche:

- Costa occidentale
- Costa orientale e Trieste
- Carso
- Bassa e Media pianura
- Colli e Alta pianura
- Tolmezzino
- Monti

Dove era possibile è stata mantenuta la divisione amministrativa dei comuni, dove non era possibile i comuni sono stati suddivisi in due zone climatiche in base all'altitudine o alla distanza dal mare: tra bassa pianura e costa la linea di demarcazione si attesta a una distanza dal mare di un paio di km; tra i monti e l'alta pianura attorno ai 500-600 metri di quota; sul Carso in parte sul ciglione carsico e a Trieste sui 200 m di quota circa.

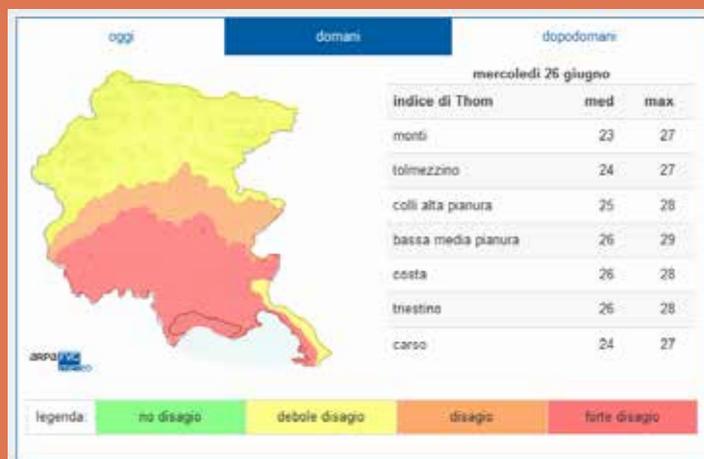
Quando l'indice di Thom supera in almeno il 30% delle località il valore previsto per un determinato livello di disagio bioclimatico, questo viene attribuito all'intera zona che nella mappa si colora di conseguenza.

ALCUNI ESEMPI DI MAPPE DELL'INDICE DI DISAGIO BIOCLIMATICO

ottenute dai dati osservati o previsti per diverse date nel corso degli anni:



Mappa di disagio bioclimatico osservato il 4 agosto 2017



Mappa di disagio bioclimatico previsto per il 26 giugno 2019



Mappa di disagio bioclimatico previsto per il 30 luglio 2020

CONCLUSIONI

Alla luce dell'aumento delle temperature estive rilevato e previsto in Friuli Venezia Giulia nei diversi scenari climatici, la Regione e le istituzioni competenti hanno quindi già avviato misure concrete per rafforzare la prevenzione degli effetti delle ondate di calore sulla salute. In sintesi, è stato approvato un Piano operativo regionale, contenente le linee di indirizzo per una gestione organizzata e strutturata della problematica con particolare attenzione alle persone più vulnerabili, mentre le Aziende Sanitarie sono tenute a predisporre specifici Piani Operativi Aziendali per l'emergenza caldo per il territorio di competenza. Le principali azioni previste includono protocolli mirati per le strutture sanitarie, collaborazione con le case di riposo, monitoraggio dei soggetti a rischio, attivazione di spazi climatizzati, formazione del personale e iniziative informative rivolte a pazienti fragili e caregiver.

Gabriella Trani

Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia

Livio Stefanuto

ARPA FVG

“ONE HEALTH”: INTEGRARE AMBIENTE, CLIMA E SALUTE NEI PIANI DELLA PREVENZIONE

Foto: Nader Saremi by Unsplash

I complessi effetti dei cambiamenti climatici sulla salute umana possono essere affrontati in modo integrato attraverso l'approccio *One Health* che promuove insieme la salute umana, ambientale e animale e che ha improntato la recente pianificazione per la salute in Italia e in FVG.

Il Piano Regionale della Prevenzione attua gli obiettivi stabiliti a livello nazionale concretizzandoli in interventi mirati per il FVG che includono adattamento e mitigazione, dando molta importanza alla formazione di medici e operatori sanitari.

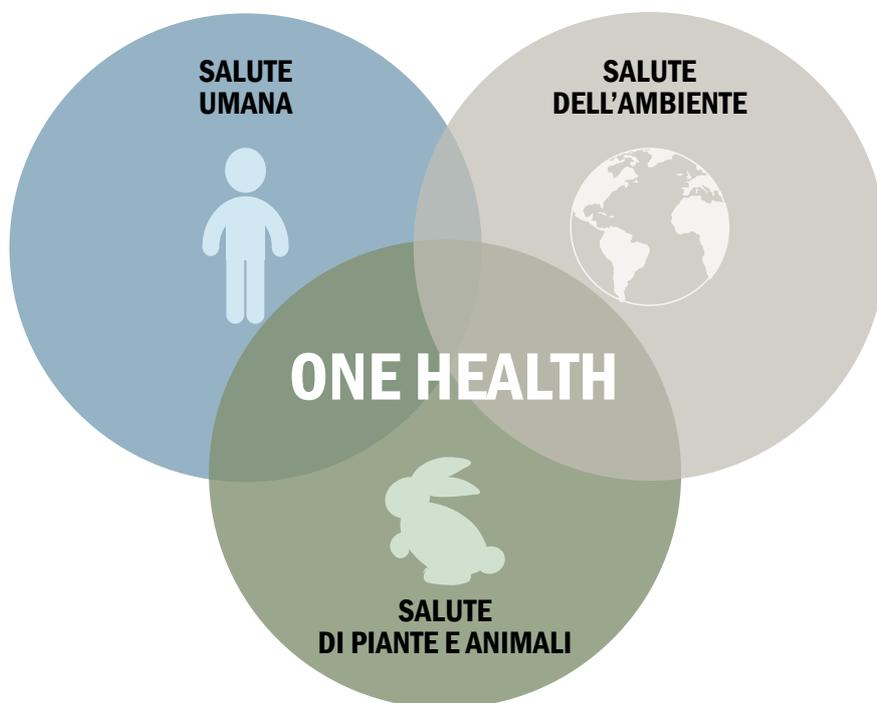
Le conseguenze del riscaldamento globale e dei cambiamenti climatici che ne derivano non riguardano solo l'ambiente, ma influenzano direttamente la salute pubblica, compromettendo la sicurezza alimentare, la disponibilità di acqua potabile e aumentando la diffusione di malattie infettive. In questo contesto, diventa cruciale l'integrazione di strategie sanitarie volte alla mitigazione e all'adattamento, al fine di ridurre gli impatti negativi sulla popolazione. Per affrontare in modo integrato queste problematiche così complesse, sempre più spesso si parla di approccio “*One health*”, ma il concetto, o quantomeno le sue implicazioni, appaiono poco noti talvolta persino agli addetti ai lavori.

ONE HEALTH: UN CONCETTO SEMPLICE, MA POTENTE

Il concetto di *One Health*, letteralmente “una sola salute”, è stato introdotto negli anni 2000 per esprimere l’interdipendenza che unisce la salute umana a quella animale, le quali sono a loro volta connesse al corretto mantenimento dell’ecosistema in cui esistono. Il concetto parte da un presupposto semplice ma potente: **la salute dell’uomo è strettamente collegata a quella degli animali e dell’ambiente** sottolineando l’importanza di una strategia integrata per affrontare sfide globali come i cambiamenti climatici. I cambiamenti climatici, infatti,

possono influenzare la salute umana, animale e dell’ecosistema, aumentando il rischio di zoonosi, malattie trasmesse da insetti e resistenza dagli antibiotici.

In un mondo segnato da crisi sanitarie, cambiamenti climatici e squilibri ambientali, l’approccio *One Health* ribadisce l’importanza di **considerare l’essere umano come parte di un sistema più ampio** che include animali, piante e l’ambiente.



Schema che illustra come secondo l’approccio *One Health* tutte le azioni volte a prevenire, prevedere, rilevare e rispondere alle minacce per la salute dovrebbero tenere conto delle interconnessioni tra la salute umana, animale, vegetale e dell’ecosistema.

Tratto e rielaborato dallo schema dell’Agenzia Europea per l’Ambiente: <https://www.eea.europa.eu/en/topics/at-a-glance/health/one-health>

UNA SALUTE UNICA E INTEGRATA

Dobbiamo quindi adottare una nuova mentalità: quella di una salute unica e integrata. Alcuni parlano addirittura di “**salute circolare**” per sottolineare la natura interconnessa e bilanciata di questo approccio. Questa prospettiva non è nuova: già cinquant’anni fa un documento canadese aveva anticipato un modello di salute fondato su fattori biologici, ambientali, comportamentali e organizzativi. Era inoltre alla base di molte strategie promosse dall’OMS, come la Dichiarazione di Alma Ata (1978), la Carta di Ottawa (1986), Salute 2020 (2012) e la Dichiarazione di Shanghai (2016). Sebbene queste siano state approvate da molti governi e organizzazioni internazionali, spesso non sono state pienamente applicate, a causa di scelte politiche o difficoltà gestionali.

A COSA SERVE L’APPROCCIO ONE HEALTH?

Alcuni esempi

1. Prevenire nuove malattie

Molte delle epidemie più gravi degli ultimi decenni – come l’HIV, l’Ebola, la SARS e il Covid-19 – sono originate da malattie trasmesse dagli animali all’uomo, le cosiddette zoonosi. Questi passaggi sono spesso favoriti da pratiche agricole intensive, deforestazione, commercio illegale di animali selvatici e distruzione degli habitat naturali. *One Health* aiuta a monitorare questi rischi e a intervenire prima che le malattie diventino emergenze globali.

2. Combattere la resistenza agli antibiotici

L’uso eccessivo e scorretto degli antibiotici, sia in medicina umana che veterinaria, ha favorito l’emergere di batteri resistenti, diventati una minaccia globale. *One Health* aiuta a coordinare strategie tra ospedali, allevamenti, industrie e comunità per ridurre l’uso improprio degli antimicrobici e salvaguardare la loro efficacia.

3. Affrontare le conseguenze del cambiamento climatico

I cambiamenti climatici stanno alterando gli ecosistemi, favorendo la diffusione di malattie trasmesse da insetti (come la dengue o la malaria), stressando le risorse alimentari e idriche e influenzando la salute mentale delle popolazioni. Un approccio integrato consente di

comprendere meglio questi legami e sviluppare politiche sanitarie e ambientali più efficaci.

4. Rafforzare i sistemi di sorveglianza e risposta rapida

One Health promuove una gestione condivisa delle minacce sanitarie: dati ambientali, veterinari e sanitari vengono analizzati insieme, permettendo di rilevare segnali precoci di pericolo e intervenire tempestivamente per proteggere la salute pubblica.

5. Promuovere ricerca e innovazione

L’approccio incoraggia il lavoro di squadra tra medici, veterinari, biologi, ecologi, psicologi e altri professionisti, superando le barriere tra discipline. Questo porta allo sviluppo di soluzioni più complete, innovative ed efficaci per affrontare problemi complessi.

L’impegno però deve essere globale. Organizzazioni internazionali come l’OMS, la FAO e l’OIE (Organizzazione mondiale per la salute animale), promuovono da anni l’adozione del modello *One Health*, ma resta ancora molta strada da fare. Per diventare realmente efficace, questa visione deve essere conosciuta, compresa e adottata a tutti i livelli: istituzionale, scientifico e sociale.

ONE HEALTH NEL PIANO NAZIONALE DELLA PREVENZIONE

L’approccio *One Health* è ufficialmente riconosciuto dal Ministero della Salute italiano, dalla Commissione europea e da tutte le organizzazioni internazionali quale strategia rilevante in tutti i settori che beneficiano della collaborazione tra diverse discipline (medicina, veterinaria, scienze ambientali, economia, sociologia, ecc.) ed è assunto come riferimento fondamentale nel **Piano Nazionale della Prevenzione 2020-2025** adottato il 6 agosto 2020 con un Atto d’Intesa in Conferenza Stato-Regioni.

Il PNP incoraggia **un’azione coordinata tra medicina umana, veterinaria**, scienze ambientali e sociali, con l’obiettivo di affrontare in modo efficace i rischi sanitari emergenti o consolidati derivanti dall’interazione tra uomo, animali e ecosistemi. Tale impostazione è particolarmente rilevante per rispondere ai bisogni delle popolazioni più vulnerabili, migliorare l’equità e garantire una salute globale sostenibile.

ONE HEALTH E OBIETTIVI DI SVILUPPO SOSTENIBILE

OBIETTIVI PER LO SVILUPPO SOSTENIBILE



One Health è un “approccio integrato e unificante per bilanciare e ottimizzare la salute delle persone, degli animali e dell’ambiente” (WHO).

La strategia *ONE HEALTH* mira a una vita in salute su un pianeta perpetuamente abitabile ed è strettamente connessa agli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile (Sustainable Development Goals o SDGs) dell’Agenda 2030 della Nazioni Unite.

La salute è al centro di uno di questi Obiettivi, l’Obiettivo di Sviluppo Sostenibile 3, che impegna i governi “a garantire vite sane e promuovere il benessere per tutti, a tutte le età”. Tuttavia, raggiungeremo questo obiettivo solo agendo anche per altri Obiettivi di Sviluppo Sostenibile, come - tra gli altri - porre fine alla povertà (Obiettivo 1) e alla fame (Obiettivo 2), garantire un’istruzione di qualità, equa e inclusiva (Obiettivo 4) e la disponibilità di acqua e servizi igienico-sanitari (Obiettivo 6), Promuovere azioni, a tutti i livelli, per combattere il cambiamento climatico (Obiettivo 13) riducendo anche i rischi che ne derivano per la salute. Allo stesso modo, possiamo sperare di raggiungere molti degli altri Obiettivi di Sviluppo Sostenibile solo migliorando la salute. Ad esempio una cattiva salute contribuisce in modo significativo alle disuguaglianze (Obiettivo di Sviluppo Sostenibile 10) e mina la crescita economica (Obiettivo di Sviluppo Sostenibile 8).

La crescente consapevolezza delle interconnessioni tra gli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile e le politiche necessarie per raggiungerli induce a considerare i cosiddetti benefici collaterali, per cui politiche efficaci ed eque in un ambito apportano benefici a un altro, creando circoli virtuosi.

L’approccio *One Health* risponde a questa logica, grazie ai benefici sinergici che derivano da una più stretta cooperazione tra scienze della salute umana, animale e ambientale.

Testo in parte tratto e rielaborato da ONE HEALTH THROUGH THE LENS OF THE SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/362206/Eurohealth-28-3-40-42-eng.pdf?sequence=1>

IL MACROBIETTIVO “AMBIENTE, CLIMA E SALUTE”

Nel contesto del PNP, il Macroobiettivo (MO5) “Ambiente, clima e salute” inserisce specificamente nella programmazione nazionale l’approccio *One Health*. Esso promuove una strategia integrata e intersettoriale, orientata a costruire sinergie tra servizi sanitari (per la salute umana e animale) e organismi di tutela ambientale. Riconosce che i determinanti ambientali – inclusi fattori sociali, economici e comportamentali – influenzano profondamente il benessere psicofisico e la salute pubblica.

Gli obiettivi del MO5 “Ambiente, clima e salute” vengono poi tradotti in termini concreti da uno specifico programma del Piano Nazionale della Prevenzione: si tratta di un “Programma Predefinito” (PP9) che stabilisce gli obiettivi strategici che tutte le Regioni devono perseguire e individua gli indicatori che le Regioni devono utilizzare per monitorare il raggiungimento di tali obiettivi.

GLI OBIETTIVI STRATEGICI CHE LE REGIONI DEVONO PERSEGUIRE

In particolare gli **obiettivi strategici che tutte le Regioni devono perseguire** sono suddivisi in:

- **Obiettivi trasversali**, volti a rafforzare l’intersectorialità, promuovere l’equità, potenziare la formazione e la comunicazione;
- **Obiettivi specifici**, focalizzati sulla prevenzione e riduzione delle esposizioni ambientali dannose, sulla promozione della salute in relazione al cambiamento climatico, e sul miglioramento della collaborazione istituzionale tra servizi e agenzie ambientali.

Ad esempio, nell'ambito del macro-obiettivo "Ambiente, clima e salute" (MO5), il primo obiettivo specifico è:

"5.1 Implementare il modello della "Salute in tutte le politiche" secondo gli obiettivi integrati dell'Agenda 2030 per lo sviluppo sostenibile e promuovere l'applicazione di un approccio One Health per garantire l'attuazione di programmi sostenibili di protezione ambientale e di promozione della salute".

MITIGAZIONE E ADATTAMENTO AI CAMBIAMENTI CLIMATICI

Sempre nell'ambito del MO5 "Ambiente, clima e salute" del Piano Nazionale della Prevenzione, alle **azioni di mitigazione e adattamento ai cambiamenti climatici** è specificamente dedicato l'obiettivo specifico:

"5.14 Rafforzare le capacità adattive e la risposta della popolazione e del sistema sanitario nei confronti dei rischi per la salute associati ai cambiamenti climatici, agli eventi estremi e alle catastrofi naturali e promuovere misure di mitigazione con co-benefici per la salute".

IL PIANO REGIONALE DELLA PREVENZIONE 2021-2025 PER IL FVG

Ogni Regione, nell'ambito del proprio Piano Regionale di Prevenzione (PRP), ha dettagliato le azioni operative da intraprendere, garantendo coerenza con le linee guida nazionali e con le strategie internazionali di riferimento, come la **Dichiarazione di Ostrava**, la **Strategia Nazionale per la Biodiversità**, l'**Agenda 2030** e l'**Accordo di Parigi sul clima**.

La **Regione FVG** ha approvato il proprio Piano Regionale della Prevenzione 2021-2025 con D.G.R. n. 288/22. https://mtom.regione.fvg.it/storage//2021_2023/Allegato%201%20alla%20Delibera%202023-2021.pdf

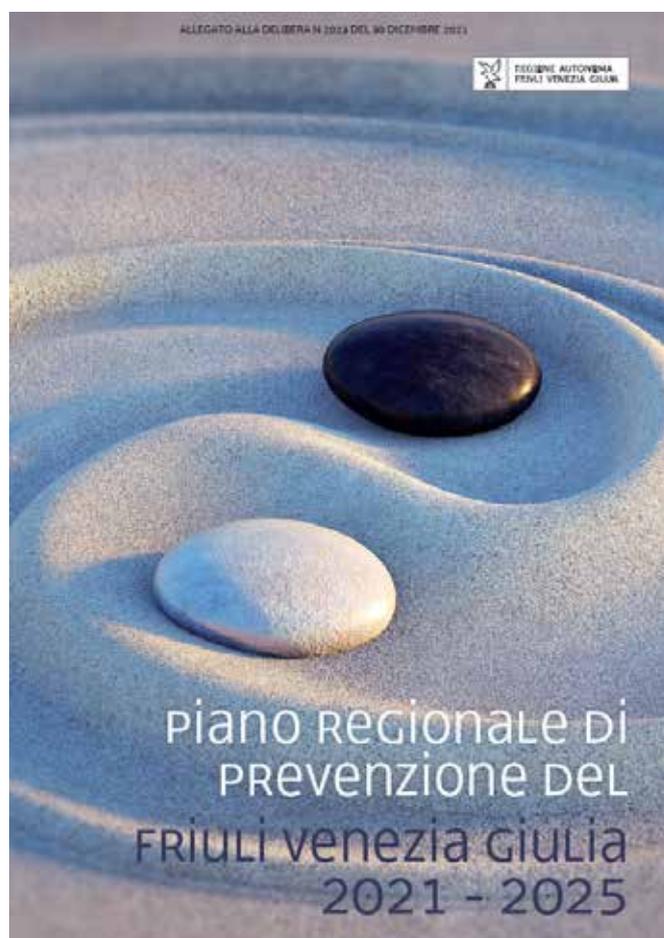
Il Piano Regionale della Prevenzione, riprendendo gli obiettivi strategici indicati dal Piano Nazionale, definisce alcune **Linee Strategiche di Intervento** specifiche per fronteggiare i rischi posti dai cambiamenti climatici alla salute della popolazione del Friuli Venezia Giulia:

- Rafforzamento della **sorveglianza e prevenzione** degli effetti legati a **eventi**

climatici estremi (es. ondate di calore), con focus sui sottogruppi a maggior rischio, preventivamente individuati

- **Formazione del personale sanitario**, in particolare MMG e PLS, riguardo i rischi per la salute associati ai cambiamenti climatici e le misure di prevenzione, in linea con l'approccio **One Health**
- Interventi di **informazione e sensibilizzazione rivolti agli operatori sanitari e al pubblico** volti a promuovere stili di vita ecosostenibili e ridurre gli impatti diretti e indiretti dei cambiamenti climatici sulla salute
- Interventi volti a **migliorare la capacità del sistema sanitario**, in particolare dei servizi di prevenzione e ospedalieri, di **rispondere ai cambiamenti** e alla variabilità del clima

Da queste linee di intervento emerge quindi l'attenzione che la pianificazione regionale in ambito sanitario pone non solo all'adattamento ai cambiamenti climatici, ma anche alla loro mitigazione attraverso l'adozione di pratiche e stili di vita eco-sostenibili, e l'importanza dell'informazione, sensibilizzazione e formazione per attuare azioni efficaci.



LA FORMAZIONE SU ONE HEALTH E CAMBIAMENTI CLIMATICI PER LA SANITÀ IN FVG

Nel contesto del PNP e in particolare del programma “Ambiente, clima e salute”, ripreso dalla programmazione regionale, la formazione rappresenta **un’azione strategica per integrare salute e ambiente** nelle politiche di prevenzione, favorendo la collaborazione intersettoriale.

La mancanza di conoscenze specifiche potrebbe ostacolare l’adozione di misure preventive efficaci e la corretta gestione dei rischi ambientali per la salute e pertanto anche nella nostra regione nel 2024 si è intrapreso un programma formativo su *One Health* e cambiamenti climatici **rivolto agli operatori sanitari, ambientali e ai medici di medicina generale**, con l’obiettivo di rafforzare le competenze su salute, ambiente e clima in un’ottica integrata.

Il percorso formativo, della durata complessiva di 21 ore, si è svolto tra dicembre 2024 e giugno 2025 ed è stato articolato in tre moduli:

- il primo ha introdotto il concetto di *One Health*, che evidenzia l’interconnessione tra salute umana, animale e ambientale;
- il secondo ha approfondito il Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici, con focus sugli impatti sulla salute e sul ruolo della sanità;
- il terzo ha esplorato temi trasversali come la biodiversità, la salute mentale, la sostenibilità urbana e gli stili di vita ecosostenibili.

Con il corso, si è inteso anche fornire le basi conoscitive per supportare la partecipazione degli operatori del Friuli Venezia Giulia a tavoli tecnici e iniziative intersettoriali su scala regionale e nazionale.

Gabriella Trani, Marika Mariuz, Manlio Palei
Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia



Uno degli incontri del corso di formazione regionale “Approccio one health: integrazione del piano nazionale prevenzione e piano regionale prevenzione con il piano nazionale di adattamento ai cambiamenti climatici”



Si ringrazia Annunziata De Crescenzo per il contributo dato con la sua tesi di laurea “Cambiamento climatico e rischi per la salute: un’indagine conoscitiva tra i dipendenti del Dipartimento di Prevenzione dell’Azienda Sanitaria Universitaria Friuli Centrale”

CLIMA E ALIMENTAZIONE: COME RIDURRE IL NOSTRO IMPATTO CON LA “DIETA SOSTENIBILE”

Foto: Lukas by Pexels

Le nostre scelte alimentari possono contribuire in modo importante a utilizzare in modo più sostenibile le risorse della Terra e a ridurre le emissioni di gas serra.

La “dieta planetaria” concilia aspetti nutrizionali, ambientali e socio-culturali.

Conoscere gli impatti ambientali degli alimenti lungo tutta la filiera agroalimentare consente di adottare una dieta sana e sostenibile, anche apportando piccole varianti ai piatti della nostra tradizione.

Dai dati diffusi dal Global Footprint Network per il 2024 emerge che, globalmente, l'uomo sta utilizzando la capacità biologica della Terra principalmente per la filiera alimentare. Secondo questa organizzazione, potremmo ritardare il giorno che corrisponde all'*Overshoot Day* mondiale di 32 giorni se riducessimo gli sprechi alimentari, se seguissimo una dieta vegetariana e se adottassimo pratiche agricole più sostenibili. Sulla base di queste affermazioni, è chiaro che ogni singolo individuo può contribuire a un minor utilizzo delle risorse della Terra e lo può fare prestando attenzione allo spreco di cibo a livello domestico e soprattutto alle scelte che fa per la sua alimentazione.

VERSO LA NEUTRALITÀ CLIMATICA

Anche la Commissione europea spinge verso l'adozione di stili di vita più sostenibili. A dicembre 2019, la Commissione ha adottato il *Green Deal* Europeo, ovvero una "strategia" costituita da una serie di misure – fra cui soprattutto nuove disposizioni normative e investimenti – per rendere più sostenibili e meno dannosi per l'ambiente la produzione di energia e lo stile di vita dei cittadini europei.

In questo documento si auspica il **raggiungimento della neutralità climatica dell'UE entro il 2050**. Con questo obiettivo in mente, l'UE si è posta un obiettivo intermedio che è quello di ridurre le emissioni di gas a effetto serra del 55% entro il 2030. Per raggiungerlo vanno promosse diete sostenibili in quanto **il sistema agroalimentare è responsabile del 30% emissioni gas serra**, del 40% di utilizzo di terra e del 70% di utilizzo di acqua.

IL CONCETTO DI DIETE SOSTENIBILI

Il concetto di diete sostenibili è stato introdotto per la prima volta in una conferenza della FAO tenutasi a Roma nel novembre del 2010 (*Biodiversity and Sustainable Diets United Against Hunger*).

Queste diete sono definite come diete che hanno un **basso impatto ambientale**, che contribuiscono alla **sicurezza alimentare** e nutrizionale e a una **vita sana** per le generazioni presenti e future.

Le diete sostenibili sono rispettose della biodiversità e degli ecosistemi, culturalmente accettabili, accessibili, economicamente eque e convenienti; nutrizionalmente adeguate, sicure e salutari. Favoriscono l'ottimizzazione delle risorse naturali e umane.

EARTH OVERSHOOT DAY

Ogni anno viene calcolato l'*Earth Overshoot Day* (Giorno del Superamento della Terra) dal *Global Footprint Network*, un'organizzazione di ricerca internazionale che fornisce ai decisori politici una serie di strumenti per aiutare l'economia a operare entro i limiti ecologici della Terra.

Per determinare la data di ogni anno, il *Global Footprint Network* calcola il numero di giorni di quell'anno in cui la biocapacità della Terra, ovvero la quantità di risorse ecologiche che la Terra è in grado di generare in quell'anno, è sufficiente a soddisfare l'impronta ecologica dell'umanità. Il resto dell'anno corrisponde all'"*Overshoot* globale".

Ogni anno questa data cade sempre prima: nel 2024 l'*Earth Overshoot* è stato il 1 agosto, mentre questo anno sarà il 24 luglio!



I TRE PILASTRI DI UNA DIETA SOSTENIBILE

Nel 2019, la FAO e l'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) hanno definito i 3 aspetti cardine delle diete sostenibili. In particolare vi sono **3 pilastri** alla base di una dieta sostenibile.

Il primo è l'**aspetto nutrizionale** che include, oltre alla promozione dell'allattamento al seno come elettiva pratica alimentare almeno per i primi 6 mesi di vita, il consumo di buone quantità di cereali integrali, legumi, frutta a guscio, frutta fresca e verdura e di acqua come principale bevanda con cui idratarsi, la moderazione nel consumo di uova, prodotti lattiero-caseari, pollo, pesce e carne rossa, un'adeguata assunzione di nutrienti ed energia in linea con le Linee guida dell'OMS per la prevenzione delle principali malattie non trasmissibili, ovvero malattie cardio- e cerebro-vascolari, tumori e diabete di tipo II.

Il secondo pilastro riguarda gli **aspetti ambientali**. In questo caso si suggerisce di limitare le emissioni di gas serra, l'utilizzo di acqua, l'utilizzo del terreno e l'applicazione di prodotti chimici, di preservare la biodiversità, di minimizzare l'uso di antibiotici e ormoni nella produzione degli alimenti, di minimizzare l'uso di plastica e derivati per il packaging e di ridurre perdite e sprechi di cibo.

Infine, l'ultimo aspetto, a ora quello attualmente meno considerato, è quello **socio-culturale** in cui si pone l'accento sul rispetto delle culture e delle tradizioni locali, basato sulla considerazione che se pur la Dieta Mediterranea è riconosciuta come un modello alimentare sostenibile non ha molto senso che venga promosso per esempio nei paesi del nord Europa che hanno altri modelli alimentari tradizionali che hanno indubbi elementi di sostenibilità. Inoltre, gli aspetti socio-economici ci suggeriscono anche che il cibo debba essere accessibile e appetibile per tutti e di evitare disparità di genere.



ASPETTI SALUTISTICI

- Allattamento al seno
- Ampia varietà di alimenti
- Buone quantità di cereali integrali, legumi, frutta a guscio, frutta, verdura
- Quantità moderate di uova, prodotti lattiero-caseari, pollo, pesce, carne rossa
- Acqua come bevanda principale
- Adeguata assunzione di nutrienti ed energia
- In linea con linee guida OMS per prevenzione delle malattie non trasmissibili
- Sicurezza alimentare: no patogeni, tossine, sostanze pericolose.



IMPATTO AMBIENTALE

- Limita: emissioni di gas serra, utilizzo di acqua, utilizzo del terreno, applicazione di prodotti chimici
- Preserva la biodiversità
- Minimizza l'uso di antibiotici e ormoni
- Minimizza l'uso di plastica e derivati per il packaging
- Riduce perdite e sprechi di cibo



ASPETTI SOCIO-CULTURALI

- Rispetta le culture e le tradizioni locali
- Accessibile e appetibile per tutti
- Evita disparità di genere

È NECESSARIA UNA GRANDE TRASFORMAZIONE ALIMENTARE

Cosa dovrebbe contenere esattamente una dieta sostenibile è stato definito sempre nel 2019 dalla Commissione EAT-Lancet, che ha riunito 19 commissari e 18 coautori provenienti da 16 paesi e impegnati in vari settori, tra cui la salute umana, l'agricoltura, le scienze politiche e la sostenibilità ambientale. La Commissione ha fissato obiettivi scientifici globali per **spostare il mondo verso diete sane** e una produzione alimentare sostenibile che sarà in grado di **sfamare gli attesi 10 miliardi di persone**. Le premesse alla base del documento della Commissione sono:

1. Le attuali tendenze alimentari, unite alla crescita demografica prevista a circa 10 miliardi entro il 2050, esacerberanno i **rischi ambientali e alimentari** per le persone e il pianeta.
2. Si prevede che il peso globale delle **malattie non trasmissibili** peggiorerà e gli effetti della attuale produzione alimentare sulle **emissioni di gas serra**, l'inquinamento da azoto e fosforo, la perdita di biodiversità, nonché l'uso di acqua e terra ridurranno la stabilità del sistema Terra.

Pertanto, per raggiungere gli Obiettivi di sviluppo sostenibile e l'Accordo di Parigi volto a limitare il riscaldamento globale, è necessaria una Grande Trasformazione Alimentare che preveda di adottare **diete sane basate su sistemi alimentari sostenibili**.



Foto: arina-krasnikova by Pexels

UNA “DIETA PLANETARIA” ADATTA PER TUTTI

Considerando queste premesse e sulla base degli impatti ambientali di ogni gruppo alimentare combinati con i requisiti dietetici per bambini di età superiore ai 2 anni e adulti, la Commissione ha stabilito i grammi raccomandati al giorno di ogni gruppo alimentare (ovvero cereali integrali, tuberi e alimenti amidacei, verdura, frutta, prodotti lattiero-caseari, fonti proteiche, grassi da condimento e zuccheri aggiunti agli alimenti o bevande) per una dieta da 2500 kcal.

Una volta adottata, questa dieta **eviterà circa 11,1 milioni di morti all'anno nel 2030** e ridurrà la mortalità prematura del 19%.

Secondo la Commissione, **questo modello è flessibile** e, all'interno di uno spazio operativo sicuro, potrebbe essere adattato alle preferenze di diverse culture e diverse popolazioni, tenendo conto quindi degli aspetti socio-economici previsti dalla FAO e dall'OMS. Per questo motivo, è stata definita una “dieta planetaria” poiché **può e deve essere adattata per sviluppare pasti per i diversi paesi con diverse culture alimentari e cucine**, mantenendo sia la salute sia la sostenibilità ambientale.

SIAMO ANCORA LONTANI DA UNA DIETA SANA PER NOI E PER L'AMBIENTE

A livello globale, siamo però lontani dagli apporti dietetici di riferimento suggeriti dalla Commissione. **Attualmente vi è un consumo molto più elevato di carne rossa, vegetali amidacei (es. patate) e uova**, ma assunzioni inferiori di alimenti di origine vegetale come verdure, frutta, legumi, cereali integrali e frutta a guscio, nonché latticini, pollame e pesce. **Sebbene la dieta planetaria non sia una dieta vegetariana** e non escluda nessun gruppo alimentare, questo confronto suggerisce che **dovremmo passare a una dieta più a base vegetale** per ridurre gli effetti ambientali della produzione alimentare. Tuttavia, non tutte le diete a base vegetale sono ugualmente sostenibili e identificare quali modelli dietetici sono adatti all'ambiente e, naturalmente, sani, è un importante punto di partenza per supportare i consumatori nel fare scelte dietetiche sostenibili.

VALUTARE LA SOSTENIBILITÀ DEGLI ALIMENTI LUNGO TUTTA LA FILIERA AGROALIMENTARE

L'impatto degli alimenti e delle diete sull'ambiente può essere valutato attraverso degli indicatori quali l'impronta di carbonio, l'impronta idrica e l'impronta ecologica (vedi il box **COME- SI VALUTA LA SOSTENIBILITÀ DI ALIMENTI E DIETE**).

Utilizzando questi indicatori nell'**analisi del ciclo di vita degli alimenti** è possibile valutare gli impatti ambientali relativi a un prodotto lungo l'intera filiera agroalimentare. Tanto più la filiera agroalimentare di un prodotto è complessa e la materia prima subisce lavorazioni e trasformazioni per arrivare al consumatore, necessita di imballi e di trasporto, magari refrigerato, per lunghe distanze, tanto maggiore sarà l'impatto ambientale del prodotto. Facciamo qualche esempio.

IL CONFRONTO PASTA – BISTECCA DI MANZO

La produzione della **pasta secca di semola** richiede la coltivazione del frumento duro, la sua molitura per trasformarlo in semola, il processo di miscelazione, estrusione ed essiccazione per la produzione della pasta, il confezionamento in packaging che deve essere previamente prodotto e il suo trasporto al punto di vendita. Non considerando il trasporto del pacco di pasta fino a casa da parte del consumatore e la sua cottura, **1 kg di pasta emette 950 g di CO₂ equivalenti** lungo tutta la sua filiera produttiva.

La produzione di una **bistecca di bovino** necessita di foraggio che deve essere prodotto per alimentare l'animale, che a sua volta deve essere allevato per almeno 2 anni, prima di essere macellato. Dopo macellazione, le parti dell'animale vengono lavorate e confezionate e trasportate al punto vendita. Come nell'esempio della pasta, non considerando il trasporto del prodotto da parte del consumatore e la sua cottura, **1 kg di prodotto emette 23.100 kg di CO₂ equivalenti** ovvero **24 volte di più** della produzione di 1kg di pasta.



COME SI VALUTA LA SOSTENIBILITÀ DI ALIMENTI E DIETE?

Più volte abbiamo fatto accenno alla sostenibilità degli alimenti e delle diete. Ma come si valutano questi aspetti? Vi sono moltissimi indicatori per valutare l'impatto che qualsiasi produzione e trasformazione alimentare ha sull'ambiente ma i principali indicatori oggi utilizzati sono: l'impronta di carbonio, l'impronta idrica ed ecologica.

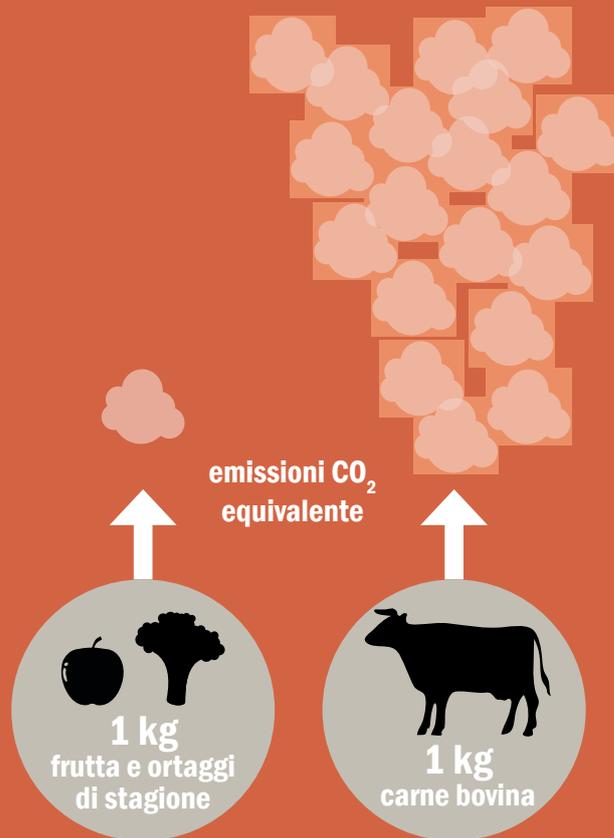
IMPRONTA DI CARBONIO

o *Carbon Footprint* degli alimenti, è un indicatore che misura le emissioni di gas a effetto serra durante l'intero ciclo di vita dell'alimento.

È espressa in kg di CO₂ equivalente/kg di prodotto.

I gas serra o gas climalteranti sono la CO₂ prodotta soprattutto dai settori dell'energia, dei trasporti e dell'industria. Il metano ottenuto dalla decomposizione di materiale organico in condizioni anaerobiche quale la fermentazione dei ruminanti. Il protossido di azoto formato dalle trasformazioni microbiche dell'azoto nel suolo e nei liquami. Le emissioni aumentano quando tale gas eccede il fabbisogno delle piante e durante la produzione di fertilizzanti sintetici a base di azoto.

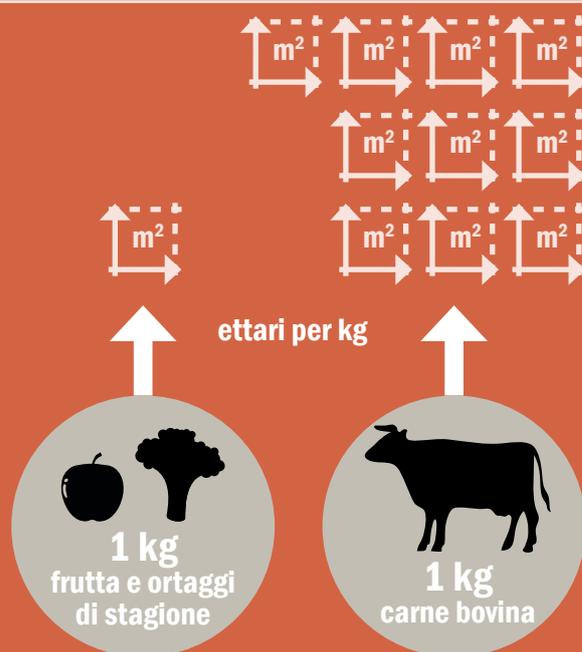
Se consideriamo questo indicatore si ha maggiore emissione nella produzione di 1 kg di carne bovina, mentre le emissioni per la produzione di 1 kg di frutta o ortaggi di stagione sono più di 20 volte inferiori.



IMPRONTA ECOLOGICA

o *Ecological Footprint*, è un indicatore che permette di misurare la superficie terrestre o marina (biologicamente produttiva) necessaria a fornire le risorse consumate e ad assorbire i rifiuti prodotti, in rapporto alla capacità della Terra di rigenerare le risorse naturali ed è espresso in ettari globali (m²) per kg prodotto.

Anche in questo caso, l'impronta ecologica più alta si ha per la produzione di prodotti animali, *in primis* la carne di bovino, mentre hanno un'impronta ecologica inferiore, anche di 10 volte, la produzione di ortaggi di stagione, patate e frutta fresca.



IMPRONTA IDRICA

si misura in volume (in L o in m³) di acqua dolce utilizzato lungo l'intero ciclo vitale di un alimento per ottenere 1 kg di prodotto finito.

Per fare qualche esempio, produrre un pomodoro in campo necessita di 13 L, mentre per produrre 100 g di formaggio stagionato di 500 L di acqua.

La Water Footprint o impronta idrica è suddivisa in:

- **green water footprint:** volume d'acqua piovana evaporata-traspirata dal suolo e dalle piante durante il processo produttivo.
- **blue water footprint:** volume d'acqua prelevato artificialmente dalla superficie e dalle falde;
- **grey water footprint:** volume d'acqua inquinato durante i processi produttivi, che può essere quantificato calcolando il volume necessario per diluire gli inquinanti rilasciati.



1
pomodoro



13 L
acqua



100 g
formaggio
stagionato



500 L
acqua

ANALISI DEL CICLO DI VITA DI UN PRODOTTO

Utilizzando uno dei menzionati indicatori è possibile analizzare l'impatto ambientale della produzione e trasformazione di un dato alimento attraverso una procedura standardizzata a livello internazionale dalle norme ISO (14040 e 14044) detta analisi del ciclo della vita di un prodotto o **LCA - Life Cycle Assessment**.



LA COMPOSIZIONE DI UNA DIETA SOSTENIBILE

A questo punto dovrebbe essere chiaro che **una dieta sostenibile deve includere molti alimenti di origine vegetale e molti meno di origine animale** (in particolare quelli derivati dagli allevamenti di bovini, che sono i meno sostenibili in assoluto).

Se consideriamo i grammi suggeriti nella dieta planetaria l'introduzione giornaliera di cereali integrali e di patate dovrebbe essere di almeno 280 g, quella di verdure di almeno 600 g con 200 g di frutta, 250 g dovrebbero derivare da prodotti lattiero caseari (latte *in primis*) mentre i 190 g da fonti proteiche dovrebbero dividersi in 43 g di carne (bovino, agnello, maiale e pollame con una preferenza per quest'ultimo), 28 g di pesce, ma soprattutto 95 g di legumi e 25 g di frutta a guscio.

LE LINEE GUIDA ITALIANE PER UNA SANA ALIMENTAZIONE

In linea di massima quanto suggerito dalla Commissione *EAT-Lancet* è quanto viene suggerito anche nelle nostre **Linee Guida per una Sana Alimentazione**, redatte da esperti del Centro di Ricerca Alimenti e Nutrizione del Consiglio della ricerca in agricoltura e analisi dell'economia agraria dove, nell'ultima revisione pubblicata nel 2018, è stata introdotta la tredicesima regola che riguarda proprio la sostenibilità delle diete. In questo capitolo si forniscono consigli utili su come ogni individuo si possa comportare per ridurre il suo impatto ambientale e rendere allo stesso tempo la sua dieta sana e sostenibile. Nella scheda **COME POSSIAMO RIDURRE IL NOSTRO IMPATTO SU AMBIENTE E CLIMA CON UNA DIETA SANA E SOSTENIBILE** si riportano alcuni pratici suggerimenti.



Foto: by Pexels

COME POSSIAMO RIDURRE IL NOSTRO IMPATTO SU AMBIENTE E CLIMA CON UNA DIETA SANA E SOSTENIBILE



Carne e derivati sono tra i prodotti che hanno maggiore impatto ambientale. Si stima che la produzione di carne sia responsabile del 18% delle emissioni globali di CO₂, più elevata dell'intero settore del trasporto.

Tuttavia, non è corretto confrontare 1 kg di carne con 1 kg di frutta e verdura poiché la densità in nutrienti è molto diversa così come le quantità raccomandate. Secondo le *Linee Guida per una Sana Alimentazione* andrebbero consumati 300 g a settimana di carne (3 porzioni da 100 g alla settimana) pari a circa 43 g al giorno mentre andrebbero consumati almeno 400 g al giorno di verdura, ortaggi e frutta fresca.

Va però considerato che le diverse tipologie di carne hanno un diverso impatto ambientale, pur avendo caratteristiche nutrizionali simili. L'impatto ambientale è molto alto per la carne bovina rispetto a quella di suini e pollame, quindi riducendo il consumo di carne rispetto al consumo attuale e riducendo soprattutto quello di carne bovina, aiutiamo la nostra salute e l'ambiente.

Il **pesce** è importante in una alimentazione bilanciata. Per essere più sostenibili, vanno scelti pesci di piccola taglia (alici, sardine, sgombro). Questo è un comportamento valido per la salute e l'ambiente perché la riduzione massiva delle risorse ittiche riguarda soprattutto le specie grandi e/o quelle molto consumate (salmone, tonno, pesce spada, sogliola, ...).

Andrebbero quindi diversificate le scelte e consumato anche il pesce di acquacoltura, un modo per proteggere le risorse marine selvatiche mantenendo le quote di pescato a livelli sostenibili.

Il **latte** e lo **yogurt** hanno un impatto ambientale minore di carne e derivati, pur avendo proteine di ottima qualità oltre a un'ottima quantità di calcio e vitamine. Questi alimenti dovrebbero essere

preferiti al formaggio.

Se pur l'impatto ambientale di frutta e verdura è più basso di quello di prodotti animali, può variare molto a seconda del tipo di produzione e trasformazione;

Sono a maggior impatto:

- **prodotti fuori stagione**, conservati a lungo in celle frigorifere, la coltivazione in serre con riscaldamento e/o illuminazione aggiuntiva;
- **alimenti surgelati o pronti all'uso** a causa della catena del freddo per il loro trasporto e la distribuzione.

Per quanto riguarda le cotture domestiche, cotture veloci e in poca acqua conservano le qualità nutrizionali della verdura e hanno anche un minore impatto ambientale.

Per esempio, la cottura in pentola a pressione e quella in forno a microonde hanno minor impatto del forno tradizionale elettrico.



Foto: Danielle Scott by Flickr

LO STUDIO DELL'UNIVERSITÀ DI UDINE SULLA CUCINA TRADIZIONALE DEL FVG

Proprio per unire gli aspetti di salute, sostenibilità ambientale, e socio-culturale, prerogative di una dieta sostenibile, un recente studio condotto da ricercatori dell'Università di Udine ha **analizzato le principali preparazioni tradizionali della regione Friuli Venezia Giulia** a partire dalle ricette proposte in quattro ricettari tradizionali relativi alla cucina dell'intero territorio regionale. I risultati di questo lavoro hanno messo in luce diversi **aspetti positivi della cucina tradizionale**, ma anche aspetti che potrebbero essere migliorati con semplici accorgimenti o piccole rivisitazioni.

Il primo punto emerso dallo studio è che le nostre scelte alimentari abituali possono effettivamente fare la differenza, anche quando scegliamo delle pietanze della tradizione.

PRIMI PIATTI: I BLECS

I "blecs" (scheda **PRIMI PIATTI**) sono una pasta fresca tagliata in forma triangolare che può essere preparata **in versione salata** (condita con formaggio Montasio e burro) oppure **in versione dolce** (condita con burro, zucchero, cacao e ricotta affumicata).

Confrontando la versione dolce e quella salata, si nota subito una differenza dal punto di vista nutrizionale nei valori di lipidi totali, che sono più alti nella ricetta salata, e nei valori di zuccheri, che sono, come ci si aspetta, più alti nella versione dolce.

Dal punto di vista ambientale **le due ricette presentano un impatto ambientale relativamente basso**, pari a 400-500 g di CO₂ equivalente e circa 450 L di acqua per una porzione. Secondo le linee guida stilate come risultato di un progetto internazionale chiamato "*SU-EATABLE life*", un pasto completo dovrebbe avere valori di impatto ambientale compresi tra 800-1000 g di CO₂ equivalente e 700-1000 L di acqua. Quindi, i "blecs" potrebbero rientrare in un pasto completo soprattutto se accompagnati da frutta e verdura di stagione.

La rivisitazione in questo caso potrebbe essere focalizzata solo sugli aspetti nutrizionali. Nella versione salata dei "blecs", visto l'alto contenuto di acidi grassi saturi dovuto all'utilizzo di burro e di formaggio Montasio, **il formaggio potrebbe essere sostituito con la ricotta affumicata**. Inoltre, riducendo il burro e il quantitativo di uova nell'impasto, si mantiene la componente di tradizione del piatto e si ottiene un profilo nutrizionale migliorato, con la metà del contenuto di lipidi. Inoltre, sostituendo la farina di frumento

raffinata con una farina integrale, si raddoppia il quantitativo di fibra. Questa rivisitazione comporta, avendo ridotto la quantità di prodotti di origine animale e sostituito il Montasio con la ricotta, anche a un **quasi dimezzamento nell'impatto ambientale**.

SECONDI PIATTI: FAGIOLI IN UMIDO, FRICO E UCCELLI SCAMPATI

Pensiamo a tre secondi piatti del Friuli Venezia Giulia: fagioli in umido, frico e uccelli scampati (scheda **SECONDI PIATTI**).

In base alla scelta della fonte proteica (legumi, formaggio o carne bovina, rispettivamente per fagioli in umido, frico e uccelli scampati), l'impatto ambientale in termini di impronta di carbonio passa da 105 g di CO₂ equivalente (fagioli in umido) a 4776 g di CO₂ equivalente (uccelli scampati) per una porzione di un secondo piatto (45 volte tanto).

Questo ci fa capire che, **riducendo semplicemente la frequenza di consumo della carne di manzo e aumentando quella dei secondi piatti a base di legumi**, come tra l'altro indicano tutte le linee guida alimentari per la salute, possiamo avere anche un forte miglioramento in termini di impatto ambientale della nostra dieta. Interessante notare che **sostituendo la carne di manzo in questa ricetta con l'equivalente in peso di carne di pollo**, l'impatto di una porzione di questo secondo si riduce dell'81% per l'impronta di carbonio e del 67% per l'impronta idrica, pur restando comunque valori più alti di quelli delle ricette a base di formaggio e di legumi. **Il frico si posiziona nel mezzo** tra i secondi, con un'impronta di carbonio di 7 volte più alta di quella dei fagioli in umido.

Questa differenza è dovuta al fatto che uno degli ingredienti principali del frico, insieme alle patate, è il formaggio, che essendo presente in quantità elevate nella ricetta ne alza l'impatto ambientale in modo consistente. Anche in questo caso, per motivi ambientali ma anche per motivi nutrizionali dovuti all'alto contenuto di grassi saturi e sale, non è un piatto adatto a un consumo frequente.

Per ridurre l'impatto ambientale e migliorarne il profilo nutrizionale si potrebbe però optare per **una versione in cui la dose di formaggio venga ridotta**, così come quella di olio, e vengano inserite nella ricetta verdure come ad esempio la bieta, gli spinaci, o le erbe spontanee tipiche

della tradizione culinaria regionale.

DOLCI: GUBANA, PUTIZZA, PINZA TRIESTINA

Infine, nella scheda **DOLCI** si può osservare il confronto tra i tre dolci pasquali tipici del territorio regionale: la gubana, farcita con frutta a guscio e frutta disidratata e candita di vario genere; la putizza, farcita con cioccolato e noci; e la pinza triestina, senza farcitura.

Qui si può osservare come **i valori di impronta idrica si alzino molto nelle due preparazioni con farcitura**, arrivando fino a 903 l di acqua per solamente una fetta di gubana, valore che dovrebbe rappresentare idealmente quello di un intero pasto secondo le linee guida **SU-EATABLE**. Questo valore è dovuto al contenuto di frutta a guscio, principalmente noci e mandorle, che hanno un impatto consistente in termini di utilizzo di acqua. Nonostante ciò è importante fare due riflessioni sull'utilizzo di questi ingredienti: dal punto di vista nutrizionale sono i principali responsabili dell'ottimo profilo lipidico di questi dolci pasquali, dato il loro basso contenuto di acidi grassi saturi e alto di acidi grassi polinsaturi; dal punto di vista della porzione e della frequenza di consumo, se inseriti all'interno di una dieta sana e sostenibile, che ne includa ad esempio il **consumo una volta a settimana** in una porzione di circa 30 g (corrispondenti a 7-8 noci, 15-20 mandorle) **non generano un impatto ambientale eccessivo**.

IN CONCLUSIONE...

Anche con piccole modifiche alle nostre abitudini alimentari possiamo quindi rendere la nostra dieta più sostenibile e "amica del clima". Acquisendo consapevolezza delle "impronte" che le nostre scelte quotidiane lasciano sul pianeta, ci sarà più facile introdurre gradualmente quei cambiamenti che, moltiplicati collettivamente, possono veramente fare la differenza.

PRIMI PIATTI

I Blecs: ingredienti, dichiarazione nutrizionale e indicatori di sostenibilità ambientale



	VERSIONE SALATA	VERSIONE DOLCE	VERSIONE RIVISITATA
Ingredienti	250 g farina di grano saraceno 250 g farina di frumento 60 g farina di mais 160 g burro 4 uova montasio grattugiato sale	500 g farina acqua q.b. 80 g ricotta affumicata 100 g burro 2 cucchiaini di zucchero 1 cucchiaino di cacao sale	250 g farina di grano saraceno 250 g farina di frumento integrale 60 g farina di mais 80 g burro 2 uova acqua ricotta affumicata sale
	Per porzione (260 g)	Per porzione (330 g)	Per porzione (220 g)
Energia (kcal)	622	691	440
Proteine (g)	16.4	16.6	12.3
Lipidi (g)	29.7	24.6	12.6
di cui saturi (g)	16.22	14.03	6.4
Carboidrati (g)	75.9	105.1	72.5
di cui zuccheri (g)	1.4	11.1	1.7
Fibra (g)	2.6	4.7	5.1
Impronta di carbonio (g)	500	396	257
Impronta idrica (L)	456	451	291

SECONDI PIATTI

Tre secondi piatti della tradizione del Friuli Venezia Giulia a confronto: ingredienti, dichiarazione nutrizionale e indicatori di sostenibilità ambientale



	FAGIOLI IN UMIDO	FRICO	FRICO RIVISITATO	UCCELLI SCAMPATI	UCCELLI SCAMPATI RIVISITATI
Ingredienti	350 g fagioli secchi 30 g burro 1 cipolla 250 g salame 1 bicchiere di vino sale e pepe	300 g Montasio 300 g patate rosse olio extra vergine di oliva sale	250 g Montasio 300 g patate rosse 150 g bieta olio extra vergine di oliva sale	700 g polpa di vitello 160 g lardo o pancetta 1 bicchiere di vino bianco mezzo bicchiere di aceto sale e pepe	700 g pollo, petto 160 g lardo o pancetta 1 bicchiere di vino bianco mezzo bicchiere di aceto sale e pepe
	Per porzione (210 g)	Per porzione (140 g)	Per porzione (150 g)	Per porzione (170 g)	Per porzione (170 g)
Energia (kcal)	442	449	364	427	442
Proteine (g)	23.4	24.3	21	39.7	44.3
Lipidi (g)	23.5	33.2	24.7	29.5	29.1
di cui saturi (g)	8.4	15.6	12.6	10.2	9.9
Carboidrati (g)	31.2	13.5	14.6	0.7	0.7
di cui zuccheri (g)	3.4	0.3	1.4	0.7	0.7
Fibra (g)	10.1	1.2	1.7	0.1	0.1
Impronta di carbonio (g)	105	767	644	4776	913
Impronta idrica (L)	339	565	447	2918	962

DOLCI

I dolci pasquali del Friuli Venezia Giulia a confronto: ingredienti, dichiarazione nutrizionale e indicatori di sostenibilità ambientale



Foto: nicodemo.valerio by Flickr

	GUBANA	PUTIZZA (POTIZA)	PINZA TRIESTINA
Ingredienti	500 g + 25 g farina 00 600 g zucchero 120 g burro 20 g lievito di birra 6 uova 1 presa di sale 1 bicchierino di grappa 2 scorza di limone 1 dL latte 200 g noci 100 g uva rinvenuta nella grappa 100 g mandorle 150 g pinoli mezzo bicchierino di vino passito 80 g canditi mezzo cucchiaino di cannella	500 g farina 00 90 g zucchero 70 g burro 40 g lievito di birra 200 g latte 200 g noci 100 g cioccolato fondente 20 g pan grattato	2 kg farina 450 g zucchero 50 g lievito 150 g burro 3 uova 1 tuorlo rhum
	Per porzione (230 g)	Per porzione (140 g)	Per porzione (210 g)
Energia (kcal)	903	600	845
Proteine (g)	20.3	13	20.7
Lipidi (g)	40.1	30	13.1
di cui saturi (g)	9.23	8.83	6.91
Carboidrati (g)	119.9	72.2	169.4
di cui zuccheri (g)	79.3	22.1	42.2
Fibra (g)	5.7	3.7	4.5
Impronta di carbonio (g)	382	247	265
Impronta idrica (L)	903	659	460

ALCUNE RIFLESSIONI SULLA CRISI CLIMATICA DAL PUNTO DI VISTA DELLA PSICOLOGIA AMBIENTALE



Foto: andrea spiegelhalter da Pixabay

La psicologia ambientale ci aiuta a capire come le persone si rapportano alla crisi climatica, quali barriere psicologiche ostacolano l'adozione di comportamenti pro-ambientali, come facilitare le azioni individuali per ridurre sia le emissioni climalteranti sia i rischi derivanti dai cambiamenti climatici.

È necessario intervenire su informazione, motivazione e contesto sociale e con azioni strutturali, economiche, sistemiche per rendere più facile un cambiamento che sia anche socialmente equo e un'opportunità per tutti.

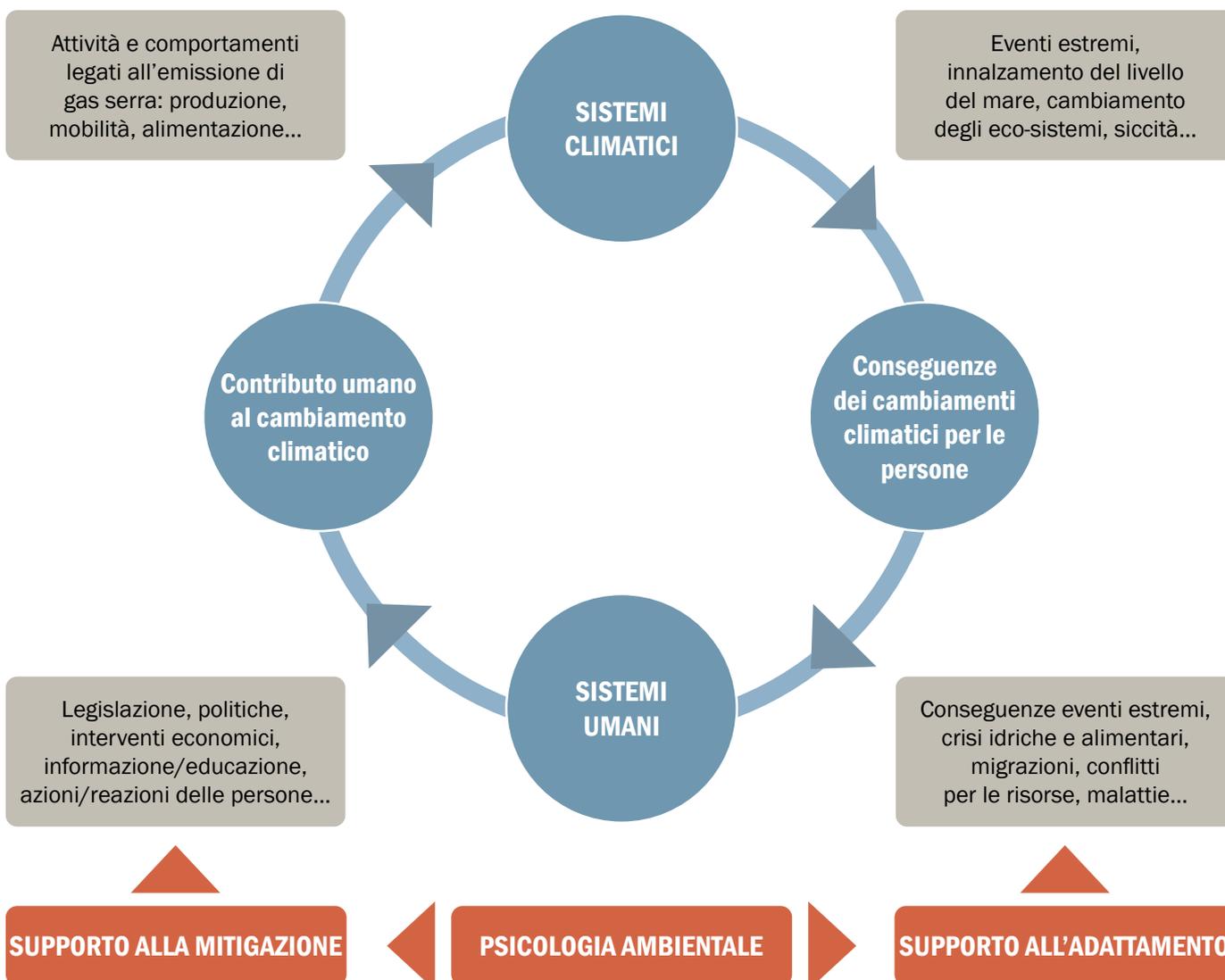
Questo breve contributo intende offrire alcune riflessioni sulla crisi climatica dal punto di vista della **psicologia ambientale**, una branca della psicologia che ha come oggetto di studio le transazioni tra individuo e ambiente, cioè i cambiamenti che avvengono nell'individuo e nell'ambiente come conseguenza della loro interazione. La psicologia ambientale si occupa anche della crisi climatica, cercando di comprendere come le persone si rappresentino mentalmente questa crisi, come percepiscano i rischi associati, quali siano i loro atteggiamenti, e quali le intenzioni e i comportamenti correlati. Inoltre, la psicologia ambientale si interessa anche di interventi finalizzati a promuovere **comportamenti pro-ambientali**, cioè comportamenti con effetti benefici per l'ambiente o, quanto meno, capaci di ridurre l'impatto negativo dell'essere umano sull'ambiente.

PERCHÉ DOVREMMO CONSIDERARE ANCHE IL PUNTO DI VISTA PSICOLOGICO SUL CAMBIAMENTO CLIMATICO?

Dal momento che gli esseri umani contribuiscono al cambiamento climatico, è importante comprendere **come si possa promuovere un cambiamento dei comportamenti** che concorra a ridurre le emissioni di gas climalteranti (mitigazione). Per fare questo, è però essenziale capire, attraverso gli studi psicologici, quali siano le credenze, gli atteggiamenti e le motivazioni che sottendono i comportamenti legati al clima, quali siano le barriere da superare e in che modo sia possibile incoraggiare azioni utili per la mitigazione.

In secondo luogo, in varie parti del mondo, le persone già subiscono e subiranno in futuro, in modo sempre maggiore, le conseguenze negative del cambiamento climatico, come gli eventi estremi (ad es. le alluvioni), l'innalzamento del livello del mare, le ondate di calore, la siccità, l'aumento di alcune malattie, l'alterazione degli ecosistemi. La psicologia può accompagnare l'**adattamento** ai cambiamenti in atto, da un lato aiutando a progettare interventi che aumentino il livello di preparazione e riducano i rischi e, dall'altro, supportando le persone nella **gestione cognitiva ed emotiva delle variazioni graduali o drammatiche nelle loro condizioni di vita**. La figura seguente illustra la complessa relazione tra sistemi umani e sistemi climatici, evidenziando il contributo della psicologia ambientale.

INTERAZIONI TRA SISTEMI CLIMATICI E SISTEMI UMANI E RUOLO DELLA PSICOLOGIA AMBIENTALE



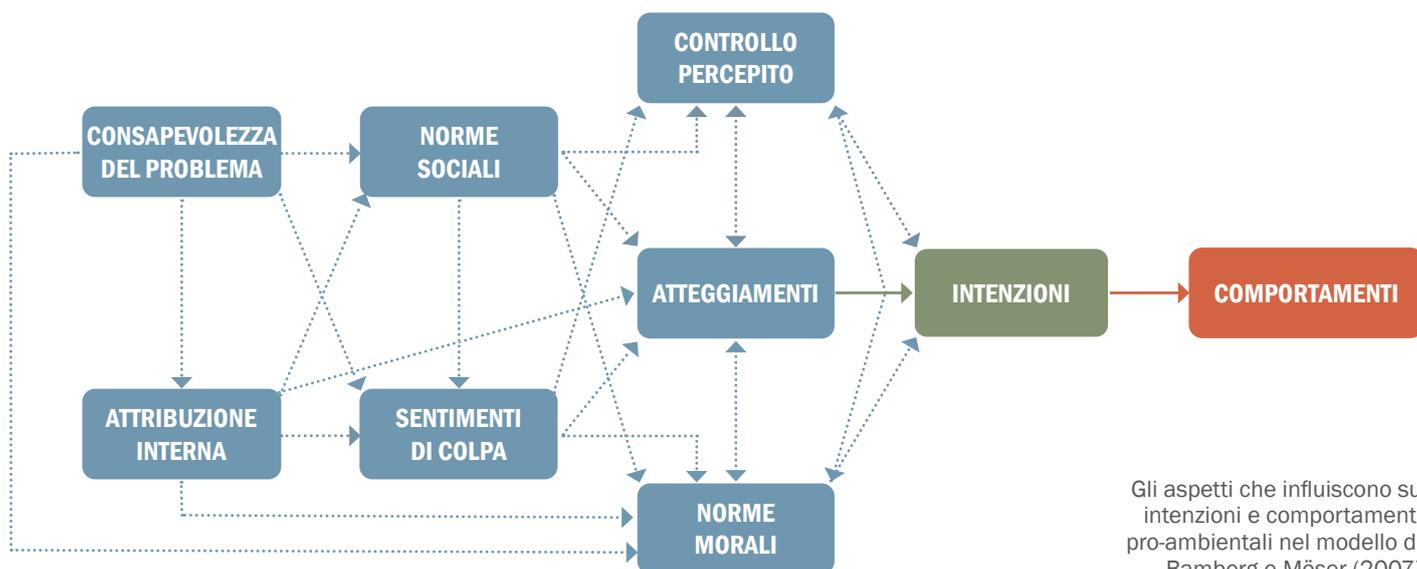
Interazione tra sistemi climatici e sistemi umani e ruolo della psicologia ambientale nei processi di mitigazione e adattamento (figura adattata da Stern, 1992).

COSA DICE LA RICERCA PSICOLOGICA A PROPOSITO DEI COMPORAMENTI PRO-AMBIENTALI?

La ricerca psicologica ha identificato una serie di aspetti che influiscono sulle intenzioni di mettere in atto **comportamenti pro-ambientali** e sulla loro attuazione. La figura seguente, ad esempio, evidenzia i fattori principali secondo il modello di Bamberg e Möser (2007).

Sebbene il modello sia parziale e comportamenti specifici possano essere influenzati anche da altri fattori, esso mostra come le intenzioni e comportamenti dipendano da **componenti cognitive** (ad es. la consapevolezza del problema), **emotive** (ad es., i sentimenti di colpa) e **sociali** (ad es. le norme sociali). È quindi opportuno tener conto di vari aspetti quando si pianificano **strategie di comunicazione** o **interventi** finalizzati a promuovere comportamenti pro-ambientali anche nell'ambito della crisi climatica.

INFLUENZE SU INTENZIONI E COMPORAMENTI PRO-AMBIENTALI



Gli aspetti che influiscono su intenzioni e comportamenti pro-ambientali nel modello di Bamberg e Möser (2007)



LE BARRIERE PSICOLOGICHE CHE OSTACOLANO I COMPORAMENTI DI MITIGAZIONE E ADATTAMENTO

È stata inoltre ipotizzata l'esistenza di una serie di barriere psicologiche che ostacolano i comportamenti di mitigazione e adattamento.

Questo elenco, pur non esaustivo e basato su una serie di studi che necessita di integrazioni, contribuisce a farci capire per quali ragioni le persone non siano reattive come dovrebbero rispetto al pericolo rappresentato dalla crisi climatica.

La **cognizione limitata** si riferisce non solo all'insufficiente o inadeguata conoscenza di importanti aspetti relativi alla crisi climatica, ma anche alla percezione sistematicamente distorta in senso ottimistico per quanto riguarda i rischi connessi, e alla difficoltà di considerare con sufficiente lungimiranza le conseguenze future.

Le **ideologie** e le **visioni del mondo**, se eccessivamente individualistiche, ancorate allo status quo e orientate al profitto a breve termine, sono di ostacolo per l'azione di contrasto alla crisi climatica, come pure un approccio fideistico

che faccia riferimento a forze esterne come determinanti degli eventi (la natura, l'intervento soprannaturale, lo sviluppo tecnologico).

Le **influenze sociali** negative sono rappresentate da modelli (ad es. figure popolari) e tendenze prevalenti di comportamento ostili al cambiamento in senso pro-ambientale, oltre che dalla percezione di iniquità delle conseguenze di tale cambiamento.

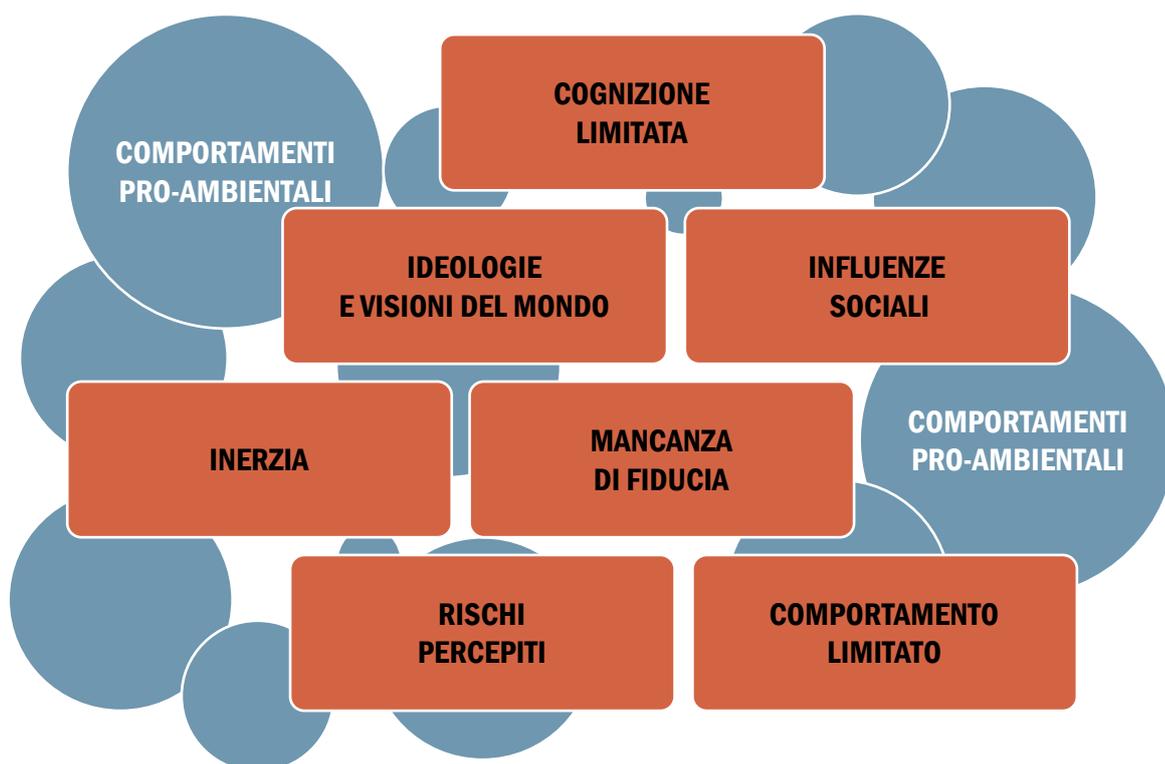
L'**inerzia** si riferisce a una varietà di fattori cognitivi, emotivi, motivazionali ed economici che rendono difficile cambiare abitudini consolidate (ad es. nel modo di alimentarsi o spostarsi).

La **mancaza di fiducia** rispetto alla scienza del clima e agli esperti è un'altra barriera, alimentata da forze economiche e sociali ostili al cambiamento e da concezioni negazioniste.

I **rischi percepiti** fanno riferimento a vari tipi di rischio conseguenti all'adozione di comportamenti pro-ambientali (ad es. possibili svantaggi economici).

Il **comportamento limitato** si riferisce alla convinzione che sia sufficiente fare solo poche azioni in relazione alla crisi climatica e all'erronea percezione dell'efficacia delle azioni stesse.

BARRIERE PSICOLOGICHE



Le principali barriere psicologiche che ostacolano i comportamenti legati al clima secondo Gifford (2011).
Nota. Alcune etichette linguistiche sono state adattate per rendere meglio il senso in italiano.

COME POSSIAMO FACILITARE LE AZIONI INDIVIDUALI CHE RIDUCONO LE EMISSIONI CLIMALTERANTI?

Alcune **azioni individuali** sono associate a una **significativa riduzione dell'emissione di gas climalteranti**, come la riduzione nell'uso (o l'eliminazione) di voli aerei, automobili e cibi di origine animale. Altre azioni di mitigazione consistono nell'efficientamento energetico delle abitazioni e degli elettrodomestici (e nel loro uso più accorto), nell'auto-produzione o nell'acquisto di energia prodotta da fonti rinnovabili e in un generale cambiamento nello stile di vita improntato alla riduzione dei consumi, soprattutto di quelli maggiormente associati all'emissione di gas climalteranti.

Superare le barriere psicologiche (e non) che ostacolano il cambiamento in senso pro-ambientale richiede però di intervenire su una varietà di aspetti relativi all'**informazione delle persone**, alla loro **motivazione** e al **contesto sociale** di riferimento. Questo si può fare con capillari ed efficaci iniziative di comunicazione e educazione, strutturate in modo da rispondere ai dubbi e alle perplessità delle persone e miranti a offrire gli strumenti conoscitivi adeguati a sviluppare un approccio alla crisi climatica maggiormente consapevole e scientificamente fondato. Molti anni di ricerca sulla comunicazione scientifica hanno dimostrato che **informare non basta se la motivazione al cambiamento è insufficiente**. Per motivare al cambiamento è opportuno renderlo più facile e contribuire a sviluppare una più realistica e concreta percezione dei seri rischi che corriamo se continuiamo a fare poco o nulla per contrastare la crisi climatica.

SERVONO INTERVENTI STRUTTURALI ED ECONOMICI...

I comportamenti più difficili da cambiare sono quelli che richiedono maggiore sforzo e/o sono associati a maggiori costi. È quindi evidente che è necessario anche **agire a livello strutturale ed economico** per incoraggiarli. Ad esempio, è difficile ipotizzare che qualcuno usi la bicicletta se rischia ogni giorno di essere investito per strada a causa della mancanza di piste ciclabili adeguate. È difficile che si nutra di alimenti vegetali a filiera corta se fa fatica a procurarseli.



È difficile che rinunci all'automobile per andare al lavoro se i servizi di trasporto urbano sono carenti e i treni sistematicamente in ritardo. È difficile che isoli la propria casa se ha un reddito basso e non ci sono misure di supporto economico adeguato. È quindi fondamentale considerare la **stretta interazione** che esiste **tra azioni strutturali e azioni individuali** se si vuole incoraggiare il cambiamento.

... E UN CAMBIAMENTO SOCIALMENTE EQUO

Il cambiamento dovrebbe anche essere socialmente **equo in termini di costi e responsabilità** per essere accettato. Una prospettiva equa consiste anche nel riconoscere che il cambiamento non può avvenire solo a livello individuale, anche se tutti dobbiamo fare la nostra parte, ma richiede indispensabili **trasformazioni sistemiche** (ad es. nella produzione di energia, nei sistemi produttivi ed economici, nei sistemi di mobilità, nella produzione e distribuzione del cibo). Altrimenti finiremmo per attribuire all'individuo responsabilità che sono sistemiche e che riguardano ampi settori della società, per come essa è attualmente organizzata.

UN'OPPORTUNITÀ PER CAMBIARE E COSTRUIRE UN FUTURO VIVIBILE PER TUTTI

Se proprio vogliamo vedere **un aspetto positivo nella crisi climatica**, possiamo dire che essa ci offre la possibilità di **ripensare profondamente la nostra società e il nostro rapporto con la natura**, di cui spesso ci dimentichiamo di far parte. Un ripensamento quantomai necessario, se consideriamo anche la drammatica crisi che sta facendo parlare i ricercatori di sesta estinzione di massa nel mondo animale, le tensioni legate alle diseguaglianze sociali ed economiche, e i conflitti in atto in varie parti del mondo. Possiamo accettare la sfida e provare a costruire, in tempi brevi, **un futuro vivibile** per noi, per le altre forme di vita che popolano il pianeta e per chi verrà dopo. Oppure, come fa una parte della popolazione nel film *Don't look up*, possiamo continuare a guardare a terra mentre la cometa Dibiasky si avvicina sempre più minacciosa.

Fabio Del Missier, Marta Stragà
Università degli Studi di Trieste

“Le iniziative di sensibilizzazione pubblica cercano di migliorare la comprensione generale, influenzare gli atteggiamenti e aiutare le persone a fare scelte amiche del clima. [...] Ciò comporta la diffusione di informazioni sulle cause e gli effetti del cambiamento climatico e sulle soluzioni pratiche e creative che sono urgentemente necessarie.

Le strategie di sensibilizzazione pubblica si basano su sforzi per condividere le informazioni il più ampiamente possibile, ma allo stesso tempo esse consentono anche a voci diverse di contribuire alle discussioni globali e locali.

La consapevolezza pubblica è un elemento centrale [...] perché ha il potere di creare un impegno di massa critico per una delle più grandi sfide che affrontiamo.”

La citazione (tradotta) è tratta da *“Public Participation under Action for Climate Empowerment”*, uno dei filoni di lavoro dell'*Action for Climate Empowerment (ACE)*.

“Action for Climate Empowerment” si può tradurre in italiano come *“Azione per l'Empowerment Climatico”*. Questo termine si riferisce a una parte fondamentale dell'Accordo di Parigi e della Convenzione Quadro delle Nazioni Unite sui Cambiamenti Climatici (UNFCCC), che sottolinea l'importanza di diverse azioni, tra cui la sensibilizzazione del pubblico e la partecipazione pubblica.

L'obiettivo è dare alle persone gli strumenti e la conoscenza necessari per comprendere il cambiamento climatico e partecipare attivamente all'azione per il clima.

<https://unfccc.int/topics/education-and-outreach/workstreams/public-participation>

Segnali dal clima in FVG 2025 e le precedenti edizioni sono disponibili online su

<https://www.arpa.fvg.it/temi/temi/meteo-e-clima/sezioni-principali/cambiamenti-climatici/segnali-dal-clima-in-fvg/>



*Un ringraziamento a tutti coloro
che hanno contribuito alla realizzazione
dei “Segnali dal Clima in FVG”,
sia con i loro testi, dati e immagini,
sia con le loro riflessioni, osservazioni
e disponibilità a condividere
idee e conoscenze.*

